

Nízkonákladový pasivní dům

Jiří Svoboda

Únor 2011



Ú v o d

Koncept pasivního domu vznikl před více jak 20 lety jako stavebně-fyzikální experiment, který měl ukázat, do jaké míry lze v našich klimatických podmínkách reálně zredukovat spotřebu tepla na vytápění budov. Minimalizace spotřeby tepla na topení bylo dosaženo vysokou tepelně izolační schopností, těsností a tvarovou kompaktností obálky domu a orientací oken převážně na jih. Jelikož je však v každém domě potřeba přiměřená výměna vzduchu, byl zbudován i ventilační systém se zpětným získáváním tepla z odsávaného vzduchu (rekuperací).

Ukázalo se, že není rentabilní stavět domy, které by po celý rok byly vytápěny pouze vnitřními a solárními zisky, reálně se však ukázalo vytápět dům ohřevem přiváděného vzduchu. Právě kritérium vytopitelnosti domu vyměňovaným vzduchem zřejmě dalo domu název pasivní – tedy dům, který nepotřebuje standardní teplovodní otopný systém a velkých úspor tepla na topení i vnitřních zisků je dosaženo převážně pasivními prostředky. Jednoduchými výpočty i na řadě konkrétních příkladů se tehdy ukázalo, že ohřevem přiváděného vzduchu lze vytopit dům, pokud potřebný topný výkon nepřesahuje 10 W/m² podlahové plochy a tomu odpovídá v našich klimatických podmínkách roční měrná spotřeba tepla kolem 15 kWh/m² podlahové plochy.

Dnes se stala hodnota spotřeby tepla na vytápění pod 15 kWh/m² podlahové plochy základním kritériem pro pasivnost domu a běžně se odhlíží od toho, jakými prostředky je požadované hodnoty dosaženo. Má se však za to, že řízená ventilace s rekuperací a dostatečná tepelná izolace a těsnost jsou nutnou podmínkou pro dosažení pasivního standardu. Dnes jsou, především v Německu a v Rakousku, postaveny tisíce pasivních domů a je vyvinuta řada koncepcí pro jejich stavbu. Ukazuje se, že pasivní dům je investičně alespoň o 10 % (někdy je to však bohužel i mnohem více) dražší než běžný dům, úspory energie na vytápění však rozumné navýšení investičních nákladů na stavbu za dobu její životnosti několikrát zaplatí, investice do pasivního domu je tedy rentabilní a navíc přináší vyšší uživatelský komfort i nezanedbatelný přínos pro ekologii a ochranu klimatu. Neexistuje racionální důvod, proč nestavět drtivou většinu nových domů v pasivním standardu. Realita na vysoce konzervativním stavebním trhu je však zcela opačná. Proč?

Dosavadní zkušenosti ukazují, že stavba pasivního domu klade vyšší nároky na projekci i na řemeslné provedení při stavbě (hlavně kvůli dodržení vysoké těsnosti obálky), než je tomu u běžného domu. Projektanti a stavební firmy zabývající se výstavbou pasivních domů jsou stále považováni za něco mimořádného. Chceme-li tedy přispět k tomu, aby se z pasivní výstavby stal standard, je třeba dále hledat nová, jednoduchá, levná a řemeslně nenáročná řešení, která by nároky na projekci, řemeslné provedení i cenu výstavby pasivních domů udělaly plně srovnatelnou s běžnými domy. Toto jsem považoval v roce 2006 za rozhodující výzvu, která mne vedla pasivní dům svépomocně naprojektovat a v Popicích postavit. V roce 2009 byl dům zkolaudován a zkušenosti z provozu jsou tedy již k dispozici.

Cílem textu je nejen shrnout a vyhodnotit zkušenosti ze stavby a provozu pasivního domu v Popicích, ale i vytvořit vizi pro nejbližší budoucnost – co lze ještě na koncepci pasivního domu vylepšit ve smyslu zlevnění a zjednodušení při plném zachování komfortu a spolehlivosti.



Nový stavební systém dřevostavby pasivního domu

Obvodový plášť pasivního domu musí zajišťovat dvě základní funkce – statiku objektu a výbornou tepelnou izolaci spojenou se vzduchotěsností. Při řešení konstrukce obvodového pláště je vhodné vycházet z následující úvahy. Tepelné izolace vztaheno na jejich objem jsou vůbec nejlevnějším stavebním materiálem a tudíž jimi jakkoli šetřit není účelné. Problémem je pouze v tom, jak velké objemy izolací ve stavbě jednoduše a levně aplikovat.

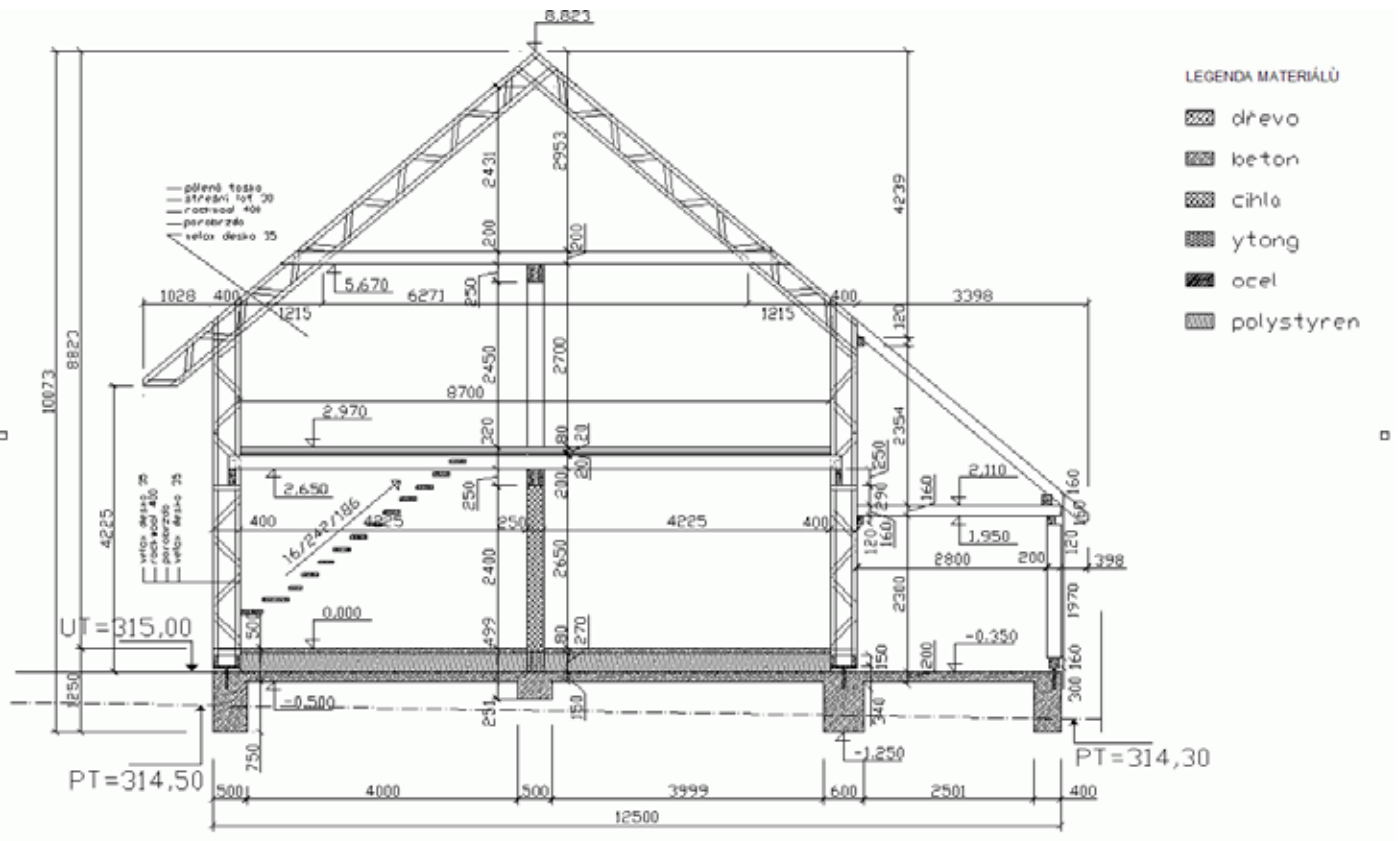
V podstatě máme pro řešení obvodového pláště dvě možnosti – masivní zdivo na bázi cihelných tvárnic či porobetonu nebo dřevěnou konstrukci, v obou případech doplněnou adekvátní tepelnou izolací. Objemové zdící materiály samy o sobě nemají dostatečnou tepelně izolační schopnost a systémy polystyrénových tvárnic vylitých betonem nepovažují za dostatečně dobré řešení z hlediska interiérového komfortu.

V případě masivního zdiva použijeme pro stavbu obvodovou stěnu jen o minimální staticky nutné tloušťce doplněnou co největší tloušťkou izolace. Nejlevněji můžeme provést zateplení kontaktním způsobem pomocí pěnového polystyrénu. Pokud zapustíme standardní hmoždinky běžné délky cca 20 cm do dostatečné hloubky a pak otvor zaplníme polystyrénovou zátkou, můžeme jednoduše a levně kotvit polystyrén tloušťky i kolem 35 cm, což plně odpovídá požadavkům na pasivní dům. Bližší se lze dozvědět na videu <http://www.youtube.com/watch?v=EvA08SpDLUs>. Je-li obvodová nosná stěna tloušťky 25 cm, výsledná tloušťka obvodové stěny je pak stále přijatelných 60 cm. Z hlediska kondenzace vlhkosti je takové řešení absolutně v pořádku, protože stěna je v celém objemu vždy dostatečně teplá a nemůže v ní tudíž ke kondenzaci vlhkosti docházet.

Dřevo je přírodní materiál s vynikajícími mechanickými vlastnostmi a s dlouholetou tradicí ve stavebnictví. Při troše šikovnosti projektanta může 1 kg dřeva nahradit 1 kg oceli nebo 30 kg betonu či zdících materiálů. Navíc dřevo v sobě uchovává po celou dobu životnosti stavby poměrně velké množství uhlíku, který by se při shnití či spálení dřeva dostal do atmosféry a přispíval tak ke klimatickým změnám. Proto jsem se rozhodl pro použití dřeva ke stavbě obvodového pláště popíckého pasivního domu. Později uvidíme řadu dalších výhod zvolené konstrukce.

Dosavadní běžný způsob dřevostavby obvodového pláště zajišťujícího dobrou statiku vychází obvykle z hranolů o rozměrech 8x16 cm. Tak vznikne přirozeným způsobem prostor pro uložení 16 cm tepelné izolace. Další alespoň 20 cm izolace je však u pasivního domu ještě třeba přidat. Vzniknou tak mnohavrstevné konstrukce, které rozhodně nejsou ani levné ani pracovně nenáročné. Proto jsem se rozhodl jít jinou cestou – použít jako základní stavební element dřevěný příhradový vazník, který má příčný rozměr 40 cm a přirozeně vytvoří v obvodové stěně prostor pro uložení tepelné izolace o stejné tloušťce. Navíc příhradové vazníky vynikají svou vysokou tuhostí při nízké hmotnosti. Proto se příhradové vazníky též velmi dobře hodí jako náhrada krokví ve střešní konstrukci, kde opět vytvářejí prostor pro pohodlné uložení 40 cm izolace.

Jako nejvhodnější technologie pro výrobu příhradových vazníků se ukázalo jejich lepení kvalitním lepidlem a stažení šroubovým svorníkem. To umožňuje vyrábět levně a technologicky velmi nenáročně vazníky různých délek a tvarů podle dodaných výkresů až do délky kolem 8 m. Příklad řezu domem s takovou konstrukcí je na obr. 1 a pohled na jeho stavbu je na obr. 2.



Obr. 1. Řez domem s konstrukcí obvodového pláště z příhradových vazníků.



Obr. 2. Pohled na konstrukci domu z příhradových vazníků.

Další postup při konstrukci obvodového pláště představuje instalace Velox desek WS-35 na venkovní obvod příhradových vazníků. Je potřeba použít vyschlé Velox desky (to lze s výrobcem domluvit). Velox desky jsou k příhradovým vazníkům přišroubovány ocelovými vruty a přilepeny PUR pěnou. Celý venkovní plášť je zmonolitněn slepením jednotlivých Velox desek flexibilním stavebním lepidlem. Tím vznikne mechanicky velmi odolný vnější plášť, na který lze aplikovat standardním postupem venkovní omítku. Ukázka opláštění je na obr. 3.



Obr. 3. Opláštění domu zvenjšku pomocí Velox desek.

Po instalaci vnějšího opláštění a vyložení ostění otvorů Velox deskami (pod Velox desky na ostění je třeba instalovat parozábranu, která pak bude napojena na parozábranu na interiérové straně) je možné vkládat tepelnou izolaci ve formě dvou desek z kamenné vlny o tloušťce 20 cm. Detail je zobrazen na Obr. 4. Podobně jako do svislých stěn ukládáme kamennou vlnu i do šikminy pod střechou. Kamennou vlnu nad strop ukládáme až po instalaci parozábrany a podhledových Velox desek – viz. Obr. 5. Jelikož parozábrana nemusí plnit funkci vzduchotěsné vrstvy, je parozábrana instalována jen pomocí sponkovačky a není slepována – pouze je na spojích dodržován dostatečný přesah. Před instalací oken a dveří v obvodovém plášti je třeba ostění natáhnout stěrkou s perlíčkem, což umožní kvalitní utěsnění spáry mezi oknem a ostěním.



Obr. 4. Detail uložení kamenné vlny a ostění okna s parozábranou vlevo nahoře. Veškeré cihlové zdi jsou založeny na šáru porobetonu pro potlačení tepelného mostu do základové desky (vpravo dole).

Po instalaci kamenné vlny je třeba provést i zateplení podlahy nad základovou deskou deskami z EPS. Je vhodné před pokládáním polystyrénových desek vyrovnat svařené hydroizolační pásy tenkou vrstvou jemného písku, kterou může být případná zkondenzovaná voda prostupivší podlahou odvedena ke stěnám či k obvodu domu a nebude tak docházet k degradaci EPS postupným hromaděním vlhkosti. Postup pokládání desek z EPS je znázorněn na obr. 6.

Instalace rozvodů a zajištění vzduchotěsnosti

Celková tloušťka obvodové stěny včetně vnitřní a vnější omítky je 48 cm, přitom zajišťuje statiku objektu, umožňuje pohodlné uložení 40 cm tepelné izolace a z exteriéru i interiéru poskytuje mechanicky velmi odolné povrchy. Parozábranu tvoří neslepovaná PE fólie instalovaná pod interiérovou Velox deskou. Vzduchotěsnosti objektu je dosaženo pomocí stěrky s perlínkou a štukové omítky na vnitřní Velox desce. Stavební systém však též umožňuje velmi pohodlnou instalaci všech rozvodů, jak je zdokumentováno v následujícím.



Obr. 5. Pohled na stropní podhled z Velox desek a na šikminu tepelně zaizolovanou deskami z kamenné vlny.

Obr. 6. Pokládání desek z EPS v celkové tloušťce 24 cm (může být i 30 cm) na základovou desku.

Objemné rozvody vzduchotechniky provádíme velmi jednoduše a levně pomocí plastového kanalizačního potrubí v obvodové stěně. Mezi příhradovými vazníky je dost místa i na křížení potrubí, jak je vidět na obr. 7. Podobně jako vzduchotechniku můžeme do obvodového pláště umístit i rozvody kanalizace (obr. 8).



Obr. 7. Rozvody vzduchotechniky kanalizačními rourami v příhradových vaznících. Oranžové vývody v horní části obrázku jsou připraveny pro připojení podstropní rekuperační jednotky.

Obr. 8. Podobně jako vzduchotechniku můžeme do obvodového pláště umístit i rozvody kanalizace.

Kolem rozvodů musíme prostor řádně vycpat kamennou vlnou aby nevznikaly tepelné mosty (obr. 9). Poté co instalujeme parozábranu (pro prostupy vytvoříme v parozábraně velmi těsnou díru) a Velox desky, spáru mezi Velox deskou a vstupem vypěníme PUR pěnou. Stejně vypěníme i napojení mezi Velox deskou a trámy či zdmi – viz. obr. 10. Vzduchotěsnost pak zaručí stěrka s perlínkou dotažená až k prostupu či trámu.



Obr. 9. Důkladná instalace kamenné vlny kolem rozvodů vzduchotechniky

Obr. 10. Po seřiznutí PUR pěny dotáhneme stěrku s perlínkou až těsně k prostupu vzduchotechniky a k trámům. Tím velmi dobře zabezpečíme vzduchotěsnost objektu.

Rozvody elektřiny a slaboproudu provádíme do vzduchotěsných krabic E 2000, které uchytneme před instalací Velox desky do v ní předvrtaných otvorů – viz. Obr. 11. Podobně můžeme vést i „husí krky“ pro slaboproudé rozvody. Perlínka se stěrkou pak krabici, případně vstup kabelu pro osvětlovací těleso dokonale utěsní – viz. obr. 12.



Obr. 11. Elektroinstalační krabici upevníme do předvrtaného otvoru ve Velox desce a zavedeme do ní kabely. Ty budou vedeny mezi parozábranou a Velox deskou. V místě styku s příhradovým vazníkem je nutno do Velox desky vydlabat pro kabel drážku.

Obr. 12. Stěrka s perlínkou utěsňuje elektroinstalační krabici i vstup kabelu.

Pro tažení rozvodů vody plně postačuje prostor daný tloušťkou Velox desky. Všechny vodovodní rozvody upevníme na příhradovou konstrukci před parozábranu. Poté přišroubujeme Velox desky a mezery mezi Velox deskou a vodovodními rozvody zapěníme PUR pěnou či zapravíme stavebním lepidlem – viz. obr. 14.



Obr. 13. Vodovodní rozvody upevníme na příhradovou konstrukci. Vývody uchytíme na pásovou ocel. Mezi parozábranou a Velox deskou můžeme též jednoduše vést i stupačky podlahového topení.



Obr. 14. Výška Velox desky je pro vedení vodovodních instalací plně postačující a trubky lze zapravit stavebním lepidlem nebo PUR pěnou.

Otopný a ventilační systém

Otopný systém a ventilační systém jsou klíčové aktivní systémy v pasivním domě. Měly by být na jedné straně dostatečně jednoduché, investičně levné a provozně úsporné, na druhé straně by měly poskytovat dostatečný komfort a být dostatečně flexibilní pro možnost výměny zdroje tepla či rekuperační jednotky.

Původní myšlenka vytápět dům jen pomocí vyměňovaného vzduchu se dnes jeví jako nevhodná. Předně praxe ukázala, že množství vyměňovaného vzduchu v pasivním domě je vhodně držet na podstatně nižší úrovni než se původně předpokládalo – zhruba 25 m³/přítomnou osobu (to odpovídá běžně přijímaným představám o přijatelné výši 1000 ppm CO₂ v interiérovém vzduchu). S takovými výměnami vzduchu nelze dům teplovzdušně vytopit. Pokud je výměna vzduchu výrazně vyšší než 25 m³/přítomnou osobu, klesá relativní vlhkost interiérového vzduchu v mrazivém počasí pod nepříjemných a nezdravých 30%. Také pokud spojíme výměnu vzduchu s vytápěním, nelze vytápění a výměnu vzduchu nezávisle regulovat a nastává např. problém výměny vzduchu ve sluncem vyhřátých místnostech.

Dnes se v řadě českých pasivních domů setkáváme se systémem teplovzdušného vytápění, kdy značná část dohřívajícího vzduchu v domě cirkuluje a jen malá část cirkulujícího vzduchu je vyměňována. Má to jistou výhodu v tom, že v celém domě jsou zhruba „konstantní“ podmínky, na druhé straně to brání zónování, které má řadu jiných předností, jak popíši později. V případě cirkulačního systému však narazíme na jednu podstatnou nevýhodu. Oproti jednoduchému ventilačnímu systému je systém s cirkulačním vytápěním výrazně složitější a investičně dražší. A jelikož je běžně k topení u systému s cirkulačním vytápěním používána elektřina, vyjde jistě systém s cirkulačním vytápěním výrazně draž než jednoduchý ventilační systém doplněný elektrickými přímotopy.

Zkusme si tedy krátce rozebrat, co nabízí jednoduchý ventilační systém doplněný elektrickými přímotopy za výhody oproti cirkulačnímu teplovzdušnému topení. Předně je to dokonalá možnost regulace teploty v každé místnosti, kdy např. v ložnici nebudeme vůbec topit a v koupelně budeme držet teplotu o něco vyšší než ve zbytku domu. Jednoduchý ventilační systém nám pak umožňuje i zónování čerstvosti vzduchu, pokud z rekuperátoru přivádíme čerstvý vzduch jen do pokojů, ten se pak veškerý svede do kuchyně, odtud je přes uhlíkový filtr v cirkulační digestoři nad sporákem přiváděn do koupelny a z koupelny je přes WC odváděn do rekuperátoru. Takto funguje k plné spokojenosti bydlících ventilační systém v popickém pasivním domě. Velkou výhodou je, že vzduch je postupně degradován – vzduch z pokojů je plně postačující pro kuchyň, vzduch z kuchyně zbavený pachů je stále ještě dobrý pro větrání koupelny a vzduch z koupelny je jistě dobrý pro větrání WC. Systém velmi účinně brání šíření pachů po domě a ať je člověk v domě v obytné části kdekoliv, vždy se potká s přiměřeně čerstvým vzduchem. Výměna vzduchu v kuchyni, koupelně i WC je na maximální možné úrovni plně v souladu s předpisy.



10

Zdá se tedy, že jednoduchý ventilační systém doplněný přímotopy je z dnešního pohledu uživatele velmi vhodný. Jenže si je třeba uvědomit, že se možná i v blízké budoucnosti zdraží elektřina natolik, že bude vhodné přejít na jiný způsob vytápění jako je elektrické tepelné čerpadlo, kondenzační plynový kotel, plynové tepelné čerpadlo či kotel na biomasu. U všech těchto zdrojů lze s výhodou využít podlahové topení s možností poměrně značné akumulace tepla v betonové desce nesoucí podlahové topení. V Popicích bylo proto vybudováno velmi levné a jednoduché podlahové topení napájené plynovým kondenzačním kotlem. Běžně se topí vodou o teplotě kolem 30 °C, kdy má kondenzační kotel vynikající účinnost. V případě, nahrazení plynového kondenzačního kotle tepelným čerpadlem by byl topný faktor čerpadla spolupracujícího s podlahovým topením opět vynikající. Pro zhotovení podlahového topení v popickém pasivním domě bylo použito 400 m hadice v ceně 7000 Kč. Hadice byla rozdělena do 6 sekcí – 4 sekce na vytápění přízemí a 2 sekce na vytápění 1. podlaží. Hadice byly jednoduše přichyceny k armovací karisíti a zabetonovány do desky o tloušťce 8 cm tvořící těžkou plovoucí podlahu. Betonáž desky s podlahovým topením v přízemí a v 1. poschodí je zachycena na obr. 15 a 16.



Obr. 15. Betonáž podlahové desky s podlahovým topením v přízemí. Vzdálenost hadic je asi půl metru a jejich instalace trvala asi půl dne.

Otopný systém v pasivním domě by měl být, dle mého, založen na levném podlahovém topení spojeným s akumulací v betonové desce. Zde si je třeba uvědomit, že kdykoliv v budoucnu pořídíme dodatečně teplovodní otopný systém za mnohonásobně vyšší cenu. Na již vybudované podlahové topení můžeme též v budoucnu napojit malý kotel na peletky či malá krbová kamna s teplovodní vložkou. Akumulace v podlaze spojená s velmi malými tepelnými ztrátami domu umožní i v mrazech topit obden do podlahy jednorázovým spálením cca 10 kg biomasy. To nijak výrazně bydlící nezatíží a nebudou to zřejmě chápat jako diskomfort. Žádné akumulční nádrže nejsou potřeba, sám dům je velkým dobře izolovaným tepelným akumulátorem v němž bude i při uvedeném způsobu vytápění kolísat teplota sotva o 1 °C.

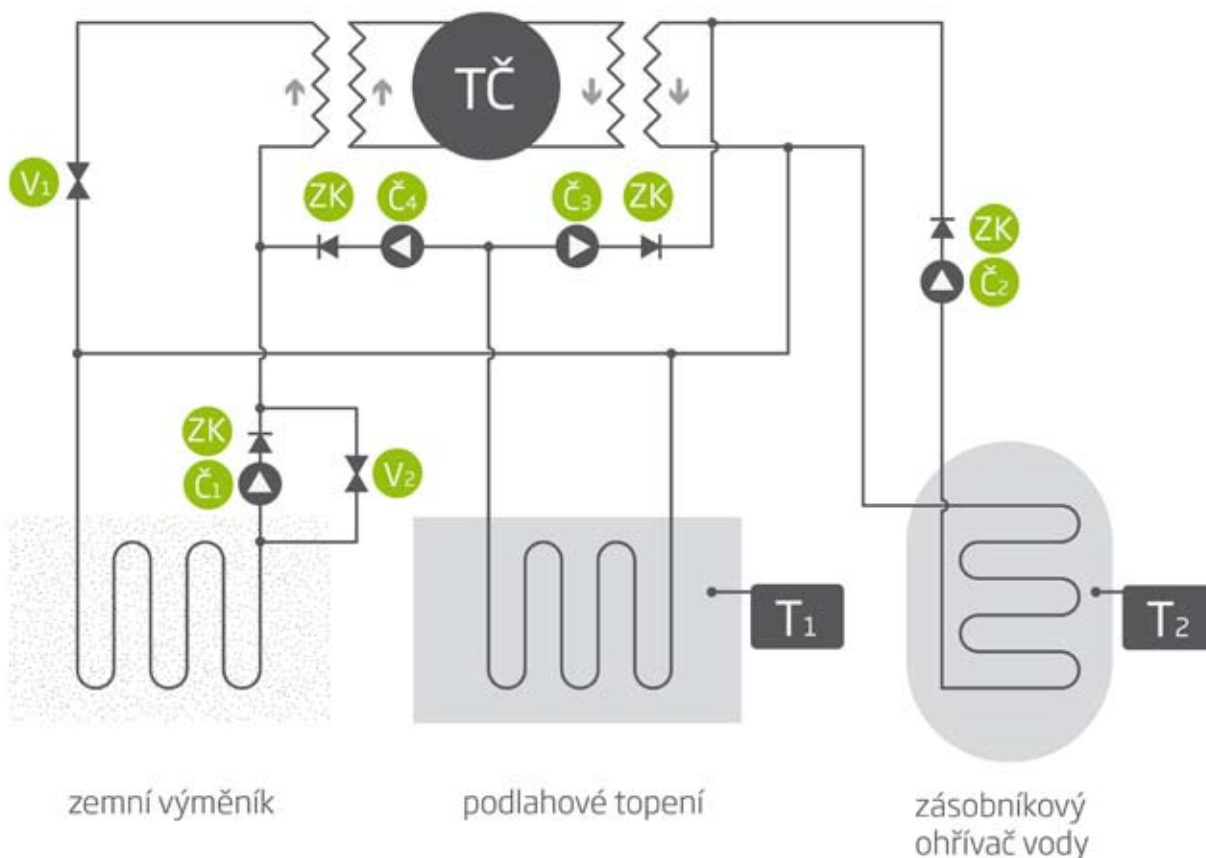


Obr. 16. Betonáž podlahové desky s podlahovým topením v 1. poschodí. Vzdálenost hadic je asi 1 metr. I při tak nízké hustotě hadic se místnosti 1. poschodí spolehlivě vytopí vodou o teplotě 30 °C.

Jak by tedy měl podle mne vypadat optimální otopný a ventilační systém pro pasivní dům? Začněme otopným systémem. Tepelné čerpadlo (TČ) doplněné zemním výměníkem může zajistit komplexní tepelnou pohodu v pasivním rodinném domě i levný ohřev vody.

Spotřeba tepla na vytápění pasivního domu a na ohřev vody v topné sezóně trvající asi 120 dní je okolo 2000 – 4000 kWh. To je téměř o jeden řád méně než u běžných rodinných domů. Jako jeden z provozně nejlevnějších zdrojů tepla lze použít TČ země-voda. Tepelný výkon TČ by měl být dimenzován na dostatečně operativní dohřev vody v zásobníku, měl by tedy být okolo 5 kW. Takový výkon je pro vytápění několikanásobně předimenzovaný a představuje dostatečnou výkonovou rezervu. TČ by během topné sezóny mělo běžet po dobu 400 – 800 hodin a ročně celkem kvůli ohřevu vody kolem 600 – 1000 hodin. Při předpokládané životnosti TČ kolem 80 000 hodin jde o investici na celou předpokládanou dobu životnosti stavby. Vhodné TČ se dvěma deskovými výměníky, které se stane jádrem systému, lze najít např. na [http://www.eltex-km.cz/clanek.php?clanek\[id\]=29](http://www.eltex-km.cz/clanek.php?clanek[id]=29).

Nechť jsou v domě instalovány jednoduché podlahové topení a zásobník na ohřev vody. Při výše uvedené roční spotřebě tepla by pro vytápění pasivního domu pomocí TČ měl plně postačovat zemní výměník vytvořený např. v metrové vzdálenosti po obvodu domu. Do výkopu o délce 50 – 60 m, hloubce cca 1,2 m a šířce cca 0,6 m položíme na dno na jeho oba kraje po jednom závitě polyetylenové hadice o průměru 32 mm a celkové délce asi 120 m. Hadici lze koupit v celku za zhruba 3000 Kč. Systém stávající z TČ, zemního výměníku, podlahového topení, zásobníku na ohřev vody, oběhových čerpadel a armatur je znázorněn na obr. 17.



Obr. 17. Schéma systému pro zajištění komplexní tepelné pohody v pasivním rodinném domě i levný ohřev vody.

Systém je navrhnout tak, aby mohl pracovat ve dvou režimech:

„Podzimní, zimní a jarní provoz“, kdy není třeba dům klimatizovat: TČ přednostně ohřívá vodu v zásobníku a topí dle potřeby do podlahového topení, teplo bere ze zemního výměníku.

„Letní provoz“, kdy je žádoucí dům klimatizovat: TČ přednostně ohřívá vodu v zásobníku a teplo bere z podlahového topení, zemní registr je dle potřeby využíván ke chlazení domu podlahovým topením bez použití TČ.

K možným obavám z chlazení podlahovým topením mohou jen sdělit následující. Pokud bude povrch podlahy o 3 °C chladnější než povrch stropu místnosti, vznikne zářivý tok ze stropu směrem do podlahy o výkonu asi 13 W/m². Je-li plocha podlahového topení v domě např. 130 m², je při těchto [jistě bez jakékoli újmy snesitelných] teplotních rozdílech chladič výkon 1,7 kW, [při rozdílu teplot 2 °C je to 1,1 kW a při 1 °C je to 0,6 kW]. To jsou vše výkony, které dům jen za cenu příkonu jediného oběhového čerpadla a dvou sepnutých solenoidových ventilů spolehlivě uchladí.

K řízení celého systému jsou použity dva termostaty T1 jako prostorový termostat v centrální místnosti domu a T2 v zásobníkovém ohřivači vody, oba se spínacími a rozpínacími kontakty. Systém dále obsahuje čtyři oběhová čerpadla Č1 – Č4, čtyři zpětné klapky ZK a dva solenoidové ventily V1 [bez napětí otevřený] a V2 [bez napětí zavřený].

V režimu „podzimní, zimní a jarní provoz“ je fungování systému zajištěno následovně. Při poklesu teploty pod hodnotu požadovanou v zásobníku pro ohřev vody termostat T2 zapne TČ, Č1 a Č2 a zablokuje možnost zapnutí Č3 [Č3 je napájeno přes rozpínací kontakt T2]. Při poklesu teploty pod hodnotu požadovanou v centrální místnosti domu [vzniká potřeba topit] termostat T1 spíná TČ, Č1 a Č3.

V režimu „letní provoz“ je fungování systému zajištěno následovně. Při poklesu teploty pod hodnotu požadovanou v zásobníku pro ohřev vody termostat T2 zapne TČ, Č2 a Č4 a zablokuje možnost zapnutí V1 a V2 (V1 a V2 jsou napájeny přes rozpínací kontakt T2). Při vzrůstu teploty nad hodnotu požadovanou v centrální místnosti domu termostat T1 spíná Č4, V1 a V2.

Oba režimy lze ručně přepínat jedním přepínačem na ovládacím panelu.

Veškeré vnější okruhy systému jsou propojeny, mají celkový objem cca 150 – 200 l a je třeba je naplnit nemrznoucí směsí viz např. [http://www.eltex-km.cz/clanek.php?clanek\[id\]=37](http://www.eltex-km.cz/clanek.php?clanek[id]=37), která vyjde na zhruba 3000 Kč.

Za povšimnutí stojí fakt, že zemní zásobník slouží v režimu „podzimní, zimní a jarní provoz“ jako zdroj tepla a teplota okolí zemního výměníku postupně klesá. V režimu „letní provoz“ funguje zemní zásobník naopak jako zdroj „chlada“ a teplota v jeho okolí zase narůstá. Pokud tedy v létě dům ochotně klimatizujeme, přispíváme k akumulaci tepla na topení v zimě a zvyšujeme tak účinnost zimního vytápění (topný faktor TČ roste se snižováním teplotního rozdílu pracovních medií). Synergie mezi letním chlazením a zimním topením umožňuje menší dimenzování zemního výměníku.

Udělejme si ještě ekonomickou bilanci představeného systému. Vlastní tepelné čerpadlo s deskovými výměníky stojí 60 000 Kč, zásobníkový ohřívач vody 10 000 Kč, oběhová čerpadla 10 000 Kč, solenoidové ventily a další armatury 10 000 Kč, zemní výměník 10 000 Kč, podlahové topení 10 000 Kč, různé (včetně nemrznoucí směsi a elektrického zapojení) 10 000 Kč. Za cenu kolem 120 000 Kč tedy máme systém s velmi vysokou životností pro provozně nízkonákladové vytápění pasivního domu, celoroční ohřev vody a provozně prakticky beznákladovou klimatizaci. Roční provozní náklady celého systému (spotřeba elektřiny) můžeme očekávat pod 5 000 Kč.

Co se týče ventilace s rekuperací, nabídka na trhu zatím není optimální. Představme si, že dům je plánován pro 4 lidi, není tedy nutné mít v domě větší výměnu vzduchu zajištěnou rekuperačním výměníkem, než je 100 m³/h. Celá rekuperační jednotka by měla být postavena právě na takový výkon a optimalizována na minimum hluku a spotřeby elektřiny a na maximální účinnost výměníku přesahující 90%. Dá se očekávat že spotřeba takto vyladěné jednotky by byla na každý ventilátor kolem 10 W. Jednotka by měla umět pracovat ve třech režimech:

V topné sezóně rekuperační jednotka vhání vzduch ze zemního vzduchového registru přes rekuperační výměník do obytných místností a vzduch z WC odsává přes rekuperační výměník ven.

Mimo topnou sezónu, kdy není třeba dům chladit, lze dům odtěsnit např. použitím mikroventilační polohy u oken a pomocí rekuperační jednotky vzduch z domu pouze na WC odsávat (ušetří se 10 W jednoho ventilátoru). I pokud by plášť domu zůstal utěsněn, přívod vzduchu přes zemní registr a rekuperátor by pořád existoval, tudíž by odtah aspoň z části fungoval.

V období potřeby dům chladit rekuperační jednotka nasává vzduch ze zemního registru přes bypass do obytných místností a vzduch z WC vypouští přes rekuperační výměník ven. To zajistí chladicí výkon kolem 0,5 kW při spotřebě 10 W oproti režimu 2 navíc.

Jednotlivé režimy jednotky jsou přestavovány pouze čtyřikrát do roka s tím, že jde pouze o vypnutí či zapnutí jednoho ventilátoru či manuální přehození klapky bypassu. Vyladěná rekuperační jednotka s manuálním bypasem by mohla stát kolem 25 000 Kč. Výkon jednotky je možno regulovat spínáním přes standardní programovatelné spínací hodiny. V bytě by měl být vlhkoměr, podle kterého by se hlídala výměna vzduchu tak, aby relativní vlhkost vzduchu v domě v zimním období příliš nepoklesla pod 50%. V případě, že je dům klimatizován přes podlahové topení, třetí režim rekuperační jednotky není vůbec potřeba a rekuperační jednotka může být o bypass jednodušší a levnější.

Značné úspory investičních nákladů lze dosáhnout při budování zemního vzduchového registru, pokud jej umístíte do základových pasů – viz. obr. 18. Tato koncepce se již u řady domů prakticky osvědčila.



Obr. 18. Zemní registr v základových pasech popíckého pasivního domu.

Náklady na vybudování zemního registru a vzduchových rozvodů v domě můžeme odhadnout na 15 000 Kč. Pokud sečteme všechny investiční náklady na aktivní systémy pasivního domu dojdeme k částce kolem 160 000 Kč. Za takovou částku získáme komfortní systém se zdrojem velmi levného tepla pro topení a ohřev vody, s provozně téměř beznákladovou klimatizací a zaručenou výměnou vzduchu s rekuperací tepla.



Jak to zatím chodí v pasivním domě v Popicích

Předně je třeba oznámit výsledky měření těsnosti budovy. První a současně poslední měření těsnosti budovy bylo provedeno těsně před nastěhováním a dalo hodnotu $n_{50}=0,33$ 1/h, což je hodnota skoro dvakrát lepší, než je požadována pro pasivní domy [viz. protokol na <http://amper.ped.muni.cz/~svobodak/pasivdrev1.html>].

Popický pasivní dům o podlahové ploše 180 m² je rozdělen na dvě bytové jednotky: 5+1 v nichž žije rodina s dvěma malými dětmi a 1+1, kde žije babička dětí. Stavební úřad nedovolil otočit dům hodně proskleným štítem na jih a proto jsou štíty otočeny na východ a západ, což je pro zimní sluneční zisky poměrně nevýhodné. Ač byl dům kvůli malým dětem minulou zimu vytápěn na teplotu 23 °C, bylo na vytápění za uplynulou topnou sezónu spotřebováno přibližně jen 300 m³ zemního plynu, což představuje spotřebu asi 16 kWh/m²/rok. Dá se tedy prohlásit, že stavební systém se ať z hlediska těsnosti obálky tak z hlediska tepelně-izolační schopnosti obálky plně osvědčil.

Zajímavé se ukázaly zkušenosti s používáním rekuperační jednotky pro řízené větrání. Zpočátku byla rekuperační jednotka nastavena na trvalý výkon 75 m³/hod, avšak v průběhu prosince klesla relativní vlhkost v domě ke 30%. Proto byl snížen výkon jednotky na výměnu 50 m³/hod a při velkých mrazech byla jednotka i na několik hodin denně vypínána. Tak se zdařilo udržovat relativní vlhkost v domě po celý zbytek zimy v rozmezí 40-50%. Bydlící považují kvalitu vzduchu v domě za plně vyhovující a oceňují, že se po domě nešíří pachy. V zimě provedená měření koncentrace CO₂ v domě ukázaly průměrné hodnoty kolem 1000 ppm, v mrazivém počasí, kdy byl výkon rekuperační jednotky snížen, pak byla koncentrace CO₂ v domě vždy pod 1500 ppm. Pohled na popický pasivní dům těsně před dokončením je na obr. 19. *Obr. 19. Dům v „kabátku“ těsně před dokončením.*



Co se zatím neděje

Je zřejmé, že ve stavebnictví jsou stále obrovské rezervy při stavbě jakýchkoli domů. To otevírá značné možnosti pro oblast výstavby pasivních domů. Pokud by se totiž výstavba pasivních domů opravdu zodpovědně zoptimalizovala a zjednodušila, mohla by být dokonce výrazně levnější než klasická výstavba a pak by již snad plošnému prosazení pasivních domů nemohlo nic zabránit.

O problematice pasivních domů jsem diskutoval s několika architekty a shodli jsme se na tom, že sami optimalizaci z časových důvodů provádět nemohou a spolehlivý soubor zoptimalizovaných řešení, který by mohli při projektování použít, nemají k dispozici. To je totiž zřejmě práce pro stavební fakulty či Centrum pasivního domu, aby v rámci řešení grantových projektů či vedení diplomových a doktorských prací neustále vytvářeli, dopracovávali a prakticky ověřovali optimalizované systémy pro stavbu pasivních domů, které jsou oproštěny od lobbistických tlaků výrobců a dodavatelů. Pokud by to takto začalo fungovat, architekti a projektanti by měli neustále aktualizovaná optimalizovaná řešení k dispozici a mohli by z nich při návrhu domů vycházet.

Závěr

Popický dům rozhodně nepovažuji za ideál pasivního domu a proto uvítám jakoukoli konstruktivní kritiku i návrhy na vylepšení stavebního systému. Detailně si můžete výstavbu popického pasivního domu prohlédnout na komentované fotogalerii <http://amper.ped.muni.cz/~svobodak/pasivdrev.html>. Další dotazy rád zodpovím na svobj@ipm.cz. V dnešní době je v různém stavu rozpracování asi desítky domů stavěných svépomocně tímto systémem. Další zájemci o svépomocnou výstavbu jsou vítáni s tím, že jsem schopen zajistit projekt domu i výrobu příhradových vazníků včetně jejich konzervace za velmi příznivou cenu. Uvítám též zahájení podnikatelských aktivit využívajících představený stavební systém a jsem připraven ke spolupráci.

