

Analýza rekonstrukce rodinných domů na pasivní standard



Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována z dotací Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2008 – část A – Program EFEKT



Název Analýza rekonstrukce rodinných domů na pasivní standard

Vydavatel



Údolní 33, 602 00 Brno
Czech Republic
info@pasivnidomy.cz
www.pasivnidomy.cz

Autoři publikace

Juraj Hazucha
Jan Bárta
příloha: EkoWATT CZ, s.r.o.

Překlad

Ing. Alena Povolná, Rosice u Brna

Vydání

první, 2008

Text publikace neprošel redakční ani jazykovou úpravou.

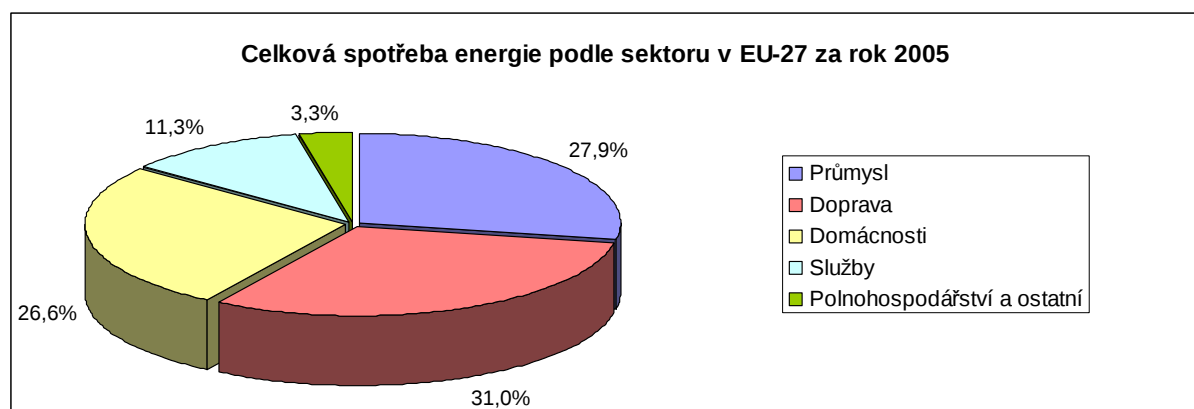
Kopírování textů i jejich částí je možné jen se souhlasem autorů.

Je potřeba si uvědomit, že poloviční a kvalitativně nedostatečné zákroky jsou horší, než vůbec žádné zákroky. Tyto zákroky nejenže využívají vzácný investiční kapitál současnosti, ale také budoucnosti, a tím zabraňují dlouhodobým a lepším řešením!

Ernst Heiduk

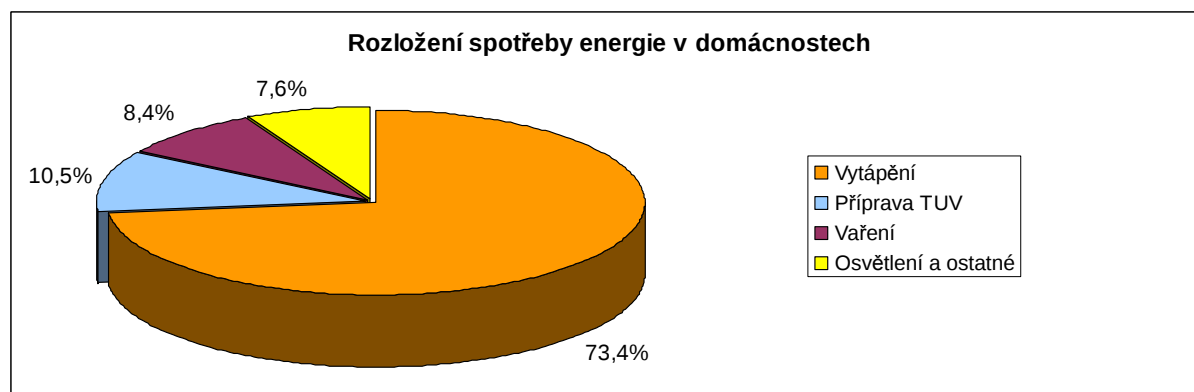
1. Výchozí stav

V současné době je v České republice kolem 1,7 miliónu rodinných domů s počtem bytových jednotek přes 2,0 miliónu. Téměř 90 % domů bylo postaveno před rokem 1990 a podle hodnocení energetické náročnosti budov spadají do kategorií D až F, tedy „nevyhovující“ až „velmi ne hospodárná“. Z pohledu dnešní platné normy ČSN 73 0540 – 2 tyto budovy naprosto nevyhovují požadavkům na tepelnou ochranu budov. Celkově se sektor domácností podílí značnou částí (26,6 % viz obr. 1) na celkové spotřebě energie.



Zdroj: Eurostat

Rozložení spotřeby energie v domácnostech jasně ukazuje, že převážná část energie se spotřebovává na vytápění. Pomocí promyšlených energeticky úsporných opatření lze snížit spotřebu energie u komplexně rekonstruovaných domů až o 90 %.



Problémem u rodinných domů je jejich obrovská konstrukční a tvarová rozmanitost, která neumožňuje zjednodušení postupu návrhu komplexních rekonstrukcí a jejich případné opakování, jak ke tomu v případě panelových bytových domů. Zobecnování brání i stav těchto domů, který je velice rozdílný, dle způsobu užívání a použitých

stavebních materiálů. S tím úzce souvisí pak i cena opatření, která bývá ve většině případů stejně jako projekt, naprosto individuální. Následující rozdělení dle období výstavby a popis stávající zástavby rodinných domů je víceméně rámcové, a v jednotlivých kategoriích se objevuje nepřeberné množství odlišností materiálových, konstrukčních i dispozičních, daných zejména historickými souvislostmi. V tabulce jsou uvedeny na porovnání standardy do nízkoenergetického a pasivního.

Období výstavby	< 60. léta	60.-90. léta		> 90. léta		NED	PD
	1899 - 1979	1979-1985	1985-1992	1992-2002	od 2002		
Bytů v RD	1 649 756	172 601	138 748	112 823	62 649	-	-
e_a [kWh/(m²rok)]	300	200	180	150	130	50	15
U – stěna	1,45 - 1,37	1,39 - 1,19	0,89 - 0,79	0,50	0,38 - 0,30	0,15	0,10 - 0,15
U – střecha	0,89 - 0,83	0,93 - 0,79	0,51 - 0,43	0,41 - 0,36	0,30 - 0,24	0,12	0,10 - 0,12
U – podlaha	2,10 - 1,86	1,90 - 1,34	1,35 - 0,90	0,34	0,30 - 0,24	0,15 - 0,20	0,12 - 0,15
U – okna	2,90	2,90	2,90	1,80	1,70	1,20 - 0,80	0,80

Zdroj: Porsenna

Zdroj: Počet bytů v letech 1960–2006 (ČSÚ), Ekonomie energeticky úsporných opatření (ČEA), ČSN 73 0540-2, Nízkoenergetický dům (HEL 1994), vlastní výpočet

Spotřeba tepla na vytápění je označena v tabulce jako e_a [kWh/(m²rok)], hodnoty U [W/(m²K)] představují součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce. V tabulce je uveden také počet bytů, pro představu, jakou část představují jednotlivé období výstavby.

Popis konstrukčních řešení a použitých stavebních materiálů staveb dle doby výstavby:

RD do roku 1960

Tato kategorie zahrnuje doposud využívané rozmanité stavby z celé naší historie z období kolem před první světovou válkou až po výstavbu v poválečném období. Domy postavené v tomto období tvoří nejvýznamnější a nejpočetnější skupinu objektů vyžadujících rekonstrukce. Celkově se podílí více než 75% na celkovém počtu RD v ČR. Stavební materiály obvodových konstrukcí zde užití jsou různé, nejvíce však kámen, nepálené cihly, pálené cihly nebo jejich vzájemná kombinace. Tloušťka obvodových stěn se pohybuje mezi 40 až 70 cm. Většinou se jedná o jednoduché domy s obytným přízemím, sedlovou střechou a půdou původně využívanou ke skladování sena. Stropy nad přízemím jsou vesměs dřevěné trámové s prknovým záklopem později pak stropy z ocelových nosníků a železobetonových vložek. Zakládání těchto domů je povětšinou přímo na terénu, bez hydroizolace a mnohdy jen s omezenou hloubkou kamenného základu. Při rekonstrukcích si právě spodní část domů vyžaduje velkou pozornost z hlediska tepelné ochrany, vlhkostních problémů či ochrany pro-

ti radonu. Konstrukce podlah je u těchto domů převážně dřevěná na terénu. Okna jsou většinou špaletová dřevěná. Mnohdy se u těchto domů projevují statické či jiné poruchy způsobeny převážně vlhkostí, takže jsou nutné i zásahy do nosné konstrukce.

RD z období 1960 - 1990

V tomto období se začali prosazovat zdící materiály jako keramické bloky o tloušťce 250 – 400 mm či tvárnice ze škvárobetonu, později pak pórobetonu o tloušťce 300 – 400 mm. Z nich byli v tomto období stavěny zejména patrové domy s plochou střechou. Tyto stavby již mají kvalitnější betonové základy s betonovou základovou deskou a hydroizolací proti vztlínající vlhkosti. Značná část domů této doby je podsklepena částečně nebo pod celým objektem, mnohdy s integrovanou garáží. Podlaha nad sklepem / terénem obvykle není izolována. Stropy tvoří většinou různé vložkové stropní systémy keramické i betonové, či monolitické železobetonové konstrukce. Okna jsou vesměs dřevěná špaletová. Nové stavební materiály té doby umožnili u těchto staveb využití plochých střech. Většina prvních systémů jednoplašťových střech navrhovaných v 60. až 70. letech se potýkalo s problémem kondenzace vlhkosti, porušením vrstvy hydroizolace či jinými škodami ovlivňujícími funkčnost střechy. Další vývojový stupeň - dvouplášťové konstrukce střech jsou kromě bezpečnější konstrukce izolovány plynosilikátovými tvárnicemi, struskou, pěnosklem nebo později polystyrenem (tl. 50 – 60 mm) či rohožemi z minerálních vláken (tl. 60 – 120 mm). Valbová nebo sedlová střecha nad obytným podkrovím byla již izolována izolací z minerálních vláken mezi krokvy o různé tloušťce, nejčastěji však 60 – 120 mm.

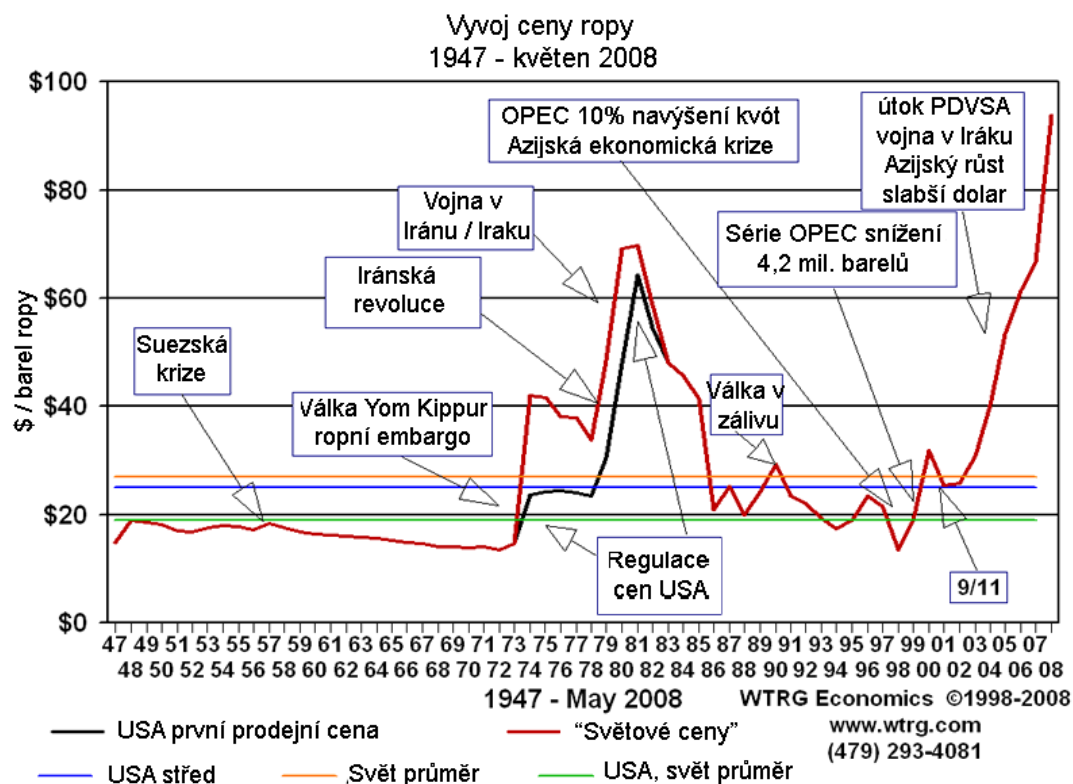
RD z období 1990 – 2000

Rozmanitost používaných materiálů a konstrukcí RD od devadesátých let 20. století je obrovská, ať již v praxi ověřených nebo nikoli. Důležité je, že z hlediska požadavků současné platné normy ČSN 73 0540-2 na tepelnou ochranu budov v podstatě nevyhovuje naprostá většina konstrukcí obvodových konstrukcí, zbytek je na hranici normových požadavků. Pro okna a dveře se začínají používat již těsnější plastové rámy a izolační dvojskla, které ovšem také ve většině případů nesplňují současné normové požadavky na výplně otvorů.

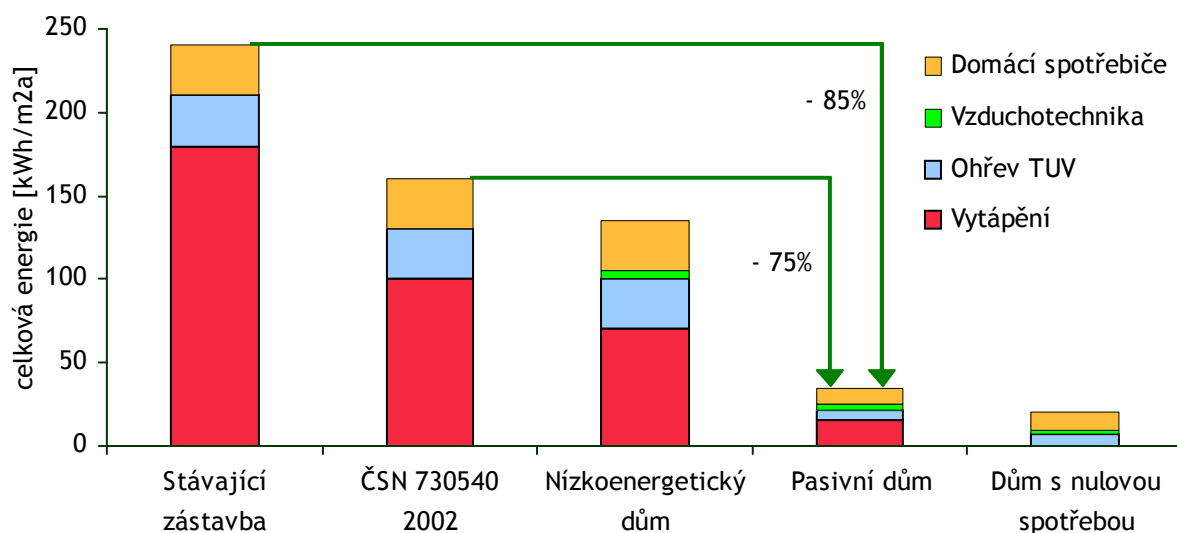
2. Když už, tak už! Rekonstrukce na pasivní či nízkoenergetický standard.

Ceny energií stoupají a na snižování energetické náročnosti je, dá se říct, nejvyšší čas. Starší zástavba skýtá obrovský potenciál energetických úspor, který je dosažitelný komplexními rekonstrukcemi, tak proč jej nevyužít. V zahraničí se mluví o Faktoru 10, neboli o desetinové spotřebě energie na vytápění po rekonstrukci. To znamená, že z domů, které se pohybují se spotřebou energie na vytápění na hodnotách kolem 250 kWh/(m²rok) lze po rekonstrukci dosáhnout hodnot 25 kWh/(m²rok) a mé-

ně. V době, kdy není docela jasná budoucnost cen energií se tyto opatření jeví jako nevýhodnější investice. U rekonstrukcí není nejdůležitější dosažení hranice pasivního standardu, tedy spotřeby energie na vytápění 15 kWh/(m²rok), ale spíš co nejvyšších ekonomicky odůvodnitelných energetických úspor oproti původnímu stavu.



Obr. Nepříliš optimistický vývoj cen ropy na světových trzích nahrává úsporným stavbám.



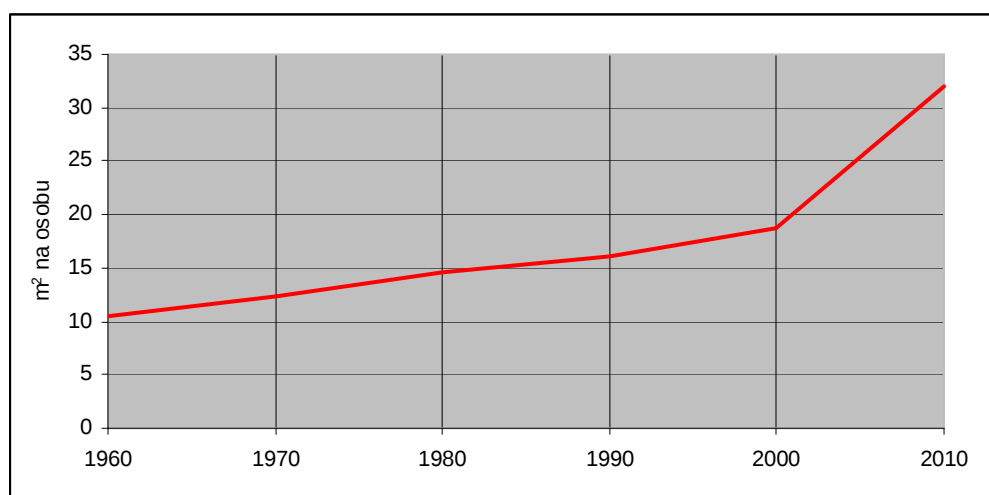
Obr. Naopak optimističtější pohled na možné úspory při rekonstrukci na pasivní standard.

Ovšem nejedná se jen o energetické úspory, které mohou posloužit jako motivace pro investory. Neméně lákavé je také navýšení komfortu či kvality vnitřního prostředí. Teplé povrchy stěn a oken vytvářejí Dokonalé větrání prakticky bez tepelných ztrát zabezpečuje neustálý přísun čerstvého vzduchu. U rekonstruovaných objektů má

vzduchotechnika i jiné opodstatnění. Utěsněním objektu se sice zmenší tepelné ztráty, ale mohou nastat problémy se zvýšenou vlhkostí, nevětrá-li se dostatečně. Se systémem vzduchotechniky se nemusíme obávat plísní či roztočů, protože vlhkost je odvětrávána kontinuálně.

Samozřejmě při komplexní rekonstrukci je také navýšení hodnoty nemovitosti nebo možnost změny vnitřních dispozic s případnou přestavbou doposud neobývaných prostor.

Bydlení nebo životní styl prošel v posledních třiceti letech zásadnou změnou. Přiznejme si, že pravdy, jako „hlavně, že je tady sucho a teplo, nebo že máme střechu nad hlavou“ již dávno neplatí. Uživatelé chtějí od prostorů, kde tráví přes polovinu svého života, víc než jen základní vybavení. Také obytná plocha na osobu dnes činí v průměru přes 30 m², tolik jako nikdy předtím (Obr.) Ovšem není to jen o obytné ploše, ale i o vybavení domácností a v současnosti si většina obyvatel nedokáže představit žít v takových podmínkách, jako před třiceti léty. Zvyšují se požadavky na použité vnitřní vybavení, povrchové úpravy, podlahy, zařizovací předměty a pod.



Obr. Vývoj obytné plochy na osobu v ČR

Je důležité snažit se provádět co nejlepší možné energetické řešení budov vzhledem k dostupným informacím v dané době. Nesprávně provedená renovace může doslova škodit po řadu let, jelikož prvky a změny se navrhují na životnost po dobu celého životního cyklu (25 – 30 let). Během této doby mnohdy nelze z finančních i morálních důvodů opětovně vylepšovat stejné prvky. Příklad z běžné praxe - zateplením domu 5 cm polystyrénu v době, kdy víme, že i 20 cm izolace není zbytečností, se zamezí radikálnímu vylepšení hospodárnosti celého objektu po dobu minimálně 20 let. Taková nevhodná řešení mohou při nárůstu cen energií způsobit velké znevýhodnění objektu.



Obr. Porovnání: 5 cm polystyrenu a 20 cm polystyrenu s příměsí grafitu na druhém obrázku. Cena zateplovacího systému je jen asi o 20% vyšší, ale úspory během 30-ti letého životního cyklu jsou několikanásobné

Novostavby jsou zpravidla finančně o mnoho náročnější než rekonstrukce. V případě, že nosné konstrukce jsou vyhovující, je ekonomicky výhodnější objekt rekonstruovat. Stávající objekty bývají obvykle na žádaných místech se zaběhlou infrastrukturou, nové pozemky kvůli obsazenosti zase na okrajích, v satelitních čtvrtích, předměstích apod. Případná demolice budovy si vyžaduje značné náklady spojené se samotným odstraněním stavby a následným uložením odpadu. Bez započtení nákladů na demolici činí renovace objektů na pasivní standard běžně mezi 30 – 50 % ceny novostavby dle stavu objektu. Jedná se současně o velké časové úspory, protože většina prací při obnově může probíhat alespoň za částečného provozu. Výhodou je, že renovaci lze provádět i s omezeným rozpočtem, rozdělením na vhodné etapy (varianty), přičemž objekt je stále v provozu.

Rekonstrukce kromě finančních úspor výrazně méně zatěžují životní prostředí. Stavební materiály obsahují velké množství svázané energie spotřebované při jejich výrobě. U rekonstrukcí se množství použitého materiálu značně redukuje a odpadá mnohdy potřebná demolice a náklady spojené s uložením stavebního odpadu.

Obnova budov obecně, a zejména na pasivní standard, s sebou nese řadu problémů v různých oblastech. Množství koncepčních a technických predispozic si vyžaduje komplexní přístup a často i složitější řešení detailů. Základem je kvalitní koncept renovace, případně i více variant s celkovým zhodnocením přínosu a úspor. V neposlední řadě rekonstrukce, například panelových a bytových domů, vyžadují zdoluhavé jednání s vlastníky bytů, vytrvalou a kvalitní osvětu, jednoznačné vyčíslení přínosů a ukázky zdařilých příkladů. Jen tak se lze vyhnout částečným řešením, která mohou narušit celkovou kvalitu a opodstatněnost vynaložených prostředků. Bohužel jsou v našich podmínkách krátkozraká řešení zatím běžná, a jen několik osvědčených investorů se může chlubit a užívat si komplexních obnov a navýšení standardu.

2.1. Kdy tedy dochází ke rekonstrukcím domů a jaké jsou motivace investorů?

K rekonstrukcím dochází ve dvou hlavních případech:

Rekonstruovat musíme, protože:

- dům vykazuje konstrukční poruchy – zatéká do domu, vlhnou vnitřní povrchy stěn (plíseň), vnitřní instalace jsou již zastaralé, porouchá se systém topení, omítka opadáva a potřebuje vyspravit
- selhal systém topení nebo se vyskytne závada na zastaralých instalacích
- stávající objekt je neobývatelný – například při změně majitele u starších objektů, či změně typu užívání – například u přestaveb nebytových prostor na bytové

Rekonstruovat chceme, protože:

- účty za topení jsou příliš velké
- je studená podlaha, nebo táhne přes škvíry kolem oken či dveří
- vnitřní dispozice jsou nevyhovující (nedostačující), zejména při změně majitele
- prvky domu (např. okna, fasáda, podlaha, atd.) jsou sice ještě jakž takž funkční, ale zastaralé a majitelům nevyhovují

Důvody jsou různé a mnohdy jde o kombinaci uvedených případů. Každopádně, jestli je důvodů pro renovaci dost, je vhodné se rozhodnout pro nejlepší možná opatření. Jenom tak se vyhneme stavu, kde již za několik let může být nemovitost technicky zastaralá a její cena na trhu nebude o moc vyšší oproti předcházejícímu stavu.

2.2. Smysluplná opatření aneb zásadné rozhodnutí investorů

Je-li pro renovaci rozhodnuto, je nutné si ujasnit způsob jakým bude rekonstruováno, s tím spojená opatření a jejich rozsah. Mnohdy jsou tyto zásadní rozhodnutí pro majitele nejproblematictější a vyžadují si nejvíce času na přemýšlení.

Pro zjednodušení a zkvalitnění procesu rozhodování je vhodné si zodpovědět několik základních otázek:

- *Jakého cíle či výsledku má být dosaženo celkovou rekonstrukcí?*
- *Jsou energeticky úsporná opatření prvořadá, nebo jsou spíše vedlejším produktem celé rekonstrukce?*
- *Kolik financí je k dispozici pro komplexní rekonstrukci, a jaké jsou časové možnosti, nakolik zatížit domácnost?*

Při přípravě projektu samozřejmě projektant navrhne možná řešení, přesto však musí mít investor jasno v jeho motivaci a prioritách. K tomu mohou sloužit další otázky:

- *Co je důležité pro mne jako investora a kde jsou mé priority?*

V případě, že je pro nás zde důležitý komfort a do energetických úspor nejsme ochotni investovat, je to rozhodnutí, s kterým se nedá nic dělat a přesvědčování by spíše mohlo působit během celého procesu problémy. Je ovšem vhodné abychom

měli co nejvíc dostupných informací o výhodách či nevýhodách a případných dopadech řešení, a jenom pak učinili volbu. Mnohdy však energetické úspory a komfort jde ruka v ruce, a pak je otázkou, zdali učinit jen estetické či opravdu nezbytné úpravy, nebo jít do komplexní rekonstrukce s opravdovým navýšením standardu.

- *Které části domu musí být v každém případě rekonstruovány, a které si obnovu nevyžadují?*

U některých prvků je již nezbytná rekonstrukce, např. podlahy či střešní krytina. U prvků, které budou obnoveny by se měli volit co nejlepší řešení bez kompromisů. Jen tak si budeme jisti, že v případě výměny dalších prvků nebudeme zbytečně hendikepováni od dosažení vyššího standardu. V případě, že nemáme k dispozici dostatek financí, je možné rozdělit rekonstrukci do vhodných etap. To je již na projektantovi navrhnout opatření tak, aby bylo možné na ně jednoduše navázat bez navýšení nákladů. Neměla by být porušena logika věci, aby se například neměnil systém vytápění a regulace, když pak po snížení energetické náročnosti bude zdroj a otopný systém zbytečně předimenzovaný a podobně.

- *Je potřeba počítat do budoucna s variabilitou prostoru či technologií?*

V některých případech je vhodné už ve fázi projektu počítat s možností např. dostavby nebo změny dispozice (např. vytvoření samostatné bytové jednotky či jednoduché rozdělení místností), což umožní jednoduché změny bez vážnějších zásahů do konstrukce. Obdobně je výhodnější a levnější během rekonstrukce udělat si přípravu přípojek a rozvodů třeba na solární kolektory či fotovoltaiku, a pak jenom tyto prvky jednoduše připojit.

Následující tabulka shrnuje možná opatření a jejich přínos pro uživatele.

Opatření	Přínos pro uživatele	Energetický přínos / úspory
Obnova a zateplení fasády	Zvýšení povrchové teploty, snížení možnosti kondenzace (eliminace tepelných mostů), vysušení zdí, možnost využití prostoru u obvodových stěn pro umístění nábytku bez obavy vlhnutí	30 – 45 %
Tepelná izolace střechy, případně zobytnění půdního prostoru	Zvýšení povrchové teploty v místnostech, ochrana proti letnímu přehřívání, dodatečný cenově výhodný obytný prostor, optické vylepšení vzhledu objektu	10 – 15 %
Výměna případně zvětšení oken, zasklení trojskly	Zvýšení míry přirozeného osvětlení místností, možnost umístit otopné plochy kdekoli v místnosti – není nutnost tepelné clony	15 – 20 %
Tepelná izolace podlah, soklu	Zvýšení teploty podlahy – uživatelský komfort	5 – 15 %
Nucené větrání s rekuperací tepla	neustále čerstvý vzduch o pokojové teplotě – kvalita vnitřního prostředí, účinné odvětrávání vlhkosti – zabránění tvorbě plísní, snížení hluchosti, prašnosti, průvanu při větrání okny	10 %
Obnova systému vytápění, izolace	Uživatelský komfort spojený s obsluhou systému, lepší regulovatelnost	15 – 30 %

rozvodů, regulace		
Solární kolektory	Vnitřní spokojenost s využíváním OZE	až 70 % na přípravě TUV

Celkový potenciál úspor ovšem není jen pouhým součtem hodnot, protože realizací jednoho opatření se snižuje potenciál úspor dalších opatření. Energetický přínos jednotlivých opatření je udáván z původního stavu, tedy např. po zateplení obvodových stěn se sníží potřeba energie na vytápění a tím i podíl energie, kterou lze ušetřit dalšími opatřeními.

Důležitým faktorem, jenž značně ovlivňuje skutečně dosažené energetické úspory, je kvalita provedení. Detailní návrh opatření a precizní prováděcí projektová dokumentace je základem úspěchu při samotné realizaci. Dále je to v rukách zkušených řemeslníků, kteří v spolupráci se stavebním dozorem provedou tyto opatření.

2.3. Jak postupovat při koupě nemovitosti s ohledem na příští energetická opatření, jaké jsou nevhodnější objekty na komplexní rekonstrukci?

Nemovitosti se neustále kupují a prodávají. Pro ty, kteří ještě dům nevlastní, se proces návrhu energeticky šetrných opatření začíná již při jeho výběru. Při zvažování, jak vybrat ten správný dům, abychom do rekonstrukce neinvestovali nadměrně financí, nebo jaké kritéria či aspekty jsou důležité, pomůžou následující informace či otázky.

- *Víme spotřebu energie na vytápění od předcházejících majitelů, případně při jakém režimu tuto spotřebu dosahovali?*
- *Kolik finančních prostředků je k dispozici na koupi domu a pak na rekonstrukci?*

Zde je vhodné stanovit si přibližné čísla, kolik by nás stála rekonstrukce konkrétního domu. V případě omezených prostředků je vhodné hledat menší objekt, kterého i rekonstrukce bude stát méně, než obnova velkého domu.

- *V jaké vzdálenosti od potřebného občanského vybavení nebo místa zaměstnání se dům nachází a jaké jsou možnosti dopravy?*

Výsledná energetická spotřeba domácnosti nezahrnuje jenom spotřebu tepla na vytápění ale i spojenou spotřebu energie na dopravu členů domácnosti. Tato spojená spotřeba a výdaje mohou lehce překročit výdaje domácnosti na vytápění či ohřev teplé vody. Představa pasivního domu „na samotě u lesa“ se nedá nazvat šetrnou k životnímu prostředí. Nesporně vhodnější jsou lokality s dostatečně častou hromadní dopravou, případně přímo se základním občanským vybavením (škola, obchod, atd.). Vhodné místo zároveň šetří cenný čas, který místo dopravě, můžeme věnovat důležitějším věcem.

- *Jakou hodnotu mají hlavní části obálky domu (střecha, stěny, okna, podlahy) a v jakém stavu jsou?*

Tuto část mnohdy budoucí majitel, jako laik, nedokáže kvalifikovaně posoudit a je někdy vhodnější nechat si vypracovat odborný posudek nebo alespoň jít s odborníkem na obhlídku. Již v této chvíli je vhodné si sepsat seznam částí, které

bude nutné vyměnit případně obnovit, s ohledem na rekonstrukci v pasivním či nízkoenergetickém standardu. Tu se často dostává investor do rozporu, jelikož některé komponenty mohou být ještě funkční a relativně nové, ale pasivnímu či nízkoenergetickému domu určitě nevyhoví. Například co dělat jestli je střecha nově pokryta ale nemá dostatečné tepelně izolační parametry? Je lepší shodit tašky a přidat izolaci mezi a nad krokve a znova tašky položit? Anebo je lepší přidat izolaci zevnitř pod krokve a mezi ně, i když se tím zmenší obytný prostor? Do obdobných potíží se můžeme dostat u oken. Na domě jsou třeba deset let staré plastová okna s dvojskly, s hodnotou $U = 1,6$, které pravděpodobně budou bez velkých potíží funkční ještě dalších 20 let. Skýtá se otázka - vyměnit je za kvalitnější okna s trojskly, kde mohu využít možnost zvětšení otvorů a větší světelnosti, nebo jen vyměnit skla za kvalitnější? S původními okny požadovaných úspor určitě nebude možné dosáhnout. Při výměně oken je však možné zvýšit světelnost, což umožní větší solární zisky a zároveň sníží spotřebu elektřiny na osvětlení. Na tyto otázky neexistují jednoznačné odpovědi a je nutné volit individuální řešení pro daný případ.

- *Jaký typ domu je nejvhodnější pro rekonstrukci na pasivní či nízkoenergetický standard?*

Nejvhodnější z hlediska ekonomické rentability jsou jednoznačně domy vystavěné v 30. až 60. letech, v kterých beztak většina prvků vyžaduje renovaci či výměnu. U takových domů není problém rozkopat starou podlahu kvůli zaizolování nebo dostatečně zaizolovat střechu při výměně krytiny, protože tyto úpravy by se dělaly tak či onak. V takových případech je lehčí dělat i radikálnější změny jako podkrovní vestavba a nový krov, či zvětšení okenních otvorů, atd.

Nejméně vhodné pro komplexní rekonstrukce jsou naopak domy ze 70. až 90. let, které jsou povětšinou v udržovaném stavu a nutně nepotřebují rekonstrukci, až na ty účty za topení. Takové domy jsou současně nejdražší, protože jsou zcela funkční a bez poruch, což je zohledněno i v jejich vyšší prodejní ceně. Energetická sanace je v takových případech nadmíru potřebných opatření a nedá se nazvat ekonomicky rentabilní, protože jsme jednou již zaplatili za prvky, které chceme měnit.

2.4. Je možné dosáhnout pasivního standardu u všech rekonstruovaných domů?

Teoreticky ano, ale prakticky ne. Prakticky u naprosté většiny rekonstruovaných objektů je dosažení pasivního standardu, tedy spotřeby tepla na vytápění pod 15 kWh/(m²rok), velice obtížné. Jednak je to dáno nevýhodným tvarovým poměrem, kdy u menších objektů je dosažení těchto hodnot složitější, nežli u větších kompaktních objektů, jakými jsou kupříkladu obytné domy. Dále je již dané umístění na pozemku a otočení ke světovým stranám. Často jsou objekty v stávající zástavbě orientovány nevýhodně, mnohdy i se značným stíněním. Takový handicap není zpravidla možné vyrovnat ani sebevětší snahou navýšit tepelně izolační parametry obálky. Obecně je však možné poměrově dosáhnout úspory až 90%, a je nutné připomenout, že nejde

o dosažení čísla 15. Jde hlavně o smysluplná a efektivní rozhodnutí přinášející ekonomické i kvalitativní navýšení standardu ke spokojenosti uživatelů.

U některých objektů není možné z různých důvodů (např. přílišná tloušťka stěn, narušená statika) dosáhnout radikálních úspor, bez větších konstrukčních zásahů či zvýšených nákladů. Často u domů se značnými konstrukčními poruchami vypadá rekonstrukce i tak, že ze stávajícího domu zůstane pouze jedna stěna, aby se to dalo nazvat rekonstrukcí. Ovšem zde je na místě otázka: „Oplatí se vůbec v takových případech rekonstruovat, nebo je lepší dům zbořit a postavit nový podle vlastních představ?“ U nového domu bychom mohli změnit koncepci domu tak, aby vyhovoval nám a současně i požadavkům na co nejnižší energetickou náročnost.

3. Energeticky úsporná opatření

3.1. Sanace versus rekonstrukce

Pod sanací rozumíme opatření na nápravu vzniklých poruch, např. zamezení vzlínání vlhkosti do zdiva či opravě porušené omítky. To jsou tedy nutné opatření k dosažení původní funkčnosti konstrukce. Pod rekonstrukcí však rozumíme komplexní opatření, vedoucí k zlepšení estetických, konstrukčních i funkčních vlastností stavebních částí (tedy i sanační opatření), do stavu, který je minimálně v souladu s platnou státní normou. Tedy, je-li objekt rekonstruován, měli by být dodrženy minimálně požadavky, které nám ukládá státní norma, a to nejen na tepelnou ochranu, ale i na vnitřní rozvody, technické zabezpečení budov či požární ochranu. V následující části, kde se budou rozebírat energeticky úsporná opatření, budeme vycházet ze stavu, kdy se porovnávají řešení požadované normou a na dosažení pasivního či nízkoenergetického standardu. Tyto hodnoty jsou brány do úvahy i při ekonomických porovnáních.

3.2. Hlavní prvky rekonstrukce

Některé zásady návrhu pasivních domů již nejde u stávající zástavby změnit a hlavní energeticky úsporná opatření, které vedou k dosažení pasivního či nízkoenergetického standardu u rekonstrukcí pak jsou:

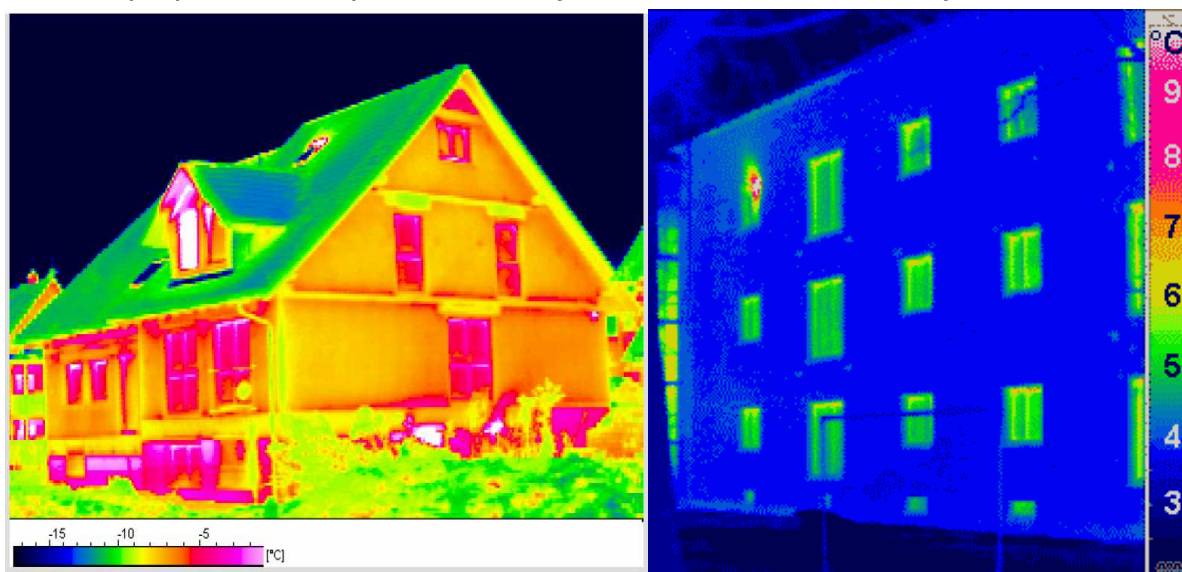
- izolování obvodových stěn 15 – 25 cm izolace, eliminace tepelných mostů a vazeb
- výměna oken za okna s trojskly a kvalitními rámy
- izolování střechy spolu asi 35 – 50 cm izolace
- izolování podlah, základů, soklu, případně sklepa či nevytápěných prostor
- utěsnění obálky budovy, provedení testu neprůvzdušnosti
- instalace nuceného větrání s rekuperací tepla
- zateplení rozvodů teplé vody, renovace otopné soustavy a regulace

3.3. Nejhlavnější pojmy, něco málo ze stavební fyziky

Některé pojmy, které se budou v další části uvádět, je vhodné pro lepší pochopení principů předem objasnit. Technických parametrů, které definují vlastnosti materiálů, či už izolačních či konstrukčních (nosných), je více. Ty které nás u rekonstrukcí budou zajímat nejvíce jsou:

- **Součinitel tepelné vodivosti** λ (lambda) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], udává schopnost látky vést teplo. Lze jej definovat jako výkon (tzn. teplo za jednotku času), který projde každým čtverečním metrem desky tlusté metr, jejíž jedna strana má teplotu o 1 Kelvin vyšší než druhá. Čím je tato hodnota menší, tím je nižší schopnost materiálu vést teplo, tedy má lepší izolační vlastnosti.
- **Tepelný odpor** R vychází z tepelné vodivosti, kde je započtena tloušťka materiálu. Je možné ho vypočítat ze vztahu: $R = d / \lambda$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], kde d je tloušťka materiálu. Čím je tato hodnota vyšší, tím vyšší teplotní odpor je kladen materiálem a izolační schopnosti konstrukce jsou lepší. Je-li materiálů v skladbě konstrukce víc, odpory jednotlivých vrstev se spočítají.
- **Součinitel prostupu tepla** U je obrácenou hodnotou tepelného odporu a vypočítá se ze vztahu $U = 1 / R$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]. Tato veličina udává kolik wattů projde konstrukcí při teplotním rozdílu 1 K. Čím je nižší hodnota U , tím jsou lepší izolační parametry dané konstrukce a méně tepla přes ní uniká ven.
- **Objemová hmotnost** ρ (ró) udává hmotnost jednoho m^3 materiálu v kilogramech. Obecně platí, že se zvyšující se objemovou hmotností, se zvyšuje tepelně-akumulační schopnost materiálu. Izolační materiály mají většinou nízkou objemovou hmotnost a tedy i schopnost akumulovat teplo. Tato skutečnost má vliv například při letních teplotních špičkách, kde samotné izolace až tak efektivně nechrání před letním přehříváním.
- **Difúzní odpor** vyjadřuje schopnost materiálu přepouštět molekuly vodní páry. Nejmenší odpor vodním parám klade vzduch a největší naopak materiály jako sklo, nebo kov. Poměr mezi difúzním odporem tloušťky nějakého materiálu a difúzním odporem vrstvy vzduchu o stejné tloušťce se nazývá **faktor difúzního odporu** a označuje se řeckým písmenem μ (mí). Je to bezrozměrná veličina. Čím tlustší je vrstva materiálu, kterou se snaží vodní pára proniknout, tím větší klade difúzní odpor. Těsnost materiálu se rovněž udává pojmem **ekvivalentní difúzní tloušťka**; značí se jako rd (podle německých norem jako sd) a vyjadřuje, jak tlustá by musela být vrstva vzduchu, aby kladla stejný difúzní odpor jako daný materiál. Platí zde tedy vztah: $rd = \mu \cdot D$ [m], kde d je tloušťka materiálu v metrech. Některé materiály jsou pro vodní páru prakticky nepropustné: např. kovy, sklo, kaučuk či některé plasty. Mají tedy velmi vysokou hodnotu μ , resp. rd . Naopak beton, polystyren, minerální vata, dřevo, sádkokarton, PE folie, asfaltové lepenky atd. jsou propustné a za nějaký čas jimi vodní pára pronikne, a vyrovnají se tak tlaky na obou stranách materiálu. U vícevrstvých konstrukcí se ekvivalentní difúzní tloušťky jednotlivých materiálů sčítají.

- **Tepelný most** je místo, ve kterém dochází ke zvýšenému tepelnému toku, jde vlastně o jakousi lávku pro průchod tepla (a tím i vstup zimy) přes okolní místa s dobrou tepelnou izolací. Uniká jím více tepelné energie a má v interiéru studenější povrch a naopak v exteriéru teplejší povrch než okolní konstrukce. Průvodním jevem často pak bývá kondenzace vlhkosti na ochlazovaném místě tepelného mostu a možnost s tím souvisejících poruch, jako růst plísní a pod. Nejčastějšími místy tepelných mostů jsou různá napojení konstrukcí např. napojení obvodové stěny a podlahy v místě základu, napojení okna na obvodovou stěnu, napojení střešní konstrukce na obvodovou stěnu, atd. Obr. () ilustruje jak se ukazují u běžných staveb tepelné mosty (červená barva je teplejší místo, které propouští víc tepla zevnitř) v porovnání s pasivními domy, takřka dokonale izolovanými.



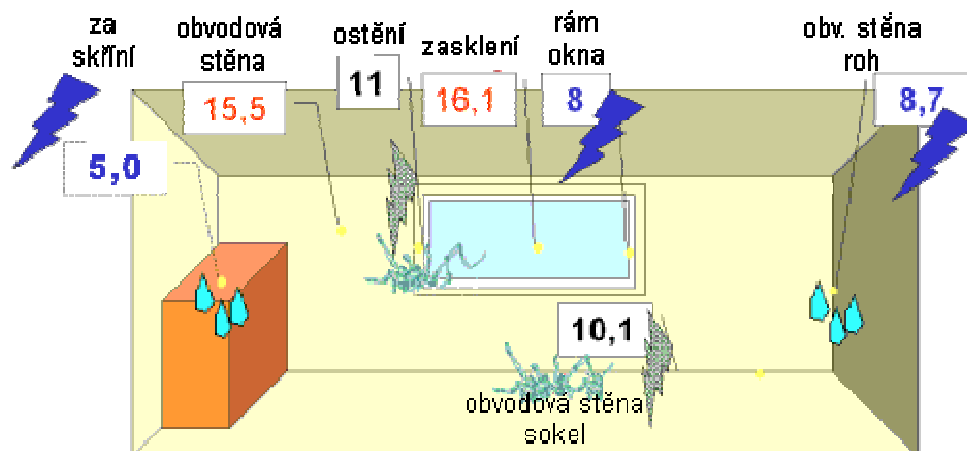
Obr. Porovnání domu běžného, který je takřka tepelný zářič, a domu pasivního minimálními úniky tepla obálkou.

- **Rosný bod** je teplota při které dochází ke kondenzaci neboli zkapalnění nasycených vodních par (tedy relativní vlhkost vzduchu zde dosáhne 100 %). **Relativní vlhkost vzduchu** udává poměr naměřeného obsahu vodních par [g/m^3] k maximálnímu možnému obsahu nasycených vodních par [g/m^3] při určité teplotě – (další navyšování obsahu by už zde způsobilo zkapalnění). Relativní vlhkost vzduchu se mění s měnící se teplotou. Čím je nižší teplota vzduchu, zvyšuje se. V praxi to znamená, že když třeba vzduch o teplotě 20 °C má relativní vlhkost vzduchu 45 % obsahuje 6,7 g/kg vodních par. Zchlazením tohoto vzduchu na 8 °C, tzv rosní bod, se zvýší relativní vlhkost na 100% a dochází ke kondenzaci vodních par. Z tohoto hlediska jsou tepelné mosty a vazby velice nebezpečné, aby na ochlazovaných místech nedocházelo ke kondenzaci vodních par a škodám na konstrukcích.

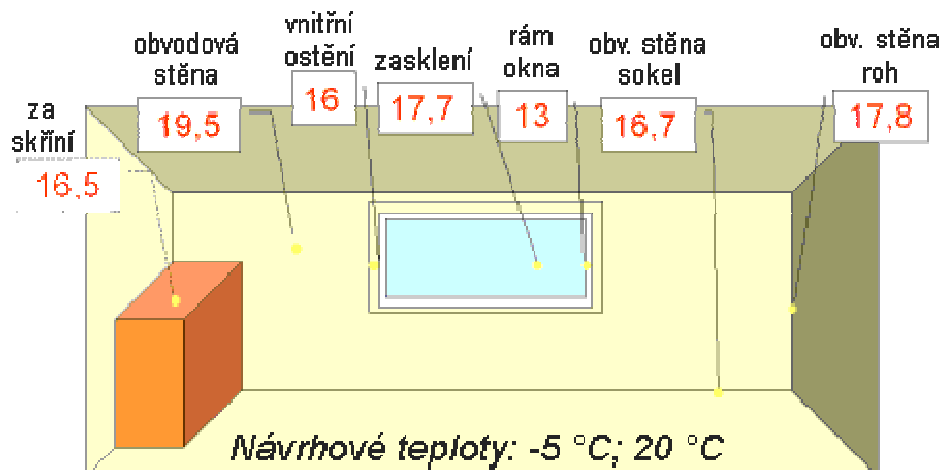
Následující příklad při vnější teplotě -5 °C a vnitřní teplotě 20 °C ukazuje jasně na možnost kondenzace a vzniku růstů plísní na místech jako jsou rohy, rám okna či soklu a to již při relativní vlhkosti vzduchu 55 %! Povrchová teplota těchto míst je někdy až na úrovni 5 °C. U zatepleného případu s okny s izolačními trojskly jsou vnitřní

povrchy teplé min. 13 °C a ke kondenzaci dochází až po překročení relativní vlhkosti vzduchu 80 %.

Před rekonstrukcí bez vnějšího zateplení



Po rekonstrukci s vnějším zateplením (200 mm)



Obr. Porovnání vnitřních povrchových teplot nezatepleného a zatepleného domu

3.4. Izolace obecně

V dnešní době je na trhu dostatek dostupných materiálů na dosažení potřebných izolačních parametrů a vhodné použití pro danou konstrukci. Z ekonomického hlediska jsou izolace prvky, kterých návratnost pomocí úspor je nejrychlejší a životnost naopak při kvalitním provedení dostatečně dlouhá.

V tabulce je porovnání nejčastěji používaných tepelných izolací v pasivních domech, které jsou běžně k dostání na českém trhu. Cena je kalkulována většinou jako průměr od více výrobců, samozřejmě lze na trhu najít i ceny nižší případně i vyšší, v závislosti od konkrétního výrobku.

typ izolace	součinitel tepelné vodivosti * λ D	faktor difúzního odporu μ	doporučená tloušťka izolace**	orientační cena tepelné izolace – na danou tloušťku a m ² (bez DPH)
cihlová stěna - CPP	0,770	9	6 200	
vzduch	0,026			
expandovaný polystyren EPS	0,035 – 0,040	40-100	230	450,-
EPS šedý s příměsí grafitu	0,031 – 0,33	40-100	200	440,-
extrudovaný polystyren XPS	0,032 – 0,038	100 - 200	240	760,-
pěnový polyuretan PUR	0,024 – 0,028	180 - 200	170	830,-
minerální vlna	0,035 – 0,042	1 - 3	260	970,-
pěnové sklo	0,038 – 0,045	70 000	270	2 800,-
vakuová izolace	0,008		50	3 500, -
celulóza	0,037 – 0,042	1 - 2	250	500,- (včetně aplikace)
sláma	0,045 – 0,065		400	100,-
dřevité desky měkké	0,038-0,046	5	270	850,-
desky na bázi kono-pí	0,040	0,5	270	890,-
desky na bázi lnu	0,040	1	320	1210,-

*) Hodnota součinitele tepelné vodivosti se mění s různou objemovou hmotností a tloušťkou.

**) Tloušťka izolace při vnějším zateplení masivní stavby na úroveň běžnou u pasivních domů – $U = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$. Nosnou vrstvu tvoří plné cihly tloušťky 450 mm (neuvažován vliv omítek). Pro zjednodušení a přehlednost je tato skladba uvažována i u materiálů, které se častěji používají u dřevostaveb. Pro výpočet byla brána střední hodnota (průměr) součinitele tepelné vodivosti λ . Doporučené tloušťky byly zaokrouhleny.

3.5. Typy tepelných izolací

Tepelných izolací je nepřeberné množství. Následující přehled tepelných izolací zdaleka není jejich vyčerpávajícím výčtem, ale je přehledem materiálů běžně dostupných a používaných v českém prostředí.

Expandovaný pěnový polystyren

Je stále ještě nejrozšířenějším tepelným izolantem. Polystyren vzniká jako produkt polymerace styrenu, tedy základní surovinou je ropa. Následně je materiál tepelně zpracován a vypěňován do forem. Bloky se pak řezou na desky požadovaného rozměru. Dalším zpracováním se docílí samozhášivosti (přidávají se retardéry hoření).

Ve stavitelství se používají čtyři základní varianty, které předurčují jeho použití.

Z – základní – nízká přesnost desek, použití: podlahy

S – stabilizovaný – používaný ve střeších

F – fasádní – vysoká přesnost desek (tolerance max. 2 mm), zejména pro kontaktní zateplovací systémy.

Perimetr - materiál má uzavřenou povrchovou strukturou, využívá se tam, kde by mohlo dojít ke kontaktu s vodou – izolace soklu, pod hlavní hydroizolaci ve střeše.

Typ polystyrenu se označuje např. EPS 70 S. Číslo značí pevnost v tlaku v kPa. Běžně jsou k dostání polystyreny tříd 50, 70, 100, 150, 200 a 250.

Materiál dosahuje výborných hodnot součinitele tepelné vodivosti $\lambda_D = 0,036$ W/(m.K) pro EPS 100. Pomocí materiálu s příměsí grafitu, tzv. „šedý polystyren“, je možné dosáhnout ještě nižších hodnot. Výhodou je nižší objemová hmotnost až o polovinu oproti běžnému polystyrénu, což představuje i menší zátěž životního prostředí.

Polystyren nelze dlouhodobě vystavit vlhku. Kotví se buď pouze lepením nebo lepením a mechanicky. Vhodnější je kotvení polystyrenu. Mezi výhody polystyrenu patří jednoznačně jeho nízká cena a snadná dostupnost.

Extrudovaný pěnový polystyren

Tento druh polystyrenu je využíván zejména pro izolaci soklu a základové desky nebo v střeších s obráceným pořadím vrstev. Materiál má díky své struktuře (uzavřeným póram) výrazně sníženou nasákavost a zároveň zvýšenou pevnost. Nelze však vystavovat účinkům UV záření. Na trhu se lze setkat s označením XPS nebo termínem Styrodur. Levnější alternativou k extrudovanému polystyrenu je perimetr polystyren (viz výše).



Obr. Extrudovaný polystyren se používá především tam, kde dochází ke kontaktu tepelné izolace se zeminou. Na obrázku je použití při izolaci soklu seminárního centra v Hostětíně. Pro izolaci vrchní betonové stěny byla použita minerální vlna vkládaná mezi lepené I-profilů.

Pěnový polyuretan PUR

Polyuretan může být ve formě měkké pěny, která zlidověla pod označením molitan. Ve stavebnictví se používá téměř výhradně tvrdá polyuretanová pěna s názvem PUR. Jedná se o účinnou tepelnou izolaci s velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti ($\lambda_D < 0,025 \text{ W/(m.K)}$). Aplikuje se buď přímo na místě nebo je dodáván ve formě desek či tvarovek. Je vhodná pro nadkroevní systémy zateplení. Podobně jako extrudovaný polystyren nesnáší UV záření a je nutné jej před ním chránit.

Minerální vlna

Po pěnovém polystyrenu se zatím u nás jedná o nejrozšířenější tepelnou izolaci. Vyrábí se průmyslově tavením hornin. Surovinou pro výrobu je buď čedič nebo křemen a další sklotvorné příměsi a jako pojivo se používá formaldehyd. Název podle suroviny je potom kamenná nebo skelná vlna. Desky jsou v celém objemu hydrofobizované, ale nelze je trvale vystavit vlhku. Předností je jednoznačně odolnost vůči vysokým teplotám – používají se například v kombinaci s polystyrenem u panelových budov nad požárně dovolenou výškou nebo pro vytvoření požárních pásů. Další výhodou minerální vlny je její nízký difúzní odpor a tím vysoká paropropustnost. Díky této vlastnosti se minerální vlna často úspěšně používá ve skladbách provětrávaných fasád nebo dvouplášťových střechech. Aplikace může probíhat buď klasicky pomocí lepící stěrky kontaktním způsobem nebo vkládáním desek do připraveného dřevěného roštu.



Obr. Výhodou izolace z minerálních vláken je její nehořlavost. Zde při sanaci mateřské školy v Drážďanech na úroveň pasivního standardu bylo vytvořeno nehořlavé ostění okna. Minerální vlna se často používá v kombinaci s polystyrenem.

Pěnové sklo

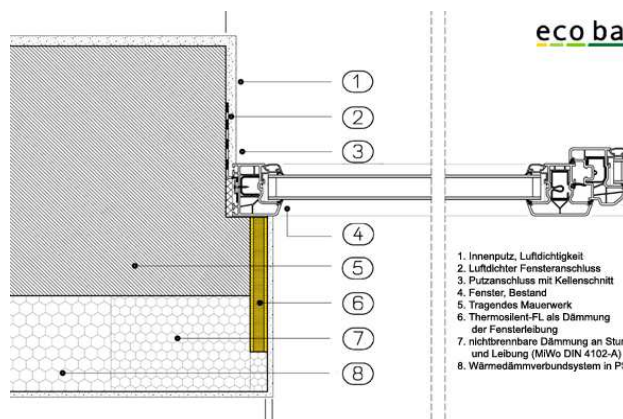
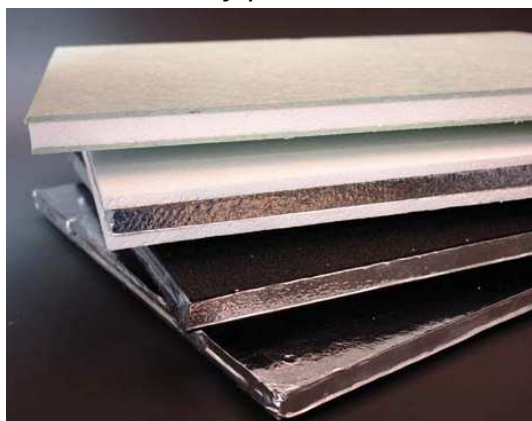
Materiál vzniká ztavením směsi skleněného a uhlíkového prášku. V nově vzniklém materiálu, který je vlastnostmi podobný sklu, se vytváří drobné bublinky, jejichž stěny jsou zcela uzavřené. Tím docílí materiál úplné nehořlavosti a parotěsnosti. V pasivních rodinných domech se v současnosti využívá především pro přerušení

tepelného mostu například u paty nosných stěn. Při sanaci lze využít šterku z drce-
ného pěnového skla kolem základů či v podlaze.

Vakuová izolace

Vakuová izolace patří mezi takzvané high-tech izolační materiály. Dodává se ve formě panelů obalených v metalizované fólii. Plnivo tvoří pyrogenní kyselina křemičitá, která zajišťuje prvku unikátní vlastnosti. Součinitel tepelné vodivosti vakuové izolace v neporušeném stavu se udává $\lambda_D = 0,004 \text{ W/(m.K)}$, do výpočtu se počítá s vyšší hodnotou s přídavkem na stárnutí - $\lambda_D = 0,008 \text{ W/(m.K)}$. Při těchto hodnotách je možné použít k izolování stěny na úroveň pasivního domu pouze 6 centimetrů široký panel.

Je velice perspektivním materiálem pro rekonstrukce, protože mnohdy jsou omezené vnitřní rozměry (světlá výška), nebo není možné použít dostatečnou tloušťku vnější izolace. Použít ji lze jako vnitřní nebo vnější izolaci prakticky pro všechny části objektu - fasády, podlahy, střechy, zejména pro obtížně řešitelné detaily kolem oken, dveří, překladů a podobně. V zahraničí existuje řada úspěšně realizovaných úsporných opatření v pasivním standardu s použitím vakuových izolačních panelů. Cena vakuové izolace je ovšem zatím vyšší oproti ostatním izolacím kolem 2500 – 4000 Kč/m² u tloušťky panelu 4cm.



Obr. Vakuová izolace i v malé tloušťce 3 – 4 cm dokáže zabezpečit dostatečné tepelně izolační vlastnosti jako 20 – 30 cm polystyrenu. Lze ji použít prakticky všude, zejména však pro složité detaily s těžko izolovatelnými místy. (Zdroj eco ba GmbH)

Celulóza

Jedná se o tepelnou izolaci z celulózových vláken, která se vyrábí metodou recyklace starého novinového papíru. Základní surovinou izolace je tedy dřevo. Výroba probíhá smícháním kousků novinového papíru s boritany, které zajišťují jeho odolnost proti hnilobě a požáru. Směs je následně semleta. U nás je tato izolace známá pod názvem climatizer či isocell v zahraničí se lze setkat zejména s termínem iso-floc.

Aplikace se provádí nejběžněji strojově foukáním do připravených dutin stěn nebo stropů. Systém umožňuje izolovat bez spár a řešení komplikovaných a těžko dostupných míst. Při kalkulaci ceny je nutné počítat s koeficientem zhutnění kvůli sedání

materiálu. Do vertikálně umístěné stěny je nutné nafoukat téměř dvakrát větší množství celulózy než do horizontálního stropu.

Mezi další techniky izolace patří volné sypání (především u podlah) a sprayování, které se používá při jednostranně otevřených konstrukcích – v podstatě nahrazuje kontaktní zateplení.

Zvláštní vlastností tzv. „živých izolací“ (všechny izolace na přírodní bázi) je, že do buněčné struktury váží vlhkost a rozvádí ji. V praxi to znamená, že celulóza funguje jako jakýsi piják, který je schopen ze zavlhlého zdiva vysát vlhkost. Ta se neshlukuje, ale je rovnoměrně rozložena v izolaci.

Izolace z dřevitých vláken, konopí a lnu

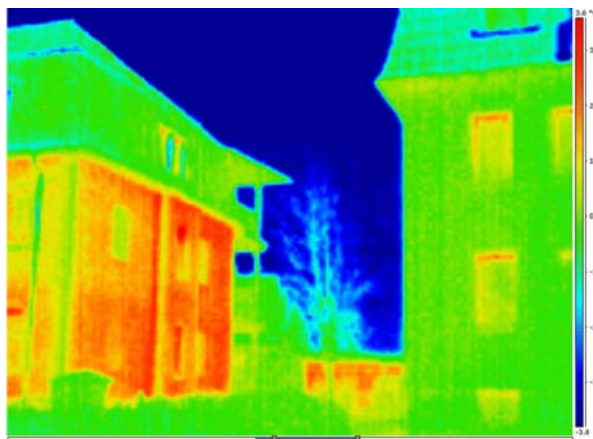
Desky z dřevitých vláken se dají považovat za čistě ekologický materiál, při jejich výrobě nejsou používána žádná lepidla. Mezi velkou výhodou patří mimořádně vysoká tepelná kapacita ($c=2100 \text{ J/kg.K}$), která brání proti přehřívání v letních měsících. Desky jsou dobře paropropustné. Stejně jako u ostatních přírodních materiálů materiál nasaje a uvnitř distribuuje vlhkost. Této vlastnosti se říká sorpční schopnost.

Podobné vlastnosti jako dřevitá vlákna mají také izolace z technického konopí a lnu. Širší rozšíření těchto nových materiálů se teprve očekává v nejbližších letech.

4. Prvky rekonstrukce na pasivní standard

4.1. Izolace obvodových stěn

Stavební materiál obvodových zdí je u rodinných domů natolik rozmanitý, že je složité jej vůbec vhodně seřadit. V předcházející části je uveden stručný popis stavebních materiálů používaných pro obvodové zdi. Není úplně jednoduché zvolit izolační materiál, je nutné návrh přizpůsobit stavu objektu a okolnostem.



Obr. Dva rekonstruované objekty vedle sebe. Vypadají podobně, ovšem jak ukazuje termovizní snímek, jsou kvalitativně značně rozdílné. Na obrázcích levý objekt je rekonstruovaný běžně a pravý v pasivním standardu

Následující tabulka dokumentuje současné požadavky státní normy na součinitel prostupu tepla $U \text{ [W/(m}^2\text{.K)]}$ stěnou s převažující vnitřní návrhovou teplotou $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Je

jasně vidět, že žádný ze zde uvedených materiálů sám o sobě nesplňuje normové požadavky na prostup tepla obálkou budovy. Obecně tyto požadavky splňuje zdivo s 8 – 10 cm izolace, v případě plynosilikátových tvárníc s minimálně 6 cm izolace. Z hlediska neustále zvyšujících se nároků na tepelnou ochranu budov je však vhodné navrhovat minimálně doporučené hodnoty na součinitel prostupu tepla.

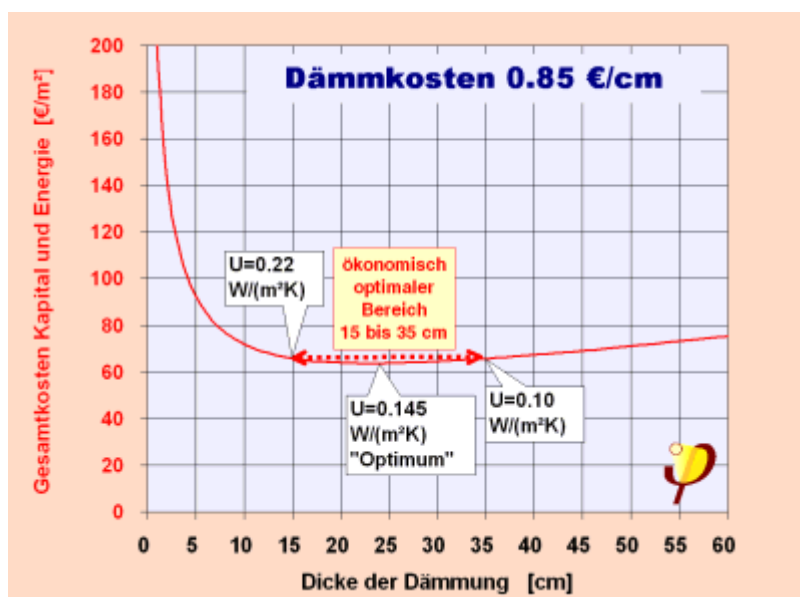
Konstrukce obvodového zdiva	Tloušťka zdiva v cm	Lambda λ W/m.K	Tepelný odpor R m ² K/W	U zdiva W/m ² K	Výsledný součinitel prostupu tepla U po zateplení polystyrénem EPS 100 F (λ 0,036 W/m.K)							
					4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	20 cm	24 cm
EPS 100 F		0,036			0,90	0,72	0,60	0,45	0,36	0,30	0,18	0,15
obyčejný beton	25	1,09	0,23	2,50	0,66	0,56	0,48	0,38	0,31	0,27	0,17	0,14
cihly plné	30	0,77	0,39	1,79	0,60	0,51	0,45	0,36	0,30	0,26	0,16	0,14
	45	0,78	0,58	1,33	0,54	0,47	0,41	0,34	0,28	0,24	0,16	0,13
	60	0,77	0,78	1,05	0,49	0,43	0,38	0,32	0,27	0,23	0,15	0,13
cihly CDM	24	0,51	0,47	1,56	0,57	0,49	0,43	0,35	0,29	0,25	0,16	0,14
	37,5	0,52	0,72	1,12	0,50	0,44	0,39	0,32	0,27	0,24	0,16	0,13
plynosilikát	30	0,19	1,58	0,57	0,35	0,32	0,29	0,25	0,22	0,20	0,14	0,12
	40	0,19	2,1	0,44	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,13	0,11
škvárové tvárnice	30	0,47	0,64	1,23	0,52	0,45	0,40	0,33	0,28	0,24	0,16	0,13
	40	0,48	0,84	0,99	0,47	0,42	0,37	0,31	0,26	0,23	0,15	0,13
CD INA A	36,5	0,34	1,08	0,80	0,42	0,38	0,34	0,29	0,25	0,22	0,15	0,13
tvárnice Calofrig	29	0,33	0,88	0,95	0,46	0,41	0,37	0,31	0,26	0,23	0,15	0,13
	44	0,33	1,34	0,66	0,38	0,34	0,31	0,27	0,23	0,21	0,14	0,12
Porotherm	30	0,19	1,6	0,56	0,35	0,32	0,29	0,25	0,22	0,20	0,14	0,12
	44	0,18	2,5	0,37	0,26	0,25	0,23	0,20	0,18	0,17	0,12	0,11
YTONG	30	0,12	2,5	0,37	0,26	0,25	0,23	0,20	0,18	0,17	0,12	0,11
	36,5	0,12	3	0,32	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	0,15	0,11	0,10

Součinitel prostupu tepla U je se započtením normových odporů při přestupu tepla na vnitřní a venkovní straně stěny $R_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ a $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Legenda:

Hodnoty U nevyhovující požadavkům státní normy ČSN 73 0540-2
Hodnoty U vyhovující požadovaným hodnotám státní normy ČSN 73 0540-2
Hodnoty U vyhovující doporučeným hodnotám státní normy ČSN 73 0540-2
Hodnoty U vyhovující doporučeným hodnotám pro pasivní domy

Z hlediska ekonomické návratnosti je určitá tloušťka izolace, která je optimální, tedy že během životnosti zateplovacího systému uspoří co nejvíce financí po odčítání vstupních nákladů.



Obr. Ekonomicky vhodná tloušťka izolace se pohybuje mezi 15 až 30 cm izolantu. Graf ukazuje celkové náklady na zateplení se započtením ceny energie spotřebované během životního cyklu 30 let (vložený kapitál + cena energií), pro různé tloušťky izolace.

4.2. Možnosti zateplení – rozdělení zateplovacích systémů

Zateplení budov lze rozdělit podle umístění v konstrukci na:

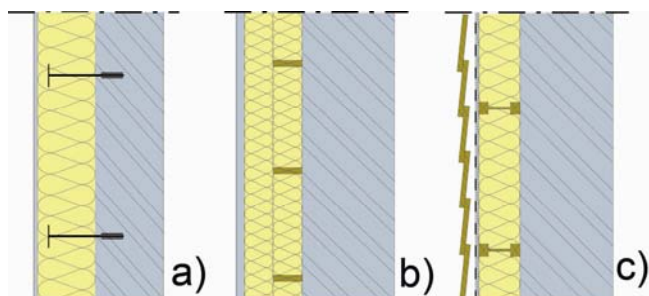
- vnější zateplení
- vnitřní zateplení

Vnější zateplovací systémy lze rozdělit podle aplikace:

- kontaktní zateplovací systémy (tzv. ETICS)
- provětrávané zateplovací systémy

4.3. Vnější zateplení

Vnější zateplovací systémy jsou nečastějším způsobem tepelné izolace objektů. Jejich největší výhodou je celistvost tepelně-izolační vrstvy. Zateplení z vnější strany se provádí buď formou provětrávaných zateplovacích systémů, nebo se používají takzvané kontaktní zateplovací systémy.



Obr. Možností zateplení je víc. Pro různé druhy materiálů jsou vhodné určité způsoby izolování.

- a) kontaktní systém zateplení – lepený celoplošně příp. pojištěný hmoždinkami
- b) rošt z fošinek do kříže
- c) rošt z I-nosníků a odvětrávaná fasáda

Kontaktní zateplovací systémy tvoří jednotlivý celek jednotlivých vrstev systému. Tyto systémy vyžadují pečlivé srovnání podkladu, nejlépe nově nahodit hrubou omítkou.

Zabrání se tím vzniku spár mezi izolačními deskami a nežádoucímu proudění vzduchu s přenosem tepla konvekci. Tepelná izolace slouží v tomto případě jako nosný prvek povrchových vrstev. Povrch fasády tvoří většinou omítka, v ojedinělých případech lepený obklad. Tento systém je v současnosti masivně využíván zejména při obnově bytového fondu. Pro kontaktní zateplení je nejčastěji používán expandovaný polystyren s tenkovrstvou vnější omítkou. U kontaktních zateplovacích systémů někdy hrozí riziko kondenzace vlhkosti v konstrukci. Je to dáno poměrně vysokým difúzním odporem lepidel a vnějších omítek. Navrženou skladbu je vždy nutné prověřit ve výpočtovém programu. Při rekonstrukci budov u lehce zavlhlého zdiva je nutné použít provětrávanou fasádu nebo difúzně otevřený systém zateplení.



Obr. Ukázka zateplení polystyrenem s příměsí grafitu o síle 20 cm. Okno je předsazeno do vrstvy izolace co eliminuje tepelný most vznikající v místě napojení rámu na konstrukci.

Tloušťka izolace není ani u jednoho systému nijak omezena, u větších vrstev je zpravidla nutné ji i mechanicky kotvit.

U provětrávaných zateplovacích systémů se vkládá tepelná izolace mezi nosné prvky roštu (nejčastěji dřevěného), který je připevněn k nosné části zdiva. Rošt je vhodné udělat několikanásobný – dvojitě až trojitě překřížený – pro eliminaci liniových tepelných mostů. Dále je vytvořena provětrávaná mezera o tloušťce min 25 mm a připevněn fasádní obklad (dřevo, cementotřískové desky, keramika a podobně). Souvrství je často doplněno pod vzduchovou mezerou o difúzně otevřenou fólii, která slouží jako pojistná hydroizolace. V tomto systému se v našich podmínkách nejčastěji používá jako tepelná izolace minerální vlna. Je dobře propustná pro vodní páry, které jsou pak odvětrány vzduchovou mezerou a v konstrukci je vyloučeno riziko kondenzace.



Obr. Do předsazeného roštu z latí kotvených do kříže (na obrázku) nebo I-nosníků se pak vkládá měkká izolace. Další vrstvy, např. odvětrávanou fasádu, je možné do těchto prvků kotvit bez vzniku tepelných mostů.



4.4. Vnitřní zateplení

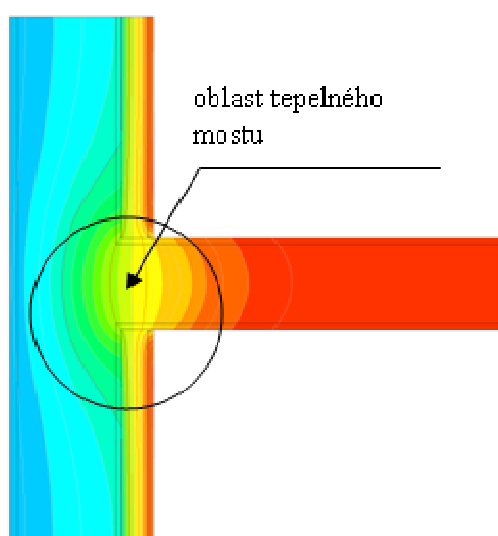
U rekonstrukcí budov je velmi těžké dosáhnout pasivního standardu. Situace se ještě podstatně komplikuje, pokud má budova výraznou a kvalitní fasádu například režné zdivo nebo štukovou výzdobu. Tam, kde nepřipadá vnější zateplení v úvahu je jediným řešením izolace zevnitř. Jak praxe i výpočty ukázaly, z energetického hlediska nemá smysl zateplovat silnější vrstvou než 80 mm. Efekty tepelných mostů stěn a stropů pronikajících izolací jsou totiž velmi výrazné. Při rozumném návrhu vnitřní izolace se lze u historické budovy dostat na $U_{\text{stěna}} = 0,35 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Pro omezení kritických teplot při okrajích tepelné izolace (u podlahy a stropu) je možné použít náběhové klíny, které však nepůsobí v interiéru příliš esteticky [1].

výhody vnitřního zateplení:

- často jediná možnost zateplení historických budov
- možnost provádění celý rok
- snadná realizace bez lešení – nízká cena

nevýhody vnitřního zateplení:

- obtížně řešitelné tepelné mosty
- rozumné pouze v malé tloušťce izolace
- zmenšení podlahové plochy místnosti
- nelze počítat s akumulací vlastnostmi zdiva
- promrzání a vlhnutí vnějšího zdiva



Obr. Na obrázku je výstup z výpočtového programu simulujícího průběh teplotního pole. Při dodatečném vnitřním zateplení vzniká v místě průchodu stropní desky liniový tepelný most, který výrazně zvyšuje tepelné ztráty v tomto místě. Další navyšování tloušťky proto není efektivní.

4.5. Izolace střech

Střechy se obvykle podílejí značnou mírou na tepelných ztrátách objektů. Jedná-li se o menší nebo přízemní objekty, je podíl tepelných ztrát střechou ještě vyšší. Na splnění normových požadavků $UN = 0,24 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$ nám postačuje asi 20 cm izolace ($\lambda = 0,035$). Doporučenou hodnotu $UN = 0,16 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$ zabezpečí tloušťka asi 32 cm izolace. Pro pasivní domy jsou potřebné ještě lepší parametry nežli doporučené. Tloušťkou izolace 35 – 40 cm se dosahuje součinitele prostupu tepla $U = 0,10$ až $0,15 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$. Precizně provedená parozábrana je zde podmínkou. Tak jsou zabezpečeny kvalitní tepelné izolační vlastnosti i ochrana konstrukcí s vyloučením kondenzace vodních par.

Izolace plochých střech

Ploché střechy bývají často místem vzniku poškození, protože vnější krytina (většinou asfaltové pásy nebo fóliové izolace) je vystavena velkým teplotním výkyvům, povětrnosti a UV záření. U jednovrstevných střech se s oblibou využívá systém tzv. obrácené střechy, kde hydroizolace je překryta nenasákavou vrstvou izolace. Pak následuje separační vrstva a vrchní provozní vrstva propustná pro vodu – dlažba

kladená na sucho, vrstva kamínků nebo v případě únosnější vrstvy i vegetační vrstva, tzv. zelená střecha. Je možné použít i lehké izolace, jako foukaná celulóza nebo minerální vlnu a jiné, samozřejmě v dřevěném roštu z I-nosníků nebo jiných nosných prvků na bázi dřeva. Hydroizolace je umístěna až na záklopu z konstrukčních desek a další provozní vrstva, případně substrát s následným ozeleněním, přichází až na ni.



Obr. Do prostředí měst jsou vegetační střechy ideálním řešením. Kromě ochrany vrstvy hydroizolace před vlivem počasí, zpomalují odtok vody z krajiny.

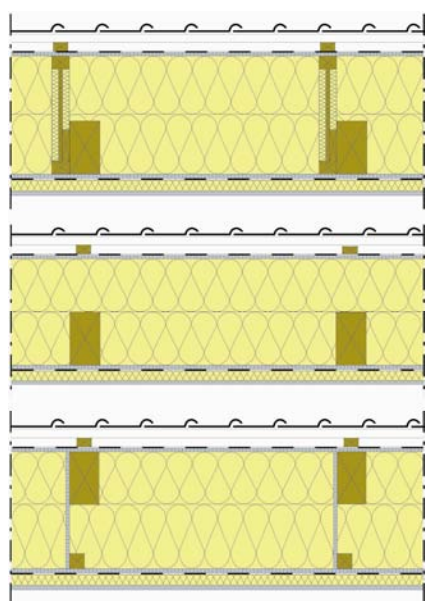
U dvouplášťových střech je možné vrchní plášť demontovat, mezeru navýšit na potřebnou výšku, položit izolaci a vrchní plášť zpětně instalovat. Je nutné dodržet větrací mezeru, aby nedocházelo ke kondenzaci. Izolovat dvouplášťovou střechu z vrchní strany se nedoporučuje. Docházelo by ke značnému snížení tepelně izolačních vlastností střechy a provětrávaná mezera by způsobovala závažné ochlazování stropu. Vhodnější je pak změna konstrukce na jednoplášťovou.

Atiku je kvůli značným tepelným vazbám nutné zaizolovat po celém obvodu podobně jako střechu nebo obvodovou stěnu. V některých případech, kdy je konstrukce výrazně poškozena a musí být obnovena, je možné přehodnotit relevanci použitého řešení a případně aplikovat nové stavební materiály, prvky a řešení.

Izolace šikmých střech

Stále častěji se při rekonstrukcích dosud nevyužívaná půda rekonstruuje na podkroví. Špatným návrhem skladby izolace a hlavně nekvalitním provedením je bohužel možné hodně zkazit. Tepelná izolace, hydroizolační fólie a parotěsná zábrana musí být provedeny tak, aby původní konstrukce krovu trvale nevlhla. Je důležité, aby dřevo mohlo "dýchat", tedy aby se voda, která se do konstrukce přes pečlivou instalaci zateplení dostane (vlhkostí, která proniká z interiéru přes parozábranu) mohla odpařit. V opačném případě může být krov napaden hnilobou a houbami. V případě nespojitě parozábrany nebo netěsněných prostupů se do konstrukce může dostat množství vlhkosti, které není v možnostech dané konstrukce odpařit (více v části „Neprůvzdušnost a kontrola kvality“). Kontrola vyhotovení v podobě testu neprůvzdušnosti by měla pomoci případné netěsnosti lokalizovat a odstranit. Stejně jako u novostaveb i u rekonstrukcí je tento test nezbytný.

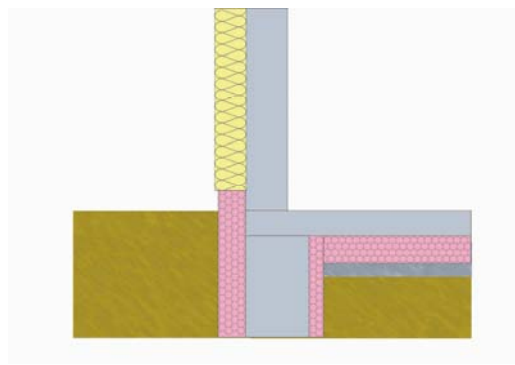
Podle typu dané konstrukce, stavu a způsobu užití lze volit systém zateplení střech. Nadkroevní zateplení umožňuje lepší využití celého objemu podkroví. Pro umístění izolace lze stejně tak využít prostor mezi krokvemi nebo pod nimi. Skladba konstrukce vzhledem k dřevěným prvkům a jejich ochraně by měla vést spíše k difuzně otevřeným systémům s větší schopností odvětrat případnou vlhkost. Odvětrávanou mezeru je nutné dodržet prakticky u všech konstrukcí, i v případě „zelených střech. Nabízí se více materiálů: minerální vlna, dřevovláknité izolace, foukaná celulóza, PU izolace (difuzně otevřená), nebo další jiné. Liší se způsobem ukládání a někdy i typem vhodné konstrukce. Například foukaná celulóza se umísťuje do oboustranně bedněné dutiny, a je nutno již při návrhu počítat se způsobem aplikace, aby nevznikaly nevyplněné dutiny.



Obr. Různé možnosti izolování šikmých střech. Nadstavením krokví z vrchní nebo spodní strany se vytváří rošt do kterého se vkládá izolace. Výhodou je variabilita celkové tloušťky izolace až po 50 cm.

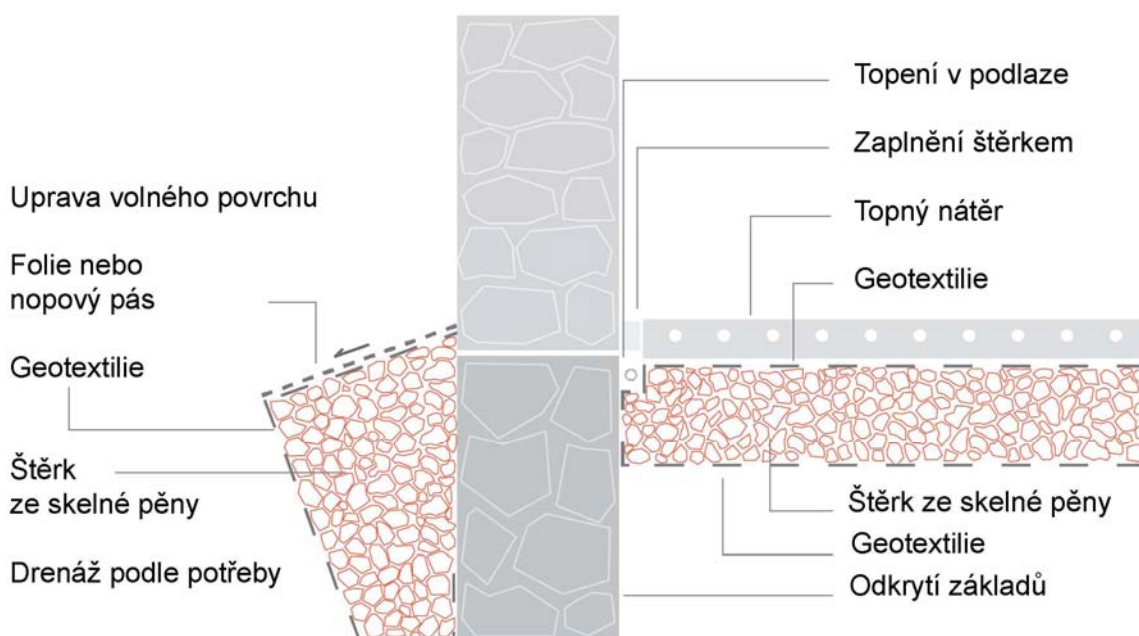
4.6. Izolace základů a podlah

Chceme-li se vyvarovat značným tepelným mostům a vazbám, je nutné stejně jako stěny zateplit i základy. Vlivem tepelných mostů může docházet k nadměrnému ochlazování částí konstrukcí a případné kondenzaci vodních par. Tato místa posléze podléhají vzniku plísní a škodám. Kvalitně provedená hydroizolace je nutností pro zabránění vzlínání vlhkosti. Vnitřní příčky, jejichž základ je v přímém styku se zemí, je potřeba izolovat stejně jako základy. Nejen základy, ale i podlaha u nepodsklepených objektů musí být izolována minimálně 15 - 20 cm izolace extrudovaného nenasákavého polystyrenu. Jsou-li stropy dostatečně vysoké je možné izolovat i nad podlahou. Nevytápěný sklep je nutno oddělit od vytápěného prostoru, nejlépe izolací 10 – 15 cm na spodní straně stropu částečně protaženou dolu po stěnách cca 50 cm.



Obr.5 Ukázka izolování základů u nepodsklepeného objektu.

Další možností, jak izolovat základy i podlahy je použití granulátu z drceného pěnového skla. Tento materiál je nenasákavý a umožňuje difúzi vodních par. Na dosažení hodnoty $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ je potřebné izolovat podlahu vrstvou asi 50 cm štěrku z pěnového skla.



Obr. Izolace základů a podlahy pomocí štěrku ze skelné pěny



Obnova oken

Častým zdrojem velkých ztrát u starších objektů jsou okna. Nejen přes nekvalitní zasklení, ale zejména přes netěsnosti v místech ostění nám teplo doslova utíká ven. Při rekonstrukcích se při výběru oken i jejich osazování používá stejných zásad jako při pasivních novostavbách (viz část „Zasklení“ a „Výplně otvorů“). Okna s izolačními trojskly nebo folií Heatmirror a součinitelem prostupu celého okna $U_W \leq 0,8 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$ nám zabezpečí dostatečnou tepelnou ochranu. Tepelným mostům v místě napojení rámu na nosnou konstrukci se lze vyhnout předsazením okna do vrstvy izolace s následným přeizolováním části rámu. Taktéž je nutné provést precizní vzduchotěsné napojení rámu pomocí speciálních pásek nebo lišt.



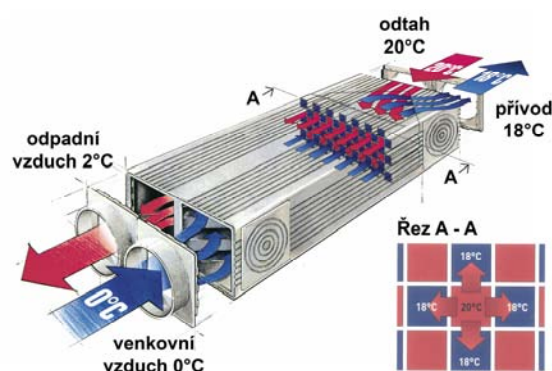
Kotvení oken probíhá stejným způsobem jako u pasivních novostaveb. Okna mohou být předsazeny až do vrstvy izolace kvůli eliminaci tepelných mostů. Důležité je taky neprůvzdušné napojení rámu okna na konstrukci pomocí speciálních pásek nebo lišt. Další možností je předsazení oken do vrstvy izolace pomocí kastlíku z OSB desek.



4.7. Větrání i do rekonstrukcí

Výhody nuceného větrání s rekuperací tepla

- 80% až 95% úspora energie oproti běžnému větrání během topné sezóny
- neustále čerstvý vzduch bez překračování koncentrace obsahu CO₂
- filtrovaný vzduch bez znečištění prachem a pyly – vhodné pro alergie
- vysoký komfort - teplý vzduch bez průvanu a ochlazování konstrukcí
- bez hlukového zatížení – větrání se zavřenými okny
- kontinuální odvod vlhkosti – ochrana proti plísním
- bezobslužný provoz



Obr. Téměř dokonalou výměnu tepla mezi nasávaným čerstvým vzduchem a ohřátým odpadním vzduchem zajišťují rekuperační výměníky tepla. Bez jejich smíchání a narušení kvality vzduchu dosahují účinnosti až 95%. Čerstvý vzduch je ohříván na teplotu blízkou pokojové a jenom zbylých pár stupňů je nutno dohřát.

Úspory energie.

Tepelné ztráty větráním u pasivního domu bez použití nuceného větrání s rekuperací jsou příliš velké. Při intenzitě výměny větrání $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ ztráty činí asi $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Použitím nuceného větrání s rekuperací s účinností 80% se tyto ztráty zmenší na hodnotu asi $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Co je to účinnost rekuperace, neboli účinnost zpětného získávání tepla? Vyjadřuje jaká část tepla je využita (předána přiváděnému vzduchu) z celkového množství tepla obsaženého v odváděném vzduchu. Hodnoty se pohybují mezi 0 až 100%, přičemž nulová účinnost je účinnost otevřeného okna, kde je teplý vzduch bez užitku odváděn a stoprocentní účinnost by byla tehdy, pokud by se přiváděný vzduch ohřál od odváděného na jeho původní teplotu. Reálně dosažitelné hodnoty účinnosti jsou 95% a za vynikající se považuje účinnost rekuperace nad 80%.

Poměr výkon/příkon, neboli výkonový faktor větracích jednotek, udává poměr výkonu rekuperace (energetických úspor zpětnou výměnou tepla) a energie spotřebované na pohon ventilátorů. Vyšší výkonový faktor znamená větší úspory energie. Je-li výkonový faktor 10, je na každých 10W uspořených rekuperací spotřebován chodem jednotky 1W.

Na výsledné hodnotě se významně podílí účinnost rekuperace, která je ovlivněna více faktory (viz dále). Stejně důležitá je spotřeba energie ventilátorů. Většina vysoce efektivních větracích jednotek využívá úsporných ventilátorů se stejnoměrným poho-

nem. Výkonový faktor takových jednotek se pohybuje v rozmezí 10 – 15, nejkvalitnější jednotky dosahují až hodnot 20.

Ohřev vzduchu

Při účinnosti rekuperace 80% a venkovní teplotě -15°C má vzduch po přechodu rekuperační jednotkou teplotu asi 15°C . Zbylý rozdíl do pokojové teploty 20°C je nutno dohřát. Využívají se dvě koncepce vytápění: teplovzdušné vytápění, kde je nosičem tepla přímo vzduch, nebo vytápění klasickými zdroji tepla s jiným topným médiem (stropní, stěnové a podlahové vytápění nebo i přímotopné panely a radiátory).

Teplovzdušný systém vytápění – ideální řešení pro pasivní domy

U pasivních domů platí pravidlo, čím méně techniky a rozvodů, tím lépe. Rozvod vzduchu lze současně využít k distribuci tepla a nahrazuje se tím klasická otopná soustava. Teplo dodávané do vzduchu slouží nejen pro samotné dohřátí vzduchu, ale hlavně na pokrytí tepelných ztrát místností. Sloučení řízeného větrání a teplovzdušného vytápění šetří pořizovací náklady a k vytápění obytných prostor se toto řešení využívá nejčastěji. Teplovzdušné vytápění lze realizovat jen u domů s velmi nízkou tepelnou ztrátou. Omezení vyplývá z faktu, že vzduch jako teponosná látka má nízkou schopnost vést teplo. Současně je maximální teplota vzduchu z hygienických důvodů omezena na 50°C . Při vyšší teplotě již dochází k rozkladu částic prachu, což zhoršuje kvalitu vzduchu. Ohřev vzduchu zpravidla zajišťuje nízkoteplotní teplovodní výměník zapojený do systému na ohřev teplé vody, případně elektrický ohřívač. Samotný ohřívač může být umístěn centrálně pro všechny větve nebo před každou vyústkou, což zajišťuje lepší regulovatelnost teplot v místnostech. Regulování teplot uzavíráním klapek jednotlivých větví se z hygienických důvodů nedoporučuje. Zároveň se snižováním výkonu přivedeného do místnosti se totiž snižuje i množství větracího vzduchu. Výhodou teplovzdušného vytápění oproti sálavým zdrojům tepla je rychlý zátop s pružnou regulací teploty.



Obr. Nízkoteplotní teplovodní nebo elektrický ohřívač přiváděného vzduchu umožňuje efektivní spojení větrání a teplovzdušného vytápění. Odpadá zde potřeba dalších rozvodů a klasického otopného systému při stejném, ne-li vyšším komfortu.

Kombinace nuceného větrání a klasického vytápění.

Při použití konceptu samotného nuceného větrání s rekuperací se dohřev vzduchu realizuje klasickým způsobem – radiátory, stěnovým nebo podlahovým topením. Výhodou je, že u pasivních domů nemusí být umístěny zdroje tepla u oken, protože povrchové teploty skla jsou vyšší a nedochází zde ke kondenzaci. Je ovšem nutno za-

bezpečit kvalitní regulaci a přiměřený výkon těchto zdrojů. Takové řešení poskytuje možnost kvalitní regulace teplot v jednotlivých místnostech, i když za vyšší pořizovací náklady. Mnohdy i teplovzdušný systém vytápění bývá doplňován o záložní zdroj tepla, například malé teplovodní kamínka na dřevo nebo pelety. V koupelně se standardně navrhuje topný žebřík nebo podlahové topení. Pro objekty, kde je požadováno, aby byla regulovatelná každá místnost zvlášť, je realizace odděleného topného sálavého systému nutností. Velkou výhodou sálavých systému, je že teplo je pro uživatele mnohem příjemnější a mnohdy umožňuje snížení vnitřní teploty v obytných místnostech při dosažení stejné tepelné pohody jako u teplovzdušného systému. V poslední době se často uplatňují přímotopné sálavé folie, které se aplikují jako stropní systém, zakrytý sádkokartonovou konstrukcí. Takové řešení je esteticky čisté a přitom tepelně a regulačně zcela vyhovující.

Při kombinaci krbu nebo kamen, bez samostatného přívodu vzduchu, s nuceným větráním je nutné zabránit vzniku podtlaku, aby nedocházelo k nedokonalému spalování a nasávání spalín do objektu. Systém určitě nesmí pracovat v podtlakovém režimu. Rovnotlaký nebo ideálně mírně přetlakový režim zabezpečí správné fungování spalovacího zařízení a vyloučí nebezpečí otravy unikajícími plyny.

U starších objektů se samozřejmě s umístěním větrací jednotky a rozvodů v době výstavby nepočítalo. Samostatné technické místnosti často nejsou k dispozici, a proto se k instalaci větracích jednotek využívají jiné nevyužité prostory – podhledy stropů, skříňe, stoupačky, půdy nebo sklepy. Do chladných prostor jako jsou sklepy, garáže a podobně je nutné volit velice kvalitně izolované jednotky i rozvody, aby nedocházelo ke snižování účinnosti zpětného zisku tepla.

Volba způsobu větrání a vytápění by se měla odvíjet od stavu rozvodů otopné soustavy, které lze často po malé úpravě použít. Proto se nejčastěji volí samostatné větrání s rekuperací tepla spolu s klasickou otopnou soustavou. V některých případech se lze obejít i bez náhrady otopné soustavy, jenom s teplovzdušným vytápěním. Jestli použít centrální, semicentrální anebo decentrální koncepci větrání závisí od typu objektu a jeho vnitřního uspořádání (více v části „Větrání a teplovzdušné vytápění“).

Vzhledem k omezeným prostorům u rekonstrukcí se nejčastěji používá podstropní vedení rozvodů. Kvůli estetickému začlenění rozvodů do interiéru lze zvolit obdélníkový průřez, který možno omítat nebo obložit. V některých případech lze použít i přiznané kruhové rozvody.



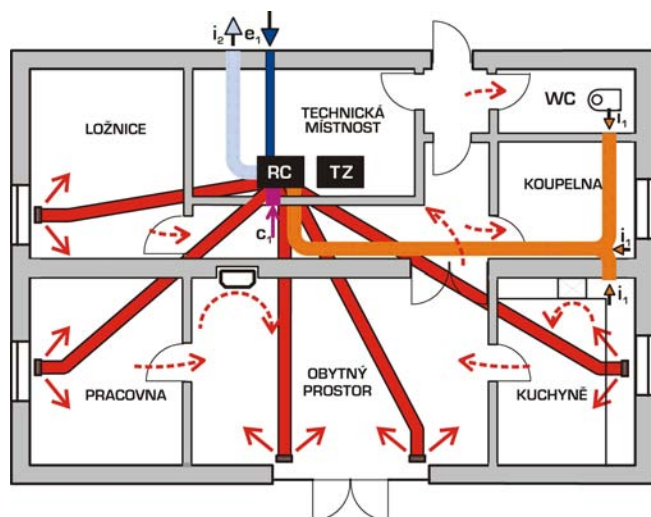
Obr.10 V některých případech i přiznané rozvody vzducho-techniky mohou vypadat v interiéru přirozeně.

Centrální nebo decentrální koncepce větrání?

Obecně rozlišujeme centrální a decentrální koncepci větrání, pak jejich kombinace - semicentrální koncepci. Semicentrální koncepce využívá výhod jednoho i druhého řešení a je vhodná např. pro vícepodlažní pasivní domy.

Centrální koncepce větrání

Centrální řešení obsahuje jednu větrací jednotku s rekuperací pro celý objekt (nebo ucelenou část). Tuto koncepci větrání využívají zejména rodinné domy a menší objekty, kde do jednotlivých místností jsou vedeny rozvody pro přívod nebo odtah vzduchu. Systém větrání je zde často doplňován o teplovzdušné vytápění, které pokrývá veškeré potřeby tepla na vytápění. Větrací jednotka by měla být umístěna s ohledem na délku a optimální umístění rozvodů.



Obr. Centrální umístění jednotky je vhodné pro rodinné domy. Spojení větrání s rekuperací tepla, teplovzdušného vytápění a systému na ohřev teplé vody je možné zde vytvořit efektivní systém splňující veškeré nároky na komfort a kvalitu vnitřního prostředí. S umístěním jednotky a rozvodů je ovšem nutno počítat již v počátečních návrzích, zejména s ohledem na přístup k jednotce a délku rozvodů.

Cirkulační teplovzdušné vytápění a větrání

Jedná se o systém, který zajišťuje současně primární cirkulační vytápění a větrání obytných místností domu a sekundární oddělené odvětrání sociálního příslušenství a prostoru kuchyně. V cirkulačním vytápěcím režimu odpadní vzduch nevychází ven,

ale je filtrován, ohříván a cirkuluje domem, čímž se zmenšují tepelné ztráty větráním. Nárazové větrání se spíná impulzem z WC, koupelny nebo kuchyně s nastavitelným doběhem. Cirkulační teplovzdušné vytápění je možné použít i při domech s větší tepelnou ztrátou (domy nízkoenergetické), protože cirkulační vzduch neprochází výměníkem a je možné dohřívát a distribuovat větší objemy vzduchu. Při větších tepelných ztrátách nad 20 kWh/(m²a) se však zvyšuje objem větraného a ohříváného vzduchu, a tím i rychlost proudění vzduchu na úkor snížení komfortu (zvýšení hlučnosti a prašnosti, rychlost vzduchu na vyústkách). Systém cirkulačního vytápění napomáhá řešení problému nadměrného vysušování vzduchu v zimním období (více v listu „Vnitřní mikroklima“), jelikož vlhký vzduch je z velké části udržován v objektu a vyměňována je jen malá, hygienicky potřebná část. Tento režim se uplatňuje zejména při vytápění objektu v době nepřítomnosti osob. Větrací jednotky mají možnost volby více režimů - běžné rovnotlaké větrání, přetlakový režim používaný v létě a jiné.

Nevýhodou cirkulačního vytápění je, že není možné regulovat teplotu rozličně po jednotlivých místnostech a teplota se upravuje dle referenčního místa společně pro celý dům.

Decentrální koncepce větrání

Decentrální koncepce větrání uvažuje s odvětráním jednotlivých místností samostatnými menšími větracími jednotky. Toto řešení je použitelné hlavně u malých prostor, které mají zabezpečené vytápění jiným než teplovzdušným způsobem – např. kanceláře, rekonstruované objekty, panelové domy a podobně. Výhodou je vynikající regulovatelnost a jednoduchost vedení s minimálním počtem a délkou rozvodů. Více místností nebo bytů je možno odvětrat více jednotky s nerovnoměrně nastaveným množstvím přívodu a odtahu vzduchu, čímž je zabezpečeno kvalitní příčné provětrání místností. Decentrální jednotky jsou menší, redukován je počet a délka rozvodů, co zjednodušuje jejich umístění v prostoru. Dimenzovány jsou povětšinou na menší objemy větraného vzduchu do 150 m³/h.



Obr. Efektivní větrání prostor lze zabezpečit i decentrálními jednotky. Zvláště výhodné pro větrání malých prostor, nebo rekonstruovaných objektů. Umístění jednotky je zde řešeno jednoduchým způsobem s malými nároky na prostor a s minimálním počtem a délkou rozvodů.

Dimenzování výkonu

Výběr jednotky a správné navržení je v podstatě nejdůležitější pro správnou funkci větrání a spokojenost uživatele, a proto by měl být ponechán na specialistech. Nepohodlí a zhoršená kvalita vzduchu není většinou způsobena chybou samotného systému, ale jeho návrhem a zaregulováním, případně nedodržením uživatelských zásad.

Při výběru jednotek byl problém zejména u zařízení umožňujících větrat malým objemem vzduchu do 60 m³/h. Tyto hranice nebyly dány ventilátory, nýbrž jejich ovládáním. Nyní však jsou již k dispozici a i malé byty lze vybavit např. malými decentralizovanými jednotkami.

Norma stanovuje minimální intenzitu výměny vzduchu 0,5 h⁻¹ při větrání okny. Tato hodnota je nastavena na běžné objekty, aby se zde v zimním období udržela nízká relativní vlhkost. Snižuje se tím riziko kondenzace vodních par na ochlazovaných místech a následného vzniku plísní. U pasivních domů již toto riziko nehrozí. Naopak v zimním období se právě snažíme vzniku nadměrně suchého vzduchu zabránit. Hygienicky nezbytná základní výměna vzduchu je určena na 0,25 – 0,3 h⁻¹ a vychází z reálných potřeb čerstvého vzduchu pro obyvatele. Intenzita výměny vzduchu na osobu by měla být 25 - 30 m³/h (dle aktivity osob), což dokazují četné statistiky, výpočty a měření. Požadavky na odvětrávání zatěžovaných prostor jak je určuje norma [3] jsou:

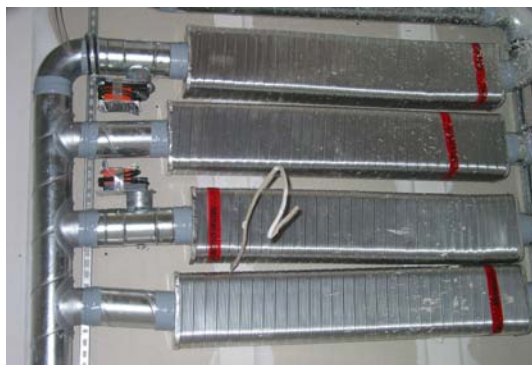
- kuchyně: 40 - 60 m³/h
- koupelny: 40 - 60 m³/h
- WC: 20 - 30 m³/h.

Plánování, provoz a údržba

Vhodný návrh rozvodů s ohledem na kvalitní odvětrání prostor, potřebné objemy větraného vzduchu, minimální délku rozvodů a možnost pravidelných kontrol rozhodujícím dílem přispívá na celkové funkčnosti systému. Podstatná je taky těsnost rozvodů a v případě potřeby je možné spoje přelepit vzduchotěsnými páskami. Rozvody čerstvého vzduchu je vhodné izolovat v případě že procházejí nevytápěným prostorem a nebo naopak vždy pokud jsou určeny k přenosu chladu v letním období ze zemního výměníku tepla. Doporučuje se používání pevných rozvodů nebo flexibilních rozvodů s hladkým vnitřkem. Ohebné hadice s harmonikovým vnitřkem by se měli používat jen ve výjimečných případech – je obtížné je čistit. Z hlediska údržby jsou nejvýhodnější kruhové rozvody, které lze čistit rotačním kartáčem. Nejdůležitější pro udržení čistoty rozvodů i celého systému je prevence v podobě účinné filtrace (viz dále). Během realizace stavby je nutné zamezit vniknutí nečistot do systému, kvůli vysoké prašnosti prostředí. Podobně v případě stavebních prací během provozu je nutno systém odstavit a výústky ochránit proti prašnosti.

Použít rozvody v stropě, stěnách nebo v podlaze? Z hlediska provětrání prostor jsou při vhodném návrhu tyto varianty shodné. Výhodou podstropního a stěnového vedení jsou kratší rozvody, zejména při použití dýz s dalekým dosahem proudu. Různé druhy výústek, větracích mřížek, dýz a dalších distribučních prvků jsou k dispozici pro všechny typy instalací.

Snadná údržba je dalším bodem, za který v podstatě zodpovídá výrobce a autor zařízení, na který však musí myslet i projektant správným umístěním celého zařízení i revizních nebo čistících míst v systému. Snadná přístupnost k částem relevantním pro údržbu je totiž nezbytným předpokladem pro správnou a pravidelnou údržbu, čištění a výměnu filtrů minimálně jednou ročně. Čištění a výměna filtrů je závislá na prašnosti lokality, kde je umístěna budova a může se provádět i jednou za čtvrt roku. Z hygienických důvodů je nezbytný jemný filtr (stupeň filtrace F7 nebo vyšší), který udržuje zařízení trvale čisté. Filtr nasávaného vzduchu i na odtahu vzduchu garantuje čisté rozvody i rekuperační výměník. Mnohdy je u dnešních jednotek počítáno s možností vyjmutí samotného rekuperačního výměníku, jenž je možné rovněž čistit.



Obr. Tlumič hluku je nezbytný prvek systému. Zabraňuje přenosu hluku z jednotky i mezi místnostmi.

Nezbytným prvkem systému jsou tlumiče hluku. Umístěné centrálně nebo dle potřeby před jednotlivé větve zabraňují přenosu hluku z jednotky i telefonickému šíření hluku mezi místnostmi. Dodrženy by měli být hodnoty akustického tlaku v obytných místnostech < 25 dB a v technické místnosti < 35 dB. Tento požadavek je naprosto prioritní při sanaci stávajících bytů např. v panelové zástavbě. Případná vysoká hlučnost jednotek může být jedním z důvodů neúspěchu prosadit rekuperaci v takových kompaktních prostorech.

Vyvážení a regulace ventilační jednotky a vzduchotechnických rozvodů by měla být samozřejmou součástí realizace každého komfortního větrání, o kterou se postará firma realizující instalaci celého systému větrání.

Odvětrání kuchyní by mělo být realizováno samostatnou cirkulační digestoří s umývatelným filtrem z tahokovu na zachycení tuků a jedním nebo dvěma odsávacími místy pro odsávání větracího vzduchu. Množství větracího vzduchu pro kuchyň je voleno cca 60 – 90 m³/hod.

Venkovní nasávání musí být vhodnými prvky ochráněno proti zafoukávání deště nebo sněhu, rozvody musí zůstat suché. Nevhodné je umístit fasádní nasávání nízko nad zemí, ideálně ve výšce asi 3m. Obdobně může způsobit znečištění nasávaného vzduchu blízkost výfuku odpadního vzduchu. V případě zemního vzduchového kolektoru je vhodné využít předřazený nasávací filtr, který chrání kolektor před znečištěním a tím snižuje mikrobiální riziko.

4.8. Využívání obnovitelných zdrojů energie

Energetické zdroje

Následující porovnání energetických zdrojů vyjadřuje přepočet nákladů na vytápění a ohřev teplé vody podle druhu paliva (tab.1). Při výpočtu jsou použity tyto hodnoty:

- vytápění - je počítáno se 100 m² obytné plochy a tepelnými ztrátami 15 kWh/m²a, ročně teda 1,5 MWh
- ohřev teplé vody - pro průměrnou čtyřčlennou rodinu, 40 l teplé vody o teplotě 55°C na osobu a den, 160 l spolu; denní spotřeba energie 12,6 kWh následně roční spotřeba 3,2 MWh

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody v ukázkovém výpočtu je tedy 4,7 MWh.

Druh paliva (výhřevnost)	Cena paliva (Kč)	Spalovací zařízení (Průměrná účinnost v %)	Cena tepla (Kč/kWh)	Spotřeba paliva / rok	Náklady rok (Kč)
Obnovitelné zdroje					
Dřevo (14,6 MJ/kg)	0,93 / kg	Kotel na zplyňování dřeva	0,31	1543 kg	1435,-
Dřevěné brikety (17,5)	3,50 / kg	Kotel na zplyňování dřeva	0,96	1288 kg	4507,-
Dřevěné pelety (18,5)	3,25 / kg	Kotel na dřevěné pelety (85%)	0,74	1075 kg	3493,-
Štěpky (12,5 MJ/kg)	2,80 / kg	Kotel na štěpku (80%)	1,01	1690 kg	4732,-
Rostlinné pelety (16,5)	2,0 / kg	Kotel na rostlinné pelety (90%)	0,5	1174 kg	2374,-
Nebnovitelné zdroje					
Hnědé uhlí (18 MJ/kg)	1,90 / kg	Klasický kotel na uhlí (62%)	0,69	1707 kg	3243,-
Zemní plyn (37,8 MJ/m ³)	0,94 /	Kondenzační kotel (102%)	1,20	487 m ³	5625,-
Elektřina akumulace	1,46 /	S akumulační nádrží (93%)	1,95 *	5048 kWh	9134,-
Elektřina přímotop	1,79 /	Přímotopné panely (98%)	2,53 *	4790 kWh	11883,-
Tepelné čerpadlo	1,79 /	Průměrný roční topný faktor	0,87 *	1341 kWh	3936,-
Centrální zásobování tep-	350 / GJ	Účinnost (98%)	1,29	17 GJ	6063,-

*) - do ceny je započtena i cena jističe

Tab.1 Porovnání nákladů na vytápění a ohřev teplé vody podle druhu paliva. Zdroj: internetový portál TZB-info. Ceny paliv jsou uvedeny k 1.1.2007.

Zdroj	Výhody	Nevýhody	Doporučení
Dřevo *	cena, lokální, nezávislé na elektřině, pořizovací náklady	regulace, automatizace, skladovací prostory, dodávka, možnost jiného využití	volit zdroje o malých výkonech, nevhodnost velkých otevřených krbů - problém s komínem

			(vzduchotěsnost, tepelné mosty), velké výkony
Pelety *	cena, regulace, využívání odpadních surovin	skladovací prostory, pořizovací náklady na zařízení, dodávka, dostupnost	vhodné pro jednotlivou výstavbu
Štěpky *	cena, využívání odpadních surovin	výhřevnost (kvůli vlhkosti)	vhodné pro větší objekty, možnost kogenerace
Elektřina	dodávka, regulace, pořizovací náklady, možnost fotovoltaiky, dostupnost	cena, účinnost při výrobě	vhodné pro menší pasivní domy s co nejjednodušší koncepcí
Zemní plyn	dodávka, regulace, cena, malé emise	dostupnost (plynová přípojka), revize, vysoké výkony kotlů	používat kondenzační kotle, možnost kogenerace
Tepelné čerpadlo	automatická obsluha, nízké provozní náklady	pořizovací náklady	pro pasivní objekty používat nízkovýkonové tepelné čerpadla
Uhlí	cena	účinnost, skladovací prostory, regulovatelnost, emise, dopad na ŽP	větší výkony - nevhodné pro jednotlivou zástavbu, volit automatické kotle s účinností 80% použitelné i pro spalování biomasy

*) obnovitelné zdroje energie

Tab.2 Shrnutí výhod a nevýhod zdrojů nejvýznamnějších zdrojů:

Z uvedeného vyplývá doporučení, že zejména u pasivních domů, kde je potřeba energie o hodně snížena, je vhodné (je-li to možné) použít zdroje v následovném pořadí:

obnovitelné zdroje energie – biomasa pelety, brikety u větších objektů, štěpka, sláma, bioplyn (případně kogenerace), využití solární energie fototermicky nebo fotovoltaicky, inovativní technologie např. miniaturní tepelné čerpadla ve spojení s rekuperační větrací jednotkou popřípadě i solárním ohřevem a fotovoltaikou

efektivní využití zdrojů neobnovitelných - malá tepelná čerpadla, plynový kondenzační kotel, kombinace obnovitelných a neobnovitelných zdrojů energie – solární ohřev teplé vody a plynový kotel nebo elektrická akumulární nádrž

neobnovitelné zdroje energie – elektřina, plyn, uhlí, to vše samozřejmě za použití zařízení pracujících s vysokou účinností spojené s kvalitní regulací

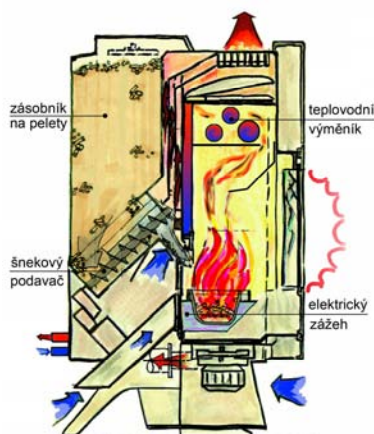
Nelze říct, který z uvedených zdrojů je nejlevnější (protože v komplexním hodnocení vystupuje víc faktorů nejen cena paliva) a hlavně zda-li nejlevnější v budoucnu zůstane. Ceny primárních zdrojů energie jsou totiž v současné době velice nestabilní, mají ovšem rostoucí trend asi 6 - 8% ročně. V tomto ohledu je výhodnější použití obnovitelných zdrojů energie, které nepodléhají cenovým výkyvům jako fosilní paliva. Právě u fosilních paliv se totiž názory na jejich předpokládané vyčerpání značně liší, co taky může ovlivnit jejich příští využívání. Těžba na světových ropných a plynových polích v současné době vrcholí, a můžeme proto, při stále rostoucí poptávce, očekávat stálý nárůst cen, s jejich nejistou budoucností. Proto nejlepším pojištěním nyní je stavět a bydlet v pasivních objektech s lokálními a co nejvíce nezávislými zdroji tepla, s co největším podílem obnovitelných zdrojů energie.

Vhodné kombinace zdrojů

Používat pouze jeden zdroj energie není vždy ekonomicky výhodné. Vhodné kombinace zdrojů sice znamenají vyšší pořizovací náklady, ale následné provozní náklady mohou být v některých případech výrazně nižší. U některých zdrojů levné energie, je kombinace s jinými zdroji přímo nevyhnutná. Třeba při využívání solárního systému na ohřev teplé vody, musíme mít zálohu v době, kdy slunce nesvítí. Zpravidla kombinujeme zdroj s nízkými provozními náklady, který ale nelze využívat stále (sluneční energie), s dražším zdrojem, který je k dispozici stále. Vhodná kombinace nám také často umožní optimálně využít dobré vlastnosti každého systému a eliminovat jeho nevýhody.

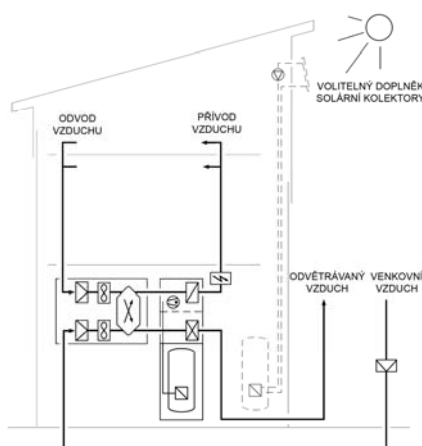
K vybraným zdrojům energie.

Pod pojmem biomasa se rozumí kusové dřevo, dřevní odpad jako je kůra, štěpka, piliny, sláma a také suché části rostlin pěstovaných k účelu spalování (topol, osika, vrba, šťovík, topinambur, konopí, apod.). Spaluje se nejčastěji ve formě lisovaných briket či pelet, štěpek, případně v jiné vhodné podobě. Základní výhodou biomasy je, že jde o obnovitelný zdroj energie s minimálními negativními účinky na životní prostředí (při správném způsobu spalování). Co se týče produkce oxidu uhličitého, má biomasa nulový koeficient, po započtení navázaného CO₂ během života rostliny a uvolněného při jejím spalování. Spojení obnovitelných zdrojů lokální produkce s vysoce energeticky úsporným pasivním domem je obzvlášť vhodné ekonomické i ekologické řešení.



Obr. Teplovodní kotle a kamna na pelety. Jejich výhodou je jednoduchá obsluha, vysoký komfort, nízké provozní náklady a malá zátěž životního prostředí. Volně stojící kamna s výhledem na oheň mohou sloužit jako příjemný doplněk.

U jednotlivé pasivní zástavby se nejčastěji používají pelety, jejichž hlavní předností, kromě ceny, jsou malé rozměry umožňující automatický provoz vytápění. Mají regulovatelný výkon a optimální je volba typů s teplovodním výměníkem. Pracují s vysokou účinností 84 až 90% a nízkou spotřebou paliva asi 1kg pelet na 5kW výkonu. Prodlužují se tím intervaly dávkování (např. jednou týdně), a spolu s časovačem a termostatem je možné nastavit dobu a čas topení dle potřeby. Biomasa lze topit i u větších objektů, jako bytové domy, školy a jiné, kde je možné spojit výrobu tepla i s výrobou elektřiny tzv. kogenerační jednotky. Pro tyto účely přichází v úvahu brikety či pelety lisované z dřevního odpadu, štěpky, ale i jiné jako slaměné balíky. Česká republika má značný potenciál v produkci biomasy pro energetické účely a vzhledem k nízké ceně (ovlivněno i lokální produkcí) se očekává její masivnější využití.



Obr. Kompaktní jednotka velice efektivně využívá spojení větrací jednotky a miniaturního tepelného čerpadla, které využívá odpadní vzduch z rekuperačního výměníku. Vyrobené teplo lze využít jak pro vytápění, tak pro ohřev teplé vody. Vhodným doplňkem jsou solární kolektory nebo fotovoltaika. Na obrázku Aerosmart od firmy Drexel und Weiss.

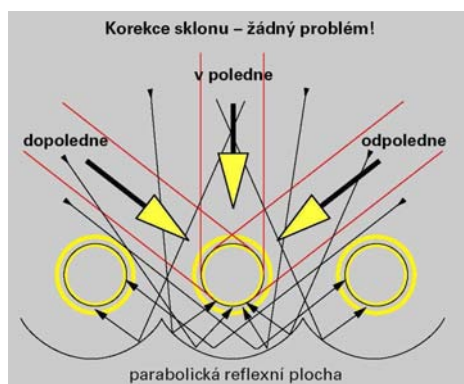
Tepelné čerpadla pro pasivní domy lze doporučit jen o malých topných výkonech, které stačí na pokrytí veškeré potřeby energie na topení a ohřev teplé vody. Topný faktor tepelných čerpadel se pohybuje v rozmezí 2 až 4, s ročním průměrem kolem 3,5. Vzhledem k nízké účinnosti elektráren je celkový energetický efekt diskutabilní, nicméně v případě nasazení přímého elektrického vytápění je situace ještě mnohem

horší. Proto u běžných staveb s velkými tepelnými ztrátami se použitím tepelných čerpadel řeší problém jen částečně. Ekonomicky i ekologicky je pak vhodnější použití zdrojů s několikanásobně vyšší účinností např. kotel na biomasu. Nejvýhodnější je ovšem za cenu velkého tepelného čerpadla udělat z běžného domu dům s velice malými tepelnými ztrátami, a dohřívat v podstatě čímkoli.

Tepelné čerpadla ve spojení s větráním v kompaktních jednotkách odebírají teplo odpadnímu vzduchu a zvyšují tak ještě svou efektivitu. Obsahují i možnost napojení na solankový okruh, využívající teplo například solárních kolektorů nebo zemního výměníku. U jednotlivé pasivní zástavby tedy přichází v úvahu tepelné čerpadla typu země – voda (zemní kolektor), nebo vzduch – voda. Tepelné čerpadla využívající zemského tepla z vrtů jsou nákladnější, a vhodnější spíš do větších pasivních objektů.

Pokud tepelné čerpadlo vytváří teplo ve formě topné vody funguje velmi dobře nejen jako zdroj tepla pro topný systém, ale hlavně pro ohřev TUV, který v pasivních domech bývá většinou energeticky vyšší položkou. Popravdě nalézt na trhu tepelné čerpadlo s malým výkonem (pod 4 kW) není vůbec jednoduchá záležitost. Nicméně tepelné čerpadlo umožní rychlejší návratnost investice než je tomu u solárního systému. Primární zdroje tepla tepelných čerpadel mají tyto formy:

Solární kolektory jsou nejznámějším a nejrozšířenějším využitím slunečné energie. Poněkud vysokou cenu solárních kolektorů vyvažují na druhé straně minimální provozní náklady. Vhodně doplňují systémy pro ohřev teplé vody, kde se navrhují pro pokrytí 60 až 70% potřeby teplé vody. Systémy pro vytápění jsou nákladnější a využívají se méně. Právě v zimě, kdy je potřeba tepla největší, je totiž slunečních dnů nejméně. Předimenzování plochy solárního systému z důvodu využití pro vytápění nebývá vyváжено očekávaným efektem, zvyšuje se tím investice a prodlužuje návratnost. Navíc se přibývá problém, kam s přebytečným teplem v létě. Velikost solárních zisků závisí na více faktorech. Nejzákladnější z nich jsou otočení a sklon kolektorů a v ideálním případě by měli mít přímo jižní orientaci se sklonem 40° až 45°.



Obr. Vakuové trubkové kolektory se vyznačují velkými výnosy i při různém sklonu a natočení. Zejména v přechodném období zabezpečují oproti plochým kolektorům větší zisky.

Solárních kolektorů je více druhů lišících se navzájem tvarem a uložením absorbéru, použitou absorbční vrstvou a tím pádem i účinností. Na trhu jsou ploché kolektory, ploché vakuové kolektory a vakuové trubkové kolektory. Účinnější a samozřejmě i

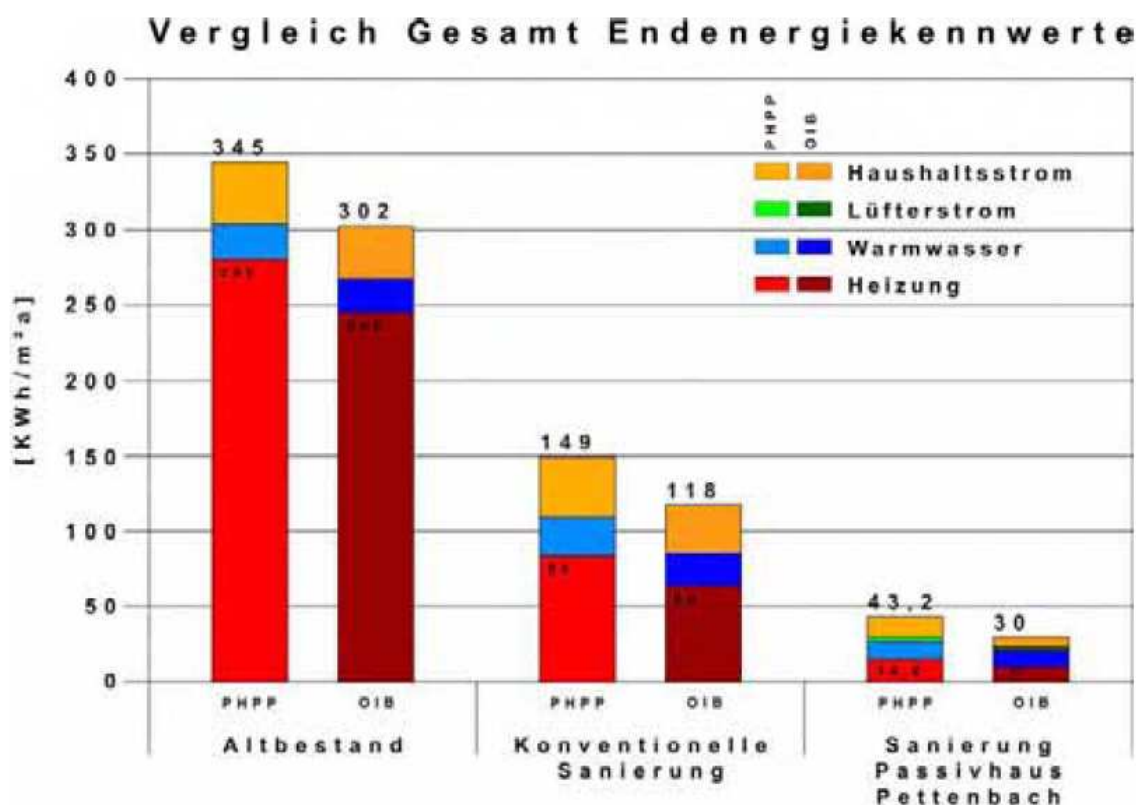
cenově dražší jsou vakuové ploché a vakuové trubicové kolektory. Roční zisky ze solárních kolektorů v ideálním případě mohou činit 500 až 800 kWh/m² kolektorové plochy. Tyto solární zisky nejsou závislé jenom od účinnosti kolektorů či způsobu oběhu média, ale taky od volby a navržení kvalitního zásobníku tepla. Z praxe je známo, že i při použití sebelepšího kolektoru s nesprávně navrženým zásobníkem tepla budou tepelné zisky nízké. Zejména vhodné teplotní rozvrstvení (stratifikace) objemu zásobníku má významný vliv na účinnost kolektorů a na schopnost pokrýt nepravidelným solárním ziskem nepravidelnou potřebu tepla. Snahou je zajistit v horní části zásobníku dostatečnou teplotu využitelnou pro odběr tepla bez nutnosti dodatkového ohřevu a v dolní části v místě výměníku solární soustavy udržet nízkou teplotu kvůli vysoké účinnosti kolektoru. To lze zabezpečit přirozeným vrstvením ve vhodně konstruovaných zásobnících nebo řízeným vrstvením, kdy se využívají speciální prvky (stratifikační vestavby, ventily). Solární zásobníky mohou být zapojeny samostatně do systému nebo jako součást většího integrovaného zásobníku tepla.

Solární energii lze proměňovat nejen na teplo, ale pomocí fotovoltaických článků i přímo na elektrickou energii. Při ideální instalaci (jižní natočení, žádné stínění) lze z energie slunce získat ročně 800 až 1100 kWh elektrické energie na 10m² instalovaných článků. U pasivního domu (o velikosti asi 100 m²) při celkové roční potřebě energie na domovní techniku (vytápění + ohřev teplé vody) kolem 5 MWh, u kompaktních jednotek asi 3 MWh, může značnou část potřeby elektřiny pokrýt fotovoltaika. Instalace větších ploch může pak proměnit pasivní dům na dům nulový, nebo dokonce plusový, který přebytky elektrické energie dodává do sítě. Masivnímu využití fotovoltaiky zatím brání velké počáteční náklady, asi 140000 – 220000 Kč na 1 kWp výkonu. Do budoucna lze v souvislosti se zvětšováním objemu výroby, zaváděním nových technologií a používáním dalších polovodičových materiálů na jiné než křemíkové bázi předpokládat snížení jejich ceny. Velkou výhodou je i možnost fasádní instalace panelů.

5. Příklad zahraničního objektu rekonstruovaného do pasivního standardu

5.1. Rodinný dům Schwarzových, Pettenbach

Přestavba rodinného domu Schwarzových v Pettenbachu představuje rakouskou premiéru, jak příkladně ozdravovat staré rodinné domy na standard a komfort pasivního domu. Vedle výsledného zmenšení spotřeby energie a emisí CO₂ o 95 % byla v popředí tohoto demonstračního projektu - jenž byl realizován v rámci vědeckého programu „Haus der Zukunft“ (Dům pro budoucnost) rakouského spolkového ministerstva pro dopravu, inovace a technologie (BMVIT) - novátorská sanace s vysokým podílem předem zhotovených kompletních dílů, závěsných dřevěných stěn. Nový plášť domu byl díky tomu smontován za tři dny.



Obr. Porovnání energetické náročnosti běžného domu a rekonstrukce v Pettenbachu

Pilotní projekt nechtěl vyhovět pouze nejmodernějším energetickým kritériím, nýbrž také zachovat ráz původního bungalovu v architektonické podobě z roku 1960. Úprava na zvýšený uživatelský komfort, zřetelné zlepšení kvality místností stejně jako přehledná a jasná organizace pokojů respektovaly požadavky stavebníka.

Objem výstavby se projevuje svou čistou prostotou, je členěn na dva do sebe zakloubené kvádry. Do fasády v okenní stěně domu je zasazeno integrované fotovoltaické zařízení, které harmonicky prodlužuje horizontální uspořádání oken a jaksi mimochodem každému pozorovateli připomíná energetický význam projektu. Přání

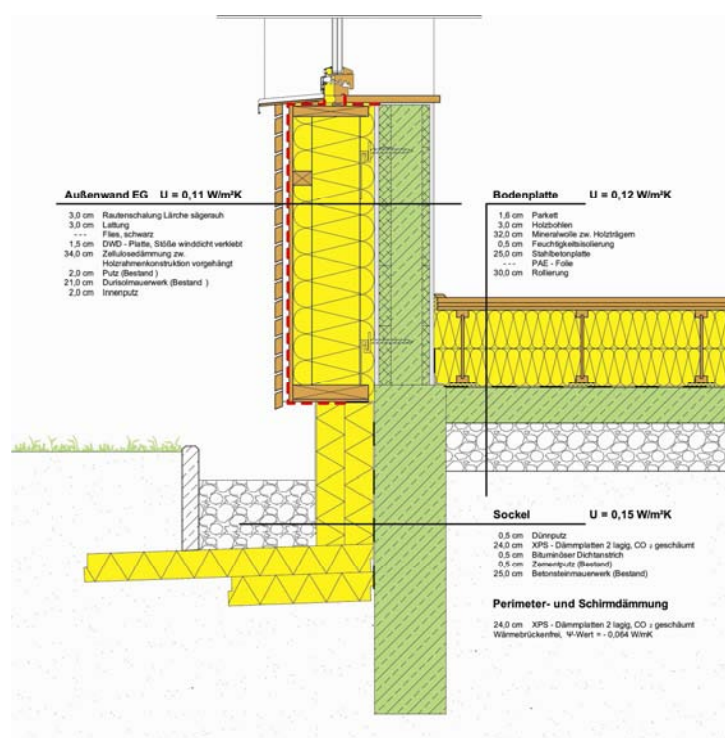
majitele, aby se úzké, tmavé a stísněné místnosti starého domu otevřely, bylo naplněno jasnou a světlem prolitou architekturou s velkoryse otevřeným jídelním a obývacím prostorem.



Obr. Dům po rekonstrukci. Fasáda s instalovanými fotovoltaickými články.

Dvojnásobná plocha při méně než osminové spotřebě energie

V přízemí byl nad podsklepenou částí docílen vysoký tepelný standard i při nutně omezené tloušťce možné izolace vložení 2cm vrstvy vakuových panelů. Tepelné mosty představované průběžným zdivem přízemí sahajícím až do základů byly zmírněny tím, že 24 cm tlustá izolační vrstva z extrudovaného polystyrenu nepokračuje pod terénem podél zdi do hloubky, ale místo toho se jen mírně šikmo svažuje směrem ven až do vzdálenosti 1,2 m (tzv. protimrazový štít). Tak byla spotřeba tepla i při zdvojnásobení nadzemní podlahové plochy z 97 na 217 m² redukována z 27 100 kWh/a (z propanbutanu) na konečných 3 170 kWh/a (elektriny).



Obr. Zateplení soklu a koncepce předsazené fasády

Optimalizovaný větrací systém s vysoce účinnou centrální jednotkou zajišťuje stálý přísun čerstvého vzduchu do celého domu a zajišťuje dle potřeby dohřev vzduchu i přípravu teplé vody pomocí integrovaného malého tepelného čerpadla a zásobníku ohřáté vody; teplo se přitom získává z odpadního vzduchu. Fotovoltaické panely s maximálním výkonem 2,4 kW integrované do fasády vrátí za rok dvě třetiny elektřiny spotřebované k vytápění.

Maximální využití obnovitelných surovin a ozdravení starého domu namísto demolice a nové výstavby snížilo mimo jiné o 80 % spotřebu neobnovitelných surovin a energie vložené do stavby (tzv. šedé energie).

Ozdravení domu na pasivní standard se vyplatí

Důsledná přestavba na pasivní dům dala vzniknout oproti konvenční sanaci 15 % a použití ekologických opatření 9 % vícenákladů. Díky dramatickému snížení energetické náročnosti, splnění podmínek pro nejvyšší stupeň státní podpory a očekávanému růstu cen tepla se důsledná sanace majiteli domu vyplatila již prvním rokem. Obyvatelé si tak již nebudou muset lámat hlavu nad stoupajícími cenami energie. „Tepelně udržitelné“ ozdravení starých domů představuje s odstupem nejdůležitější přínos pro účinnou redukci emisí CO₂. Zároveň se nabízí šance přivést ostatní budovy vyžadující sanaci na stejně vysoký standard uživatelského komfortu. Jde o podstatné zlepšení oproti konvenčně sanovaným budovám jak v ohledu ochrany proti zimním mrazům a letním vedrům, tak i díky komfortnímu větrání s vysoce účinnou rekuperací tepla, které garantuje permanentně čerstvý vzduch ve všech místnostech a bytovou pohodu jako v té nejlepší novostavbě.

Informace o objektu

Rodinný dům v Pettenbachu

Užitná plocha: 205 m²

Rok výstavby: 2005

Energetická náročnost:

potřeba tepla na vytápění před sanací: 280,00 kWh/(m²a)

potřeba tepla na vytápění po sanaci: 14,70 kWh/(m²a)

normová tepelná ztráta: 10,70 W/m²

Konstrukce:

kombinovaná

obvodová stěna: hotové dřevěné díly zavěšené před dosavadními zdmi s 36 cm celulózy

střecha: hotové dřevěné díly se 44 cm celulózy

podlaha: nad sklepem 5 cm staré izolace, 2 cm vakuové izolace a 6 cm EPS, nad zeminou 24 cm XPS

Součinitele prostupu tepla U:

obvodová stěna: 0,10 W/(m²K)

střecha: 0,09 W/(m²K)

podlaha/strop nad sklepem: 0,13 W/(m²K)

Okna:

dřevěné rámy kryté hliníkem

U_w: 0,77 W/(m²K)

zasklení izolačními trojskly U_g : 0,60 W/(m²K)

Větrání:

kompaktní větrací zařízení (tepelná centrála) se zemním kolektorem tepla

Vytápění a ohřev teplé vody:

malé tepelné čerpadlo s příkonem max. 0,5 kW a elektrické topné panely; 2/3 jejich spotřeby poskytne za rok fotovoltaická fasáda



Obr. Stav před rekonstrukcí



Obr Stav po rekonstrukci



Obr. Instalace předsazené fasády

6. Příklad ekonomické analýzy rekonstrukce z ČR

6.1. Stávající stav

Rodinný dům je koncový řadový s jednou bytovou jednotkou. Objekt má dvě nadzemní podlaží a nepoužívanou půdu. Střecha domu je sedlová.

V domě byla provedena částečná rekonstrukce interiéru. Kdy byly kromě úprav interiéru nově provedeny rozvody vody, kanalizace a nově provedeno ústřední vytápění.

V rámci plánované rekonstrukce bude provedeno zateplení objektu, výměna stávajících špaletových oken za dřevěná okna, rekonstrukce stávajících podlah ve vstupním podlaží. Dále bude z dosud nevyužívané půdy vytvořena nová obytná místnost, čímž se zvětší obytná plocha objektu o 40 m².

V rámci studie bude porovnáno pět variant zlepšení energetické náročnosti budovy s původním stavem před rekonstrukcí. Ve všech variantách je uvažováno s řízeným větráním s rekuperací tepla pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí a omezení nebezpečí vzniku plísní vlivem nadměrné vlhkosti a nedostatečné výměny vzduchu. Pro vybranou variantu bude dále proveden návrh nového systému vytápění a přípravy teplé vody. V jednotlivých variantách se nezabýváme technickými opatřeními, která se musí provést ve všech variantách. Jedná se hlavně o statické zajištění objektu a řešení problémů s vlhkostí.

Průměrná návrhová vnitřní teplota během topného období je 20°C. Ve výpočtu součinitele prostupu tepla U je započítán vliv systematických tepelných mostů (např. krokve či nerezové kotvy) formou korekce (přirážky) ΔU (W/(m²K)).

6.2. Charakteristika konstrukcí

Všechny použité konstrukce jsou porovnány s požadavky a doporučeními normy ČSN

730540–2:2007 na hodnotu součinitele prostupu tepla.

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/(m ² K)]	$U_{\text{pož}}$ [W/(m ² K)]	U_{dop} [W/(m ² K)]
Zdivo CP 325	12,0	1,64	0,38	0,25
Zdivo Porotherm 36,5	22,3	0,37	0,38	0,25
Zdivo CP 460	20,0	1,28	0,38	0,25
Zdivo CP 500	56,0	1,20	0,38	0,25
Zdivo CP 545	14,3	1,13	0,38	0,25
Zdivo CP 350 pod terénem	5,8	1,55	0,45	0,30

Zdivo CP 500 pod terénem	23,3	1,20	0,45	0,30
Podlaha na zemině	107,6	3,24	0,45	0,30
Plochá střecha – terasa přístavby	29,6	0,43	0,24	0,16
Střecha – šikmá část	90,0	0,34	0,24	0,16
Okna špaletová	20,6	2,35	1,70	1,20
Okna novější	10,9	1,40	1,70	1,20
Dveře vstupní	1,80	2,30	3,50	2,30

Tabulka 1. Přehled obalových konstrukcí (stávající stav).

Varianta I

Tato varianta řeší základní tepelně technické zlepšení objektu a rekonstrukci půdy na obytnou místnost. Součástí této rekonstrukce je vyspravení střechy a tepelná izolace mezi krokve stávajícího krovu.

V této variantě je navrženo:

- kontaktní zateplování systém s izolantem z pěnového polystyrenu v tl. 50 mm
- výměna špaletových oken za standardní dřevěná s izolačním dvojsklem
- rekonstrukce půdy na obytnou místnost s tepelnou izolací z minerální vlny mezi krokve v tloušťce 150 mm
- zateplení terasy nad přístavbou extrudovaným polystyrenem v tl. 50 mm a rekonstrukce nášlapné vrstvy
- kompletní rekonstrukce podlah ve vstupním nadzemním podlaží, tepelná izolace extrudovaný polystyren v tl. 50 mm

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/(m ² K)]	U _{pož} [W/(m ² K)]	U _{dop} [W/(m ² K)]
Zdivo CP 325 + KZS 50 mm	12,0	0,54	0,38	0,25
Zdivo Porotherm 36,5 + KZS 50 mm	22,3	0,26	0,38	0,25
Zdivo CP 460+ KZS 50 mm	20,0	0,49	0,38	0,25
Zdivo CP 500 + KZS 50 mm	56,0	0,48	0,38	0,25
Zdivo CP 545 + KZS 50 mm	14,3	0,47	0,38	0,25
Zdivo CP 350 pod terénem + 50 mm XPS	5,8	0,54	0,45	0,30
Zdivo CP 500 pod terénem + 50 mm XPS	23,3	0,48	0,45	0,30
Podlaha na zemině + PPS 50 mm	107,6	0,63	0,45	0,30
Plochá střecha – terasa + XPS 50 mm	29,6	0,25	0,24	0,16
Střecha – šikmá část + 150 mm MW	54,9	0,36	0,24	0,16
Střecha – vodorovná část + 150 mm MW	28,0	0,36	0,24	0,16
Okna dřevěná s izolačním dvojsklem	20,6	1,70	1,70	1,20
Střešní okna	4,20	2,00	1,50	1,10
Dveře vstupní	1,80	3,00	3,50	2,30
Balkónové dveře	3,60	1,70	1,70	1,20

Varianta II

Varianta se od Varianty I liší pouze větší tloušťkou použité tepelné izolace. Změny oproti Variantě I jsou vyznačeny tučně.

V této variantě je navrženo:

- kontaktní zateplování systém s izolantem z pěnového polystyrenu v tl. **100 mm**
- výměna špaletových oken za standardní dřevěná s izolačním dvojsklem
- rekonstrukce půdy na obytnou místnost s tepelnou izolací z minerální vlny mezi krokve v tloušťce 150 mm
- zateplení terasy nad přístavbou extrudovaným polystyrenem v tl. **100 mm** a rekonstrukce nášlapné vrstvy
- kompletní rekonstrukce podlah ve vstupním nadzemním podlaží, tepelná izolace extrudovaný polystyren v tl. **100 mm**

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/(m ² K)]	U _{pož} [W/(m ² K)]	U _{dop} [W/(m ² K)]
Zdivo CP 325 + KZS 100 mm	12,0	0,32	0,38	0,25
Zdivo Porotherm 36,5 + KZS 100 mm	22,3	0,19	0,38	0,25
Zdivo CP 460+ KZS 100 mm	20,0	0,31	0,38	0,25
Zdivo CP 500 + KZS 100 mm	56,0	0,30	0,38	0,25
Zdivo CP 545 + KZS 100 mm	14,3	0,30	0,38	0,25
Zdivo CP 350 pod terénem + 100 mm XPS	5,8	0,30	0,45	0,30
Zdivo CP 500 pod terénem + 100 mm XPS	23,3	0,32	0,45	0,30
Podlaha na zemině + PPS 100 mm	107,6	0,35	0,45	0,30
Plochá střecha – terasa + XPS 100 mm	29,6	0,19	0,24	0,16
Střecha – šikmá část + 150 mm MW	54,9	0,36	0,24	0,16
Střecha – vodorovná část + 150 mm MW	28,0	0,36	0,24	0,16
Okna dřevěná s izolačním dvojsklem	20,6	1,70	1,70	1,20
Střešní okna	4,20	2,00	1,50	1,10
Dveře vstupní	1,80	2,00	3,50	2,30
Balkónové dveře	3,60	1,70	1,70	1,20

Varianta III

Varianta se od Varianty II liší pouze větší tloušťkou použité tepelné izolace. Změny oproti Variantě II jsou vyznačeny tučně.

V této variantě je navrženo:

- kontaktní zateplování systém s izolantem z pěnového polystyrenu v tl. **150 mm**
- výměna špaletových oken za standardní dřevěná s izolačním dvojsklem
- rekonstrukce půdy na obytnou místnost s tepelnou izolací z minerální vlny mezi krokve v tloušťce 150 mm
- zateplení terasy nad přístavbou extrudovaným polystyrenem v tl. **150 mm** a rekonstrukce nášlapné vrstvy
- kompletní rekonstrukce podlah ve vstupním nadzemním podlaží, tepelná izolace extrudovaný polystyren v tl. **150 mm**

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/(m ² K)]	U _{pož} [W/(m ² K)]	U _{dop} [W/(m ² K)]
Zdivo CP 325 + KZS 150 mm	12,0	0,23	0,38	0,25
Zdivo Porotherm 36,5 + KZS 150 mm	22,3	0,16	0,38	0,25
Zdivo CP 460+ KZS 150 mm	20,0	0,22	0,38	0,25
Zdivo CP 500 + KZS 150 mm	56,0	0,22	0,38	0,25
Zdivo CP 545 + KZS 150 mm	14,3	0,22	0,38	0,25
Zdivo CP 350 pod terénem + 150 mm XPS	5,8	0,22	0,45	0,30
Zdivo CP 500 pod terénem + 150 mm XPS	23,3	0,23	0,45	0,30
Podlaha na zemině + PPS 150 mm	107,6	0,24	0,45	0,30
Plochá střecha – terasa + XPS 150 mm	29,6	0,15	0,24	0,16
Střecha – šikmá část + 150 mm MW	54,9	0,36	0,24	0,16
Střecha – vodorovná část + 150 mm MW	28,0	0,36	0,24	0,16
Okna dřevěná s izolačním dvojsklem	20,6	1,70	1,70	1,20
Střešní okna	4,20	2,00	1,50	1,10
Dveře vstupní	1,80	2,00	3,50	2,30
Balkónové dveře	3,60	1,70	1,70	1,20

Varianta IV

Varianta se od Varianty III liší větší tloušťkou použité tepelné izolace a použitím kvalitních dřevěných oken zasklených izolačním trojsklem.. Změny oproti Variantě III jsou vyznačeny tučně.

V této variantě je navrženo:

- kontaktní zateplovací systém s izolantem z pěnového polystyrenu v tl. **200 mm**
- výměna špaletových oken za kvalitní **dřevěná okna s izolačním trojsklem**
- rekonstrukce půdy na obytnou místnost s tepelnou izolací z minerální vlny mezi krokve v tloušťce **200 mm**
- zateplení terasy nad přístavbou extrudovaným polystyrenem v tl. **200 mm** (maximální tloušťka kvůli konstrukčním omezením) a rekonstrukce nášlapné vrstvy
- kompletní rekonstrukce podlah ve vstupním nadzemním podlaží, tepelná izolace extrudovaný polystyren v tl. **200 mm**

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/(m ² K)]	U _{pož} [W/(m ² K)]	U _{dop} [W/(m ² K)]
Zdivo CP 325 + KZS 150 mm	12,0	0,18	0,38	0,25
Zdivo Porotherm 36,5 + KZS 150 mm	22,3	0,13	0,38	0,25
Zdivo CP 460+ KZS 150 mm	20,0	0,17	0,38	0,25
Zdivo CP 500 + KZS 150 mm	56,0	0,17	0,38	0,25
Zdivo CP 545 + KZS 150 mm	14,3	0,17	0,38	0,25
Zdivo CP 350 pod terénem + 150 mm XPS	5,8	0,22	0,45	0,30
Zdivo CP 500 pod terénem + 150 mm XPS	23,3	0,23	0,45	0,30
Podlaha na zemině + PPS 150 mm	107,6	0,19	0,45	0,30
Plochá střecha – terasa + XPS 150 mm	29,6	0,13	0,24	0,16
Střecha – šikmá část + 150 mm MW	54,9	0,27	0,24	0,16
Střecha – vodorovná část + 150 mm MW	28,0	0,27	0,24	0,16
Okna dřevěná s izolačním dvojsklem	20,6	0,85	1,70	1,20
Střešní okna	4,20	1,10	1,50	1,10
Dveře vstupní	1,80	1,00	3,50	2,30
Balkónové dveře	3,60	0,85	1,70	1,20

Varianta V

Varianta se od Varianty IV liší větší tloušťkou použité tepelné izolace. Změny oproti Variantě IV jsou vyznačeny tučně.

V této variantě je navrženo:

- kontaktní zateplování systém s izolantem z pěnového polystyrenu v tl. **250 mm**
- výměna špaletových oken za kvalitní dřevěná okna s izolačním trojsklem
- rekonstrukce půdy na obytnou místnost s tepelnou izolací z minerální vlny mezi krokve v tloušťce **250 mm**
- zateplení terasy nad přístavbou extrudovaným polystyrenem v tl. 200 mm a rekonstrukce nášlapné vrstvy
- kompletní rekonstrukce podlah ve vstupním nadzemním podlaží, tepelná izolace extrudovaný polystyren v tl. **250 mm**

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/(m ² K)]	U _{pož} [W/(m ² K)]	U _{dop} [W/(m ² K)]
Zdivo CP 325 + KZS 150 mm	12,0	0,18	0,38	0,25
Zdivo Porotherm 36,5 + KZS 150 mm	22,3	0,13	0,38	0,25
Zdivo CP 460+ KZS 150 mm	20,0	0,17	0,38	0,25
Zdivo CP 500 + KZS 150 mm	56,0	0,17	0,38	0,25
Zdivo CP 545 + KZS 150 mm	14,3	0,17	0,38	0,25
Zdivo CP 350 pod terénem + 150 mm XPS	5,8	0,22	0,45	0,30
Zdivo CP 500 pod terénem + 150 mm XPS	23,3	0,23	0,45	0,30
Podlaha na zemině + PPS 150 mm	107,6	0,19	0,45	0,30
Plochá střecha – terasa + XPS 150 mm	29,6	0,13	0,24	0,16
Střecha – šikmá část + 150 mm MW	54,9	0,27	0,24	0,16
Střecha – vodorovná část + 150 mm MW	28,0	0,27	0,24	0,16
Okna dřevěná s izolačním dvojsklem	20,6	0,85	1,70	1,20
Střešní okna	4,20	1,10	1,50	1,10
Dveře vstupní	1,80	1,00	3,50	2,30
Balkónové dveře	3,60	0,85	1,70	1,20

6.3. Investiční náklady jednotlivých variant

Pro posouzení jednotlivých variant je nutné zohlednit pouze náklady, které mají vztah ke zlepšení energetické náročnosti objektu. V nákladech tak nejsou vyčísleny kompletní náklady na rekonstrukci. Investiční náklady jsou vyčísleny v cenách bez DPH.

Var.	Konstrukce	Inv. náklady [Kč]
0	Oprava fasády	62 500
	Renovace oken	50 000
	CELKEM	112 500
I	Kontaktní zateplování systém z pěnového polystyrenu tl. 50 mm	93 125
	Zateplení střešního pláště MW tl. 150 mm	97 650
	Zateplení podlahy na terénu XPS tl. 50 mm	101 490
	Zateplení ploché střechy XPS tl. 50 mm	15 000
	Výměna oken a vchodových dveří	200 000
	Nucené větrání s rekuperací tepla	100 000
	CELKEM	607 265
II	Kontaktní zateplování systém z pěnového polystyrenu tl. 100 mm	105 000
	Zateplení střešního pláště MW tl. 150 mm	97 650
	Zateplení podlahy na terénu XPS tl. 100 mm	111 180
	Zateplení ploché střechy XPS tl. 100 mm	21 000
	Výměna oken a vchodových dveří	200 000
	Nucené větrání s rekuperací tepla	100 000
	CELKEM	634 830
III	Kontaktní zateplování systém z pěnového polystyrenu tl. 150 mm	116 875
	Zateplení střešního pláště MW tl. 150 mm	97 650
	Zateplení podlahy na terénu XPS tl. 150 mm	120 870
	Zateplení ploché střechy XPS tl. 150 mm	27 000
	Výměna oken a vchodových dveří	230 000
	Nucené větrání s rekuperací tepla	100 000
	CELKEM	692 395
IV	Kontaktní zateplování systém z pěnového polystyrenu tl. 200 mm	128 750

	Zateplení střešního pláště MW tl. 200 mm	115 200
	Zateplení podlahy na terénu XPS tl. 200 mm	130 560
	Zateplení ploché střechy XPS tl. 200 mm	33 000
	Výměna oken a vchodových dveří – trojskla	280 000
	Nucené větrání s rekuperací tepla	100 000
	CELKEM	787 510
V	Kontaktní zateplovací systém z pěnového polystyrenu tl. 250 mm	140 625
	Zateplení střešního pláště MW tl. 250 mm	123 750
	Zateplení podlahy na terénu XPS tl. 250 mm	140 250
	Zateplení ploché střechy XPS tl. 200 mm	33 000
	Výměna oken a vchodových dveří – trojskla	280 000
	Nucené větrání s rekuperací tepla	100 000
	CELKEM	817 625

Z tabulky je zřejmé, že se na nákladech velmi výrazně podílí cena práce a ostatních materiálů, zvětšení tloušťky tepelné izolace o 5 cm představuje navýšení celkové ceny o zhruba 5 %.

6.4. Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby tepla na vytápění byl proveden dle normy ČSN 832. Ve stávajícím stavu bylo uvažováno s přirozeným větráním, v ostatních variantách s nuceným větráním s rekuperací vzduchu s účinností 75 % (varianty 1 až 3) a 80 % (varianty 4 a 5 – díky kvalitním vzduchotěsně osazeným oknům).

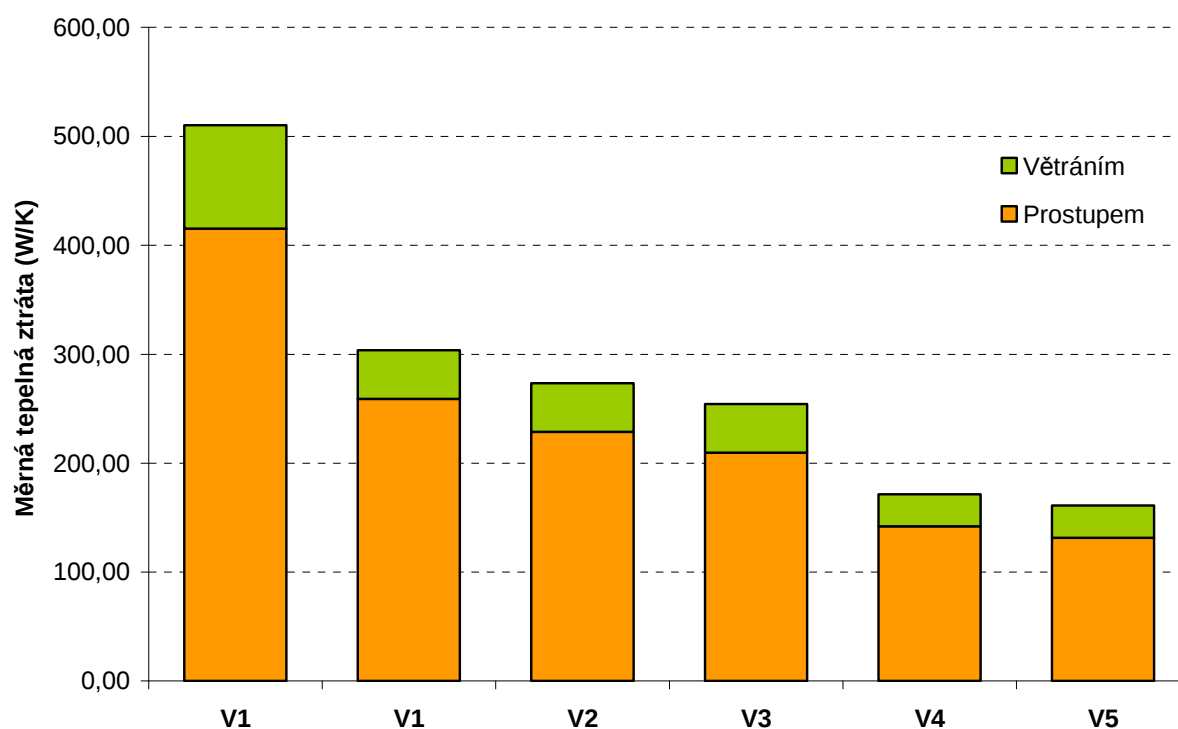
Pro srovnatelnost bylo pro vytápění ve všech variantách uvažováno s plynovým nízkoteplotním kotlem. Teplo pro ohřev teplé vody je ve všech variantách stejné, nebudeme ho proto v dalším srovnání uvažovat.

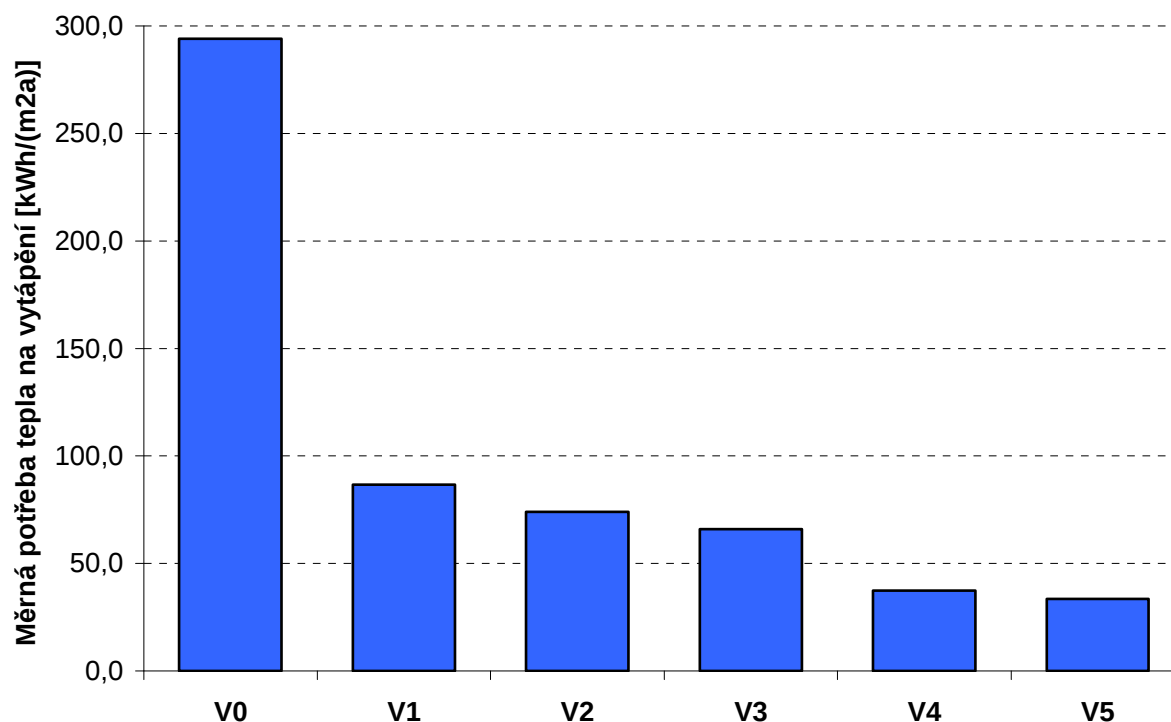
	V0	V1	V2	V3	V4	V5
Potřeba tepla na vytápění	38,5	17,5	14,9	13,3	7,5	6,8
Zlepšení oproti variantě 0 (stávající stav)	0,0%	54,6%	61,2%	65,5%	80,4%	82,5%
Podlahová plocha	130,9	201,9	201,9	201,9	201,9	201,9
Měrná potřeba tepla na vytápění	294,2	86,7	74,0	65,9	37,3	33,5
Zlepšení oproti variantě 0 (stávající stav)	0,0%	70,5%	74,8%	77,6%	87,3%	88,6%

Pozn.: díky rekonstrukci podkroví byla zvětšena podlahová plocha objektu o 71 m²

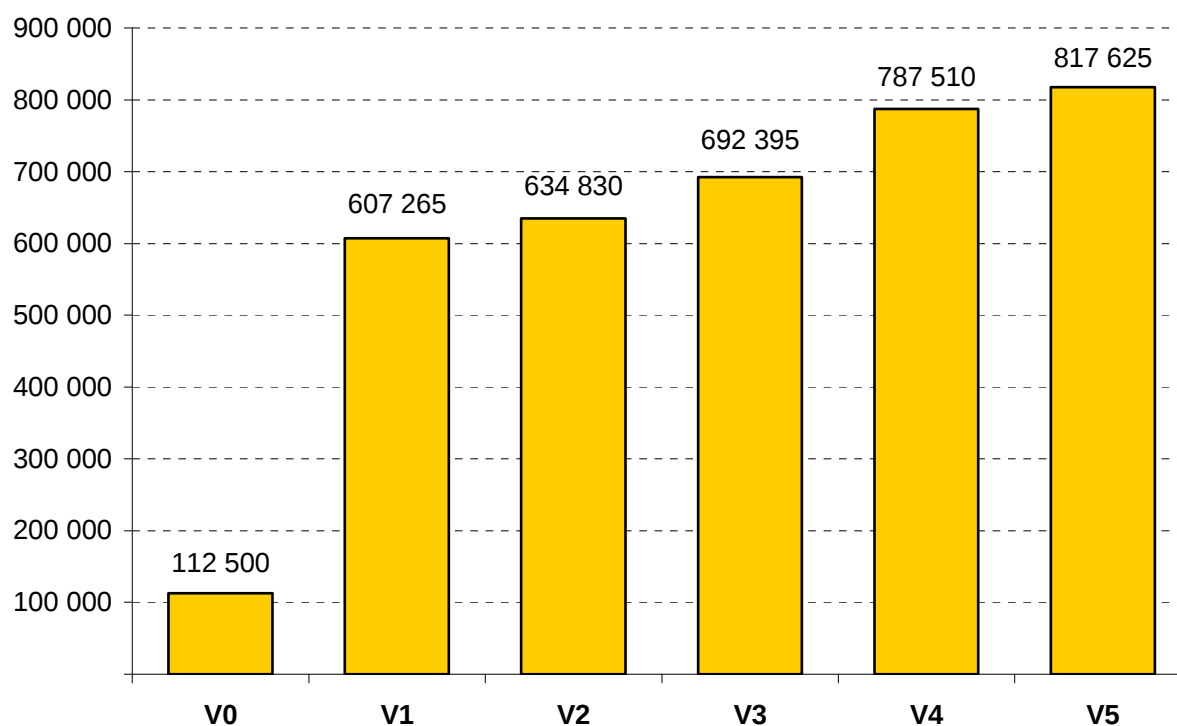
Roční náklady na vytápění (stav k 2008)	48 459 Kč	23 050 Kč	19 957 Kč	17 975 Kč	10 983 Kč	10 042 Kč
Zlepšení oproti variantě 0 (stávající stav)	0,0%	52,4%	58,8%	62,9%	77,3%	79,3%

Měrná tepelná ztráta objektu



Měrná potřeba tepla na vytápění**6.5. Ekonomická analýza**

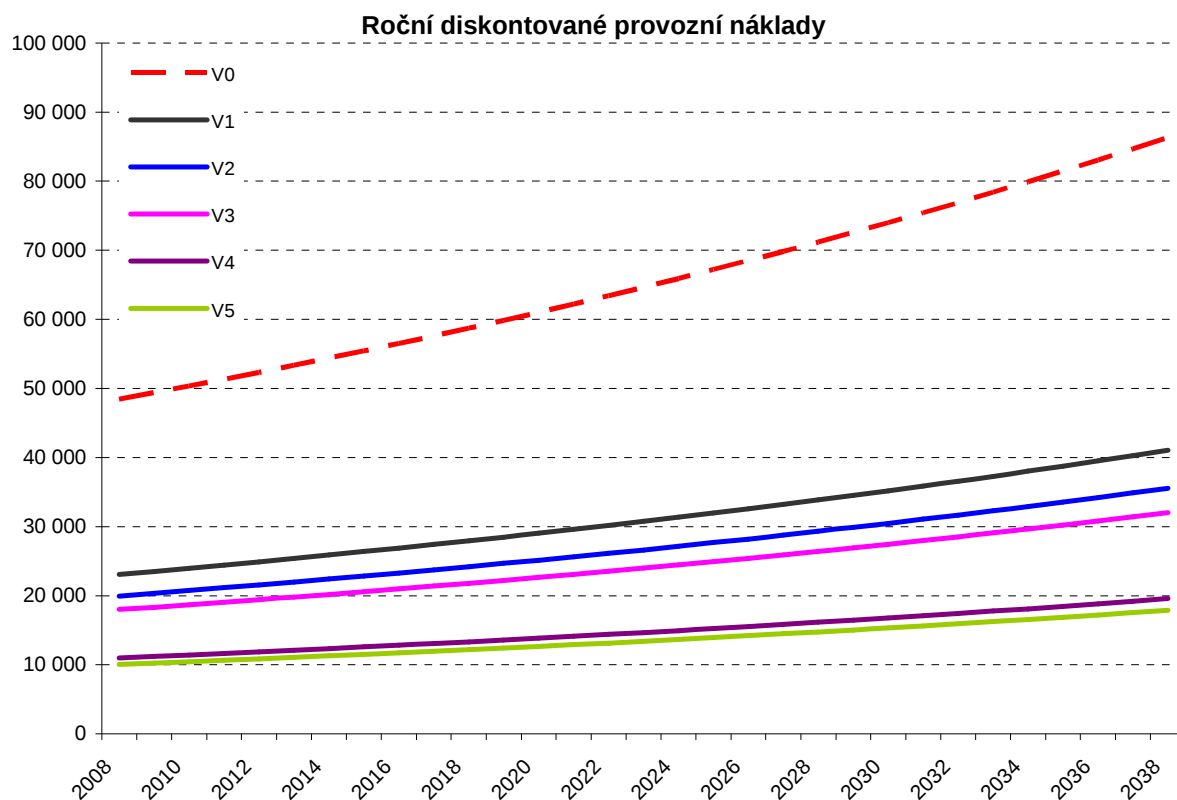
Pro ekonomickou analýzu byly zvoleny dvě varianty růstu ceny energie 5 % a 8 % ročně. Provozní náklady jsou dle tohoto předpokladu upraveny. Investiční náklady jsou započteny na začátku časové řady. U všech konstrukčních řešení předpokládáme životnost jednotlivých opatření delší než 30 let, proto v hodnocení nejsou zahrnuty reinvestice. Roční náklady jsou diskontovány diskontní sazbou 3 % (odpovídá alternativnímu výnosu z investice se stejnou mírou rizika, např. dluhopisy).

Investiční náklady

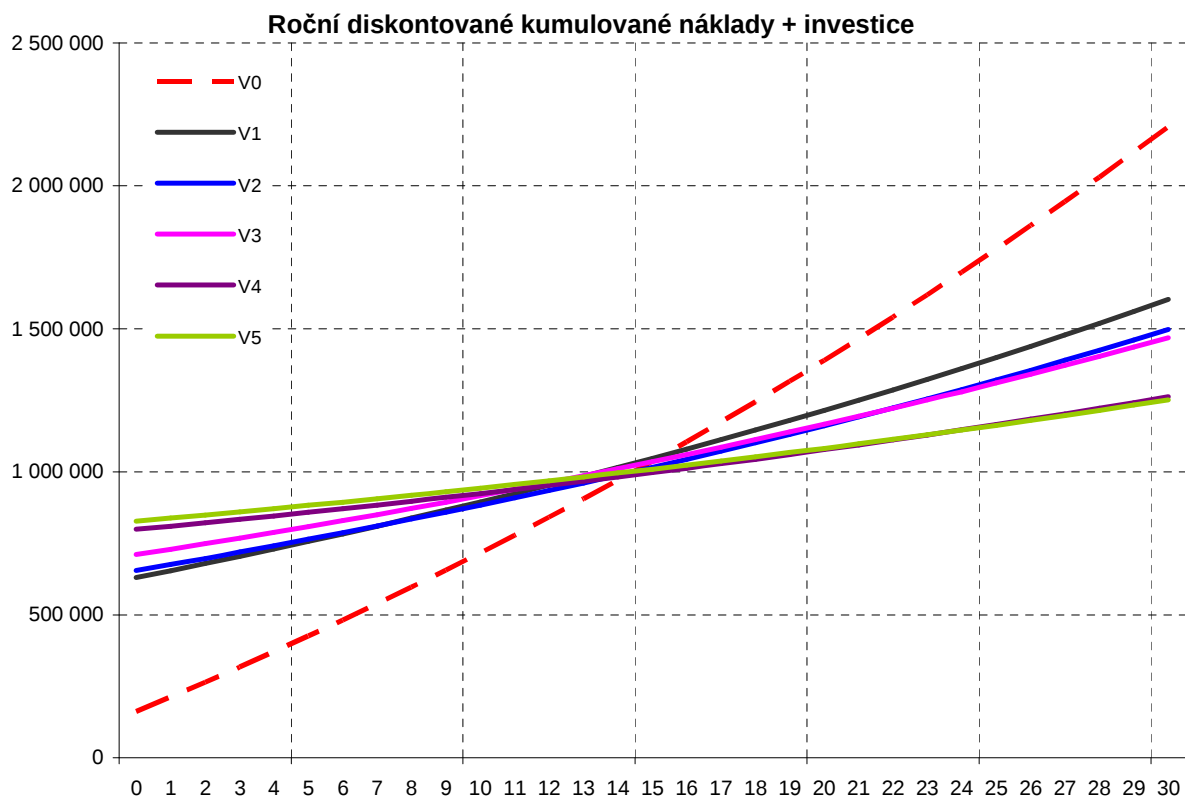
Porovnání počátečních investičních nákladů jednotlivých variant

Porovnání pro meziroční zvyšování cen 5 %

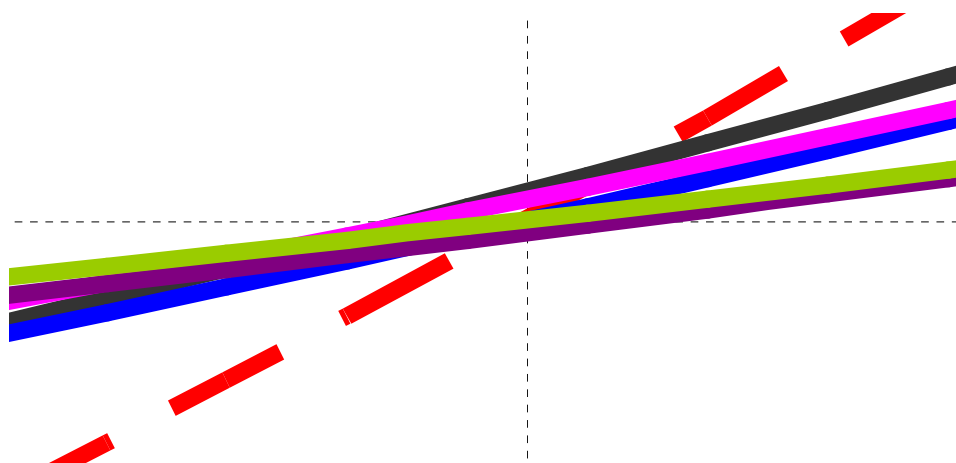
Následující graf ukazuje, jak se budou vyvíjet provozní náklady (vyjádřeno v dnešní ceně peněz). Je zřejmé, že roční provozní náklady variant 1 až 5 budou v porovnání s provozními náklady ve stávajícím objektu méně závislé na zvyšování ceny energie.



Na následujícím obrázku jsou srovnány roční provozní náklady, navýšené o počáteční investici jednotlivých variant. Z tohoto grafu lze zjistit dobu návratnosti jednotlivých variant. Červenou čárkovanou čarou je znázorněn současný stav (kde byly provedeny pouze nejnutnější opatření) s jednotlivými variantami rekonstrukce.

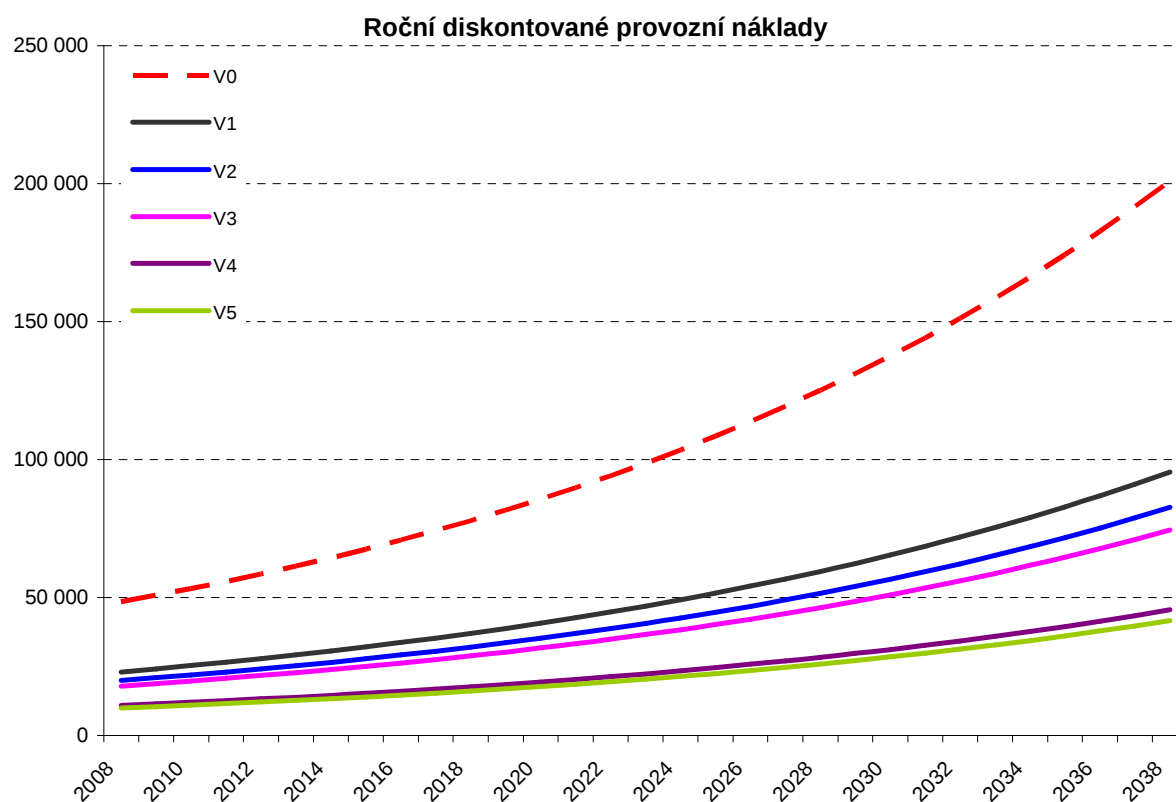


Na následujícím obrázku je detail oblasti, kde dochází k protnutí jednotlivých variant. Je patrné, že návratnost všech opatření se pohybuje mezi 14,5 a 15,5 roky

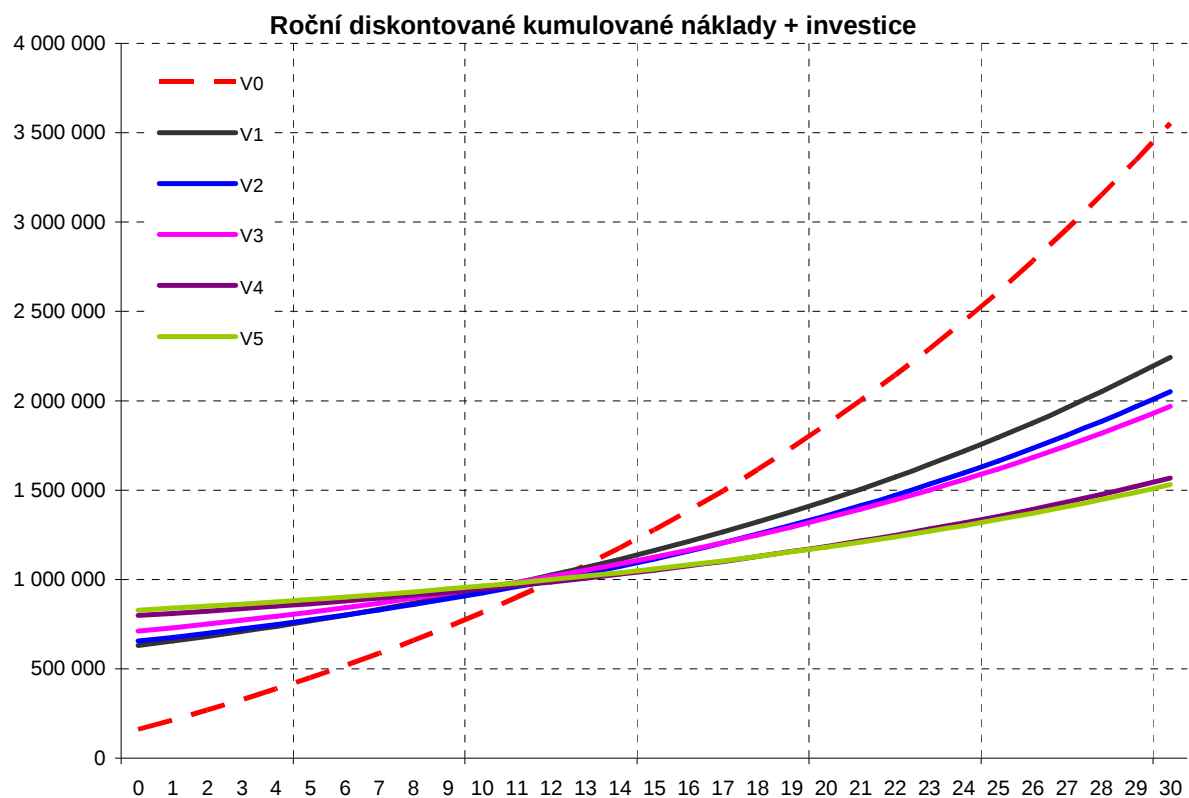


Porovnání pro meziroční zvyšování cen 8 %

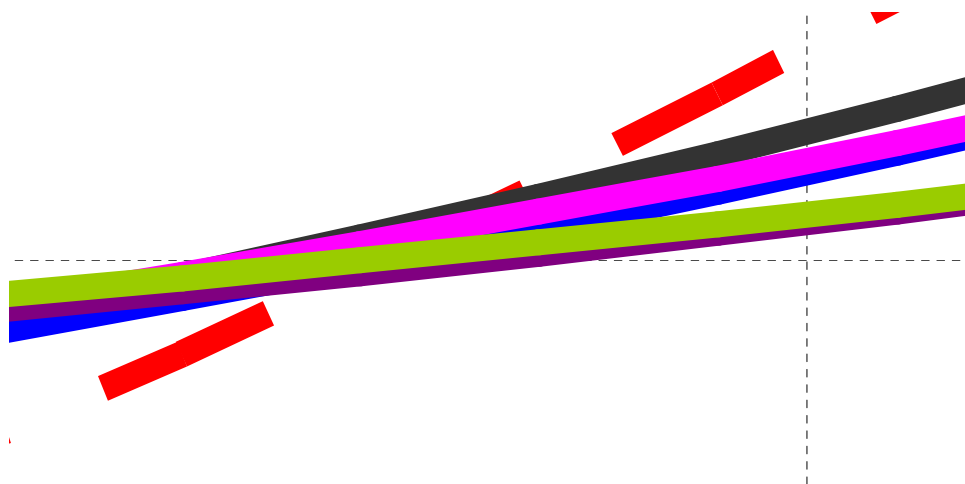
Následující graf ukazuje, jak se budou vyvíjet provozní náklady (vyjádřeno v dnešní ceně peněz). Je zřejmé, že roční provozní náklady variant 1 až 5 budou v porovnání s provozními náklady ve stávajícím objektu méně závislé na zvyšování ceny energie.



Na následujícím obrázku jsou srovnány roční provozní náklady, navýšené o počáteční investici jednotlivých variant. Z tohoto grafu lze zjistit dobu návratnosti jednotlivých variant. Červenou čárkovanou čarou je znázorněn současný stav (kde byly provedeny pouze nejnutnější opatření) s jednotlivými variantami rekonstrukce.



Na následujícím obrázku je detail oblasti, kde dochází k protnutí jednotlivých variant. Je patrné, že návratnost všech opatření se pohybuje kolem 12 let.



6.6. Závěr

Všechny varianty rekonstrukce daného rodinného domu výrazně zlepšují kvalitu bydlení, a všechny zvětšují obytný prostor o 70 m² díky rekonstrukci půdy na obytné podkroví. Ve všech variantách je uvažováno s nuceným větráním s rekuperací vzduchu, které výrazně přispívá ke kvalitě vnitřního prostředí a omezuje rizika vzniku plísní v interiéru.

Ve studii jsou předpokládány dvě různé varianty vývoje cen energie. V obou variantách je návratnost opatření do 15 let, což je výrazně kratší doba než technická životnost všech opatření.

Pro zjednodušení bylo uvažováno ústřední vytápění, zdrojem tepla je zemním plynem, které bylo v analyzovaném objektu před pěti lety nově provedeno.

7. Literatura, zdroje

- (1) FEIST, W. *Einsatz von Passivhaustechnologien bei Altbaumodernisierung*, Passivhaus Institut, Darmstadt , 2000
- (2) GABRIEL, I., LADENER, H. *Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus: Gebäudesanierung, neue Energiestandards, Planung und Baupraxis*, ökobuch Verlag GmbH, Staufen bei Freiburg/Breisgau, 2008
- (3) LANG, G., LANG, M. *Erstes Einfamilien-Passivhaus im Altbau*, web
- (4) HAZUCHA, J. – *Informační listy Pasivní domy*, Centrum pasivního domu, 2008