

Zkušenosti z realizací a provozu energeticky pasivních domů v ČR

V současné době se s názvem energeticky pasivní dům (EPD) setkáváme na každém kroku, existuje podpora výstavby energeticky pasivních domů SFŽP. Hrozba vzrůstajících cen energií tomuto tématu velmi nahrává. Kdo o tomto tématu nepíše, EPD neprojektuje nebo nestaví, není „in“. V praxi se však již zoufalý majitel ptá, proč má v jarním období přehřátý objekt, a nemůže si ani pootevřít okno. Bez otevření nefunguje ani přetlakové chlazení ve spojení s přímým zemním výměníkem. Někde nastala chyba... Problém není EPD temperovat, ale udržet v letním období v interiéru bez zvýšených nákladů optimální teplotu.

Podmínky pro získání státní podpory

Abychom mohli požádat o podporu na výstavbu EPD, musíme splnit několik podmínek. Jednou z nich je výpočet, stanovující tabulkovou hodnotu potřeby energie na vytápění v přepočtu na podlahovou plochu. Spotřebu energie při užívání objektu ovlivňuje mnoho parametrů – lokalita stavby, počet osob případně i výška okolních budov, které bohužel v době přípravy projektu často neznáme. Není výjimkou, že výsledná hodnota spotřeby reálně postaveného domu se tak může výrazně lišit od hodnot vypočtených. Existuje mnoho výpočetních postupů, ale porovnání objektů mezi sebou je problém. Je příjemné, že díky aktivitě ČVUT Praha byla vytvořena metodika, která používá stejná klimatická data a stejné místo stavby. Pokud výsledný výpočet bude nižší než PaRD 20 kWh/m².a, jedna z podmínek je splněna. A je lhostejné, zda dům fyzicky stojí na Sněžce nebo u Břeclavi. Úředníci budou mít ulehčenou práci.

Realizace prvního EPD v ČR – Rychnov u Jablonce nad Nisou

V roce 2004 jsme realizovali stavbu EPD v Rychnově u Jablonce. Mimo jiné i proto, abychom získali zkušenosti z první ruky. Celý projekt byl připravován tak, aby výsledek splňoval všechny hodnoty EPD. Zvolili jsme kombinaci oken, která mají plochu skla cca 4,3 m², tedy cca 11 % jižní svislé stěny domu. Výrazně nižší než dle zahraniční literatury dříve doporučovaná hodnota cca 25–40 %. Jak potvrdil provoz objektu, volba byla správná, vždyť např. v zimě 2008–2009 bylo celkem devět slunečných dní. Je tedy možné se sluncem v zimě v českých podmínkách počítat? Pro temperování a větrání jsme použili systém teplovzdušného cirkulačního vytápění a řízeného větrání s rekuperací odpadního tepla, ohřev TUV a UT zajišťuje akumulární zásobník s el. spirálami a se solární podporou. Dům je realizován se vzduchovým zemním výměníkem tepla s možností cirkulace.

Od ledna roku 2005 ve spolupráci s ČVUT Praha měříme a sledujeme nyní už 39 provozních parametrů (teplot, vlhkostí, koncentrací CO₂, provozních stavů VZT systému a zdroje tepla, teplotu zeminy v různých hloubkách, ve spolupráci s TU Liberec pak i intenzitu slunečního záření). K dispozici máme tisíce údajů, vzájemně se ovlivňujících. Zpracováním a pochopením jednotlivých vazeb jsme teď schopni předpovídat chování objektu při užívání. Lze říci, že za téměř čtyři roky provozu (dům je obydlený od 5. 12. 2004) jsme získali mnoho zkušeností. Také boříme některé mýty, které se k otázce EPD v ČR vážou.

Porovnání objektu NED a EPD parametrů

Často po postavení objektu, který by měl splňovat požadavky na nízkoenergetický dům (NED), je investor překvapen denní spotřebou energie. Předpokládal, že bude minimální, a přitom elektroměr neúprosně ukazuje něco jiného.

V tabulce 1 je porovnání teoretické potřeby energie v objektu velikosti objektu v Rychnově v provedení NED a EPD parametrů. Toto porovnání bylo provedeno pro teplotně průměrný zimní den, ve kterém sluníčko ani nezaskví. To proto, aby porovnání nebylo ovlivněno pasivními slunečními zisky. Výrazný rozdíl nastává v době zabydlování objektu. Pokud je dům stavebně dokončen např. začátkem prosince a začne se zvedat teplota interiéru ze stavební teploty cca 12 °C na požadovanou teplotu interiéru 22 °C, je potřeba dodat velké množství energie na prohřátí konstrukcí. U zděného objektu se jedná o desítky až stovky tun materiálu. Denní spotřeba pak může být i čtyřikrát vyšší než údaj v tabulce 2.

Zimní pasivní sluneční zisky

Jak skloubit stav, kdy je v chladnějším období roku mnoho dní bez slunce (např. od 3. 11. do 28. 12. 2005 byly pouze tři slunečné dny) a dochází k velkým ztrátám prostupem tepla přes okna, a stav v zimních slunečných dnech, aniž by pasivní zisky nepřehřívaly interiér? V úvahu jsme brali i výšku slunce nad obzorem a mnoho dalších vlivů (stromy v okolí, domy sousedů...). Námi zvolená plocha jižního prosklení (4,3 m²) byla mnohými příznivci energeticky pasivní výstavby dříve považována za malou. Provoz ukázal, že jsme pro prostředí ČR dimenzovali správně.

V grafu 1 je vazba spotřeby energie potřebné na vytápění konkrétního dne (značeno UT) a venkovní celodenní průměrné teploty (t_{celod}) a informace o tom, zda byl den slunečný nebo ne. Je vidět, že EPD Rychnov se chová skutečně pasivně k venkovní teplotě (dle vyznačení – např. 23. 1. 2006 byla t_{celod} – 17,1 °C, slunečno, spotřeba na temperování byla 14,1 kWh/den, obdobně jako např. 21. 1. 2006, t_{celod} 1,36 °C, slunečno; 7. 1. 2006 byla t_{celod} –0,3 °C, zataženo, spotřeba je výrazně vyšší). Z grafu je jasně patrná závislost spotřeby energie na temperování za den ve vazbě na slunečné počasí.

Okna na východní a západní straně není možné započítat, slunce jimi v popisovaném ročním období do domu nevstupuje, jedná se tedy pouze o ztrátu prostupem okna. Pro porovnání je v grafu 2 naznačen

rozdíl venkovních celodenních teplot a spotřeby energie částí TS 2005-06 a 2006–07. Hlavně Ø teploty ledna 2007 v Jizerských horách stojí za povšimnutí. Vliv na spotřebu je markantní.

Na návštěvě u sousedů v Rakousku, porovnání realizovaných objektů Vyzbrojeni těmito zkušenostmi jsme chtěli provést porovnání s jinými EPD domy, především v Rakousku. Tepelněizolační parametry konstrukcí občas nedosahovaly ani úrovně EPD Rychnov, v databázích jsme ale nacházeli hodnoty 8–13 kWh/m²a. Chtěli jsme tedy znát, jak je možné dosáhnout tak nízkých spotřeb v případě, že jižní fasáda je bohatě prosklená. Parametr prostupu tepla prosklení ($U = \text{cca } 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) v porovnání se stěnou ($U = 0,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) je stále cca 7krát horší. Měli jsme možnost několik těchto objektů navštívit. Na žádném domě jsme neviděli technický koncept, který je i v této době často v naší republice prezentován – tedy že stačí použít pouze větrací jednotku (vč. rekuperace) s ohřevem přiváděného vzduchu do místností. Samozřejmě že větrací VZT systém nechyběl, byl ale doplněný např. o stěnové nebo podlahové vytápění, byť plošně malé. Na chodbách dvou domů jsme si všimli topných žebříků. Také teplota temperování nás překvapila, většinou se pohybovala kolem 19–20 °C, což je o 3 °C méně, než kolik je požadováno v ČR. Co se týká zdrojů tepla, ve všech domech jsme se setkali s akumulací zásobníky, standardně se solární podporou. Polovina domů byla vybavena malým tepelným čerpadlem (50–70 bm smyčky plošného kolektoru, v provozu pět měsíců, zbytek roku rozmrzání terénu...). Velikosti některých technických místností byly velkorysé. Dokonce byly realizovány sklepy jen proto, aby se technologie někam vešla. A krby, někde i s teplovodním výměníkem, kdy se přínos do celkové bilance jen skromně odhadoval.

Dle našich zkušeností jsme chtěli udělat alespoň porovnání výpočtové. Protože metody výpočtu v ČR a Rakousku jsou rozdílné (PHPP nemá česká klimatická data a v Rakousku se nám nepodařilo získat hodnoty odpovídající ČSN, alt. STN), vybrali jsme pro porovnání s EPD Rychnov jeden dům u Vídně, kde se nám podařilo získat podrobné technické údaje. Z 60 % prosklená jižní fasáda, pultová střecha, dvě patra – prostě koncept budovy, který je v ČR často prezentován jako jediný možný pro realizaci EPD. Umístili jsme jej do Rychnova u Jablonce a do Bratislavy. V tabulce 3 je vidět shrnutí, ze kterého je patrný vliv pasivních slunečních zisků (pro porovnání také případ, že by nebyly žádné). Také uvádíme i výpočtové tepelné ztráty objektu – v Rakousku neznámý pojem. I zde může být odpověď. Na jihu je kratší topná sezóna a vyšší průměrná teplota topného období než v našich severnějších oblastech. Také slunečního svitu je na jihu víc, např. v Alpách je za rok 1,5krát více slunečního záření než u Břeclavi a 2krát více než v Jizerských horách. A pokud je v zimě jasno, tak nezáleží na venkovní teplotě. Slunečních zisků mají naši sousedi k dispozici více, než potřebují. Když jsou zisky energie přes bohatě prosklenou plochu v zimním období vyšší, než jsou tepelné ztráty prostupem, a interiér se zbytečně nepřehřívá, pak je vše v pořádku. Pokud bychom ale tento objekt umístili do Rychnova, pravděpodobně by se reálná spotřeba pohybovala v TS 2005–2006 někde kolem 30–40 kWh/m²a. V porovnání s běžnou výstavbou ČR to je stále krásná hodnota. Ale „prosklený“ EPD v Rakousku může být v ČR „pouze“ NED. Není proto vhodné všechny myšlenky a principy bezvýhradně přejímat a implementovat v našich podmínkách. Je potřeba důkladně zvážit vliv lokality a všech dalších okolností. Pokud nemáme dostatek slunečního záření, musíme se podle toho zařídit. V tabulce 3 jsou pro porovnání uvedeny výsledky výpočtů. Není ale možné započítávat do pasivních zisků období, ve kterém je nutné objekt spíše chladit. Jedná se především o tzv. přechodné období, tj. březen a duben, kdy má slunce již dostatečnou energii, ale je ještě nízko nad obzorem, takže stínící prvky nejsou plně funkční. Co také kombinace nízké tepelné ztráty a oken na jižní a hlavně západní straně provedou s teplotou interiéru v létě, navíc ve spojení s extrémě tropických dní s velkou intenzitou slunečního záření?

Zkušenosti se zemním výměníkem tepla (ZVT)

Při realizaci EPD v Rychnově byl realizován výměník s možností tzv. cirkulačního chlazení. Překlopením klapky je možné nasávat interiérový vzduch z obytné části objektu a vhánět jej do horního potrubí, prochází vzduchotěsnou šachtou a spodním potrubím se vrací zpět do domu.

Díky tomu je možno chladit objekt bez nutnosti otevírání oken, jako je tomu u přímého ZVT. Také tím, že se pro chlazení nepoužívá venkovní vzduch (např. 32 °C), ale interiérový (cca 26 °C), nevyčerpává se tak rychle kapacita zeminy kolem vedení. ZVT-c prochází stále stejný vzduch – při prvním průchodu něco málo vody zkondenzuje, pak je provoz dle měření již bez kondenzace vody. (Venkovní vzduch kondenzuje naproti tomu stále.). Snižují se proto i kontroly a odčerpávání kondenzátu. Měření ZVT-c v Rychnově může ale pro následovníky být i poněkud zavádějící – v této lokalitě je asi 5 cm hlíny a dále 130 metrů (!) homogenního jílu. Když se např. srovná teplota výstupního vzduchu po průchodu ZVT-c na začátku června a na konci srpna (při srovnatelných podmínkách), pak se příliš neliší – červen Ø 13,5 °C, srpen Ø 15,5 °C.

V zimním období se teplota vzduchu po průchodu ZVT pohybovala od 2 do 5 °C. Díky předehřevu vzduchu se snižuje využití účinnosti rekuperace. Energetický přínos sice není v zimním období velký, dle měření se pohybuje cca 0,3–0,6 kWh/den – dle intenzity řízeného větrání, ale pro ochranu rekuperačního výměníku před zámrazem a pro snížení ztrát procházením přívodního potrubí k jednotce díky vyšší teplotě přiváděného vzduchu na vstupu do objektu je přínos nepopíratelný.

Hlavní těžiště využití ZVT je v letním období, kdy ve spojení s VZT systémem může příznivě ovlivňovat snížení teploty v interiéru. Od realizace zemního výměníku (ať vzduchového nebo solankového) se velmi často pro ochlazení interiéru očekává nemožné. Kapacita země je sice prakticky nevyčerpatelná, do hry ale vstupují další okolnosti. Především se jedná o množství vzduchu, které máme k dispozici. Je nutno rozdělit realizace na rovnotlaké větrací jednotky bez možnosti cirkulace a teplovzdušné jednotky s cirkulačním okruhem.

Rovnotlaké větrací jednotky mají u standardních realizací max. výkon přívodního (a zároveň odváděného) vzduchu do cca 300 m³/h. Při průchodu zemí je ochlazen vzduch např. z venkovních 32 °C na 17 °C, při průtoku 300 m³/h je tedy chladicí výkon pouze ZVT 1,5 kW. Pro interiéry ale máme rozdíl teplot jiný – přívodní vzduch teoreticky cca 17 °C, teplota interiéru 25 °C – rozdíl teploty cca 8 °C.

Celkový chladicí výkon systému je pak díky těmto podmínkám kolem 1 kW. Tato hodnota je snížena skutečností, že vzduch prochází přes ventilátor, který se chladí a svým příkonem protékající vzduch ohřívá. Teplovzdušné jednotky s dvouzónovou koncepcí umožňují přívod vzduchu až v řádu 1000 m³/h, chladicí výkon do interiéru je pak na úrovni maximálně 2,5–2,8 kW. V EPD Rychnov máme k dispozici průtok vzduchu 400 m³/h, dle měření se chladicí výkon pohybuje v rozsahu 1,3–1,8 kW, za den pak dodává 15–28 kWh chladu do interiéru. V grafu 3 je pro informaci provozní využitý ZVT (nebo ZVT-c) v hodinách za měsíc roku 2006.

Podrobné údaje a vysvětlení, hlavně vliv zisku ZVT ve vazbě na účinnost rekuperace, je možné získat z prací Ing. Kopeckého z ČVUT Praha.

I parametry konstrukcí a tloušťky izolací hrají svoji roli. Pokud není vhodně řešeno zastínění oken nebo je použito střešní okno bez markýz, chladicí výkon zemních výměníků ani nepokryje tepelný zisk přijatý výplní tohoto otvoru. Vliv půdních prostor nebo plochých střešních se také nesmí zanedbat. Dle měření bylo např. 3. a 4. 7. 2008 v půdním prostoru EPD Rychnov 150 mm nad tepelnou izolací dosaženo teploty 46 °C. Čím větší tloušťka tepelné izolace, tím nižší tepelná zátěž pro interiéry. Kdo by chtěl mít v létě stropní topení?

Platí proto zásada, že teplo se v létě nesmí dostat do interiéru. Teprve po vyčerpání všech technických opatření tohoto směru je vhodné použít chlazení.

Vnitřní mikroklima – CO₂ a relativní vlhkost ve vazbě na intenzitu větrání

V EPD Rychnov jsou instalována dvě čidla na zaznamenávání koncentrací CO₂. Jedno je pod stropem v obývacím pokoji, druhé v centrálním přívodu vnitřního cirkulačního vzduchu do jednotky (zde se jedná o průměr ze všech místností). Pro koncentraci CO₂ existují různé třídy kvality. Často se mluví o hodnotě 1000 ppm, popř. 1200 ppm CO₂ nebo ještě akceptovatelné hodnotě 1500 ppm. Již v roce 2003 byl zpracován ing. Morávkem matematický model, který bral v úvahu intenzitu větrání, koncentraci CO₂ a jeho produkci obyvateli domu a relativní vlhkost. Není problém řízeně větrat tak, abychom vždy byli pod 1000 ppm CO₂. Je potřeba si uvědomit, že i vzduchotěsnou obálkou objektu do objektu proudí určité množství vzduchu. Také se otevírají vchodové dveře. Na základě měření vzduchotěsnosti EPD Rychnov ($n_{50} = 0,88 \text{ n}^{-1}$) jsme dle ČSN spočítali průměrné množství vzduchu přiváděné infiltrací (cca 11 m³/h). Dle průměrného obsazení osobami (4 osoby, každá 12 hodin = 48 pobytových hodin/ den) a doby využívání sociálního zařízení jsme nastavili výkony větrání, doběhy po vypnutí atd. Dle měření pak vychází Ø intenzita výměny díky VZT systému na cca 33 m³/h, tedy v poměru k obestavěnému prostoru 0,1 n⁻¹. Může se to zdát málo, je to ale jen zdání. Spolu s infiltrací jsme na cca 44 m³/h – tedy 0,15 n⁻¹; při průměrném stálém obsazení dvou osob 23 m³/h/osoba. Jenže díky cirkulačnímu topnému okruhu byl objekt v době, kdy nikdo doma nebyl, temperován vnitřním vzduchem a řízeně se nevětralo (kromě cyklického provětrání – 1x/h 5 min). Stačilo to na snížení koncentrace CO₂ a předvětrání objektu. V době, kdy byl objekt obsazen, pak díky využívání WC, koupelen a kuchyně byl VZT systém zapínán na max. výkon větrání – např. výkon 180 m³/h. Komfortní hodnota. V praxi to znamenalo, že v době vaření klesala standardně koncentrace v obývacím pokoji (volně spojeno s kuchyní) na cca 800 ppm, ve večerních hodnotách pak v obývacím pokoji byla hodnota 1200 ppm (nárazově 1700 – lokální zátěž, kdy pod ním v křesle někdo seděl, čidlo v centrálním potrubí hlásilo cca 1150–1300 ppm). Ze záznamů je jasně poznat přesun obyvatel z obývacího pokoje do ložnic a srovnávání koncentrací v objektu, ranní vstávání atd. Když jsme zkusmo instalovali stejné čidlo v objektu bez VZT, pak jsme nenaměřili nic – max. rozsah čidel 2000 ppm byl příliš nízký. V těchto případech musíme používat rozsah 0–5000 ppm.

Často se setkáváme s tvrzením, že teplovzdušné cirkulační vytápění vysušuje interiéry. Je ale úplně lhostejné, jaký systém rozvodu energie zvolíme – jestli radiátory, podlahové topení, teplovzdušné cirkulační vytápění. Ve všech případech ohříváme interiérový vzduch. Vedle parametru relativní vlhkosti známe i parametr měrné vlhkosti, který udává konkrétní hmotnostní množství vody ve vzduchu. Tato hodnota se ohřevem vzduchu nemění.

Malý příklad. Máme interiérový vzduch 20 °C, relativní vlhkost **rh** 50 %, měrná vlhkost **X** = cca 7,2 g/kg.s.v. (gramů vody/kg suchého vzduchu). Pokud na ohříváči (ať již ve VZT jednotce nebo radiátorem) ohřejeme na 45 °C, pak **rh** bude cca 12 %, **X** = stále 7,2. Voda se neztratí, protože nemá kam. Stejný stav platí ale i při přehřátí objektu krbem.

Vysušování interiéru se váže na výměnu vzduchu při větrání. Pokud má vnitřní vzduch měrnou vlhkost 7,2 g/kg.s.v., pak v únoru se **X** exteriéru pohybuje na úrovni 1,5–3 g/kg.s.v. Právě výměnou interiérového

vzduchu za exteriérový vzniká deficit, který je nutné pokrýt produkcí vlhkosti v interiéru. Pokud se navrhne a následně i realizuje vzduchotechnický systém s rovnotlakou větrací jednotkou, určenou na vytápění pouze ohřevem vzduchu po rekuperaci, a nerealizuje se další otopná plocha, je zaděláno na problém. U tohoto systému, abych mohl topit, musím přivádět a dohřívát venkovní vzduch, tedy větrat. Abychom pokryli tepelnou ztrátu objektu EPD při cca 0 °C, musíme dodávat energii p říkonu cca 1 kW. Díky možnému ohřevu vzduchu na max. 50 °C (u vyšších teplot dochází k rozpadu prachu na menší částice) je nutné trvale přivádět vzduchu více než 100 m³/h (tady výměna cca 0,3 h⁻¹), bez ohledu na to, jestli v domě někdo je nebo není. K přesušování interiérů ve starších panelových domech, s původními netěsnými okny, dochází právě díky velké výměně vzduchu. Neřízenou infiltrací může do bytů proudit i 80 m³/h vzduchu, tedy $n = 0,7-0,9 \text{ h}^{-1}$.

Volbou teplovzdušné cirkulační jednotky, kdy můžeme temperovat, aniž bychom byli nuceni větrat, se můžeme problémům s nízkou hodnotou rh vyhnout. V EPD Rychnov samozřejmě měříme i tyto parametry (teplotu, rh , X). Velký dík patří manželce – dlouhou dobu poctivě zaznamenávala, kolik litrů vody potřebuje na zalévání květin, při sušení prádla v interiéru vážila prádlo před a po. Ostatní množství jsme pak stanovovali dle vaření a přepočtů. Získali jsme proto relativně přesné množství produkce vlhkosti z provozu domácnosti – cca 4,8 l/den využitelného množství. V literatuře uváděné hodnoty 11–14 l jsou dle mého názoru poněkud tendenční. Měřením EPD Rychnov jsme poznali množství přiváděného vzduchu i parametry venkovního prostředí (teplota, vlhkost = množství vody v přiváděném větracím vzduchu). Relativní vlhkost v interiéru se pohybovala v topných sezónách v rozmezí 42–53 %. Na grafu 4 je znázorněna vazba relativní vlhkosti interiéru a exteriéru EPD Rychnov na měrnou vlhkost.

Proč BLOWER DOOR TEST, vliv vzduchotěsnosti objektu na účinnost rekuperace

Celkové množství přírodního vzduchu do objektu se v případě realizace VZT systému pro větrání skládá ze dvou položek. Část vzduchu jde do objektu neřízeně, infiltrací přes netěsnosti konstrukcí a oken, část řízeně přes vzduchotechnický systém, kde máme množství vzduchu pod kontrolou. Je nutné znát relativně přesně obě množství, aby součet obou přívodů byl na hodnotě, která odpovídá požadavkům na větrání. Pro optimální využití vlastností rekuperace VZT jednotky je nutné, abychom měli celé množství přírodního vzduchu pod kontrolou.

Právě proto se ve všech článcích a přednáškách o EPD vždy objeví zmínka o vzduchotěsnosti objektu, vč. požadavku na splnění hodnoty pro EPD $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$. O co vlastně jde?

Vlastní provádění BLOWER DOOR TESTU je možné získat z literatury. Výsledek testu hovoří o tom, jak je dům těsný. Doporučené hodnoty vzduchotěsnosti dle ČSN jsou uvedeny v tabulce 4. Díky tomuto údaji jsme schopni spočítat, jaké množství přírodního vzduchu infiltrací nemáme pod kontrolou. Je to ale průměrná hodnota. Pokud bude venku bezvětří, bude infiltrace nižší než v případě, že bude foukat slabý nebo velmi silný vítr. Záleží také na tom, v jaké lokalitě bude dům postaven – jestli uprostřed zástavby nebo na „větrné hůrce“ nebo jestli je byt v přízemí nebo v desátém patře (s tímto se hlavně při dodávce oken při rekonstrukcích nijak nepočítá). I tyto skutečnosti jsou v normě ošetřeny pomocí stínících a výškových koeficientů.

Při dimenzování větrání známe požadavek na celkový přívod vzduchu do objektu. Ten musíme ponížit o množství přiváděné neřízeně, proto parametr vzduchotěsnosti a vliv lokality. Dostaneme hodnotu vzduchu, na kterou nastavíme VZT systém – vše proto, abychom pak neměli problém s nízkou relativní vlhkostí při převětrání interiéru.

Pro porovnání jsme vzali opět dům EPD Rychnov. Z naměřených hodnot v provozu víme, že průměrně přivádíme množství vzduchu 23 m³/h a osobu, za den při průměrném obsazení pak 2200 m³. Objekt jsme umístili do lokality chráněné před větrem (tzv. velké zastínění) a do oblasti větrem exponované (žádné zastínění). Přiřadili jsme také hodnoty n_{50} dle doporučených parametrů, doplnili jsme hodnotu n_{50} naměřenou v EPD Rychnov a vzhledem ke grafickému výstupu i další. V tabulce 5 je vidět vzrůstající hodnotu infiltrace vzduchu ve vazbě na horší parametr vzduchotěsnosti konstrukcí. Zajímavé je také porovnání lokality a skutečného množství vzduchu přijatého infiltrací. Objekt s horším parametrem n_{50} na tom je v závětrí lépe než dokonaleji provedený objekt s nižší hodnotou n_{50} postavený „na větrné hůrce“. Velmi často se v diskusích vedou spory o to, jakou účinnost rekuperace (%) musí VZT jednotka splňovat. Že hodnota pod 90 % je špatná. Není problém napsat, že rekuperační výměník má $\eta = 90 \%$. Nikde ale není uvedeno, při jakém průtoku vzduchu a zdali do tohoto parametru není započítána kondenzace. Málokterý výrobce křivku účinnosti rekuperačního výměníku v závislosti na průtoku vzduchu zveřejňuje. Pokud ovšem máme objekt, který není nikdy dokonale hermetický, pak se bavíme ne o účinnosti rekuperace, ale o celkovém zpětném využití energie z odpadního vzduchu. Moc nám nepomůže, že účinnost rekuperačního výměníku při průtoku vzduchu 100 m³/h je $\eta = 90 \%$, když určité procento vzduchu jde úplně mimo rekuperační výměník (infiltrace). Tuto energii ztrácíme. Dle hodnot n_{50} v tabulce 5 je v grafu 5 uvedena výpočtová celková účinnost systému větrání. Přesně je vidět, proč je důležité zajistit vzduchotěsnost domu dle doporučených parametrů n_{50} . Pokud bude mít objekt skutečný parametr $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ a bude postaven ve větrné krajině, při správném nastavení celkového přívodu (součtu infiltrace a řízeného větrání), klesá účinnost využití energie z odpadního tepla na cca 40 %. Pokud pomineme komfort vnitřního prostředí, je zde již otázka, zda se vůbec vyplatí pořizovat VZT systém. Díky poklesu zpětného zisku tepla samozřejmě vzrůstá požadavek na množství energie pro dohřev přírodního

vzduchu na teplotu interiéru. I tímto může být způsobeno, že dva konstrukčně identické objekty, postavené vedle sebe, mohou mít výrazně odlišné spotřeby energií v rámci stejné topné sezóny. Díky měření CO₂ jsme v současné době s určitou nepřesností schopni stanovit vzduchotěsnost objektu. Nejedná se sice o zjištění konkrétních netěsností, ale v rámci určitých posudků je metoda vhodná pro finančně nenáročné určení stávajícího stavu. Poté je možné doporučit, zda má smysl dodatečně provádět úpravy, a jejich přínos.

Jaká je teplota pro výpočty v garážích?

Koncepce EPD a NED objektů vyžaduje oddělení základního objektu a garáží (nebo jiných venkovních skladů) od sebe tak, aby ani konstrukce v napojení nezpůsobovaly tepelný most. Ve standardních výpočtech se uvažuje, že teplota v těchto nevytápěných prostorech je na úrovni obvykle 5 °C. Abychom se mohli opřít o důvěryhodné hodnoty a tím třeba přispět k vytvoření výpočtových nástrojů a postupů vhodných pro navrhování EPD domů, umístili jsme v EPD Rychnov do garáže záznamník teplot. Na grafu 6 je vidět porovnání teplot v exteriéru s teplotou v garáži. (Pozn. garáž nemá provedeno provětrávání, jedná se o uzavřený prostor s infiltrací pouze přes vrata a konstrukci, izolace dřevěné stěny – 90 mm v rámu + TMF 30 mm.). Souhlasím s názorem, zapracovaným do metodiky ČVUT, že pro výpočty EPD domů by se neměly uvažovat prostory s jinou teplotou, ale vzít základní dům jako celek a všechny konstrukce počítat na venkovní výpočtovou teplotu. „Přístavky“ pak vylepší bilanci na stranu bezpečnosti.

Závěr

Není vhodné bezvýhradně věřit výpočtům. Čím jsou složitější, zatížené koeficienty, tím snáze se v nich dá upravovat. A občas se stane, že vlastně ani nikdo neví, proč se vše počítá. Je proto dobře, že na ČVUT vznikl jednodušší výpočetní postup, založený i na poznatcích z reálného provozu EPD. Výpočet ale pouze stanovuje, na jaké provozní parametry se v optimálních případech můžeme dostat. Teprve dokonalým splněním všech dílčích parametrů (např. vzduchotěsnosti, tepelněizolačních vlastností konstrukcí atd.) během realizace můžeme tohoto teoretického předpokladu dosáhnout.

MARTIN JINDRÁK

Podpora:

Ing. Pavel Kopecký, ČVUT Praha, měření a zpracovávání údajů EPD Rychnov.

Ing. Štefan Krahulec, FELI, v. o. s., Jablonec nad Nisou, konzultace, spolupráce při výpočtech, simulacích.

Ing. Jan Jabor, ATREA, s. r. o., Jablonec nad Nisou, konzultace, spolupráce při výpočtech, simulacích.

*Martin Jindrák (*1973)*

absolvoval Střední průmyslovou školu v Olomouci. Pracoval v technické přípravě výroby a vývoji ve společnosti RD Rýmařov. V současné době je vedoucím divize větrání a teplovzdušného vytápění rodinných domů, bytů a bazénů ve společnosti Atea.

Tabulka 1

Typ domu	Výpočtová tepelná ztráta [kW] při venkovní teplotě	
	-18 °C	2,6 °C
NED	4,5	2,58
EPD	2,2	1,21

Tabulka 2

Typ domu	Potřeba energie za den [kWh] bez započítání pasivních slunečních zisků					
	provoz	ohřev TUV	zisky z osob	potřeba topení	potřeba topení (po odpočtu zisků)	celková potřeba energie kWh/den
NED	9–11	9,3	-5,6	62	54,8	65,9
EPD				29	16,2	27,3

Tabulka 3

Lokalita	Rychnov u Jablonce nad Nisou				Bratislava			
	$t_e = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varnothing\ t_{t.s.} = 2,36\text{ }^{\circ}\text{C}$; topná sezóna 256 dní				$t_e = -11\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varnothing\ t_{t.s.} = 4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; topná sezóna 202 dní			
	Tepelná ztráta (kW)	Potřeba energie [kWh/m ² a]		Tepelná ztráta (kW)	Potřeba energie [kWh/m ² a]			
		(pasivní solární zisky)			(pasivní solární zisky)			
		(Plně započítány)	(Bez započítání)		(Plně započítány)	(Bez započítání)		

EPD Rychnov	2,28	13	30	2,02	9	24
EPD „Vídeň“	3,38	13	51	2,81	4	36

Tabulka 4: ČSN 73 0540-2 – 7.1.4 Celková průvzdušnost obvodového pláště budovy: Tab. 6 – DOPORUČENÉ HODNOTY CELKOVÉ INTENZITY VÝMĚNY VZDUCHU $n_{50,N}$

Větrání v budově	$n_{50,N} [h^{-1}]$
Přirozené	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy viz A.5.10)	0,6

Tabulka 5

	Výpočtové množství vzduchu – infiltrace [m^3/h]					
	$n_{50} = 0,6$	$n_{50} = 0,88$	$n_{50} = 1$	$n_{50} = 1,5$	$n_{50} = 2,5$	$n_{50} = 4$
zavětří (velké stínění)	4	6	7	11	17	28
návětr. (žádné stínění)	12	17	20	26	50	77

popisky:

Graf 1: Vztah spotřeby energie na vytápění a prům. celodenní venkovní teploty

Graf 2: Porovnání spotřeby elektro pro IZT v kWh (UT) – EPD Rychnov_2005_06 x 2006_07

1) Schéma cirkulačního ZVT-c v režimu chlazení

Graf 3: Využití (ZVT-c)

Graf 4: Vztah relativní vlhkosti interiéru a exteriéru EPD

Graf 5: Vliv vzduchotěsnosti (n_{50}) a umístění objektu na celkové využití energie z odpadního vzduchu

Graf 6: Porovnání T_e a teploty v garáži