



Společnost pro techniku prostředí

# ZKUŠENOSTI Z REALIZACÍ A PROVOZU EPD V ČR

Martin Jindrák, Atrea s.r.o.

## 1. Energeticky pasivní dům – je to nyní módní vlna zájmu? Několik témat k zamyšlení

V současné době se s názvem energeticky pasivní dům setkáváme na každém kroku. Zaslíbeně se o něm hovoří, novináři se snaží své čtenáře zaujmout a překvapit. Když si ovšem pozorně tyto texty přečteme, zjistíme, že se opakují stále stejné pojmy a informace, pouze stylisticky jinak napsané. Mnohokrát opakované a tiskem rozšiřované (a často z neznalosti nebo nedostatku místa zkracované) pojmy a tvrzení se považují za svaté a jedině možné. Bohužel, mnohokrát i ke škodě věci. Vyrůstající ceny energií ale žádají své a kdo o tomto tématu nepíše, EPD neprojektuje nebo nestaví, pak není „IN“. V praxi se vše však již zoufalý majitel ptá, proč má v jarním období přehřátý objekt a on si nemůže otevřít ani pootevřít žádné okno. Bez otevření ale nefunguje ani přetlakové chlazení ve spojení s přímým zemním výměníkem. Někde nastala chyba.

### 1.1. Informace a zkušenosti ze zahraničí – máme je přebírat bez výhrad?

Do nedávna se všechny informace o této problematice u nás objevovaly pouze díky zkušenostem ze zahraničí, hlavně Rakouska a SRN. Tam byly postupně definovány parametry, které by měl dům splnit, aby byl zařazen do kategorie EPD. Nejznámější údaj je téměř posvátná 15 – tedy měrná roční potřeba energie na vytápění v kWh, vztažená na m<sup>2</sup> podlahové plochy – tedy 15 kWh/m<sup>2</sup>a. Díky izolacím není problém EPD temperovat, ale zajistit dokonalou tepelnou pohodu, hlavně v přechodovém období, velkým úkolem je. Do každého domu, i energeticky pasivního, je potřeba v topném období dodávat energii – i v EPD se musí topit. Při návrhu domu je možné po výpočtu tepelných ztrát určit, o jaké množství energie se bude jednat, je také možné dimenzovat otopnou soustavu a zdroj tepla. Ten připraví požadované množství energie pro topnou soustavu a zároveň zajistí i ohřev TUV. Jedná se o cca 2/3 množství energie, která je pro provoz objektu potřebná. Zbytek je provoz domácnosti – vaření, svícení a provoz vzduchotechnického systému. Dimenzování na minimální požadavky EPD je sice problematické, ale volba zdrojů tepla a jejich kombinace je pouze matematickou úlohou. Výsledkem by měl být rozumný kompromis pořizovací ceny, provozních nákladů a návratnosti. Méně znamená více. Omezení počtu zjednoduší obsluhu a sníží investiční náklady. V některých případech i o částku, která pokryje náklad na temperování a ohřev TUV na 15 – 30 topných sezón. Vraťme se ale k výpočtům.

Podělením potřeb energií plochou domu se dostaneme k vypovídacímu parametru, někdy i ke „svaté 15“. A zde se setkáváme s možným výpočetním zkreslením. V každé zemi, a také i každý projektant, počítá a zatřídí plochy jiným způsobem. Není neobvyklé, že se u stejného domu u dvou projektantů podlahová plocha liší i o jednotky m<sup>2</sup>. Vliv na výpočet je zřejmý.

Spotřebu energie pak při užívání objektu ovlivňují další parametry – lokalita stavby, počet osob a také např. i výška okolních budov, které ale obvykle v době přípravy projektu neznáme. Výsledná hodnota spotřeby reálně postaveného domu se tak může výrazně lišit, a také se liší, od hodnot vypočtených. Je ale možné provést srovnání dle skutečného provozu realizovaných domů? Lze, ale jen částečně, a to dle celkové spotřeby. Tedy ne jen odečtem kWh pouze na přípojném pilířku elektřiny nebo plynoměru, ale je-li dům vybaven slunečními kolektory na ohřev TUV (příp. i UT) nebo krbem, je potřeba k hodnotě na pilířku připočítat přínos těchto systémů, i když u spálení dřeva v krbu uznávám, že toto je velmi problematické. Velmi výrazný vliv má i způsob užívání. Jak ukazují i měření provozu (např. NED – řadovek ve Františkových Lázních), dva konstrukčně totožné domy, nemají stejnou spotřebu. Je proto

potřeba výpočet nebrat jako dogma nebo garanci provozních nákladů, ale jako orientační údaj, kterého je možné správným užíváním objektu dosáhnout, nebo jej i překonat. Ale i výpočet je možné výrazně ovlivnit. Stačí se např. „splést“ při zadání tabulkové potřeby energie pro provoz domácnosti. Až vytvoření a sjednocení metodického výpočtu na porovnání objektů, pracující s umělými klimatickými parametry, nebude možné provádět ve výpočtech úpravy „na přání“. Výstup pak bude objektivní. Tento postup, vhodný pro NED a EPD, ale zatím k dispozici není.

## **1.2. Realizace 1.EPD v ČR – Rychnov u Jablonce nad Nisou**

Na základě našich tehdejších znalostí a předpokladů jsme v roce 2004 zrealizovali EPD v Rychnově u Jbc. Mimo jiné i proto, abychom získali zkušenosti z první ruky. Celý projekt byl připravován tak, aby výsledek, splňoval všechny hodnoty EPD. Stěny a stropy mají  $U=0,1$   $W/m^2K$  a menší, okna (vč.rámů) cca  $0,72$   $W/m^2K$ . Parametr vzduchotěsnosti při BLOWER-DOOR TESTU ( $<0,6$   $h^{-1}$  při  $50$  Pa) se nám splnit nepodařilo (naměřeno  $n_{50} = 0,88$   $h^{-1}$ ), i tak se ale na tehdejší a i současné české prostředí jedná o slušnou hodnotu. Jižní strana a prosklení - velký problém. Zvolili jsme kombinaci oken, která mají plochu skla cca  $4,3$   $m^2$ , tedy cca  $11\%$  jižní svislé stěny domu. Výrazně nižší, než doporučená hodnota cca  $25 - 40\%$  dle zahraniční literatury. Jak potvrdil provoz objektu, volba byla správná. 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 zemním výměníkem tepla s možností cirkulace.

Od ledna roku 2005 ve spolupráci s ČVUT Praha měříme a sledujeme nyní už 29 provozních parametrů (teplot, vlhkostí, koncentrací  $CO_2$ , 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. Dá se říct, že za téměř tři a půl roku provozu (dům obydlen 5.12.2004) jsme získali mnoho zkušeností, v některých směrech jsme i dál, než kolegové v zahraničí. Také boříme některé mýty, které se k otázce EPD v ČR vážou.

## **2. Náklady a zkušenosti z provozu EPD Rychnov**

V současné době máme již uzavřeny dva kompletní kalendářní roky (2005 a 2006) a také dvě kompletní topné sezóny (2005-06; 2006-07). Po první topné sezóně jsme byli poněkud rozčarováni. Naměřené a vyhodnocené spotřeby neodpovídali předpokladům. Díky již zmiňovanému měření a průběžnému vyhodnocování provozu jsme získali další zkušenosti. I když jsme zpětně našli chyby ve zpracování údajů, hlavně ve vyhodnocení spotřeby energie na ohřev TUV, stále jsme měli mnoho otazníků. Rychnov u Jbc leží v chladnější oblasti ČR. Tabulkově jsou udávány pro topnou sezónu tyto parametry: venkovní výpočtová teplota:  $-18^{\circ}C$ , délka TS 256 dní a  $\bar{\theta}$  teplota  $3,6^{\circ}C$ . Topná sezóna 2005-06 byla pro měření téměř čítanková - tabulková. Zažili jsme venkovní teploty  $-28^{\circ}C$ , mrazivý den (bohužel pro měření jen jeden), kdy celodenní  $\bar{\theta}$  teplota byla  $-17,1^{\circ}C$ , zamračené dny a dokonce i cca 20 !! dní slunečných. Léto 2006 bylo pro nás teplotně také ukázkové. V rámci vědy bychom přivítali, kdyby extrémně vysoké letní teploty trvaly déle – např. pro důkladnější otestování a zjištění parametrů a provozních stavů zemního výměníku tepla. Štěstí jsme měli i v topné sezóně 2006-07. Sice se nedá mluvit o horské zimě, ale počasí se velmi podobalo „tabulkové“ zimě v teplejších oblastech, např. u Bratislavy nebo Vídně. Samozřejmě, výsledné spotřeby i délky obou TS se mezi sebou lišily. Termotat sice začal ovlivňovat teplotu v interiéru shodně – od 1.11.2005; resp. 2.11.2006, ale konec byl velmi rozdílný- 20.4.2006 x 12.3.2007. (pozn. letos se zatím přestalo topit kolem 21.2.2008...). Interiérovou teplotu jsme udržovali v rozsahu  $21-22^{\circ}C$ , při pasiv-

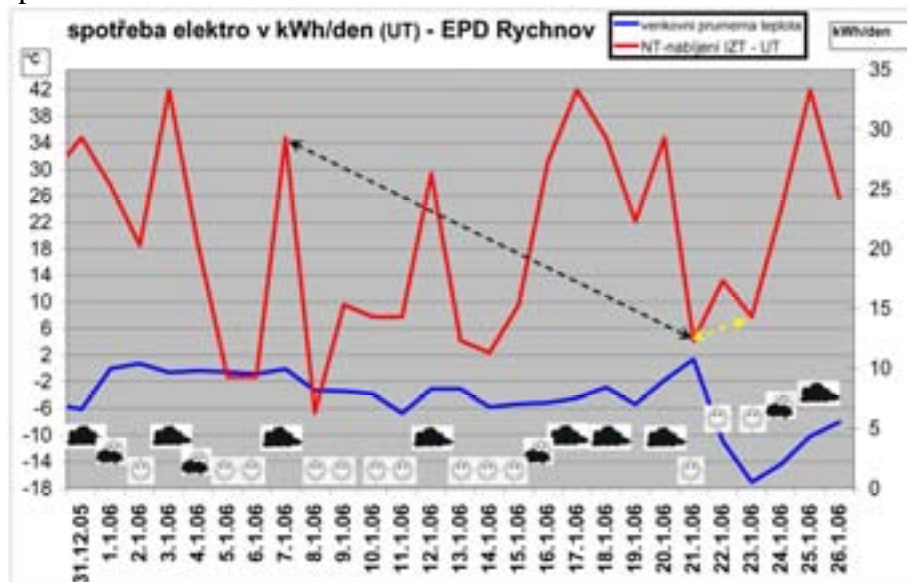
ních slunečních ziscích, při vaření a žehlení nárazově až 23,5°C. V ložnici cca 20,5 – 22°C. V tabulce č.1 jsou spotřeby energie na temperování:

Tab.č1	Topná sezóna (TS)	
	2005 / 2006	2006/2007
Počet dní TS	171	131
Spotřeba UT (kWh)	2937	1602
UT (kWh/m <sup>2</sup> a.)	22	12

Díky tepelné izolaci objektu je téměř lhostejné, jaká je venkovní teplota. Celková tepelná ztráta prostupem (vč. větrání) se moc neliší: při  $\theta_e=0^\circ\text{C}$  cca 1,4 kW; při  $\theta_e=-18^\circ\text{C}$  pak cca 2,3 kW. Bez jakýchkoliv zisků z osob, provozu domácnosti nebo slunce (pasivní solární zisky) je tedy nutné do objektu dodat při  $\theta_e=0^\circ\text{C}$  za den 33,6 kWh, při  $\theta_e=-18^\circ\text{C}$  pak 55,2 kWh/den. Pokud tedy v domě nikdo nebude, a celý den nezasvítí sluníčko, pak je spotřeba energie i u takového EPD na této úrovni. Pokud bude objekt užíván, a „jen“ nebude slunce svítit, pak díky energiím v domácnosti pokryjeme část tohoto požadavku z jiných kolonek - v praxi se jedná o zisk 8-15kWh/den. Zbytek je na otopné soustavě. A pak už velmi záleží na slunci – kolik jej máme k dispozici díky zeměpisné poloze a nadmořské výšce.

## 2.1. Zimní pasivní sluneční zisky

Jak skloubit stav, kdy je v chladnějším období roku mnoho dní bez slunce (např. od 3.11 – 28.12.2005 byly pouze tři slunečné dny) a dochází k velkým ztrátám prostupem tepla přes okna (a to i v noci), a ve slunečných dnech aby pasivní zisky nepřehřivaly interiér. V úvahu jsme brali i výšku slunce nad obzorem a mnoho dalších vlivů (stromy v okolí, domy sousedů..). Námí zvolená plocha jižního prosklení (4,3 m<sup>2</sup>) byla některými příznivci energeticky pasivní výstavby považována za malou. Provoz ukázal, že jsme pro prostředí ČR dimenzovali správně.

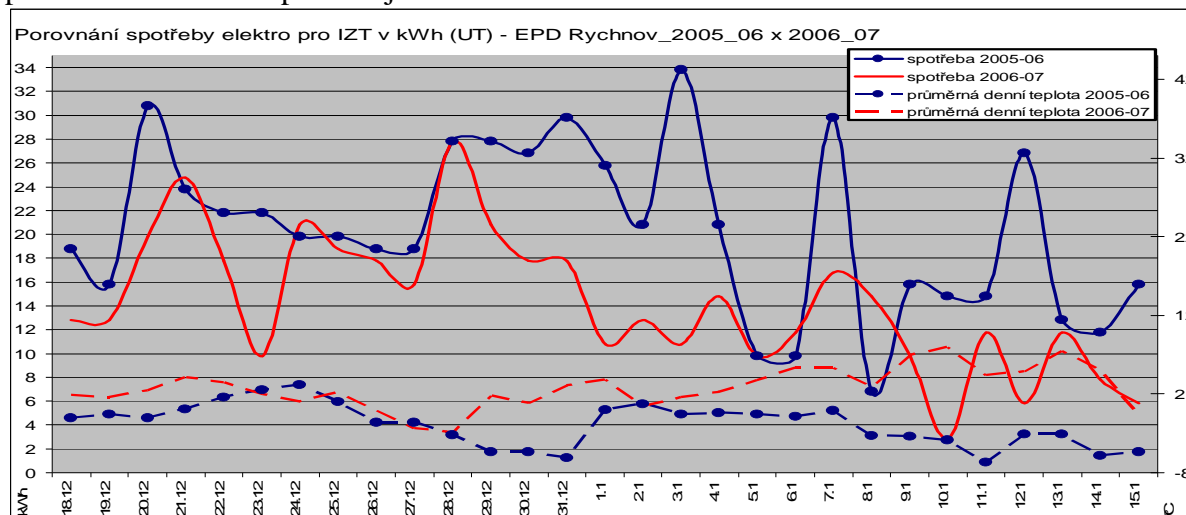


Obr. 3

Na obr. 3 je graf vazby spotřeby energie potřebné na vytápění konkrétního dne (značeno UT), venkovní celodenní průměrné teploty ( $t_{\theta_{\text{celod}}}$ ) 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  $t_{\theta_{\text{celod}}} - 17,1^\circ\text{C}$ , slunečno, spotřeba na temperování byla 14,1 kWh/den, obdobně jako např. 21.1.2006,  $t_{\theta_{\text{celod}}} 1,36^\circ\text{C}$ , slunečno; 7.1.2006 byla  $t_{\theta_{\text{celod}}} - 0,3$ , ZATAŽENO !!, spotřeba je výrazně vyšší). Z grafu je jasně patrná závislost spotřeby energie na temperování za den ve vazbě na slunečné počasí

A to i přes to, že na jižní straně domu je relativně malá plocha proklenní. Okna né započítat, slunce nini v popisovaném ročním období do domu nevstupuje, jedná se tedy pouze o ztrátu okna prostupem.

Pro porovnání je v grafu č.4 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.



## 2.2. Na návštěvě u sousedů v Rakousku, porovnání realizovaných objektů

Vyzbrojeni těmito zkušenostmi jsme chtěli provést porovnání s jinými EPD domy, hlavně v Rakousku. Tepelně – izolační parametry konstrukcí občas nedosahovali ani úrovně EPD Rychnov, v databázích jsme ale nacházeli hodnoty 8 – 13 kWh/m<sup>2</sup>a. Chtěli jsme také znát, jak je možné dosáhnout těchto nízkých spotřeb v případě, že jižní fasáda je bohatě prosklená. Parametr prostupu tepla prosklení ( $U \approx 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) v porovnání se stěnou ( $U=0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) je stále cca 7x horší. Měli jsme možnost několik těchto objektů navštívit. Na žádném domě jsme neviděli technický koncept, který je 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 byla kolem 19-20°C, o 3 °C nižší, než kolik je požadováno v ČR. Zdroje 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 5 měsíců, zbytek roku rozmrzání terénu...). Velikosti některých tech. 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 skromě 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 bidovy, který je v ČR často prezentován jako jediný možný pro realizaci EPD. Umístili jsme je do Rychnova u Jbc a do Bratislavy. V následující ta-

bulce je vidět shrnutí, ze kterého je patrný vliv pasivních slunečných zisků ( pro porovnání také případ, že by nebyly žádné). Také uváíme 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 sluníčka na jihu je prostě víc – např. v Alpách je za rok 1,6x více slunečního záření než u Břeclavy a 2x více než v Jizerských horách,. A pokud je v zimě modro, tak nezáleží na tom, jaká je teplota – zisků slunce mají 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/m<sup>2</sup>a. V porovnání s běžnou výstavbou ČR 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 slunce, musíme se podle toho zařídit. V následující tabulce jsou pak pro porovnání uvedeny výsledky výpočtů

Lokalita:	Rychnov u Jbc			Bratislava		
	t <sub>e</sub> =-18°C; Øt <sub>t,s</sub> =2,36°C; top. sez. 256 dní			t <sub>e</sub> =-11°C; Øt <sub>t,s</sub> =4,3°C; top. sez. 202 dní		
	Tepelná ztráta (kW)	Potřeba energie (kWh/m <sup>2</sup> a.)		Tepelná ztráta (kW)	Potřeba energie (kWh/m <sup>2</sup> 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 „Viedeň“	3,38	13	51	2,81	4	36

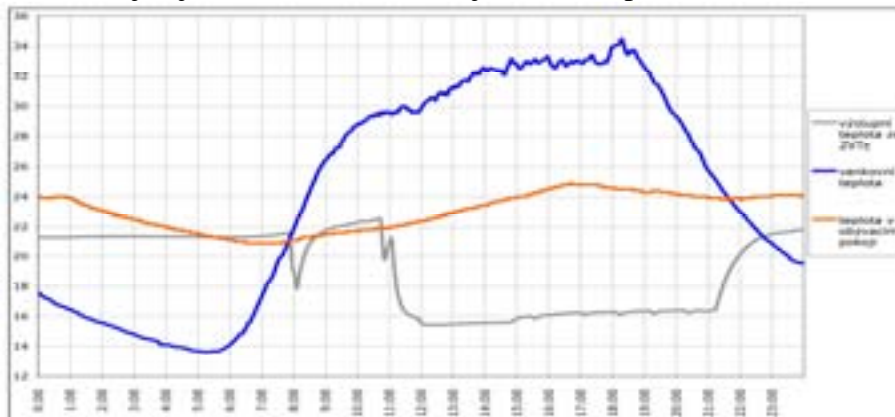
Není ale také možné do pasivních zisků započítávat období, kdy je potřeba už objekt spíše chladit. Jedná se hlavně o přechodová období (březen a duben), kdy má slunce již dostatečnou energii, ale je ještě nízko nad obzorem, a stínící prvky tím pádem nejsou plně funkční. Co také kombinace nízké tepelné 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?

### 2.3. Teplota v interiéru EPD Rychnov v červenci 2006

Červen a červenec 2006 v některých ohledech pozměnil přístup a také názory investorů k realizaci „běžných“ domů. Pokud např. v přípravě stavby „počítal“ každou korunu a návrhy na vybavení objektu lepším zasklením nebo zvětšením přesahu střechy pro potlačení letních slunečních zisků odbýval se slovy, že na to nemá peníze, několik málo měsíců po dokončení domu, je ochoten do objektu pořídit strojní chlazení („klimatizaci“) v řádu 50 000 Kč. Ani realizace zemního výměníku takovému objektu moc nepomůže – např. při průtoku vzduchu cca 600 m<sup>3</sup>/h (možné pouze u cirkulačních teplovzdušných jednotek, dvojnásobek množství běžných rovnotlakých větracích jednotek !!!) je chladicí výkon 1,3 – 1,9 kW. To běžnému, nekonceptně řešenému, domu nestačí. Nevkládejme proto do realizace zemních výměníků přehnané naděje.

Při cestě do školky maminky povídaly o tom, jak špatně se dětem spí a předháněly se v rekordu, kdo z nich měl v dětském pokoji v noci vyšší teplotu. Nebylo výjimkou, že se blížila i k 30°C. Kde je „striktní“ požadavek, že teplota v ložnici musí být kolem 16-17°C, a tvrzení, že v energeticky pasivním objektu se při 20 – 21°C nedá spát? Že by to pro léto bylo jinak?

V EPD Rychnov byla situace odlišná i přesto, že se jedná o dřevostavbu na bázi plošné prefabrikace, tudíž stavbu tzv. lehkou. Ale, vnitřní obklad objektu tvoří 25 mm sádkkartonu a sádrovlákna. Jedná se celkem o cca 6300 kg materiálu!!! To není málo. Dá se s ním pracovat např. při nočním předchlazení. Dostatečná tl. tepelné izolace, hlavně podkroví, není prospěšná jen v zimě, ale v létě zabraňuje prostupu tepla ze zahřátého pláště do interiéru. Absence střešních oken, vhodný rozsah a parametr prosklení, přesah střechy a zachování vzrostlých stromů na pozemku přinesly výsledky. Okamžitá výpočtová tepelná zátěž objektu, počítaná na limitní podmínky, je jen cca 2800 W. Pasivní ochranu před teplem i dobře doplňoval systém aktivní - vzduchotechnický, ve spojení se zemním výměníkem tepla –ZVT, realizovaný pro tento účel v ideálním prostředí – v čistém jílu. I v nejteplejších dnech byl do objektu přiváděn vzduch, který po průchodu ZVT měl teplotu od 13 – 17°C. Dle výsledků a výpočtů byl výkon chlazení v této realizaci, bez nutnosti jakékoliv strojní výroby chladu, cca 1300 – 1800 W. Za tropický den to znamenalo přínos 15 – 22 kWh chladu/den. Ve vazbě na parametry objektu tento přínos stačil k udržení interiérové teploty od cca 20,5 – 24,5 °C (při vaření). Ve srovnání s venkovní teplotou, ve stínu severní části domu 35°C, teplota až velmi nízká. Venku plavky, uvnitř svetr a teplé ponožky. Věda a vývoj prostě vyžadují oběti. Přijatelnou teplotu v interiéru bychom viděli o cca 2°C vyšší. V ložnici se teplota pohybovala na úrovni 20,5 – 22°C – stejně jako v zimě. Na obr. 3 je měření teplot ze dne 17.7.2006 .



časí (začátek července) 28°C. Každý den pravidelně vzestup o 1°C. Ve výsledku nižší teplota, než která byla běžná v domech v okolí, kde jsme měli také umístěny měřící zařízení. Podrobnosti a zpracování by vydaly na další příspěvek.

#### 2.4. Zkušenosti se zemním výměníkem tepla -

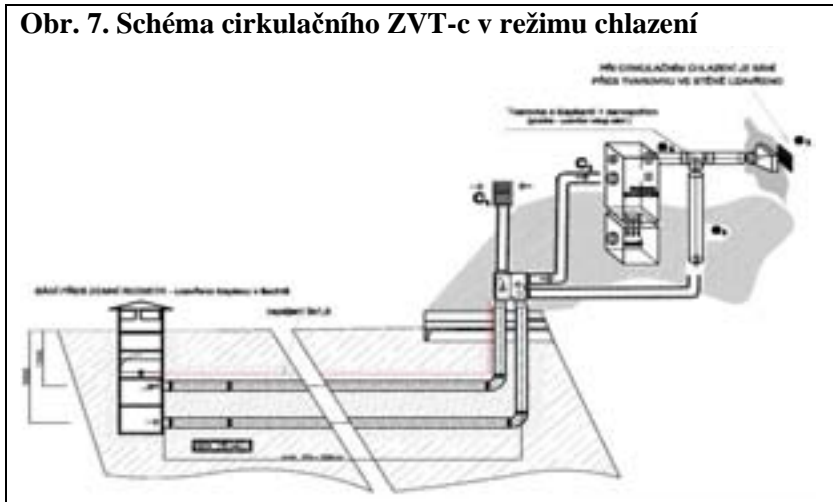
Při realizaci EPD Rychnov byl realizován výměník s možností tzv. cirkulačního chlazení. Překlopením klapek je možné nasávat interiérový vzduch z obytné části objektu a vhnět jej do horního potrubí, prochází vzduchotěsnou šachtou a spodním potrubím se vrací zpět do domu.

Zkoušeli jsme i mnoho dalších testů.

Např. v době, kdy dům nebyl 8 dní obsazen, jsme vypnuly VZT systém a zavřeli všechna okna. Na začátku byla int. teplota 20,5°C, na konci při slunečném po-



**Obr. 7. Schéma cirkulačního ZVT-c v režimu chlazení**

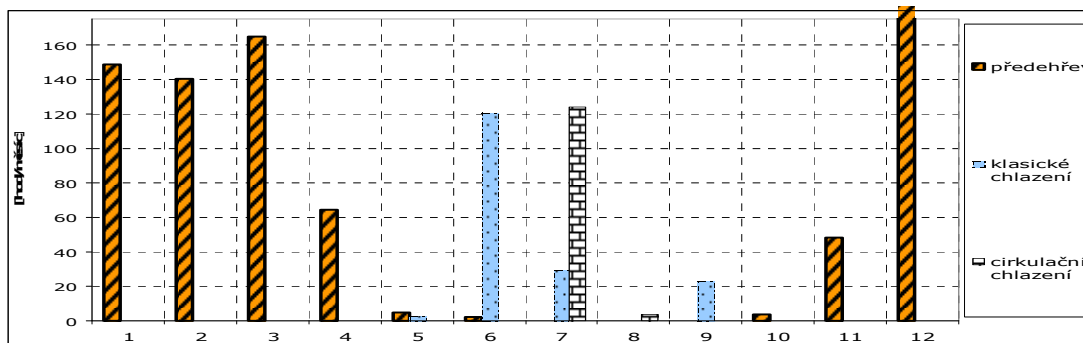


Díky tomu je možné chladit objekt bez nutnosti otevírání oken, jako je tomu u přímého ZVT. Také tím, že se pro chlazení nepoužívá venkovní vzduch (např. 32 °C), ale interiérový (cca 26°C), nevyčerpává se tak rychle kapacita zeminy kolem vedení. ZVTc prochází stále stejný vzduch – při prvním průchodu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

V zimním období se teplota vzduchu po průchodu ZVT pohybovala od 2 – 5°C. Díky předehřevu vzduchu se ale 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 prochlazováním přívodního potrubí k jednotce díky vyšší teplotě přiváděného vzduchu na vstupu do objektu je přínos nepopíratelný.

Hlavní těžiště využití ZVT je ale v letním období, kdy ve spojení s VZT systémem může příznivě ovlivňovat snížení teploty v interiéru. Od realizace zemního výměníku (ať vzduchových nebo solankových) 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 m<sup>3</sup>/hod. Při průchodu zemí je sice ochlazen vzduch např. z venkovních 32°C na 17°C, při průtoku 300 m<sup>3</sup>/hod je tedy tedy chladicí výkon pouze ZVT 1,5 kW. Pro interiéru 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 ještě 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 m<sup>3</sup>/hod., chladicí výkon do interiéru je pak na úrovni až. 2,5 – 2,8 kW. Víc ale ne. Pokud není vhodně řešeno zastínění, nebo je např. použito střešní okno bez markýz, tak chladicí výkon ani nepokryje tepelný zisk tímto oknem. V EPD Rychnov máme k dispozici průtok 400 m<sup>3</sup>/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 následujícím grafu je pro informaci provozní využití ZVT (nebo ZVT-c) v hod/měsíc roku 2006.





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

## 2.5. Vnitřní mikroklima – CO<sub>2</sub> a relativní vlhkost ve vazbě na intenzitu větrání

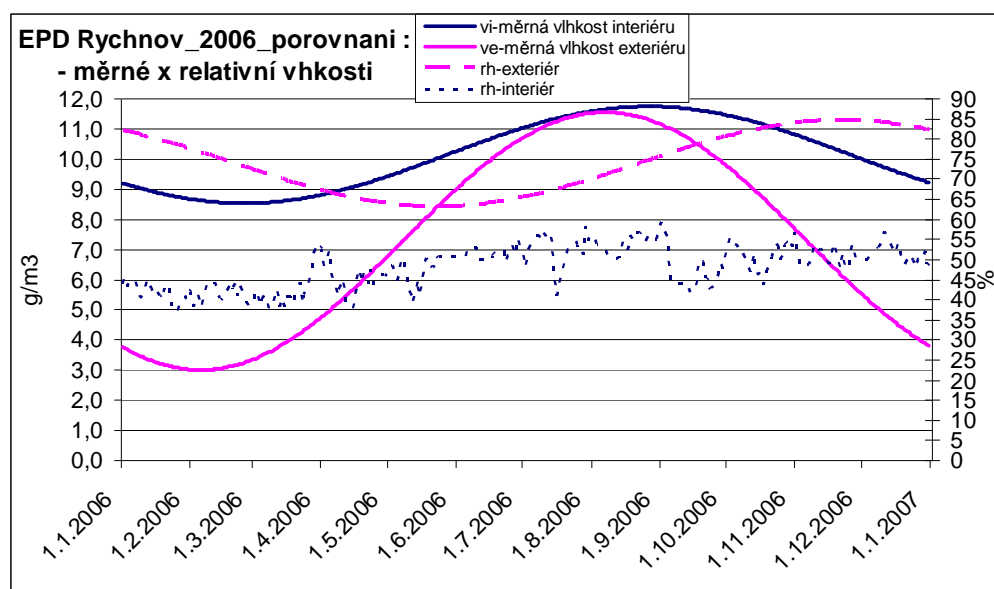
V EPD Rychnov jsou instalována dvě čidla na zaznamenávání koncentrací CO<sub>2</sub>. Jedno je pod stropem v obývacím pokoji, druhé v centrálním přívodu vnitřního cirkulačního vzduchu do jednotky (zde se jedná o průměr ze všech místností). Pro koncentraci CO<sub>2</sub> existují různé třídy kvality. Často se mluví o hodnotě 1000 p.p.m , popř. 1200 ppm CO<sub>2</sub> nebo ještě akceptovatelné hodnotě 1500 ppm. Již v roce 2003 byl zpracován ing. Morávkem matematický model, který bral v úvahu intenzitu větrání, koncentraci CO<sub>2</sub> a jeho produkci obyvateli domu a relativní vlhkost. Není problém řízeně větrat tak, abychom vždy byly pod 1000 ppm CO<sub>2</sub>. 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 infilrací (cca 11 m<sup>3</sup>/hod). Dle průměrného obsazení osobami ( 4 osoby, každá 12 hodin = 48 pobytových hodin/den), doby využívání soc. zařízení jsme nastavili výkony větrání, doběhy po vypnutí atd. Dle měření pak vychází Ø intenzita výměny díky VZT systému na cca 33m<sup>3</sup>/hod, tedy v poměru k obestavěnému prostoru 0,1 n<sup>-1</sup>. Může se to zdát málo, je to ale jen zdání. Spolu s infilrací jsme na cca 44 m<sup>3</sup>/hod – tedy 0,15 n<sup>-1</sup>. Při průměrném stálém obsazení dvou osob 23 m<sup>3</sup>/hod /osobu. Jenže, díky cirkulačnímu topnému okruhu byl objekt v době, kdy nikdo doma nebyl, temperován vnitřním vzduchem a řízeně se nevětralo (kromě cyklického provětrání – 1xhod. 5 min). Stačilo to na snížení koncentrace CO<sub>2</sub> 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 m<sup>3</sup>/hod. 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 OP 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 OP 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 moc nízký. V těchto případech musíme používat rozsah 0-5000 ppm.

Často se setkáváme s tvrzením, že teplovzdušné cirkulační vytápění vysušuje interiér. 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. Krátký 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 ohřívací (ať již ve VZT jednotce nebo

radiátorem !!) ohřejeme na 45°C, pak rh bude cca 12%, x= stále 7,2. Voda se neztratí, 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 dohřívat venkovní vzduch, tedy VĚTRAT. Abychom pokryli tepelnou ztrátu objektu EPD při cca 0°C, musíme dodávat energii příkonu cca 1kW. 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 m<sup>3</sup>/hod. (tady výměna cca 0,3 h<sup>-1</sup>), bez ohledu na to, jestli v domě někdo je nebo není. K přesušování interiéru ve starších panelových domech, s původními netěsnými okny, dochází právě díky velké výměně vzduchu. Neřízenou infiltrací může do bytů proudit i 80 m<sup>3</sup>/hod. vzduchu, tedy n=0,7 – 0,9 h<sup>-1</sup>.

Volbou teplovzdušné cirkulační jednotky, kdy můžeme temperovat, aniž bychom byly 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. Měření EPD Rychnov jsme znali 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 následujícím obrázku je znázorněna vazba relativní vlhkosti interiéru a exteriéru EPD Rychnov na měrnou vlhkost.

## 2.6. Proč BLOWER DOOR TEST, vliv vzduchotěsnosti objektu na účinnost rekuperace

Celkové množství přivodního 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 množství vzduchu máme pod kontrolou. Je nutné znát relativně přesně obě množství, aby součet obou přivodů byl na hodnotě, která odpovídá požadavkům na větrání. Pro optimální využití vlastností reku-

perace VZT jednotky je nutné, abychom měli celé množství přívodního 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

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	$n_{50,N} (\text{h}^{-1})$
Přirozené	4,5
Nucené	1,5
Nucené ze 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

tom, jak je dům těsný. Doporučené hodnoty vzduchotěsnosti dle ČSN jsou uvedeny v samostatné tabulce. Díky tomuto údaji jsme schopni spočítat, jaké množství přívodního vzduchu infiltrací nemáme pod kontrolou. Je to ale zprůměrovaná 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 10-tém patře (s tímto se hlavně při dodávce oken při rekonstrukcích nijak nepočítá !!!). I tyto skutečnosti jsou v normě ošetřeny pomocí stínících a výškových koeficientů.

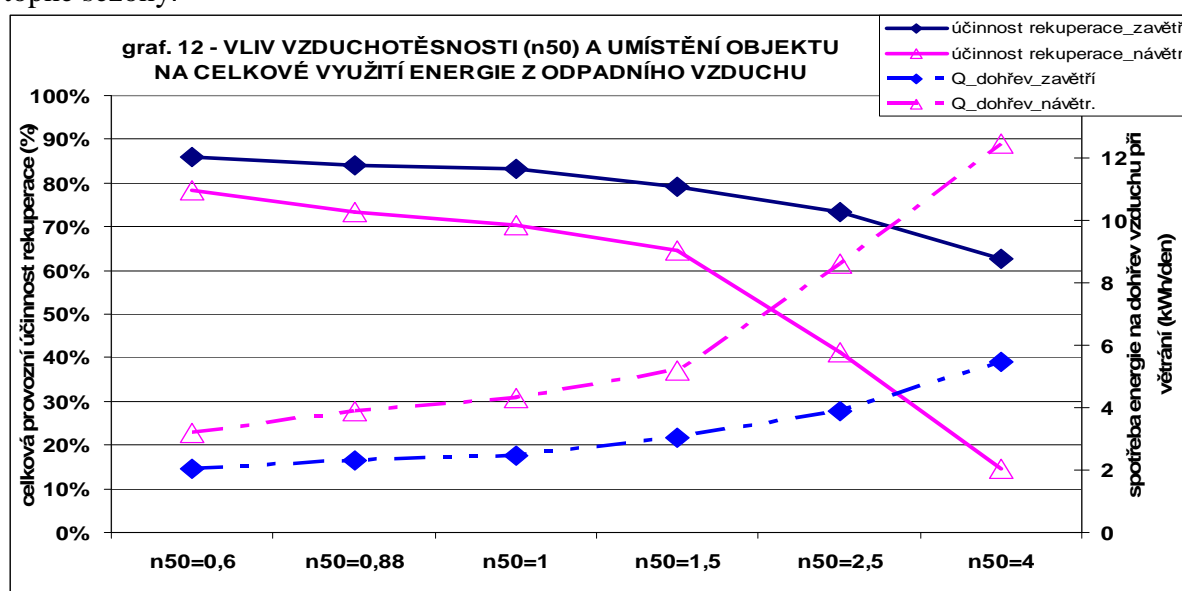
Při dimenzování větrání známe požadavek na celkový přívod vzduchu do objektu. Ten musíme ponížít o množství přiváděné neřízeně, proto parametr vzduchotěsnosti a vliv lokality. Dostaneme hodnotu vzduchu, na kterou nastavíme VZT systém - vše proto, abychom pak neměli problém s nízkou relativní vlhkostí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

Pro porovnání jsme vzali opět dům EPD Rychnov. Z naměřených hodnot v provozu víme, že průměrně přivádíme množství vzduchu  $23 \text{ m}^3/\text{hod}$  a osobu, za den při průměrném obsazení pak  $2200 \text{ m}^3/\text{den}$ . Objekt jsme posadili 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 k grafickému výstupu i další. V tabulce je vidět vzrůstající hodnota infiltrace vzduchu ve vazbě na horší parametr vzduchotěsnosti konstrukcí. Zajímavé je také porovnání lokality a skutečného množství vzduchu infiltrací. Objekt s horším parametrem  $n_{50}$  na tom je v závětrí lépe, než dokonaleji provedený objekt s nižší hodnou  $n_{50}$  postavený „na větrné hůrce“.

Tab.11	výpočtové množství vzduchu-infiltrace ( $\text{m}^3/\text{hod}$ )					
	$n_{50}=0,6$	$n_{50}=0,88$	$n_{50}=1$	$n_{50}=1,5$	$n_{50}=2,5$	$n_{50}=4$
závětrí (velké stínění)	4	6	7	11	17	28
návětr.(žádné stínění)	12	17	20	26	50	77

Velmi často se v diskuzích vedou spory o tom, 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 jestli 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  $100 \text{ m}^3/\text{hod}$  je  $\eta = 90\%$ , když určité procento vzduchu jde úplně mimo rekuperační výměník (infiltrace !!). Tuto energii ztrácíme. Dle hodnot  $n_{50}$  v tab. 11 je v posledním grafu (č.12) uvedena výpočtová celková účinnost systému větrání. Jasně je vidět, proč je dů-

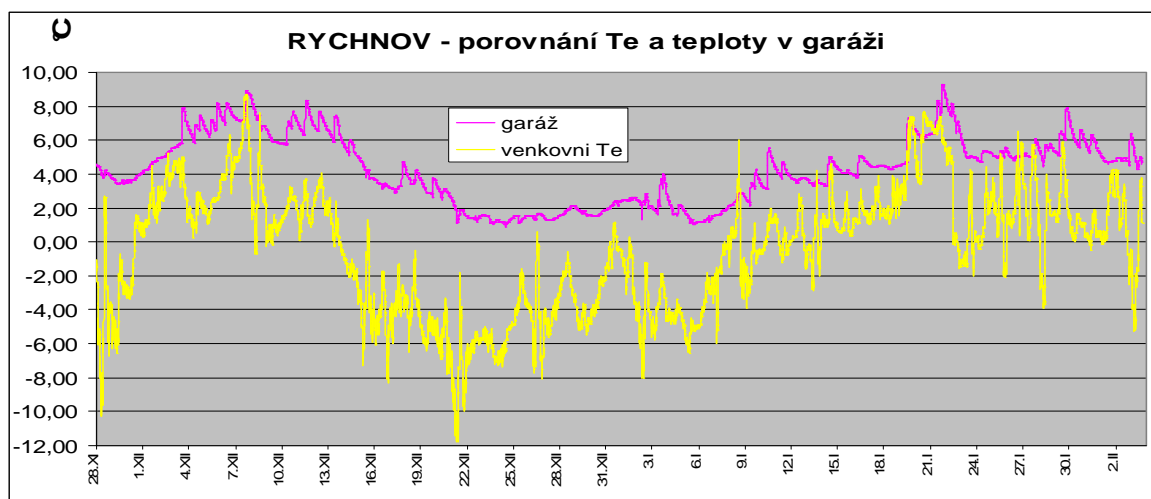
ležitě zajistit vzduchotěsnost domu dle doporučených parametrů  $n_{50}$ . Pokud bude mít objekt skutečný parametr  $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ , a bude postaven ve větrné krajině, při správném nastavení celkového přívodu (součtu infiltrace a řízeného větrání), klesá účinnost využití energie z odpadního 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 ohřátí přívodního vzduchu na teplotu interiéru (dokrytí ztrát celkovým větráním). 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 a následnému pochopení vazeb jsme v současné době s určitou nepřesností schopni stanovit vzduchotěsnost objektu pouze dle měření koncentrací  $\text{CO}_2$ . Nejedná se sice o zjištění konkrétních netěsností, ale v rámci určitých posudků je metoda vhodná pro finančně nenáročný určení stávajícího stavu. Poté je možné doporučit, zda má smysl dodatečně provádět úpravy a zda přinesou očekávaný přínos.

## 2.7. Drobnost na závěr – 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 nzpůsobovali tepelný most. Ve standardních výpočtech se uvažuje, že teplota v těchto nevytápěných prostorech je na úrovni obvykle  $5^\circ\text{C}$ . U slušně tepelně zaizolovaných prostorách ale již není únik tepla prostupem přes obvodovou konstrukci základního objektu na takové výši, aby v nevytápěném prostoru bylo dosaženo oněch  $5^\circ\text{C}$ . Abychom se mohli opřít o hodnověrné hodnoty a tím třeba přispět k vytvoření výpočtových nástrojů a postupů, vhodných pro navrhování EPD domů, umístili jsem v EPD Rychnov do garáže záznamník teplot. Na posledním grafu tohoto příspěvku je vidět poronání teplot v exteriéru s teplotou v garáži. (pozn. garáž nemá provedeno provětrávání, takže se jedná o uzavřený prostor s infiltrací pouze přes vrata a konstrukci, izolace dřevěné stěny – 90 mm v rámu + TMF 30 mm). Zima 2007/2008 bohužel z tohoto pohledu nebyla nijak vhodná, ale i z několika krátkých poklesů teplot na nižší hodnoty je jasně patrné, že není možné uvažovat pro okrajové výpočtové podmínky, že v přístavcích je  $5^\circ\text{C}$ . Přikláním se proto také k názoru, že pro výpočty EPD domů by se neměly uvažovat tyto protory s jinou teplotou, ale vzít základní dům jako celek a všechny konstrukce počítat na venkovní výpočtovou teplotu. „Přístavky“ pak vylepší bilanci na stranu bezpečnosti.



### 3. Závěr

Čím více informací a poznatků získáváme, tím více dalších neznámých zjišťujeme. Není možné bezhlavě přejímat informace, a také 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 vzniká jednodušší výpočetní postup, založený 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, tepelně-izolačních vlastností konstrukcí atd.) během realizace tohoto teoretického předpokladu můžeme dosáhnout.

### 4. Podpora

- (1) ing. Pavel Kopecký, ČVUT Praha, měření a zpracovávání údajů EPD Rychnov
- (2) ing. Štefan Krahulec, ATREA s.r.o., konzultace, spolupráce při výpočtech, simulacích