



Společnost pro techniku prostředí

VĚTRÁNÍ A VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÝCH A PASIVNÍCH OBYTNÝCH STAVEB

ing. Petr Morávek, CSc., Atrea s.r.o.

1. ÚVOD

Nízkoenergetické (NED) a pasivní domy (PD) se v zemích EU postupně stávají standardem nové výstavby. Již to nejsou experimenty, ale zcela běžná masová produkce obytných sofistikovaných budov, kterých jen v pasivním standardu v Německu, Rakousku a Švýcarsku jsou již tisíce, a jejich počet se každoročně zdvojnásobí (např. v Rakousku bude v roce 2010 přes 12 000 těchto realizací).

Pořizovací náklady pasivních domů jsou přitom jen o 5 – 7 % vyšší než u běžné produkce, ale spotřeba energie na vytápění je až o 90% nižší! Dalšími efekty z výstavby PD je možnost úplného vypuštění klasických topných systémů, výrazné navýšení komfortu bydlení, kvalitní řešení větrání bez průvanu, vyšší efekt využití obnovitelných zdrojů energií.

Parametry moderních nízkoenergetických a pasivních budov jsou uvedeny v tabulce č. 1.1:

parametr	jednotka	stará výstavba	nízko – energetické (NERD)	energeticky pasivní (EPD)
<i>spotřeba tepla na vytápění a větrání (RD 140 m²)</i>	<i>kWh/rok</i>	<i>až 25 000</i>	<i>až 9 800</i>	<i>< 2 100</i>
<i>měrný výpočtový příkon tepla pro vytápění a větrání</i>	<i>W/m²</i>	<i>> 110</i>	<i>20 - 40</i>	<i>< 10</i>
<i>měrná spotřeba tepla - pro ÚT vytápění a VZT větrání</i>	<i>kWh/m²/r</i>	<i>170 - 220</i>	<i>30 - 70</i>	<i>≤ 15</i>
<i>měrná spotřeba tepla - pro ohřev TUV</i>	<i>kWh/m²/r</i>	<i>35</i>	<i>< 20</i>	<i>10 - 15</i>
<i>měrná spotřeba elektrické energie – v domácnosti (El)</i>	<i>kWh/m²/r</i>	<i>30</i>	<i>< 20</i>	<i>10 - 15</i>
<i>souhrnná měrná spotřeba (ÚT+VZT+TUV+El)</i>	<i>kWh/m²/r</i>	<i>235 - 285</i>	<i>70 - 110</i>	<i>35 - 45</i>
<i>souhrnná spotřeba primárních paliv PEZ</i>	<i>kWh/m²/r</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>< 120</i>
<i>minimální požadovaný součinitel prostupu tepla - stěnou</i>	<i>W/m²/K</i>	<i>-</i>	<i>< 0,18</i>	<i>< 0,12</i>
<i>minimální požadovaný součinitel prostupu tepla - okna</i>	<i>W/m²/K</i>	<i>-</i>	<i>< 1,0</i>	<i>< 0,85</i>
<i>vzduchotěsnost budovy podle n₅₀</i>	<i>h⁻¹</i>	<i>-</i>	<i>< 1,0</i>	<i>< 0,6</i>

2. CHARAKTERISTIKA TEPLOVZDUŠNÝCH A VĚTRACÍCH SOUSTAV

Ve výstavbě nízkoenergetických a pasivních domů, se dnes v Evropě uplatňují dva systémy:

- *rovnotlaký větrací systém s rekuperací a ohřevem (většinou však doplňovaný dalším zdrojem tepla v místnostech)*
- *cirkulační systém teplovzdušného vytápění s řízeným podílem čerstvého vzduchu a rekuperací tepla*

V tab. 2.1. jsou uvedeny charakteristické vlastnosti obou systémů z hlediska zajištění požadovaných funkcí a mikroklimatu v rodinném domě:

<i>požadovaná funkce</i>	<i>rovnotlaký větrací systém s rekuperací a dohřevem</i>	<i>systém cirkulačního teplovzdušného vytápění s řízeným větráním a rekuperací</i>
<i>vytápění obytných prostor</i>	<i>zajišťuje přívod teplého vzduchu (pro NED vždy s externí otopnou soustavou)</i>	<i>zajišťuje přívod teplého vzduchu současně s větráním (v EPD přechází do rovnotlakého větrání s ohřevem)</i>
<i>větrání obytných prostor</i>	<i>čerstvý vzduch je přiváděn potrubním systémem do obytných místností</i>	<i>čerstvý vzduch je přiveden do cirkulačního vzduchu a do obytných místností (v EPD větrá bez cirkulace)</i>
<i>regulace teploty v místnostech</i>	<i>vyžaduje oddělenou regulaci externí otopné soustavy</i>	<i>zajištěna v určitém rozsahu snadnou regulací podlahových výústek</i>
<i>zajištění optimální relativní vlhkosti obytných prostor</i>	<i>problematické při plném dimenzování větrání pro každou místnost (bez ohledu na obsazení)</i>	<i>vhodné při řízeném přívodu větracího vzduchu podle čidel rh, CO₂, TVOC</i>
<i>odvětrání sociálních zařízení</i>	<i>odpadní vzduch je odsáván z WC, koupelny a kuchyně a přiváděn do jednotky</i>	<i>odpadní vzduch je odsáván z WC, koupelny a kuchyně a přiváděn do jednotky samostatným potrubím</i>
<i>dohřev větracího vzduchu</i>	<i>zajišťuje externí potrubní ohřivač (vodní, elektrický)</i>	<i>společně s cirkulačním vzduchem v teplovodním výměníku jednotky</i>
<i>dimenzování celkového množství větracího vzduchu</i>	<i>přívod nutno dimenzovat dle předpokládaného nejvyššího obsazení každé místnosti</i>	<i>vzhledem k vnitřní cirkulaci lze dimenzovat pouze na počet osob v celém domě</i>
<i>rozvod interních a externích zisků</i>	<i>neumožňuje přímý rozvod zisků bez současného větrání a vysoušení prostor</i>	<i>účinný rozvod při intenzivní cirkulaci vzduchu v celém domě, s řízeným větráním</i>
<i>noční předchlazení obytných prostor</i>	<i>málo účinné při nízkém průtoku větracího vzduchu</i>	<i>účinné při intenzivním přetlakovém provětrání</i>

využití zemního výměníku tepla	omezený chladicí účinek při nízkém průtoku venkovního vzduchu	velmi účinné chlazení při cirkulaci vzduchu přes cirkulační zemní výměník s redukcí tvorby kondenzátu
využití VZT jednotky jako zdroje tepla/chladu	nutný externí potrubní ohřivač	dokonale umožňuje vestavěnými registry pro funkci vytápění i chlazení

3. PŘEHLED SPOTŘEB ENERGIÍ V STANDARDNÍM PASIVNÍM RODINNÉM DOMĚ

Pro standardní velikost běžného rodinného domu s užitkovou plochou $F_u = 150 \text{ m}^2$, při obsazení 4 osobami, a standardním vybavením úspornými elektrospotřebiči lze uvažovat s následující celkovou roční spotřebou energií:

3.1 vytápění a větrání ($q_n = 15 \text{ kWh/m}^2/\text{r}$; vnitřní započítatelné zdroje $q = 2,1 \text{ W/m}^2$):

$$\Sigma Q_{\text{ÚT}} = F_u \cdot q_n = 150 \cdot 15 = \dots\dots\dots 2250 \text{ kWh/r}$$

3.2 ohřev teplé užitkové vody ($p = 40 \text{ l/den/os}$; ohřev na 50°C):

$$\Sigma Q_{\text{TUV}} = n \cdot p \cdot c \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} \cdot 365 = 4 \cdot 40 \cdot 1,16 \cdot (50-10) \cdot 10^{-3} \cdot 365 = \dots\dots 2700 \text{ kWh/r}$$

3.3 provozní energie (režie domácnosti):

dle standardů EÚ (a ČEZ) je celková spotřeba $\Sigma Q_R = \dots\dots\dots 3500 \text{ kWh/r}$

Z toho jednotlivé spotřebiče se podílí:

- chladnička 365 kWh/r
- mraznička 620 kWh/r
- el. sporák, trouba 225 kWh/r
- stand – by spotřebičů 220 kWh/r
- rychlovarná konvice 190 kWh/r
- myčka nádobí 150 kWh/r
- žehlička 120 kWh/r
- pračka (cca) 560 kWh/r
- ostatní (TV, PC, osvětlení) až . 850 kWh/r

3.1 – 3.3 Souhrnná spotřeba energií v PD 8450 kWh/r

4. DIMENZOVÁNÍ VĚTRACÍHO SYSTÉMU NÍZKOENERGETICKÝCH A PASIVNÍCH DOMŮ

Obecně musí větrací systém zajišťovat optimální podmínky mikroklimatu a odvod škodlivin z pobytových a přidružených prostor bytových staveb

Zejména se jedná o následující škodliviny:

- *oxid uhličitý CO₂*
- *vodní pára*
- *odéry (těkavé organické látky TVOC)*

4.1 Stanovení produkce CO₂ od osob:

- .11/ v klidu (noc) : $q_1 = 40 \text{ Wm}^{-2}$; frekvence 12 – 16 vdechů/min, při kapacitě 500 ml/vdech, tj. 360 – 480 l vzduchu/hod/os. Při obsahu CO₂ ve vydechovaném vzduchu 3,5 % obj. je maximální produkce CO₂ :
 $p_1 = 480 \times 0,035 = 16 \text{ l CO}_2/\text{hod}/\text{dospělá osoba}$.
Obdobně vychází výpočet z produkce 0,26 l CO₂/min, tj. 15,6 l CO₂/hod.

Průměrná produkce CO₂ člena rodiny (2 dospělí + 2 děti):

$$p_{\phi} = \frac{(16 \times 2) + 0,8 (16 \times 2)}{4} = 14 \text{ l/hod} / \phi \text{ osoba}$$

- .12/ denní období: $q_1 = 60 \text{ Wm}^{-2}$; při zvýšení produkce na 20 l CO₂/hod/osoba je průměrná produkce CO₂ člena rodiny:

$$p_{\phi} = \frac{(20 \times 2) + 0,8 (20 \times 2)}{4} = 18 \text{ l/hod} / \phi \text{ osoba}$$

- .13/ Dávka větracího vzduchu: (pro stacionární okrajové podmínky):

přípustná kvalita mikroklimatu hodnocená podle CO₂ na úrovni 1200 ppm (1,2 l m⁻³) dle EN CR 1752 CEN při venkovní koncentraci 370 ppm (tj. 0,37 l m⁻³) a produkci 16 l CO₂ /h/os vyžaduje průměrnou dávku čerstvého vzduchu:

$$V_{\min} = \frac{16}{1,2 - 0,37} = 19 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{os}$$

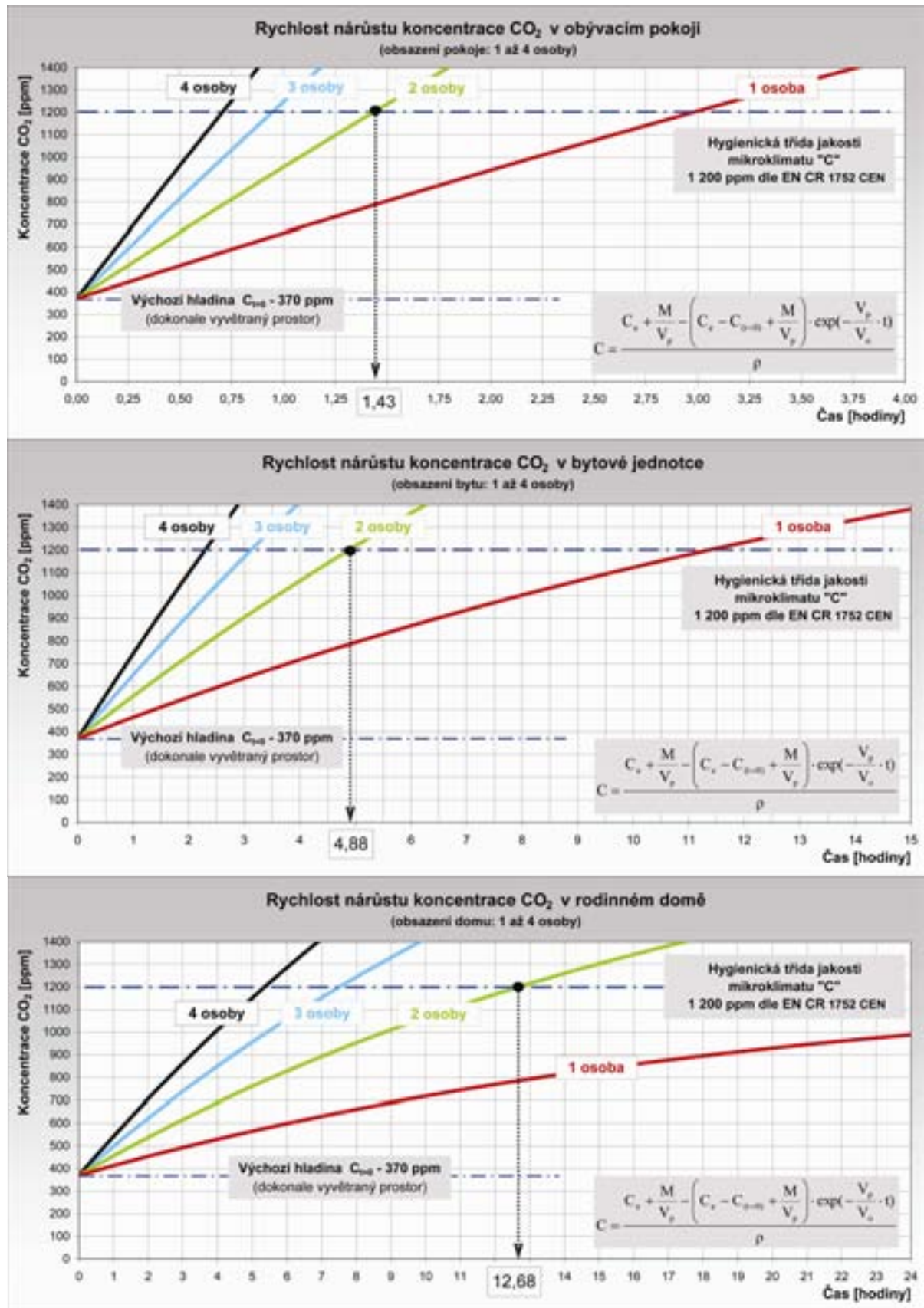
- .14/ Poznámka: 1) hodnota 1200 ppm je ještě hygienicky přípustná hodnota pro třídu mikroklimatu „C“ podle N CR 1752 CEN
2) pro dodržení klasické Pettenkotevovy hodnoty 1000 ppm je nutný přívod 25,4 m³/h/os

.15/ Pro nestacionární okrajové podmínky lze však průběh hodnot CO₂ vyjádřit pouze expomenuální funkcí:

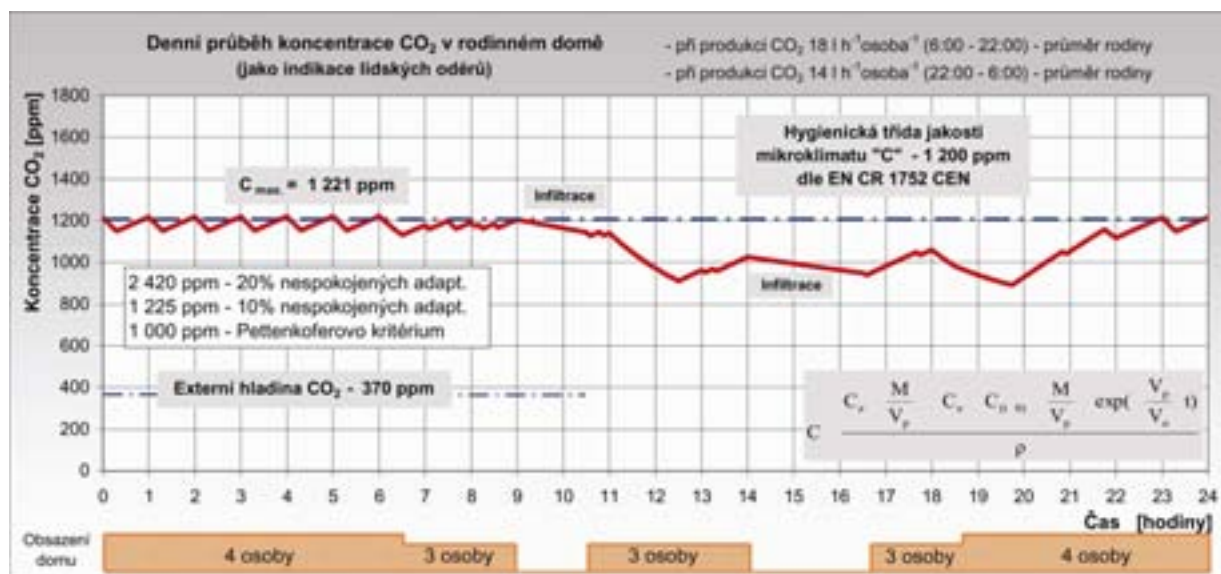
$$C = \frac{1}{\rho} \cdot \left(C_e + \frac{M}{V_p} - \left(C_e - C_{t=0} + \frac{M}{V_p} \right) \cdot \exp\left(\frac{-V_p}{V_o} t\right) \right)$$

- C..... koncentrace škodliviny [ppm]
- C_e..... koncentrace škodliviny v atmosferickém vzduchu [mg m⁻³]
- C_(t=0) koncentrace škodliviny v interiéru v startovacím čase t = 0 [mg m⁻³]
- M..... zdrojový tok škodliviny [mg s⁻¹]
- V_p..... objemový průtok větracího vzduchu [m³ s⁻¹]
- V_o..... objem větraného prostoru [m³]
- t..... čas [s]
- ρ..... měrná hmotnost škodliviny [kg m⁻³]

V tab. 4.1 jsou uvedeny grafy nárůstu CO₂ pro různé prostory a různé obsazení osobami, s přirozenou infiltrací ($n = 0,05 \text{ h}^{-1}$) okny s časovým údajem dosažení 1200 ppm



Tab. 4.2 Průběh hladin CO₂ pro standardní obsazení a provoz v rodinném domě (V = 400 m³) s teplovzdušným cirkulačním vytápěním a nárazovým rekuperačním větráním 160 m³/h:



4.2 Produkce vodních par

V běžných podmínkách lze uvažovat s reálnou produkcí vodních par dle tab. č. 4.3.:

druh činnosti	množství	Produkce par
osoby - \varnothing 40 g / os / h - Σ 72 hod / den	2 800 g / den	vývin do obyt. prostoru
rostliny - 10 g / ks / hod - 5 ks = 50g/h x 24	1 200 g / den	do obyt. prostoru
mytí podlah - nárazově	200 g / den	do obyt. prostoru
kuchyně 500 g / h (průměrně) x 2,0 h / den	1 000 g / den	do obyt. prostoru
sušení prádla - 200 g / h / 5 kg x 4 h / den	800 g / den	lokálně odtah
koupelna – 1200 g / h x 2,5 h / den	1 500 g / den	lokálně odtah
Celková produkce =	ΣM_c 7 500 g /den	
Z toho produkce do obytného prostoru: $\Sigma Z_{OBYT} = 5 200$ g / den (přímo ovlivňuje relativní vlhkost obytného prostoru).		

V moderních i rekonstruovaných stavbách při dokonalém utěsnění oken, se prakticky omezila přirozená infiltrace až k nule, dnes dochází k nejvážnějším vlhkostním problémům a plísním (viz. příspěvky doc. Papeže a ing. Kopřivy).

Dávka větracího vzduchu pro udržení optimální relativní vlhkosti je pro stacionárně okrajové podmínky dána vztahem:

$$\Sigma V_{\min rh} = \frac{\Sigma Z_{OBYT.}}{\Delta X_{ie} \cdot \rho} = \frac{\Sigma \text{ produkce par do obyt. prostoru}}{(x_i - x_e) \cdot \rho} \quad [m^3/h]$$

x_i měrná vlhkost vnitřního vzduchu (g/kg sv.)

x_e měrná vlhkost vnějšího (přiváděného) vzduchu (g/kg sv.)

ρ objemová hmotnost vzduchu (kg/m³)

V podmínkách teplovzdušně vytápěných a větraných domů se v praxi vyskytly problémy s udržením interiérové relativní vlhkosti v hygienicky doporučených hodnotách $rh_i = 30 - 50 \%$ v topném a přechodném období. Při intenzivním nuceném větrání zde docházelo k poklesu hodnot rh až pod 18%, což je již hygienicky zcela nepřijatelné, vznikaly zdravotní problémy a došlo i k zesychání nábytku a dřevěných podlah.

Průběh relativní vlhkosti rh_i v interiéru budov je obecně závislý především na:

- celkové intenzitě větrání $n(h^{-1})$, tj. nucené a infiltrační výměně venkovního vzduchu
- absolutní vlhkosti přiváděného větracího vzduchu
- teplotě vzduchu v budově
- započítatelné produkci vlhkosti do interiéru budovy Z
- sorpční a desorpční charakteristice povrchů interiéru

Vzájemný vztah těchto veličin a jejich časový průběh lze vyjádřit pouze exponencionálními rovnicemi, ovšem za určitých zjednodušujících předpokladů (např. quasistacionární průběh sorpce a desorpce vlhkosti vnitřními povrchy místností).

Matematický model časových průběhů relativní vlhkosti v závislosti na intenzitě větrání a produkci vlhkosti potom vychází z rovnice:

$$rh = \frac{\rho_{PP} + \frac{Z}{V_P} - \left(\rho_{PP} - \rho_{P(t=0)} + \frac{Z}{V_P} \right) * \exp\left(-\frac{V_P}{V_O} * t \right)}{\rho'_P} * 100 \quad [\%]$$

rh ... relativní vlhkost vzduchu ve větraném prostoru [%]

ρ_{PP} ... absolutní vlhkost vzduchu přiváděného do větraného prostoru [kg m⁻³]

$\rho_{P(t=0)}$... absolutní vlhkost vzduchu ve větraném prostoru v startovacím čase $t = 0$ [kg m⁻³]

ρ'_P ... maximální absolutní vlhkost vzduchu ve větraném prostoru [kg m⁻³]

Z ... zdrojový tok vlhkosti [kg s⁻¹]; [kg h⁻¹]

V_P ... objemový průtok větracího vzduchu [m³ s⁻¹]; [m³ h⁻¹]

V_O ... objem větraného prostoru [m³]

$t \dots$ čas [s]

Pro konkrétní ilustraci problému jsou dále uvedeny modelové varianty větrání menšího rodinného domu objemu $V_0 = 350 \text{ m}^3$, při konstantním $t_i = + 20 \text{ }^\circ\text{C}$, a výchozí hodnotě $rh_i = 50\%$, pro různé intenzity větrání „n“, různé hodnoty t_e (odpovídající průměrným hodnotám x_e) a různé produkci vlhkosti Z:

obr. 4.21: Intenzita větrání $n = 0,5 \text{ /h}^{-1}$ / tj. $V = 175 \text{ m}^3/\text{h}$, bez produkce vlhkosti: Z průběhu poklesů jednotlivých křivek rh_i pro $t_e = -15^\circ\text{C}$ až $+ 10^\circ\text{C}$ je zřejmé, že výchozí relativní vlhkost klesá při venkovních teplotách $t_e < 0^\circ\text{C}$ výrazně k limitním diskomfortním hodnotám pod 20%, v čase pouze 10 hodin.

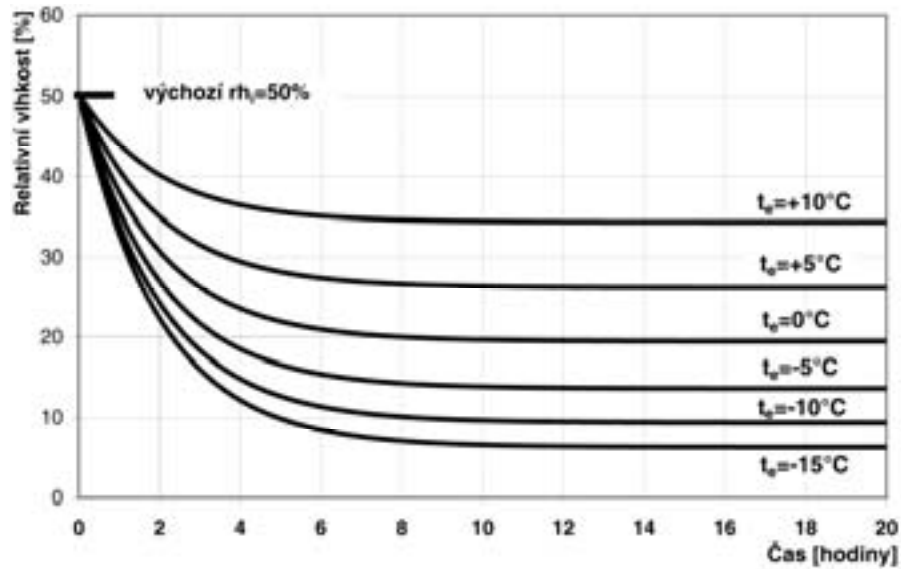
obr. 4.22: Intenzita větrání $n = 0,5 \text{ /h}^{-1}$ /, ale s produkcí vlhkosti (přímo do interiéru) množství 5,2 kg/24 h: Průběh hodnot křivek rh_i je sice o 4% vyšší než v obr. 1.1, ale stále zcela nevyhovující z hygienických hledisek.

obr. 4.23: Intenzita větrání $n = 0,25 \text{ /h}^{-1}$ /, ale s produkcí vlhkosti 5,2 kg/24h: Průběh hodnot rh_i je již výrazně příznivější, kdy pro $t_e = 0^\circ\text{C}$ až $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ je již dosaženo hygienicky optimálních, časově ustálených hodnot relativní vlhkosti $rh_i = 30\%$

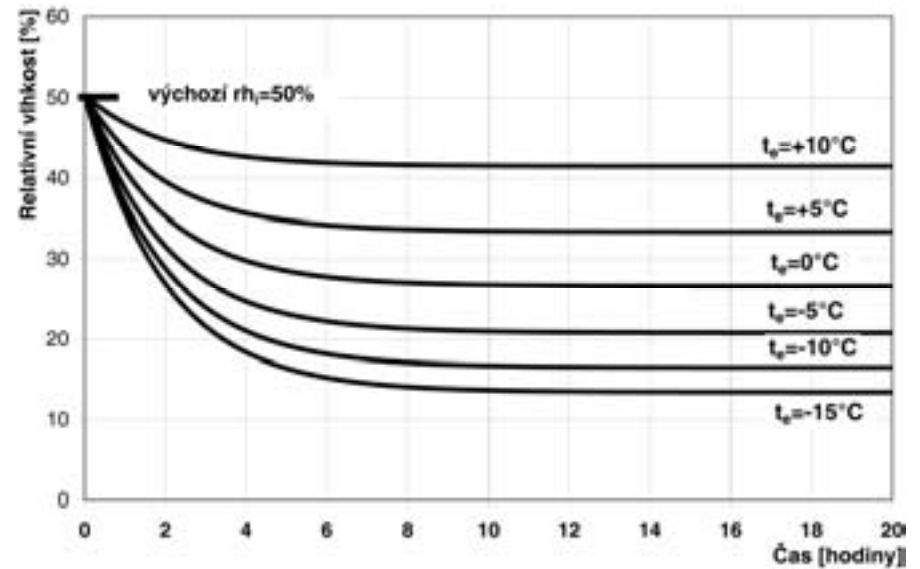
obr. 4.24: Intenzita větrání $n = 0,05 \text{ /h}^{-1}$ /, s produkcí vlhkosti 5,2 kg/24 h: Intenzivní průběh všech křivek rh_i je dán přírůstkem relativní vlhkosti v interiéru nad výchozí hodnotu $rh_i = 50\%$, pro všechny zadané venkovní teploty. Intenzita větrání, odpovídající přibližně hodnotám přirozené infiltrace těsnými okny v rodinném domě, je hygienicky naprosto nevyhovující.

Závěry z modelových výpočtů:

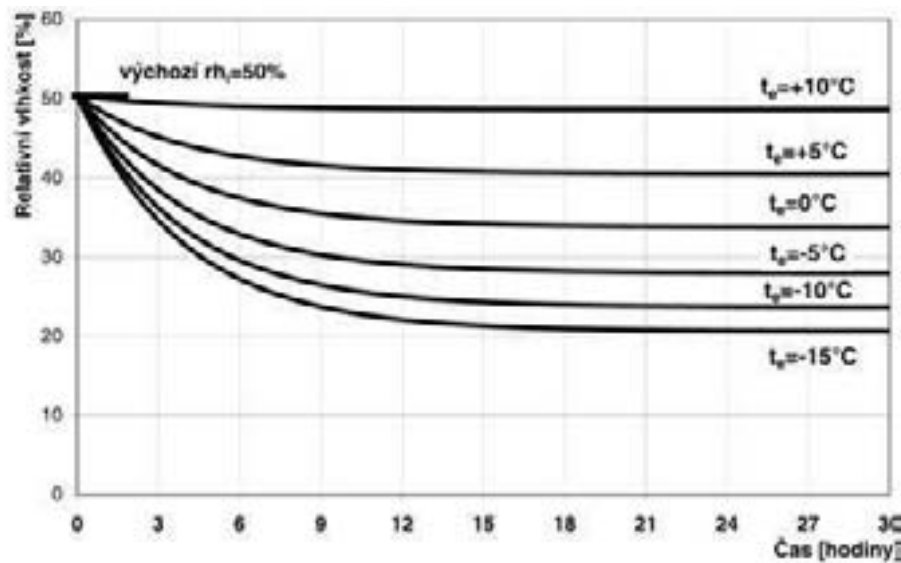
- Pro zadané parametry velikosti domu a produkce vlhkosti se jako optimální pro udržení rh_i jeví varianta podle obr. 1.3, tj. s intenzitou větrání $n = 0,25 \text{ /h}^{-1}$ /, tj. $V = 87,5 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Všechny varianty s vyšší intenzitou větrání vedou k výraznému snižování rh_i v interiéru pod hygienicky přípustné hodnoty.
- Varianta 1.4 vede již k nepřijatelnému zvyšování rh_i a bude nutně docházet ke kondenzaci par a vlhkostnímu diskomfortu.
- Varianta 1.3 s výkonem větrání $V = 87,5 \text{ m}^3/\text{h}$ však již neodpovídá hygienickým požadavkům na množství čerstvého vzduchu pro 4-člennou rodinu, tj. 100 až 120 m^3/h .
- Varianta 1.3 je schopná přinést při klasickém rovnotlakém větracím (tj. zároveň i vytápěcím režimu) v pasivním domě topný výkon pouze 730 W (!), tedy zcela nedostatečný pro zadaný dům v topném období, navíc nelze zajistit náběh teplot po otopné přestávce dle požadavku ČSN 730560-2, a je nutno řešit dodatečný zdroj tepla.



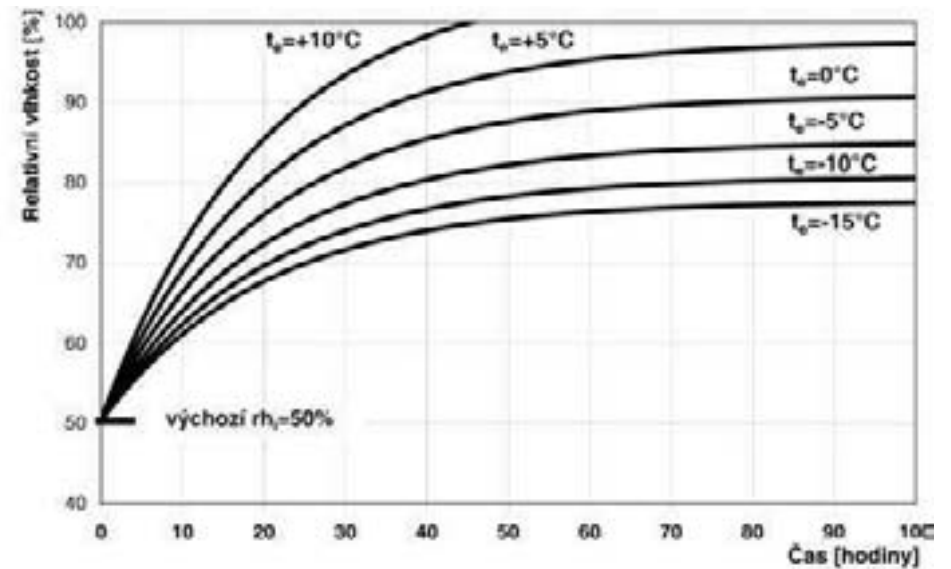
obr. 4.21 Časový průběh rh_i pro $n = 0,5 /h^{-1}$ - bez produkce vlhkosti 5,2 kg/24 h



obr. 4.22 Časový průběh rh_i pro $n = 0,5 /h^{-1}$ - s produkcí



obr. 4.23 Časový průběh rh_i pro $n = 0,25/h^{-1}$ - s produkcí vlhkosti 5,2 kg/245 h



obr. 4.24 Časový průběh rh_i pro $n = 0,05/h^{-1}$ - s produkcí vlhkosti 5,2 kg/24 h

4.3 Odéry (těkavé organické látky TVOC)

Jedná o souhrn odérů alifatických a aromatických ketonů, formaldehydů, vyšších aldehydů a terpenů, atd. (dle prof. Jokla).

Dle EUR 14449 EN jsou však obytné budovy zahrnovány do prostředí s nízkým znečištěním, kde produkce TVOC koberci, vinyly a OSB deskami je nižší než 55 mikrogramu /h m² podlahy, tudíž postačí jako kritérium pro návrh větrání uvažovat pouze dominantní koncentrace CO₂.

5. POUŽÍVANÉ VĚTRACÍ SYSTÉMY OBYTNÝCH STAVEB

5.1 Klasické využití přirozeného gravitačního větrání budov představují historické světlíkové šachty uvnitř starých činžovních domů, kdy do obytných místností byl z uliční fasády spárami oken nasáván venkovní vzduch a procházel celým prostorem bytu až k WC, kde byl odsáván do rozměrné světlíkové šachty "vytápěné" prostupem tepla přes zdi okolních bytů. Systém selhával až v letním období při inverzi, kdy stěny šachet byly chladnější než okolí, vzduch v šachtě se ochlazoval a proudil směrem dolů. Zcela analogicky zajišťují větrání jednotlivých obytných místností běžné komíny lokálních topenišť. Podstatně v omezenější formě působí gravitační vztlak i po výšce oken v každém podlaží, kdy přibližně horní polovinou okenních spár je vnitřní teplejší vzduch z místnosti odváděn, spodní částí oken naopak je čerstvý vzduch přiváděn v závislosti na těsnosti spár. Vůči prakticky ustálenému účinku teplot na větrání, je náporové působení větru v našem podnebném pásmu zcela nahodilé jak četností, tak směrem, a garantované pro větrání využitelné nejvýše z 50 % ročního období.

S nástupem nové generace zcela běžných oken však všechny uvedené systémy zcela selhávají, viz následující příklad:

Infiltrace okny:	okna EURO ... $i = 0,123 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-0,67}\text{)}$
(pro běžný rodinný dům, $V_o = 365 \text{ m}^3$)	$B = 16$... charakteristické číslo budovy – krajina s intenzivními větry velmi nepříznivá ($\text{Pa}^{-0,67}$)
	$M = 0,7$... charakteristické číslo místnosti
	$\Sigma L = 35 \text{ m}$... délka spár otevíravých oken na návětrné straně budovy
	$V_{\text{inf}} = \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \cdot 3600 = 18 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$
	$n_{\text{einf}} = 18/365 = 0,05 \text{ /h}^{-1}$

5.2 Systémy nuceného větrání zajišťují nucený přívod a současně nucený odvod vzduchu z vnitřních prostor budov, pomocí mechanických strojních zařízení, nejčastěji ventilátorů. Celkové větrání se dnes používá již univerzálně, hlavně při vyrovnané bilanci množství přiváděného a odváděného vzduchu. Nespornými výhodami těchto komfortních systémů vůči přirozenému větrání je:

- *ideální možnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu pro predehřev vzduchu přiváděného s účinností 90 %. Tím lze často zcela vyloučit nutnost dalšího dohřevu přiváděného vzduchu, neboť se zároveň využívá i veškerých teplotních zisků v budovách z metabolismu osob, osvětlení, technologie, apod.*
- *dokonalá filtrace přiváděného, případně cirkulačního vzduchu na speciálních tkaninových, případně i elektrostatických filtrech, zachycující mikročástice velikosti 1 až 3 mikronu s účinností 95 až 99 %.*
- *snadná automatická regulace výkonu větrání podle momentálních požadavků (např. podle počtu osob v prostoru) na základě vyhodnocení údajů čidel vlhkosti, čidel oděrů, nebo CO₂, nebo senzorů pohybu osob*
- *možnost úplné hermetizace oken v budově, čímž se zcela vyloučí nežádoucí infiltrace prachu a výrazně sníží přenos hluku z ulic do vnitřního prostředí budov*
- *zaručená funkce systému i při nepříznivých tlakových podmínkách v budově (např. při letní inverzi)*
- *možnost instalace výměníků pro chlazení, případně vlhčení přiváděného vzduchu.*

5.3 Systémy kombinovaného větrání v bytové výstavbě se používají především v kombinaci nuceného odtahu s přirozeným přívodem vzduchu spárami oken (např. odsávání sociálních zařízení, místní odsávání v kuchyních, apod.)

Tyto systémy zároveň provětrávají obytné místnosti – ale pouze za předpokladu neutěsněných okenních spár, což u dnešních supertěsných oken již vůbec není pravda. Tím se stávají odsávací ventilátory sociálních zařízení a kuchyňských digestoří zcela neúčinné, takže neodvětrají dostatečně WC, koupelny ani digestoře, ale nemohou ani zajistit přívod čerstvého vzduchu do obytných místností!

Výrobci oken tento problém řeší instalací 4. polohy křídel s mikroventilací, ale tím se zcela znehodnocuje proklamovaná „úspora tepelné energie těsnými okny“, a větrací funkce se zcela nezajistí.

Systémy přírodních podlahových štěrbin v okenních křídlech, parapetech, případně automaticky regulovaných podle relativní vlhkosti, vrací problém zpět k netěsným okenním spárám s problémy diskomfortu při intenzivním přívodu chladného vzduchu lokálně přímo do pobytové zóny obytných místností a následnými stížnostmi uživatelů na studené tahy vzduchu.

Zásadní nevýhodou těchto systémů je vyloučená instalace rekuperačních zařízení, zvláště pro nízkoenergetické a pasivní objekty, kde spotřeba tepla pro větrání již převyšuje transmisní ztráty budov.

5.4 Systémy hybridního větrání, které využívají řízenou kombinaci nuceného a přirozeného větrání jsou prozatím realizovány pouze ve vývojových projektech a pro hromadné využití v rodinných domech jsou příliš nákladné.

6. ROVNOTLAKÉ VĚTRACÍ SYSTÉMY OBYTNÝCH BUDOV

V Západní Evropě se pro větrání budov uplatňují systémy nuceného větrání s vysoce účinnou rekuperací tepla, jako zcela standardní a energeticky nejúčinnější řešení.

Tyto systémy zajišťují řízené rovnotlaké větrání pro rodinné domy i vícepodlažní bytové domy, zároveň s dohřevem přiváděného vzduchu, předchlazením v letním období a s účinným využitím všech interních a externích energetických zisků.

Systémy zajišťují přívod čerstvého filtrovaného vzduchu do každé obytné místnosti a kuchyně, a současně odtah odpadního vzduchu ze sociálních zařízení, WC, koupelny a kuchyně.

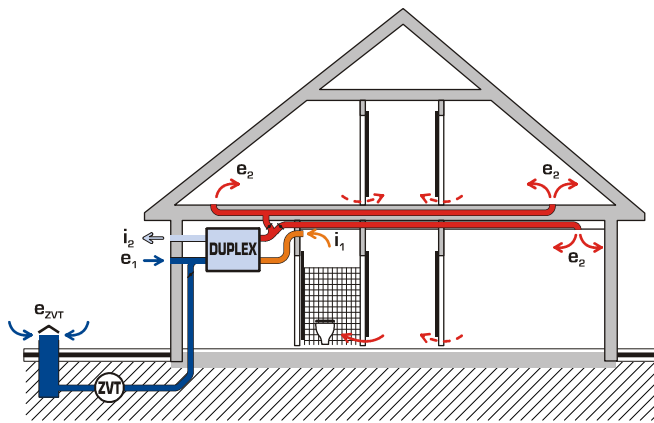
Nízkoenergetické domy (NERD) se doplňují základní otopnou soustavu (tělesa ÚT, podlahové vytápění, atd.), pro pasivní domy (EPD) bez základní otopné soustavy pak postačuje pouze dohřev přiváděného vzduchu potrubním ohřívačem, případně v kombinaci s krbovou vložkou nebo jiným bivalentním zdrojem, výhodně však s cirkulačním okruhem, který zabraňuje extrémnímu snižování relativní vlhkosti v zimním období.

6.1 Technické řešení a funkce systému

- větrací jednotka se umísťuje výhodně pod stropem WC, technické místnosti, atd. Alternativně lze jednotku instalovat na půdě nebo v nástěnné poloze v technické místnosti, šatně, atd.
- rozvody čerstvého vzduchu se instalují podle druhu umístění a typu stavby:
 - a) *kanálové z pozink. plechu rozměru 160x40 mm, uložené v tepelně-izolační vrstvě podlahy, s vyústěním přes podlahové vyústky s regulací. Systém určen pro novostavby. Větvnatý rozvod z centrální podlahové rozvodné šachty vylučuje akustické přeslechy mezi obytnými místnostmi.*
 - b) *rozvody pod stropním podhledem z kruhového potrubí (pozink., PVC), s talířovými vyústkami. Systém určen pro novostavby s podhledy.*
 - c) *rozvody rohové podstropní z kruhového potrubí (pozink., PVC, akustické tlumiče), se zakrytím sádrokartonem (SDK, Fermacellem, atd.), s tryskovými vyústkami pod stropem (Coandův efekt). Systém určen pro dodatečné instalace a pro revitalizaci panelových bytových domů.*
 - d) *ve všech variantách je zajištěno dokonalé čištění všech potrubních rozvodů.*
- odpadní vzduch ze sociálních zařízení je odváděn kruhovým potrubím 100 – 160 mm pod stropem v zákrytu, nebo pod podhledem, s ukončením talířovými ventily s regulací (ideálně přímo nad zdroji vlhkosti (sprch. box)).
- z obytných místností je vzduch odváděn štěrbinami pod dveřmi bez prahů (6 až 8 mm) do předsíně a pod dveřmi nasáván do sociálních zařízení (WC, koupelna)
- odsávací digestoře nad sporáky se řeší výhradně jako cirkulační s uhlíkovými filtry pro zachycení pachů, s nastavitelným výkonem 150 až 450 m³/h, podle intenzity vývinu aerosolů a pachů.
- přívod čerstvého a výfuk odpadního vzduchu je běžně vyveden do protidešťových žaluzií ve fasádě domů, u vícepodlažních budov do centrálních stoupaček přes uzavírací a požární klapky.

- přívod čerstvého vzduchu do jednotlivých obytných místností se dimenzuje na 30 až 45 m³/h (podle předpokládaného obsazení), odsávání ze sociálních zařízení podle DIN 1946/6 v množství: koupelny 40 až 60 m³/h; WC 20 až 30 m³/h; kuchyně 40 až 60 m³/h (pouze odvod par, které nezachytí cirkulační digestoř).

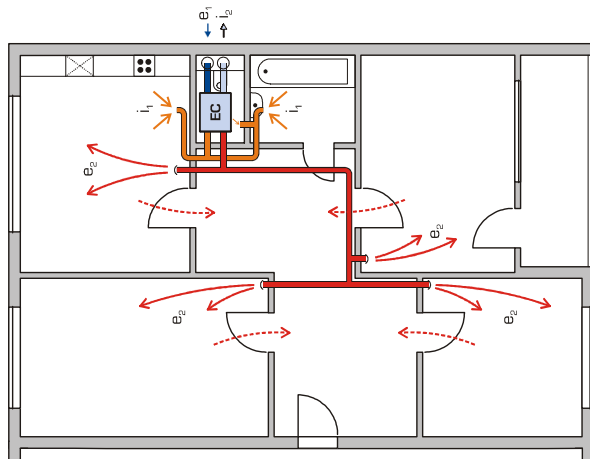
Pro návrh VZT rozvodů a šachet u bytových vícepodlažních budov nutno dodržet ČSN 730872 Ochrana staveb proti šíření požáru VZT zařízení (odstupy, klapky, atd.).



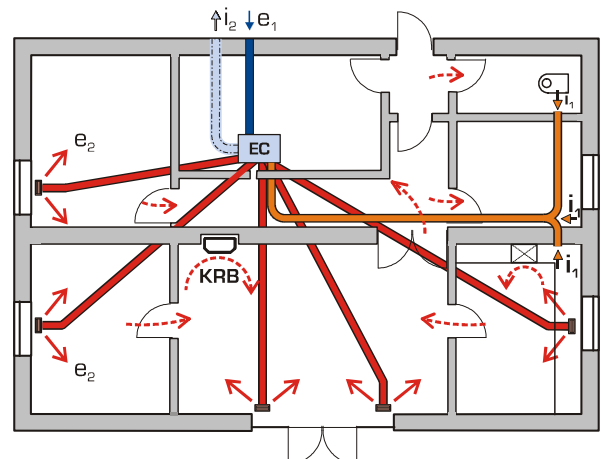
obr. 6.1 Schéma větracího systému s rekuperací 90 % v rodinném domě



obr. 6.2 Moderní koncepce větrací jednotky s rekuperací tepla s protiproudým výměníkem s účinností 90% a výkonem výkonem až 330 m³/h



obr. 6.3 Schéma podstropních rozvodů větrání v bytovém domě



obr. 6.4 Schéma podlahových rozvodů větrání v rodinném domě

6.2 Výhody nuceného větrání s rekuperací tepla

- záruka hygienicky nutných trvalých výměn vzduchu s možností nárazového zvýšení externím signálem z WC, koupelny, kuchyně
- úspora až 90 % nákladů na větrání
- vyloučení vzniku plísní
- vyloučení tepelného diskomfortu v bytech přívodem vzduchu s minimálním teplotním gradientem
- využití všech interních i externích tepelných zisků z prostoru bytu pro předehřev větracího vzduchu a krytí jeho zbytkových transmisních ztrát
- přívod dokonale filtrovaného vzduchu (G4-F7) výrazně omezuje vznik alergických a respiračních onemocnění obyvatele
- při nastavení výkonu na max. výkon jednotky až 330 m³/h (přes by-pass) lze prostory bytu účinně chladit v letním období, případně s nočním předchlazením
- systém umožňuje automatické řízení na požadované hodnoty CO₂ a relativní vlhkosti
- kompletizovaný stavebnicový systém umožňuje jednoduchou instalaci i svépomocí
- při instalaci zemního registru (ZR) se v letním období přiváděný vzduch účinně předchlazuje (až o 18°C) a v zimním období předehřívá (až o 20°C).

tab. 6.5: Požadavky na větrání kuchyní, koupelen, WC podle různých zahraničních předpisů a doby provozu (doporučené hodnoty):

předpis	kuchyně (m ³ h ⁻¹)	koupelny (m ³ h ⁻¹)	WC (m ³ h ⁻¹)
DIN 18017/3		40 - 60	20 - 30
DIN 1946/6	40 - 60	40 - 60	20 - 30
ECE Compendium	36 - 180	36 - 180	
BSF 1998:38	36 - 54	36 - 108	36
ČR	100 - 150	60	25

tab. 6.6: Požadavky na větrání obytných místností podle různých zahraničních předpisů (doporučené hodnoty):

zahraniční předpis	intenzita výměny vzduchu	množství větracího vzduchu
DIN 4701	0,5 h ⁻¹	
VDI 2088	0,4 - 0,8 h ⁻¹	
NKB Publication	≥ 0,5 h ⁻¹	30 m ³ h ⁻¹
ECE Compendium	≥ 0,5 h ⁻¹	
BSF 1998:38	0,4 h ⁻¹	1,26 m ³ h ⁻¹ m ²
ČR ČSN 06 0210	0,5 h ⁻¹	
ASHRAE USA	-	27 m ³ h ⁻¹ os ⁻¹
STN 060210	≥ 0,3 h ⁻¹	

poznámka: Závazné hodnoty nejsou žádnými předpisy pro obytné stavby stanoveny (na rozdíl od hygienických požadavků na pracovní prostředí dle nařízení vlády č. 441/2004 Sb).

7. CIRKULAČNÍ SYSTÉM TEPLOVZDUŠNÉHO VYTÁPĚNÍ S ŘÍZENÝM PODÍLEM VĚTRACÍHO VZDUCHU A REKUPERACÍ TEPLA

Teplovzdušné cirkulační vytápění s řízeným větráním s rekuperací tepla se stává již standardním řešením u moderních nízkoenergetických a pasivních rodinných domů v ČR.

Dvouzónový systém zajišťuje v primárním okruhu teplovzdušné vytápění s cirkulací vzduchu a kontinuální filtrací, zároveň s řízeným podílem čerstvého vzduchu buď ručně, nebo automaticky (čidly vlhkosti, CO₂, TVOC).

Sekundární okruh zajišťuje zcela oddělené odvětrání sociálních zařízení a kuchyní, s rekuperací tepla účinnosti až 90%. Podle nastavení regulátoru pak lze celý systém provozovat v 5-ti režimech od rovnotlakého větrání, přes směšovací vytápění a větrání, čistě teplovzdušné vytápění až po cirkulační letní chlazení v kombinaci s cirkulačním zemním výměníkem tepla ZVT.

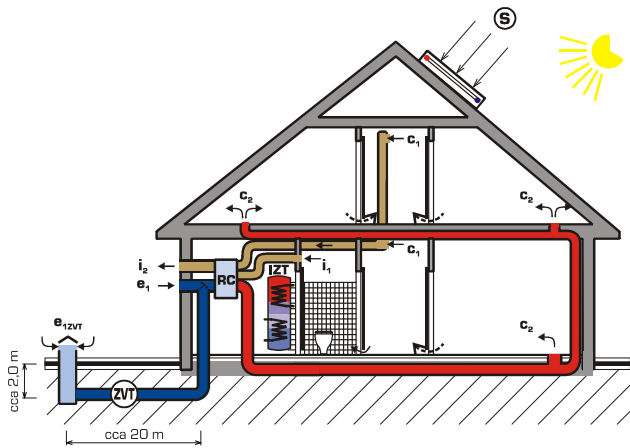
7.1 Koncepční řešení cirkulačního vzduchotechnického systému s řízeným větráním

- cirkulační a čerstvý vzduch do obytných místností se společně rozvádí z centrální rozdělovací komory jednotlivými plochými vzduchovody z pozinkovaného plechu rozměru 200 x 50 mm, uloženými v tepelně - izolační vrstvě podlahy pod nášlapnou vrstvou. Vyústění rozvodů přes podlahové vyústky s regulací do místností se doporučuje vhodně pod okny pro eliminaci chladu, a proti případnému zastavení nábytkem. Tímto centrálním systémem se vylučují akustické přeslechy mezi obytnými místnostmi. Při maximálním výkonu přivádí standardní podlahová vyústka 250 x 100 mm až 90 m³/h vzduchu, tj. při spádu 45/20° C topný výkon až 700 W.
- cirkulační odpadní vzduch z jednotlivých místností se odvádí pod dveřmi bez prahů do předsíně, či chodby, odkud se odsává stěnovou mřížkou pod stropem a odvádí zpět k jednotce.
- v jednotce se cirkulační a čerstvý vzduch filtruje na filtru G4 (F7) s účinností až 97 %, ohřívá na teplovodním registru, případně chladí na výparníku reverzního tepelného čerpadla a radiálním pomaloběžným ventilátorem se rozvádí přes rozdělovací komoru s tlumičem hluku zpět do obytných místností.
- v jednotce se do cirkulujícího vzduchu současně přimísí v nastavitelném poměru čerstvý vzduch, který se přivádí z fasády nebo zemního registru přes předfiltr a předehřívá v rekuperačním protiproudém výměníku s účinností až 90%.
- odpadní vzduch ze sociálních zařízení a vodní pára z kuchyní se trvale, případně s nárazovým zvýšením, odvádí odsávacími ventily s regulací a potrubními kruhovými rozvody průměru 100 až 125 mm přivádí k jednotce. Tyto rozvody se osazují do stropů nebo podstropních zákrytů. V rekuperačním výměníku se předává teplo čerstvému vzduchu a po ochlazení se odpadní vzduch odvádí menším větracím ventilátorem přes fasádní žaluzie do atmosféry.
- odsávací digestoře nad sporáky se navrhují jako cirkulační s uhlíkovými filtry pro zachycení pachů, s nastavitelným výkonem 150 až 550 m³/h.
- regulaci vzduchových výkonů a tím i teplot v jednotlivých místnostech zajišťují ručně ovládané klapky v podlahových výústkách rozměru 250 x 100 mm.
- zvýšení teploty v koupelnách se řeší instalací topných žebříků s teplovodním nebo elektrickým ohřevem, případně instalací podlahového vytápění (např. topné folie).

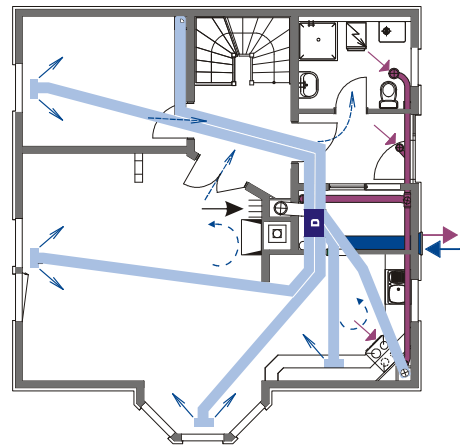
- při maximálním výkonu přivádí standardní podlahová vyústka 250 x 100 mm až 90 m³/h vzduchu, tj. při spádu 45/20°

7.2 Charakteristika teplovzdušného systému s řízeným větráním

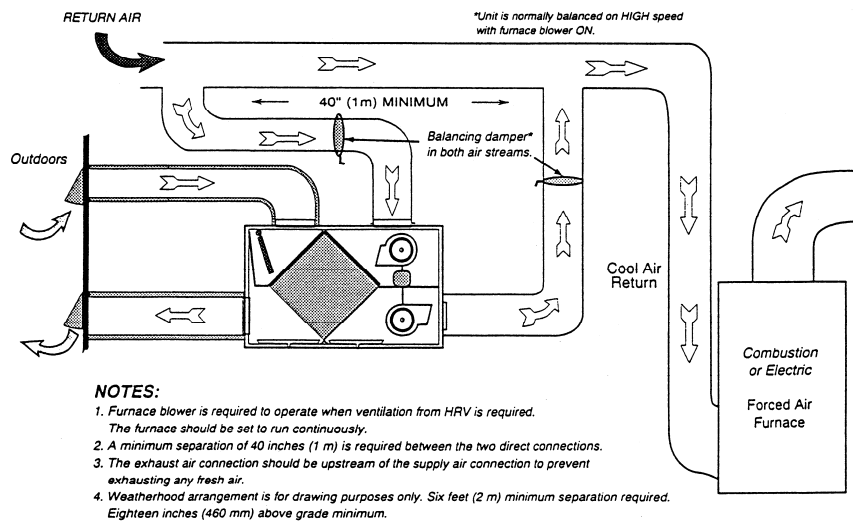
- společným systémem podlahových plochých potrubí se v domě rozvádí teplotonosné (případně chladicí) médium (cirkulační vzduch) zároveň se vzduchem větracím (případně i s chlazením)
- zvýšení nárazového množství odsávaného vzduchu ze sociálních zařízení a kuchyní externími signály pro jejich využití (až na dvojnásobky průměrných množství) pro intenzivní odtah pachů, s možností ručního spínání nebo pohybovými čidly, s řízením doběhu podle čidel relativní vlhkosti, nebo CO₂
- sloučení funkcí cirkulačního vytápění a nezávisle řízeného větrání s rekuperací tepla do jediného agregátu
- úspora nákladů na rozvody a tělesa dalšího zdroje tepla
- záruka hygienicky nutných trvalých výměn vzduchu v domě s možností řízeného nárazového zvýšení
- úspora až 90 % nákladů na větrání
- rychlý zátop s pružnou regulací teploty
- dokonalá filtrace cirkulačního a větracího vzduchu a tím i celkové snížení prašnosti v domě
- možnost instalace elektropolarizačního filtru
- možnost chlazení, vlhčení a odorizace cirkulačního vzduchu
- zajištění optimálních hodnot CO₂ a relativní vlhkosti (bez negativního vysoušení vnitřního klimatu) buď v ustáleném provozním režimu, nebo pomocí čidel CO₂; r.h; TVOC
- účinné letní noční „předchlazení“ interiéru
- využití všech energetických zisků v domě z provozu domácnosti pro předeřev větracího vzduchu rekuperací
- využití solárních zisků z osluněných oken, případně zisků od krbových kamen s okamžitým přenosem tepla do ostatních neosluněných místností
- instalací cirkulačního zemního potrubního registru se přiváděný větrací vzduch v zimě účinně předeřívá a v létě ochlazuje
- dokonalou cirkulací se využívá objemu vzduchu v celém domě (zvláště u minimálně obsazených nebo trvale nevyužívaných domů a bytů s částečnou neodstranitelnou infiltrací vzduchu netěsností stavebních konstrukcí)



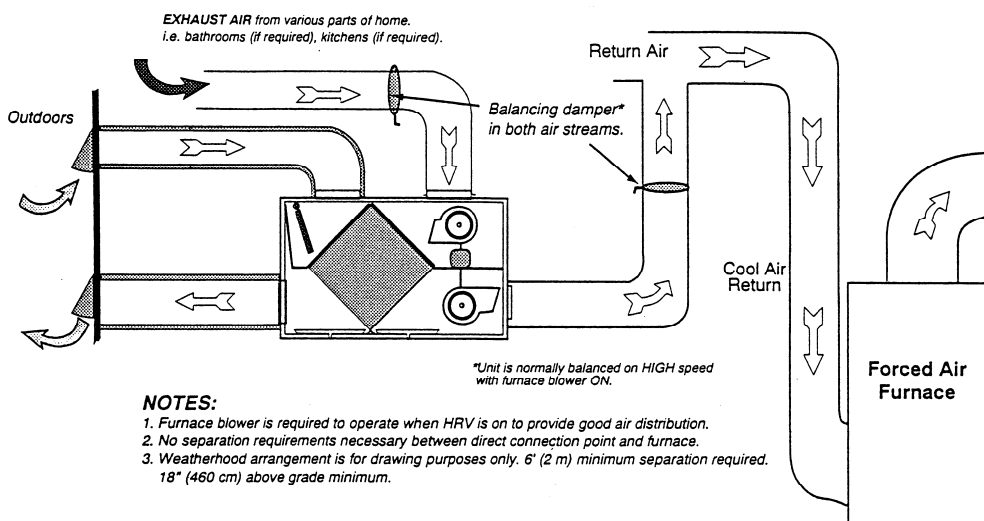
obr. 7.1 systém teplovzdušného vytápění větrání s rekuperací tepla a zemním registrem v pasivním rodinném domě



7.2 Podlahové rozvody teplovzdušného vytápění v nízkoenergetickém domě



obr 7.3 Kanadský systém teplovzdušného vytápění doplněný větrací jednotkou (sociální zařízení odvětrává samostatně)



obr. 7.4 Kanadský systém teplovzdušného vytápění s větrací jednotkou pro odvětrání sociálních zařízení

8. PROJEKČNÍ ZÁSADY PRO NÁVRH VĚTRÁNÍ NED A EPD

Z projekční praxe návrhu a realizace několika tisíc realizací větracích a vytápěcích systémů fy Atrea v různých typech staveb v ČR i zahraničí lze shrnout následující zásady:

- 8.1 Ekonomické a racionální dimenzování výkonů větrání s ohledem na konkrétní podmínky a velikost prostorů (např. návrhová $n = 0,6 \text{ /h}^{-1}$ je optimální pro byt $V_0 = 200 \text{ m}^3$ ($V_v = 120 \text{ m}^3/\text{h}$) ale pro velký rodinný dům $V_0 = 500$ až 800 m^3 s volnými dispozicemi pak vychází výkon větrání $V_v = 300$ až $480 \text{ m}^3/\text{h}$, což je již naprostý nesmysl při běžném obsazení domu 4 osobami.)
- 8.2 Jako optimální kvalitu mikroklimatu uvažovat hodnotu 1200 až 1500 ppm (tj. 10 – 15% nespokojených) tj. max $19 \text{ m}^3/\text{h}$ osobu čerstvého vzduchu při základním větrání. Tato hodnota se dnes jeví jako obecně plně dostačující pro subjektivní vnímání kvalitního prostředí, a přináší výrazné snížení provozních nákladů, zároveň s omezením rizik neúnosného vysoušení interiérů.
- 8.3 Zásadně dodržet příčný obraz proudění místnosti, při vyloučení proudových zkratů a nevětraných prostor. Potom je dosaženo i vysoké účinnosti provětrání v prostoru, buď návrhem podlahových výústek pod okny, nebo tryskovým přívodem větracího vzduchu nad vnitřními dveřmi s dostatečným dosahem proudu pod stropem místností až k oknům.
- 8.4 Celková koncepce distribuce a pohybu vzduchu musí vždy respektovat zásadu tzv. „gradace koncentrací škodlivin“ v bytě, od míst s maximálním požadavkem na kvalitu vzduchu tj. obytných prostor až k WC, koupelnám a kuchyni. Zároveň se tím vytváří přirozená bariera proti šíření oděrů do obytných prostor.
- 8.5 V řadě případů se osvědčila časově řešená distribuce vzduchu pro denní a noční zóny bytů, kdy automaticky řízená přepínací klapka preferuje přívod čerstvého vzduchu do skutečně obsazených prostor.
- 8.6 Větrací jednotky instalovat vždy s maximálním odstupem od obytných místností, zvlášť pak od ložnic proti možnému přenosu hluku potrubím (i pod 25 dB(A)), nebo i přenosu chvění přes stavební konstrukce.
- 8.7 Při dimenzování větrací jednotky se doporučuje uvažovat s určitou rezervou výkonu pro zajištění nárazového zvýšeného větrání sociálních prostor a letního chlazení (zvlášť při reálném trvalém zvýšení letních teplotních maxim z 32 °C až na 35 °C).
- 8.8 Při instalaci plynových sporáků v kuchyních je pro odvod CO_2 a produkované vlhkosti nutný větrací výkon až $350 \text{ m}^3/\text{h}$ (v maximu). Tyto výkony však běžně instalovaný větrací systém již nemůže zvládnout. Proto se doporučuje přechod na elektrické sporáky s úspornými technologiemi ohřevu.
- 8.9 Výkony cirkulačních digestoří s filtry aktivního uhlí je nutno dimenzovat minimálně na 6-ti násobnou intenzitu výměny vzduchu v přilehlém prostoru, tj. v běžných podmínkách 350 až $500 \text{ m}^3/\text{h}$.
- 8.10 Sací výústky koupelen je vhodné umístit přímo nad lokální zdroje par, tj. nad sprchový kout a vany (zvlášť pak vířivé), s ohledem na zvýšení účinnosti odsávání, a s vestavěnými filtry se snadným čištěním.
- 8.11 Všechny potrubní rozvody přívodu větracího vzduchu musí být řešeny s ohledem na snadnou údržbu

8.12 Pro domy ve standardu EPD se doporučuje dodržet kritérium tzv. elektrické efektivity, tj. poměr elektrického příkonu celé jednotky k množství přiváděného vzduchu max. $0,45 \text{ W/m}^3/\text{h}$, pro ostatní domy NED pak do $0,6 \text{ W/m}^3/\text{h}$.

9. ENERGETICKÉ ZDROJE PRO NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ DOMY

Pro výrazně redukování spotřeby energií pro vytápění, větrání a TUV je uveden skutečný přehled reálných možností řešení zdrojů s jejich hodnocením z hlediska dostupnosti, perspektivy a jejich ekologických dopadů:

- 9.1 zemní plyn** - fosilní palivo, považované za ekologický zdroj, podmíněně dostupné v dané lokalitě. Nevýhodou je drasticky rostoucí cena, pro ČR úplná závislost na dovozu a nejistota cenového vývoje, náročné přípojky, nutné komínové odtahy a pravidelné revize
- 9.2 elektřina** - universální dostupnost instalace se společnou domovní přípojkou, výhradně tuzemská výroba elektřiny v mixu z fosilních, jaderných elektráren a obnovitelných zdrojů (OZE). Bezpečný zdroj ze strategických hledisek světového vývoje (či kolapsu) energetického zásobování
- 9.3 solární energie** - nejčistší zdroje OZE z hlediska environmentálního s omezeným využitím především pro ohřev TUV (fototermální systémy). Fotovoltaické systémy jsou dosud cenově v EU nedostupné pro běžné užití bez výrazných dotací
- 9.4 biomasa** - tradiční a významný zdroj OZE, s universální dostupností, cenově nejvýhodnější alternativa i z dlouhodobé perspektivy na trhu ČR, s dlouholetou tradicí (hlavně kusové dřevo). Technicky zajímavé jsou i peletky u hlediska snadné obsluhy v automatických topidlech, ale s rychle rostoucí cenou
- 9.5 energie prostředí** - získávána pomocí tepelných čerpadel ze vzduchu, země, případně vody. Universální použití pro NED a PD komplikují dosud vysoké pořizovací náklady

Poznámka:

- neuvažovány jsou zdroje: LTO, uhlí, koks, propan - butan, bioetanol nebo geotermální, které jsou dnes z ekologických nebo cenových hledisek pro nízkoenergetické domy zcela nereálné

10. ZDROJE TEPLA PRO NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ DOMY

- 10.1 zemní plyn** - v naprosté většině se jedná o plynové teplovodní kotle, příp. kondenzační, s integrovanou přípravou TUV průtočným nebo akumulacím ohřevem, s dokonalou automatickou regulací. Lokální plynová topidla jsou dané použitím nevhodná.
- 10.2 elektřina** - universální uplatnění se nabízí v oblasti průtočných elektrokotlů, elektrokumulačních zásobníků, přímotopných lokálních těles, infrazářičů, vzduchových lokálních ohřivačů, topných folií, atd.
- 10.3 solární energie** - optimální využití je vždy vázáno na instalaci odpovídajících akumulacím zásobníků, výhodně se stratifikací teplotních úrovní v integrovaném provedení pro vytápění i průtočný ohřev TUV.
- 10.4 biomasa** - kotle na kusové dřevo a peletky (s automatikou doplňování), krbové vložky a krbová kamna, výhodně s teplovodním výměníkem, standardně s akumulací topné vody v integrovaných zásobnících, (vhodná kombinace se solární akumulací a doplňkovým elektroohřevem). Na trhu je široká nabídka výrobků, s účinností i přes 80%. Pro pasivní domy se již připravuje výroba malých krbových kamen, s prioritou výkonu do teplovodního výměníku (a akumulátoru tepla s přípravou TUV).
- 10.5 energie prostředí** - tepelná čerpadla řady renomovaných výrobců z ČR i zahraničí, v integrovaném či split provedení. Některé zahraniční výrobky řeší v jediném agregátu i zásobníky TUV, problémem jsou však vysoké pořizovací náklady.

11. OTOPNÉ SOUSTAVY PRO NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ DOMY

11.1 teplovodní centrální:

- *konvektory*: klasická soustava, s předáváním tepla převážně konvekcí, a jen částečně radiací. Navrhují se pro NED převážně jako podlahové konvektory, případně i s vestavěnými ventilátory pro rychlý zátop. Pro PD se již používají omezeně.
- *podlahové*: nízkoteplotní vytápění, vhodné ve vazbě na tepelná čerpadla v hospodárném nízkoteplotním režimu provozu. Problematická někdy bývá značná tepelná setrvačnost soustavy omezující v PD efektivní využití pasivních solárních zisků a případné námitky zdravotního charakteru.
- *stěnové*: použitelné především pro stavby s vyšší akumulací, pro lehké dřevostavby na úrovni PD lze instalovat pouze do samostatných masivních příček

11.2 teplovzdušné:

- *cirkulační s řízeným větráním:* centrální dvouzónový systém zajišťuje v primárním okruhu teplovzdušné vytápění případně chlazení s cirkulací a filtrací, zároveň s řízeným podílem čerstvého vzduchu. Sekundární okruh zajišťuje oddělené odvětrání sociálních zařízení a kuchyní s rekuperací tepla s účinností až 90%. Tento systém komplexně řeší vytápění, větrání, případně i chlazení NED i PD.
- *rovnotlaké:* zajišťuje přívod čerstvého vzduchu do obytných místností se současným odsáváním odpadního vzduchu ze sociálních zařízení a kuchyní s rekuperací tepla s účinností i přes 90%. Přiváděný vzduch může být dohříván elektrickým nebo teplovodním registrem (pouze ve velmi omezeném rozsahu, vzhledem k nízkým průtokům vzduchu), neřeší vytápění NED, kde je nutná instalace samostatné otopné soustavy.
- *decentrální:* zahrnují lokální jednotky různých systémů, split a multi-split s chladičovým okruhem, fan-coil systémy s vodním okruhem, atd. Značnou výhodou všech zmíněných soustav je možnost reversace a tím i chlazení v letním období, nevýhodou je, že nezajišťují větrání, které je nutno řešit samostatným systémem.

11.3 lokální:

- *krby, krbová a peletková kamna:* cenově a ekologicky výhodná varianta pro domy s velmi nízkými nároky na vytápění (NED, PD), zvláště ve spojení s nuceným rozvodem zisků do ostatních místností a současně s ohřevem vody do AKU nádrže, nebo do patrových domů s gravitačním prouděním přes schodiště. Pro pasivní domy v kombinaci s cirkulačním systémem vzduchotechniky bývají krbová kamna jediným zdrojem tepla (do akumulčních nádrží jsou přitom zabudovány elektrospirály jako záložní zdroj energie). Pro zajištění nouzového chodu 30W čerpadla topného systému výkonu do 4 kW přitom vyhovuje levný náhradní zdroj elektro s kapacitou do 30' (levná počítačová UPS).
- *přímotopné:* cenově dostupný systém, s jednoduchou termostatickou regulací individuálně pro každou místnost. Deskové sálové panely s nízkou povrchovou teplotou jsou rozhodně hygienicky vhodnější vůči běžným konvenčním tělesům, kde hrozí termické přepalování prachu. Společnou nevýhodou je monovalentní zdroj – elektřina, jednak z hledisek možného diskomfortu při vypínání signálem MDO, a zvláště z ekologických hledisek.
- *akumulační:* komfortnější, avšak cenově řádově dražší, varianta elektrických přímotopů. Výhodou je řízené vybíjení akumulovaného tepla dle konkrétních potřeb, a vyloučené přepalování prachu

12. VYTÁPĚNÍ BIOMASOU

Je všeobecně velmi vhodnou a dostupnou alternativou OZE z hledisek ekologických. Biomasa ve formě kusového dřeva je zároveň dosud v ČR i nejlevnějším zdrojem vůbec.

Pro vytápění (případně i jako doplňkový bivalentní zdroj energie) lze pro NED; PD reálně biomasu využít ve formě kusového dřeva, briket a peletek.

12.1 Charakteristika paliv

- a) *kusové dřevo*: lze spalovat výhradně s vlhkostí (relativní) max 20%, kdy již nedochází k nedokonalému spalování a korosi.

Výhřevnost dřeva při 20% vlhkosti je 4,1 kWh/kg (buk), až 4,4 kWh/kg (SM, JD), při objemových hmotnostech vyschlého buku 700 kg/m³ a 440 kg/m³ pro SM/JD (při 0% vlhkosti).

Při vyšších vlhkostech klesá jeho výhřevnost až o 0,5 kWh/kg na každých 10% zvýšení vlhkosti (až nulová výhřevnost při 68% vlhkosti v těžném stavu!).

Při optimálním množství přiváděného vzduchu (bez škrcení) je min. množství spalovacího vzduchu pouze 4,0 m³/kg dřeva (!).

- b) *brikety*: uváděná výhřevnost je až 5,3 kWh/kg, s min. spotřebou spalovacího vzduchu 5,2 m³/kg

12.2 Ekologické hodnocení

Emise vzniklé při spalování dřeva při optimálním množství přiváděného spalovacího vzduchu (s přebytkem 2,0) činí pro CO₂ max 1020 g/GJ, pro NO_x pak pouze 25 g/GJ (což je výrazně méně než např. u ZP kde emise dosahují až 170 g/GJ).

12.3 Krby, krbová kamna, teplovodní výměníky

Na trhu ČR je již velký výběr všech velikostních typů s účinností až 80% již se sekundárním přívodem spalovacího vzduchu, v poslední době pak často v kombinaci s teplovodním výměníkem, zásadně s napojením do akumulárního zásobníku s nuceným oběhem. Pro havarijní zajištění vodního okruhu pak musí být vždy osazen pojistný ventil v bezprostřední blízkosti výměníku a pojistka při výpadu proudu, která se pro male zdroje do 4 kW řeší standardním zálohovým zdrojem UPS. Proti nízkoteplotní kondenzaci spalin na povrchu výměníku se jednoznačně doporučuje osadit regulační 3 – cestný ventil (např. typ DANFOS, ESBE), který otevírá sekundární okruh pro nabíjení nádrže až při teplotě zpátečky min. 60°C. Přitom oběhové čerpadlo spíná okruh soustavy čidlem termostatu nastaveným na 55°C (na výstupu z výměníku).

12.4 Komíny

Pro dosažení dostatečného přirozeného tahu činí min. účinná výška komína 4,0 m, s převýšením nad hřebenem min. 0,6 m, nad plochou střechou min. 1,2 m. Používají se moderní typy vícevrstvých komínů z nerez potrubí, nebo kombinovaných z betonových tvarovek, běžně s průměry 150 až 160 mm.

12.5 Hygienická hlediska

Uzavřené topeniště (krbové vložky, kamna) pracují s přebytkem spalovacího vzduchu až 2,0, který zajišťuje dodržení emisních limitů nespálených uhlovodíků (dehtů), dokonalé spálení hořlaviny a eliminaci nerovnoměrného směšování.

Z hlediska mikroklimatu a dosažením pohody v interieru jsou ideální krbová kamna s vyšší akumulací schopností, s přenosem tepla výhradně sáláním v oblasti optimálních vlnových délek 10 mikrometrů.

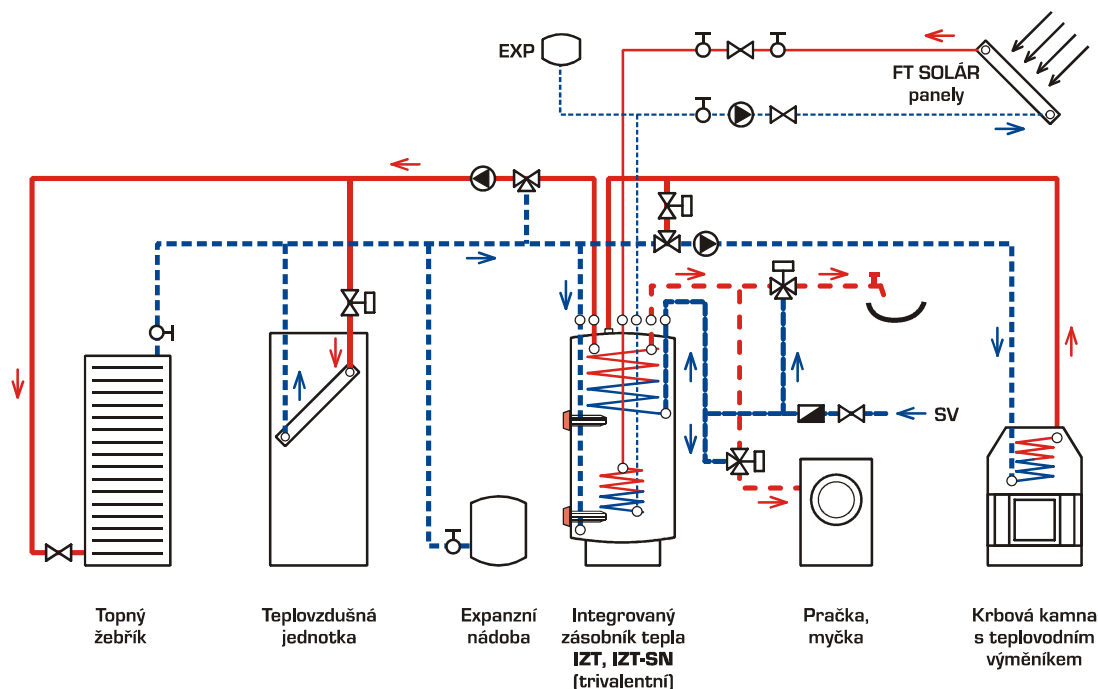
Pro odvod přebytečného tepla z hlavní obytné místnosti se pak používá sekundární teplovzdušný okruh přes centrální vzduchotechnickou jednotku s filtrací (která zároveň řeší i přívod nutného množství spalovacího vzduchu do interieru, v množství max 10 – 12 m³/hod).

Jako velmi rizikové lze z hygienických hledisek hodnotit aplikace dvouplášťových krbových vložek s přímým rozvodem vzduchu do dalších místností, kdy dochází ve vložce k výraznému přepalování prachu ve zcela nečistitelném uzavřeném prostoru, s možnými karcinogenními účinky.

12.6 Cenové relace

Cena kusového dřeva vzrostla od roku 1995 z výchozí 150,- až na 210,- Kč/m³ (jehličnaté, listnaté) na 380,- až 420,- Kč/m³ v roce 2005.

Za shodné období v přepočtu na cenu energie činil nárůst z 0,10 Kč/kWh na 0,18 Kč/kWh. Ceny ZP mezi tím vzrostly z 0,18 Kč/kWh až 0,88 Kč/kWh, ceny elektro (D26, NT) z 0,28 Kč/kWh až na 0,90 Kč/kWh.



obr.12.1 Potrubní zapojení energetického systému pasivního rodinného domu s trivalentním zásobníkem tepla a přívodem teplé vody do myčky nádobí a pračky

13. ZEMNÍ VÝMĚNÍKY TEPLA

Používají se převážně jako zdroje nízkopotenciálního tepla akumulované solární energie z povrchových či hlubinných vrstev zemního tělesa, případně jako chladiče vzduchu s využitím fázových sezónních posuvů teplot zeminy v podloží.

Podle způsobu přenosu se rozlišují výměníky kapalinové nebo vzduchové:

13.1 Kapalinové výměníky (kolektory)

- *plošné:* navrhují se z PE hadic Ø 25 x 2,3 mm až Ø 32 x 3 mm v horizontálním meandrovém uspořádání v rozteči 0,5 až 1,0 m, uložení v hloubce 1,2 až 1,5 m. Maximální délka jednotlivých větví je z hydraulických důvodů omezena cca na 100 – 150 m. Dosažitelný výkon odběru nízkopotenciálního tepla se udává v rozmezí 20 až 35 W/m² pro vlhké až mokré zeminy. Pro přenos tepla se používají různé nemrznoucí směsi (polyetylen glykol jedovatý, polypropylen glykol nejedovatý atd.)
- *slinky:* roztažené smyčky z PE hadice Ø 25 x 3 mm se ukládají do výkopu šířky 1 m, hloubky 1,2 m, v rozteči 4 – 5 m, v délkách hadice do 200 m. Dosažitelný výkon je pak cca 1,5 kW (podle charakteru zemin)
- *vertikální:* 2 až 4 ks PE hadice jsou uloženy do smyček do vrtů Ø 150 m, s hloubkou 50 – 110 m. Výkon odběru tepla lze uvažovat od 30 do 80 W/m délky kolektoru (pro suché sedimenty až zavodnělé jíly). Podmínkou realizace je však provedení hydrogeologického průzkumu.

13.2 Vzduchové výměníky

Jsou již standardní součástí větracích a vzduchotechnických systémů v zemích EU. Navrhují se jednak pro předehřev přiváděného větracího vzduchu, tak hlavně pro chlazení vzduchu v letním období.

Rozeznáváme dva základní typy zemních vzduchových výměníků:

- *jednoduché:* pro přímý přívod vzduchu s nasáváním z filtračního nástavce vstupní šachty. Navrhují se v různých potrubních materiálech v průřezu 150 až 200 mm, v hloubce 1,5 až 2,0 m, běžně v délkách 25 až 30 m. Trasa kolektoru se doporučuje přímá, bez lomů, s ohledem na snadné čištění.
- *cirkulační:* navrhují se ve vazbě na cirkulační vzduchotechnické jednotky s nasáváním ve fasádní mřížce (hygienicky vhodnější výška od 2 m nad terénem), s rozbočovací tvarovkou s automatickým řízením nasávání podle venkovní teploty. Používají se průřezech 150 až 200 mm, v hloubce 1,5 až 2,0 m, vždy ve dvou přímých paralelních větvích ve společném výkopu, v délce 10 – 12 m.

13.3 Energetický efekt zemních výměníků

V závislosti na charakteru, vlhkosti zemin a průtoku vzduchu je v extrémech dosahováno u realizovaných výměníků ohřevu/chlazení přiváděného vzduchu:

- *zimní období* : z teploty -15 °C na teplotu $+6\text{ °C}$ ($V = 150\text{ m}^3/\text{h}$)
- *letní období* : z teploty $+33\text{ °C}$ na teplotu $+18\text{ °C}$ ($V = 280\text{ m}^3/\text{h}$)

13.4 Používané materiály potrubních zemních výměníků

- plastové potrubí z tvrdého PVC (KG, DIN 19534)
- polypropylenové potrubí
- kameninové trubky (DIN 1230, DIN EN 295)
- litinové trubky (DIN 19522)

Podle výsledků studií Institutu pro hygienu a fyziologii práce (obor hygieny prostředí) ETM v Curychu bylo u 10-ti realizací zemních registrů se vstupním filtrem měřeno mikrobiální znečištění a následně obsah alergenů (potrubí cementové a plastové). V naprosté většině byly zjištěny koncentrace kmenů mikroorganismu po průchodu zemním registrem nižší než ve vzduchu venkovním.

14. AKTIVNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Energie slunečního záření je nejčistším zdrojem energie vůbec. V podmínkách střední Evropy je pro NED a PD domy využitelná především pro ohřev pitné ohřáté vody (TUV) v letní polovině roku a dále jako významný pasivní energetický zdroj v zimním období.

Fotovoltaické systémy jsou pro malé rozsahy instalací a s náročnými akumulátory dosud málo rentabilní.

14.1 Slunce jako zdroj energie

Pro podmínky 50° s.š. ve střední Evropě lze uvažovat s roční hodnotou dopadající sluneční energie na vodorovnou plochu 950 – 1150 kWh/m²/rok. Z toho přes 750 kWh/m² dopadá v letní polovině roku. V bezoblačném dni pak dopadá až 5 – 7 kWh/m²/d, při maximální intenzitě 800 – 1000 Wm².

Orientace fototermálních solárních kolektorů je ideální k jihu, s vertikálním úhlem 40 – 50° (pro max.využití od března do září). Při odklonu horizontály kolektorů od jihu ± 30° se snižuje energetická využitelnost cca o 5 – 8%.

14.2 Dimensování FT kolektorů

Pro ohřev TUV lze doporučit dimensování 1 až 1,5 m² plochých kolektorů/osobu, tj. pro 4 – člennou rodinu 4 až 6 m², což odpovídá 3 ks FT panelů s čistou absorpční plochou 3 x 1,7 = 5,1 m² (při spotřebě 50 l/os/den). Potom lze uvažovat pro standardní ploché panely se selektivním povrstvením s brutto energetickým výnosem 420 – 550 kWh/m². Při běžném paralelním řazení kolektorů pro malé soustavy s High Flow průtokem až 70 l/h/m² kolektoru, dochází k nárůstu teploty max o 12°C. V moderních systémech s Low-Flow průtokem do 15 l/h/m² s převážně seriovým zapojením však dochází k nárůstu teplot až o 50 °C.

14.3 Dimensování zásobníku

Při požadavku na 90 – 100% pokrytí spotřeby TUV v 6-ti letních měsících se navrhuje kapacita zásobníku na 80 – 110 l/os, což pro 4 – člennou rodinu činí 300 – 450 l. Tato kapacita pak zajišťuje 1,5 až 2 – násobek denní spotřeby (se staticky průměrnou četností střídání slunných dnů). Moderní zásobníky mají zabudované stratifikátory pro zvýšení efektu stacionárního rozvrstvení teplot a tím podstatně zvyšují solární pokrytí a tím celkovou ekonomii provozu, zvláště pak u Low-Flow systémů, kde se využívá efektu nízké tepelné vodivosti vody 0,6 W/mK.

14.4 Dimensování výměníků a rozvodů

Klasické hladké potrubí výměníků v zásobníku lze dimensovat 0,20 m²/m² kolektoru, u vlnovcových výměníků až 0,35 m²/m² kolektoru.

Vlastní rozvody v objektu pro běžné systémy High-Flow se pak dimensují v Cu 15 x 1 až 18 x 1 (do 8 m² kolektoru a 20 m délku potrubí).

14.5 Hygiena a bezpečnost

Moderní koncepce zásobníků se řeší jako integrované nádrže zároveň pro podporu vytápění, s průtočným ohřevem TUV, kdy se vylučuje zevnitř nádrže koroze, mineralizace a vylučuje riziko výskytu legionel.

Zároveň se tím vylučují i rizika havarijního průniku kapaliny solárního okruhu (toxický etylenglykol) do pitné vody u běžných jednoduchých zásobníků TUV. Proti varu kapaliny se solární okruh tlakuje běžně až na 4 bary, čímž se bod varu zvyšuje až na 150°C.