

**ČASOPIS PROFESIONÁLNÍCH I BĚŽNÝCH STAVAŘŮ**  
odborné články, rady, informace, nabídka stavebních materiálů a technologií

# ateliér



**OTVOROVÝCH VÝPLNÍ, IZOLACÍ A VYBAVENÍ STAVEB**

**Ročník 13**

**číslo 5/2009**

**Cena 75 Kč**

# Větrání a vytápění nízkoenergetických a pasivních obytných staveb

## I. část

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).

Požizovací 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 řešené větrání bez průvanu, vyšší efekt využití obnovitelných zdrojů energie.

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

Tabulka 1.1

parametr	jednotka	stará výstavba	nízkoenergetické (NERD)	energeticky pasivní (EPD)
spotřeba tepla na vytápění a větrání (RD 140 m <sup>2</sup> )	kWh/rok	až 25 000	až 9 800	< 2 100
měrný výpočtový příkon tepla pro vytápění a větrání	W/m <sup>2</sup>	> 110	20–40	< 10
měrná spotřeba tepla – pro ÚT vytápění a VZT větrání	kWh/m <sup>2</sup> /r	170–220	30–70	≤ 15
měrná spotřeba tepla – pro ohřev TUV	kWh/m <sup>2</sup> /r	35	< 20	10–15
měrná spotřeba elektrické energie – v domácnosti (EI)	kWh/m <sup>2</sup> /r	30	< 20	10–15
souhrnná měrná spotřeba (ÚT+VZT+TUV+EI)	kWh/m <sup>2</sup> /r	235–285	70–110	35–45
souhrnná spotřeba primárních paliv PEZ	kWh/m <sup>2</sup> /r	-	-	< 120
minimální požadovaný součinitel prostupu tepla – stěnou	W/m <sup>2</sup> /K	-	< 0,18	< 0,12
minimální požadovaný součinitel prostupu tepla – okna	W/m <sup>2</sup> /K	-	< 1,0	< 0,85
vzduchotěsnost budovy podle n <sub>50</sub>	h <sup>-1</sup>	-	< 1,0	< 0,6

### 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.

Charakteristické vlastnosti obou systémů z hlediska zajištění požadovaných funkcí a mikroklimatu v rodinném domě jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1

požadovaná funkce	rovnotlaký větrací systém s rekuperací a dohřevem	systém cirkulačního teplovzdušného vytápění s řízeným větráním a rekuperací
vytápění obytných prostor	zajišťuje přívod teplého vzduchu (pro NED vždy s externí otopnou soustavou)	zajišťuje přívod teplého vzduchu současně s větráním (v EPD přechází do rovnotlakého větrání s ohřevem)
větrání obytných prostor	čerstvý vzduch je přiváděn potrubním systémem do obytných místností	čerstvý vzduch je přiveden do cirkulačního vzduchu a do obytných místností (v EPD větrá bez cirkulace)
regulace teploty v místnostech	vyžaduje oddělenou regulaci externí otopné soustavy	zajištěna v určitém rozsahu snadnou regulací podlahových výústek
zajištění optimální relativní vlhkosti obytných prostor	problematické při plném dimenzování větrání pro každou místnost (bez ohledu na obsazení)	vhodné při řízeném přívodu větracího vzduchu podle čidel rh, CO <sub>2</sub> , TVOC
odvětrání sociálních zařízení	odpadní vzduch je odsáván z WC, koupelny a kuchyně a přiváděn do jednotky	odpadní vzduch je odsáván z WC, koupelny a kuchyně a přiváděn do jednotky samostatným potrubím
dohřev větracího vzduchu	zajišťuje externí potrubní ohřevač (vodní, elektrický)	společně s cirkulačním vzduchem v teplovodním výměniku jednotky
dimenzování celkového množství větracího vzduchu	přívod nutno dimenzovat dle předpokládaného nejvyššího obsazení každé místnosti	vzhledem k vnitřní cirkulaci lze dimenzovat pouze na počet osob v celém domě
rozvod interních a externích zisků	neumožňuje přímý rozvod zisků bez současného větrání a vysoušení prostor	účinný rozvod při intenzivní cirkulaci vzduchu v celém domě, s řízeným větráním
noční předchlazení obytných prostor	málo účinné při nízkém průtoku větracího vzduchu	účinné při intenzivním přetlakovém provětrání
využití zemního výměníku tepla	omezený chladič 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 ohřevač	dokonalé umožňuje vestavěnými registry pro funkci vytápění i chlazení

### 3. PŘEHLED SPOTŘEB ENERGIÍ VE STANDARDNÍM PASIVNÍM RD

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 započitatelné zdroje  $q = 2,1 \text{ W/m}^2$ ):

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

#### 3.2 ohřev teplé užitkové vody (p = 40 l/den/os; ohřev na 500C):

$$\Sigma Q_{\text{ÚT}} = n.p.c.\Delta t.10^{-3}.365 = 4.40.1,16.(50-10).10^{-3}.365 = 2700 \text{ kWh/r}$$

#### 3.3 provozní energie (režie domácnosti):

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

Z toho jednotlivé spotřebiče se podílejí:

– 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 CO<sub>2</sub>,
- vodní pára,
- oděry (těkavé organické látky TVOC).

##### 4.1 Stanovení produkce CO<sub>2</sub> od osob:

.11/ v klidu (noc):

q<sub>1</sub> = 40 Wm<sup>-2</sup>; frekvence 12–16 vdechů/min, při kapacitě 500 ml/vdech, tj. 360–480 l vzduchu/hod/os. Při obsahu CO<sub>2</sub> ve vydechaném vzduchu 3,5 % obj. je maximální produkce CO<sub>2</sub>: p<sub>1</sub> = 480 x 0,035 = 16 l CO<sub>2</sub>/hod/dospělá osoba.

Obdobně vychází výpočet z produkce 0,26 l CO<sub>2</sub>/min, tj. 15,6 l CO<sub>2</sub>/hod.

Průměrná produkce CO<sub>2</sub> člena rodiny (2 dospělí + 2 děti):

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

.12/ denní období:

q<sub>1</sub> = 60 Wm<sup>-2</sup>; při zvýšení produkce na 20 l CO<sub>2</sub>/hod/osoba je průměrná produkce CO<sub>2</sub> člena rodiny:

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

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

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

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

.14/ Poznámka:

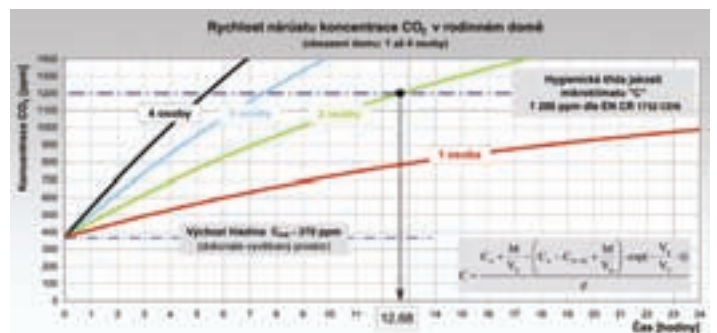
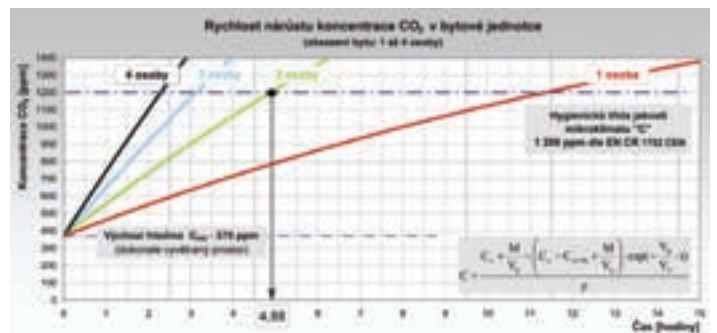
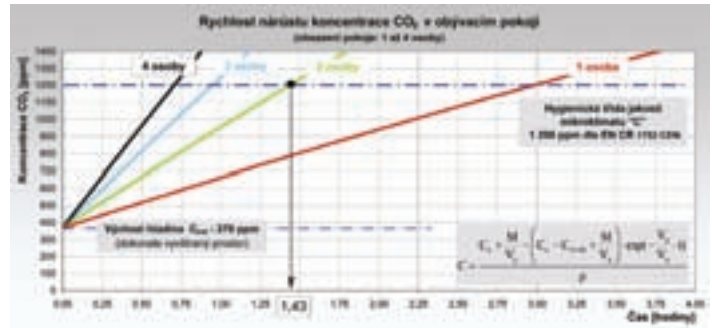
- 1) Hodnota 1200 ppm je ještě hygienicky přípustná hodnota pro třídu mikroklimatu „C“ podle N CR 1752 CEN.
- 2) Pro dodržení klasické Pettenkotevovy hodnoty 1000 ppm je nutný přívod 25,4 m<sup>3</sup>/h/os.

.15/ Pro nestacionární okrajové podmínky lze však průběh hodnot CO<sub>2</sub> vyjádřit pouze expomenuální funkcí:

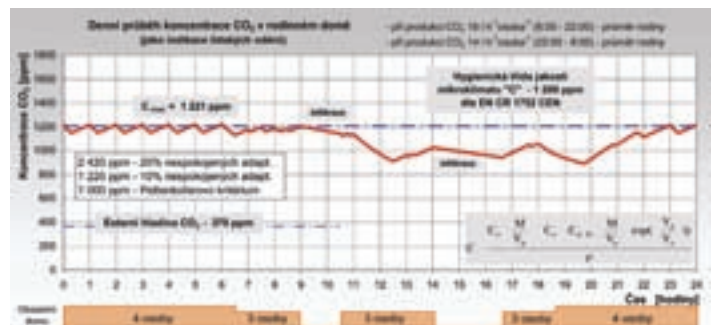
$$C = \frac{1}{\rho} \cdot \left( C_e + \frac{M}{V_p} - \left( C_e - C_{t=0} + \frac{M}{V_p} \right) \cdot \exp\left(\frac{-V_p}{V_o} t\right) \right)$$

- C koncentrace škodliviny [ppm]
- C<sub>e</sub> koncentrace škodliviny v atmosférickém vzduchu [mg m<sup>-3</sup>]
- C<sub>(t=0)</sub> koncentrace škodliviny v interiéru v startovacím čase t = 0 [mg m<sup>-3</sup>]
- M zdrojový tok škodliviny [mg s<sup>-1</sup>]
- V<sub>p</sub> objemový průtok větracího vzduchu [m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]
- V<sub>o</sub> objem větraného prostoru [m<sup>3</sup>]
- t čas [s]
- ρ měrná hmotnost škodliviny [kg m<sup>-3</sup>]

V tab. 4.1 jsou uvedeny grafy nárůstu CO<sub>2</sub> pro různé prostory a různé obsazení osobami, s přirozenou infiltrací (n = 0,05 h<sup>-1</sup>) okny s časovým údajem dosažení 1200 ppm.



Tab. 4.2 Průběh hladin CO<sub>2</sub> pro standardní obsazení a provoz v rodinném domě (V = 400 m<sup>3</sup>) s teplovzdušným cirkulačním vytápěním a nárazovým rekuperačním větráním 160 m<sup>3</sup>/h:



##### 4.2 Produkce vodních par

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

V moderních i rekonstruovaných stavbách při dokonalém utěsnění oken se prakticky omezila přirozená infiltrace až k nule, dnes dochází

k nejvýznamnějším vlhkostním problémům a plísním (viz příspěvky doc. Papeže a ing. Koprivý).

Tabulka 4.3

druh činnosti	množství	produkce par
osoby - $\varnothing$ 40 g / os / h - $\Sigma$ 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
<b>Celková produkce</b>	<b><math>\Sigma M_p = 7 500</math> g / den</b>	
Z toho produkce do obytného prostoru:	$\Sigma Z_{OBYT} = 5 200$ g / den	
(přímo ovlivňuje relativní vlhkost obytného prostoru)		

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.)
- $\rho$  objemová hmotnost vzduchu (kg/m<sup>3</sup>)

V podmínkách teplovzdušně vytápěných a větraných domů se v praxi vyskytly problémy s udržením interiérové relativní vlhkosti v hygienicky doporučených hodnotách  $rh_i = 30\text{--}50\%$  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 rozesychnání 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
- započitatelné produkci vlhkosti do interiéru budovy Z
- sorpční a desorpční charakteristice povrchů interiéru

Vzájemný vztah těchto veličin a jejich časový průběh lze vyjádřit pouze exponenciálními 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:

$$rh = \frac{\rho_{PP} + \frac{Z}{V_P} - \left( \rho_{PP} - \rho_{P(t=0)} + \frac{Z}{V_P} \right) \cdot \exp\left(-\frac{V_P}{V_O} * t\right)}{\rho_P} * 100 \quad [\%]$$

- $rh$  relativní vlhkost vzduchu ve větraném prostoru [%]
- $\rho_{PP}$  absolutní vlhkost vzduchu přiváděného do větraného prostoru [kg m<sup>-3</sup>]
- $\rho_{P(t=0)}$  absolutní vlhkost vzduchu ve větraném prostoru v startovacím čase  $t = 0$  [kg m<sup>-3</sup>]
- $\rho_P$  maximální absolutní vlhkost vzduchu ve větraném prostoru [kg m<sup>-3</sup>]
- Z zdrojový tok vlhkosti [kg s<sup>-1</sup>]; [kg h<sup>-1</sup>]
- $V_P$  objemový průtok větracího vzduchu [m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]; [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>]
- $V_O$  objem větraného prostoru [m<sup>3</sup>]
- t čas [s]

Pro konkrétní ilustraci problému jsou dále uvedeny modelové varianty větrání menšího rodinného domu objemu  $V_O = 350$  m<sup>3</sup>, při konstantním  $t_i = +20$  °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  $n = 0,5$  /h-1/ tj.  $V = 175$  m<sup>3</sup>/h, bez produkce vlhkosti: Z průběhu poklesů jednotlivých křivek  $rh_i$  pro  $t_e = -15$  °C až +10 °C je zřejmé, že výchozí relativní vlhkost klesá při venkovních teplotách  $t_e < 0$  °C výrazně k limitním diskomfortním hodnotám pod 20%, v čase pouze 10 hodin.

obr. 4.22: Intenzita větrání  $n = 0,5$  /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 nevhovující z hygienických hledisek.

obr. 4.23: Intenzita větrání  $n = 0,25$  /h-1/, ale s produkcí vlhkosti 5,2 kg/24 h.

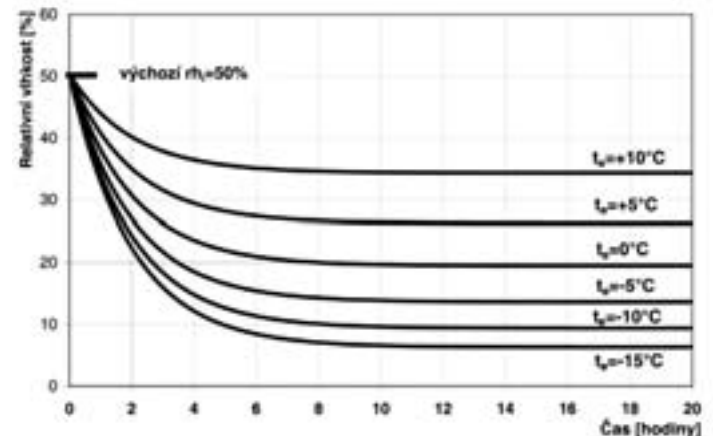
Průběh hodnot  $rh_i$  je již výrazně příznivější, kdy pro  $t_e = 0$  °C až -5 °C je již dosaženo hygienicky optimálních, časově ustálených hodnot relativní vlhkosti  $rh_i = 30\%$ .

obr. 4.24: Intenzita větrání  $n = 0,05$  /h-1/, s produkcí vlhkosti 5,2 kg/24 h:

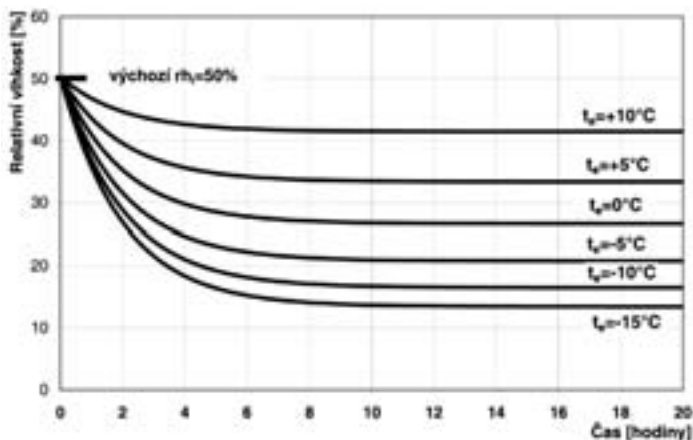
Intenzivní průběh všech křivek  $rh_i$  je dán přírůstkem relativní vlhkosti v interiéru nad výchozí hodnotu  $rh_i = 50\%$ , pro všechny zadané venkovní teploty. Intenzita větrání, odpovídající přibližně hodnotám přirozené infiltrace těsnými okny v rodinném domě, je hygienicky naprosto nevhovující.

#### Závěry z modelových výpočtů:

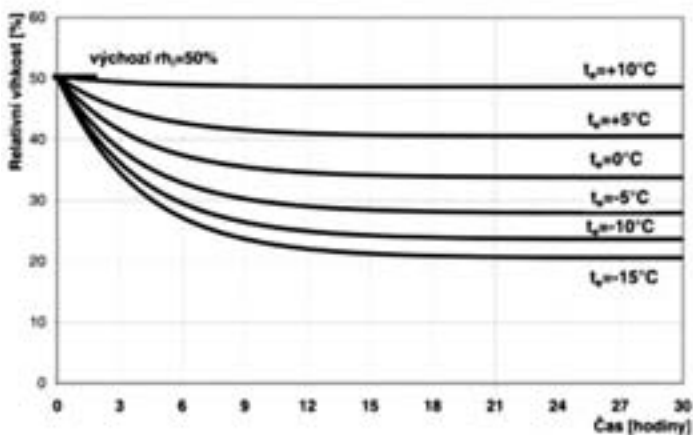
- Pro zadané parametry velikosti domu a produkce vlhkosti se jako optimální pro udržení  $rh_i$  jeví varianta podle obr. 1.3, tj. s intenzitou větrání  $n = 0,25$  /h-1/, tj.  $V = 87,5$  m<sup>3</sup>/h.
- Všechny varianty s vyšší intenzitou větrání vedou k výraznému snižování  $rh_i$  v interiéru pod hygienicky přípustné hodnoty.
- Varianta 1.4 vede již k nepřijatelnému zvyšování  $rh_i$ , a bude nutné docházet ke kondenzaci par a vlhkostnímu diskomfortu.
- Varianta 1.3 s výkonem větrání  $V = 87,5$  m<sup>3</sup>/h však již neodpovídá hygienickým požadavkům na množství čerstvého vzduchu pro čtyřčlennou rodinu, tj. 100 až 120 m<sup>3</sup>/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.



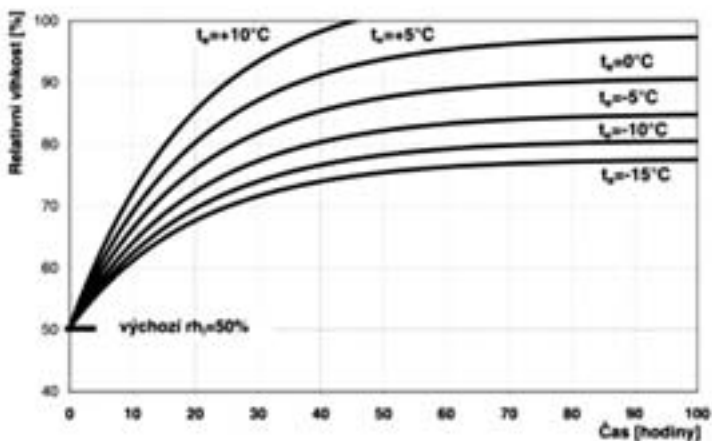
Obr. 4.21 Časový průběh  $rh_i$  pro  $n = 0,5$  /h-1/ - bez produkce vlhkosti



Obr. 4.22 Časový průběh  $rh_i$  pro  $n = 0,5 /h^1/$  – s produkcí vlhkosti 5,2 kg/24 h vlhkosti 5,2 kg/245 h



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

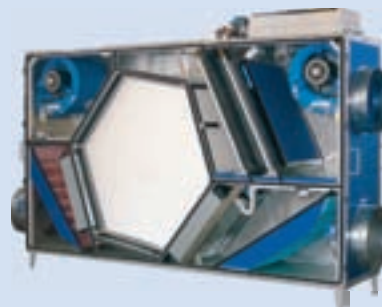
Dle EUR 14449 EN jsou však obytné budovy zahrnovány do prostředí s nízkým znečištěním, kde produkce TVOC koberci, vinyly a OSB deskami je nižší než 55 mikrogramů /h m<sup>2</sup> podlahy, tudíž postačí jako kritérium pro návrh větrání uvažovat pouze dominantní koncentrace CO<sub>2</sub>.

*Pokračování v příštím čísle*

## VĚTRÁNÍ A REKUPERACE TEPLA

### kompaktní rekuperační jednotky

kompletní řada univerzálních větracích jednotek s rekuperací tepla pro všechny typy občanských a bytových staveb



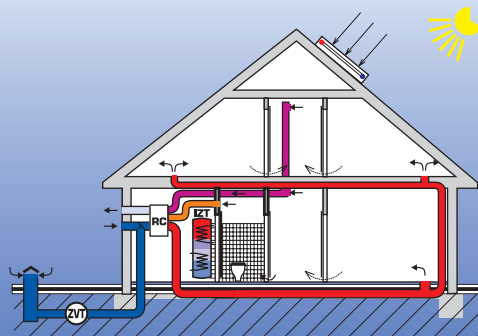
### větrání velkokuchyní

kompletní systém pro větrání všech typů kuchyní – velkoplošné větrací stropy a digestoře



### teplovzdušné vytápění rodinných domů a bytů

ucelený systém teplovzdušného vytápění a větrání s rekuperací tepla pro nízkoenergetické a pasivní domy a byty



**ATREA**  
šetříme Vaši energii

ATREA s.r.o.

V Aleji 20, 466 01 Jablonec nad Nisou

tel.: (+420) 483 368 111

fax: (+420) 483 368 112

e-mail: atrea@atrea.cz

www.atrea.cz