

UDK 721+697.9:69.009.182

Primljeno 7. 10. 2005.

Analiza prirodne ventilacije u zgradama

Mijo Zagorec, Petar Donjerković

Ključne riječi

zgrada,
prirodna ventilacija,
mehanička ventilacija,
klima u prostoriji,
tehnički propisi,
usklađivanje propisa

Key words

building,
natural ventilation,
mechanical ventilation,
room climate,
technical regulations,
harmonization of
regulations

Mots clés

immeuble,
ventilation naturelle,
ventilation mécanique,
climat dans la pièce,
règlements techniques,
harmonisation des
règlements

Ключевые слова

здание,
природная вентиляция,
механическая
вентиляция,
климат в помещении,
технические правила,
согласование правил

Schlüsselworte

Gebäude,
natürliche Belüftung,
mechanische Belüftung,
Raumklima, technische
Vorschriften,
Harmonisierung der
Vorschriften

M. Zagorec, P. Donjerković

Stručni rad

Analiza prirodne ventilacije u zgradama

Polazi se od važnost klime u prostorijama u kojima borave ljudi. Opisano je značenje ventilacije i odabira vrste ventilacije u zgradama i dani su prijedlozi za poboljšanje prirodne ventilacije u zgradama. Pokazano je da naši tehnički propisi za projektiranje i izvedbu prirodne ventilacije u zgradama nisu usklađeni s tehničkim propisima za uštedu energije, toplinsku zaštitu i zaštitu od buke u zgradama. Preporučuje se usklađivanje naših tehničkih propisa s tehničkim propisima EU.

M. Zagorec, P. Donjerković

Professional paper

Analysis of natural ventilation in buildings

The paper starts by emphasizing significance of climate in rooms destined for human habitation. The significance of ventilation and selection of ventilation type in buildings is described, and proposals are given for improving natural ventilation in buildings. It is shown that our technical regulations for the design and realization of natural ventilation in buildings have not been harmonized with technical regulations for energy savings, thermal protection and noise protection in buildings. The authors recommend harmonization of our technical regulations with those applied in the EU.

M. Zagorec, P. Donjerković

Ouvrage professionnel

Analyse de la ventilation naturelle dans les immeubles

Au début de l'ouvrage, l'accent est mis sur l'importance du climat dans les pièces destinées à l'habitation humaine. L'importance de la ventilation et de la sélection du type de ventilation est décrite, et les recommandations sont données pour l'amélioration de la ventilation naturelle dans les immeubles. Il est démontré que nos règlements techniques pour l'étude et la réalisation de la ventilation naturelle dans les immeubles ne sont pas harmonisés avec les règlements techniques pour l'épargne d'énergie, la protection thermique et la protection contre bruit dans les immeubles. Les auteurs préconisent une harmonisation de nos règlements techniques avec ceux appliqués dans l'UE.

M. Zagorec, P. Donjerković

Отраслевая работа

Анализ природной вентиляции в зданиях

В работе исходит от важности климата в помещениях, в которых обитают люди. Описано значение вентиляции и выбора вентиляции в зданиях и даются предложения по улучшению природной вентиляции в зданиях. Показано, что наши технические правила по проектированию и строительству природной вентиляции в зданиях не согласованы с техническими правилами по экономии энергии, тепловой защите и защите от шума в зданиях. Рекомендуется согласование наших технических правил с техническими правилами EU.

M. Zagorec, P. Donjerković

Fachbericht

Analyse der natürlichen Belüftung in Gebäuden

Der Ausgangspunkt des Artikels ist die Wichtigkeit des Klimas in Räumen in denen sich Menschen aufhalten. Es ist die Bedeutung der Belüftung und der Auswahl der Belüftungsart in Gebäuden beschrieben, und dabei sind Vorschläge für die Besserung der natürlichen Belüftung in Gebäuden dargelegt. Man zeigt dass die kroatischen technischen Vorschriften für Entwurf und Ausführung der natürlichen Belüftung mit den technischen Vorschriften für Energiesparung, Wärme- und Lärmschutz in Gebäuden nicht in Einklang gebracht sind. Man empfiehlt die Harmonisierung der kroatischen technischen Vorschriften mit denen der EU.

Autori: Mr. sc. **Mijo Zagorec**, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske; prof. dr. sc. **Petar Donjerković**, dipl. ing. str., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

1 Uvod

Zadaća ventilacije u zgradama jest stalna zamjena onečišćenog zraka iz prostorija, osobito onih bez prozora, svježim zrakom iz slobodne atmosfere radi održavanja higijenske klime potrebne za zdrav i udoban boravak. Budući da u nas još uvijek nema odgovarajućega tehničkog propisa za ventilaciju u zgradama, u posljednje je vrijeme došlo do nekoliko slučajeva trovanja pri grijanju stanova uređajima s otvorenim plamenom, kao što su kamini i sobne peći.

Smatra se da je velik dio uzroka tome u činjenici što se pri izgradnji zgrada previše vodi računa o tome da zbog prekomjerne izmjene zraka zimi tijekom grijanja ne bi došlo do nepotrebnih ventilacijskih gubitaka topline iz grijanih prostorija zgrade, a da se pritom ne misli dovoljno o činjenici je li kod zatvorenih prozora i balkonskih vrata u prostorijama osigurana najmanja higijenski potrebna količina svježeg zraka nužnog za zdrav boravak ljudi. To se smatra posebno važnim zato jer je Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za provjetranje u stambenim zgradama prestao vrijediti krajem 1987. godine, a da još do danas nije donesen novi odgovarajući tehnički propis odnosno HRN. Međutim, donošenjem novog Tehničkog propisa o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [1] učinjen je velik napredak u tom smislu, jer je tim Propisom određen najmanji potreban broj izmjena unutarnjeg zraka s vanjskim zrakom.

2 Klima prostorije i njezino djelovanje na ljude

Klima je karakterističan tijek stanja atmosfere (srednje kratkotrajne i srednje dugotrajne promjene) na jednome mjestu [2].

Klima prostorije jest klima kod koje su građevine djelomice ili potpuno odvojene od neposrednog djelovanja vanjske klime [2]. Klimu prostorije određuju: temperatura zraka, vlažnost zraka, brzina strujanja zraka, broj izmjena svježeg zraka u prostoriji, razina buke, rasvjeta te temperatura unutarnjih površina zidova, podova, stropova i namještaja. Najpovoljniji su parametri klime prostorije s obzirom na ljudski organizam oni koji, s jedne strane, termičkoj regulaciji organizma nameću najmanje zahtjeve i, s druge strane, osiguravaju stalnu opskrbu svježim zrakom.

Mikroklima jest klima u volumenu čije su dimenzije reda veličine 10^1 do 10^4 mm [2].

Proučavanjem djelovanja klime prostorije na ljudski organizam bavi se fiziologija stanovanja. Fiziologija stanovanja jest interdisciplinarno znanstveno područje koje izučava ponašanje i reakcije ljudskog organizma u stambenim prostorijama [3]. Cilj i svrha fiziologije stanovanja jest stjecanje znanstvenih preporuka za usklađivanje stam-

benih prostorija, građevnih elemenata i građevnih instalacija u zgradama ljudskim potrebama koje su višestruke naravi: fiziološke, psihološke i socijalne naravi.

U parametre klime prostorije koji djeluju na ljude ubrajaju se: izmjena topline između ljudskog tijela i okoliša, osjećaj udobnosti i neudobnosti ljudskog tijela, zaštita od vlage, grijanje prostorija, prozori i/ili balkonska vrata i ventilacija prostorija.

2.1 Izmjena topline između ljudskog tijela i okoliša

Ljudsko tijelo kao izvor topline izmjenjuje sa svojim okolišem toplinu na 4 načina: kondukcijom (vođenjem), konvekcijom (strujanjem), radijacijom (zračenjem) i isparavanjem znoja na koži (znojenjem) [3].

Prenošenje topline kondukcijom jest prijenos neposrednim dodiranjem tijela s elementima zgrade (pod i zidovi), namještajem i predmetima u stanu. Takav način prijenosa topline ovisi o toplinskoizolacijskim svojstvima materijala s kojim tijelo dolazi u trajniji neposredan dodir.

Prenošenje topline konvekcijom jest prijenos topline s ljudskog tijela na zrak u prostoriji i od zraka na tijelo, ovisno o temperaturi i strujanju zraka, i iznosi prosječno 25%-30% od ukupnog prenošenja topline s tijela.

Prenošenje topline radijacijom jest prijenos s ljudskog tijela na okolne zidove i predmete, i to čak 40% do 60% od ukupnog prenošenja topline s tijela, a ovisi o temperaturi obodnih površina.

Prenošenje topline isparavanjem vode iz tijela ovisi o temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka u prostoriji i prosječno jest 25% od ukupnog prenošenja topline s tijela. Zato je pri višoj temperaturi znojenje veće, a pri nižoj je temperaturi manje.

2.2 Osjećaj udobnosti i neudobnosti ljudskog tijela

Za ponašanje ljudskog tijela, ovisno o spomenutim fizičkim činiteljima, važan je osjećaj udobnosti i neudobnosti koji regulira ponašanje tijela ovisno o prilikama u kojima se ono nalazi [3]. Osjećaj neudobnosti može se povećati od najobičnijeg osjećaja dosade pa sve do osjećaja mučnine, ovisno o veličini poremećaja toplinskog gospodarstva ljudskog tijela. Taj je osjećaj smisljena biološka regulacija koja ljudima ili živim bićima naređuje da organizam treba poduzeti potrebne mjere za ponovnu uspostavu poremećene ravnoteže u toplinskom gospodarstvu tijela. U tu svrhu životinje traže zaklon od prekomjerne topline ili hladnoće, a ljudi prikladnu odjeću i ostale tehničke mogućnosti (grijanje ili hlađenje, ventilaciju i dr.).

Prema tome udobna je klima u stambenim i radnim prostorijama zgrada nužna pretpostavka za očuvanje zdravlja i pune radne sposobnosti. Za ugodno stanovanje najvažnije su sljedeće preporuke:

1. Temperatura zraka zimi u stambenim bi prostorijama trebala biti (21 ± 1) °C. Ta temperatura mora biti u granicama od 20 do 23 °C. U ostalim bi prostorijama temperatura trebala biti između 18 °C i 20 °C. Ljeti su ugodne temperature između 24 °C i 26 °C, a određuju se iz izraza (1):

$$\mathcal{G}_p = (\mathcal{G}_v + 20)/2 \quad (1)$$

gdje znače:

\mathcal{G}_p - temperatura zraka u prostoriji, u °C

\mathcal{G}_v - temperatura vanjskog zraka, u °C

2. Srednje površinske temperature obodnih građevinskih elemenata prostorije (zidovi, pod i strop) trebale bi po mogućnosti biti istog reda veličine kao i temperatura zraka. Odstupanja srednje temperature obodnih elemenata od temperature zraka ne smiju iznositi više od 2°C do 3°C, a temperatura od pojedinačnih obodnih površina ne više od 3°C do 4 °C.
3. Zimi je udobna relativna vlažnost zraka od 40% do 50%, a ljeti $(50 \pm 5)\%$. Vrijednosti ispod 30% medicinski su nepoželjne jer imaju za posljedicu isušivanje dišnih putova.
4. Strujanje zraka na radnome mjestu (biozona pri radu ili odmoru) trebalo bi biti od 0,1 do 0,3 m/s, ovisno o aktivnosti korisnika, jer veće strujanje može uzrokovati dizanje prašine i dr.

2.3 Zaštita od vlage

Radi zaštite od pojave vlage na zidovima, pri projektiranju, građenju i tijekom uporabe zgrada valja poduzeti sljedeće mjere:

- vanjski zidovi na sjevernoj strani zgrade kao i ravni krovovi moraju biti toliko toplinski izolirani da bi se spriječila pojava kondenzacije vodene pare na unutarnjoj površini zida zgrade, tj. da bude ispunjen uvjet:

$$\mathcal{G}_i > t_s \quad (2)$$

gdje su:

\mathcal{G}_i - temperatura na unutarnjoj površini obodne građevinske konstrukcije, °C

t_s - rosište (točka rošenja), °C; (*rosište*, u smislu HRN U.J5.001, jest temperatura na kojoj parcijalni tlak vodene pare u zraku odgovara tlaku zasićenja P_s na toj temperaturi) uz sjeverne zidove zgrade ne smije se postavljati velikoploš-

ni namještaj, da bi se osigurala odgovarajuća temperatura na unutarnjoj površini zida prirodnim strujanjem zraka (ormari, kreveti, komode, škrinje i dr.), jer se iza namještaja na zidovima lako skuplja vlaga i stvara plijesan,

- svaka prostorija u razdoblju grijanja mora se svakoga dana više puta prozračiti da bi se smanjilo povišenje vlage nastale u građevnim materijalima i namještaju
- sve prostorije u stanovima moraju se grijati vlastitim pojedinačnim sobnim ili centralnim ogrjevnim tijelima (nikako se ne smiju grijati posredno iz susjednih prostorija)
- vodena para iz kuhinje, kupaonice i praonice mora se s pomoću odgovarajuće dimenzioniranih ventilacijskih uređaja (propisani broj izmjena svježeg zraka) odvoditi u atmosferu iznad krova zgrade.

2.4 Grijanje prostorija

Osnovni zahtjevi koje treba uzeti u obzir pri izboru sustava grijanja u stanovima sa stajališta medicine i fiziologije stanovanja jesu:

- grijanje u stanovima mora biti takvo da u svakoj prostoriji gdje borave ljudi temperature budu u granicama udobnosti koje su određene u normama ovisno o namjeni prostorije
- vanjske površine ogrjevnog tijela trebaju biti što veće radi povoljnijeg prenošenja topline radijacijom i konvekcijom
- ogrjevni elementi ne smiju odavati previsoke temperature zbog prljanja zida i stropa (uz te elemente i iznad njih) prašinom koja se nalazi u zraku prostorije, čišćenje grijaćih tijela od prašine treba biti jednostavno
- regulacija grijanja mora biti jednostavna, laka, u funkciji vanjske temperature i namjene prostorije.

Napominjemo da su tehnički zahtjevi glede uštede toplinske energije i toplinske zaštite koje treba zadovoljiti pri projektiranju novih i rekonstrukciji i adaptaciji postojećih zgrada grijanih na unutarnju temperaturu višu od 12 °C, sadržaj projekta zgrade u pogledu uštede toplinske energije i toplinsku zaštitu, iskaznicu potrebne topline za grijanje zgrada te održavanje zgrada, propisani u novom Tehničkom propisu o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [1].

2.5 Prozori i/ili balkonska vrata

Prozori i/ili balkonska vrata uvelike utječu na klimu prostorije. Naime, zimi su prozori hladne površine, a ljeti zbog propusnosti topline od sunčeva zračenja imaju

za posljedicu zagrijavanje prostorija (efekt staklenika). Tehničkim propisom o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Prilog C, određeni su za prozore, balkonska vrata i krovne prozore zahtjevi o zrakopropusnosti, koji su prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Razredi zrakopropusnosti sljubnica prozora, balkonskih vrata i krovnih prozora [1]

R. br.	Br. katova zgrade	Razred zrakopropusnosti prema HRN EN 12207-1:2002 (Razred 1. je najveće zrakopropusnosti, a razred 4. najmanje)
1.	do 2 kata	2.
2.	više od 2	3.

Posebno želimo ukazati na problematiku koja nastaje ljeti, tj. u toplije doba godine kada se zbog povišenja temperature u prostoriji otvaraju prozori, pa se time gubi njihova funkcija zaštite od vanjske (ulične) buke.

Iako je prozračivanje kroz prozore najjednostavniji način ventiliranja, ipak takvu ventilaciju ne treba stalno primjenjivati ni zimi ni ljeti. Naime, za jakih vjetrova, da bi se spriječio *efekt propuha*, prozore valja zatvarati. Nadalje, često obnavljanje svježeg zraka otvaranjem prozora je neudobno jer se na taj način nepotrebno gubi toplina iz grijanih prostorija (ventilacijski gubitak topline).

2.6 Ventilacija prostorija

Zrak u prostorijama u kojima borave ljudi zagađuje se poradi:

- isparavanja i pojave neugodnih mirisa
- stvaranja vodene pare od disanja i znojenja
- pušenja
- proizvodnje ugljičnog dioksida i smanjenja kisika
- kontaminacije s bakterijama i virusima
- onečišćenja zraka izvana ili zbog aktivnosti u prostoriji.

Budući da prve četiri vrste zagađivanja potječu od ljudi, proizlazi da su ljudi osnovni zagađivači zraka u prostorijama zgrada. Kao najvažnija i najdjelotvornija mjera za održavanje čistog zraka u prostorijama jest ventilacija prostorija, koja znači zamjenu onečišćenog zraka iz prostorija sa svježim vanjskim zrakom. Postoje dva osnovna zahtjeva za ventilaciju prostorija:

- volumen svježeg zraka u jedinici vremena po jednoj osobi Q ($m^3 \cdot h^{-1}/osoba$),
- broj izmjena zraka u jednom satu n (h^{-1}).

Prema prvom je zahtjevu određeno, da za jednog čovjeka u zatvorenoj prostoriji treba osigurati količinu svježeg zraka najmanje 30 ($m^3 \cdot h^{-1}/osoba$), a ako se u prostoriji

puši tada treba osigurati i do 40 ($m^3 \cdot h^{-1}/osoba$) i više. Međutim, drugi je zahtjev izražen kao broj izmjena zraka u prostoriji u jednome satu najčešće u uporabi. Prema tom je zahtjevu određen najmanji broj potreban za izmjenu svježeg zraka u jednome satu za stambene prostorije, i to ovisno o funkciji prostorije [1, 3, 4, 5].

3 Zahtjevi za ventilaciju u zgradama

Tehničkim propisom o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama propisano je da zgrada mora biti projektirana i izgrađena na način da se osigura namanje provjetranje prostora zgrade koje je potrebno:

- da se ne bi ugrozili higijena i zdravstveni uvjeti
- radi iskorištavanja uređaja za grijanje s otvorenim plamenom.

Međutim, prema dosadašnjim se iskustvima smatra da ispravna ventilacija u grijanim prostorijama zgrada mora zadovoljiti tri bitna zahtjeva:

- osigurati najmanji potreban broj izmjena zraka radi higijene i zdravstvenih uvjeta
- boravka u prostorijama,
- odvoditi onečišćeni zrak u atmosferu iznad krova zgrade
- ograničiti prekomjeran broj izmjena zraka zbog smanjenja ventilacijskih gubitaka
- topline [1, 3, 4, 5].

3.1 Najmanji broj potrebnih izmjena zraka

Ventilacijom se kod zatvorenih vrata, prozora i/ili balkonskih vrata mora osigurati higijenski najmanja potrebna izmjena zraka u prostorijama zgrada. Prema podacima iz stručne literature najmanji broj potrebnih izmjena zraka prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Najmanji broj potrebnih izmjena zraka u jedinici vremena ovisno o vrsti i visini prostorije [5]

Vrsta prostorije	Broj potrebnih izmjena zraka u satu ovisno o visini prostorije [h^{-1}]			
	3,0 m	2,8 m	2,6 m	2,4 m
Pojedinačne garaže	3	5	5	6
Kuhinje (za vrijeme kuhanja)	15	25	30	30
Kupaonice	4	7	8	8
Spremišta za namirnice	10	20	25	30
Praonice rublja	5	9	12	15
Sobe za rad i boravak	3	4	4	5
Spavaonice	3	4	5	6
Stubišta	4	6	7	8
Nužnici	4	5	7	9

Prema odredbi propisanoj u Tehničkom propisu o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, broj izmjena unutarnjeg zraka s vanjskim zrakom kod zgrade u kojoj borave ili rade ljudi mora biti najmanje $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, ako tehničkim propisom kojim je uređeno to područje nije drukčije propisano. Također je propisano da u vrijeme kada ljudi ne borave u dijelu zgrade koji je namijenjen radu i/ili boravku ljudi, valja osigurati izmjenu unutarnjeg zraka od najmanje $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$.

Napominjemo da u slučaju kada se prostorije u zgradi griju sobnim pećima ili kaminima najmanji broj izmjena zraka treba povećati za količinu zraka koja je potrebna za potpuno izgaranje goriva u takvim ložištima. Posebno napominjemo, da svaki kamin mora imati poseban kanal za dovod svježeg zraka iz atmosfere u ložište i poseban dimnjak za odvod dimnih plinova iz ložišta. Takav dimnjak mora biti, kao i svaki drugi, propisno izveden po visini zgrade i s izlaznim otvorom iznad sljemena krova zgrade najmanje 0,5 m.

3.2 Odvođenje onečišćenog zraka u atmosferu

Funkcija je ventilacije da osigurava odvođenje zraka onečišćenog neugodnim mirisima, vodenom parom, dimom od pušenja, prašinom i sl. iz prostorija zgrade i za-

mijeni ga čistim (po potrebi kondicioniranim) zrakom iz atmosfere.

Najmanji broj izmjena zraka treba osigurati željeni stupanj ugone prostorije tako da pri određenoj sobnoj temperaturi ne dođe do pojave oštećenja zidnih površina od kondenzacije vodene pare, kao što su, primjerice plijesan, gljivice i sl.

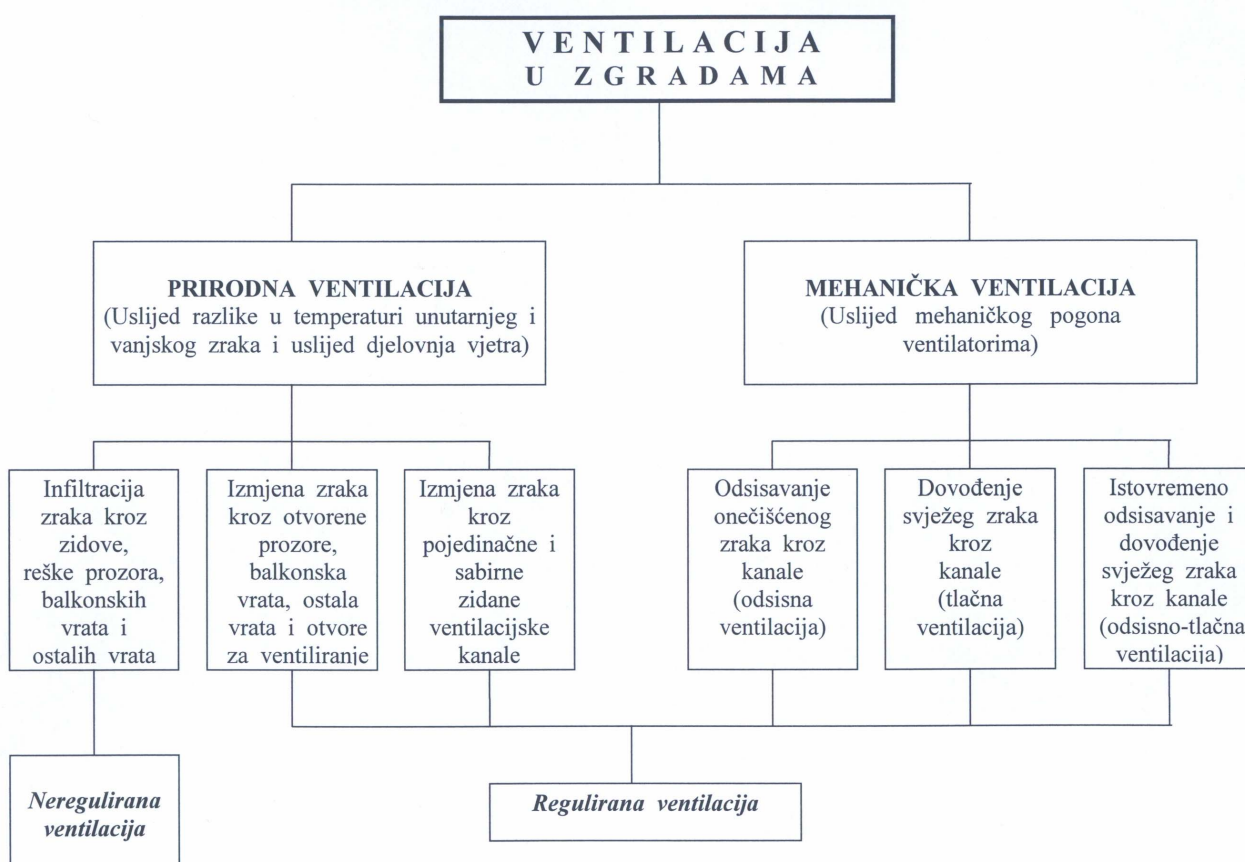
3.3 Najveći dopušteni broj izmjena zraka

Broj izmjena zraka u grijanim prostorijama zgrada zimi ne smije biti prevelik zbog uštede energije (ventilacijski gubici topline), da bi se spriječila prekomjerna potrošnja topline za grijane prostorije. Taj najveći dopušteni broj izmjena zraka (gornja granica) još uvijek nije dovoljno točno određen kao što je u tablici 2. određen najmanji broj potrebnih izmjena zraka (donja granica).

Zato najveći dopušteni broj izmjena zraka u grijanoj prostoriji treba odrediti ovisno o vrsti i intenzitetu svih izvora zagađivanja zraka i eventualnih uređaja za grijanje s otvorenim plamenom, i to za svaku prostoriju posebno.

4 Vrste ventilacije u zgradama

Ventilacija (prozračivanje) u zgradama jest izmjena zraka u stambenim i drugim prostorijama zgrada tako da se



Slika 1. Shematski prikaz ventilacija u zgradama prema načinu izmjene zraka

onečišćeni zrak iz prostorija odvodi u atmosferu, a iz atmosfere dovodi svjež i po potrebi kondicionirani zrak radi održavanja vlažnosti, čistoće i režima strujanja zraka po mikro higijenskim normativima koji odgovaraju potrebama ljudskog zdravlja i udobnog boravaka.

Opći zahtjevi za ispravnu ventilaciju prostorija jesu:

- pri ventilaciji prostorija mora se onečišćeni zrak iz prostorija odvoditi u slobodnu atmosferu iznad zgrade (ne u druge prostorije)
- ventilacija prostorija mora biti takva da je i kod zatvorenih prozora i balkonskih vrata iz higijenskih razloga osigurana najmanja potrebna izmjena zraka
- ventilacija prostorija ne smije biti prekomjerna, da se zbog prevelikog broja izmjena zraka ne bi prekoračilo gospodarski opravdanu količinu topline u procesu grijanja prostorija zgrade (ventilacijski gubici topline)
- pri ventilaciji i izvedbi instalacija i uređaja za ventilaciju moraju se poduzimati mjere zaštite od požara u zgradi prema logički postavljenim požarnim zonama.

Po načinu izmjene zraka postoje dvije osnovne vrste ventilacije u zgradama: prirodna ventilacija i mehanička ventilacija (slika 1.).

Od svih nabrojanih vrsta ventilacije jedino infiltracija zraka kroz zidove, sljubnice u prozorima i balkonskim vratima i dr. teče nekontrolirano, dok se ostali načini prirodne i mehaničke ventilacije mogu kontrolirati i/ili regulirati.

Napominjemo da je Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za ventilaciju u stambenim zgradama (Sl. list, broj: 35/70) prestao vrijediti još 23. prosinca 1987. godine. Budući da od tada pa do danas još nije donesen novi pravilnik, smatra se da je to veliki nedostatak tehničkog zakonodavstva s obzirom na ventilaciju u zgradama.

4.1 Prirodna ventilacija

Prirodna ventilacija u zgradama jest ventilacija kod koje se zrak izmjenjuje zbog uzgonskog efekta, razlike tlakova i naleta vjetra, tj. bez uporabe mehaničkih ili drugih sličnih uređaja. Takva se ventilacija odvija infiltracijom zraka kroz zidove i sljubnice, strujanjem zraka kroz otvorene prozore i/ili balkonska vrata te strujanjem zraka kroz ventilacijske kanale. Djelotvornost prirodne ventilacije ovisi o nizu klimatskih i graditeljskih (urbanističkih, arhitektonskih i građevinskih) utjecaja [6].

Za obnavljanje svježeg zraka u stambenim prostorijama u kojima boravi malo ljudi i u kojima nema posebnih zagađivača zraka nisu potrebni dodatni uređaji za vent-

iliranje, nego je dovoljna prirodna ventilacija infiltracijom zraka kroz zidove i reške s povremenim otvaranjem prozora i/ili balkonskih vrata.

Od klimatskih su utjecaja najvažniji:

- razlike u temperaturi između vanjskog i unutarnjeg zraka
- brzina (djelovanje) vjetra
- smjer vjetra.

Od graditeljskih utjecaja to su:

- položaj zgrade u odnosu prema reljefu zemljišta
- raspored prostorija u zgradi
- visina zgrade
- propusnost vanjskih prozora, balkonskih vrata i ostalih vrata (općenito propusnost stolarije u zgradi)
- propusnost vanjskih elemenata konstrukcije zgrade (vanjski zidovi i stropovi) i dr.

Budući da su klimatski utjecaji (razlika temperature, brzina i smjer vjetra) promjenljiva intenziteta i različitog trajanja, prirodna je ventilacija također neujednačena, a u ljetnom (toplom) razdoblju godine može biti čak i potpuno neučinkovita. Zato pri građenju zgrada treba poduzeti mjere da prirodna ventilacija bude trajno (cjelogodišnje) učinkovita i veća od donje higijenski potrebne granice.

4.1.1 Infiltracija zraka

Infiltracija zraka je prirodna ventilacija kod koje se zrak kod zatvorenih vrata, prozora i balkonskih vrata nekontrolirano izmjenjuje kroz vanjske zidove i sljubnice u zidovima, prozorima, balkonskim vratima te unutarnjim i vanjskim vratima.

Ispitivanjima je ustanovljeno da velik broj građevnih materijala propušta zrak. Intenzitet propusnosti zraka kroz građevne materijale ovisi o razlici tlaka unutarnjeg i vanjskog zraka, debljini vanjskog zida i vrsti građevnog materijala od kojeg je zid izgrađen. Infiltracija zraka kroz vanjske zidove je najmanjeg intenziteta, tako da se za tu vrstu prirodne ventilacije ne može sa sigurnošću tvrditi može li ona uopće osigurati najniži potreban broj izmjena zraka u prostorijama, osobito sada kada se, u pravilu, često izvode višeslojni vanjski zidovi zgrada s paronepropusnim odnosno zrakonepropusnim slojem tzv. parna brana.

Sljubnice u vanjskim zidovima zgrade su uski razmaci između krila vrata i dovratnika, prozorskih krila i doprozornika, krila balkonskih vrata i dovratnika, pukotina u neožbukanim vanjskim zidovima i montažnim konstrukcijama i dr. Prirodna ventilacija kroz sljubnice znatno je intenzivnija od infiltracije zraka kroz vanjske zidove. Količina zraka koji struji kroz sljubnice ovisi o razlici

tlaka zraka te širini i duljini sljubnice. Širina sljubnica kod drvenih prozora je 5 do 10 mm, a kod metalnih prozora 3 do 5 mm [7]. Propusnost zraka zbog infiltracije kroz vanjske zidove i zbog propusnosti kroz sljubnice određuje se proračunom i mjerenjem ovisno o vrijednosti svih bitnih čimbenika.

4.1.2 Ventilacija kroz otvorene prozore i/ili balkonska vrata

Prirodna je ventilacija kroz otvorene prozore i balkonska vrata najintenzivniji način prirodne ventilacije. Prirodnom ventilacijom kroz otvorene prozore i balkonska vrata može se postići odgovarajući broj izmjena zraka u satu u pripadajućoj prostoriji također ovisno o razlici temperature unutarnjeg i vanjskog zraka, brzini i smjeru vjetra te veličini, položaju i obliku vanjskih prozora i balkonskih vrata.

Približan broj izmjena zraka koji se može postići u uporabi pri zatvorenom prozoru i/ili balkonskim vratima te pri različitim položajima krila prozora i prozorskih roleta prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Broj izmjena zraka pri prirodnoj ventilaciji kroz prozore i vrata [6]

Položaj krila vanjskih prozora i vrata	Broj izmjena zraka u satu (h^{-1})
Prozor zatvoren, vrata zatvorena	0 – 0,5
Prozor otklopljen, rolete drvene spuštene	0,3 – 1,5
Prozor otklopljen bez roleta	0,8 – 4,0
Prozor poluotvoren	5 – 10
Prozor potpuno otvoren	9 – 15
Prozor i vrata potpuno otvoreni (poprečno provjetranje)	približno 40

Napominjemo da prikazano variranje brojeva izmjena zraka u jednome satu ovisi o brzini vjetra, razlici između temperature unutarnjeg i vanjskog zraka, vrsti prozora i roleta te rasporedu prozora u zgradi (jednostrano ili poprečno provjetranje). Nadalje podaci iz tablice 3. pokazuju da je broj izmjena zraka pri zatvorenom prozoru i vratima manji od najmanje potrebnog broja izmjena zraka u satu: $0 \text{ do } 0,5 \text{ h}^{-1} < 0,5 \text{ h}^{-1}$.

Zato još uvijek vrijedi tradicionalno pravilo da se prostorije moraju prozračivati otvaranjem prozora, a ne oslanjati se samo na infiltraciju zraka kroz vanjske zidove i sljubnice. Pritom treba imati na umu da je kratko prozračivanje potpunim otvaranjem krila prozora i balkonskih vrata, osobito s aspekta zaštite od prehlade i uštede toplinske energije potrebne za grijanje, bolje od trajnoga prozračivanja kroz poluotvorena krila vrata ili prozora. Ispravno prozračivanje prostorija zimi sastoji se u tome

da treba kratko otvoriti širom sve prozore u trajanju 2-3 minute i to prema potrebi svakih 2 – 3 sata jedanput, a ne dulje vrijeme držati prozore malo otvorene (odškrinute). Naime, kada se otvore svi prozori na kratko vrijeme dolazi do potpune izmjene zraka, osobito pri poprečnom provjetranju (brza izmjena zraka), a za to vrijeme valja napustiti prostoriju. Prednost takve brze izmjene zraka jest u tome što se akumulirana toplina u zidovima i namještaju ne stigne izgubiti. Nasuprot tome djelomično otvaranje pojedinih krila ili manjeg broja prozora zimi na dulje vrijeme nije ispravno, jer hladan zrak može biti štetan za zdravlje ljudi, osobito onih koji se nalaze blizu otvorenih prozora.

Pri prirodnom prozračivanju kroz prozor i/ili balkonska vrata, zrak u prostoriji obnavlja se ulaznim i izlaznim strujanjem zraka. Budući da je vanjski zrak najčešće hladniji od zraka u prostoriji, topliji zrak izlazi kroz gornji dio prozora (naročito kroz kutije za rolete), a svjež, hladniji zrak ulazi kroz donji dio prozora odnosno kroz sljubnicu između prozorskog krila i doprozornika. Zato su uska zaokretna krila, visoka otklopna krila, gornja odnosno donja otklopna krila i sl. tehničko-ventilacijski povoljni načini izrade prozora.

Pri poprečnom je provjetranju u određeno vrijeme dovoljan samo jedan otvor na svakoj strani prostorije, kao npr. gornje otklopno krilo u nekim dvoranama. Za regulaciju protoka zraka na suvremenim se otklopno-zaokretnim krilima prozora ugrađuju dodatne naprave tzv. *škare* za najmanji otklopni položaj krila, koji treba povećati ventilaciju prostorija za mali broj ljudi.

Za poboljšanje prirodne ventilacije samo kroz prozore u hladnome razdoblju, kada su prozori stalno zatvoreni, postoji nekoliko preporuka, i to:

- izvedba prozora bez brtvljenja zazora ili s isprekidanom brtvom samo u gornjoj reški između krila i doprozornika odnosno dovratnika
- izvedba ventilacijskih proreza u gornjem dijelu doprozornika ovisno o položaju prozora (jednostrana ili poprečna ventilacija)
- izvedba dodatnoga uskoga ventilacijskog otvora sa strane po cijeloj visini prozora koji se može zatvoriti iznutra nepropusnim krilom (*grilja* vani–nepropusno krilo unutra)
- ugradba uređaja (čelične škarice) za usko otvaranje gornjeg otklopnog krila ili cijelog otklopno–zaokretnog krila prozora (fiksno odškrinuta otklopna krila) i sl.

U najnovije je vrijeme započela proizvodnja tzv. ventilacijskih prozorskih sustava (određene vrste najnovijih prozora od plastičnih profila, kao npr. sustavi: KBE,

KÖMMERLING, GEALANT i dr.). Takvi prozorski sustavi omogućavaju stalnu ventilaciju i kod dulje zatvorenih prozora, kao npr. zimi ili za godišnjih odmora.

Vrednovanje prozora u HRN EN 12207:2001 razvrstano je prema propusnosti zraka u 4 razreda, tako da je razred 1. najveće, a razred 4. najmanje zrakopropusnosti. Zato suvremeni prozori i balkonska vrata, osobito oni od plastičnih i aluminijskih profila, imaju ugrađene gumene brtve između krila i doprozornika da bi bili razvrstani u razred 4. (razred najmanje propusnosti zraka pri rasponu ispitnog tlaka zraka od 0 do 600 Pa) [8].

Ovo vrednovanje određeno je u skladu sa zahtjevima određenim za smanjenje ventilacijskih gubitaka topline i zaštitu od buke u zgradama. Međutim, takvo vrednovanje prozora nije u skladu sa zahtjevima za prirodnu ventilaciju u zgradama, jer izmjena zraka zimi kroz sljubnice zatvorenih prozora i/ili balkonskih vrata neće zadovoljiti zahtjeve za ventilaciju prostorija ni za mali broj ljudi.

Osim toga u normi HRN U.J5.100 određen je i zahtjev, radi smanjenja ventilacijskih gubitaka topline u stanu, da najveća dopuštena ventilacija u stanu pri unutarnjem podtlaku od 50 Pa smije biti najviše dvije izmjene zraka u jednome satu ($NDV \leq 2 \text{ h}^{-1}$) [9].

U svakom slučaju donja granica prirodne ventilacije izražena kao $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ izmjena svježeg zraka u jednom satu mora uvijek pri zatvorenim prozorima biti osigurana. U protivnom uporaba suvremenih slabo zrakopropusnih prozora bez dodatnih otvora za ventilaciju prostorije nije u slučaju nedovoljne prirodne ventilacije za preporuku, jer se gubi prirodni ventilacijski učinak čime se ugrožava zdravlje ljudi.

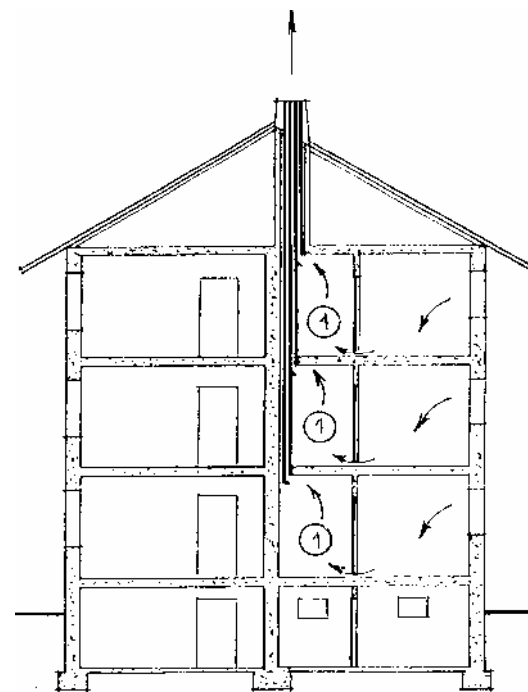
Napominje se da je najnovijom HRN EN 13829 određen postupak mjerenja propusnosti zraka omotača zgrade ili omotača dijelova zgrade na mjestu (in situ) [10]. Metoda razlike tlakova služi zato, da bi se moglo ocijeniti propusnost zraka omotača zgrade ili omotača dijelova zgrade. Ta se metoda koristi u svrhu:

- mjerenja propusnosti zraka zgrade ili dijelova zgrade da bi se utvrdilo jesu li zadovoljeni zahtjevi u pogledu smanjene propusnosti zraka
- uspoređivanja relativne propusnosti zraka između sličnih zgrada ili dijelova zgrade
- otkrivanja mjesta s premalom ili prevelikom propusnosti zraka
- određivanja smanjenje propusnosti zraka, koja je postignuta izvedbom jedne od raspoloživih mjera za smanjivanje zrakopropusnosti.

4.1.3 Ventilacija kroz kanale

Prirodna ventilacija kroz kanale znači izmjenu zraka u prostoriji bez prozora kroz vertikalne zidane ventilacijske kanale koji se izvode od pripadajuće prostorije do iznad krova zgrade (slika 2.). Pritom treba imati na umu da ventilacija prostorija bez prozora s ventilacijskim kanalima funkcionira ispravno samo ako je osigurano stalno dovođenje svježeg zraka u odgovarajućim količinama u pripadajuću prostoriju izvana ili iz neke druge prostorije koja ima prozore. U prostoriju koja se prozračuje zrak se dovodi iz susjednih prostorija i to kroz donji otvor u zidu ili dnu krila vrata. Takav donji otvor ne smije imati poklopac za regulaciju protoka zraka. Onečišćeni se zrak odvodi iz prostorije kroz otvor ispod stropa s priključkom na ventilacijski kanal. Takav gornji otvor mora imati nehrđajući poklopac za regulaciju strujanja zraka.

Ventilacijski se kanali dimenzioniraju za najnepovoljniji slučaj, tj. za najmanju brzinu strujanja zraka. U slučaju velikih razlika temperature i jakih vjetrova strujanje zraka u kanalu regulira se poklopcem ugrađenim na ulaznom otvoru za odvođenje onečišćenog zraka iz prostorije. Zahtjevi za projektiranje prirodne ventilacije prostorija bez vanjskih prozora kroz zidane vertikalne kanale sustavom pojedinačnih kanala i sabirnih kanala određene su u HRN U.C1.200 [11] i HRN U.C2.201 [12].



① ostave, zahodi i/ili sanitarne prostorije

Slika 2. Sustav ventiliranja prostorija bez prozora pojedinačnim vertikalnim kanalima tako da se svjež zrak dovodi izvana kroz susjedne prostorije, a nečisti zrak odvodi kroz kanale iznad krova zgrade u slobodnu atmosferu

Prirodnu se ventilaciju preporučuje pojačati uz uporabu malih ventilatora na električni pogon. Takvi se mali ventilatori upotrebljavaju npr. u stambenim zgradama za povećanje prirodne ventilacije u kuhinjama i prostorijama bez prozora (ostave, zahodi, kupaonice i dr.) za povećano odvođenje onečišćenog zraka u slobodnu atmosferu. Mali ventilatori mogu se postaviti pri vrhu prozora, pri vrhu vanjskog zida prostorije, u otvarač (kuhinjsku napu), na vrhu odvodnog ventilacijskog kanala i dr. Prednost povećanja prirodne ventilacije s malim ventilatorima je u tome da se i u najnepovoljnijim prilikama (zimi–zatvoreni prozori, ljeti–zastoj prirodne ventilacije) postiže potrebna zamjena onečišćenog zraka svježim zrakom u pripadajućoj prostoriji.

4.2 Mehanička ventilacija

Mehanička je ventilacija prisilna izmjena zraka u zatvorenom prostoru kroz vertikalne kanale na mehanički (motorni) pogon s pomoću ventilatora. Takva se ventilacija izvodi u područjima s jakim vrtlogom vjetrova ili u razdoblju kada nema prirodne ventilacije odnosno kad nije dovoljno djelotvorna. Mehanička je ventilacija sigurnija od prirodne, jer ne ovisi o vanjskim čimbenicima i jer u prostoriju dovodi točno određenu (reguliranu) količinu zraka, a moguće je i kondicioniranje zraka (pročišćavanje, grijanje, hlađenje i vlaženje) u posebnim uređajima, tako da se u prostoriji održavaju povoljni klimatski uvjeti bez obzira na vanjske atmosferske prilike (klimatizacija). Vrste mehaničke ventilacije opisane su na slici 1.

Zahtjevi za projektiranje mehaničke ventilacije prostorija (prostorije bez vanjskih prozora i s prozorima koji se

ne otvaraju) kroz vertikalne kanale s pomoću ventilatora određeni su u HRN U.C2.202 [13].

5 Zaključak

U suvremenim stambenim zgradama prirodna se ventilacija provodi tako, da se prostorije s prozorima ventiliraju infiltracijom zraka kroz različite sljubnice, prozore, balkonska vrata i unutarnja vrata, a prostorije bez prozora kroz zidane vertikalne kanale i pripadajuća vrata.

Budući da prirodna ventilacija ovisi o prirodnim pojavama koje su promjenljiva intenziteta i različita trajanja (različite razlike temperature te intenzitet i smjer djelovanja vjetra) ona nije stalno ujednačena, a povremeno čak ni dovoljno učinkovita. Osim toga pojavom suvremenih prozora i balkonskih vrata izrađenih od PVC-a i aluminijskih profila s brtvljenim sljubnicama između krila i doprozornika odnosno dovratnika prirodna se ventilacija u zgradama pogoršala. Zato bi prirodnu ventilaciju u stambenim zgradama trebalo hitno poboljšati odgovarajućim ventilirajućim prozorima ili malim ventilatorima na električni pogon, osobito u obiteljskim kućama koje se redovito grade bez vertikalnih zidanih ventilacijskih kanala i često s uređajima za grijanje s otvorenim plamenom, kao što su npr. različite kuhinjske i sobne peći i kamini.

Osim toga trebalo bi hitno donijeti odgovarajući tehnički propis za ventilacije u zgradama u skladu s europskim normama (EN), jer je Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za ventilaciju u stambenim zgradama prestao vrijediti još prije 19 godina. Budući da od tada još uvijek nije donesen novi Pravilnik, smatra se da je to velik nedostatak tehničkih propisa za ventilaciju u zgradama kod nas.

LITERATURA

- [1] Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN broj: 79/05)
- [2] DIN 50010–1:1977 *Klimate und ihre technische Anwendung: Klimabegriffe, Allgemeine Klimabegriffe*
- [3] Grandjean, E.: *Wohnphysiologie – Grundlagen gesunden Wohnens*, Verlag für Architektur Artemis Zürich, 1973
- [4] Galaso, I.: *Ventilacija i klimatizacija*, Tehnička enciklopedija, svezak 13, 443 - 454, Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1997.
- [5] Radonić, M.: *Grijanje i ventiliranje*, Izdavačko poduzeće Građevinska knjiga, Beograd
- [6] Gertis, K.: *Bauphysikalische Grundlagen der Wohnungslüftung*, Deutsche Bauzeitschrift (1984) 2, 231–234
- [7] Strehle, K.: *Neues Abdichtverfahren für eingebaute Fenster gegen Luft – und Schalldurchgang*, Kunststoffe im Bau 2 (1966) 5, 44–47
- [8] Zagorec, M.: *Ispitivanje plastičnih prozora od PVC profila*, Tehnika 38 (2002) 09, 10–11 i Tehnika 38 (2002) 10, 10 – 11
- [9] HRN U.J5.100:1983 *Toplinska tehnika u visokogradnji*. Zračna propusnost stana
- [10] HRN EN 13829:2002 *Toplinske značajke zgrada – Određivanje propusnosti zraka kod zgrada – Metoda razlike tlakova*
- [11] HRN U.C2.200:1971– *Provjetravanje prostorija bez vanjskih prozora kroz vertikalne i horizontalne kanale prirodnim putem. Sistemi pojedinačnih kanala*
- [12] HRN U.C2.201:1971 – *Provjetravanje prostorija bez vanjskih prozora pomoću vertikalnih i horizontalnih kanala na prirodni način. Sistem sabirnih kanala*
- [13] HRN U.C2.202:1971– *Provjetravanje prostorija bez vanjskih prozora pomoću ventilatora*