



Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje



Kakovost zraka v prostoru

Inštitut za obnovljive vire energije in učinkovito rabo energije, INOVEKS d.o.o.

Cesta 2. grupe odredov 17, 1295 Ivančna Gorica, info@inoveks.si

Povzetek

V prispevku prikazujemo osnovne informacije v povezavi s kakovostjo zraka v prostorih. V prostorih lahko najdemo številne škodljive snovi. Zrak v prostorih je lahko namreč bistveno bolj onesnažen od zraka zunaj objekta. V prispevku so našteje nekatere snovi, ki jih lahko najdemo v notranjem okolju. V nadaljevanju je razložen pojem »sindrom bolne stavbe«, ki ga je svetovna zdravstvena organizacija opredelila v svojem poročilu že leta 1984. Prikazani so tudi osnovni parametri vrednotenja notranjega okolja s pomočjo odstotka nezadovoljnih oseb v povezavi z dovodom svežega zraka v prostor ter nadkoncentracije ogljikovega dioksida v prostoru. Na koncu prispevka so opisani tudi prašni delci ter njihova vloga pri problematiki kakovosti zraka.

UVOD

Problematiki kakovosti zraka v prostoru se v zadnjih letih posveča vedno večja pozornost. Različne raziskave so pokazale, da velik del človeške populacije preživi v zaprtih prostorih večino svojega časa, kar poudarja pomen te problematike.

Zrak je zmes plinov. Čist, suh zrak blizu nivoja morja je sestavljen iz približno 21 % kisika, 78 % dušika, 1 % argona in 0,04 % ogljikovega dioksida. Zrak vsebuje tudi delce vodika, neona, helija, ozona, kriptona in ksenona v odvisnosti od variabilne količine vodne pare ter submikronskih majhnih delcev.

Človekove aktivnosti povzročajo različne emisije v okolje. Kontaminanti iz zunanosti prehajajo v notranje okolje in skupaj s polutanti notranjega okolja rezultirajo k onesnaženemu zraku v stavbah. V osnovi kontaminante delimo na delce (trdne in kapljevite) in plinaste kontaminante. V splošnem se za delce pogosto uporablja še termin aerosoli. Razlikovanje med delci in plini je zelo pomembno, ko se odločamo za način njihovega odstranjevanja.

POGOSTO NAJDENE SNOVI V NOTRANJEM OKOLJU

Različne raziskave so pokazale, da je zrak v stavbah lahko bistveno bolj onesnažen, kot je zunanji zrak. Na kakovost zraka v prostoru vplivajo številne snovi. V zraku v stavbah je mogoče najti več kot 900 različnih škodljivih snovi [1]. Nekatere najpomembnejše snovi, s katerimi se srečujemo pri reševanju problemov kakovosti zraka v prostoru, so [1]:

- Ogljikov dioksid – CO₂: izpostavljenost večjim koncentracijam CO₂ povzroča glavobol, zaspanost in vrtoglavico. Koncentracijo CO₂ v prostoru lahko zmanjšamo samo z ustreznim prezračevanjem prostora. Količina CO₂, ki ga človek izloči pri dihanju, je povezana z intenzivnostjo metabolizma. Povprečna sedeča oseba ($M = 70 \text{ W/m}^2$, $A = 1,8 \text{ m}^2$) izloči pri dihanju 0,005 l/s oziroma 18 l/h CO₂.
- Bioaerosoli: vsebujejo primarno viruse, bakterije, spore plesni in različne alergene. Povzročijo lahko različne bolezni.
- Ogljikov monoksid – CO: v krvi se veže na hemoglobin in s tem zmanjšuje zmožnost krvi za prenos kisika po človeškem organizmu.
- Dušikovi oksidi – NO_x: izpostavljenost dušikovim oksidom povzroči zmanjšano prehodnost dihalnih poti in infekcije respiratornih organov.
- Formaldehid – HCHO: je kemijska spojina, ki se je veliko uporabljala kot vezivo pri izdelavi vezanih plošč, v industriji izolacijskih materialov in v tekstilni ter papirni industriji. Formaldehid prodre v človekovo telo prek dihalnih organov, s hrano in adsorpcijo v koži. Draži očno in nosno sluznico, povzroča glavobol ter vnetje zgornjih dihalnih organov. Raziskave kažejo na možnost karcinogenega delovanja, predvsem ob izpostavljenosti večjim koncentracijam, ki bi povzročile močno iritacijo nosne sluznice.
- Lebdeči delci: v obliki prahu, dima in aerosolov kemično ter mehansko dražijo sluznice nosu, oči in žrela ter slabšajo funkcije zgornjih dihalnih poti.
- Cigaretetni dim: produkti zgorevanja tobaka vsebujejo zmes trdnih delcev, plinov in hlapnih organskih spojin, ki škodujejo zdravju. Katran in nikotin v cigarettnem dimu sta karcinogeni snovi.
- Hlapne organske spojine: pri analizah zraka v poslopih so odkrili več kot 500 hlapnih organskih spojin, ki so posledica uporabe čistil, lepil, barv, opreme in delovanja nekaterih strojev.
- Radon: je radioaktiven plin, ki se v naravi pojavlja pri razpadu radija, ta pa nastane z razpadom urana. Ker sta uran in radij v majhnih količinah sestavni del strukture tal, radon v večjih ali manjših količinah najdemo povsod. Radon v objektu razpada in oddaja delce alfa, ki se usedajo na lebdeče respirabilne prašne delce v zraku, ki nato lahko poškodujejo pljučno tkivo.

SINDROM BOLNE STAVBE

Energetska kriza na začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja je botrovala k miselnosti, da je treba z energijo varčevati za vsako ceno. Stavbe so postale zrakotesne, zmanjšale so se količine v stavbo dovedenega svežega zraka z mehanskimi prezračevalnimi sistemi. To je neposredno zmanjšalo kakovost zraka v notranjem okolju stavb. V nasprotju z zmanjševanjem količin svežega zraka v stavbah pa se je pojavilo čedalje več izvorov onesnaženja zraka, obstoječi izvori onesnaženja pa so imeli večji vpliv zaradi zmanjšane količine svežega zraka. Novi gradbeni materiali, pohištvo, laserski tiskalniki, fotokopirni stroji, čistila in ljudje sami (vonjave, dihanje, parfumi ...) predstavljajo izvor številnih onesnaževalcev, ki pomenijo potencialno nevarnost za človekovo ugodje ter zdravje. Posledica je nastanek bolnih stavb. Pojem "sindrom bolne stavbe" (*sick building syndrome*) je sinonim za bivanjske pogoje, pri katerih vsaj 20 % ljudi, ki živijo ali delajo v takšni stavbi, poroča o bolezenskih znakih, ki so povezani z bivanjem v stavbi. Že leta 1984 je poročilo svetovne zdravstvene organizacije (WHO) pokazalo, da je po svetu najmanj 30 % novih in prenovljenih stavb, ki lahko povzročijo težave, povezane s kakovostjo zraka v stavbah [3].

Poleg zaskrbljenosti zaradi zdravstvenih težav ljudi v bolni stavbi je pomembno problem predstaviti tudi z ekonomskega vidika. Bolne stavbe so namreč drage, saj se v taki stavbi zmanjša produktivnost

Ljudi in poveča odsotnost z dela, s tem povezani pa so tudi stroški za zdravstveno nego. Po podatkih Ameriške agencije za varovanje okolja (*United States Environmental Protection Agency, EPA*) za ZDA je znašal letni primanjkljaj zaradi zmanjšane storilnosti, povezane z neustrezno kakovostjo zraka v stavbah, 60 milijard USD [4]. Realna vrednost primanjkljaja pa je še višja, saj veliko ljudi svojih težav ne zna povezati s slabimi pogoji v stavbi. Ocenjeni letni dobitki in prihranki, ki bi jih lahko dobili z izboljšanjem notranjega okolja v ZDA, znašajo med 30 in 170 milijard USD. Pri tej oceni so upoštevani prihranki zaradi zmanjšanih respiratornih obolenj, zmanjšanih alergijskih težav in astme, zmanjšanih simptomov bolne stavbe ter povečane produktivnosti delavcev [1].

KAKOVOST ZRAKA IN OBČUTENJE NOTRANJEGA OKOLJA

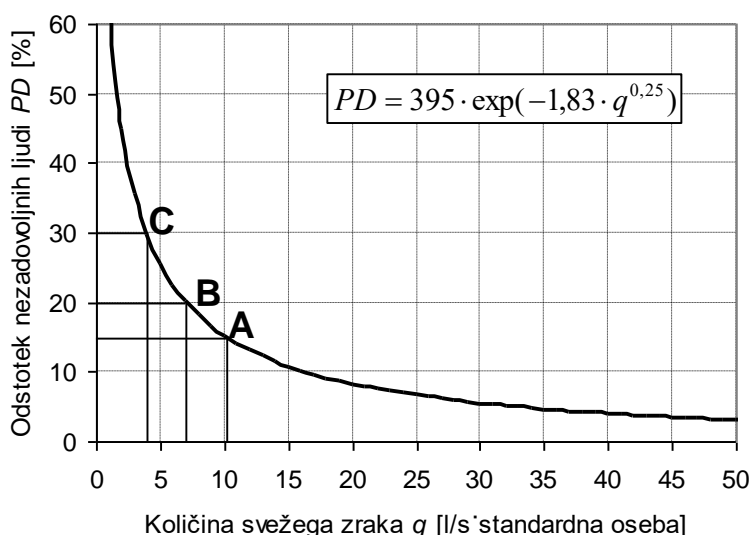
Človek zaznava kakovost zraka z dvema čutiloma, in sicer z vohalnim organom v nosni votlini, ki zaznava več sto tisoč različnih vonjav, ter z drugim čutilom, ki je občutljivo na podobno število kemičnih dražljajev in je v membrani sluznice nosu ter oči. Občutek kakovosti zraka je kombinacija zaznav obeh organov. Občuteno kakovost zraka lahko izrazimo kot odstotek nezadovoljnih oseb, ki neposredno po vstopu v prostor začutijo zrak kot neprijeten. Na žalost nam sama kemična sestava zraka ne daje zanesljive informacije o kakovosti zraka v prostoru oziroma o vonjavah.

Odstotek nezadovoljnih ljudi PD v odvisnosti od količine dovedenega svežega zraka q na eno standardno osebo se lahko določi po enačbi [1]:

$$PD = 395 \cdot (-1,83 \cdot q^{0,25}) \text{ za } q \geq 0,32 \left[\frac{1}{s} \cdot \text{olf} \right] \quad (1)$$

$$PD = 100 \text{ za } q < 0,32 \left[\frac{1}{s} \cdot \text{olf} \right]$$

Slika 1 prikazuje odstotek nezadovoljnih ljudi v odvisnosti od količine dovedenega svežega zraka q na eno standardno osebo za zrak, ki je onesnažen samo zaradi prisotnosti ljudi.



Slika 1: Odstotek nezadovoljnih oseb zaradi slabe kakovosti zraka v prostoru v odvisnosti od količine svežega zraka [2]

Standardna oseba je oseba, ki sedi pri aktivnosti 1 met in je v toplotnem ravnovesju z okolico. To pomeni, da oddaja $58,2 \text{ W/m}^2$ toplote. Vse vrednosti, navedene pri toplotnem ravnotežju človeškega telesa, so navedene v W na površino golega človeškega telesa. Najpogosteje uporabljena enačba za določitev površine človeškega telesa je Du Boisova enačba iz leta 1916 [1]:

$$A_D = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725} \quad (1)$$

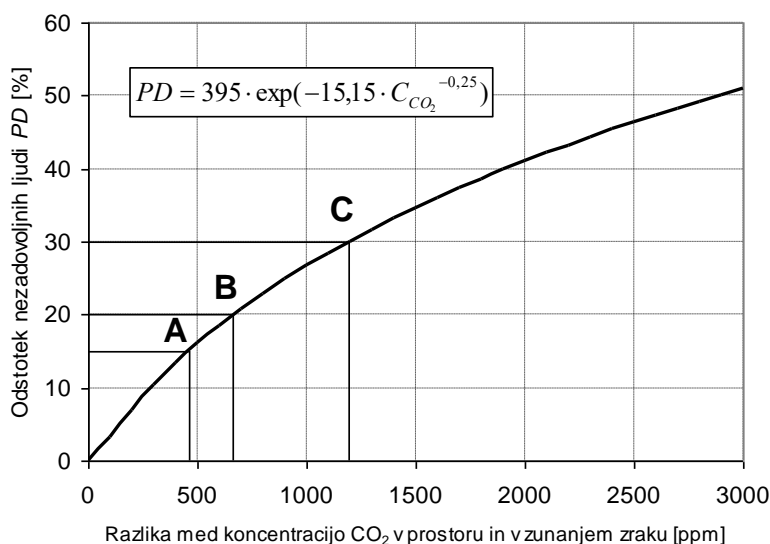
V enačbi (1) so A_D površina človeškega telesa [m^2], m masa telesa [kg] in l telesna višina [m]. Za 1,73 m visoko človeško telo z maso 70 kg (povprečno človeško telo) znaša povprečna površina telesa $1,8 \text{ m}^2$.

Evropsko tehnično poročilo za načrtovanje prezračevanja notranjega okolja iz leta 1998 za kakovost zraka v stavbah določa tri kategorije kakovosti zraka (Tabela 1). Vidimo, da je potrebno za nekadilca za kategorijo A dovesti 10 l/s svežega zraka, pri čemer bo še vedno nezadovoljnih 15 % ljudi v prostoru.

Tabela 1: Kategorije kakovosti zraka v stavbah po CR 1752 [5]

Kategorija	Občutena kakovost zraka	Priporočena količina svežega zraka
	Odstotek nezadovoljnih oseb	[l/s·olf]
A	15	10
B	20	7
C	30	4

Človek pri izdihu odda ogljikov dioksid. Koncentracija CO_2 v prostoru je sorazmerno dober kazalnik kakovosti zraka, vendar je nezanesljiva kot edino merilo za količino dovedenega svežega zraka v prostor, saj ne upošteva drugih možnih vzrokov onesnaženja.



Slika 2: Odstotek nezadovoljnih oseb zaradi slabe kakovosti zraka v prostoru, v odvisnosti od razlike med koncentracijo CO_2 v prostoru in v zunanjem zraku [2]

Slika 2 prikazuje odstotek nezadovoljnih ljudi v odvisnosti od razlike med koncentracijo CO_2 v prostoru in v zunanjem zraku, ki je določen z enačbo:

$$PD = 395 \cdot \exp(-15,15 \cdot C_{\text{CO}_2}^{-0,25}) \quad (3)$$

V enačbi (3) je C_{CO_2} razlika med koncentracijo ogljikovega dioksida v prostoru in zunanjem zraku. Koncentracija CO_2 v zunanjem zraku je povprečno okoli 400 ppm.

EMISIJA RAZLIČNIH IZVOROV V PROSTORU

Na občutenje kakovosti zraka vplivajo tudi emisije različnih izvorov v prostoru. Izvori emisij so lahko ljudje, materiali, človekove aktivnosti v prostoru, čistila, klimatizacijski sistemi itd.

Značilnost oseb, ki kadijo je, da povzročajo večjo emisijo od standardne osebe. Tabela 2 prikazuje emisijo človeka, CO_2 , CO in vodne pare pri različnih aktivnostih. Iz tabele je razvidno, da kadilec, čeprav ne kadi v prostoru, odda bistveno več, natančneje šestkrat več, vonjav od nekadilca.

Tabela 2: Emisija človeka, CO_2 , CO in vodne pare pri različnih aktivnostih

	Emisija človeka [olf/osebo]	Emisija CO_2 [l/h·osebo]	Emisija CO [l/h·osebo]	Vodna para [g/h·osebo]
Sedeča aktivnost, 1,0 – 1,2 met				
0 % kadilcev	1	19		50
20 % kadilcev	2	19	$11 \cdot 10^{-3}$	50
Povečana fizična aktivnost				
Nizka, 3 met	4	50		200
Srednja, 6 met	10	100		430
Visoka, 10 met	20	170		750
Otroci				
Vrtec (3–6 let), 2,7 met	1,2	18		90
Šola (14–16 let), 1,0–1,2 met	1,3	19		50

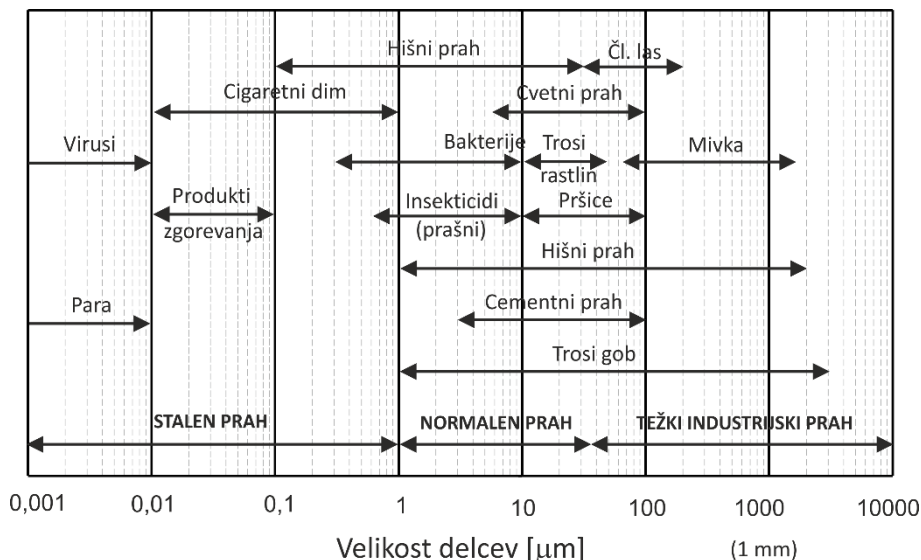
V prostorih povzročajo emisijo tudi razni materiali. Za emisivnost posameznih materialov ni na voljo veliko podatkov. Zato je za posamezne tipe stavb najpogosteje ocenjena kar povprečna emisija na m^2 prostora. Tabela 3 prikazuje emisijo za karakteristične prostore (gradbeni material, notranja oprema in klimatizacijski sistem). Podatki, označeni z nadpisano številko 1, so rezultati 40 umetno prezračevanih objektov na Danskem. Podatki, označeni z nadpisano številko 2, pa so rezultati evropskega projekta [6].

Tabela 3: Emisija notranjih izvirov za karakteristične prostore (gradbeni material, notranja oprema in klimatizacijski sistem)

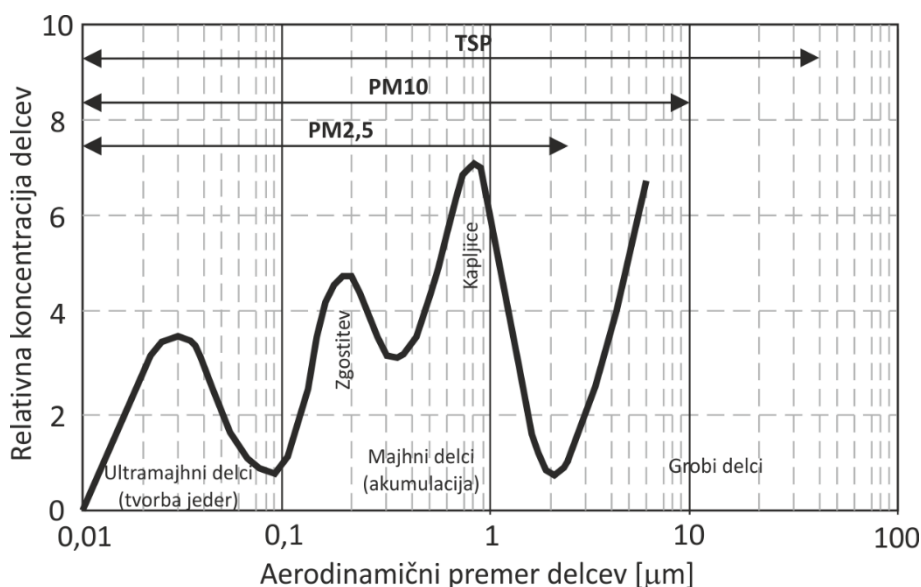
	Jakost izvirov [olf/ m^2 ·tal]	
	Srednja vrednost	Območje
Obstoječe stavbe		
Pisarne ¹	0,3	0,02 – 0,95
Pisarne ²	0,6	0 – 3
Šole (učilnice) ¹	0,3	0,12 – 0,54
Otroški vrtci ¹	0,4	0,20 – 0,74
Sejne dvorane ¹	0,3	0,13 – 1,32
Nove stavbe (brez kajenja)		
Nizko emisijske stavbe	0,1	
Navadne stavbe	0,2	

PRAŠNI DELCI V PROSTORSKEM ZRAKU

Na splošno imamo dva izvora prašnih delcev, in sicer prah lahko vstopa v prostor z zunanjim zrakom ali pa imamo izvor prašnih delcev v prostoru samem. Delci s premerom, večjim od 75 μm , se hitro posedejo, delci s premerom manj kot 50 μm (aerosoli) pa ostajajo v zraku dlje. Aerosoli so kapljičasti ali trdni delci, ki kvazistabilno lebdi v zraku. S hitrostjo, ki je obratno sorazmerna njihovi velikosti, se posedajo na površine v prostoru. Submikronski delci (delci s premerom, manjšim od 1 μm) so podvrženi zakonitostim Brownovega gibanja in se zaradi vpliva gravitacije praktično ne posedajo. Slika 3 prikazuje velikost delcev, ki jih najdemo v prostorskem zraku.



Slika 3: Velikosti prašnih delcev v zraku [2]

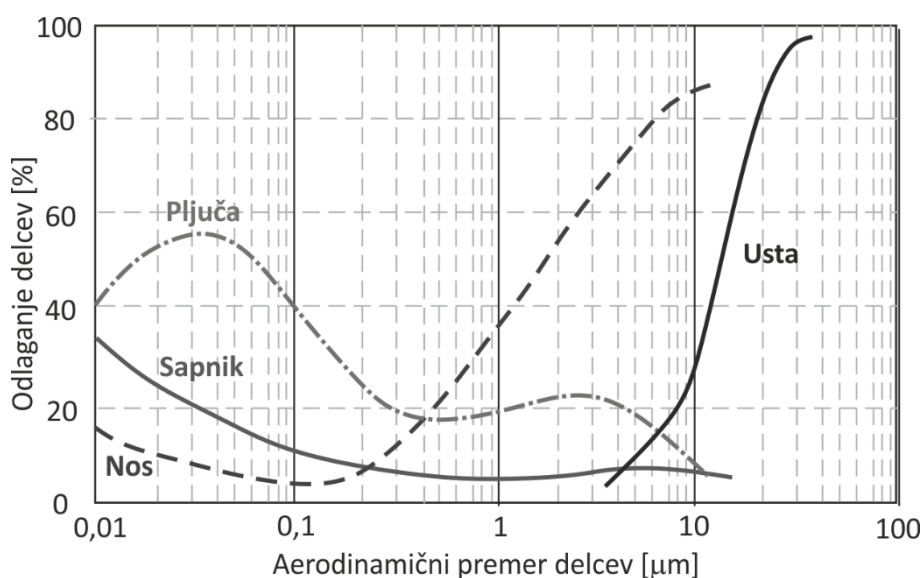


Slika 4: Velikostna porazdelitev delcev v prostorskem zraku [2]

Slika 4 prikazuje masno porazdelitev delcev, ki se nahajajo v zraku, označena pa so tudi tri območja, ki jih običajno pokrivajo naprave za merjenje mase prahu v zraku. Območje *TSP* (*Total Suspended*

Particles) ali celotna merjena količina prahu označuje območje delcev, velikih od 0 do 40 μm . Delež PM_{10} (*Particulate Matter* < 10 μm) predstavlja maso delcev, manjših od 10 μm , delež $PM_{2,5}$ pa maso delcev, manjših od 2,5 μm . Vse vrednosti so izražene z aerodinamičnim premerom delcev.

Prašni delci z vdihavanjem prodrejo v notranjost človeškega telesa. Tam povzročijo vzdraženje in povečano občutljivost, ki v nekaterih primerih lahko vodita do kroničnih bolezni dihal. Prašni delci v prostorskem zraku imajo izjemno veliko sposobnost prenosa bolezni med ljudmi, ki so v istem prostoru. Slika 5 prikazuje približen potek odlaganja prašnih delcev v človekovih organih. S slike je razvidno, da je količina prašnih delcev, večjih od 3 μm , ki prodrejo v notranjost, večja, če človek diha skozi usta. Delci, manjši od 1,5 μm , skoraj v celoti prodrejo v notranjost človekovih pljuč. Prašni delci so še posebej problematični za astmatične bolnike.



Slika 5: Odlaganje prašnih delcev v posameznih predelih človekovih dihal [2]

Na površini prašnih delcev lahko pride do adsorpcije hlapnih organskih spojin. Če takšen delec prodre v dihalne organe in je snov toksična, potem je to zdravju škodljivo. Prah je lahko tudi medij za razvoj mikroorganizmov, saj vsebuje dovolj hranljivih snovi za njihov razvoj. Stopnja hranljivosti prahu je odvisna od količine vlage v prostoru, pH-faktorja, količine organskih snovi in količin vodika, dušika ter ogljika. Prašne delce merimo kot masno koncentracijo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] ali pa kot število delcev v merjenem pretoku zraka, ki se jih razdeli v merjene razrede delcev.

ZAKLJUČEK

V prispevku smo prikazali osnovno problematiko vrednotenja notranjega okolja. Zavedanje o pomenu zagotavljanja kakovosti zraka v prostorih se dviga tudi v Sloveniji. Zaradi energetske učinkovitosti se stavbe zopet tesnijo, pri čemer se ne sme pozabiti na kakovost zraka v prostoru. Če so stavbe zrakotesne, je pametno vgraditi centralni ali lokalni prezračevalni sistem, ki bo s primernim vzdrževanjem zagotavljal ustrezno kakovost zraka v prostorih.

LITERATURA

- [1] MUHIČ, Simon. *Prenos toplote in snovi v stavbah*. Novo mesto: Fakulteta za tehnologije in sisteme, 2017. ISBN 978-961-6770-38-5.
- [2] MUHIČ, Simon. *Kakovost in distribucija zraka na delovnih mestih v zaprtih prostorih*. B.m., 2001. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- [3] EPA, Us in Indoor ENVIRONMENTS DIVISION. *Indoor Air Facts No. 4 Sick Building Syndrome*. 1991.
- [4] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Economic Impacts of Indoor Air Pollution. Report to Congress on Indoor Air Quality. Volume II: Assessment and Control of Indoor Air Pollution, Chapter 5.: Office of Air and Radiation. Publication No. EPA/400/1-89/001C*. 1989.
- [5] CEN/TC 156. *CR 1752: Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment*. Brussels: European Committee for Standardization. 1998
- [6] *European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings | Project | FP3 | CORDIS | European Commission* [na spletu]. [dostopano 21. 08. 2019]. Dostopno: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/4751/factsheet/en>

OPOMBA

Operacija Informiranje in ozaveščanje o potencialu učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije za sonaravni razvoj (in.OVE.in.URE) je bila potrjena na drugem Javnem pozivu za izbor operacij za uresničevanje ciljev Strategije lokalnega razvoja na območju LAS STIK v letu 2017.