

**Марина П. Јовановић* , Биљана С. Вучићевић,
Валентијина М. Турањанин, Марија М. Живковић,
Сандра П. Сћефановић**

Лабораторија за термотехнику и енергетику,
Институт за нуклеарне науке „Винча”, Универзитет у Београду, Београд, Србија

Истраживање унутрашњег загађења ваздуха у учионицама основне школе

Стручни рад

Деца представљају популацију која је посебно осетљива на присуство загађујућих материја у затвореном простору. Квалитет унутрашњег ваздуха је значајан утицајни параметар на здравље деце. На квалитет унутрашњег ваздуха у школама утичу загађење спољашњег ваздуха, начин вентилације у просторијама, велики број деце у учионицама као и њихова активност. За процену квалитета унутрашњег ваздуха, сprovedена су мерења на шест мерних места (у пет учионица и једно мерно место изван школе), у једној основној школи у урбаном окружењу. У раду су представљене и анализирани концентрације различитих физичких и хемијских загађивача у унутрашњој и спољашњој средини: угљен-диоксид, озон, азот-диоксид, формалдехид, испарљива органска једињења, суспендоване чврсте честице различитих пречника (до 2.5 μm и 10 μm) и полициклични ароматични угљоводоници у честицама до 10 μm . Анализа резултата сprovedених мерења је показала да на повећање концентрације анализираних загађујућих полупаната највише утичу грађевински материјали конструкције зграде (зидови, подови, таваница), намештај, боје, лакови и сагоревање угља у котлу за добијање топлотне енергије за загревање простора.

Кључне речи: квалитет ваздуха у учионицама, главни загађивачи унутрашњег ваздуха, школа

Увод

Током недеље ђаци у просеку проводе у школи 87% свога времена проведеног у унутрашњем простору, где су изложени различитим утицајима околине. Загађење унутрашњег ваздуха у школама може да настане услед недовољне и неадекватне вентилације, коришћењем различитих производа за чишћење и услед емитовања различитих хемијских једињења из грађевинских материјала или намештаја. Параметри квалитета унутрашњег ваздуха (IAQ), као што су ниво загађујућих материја, влага или температура директно утичу на здравље и радне

* Одговорни аутор; електронска адреса: marinaj@vinca.rs

капацитете код школске деце, као и на удобност боравка наставника и особља у школама. У многим студијама је показана директна зависност између лошег квалитета унутрашњег ваздуха и здравствених проблема оних који бораве у таквим срединама. Лоша вентилација и спољашње загађење услед саобраћаја могу да проузрокују симптоме и проблеме везане за астму код школске деце. Такође, потврђено је да због болести и одсуства из школе опада радни капацитет код деце [1, 2]. У Републици Србији (РС), удео школске деце узраста од 7 до 14 година у укупној популацији земље износи 7.5%, док чак сваки 10-ти има астму. Истраживања која су спроведена у Београду, који представља репрезентативни узорак земље, показују да 8,9% деце која похађају основну школу пати од ове болести [3].

Циљ овог рад је да одреди и покаже ниво квалитета унутрашњег ваздуха у школи, окарактерише унутрашње и спољашње загађење ваздуха и упореди концентрацију главних загађивача са препорученим вредностима.

Опис мерних места

Мерења полутаната у спољашњем и унутрашњем ваздуху су спроведена у основној школи која се налази у централној зони (трговинско-стамбени део) Зајечара, града смештеног на истоку Србије. На сл. 1 приказан је план приземља основне школе са обележеним мерним местима (учионице I, II, III и IIIa). Зграда школе је стара 40 година, укупан број ученика који похађа ову школу је 750, а број особља у школи је 70. Учионице се користе 10 сати сваког радног дана, а у свакој учионици има 28 ученика. Потенцијални извори загађења ваздуха који се налазе у близини, а који могу утицати на квалитет унутрашњег ваздуха су: котлоустанак за грејање у подруму школе, топлана на растојању до 1 km, складиштено гориво за котлоустанак у подруму школе, фабрика која се налази у зони до 10 km од школе и индивидуалне пећи на фосилана горива у свакој околној кући. У школи се остварује природна вентилација, ниједна учионица у школи нема клима уређај. Лоша вентилација и стање котла доводе до тога да продукти



Слика 1. План приземља у основној школи „Љубица Радосављевић-Нада”

сагоревања продиру до најближе учионице и ходник у приземљу школе. Учионице се налазе у врло лошем стању. Под у учионицама које су узете у разматрање приликом мерења је бетонски и прекривен је старим теписима или линолеумом. На теписима је почела да се хвата буђ тако да је у учионицама присутан мирис од буђи. Прозори су у лошем стању, а у зимском периоду обично је отворен један од четири прозора у учионици.

Циљ овог рада је да се представе и анализирају резултати узорковања загађивача у ваздуху у унутрашњој и спољној средини који утичу на IAQ. Као квалитативни параметри унутрашњег и спољашњег ваздуха измерени су и анализирани следећи загађивачи: респираторне суспендоване чврсте честице до 10 μm (PM_{10}), респираторне суспендоване чврсте честице мање од 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), полициклични ароматични хидрокарбонати у PM_{10} (ПАН у PM_{10}), испарива органска једињења (VOC), формалдехид (НСНО), озон (O_3), азот-диоксид (NO_2) и угљен-диоксид (CO_2). Узорковање је урађено у пет учионица које су означене на сл. 1, и у спољашњој средини у непосредној близини школе. У овом истраживању нису разматрани здравствени симптоми код деце који могу бити узорковани лошим квалитетом унутрашњег ваздуха.

Главни загађивачи који утичу на унутрашње загађење ваздуха

Карактеристични извори загађивача унутрашњег ваздуха у школама су различити: грађевински материјали зграде, боје, лакови, растварачи, продукти сагоревања услед сагоревања фосилних горива за добијање топлотне енергије, нус-производи настали током активности корисника зграде, биолошки извори, итд. Данас је врло тешко квантификовати изложеност од стране унутрашњих загађивача (лична изложеност унутрашњим загађивачима), нарочито оних полутаната који могу да утичу на здравље људи (феномен који је назван синдром болесне зграде SBS).

Концентрација суспендованих чврстих честица (PM) су веће у унутрашњој средини него у спољашњој, у случају када се извори чврстих честица налазе у непосредној близини (пећи за кување на гас и угаљ, котло за грејање, дим од цигарета као што је показано у многим студијама). Такође је установљено да чишћење може да проузрокује поновну ре-суспензију ових честица са тепиха и намештаја [4, 5]. Удисање финих PM је повезано са повећањем респираторних здравствених проблема (астма, бронхитис, и др.).

Полициклични ароматични хидрокарбонати (ПАН) настали као резултат некомплетног сагоревања, апсорбују се у чврстим честицама.

Испарива органска једињења (VOC) настају из различитих извора загађења, а концентрације појединачних компонената могу да буду различите, у зависности од присуства или одсуства извора потенцијалне емисије. Главни извори VOC који утичу на загађење унутрашњег ваздуха у школама су: грађевински материјали, намештај и текстил, средства за лепљење, боје, пећи које сагоревају фосилно гориво, разне потрештине за учионице, потрошачки производи, копир машине и производи за чишћење. Пронађено је да висока концентрација трихлоретилена и 1,4-дихлоробензена потиче од намештаја (као што је кожа) [5, 6]. Према литератури [5], школски намештај (клубе, столице итд.) и грађевински материјали могу да повећају ниво формалдехида и VOC загађивача у унутрашњем ваздуху, а њихово присуство представља главне изазиваче SBS.

Концентрација формалдехида (НСНО) зависи од присуства примарних извора емисије као што су грађевински материјали (иверица, плоче средње густине, шперплоча, смоле, лепкови и материјали који се користе за тепихе). Концентрација формалдехида зависи од температуре и влаге унутрашњег ваздуха, а унутрашње концентрације су обично много више од спољашњих. Формалдехид је уобичајени загађивач који се јавља у школама и може бити емитован из намештаја, таванице, дрвених полица и ормана [7].

Азот диоксид (NO_2) настаје у котловима при процесима сагоревања фосилних горива, у гасним пећима као и при сагоревању цигарета. Међутим, спољашњи ваздух има велики утицај на концентрацију NO_2 у унутрашњем ваздуху.

Угљендиоксид (CO_2) се јавља током метаболичких процеса код деце и особља која бораве у школама као и при сагоревању фосилних горива у пећима за загревање простора. Однос концентрације CO_2 у унутрашњем и спољашњем ваздуху се обично креће у опсегу од 1–3.

Озон (O_3) као реактиван гас јавља се у малим концентрацијама у унутрашњем ваздуху у односу на концентрацију озона која се јавља у спољној средини. Ово настаје услед врло брзе реакције овог гаса са површинама у унутрашњој средини.

Метод узорковања и мерење

Резултати мерења полутаната засновани су на мерењима која су спроведена у априлу 2012, и трајала су осам дана (или за неке загађиваче 10 дана). Узорковање је обављано у унутрашњој и спољашњој средини. Спољашње узорковање је рађено на једном мерном месту, док је унутрашње узорковање обављано на пет мерних места (нису сви полутанти мерени у свим учионицама). Средња вредност унутрашње и спољашње концентрације загађивача, минималне и максималне вредности загађивача као и однос унутрашње и спољашње концентрације загађивача (I/O) представљени су у табл. 1.

Узорковање $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10} је урађено помоћу кварцних филтера коришћењем узорача мале запремине (Sven Leckel LVS3), па је концентрација чврстих честица

прорачуната на основу масе и протока. Средње вредности унутрашњих и спољашњих концентрација $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10} , за цео период узорковања од 192 h, су прорачунате на основу средњих 24-h концентрација у учионицама, сл. 2 и табл. 1.

РАН су мерени за сваку групу чврстих честица, а урађена су мерења и у гасној фази. У овом раду је анализирано укупно 16 изме-

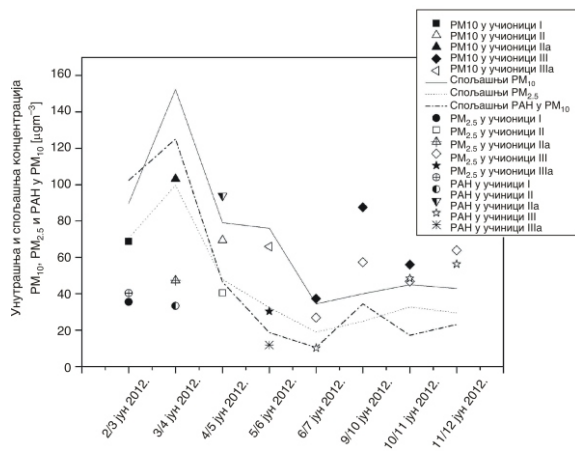
Табела 1. Концентрација загађивача

Унутрашњи загађивачи ваздуха [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Средња вредност SD		Минимум	Максимум	I/O
PM_{10}	70.63	19.8	37.32	103.14	1.01
$\text{PM}_{2.5}$	43.58	12.9	26.88	63.92	0.98
РАН у PM_{10}	61.66	61.4	10.19	198.73	1.30
VOC	48.67	11.3	39.71	61.32	31.96
НСНО	63.74	22.8	42.98	88.15	12.58
O_3	15.51	6.50	8.82	15.90	0.07
NO_2	15.02	7.50	7.53	22.45	1.64
CO_2	1.11	0.04	1.09	1.15	1.35

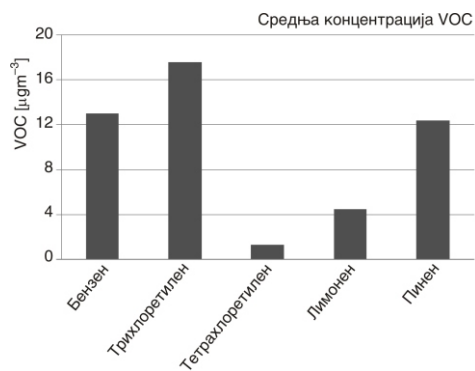
рених једињења ПАХ: нафта-лен, аценафтилен, аценаф-тен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бензо(а)нтац, кризен, бензо-(б)флуорантен, бензо(к)флуо-рантен, бензо(а)пирен, инде-но(1,2,3-цд)пирен, дибензо(а,х)-антрацен, бензо(г,х,и)перилен. ПАХ су сакупљени, припремани и анализирани према Compendium Method TO-13A [8]. Ана-лиза ових једињења је урађена помоћу гасног хроматографа са масеним спектрометром (ГС-МС). Слика 2 показује средњу дневну концентрацију ПАХ у PM_{10} . Израчуната је средња кон- центрација ПАХ у PM_{10} за пе- риод узорковања од 192 h у учионицама I, II, III и IIIa (табл. 1).

Комплексна мешавина сачињена од пет појединачних једињења VOC представља укупну концентрацију VOC. У овом раду разматрана су следећа једињења VOC: бензен, три-хлоретилен, тетрахлоретилен, ли-монен и пинен. Слика 3 показује сре-дњу вредност појединичних кон-центрација компонената VOC.

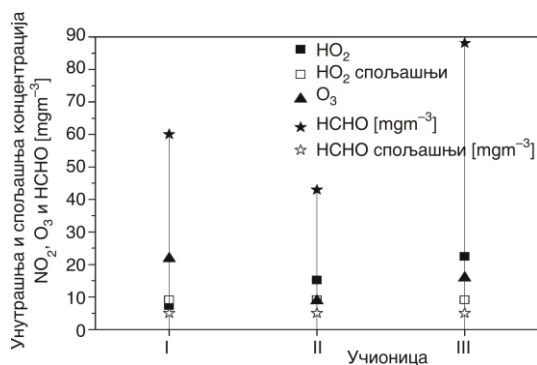
Узорци су сакупљани помоћу дифузивног узоркивача (Radiello), у учионицама I, II и III и у спољашњој средини, тако да вредности које се налазе у табл. 1 представљају средње концентрације (укупна средња кон-центрација појединачних компоне-ната VOC) током 242-h периода узор-ковања. Укупна концентрација NO_2 , O_3 и $HCHO$ је измерена за период од 242 h (период узорковања од 2–12 априла 2012) коришћењем дифузио-ног узоркивача (Radioello, један узоркивач за сваки полутант). После завршеног узорковања и анализе, добијене вредности за сваки полу-тант представљају средњу вредност концентрације за дати полутант у спољашњој средини, и у три учио-нице (I, II и III), табл. 1 и сл. 4.



Слика 2. Средња дневна концентрација чврстих честица и ПАХ у PM_{10}



Слика 3. Средња дневна концентрација чврстих честица и ПАХ у PM_{10}



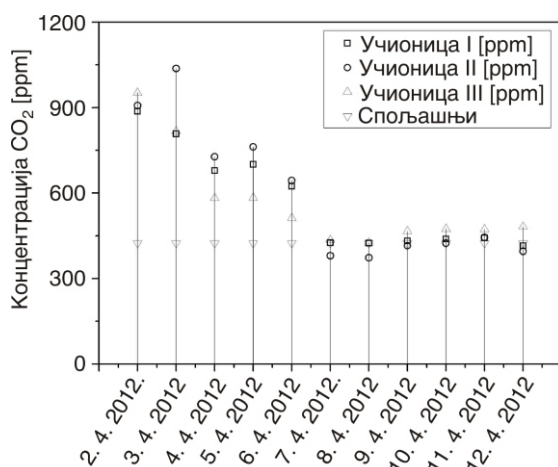
Слика 4. Средње вредности унутрашње и спољашње концентрације NO_2 , O_3 и $HCHO$ за време узорковања од 2. 4. 2012. до 12. 4. 2012.

Унутрашња CO_2 концентрација је одређена помоћу инструмента Тесто 435, са одговарајућом сондом (IAQ 0632 1535), која има прецизност мерења од ppm у опсегу мерења од 0–5000 ppm.

Унутрашња концентрација CO_2 је измерена инструментом Тесто 445, који има прецизност мерења од 50 ppm у опсегу мерења од 0–10.000 ppm. Мерења су спроведена на сваких 10 минута, на свим мерним местима током мерног периода. У анализи резултата користила се средња дневна концентрација CO_2 . На сл. 5 приказане су средње вредности дневне концентрације CO_2 у унутрашњој и спољашњој средини.

Резултати и дискусија

Средње вредности концентрације PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ добијене су на основу измерених података, током периода мерења од осам дана (табл. 1). Средња унутрашња концентрација PM_{10} је износила $70,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (минимална и максимална концентрација је била $37,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ односно $103,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Средња унутрашња концентрација $\text{PM}_{2.5}$ је износила $43,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (минимална и максимална концентрација је била $26,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ односно $63,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Резултати су показали да су средње концентрације PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ у спољашњој средини биле веће од концентрација PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ у учионицама, за 20% односно 32% (у учионицама: I, II, III и IIIa). Међутим, на основу измерених вредности у учионици III, концентрације PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ у унутрашњој средини су биле веће од спољашњих вредности (средње унутрашње концентрације PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ су биле $64,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ и $48,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, док су средње спољашње концентрације PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ износиле $40,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ односно $26,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Према упутству 2005 WHO за квалитет ваздуха (AQG), које даје граничне вредности за спољашње полутанте, средње вредности за 24-h концентрације PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ су $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ односно $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [9, 10]. Средње вредности спољашњих концентрација PM_{10} биле су изнад дозвољених граничних вредности за спољашњи ваздух када су у питању следећи мерни дани: 2/3;3/4;4/5;5/6 април; и биле су више од унутрашњих концентрација у учионицама I, II, III и IIIa. Средње вредности спољашњих концентрација $\text{PM}_{2.5}$ су прелазиле граничне вредности за спољашњи ваздух за све мерне дане: 2/3;3/4;4/5;5/6;6/7;9/10;10/11;11/12 април.



Слика 5. Средњи дневни ниво унутрашње и спољашње концентрације CO_2

Када су анализиране вредности PM_{10} у учионици III, примећено је да су концентрације у унутрашњој средини биле неколико пута веће у учионици III, у поређењу са вредностима измереним у спољашњој средини. На другим мерним местима (учионице I, II, III и IIIa), унутрашње концентрације PM_{10} су биле ниже, приближно за 46%, од вредности које су измерене у спољашњој средини. Учионица III се налази у приземљу, у близини котла који се налази у подруму школе. Предпоставља се да услед некомплетног сагоревања, неадекватног одвођења

димних гасова из ложишта котла и лоше вентилације у подруму, расте присуство чврстих честица PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PAH у PM_{10} у најближој учионици III. Такође, јавља се ресуспензија ових чврстих честица услед ходања и трчања деце за време одмора.

Према мерењима VOC , ниво појединачних компонента VOC се налази у интервалу од 0,39 до 29,15 $\mu g/m^3$. Слика 3 показује средње вредности концентрације појединачних VOC , тако да су измерене највеће концентрације трихлоретилена од 17,53 $\mu g/m^3$, затим бензена од 13,0 $\mu g/m^3$, пинена 12,35 $\mu g/m^3$, лимонена 4,48 $\mu g/m^3$ и тетрачлоретилена од 1,32 $\mu g/m^3$. Средња вредност укупних VOC је била 48,67 $\mu g/m^3$, (минимална и максимална вредност је износила 39,71 $\mu g/m^3$ односно 61,32 $\mu g/m^3$), док је спољашња вредност износила 1,46 $\mu g/m^3$ (табл. 1). Максималне концентрације су измерене у учионици III ($VOC = 61,32 \mu g/m^3$). Већи број стандарда разматра као прихватљиве вредности оне вредности које се налазе у опсегу између 200 $\mu g/m^3$ и 500 $\mu g/m^3$ [7]. Укупна концентрација мешавине пет појединачних компонента VOC је била испод разматраних вредности.

Средње вредности формалдехида у учионицама I, II и III, за време узорковања, била је 63,74 $\mu g/m^3$, док је средња вредност спољашње концентрације $НСНО$ била 5,07 $\mu g/m^3$ (табл. 1). Ниво који је пронађен у школи је значајно виши од 30 $\mu g/m^3$ (0,022 ppm), што представља граничну препоручену вредност у упутствима [11].

Средње вредности озона у унутрашњој средини биле су много мање од средње вредности измерене у спољашњој средини (15,51 $\mu g/m^3$ односно 217,71 $\mu g/m^3$, табл. 1). Препоручена дневна максимална вредност озона је 100 $\mu g/m^3$ [12].

За период узорковања, унутрашња концентрација NO_2 била је 15,02 $\mu g/m^3$ у учионицама I, II и III, док је спољашња концентрација NO_2 била мања (9,14 $\mu g/m^3$, табл. 1). Примећена је повећана концентрација NO_2 у учионици IIIа. Претпоставља се да је разлог непотпуно сагоревање угља у ложишту котла.

Средња унутрашња концентрација CO_2 је била 575 ppm (1,11 $\mu g/m^3$) (минимална и максимална концентрација је износила 562 ppm (1,09 $\mu g/m^3$) односно 592 ppm (1,15 $\mu g/m^3$), табл. 1. Средња вредност спољашње концентрације CO_2 је била 424 ppm (0,82 $\mu g/m^3$). Препоручена вредност за концентрацију CO_2 је 1000 ppm [12]. Међутим, примећено је да су се највеће вредности концентрације CO_2 јављале у јутарњим сатима, обично од 8 сати преподне па до 12:30 поподне, у учионицама I, II и III (1655 ppm у учионици I; 1423 ppm у учионици II и 1453 ppm у учионици III).

Закључак

Рад је имао за циљ да прикаже испитивање квалитета ваздуха у једној основној школи која је смештена у граду на истоку Србије. Приказан је однос између загађења у унутрашњој и спољашњој средини у пет учионица и урађена је карактеризација концентрације загађивача. Ниво загађења ваздуха може бити одређен на основу приказаних истраживања, после чега је могуће увести корективне мере. Резултати су показали повећање концентрације PM_{10} , $PM_{2.5}$ и PAH у PM_{10} у учионици III, која је најближа котлу који сагорева угљ за добијање топлотне енергије за грејање простора. Средња вредност формалдехида у учионицама је значајно већа од препоручене вредности. Претпоставља се да је узрок емисија формалдехида из старог намештаја, дрвених полица и тепиха.

Претпоставља се да се повећане концентрације загађивача у школи јављају услед неадекватне и некомплетне вентилације, непотпуног сагоревања угља у ложишту котла, лошег одвођења димних гасова, старих тепиха и линолеума у

посматралим учионицама. Такође, установљено је да се прозори налазе у лошем стању. Мерењима је утврђено да су енергетске перформансе енvelope зграде незадовољавајуће [13].

Препоручује се реконструкција котла, замена угља као основног горива, повећање ефикасности сагоревања котла, свеобухватни програм реновирања школе (замена прозора, намештаја и тепиха), боље одвођење продуката сагоревања, побољшање вентилације у околини котла и побољшање природне вентилације у учионицама. Сличан програм мерења и реновирања препоручује се и у другим школама, које су сличног периода градње, са системом природне вентилације и користе угаљ за грејање простора.

Захвалност

Истраживања су спроведена у оквиру пројеката: FP7-ENV-2010: PURGE-Public Health Impacts in Urban Environments of Greenhouse Gas Emissions Reduction Strategies, Project number: 265325, који је финансиран од стране ЕС; (2) Побољшање енергетских карактеристика и квалитета унутрашњег ваздуха у школама у Србији са утицајем на здравље, Број пројекта: III42008, финансиран од Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (јануар 2011–децембер 2014).

Литература

- [1] Silverstein, M. D., *et al.*, School Attendance and School Performance: A Population-Based Study of Children with Asthma, *Journal of Pediatrics*, 139 (2001), 2, 278-283
- [2] Moonie, S., *et al.*, The Relationship between School Absence, Academic Performance, and Asthma Status, *Journal of School Health*, 78 (2008), 140-148
- [3] ***, Statistical Office of the Republic of Serbia, Belgrade, 2012
- [4] Chan, L. Y., Kwok, W. S., Chan, C. Y., Human Exposure to Respirable Suspended Particulate and Airborne Lead in Different Roadside Microenvironments, *Chemosphere*, 41 (2000), 93-99
- [5] Jones, A. P., Indoor Air Quality and Health, *Atmospheric Environment*, 33 (1999), 4535-4564
- [6] Yang, W., *et al.*, Indoor Air Quality Investigation According to Age of the School Buildings in Korea, *Journal of Environmental Management*, 90 (2009), 348-354
- [7] ***, Reviewing and Refocusing on IAQ in Schools, Republished with Permission of Air Quality Sciences, 2006
- [8] ***, Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), Center for Environmental Research Information Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH USA, January, 1999
- [9] ***, Report on a Working Group Meeting, WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005, Bonn, Germany, Available online at: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/147851/E87950.pdf
- [10] ***, Regulation of the Conditions and Requirements for Monitoring Air Quality (RS Official Gazette no.11/2010), Available online at: http://www.grntch.com/images/ASHRAE_Standard62/01_04.pdf
- [11] ***, Greenguard Emission Standard for Educational Environments, Greenguard Children & School Certification, Available online at: http://www.greenguard.org/en/CertificationPrograms/CertificationPrograms_indoorAirQuality.aspx
- [12] ***, ANSI/ASHRAE Standard 62/2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- [13] Lazović, I., *et al.*, Measurement of the Energy Envelope Features of the Primary School Qubica Radosavljević – Nada in Zaječar, *Proceedings*, International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, 2012

Abstract

Indoor Pollution Investigation in Primary School Classrooms

by

Marina P. JOVANOVIĆ *, *Biļjana S. VUČIĆEVIĆ*, *Valentina M. TURANJANIN*,
Marija M. ŽIVKOVIĆ, and *Sandra P. STEFANOVIĆ*

**Laboratory for Thermal Engineering and Energy,
Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia**

Children are particularly vulnerable population for the presence of pollutants in indoor environment. Therefore, there is a great importance of air quality to the children health. Outdoor air pollution, the way of interior ventilation, a large number of children in classrooms and their activities will also affect on air quality in schools. In order to evaluate quality of the interior air, set of measurements were conducted at six measuring points (in five classrooms and one outside) in an elementary school in the urban setting. This paper presents and analyzes concentrations of different physical and chemical pollutants in the indoor and outdoor environment: carbon-dioxide, ozone, formaldehyde, nitric dioxide, volatile organic compounds, total suspended particles and particulate matters with different diameters (up to 2.5 μm and 10 μm), and polycyclic aromatic hydrocarbon. The furniture, the construction materials of building, walls and floors construction materials, paints, varnishes as well as combustion of coal in the furnace of the boiler for heating space affect the increase concentrations of the analyzed pollutants.

Key words: classroom air quality, key indoor air pollutions, school

* Corresponding author; e-mail: marinaj@vinca.rs

Рад примљен: 3. октобра 2013.
Рад ревидиран: 5. јануара 2014.
Рад прихваћен: 7. јануара 2014.