

# Analiza primjene mjera energetske efikasnosti na smanjenje zagađenja česticama (PM<sub>2,5</sub>)

Sara Radišić<sup>1</sup>, Petar Gvero<sup>1</sup>, Milovan Kotur<sup>1</sup>, Milan Pupčević<sup>1</sup>, Đorđe Vojinović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH

<sup>2</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, BiH

radisic.sara@gmail.com, petar.gvero@mf.unibl.org, milovan.kotur@mf.unibl.org, milan.pupcevic@mf.unibl.org, djordje.vojnovic@tf.unibl.org

**Sažetak**—U radu su navedene teorijske osnove zagađenja česticama. U istraživanju su prikazane mjere energetske efikasnosti i rezultati trenutnog zagađenja česticama i zagađenja poslije primijenjenih mjera. Istraživanje je izvršeno u urbanom dijelu grada Banjaluke. Cilj rada je da prikaže zavisnost između zagađenja i energetske efikasnosti i takođe, da pokaže način na koji je moguće uticati na smanjenje zagađenja.

**Ključne riječi**—Čestice; Tipologija zgrada; Energetska efikasnost;

## I. UVOD

Kvalitet vazduha se danas direktno vezuje za kvalitet života. Bosna i Hercegovina je poznata po lošem kvalitetu vazduha. Loš kvalitet vazduha u BiH je direktno povezan s vrstom goriva kao i lošom energetsom efikasnošću sistema grijanja koji se koriste.

Istraživanje u ovom radu predstavlja originalno istraživanje za koje su korišteni podaci iz [1] kao i podaci dobijeni od Republičkog zavoda za statistiku. Na ove podatke su primijenjene mjere energetske efikasnosti opisane u [2]. U radu je prikazano kako se kroz povećanje energetske efikasnosti mogu postići značajna smanjenja emisije štetnih gasova i samim tim omogućiti kvalitetniji život stanovništva.

Prilikom istraživanja u obzir su uzete samo stambene kuće u jednoj od urbanih zona grada Banjaluke kako bi se unificirali podaci za jednu grupu objekata koja je najdominantnija. Odabrano područje analize je posebno zanimljivo zbog širokog spektra starosti i vrste objekata koji se nalaze u naselju.

Za obradu podataka u radu korišten je softverski paket MATLAB.

## II. ZAGAĐENJE ČESTICAMA

Zagađenje vazduha predstavlja atmosfersko stanje kod kojeg je koncentracija određene materije dovoljno velika da može da izazove neželjene efekte na živa bića i njihovu okolinu [3]. Istraživanje je fokusirano na čestice, zbog čega je korišten evropski standard za indeks zagađenosti vazduha (*European Air Quality Index*). Pored evropskog standarda, moguće je koristiti i druge standarde od kojih su najčešći američki (*US Air Quality Index*) i kanadski (*Canadian Air Quality Health Index*) [4].

U Tab. 1 su prikazane vrijednosti indeksa za navedene standarde koji se koriste.

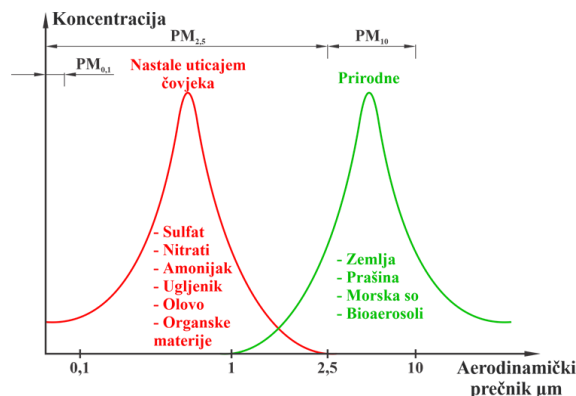
TABELA I. VRIJEDNOSTI INDEKSA ZA RAZLIČITE STANDARDE [4]

| European AQI             | US AQI                                  | Canadian AQHI           |
|--------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|
| Dobar (0 – 10)           | Dobar (0 – 50)                          | Nizak rizik (1 – 3)     |
| Solidan (10 – 20)        | Umjeren (51 – 100)                      | Umjeren rizik (4 – 6)   |
| Umjeren (20 – 25)        | Nezdrav za osjetljive grupe (101 – 150) |                         |
| Loš (25 – 50)            | Nezdrav (151 – 200)                     | Visok rizik (7 – 10)    |
| Veoma loš (50 – 75)      | Veoma nezdrav (201 – 301)               |                         |
| Ekstremno loš (75 – 800) | Opasan (>300)                           | Veoma visok rizik (>10) |

Zagađenje česticama se najčešće dijeli u zavisnosti od aerodinamičkog prečnika čestice gdje se izdvajaju dvije osnovne vrste i to:

- Krupne čestice: PM<sub>10</sub> (aerodinamički prečnik u opsegu 2,5 – 10 µm) i
- Fine čestice: PM<sub>2,5</sub> (aerodinamički prečnik manji od 2,5 µm):
  - Ultra fine čestice: PM<sub>0,1</sub> (aerodinamički prečnik manji od 0,1 µm),
  - Nano čestice PM<sub>0,01</sub> (aerodinamički prečnik manji od 0,01 µm). [5]

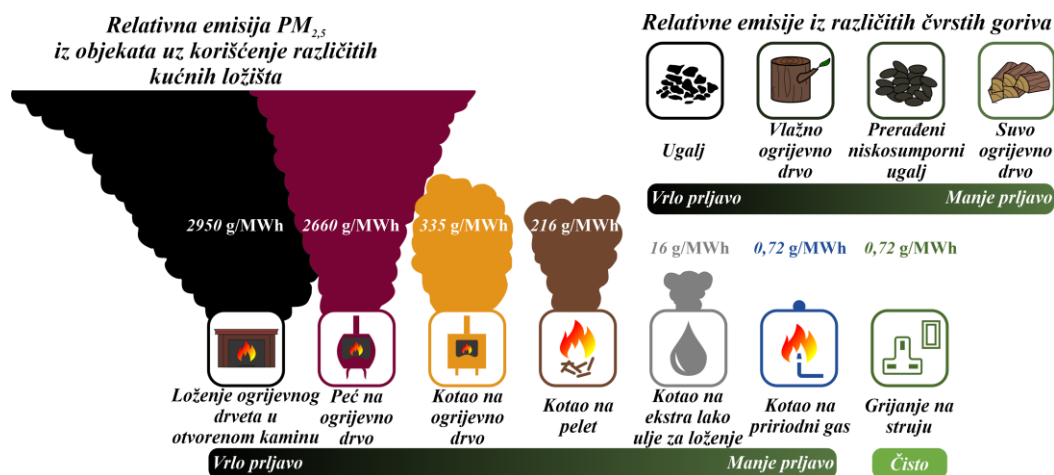
Na Sl. 1 je prikazan dijagram koncentracije različitih čestica, kao i neke od čestica koje se pojavljuju.



Sl. 1. Dijagram koncentracije različitih čestica [5]

Postoje mnogi faktori koji utiču na koncentraciju i distribuciju čestica u vazduhu. Kao značajni uticaji su se izdvojili temperatura (godišnje doba) i vremenski uslovi. U zavisnosti od temperature se mijenja i količina korištenog goriva za zagrijavanje, a samim tim i količina čestica koja se ispušta u vazduh.

Na Sl. 2 su prikazana zagađenja svakog od sistema grijanja, koji su iskorišteni za računanje količine čestica u vazduhu.



Sl. 2. Količine zagađenja česticama u zavisnosti od sistema grijanja i goriva koje se koristi [5]

### III. ANALIZA KOLIČINE ZAGAĐENJA I PRIMIJENJENE MJERE ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Vremenski uslovi utiču na distribuciju tih čestica i njihovo prečišćavanje u vazduhu. Što se tiče rezultata, analiziran je primarno zimski period, odnosno period sezone grijanja u Banjaluci.

Podaci o koncentraciji čestica u vazduhu su podijeljeni u dvije grupe. Prva grupa predstavlja stvarne rezultate mjerenja zagađenja vazduha koji su trenutno aktuelni [1]. Ovi podaci se odnose na stanje kakvo je sada, odnosno stanje na koje su primijenjene mjere energetske efikasnosti. Druga grupa podataka o koncentraciji čestica u vazduhu se odnosi na količinu ispuštenih čestica poslije primijenjenih mjera energetske efikasnosti, odnosno korigovano stanje zagađenosti.

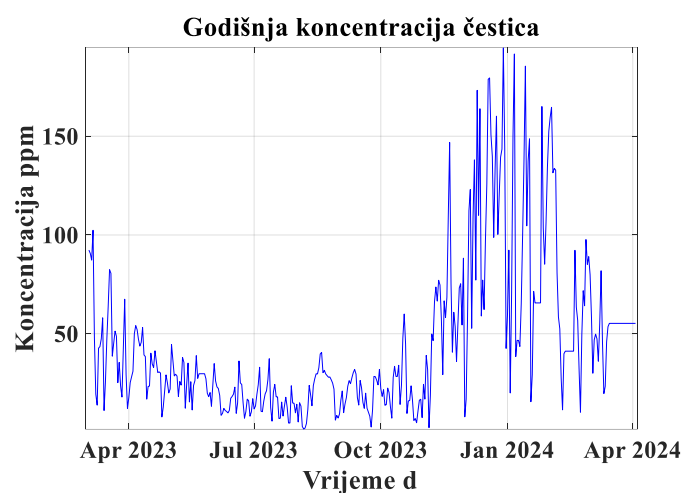
#### A. Rezultati zagađenja vazduha česticama bez primijenjenih mjera energetske efikasnosti

Vrijednosti zagađenja česticama su preuzete s PurpleAir internet stranice i to za dnevne vrijednosti (za dostupni period od 03.03.2023. do 03.04.2024.) i za časovne vrijednosti (za dostupni period od 19.02.2024. do 01.04.2024.).

Dnevne vrijednosti zagađenja vazduha su iskorištene kako bi se vidio uticaj godišnjeg doba odnosno temperature. Koristeći ove podatke, vidi se uticaj sistema grijanja, odnosno goriva koja se koriste za zagrijavanje, na vrijednosti zagađenja. Na te rezultate su primijenjene mjere energetske efikasnosti.

Časovne vrijednosti su iskorištene kako bi se dobili podaci o dnevnom zagađenju, gdje se može vidjeti u kojem periodu dana je zagađenje najveće i koji bi period dana trebao biti fokus što se tiče mjera energetske efikasnosti. Takođe, ovi

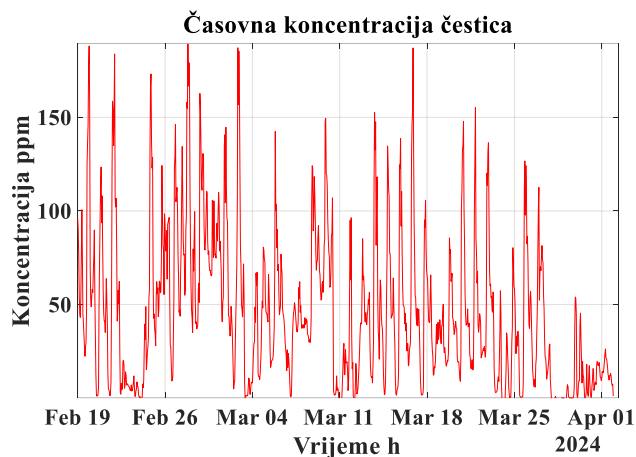
podaci su pokazatelj zagađenja koje dolazi od sagorijevanja pogonskih goriva, te su aktuelni i van sezone grijanja. Na Sl. 3 je prikazana godišnja vrijednost zagađenja po danu.



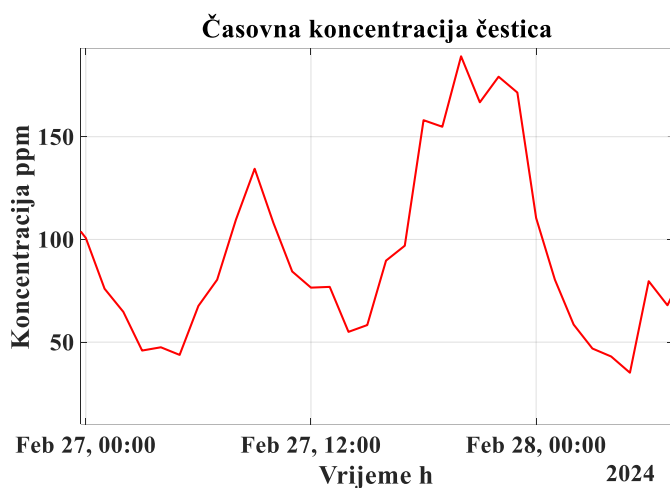
Sl. 3. Godišnja koncentracija čestica po danu

Na Sl. 3 se vidi da je zagađenje znatno veće u periodu sezone grijanja, odakle se vidi uticaj sistema grijanja na zagađenje. Proračunom je dobijeno da je za vrijeme sezone grijanja koncentracija čestica veća za oko 70% u odnosu na ostatak godine. Na tih 70% se primjenjuju navedene mjere dok je ostalih 30% zagađenja uzrokovano ostalim činiocima koji utiču na kvalitet vazduha, pri čemu se izdvaja najviše saobraćaj.

Na Sl. 4 su prikazane časovne vrijednosti zagađenja, dok je na Sl. 5 prikazan jedan dan gdje se vidi u kojim periodima dana dolazi do povećanja, a u kojim periodima dolazi do smanjenja zagađenja.



Sl. 4. Časovna koncentracija čestica u periodu od 19.02.2024. do 01.04.2024.



Sl. 5. Časovna koncentracija čestica u toku jednog dana

Na Sl. 4 se može vidjeti da postoje pikovi zagađenja u toku dana, dok se na Sl. 5 može primijetiti koji periodi dana imaju najveće zagađenje. Periodi najvećeg zagađenja su u toku tzv. vršnih časova, odnosno u periodima s pojačanim protokom saobraćaja na putevima.

### B. Mjere energetske efikasnosti

Primijenjene mjere energetske efikasnosti se odnose isključivo na slobodnostojeće kuće. Podjela kuća je izvršena prema tipologiji stambenih zgrada [2] i prema podacima Republičkog zavoda za statistiku u odnosu na period gradnje, a samim tim i način gradnje. U obzir su uzete kuće s jednim i s dva stana (u zagradi je naznačen broj prizemnih kuća plus broj P+1 kuća) izgrađene poslije 1960. godine u sljedećim periodima:

- kuće izgrađene od 1961. do 1970. godine (1355+327),
- kuće izgrađene od 1971. do 1980. godine (121+135),
- kuće izgrađene od 1981. do 1990. godine (25 +42) i
- kuće izgrađene od 1991. do 2014. godine (88+126).

U radu je izvršena aproksimacija pri čemu je pretpostavljeno da kuće s dva stana troše tačno duplo više toplotne energije za grijanje. Mjere energetske efikasnosti koje su primijenjene se odnose na unapređenje omotača objekta (spoljašnji zid, prozori, pod na tlu/međuspratna konstrukcija iznad negrijanog podruma i međuspratna konstrukcija ispod negrijanog tavana) i unapređenje tehničkih sistema objekta.

U Tab. 2 su prikazane vrijednosti potrošnje toplotne energije bez unapređenja i s dva tipa unapređenja prema [2].

**TABELA II. VRIJEDNOST TOPLOTNE ENERGIJE U MWh PO OBJEKTU U ZAVISNOSTI OD PERIODA IZGRADNJE OBJEKTA I TIPA UNAPREĐENJA [2]**

| Period    | Bez unapređenja | Unapređenje 1 | Unapređenje 2 |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|
| 1961-1970 | 25,87           | 9,56          | 5,94          |
| 1971-1980 | 25,88           | 9,10          | 5,31          |
| 1981-1990 | 13,79           | 7,38          | 5,59          |
| 1991-2014 | 15,70           | 10,58         | 8,26          |

Iz Tab. 2 se vidi da kuće starije gradnje zahtjevaju veću toplotnu energiju za grijanje iako u prosjeku imaju manju kvadraturu, a razlog je lošija energetska efikasnost samog objekta (lošija toplotna izolacija i stolarija) kao i sistema grijanja objekta (većina ovih objekata se grije pomoću peći na ogrijevno drvo). Takođe, vidi se da se unapređenjima postiže znatno veće smanjenje toplotne energije nego što je to slučaj sa objektima novije gradnje, gdje do izražaja dolazi upravo kvadratura samog objekta. Veći objekti novije gradnje su odmah u početku građeni pomoću boljih materijala i objekti imaju veću energetska efikasnost čak i bez unapređenja, tako da je kod njih manje izraženo smanjenje toplotne energije uslijed unapređenja.

Za vrijednosti prikazane u Tab. 2 u odnosu na vrijednosti zagađenja na Sl. 2 je izračunata masa čestica ispuštenih u toku sezone grijanja bez i sa unapređenjima u gramima i te vrijednosti su date u Tab. 3.

**TABELA III. MASA ČESTICA U GRAMIMA PO OBJEKTU U ZAVISNOSTI OD PERIODA IZGRADNJE OBJEKTA I TIPA UNAPREĐENJA [2] ZA OBJEKTE KOJI SE ZAGRIJAVAJU POMOĆU PEĆI NA OGRIJEVNO DRVO**

| Period    | Bez unapređenja | Unapređenje 1 | Unapređenje 2 |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|
| 1961-1970 | 68814,2         | 3202,6        | 1989,9        |
| 1971-1980 | 68840,8         | 3048,5        | 1778,8        |
| 1981-1990 | 36681,4         | 2472,3        | 1872,6        |
| 1991-2014 | 41762           | 3544,3        | 2767,1        |

U Tab. 3 se uočava da se unapređenjem energetske efikasnosti i smanjenjem potrebne toplotne energije smanjuje i količina čestica koja se ispušta u atmosferu.

### C. Računanje smanjenja koncentracije čestica u odnosu na unapređenja objekta

Rezultati mjera energetske efikasnosti su iskorišteni da bi se mogli dobiti rezultati zagađenja za cijelo naselje. Prilikom računanja mjera, zbog nedostatka egzaktnih podataka uzete su u obzir određene pretpostavke:

- Nije izvršeno unapređenje omotača objekta ni na jednom objektu, već se u obzir uzima da su svi objekti bez unapređenja.

- Za objekte koji kao gorivo koriste ulje za loženje (ekstra lako) ili prirodni gas se uzima da su to objekti koji posjeduju centralni sistem grijanja s vlastitim instalacijama, pri čemu se koriste isti podaci o potrošnji energije kao i za sisteme s centralnim sistemom grijanja s vlastitim instalacijama koji radi na ogrijevno drvo/pelet iz [2].
- 95% objekata s centralnim sistemom grijanja s vlastitim instalacijama koristi ogrijevno drvo kao gorivo, dok 5% koristi pelet (podaci su dati za 2013. godinu, kada pelet nije bio toliko zastupljen kao danas).
- 80% objekata s centralnim sistemom grijanja s vlastitim instalacijama je unapređenje prvog tipa, dok je 20% unapređenje drugog tipa.
- U slučaju unapređenja uzima se da je na 50% objekata izvršeno puno unapređenje tipa 1, a da je na 50% drugih objekata izvršeno puno unapređenje tipa 2.

U nastavku je prikazan matematički proračun koji je urađen za sve prizemne objekte i P+1 objekte iz svih perioda. Prvo se definišu pragovi za stepene tehničkog unapređenja gdje je  $Q$  toplotna energija za objekte bez unapređenja, dok su izrazi (1) i (2) računanje toplotne energije samo tehničkog unapređenja tipa 1 i tipa 2.

$$Q_{ts1} = Q - (0,35 \cdot Q), \quad (1)$$

$$Q_{ts2} = Q - (0,40 \cdot Q). \quad (2)$$

Koristeći pretpostavke i podatke iz [2] i podatke dobijene od Republičkog zavoda za statistiku, izračunate su toplotne energije na nivou naselja u odnosu na gorivo koje se koristi ( $Q_{drvo}$  ogrijevno drvo u pećima na drva,  $Q_{pg}$  prirodni gas,  $Q_{lu}$  ulje za loženje,  $Q_{dcg}$  ogrijevno drvo u kotlu centralnog grijanja i  $Q_{pcg}$  pelet).

$$Q_{drvo} = D_{pzp} Q P_{gd}, \quad (3)$$

$$Q_{pg} = D_{cgsvi} \left( \frac{0,8Q_{ts1} + 0,2Q_{ts2}}{2} \right) P_{pg}. \quad (4)$$

$$Q_{lu} = D_{cgsvi} \left( \frac{0,8Q_{ts1} + 0,2Q_{ts2}}{2} \right) P_{glu}. \quad (5)$$

$$Q_{dcg} = D_{cgsvi} \left( \frac{0,8Q_{ts1} + 0,2Q_{ts2}}{2} \right) P_{gd}. \quad (6)$$

$$Q_{pcg} = D_{cgsvi} \left( \frac{0,8Q_{ts1} + 0,2Q_{ts2}}{2} \right) P_{gp}. \quad (7)$$

pri čemu su:

- $D_{pzp}$  – broj domaćinstava koja se griju pojedinačnim zagrijavanjem prostoriya,
- $P_{gd}$  – postotak domaćinstava koja koriste ogrijevno drvo kao gorivo,
- $D_{cgsvi}$  – broj domaćinstava koja se griju pomoću sistema centralnog grijanja,

- $P_{pgp}$  – postotak domaćinstava koja koriste prirodni gas kao gorivo,
- $P_{glu}$  – postotak domaćinstava koja koriste ulje za loženje kao gorivo i
- $P_{gp}$  – postotak domaćinstava koja koriste pelet kao gorivo.

Izračunate toplotne energije se koriste za računanje ukupne mase čestica u vazduhu za cijelo naselje. Na Sl. 2 su date pojedinačne vrijednosti zagađenja za objekat koje se množe s ukupnim toplotnim energijama i dobija se aproksimativna ukupna masa čestica prije unapređenja omotača prema izrazu.

$$m = Q m_{epD}. \quad (8)$$

$$m_{uk} = m_{duk} + m_{pguk} + m_{luuk} + m_{dcguk} + m_{puk}. \quad (9)$$

pri čemu su:

- $Q$  – količina toplotne energije
- $m_{epD}$  – masa čestica ispuštenih u atmosferu po domaćinstvu u zavisnosti od goriva,
- $m_{uk}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem svih goriva u toku godine prije unapređenja,
- $m_{duk}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem ogrijevnog drveta u pećima u toku godine prije unapređenja,
- $m_{pguk}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem prirodnog gasa u toku godine prije unapređenja,
- $m_{luuk}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem ulja za loženje u toku godine prije unapređenja,
- $m_{dcguk}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem ogrijevnog drveta u sistemima centralnog grijanja u toku godine prije unapređenja i
- $m_{puk}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem peleta u toku godine prije unapređenja.

Proračun je ponovljen i za vrijednosti toplotne energije poslije unapređenja prikazanih u Tab. 2. Na taj način je dobijena vrijednost mase čestica za sisteme koji su u potpunosti unapređeni. Dijeljenjem ukupne mase prije i poslije unapređenja može se dobiti postotak smanjenja koncentracije čestica u vazduhu (10) u zavisnosti od unapređenja.

$$p_{sk} = 100 - \left( \frac{m_{uk,pu}}{m_{uk}} \right) \cdot 100. \quad (10)$$

Pri čemu je:

- $m_{uk,pu}$  – ukupna masa čestica ispuštenih u atmosferu nastala sagorijevanjem svih goriva u toku godine poslije unapređenja.

Ovaj proračun je urađen na identičan način za sve periode gradnje i pojedinačno za prizemne i P+1 kuće. Dobijeni podaci su dati u Tab. 4.

**TABELA IV. MJERNI PARAMETRI ZA POTROŠNJU TOPLOTNE ENERGIJE I NJEN UTICAJ NA KONCENTRACIJU ČESTICA U VAZDUHU**

| Mjerni parametri | Period izgradnje |              |              |              |              |              |              |              |
|------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  | Prizemne kuće    |              |              |              | P+1 kuće     |              |              |              |
|                  | 1961-1970        | 1971-1980    | 1981-1990    | 1991-2014    | 1961-1970    | 1971-1980    | 1981-1990    | 1991-2014    |
| $Q$              | 25,87            | 25,88        | 13,79        | 15,70        | 51,74        | 51,76        | 27,58        | 31,40        |
| $Q'$             | 9,56             | 9,10         | 7,38         | 10,58        | 19,12        | 18,20        | 14,76        | 21,16        |
| $Q''$            | 5,94             | 5,31         | 5,59         | 8,26         | 11,88        | 10,62        | 11,18        | 16,52        |
| $Q_{ts1}$        | 16,82            | 16,82        | 8,96         | 10,21        | 33,63        | 33,64        | 17,93        | 20,41        |
| $Q_{ts2}$        | 15,52            | 15,53        | 8,27         | 9,42         | 31,04        | 31,06        | 16,55        | 18,84        |
| $Q_{drvo}$       | 18740,89         | 2404,97      | 679,68       | 1370,30      | 6534,74      | 1939,92      | 523,92       | 822,18       |
| $Q_{pg}$         | 7,73             | 0,99         | 0,28         | 0,57         | 2,70         | 0,80         | 0,22         | 0,34         |
| $Q_{lu}$         | 12,15            | 1,56         | 0,44         | 0,89         | 4,24         | 1,26         | 0,34         | 0,53         |
| $Q_{dcg}$        | 1865,06          | 239,34       | 67,64        | 136,37       | 650,33       | 193,06       | 52,14        | 81,82        |
| $Q_{pcg}$        | 102,70           | 13,18        | 3,72         | 7,51         | 35,81        | 10,63        | 2,87         | 4,51         |
| $m_{duk}$        | 49850,77         | 6397,22      | 1807,94      | 3645,00      | 17382,41     | 5160,19      | 1393,62      | 2187,00      |
| $m_{pguk}$       | 0,01             | 0,0007       | 0,0002       | 0,0004       | 0,0019       | 0,0006       | 0,00         | 0,00         |
| $m_{luuk}$       | 0,19             | 0,02         | 0,01         | 0,01         | 0,07         | 0,02         | 0,01         | 0,01         |
| $m_{dcguk}$      | 624,80           | 80,18        | 22,66        | 45,68        | 217,86       | 64,67        | 17,47        | 27,41        |
| $m_{pcguk}$      | 22,18            | 2,85         | 0,80         | 1,62         | 7,74         | 2,30         | 0,62         | 0,97         |
| $m_{uk}$         | 50497,95         | 6480,27      | 1831,41      | 3692,32      | 17608,07     | 5227,18      | 1411,71      | 2215,39      |
| $Q_{drvo,pu}$    | 5614,30          | 669,54       | 319,63       | 822,18       | 1957,64      | 540,07       | 246,38       | 493,31       |
| $Q_{pelet,pu}$   | 309,15           | 36,87        | 17,60        | 45,27        | 107,80       | 29,74        | 13,57        | 27,16        |
| $Q_{pg,pu}$      | 7,24             | 0,86         | 0,41         | 1,06         | 2,52         | 0,70         | 0,32         | 0,64         |
| $Q_{lu,pu}$      | 11,38            | 1,36         | 0,65         | 1,67         | 3,97         | 1,09         | 0,50         | 1,00         |
| $Q_{dcg,pu}$     | 1746,02          | 208,22       | 99,40        | 255,69       | 608,82       | 167,96       | 76,62        | 153,42       |
| $Q_{pcg,pu}$     | 96,14            | 11,47        | 5,47         | 14,08        | 33,52        | 9,25         | 4,22         | 8,45         |
| $m_{duk,pu}$     | 1880,79          | 224,30       | 107,08       | 275,43       | 655,81       | 180,92       | 82,54        | 165,26       |
| $m_{pguk,pu}$    | 0,01             | 0,0006       | 0,0003       | 0,0008       | 0,0018       | 0,0005       | 0,00         | 0,00         |
| $m_{luuk,pu}$    | 0,18             | 0,02         | 0,01         | 0,03         | 0,06         | 0,02         | 0,01         | 0,02         |
| $m_{dcguk,pu}$   | 584,92           | 69,76        | 33,30        | 85,66        | 203,95       | 56,27        | 25,67        | 51,39        |
| $m_{pcguk,pu}$   | 87,54            | 10,44        | 4,98         | 12,82        | 30,53        | 8,42         | 3,84         | 7,69         |
| $m_{uk,pu}$      | 2553,44          | 304,52       | 145,37       | 373,94       | 890,36       | 245,63       | 112,06       | 224,36       |
| $p_{sk}$         | <b>94,94</b>     | <b>95,30</b> | <b>92,04</b> | <b>89,87</b> | <b>94,94</b> | <b>95,30</b> | <b>92,06</b> | <b>89,87</b> |

Oznake u Tab. 4 koje nisu navedene u radu su:  $Q'$  toplotna energija potrebna poslije unapređenja prvog tipa,  $Q''$  toplotna energija potrebna poslije unapređenja drugog tipa,  $Q_{pelet,pu}$  toplotna energija nastala sagorijevanjem peleta u sistemima centralnog grijanja s vlastitim instalacijama koji su prije unapređenja pojedinačno zagrijavali prostorije pomoću peći na ogrijevno drvo. Oznake koje u indeksu imaju *pu* oznaku odnose se na već navedene oznake, ali *poslije unapređenja*.

Kako su vrijednosti smanjenja dobijene pod pretpostavkom, potrebno je to korigovati, kako bi se dobile realnije vrijednosti za svaku vrstu objekta pojedinačno. U proračun se uvode korekcionni faktori kojima se definiše realnija situacija što se tiče unapređenja. Korekcionni faktor je obrnuto srazmjeran procentu smanjenja koncentracije čestica.

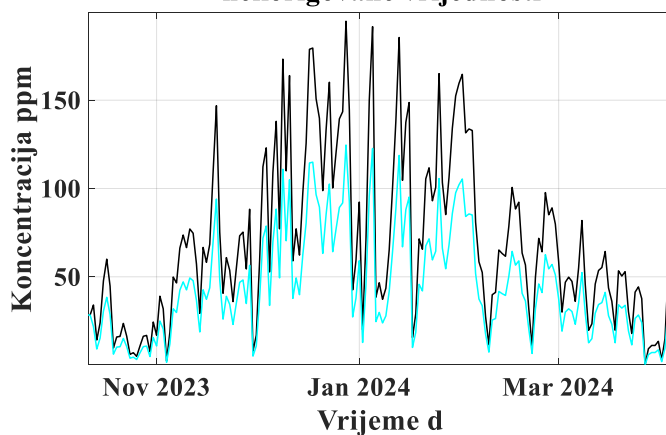
Što je objekat novije gradnje, veća je mogućnost da su na njemu izvršena neka unapređenja, zbog čega je njegov korekcionni faktor veći, a procenat realnog smanjenja koncentracije čestica manji. Korekcionni faktori koji se uvode su:

- 0,30 za objekte izgrađene od 1961. do 1970. godine;
- 0,40 za objekte izgrađene od 1971. do 1980. godine;
- 0,55 za objekte izgrađene od 1981. do 1990. godine i
- 0,70 za objekte izgrađene od 1991. do 2014. godine;

Sumirajući korigovana smanjenja koncentracije čestica za svaku vrstu objekata posebno, dobija se ukupna vrijednost smanjenja koncentracije čestica od 51,42% i odnosi se samo na onu količinu čestica nastalu sagorijevanjem goriva, što je oko 70% ukupne količine čestica.

Na Sl. 6 je prikazano trenutno stanje koncentracije čestica i korigovano stanje.

**Uporedni prikaz korigovane i nekorigovane vrijednosti**



Sl. 6. Uporedni prikaz trenutne i korigovane vrijednosti koncentracije čestica

Na Sl. 6 se može uočiti da je smanjenje koncentracije čestica primjetno. Naravno, ovakav način prikazivanja predstavlja jednostavnu aproksimaciju mogućeg stanja, gdje je na svaki dan primijenjen identičan postotak smanjenja koncentracije čestica. Vrijednosti zagađenja bi i sa unapređenjima energetske efikasnosti zavisile od više faktora, kao što su vremenski uslovi, gustina saobraćaja na putevima, itd.

#### IV. ZAKLJUČAK

Analiza primjene mjera energetske efikasnosti je tema ovog rada. Kroz rad je pokazano da se koristeći mjere energetske efikasnosti može značajno uticati na zagađenje vazduha.

Analizom je pokazano da važnu ulogu igraju sistemi grijanja kao i samo stanje u kojem se objekat nalazi. Dobijeni rezultati pokazuju da se mjerama energetske efikasnosti može smanjiti koncentracija čestica preko 50%.

Prikazani matematički model je interesantan, jer je moguće primijeniti na različite vrste objekata, kao i na veće prostore, kao što je grad i država. Takođe se može kombinovati s drugim metodama i drugim mjerama energetske efikasnosti. Time bi se dobili podaci koji su tačniji i precizniji.

#### LITERATURA

- [1] map.purpleair.com
- [2] D. Arnautović-Aksić, M. Burazor, N. Delalić, D. Gajić, P. Gvero, Dž. Kadrić, M. Kotur, E. Salihović, D. Todorović, N. Zagora, "Slobodnostojeće kuće," Tipologija stambenih zgrada Bosne i

Hercegovine, Sarajevo, BiH, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Sarajevu, giz, 2016, str. 68 – 103

- [3] M. Adamasu, M. Wueshet, "Air Pollution," Lecture notes, Gondar, Ethiopia, University of Gondar, 2006.
- [4] Standards for Air Quality Indices in Different Countries (AQI) [online], <https://atmotube.com/blog/standards-for-air-quality-indices-in-different-countries-aqi>
- [5] R. Radić, "Prostorne i vremenske varijacije koncentracija i hemijskog sastava suspendovanih čestica PM<sub>10</sub> u urbanoj, ruralnoj i industrijskoj sredini," Magistarski rad, Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Banja Luka, BiH, 2016.
- [6] A. Podić, "Zagađenje zraka i mala kućna ložišta Problem koji ima rješenje," Eko akcija, Sarajevo, BiH, 2020.

#### ABSTRACT

This paper presents the theoretical foundations of particulate matter pollution. The study outlines energy efficiency measures and compares current levels of particulate pollution with levels recorded after the implementation of these measures. The research was conducted in one of the urban area of Banja Luka. The objective of this study is to demonstrate the correlation between pollution levels and energy efficiency, as well as to highlight methods for mitigating air pollution.

#### ANALYSIS OF THE IMPACT OF ENERGY EFFICIENCY MEASURES ON PARTICULATE MATTER (PM<sub>2.5</sub>) POLLUTION REDUCTION

Sara Radišić, Petar Gvero, Milovan Kotur, Milan Pupčević, Đorđe Vojinović