

**STRATEGIJE I MJERE ZA SMANJENJE KONCENTRACIJE
ZAGAĐIVAČA U ZRAKU (PREVASHODNO PM 2,5) U GRADSKIM
PODRUČJIMA**

**STRATEGIES AND MEASURES THAT FACILITATE THE
REDUCTION OF THE CONCENTRATION OF AIR POLLUTANTS
(PRIMARILY PM 2.5) IN URBAN AREAS**

Pregledni znanstveni članak

*Dinarević Mirza, dr. sci. iur.**

Sažetak

Da se bilo koji problem riješi, isti se prevashodno mora detektovati, zatim analizirati te potom pristupiti samom rješavanju. Cijeneći ukupnu situaciju u BiH nakon agresije, stiče se dojam da kod stanovništva BiH ne postoji realna percepcija opasnosti od zagađenosti zraka po zdravlje ljudi, u 2019. i 2020. godini, Sarajevo je na žalost višestruko bio najzagađeniji glavni grad u svijetu po pitanju koncentracije štetnih čestica u zraku. Činjenice o nepoduzimanju skoro nikakvih konkretnih mjera sa stvarnim učinkom po pitanju smanjena, kontrole odnosno upravljanja aerosolnim zagađivačima su samo dalje podkrijepljene punim bolničkim krevetima pacijenata sa problemima respiratornog sistema organa koji su u prethodnom periodu najbrojniji pacijenti u zdravstvenim ustanovama u BiH. Vremena za djelovanje na način na koji se do sada (ne)djelovalo su iza nas, odnosno istog nemamo. Rezultati su morali već biti evidentni i situacija u kojoj se nalazimo se jednostavno nije smijela dogoditi. U ovom istraživanju su predloženi primjenjivi ekonomski modeli djelovanja na smanjenje i upravljanje koncentracijama zagađivača u zraku prevashodno kroz primjer analize djelovanja jedne ozbiljne, napredne države poput Japana. Također, predložene su inovativne tehnologije i izumi koji se danas koriste u svijetu, te koji daju trenutne rezultate a koji svojom primjenom efikasno pročišćavaju zrak. Predloženi su također koncepti i tehnologije koji su implementirani širom svijeta koji daju konkretne i dokumentovane rezultate, a koji su trenutno primjenjivi na području BiH.

Ključne riječi: PM 2,5, zagađenje zraka, mjere za smanjenje i upravljanje zagađenjem zraka, nove tehnologije za smanjenje i upravljanje zagađenjem zraka, strategije za smanjenje i upravljanje zagađenjem zraka.

* BH Telecom dd Sarajevo, e-mail: mdinarevic@gmail.com

Abstract

For any problem to be solved, it must first of all be detected, analyzed, and then addressed. Contemplating the overall situation in BiH in the post Aggression period, one gets the impression that a real perception of the general population of the severity of air pollution and it's inherent risks to human health is non existent, i.e. in 2019 and 2020, Sarajevo was and is unfortunately the most polluted capital city in the world in terms of the concentration of harmful pollutant particles in the air. The fact that almost no concrete measures with actual effect on the reduction, control and management of air pollutants were undertaken is further substantiated by full hospital beds of patients with problems of the respiratory system, that were and still are the most numerous patients in health institutions across BiH. The time to act in the manner previously (not)undertaken is behind us, or to be more precise our time is up. The results had to be evident already and the situation we are in simply must not have happened. Applicable economic models that as a result reduce and manage concentrations of air pollutants, primarily through the example of analyzing the actions of a serious, advanced country like Japan, are presented in this study. Also, innovative technologies and inventions that are used in the world today are presented, they give near instant results, ie their application effectively purifies the air we breathe. Also presented are concepts and technologies that have been implemented around the world that provide concrete and documented results and that are currently applicable in BiH.

Key words: PM 2.5, air pollution, measures to reduce and manage air pollution, new technologies to reduce and control air pollution, strategies for reducing and managing air pollution.

1. EKONOMSKI MODELI DJELOVANJA NA SMANJENJE I UPRAVLJENJE KONCENTRACIJAMA ZAGAĐIVAČA U ZRAKU

Da bi se postiglo značajnije pročišćenje zraka odnosno čišćiji zrak, važno je da vlasti donose informisane odluke prilikom odabira strategije i mjera za postizanje istog. Koncentracije čestica s aerodinamičkim promjerom manjim ili jednakim od 2,5 μm (PM 2,5) su previsoke u gradskim područjima BiH, a naročito u Sarajevu. Trenutno, nadgledani nivoi koncentracije štetnih čestica i dalje uveliko prelaze preporučeni odnosno, bezbjedni standard kvaliteta ambijentalnog zraka. Cijeneći navedeno, postoji realna potreba za istraživanje ekonomične strategije za smanjenje nivoa koncentracije PM 2,5 u gradskim područjima koja je ekonomična i trenutno

primjenjiva. Ovo istraživanje se bavi stvarnom i primjenjivom strategijom kontrole za Sarajevo razvijanjem integrisanog modela koji uključuje i aerosolne i ekonomske modele bazirano na višeslojnoj analogiji između BiH i Japana odnosno Sarajeva i Tokija u kontekstu predmetne problematike. Rezultati simulacija pokazuju da prefektura (Japan) u gradskim područjima ne mogu postići potrebne standarde oslanjajući se na vlastite napore za smanjenje PM 2,5. Preciznije, vlasti u gradskim područjima trebaju saradivati sa vlastima izvan tih područja, naravno uvažavajući sve determinirajuće, prevashodno geografske faktore, kako bi poboljšale nivoe koncentracije PM 2,5. Stoga su simulirane mjere pod pretpostavkom da se emisije iz drugih izvora smanjuju na nivoe tako da koncentracija PM 2,5 opada za otprilike 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prvo su simulirane efikasne mjere, tj. provedba takse na zagađenje odnosno okolišne takse. Utvrđeno je da ukupni troškovi kako bi se dostigao standard kvaliteta zraka korištenjem strategije ekonomične učinkovitosti, za slučaj Tokia, iznose oko 142.7 milijardi Yen-a. Čestice s aerodinamičkim promjerom manjim ili jednakim od 2,5 μm (PM 2,5), zagađivač zraka koji štetno utiče na zdravlje ljudi, privukle su pažnju širom svijeta, posebno u BiH. Zbog svojih aerodinamičnih čestica, male veličine, promjera 2,5 mikrometara ili manje, PM 2,5 uzrokuju bolesti i disajnog i kardiovaskularnog sistema. Prema američkom istraživanju, ako koncentracije PM 2,5 porastu za 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, smrtnost će se povećati za 0,3% - 1,2% zbog kratkotrajne izloženosti zagađenju zraka, ili za 6% -13% zbog dugotrajne izloženosti zagađenju zraka (EPA, 2009). Uz to, prema evropskom istraživanju, ako koncentracije PM 2,5 porastu za 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, smrtnost će se povećati za 7% zbog dugotrajne izloženosti zagađenju zraka (Beelen i dr., 2014). Zbog opisanih štetnih dejstava, visoke koncentracije PM 2,5 se prate širom svijeta (WHO, 2014). Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) izvještava da je 88% ljudi širom svijeta izloženo nivou PM 2,5 koji premašuje standard WHO (WHO, 2005) kvaliteta zraka za prosječne godišnje koncentracije od 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Uz godišnju prosječnu koncentraciju, u date prosjeke je uvrštena i dnevna prosječna koncentracija. Dakle, neophodno je provoditi efikasne mjere. Posebno se treba fokusirati na mjere za postizanje standarda kvaliteta zraka za bezbjedne prosječne godišnje koncentracije.

Kao i u Kini i Indiji, a i ostalim najzagađenijim područjima svijeta, visoke koncentracije PM 2,5 također su važan ekološki a transcendentno i zdravstveni problem u BiH. Da bi shvatili razmjer problema kao i izazove koji se pojavljuju prilikom rješavanja ove problematike osvrnut ćemo se na primjer jednog od tehnološki najnaprednijih gradova svijeta, ako ne i najnaprednijim, Tokija. Konkretno, 2012. godine nijedna od stanica za praćenje kvaliteta zraka u Tokiju nije zabilježila vrijednosti koje ispunjavaju japanske standarde kvaliteta ambijentalnog zraka za PM 2,5 (Tokyo

Metropolitan Government, 2012). Jedan od razloga za ovakav neuspjeh, inače veoma ekološki osviještene i operativne vlade Japana, je taj što za razliku od drugih zagađivača zraka, kao što su sumpor dioksid, nitrogen dioksid i isparljivi organski spojevi, nedostaje regulatorni okvir usmjeren na PM 2.5. Ostali zagađivači su prema Zakonu o kontroli zagađenja zraka strogo regulisani ukupnim standardima kontrole i emisije, dok PM 2,5 nisu. Iako je Japanska vlada uspostavila standard kvaliteta ambijentalnog zraka, nije usvojila posebne regulatorne mjere za postizanje tog standarda. Štaviše, japanski standard za godišnju prosječnu koncentraciju PM 2,5 (15 µg/m³) je niži od standarda WHO (WHO, 2005).

Da bi se poboljšao kvalitet zraka u odnosu na PM 2,5 u gradskim područjima, regulatorno tijelo mora mnogo veći naglasak staviti na stacionarne izvore zagađenja (npr. proizvodna postrojenja, paljenje guma i ostalih ekološki neprihvatljivih materijala), a ne na pokretne izvore zagađenja (npr. automobile), iako stacionarni izvori manje doprinose ukupnim PM 2,5 emisija nego pokretni izvori. Recimo u Tokiju, 2005. godine štetne emisije iz su iz stacionarnih izvora iznosile 36% a 64% iz mobilnih izvora (JATOP, 2012). Jedan od razloga za ovu pojavu je taj što su automobili regulisani ne samo gore opisanim emisijskim standardima, već i znatno strožijim "Top Runner" programom, koji reguliše pitanja vezana za goriva, odnosno emisije automobila (Siderius i dr., 2013) . Prema ovom programu, kada proizvođač plasira novi proizvod na tržište, energetska efikasnost tog proizvoda mora biti bolja od iste prethodno energetske najefikasnijeg proizvoda. Ovi propisi su postepeno pooštreni. Drugi razlog je to što će širenje odnosno povećanje hibridnih i električnih vozila de facto smanjiti potrošnju goriva, stoga se shodno očekuje i smanjenje emisija PM 2,5 iz automobila.

Međutim, malo je konkretnih dokaza o tome kako vlade mogu strateški smanjiti emisije PM 2,5 iz stacionarnih izvora oko Tokija. Koliko znamo, u Japanu ne postoji istraživanje koje bi se posebno fokusiralo na strateško smanjenje PM 2,5. Ovakav nedostatak dokaza izrazito je u suprotnosti sa situacijom u EU gdje su provedene mnoge studije strategija smanjenja PM 2,5 (Amann, i dr., 2004).

Budući da je isključivo u pogledu nedostatka regulative za PM 2,5 situacija u BiH manje više identična kao i u Japanu, koristit ćemo Tokio kao analogan primjer za Sarajevo. Stoga, ćemo simulirati/analizirati nekoliko scenarija, sa ciljem ispitivanja ex-ante ekonomske strategije za smanjenje emisija PM 2,5 iz stacionarnih izvora u gradskom području Tokija/Sarajeva, koristimo ovaj pristup jer je ekonomičnost jedan od univerzalnih kriterija za kreiranje politika, a samim tim i primjenjivih strategija (Kolstad, 2010). Konkretno će se predložiti strategija koja može zadovoljiti standarde kvaliteta zraka na datom području uz najniže troškove. Koristeći 56 mjera kontrole Agencije za zaštitu okoliša (EPA) (EPA, 2006) iznađena je

optimalna kombinacija provedbenih mjera kontrole uz minimalne troškove, kako bi se postigao traženi ambijentalni standard. Nekoliko je naknadnih istraživanja izvršeno koja su se odnosila na propise o zagađenju zraka u Japanu, na primjer, procjene automobilskih propisa u odnosu na emisije izduvnih gasova (Iwata i dr., 2014).

Za nas je prilično korisno istražiti "situaciju" u EU, za razliku od Japana, EU je uspostavila odlične baze podataka za praćenje i integrisane sisteme modeliranja za simulaciju PM 2.5. Ključna odlika evropskog pristupa je upotreba integrisanog sistema modeliranja poput RAINS-a (Regional Air Pollution Information and Simulation) (Amann, 2004), koji uključuje aerosolne modele kao i modele smanjenja troškova. Postoje i drugi modeli koji su usmjereni na Veliku Britaniju (Oxley i dr., 2016) ili GAINS model (The Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) (Amann i dr., 2011) koji uzimaju u obzir vrijednosti stakleničkih gasova prethodnih godina. Pored toga, GAINS se koristi ne samo u Evropi, već i u azijskim zemljama kao što su Kina i Indija, gdje su problemi sa zagađenjem zraka jako ozbiljni (Asia, 2008). Ove temeljne komponente omogućuju nam da ispitamo strategiju za kontrolu emisija PM 2,5 kao i emisija sumpordioksida i nitrogen dioksida (Farrell, i dr., 2007). U Japanu je dostupan pristup bazama podataka za praćenje vrijednosti emisija u zraku poput Atmosferskog regionalnog promatračkog sistema (AEROS) (AEROS, 2010), Japan Auto-Oil Program-a (JATOP) (JATOP, 2011) kao i numeričkim modelima kvaliteta zraka, poput SPRINTERS (Spektralnog zračenja-transportnog modela za aerosolne vrste) (SPRINTAR, 2003) i modela atmosferske disperzije za izloženost i procjenu rizika PRO (ADMER-PRO) (ADMER-PRO, 2015) koji su također dostupni, međutim isto nije omogućeno za modele smanjenja troškova. Stoga se moraju razviti modeli smanjenja troškova i uključiti u integrisane sisteme modeliranja, kao što je slučaj sa RAINS i GAINS.

Odlike ovog istraživanja su sljedeće. Prvo, u ovom istraživanju su integrisani troškovi smanjenja i modeli kvaliteta zraka kako bi se postigao cilj. Naravno, određene prethodne studije su također koristile integrisane simulacijske modele (Amann, i dr., 2004) . U ovim studijama se uzimala u obzir minimalizacija troškova radi postizanja ciljeva o kojim je unaprijed odlučeno za datu regiju i atmosferske uslove u datom vremenu. EU i Amerika su pristupile Konvenciji o dalekometnom prekograničnom zagađivanju zraka i imaju postavljene ciljeve smanjenja određenih zagađivača zraka za svaku regiju u skladu s ovom Konvencijom ili drugim politikama. S druge strane, Japan nema konkretne ciljeve smanjenja. Stoga se prvo mora odlučiti o ciljevima smanjenja PM 2,5 kada se analizira ovaj model cijeneći prethodno opisanu sponu. Međutim, ovo je prikladan pristup

jer se mogu razmotriti ciljevi smanjenja koji ujedno minimiziraju troškove smanjenja, uzimajući u obzir doprinos zagađivača između regija.

Komparacija parametara

Tabela 1. Izvor: (Kunugi, i dr., 2019)

Redukciona brzina (%)						
	CES scenarij			URS scenarij		
Prefektura	Primarno PM 2.5	NOx	SOx	Primarno PM 2.5	NOx	SOx
Chiba	85%	55%	55%	95%	95%	95%
Gumma	95%	85%	75%	95%	95%	95%
Ibaraki	95%	84%	48%	95%	95%	95%
Kanagawa	100%	100%	82%	95%	95%	95%
Saitama	90%	75%	65%	95%	95%	95%
Tochigi	90%	75%	75%	95%	95%	95%
Tokyo	90%	75%	84%	95%	95%	95%
Redukcije emisije (ton)						
Chiba	1,922	22,206	20,942	2,149	38,036	36,343
Gumma	146	1,774	1,764	146	1,983	2,235
Ibaraki	1,244	17,856	20,046	1,244	31,345	48,997
Kanagawa	878	18,513	8,034	834	17,587	16,817
Saitama	615	7,262	6,158	649	9,199	9,003
Tochigi	176	1,962	2,367	185	2,486	2,999
Tokyo	1,109	17,794	10,431	1,109	24,270	15,793
Total	6,090	87,367	69,794	6,316	124,906	132,187

Predlaže se sljedeći put za postizanje ekonomičnosti. Naime, prefekturama može biti teško primijeniti prilagođene instalacije kontrolnih mjera na svakom pojedinom izvoru (Tabela 1.) jer troškovi administracije mogu biti previsoki. Da bi se prevazišao ovaj problem, teorija ekonomije upućuje na okolišnu taksu (npr. taksa po toni zagađivača) (Kolstad, 2010). Šema emisija trgovanja se također smatra isplativim instrumentom, sličnim okolišnoj taksi. Za razliku od pristupa direktiva i kontrole, poput prilagođenih instalacija, prema scenariju okolišne takse, prefektore jednostavno trebaju nametnuti jedinstvenu poreznu stopu za sve pojedinačne izvore. Balansirajući troškove instalacije i porezna opterećenja, pojedini izvori shodno s tim odlučuju hoće li instalirati mjere kontrole. Slijedom toga, ekonomičnost se postiže kada su granični troškovi smanjenja jednaki poreznoj stopi. Važan momenat je da odluke zavise od pojedinačnih izvora. Stoga, prilikom implementacije takse, prefektore faktički ne moraju pažljivo ispitati dostupnost mjera kontrole za svaki izvor. Međutim, okolišna taksa sa ujednačenom stopom ne može biti najbolji instrument u situaciji u kojoj su

zagađivači i receptori na različitim lokacijama (Kolstad, 2010) (tj. disperzija zagađivača velikih razmjera). To je zato što su granične vrijednosti štetnih emisija različite, ovisno o lokaciji zagađivača i receptora. Šteta se tumači kao doprinos povećanju nivoa koncentracije PM 2,5. Uvodi se egzogeni parametar AOI za evidentiranje prostornosti, to jest efekata zagađivača u datoj prefekturi na receptore u toj prefekturi. Koristeći ovaj parametar, jedinstvena stopa okolišne takse se mora prilagoditi prefekturama i zagađivačima.

Tabela 2. Izvor: (Kunugi i dr., 2019)

Prefektura	CES scenarij				URS scenarij				Razlika (B)/(A)
	Primarno PM 2.5	NOx	SOx	Ukupno (A)	Primarno PM 2.5	NOx	SOx	Ukupno (B)	
Chiba	1.1	7.8	13.3	22.2	2.2	25.3	80.6	108.1	4.9
Gumma	0.3	3.7	4.5	8.4	0.3	4.8	6.3	11.4	1.4
Ibaraki	1.7	13.6	13.3	28.6	1.7	32.6	94.2	128.5	4.5
Kanagawa	2.0	23.7	8.0	33.6	1.6	17.4	35.6	54.6	1.6
Saitama	0.8	4.8	9.0	14.6	1.0	15.1	20.2	36.3	2.5
Tochigi	0.2	3.4	5.9	9.5	0.2	6.2	8.4	14.9	1.6
Tokyo	2.0	8.4	15.3	25.8	2.0	24.8	35.6	62.4	2.4
Total	8.1	65.2	69.3	142.7	9.1	126.3	280.9	416.3	2.9

Tabela 3. Izvor: (Kunugi i dr., 2019)

Prefektura	CES scenarij		
	Primarno PM 2.5	NOx	SOx
Chiba	0.6	0.4	0.6
Gumma	1.8	2.1	2.5
Ibaraki	1.4	0.8	0.7
Kanagawa	2.3	1.3	1.0
Saitama	1.4	0.7	1.5
Tochigi	1.1	1.7	2.5
Tokyo	1.9	0.5	1.5

U skladu sa predočenom ekonomskom teorijom i s obzirom na smanjenje vanjske koncentracije od 3,5 µg/m³, kako bi se zadovoljili standardi u svakoj prefekturi, efikasne porezne stope moraju biti jednake

graničnim troškovima smanjenja troškova prema CES scenariju, prikazanom u Tabeli 5. Granični troškovi smanjenja računaju se kao ukupni troškovi smanjenja (Tabela 2.) podijeljeni sa smanjenjem emisija (Tabela 1). Ako prefektura Kanagawa namjerava uvesti okolišnu taksu na PM 2,5, mora utvrditi stopu od 2,3 milijona YEN-a po toni primarnog PM 2,5. Suprotno tome, stopa za primarni PM 2,5 je najniža u prefekturi Chibi, 0,6 miliona YEN-a po toni, ova razlika je zbog lokacija ovih prefektura (Fig 1). Čak su i u Chibi stope za zagađivače različite: 0,6, 0,4 i 0,6 miliona YEN-a po toni primarnog PM 2,5, NOx i PM. Razlika stopa unutar iste prefekture je zbog razlike u stopama konverzije čestica. Kad prefektura uvodi stope za svaki zagađivač, ukupni troškovi smanjenja teoretski su u skladu sa prilagođenim odrednicama prema scenariju CES-a i na kraju postižu čist zrak s nivoima koncentracija jednakim standardima kvaliteta zraka. Uz to, za razliku od odrednica, porezni prihodi se generišu za prefekture.

Fig 1. Odnos između ukupnih troškova smanjenja i stope smanjenja zagađivača po prefekturama.

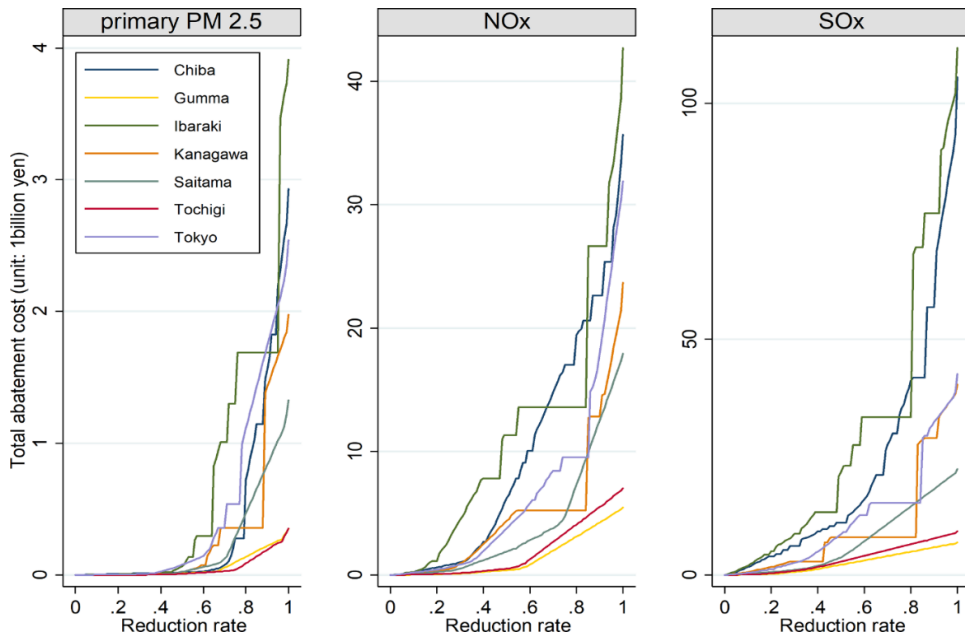


Fig 2. Sedam prefektura u gradskom području Tokija.

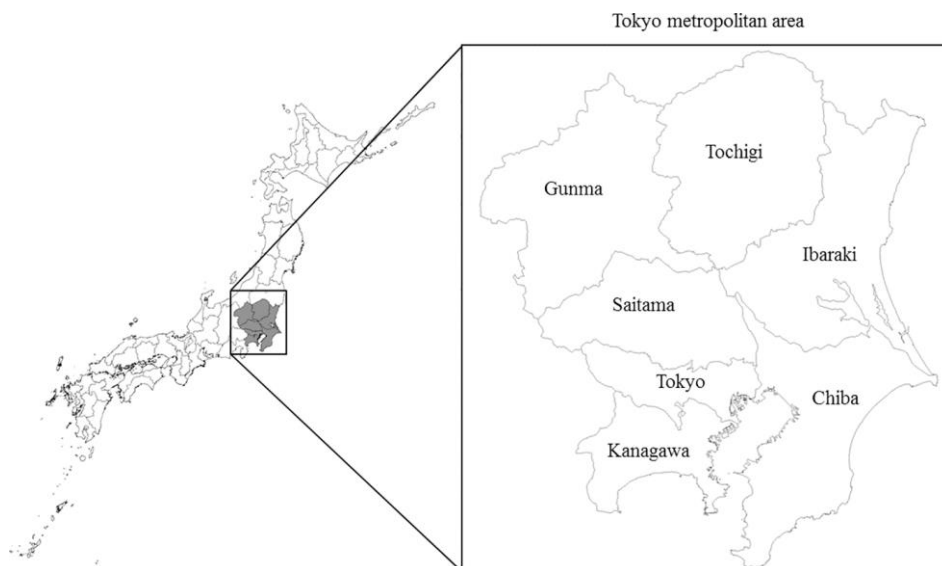


Fig 1. prikazuje odnos između ukupnih troškova smanjenja i stopa smanjenja prikazane po prefekturi i zagađivaču. Horizontalna osa predstavlja stope smanjenja, a ne smanjenje emisija. Kako se stope smanjenja povećavaju, ukupni troškovi smanjenja rastu u svim prefekturama. Postoje konzistentni obrasci u svim međuodnosima. To je zato što jedna kontrolna mjera može stvoriti značajno smanjenje emisija na jednom pojedinačnom izvoru, poput elektrane na uglj. Oblici međuodnosa su različiti među prefekturama. Za svaku stopu smanjenja, prefekura Gunma uvijek troši najmanje na smanjenje SO_x-a, dok su ukupni troškovi na SO_x u prefekturi Ibaraki uvijek najviši, osim kada je stopa smanjenja približna 0,77. Ovo podrazumijeva da bismo postigli ekonomičnu strategiju, moramo iznaći delikatan balans između troškova smanjenja i smanjenja emisija.

Tabela 4. Izvor: (Kunugi i dr., 2019)

Prefektura	PM 2.5 nivo koncentracije			Standard kvalitete zraka
	2005	BAU scenarij	EX scenarij	
<i>Prefektura</i>				15
<i>Chiba</i>	20.9	19.9	17.5	15
<i>Gumma</i>	19.3	17.9	15.8	15
<i>Ibaraki</i>	17.9	16.5	13.6	15
<i>Kanagawa</i>	22.1	20.7	18.3	15
<i>Saitama</i>	23.4	21.3	17.5	15
<i>Tochigi</i>	19.1	17.2	14.4	15
<i>Tokyo</i>	21.3	19.7	16.8	15

Tabela 4. prikazuje rezultate simulacije prema ekstremnom scenariju. Druga kolona pod nazivom „2005“ predstavlja uočene prosječne godišnje koncentracije PM 2,5 po prefekturi u 2005. godini. Nivoi koncentracije u svim prefekturama prelaze standard kvaliteta zraka za godišnje prosječne koncentracije. Nivoi koncentracije u BAU scenariju predstavljeni su u trećoj koloni. Kao što je spomenuto ranije, očekuje se smanjenje emisija PM 2,5 iz automobila, što je smanjenje koje se uzima u obzir u scenariju BAU. Zbog toga se koncentracije smanjuju za 1,0 do 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u scenariju BAU. Što se tiče smanjenja koja se pripisuju automobilima, uzeta je u obzir procjena JATOP-a (JATOP, 2011) .

Kolona „EX scenario“ također predstavlja nivo koncentracija u ekstremnom scenariju. U ovom su scenariju stope smanjenja fiksirane na 1 u svim prefekturama. Upoređujući nivoe koncentracije sa standardom kvaliteta zraka, uočava se da prefekture Ibaraki i Tochigi zadovoljavaju norme. Suprotno tome, ostalih pet prefektura ne ispunjava standarde ukoliko se oslanjaju samo na vlastita nastojanja i napore da smanje tri zagađivača iz stacionarnih izvora. Ovakav rezultat dovodi do važne implikacije za buduće politike. Ako se putem kontrole u vidu politika i mjera ne može postići smanjenje emisija iz automobila i prirodnih događaja, prefekture se moraju pozvati na saradnju sa ostalim prefekturama izvan gradskog područja Tokija (ili čak prekomorskih zemalja) kako bi se poboljšale koncentracije zagađivača zraka oko Tokija (Inomata i dr., 2016).

Mnogi stručnjaci su ozbiljno zabrinuti zbog visokih koncentracija PM 2,5 jer su PM 2,5 štetnije za ljudsko zdravlje od konvencionalnih PM 10 koje su već regulisane određenim mjerama. Da situacija nije alarmatna samo u BiH najbolje dočarava primjer iz 2012. godini, kada nijedna od stanica za praćenje stanja okoline u Tokiju nije postigla adekvatne standarde kvaliteta zraka (Tokyo Metropolitan Government, 2012). Uprkos štetnim učincima i visokim koncentracijama PM 2,5 učinkovite mjere i strategije za smanjenje ovog zagađivača još nisu planirane, a samim tim ni provedene. Jedan od razloga je taj što za razliku od EU, gdje su razvijeni integrisani modeli poput RAINS-a (Amann i dr., 2004) ili GAINS-a (Amann i dr., 2011), Japan nema integrisani model koji bi se mogao koristiti za ispitivanje efikasnih strategija kontrole. Integrisani modeli poput RAINS-a ili GAINS-a nužno se moraju sastojati od dva modela: modela kvaliteta zraka i ekonomskog modela. Ako želimo identificirati odgovarajuću strategiju, ne možemo zanemariti ni troškove smanjenja kao ni poboljšanje kvaliteta zraka. Iako su se brojni istraživači u Japanu fokusirali na poboljšanje modela kvaliteta zraka, malo se raspravljalo o ekonomskom modelu.

Stoga, integrišući model kvaliteta zraka i novi model ekonomskih troškova u jedinstven model, cilj je bio utvrditi ekonomičnu strategiju za smanjenje nivoa koncentracije PM 2,5 u gradskom području Tokija.

Odabirom 56 kontrolnih mjera, razmatrano je da li treba svaku kontrolnu mjeru instalirati. Detaljan skup podataka o emisijama onečišćujućih tvari preuzet je od JATOP-a (JATOP, 2011). EPA (EPA, 2006) pruža informacije o troškovima smanjenja i učincima eliminacije odabranih kontrolnih mjera. Koristeći integrisani model i navedene podatke, simulirana su dva scenarija za ispunjavanje standarda kvalitete zraka, a zatim su upoređeni rezultati. Jedan od scenarija koristi ekonomičnu strategiju sa najnižim ukupnim troškovima smanjenja. Drugi scenarij osigurava visoku jednakost između prefektura Tokija.

Rezultati ovog istraživanja su dvojaki. Prvo, ako prefektura u Tokiju namjeravaju da ispune standarde kvaliteta zraka, to ne mogu učiniti oslanjajući se isključivo na vlastite napore za smanjenje zagađivača zraka (tj. primarni PM 2,5, NO_x i SO_x). Ovo inherentno podrazumijeva da je potrebno koordinirati s prefekturama izvan gradskog područja Tokija radi njihovih velikih vanjskih doprinosa nivoima koncentracije PM 2,5 oko Tokija. Drugo, ukupni troškovi smanjenja dramatično se razlikuju između dvije korištene strategije. Na temelju pretpostavke da je smanjenje koncentracije iz perifernih prefektura 3,5 µg/m³, za ispunjavanje standarda kvaliteta zraka koristeći strategiju ekonomičnosti bi troškovi iznosili otprilike 142,7 milijardi YEN-a. Suprotno tome, implementacija druge strategije, koja nudi visoku jednakost između prefektura, bi koštala približno 416,3 milijarde YEN-a; te na taj način implementacija ove strategije bi koštala 2,9 puta više od prve. Ovakav rezultat ukazuje da postoji veliki disparitet između ekonomičnosti i jednakosti. Stoga je važno da, kako bi se osigurao čist zrak, vlasti prilikom odabira strategija za isto, donose precizne i realne odluke.

Treba istaći dva ograničenja: Prvo, korišteni su podaci o emisijama onečišćujućih tvari iz 2005. godine, procijenjene od strane JATOP-a (JATOP, 2011) radi nedostatka adekvatnih podataka u Japanu. Nedavno je japanska EPA izjavila da namjerava povećati broj stanica za praćenje okoline. Stoga je važno da buduće studije ažuriraju analizu scenarija s najnovijim podacima praćenja. Drugo, amonijak i isparljivi organski spojevi, kao sekundarni izvori PM 2,5, nisu uzeti u obzir zbog nedostatka dostupnih podataka o tim zagađivačima. Nadalje, istraživači aerosola nisu precizno razjasnili pretvaranje čestica tih zagađivača, naročito HOS-a u PM 2,5 u atmosferi (JATOP, 2004). Ovi izostavljeni zagađivači ubuduće se moraju integrisati u simulacije kako bi se stekla što detaljnija slika stanja a samim tim i trasirao put za kreiranje i odabir najadekvatnije strategije.

2. INOVATIVNE TEHNOLOGIJE I IZUMI ZA SMANJENJE I UPRAVLJENJE KONCENTRACIJAMA ZAGAĐIVAČA U ZRAKU

2015. godine se pojavila dosta inovativna ideja da se na pozitivan način upravlja emisijama zagađivača, u konkretnom slučaju rad Davida Y. H. Pui-a, Qingfeng Cao-a i Wojciech Lipinskija „Solarne aplikacije velikih razmera za ublažavanje zagađenja PM 2.5 i žute olujne prašine u istočnoj Aziji“, koji u svojoj srži sadrži „opipljiv“ pristup. U istom se predlažu dvije velike ideje za primjenu solarnih sistema velikih razmjera za ublažavanje zagađenja PM 2.5 i žute olujne prašine u Istočnoj Aziji. Prva ideja koristi solarno potpomognut sistem čišćenja velikih razmjera (SALSCS - solar-assisted large-scale cleaning system) za ublažavanje zagađenja PM 2.5 u gradskom zraku. Sistem kombinuje solarni vertikalni toranj sa "bankom" filtera koji služe da uklanjaju zagađivače odnosno PM 2.5. Kalkulacije ukazuju da toranj sa radiusom od 2,5 km i visinom dimnjaka od 500 m može usisati 2,5 x 10⁵ m³ urbanog zraka u staklenik. Banka filtera smještena na udaljenosti od 166 m od ose dimnjaka uklanja zagađivače PM 2.5 iz urbanog zrak te na taj način čisti zrak izlazi iz izduva dimnjaka. Postavljanjem više SALSCS-a na strateškim lokacijama u visoko urbanim zonama se može učinkovito ublažiti i upravljati zagađenjem PM 2.5. Druga ideja podrazumijeva postavljanje dugog lanca "vjetro zidova" opremljenih solarnim panelima u blizini područja na kojim se formiraju oluje sa visokom koncentracijom prašine, odnosno zagađivača. Solarni paneli su montirani na rotirajuće osovine širine 100 m koje se protežu sa strane stuba visine 100 m. Predlaže se povezivanje 1.000 takvih stubova da se faktički napravi "vjetro ograda" visine 100 m i dužine 100 km. Tokom sunčanih dana, radi same ideje i konstrukcije, ista se može rotirati kako bi se dosegao maksimalni intenzitet sunca na solarnim panelima. Proizvedena električna energija bi bila dovoljna za napajanje grada sa 2,4 miliona domaćinstava. Kada postoji upozorenje za nadolazeću oluju sa visokom koncentracijom prašine, paneli se rotiraju tako da se stražnja strana panela, koja je izrađena od nehrđajućeg čelika, pozicionira direktno prema oluji. Ovakav raspored bi funkcionisao poput redovova drveća u ulozi vjetrobrana, ali na visini mnogo puta višoj od drveća. Ova bi "vjetro ograda" pomoću udara uklanjala prašinu u zraku i također prekidala obrazce strujanja vjetra, što svakako pomaže u ublažavanju oluje. Proizvedena električna energija bi pomogla okolnom gradu koji napaja da se razvije, što može podstaći daljnje društveno-ekonomske promjene i usvajanje integrisane i održive prakse upravljanja zemljištem koja bi u budućnosti dodatno smanjila mogućnost formiranja oluja sa visokom koncentracijom prašine odnosno zagađivača (David i dr., 2015).

3. KONCEPTI I TEHNOLOGIJE ZA SMANJENJE I UPRAVLJENJE KONCENTRACIJAMA ZAGAĐIVAČA U ZRAKU U PRIMJENI

Pored ove inovativne i finansijski zahtjevne ideje, postoji koncept koji je već u primjeni, a koji je svakako značajno prisutpačnija alternativa gore navedenoj.



Fig 3. Toranj bez smoga.

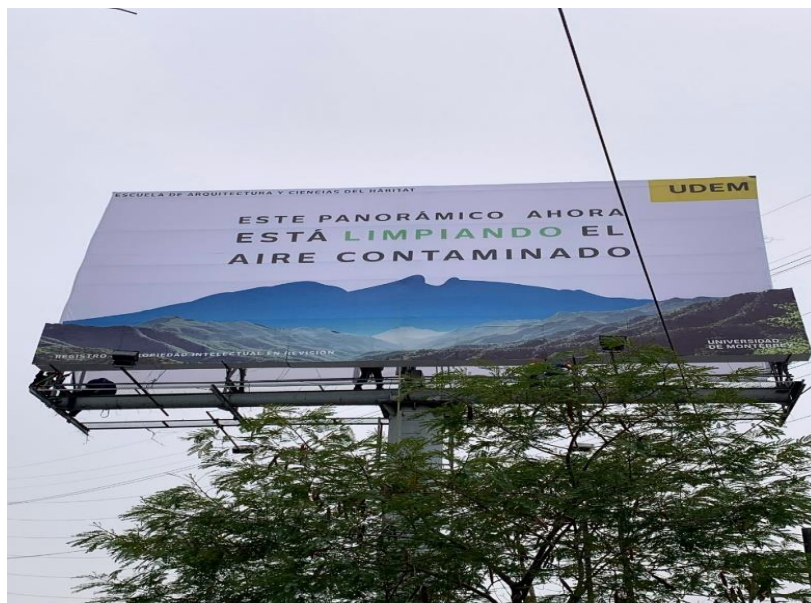


Fig 4. Bilbord koji „jede smog“.

Radi se „Smog free toweru“, tornju koji faktički putem jonizacije eliminiše zagađivače iz zraka. Isti je stvoren u okviru SMOG FREE PROJECTA. SMOG FREE PROJECT je kampanja za čist zrak, smanjenje zagađenja zraka i pružanje inspirativnog iskustva čiste budućnosti, uključujući niz urbanih inovacija poput samog Smog free tower-a koji predstavlja lokalno rješenje za čist zrak na javnim prostorima. Istu vodi prof. Daan Roosegaarde. Ova kampanja u kombinaciji sa višestrukim radionicama i vladama, studentima i "industrijom čistih tehnologija" nastoji da ljudi zajedno rade i u konačnici postignu da cijeli gradovi budu bez smoga. Nedavne kampanje SMOG FREE PROJEKTA pokrenute su u Južnoj Koreji, Kini, Holandiji, Meksiku i Poljskoj. Mantra prof. Daan Roosegaarde-a je: "Na misiji smo za čisti zrak", te se može reći da je ista i ostvarena. Prof. Roosegaarde je dobitnik nagrade Ethics Ethical Award, Grand Award za održivost, Europe 40 Under 40 Awards, Design That Educates Award, Gold Award Design for Asia, Platinum A'Design Award i German Design Award Excellent Product Design. Po tehničkim karakteristikama Smog free toranj je aluminijski toranj visok 7 metara, koji koristi samo 1170 vati zelene struje kao i tehnologiju pozitivne ionizacije te pročisti 30.000 kubnih metara zraka po satu "ultra sitnog" smoga stvarajući mjehuriće bez smoga na javnim prostorima, odnosno čist zrak. Tehnologija Smog Free Tower-a bazira se na sistemima za pročišćavanje zraka koji se često koriste u bolnicama, naime čestice zagađivača se privlače statičkim električnom u čistom zraku, ali na većoj skali. Smog Free Tower konkretno čisti zrak usisavajući smog na vrhu tornja te ispuštajući filtrirani zrak kroz svoje šesterostrane otvore. Naelektrisanjem Smog Free Tower-a malim pozitivnim nabojem elektroda će slati pozitivne ione u zrak, ovi će se ioni potom pričvrstiti za sitne čestice prašine. Negativno naelektrisana površina, kontra elektroda, će uvući pozitivne ione, zajedno sa sitnim česticama prašine. Sitne čestice prašine koje bi ljudskom zdravlju inače mogle naštetiti skupljaju se zajedno s jonima i deponuju unutar tornja. Ova tehnologija uspijeva "zarobiti" ultrafine čestice smoga koje alternativni sistemi za pročišćavanje zraka odnosno filtraciju ne uspijevaju. Zanimljiv i inovativan momenat, koji svakako pomaže da se podigne svijest o zagađenju a i dozvoljava stanovništvu da vidi zagađenje oko sebe, je da nakon što toranj sakupi hrpe crnog praha (zagađivača), dizajneri iz projektnog tima iste pretvaraju u prstenove. Dijamanti iziskujuju previše energije da bi se proizveli, pa se umjesto njih prave jednostavni četvrtasti prstenovi sa "kockom" kompresovanog zagađenja. Svaki prsten sadrži 1.000 kubnih metara zagađivača (smoga) iz gradskog zraka.

Funkcionisanje Smog free toranja potvrdio je profesor dr. Bert Blocken sa Tehnološkog univerziteta u Eindhovenu, a isti se uspješno primjenjuje u Južnoj Koreji, Kini, Holandiji i Poljskoj. Smog free toranj je kreirao Daan

Roosegaarde u saradnji s inženjerima i dizajnerima Studija Roosegaarde, ENS-a i do 2013.godine savjetnikom Ursemom. Cijena jednog ovakvog tornja trenutno, na početku 2020. godine, odnosno u momentu pisanja ovog rada, iznosi cca. 54.000 \$.

Pomenut ćemo još jedan inovativan i efektan projekat koji ima utjecaj na zagađenje na velikoj skali u gradu Monterrey-u u Meksiku. Pored inovacije koju ćemo pomenuti korisna je analogija u geografskom smislu između Monterrey-a i Sarajeva, iz razloga što u Monterrey-u ima malo prostora za drveće te je zagađenje zarobljeno u kotlini okruženoj planinama. U Monterrey-u postoji više od 9000 bilborda, ovaj grad je teško zagađen. Važnost čistog zraka je nove ideje gurnula u stvarnost. Prvi bilbord koji "jede smog" daje čist zrak u količinama jednakim istim kao što daje 30 stabala svakih 6 sati, te isti može funkcionisati pet godina. Bilbord koji jede smog svakodnevno pruža čist zrak za 104.000 ljudi. U Monterrey-u je postavljeno ukupno 9.760 bilborda, koji bi zajedno mogli obaviti posao 292.800 stabala u periodu od šest sati kada bi se prilagodili opisanom režimu rada odnosno „jedenju smoga“. Ovakav bilbord ima površinu obloženu hemikalijom koja privlači čestice zagađivače, a zatim ih pročišćava, u procesu koji se naziva fotokataliza. Fotokatalitički proces je sličan fotosintezi kojom biljke pretvaraju ugljen dioksid i vodu u hranu. IKEA je također koristila fotokatalitički mineral u svojoj zavjesi za pročišćavanje zraka "Gunrid". U projektu prof. Roosegaarde-a, materijal pod nazivom Pollu-Mesh se aktivira prirodnom svjetlošću te se koristi za odvajanje kisika od ugljen dioksida. "Bilbord koji jede smog koristi specifičnu nanotehnologiju koju aktivira sunčeva svjetlost, pokrećući proces fotokatalize u kojem se, pri kontaktu sa česticama zagađivačima, iste neutraliziraju, na koji način se oslobađa kisik", pojašnjavaju iz studija Roosegaarde. Ovakvi Pollu-Mesh billboardi su postavljeni na strateškim lokacijama po gradu, gdje gust saobraćaj a samim tim veća koncentracija zagađenja. Svaki bilbord koji se postavljen uz cestu je dimenzija 12,7 sa 7,2 metra te , kao što je već navedeno, oslobađa istu količinu kisika kao i 30 stabala tokom perioda od šest sati, dalje se navodi od strane studija Roosegaarde.

Pitanja koja je nužno prevashodno definisati, a potom odgovoriti kako bi se postigao bezbjedan kvalitet zraka u Kantonu Sarajevu prevashodno a i cijeloj BiH, su svakako pitanja koja se odnose na: Geografske i meteorološke karakteristike, Stanje kvaliteta zraka i poduzeti koraci ka unapređenju stanja do sada, Kritička analiza stanja kvaliteta zraka u Kantonu Sarajevo, Preporuke za donosioce odluka. U sektoru grijanja nužno je regulisanje korištenja čvrstih goriva na području Kantona, podsticanje energijske efikasnosti stambenih zgrada, proširenje sistema daljinskog grijanja. U sektoru saobraćaja potrebno je izdejstvovati: Strožije emisione standarde za

vozila u užoj gradskoj jezgri, Unapređenje upravljanja saobraćaja u mirovanju u užoj gradskoj jezgri, Upravljanje saobraćajem u realnom vremenu, Unapređenje javnog prevoza, Popularizaciju električnih vozila, Unapređenje provođenja tehničkih pregleda za motorna vozila. U sektoru prostornog planiranja nužna je Izgradnja pješačkih koridora i biciklističkih staza, Propisivanje zahtjeva za centralnom pripremom sanitarne vode u novim zgradama te Izgradnja zelenih površina i sadnja drveća. U sektoru upravljanja kvalitetom zraka potrebno je Unapređenje sistema informisanja i javne kampanje kao i Revizija pragova informisanja i alarmiranja u slučajevima prekomjerne zagađenosti zraka. Uporedo sa navedenim potrebna je kontinuirana Edukacija i uključivanje interesnih skupina u ovu problematiku.

4. ZAKLJUČAK

Jedan od glavnih preduslova za postizanje određenog cilja na većoj skali je svakako potrebna, odnosno progresivna svijest. Prema izloženom, a manje više i svim ostalim parametrima izvan opsega ovog istraživanja, svijest građana cijele BiH na žalost je preokupirana nametnutim egzistencijanim problemama koji zauzimaju slobodan prostor za mišljenje koji je potreban da bi se progresivna svijest razvila. Da bi se uopšte razgovaralo o temi smanjenja nivoa PM 2,5 u gradskim područjima u BiH i o smanjenju i upravljenju koncentracijama zagađivača zraka mora se realno sagledati cjelokupna slika o životnom standardu kao i o strukturi stanovništva u BiH. Put ka kreaciji svijesti koja će omogućiti građanima BiH da sebi obezbjede svijetlu, čistu budućnost je iz ove perspektive veoma dug, ali ipak prelazan, pa je stoga nužno djelovati. Iako je glavni fokus ovog istraživanja na PM 2,5 česticama, ukoliko se cilj ovog rada postigne, a to je u prvom redu poduzimanje konkretnih koraka za smanjenje i upravljenje koncentracijama zagađivača zraka, svakako će se i drugi zagađivači svesti na prihvatljive nivoe te će se na ovaj način doprinjeti ukupnom zdravlju i napretku stanovništva. Izložena analiza jasno ukazuje da trenutno postoje primjenjive strategije i mjere koje u zavisnosti od svojih specifičnosti daju konkretne rezultate u pripadajućem obimu i vremenskom okviru. Iz primjera Japana tj. Tokija se mogu izvući veoma vrijedne lekcije, između ostalog, da BiH nije sama na svijetu koja se bori sa problemom smanjenja i upravljanja koncentracijama zagađivača u zraku, i da je problem rješiv, ali samo ukoliko se djeluje. Također, vrijedi istaći da se problem zagađenja nije pojavio u trećem mileniju, isti u većem obimu postoji u svijetu, a i u BiH, od pojave industrijalizacije. Ovo naravno ne umanjuje impetus djelovanja, već može i treba da služi kao primjer. Budući da je naš fokus na Sarajevu, cijeneći sve specifičnosti istog kao i činjenicu da je Sarajevo glavni grad i centar naše

države, kao najsvjetliji a i najpragmatičniji primjer može poslužiti Emerik Blum koje se u prošlom vijeku kao gradonačelnik Grada na efikasan način borio i izborio sa ovim problemom. Naravno, današnja realnost je takva da je na žalost administrativni aparat preglomazan te da kao takav guši procese umjesto da ih pokreće i realizuje. Činjenica postojanja višestrukih nivoa vlasti koji bazično usložnjavaju donošenje i implementaciju svih odluka se veoma negativno reflektuje na ishod, odnosno našu budućnosti po pitanju postizanja i disanja čistog zraka, a i dobrog kvaliteta života uopšte. U ovoj situaciji izvjestan je period u kojem se stanje u BiH ne može i neće kratkoročno promijeniti, međutim, ukoliko se problematika konačno ozbiljno shvati i odmah pristupi konkretnom djelovanju, bilo kroz predočene ekonomske modele djelovanja, inovativne tehnologije i izume tj. koncepte i tehnologije, postoji realna šansa za svijetlom budućnosti. Iz svega navedenog proizlazi zaključak da postoji realna i opravdana potreba da se odmah pristupi rješavanju problema smanjenje i upravljenje koncentracijama zagađivača zraka. Suština je da se ovaj problem riješi, a da bi se riješio istom se mora konačno i konkretno pristupiti, a gore navedeno je više načina kako se isto može i mora postići.

LITERATURA

1. Alcamo J, Shaw R and Hordijk L. 1990. The RAINS Model of Acidification: Science and Strategies in Europe. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers,.
2. Alcamo J, Shaw R and Hordijk L. 1990. The RAINS Model of Acidification: Science and Strategies in Europe. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers,.
3. Amann M, Cofala J, Heyes C, Klimont Z, Mechler R, Posch M and Schöpp W. 2004. The RAINS Model. Documentation of the Model Approach Prepared for the RAINS Review. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
4. Amanna M, Bertoka I, Borcken-Kleefeld J, Cofalaa J, Heyesa C, Höglund-Isaksson L et al. 2011. Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: modeling and policy applications. Environmental Modelling & Software.
5. Amanna M, Bertoka I, Borcken-Kleefeld J, Cofalaa J, Heyesa C, Höglund-Isaksson L et al. 2011. Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: modeling and policy applications. Environmental Modelling & Software.
6. Asia. 2008. A tool to combat air pollution and climate change simultaneously. Methodology.
7. Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk Assessment PRO (ADMER-PRO). 2015. <http://www.aist-riss.jp/software/admer-pro/index.html>. Inoue K, Higashino H. Development and verification of the atmospheric model ADMER-PRO applicable for secondary formation. Journal of Japan Society for Atmospheric Environment.
8. Atmospheric Environmental Regional Observation System (AEROS). 2010. <http://soramame.taiki.go.jp>. Tani M. Japan's Environmental Policy. RIETI Policy Update 039.
9. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, et al. 2014. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. The Lancet.
10. Chen F, Yamashita K, Kurokawa J and Klimont Z. 2015. Cost-Benefit Analysis of Reducing Premature Mortality Caused by Exposure to Ozone and PM 2.5 in East Asia in 2020. Water, Air, & Soil Pollution.
11. Ciucci A, D'Elia I, Wagner F, Sander R, Ciancarella L, Zanini G, and Schöpp W. 2016. Cost-effective reductions of PM2.5 concentrations and exposure in Italy. Atmospheric Environment, 2016.

12. D'Elia I, Bencardino M, Ciancarella L, Contaldi M and Vialetto G. 2009. Technical and Non-Technical Measures for air pollution emission reduction: The integrated assessment of the regional Air Quality Management Plans through the Italian national model. *Atmospheric Environment*.
13. David Y. H. Pui, Qingfeng Cao, Wojciech Lipinski. Light, Energy and the Environment Congress (E2, PV,SOLAR,SOLED).
14. Environmental Protection Agency (EPA) 2006. AirControlNET ver.4.1 control measure document report. <http://www.epa.gov/ttnecas1/models/DocumentationReport.pdf>.
15. Environmental Protection Agency (EPA). 2006. AirControlNET ver.4.1 control measure document report. <http://www.epa.gov/ttnecas1/models/DocumentationReport.pdf>. 13. Tierney, J.F., 2010. Report of the Majority Staf. fonline]. https://www.cbsnews.com/htdocs/pdf/HNT_Report.pdf.
16. Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Integrated science assessment for particulate matter (Final Report), EPA/600/R-08/139F, Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
17. Farrell A, Van Deveer SD and Jäger J. 2001. Environmental assessments: four under-appreciated elements of design. *Global Environmental Change*.
18. Hordijk L, Amann M. 2007. How science and policy combined to combat air pollution problems. *Environmental Policy and Law*.
19. http://www.pecj.or.jp/english/index_e.html. Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species (SPRINTAR). <http://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/indexe.html>.
20. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_database_results2014.pdf?ua=1.
21. <https://ba.boell.org/bs/2019/04/04/policy-brief-prioritetne-mjere-za-unapredenje-kvaliteta-zraka-u-kantonu-sarajevo>.
22. <https://www.dezeen.com/2019/12/13/roosegaarde-smog-eating-billboard-mexico/>.
23. <https://www.studioroosegaarde.net/project/smog-free-tower>.
24. Inomata Y, Ohizumi T, Take N, Sato K and Nishikawa M. Transboundary transport of anthropogenic sulfur in PM_{2.5} at a coastal site in the Sea of Japan as studied by sulfur isotopic ratio measurement. *Science of the Total Environment*. 2016; pmid:26970199.
25. Iwata K and Arimura TH. 2009. Economic analysis of Japanese air pollution regulation: an optimal retirement problem under the vehicle type regulation in the NO_x-particulate matter law. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*,

26. Iwata K, Arimura TH and Shiname T. 2014. The effectiveness of vehicle emission control policies: evidence from Japanese experience. TCER Working Paper E-77.
27. Japan Association of Aerosol Science and Technology. 2004. Glossary of Aerosol Science. Kyoto: Kyoto University Press.
28. Japan Auto-Oil Program (JATOP) JATOP 2nd outcome recital. 2012. <http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jatop/pdf02/007.pdf>
29. Japan Auto-Oil Program (JATOP) JATOP Emission Inventory-Data Base (JEI-DB). 2011. http://www.pecj.or.jp/english/index_e.html.
30. Kieseetter G, Borcken-Kleefeld J, Schöpp W, Heyes C, Thunis P, Bessagnet B et al. 2014. Modelling NO₂ concentrations at the street level in the GAINS integrated assessment model: projections under current legislation. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
31. Kieseetter G, Borcken-Kleefeld J, Schöpp W, Heyes C, Thunis P., Bessagnet B et al. 2015. Modelling street level PM₁₀ concentrations across Europe: source apportionment and possible futures. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
32. Kolstad CD *Environmental Economics*. 2010. New York, NY: Oxford University Press.
33. Large-Scale Solar Applications to Mitigate PM_{2.5} Pollution and Yellow Dust Storm in East Asia.
34. Lu M, Lin BL, Inoue K, Lei Z, Zhang Z, and Tsunemi K. 2016. PM 2.5-related health impacts of utilizing ammonia-hydrogen energy in Kanto Region, Japan. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2018; Watanabe T, Izumi T, and Matsuyama H. Accumulated phytotoxic ozone dose estimation for deciduous forest in Kanto, Japan in summer. *Atmospheric Environment*.
35. Oxley T, Dore AJ, ApSimon H, Hall J and Kryza M. 2013. Modelling future impacts of air pollution using the multi-scale UK Integrated Assessment Model (UKIAM). *Environment international*. pmid:24096039.
36. Oxley T, Dore AJ, ApSimon H, Hall J and Kryza M. Modelling future impacts of air pollution using the multi-scale UK Integrated Assessment Model (UKIAM). *Environment international*. 2013; pmid:24096039.
37. Rao S, Klimont Z, Leitao J, Riahi K, Van Dingenen R, Reis LA et al. 2016. A multi-model assessment of the co-benefits of climate mitigation for global air quality. *Environmental Research Letters*. 124013.
38. Schöpp W., Amann M, Cofala J, Heyes C, and Klimont Z. 1999. Integrated assessment of European air pollution emission control strategies. *Environmental Modeling and Software*.

39. Siderius PJS and Nakagami HA 2013. MEPS is a MEPS is a MEPS: comparing ecodesign and top runner schemes for setting product efficiency standards. *Energy Efficiency*.
40. Takemura T, Nakajima T, Higurashi A, Ohta S and Sugimoto N. 2003. Aerosol distributions and radiative forcing over the Asian Pacific region simulated by Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species (SPRINTARS). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 108 (D23).
41. Tokyo Metropolitan Government Status of particulate matter 2.5 in 2012.
<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2014/08/DATA/60o8q103.pdf>.
42. Tuinstra W, Hordijk L and Amann M. 1999. Using computer models in international negotiations: the case of acidification in Europe. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*.
43. Vieno M, Heal MR, Williams ML, Carnell EJ, Nemitz E, Stedman JR and Reis S. 2016. The sensitivities of emissions reductions for the mitigation of UK PM_{2.5}. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
44. Vieno M, Heal MR, Williams ML, Carnell EJ, Nemitz E, Stedman JR and Reis S. 2016. The sensitivities of emissions reductions for the mitigation of UK PM_{2.5}. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
45. Wagner F, Heyes C, Klimont Z and Schöpp, W. 2013. The GAINS optimization module: Identifying cost-effective measures for improving air quality and short-term climate Forcing. IIASA internal report; IR-13e001.
46. Wagner F, Heyes C, Klimont Z and Schöpp, W. 2013. The GAINS optimization module: Identifying cost-effective measures for improving air quality and short-term climate Forcing. IIASA internal report; IR-13e001.
47. Wagner F, Schöpp W and Amann M, 2013. Dealing with fixed emissions ceilings in an uncertain future: offsetting under environmental integrity. *Journal of Environmental Management*.
pmid: 23792887
48. World Health Organization (WHO) Air quality guidelines: global update 2005.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1.
49. Wu R, Dai H, Geng Y, Xie Y, Masui T, Liu Z and Qian Y. 2017. Economic impacts from PM_{2.5} pollution-related health effects: a case study in Shanghai. *Environmental Science & Technology*.
50. Yushi Kunugi, Toshi H. Arimura, Kazuyuki Iwata, Eiji Komatsu, Yoshie Hirayama, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207623>.