

Modeliranje kakovosti zunanjega zraka kot preventivni ukrep pri zagotavljanju zdravega življenjskega okolja

Ambient air quality modelling as a preventive measure in ensuring a healthy living environment

Damjan KOVAČIČ*, Matic IVANČIČ, Rudi VONČINA

POVZETEK

V zadnjih 20-ih letih je bil na področju zmanjševanja emisij snovi v zrak storjen velik napredek. Le ta izhaja iz mednarodno sprejete konvencije CLRTAP in njej pripadajočih protokolov, ki urejajo zmanjševanje emisij različnih onesnaževal v zrak. Pri tem ne gre prezreti z Evropsko unijo usklajene okoljske zakonodaje, ki narekuje zelo stroge pogoje obratovanja ob uporabi najboljše razpoložljive tehnologije. Poleg tega se je pri nekaterih projektih, ki lahko povzročijo vplive na okolje oz. predstavljajo dejavnosti in naprave, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega, dodobra uveljavil preventivni pristop, v katerem se v zgodnjih fazah projektiranja preverijo okoljski vplivi posameznega projekta. Pri tem se med drugim uporabljajo uveljavljena in preizkušena računalniška orodja med katera sodijo tudi modeli za izračunavanje širjenja onesnaženja zraka iz različnih virov emisij snovi v zrak. Za namen umeščanja plinsko parne elektrarne na območju lokacije TE Trbovlje smo z uporabo Lagrangeevega modela CALPUFF izračunali širjenje onesnaženja v zunanjem zraku pri največji obremenitvi. Cilj naloge je bil določiti okoljsko sprejemljivo višino odvodnika odpadnih dimnih plinov, ki bo zagotovil zdravo življenjsko okolje za ljudi.

Ključne besede: kakovost zunanjega zraka, emisije snovi v zrak, širjenje onesnaževal v zunanjem zraku, presoja vplivov na okolje, okoljska sprejemljivost

ABSTRACT

In last 20 years significant progress has been made in reducing air emissions. This arises from the internationally accepted Convention on Long-Range Transboundary Air Pollutions and its related protocols which regulate the reduction of emissions of different air pollutants. In this does not constitute to ignore the harmonized environmental legislation with the European Union, which

Received: 8. 10. 2014

Accepted: 6. 11. 2014

Elektroinštitut Milan Vidmar,
Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

* *Corresponding author*

Damjan Kovačič
Elektroinštitut Milan Vidmar,
Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija
damjan.kovacic@eimv.si

dictates very stringent operational conditions using the best available technology. Moreover, for certain projects which are likely to have significant environmental impacts or activities and installations that can cause large-scale environmental pollution, preventive approach was well established in which environmental effects in the early stages of design are reviewed. In doing so, implemented and tested computer tools which also include models for calculating the spread of air pollution from various sources of emissions into the air are used. In order to verify the acceptability of placing combined cycle gas turbine in the area of thermo power plant Trbovlje, we calculated the dispersion of pollution in ambient air at maximum load, using the Lagrangian model CALPUFF. The aim of the assignment was to determine environmentally acceptable height of the flue gases stack which will provide the healthy living environment for people.

Key words: air quality, air pollutions emission, dispersion of pollutants in the ambient air, environmental impact assessment, environmental acceptability

UVOD

Ustava Republike Slovenije v svojem 72. členu določa, da ima vsakdo v skladu z zakonom pravico do zdravega življenjskega okolja, pri čemer mora za zdravo življenjsko okolje skrbeti država z ustreznimi zakonodaji in njeno implementacijo.

Zrak je tako kot voda bistvenega pomena za življenje. Človek vsak dan vdihne od 10.000 do 20.000 litrov zraka, odvisno od njegove aktivnosti [1], zaradi česar je ustrezna kakovost zraka še kako pomembna.

Dvig standarda in kakovosti življenja, predvsem pa porast potrošnje materialnih dobrin, so pospešili razvoj znanosti in tehnike ter z njima povezano povečanje proizvodnih zmogljivosti. Pri tem se je v začetku sledilo zgolj kratkoročnim ciljem. Prezrlo pa se je stranske učinke, ki so se kazali tako v pretiranem izčrpanju naravnih virov kot v nenadzorovanem onesnaževanju okolja. Degradacija življenjskega prostora in z njo povezana ogroženost preživetja sta narekovali nov način razmišljanja in delovanja.

Zavest o nujnosti z okoljem usklajenega delovanja je dobila še pomembnejše mesto pri načrtovanju ekonomskega razvoja. Okoljska problematika je s tem postala ena od izhodišč, na osnovi katerih se sprejemajo lokalne, državne in globalne gospodarske strategije. V njenem okviru je ohranjanje kakovosti zraka eden od najpomembnejših elementov varovanja okolja. Že dolgo je namreč znano, da snovi, ki se emitirajo v zrak, povzročajo:

- degradacijo kakovosti zraka,
- povečanje obolevnosti ljudi, ki se odraža v porastu akutnih in kroničnih bolezni ter povečani smrtnosti,
- tanjšanje ozonske plasti,
- klimatske spremembe (segrevanje ozračja),
- zakisovanje tal,
- poškodbe na zgradbah in drugih objektih,
- zmanjšanje kmetijske proizvodnje ter
- propad ali vsaj ogroženost niza rastlinskih in živalskih vrst.

Prvi korak so na področju ugotavljanja posledic onesnaževanja okolja naredili skandinavski znanstveniki. Vodilno vlogo je imel Svante Odén, ki je v svojih delih izpostavil spremembe v njihovih jezerih in rekah [2, 3]. Sestava vodne flore in favne se je začela hitro spreminjati, veliko živalskih in rastlinskih vrst pa je izginilo. Najhujše škodljive posledice so bile v južni Skandinaviji. Kmalu so odkrili tudi razlog za omenjene spremembe – kisli dež in zakisovanje tal. Gospodarska škoda zaradi tega pojava je hitro naraščala.

Kar nekaj časa in energije so znanstveniki vložili v ugotovitve, da je poglaviti vzrok za kisli dež veliko onesnaževanje zraka v zahodni in srednji Evropi ter ravno tako tudi v Severni Ameriki. Škodljive snovi lahko potujejo z zračnimi tokovi več tisoč kilometrov in nato padejo na tla ter povzročijo škodo v okolju daleč stran od virov onesnaževanja. Zaradi kompleksnosti problema, ki se je pokazal, ga je možno učinkovito reševati le na osnovi tesnejšega mednarodnega sodelovanja. Pravne temelje za mednarodno ukrepanje za zmanjšanje onesnaževanja je postavila prva konferenca OZN o okolju, ki je bila leta 1972 v Stockholmu. Sprejeto je bilo načelo, da morajo države poskrbeti, da s svojo dejavnostjo ne povzročajo okoljske škode zunaj svojih meja. Konec leta 1979 je bila v Ženevi podpisana prva okoljska konvencija z naslovom Konvencija o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (v nadaljevanju CLRTAP), ki je stopila v veljavo leta 1983 [4]. Od leta 1984 pa do leta 1999 so na podlagi CLRTAP sprejeli osem protokolov [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Vsi so že stopili v veljavo oz. je bil rok za doseg ciljev že dosežen. Sprejeti protokoli so med drugim tudi smernice pri sprejemanju zakonskih predpisov posamezne države. Hkrati lahko služijo kot vodilo pri oblikovanju državne strategije, katere končni cilj je doseči predpisano zgornjo mejo emisij posameznega onesnaževala. Le na ta način je mogoče zadovoljiti skupne interese po zdravem in kvalitetnejšem življenju in življenjskem okolju.

Zadnji sprejeti protokol je Protokol o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h Konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja in je bil sklenjen novembra 1999 [12]. Republika Slovenija je Protokol podpisala decembra 1999 in maja 2004 tudi ratificirala [13]. Protokol postavlja zgornje nacionalne meje emisij za leto 2010, in sicer za žveplove okside, dušikove okside, hlapne organske spojine in amoniak. Njihov glavni vir je človekova dejavnost in lahko zaradi zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona, ki so posledica čezmejnega prenosa po ozračju na velike razdalje, škodljivo vplivajo na zdravje ljudi, naravne ekosisteme, materiale in pridelke. Za ob-

Tabela 1:

Zgornje meje emisij snovi v zrak v letu 2010 in stanje emisij snovi v zrak v letu 2012 [14]

	SO ₂	NO _x	NH ₃	NMVOC
Emisije v referenčnem letu 1990 (kt/leto)	198,7	61,0	22,3	69,3
Znižanje emisij v letu 2010 (%) glede na izhodiščno leto 1990	86,4 %	26,2 %	10,3 %	42,3 %
Zg. meja emisij (kt/leto)	27	45	20	40
Emisije v letu 2012 (kt/leto)	10,2	45,4	17,5	39,5

dobje po letu 2010 je sklenjeno, da se dosežene meje ne presega. Zgornje nacionalne meje emisij in zmanjšanje emisij za posamezna onesnaževala, ki jih mora glede na referenčno leto 1990 doseči Slovenija, so prikazane v tabeli 1. Poleg tega so v tabeli podane tudi emisije obravnavanih onesnaževal v zrak za leto 2012, ki jih mora RS vsako leto poročati Sekretariatu konvencije CLRTAP [14].

Zadnji razpoložljivi podatki o nacionalnih letnih emisijah obravnavanih onesnaževal v zrak izkazujejo, da so emisije SO₂ bistveno pod predpisano zgornjo mejo. Rahlo pod predpisano zgornjo mejo so tudi emisije NH₃ in NMVOC. Le emisije NO_x trenutno izkazujejo preseganje zgornje meje emisij. Pri tem je treba poudariti, da več kot 50 % delež prispeva sektor cestnega prometa, zaradi česar bo v naslednjih letih pod pritiski ukrepov, s katerimi se bo zagotovilo določeno zmanjšanje emisij NO_x.

S sprejetjem Zakona o varstvu okolja v letu 1993 [15] in spremembami v letu 2004 [16] je bil vzpostavljen pravni red za spodbujanje in usmerjanje takega družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za kakovostno in zdravo življenjsko okolja človeka. Med cilji Zakona [15] so tudi preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja in ohranjanje ter izboljševanje kakovosti okolja.

Na podlagi omenjenega Zakona [15] je bila sprejeta vrsta uredb in pravilnikov, ki urejajo področje kakovosti zunanjega zraka, emisij snovi v zrak iz različnih virov onesnaževanj ter upravni postopki, katerih rezultat je za posamezni poseg izdano okoljevarstveno soglasje in/ali okoljevarstveno dovoljenje. Za določene vrste posegov v okolje je zaradi njihove velikosti, obsega, lokacije ali drugih značilnosti, ki lahko vplivajo na okolje, presoja vplivov na okolje in pridobitev okoljevarstvenega soglasja (v nadaljevanju OVS) obvezna in jih opredeljuje Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje [17].

Ravno tako je na področju pridobivanja okoljevarstvenega dovoljenja (v nadaljevanju OVD), kjer je z Uredbo o vrsti in dejavnosti naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega [18] opredeljeno, kateri posegi oz. naprave morajo pridobiti integralno okoljevarstveno dovoljenje oz. bolj znano kot IPPC dovoljenja (ang. Integrated Pollution, Prevention and Control).

Presoja vplivov na okolje

Presoje vplivov na okolje so se pričele izvajati v ZDA s sprejetjem Zakona o politiki v okolju [19] leta 1969, nakar so se razširile v Evropo in seveda tudi v RS. Presoje so tako postale pomembno, če ne že kar ključno orodje pri varovanju okolja in zagotavljanju človekovega zdravja v primeru načrtovanja projektov, katerih poseg in obratovanje imajo za posledico vplive na okolje. Na podlagi Zakona o varstvu okolja [15, 16] so bili sprejeti podzakonski akti, ki določajo posege oz. plane, ki lahko pomembno vplivajo na okolje [17]. V začetni fazi umeščanja projekta v prostor se izvede celovita presoja vplivov na okolje, za katero se izdela okoljsko poročilo. To mora biti skladno z Uredbo o okoljskem poročilu in podrobnejšem postopkom celovite presoje vplivov izvedbe planov na okolje [20]. Po izboru prostora nastopi naslednja faza presoje vplivov na

okolje, ki se izvede za konkretno tehnološko rešitev. Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje [17], po novem uvaja predhodni postopek, v katerem se ugotovi, ali je treba za posamezen poseg izvesti presojo vplivov na okolje in pridobiti okoljevarstveno soglasje ali ne. Postopek opravi Agencija RS za varstvo okolja in na podlagi izvedene presoje vplivov na okolje izda OVS.

Pri presoji vplivov na okolje zaradi izvedbe projekta je treba skladno z zakonskimi zahtevami proučiti vse segmente okolja, kot npr. rabo naravnih virov, vrste in količine stranskih proizvodov ter odpadkov, ekosisteme, rastlinstvo in živalstvo ter njihove habitate na območju, vplive emisij snovi na kakovost zunanjega zraka, klimatske razmere, človekovo nepremičninsko premoženje itd.

Umeščanje novega vira onesnaževanja v določen prostor je mogoče le, če okolje to dopušča. To pomeni, da obstoječe stanje določene okoljske sestavine (npr. kakovost zunanjega zraka) ne sme izkazovati čezmerne onesnaženosti in s tem preseganja predpisanih mejnih vrednosti oz. kumulativni vplivi obstoječih virov in novega vira ne presegajo predpisanih mejnih vrednosti. Razen, če je novi vir del sanacijskega ukrepa, s katerim se stari vir zamenja z novim sodobnejšim virom, ki ustreza strogim zakonskim določilom oz. najboljši razpoložljivi tehniki.

Kakovost zunanjega zraka

Uredba, ki je v RS urejala področje kakovosti zunanjega zraka, je bila Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih snovi v zraku [21]. Ta uredba je določala normative za vrednotenje stanja onesnaženosti zraka v spodnji plasti zunanje atmosfere. Nato so bile v letih 2002 in 2003 na tem področju sprejete nove uredbe [22, 23, 24, 25, 26, 27]. Z vstopom RS v EU je bilo treba harmonizirati celotno zakonodajno področje, med drugim tudi zunanji zrak. Trenutno je v veljavi Uredba o kakovosti zunanjega zraka [28].

Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja [29] določa ukrepe in postopke za preprečevanje ali zmanjševanje onesnaženosti zraka iz naprav, ukrepe v zvezi z varovanjem zdravja ljudi v okolici naprav, ki kot nepremični viri onesnaževanja zaradi svojega obratovanja povzročajo onesnaževanje zunanjega zraka ter ukrepe v zvezi z zagotavljanjem varstva ljudi in okolja pred škodljivimi učinki onesnaževanja zunanjega zraka zaradi emisije snovi v zrak iz teh naprav. Poleg naštetega je za področje zunanjega zraka predpisan postopek ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka na območju vrednotenja obremenitve zunanjega zraka.

V skladu z omenjeno uredbo je treba oceniti obremenitev zunanjega zraka kot:

- obstoječo obremenitev, ki je definirana kot onesnaženost zunanjega zraka na območju vrednotenja obremenitve zunanjega zraka brez vpliva emisije snovi v zrak iz naprave,
- dodatno obremenitev, ki je definirana kot onesnaženost zunanjega zraka na območju vrednotenja obremenitve zunanjega zraka in je posledica le emisije snovi v zrak iz naprave, ki se jo ocenjuje in

- celotno obremenitev, ki je definirana kot vsota obstoječe in dodatne obremenitve.

Poleg tega je treba določiti tudi območje vrednotenja, ki je definirano kot območje v okolici naprave, opredeljeno z zunanjo mejo in s prostorsko opredeljenimi merilnimi mesti, na katerih se ugotavlja celotna obremenitev.

V nadaljevanju prispevka je predstavljen primer modeliranja kakovosti zunanjega zraka na območju TE Trbovlje, ki je bilo v svoji zgodovini eno najbolj onesnaženih območij v RS zaradi emisij žveplovega dioksida. Pri tem želimo izpostaviti, da je treba pred umestitvijo novega velikega vira emisij snovi v zrak zagotoviti, da je trenutno stanje okolja zmožno sprejeti dodaten vir oz. je treba dokazati, da se z novim virom stanje ne bo poslabšalo in bo skladno z veljavno zakonodajo. To ne velja le za SO₂, ampak tudi za vsa reprezentativna onesnaževala določenega tehnološkega procesa, kot je npr. proizvodnja električne energije z uporabo zemeljskega plina.

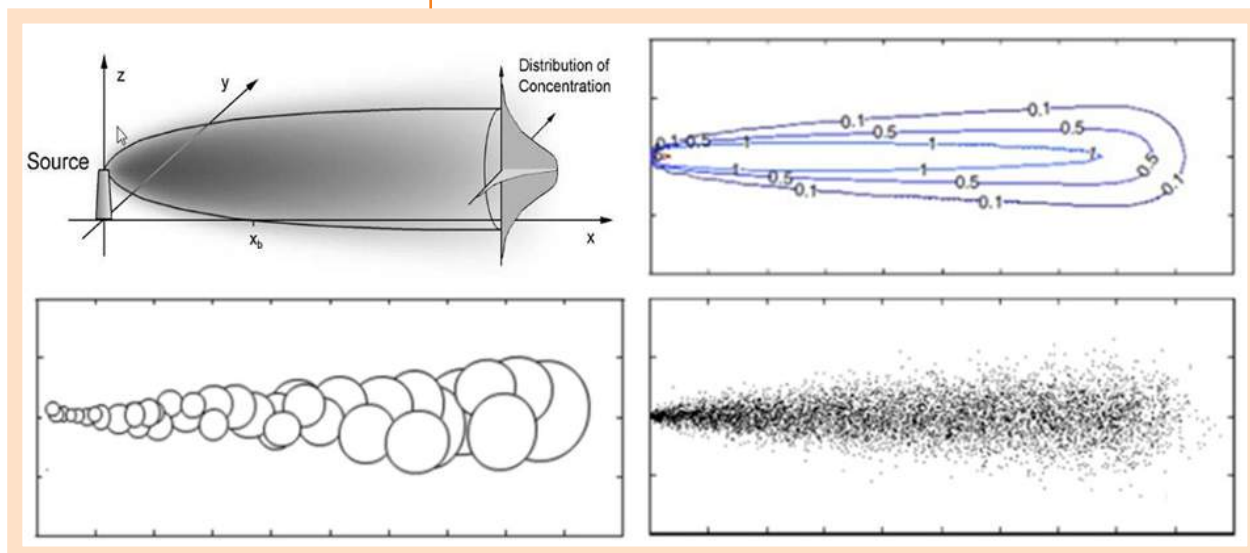
NOVI TRENDI NA PODROČJU MONITORINGA KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA

Kot je bilo že ugotovljeno, je zrak ena ključnih okoljskih sestavin, ki so tako na globalnem kot tudi na nacionalnem nivoju dosegle velik napredek pri zmanjševanju onesnaževanja. Vsaka država EU je prevzela tudi obveznost, da bo oblikovala čim boljše politiko in strategijo, ki bo zajemala sisteme nadzora nad kakovostjo zraka in v tem okvirju nadzorstvene ukrepe, ki bodo omogočali uravnotežen razvoj, zlasti z uporabo najboljše razpoložljive tehnike (v nadaljevanju NRT). Le ta mora biti z ekonomskega vidika sprejemljiva, čista in z malo odpadki. Tako so veliki viri onesnaževanja v RS pridobili integralna okoljevarstvena dovoljenja in so sedaj pod strogim nadzorom.

Modelski izračuni širjenja onesnaženja v zunanjem zraku predstavljajo dopolnitev emisijskim meritvam in meritvam kakovosti zunanjega zraka pri izvajanju nadzora onesnaženja. Z njimi je mogoče pripraviti prostorsko sliko oz. prostorsko razporeditev onesnaženja ter oceniti prispevek oz. dodatno obremenitev posameznega vira onesnaževanja zraka. Prav tako je z modelskimi izračuni mogoče ovrednotiti prispevek različnih virov k skupnemu onesnaženju ter na podlagi pridobljenih rezultatov pripraviti ustrezne ukrepe in politike za izboljšanje stanja v prihodnosti [30]. Ti morajo slediti postavljenim okoljskim ciljem, ki jih predpisuje zakonodaja. Ravno tako se lahko skozi postopek presoje vplivov na okolje z modelskim izračunom preveri doprinos posameznega posega na kakovost zunanjega zraka na območju vrednotenja.

Samo širjenje onesnaženja v zunanjem zraku se v osnovi lahko opiše z dvema fizikalnima pojavoma, in sicer advekcijo onesnaženja v smeri vetra in disperzijo onesnaženja prečno na smer vetra. Pri tem je prvi pojav povezan s tridimenzionalnimi vetrovnimi polji, drugi pa s stabilnostjo atmosfere. Modelski opis širjenja onesnaženja je mogoče pripraviti na različne načine, kot opisujeta v svojem prispevku Žabkar in Rakovec [31]. V gro-

Slika 1:
Različni pristopi k modeliranju – zgoraj Gaussov in Eulerjev modelski pristop, spodaj pa Lagrangeev paketni in Lagrangeev delčni model [32, 33].

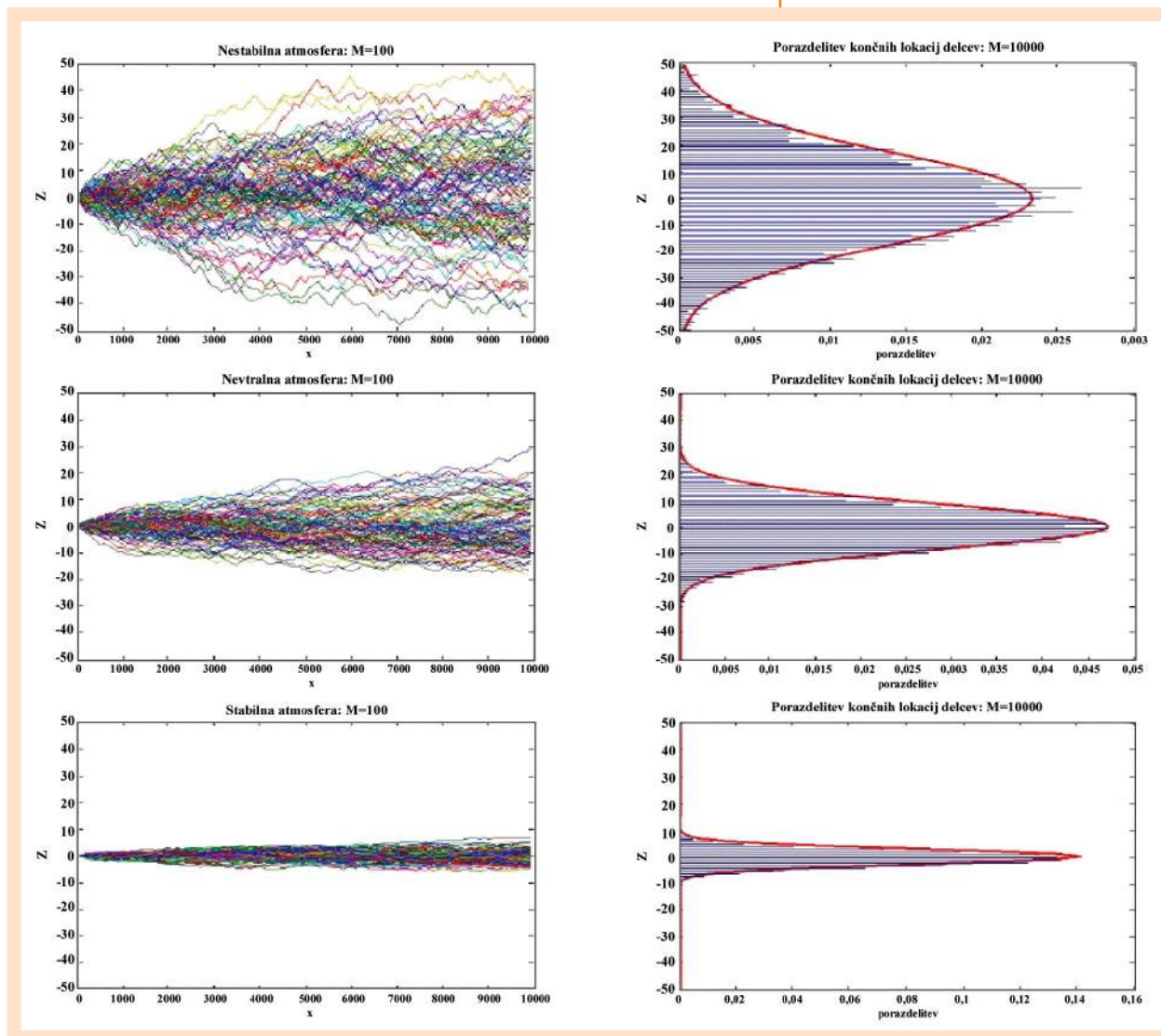


bem se loči glavne 3 tipe modelov, in sicer Gaussovi modeli, Eulerjevi modeli in Lagrangejevi modeli (Slika 11). Eulerjevi in Lagrangejevi modeli lahko v izračunih širjenja onesnaženja upoštevajo nehomogena vetrovna polja, zato so primerni za izdelavo simulacij nad razgibanim terenom, medtem ko Gaussovi modeli lahko upoštevajo le homogena vetrovna polja in niso primerni za kompleksen teren, kot je npr. slovenska pokrajina.

V opravljeni primerjavi disperznih modelov je Ivančič [34] ugotovil, da bolj kot tip modela na kakovost modelskih rezultatov vpliva količina vhodnih meteoroloških podatkov, ki jih je model sposoben obravnavati. GRAL in AUSTAL2000 sta Lagrangejeva delčna modela, ki lahko v izračun potrebnih meteoroloških polj vključita podatke iz samo ene meteorološke postaje. Več meteoroloških postaj ter vertikalne profile za izračun meteoroloških polj je mogoče vključiti v Lagrangeev paketni model imenovan CALPUFF.

Meteorološka polja na lokalni skali je mogoče pripraviti na različne načine. Prvi je uporaba mezoskalnih modelov na bolj fini prostorski resoluciji. Ker so taki izračuni časovno zahtevni, je pri simulacijah letnih analiz smiselno razmišljati o kategorizaciji podobnih situacij, ki se najpogosteje pojavljajo med letom, kot sta to predstavila Žabkar in Ivančič [35]. Drugi način je uporaba diagnostičnih modelov, njihova sklopitev z napovedmi mezoskalnih modelov [36] in priprava meteoroloških polj za vsako urno situacijo v letu. Diagnostični modeli omogočajo prilagajanje vetrovnih polj kompleksnemu terenu na lokalni prostorski skali, v izračun pa je mogoče vključiti tudi meritve iz več različnih meteoroloških postaj. Slabost takih modelov je, da pri izdelavi vetrovnih polj ne upoštevajo vseh fizikalnih zakonitosti ozračja, po drugi strani pa trajanje samih izračunov predstavlja pomembno prednost.

Pri širjenju onesnaženja prečno na smer vetra ima stabilnost ozračja pomembno vlogo. Stabilnost ozračja je lastnost, ki pove, koliko je ozračje dovzetno za vertikalna gibanja in je povezana z vertikalnim gradientom temperature v okolici (Slika 2). Najbolj neugodne razmere za redčenje onesnaženja se pojavljajo v času temperaturnih inverzij, zato morajo biti modeli zmožni obravnavati tudi take situacije.



V vseh naših modelskih izračunih širjenja onesnaženja emisij v zunanjem zraku uporabljamo CALPUFF/CALMET programsko opremo, ki je prosto dostopna na svetovnem spletu. Kot je bilo že opisano, je CALMET diagnostičen vetrovni model, CALPUFF pa Lagrangeev paketni model širjenja delcev. Uporabo modelskega sistema CALPUFF je priporočila ameriška okoljska agencija za obravnavo kompleksnih situacij širjenja onesnaženja na lokalni prostorski skali, kot so kompleksen teren, brezvetrje, obalni vetrovi in situacije s temperaturno inverzijo ter tudi za izdelavo simulacij širjenja onesnaženja na večjih prostorskih skalah. Model omogoča tudi poenostavljeno simulacijo kemijskih procesov, kot je npr. pretvorba NO_x v NO_2 [34].

MODELSKA OCENA KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA ZA PLINSKO PARNO ELEKTRARNO TRBOVLJE

Z uporabo modelskih izračunov lahko simuliramo bodoče stanje v okolju zaradi obratovanja novega vira emisij snovi v zrak, kar se vedno več uporablja tudi pri prostorskem načrtovanju. S temi orodji lahko že v zelo zgodni fazi nastajanja projekta preverimo ključne omejitvene dejavnike

Slika 2:

Širjenje onesnaženja prečno na smer vetra je povezano s stabilnostjo atmosfere. Prikazana je disperzija v labilnem ozračju (zgoraj), v nevtralnem ozračju (na sredini) in v stabilnem ozračju (spodaj) [34].

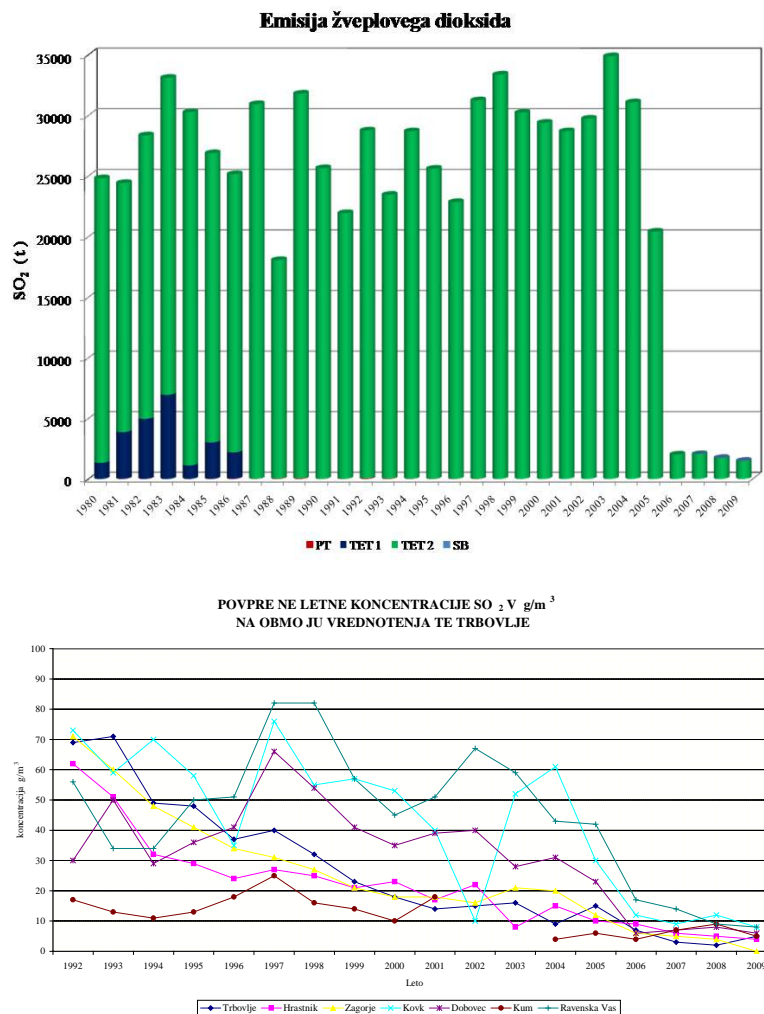
kot npr. kakovost zunanega zraka na širšem območju projektiranja. V danem primeru bomo predstavili primer uporabe modelskega izračuna širjenja onesnaženja v zunanjem zraku iz točkovnega vira emisij snovi v zrak. Pri tem smo se osredotočili na emisijo NO_x , ki predstavlja v zadnjem času, poleg PM_{10} , enega glavnih onesnaževal zunanega zraka. Za razliko od emisij SO_2 , ki so znatno pod ciljnimi vrednostmi na nacionalnem nivoju, so emisije NO_x nad predpisano mejo. Posledično je sprejemljiv le projekt, pri katerem tako dodatna obremenitev kot skupna obremenitev zunanega zraka ne bosta presegli na območju vrednotenja zakonsko predpisanih mejnih vrednosti.

Primer se navezuje na pripravo državnega prostorskega načrta za plinsko parno elektrarno v TE Trbovlje. Zanj se je v okviru priprave okoljskega poročila [37] izvedlo tudi modeliranje kakovosti zunanega zraka [38]. Cilja modeliranja sta bila določilo optimalne višine novega odvodnika odpadnih dimnih plinov iz PPE ter preveritev, ali je prostor v Zasavju primeren za tovrstno tehnologijo oz. katere omilitvene ukrepe bi bilo morda treba izvesti, da bi bila izbrana tehnologija okoljsko sprejemljiva.

Pri tem se je bilo treba zavedati, da posegamo v območje, ki je bilo v svoji dolgi zgodovini izpostavljeno intenzivnemu onesnaževanju iz priso-

Slika 3:

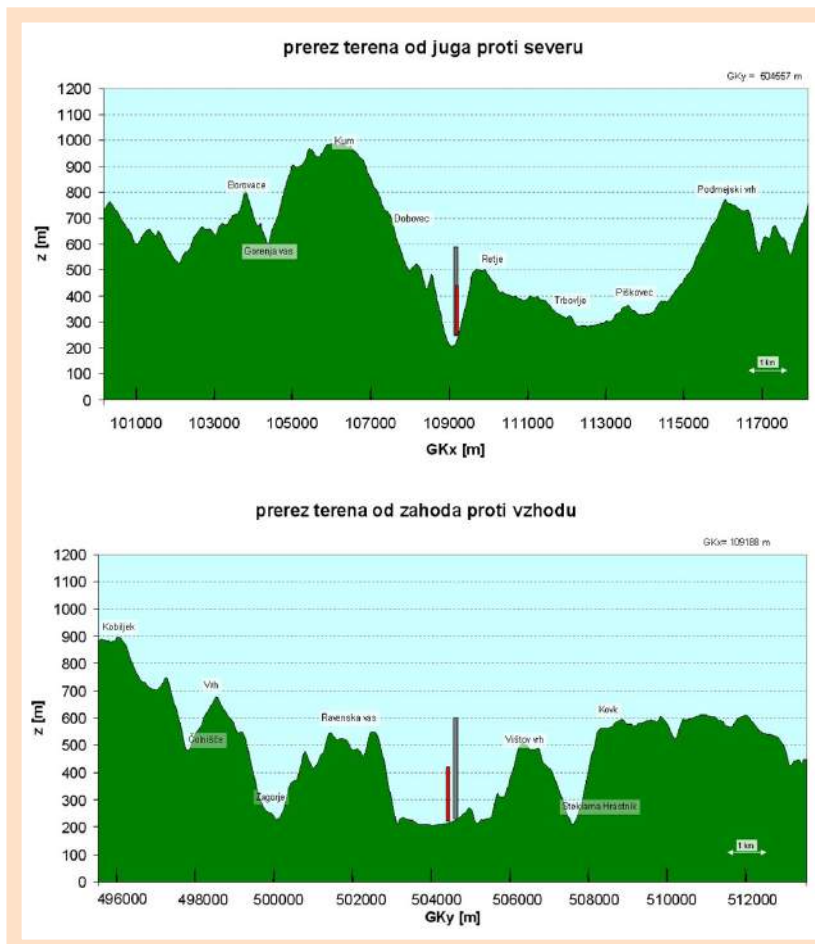
Emisije žveplovega dioksida iz TE Trbovlje od leta 1980 do 2009 (gore) in povprečne letne koncentracije SO_2 v zunanjem zraku na območju vrednotenja TE Trbovlje (dole) [37].



tnih industrijskih objektov. Mednje sodi tudi TE Trbovlje, kjer se je kot energent uporabljal rjavi premog z visoko vrednostjo žvepla (>2 %) in pepela (>30 %). V TE Trbovlje se do leta 2005 emisije SO₂ iz dimnih plinov ni čistilo. Edini ukrep do takrat je bila izgradnja 360 m visokega dimnika, ki je zagotovil višje dimne dvige in boljše redčenje dimnih plinov na širšem območju nad kotlino. V letu 2005 se je prigradila naprave za razžveplanje dimnih plinov. Z delovanjem te naprave so se emisijske koncentracije SO₂ zmanjšale pod zakonsko dovoljene in tako omogočile delovanje elektrarne tudi v pogojih zaostrene okoljevarstvene zakonodaje. Emisije SO₂ so se zmanjšale za več kot 94 %, kar se je odražalo tudi na širšem območju okoli TE Trbovlje, kjer se izvajajo meritve kakovosti zunanjega zraka. Omenjeno stanje prikazujeta naslednji sliki, iz katerih je mogoče razbrati, da se občutno zmanjšanje emisij SO₂ odraža tudi v zniževanju koncentracij SO₂ v zunanjem zraku pod zakonsko predpisane mejne vrednosti. Emisijske koncentracije NO_x, CO, skupnega prahu so ves čas skladne z veljavno zakonodajo.

Zasavje je znano po zelo ozkih kotlinah, zato ima ustrezna višina odvodnika še toliko večji pomen pri zagotavljanju zdravega življenjskega okolja ljudi, ki prebivajo tako v kotlinskem kot hribovitem predelu Zasavja, kar ponazarja slika 4.

Pri ugotavljanju potencialnega onesnaževanja zunanjega zraka iz novih virov oz. njihovega doprinosa k dodatni obremenitvi, si je treba pomagati s sodobnimi računalniškimi postopki oz. t. i. modelskimi izračuni širje-



Slika 4:

Prezrez terena v smeri od juga proti severu (levo) in od zahoda proti vzhodu (desno) ter umestitev načrtovanega novega odvodnika (rdeče barve) v obravnavani prostor [38].

nja onesnaževal v zunanjem zraku. Plinsko-parna elektrarna je sestavljena iz plinske turbine, kotla na odpadno toploto in parne turbine, pri čemer so možne variante izvedbe z eno ali več plinskimi turbinami.

Največja izbrana moč je 291 MW_{el} in naj bi stala na lokaciji kompleksa TE Trbovlje. Ta lokacija že sedaj slovi po 360 m visokem dimniku, ki je namenjen izpustu dimnih plinov iz termoelektrarne. PPE bo uporabljala kot primarno gorivo zemeljski plin in krajše obdobje, dokler ne bo zgrajeno plinovodno omrežje, tudi ekstra lahko kurilno olje (ELKO). Ne glede na izvedbo celotnega postroja, je treba slediti zahtevam, ki jih za PPE predpisuje Uredba o mejnih vrednostih emisij snovi v zrak iz velikih kurilnih naprav [39] in Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah za velike kurilne naprave [40]. V slednjem so opisane najboljše razpoložljive in trenutno dosegljive tehnike na področju termoeenergetike v odvisnosti od energenta ter tudi tehnike, ki se razvijajo in bodo predstavljale tehnične rešitve naslednjih generacij termoelektrarn.

Za obe vrsti goriva velja za NO_x enaka mejna emisijska vrednost, in sicer 50 mg/m³. Emisije onesnaževal SO₂ in PM₁₀ iz zemeljskega plina ni oz. je zanemarljivo majhna, zato se ju v študiji tudi zaradi navedb iz direktive v zvezi s PPE ni obravnavalo. Podobno velja tudi, če bi nova naprava delovala na ELKO, saj so zaradi izredno nizkih vrednosti SO₂ in PM₁₀ emisije zanemarljivo majhne in v danem primeru ne predstavljajo omejitvenega faktorja, zato se je v modelnem izračunu analizirala predvsem problematika NO_x.

Ocena je bila izdelana na podlagi meritev kakovosti zunanjega zraka in modelskih izračunov. Kot izhodišče se je vzelo, da delovanje nove naprave v kombinaciji z obratovanjem obstoječih naprav ne sme ogroziti zdravja ljudi v svoji okolici in ne sme povzročati čezmerne obremenitve okolja oz. narave. Pri modeliranju širjenja onesnaženja iz načrtovanih novih naprav PPE se je pregledalo več različnih možnosti. Izvedlo se je modeliranje za dve različni emisijski koncentraciji NO_x, in sicer z uporabo naprave za odstranjevanje NO_x iz dimnih plinov oz. t. i. DeNO_x naprave (20 mg/m³) in brez uporabe naprave DeNO_x (50 mg/m³).

Modeliranje se je izvedlo za več različnih višin načrtovanega novega odvodnika dimnih plinov, in sicer 150 m, 200 m in 250 m. Ker je treba v modelu oceniti najslabši scenarij, se je obravnavalo, kot da bo PPE obratovala vse dni v letu oz. 8760 ur s konstantno emisijo. Trenutne projekcije režima obratovanja predvidevajo 12 ur delovanja preko dneva in le med delavnikom. To skupaj nanese 2820 ur obratovanja preko cellega leta. Posledično je količina emisij, ki so vključene v modelske izračune, precejšena.

V načrtovanih scenarijih je bilo treba upoštevati tudi kumulativni vpliv skupaj z obstoječim objektom TET2. Za obstoječo napravo so se v modelskem izračunu upoštevale naslednje vrednosti:

- srednji urni volumski pretok = 370.000 m³/h,
- povprečna letna temperatura dimnih plinov na izhodu iz odvodnika = 102°C,
- povprečna letna koncentracija NO_x = 200 (461) mg/Nm³,

- povprečna letna koncentracija $\text{SO}_2 = 200$ (596) mg/Nm^3 ,
- povprečna letna koncentracija $\text{PM}_{10} = 20$ (20) mg/Nm^3 .

V oklepaju so zapisane povprečne letne koncentracije, ki so bile izmerjene v letu 2009, pred oklepajem pa nove mejne emisijske vrednosti, ki bodo začele veljati v letu 2016.

V študiji [37, 38] so se zaradi kumulativnega vpliva ocenjevale koncentracije NO_2 , SO_2 in PM_{10} v zunanjem zraku. Skladno s predpisanimi mejnimi vrednostmi posameznih onesnaževal, ki jih predpisuje Uredba o kakovosti zunanjega zraka [28], se je ocenilo letno povprečje (NO_2 , NO_x , PM_{10} in SO_2), maksimalne urne vrednosti in št. prekoračitev mejne urne vrednosti (NO_2 in SO_2), alarmna vrednost in št. prekoračitev mejne alarmne vrednosti (NO_2 in SO_2), maksimalna dnevna vrednost in št. prekoračitev mejne dnevne vrednosti (SO_2 in PM_{10}). Glede na dejstvo, da so pri PPE emisije NO_x ključne pri onesnaževanju zunanjega zraka, so v nadaljevanju predstavljeni izračuni le za NO_x . Rezultati so podani tabelarično in slikovno.

Tabela 2:

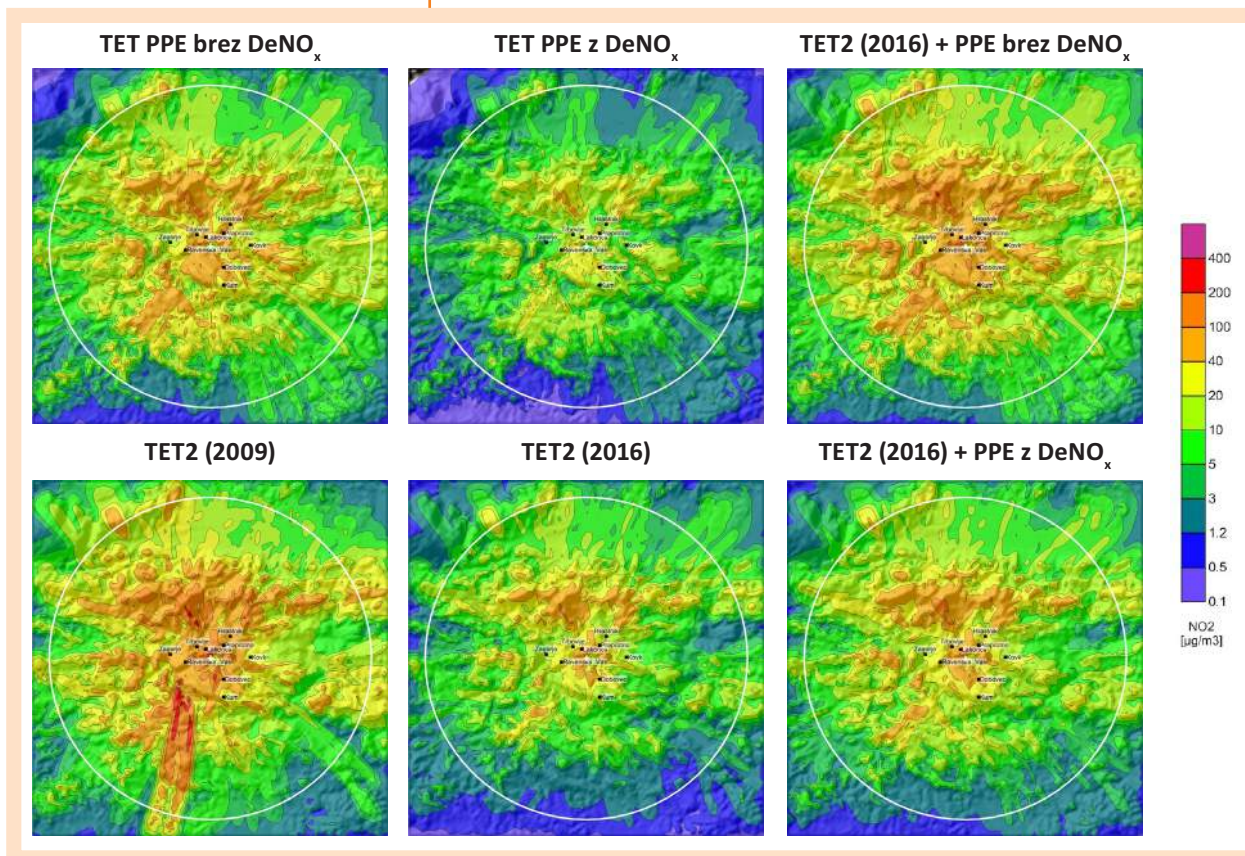
Primerjava rezultatov skupne obremenitve okolja po obnovi obstoječe naprave leta 2016 in nove PPE brez uporabe DeNO_x [3].

Opis parametra	Enota	TET2 (2016) + PPE H = 150 m	TET2 (2016) + PPE H = 200 m	TET2 (2016) + PPE H = 250 m
NO_2 – letno povprečje	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	3.3	2.6	2.0
NO_2 – maksimalna urna vrednost	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	250.9	218.6	212.3
NO_2 – št. prekoračitev mejne urne vrednosti		4	1	1
NO_2 – alarmna vrednost	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	146.3	126.2	110.5
NO_2 – št. prekoračitev mejne alarmne vrednosti		0	0	0
NO_x – letno povprečje	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	4.0	3.1	2.5

Tabela 3:

Primerjava rezultatov skupne obremenitve okolja po obnovi obstoječe naprave leta 2016 in nove PPE z uporabo DeNO_x [38].

Opis parametra	Enota	TET2 (2016) + PPE H = 150 m	TET2 (2016) + PPE H = 200 m	TET2 (2016) + PPE H = 250 m
NO_2 – letno povprečje	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	1.7	1.5	1.3
NO_2 – maksimalna urna vrednost	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	157.1	141.8	142.8
NO_2 – št. prekoračitev mejne urne vrednosti		0	0	0
NO_2 – alarmna vrednost	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	89.1	78.4	75.8
NO_2 – št. prekoračitev mejne alarmne vrednosti		0	0	0
NO_x – letno povprečje	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	2.1	1.8	1.6



Slika 5: Primerjava prostorske porazdelitve maksimalne urne vrednosti NO_2 iz nove PPE z in brez DeNO_x ter z višino odvodnika 200 m, obstoječega bloka TET2 po letu 2016 ter skupne obremenitve okolja [38].

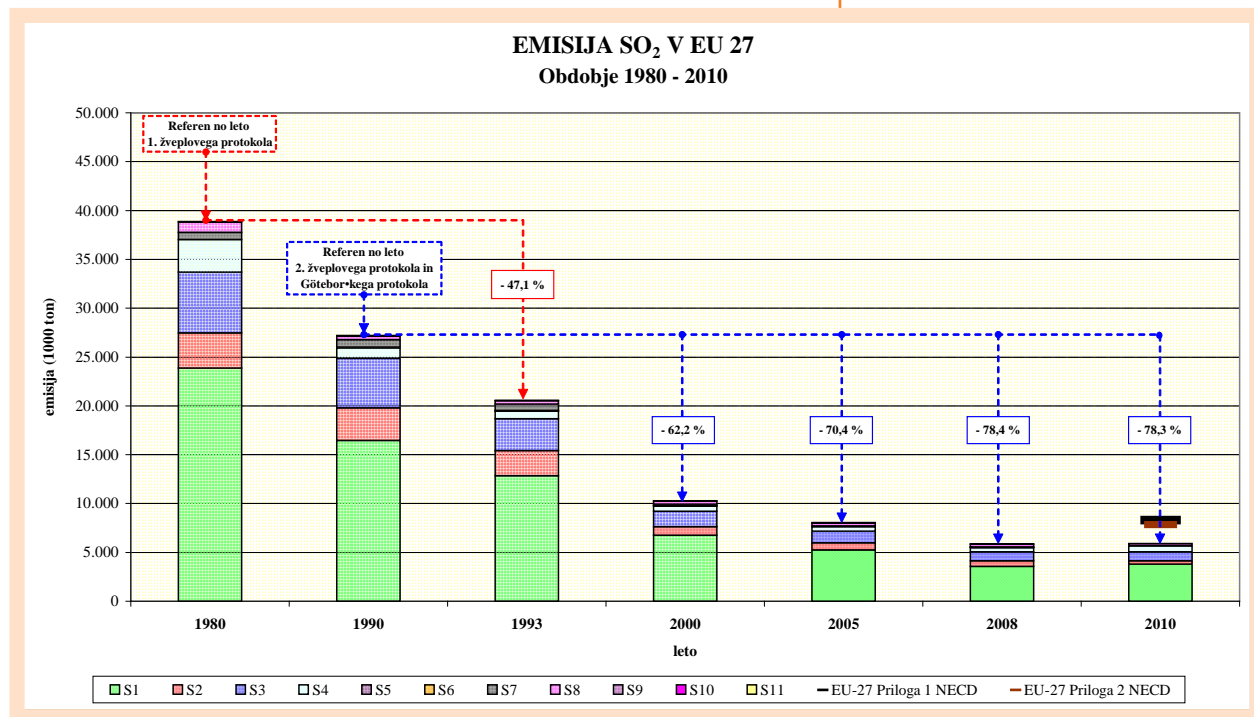
Na podlagi rezultatov modelskih izračunov, ki so podani v tabelah 2 in 3 lahko ugotovimo, da zakonskim določilom iz Uredbe o kakovosti zunanjega zraka [28] zadostujejo vse preverjene višine odvodnikov brez DeNO_x in tudi z DeNO_x . Ker pa je pri ocenah onesnaženja treba upoštevati skupno obremenitev, je dolgoročno smiselna uporaba DeNO_x naprave. S tem se bo zagotovilo, da skupna obremenitev po obnovi obstoječe naprave in izgradnji načrtovane nove naprave PPE ne bo presegala nobene mejne vrednosti kateregakoli onesnaževala. Poleg tega bo zagotovljena uporaba najboljše razpoložljive tehnike z najnižjimi tehnično dosegljivimi emisijami.

Pri oceni minimalne višine novega odvodnika, ki bo zadostil zakonskim določilom, je treba upoštevati tudi reliefne razmere v njeni neposredni okolici. Pri tem smo si pomagali s prerezom terena in umestitvijo novega odvodnika, kar prikazuje slika 4. Izračunali smo tudi dimni dvig in ugotovili, da potrebuje PPE odvodnik, visok vsaj 200 m. S tem se bodo odpadni dimni plini dvignili čez najbližje vzpetine in se ne bodo širili direktno proti bližnjim naseljem [38].

Na podlagi modelskih izračunov, podanih ocen vplivov projekta na kakovost zunanjega zraka ter ob dejstvu, da se je v projektu preverjala PPE, katere nazivna električna moč je do 291 MW (omejitev je toplotna obremenitev reke Save), se bo o dokončni višini odločalo v fazi izdelave poročila o vplivih na okolje ter pridobivanju OVS in OVD. Takrat bo treba podati točne podatke o velikosti postroja in tudi o predvidenih urah obratovanja. Na podlagi takrat definiranih vhodnih parametrov se bo ocenila in podala točna in dokončna višina odvodnika dimnih plinov, ki bo zagotovil okoljsko skladno obratovanje ter zdravo življenjsko okolje ljudi.

IZZIVI ZA PRIHODNOST NA PODROČJU ZAGOTAVLJANJA USTREZNE KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA

V zadnjih 20 letih je bilo na področju zmanjševanja emisij snovi v zrak na globalnem nivoju postorjenega veliko, kar izkazujejo mednarodna [41] in tudi nacionalna poročila [14].



Zmanjšanje emisij SO₂ je v večini odraz sanacije velikih termoelektrarn (S1), ki kot gorivo uporabljajo premog. Ti viri predstavljajo velike točkovne vire, ki jih je “dokaj” enostavno urejati, saj je število velikih onesnaževalcev malo. Pri tem so največji delež prispevale čistilne naprave, ki iz dimnih plinov odstranjujejo emisije SO₂, NO_x in prašne delce.

Glede na trenutno stanje se kot problem na področju kakovosti zunanjega zraka izkazujejo koncentracije prašnih delcev PM₁₀, PM_{2,5} ter praznega ozona, predvsem v urbanih in gosto naseljenih področjih. Omenjena problematika je izražena tako v slovenskem [14] kot tudi v evropskem prostoru in tudi širše [42].

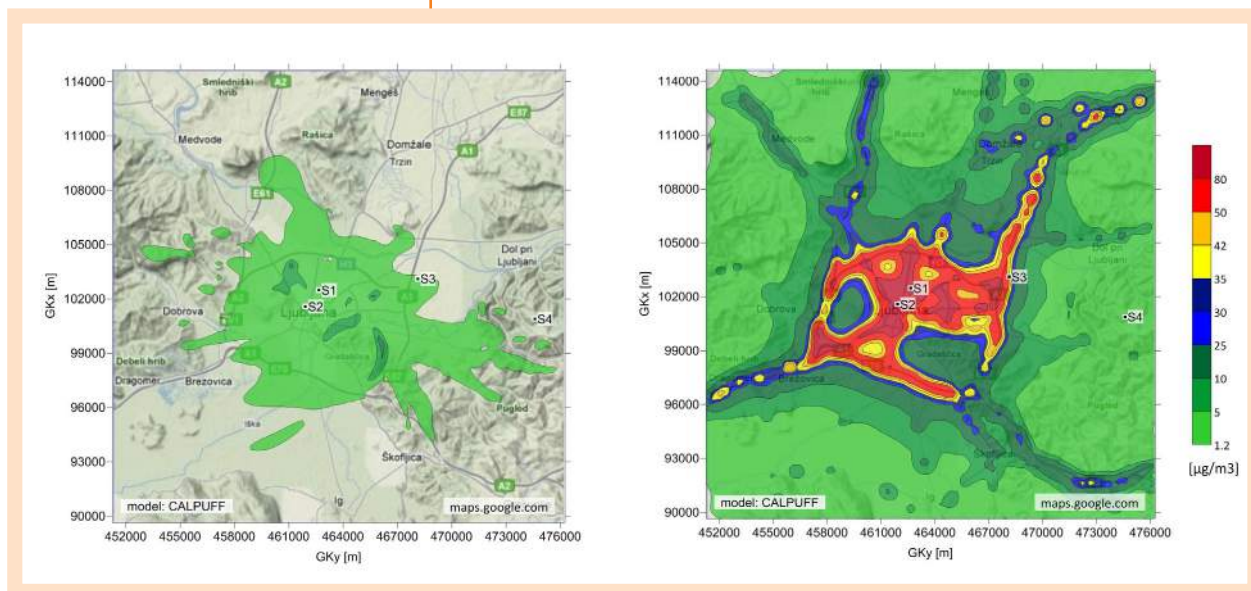
V danem primeru predstavlja cestni promet enega ključnih virov onesnaževanja, ki mu bo treba v naslednjih letih posvetiti veliko pozornosti. Njegovo reševanje bo vsekakor težavno in dolgotrajno, saj bo treba za zagotovitev zdravega življenjskega okolja sprejeti ukrepe, ki bodo v praksi izvedljivi, učinkoviti in katerih cena bo sprejemljiva. Virov emisij v prometu je ogromno, poleg tega se naključno premikajo po prostoru.

V Ljubljanski kotlini so se že opravila prva ocenjevanja onesnaženosti zraka s prašnimi delci PM₁₀, s katerimi se je želelo ugotoviti doprinos posameznih virov onesnaževanja k onesnaženosti zunanjega zraka [43]. Izkazalo se je, da so emisije, ki nastanejo kot posledica cestnega prometa prepoznane kot najpomembnejši lokalni vir emisij prašnih delcev. Z uporabo Lagrangeevega modela CALPUFF/CALMET se je pripravil izračun onesnaženosti zunanjega zraka, ki nastane kot posledica bodisi

Slika 6:

Emisije žveplovega dioksida v državah EU-27 v obdobju 1980–2010 [41].

obratovanja industrije in energetike bodisi prispevek cestnega prometa. Pri tem je treba izpostaviti, da je redčenje onesnaženja iz visokih odvodnikov dosti bolj intenzivno kot v primeru emisij iz prometa, saj se slednje emitirajo pri tleh brez dimnega dviga, kar je razvidno tudi v priloženi sliki prostorske razporeditve onesnaženja.



Slika 7: Primerjava izračunane najvišje dnevne koncentracije delcev PM_{10} v letu 2011. Levo je prikazano onesnaženje, ki ga povzročata sektorja industrija in energetika, desno pa onesnaženje, ki nastane v sektorju prometa.

Z modelskimi izračuni pridobljeni rezultati so lahko vodilo pri snovanju prometnih politik, katerih cilj je izboljšanje kakovosti zunanjega zraka na lokalni ravni oz. v določenih urbanih območjih. Pred njihovo realizacijo je mogoče preveriti njihov učinek in jih po potrebi ustrezno prilagoditi ter tako prispevati k izboljšanju kakovosti zunanjega zraka in zdravega življenjskega okolja, da se dosežejo največji učinki.

ZAKLJUČEK

Ustrezna kakovost zunanjega zraka je pomemben kazalec okoljske zvesti tako politike, ki sprejema zakonodajo, kot tudi prebivalstva, ki se mora sprejetim zakonskim določilom prilagajati. Pri tem je zelo pomembno, da so sprejete sektorske politike tudi realno izvedljive in dosegljive, kar pa je treba predhodno strokovno presoditi s presojami vplivov na okolje in po potrebi prilagoditi določenim specifikam posameznega primera ali okolja, kjer se bo ta realizirala.

Z umeščanjem novih virov onesnaževanja zunanjega zraka v prostor je treba ravnati preudarno in že v začetni fazi projektiranja preveriti vse ključne omejitvene dejavnike v okolju, ki bi lahko potencialno predstavljali težavo v času obratovanja. Zaradi izrazito razgibanega terena v RS, je treba na področju modeliranja širjenja onesnaževal v zunanjem zraku uporabiti preverjene modele, ki so sposobni upoštevati kompleksne terene in zahtevne meteorološke situacije. Le tako bo mogoče z majhno negotovostjo in veliko verjetnostjo verjeti podanim zaključkom, ki predstavljajo vodilo pri nadaljnjem projektiranju.

Vsekakor se bo v naslednjih letih veliko truda vložilo v reševanje oz. zmanjševanje onesnaževanja zunanjega zraka s PM_{10} in $PM_{2,5}$ zaradi ce-

stnega prometa, saj je veliko prebivalcev EU izpostavljenih povečanim koncentracijam omenjenih onesnaževal.

Prav vsi pa imamo pravico do zdravega življenjskega okolja.

LITERATURA

- [1] EEA. Air and Health – Local authorities, health and environment, Copenhagen 1999; <http://www.eea.europa.eu/publications/2599XXX> (29. 8. 2014).
- [2] Odén, S. The acidification of air and precipitation and its consequences on the natural environment. Swedish Nat. Sci. Res. Council, Ecology Committee, 1968; 1: 68.
- [3] Odén, S. The acidity problem – an outline of concepts. In: Dochinger, L. S.; Seliga, T. A., eds. Proceedings of the first international symposium on acid precipitation and the forest ecosystem; Gen. Tech. Rep. NE-23. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 1976; 1-36.
- [4] Convention on long-range transboundary air pollution; 1979; <http://www.unece.org/env/lrtap/full%20text/1979.CLRTAP.e.pdf> (30. 8. 2014).
- [5] Protokol o dolgoročnem financiranju Programa sodelovanja za spremljanje in oceno onesnaževanja zraka na velike razdalje v Evropi; http://www.unece.org/env/lrtap/emep_h1.html (30. 8. 2014).
- [6] Protokol o zmanjševanju emisij žvepla ali njihovih prekomejnih tokov; http://www.unece.org/env/lrtap/sulf_h1.html (30. 8. 2014).
- [7] Protokol o kontroli emisij dušikovih oksidov ali njihovih prekomejnih tokov; http://www.unece.org/env/lrtap/nitr_h1.html (30. 8. 2014).
- [8] Protokol o kontroli emisij lahko hlapnih ogljikovodikih ali njihovih prekomejnih tokov; http://www.unece.org/env/lrtap/vola_h1.html (30. 8. 2014).
- [9] Protokol o nadaljnjem zmanjševanju emisij žvepla; http://www.unece.org/env/lrtap/fsulf_h1.html (30. 8. 2014).
- [10] Protokol o težkih kovinah; http://www.unece.org/env/lrtap/hm_h1.html (30. 8. 2014).
- [11] Protokol o težko razgradljivih organskih snoveh; http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.html (30. 8. 2014).
- [12] Protokol o zmanjševanju zakisovanja, evtrofikacije in prizemnega ozona; http://www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.html (30. 8. 2014).
- [13] Zakon o ratifikaciji Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h Konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Ur. l. RS-MP, št. 9/2004).
- [14] Informative inventory report 2014 for Slovenia; Submission under the UNECE Convention on Longe-Range Transboundary Air Pollution, Slovenian Environment Agency, Ljubljana, marec 2014.
- [15] Zakon o varstvu okolja (Ur. l. RS št. 32/1993).
- [16] Zakon o varstvu okolja (Ur. l. RS, št. 39/06, 70/2008, 108/2009, 48/2012, 57/2012, 92/2013).
- [17] Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (Ur. l. RS, št. 51/14).
- [18] Uredba o vrsti in dejavnosti naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega (Ur. l. RS, št. 97/2004, 71/2007, 122/2007, 68/2012).
- [19] National Environmental Policy Act, 42 U.S.C. 4321 et seq.
- [20] Uredba o okoljskem poročilu in podrobnejšem postopku celovite presoje vplivov izvedbe planov na okolje (Ur. l. RS, št. 73/2005).
- [21] Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih emisijskih vrednostih snovi v zraku (Ur. l. RS, št. 73/1994).

- [22] Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanega zraka (Ur.l. RS, št. 52/2002).
- [23] Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanem zraku (Ur. l. RS, št. 52/2002, 121/2006).
- [24] Uredba o ozonu v zunanem zraku (Ur. l. RS, št. 8/2003).
- [25] Uredba o benzenu in ogljikovem monoksidu v zunanem zraku (Ur.l. RS, št. 52/2002).
- [26] Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanem zraku (Ur.l. RS, št. 56/2006).
- [27] Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 36/2007).
- [28] Uredba o kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 9/2011).
- [29] Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Ur. l. RS št. 31/2007,70/2008, 61/2009, 50/2013).
- [30] Ivančič M. Modelski izračuni širjenja prašnih delcev PM10 na območju Šaleške doline. EIMV, ref. št. 2239, Ljubljana, 2014.
- [31] Žabkar R in Rakovec J. Modeliranje razširjanja primesi v ozračju / Modeling the dispersion of pollutants in the atmosphere. V: Zrak v Sloveniji, Celje, Slovenija. 2012; 104-14.
- [32] Israelsson PH. Studies of Lagrangian modeling techniques with applications to deep ocean carbon sequestration. Phd Thesis, Massachusetts Institute of Technology. 2008; <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/52766> (5. 9. 2014).
- [33] Boeker P, Wallenfang O, Wittkowski M, Schulze Lammers P, in Diekmann B. Odour dispersion and fluctuation modelling with a non-stationary lagrangian model. 7th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, May 2001, Belgirate, Italy. 2001.
- [34] Ivančič M. Primerjava disperzijskih modelov / Comparison of results of different dispersion models. Diplomsko delo, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, 2010.
- [35] Žabkar R in Ivančič M. Assessing the local scale annual air quality impact of industrial source from characteristic days. Int. J. Environ. Pollut. 2012; 50(1): 209-23.
- [36] Ivančič M, Žabkar R, Rakovec J, Vončina R, in Pristov N. Influence of three different wind field initializations in CALMET model on dispersion modelling in complex terrain. 14th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 2–6 oktober 2011, Kos, Greece. 2011.
- [37] Kovačič D in sod. Okoljsko poročilo za plinsko parno elektrarno v TE Trbovlje, EIMV, Ref. št.: 2020, Ljubljana, december 2011.
- [38] Ivančič M, Kovačič D. Modelna ocena kakovosti zunanega zraka za plinsko parno elektrarno Trbovlje, Študija št.: 2083. Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana, februar 2011.
- [39] Uredba o mejnih vrednostih emisij snovi v zrak iz velikih kurilnih naprav (Ur. l. RS, št. 73/2005, 92/2007, 68/2012).
- [40] Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnologijah za velike kurilne naprave, julij 2006; <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/lcp.html> (30. 8. 2014).
- [41] Centre on Emission Inventories and Projections; <http://www.ceip.at/ceip/> (6. 9. 2014)
- [42] EEA, "Air quality in Europe – 2013 report. European Environment Agency." 2013; <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013> (10. 9. 2014).
- [43] Ivančič M in Vončina R. Determinating the influence of different PM10 sources on air quality in Ljubljana basin with CALPUFF dispersion model. Int. J. Environment and Pollution, 2014; 54(2/3/4): 251-61.