

MODELIRANJE ONEČIŠĆENJA ZRAKA U GRADU SISKU SUMPORNIM DIOKSIDOM

Sulphur dioxide pollution modeling in Sisak town

GORAN GAŠPARAC

Gekom d.o.o. - Geofizikalno i ekološko modeliranje
Trg senjskih uskoka 1-2, 10000 Zagreb, Hrvatska
ggasparac@gekom.hr

Prihvaćeno: 6.2.2012. u konačnom obliku: 11.7.2012.

Sažetak: U ovom radu opisano je združivanje WRF i CAMx modela te primjena sustava na stvarnoj situaciji u razdoblju 10.02. - 20.02.2008. za disperziju onečišćenja SO₂. Numerički model WRF poslužio je za dobivanje trodimenzionalnih meteoroloških podataka koji su korišteni kao ulazni podaci za CAMx model. Emisije u CAMx modelu uvedene su preko točkastih (industrijska zona grada Siska i ostali izvori u Sisačko moslavačkoj županiji) i površinskih izvora (EMEP model za 2007. g). Rezultati dobiveni fotokemijskim modelom CAMx uspoređeni su s mjernim postajama kakvoće zraka Sisak - 1 i Kutina - 1. Mjerna postaja Kutina - 1 poslužila je za prikazivanje utjecaja industrijske zone Siska na daljnja područja gdje je pokazano da faktor vjetera ima značajnu ulogu pri disperziji onečišćenja u zraku. Usporedba mjerenih i modeliranih vrijednosti na postaji Sisak - 1 pokazuje dobro slaganje na dnevnoj skali, a na satnoj skali bitne mjestimične razlike. Provedene simulacije s različitim tehnološkim parametrima - temperatura i brzina ispusnog plina, visina i promjer izlaznog otvora dimnjaka, ukazuju da su oni bitni za bolje rezultate u području bliže izvorima onečišćenja. Verifikacijom rezultata pokazalo se da su za bolji opis disperzije onečišćenja uz kvalitetnu meteorološku pozadinu, potrebni svi tehnički parametri obrađeni u radu, kao i točna ulazna emisija.

Ključne riječi: WRF, CAMx, disperzija onečišćenja SO₂, verifikacija rezultata modeliranja

Abstract:

In this paper a description of coupled modeling system, CAMx and WRF, applied on a real situation of dispersion of SO₂ pollution in the time period 10.02. - 20.02.2008, was given. WRF model was used to provide a 3D meteorological data as an input for CAMx model. Stationary emission sources from the industrial zone of the city of Sisak and other stationary sources from the Sisačko-moslavačka county, together with the grid surface emission field from EMEP model, were set as an emission input data for CAMx model. Results given by CAMx model were compared with the air quality data measured from the monitoring stations, Sisak-1 and Kutina-1. The comparison of results on Kutina-1 station demonstrates the importance of wind in the dispersion of pollution. The comparison on Sisak-1 station displays an acceptable agreement only on the daily scale. Varying with chimney parameters in simulations - height, diameter, and gas exhaust parameters, temperature and speed, led to conclusion that these parameters are very important for accuracy of results in the area surrounding pollution sources. The verification of results shows that for a better description of pollution dispersion, along with quality meteorological background, all parameters mentioned, with correct emission rates, are necessary.

Keywords: WRF, CAMx, dispersion of pollution of SO₂, model validation

UVOD

Na kakvoću zraka urbane sredine grada Siska primarni utjecaj vrši jaka industrijska zona zbog koje je Sisak i jedan od najzagađenijih gradova u Republici Hrvatskoj (prema *Godišnjem izvješću o praćenju kakvoće zraka na području Republike Hrvatske za 2008. godinu*). Slična dosadašnja istraživanja kvalitete zraka provedena su na području grada Rijeke (Telišman - Prtenjak i sur., 2009). Osim industrijske zone u gradu Sisku, doprinos onečišćenju daje i promet, čiji utjecaj varira s obzirom na intenzitet prometa, zatim domaćinstva, čiji pak utjecaj je veći u zimskim mjesecima (grijanje kućanstava), te ostali manje značajni faktori poput poljoprivrede i gospodarstva. Potrebno je naglasiti da je za potpunu sliku onečišćenja nekog područja bitan cjeloviti katastar emisija na tom području.

Na temelju analize niza podataka izmjenjenih na postajama kakvoće zraka Sisak-1 te podataka o emisijama iz industrijske zone grada Siska za 2008. godinu, odabrano je razdoblje simulacije u razdoblju od 10.02. – 20.02.2008. U navedenom vremenskom razdoblju kontinuirano su radile obje industrijske zone i mjerna postaja kakvoće zraka Sisak - 1. Također, razdoblje je bilo okarakterizirano zanimljivom meteorološkom situacijom (poglavlje 4.)

Cilj ovog rada je, usporedbom mjerenih i modeliranih vrijednosti koncentracija onečišćenja SO_2 , potvrditi primjenjivost fotokemijskog modela CAMx *Comprehensive Air quality Model with extensions*) na područje grada Siska.

2. METODE (opis modela)

Model WRF¹ (eng. *Weather Research and Forecasting*) korišten je kao podloga integracije fotokemijskog modela CAMx. To je mezoskalni numeričko - prognostički sustav dizajniran u svrhu operativnih prognoza i atmosferskih istraživanja (Skamarock i sur., 2007).

2.1. Postavke i pretpostavke modela WRF

Model koristi Merkatorovu projekciju u konfiguraciji s četiri domene različitih horizontalnih razlučivosti s omjerom ugnježđenja 1:3. Prva, glavna domena, sastoji se od 104×106 to-



Slika 1. Geografski položaj WRF domena.

Figure 1. Geographical placement of WRF domains.

čka i ima horizontalnu razlučivost od 27 km te obuhvaća gotovo cijelu Europu i Sredozemno more (Sl. 1, označena sivom bojom). Druga domena obuhvaća južnu i dio središnje Europe (Sl. 1, označena plavom bojom) i sastoji se od 171×168 točaka horizontalne razlučivosti 9 km. Treća domena obuhvaća granice Hrvatske i Bosne i Hercegovine te se sastoji od 276×243 točaka i ima horizontalnu razlučivost 3 km (Sl. 1, označena zelenom bojom). Četvrta domena obuhvaća središnju i sjevernu Hrvatsku, s 267×231 točaka i ima horizontalnu razlučivost 1 km (Slika 1, označena crvenom bojom). Sve četiri domene sastoje se od 30 vertikalnih nivoa te koriste iste ulazne parametre. Mikrofizika modela *WSM 6-class graupel* (eng. *WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme*) koristi u graničnom planetarnom sloju *YSU* (eng. *YonSei University*) shemu. Uz tlo korišten je model *UNLSM* (eng. *Unified Noah Land-Surface model*) s Monin-Obukhov-om shemom (Chen, F. i sur., 1997; Chen, F. i sur., 2001).

2.2. Fotokemijski model CAMx

Model CAMx² (Environ, 2009) je eulerovski fotokemijski disperzijski model. Njime je moguće simulirati imisiju, kemijske reakcije i uklanjanje onečišćujućih tvari u troposferi te procijeniti koncentracije onečišćujućih tvari (ozon, SO_x , NO_x , $PM_{2.5}$, PM_{10} ³ i dr.) na skali od suburbanih područja do kontinentalnih razmjera.

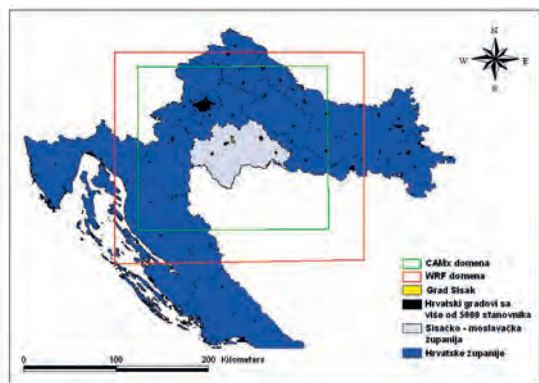
¹ <http://www.wrf-model.org/>

² U ovom radu korištena je verzija 5.10. (www.camx.com)

³ SO_x predstavlja sumporove okside; NO_x predstavlja skupinu dušikovih oksida; $PM_{2.5}$ označava čestice veličine do 2.5 μm , a PM_{10} čestice veličine do 10 μm .

2.2.1. Postavke i pretpostavke CAMx modela korištene u radu

Unutar četvrte WRF domene postavljena je CAMx domena kako je prikazano i na Sl. 2. Horizontalna razlučivost jednaka je razlučivosti WRF domene (1x1 km) i sastoji se od 210 točaka u smjeru istok – zapad te 180 točaka u smjeru sjever – jug. Isto tako, napravljeno je vertikalno mapiranje (pridruživanje vertikalnih slojeva) CAMx i WRF slojeva, tako da prvi sloj u CAMx domeni odgovara prvom sloju WRF domene i nalazi se na visini od 23.90 m, a zadnji, 29. sloj u modelu CAMx, podudara se s 29. slojem modela WRF i nalazi se na visini od 20 276 m.



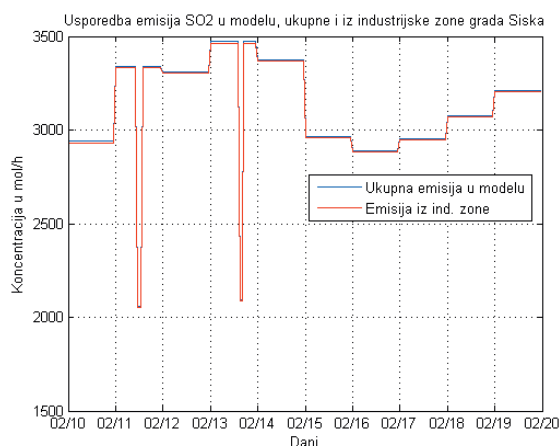
Slika 2. Prikaz ugniježdene CAMx mreže unutar WRF mreže.

Figure 2. Overview of the nested CAMx grid in the WRF grid.

3. ULAZNE EMISIJE ZA MODEL CAMX

3.1. Točkaste emisije

Emisija iz točkastog izvora je ispuštanje onečišćujućih tvari u zrak iz ispusta stacionarnog izvora, a iskazuje se emisijskim veličinama: masenim protokom i/ili masenom koncentracijom i emisijskim faktorom - broj koji označava masu emitirane onečišćujuće tvari po jedinici djelatnosti - iskazane količinom proizvoda, količinom potrošenog energenta, sirovine, ili veličinom obavljenog posla (Uredba, NN 21/07, NN 150/08). Točkasti izvori se uključuju



Slika 3. Usporedni prikaz doprinosa emisiji SO₂ iz INA – RNS i TE – Sisak.

Figure 3. Comparison of the contribution from INA – RNS and TE – Sisak to emission of SO₂.

u model preko prostornih parametara koji definiraju njihov položaj, visinu i promjer otvora dimnjaka te vremensko varijabilnih parametara: temperatura izlaznih plinova, brzina izlaznih parametara i protok izlaznih plinova. Simulacija je provedena za 61 točkast izvor. Od toga, 21 se nalazi u industrijskoj zoni⁴ Industrije nafte Sisak (INA – RNS), 2 u industrijskoj zoni Termo elektrane Sisak (TE – Sisak) a ostalih 38 stacionarnih izvora pripada manjim i većim tvrtkama⁵ grada Siska, koje također doprinose onečišćenju. Njihov doprinos unutar razdoblja simulacije izračunat je iz ukupne godišnje emisije za 2008. te jednoliko raspodijeljen po jedinici vremena s čime nije prikazana nikakva dnevna varijabilnost (emisija je jednaka tijekom cijelog razdoblja simulacije). Treba napomenuti da su emisije iz TE – Sisak proračunate na temelju potrošenog goriva za rad pogona te je u stvarnosti moguća razlika od stvarnog stanja. Emisije iz INA – RNS nisu mjerene na vrhu dimnjaka (što zapravo ulazi u model), već na ulaznim dimnovodnim kanalima (Tadić, 2008) u dimnjak te je i u ovom slučaju moguća razlika u ulaznim tehnološkim parametrima (temperatura izlaznog plina, maseni protok i brzina ispusta). Usporedni prikaz iznosa ulaznih emisija prikazan je na Sl. 3. Mje-

⁴ Emisijski podaci iz industrijskih zona ustupljeni su od strane uprave INA – RNS i uprave TE – Sisak.

⁵ Auto promet Sisak d.o.o., Dom zdravlja Sisak, Financijska agencija, Getro d.d., Gimnazija Sisak, Herbos d.d., HOTEL PANONIJA d.o.o., Hrvatske autoceste d.o.o., Hrvatske šume d.o.o., HT-Hrvatske komunikacije d.d., HZMO, HŽ Infrastruktura d.o.o., Jadranski naftovod d.d., Kaufland Hrvatska k.d., KTC d.d., Merkur Hrvatska d.o.o., Metalurški fakultet, Mlin i pekare d.o.o., Obrt Auto Servis Cindrić, Obrtnička škola Sisak, OŠ 22. lipnja, OŠ Braća Ribar, OŠ Galdovo, OŠ Ivana Kukuljevića, Plinacro d.o.o., Pristanište i skladište d.o.o., Promes Cvcanger, Robak d.o.o., Rudman d.o.o., Spar Hrvatska d.o.o., SŠ Viktorovac Sisak, Stiro Promet d.o.o., ŠRC Sisak.

rene emisije ne pokazuju satnu varijabilnost te su se odstupanja tijekom dana (11.02. i 13.02.) javila najvjerojatnije zbog greške u mjerenju ili u pohrani podataka.

3.2. Površinske emisije

Površinski izvori emisija predstavljaju približno ravnomjerno raspoređene male ili velike izvore onečišćenja na jednoj površini (npr. površina naselja, prometnice, tvornice, i dr.). Ukupan doprinos svih izvora onečišćenja na jednoj površini karakterizira se kao individualni izvor. One se najčešće koriste za opis kvalitete zraka nekog područja gdje nisu dostupna detaljna mjerenja svih izvora onečišćenja. Kako je njihov doprinos značajan za razvoj kemijskih procesa tijekom simulacije, zbog nedostatka mjerenja korišteni su podaci programa EMEP (eng. European Monitoring and Evaluation Programme). Oni su definirani na mreži razlučivosti 50×50 km koja pokriva Europu i Atlantski ocean. Zbog nedostajućih podataka za 2008. g. korištene su emisije za godinu koja je najbliža razdoblju simulacije (2007. g.). Prostorne emisije su linearnom interpolacijom s mreže razlučivosti 50×50 km svedene na prostornu razlučivost od 1×1 km. U modelu nisu korištene različite prostorne razlučivosti za druge domene što je ujedno i mana ovog postupka jer time u modelu nisu definirani rubni uvjeti s domena manje na domena veće horizontalne razlučivosti. Pretvaranjem srednjih godišnjih vrijednosti u satne (dijeljenjem srednje godišnje vrijednosti s brojem sati u 2008. godini), dobivene su prosječne vrijednosti površinskih emisija. To je vršeno pod pretpostavkom da je svaki element površine tijekom godine imao kontinuiranu jednoliku emisiju s čime će se očekivano izgubiti podaci o potencijalnim sezonskim, dnevnim ili pak satnim minimumima i maksimumima imisijskih koncentracija (npr. varijabilnost intenziteta prometa ili pak ljudskih djelatnosti). Zbog pretpostavke promjenjivog intenziteta prometa tijekom dana, napravljen je uzorak vremenske promjenjivosti intenziteta prometa (na temelju studije *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2008*) pomoću kojeg je moguće simulirati promjenjive dnevne emisije iz sektora S7 i S8 (cestovni i ostali promet) sa svrhom približavanja stvarnoj situaciji.

Iako površinske EMEP emisije uključuju doprinose i iz točkastih izvora industrijske zone grada Siska, ti iznosi se nisu oduzimali prilikom daljnje integracije u model CAMx. Rezultati simulacija koji nisu prikazani u ovom radu pokazali su da oduzimanjem tih emisija ne dolazi do značajnijih promjena. Linearnom interpolacijom sa mreže horizontalne razlučivosti 50×50 km na 1×1 km nije se postigla značajna prostorna varijabilnost na području grada Siska (industrijski dijelovi grada Siska nemaju značajno veću površinsku emisiju od preostalog dijela grada Siska) te se oduzimanjem iznosa točkastih emisija iz ukupnih površinskih emisija ne bi postigla stvarna situacija. Bitno je napomenuti da unutar industrijske zone grada Siska postoji još izvora onečišćenja (difuzni izvori, povremeni točkasti izvori i ostali točkasti izvori poput CMC Željezare, Herbos d.d. industrije za koje nisu bile poznate emisije u promatranom razdoblju) te bi se zapravo oduzimanjem udjela točkastih emisija iz površinskih emisija na tom području izgubio i utjecaj tih preostalih izvora.

4. MJERNE POSTAJE I METEOROLOGIJA

Mjerne postaje

Rezultati modela uspoređivani su s vrijednostima izmjerenima na meteorološkoj postaji Sisak (usporedba meteorološkog modela WRF) te postajama kakvoće zraka⁶ Sisak - 1 i Kutina - 1 (za procjenu utjecaja onečišćenja porijeklom iz industrijske zone grada Siska na veće udaljenosti). Ti mjereni podaci nisu validirani i moguća su odstupanja od realnosti (prilikom izrade ovog rada to su bili jedini dostupni relevantni podaci za provjeru valjanosti modela te su stoga isti i korišteni). Postaja Sisak - 1 nalazi se u neposrednoj blizini industrijske zone grada, smještena je uz vrlo prometno raskrižje, autobusnu stanicu, benzinsku postaju i dvije veće trgovine sa pripadajućim parkirnim zonama koje doprinose lokalnoj razdiobi onečišćenja⁷. Kako se radi o izvorima onečišćujućih tvari vezanima uz ljudsku djelatnost za očekivati je da će i njihov utjecaj na kakvoću zraka biti izraženiji tijekom dana. Usporedbom rezultata modela s mjerenjima na postaji Kutina - 1, nastoji se procijeniti utječe li industrijska zona grada Siska na kakvoću zraka grada Kutine.

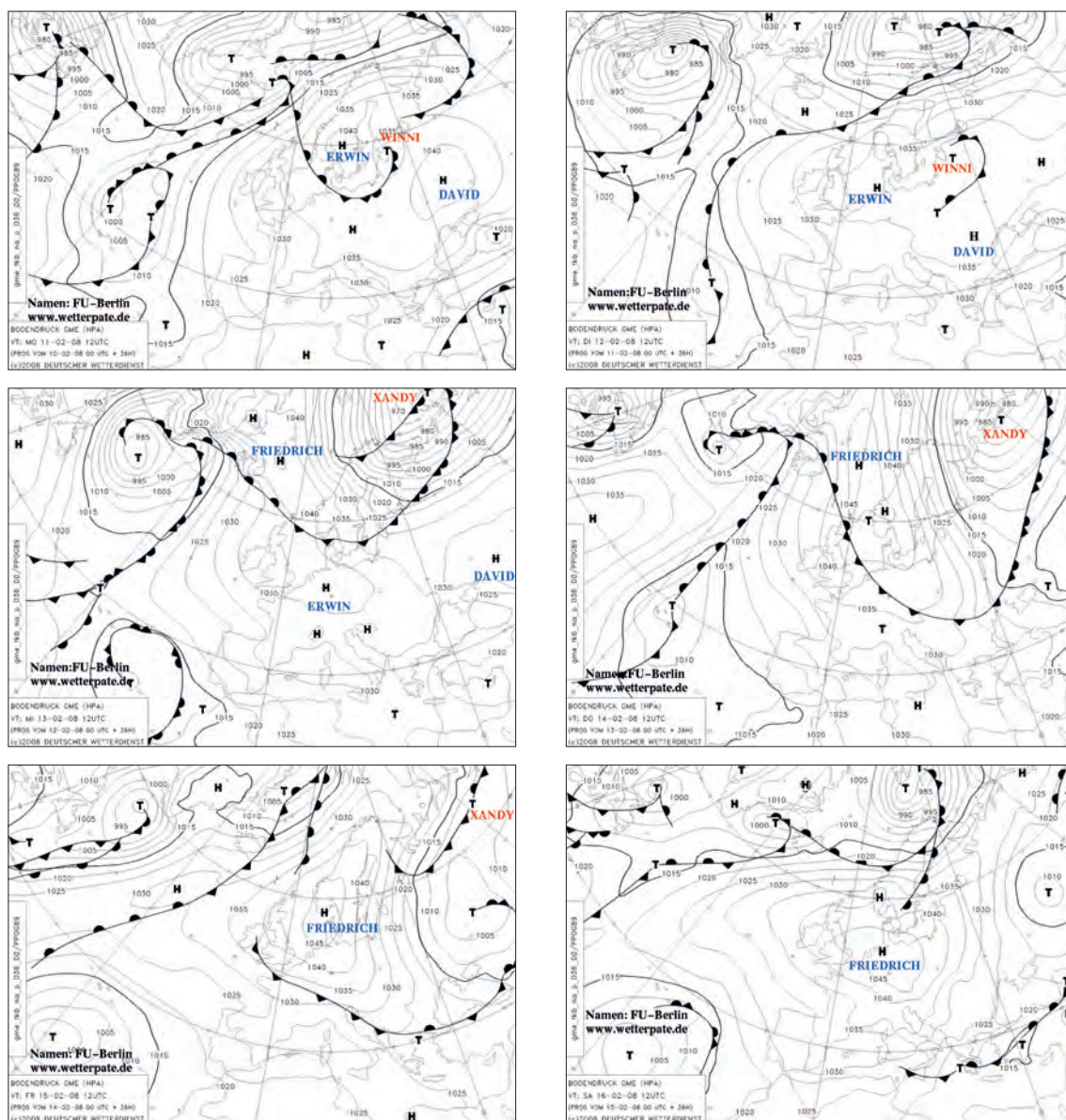
⁶ Podaci preuzeti sa Internet stranice: <http://zrak.mzopu.hr/>

⁷ Preuzeto sa <http://www.smz.hr/site/>

Sinoptička situacija u razdoblju simulacije:

Na Sl. 4⁸ prikazan je detaljan razvoj sinoptičke situacije nad područjem domene, a tako i cijele Hrvatske. U početku razdoblja simulacije nad područjem se zadržavala stabilna anticiklona koja je rezultirala povišenim tlakom od 1035 hPa do razdoblja 13.-14.02., kada se sa

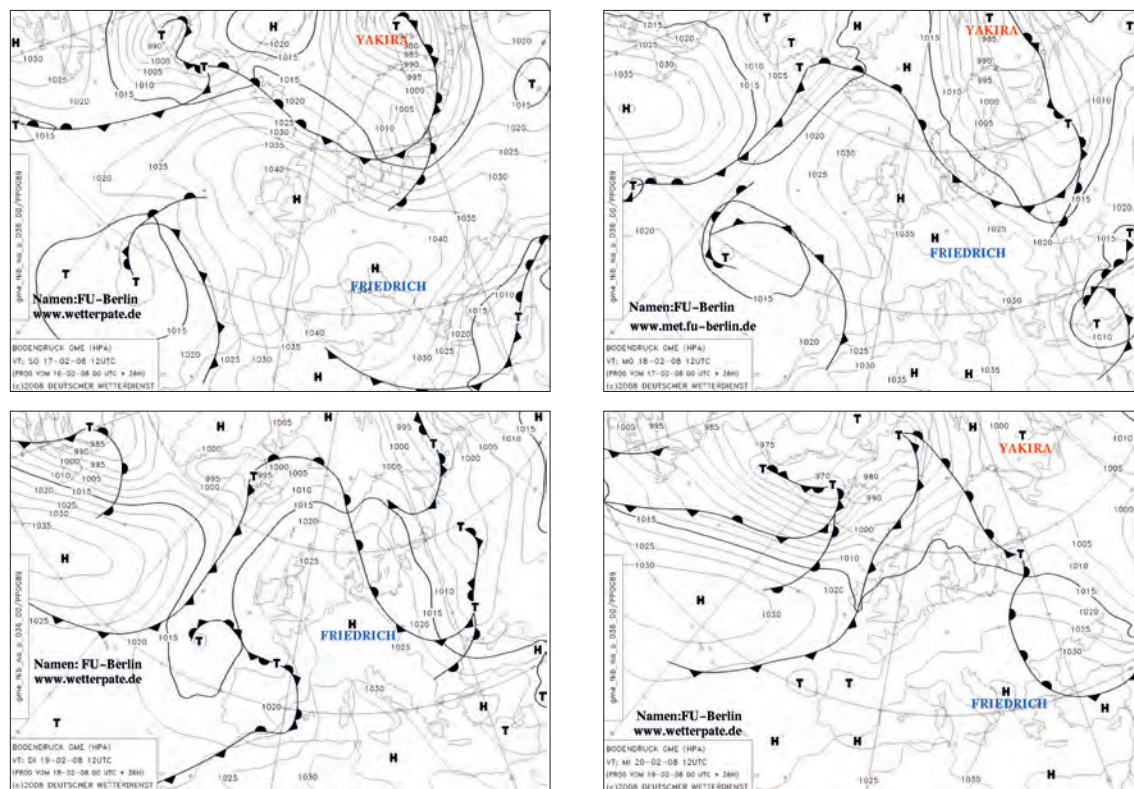
sjevera spušta anticiklonalni greben koji se zadržava tijekom dana 16.02. U noći sa 16. na 17. 02. anticiklona se premješta te se vrijeme stabilizira krajem razdoblja. Sa navedene slike vidljivo je da je i tijekom razdoblja 15. - 17.02. nad područjem Hrvatske prolazila i fronta nakon koje se vrijeme ponovno stabiliziralo.



Slika 4. Sinoptička situacija nad Europom za promatrano razdoblje (11.02. 2008. - 20.02. 2008. godine).

Figure 4. Synoptic situation over Europe for the period 11.02. 2008. - 20.02. 2008.

⁸ Grafički prilozi preuzeti su sa Internet stranice: <http://www.geo.fu-berlin.de/met/>.



Slika 4. Nastavak.

Figure 4. Continuation.

Tablica 1. Usporedni prikaz statističkih vrijednosti na temelju izmjerenih i modeliranih podataka (temperatura zraka, relativne vlažnosti zraka i brzine i smjera vjetrova) na meteorološkoj postaji Sisak za razdoblje 10.02.2008. - 20.02.2008.

Table 1. Comparison of the statistical values based on the measured and the modelled data sets (air temperature, relative humidity, wind speed and wind direction) on the Sisak weather station for the period 10.02.2008. - 20.02.2008.

	Mjereno			Modelirano - za cijelo razdoblje			Modelirano – termini za koje postoji i mjerenje		
	T	Rh	WS	T	Rh	WS	T	Rh	WS
Minimum	-9.00	27.00	0.00	-7.34	30.33	0.02	-7.34	31.95	0.13
Maksimum	13.00	100.00	9.00	10.91	100.76	8.97	10.79	99.08	8.43
Medijan	1.00	80.00	1.00	-0.10	74.69	2.06	0.49	72.63	1.94
Srednjak	0.38	75.06	1.68	0.15	71.00	2.40	0.75	70.34	2.37
98 percentil	10.32	99.0	8.0	9.28	98.90	7.59	10.08	98.94	7.74
Broj podataka	117	115	117	792	792	792	117	115	117

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. WRF - meteorološki uvjeti

Sisak

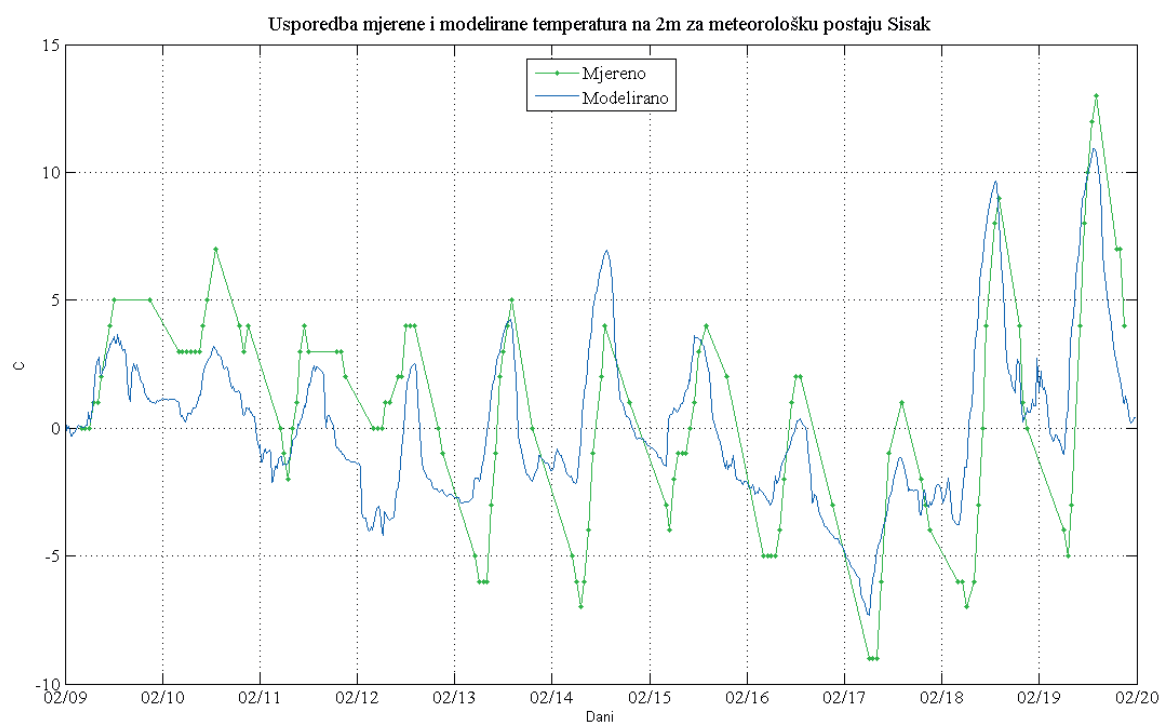
Modelirani meteorološki podaci dostupni su u vremenskim intervalima od 20 minuta, a nasuprot tome, mjereni podaci s meteorološke postaje Sisak dostupni su u intervalima od 1 - 7h (posljedica nedostajućih podataka). U Tablici 1 prikazane su modelirane vrijednosti za termine kada je postojalo i mjerenje, radi bolje usporedbe s osmotrenim vrijednostima. Usporedba modeliranih i mjenjenih podataka vršena je sa najbližom točkom (čvorom) mreže u prvom, prizemnom sloju.

Iz Sl. 5 opaža se da je tijekom cijelog razdoblja modelirana temperatura podcjenjivala osmotrene dnevne minimume i maksimume, međutim, može se uočiti da modelirane vrijednosti prate hod mjenjenih vrijednosti.

Iz Tablice 1 opaža se izuzetno dobro slaganje izmjenjenih i modeliranih vrijednosti relativne vlažnosti zraka koje potvrđuje i Sl. 6. Srednja

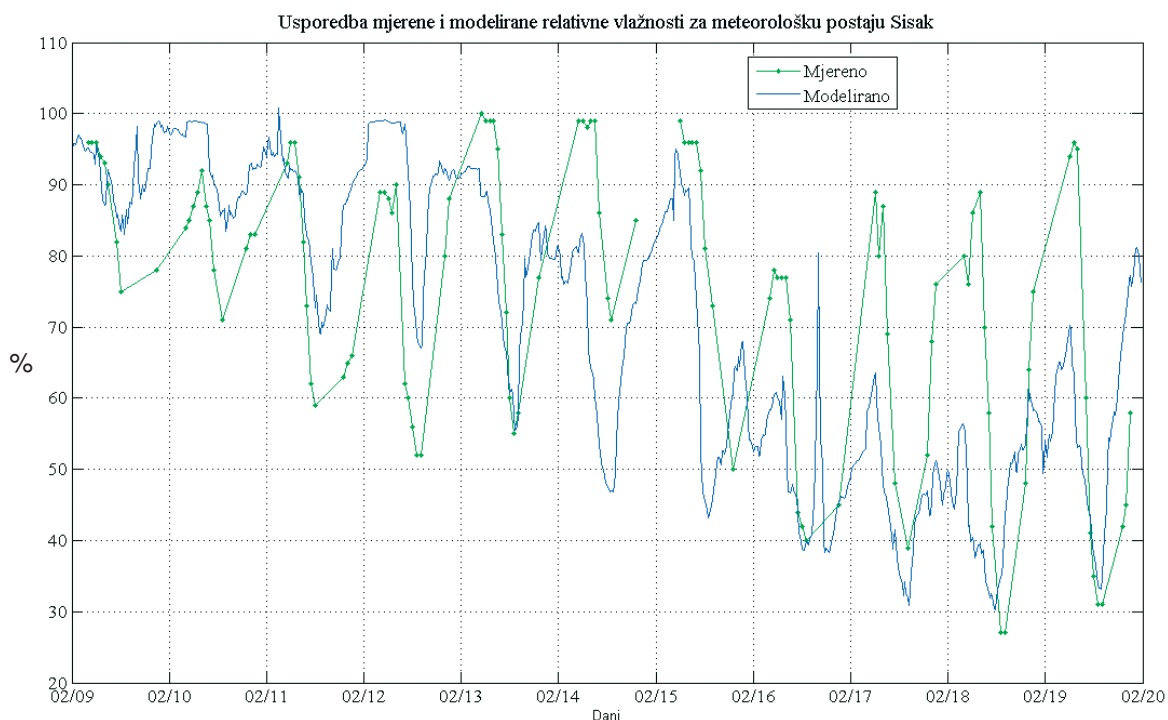
vrijednost i medijan mjenjenih podataka nešto su viši (5%) u cijelom razdoblju. To se može opaziti na Sl. 6, gdje se uočava da nakon dana 17.02. mjenjene vrijednosti bilježe nagle promjene s dnevnim rasponom relativne vlažnosti, i do 70%, dok se modelirane vrijednosti kreću oko svega 25 - 30%. U tom razdoblju, modelirana relativna vlažnost zadržavala se oko vrijednosti 40 - 50% s vrlo slabim rasponom, dok su stvarne izmjenjene vrijednosti bile puno različitiije s izraženim naglim dnevnim hodom velike amplitude.

Iz Sl. 7 - 8 vidljivo je da je najučestaliji vjetar bio sjeverac i to za veće brzine vjetra. Pri malim brzinama vjetra javljale su se i ostale komponente od kojih je izraženija bila SSW komponenta. Također, opaža se nagla promjena brzine vjetra u razdoblju nakon 15.02. kada brzina vjetra doseže maksimum od 9 m/s. Vrijednosti iz Tablice 1 vrlo dobro se slažu, iako medijan i srednjak modelirane brzine vjetra ukazuju na nešto veće brzine vjetra u modelu tijekom cijelog razdoblja.



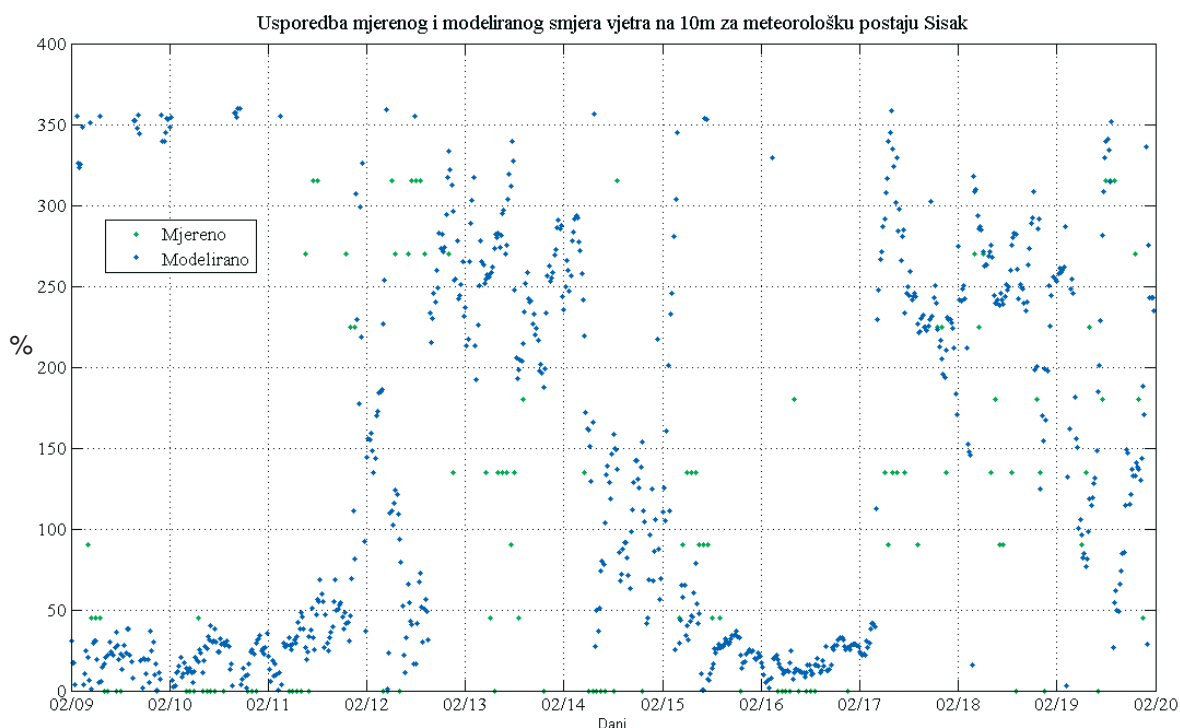
Slika 5. Usporedba mjenjenih i modeliranih vrijednosti temperature za meteorološku postaju Sisak.

Figure 5. Comparison of measured and modelled values of air temperature for the Sisak weather station during the simulation period.



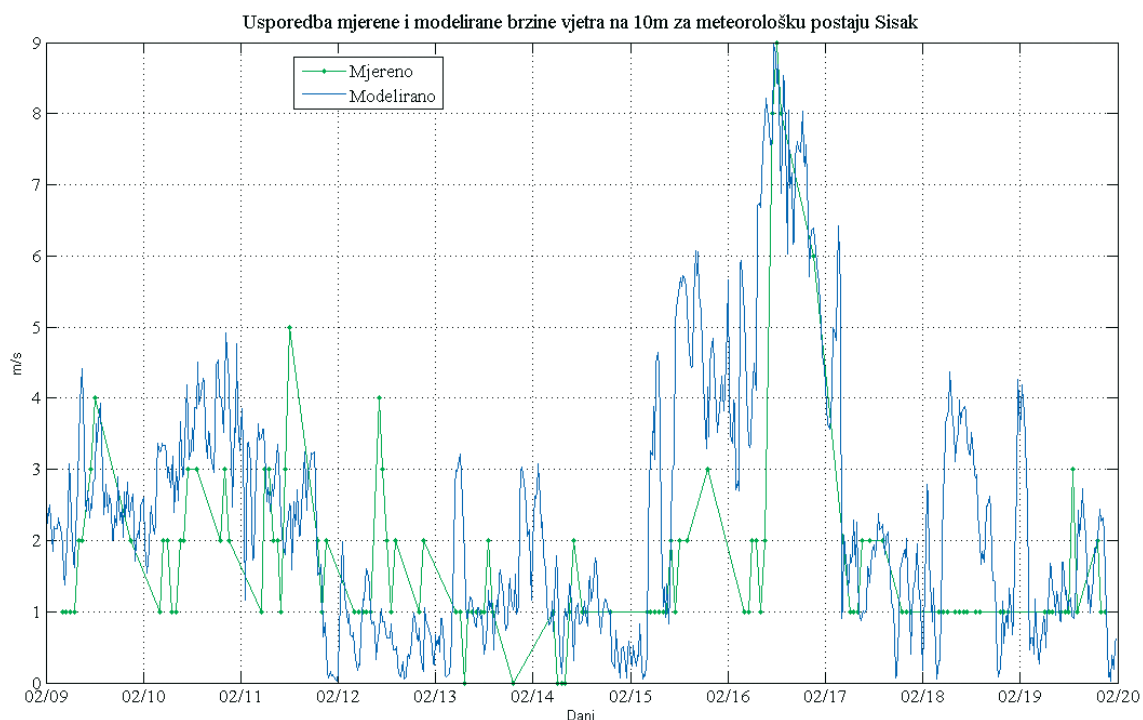
Slika 6. Usporedba mjenjenih i modeliranih vrijednosti relativne vlažnosti za meteorološku postaju Sisak tijekom razdoblja simulacije.

Figure 6. Comparison of measured and modelled values of relative humidity for the Sisak weather station during the simulation period.



Slika 7. Usporedba mjenjenih i modeliranih vrijednosti smjera vjetrova za meteorološku postaju Sisak tijekom razdoblja simulacije.

Figure 7. Comparison of measured and modelled values of wind direction for the Sisak weather station during simulation period.



Slika 8. Usporedba mjenjenih i modeliranih vrijednosti brzine vjetra za meteorološku postaju Sisak tijekom razdoblja simulacije.

Figure 8. Comparison of measured and modelled values of wind speed for the Sisak weather station during simulation period.

5.2. Analiza rezultata dobivenih modelom CAMx

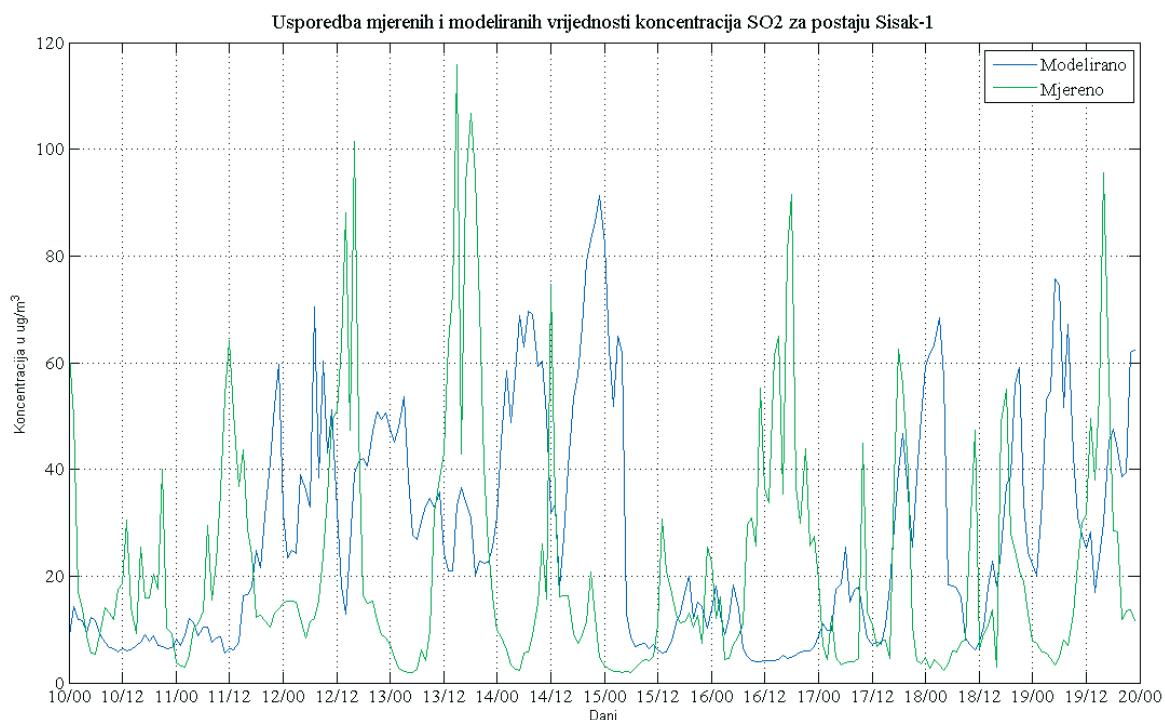
5.2.1. Usporedba osmotrenih i modeliranih vrijednosti koncentracija SO₂

Na Sl. 9 prikazana je usporedba osmotrenih i modeliranih vrijednosti koncentracija SO₂ na postaji Sisak - 1.

Iz spomenute slike opaža se mjestimično znatno nepodudaranje između uspoređivanih vrijednosti. Razlog tomu može biti zbog toga što su ulazne površinske emisije (izuzev prometa) zadane kao srednje vrijednosti tijekom razdoblja simulacije i nisu varijabilne, te točkaste emisije nisu promjenjive tijekom dana, pa stoga dnevne varijabilnosti modeliranih vrijednosti SO₂ mogu biti jedino posljedica utjecaja meteoroloških parametara. Osim toga, značajan utjecaj imaju rubni i početni uvjeti bez kojih nije bilo moguće simulirati utjecaj prekograničnog onečišćenja. Sl. 10 prikazuje usporedbu osmotrenih i modeliranih vrijednosti koncentracija SO₂ s obzirom na iznos ukupne emisije SO₂ tijekom razdoblja simulacije, te se opaža da modelirane koncentracije ne prate u

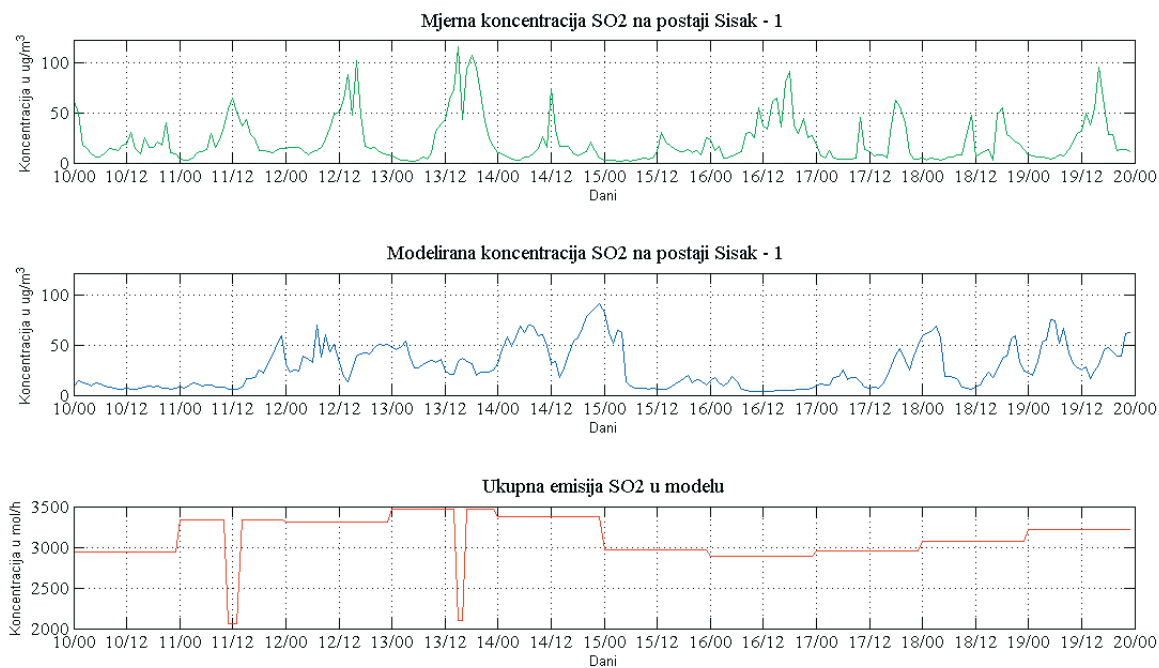
cijelosti hod ukupne emisije tijekom razdoblja simulacije (koeficijent korelacije iznosi svega 0,2, Tablica 2). U razdoblju između 11.02. u 12h i 15.02. u 12h opaža se znatno povećanje vrijednosti modeliranih koncentracija kada dolazi i do povećanja ukupne emisije SO₂ u modelu. Slična situacija dogodila se i pred kraj razdoblja simulacije, nakon 18.02., kada također dolazi do povećanja ukupne emisije SO₂ u modelu. Iz tog razloga smatra se da bi se uvažavanjem varijabilnosti ulaznih podataka emisija povećala preciznost dnevnih, odnosno, satnih vrijednosti. Varijabilnost modeliranih emisija unutar dana direktna je posljedica meteoroloških uvjeta jer su ulazne emisije jednake tijekom dana (osim prometnog sektora površinskih emisija - no te emisije su relativno male u odnosu na iznos emisija točkastih izvora).

Tablica 2 predstavlja usporedni prikaz statističkih veličina modeliranog i osmotrenog niza vrijednosti koncentracija SO₂ za postaju Sisak - 1. Iz spomenute tablice opaža se da su modelirani podaci nešto manji s obzirom na osmotrene podatke, dok su srednja vrijednost i medijan nešto veći. Usporedbom 95-tog percenti-



Slika 9. Usporedba mjerenih i modeliranih vrijednosti koncentracije SO₂ na postaji Sisak - 1 za slučaj simulacije s površinskim i točkastim emisijama.

Figure 9. Comparison of measured and modelled values of SO₂ concentrations on the Sisak-1 station for the area and point emissions simulation.



Slika 10. Usporedba mjerenih i modeliranih vrijednosti koncentracije SO₂ na postaji Sisak - 1 za slučaj simulacije s površinskim i točkastim izvorima i ukupne emisije SO₂ u modelu.

Figure 10. Comparison of measured and modelled values of SO₂ concentrations on the Sisak-1 station for the area and point emission simulation and the total SO₂ emission in the model.

la pokazuje se da je raspršenost podataka u oba slučaja gotovo jednaka, što znači da su se podaci tijekom razdoblja simulacije uglavnom zadržavali unutar istog intervala vrijednosti koncentracija (95%). To je zadovoljavajuća činjenica na skali od razdoblja simulacije, međutim, što više smanjujemo skalu (s razdoblja simulacije na jedan dan), to podaci pokazuju značajnije razilaženje (Sl. 9), a razlog tome može biti što nije uvažena moguća dnevna promjenjivost emisija te je tako onemogućeno postizanje dnevnih ekstrema. Također razlike proizlaze iz činjenice da se uspoređuje prosjek koncentracije onečišćujućih tvari na ćeliji 1x1 km iz modela s jednom točkom na kojoj je mjereno. Povećanjem prostorne i vremenske razlučivosti modela te razlike bi se trebale smanjiti.

5.2.2. Utjecaj vjetra na modelirane vrijednosti

Tablica 2. Usporedni prikaz statističkih parametara za osmotrene i modelirane vrijednosti koncentracija SO₂.

Table 2. Comparison of statistical parameters for the measured and the modelled SO₂ concentrations.

	Osmotreno	Modelirano
Minimum	2	3.89
Maksimum	115.9	91.31
Medijan	13	21.27
Srednjak	21.88	27.55
95 percentil	67.7	67.77
Koeficijent korelacije	0.2	

koncentracija SO₂

Vjetar ima značajan utjecaj na disperziju dimne perjanice. O njegovoj brzini ovisi do kojih će se udaljenosti dimna perjanica širiti i raspršiti. Pri uniformnom vjetru, dimna perjanica može doseći velike udaljenosti. Međutim, u stvarnim prilikama topografija i prizemno trenje najčešće onemogućuju takvu situaciju, pa do toga rijetko dolazi. Čestice onečišćenja, osim topografije i prizemnog trenja, mogu zaustaviti i kemijski procesi do kojih dolazi kod nailaska na druge onečišćujuće tvari ili pak plinove s kojima mogu reagirati u atmosferi. Iz tog razloga, kako bi se opisala stvarna situacija, posebno je važno imati promatrano područje što bolje pokriveno emisijskim pod-

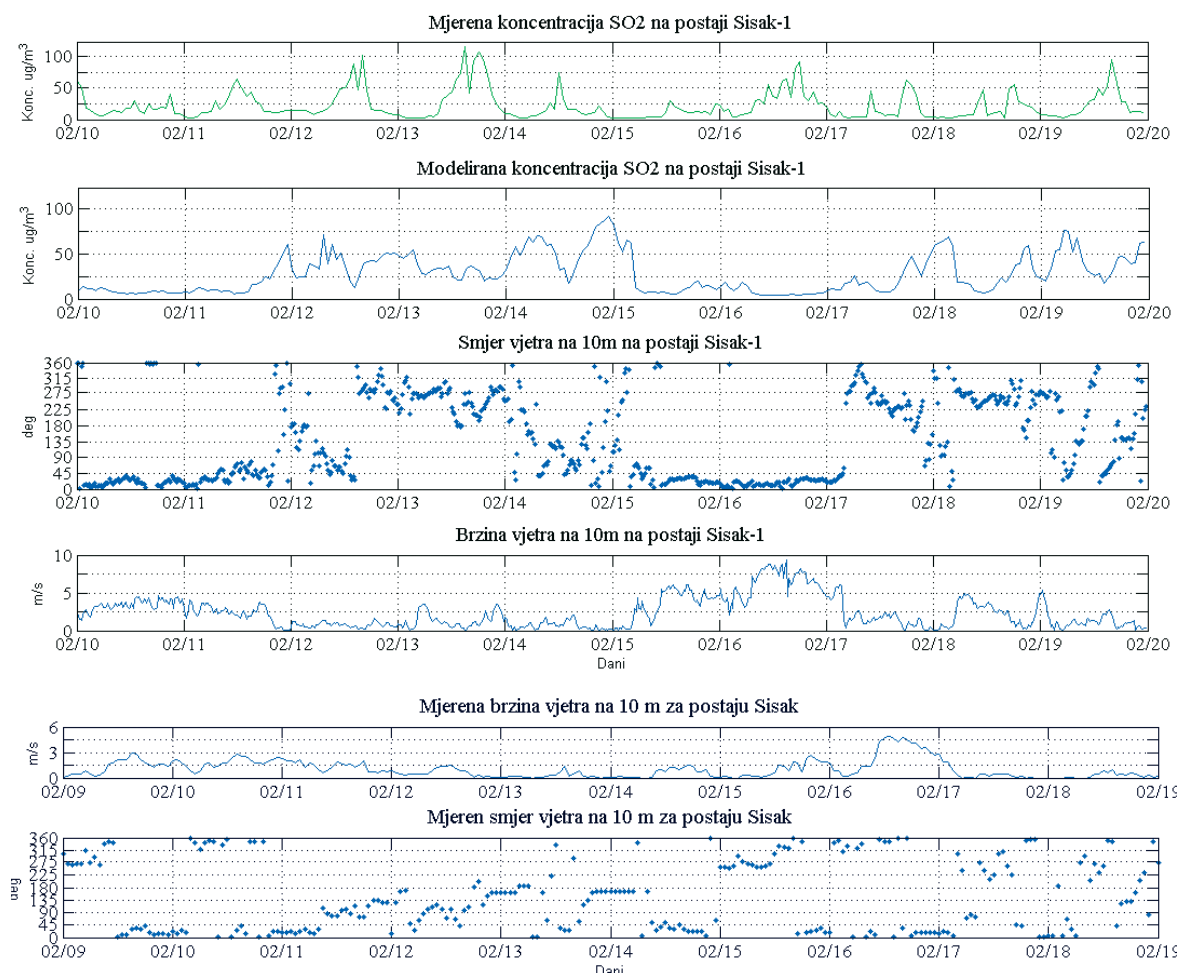
cima.

Sisak

Na Sl. 11 prikazana je usporedba vrijednosti osmotrenih i modeliranih koncentracija SO₂ uz brzinu i smjer vjetra dobivenu meteorološkim modelom WRF. Bitno odstupanje između osmotrenih i modeliranih vrijednosti koncentracija u razdoblju 15.02. 00h - 17.02. 12h (Sl. 11) poklapa se s promjenom karaktera vjetra na postaji Sisak - 1. Tijekom cijelog tog razdoblja javljaju se velike brzine vjetra iz smjera N.

Uzrok naglom padu vrijednosti (mjenih i modeliranih) koncentracija na postaji Sisak - 1 upravo je otpuhivanje onečišćujućih tvari s postaje. To se vidi na Sl. 12 a-h, gdje su prikazane prostorne slike modeliranog polja onečišćenja SO₂ u promatranom razdoblju 15.02. 00 - 14h. Vrijednosti manje od 1% od maksimalne vrijednosti nisu prikazivane radi lakšeg uočavanja disperzije onečišćenja. Iz priloženih slika jasno se vidi kako dominantan modelirani vjetar iz N-NNE smjera otpuhuje onečišćujuće tvari prema jugu domene. Zanimljivo je primijetiti kako je vjetar izrazito uniforman (Sl. 12) te usko kanalizira dimnu perjanicu. Takva meteorološka situacija pogodovala je duljem zadržavanju dimne perjanice u zraku te nošenju iste na veće udaljenosti. Razlog vrlo malih modeliranih vrijednosti koncentracija u ovom razdoblju, kojima su uzrok površinske emisije, su isključivo meteorološki uvjeti. Uzrok slabog povećanja koncentracije modeliranih vrijednosti pred kraj 15.02. vjerojatno su varijabilne emisije iz prometa - doprinos ukupnoj emisiji SO₂ u RH iz cestovnog prometa iznosi oko 9%.

Osmotrene vrijednosti koncentracija u razdoblju 16.02. - 17.02. izrazito su visoke. S obzirom da se prema meteorološkoj situaciji očekuje provjetranje onečišćenja iz grada Siska, ovakav hod osmotrenih koncentracija (iz slike 9 može se uočiti da je 16.02 izmjereno oko 90 µg/m³) može upućivati na to da je u visokim mjerenim lokalnim koncentracijama sa područja grada Siska vjerojatno transportirano onečišćenje iz drugih dijelova Hrvatske. S obzirom na kretanje perjanice (Sl. 12h) i uniformnost i brzinu vjetra na domeni u spomenutom razdoblju, doprinos onečišćenja je mogao doći i s većih udaljenosti (manji dio izmjerenih visokih koncentracija). I CAMx model pokazuje



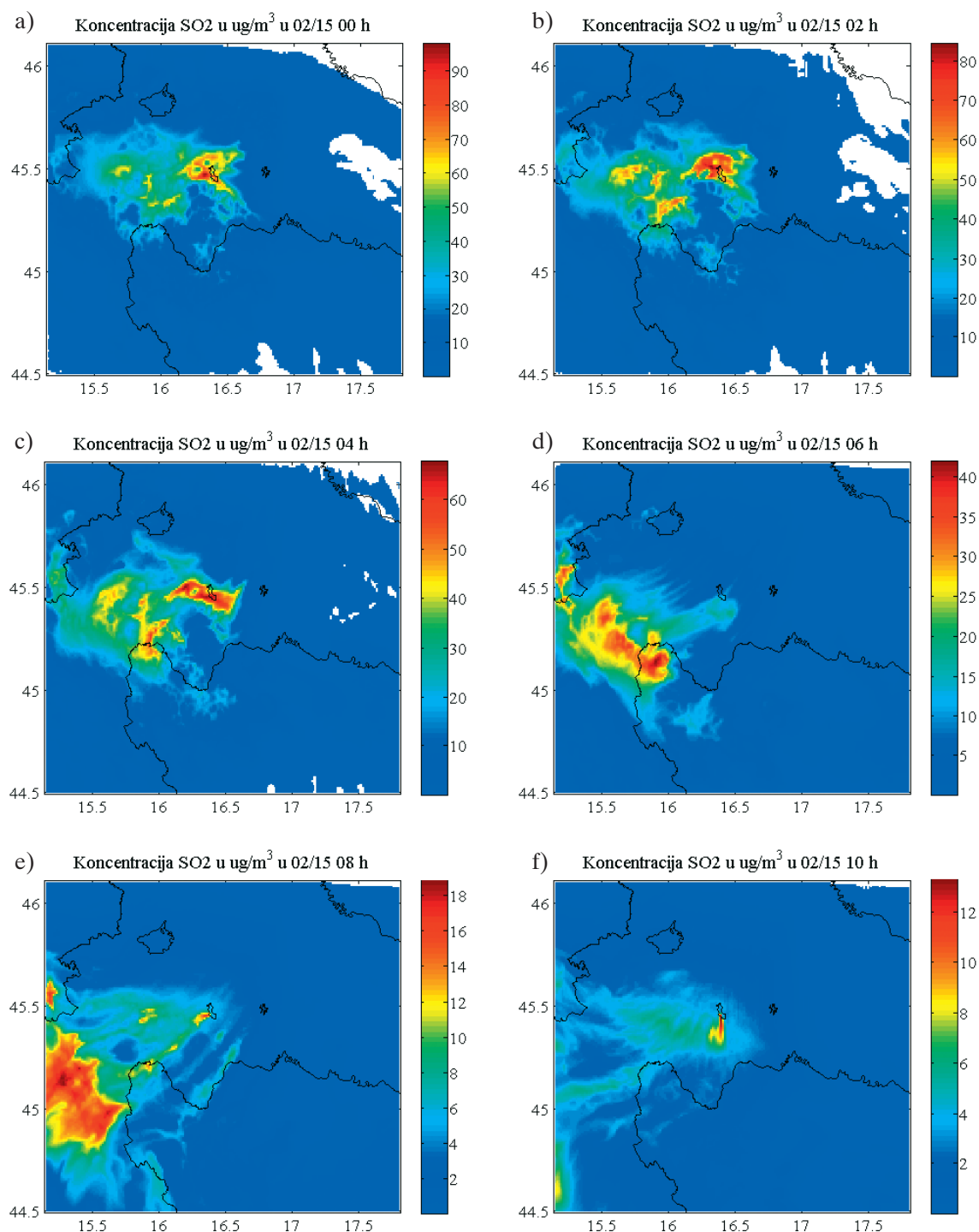
Slika 11. Usporedba osmotrenih i modeliranih vrijednosti koncentracija SO_2 i brzine i smjera vjetra za postaju Sisak - 1 tijekom razdoblja.

Figure 11. Comparison of the measured and the modelled SO_2 concentrations of wind speed and wind direction for the Sisak-1 station during the period of simulation.

da nisu mogle biti transportirane tako visoke koncentracije od skoro $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na Slici 12 može se uočiti da su procesom transporta i disperzije u modelu koncentracije sa izvora u visini od oko $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na rubu domene smanjene i iznose oko $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bitno je naglasiti da su koncentracije na rubovima domene svedene na nulu, odnosno tijekom razdoblja simulacije uklonjena je mogućnost doprinosa transporta sa većih udaljenosti što je presudno za stvaranje stvarne situacije u modelu. No cilj ovog rada bio je ujedno i istražiti utjecaj samo iz industrijske zone na grad Sisak.

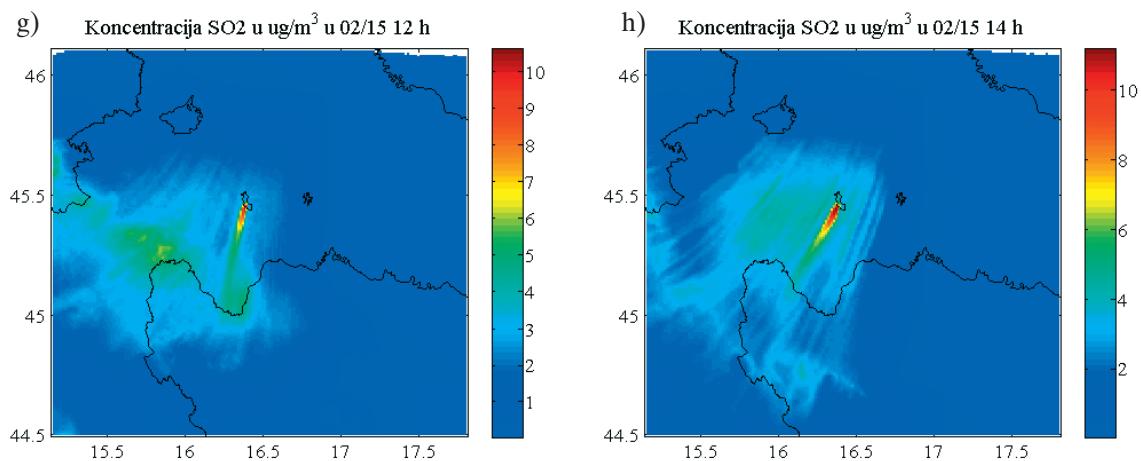
Kutina

Grad Kutina nalazi se istočno od grada Siska na zračnoj udaljenosti od 30-ak km. Iz Sl. 12a - h, opaža se da se u nekim situacijama onečišćenje iz grada Siska može širiti i na udaljenosti od preko 100 km, stoga je na Sl. 13 prikazana usporedba osmotrenih koncentracija s modeliranim vrijednostima za postaju Kutina - 1 s modeliranom brzinom i smjerom vjetra. Iz navedene slike opaža se da je upravo u razdobljima kada je prevladavao zapadni vjetar (13. - 14.02; 18. - 19.02.), onečišćenje značajno poraslo s obzirom na preostali dio razdoblja, što upućuje na nailazak onečišćenja iz smjera zapada.



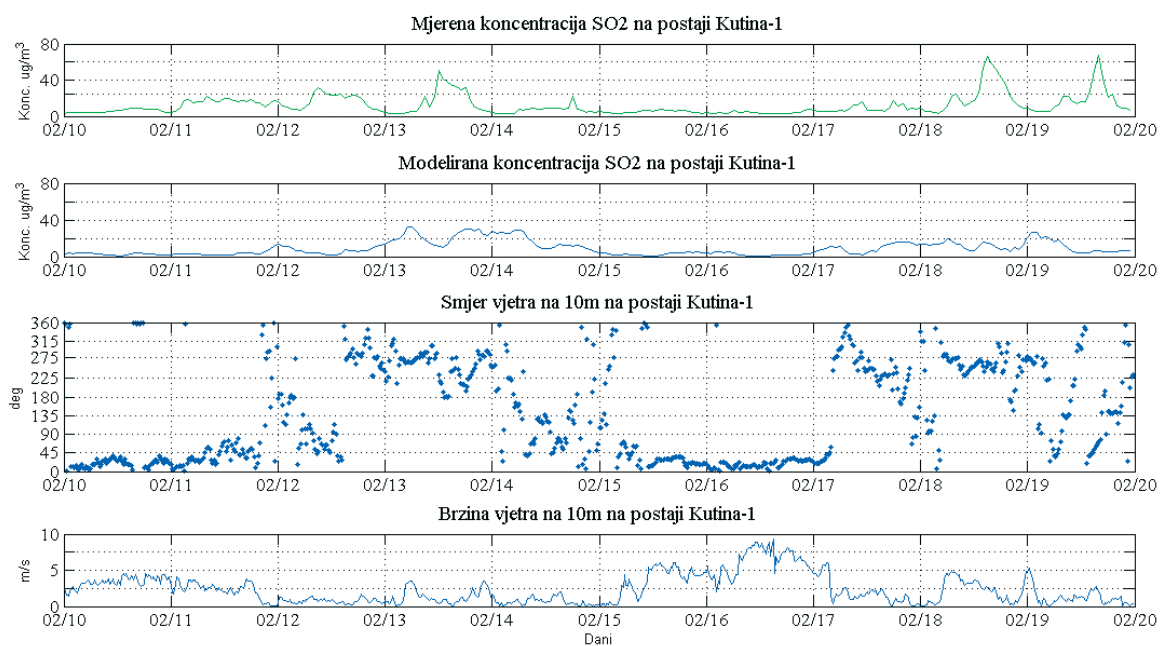
Slika 12. a-h Prizemno polje SO_2 nad domenom za razdoblje 15.02. 00 – 14h. (Napomena: Skala je neujednačena zbog lakšeg uočavanja kretanja dimne perjanice - htjelo se pokazati prvenstveno provjetravanje onečišćenja iz domene u razdoblju kojeg slike opisuju. Ujednačavanjem skale gube se detalji na slikama koje prikazuju prizemne koncentracije manje od $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te je iz tog razloga zadržana neujednačena skala.)

Figure 12 a-h. Near ground field of SO_2 concentrations over the domain for the period 15.02. 00 – 14h. (Note: Scale is uneven for better spotting of the plume motion - purpose was to show the ventilation of pollution from the domain in the period described in the pictures. Equalizing the scale would lead to the loss of details on the pictures that are describing near ground field concentrations lower than $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.)



Slika 12. Nastavak

Figure 12. Continuation.

Slika 13. Usporedba osmotrenih i modeliranih vrijednosti koncentracija SO₂ i brzine i smjera vjetra za postaju Kutina - 1 tijekom razdoblja.Figure 13. Comparison of measured and modelled SO₂ concentrations and wind speed and wind direction for the Kutina-1 station during the period of simulation.

5.3. Testovi osjetljivosti modela CAMx

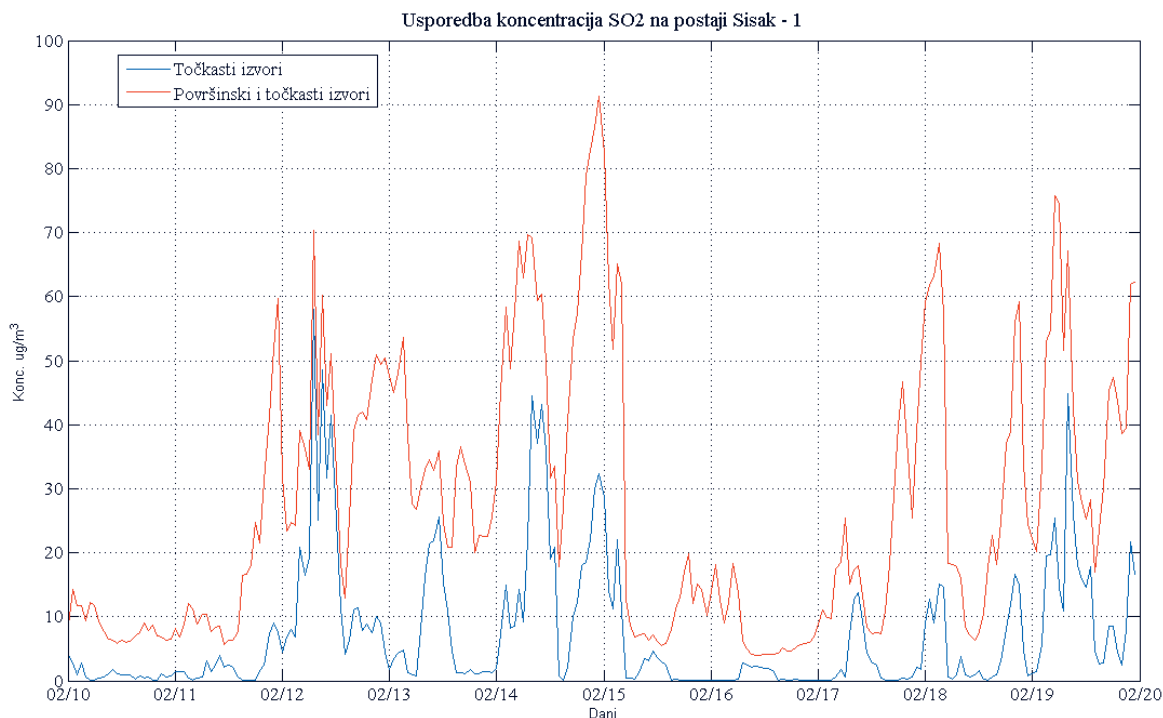
U ovom dijelu prikazat će se i zaseban utjecaj točkastih izvora, čime se želi pokazati kako emisije povezane s industrijom u Sisku utječu na disperziju onečišćenja. Također, u modelu su zbog nedostataka podataka o parametrima dimnjaka (poput promjera dimnjaka, temperature i brzine ispušnih plinova) korištene pretpostavljene vrijednosti te je provedeno nekoliko simulacija modelom CAMx s kojima se želio procijeniti mogući utjecaj promjena parametra na razini onečišćenja.

5.3.1. Utjecaj točkastih i površinskih emisija

Model CAMx tijekom numeričke integracije simulacije razlikuje površinske i točkaste izvore. Površinski izvori tijekom simulacije djeluju unutar prvog sloja modela, na polovici visine sloja koja je zadana ulaznim meteorološkim modelom, dok točkasti izvori djeluju na visini koja je određena visinom dimnjaka i visinom perjanice te se vertikalno distribuiraju preko određenih koeficijenata. Slika 14 prikazuje usporedbu koncentracija dobivenih simulaci-

jom točkastih izvora i zbirno točkastih i površinskih. Iz slike je vidljivo da su rezultati koji uključuju oba tipa emisija očekivano veći od rezultata simulacije provedene samo s točkastim emisijama. Zbog činjenice da površinski izvori nisu vremenski promjenjivi (izuzev prometa), u većini slučajeva oba niza koncentracija poprimaju sličan vremenski hod tijekom razdoblja simulacije. Slika 14 ukazuje na to da površinski izvori zapravo povećavaju koncentracije SO_2 koje su posljedica točkastih izvora za neki određeni iznos. U simulaciji samo s točkastim izvorima, jedini izvor onečišćenja je sama industrija grada Siska (ostalih 38 izvora su zanemarivo mali u odnosu na industriju, Sl. 3) te konstituenti dimne perjanice nemaju s čime kemijski reagirati tijekom simulacije pa se dimna perjanica može kretati bez promjene sastava ovisno samo o meteorološkim uvjetima. Takve simulacije koriste se za analizu testova osjetljivosti pomoću kojih se procjenjuje utjecaj pojedinih izvora.

U slučaju kada u modelu imamo i površinske i točkaste izvore, dimna perjanica prikazana na

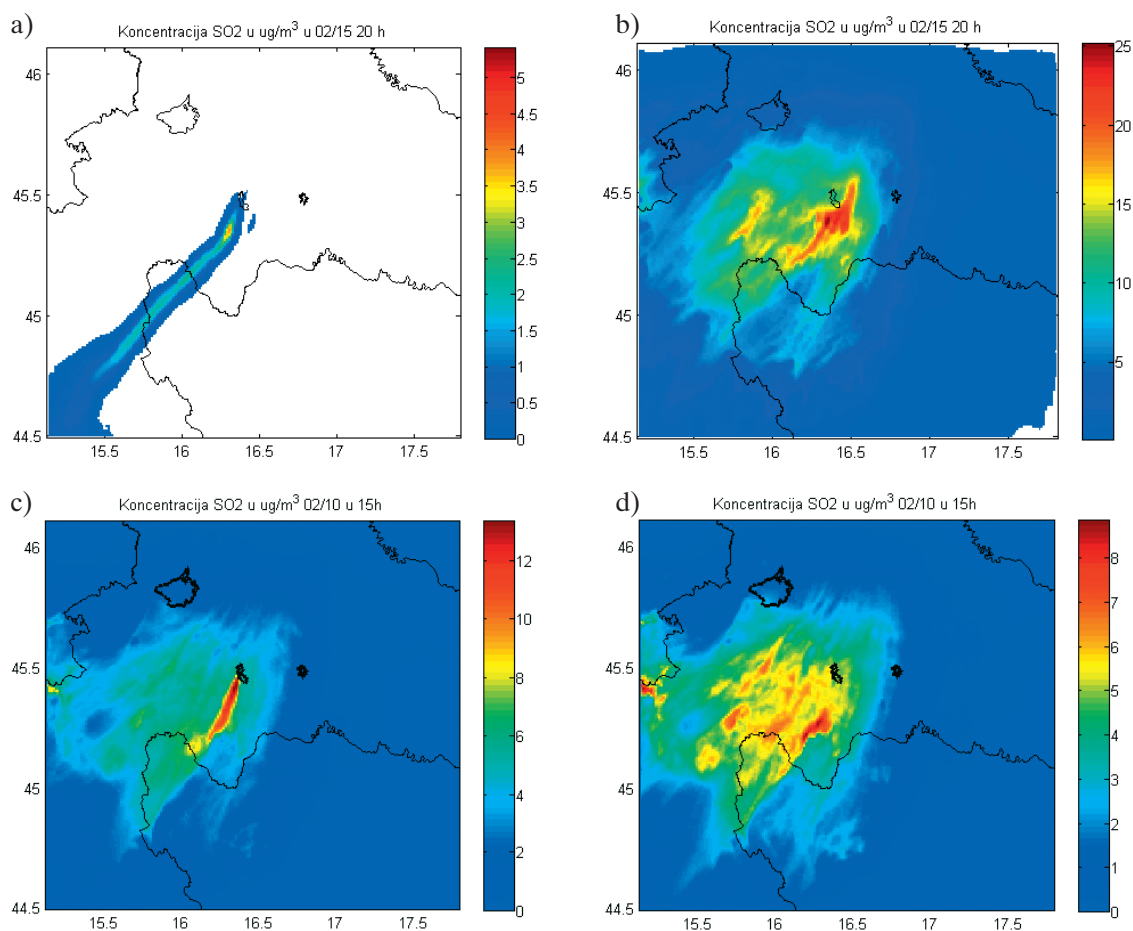


Slika 14. Usporedba modeliranih koncentracija SO_2 za slučaj simulacije točkastih izvora te ukupno točkastih i površinskih izvora za postaju Sisak - 1.

Figure 14. Comparison of modelled values of SO_2 concentrations on the Sisak-1 station for the simulation of emission points and total of point and area emission sources for the Sisak-1 station.

Slici 15a je superponirana na prostornu razdiobu koncentracija dobivenu iz površinskih izvora. Značajne razlike u polju razdiobe površinskih koncentracija SO_2 prikazuje Sl. 15a - b gdje imamo površinski prikaz dimne perjanice u slučaju simulacije samo s točkastim izvorima (Sl. 15a) sa modeliranim koncentracijama do maksimalnih vrijednosti od oko $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i u slučaju simulacije s točkastim i površinskim izvorima sa modeliranim koncentracijama do maksimalnih vrijednosti od oko $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sl. 15b) za isti sat.

Na navedenim slikama opaža se bitna razlika u prostornoj disperziji dimne perjanice. U slučaju modeliranja samo točkastih izvora, dimna perjanica je usko kanalizirana u smjeru vjeta te se vrlo slabo disipira na krajevima tijekom kretanja i doseže udaljenosti od preko 120 km od izvora onečišćenja, za razliku od simulacije koja uključuje i površinske izvore gdje područje s povećanim koncentracijama nije tako usko prostorno ograničeno. Razlog tome je već naveden, kemijski sastojci dimne perjanice iz industrijske zone grada Siska kemijski reagira-



Slika 15. Prikaz dimne perjanice SO_2 u slučaju simulacije samo s točkastim izvorima (a) i u slučaju simulacije s točkastim i površinskim izvorima (b) u vrijeme 15.02.2008. u 20h. Prikaz dimne perjanice u slučaju simulacije s točkastim i površinskim izvorima (c) i u slučaju simulacije samo površinskih izvora (d) u vrijeme 10.02.2008. u 15h. (**Napomena:** Skale na slikama nisu ujednačene iz razloga da se bolje zamijete detalji oko širenja dimne perjanice - zbog velike razlike u iznosu koncentracije prizemnog polja onečišćujuće tvari u prvom i drugom slučaju).

Figure 15. The SO_2 concentration plume in the simulation with only point sources (a), and in the simulation with point and area sources (b) on 15.02.2008. at 20h. The plume in the simulation with point and area sources (c), and in the simulation with only area sources (d) on 10.02.2008. at 15h. (**Note:** Scales on pictures are not even because the purpose of this comparison is to spot differences in the divergence of the plume - because of big differences in the amount of near field concentrations in the first and in the second case).

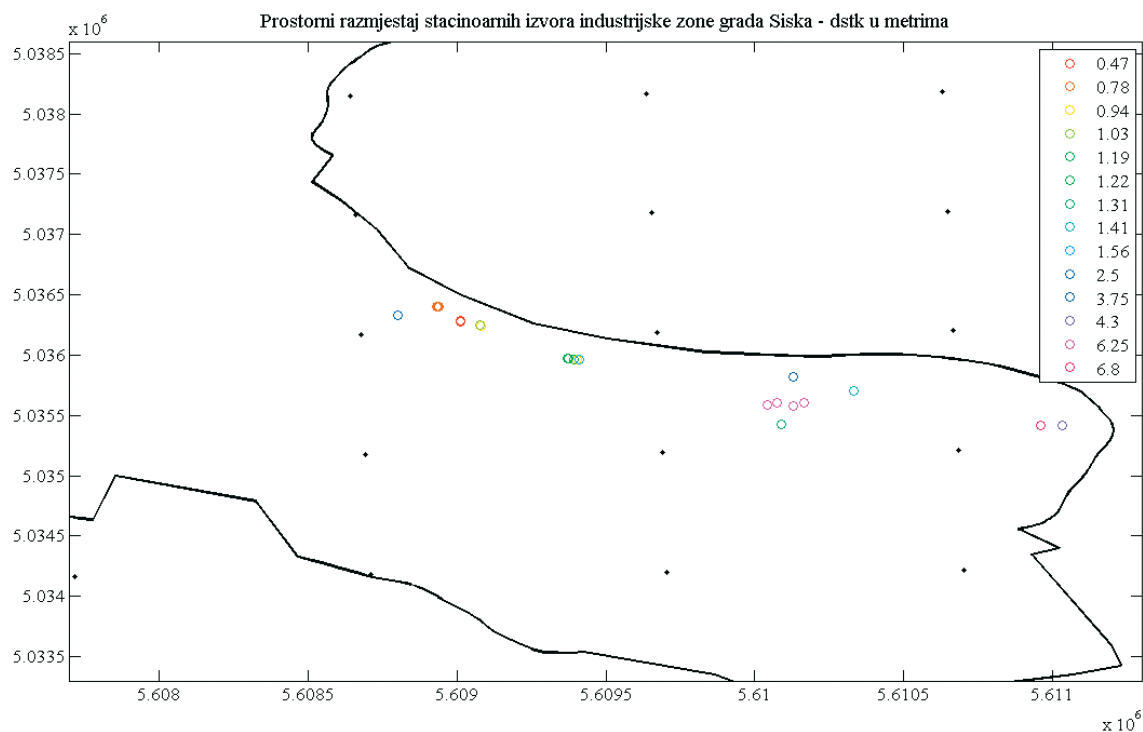
ju s kemijskim sastojcima emitiranim iz površinskih izvora te dimna perjanica ima drugačiji izgled. To može biti presudno u ocjeni stvarne situacije jer se uključivanjem više ili manje površinskih i točkastih izvora u simulaciju mijenja kvaliteta rezultata koja, ovisno o meteorološkoj pozadini, može varirati i do reda veličine u iznosu koncentracije. To se opaža na Sl. 15a - b za podatak od 15.02 u 20h i Sl 15 c-d za podatak od 10.02. u 15h.

5.3.2. Utjecaj temperature i brzine ispušnih plinova

Osim meteoroloških prilika i kemijskih procesa u atmosferi na visinu dimne perjanice utječu i ulazni parametri dimnjaka, kao što su brzina ispusta onečišćenja, temperatura dimne perjanice te maseni protok. Ovisno o navedenim parametrima, brzinama kemijskih reakcija i vremenu nastupanja, razlikovat će se i disperzija onečišćenja. Zbog nepostojećih podataka o promjeru izlaznog otvora dimnjaka, temperaturi i brzini izlaznog plina te protoku, u model su unošeni pretpostavljeni iznosi tih parametara. Visina dimnjaka je zadana i dobivena od strane industrija INA – RNS i TE – Sisak, dok su brzi-

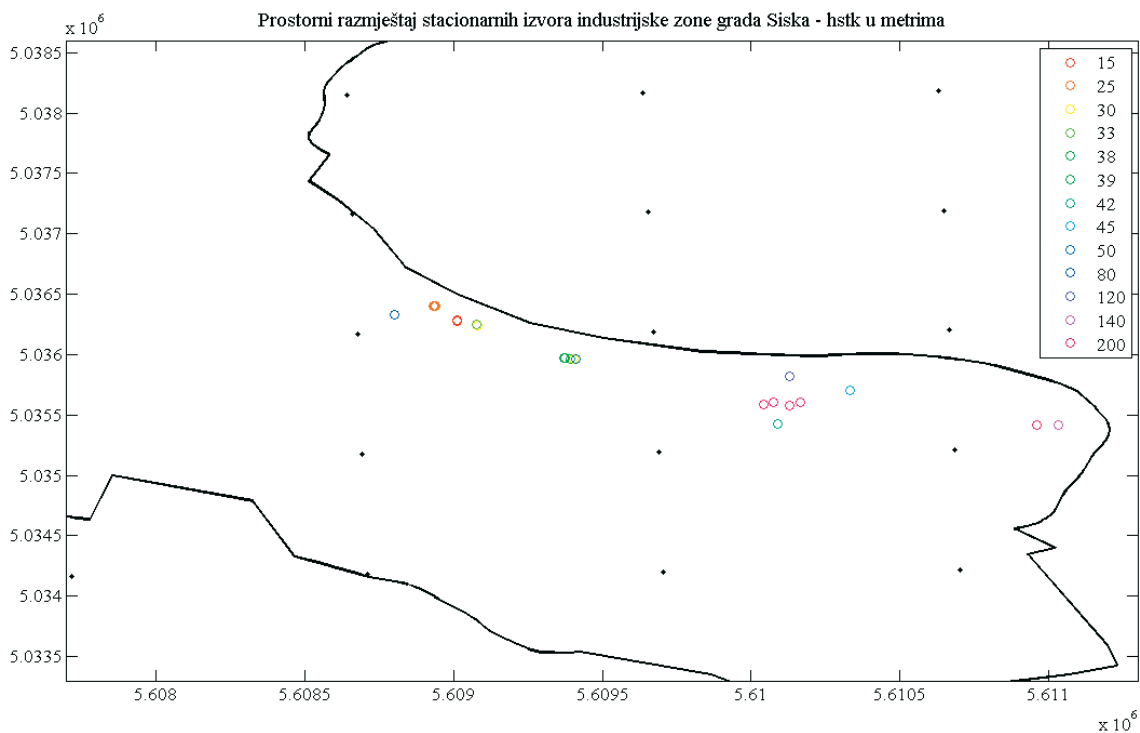
ne izlaznih plinova i promjeri dimnjaka pretpostavljeni s obzirom na visinu dimnjaka. Temperatura svih izlaznih plinova iznosi 413.14 K. To je najčešće izmjerena temperatura na dimovodnim kanalima i ispuštima u industrijskoj zoni. Treba napomenuti, da su brzine i temperature konstantne tijekom cijelog razdoblja simulacije. Njihov iznos u stvarnosti najvjerojatnije varira s obzirom na maseni protok, a i ostale faktore, poput utjecaja vanjske temperature na temperaturu izlaznih plinova te same temperature plinova na brzinu plinova s obzirom na tlak zraka. Temperatura je varirana 20% s obzirom na iznos u kelvinima, što znači da su simulacije provedene s temperaturama izlaznih plinova od 57.37 °C i 222.63 °C. Pritom su ostali parametri ostali isti kao u početnoj simulaciji s točkastim izvorima. Brzina plinova je uvećana za 75% s obzirom na inicijalne brzine izlaznih plinova. Promjenom brzine izlaznih plinova s obzirom na jednak promjer dimnjaka, promijenjen je i odgovarajući volumni protok.

Na Sl. 16 - 19, prikazane su prostorne raspodjele točkastih izvora industrijske zone grada Siska korištene u osnovnoj simulaciji u odnosu na čije vrijednosti su vršeni testovi osjetljivosti.



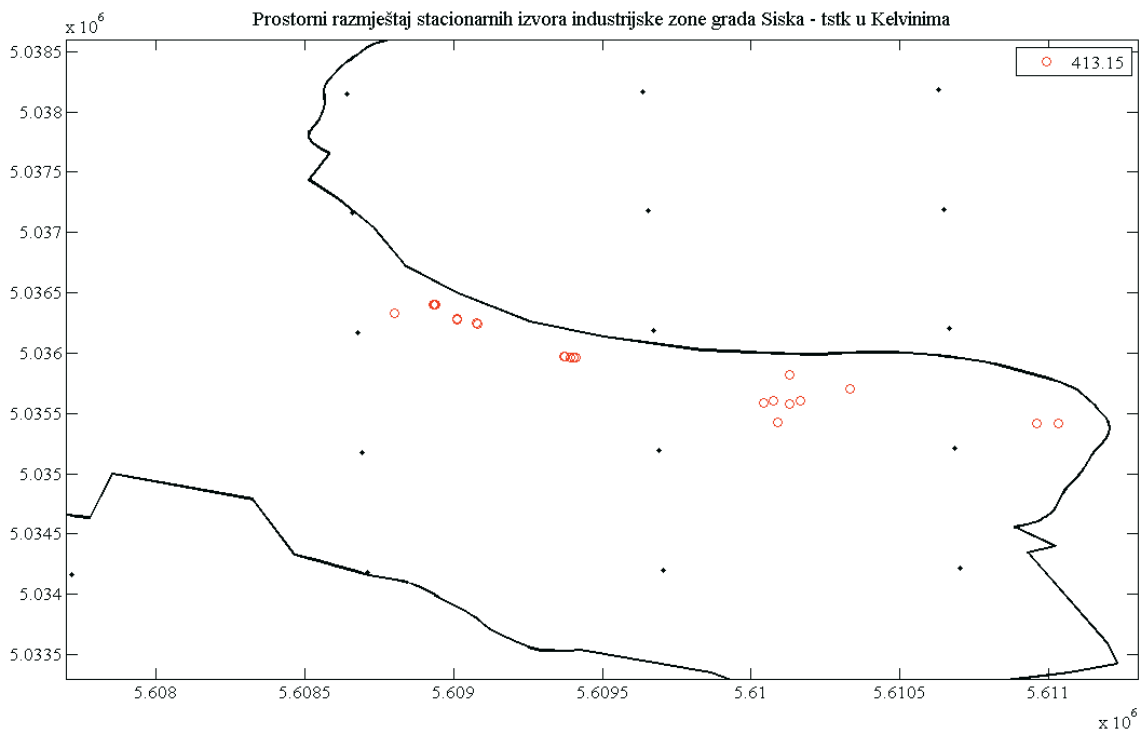
Slika 16. Prostorni razmjestaj točkastih izvora industrijske zone grada Siska s obzirom na promjer dimnjaka.

Figure 16. Spatial scattering of the point sources of the industrial zone of city of Sisak considering the stack diameter.



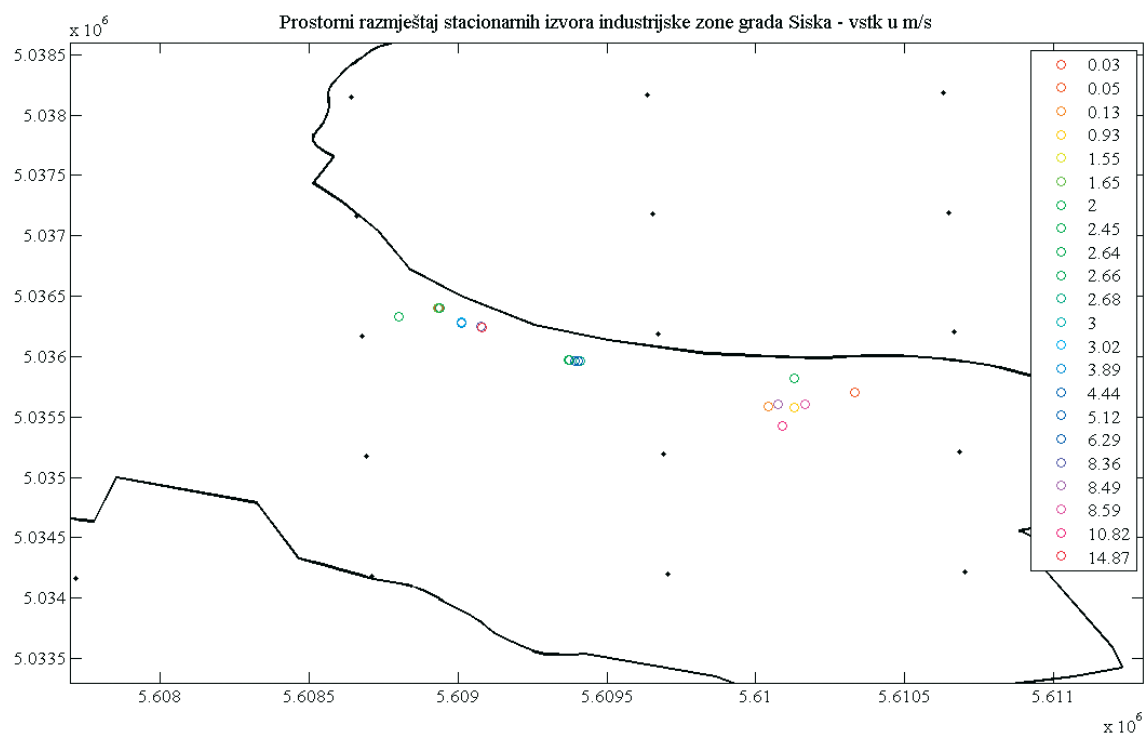
Slika 17. Prostorni razmještaj točkastih izvora industrijske zone grada Siska s obzirom na visinu dimnjaka.

Figure 17. Spatial scattering of the point sources of the industrial zone of city of Sisak considering the stack height.



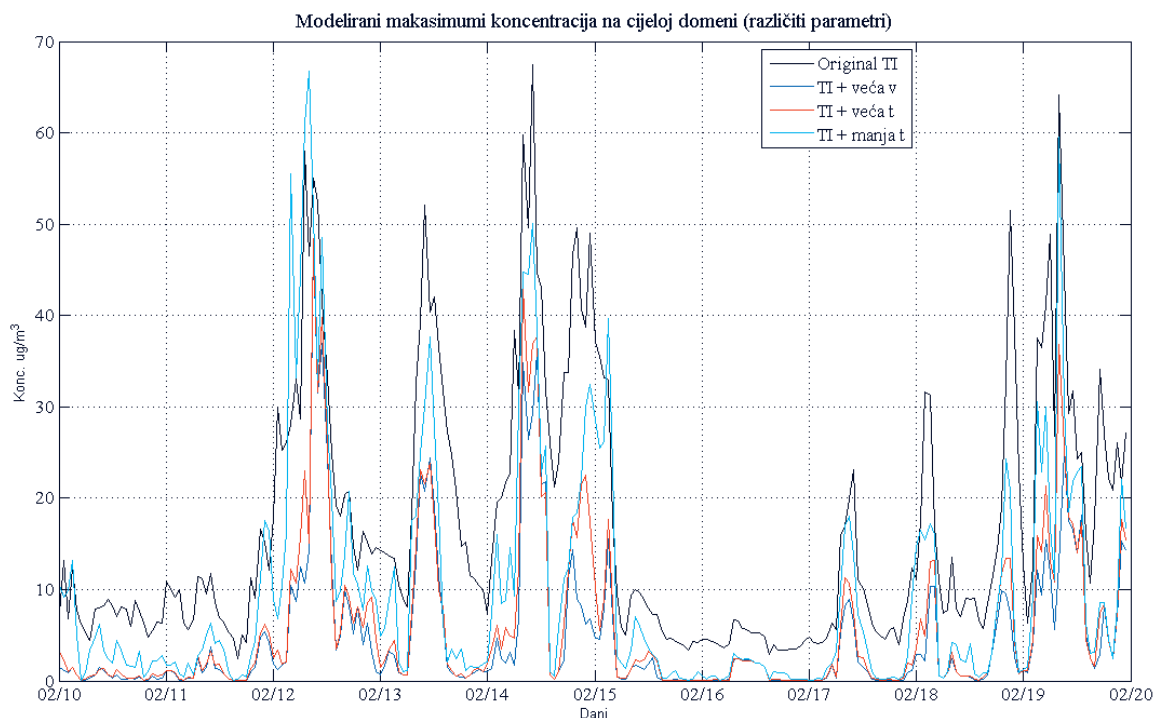
Slika 18. Prostorni razmještaj točkastih izvora industrijske zone grada Siska s obzirom na temperaturu izlaznih plinova.

Figure 18. Spatial scattering of the point sources of the industrial zone of city of Sisak considering the temperature of outgoing gases.



Slika 19. Prostorni razmještaj točkastih izvora industrijske zone grada Siska s obzirom na brzinu izlaznih plinova.

Figure 19. Spatial scattering of the point sources of the industrial zone of city of Sisak considering the speed of outgoing gases.



Slika 20. Usporedba maksimalnih satnih modeliranih koncentracija na čitavoj domeni modela CAMx za simulacije s točkastim izvorima i promjenjivim parametrima dimnjaka tijekom razdoblja.

Figure 20. Comparison of the maximum modelled hourly concentrations on the entire domain of the model CAMx in the simulation with point sources and adjustable stack parameters during the simulation period.

Na Sl. 20 prikazana je usporedba maksimalnih satnih vrijednosti na čitavoj domeni za različite simulacije točkastih izvora. Sa navedene slike opaža se da se promjenom pojedinih parametara mijenja maksimalna satna modelirana koncentracija i do $40 \mu\text{gm}^{-3}$.

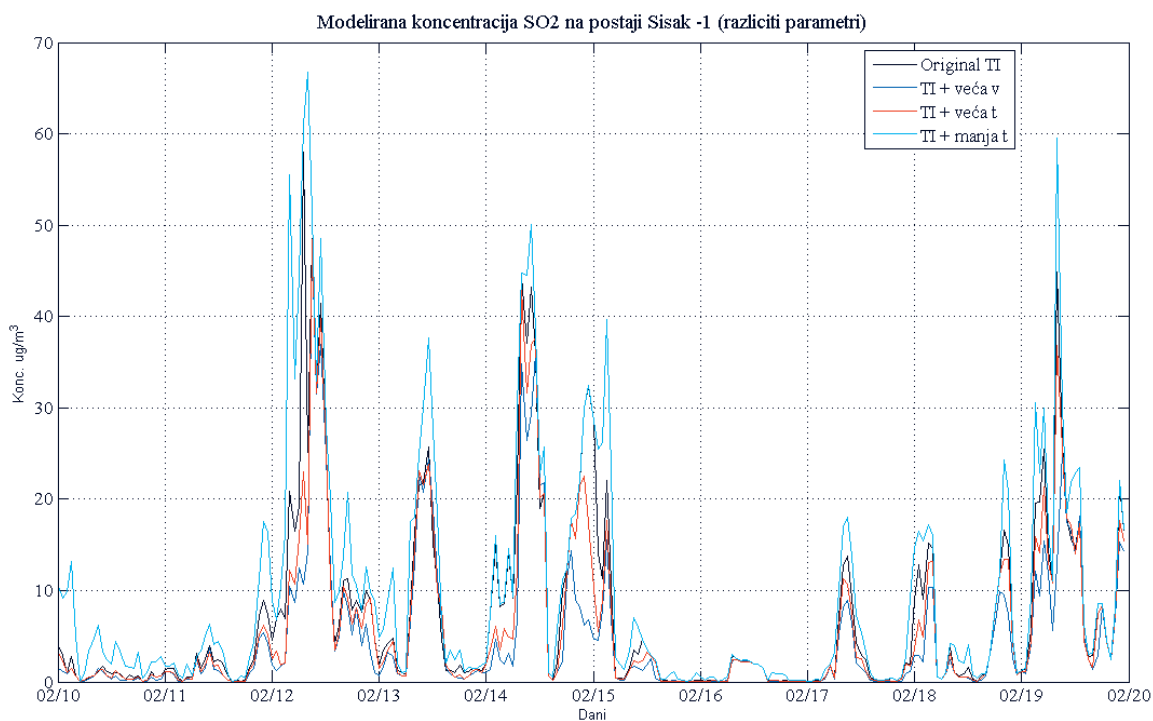
Povećanjem brzine vjetra na svim točkastim izvorima za 75%, maksimalna satna koncentracija na domeni modela smanjuje se čak i do $10 \mu\text{gm}^{-3}$, kontinuirano kroz razdoblje simulacije. Povećanjem temperature u odnosu na smanjivanje za 20%, dobivamo osjetno manje satne maksimalne koncentracije na domeni. U prosjeku, opaža se da je početna, osnovna simulacija⁹, davala veće maksimalne satne koncentracije kroz razdoblje simulacije od ostalih simulacija s različitim parametrima. Navedena usporedba vrijedi za cijelu domenu te se može značajnije i drugačije razlikovati u diskretnim točkama mreže.

Sisak

Usporedba rezultata koncentracija za simulacije s različitim parametrima, na postaji Sisak -

1, prikazana je na Sl. 21. Opaža se značajnija razlika u vrijednosti koncentracija dobivenih simulacijom sa smanjenom temperaturom ispusnog plina. To se može objasniti time što hladniji ispusni plin brže postaje teži od okolnog zraka te brže i pada u prvi sloj modela i tako prije dopire do mjerne postaje Sisak - 1, u odnosu na topliji plin prvotne osnovne simulacije. Za razliku od simulacije sa smanjenom temperaturom ispusnog plina, simulacija s većom temperaturom ispusnog plina ne razlikuje se bitno od osnovne simulacije. Koncentracije s povećanom brzinom vjetra osjetno su manje od koncentracija za osnovne simulacije tijekom cijelog razdoblja simulacije. To je moguće objasniti time što kada ispusni plin brže izlazi, tada i brže dopire u veće visine u kojima može biti drugačiji smjer vjetra, koji ga zatim može, ovisno o svojoj komponenti i iznosu, odnijeti bliže ili dalje od postaje Sisak - 1.

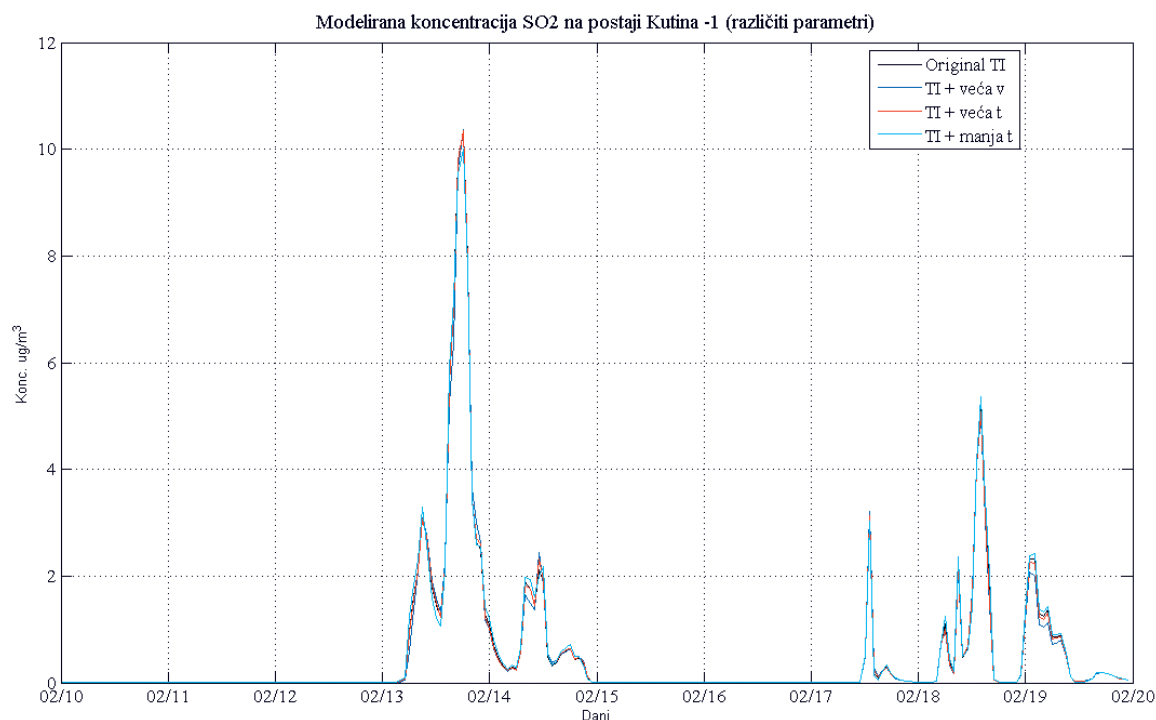
Bitno je naglasiti, da se ispusni plin s inicijalnom većom brzinom drugačije rasipa u atmosferi od ispusnog plina s manjom brzinom. Osim što ga to može odnijeti u veće visine na



Slika 21. Usporedba satnih modeliranih koncentracija za simulacije s točkastim izvorima i promjenjivim parametrima dimnjaka za postaju Sisak - 1 tijekom razdoblja.

Figure 21. Comparison of the modelled hourly concentrations for the simulation with point sources and adjustable stack parameters for the Sisak-1 station during simulation period.

⁹ Pod početna, osnovna simulacija podrazumijeva se simulacija s pretpostavkama opisanim u poglavlju 3.



Slika 22. Usporedba satnih modeliranih koncentracija za simulacije s točkastim izvorima i promjenjivim parametrima dimnjaka za postaju Kutina - 1 tijekom razdoblja.

Figure 22. Comparison of the modelled hourly concentrations for the simulation with point sources and adjustable stack parameters for the Kutina-1 station during simulation period.

kojima se, kao što je već opisano, može drugačije kretati, ispusni plin može se pri većoj brzini brže disipirati. To se može i opaziti na Sl. 21 gdje su maksimalne satne koncentracije pri simulaciji s povećanom brzinom ispusnog plina manje, u odnosu na osnovnu simulaciju. To, naravno, ne mora značiti da su one manje realne, jer osnovna pretpostavka o inicijalnoj brzini ispusnog plina nije nužno valjana. Uostalom, također treba naglasiti da je brzina vjetera na svim izvorima pretpostavljena, neki izvori možda i imaju približno točnu vrijednost, no vjerojatno dio njih ne, čime se eliminira njihov utjecaj. To može biti izrazito nepovoljno ako se krivim odabirom brzine i temperature podcijenilo značajne izvore te je industrijska zona grada Siska nepravovaljano prikazana u modelu.

Kutina

Usporedba modeliranih koncentracija za različite parametre na postaji Kutina - 1 prikazana je na Sl. 22. Iz navedene slike opaža se da nema značajnije razlike između koncentracija što može upućivati na to da na većim udaljenosti-

ma od izvora modela pravilan odabir parametara dimnjaka možda i nije presudan. Odabir parametara bitan je za simuliranje dimne perjanice u blizini izvora gdje može doći do promjena u veličini, toplini i brzini. Na većim udaljenostima od izvora onečišćenja dominiraju meteorološki uvjeti, odnosno, temperatura perjanice izjednači se s temperaturom okolnog zraka i postigne brzinu okolnog zraka. Tada dimna perjanica ima bitno različita svojstva od inicijalnog ispusta te parametri poput temperature i brzine ispusta više ne igraju bitnu ulogu u daljnjoj disperziji onečišćenja.

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su vrijednosti koncentracija SO_2 dobivene s pretpostavljenim parametrima brzine, protoka i temperature emisio-nog plina iz točkastih izvora te zbirno iz točkastih i površinskih izvora. Uz pretpostavljene navedene parametre, prikazane su i simulacije s promijenjenim parametrima kako bi se naglasila važnost pravilnog odabira početnih pretpostavki.

Pri pokretanju fotokemijskog modela najbitnija je dobra i kvalitetna meteorološka podloga, prvenstveno sa što boljim slaganjem brzine i smjera vjetra sa stvarnim poljima koji bitno utječu na disperziju dimne perjanice. Uz slaganje ostalih meteoroloških parametara bitna je veća horizontalna i vertikalna rezolucija s odgovarajućim vremenskim uzorkovanjem. Većom rezolucijom u prostornom i vremenskom smislu moguće je bolje procijeniti lokalne meteorološke značajke koje mogu biti presudne pri inicijalizaciji širenja onečišćujućih tvari. Također, veća rezolucija bitna je radi usporedbe s vrijednostima izmjerenima na postaji kakvoće zraka.

Iz dobivenih rezultata zaključeno je da su, uz kvalitetnu meteorološku podlogu, potrebni i detaljni podaci o izvorima onečišćujućih tvari (točna lokacija, parametri dimnjaka) te izmjerene vrijednosti emisija sa što manjim vremenskim korakom. Nepoznavanje točnih vrijednosti tehnoloških ulaznih parametara može dovesti do odstupanja dobivenih rezultata od stvarnih vrijednosti, a pogotovo u opisu kvalitete zraka bližih područja oko izvora onečišćenja. Iz razloga što su u ovom radu korištene dnevno osrednjene godišnje emisije, rezultati nisu dobro prikazali dnevni hod, odnosno, potencijalne dnevne ekstremne vrijednosti ali su rezultati na dnevnoj skali zadovoljavajući. To u stvarnoj situaciji može otežati procjenjivanje situacija kod kojih su povećane koncentracije pojedinih onečišćujućih tvari. Usporedba rezultata simulacija sa samo točkastim i površinskim izvorima ukazuje da je industrijska zona dominantan izvor onečišćenja u Sisku. U Kutini se pri zapadnim strujanjima javljaju povećane koncentracije, što ukazuje na mogući utjecaj grada Siska. Treba napomenuti, ulazne emisije u fotokemijskom modelu CAMx unesene su u obliku izračunatih vrijednosti na temelju potrošnje goriva ili su pak mjerene na dimnovodnim kanalima, a takve se mogu razlikovati od onih koje su doista na izlazu dimnjaka.

Uz simulacije točkastih izvora, rezultati zbirnog utjecaja točkastih i površinskih izvora upućuju na zaključak da tek integracija svih izvora onečišćenja na promatranoj domeni može približiti modelirane vrijednosti stvarnoj situaciji. Ono što treba naglasiti jest da se uz opis stvarne situacije ili prognoziranje budućih situacija na osnovu meteoroloških uvjeta, rezultati ova-

kvog istraživanja primjene modela, mogu koristiti i u odabiru lokacije i procjene reprezentativnosti mjerne postaje kakvoće zraka.

ZAHVALA

Ovaj je rad napravljen temeljem mog diplomskog rada (Modeliranje onečišćenja zraka u gradu Sisku sumpornim dioksidom) vođenog od strane prof. dr. sc. Zvezdane Bencetić Klaić, a podaci i računalni resursi korišteni su u okviru E! 3266 - W EBAIR Web - Based Air Quality Assessment And Management projekta tvrtke Oikon – Institut za primijenjenu ekologiju d.o.o.

Zahvaljujem dr. sc. Ivani Herceg-Bulić na velikoj pomoći, podršci, usmjeravanju, strpljenju i mnogobrojnim savjetima, dr. sc. Ivici Janekoviću na pomoći tijekom modeliranja numeričkim modelom WRF, dipl. ing. Josipu Križanu na savjetima tijekom programiranja, Institutu Oikon d.o.o. te tvrtki Gekom d.o.o. na ustupljenim resursima.

LITERATURA:

- Chen, F., Z. Janjic, K. Mitchell, 1997: Impact of atmospheric surface layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP Mesoscale Eta numerical model. *Bound.-Layer Meteor.*, 185, 391-421.
- Chen, F. and J. Dudhia, 2001: Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 569-585.
- Dudhia, J. WRF Physics options. Dispersion Modelling (p. 39 - 80), http://www.mmm.ucar.edu/people/dudhia/files/presentations/WRF_Physics_Dudhia.ppt
- ENVIRON, 2009. CAMx v5.10 User's Guide.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., i Powers, J.G., 2007: A description of the Advanced Research WRF Version 2, NCAR/TN-468+STR, NCAR TECHNICAL NOTE, 88.
- Tadić, L., 2008: Inspekcijski nadzor INA RNS - potencijalnog IPPC postrojenja. Godišnji sastanak inspektora zaštite okoliša, www.mzopu.hr/doc/Inspekcija/Inspekcija_18_05_2008_09.pdf.

Telišman Prtenjak, Maja; Jeričević, Amela; Kraljević, Lukša; Herceg Bulić, Ivana; Nitis, Theodoros; Bencetić Klaić, Zvezdana. Exploring atmospheric boundary layer characteristics in a severe SO₂ episode in the north-eastern Adriatic. // Atmospheric chemistry and physics. 9 (2009) , 13; 4467-4483

OSTALI IZVORI INFORMACIJA:

www.camx.com (posjećeno: 01.02.2010.)

<http://www.wrf-model.org/> (posjećeno: 01.02.2010.)

<http://zrak.mzopu.hr/> (posjećeno: 01.02.2010.)

<http://www.smz.hr/site/> (posjećeno: 01.02.2010.)

<http://www.ceip.at/> (posjećeno: 01.02.2010.)

<http://www.geo.fu-berlin.de/met/>

Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2008, Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb 2009

Godišnje izvješće o praćenju kakvoće zraka na području Republike Hrvatske za 2008. godinu;
<http://www.azo.hr/GodisnjiIzvjestajOPracenju>

UREDBE:

Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 21/07, NN 150/08); <http://www.mzopu.hr/print.aspx?id=3708>