
Vpliv saharskega prahu na dnevne koncentracije delcev PM₁₀ v letu 2013

Avtorji:

Dr. Jana Faganeli Pucer

Dr. Janja Turšič

Marijana Murovec

Jure Cedilnik

Urednik:

Dr. Jana Faganeli Pucer

5. januar 2015

Kazalo

1	Uvod	5
2	Saharski prah v južni in srednji Evropi	6
3	Epizode saharskega prahu v letu 2013	6
3.1	Model	7
3.2	Vizualni pregled gibanja prahu	7
3.3	Vrednosti PM ₁₀ na postaji Iskrba	7
3.4	Preseganja dnevne mejne vrednosti v dnevih epizod saharskega prahu	10
3.4.1	Meteorološka situacija	11
3.4.2	Trajektorije v točko Iskrba	11
3.4.3	Izračun deleža saharskega prahu v vrednostih PM ₁₀	11
4	Ovrednotenje rezultata s kemično analizo	13
5	Zaključek	15

1 Uvod

Aerosoli so mikroskopski trdni ali tekoči delci, razpršeni v zraku (lahko tudi v drugem plinu). Aerosoli vplivajo na podnebje na zemlji; razpršijo sončno svetlobo oziroma jo odbijajo nazaj v vesolje, v nižjih plasteh atmosfere pa vplivajo na tvorjenje dežnih oblakov. Aerosoli so za zdravje škodljivi. Predvsem aerosoli manjših velikosti (npr. PM_{10}) prodrejo globoko v dihala od koder pridejo hitro v kri in vplivajo predvsem na dihalne in srčno-žilne bolezni.

Delci v zraku so lahko antropogenega izvora kot posledica človekovih aktivnosti ali pa jih sproščajo naravni viri, na katere človek ne vpliva. Delci PM_{10} so vsi delci v zraku z aerodinamičnim premerom manjšim ali enakim 10 mikrometrov, delci $PM_{2.5}$ so podmnožica delcev PM_{10} in predstavljajo manjše delce (aerodinamični premer manjši ali enak 2.5 mikrometra). Prispevek naravnih virov k ravnom delcev PM_{10} v zraku je mogoče oceniti, ni pa ga mogoče nadzorovati. V primeru, kadar so preseganja delno ali v celoti posledica prispevka naravnih virov, Uredba o kakovosti zunanjega zraka skladno z direktivo 2008/50/ES [1] omogoča, da se pri ocenjevanju skladnosti z mejnimi vrednostmi ta preseganja ne upoštevajo in se odštejejo od letnega števila dni z izmerjeno preseženo mejno vrednostjo.

Po direktivi Evropske unije (EU) 1999/30/EC [2] dnevno določamo koncentracije aerosolov PM_{10} in $PM_{2.5}$. Direktiva [2] je določila, da je dnevno povprečje PM_{10} lahko večje od mejne vrednosti $50 \mu g/m^3$ največ 35-krat v posameznem letu. Skoraj deset let kasneje so v novi direktivi 2008/50/ES [1] določili, da lahko od delcev antropogenega izvora ločimo prispevke naravnih virov, med katere uvrščamo vulkanske izbruhe, seizmične dejavnosti, geotermalne dejavnosti, požare v naravi, pojave močnega vetra, morski pršec ali atmosferske resuspenzije in prenos naravnih delcev iz sušnih regij.

Direktiva [1] določa, da se preseganje mejnih vrednosti (PM_{10} nad $50 \mu g/m^3$) zaradi prispevka naravnih virov lahko za ugotavljanje skladnosti s standardi kakovosti zraka odšteje le, kadar je prispevek naravnih virov mogoče dovolj zanesljivo določiti. Za določanje prispevka naravnih virov v okviru izvajanja direktive 2008/50/ES pa so bile pripravljene posebne smernice [3]. Te smernice eksplicitno predvidevajo možnost odštevanja preseganja mejnih vrednosti v primeru, ko so te posledica:

- prenosa delcev iz sušnih regij,
- morskega pršca
- vulkanskih izbruhov in seizmične aktivnosti,
- požarov v naravi.

Namen priprave tega poročila je določitev preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov, s ciljem njihovega odštevanja za potrebe ugotavljanja skladnosti z mejnimi vrednostmi za delce PM_{10} . V Sloveniji prispevek morskega pršca na večini merilnih mest ni pomemben (lokalen vpliv nekje do 25 kilometrov [4]), v letu 2013 pa tudi nismo zabeležili večjih požarov v naravnem okolju in izrazitih vulkanskih izbruhov, ki bi lahko vplivale na ravni delcev v Sloveniji. Zato smo določili le prispevek prenosa saharskega prahu k preseganju mejnih

vrednosti delcev PM_{10} . Pri tem smo sledili smernicam za določanje prispevka naravnih virov, ki jih je pripravila Evropska komisija.

2 Saharski prah v južni in srednji Evropi

Zaradi visokih temperatur v Saharski puščavi se dvignejo prašni delci visoko, med 1.5 in 8 kilometri v višino. Ta prah z močnimi višinskimi vetrovi lahko potuje dolge razdalje, predvsem najmanjši delci. Večji delci hitreje padejo nazaj na tla, manjši pa lahko ostanejo še zelo dolgo v ozračju (tudi dva tedna) in tako prepotujejo dolge razdalje. Pojav je v Evropi, predvsem na Mediteranski obali, zaradi majhne oblačnosti (malo dežja, ki spira delce) in visokih temperatur, opazen najpogosteje spomladi in poleti. V delu Varge in sodelavcev [5] so analizirali trideset let (1979-2011) pojavov saharskega prahu v Panonski nižini, del Panonske nižine pa leži tudi v Sloveniji. Glede na to, da Slovenija zavzema zelo majhno površino (bistveno manjšo kot Panonska nižina) sklepamo, da glede saharskega prahu aproksimacija, ki velja za celotno Panonsko nižino, velja tudi za Slovenijo. Ugotovili so ugotovili, da se 75% epizod saharskega prahu pojavlja v spomladanskih in poletnih mesecih (od marca do septembra) z vrhom v mesecu aprilu (18.5% vseh epizod v tridesetih letih). Podobno so ugotovili tudi v delu Pederolija in sodelavcev[6] kjer so obravnavali epizode Saharskega prahu v Italiji v letih 2003-2005. Tudi v severni Italiji, ki je nam razmeroma blizu, je bilo večina epizod saharskega prahu koncentriranih med marcem in septembrom.

Iz zgoraj navedenih virov [5, 6] lahko sklepamo, da prah prihaja v Slovenijo po treh poteh:

1. Največkrat pride saharski prah k nam z jugozahodnimi vetrovi preko sredine Mediteranskega morja in Italije. Šestinšestdeset procentov epizod saharskega prahu v Panonsko pride po tej poti [5]. Take epizode se pojavljajo med marcem in septembrom.
2. Manjši del epizod pride z južnimi vetrovi preko Balkanskega polotoka oziroma južne Italije. Take epizode so značilne za pomladne mesece.
3. Najmanjši del epizod pa pride iz zahodne Sahare z zahodnimi vetrovi preko zahodne Evrope ali severozahodne Evrope. Take epizode so najbolj opazne v zahodni Evropi, Irskem in Britaniji.

3 Epizode saharskega prahu v letu 2013

Epizode saharskega prahu za leto 2013 smo ocenili s pomočjo modela regionalnega centra WMO za puščavski pesek in prah v Barceloni (Barcelona dust forecast center), ki ga računajo v superračunalniškem Barcelonskem centru in omogoča izpis ocene koncentracij saharskega prahu frakcije PM_{10} za določeno zemljepisno lego [7]. Dodatno smo epizode saharskega prahu preverili s pomočjo vizualnega pregleda simulacije modela Barcelonskega centra za napovedovanje prahu [8, 9], modela centra univerze Tel-Aviv [10] in nekaterih drugih modelov (slika 1). Ti modeli nam omogočajo pregled gibanja saharskega prahu nad Evropo, ne pa

frakcije PM_{10} . Iskali smo dneve s povišano koncentracijo delcev PM_{10} na postaji Iskrba, ki predstavlja stanje na ne izpostavljenem podeželskem okolju. Pregledali smo prostorsko-časovne trajektorije v točko Iskrba (slika 3) za dneve s povišanimi koncentracijami.

Oceno epizod saharskega prahu smo verificirali s kemično analizo vzorcev iz postaje Iskrba.

3.1 Model

Iz spletne strani Barcelonskega centra za napovedovanje prahu [7] smo izpisali urne koncentracije, ki jih je napovedal model BSC-DREAM8b v2.0 za celotno leto 2013. Iz urnih koncentracij, smo izračunali povprečne dnevne koncentracije. Določili smo 6 epizod saharskega prahu:

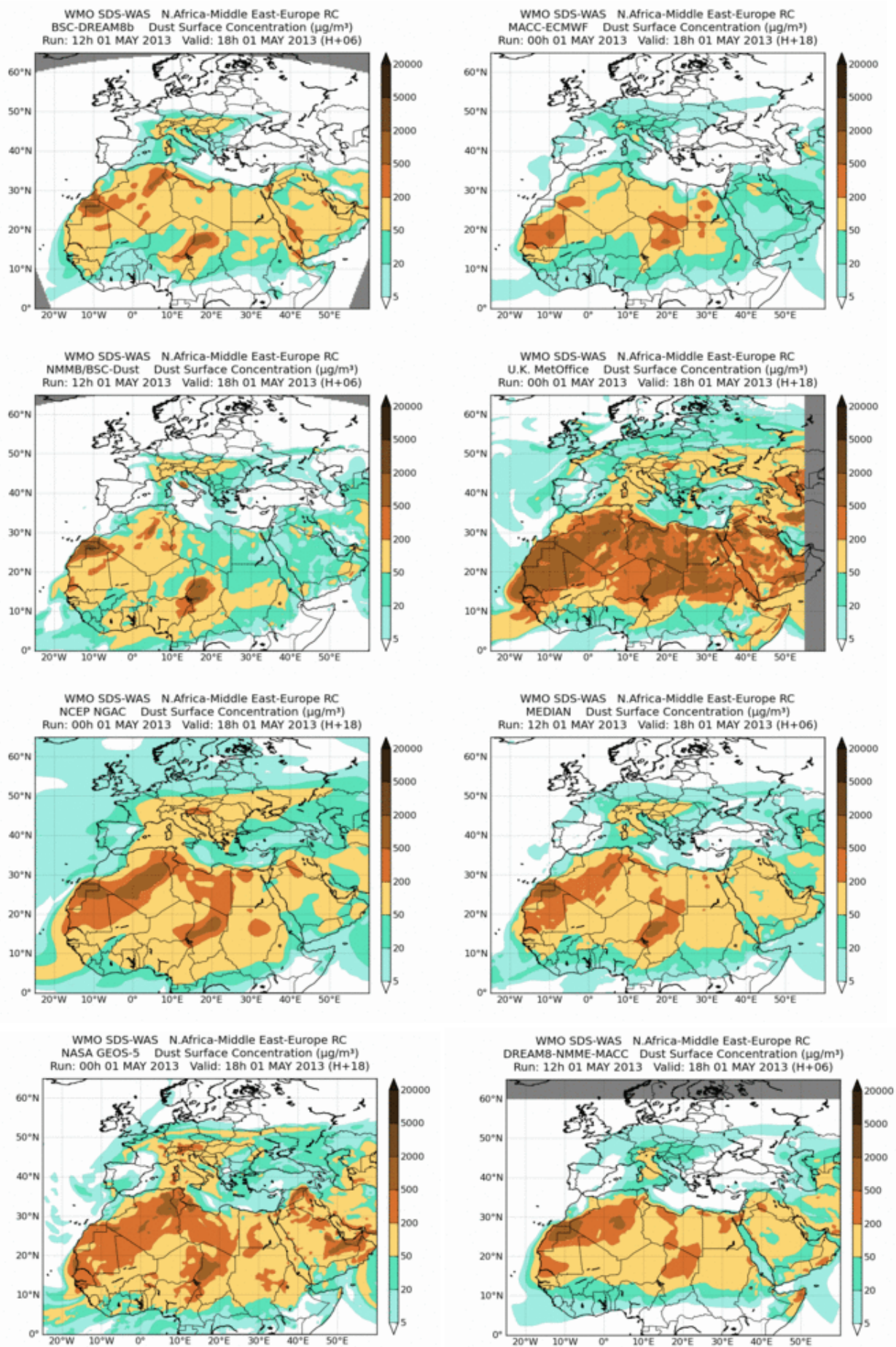
1. Od 27. april do 5. maj (koncentracije od 20 do $54 \mu g/m^3$),
2. 19. maja (koncentracija $30 \mu g/m^3$),
3. 21. do 23. junij (koncentracije od 14 do $44 \mu g/m^3$),
4. 28. in 29. julij (koncentracije od 11 do $16 \mu g/m^3$),
5. 6. do 9. avgust (koncentracije od 15 do $26 \mu g/m^3$),
6. 29. in 30. oktober (koncentracije od 13 in $17 \mu g/m^3$).

3.2 Vizualni pregled gibanja prahu

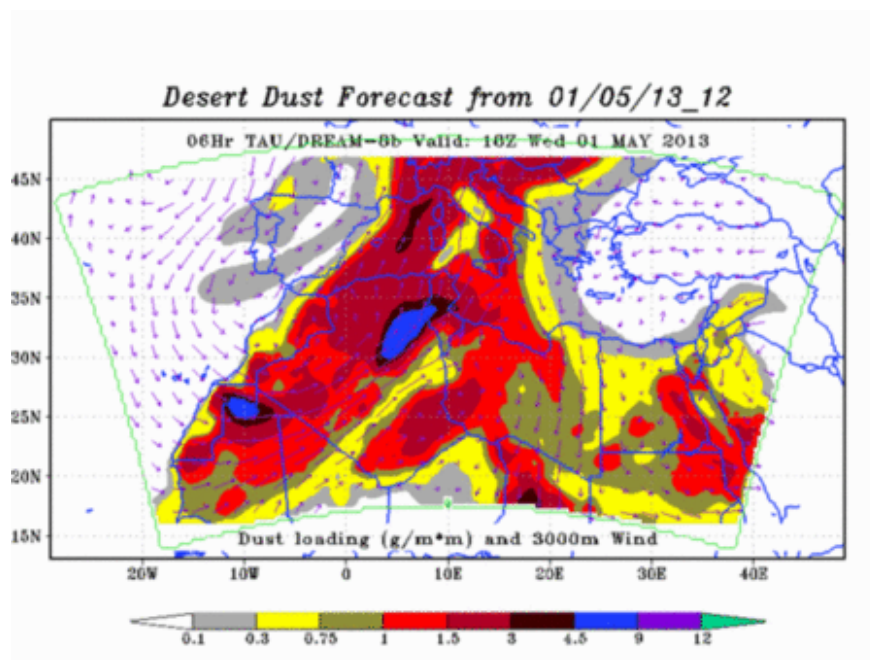
Vizualno smo poleg modela BSC-DREAM8b, pregledali tudi model univerze v Tel Avivu [10] (TAU/Dream8b) in nekaj drugih modelov. Ti modeli so dali samo vizualno oceno prahu nad Evropo, ne pa vrednosti frakcije PM_{10} . Ugotovili smo, da je večina modelov pokazalo oblak saharskega prahu nad Slovenijo v zgoraj navedenih datumih. Najbolj izrazita epizoda, z največjimi koncentracijami pa je bila prva epizoda.

3.3 Vrednosti PM_{10} na postaji Iskrba

Postaja Iskrba leži v bližini kraja Kočevska Reka. Iskrba leži na zemljepisni širini $45^{\circ}34'29.76''$ severno in zemljepisni dolžini $14^{\circ}47'57.12''$ zahodno, na nadmorski višini 500 m. Nadmorska višina je primerljiva z nadmorsko višino večine krajev v katerih merimo vrednosti PM_{10} (npr. Ljubljana leži na 300m nadmorske višine). To je zelo odročno območje, odmaknjeno od vseh večjih naselij. Postaja je dva kilometra oddaljena od najbližjega manjšega naselja. Iskrba je edina postaja, ki je leži na neobremenjenem območju v Sloveniji, na kateri vsakodnevno merimo vrednosti PM_{10} in $PM_{2.5}$. Vzorce tudi kemično analiziramo. Glede na lastnosti lege lahko predpostavimo, da nam predstavlja ozadje Slovenskega okolja. Zato postajo vzamemo kot referenčno postajo za določanje prabitka PM_{10} zaradi saharskega prahu. Za izbrane datume preverimo, če je bila vrednost PM_{10} na postaji Iskrba višja od mesečnega oziroma letnega povprečja:



Slika 1: Rezultati različnih modelov oblaka saharskega prahu nad Evropo prvega maja 2013.



Slika 2: Rezultati modela TAU/Dream8b za 1.maj.

epizode	datum	PM ₁₀	PM ₁₀ saharski prah	PM ₁₀ mesec	PM ₁₀ leto	R
1.	27.4.	20	10	15	12	0.30
	28.4.	19	22			0.20
	29.4.	22	71			0.31
	30.4.	23	54			0.37
	1.5.	35	50	11		0.48
	2.5.	25	27			0.41
	3.5.	23	26			0.36
	4.5.	29	61			0.45
	5.5.	8	27	0.78		
2.	19.5.	15	30		0.38	
3.	21.6.	27	30	11	0.29	
	22.6.	23	45		0.27	
	23.6.	14	14		0.32	
4.	28.7.	28	11	15	0.36	
	29.7.	14	16		0.39	
5.	6.8.	26	20	14	0.35	
	7.8.	22	26		0.36	
	8.8.	28	20		0.48	
	9.8.	22	16		0.35	
6.	29.10.	14	18	13	0.21	
	30.10.	-	13		-	

Tabela 1: Dnevne vrednosti PM₁₀ v dnevih saharskih epizod, povprečne mesečne in povprečno letno vrednost PM₁₀ in razmerje PM₁₀ in PM_{2.5} na postaji Iskrba.

1.5.2013			
Kraj	Koncentracija $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Kraj	Koncentracija $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ljubljana Bežigrad	51	Ljubljana BF	50
Maribor center	49	Zagorje	50
Hrastnik	43	Trbovlje	49
Novo mesto	42	Kranj	45
Murska Sobota	45	Iskrba	35
Žerjav	40	Celje	52
Nova Gorica	44	Velenje	44
Koper	33		

Tabela 2: Dnevne vrednosti PM_{10} na dan prvega maja na vseh merilnih postajah v Sloveniji.

Iz tabele 1 lahko sklepamo, da je bilo med prvo epizodo res prisotno povišanje zaradi saharkega prahu na postaji Iskrba, predvsem v dnevih od 29.aprila do 4. maja z vrhom 1.maja. Druga epizoda saharkega prahu ni prispevala veliko k vrednosti PM_{10} . Neopazen vpliv (na vrednosti PM_{10}) sta imeli tudi epizodi 29.julija (4.) in 29. in 30. oktober (6.). Bolj opazni, glede na vrednosti PM_{10} sta bili tretja in peta epizodi.

Izračunamo tudi razmerje PM_{10} in $\text{PM}_{2.5}$ (R) s formulo:

$$R = \frac{\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2.5}}{\text{PM}_{10}} \quad (1)$$

V saharškem prahu je več delcev večjih dimenzij zato sklepamo, da bo ob dnevih s saharškim prahom razmerje (R) večje od povprečja. Povprečni R za postajo Iskrba leta 2013 je 0.18.

3.4 Preseganja dnevne mejne vrednosti v dnevih epizod saharkega prahu

Glede na smernice direktive [1], nas zanimajo dnevi kjer je prišlo do presejanja dnevne mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zaradi vpliva saharkega prahu. Zato preverimo, ali je v dnevih epizod saharkega prahu (glej tabelo 1), prišlo do prekoračitev dnevne mejne vrednosti. Edini dan (tabela 1) izmed vseh dni saharških epizod, kjer smo zabeležili prekoračitve dnevne mejne vrednosti, je bil prvi maj. Na ta dan so vsi modeli napovedali velik oblak saharkega prahu nad Evropo in zelo visoke koncentracije nad Slovenijo. Tudi model BSC-DREAM8b je napovedal visoke koncentracije saharkega prahu frakcije PM_{10} v Sloveniji.

Tabela 3 prikazuje vrednosti PM_{10} za prvi maj 2013. Vrednosti so povsod razmeroma visoke, predvsem, če upoštevamo, da je bil topel spomladanski dan. Jutranja temperatura je bila v Ljubljani 14 stopinj, popoldanska pa 27 stopinj Celzija. V toplih spomladanskih dnevih navadno ne pričakujemo presejanj mejnih vrednosti, saj je trajanje sončnega obsevanje dolgo in niso prisotne emisije zaradi ogrevanja zgradb. Na ta dan smo zabeležili presejanje mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v dveh krajih v Sloveniji; na postaji Ljubljana Bežigrad in postaji Celje (glej tabelo 3).

3.4.1 Meteorološka situacija

Od 27. aprila do 1. maja se je nad zahodnim Sredozemljem zadrževalo izrazito ciklonsko območje. Najbolj se je poglobilo 29. in 30. aprila. Veter povezan s tem pritiskovim poljem je bil precej izrazit. Nad severno Afriko so v spodnjih plasteh ozračja prevladovali močni zahodniki, preko osrednjega Sredozemlja in Alp pa je pihal izrazit jugozahodni in južni veter. Ta je oslabilen vztrajal tudi še v prvih dneh maja. Sinoptična situacija je bila tako precej naklonjena intenzivnemu razširjanju puščavskega prahu iznad Sahare preko Sredozemlja proti severu.

3.4.2 Trajektorije v točko Iskrba

Domnevo, da je epizoda saharskega prahu vplivala na količino PM_{10} v Sloveniji preverimo še s pregledom trajektorije v točko Iskrba prvega maja 2013. Trajektorije lahko pregledamo na spletni strani Norveškega inštituta za raziskave zraka (NILU) na naslovu: <http://www.nilu.no/projects/ccc/trajectories/>. Trajektorije prikazujejo gibanje delcev za en teden (7 dni) nazaj. Na sliki 3 vidimo, da so delci, ki so čez cel dan prihajali v Iskrbo izvirali večinoma iz severne Afrike.

3.4.3 Izračun deleža saharskega prahu v vrednostih PM_{10}

Smernice direktive 2008/50/ES [3] nam omogočajo, da računsko določimo delež saharskega prahu v izmerjenem PM_{10} in ta delež odštejemo od izmerjene vrednosti. To naredimo predvsem za dneve, kjer so vrednosti PM_{10} presegle mejno vrednost. Direktiva [1] narekuje, da delež saharskega prahu določimo s pomočjo postaje na kateri ni lokalnih vplivov onesnaženja (ang. background station). V našem primeru opazujemo vrednosti na postaji Iskrba. V tabeli 1 lahko vidimo, da so vrednosti PM_{10} v dnevih epizod saharskega prahu tudi na tej postaji višje od letnega in mesečnega povprečja, sklepamo, da je to povišanje rezultat saharskega prahu.

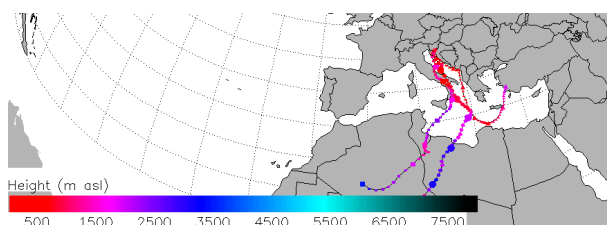
Smernice direktive [3] priporočajo dva načina za določanje pribitka saharskega prahu. Vedno kot referenco vzamemo postajo Iskrba:

1. Vzamemo štirideseti percentil 30 dni okoli dneva s saharskim prahom, tako da je dan na mestu 15.
2. Vzamemo 15 dni pred epizodo saharskega prahu in 15 dni po epizodi saharskega prahu in izračunamo povprečje vrednosti PM_{10} v tistih dnevih.

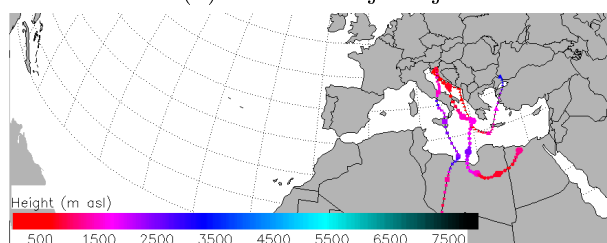
Izračunamo delež saharskega prahu po obeh metodah:

1. Po prvi metodi dobimo delež saharskega prahu $24 \mu g/m^3$
2. Po drugi metodi pa izračunamo, da je delež saharskega prahu $23 \mu g/m^3$.

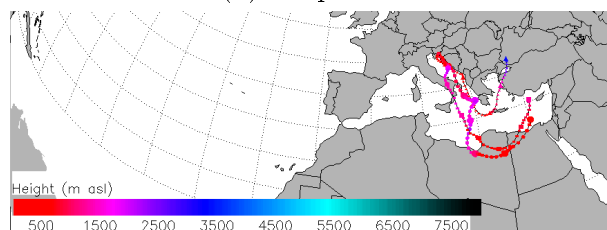
Rezultata sta skoraj enaka. V smernicah direktive [1] je prikazan primer ocenjevanja deleža saharskega prahu s štiridesetem percentilom vrednosti tridesetih dni okoli dneva s



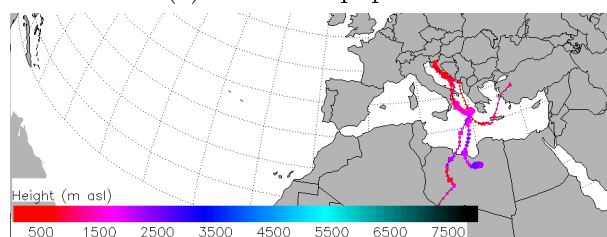
(a) Ob šestih zjutraj



(b) Ob poldne



(c) Ob šestih popoldan



(d) Ob polnoči

Slika 3: Trajektorije v točko Iskrbo ob različnih časih prvega maja 2013.

1.5.2013			
Kraj	Koncentracija $\mu g/m^3$	Kraj	Koncentracija $\mu g/m^3$
Ljubljana Bežigrad	27	Ljubljana BF	26
Maribor center	25	Zagorje	24
Hrastnik	19	Trbovlje	25
Novo mesto	18	Kranj	21
Murska Sobota	21	Iskrba	11
Žerjav	16	Celje	28
Nova Gorica	24	Velenje	24
Koper	9		

Tabela 3: Dnevne vrednosti PM_{10} na dan prvega maja po odštetju ocenjene količine sahar-skega prahu.

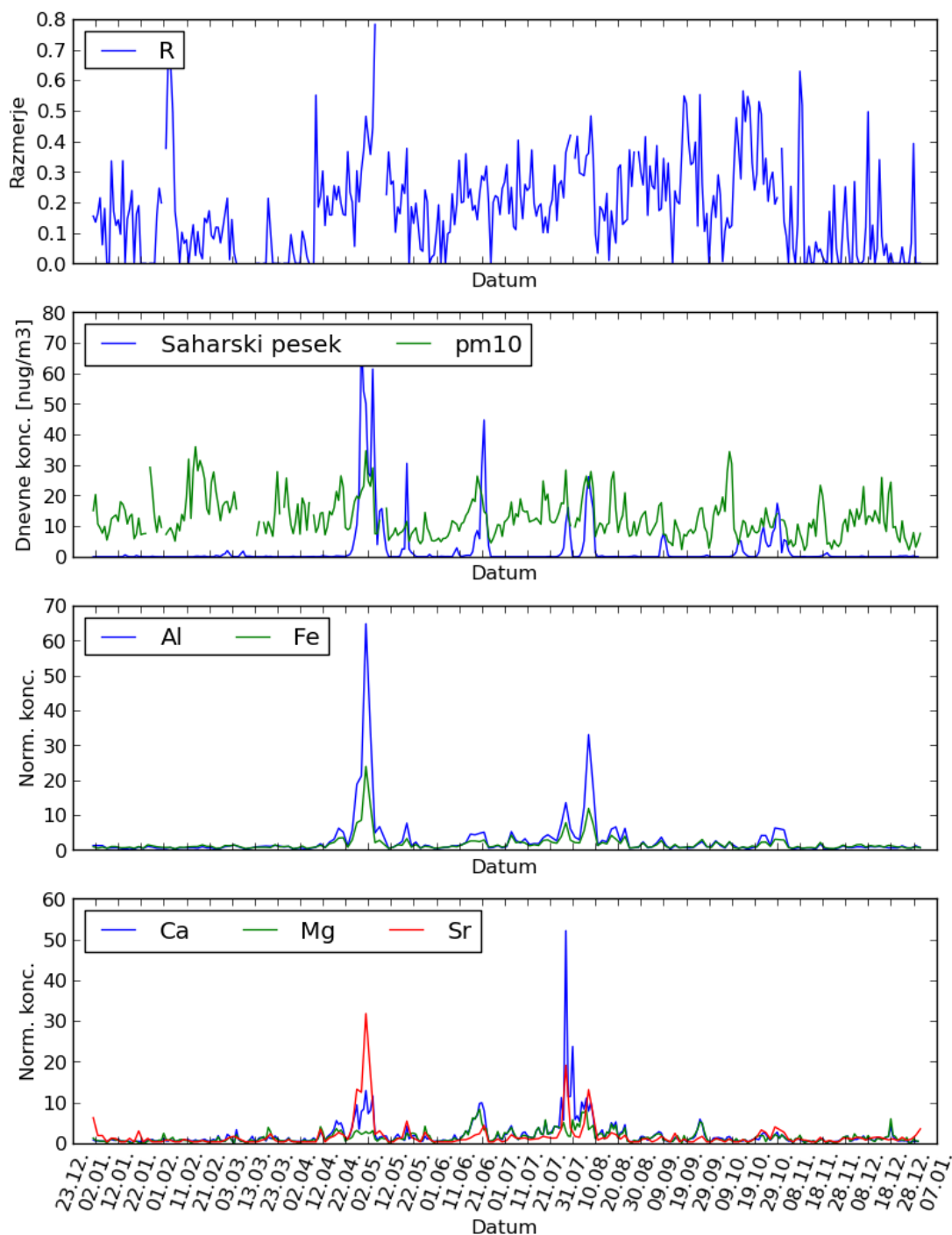
povišanimi vrednostmi. Zato bomo v našem primeru odšteli tudi tako izračunano vredno-sti sahar-skega prahu. Tabela ?? predstavlja vrednosti PM_{10} po odšteti ocenjeni vrednosti sahar-skega prahu.

Pred upoštevanjem deleža sahar-skega prahu sta bili vrednosti PM_{10} na postajah Lju-bljana Bežigrad in Celje višji od dnevne mejne vrednosti. Po odštetju ocenjene vrednosti deleža sahar-skega prahu, dobimo v vseh krajih nizke vrednosti. Tudi na postajah Ljubljana Bežigrad in Celje vrednosti padeta pod mejno vrednost, zato ti dve preseganji ne štejemo med letna preseganja mejne vrednosti.

4 Ovrednotenje rezultata s kemično analizo

Oceno epizod sahar-skega prahu smo verificirali s kemično analizo vzorcev. Tako kot predlaga direktiva [1] smo pregledali vrednosti aluminija, železa, kalcija in magnezija. Pregledali smo tudi vrednost stroncija. Silicija nismo določili, ker je se vrednosti silicija v kvarčnih filtrih ne da določiti. Vrednosti kalija nam v primeru Slovenije tudi ne povedo veliko, saj so te vrednosti povišane tudi pri izgorevanju lesa, to je pa v Sloveniji zelo prisotno; kot sredstvo za ogrevanje domov pozimi in poleti kot zunanje kurjenje lesa.

Zaradi različnih koncentracij različnih elementov smo graf narisali tako, da smo za vsak element dnevne vrednosti delili z mediano dnevnih vrednosti. Na tak način smo dobili časovni potek normiranih letnih vrednost za vse elemente. Ob pregledu grafov vidimo, da je bila vrednost aluminija in železa močno povišana v dnevih epizod sahar-skega prahu (tabela 1). To je pričakovano, saj sahar-ski prah vsebuje veliko teh kovin. Aluminij in železo sta najbolj značilni vsebini sahar-skega prahu [11]. Tudi vrednosti kalcija, magnezija in stroncija so v dnevih sahar-skih epizod narasle, ne pa tako očitno kot vrednosti aluminija in železa. Ob pregledu spodnjega grafa na sliki 4 lahko vrhove v vrednostih kalcija opazimo tudi v drugih dnevih, ne samo v dnevih epizod sahar-skega prahu. To je pričakovano, saj je kalcijev karbonat prisoten v veliko kamninah na območju Slovenije, tudi v podlagi postaje v Iskrbi. Stroncij je značilen za sahar-ski prah [11]. Na podlagi njegovih koncentracij lahko določimo



Slika 4: Časovni potek letnih vrednosti. Na zgornjem grafu so vrednosti PM_{10} v Iskrbi, vrednosti saharskega prahu po napovednem model [7] in R (po enačbi 1). Srednji graf predstavlja normirane dnevne vrednosti aluminija, železa in stroncija. Spodnja slika predstavlja normirane dnevne vrednosti kalcija in magnezija.

iz katerega dela Sahare izvira prah.

5 Zaključek

V letu 2013 smo s pomočjo modela BSC-DREAM8b določili 6 epizod saharkega prahu. Epizode smo potrdili s pomočjo drugih napovednih modelov za saharški prah in trajektorij v točko. Vse epizode, so vidne tudi v grafih, ki prikazujejo časovni potek vrednosti različnih kemičnih elementov (graf 4). Le med 6. epizodo saharkega peska so bile vrednosti PM_{10} na postaji Iskrba blizu letnega povprečja, v drugih označenih epizodah so bile vsaj kakšen dan bistveno višje.

Med označenimi dnevi prisotnosti saharkega prahu je le en dan, ko je prišlo do preseganja dnevne mejne vrednosti. To se je zgodilo prvega maja. Za ta dan smo s pomočjo izmerjene vrednosti PM_{10} na postaji Iskrba, določili pribitek PM_{10} zaradi saharkega prahu. Ugotovili smo, da z odštetjem ocenjene vrednosti saharkega prahu nobena ozmerjana vrednost ne preseže več dnevne mejne vrednosti, zato lahko dve preseganji (Ljubljana Bežigrad in Celje) v skladu z direktivo EU [1] odštujemo od vsote letnih preseganj.

Literatura

- [1] E. COMMISSION, "Directive 2008/50/ec of the european parliament and of the council of 21 may 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe,"
- [2] H. A. T. DIRECTIVE, "Council directive 1999/30/EC of 22 april 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air," *Official Journal L*, vol. 163, no. 29/06, pp. 0041–0060, 1999.
- [3] E. COMMISSION, "Commission staff working paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe,"
- [4] E. Athanasopoulou, M. Tombrou, S. Pandis, and A. Russell, "The role of sea-salt emissions and heterogeneous chemistry in the air quality of polluted coastal areas.," *Atmospheric Chemistry & Physics*, vol. 8, no. 19, 2008.
- [5] G. Varga, J. Kovács, and G. Újvári, "Analysis of saharan dust intrusions into the carpathian basin (central europe) over the period of 1979–2011," *Global and Planetary Change*, vol. 100, pp. 333–342, 2013.
- [6] A. Pederzoli, M. Mircea, S. Finardi, A. Di Sarra, and G. Zanini, "Quantification of Saharan dust contribution to pm10 concentrations over Italy during 2003–2005," *Atmospheric Environment*, vol. 44, no. 34, pp. 4181–4190, 2010.
- [7] "Barcelona supercomputing center." <http://www.bsc.es/earth-sciences/mineral-dust/catalogo-datos-dust>. Accessed: 2014-05-19.

- [8] C. Pérez, S. Nickovic, G. Pejanovic, J. M. Baldasano, and E. Özsoy, “Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, vol. 111, no. D16, 2006.
- [9] S. Basart, C. Pérez, S. Nickovic, E. Cuevas, and J. M. Baldasano, “Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East,” *Tellus B*, vol. 64, 2012.
- [10] P. Alpert, S. Krichak, M. Tsidulko, H. Shafir, and J. Joseph, “A dust prediction system with TOMS initialization.,” *Monthly weather review*, vol. 130, no. 9, 2002.
- [11] P. Formenti, W. Elbert, W. Maenhaut, J. Haywood, and M. Andreae, “Chemical composition of mineral dust aerosol during the Saharan dust experiment (SHADE) airborne campaign in the Cape Verde region, September 2000,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, vol. 108, no. D18, 2003.