

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**PRIMERJAVA KVALITETE RAZLIČNIH VREMENSKIH
PODATKOV IN MODELOV ZA OCENO DOZ PREBIVALSTVA
OB REDNIH IZPUSTIH IZ NUKLEARNE ELEKTRARNE
KRŠKO**

ANA MARY HLEBEC

VELENJE, 2019

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**PRIMERJAVA KVALITETE RAZLIČNIH VREMENSKIH
PODATKOV IN MODELOV ZA OCENO DOZ PREBIVALSTVA
OB REDNIH IZPUSTIH IZ NUKLEARNE ELEKTRARNE
KRŠKO**

ANA MARY HLEBEC
Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. Kristijan Breznik

Somentorica: dr. Marija Zlata Božnar

VELENJE, 2019

Številka: 727-1/2019-2
Datum: 15. 1. 2019

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Ana Mary Hlebec** lahko izdela magistrsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Primerjava kvalitete različnih vremenskih podatkov in modelov za oceno doz prebivalstva ob rednih izpustih iz Nuklearne elektrarne Krško

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku:

Comparison of the quality of different weather data and models for estimation of the doses of population due to regular discharges from Krško Nuclear Power Plant Krško

Mentor: **dr. Kristijan Breznik**

Somentorica: **dr. Marija Zlata Božnar**

Magistrsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si
www.vsvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana ANA MARY HLEBEC, vpisna številka 34170030, študentka podiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica magistrskega dela z naslovom

Primerjava kvalitete različnih vremenskih podatkov in modelov za oceno doz prebivalstva ob rednih izpustih iz Nuklearne elektrarne Krško,

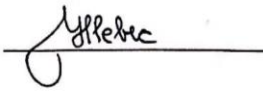
ki sem ga izdelala pod:

- mentorstvom izr. prof. dr. Kristijana Breznika
- somentorstvom dr. Marije Zlate Božnar

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a Lucija Mlakar;
- **NE dovoljujem** objavo magistrskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: 09. 09. 2019

Podpis avtorice: 

ZAHVALA

Posebna zahvala gre mentorju dr. Kristijanu Brezniku za strokovno pomoč in za vse napotke pri pisanju naloge. Iskreno se zahvaljujem tudi somentorici dr. Mariji Zlati Božnar za vso njeno pomoč, strokovne nasvete in usmerjanje pri izdelavi magistrske naloge.

Zahvaljujem se tudi vsej ekipi iz podjetja MEIS d. o. o. za njihovo pomoč, strokovne nasvete in ideje ter za prijetno vzdušje pri razpravah in sestankih. Prav tako se zahvaljujem Nuklearni elektrarni Krško za dostop do vseh podatkov ter podjetju ZVD d. o. o., ki mi je finančno priskočil na pomoč.

Zahvaljujem se tudi lektorici Luciji Mlakar, ki je lektorirala mojo magistrsko nalogo.

Posebna zahvala gre mojemu partnerju, ki me je spodbujal skozi celotno študijsko pot ter verjel v moj uspeh.

KAZALO VSEBINE

KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO ENAČB	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
POVZETEK.....	XI
ABSTRACT.....	XII
SEZNAM UPORABLJENIH OKRAJŠAV IN SIMBOLI	XIII
1 UVOD.....	1
1.1 Opis.....	2
1.2 Namen magistrskega dela.....	2
2 PREGLED STANJA OBRAVNAVANE PROBLEMATIKE	3
2.1 Primerjava z navideznim etalonom.....	3
3 SREDSTVA.....	24
3.1 Opis modela	24
3.2 Opis EIS baze	26
3.3 Opis programa MUNGO	30
3.4 Opis vhodnih podatkov za analizo	34
4 METODOLOGIJA DELA.....	36
4.1 ISO 9001 in povezava z vhodnimi podatki za model.....	36
4.2 Uporabljene statistične metode	36
5 MERITVE IN IZRAČUNI	38
6 REZULTATI IN RAZPRAVA O REZULTATIH.....	41
6.1 Rezultati za lokacijo Leskovec pri Krškem	41
6.2 Prikaz rezultatov med diagnozo in prognozo (P1) s QQP za vse obravnavane lokacije.....	44
6.3 Prikaz rezultatov glede na oddaljenost od NEK	48
6.4 Razprava.....	53
7 SKLEP	55
8 SUMMARY	56
9 LITERATURA IN VIRI.....	57

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam parametrov, izmerjenih na avtomatskih okoljskih postajah (x označuje, da se parameter meri na določeni postaji) (Vir: Grašič in sod., 2011).....	13
Preglednica 2: Seznam emisijskih parametrov za vseh šest dimnikov TEŠ, ki so delovali med raziskovalno kampanjo leta 1991; zgornja preglednica prikazuje statične parametre, spodnja preglednica pa dinamične parametre (Vir: Grašič in sod., 2011)	14
Preglednica 3: Primerjava statističnih cenilk z uporabo tradicionalne metodologije za celotno trajanje eksperimentalne merilne kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991 (Vir: Grašič in sod., 2011)	19
Preglednica 4: Primerjava statističnih cenilk z uporabo izboljšane validacijske metodologije za celotno trajanje eksperimentalne merilne kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991, kjer je velikost soseske sestavljena iz 27 celic ($\Delta H = 1$ in $\Delta T = 1$) (Vir: Grašič in sod., 2011)	22
Preglednica 5: Primerjava statističnih cenilk z uporabo izboljšane validacijske metodologije za celotno trajanje eksperimentalne merilne kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991, kjer je velikost soseske sestavljena iz 125 celic ($\Delta H = 2$ in $\Delta T = 2$) (Vir: Grašič in sod., 2011)	22
Preglednica 6: Razvrstitev lokacij po oddaljenosti od NEK.....	39
Preglednica 7: Prikaz delnih podatkov diagnoze (DIAG LES) in prognoze (P1 LES) za lokacijo Leskovec pri Krškem	40
Preglednica 8: Statistične cenilke za lokacijo Leskovec pri Krškem	42
Preglednica 9: Centili diagnoze za lokacijo Leskovec pri Krškem.....	43
Preglednica 10: Centili prognoze za lokacijo Leskovec pri Krškem	43

KAZALO ENAČB

Enačba 1: Niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje (Vir: Grašič in sod., 2011).....	9
Enačba 2: Niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje glede na položaj (Vir: Grašič in sod., 2011)	9
Enačba 3: Niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje glede na čas (Vir: Grašič in sod., 2011)	9
Enačba 4: Funkcija najboljšega ujemanja (Vir: Grašič in sod., 2011)	11
Enačba 5: Pearsonov korelacijski koeficient (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo).....	36
Enačba 6: Koren srednje kvadratne napake oz. standardni odklon napake napovedi (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)	37
Enačba 7: Povprečni odklon napovedi (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)	37
Enačba 8: FAKTOR2 (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)	37

KAZALO SLIK

Slika 1: Zemljevid lokacij v okolici TEŠ (Vir: MEIS d. o. o.), prikaz na Google zemljevidu	4
Slika 2: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO ₂ – levo Graška Gora, desno Šoštanj (Vir: MEIS d. o. o.)	4
Slika 3: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO ₂ – levo Topolščica, desno Velenje (Vir: MEIS d. o. o.)	5
Slika 4: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO ₂ – levo Veliki Vrh, desno Zavodnje (Vir: MEIS d.o.o.)	5
Slika 5: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO ₂ – levo Graška Gora desno Šoštanj (QQP) (Vir: MEIS d. o. o.)	6
Slika 6: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO ₂ – levo Topolščica desno Velenje (QQP) (Vir: MEIS d. o. o.)	6
Slika 7: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO ₂ – levo Veliki Vrh desno Zavodnje (QQP) (Vir: MEIS d. o. o.)	6
Slika 8: Razdelitev domene v 3D mreži celic je prikazana na levi strani, kjer je talna plast obarvana zeleno; na desni strani je prikazana le talna plast celic, kjer so postaje označene z rdečo barvo (Vir: Grašič in sod., 2011)	8
Slika 9: Primer sosednjih celic v položaju ($\Delta H = 1$), kjer je niz koncentracij v soseščini NC sestavljen iz 9 celic (rdeča barva je celica postaje, vijolične barve so celice obravnavane lokacije s soseščino; prikazan je talni sloj ob času t) (Vir: Grašič in sod., 2011)	10
Slika 10: Primer sosednjih celic v času ($\Delta T = 1$), kjer je niz koncentracij v soseščini NC sestavljen iz 3 celic (rdeča barva je celica postaje; prikazan je talni sloj ob časih t , $t-1$ in $t+1$) (Vir: Grašič in sod., 2011)	10
Slika 11: Primer sosednjih celic v položaju in času ($\Delta H = 1$ in $\Delta T = 1$), kjer je niz koncentracij v soseščini NC sestavljen iz 27 celic (rdeča barva je celica postaje, vijolične barve so celice obravnavane lokacije s soseščino; prikazan je talni sloj ob časih t , $t-1$ in $t+1$) (Vir: Grašič in sod., 2011)	10
Slika 12: Zemljevid Šaleške doline z lokacijami avtomatskih okoljskih postaj in lokacijo Termoelektrarne Šoštanj v sredini (leva slika) in topografijo regije (desna slika) (Vir: Grašič in sod., 2011)	12
Slika 13: Lokacija Saleške regije v severovzhodnem delu Slovenije (Vir: Grašič in sod., 2011)	12
Slika 14: Slike nekaterih naprav, ki so se uporabljale v kampanji spomladi 1991: avtomatska okoljska merilna postaja (levo), mobilna SODAR (desno - zgornja) in DIAL (desno - nižja) (Vir: Grašič in sod., 2011)	13
Slika 15: Termoelektrarna Šoštanj (Vir: Grašič in sod., 2011)	14
Slika 16: Rekonstrukcija onesnaženega oblaka, ki se premika v vse smeri (Vir: Grašič in sod., 2011)	16
Slika 17: Meritve SODAR pri izbranem stanju onesnaženja zraka od 1. aprila 1991 ob 20.00 uri do 2. aprila 1991 ob 20.00 uri, ko je prišlo do spremembe smeri onesnaženja zraka; smer puščic prikazuje vodoravno smer vetra na določeni višini; dolžina in barva puščice predstavljata vodoravno hitrost vetra na določeni višini (Vir: Grašič in sod., 2011)	17
Slika 18: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO ₂ na postaji Graška Gora (Vir: Grašič in sod., 2011)	18
Slika 19: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO ₂ na postaji Šoštanj (Vir: Grašič in sod., 2011)	18
Slika 20: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO ₂ na postaji Veliki Vrh (Vir: Grašič in sod., 2011)	18
Slika 21: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO ₂ na postaji Zavodnje (Vir: Grašič in sod., 2011)	19

Slika 22: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO ₂ v okolju na postaji Graška Gora z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)	20
Slika 23: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO ₂ v okolju na postaji Šoštanj z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)	20
Slika 24: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO ₂ v okolju na postaji Veliki Vrh z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)	21
Slika 25: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO ₂ v okolju na postaji Zavodnje z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)	21
Slika 26: Sledljivost kvalitete modela do navideznega etalona; P1 pomeni modelski izračun z uporabo numerične vremenske napovedi za 1 dan vnaprej, P2 za 2 dni vnaprej, P4 za 4 dni vnaprej in P7 za 7 dni vnaprej	22
Slika 27: Shema Lagrangeovega modela delcev razširjanja onesnaženja v ozračju SPRAY (Vir: Božnar in sod., 2015)	25
Slika 28: Skica Lagrangeovega modela delcev (Vir: MEIS d. o. o.)	25
Slika 29: Okoljski ekspertni sistem (EIS) NEK; posamezne komponente so prikazane slikovno ali shematsko, s puščicami pa so nakazane zgolj najbolj bistvene povezave in pretoki podatkov (Vir: Božnar in sod., 2018)	27
Slika 30: Multifunkcijski monitor radioaktivnega gama sevanja (MFM) v NEK	28
Slika 31: Meteorološka postaja NEK – Stolp (levo), BDKG merilnik na postaji NEK – Stolp (desno)	29
Slika 32: Del merilne postaje NEK – Stolp; levo na sliki je merilnik za hitrost vetra, desno merilnik za merjenje vlage in temperature zraka	29
Slika 33: Osnovna slika programa MUNGO	30
Slika 34: 3D razširjanje onesnaženja v domeni (slika zgoraj), 2D relativne koncentracije χ/Q risane z relativno skalo (spodaj levo) ali z uporabniško določeno skalo in naslovom	31
Slika 35: Roža vetrov: levo grafični prikaz, desno numerični prikaz podatkov	32
Slika 36: RASS profil	33
Slika 37: Zemljevid lokacij (Vir: MEIS d. o. o.), prikaz na Google zemljevidu	38
Slika 38: Časovni graf med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Leskovec pri Krškem (LES)	41
Slika 39: Primerjava diagnoze in prognoze (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov z grafom za lokacijo Leskovec pri Krškem (LES)	42
Slika 40: Primerjava diagnoze in prognoze (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov s QQP za lokacijo Leskovec pri Krškem (LES)	43
Slika 41: Prikaz razsevnih diagramov med diagnozo in prognozami relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 2, 4 in 7 dni vnaprej	44
Slika 42: QQP prikazi med diagnozo in prognozami relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 2, 4 in 7 dni vnaprej	44
Slika 43: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo NEK zahod (levo) in NEK vzhod (desno)	45
Slika 44: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Vrbina (levo) in Spodnji Stari Grad (desno)	45
Slika 45: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Krško – Stara vas (levo) in Žadovinek (desno)	46
Slika 46: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Brege (levo) in Mrtvice (desno)	46
Slika 47: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Leskovec pri Krškem (levo) in Pesje (desno)	47

Slika 48: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Vihre (levo) in Brežice (desno).....	47
Slika 49: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Dobova	48
Slika 50: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 500 metrov	49
Slika 51: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 1500 metrov	50
Slika 52: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 3000 metrov	51
Slika 53: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 10000 metrov	52

POVZETEK

V magistrskem delu je predstavljena primerjava kvalitete različnih vremenskih podatkov in modelov za oceno doz prebivalstva ob rednih izpustih iz Nuklearne elektrarne Krško. Osredotočila sem se na model širjenja onesnaženja v ozračju (disperzijski model) SPRAY, ki je Lagrangeov model delcev. Model uporablja diagnostične (merjene) in prognostične (vnaprej napovedane) vhodne meteorološke podatke. Omenjeni model se uporablja v Nuklearni elektrarni Krško kot orodje za izračun relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov. Z relativnimi koncentracijami nato ocenjujejo doze prebivalcev v okolici Nuklearne elektrarne Krško, katere nastanejo zaradi rednih ali morebitnih neizrednih izpustov iz te elektrarne.

KLJUČNE BESEDE: Lagrangeov model delcev, Nuklearna elektrarna Krško, diagnoza, prognoza

ABSTRACT

In this master thesis is presented comparison of the quality of different weather data and models for estimation of the doses of population due to regular release from Nuclear Power Plant Krško. I focused on the atmospheric pollution spread model (dispersion model) SPRAY, which is the Lagrange particle model. The model uses diagnostic (measured) and prognostic (predicted) input meteorological data. The mentioned model is used at the Krško Nuclear Power Plant as a tool for the calculation of relative concentrations. The relative concentrations are then used to estimate the doses of the inhabitants in the vicinity of the Krško Nuclear Power Plant, which occur as a result of regular or potential accidental releases from this plant.

Key words: Lagrange Partical Model, Nuclear Power Plant Krško, diagnosis, prognosis

SEZNAM UPORABLJENIH OKRAJŠAV IN SIMBOLI

NEK	Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
TEŠ	Termoelektrarna Šoštanj, d. o. o.
MEIS	MEIS storitve za okolje d. o. o.
IJS	Institut Jožef Stefan
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
PLANT VENT	glavna ventilacija iz NEK zadrževalnega hrama
EIS	Ekološki informacijski sistem
MFM	Multifunkcijski monitor radioaktivnega gama sevanja
BDKG	Gamma radiation detection unit oz. merilnik radioaktivnega gama sevanja podjetja ATOMTEX
SAPHYMO	merilnik podjetja Bertin Technologies SAS
AMP	avtomatska merilna postaja
GFS	Global Forecast System
WRF	The Weather Research and Forecasting
SF6	žveplov heksafluorid
SO ₂	žveplov dioksid
χ/Q	relativna koncentracija oziroma razredčitveni koeficient
P1	prognoza relativnih koncentracij za tekoči dan ali več vnaprej
P2	prognoza relativnih koncentracij za dva dni ali več vnaprej
P4	prognoza relativnih koncentracij za štiri dni ali več vnaprej
P7	prognoza relativnih koncentracij za sedem dni ali več vnaprej
SCATTER plot	razsevni diagram
QQP	Kvantilni - Kvantilni prikaz oz. Quantile - Quantile plot
SODAR	Sonic Detection And Ranging
DIAL	Diferential Absorbtion Lidar
LIDAR	3D laser scanning

1 UVOD

V Nuklearni elektrarni Krško (v nadaljevanju NEK) pri proizvodnji električne energije nastajajo skupaj s tekočinskimi tudi zračni izpusti. NEK nadzor zračnih izpustov vrši s pomočjo spektrometrске analize aerosolnih filtrov za vzorčenje zraka na glavnem oddušniku NEK tik pred izpustom v okolje (emisijske meritve) ter aerosolnih in ogljenih filtrov za prečrpavanje zraka v okolju ter z meritvami gama sevanja v okolju (imisijske meritve). Izmerjene aktivnosti radionuklidov na izpustih iz NEK so vhodni podatki za modelne izračune s katerimi se napoveduje krajevna porazdelitev in aktivnost radionuklidov v okolju. Pri oceni doz se uporabljajo sodobni modeli, ki najbolje upoštevajo sprotne izmerjene meteorološke parametre, dejanski relief in druge značilnosti v okolici obravnavanega objekta. Dodatno pa neodvisni laboratoriji vzorčijo na izbranih krajevnih lokacijah okoljske vzorce in tako preverjajo vpliv elektrarne na okolje in ljudi (Meritve radioaktivnosti ..., 2017).

V kolikor želimo izvedeti kako se onesnaževala širijo v ozračju na nekem območju, je potrebno narediti »tracer experiment« oz. slovensko sledilni eksperiment. To pomeni, da se določeni neionizirajoči polutanti kontrolirano spuščajo v ozračje. Za sledilo se najpogosteje uporablja plin žveplov heksafluorid (SF₆), katerega v naravi ne najdemo, je inerten (nereaktiven) in lahko izmerljiv. S pomočjo določenih merilnih naprav nameščenih po različnih mestih, se vzorči zrak, ki se ga nato analizira. Takšne raziskave so zelo kvalitetne in natančne, vendar so tudi zelo drage in za naše raziskovalne skupine zaenkrat nedosegljive. Zato se v primeru NEK-a uporablja model, ki je bil preizkušen na šoštanjski termoelektrarni.

Skupina slovenskih raziskovalcev zaposlenih na Inštitutu Jožef Stefan (v nadaljevanju IJS) je v sodelovanju z dvema italijanskima podjetjema leta 1991 izvedla raziskavo, ki je obsegala meteorološke, emisijske in imisijske meritve žveplovega dioksida (SO₂) na primeru Termoelektrarne Šoštanj (v nadaljevanju TEŠ) (Božnar in sod., 2014). Cilj merilne kampanje je bil pridobiti niz podatkov o onesnaženosti zraka na kompleksnem terenu (razgiban relief, šibki vetrovi, pogoste temperaturne inverzije) za namene testiranja in validacije disperzijskih modelov. V tistem času je v neposredni bližini termoelektrarne že obratoval sodoben avtomatiziran merilni sistem za merjenje meteoroloških parametrov in koncentracij SO₂ tako, da so bile meritve emisij in koncentracij v okolju v ozračju izvedene avtomatsko. Ključ do načrtovanja tega eksperimenta je bilo dejstvo, da TEŠ v tem času še ni bila opremljena z napravo za razžvepljevanje, in da je v tem času v ozračje spuščala ogromno količino SO₂, ki je bil zato »dobro« merljiv v okolju (Božnar in sod., 2014).

Koncept kontroliranega poskusa je podal verodostojno sliko o tem kako dober je disperzijski model. Preizkušali so model SPRAY (Tinarelli idr., 2000). Ta model nam pove na katere strani oz. območja se širijo emitirane snovi (plini, aerosoli in delci) in kakšne so te koncentracije. Omenjeni model tako uporabljajo v NEK kot orodje za izračun razredčitvenih koeficientov (χ/Q , enota s/m³). Razredčitveni koeficient (z drugim poimenovanjem »relativna koncentracija«) nam pove, kolikšna je koncentracija emitirane snovi v točno določeni točki okolja, če je emisija konstantna enotska (enaka 1) in je tako normirano merilo za redčenje v ozračju (Meritve radioaktivnosti ..., 2008). S pomočjo teh relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov pa nato ocenjujejo doze prebivalcev v okolici NEK.

1.1 Opis

Magistrsko delo je organizirano po naslednjih poglavjih: v uvodu je predstavljen predmet mojega raziskovanja, sledi opis ter namen magistrskega dela, nato pa so opisani vsi podatki, ki zajemajo moje rezultate. V magistrski nalogi se bom predvsem osredotočila na modele, ki jih uporabljajo za izračun koncentracije radionuklidov, izpuščenih iz NEK, v njeni okolici. Obravnavan je Lagrangeov model delcev SPRAY z diagnostičnimi (merjenimi) in prognozičnimi (vnaprej napovedanimi) vhodnimi meteorološkimi podatki.

1.2 Namen magistrskega dela

Namen magistrske naloge je bil primerjati kakovost različnih vremenskih merjenih podatkov in modelov za oceno doz prebivalstva ob rednih izpustih iz NEK.

DEFINICIJE:

»Diagnoza« pomeni izračun koncentracije onesnaževala v okolju na izbrani lokaciji (ali lokacijah ali geografskem področju) z uporabo merjenih meteoroloških podatkov in modela širjenja onesnaženja v ozračju.

»Prognoza« pomeni izračun koncentracije onesnaževala v okolju na izbrani lokaciji (ali lokacijah ali geografskem področju) z uporabo numerične vremenske napovedi namesto meritev in modela širjenja onesnaženja v ozračju.

Osnovna predpostavka:

Pri nuklearnem objektu z radionuklidi ne moremo izvajati disperzijskih sledilnih eksperimentov. Zato trdimo, da je Lagrangeov model delcev SPRAY z vhodnimi diagnostičnimi meteorološkimi podatki, poprej uspešno validiran na podobno kompleksnem terenu, najboljši znani približek dejanskega stanja širjenja morebitnega onesnaženja v okolici NEK.

Predvidene hipoteze:

- a) HIPOTEZA 1: Prognoza za en dan vnaprej je enaka diagnozi za tisti dan
- b) RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 1: Ali so klasične statistične metode primerne za vrednotenje diagnoze in prognoze v izbranem kraju in času?
- c) RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 2: Kako sta povezani dolžina prognoze (za 2, 4 in 7 dni vnaprej) in njena kvaliteta?
- d) RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 3: Ali je metoda z obravnavo rezultatov na izbrani konstantni oddaljenosti od vira primerna za vrednotenje kvalitete prognoz?

Hipotezo sem preverila in na raziskovalna vprašanja odgovorila s pomočjo ustreznih statističnih metod za posamične izbrane lokacije v naseljih (krajevno v točkah, časovno za leto 2018 v korakih po pol ure).

2 PREGLED STANJA OBRAVNAVANE PROBLEMATIKE

2.1 Primerjava z navideznim etalonom

V uvodu so že bili omenjeni izrazi »tracer experiment« (sledilni eksperiment), relativna koncentracija oz. razredčitveni koeficienti, omenjena je bila Termoelektrarna Šoštanj, a pojem navidezni etalon se še ni pojavil. Etalon je natančna, opredmetena mera, ki se uporablja za umerjanje drugih merilnih sistemov. V tem primeru so za navidezni etalon uporabili diagnozo koncentracij v okolju izračunano z Lagrangevim modelom delcev SPRAY. V TEŠ raziskavi so na podlagi zelo kakovostnih meritev koncentracij dokazali, da je model SPRAY zaenkrat najboljši in se zato z dovoljenjem uporablja tudi v NEK.

TEŠ je locirana v zelo kompleksnem območju, na severu in severozahodu jo zapirajo Karavanke, drugod je obdana z okoliškimi hribi. Lahko rečemo, da je TEŠ locirana v povsem zaprti kotlini. Poleg kompleksnega terena je to območje s šibkimi in zelo variirajočimi vetrovi. Močnejši vetrovi so značilni na vrhu hribovja, za samo kotlino kjer se nahaja TEŠ, pa ti vetrovi niso pogosti. Ti podatki so bili za raziskovalno skupino zelo pomembni.

Strokovnjaki so na TEŠ poleg že obstoječih merilnih sistemov, uporabili še posebne merilnike (v uvodu omenjeni raziskavi), s katerimi so še dodatno podkrepili analize. Italijanska raziskovalna skupina je izvajala meritve s pomočjo mobilne postaje za talne meteorološke meritve in meritve atmosferskih koncentracij plinov, vključno z SO₂. Poleg mobilne postaje je bil najpomembnejši dodatni merilni instrument, ki ga je prav tako prispevala italijanska skupina, zelo zmogljiv SODAR. SODAR je instrument, ki je meril vertikalni profil vetra do višine 1 km nad tlemi pod optimalnimi pogoji z uporabo mehanskega sistema za krmiljenje zvočnega signala / valovanja (Mlakar in sod., 2015).

Merilne postaje za merjenje emisij, ki so bile nameščene direktno v dimnikih TEŠ, so v realnem času merile koncentracijo SO₂, temperaturo in pretok dimnih plinov. Te podatke je računalniška centralna enota v TEŠ zbrala v ekološkem informacijskem sistemu (EIS) in podatke za operaterje elektrarne prikazala numerično ter tudi grafično. Podatke o meritvah, ki jih je zagotovila italijanska dodatna oprema, je zbrala računalniška enota za zbiranje podatkov. Na podlagi zelo dobrih meritev so lahko preverjali izračune okoljskih koncentracij SO₂ izdelanih s pomočjo Lagrangevega modela delcev SPRAY (Grašič in sod., 2011).

V naslednjih podpoglavjih (2.1.2.1, 2.1.2.2, 2.1.2.3, 2.1.2.5 in 2.1.2.5) bom podrobneje opisala študije, ki so bile že izvedene na primeru Šoštanj. Izvedene so bile primerjave med meritvijo koncentracij SO₂ v okolju in modelirano diagnozo. Izvedene so bile z uporabo tradicionalnih in izboljšanih validacijskih metod.

2.1.1 Primerjava med meritvijo koncentracij v okolju in modelirano diagnozo na TEŠ

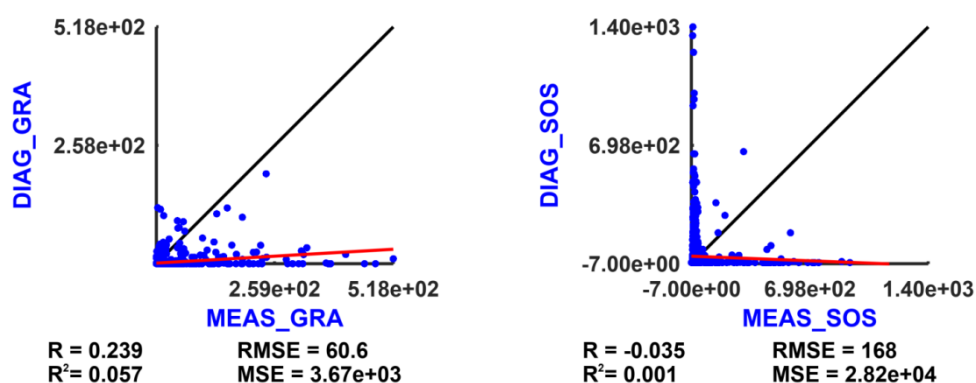
Z radioaktivnostjo se ne smejo poigravati, zato takšnih meritev ne morejo izvesti na območju NEK. Natančna validacija modela bi bila meritev nekega onesnaženja v ozračju, v našem primeru bi to bila meritev gama hitrosti doze proti izračunani gama hitrosti doze, vendar teh podatkov nimajo, zato so uporabili nadomestne meritve na TEŠ. Meritve gama hitrosti doze so merilo učinka obsevanosti človeškega telesa. Primerjavo med meritvijo in diagnozo koncentracij SO₂ v okolju na TEŠ je izvedlo podjetje MEIS d.o.o. (v nadaljevanju MEIS). Izmerjeni podatki so na voljo za naslednje lokacije (Slika 1): Graška Gora (GRA), Šoštanj (SOS), Topolšica (TOP), Velenje (VEL), Veliki Vrh (VRH) in Zavodnje (ZAV).



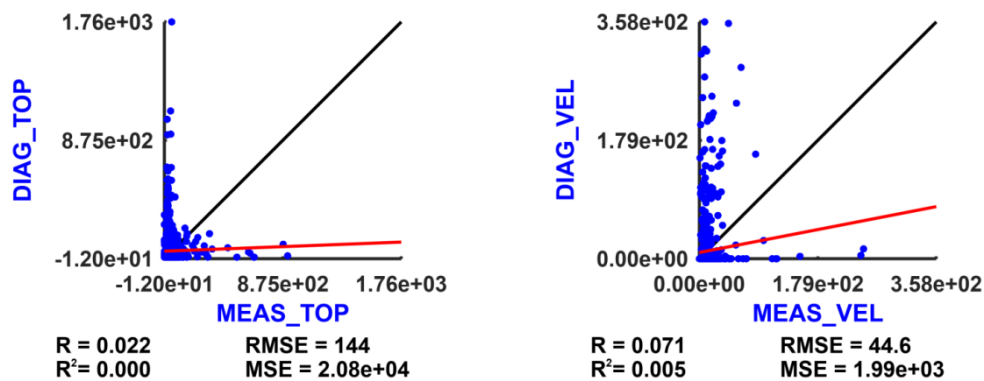
Slika 1: Zemljevid lokacij v okolici TEŠ (Vir: MEIS d. o. o.), prikaz na Google zemljevidu

Rezultati validacije so vidni na spodnjih grafih oz. Scatter plot-ih (v nadaljevanju razsevni diagram) in Quantile-Quantile plot-ih (v nadaljevanju QQP). QQP metoda je standarden način obravnave kvalitete modelov za razširjanje onesnaženja v ozračju (Božnar in sod., 1994). Iz grafov je razvidna velika razpršenost med meritvami in diagnozo koncentracij, a kljub visoko sofisticiranim orodjem, ki jih uporabljajo za modeliranje, še vedno ne morejo modelirati vseh podrobnih procesov na tako kompleksnem terenu. Zaenkrat boljših rezultatov nimajo in spodnji grafi nam jasno prikažejo, da je na tem področju potrebno še veliko dela, da bodo lahko dosegli popolno skladnost med modeli in dejanskimi meritvami na področju modeliranja disperzije na kompleksnem terenu.

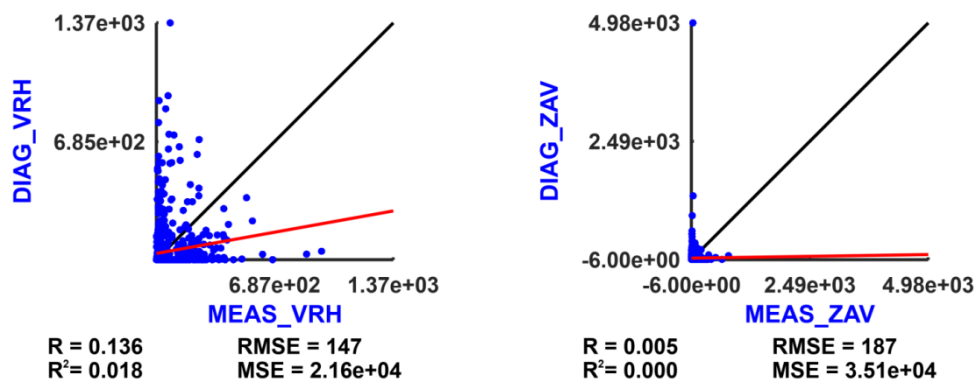
a) Razsevni diagram na omenjenih lokacijah v okolici TEŠ



Slika 2: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ – levo Graška Gora, desno Šoštanj (Vir: MEIS d. o. o.)



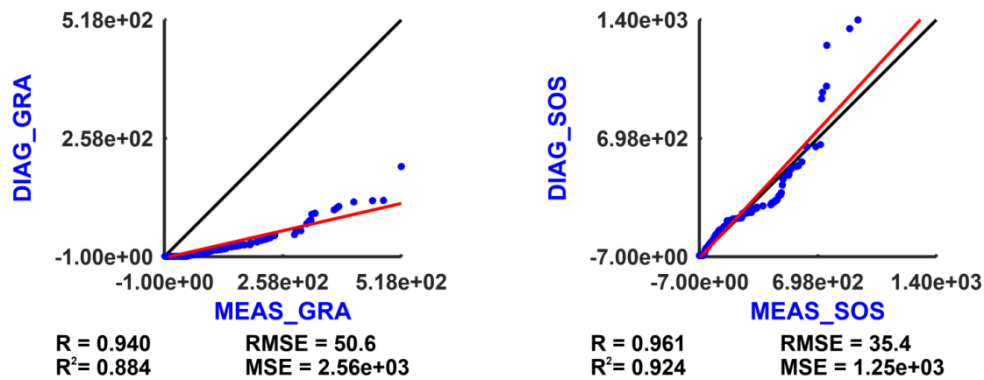
Slika 3: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ – levo Topolščica, desno Velenje (Vir: MEIS d. o. o.)



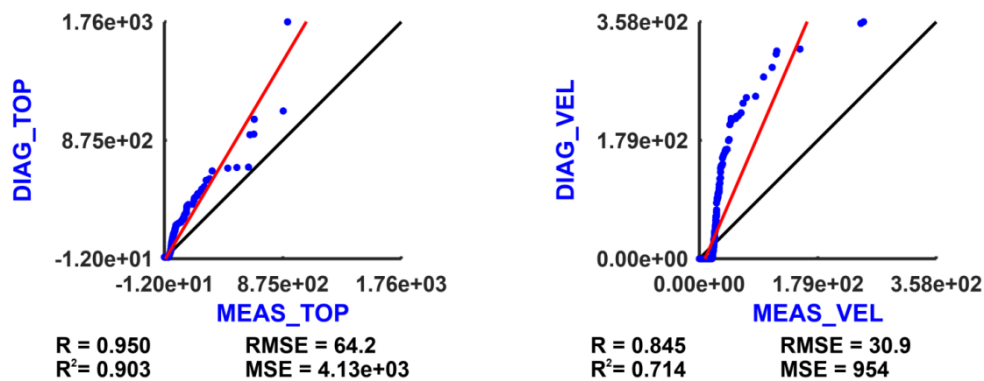
Slika 4: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ – levo Veliki Vrh, desno Zavodnje (Vir: MEIS d.o.o.)

Zgornje slike (Slika 2, Slika 3, Slika 4) prikazujejo primerjavo med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ za različne lokacije v okolici TEŠ. Prikazane modre pike na grafu so vrednosti SO₂. Enota je µg/m³. Rezultati so prikazani za izbrano obdobje med 15. 3. in 5. 4. 1991, v 30 minutnih intervalih. Pod vsakim grafom so predstavljene tudi statistične cenilke. Definicije cenilk so opisane v nadaljevanju, v poglavju 4.2 Uporabljene statistične metode. Iz vseh zgornjih grafov je razvidna velika razpršenost med meritvami in diagnozo koncentracij. Opazimo, da res ni dovolj dobrega ujemanja med meritvami in modelskimi rezultati.

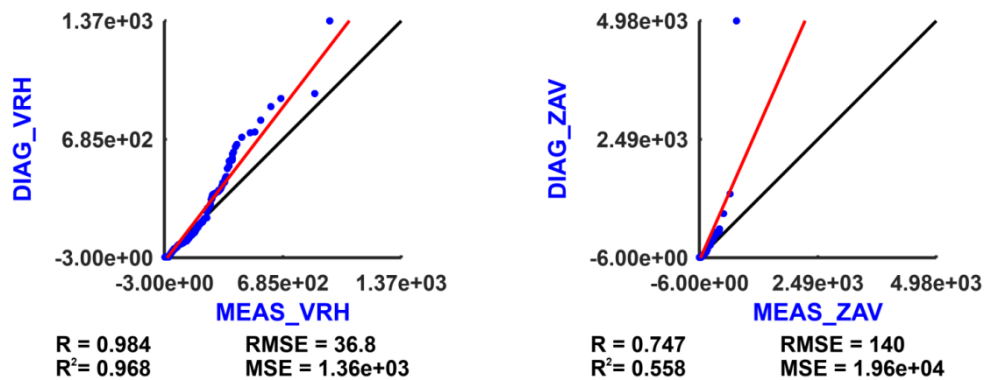
b) QQP na omenjenih lokacijah v okolici TEŠ



Slika 5: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ – levo Graška Gora desno Šoštanj (QQP) (Vir: MEIS d. o. o.)



Slika 6: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ – levo Topolšičica desno Velenje (QQP) (Vir: MEIS d. o. o.)



Slika 7: Primerjava med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ – levo Veliki Vrh desno Zavodnje (QQP) (Vir: MEIS d. o. o.)

Slike (Slika 5, Slika 6, Slika 7) prikazujejo primerjavo med meritvijo in diagnozo okoljskih koncentracij SO₂ za različne lokacije v okolici TEŠ. V tem primeru so predstavljeni QQP. Prikazane modre pike na grafu so vrednosti SO₂. Enota je µg/m³. Rezultati so prikazani za izbrano obdobje med 15. 3. in 5. 4. 1991, v 30 minutnih intervalih. Pod vsakim grafom so predstavljene tudi statistične cenilke. Definicije cenilk so opisane v nadaljevanju, v poglavju 4.2 Uporabljene statistične metode. Iz vseh zgornjih grafov je razvidna velika razpršenost med meritvami in diagnozo koncentracij. Opazimo, da res ni dovolj dobrega ujemanja med meritvami in modelskimi rezultati.

2.1.2 Primerjava med merjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami onesnaženosti zraka v okolju na območju Šaleške doline

V podpoglavju 2.1.2.1 in 2.1.2.2 so opisane študije iz članka Method for Validation of Lagrangian Particle Air Pollution Dispersion Model Based on Experimental Field Data Set from Complex Terrain (Grašič in sod., 2011). Validacija modela disperzije onesnaženosti zraka je zelo pomemben proces, kajti določa zmogljivosti in učinkovitost modela v natančno določenih pogojih. Ti pogoji zajemajo vrsto terenske orografije (raven ali kompleksen teren), velikost domene (lokalna, regionalna, celinska, globalna), število mrežnih celic v domeni, meteorološke pogoje (močni ali šibki vetrovi, itd.) in tipe emisij (dimniki, promet, ogrevanje v gospodinjstvu). Rezultati validacije dajejo dobre smernice kako, kje in kdaj se lahko model uspešno uporabi (Grašič in sod., 2011).

Validacija je še posebej pomembna, kadar se model uporablja za regulativne namene. Evropske smernice za modeliranje onesnaževanja zraka zahtevajo, da se orodje za modeliranje uspešno potrdi v podobnem okolju. Slovenska zakonodaja, ki sledi Direktivi Evropskega sveta z dne 28. junija 1984 o boju proti onesnaževanju zraka iz industrijskih obratov zahteva, da modeliranje izpolnjuje zahteve zahtevnega terena, saj se večina slovenske industrije nahaja na dnu rečnih kanjonov in dolin. Kompleksni teren opredeljuje niz specifičnih atmosferskih razmer: nizke hitrosti vetra, temperaturne inverzije, pretok topografije, prisotnost terenskih ovir ali prekinitev (kopno-morje, urbano-podeželsko okolje), itd. Lagrangev model disperzije delcev je edini model onesnaževanja zraka v tem trenutku, ki uspešno izpolnjuje te zahteve (Grašič in sod., 2011).

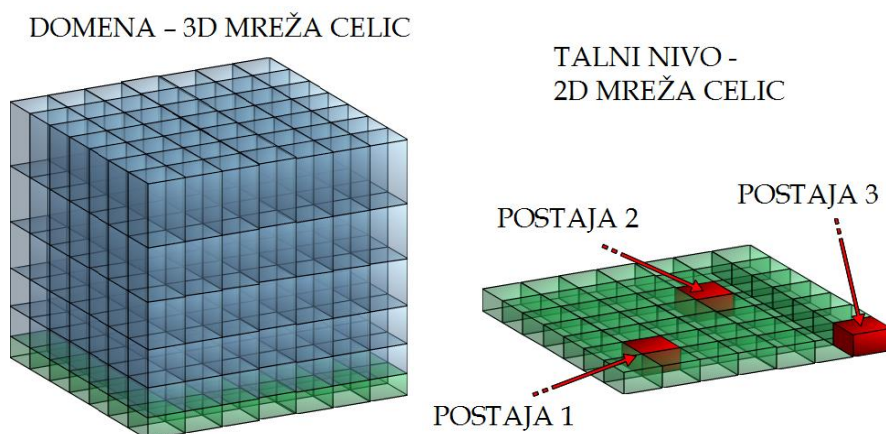
Validacije na zapletenem terenu so še vedno zelo redke, vendar so zelo pomembne za raziskovalno skupnost in vladne organizacije za okolje. Raziskovalna skupnost uporablja rezultate za nadaljnji razvoj in izboljšave tehnik modeliranja, organizacije za okolje pa za vzpostavitev in izvajanje regulativnih politik (Grašič in sod., 2011).

Tako je bila izvedena študija za izboljšanje tradicionalne metodologije validacije modela onesnaževanja zraka. Nadgradnja je bila narejena z namenom ocene netočnosti položaja in časa modela disperzije onesnaženosti zraka Lagrangeovih delcev. Nova metodologija validacije je bila dokazana na področju iz zelo zapletenega terena iz Šaleške regije. Za validacijo Lagrangeov disperzijskega modela za onesnaževanje zraka so izbrali model SPRAY proizvajalca ARIANET iz Italije. Izbran je bil za validacijo zato, ker sledi slovenski zakonodaji o modeliranju onesnaženosti zraka na kompleksnih terenih. Validacija je potekala na zelo zapletenem terenu, kjer je onesnaženost zraka zelo težka za rekonstrukcijo in vključuje pojav kopičenja onesnaženosti zraka. Tradicionalni statistični indeksi (Pearsonov korelacijski koeficient, normalizirana povprečna kvadratna napaka in normalizirana pristranskost) so bili določeni na štirih lokacijah v različnih smereh stran od vira onesnaževanja zraka. Za oceno netočnosti modela v položaju in času je prikazana in opisana nova izboljšana metodologija validacije (podpoglavje 2.1.2.2). Rezultati te validacije bodo služili za prihodnje izboljšave izbranega disperzijskega modela onesnaževanja zraka (Grašič in sod., 2011).

2.1.2.1 Tradicionalna metodologija validacije

Tradicionalna validacijska metodologija modeliranja onesnaženosti zraka temelji na statistični primerjavi med izmerjenimi in rekonstruiranimi podatki o koncentracijah onesnaženosti zraka v okolju. Izmerjeni podatki se zbirajo iz avtomatskih merilnih postaj za okolje, ki se nahajajo na območju interesa oz. domene, običajno okoli virov onesnaževanja zraka. Rekonstruirane koncentracije pa so pridobljene iz simulacije modeliranja onesnaženosti zraka (Grašič in sod., 2011).

V modelu onesnaževanja zraka je običajno območje sestavljeno iz mreže celic, kjer vsaka celica opisuje povprečno stanje onesnaženosti zraka v določenem delu domene (tj. v nadaljevanju v poglavju 2.1.2.2 je domena razdeljena na 100 x 100 celic v horizontali in v 20 vertikalnih plasti, ki dajejo 200.000 celic za domeno). Za primerjavo je rekonstruirana povprečna koncentracija iz talne celice, kjer se nahaja merilna postaja. Primer je prikazan na sliki 8 (Grašič in sod., 2011).



Slika 8: Razdelitev domene v 3D mreži celic je prikazana na levi strani, kjer je talna plast obarvana zeleno; na desni strani je prikazana le talna plast celic, kjer so postaje označene z rdečo barvo (Vir: Grašič in sod., 2011)

Statistično analizo podatkov tako izvedejo za izbrani časovni interval, kjer so na voljo izmerjeni in rekonstruirani podatki. V tem časovnem intervalu je potrebno pripraviti niz podatkovnih vzorcev. Za niz teh parov izvedejo statistično analizo ujemanja. Vsak podatkovni vzorec iz tega sklopa je sestavljen iz para izmerjene in rekonstruirane koncentracije, dobljene v časovnem koraku (Grašič in sod., 2011).

2.1.2.2 Izboljšana metodologija validacije

V okvirju validacije modela »Orodje za vrednotenje modelov«, ki ga vzdržuje Olesen (1996), so opisane težave, katere se lahko pojavijo pri validaciji modela. Razlike med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami so:

- posledica napak pri merjenju,
- inherentne negotovosti,
- vhodne negotovosti in
- napake pri oblikovanju modela (Grašič in sod., 2011).

V prispevku Grašič in sod. (2007) je bilo ugotovljeno, da v modelu obstaja netočnost položaja in časa. Za oceno teh netočnosti je predstavljena izboljšana metodologija validacije. Temelji na metodologiji, kjer se pri validaciji uporabi rezultate modela tudi v soseščini izbrane celice v kateri se nahaja merilna postaja. Vsako izmerjeno vrednost primerjajo z eno modelirano – rekonstruirano koncentracijo iz niza rekonstruiranih koncentracij. Set teh rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje (NC), kot je opisan v enačbi 1, je sestavljen iz povprečne koncentracije v celici, kjer se nahaja postaja in sosednjih celic. Soseščina je definirana v položaju oz. prostoru (tj. za soseščino ene celice v položaju ustvarjamo množico 9 celic, kot je prikazano na sliki 9 in enačbi 2) in v časovnem koraku (tj. soseščina enega časovnega koraka je sestavljena iz treh časovnih korakov, kot so predstavljeni na sliki 10 in enačbi 3) (Grašič in sod., 2011).

Enačba 1: Niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje (Vir: Grašič in sod., 2011)

$$NC(t, m, n) = \begin{cases} C_{recon}(t, m, n); \\ t - \Delta T < t < t + \Delta T; \\ m - \Delta H < m < m + \Delta H; \\ n - \Delta H < n < n + \Delta H \end{cases}, \text{ kjer je}$$

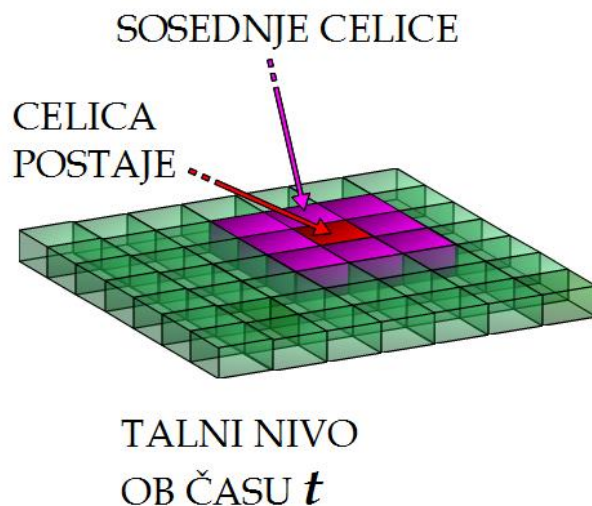
- NC . . . niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje,
- t . . . indeks časovnega koraka,
- ΔT . . . število časovnih korakov,
- m . . . indeks (število) celic v smeri vzhod – zahod,
- n . . . indeks (število) celic v smeri sever – jug
- ΔH . . . dolžina soseščine v položaju oz. prostoru (število celic).

Enačba 2: Niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje glede na položaj (Vir: Grašič in sod., 2011)

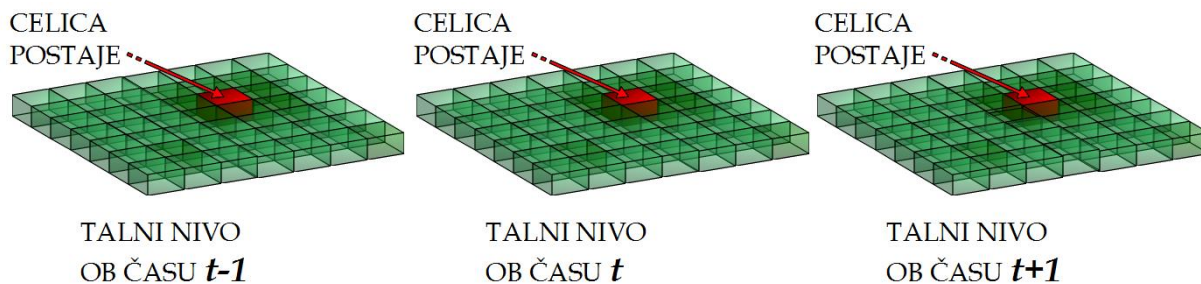
$$NC_{position}(t, m, n) = \begin{cases} C_{recon}(t, m, n); \\ m - \Delta H < m < m + \Delta H; \\ n - \Delta H < n < n + \Delta H \end{cases}$$

Enačba 3: Niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje glede na čas (Vir: Grašič in sod., 2011)

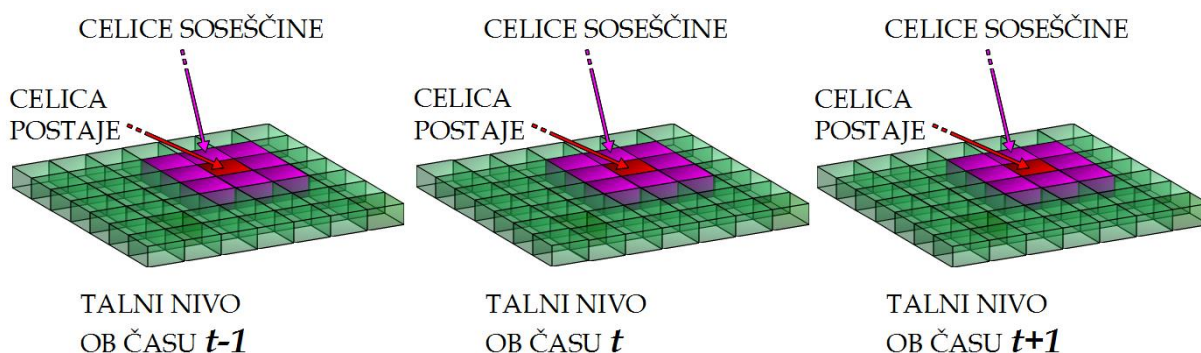
$$NC_{time}(t, m, n) = \begin{cases} C_{recon}(t, m, n); \\ t - \Delta T < t < t + \Delta T \end{cases}$$



Slika 9: Primer sosednjih celic v položaju ($\Delta H = 1$), kjer je niz koncentracij v soseščini NC sestavljen iz 9 celic (rdeča barva je celica postaje, vijolične barve so celice obravnavane lokacije s soseščino; prikazan je talni sloj ob času t) (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 10: Primer sosednjih celic v času ($\Delta T = 1$), kjer je niz koncentracij v soseščini NC sestavljen iz 3 celic (rdeča barva je celica postaje; prikazan je talni sloj ob časih t , $t-1$ in $t+1$) (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 11: Primer sosednjih celic v položaju in času ($\Delta H = 1$ in $\Delta T = 1$), kjer je niz koncentracij v soseščini NC sestavljen iz 27 celic (rdeča barva je celica postaje, vijolične barve so celice obravnavane lokacije s soseščino; prikazan je talni sloj ob časih t , $t-1$ in $t+1$) (Vir: Grašič in sod., 2011)

Pomembno je, da se v metodologiji izboljšanega validiranja vsaka izmerjena vrednost primerja z eno rekonstruirano koncentracijo izbrano iz niza koncentracij v okolici. Iz tega niza rekonstruiranih koncentracij izberejo eno koncentracijo z uporabo funkcije najboljšega ujemanja glede na izmerjeno koncentracijo, kot je opisano v enačbi 4. Funkcija najboljšega ujemanja izbere en element iz *NC*-sklopa, kjer je razlika med tem elementom in izmerjeno koncentracijo najmanjša v primerjavi z drugimi elementi v *NC*-nizu (Grašič in sod., 2011).

Enačba 4: Funkcija najboljšega ujemanja (Vir: Grašič in sod., 2011)

$$C_{BMrecon}(t, m, n) = BM(NC(t, m, n))$$
, kjer je

$C_{BMrecon}$... celica najboljšega ujemanja rekonstrukcije

BM ... Best matching oz. najboljše ujemanje

NC ... niz rekonstruiranih koncentracij v soseščini postaje,

t ... indeks časovnega koraka,

m ... indeks (število) celic v smeri vzhod – zahod,

n ... indeks (število) celic v smeri sever – jug.

2.1.2.3 Raziskovalni primer Šoštanj

V tem poglavju je predstavljena metoda na kompleksnem terenu iz Šaleške doline. Podatkovni niz iz omenjene regije je bil izbran iz več razlogov in sicer:

- prvi razlog je kompleksnost terena, kjer se pojavljajo tipični kompleksni meteorološki pogoji,
- drugi razlog so visoke emisije iz termoelektrarne (v tistem času ni bilo naprav za razžvepljevanje),
- tretji razlog je razpoložljivost izmerjenih podatkov iz okoljskih avtomatskih merilnih postaj in emisijske postaje za celotno obdobje merilne kampanje,
- četrti razlog pa je, da so baze podatkov, pridobljene med kampanjo, uporabili za validacijo več razpoložljivih modelov onesnaževanja zraka.

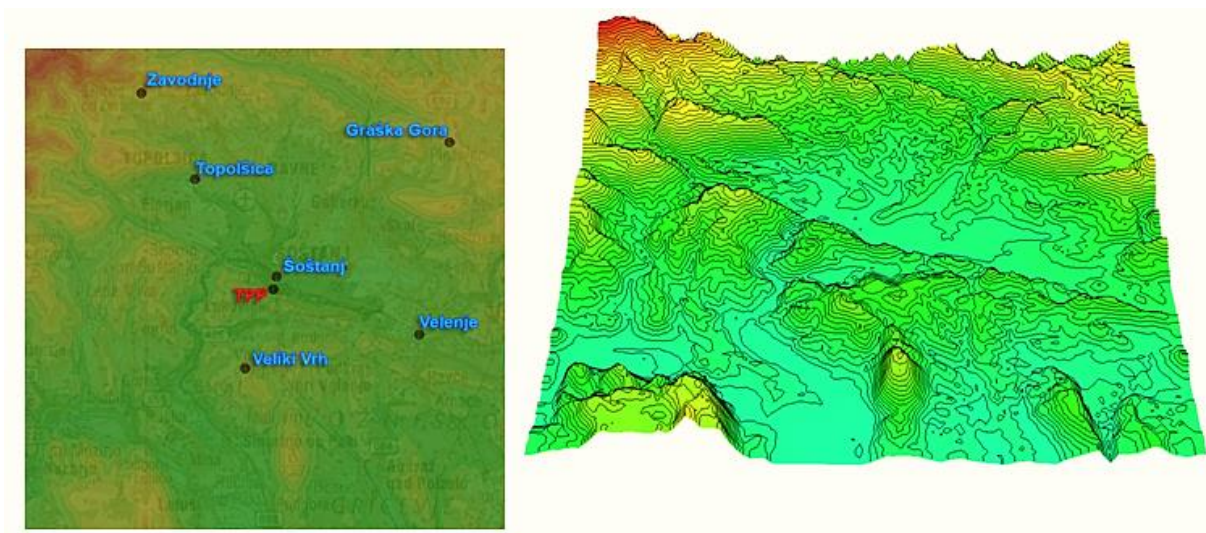
V letu 1991 med 15. marcem in 5. aprilom je bila izvedena eksperimentalna merilna kampanja v okolici Termoelektrarne Šoštanj. Glavni namen akcije je bil določiti vpliv onesnaženosti zraka na okolje in sicer iz treh dimnikov termoelektrarne. TEŠ se nahaja v središču Šaleške doline, kot je prikazano na sliki 12. Povprečna nadmorska višina doline je 300 metrov nad morsko gladino. Dolino obdajajo hribi iz vseh smeri, tako na južni strani kot tudi na zahodni, severni in vzhodni strani (Karavanke). Zemljevid na sliki 13 prikazuje lokacijo Šaleške doline v severovzhodnem delu Slovenije (Grašič in sod., 2011).

Kot je bilo omenjeno že v uvodu so eksperimentalno akcijo izvajali raziskovalci iz treh raziskovalnih ustanov. Podatki, pridobljeni med kampanjo, so bili uporabljeni za ovrednotenje več razpoložljivih modelov onesnaževanja zraka: standardnih in naprednih Gaussovih modelov, Gaussovega puff modela in Lagrangeovega modela delcev. Končni rezultati teh študij so pokazali, da je Lagrangeov model disperzije delcev najučinkovitejše orodje za modeliranje onesnaženosti zraka na zelo zapletenem terenu.

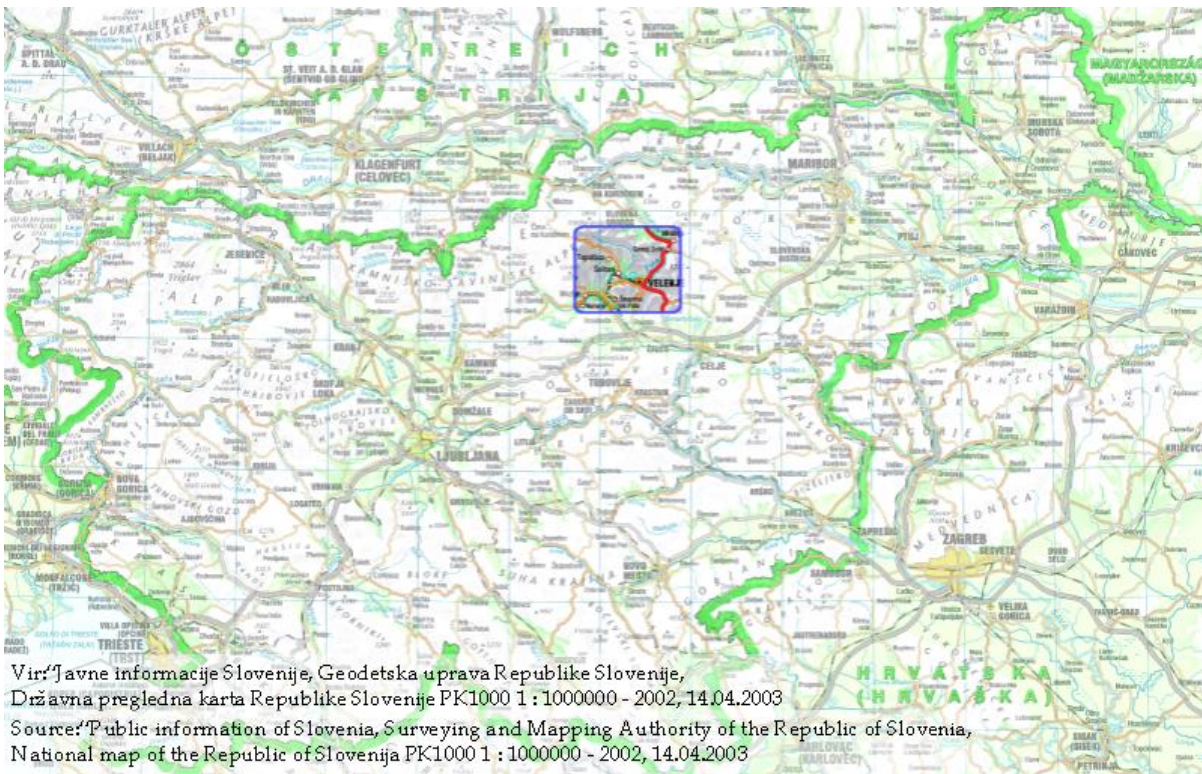
Podatkovna baza je sestavljena iz meritev iz različnih merilnih sistemov:

- šest stacionarnih avtomatskih merilnih postaj EIS, ki jih vzdržuje TEŠ (lokacije postaj so prikazane na sliki 12),
- avtomatski mobilni laboratorij,
- en mobilni Doppler SODAR in DIAL.

Slike nekaterih zgoraj omenjenih naprav so prikazane na sliki 14 (Grašič in sod., 2011).



Slika 12: Zemljevid Šaleške doline z lokacijami avtomatskih okoljskih postaj in lokacijo Termoelektrarne Šoštanj v sredini (leva slika) in topografijo regije (desna slika) (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 13: Lokacija Saleške regije v severovzhodnem delu Slovenije (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 14: Slike nekaterih naprav, ki so se uporabljale v kampanji spomladi 1991: avtomatska okoljska merilna postaja (levo), mobilna SODAR (desno - zgornja) in DIAL (desno - nižja) (Vir: Grašič in sod., 2011)

Okoljski parametri, izmerjeni na omenjenih postajah, so predstavljeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Seznam parametrov, izmerjenih na avtomatskih okoljskih postajah (x označuje, da se parameter meri na določeni postaji) (Vir: Grašič in sod., 2011)

Ime postaje/ Parametri	Zavodnje	Graška Gora	Topolščica	Veliki Vrh	Šoštanj	Velenje
Temperatura zraka	x	x	x	x	x	x
Relativna vlažnost	x	x	x	x	x	x
Globalno sončno sevanje						x
Padavine					x	
Zračni tlak					x	
Veter	x	x	x	x	x	x
SO ₂	x	x	x	x	x	x
NO	x					
NO _x	x					
O ₃	x					

Med raziskovalno kampanjo je TEŠ imela tri dimnike na različnih višinah (100 m, 150 m in 230 m), vendar noben dimnik ni imel nameščene naprave za razžveplanje. Izmerjene emisije so predstavljene v preglednici 2. V zgornji preglednici so podani statični parametri, v spodnji pa dinamični parametri. Spodnja preglednica prikazuje hitrost emisije (enota kg/s), izhodno temperaturo in izhodno hitrost dimnih plinov (enota m/s). Emisije iz generatorjev Blok 1, Blok 2 in Blok 3 se oddajajo iz enega dimnika, imenovanega Blok 1,2,3. Slika Termoelektrarne Šoštanj je prikazana na sliki 15 (Grašič in sod., 2011).

Preglednica 2: Seznam emisijskih parametrov za vseh šest dimnikov TEŠ, ki so delovali med raziskovalno kampanjo leta 1991; zgornja preglednica prikazuje statične parametre, spodnja preglednica pa dinamične parametre (Vir: Grašič in sod., 2011)

Ime dimnika	Višina	Premer	Lokacija
Blok 1,2,3	100 m	6.50 m	46.373N 15.052E
Blok 4	150 m	6.34 m	46.372N 15.053E
Blok 5	230 m	6.20 m	46.371N 15.055E

Ime dimnika	Hitrost emisije	Izhodna temperatura	Izhodna hitrost dimnih plinov
Blok 1,2,3	0.01 ÷ 0.24 kg/s	155 ÷ 171°C	0.7 ÷ 2.9 m/s
Blok 4	0.87 ÷ 2.05 kg/s	155 ÷ 183°C	8.8 ÷ 12.3 m/s
Blok 5	0.53 ÷ 2.46 kg/s	172 ÷ 202°C	8.6 ÷ 12.7 m/s



Slika 15: Termoelektrarna Šoštanj (Vir: Grašič in sod., 2011)

V tej študiji je bil za validacijo izbran Lagrangeov model delcev (SPRAY). Model je bil izbran iz več razlogov:

- Prva različica modela je bila že potrjena na podatkovnem nizu iz kampanje Šoštanj 91 (Božnar in sod., 1994). Model se je v zadnjih letih precej razvil in tako prešel iz raziskovalne uporabe v uporabo za operativne regulativne namene (Tinarelli in sod., 2000).
- Model sledi novi slovenski zakonodaji, kjer je za kompleksne terene potrebno uporabiti Lagrangeov model delcev. Model je povezan z ustreznim meteorološkim predprocesorskim modulom, ki je sposoben rekonstruirati tridimenzionalna diagnostična ne-divergentna polja vetra (Grašič in sod., 2011).
- Večina slovenske industrije se nahaja na zapletenem, kompleksnem terenu na dnu dolin ali v kotlinah in tako se lahko rezultate validacije uporabi tudi za druge podobne primere v Sloveniji ali kjerkoli drugje, kjer je prisoten takšen teren (Grašič in sod., 2011).
- Najnovejša in zadnja različica je bila tudi potrjena na podatkovnem nizu »Šoštanj91« (Grašič in sod., 2007). Rezultati validacije v tej študiji so razširjeni in osredotočeni na metodo validacije, ne pa na validacijo modela (Grašič in sod., 2011).

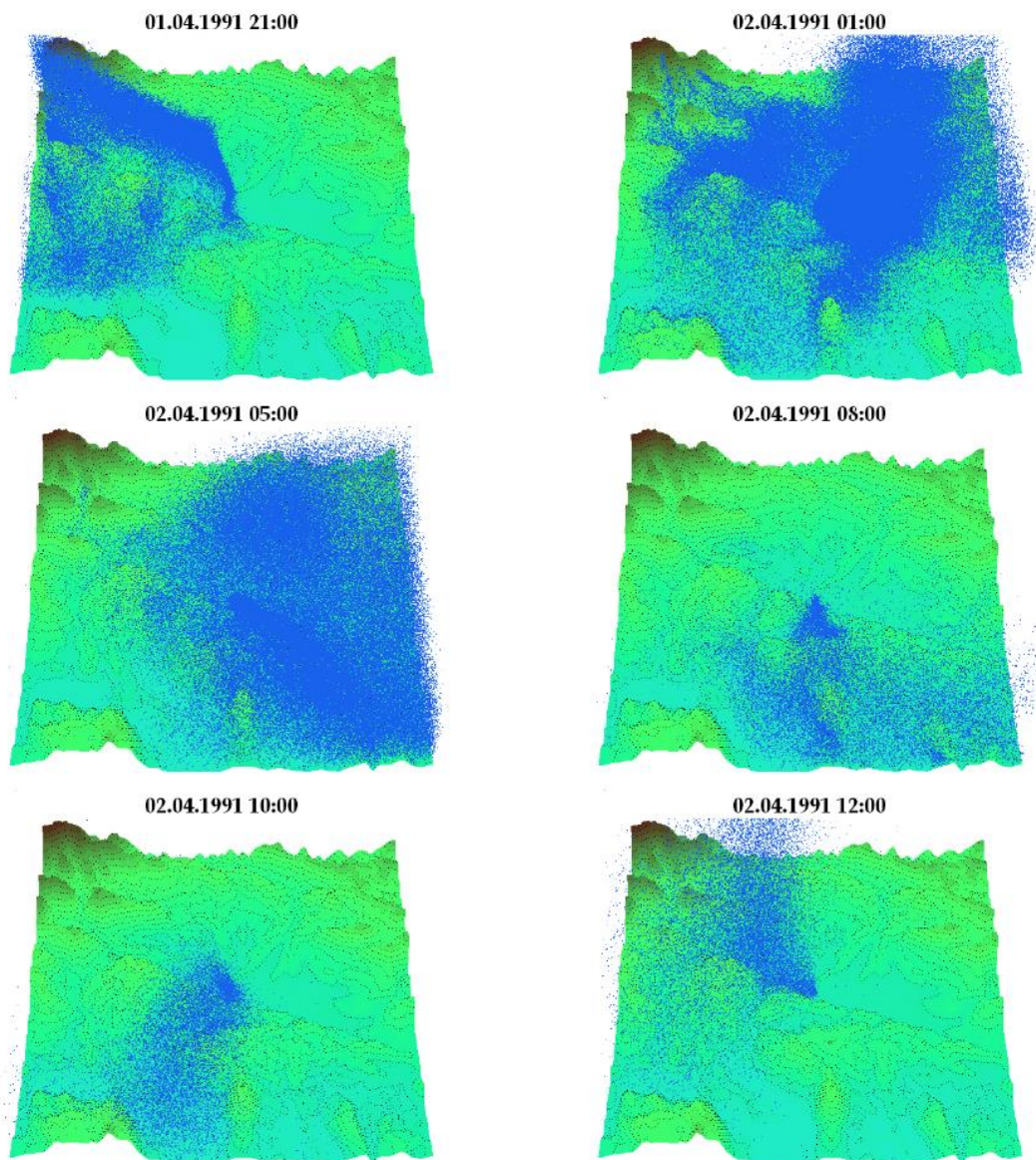
Podrobnejši opis parametrov in nastavitvev modela za to študijo je opisan v članku o zadnji validaciji modela (Grašič in sod., 2007). Za vnos v meteorološki predprocesor so bili uporabljeni parametri iz mobilne enote Doppler SODAR in avtomatskih merilnih postaj, kot je opisano v preglednici 1. Vsi izmerjeni podatki so na voljo v polurnih intervalih (Grašič in sod., 2011).

Za prikaz nove metode potrjevanja je bila izbrana samo ena zelo zapletena situacija onesnaženosti zraka. Gre za značilno kompleksno terensko situacijo, ki je zelo zahtevna za rekonstrukcijo in še vedno predstavlja največji izziv za vse razpoložljive modele disperzije onesnaženosti zraka. Položaj je podrobno opisan v članku Grašiča in sod. (2007). Situacija je trajala od 1. aprila 1991 ob 20. uri do 2. aprila 1991 ob 20. uri.

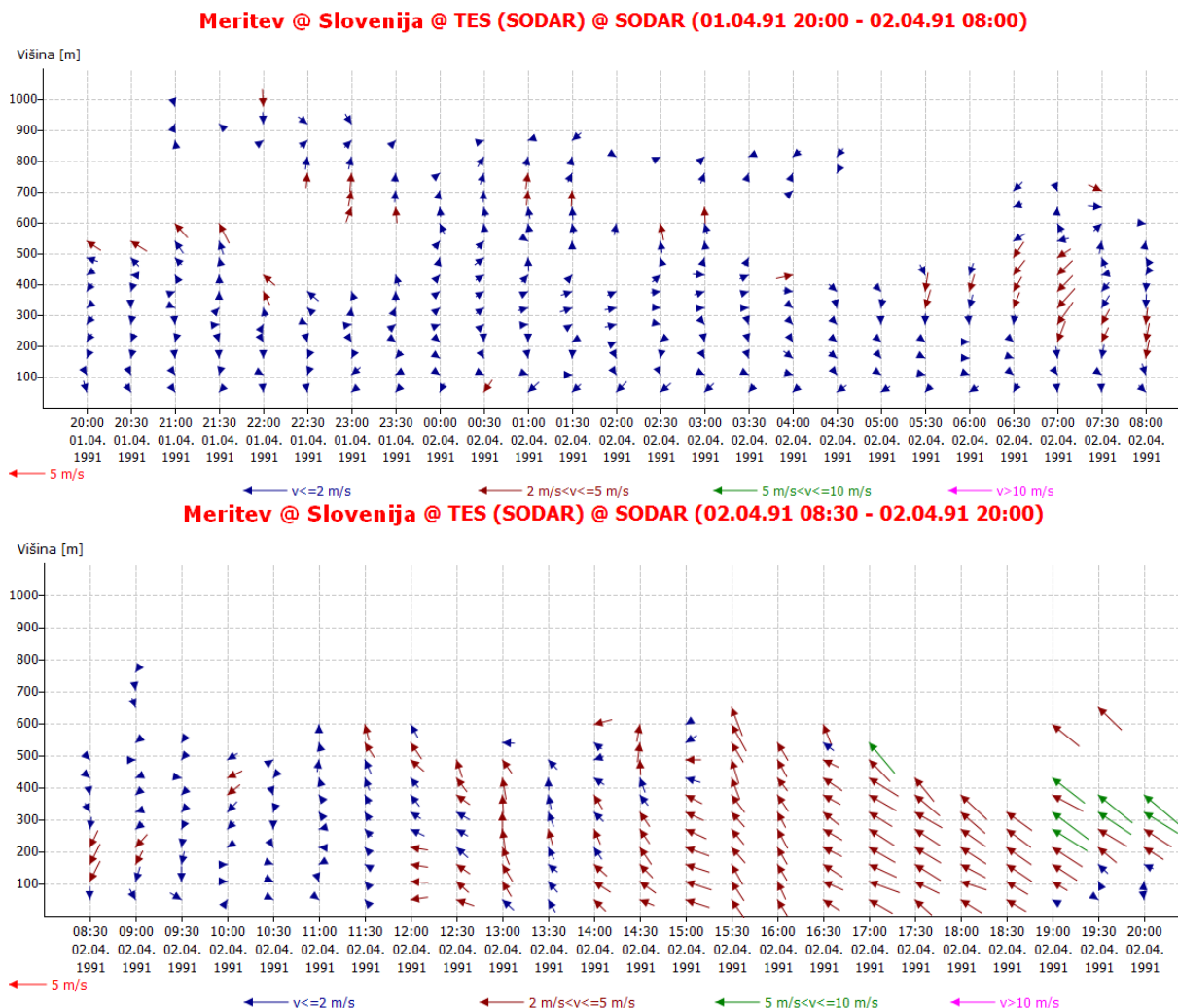
Rekonstruirano širjenje v tridimenzionalni domeni je prikazano na sliki 16. Onesnažen oblak se razširi v vse smeri nad domeno v razmeroma kratkem času. To je razvidno tudi iz Dopplerjevih meritev SODAR, prikazanih na sliki 17. Ta graf prikazuje meritve iz SODAR-ja za vsak polurni časovni interval na različnih višinah. Vsaka puščica na grafu prikazuje smer vodoravne komponente vetra na določeni višini. Smer je prikazana tako kot na zemljevidih (S, J, V, Z). Dolžina puščice predstavlja velikost horizontalne komponente hitrosti vetra (Grašič in sod., 2011).

Širjenje onesnaženosti zraka v vse smeri dokazujejo tudi meritve polurnih povprečnih koncentracij SO₂ na štirih okoljskih postajah v različnih smereh od TEŠ, kot je prikazano na slikah 18, 19, 20 in 21.

Na postaji Zavodnje je do neujemanja prišlo zato, ker je del onesnaženja veter odnesel ven iz modelirane domene. V naravi pa se je ta del verjetno vrnil nazaj, ko se je smer vetra obrnila nazaj proti elektrarni.



Slika 16: Rekonstrukcija onesnaženega oblaka, ki se premika v vse smeri (Vir: Grašič in sod., 2011)

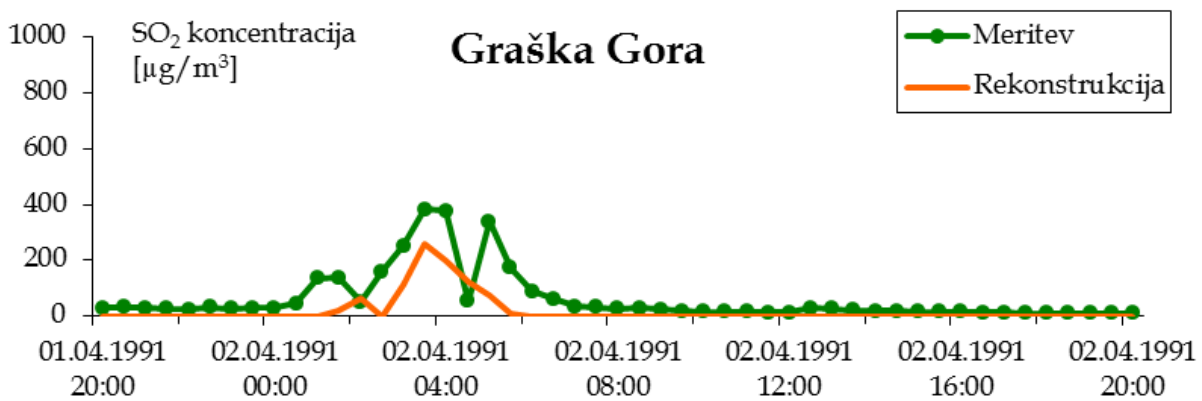


Slika 17: Meritve SODAR pri izbranem stanju onesnaženja zraka od 1. aprila 1991 ob 20.00 uri do 2. aprila 1991 ob 20.00 uri, ko je prišlo do spremembe smeri onesnaženja zraka; smer puščic prikazuje vodoravno smer vetra na določeni višini; dolžina in barva puščice predstavljata vodoravno hitrost vetra na določeni višini (Vir: Grašič in sod., 2011)

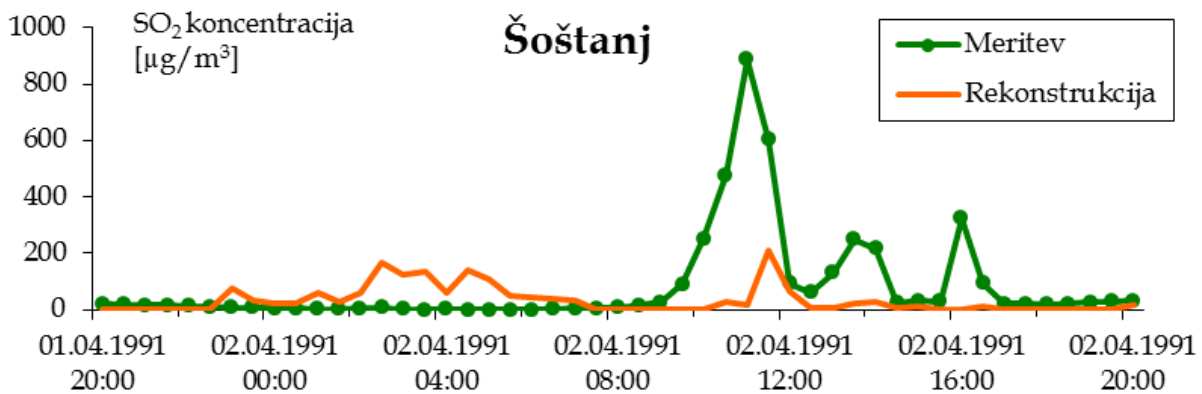
V naslednjih podpoglavjih je opisana primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO₂ na omenjenih lokacijah izvedena z uporabo tradicionalnih in izboljšanih validacijskih metod.

2.1.2.4 Tradicionalni rezultati validacije

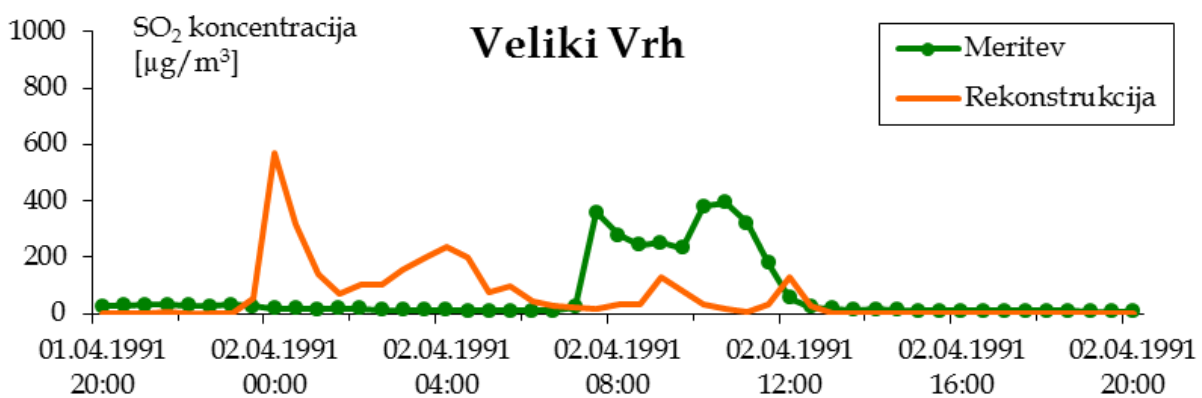
Spodnje slike (Slika 18, Slika 19 in Slika 20) prikazujejo primerjavo med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO₂ na postajah Graška Gora, Šoštanj, Veliki Vrh in Zavodnje. Najboljše ujemanje opazimo na postaji Graška Gora medtem ko pri ostalih lokacijah ne vidimo dobrih ujemanj. Primerjava z uporabo tradicionalnih statističnih cenilk za celotno trajanje eksperimentalne meritvene kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991, predstavljena v preglednici 3, kažejo dobro korelacijo le za omenjeno lokacijo Graška Gora (večja od 0,3). V okviru te raziskave so strokovnjaki izpostavili težave, ki se lahko pojavijo pri validaciji modela: razlike med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami so posledica napak pri merjenju, inherentne negotovosti, vhodne negotovosti in napake pri oblikovanju modela (Grašič in sod., 2011).



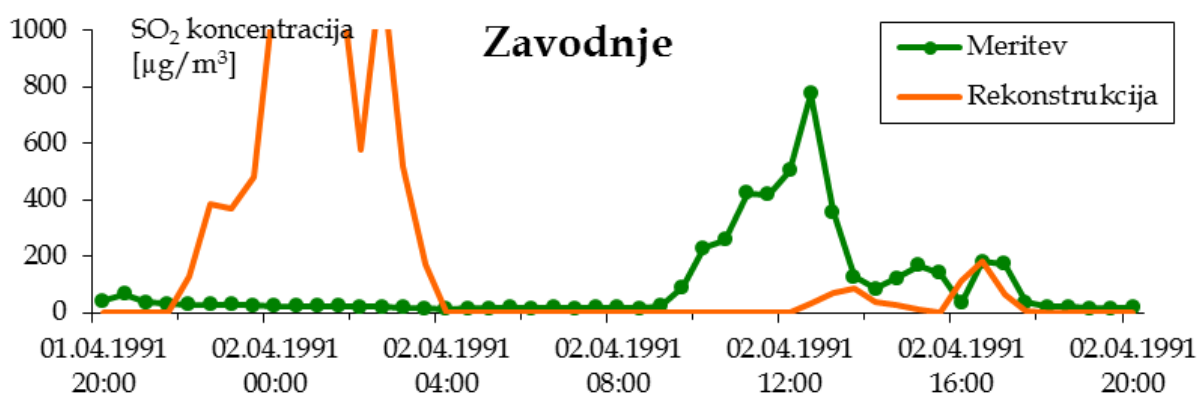
Slika 18: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO₂ na postaji Graška Gora (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 19: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO₂ na postaji Šoštanj (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 20: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO₂ na postaji Veliki Vrh (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 21: Primerjava izmerjenih in rekonstruiranih koncentracij SO₂ na postaji Zavodnje (Vir: Grašič in sod., 2011)

Podrobna analiza izbranega stanja onesnaženosti zraka (Grašič in sod., 2007) je pokazala, da je netočnost položaja in časa rekonstruiranih koncentracij predvsem posledica občutljivosti modela na hitrosti in smeri vetra, merjene na različnih postajah in SODAR. Občutljivost modela je močno odvisna od kompleksnosti terena, ki je v tem primeru zelo kompleksen (Grašič in sod., 2011).

Preglednica 3: Primerjava statističnih cenilk z uporabo tradicionalne metodologije za celotno trajanje eksperimentalne merilne kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991 (Vir: Grašič in sod., 2011)

Ime postaje	Število parov	Pearsonov korelacijski koeficient	Normalizirana povprečna kvadratna napaka	Normalizirana pristranskost (FB)
Graška Gora	884	0,34	40,42	1,6
Šoštanj	881	0,02	17,32	0,37
Veliki Vrh	839	0,13	8,7	0,09
Zavodnje	858	-0,004	38,35	0,1

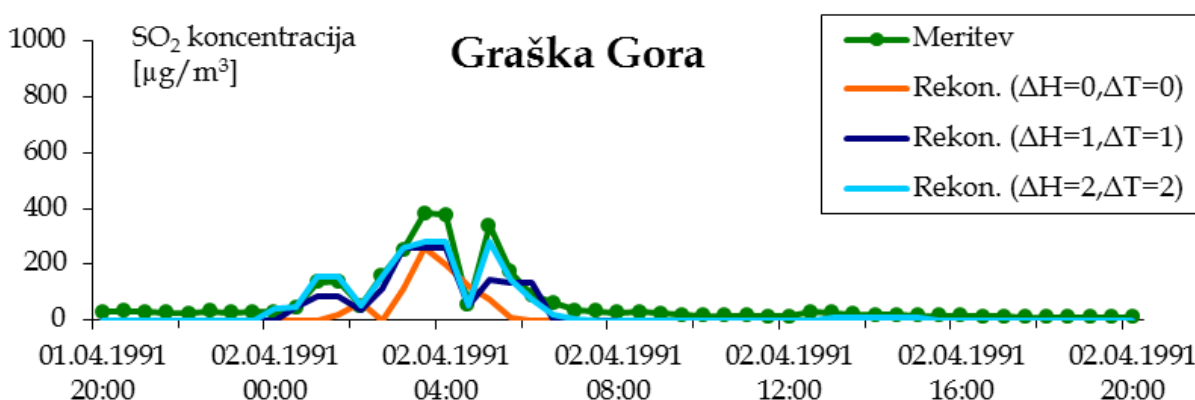
2.1.2.5 Izboljšani rezultati validacije

Rezultati modela torej le niso tako slabi, kot nam to prikazujejo razsevni diagrami (Slika 2, Slika 3 in Slika 4). Če primerjajo v kraju in v času nam rezultati ne prikažejo dobrih ujemanj, a v kolikor uporabijo metodo, kjer gledajo krajevno okolico celice (sever, jug, vzhod, zahod) tako imenovano »soseščino« ali časovno okolico celic glede na uro ko se pojavlja visoka koncentracija (+/- 1/2 h), potem že dobijo zelo dobra ujemanja z izmerjenimi koncentracijami (Grašič in sod., 2011).

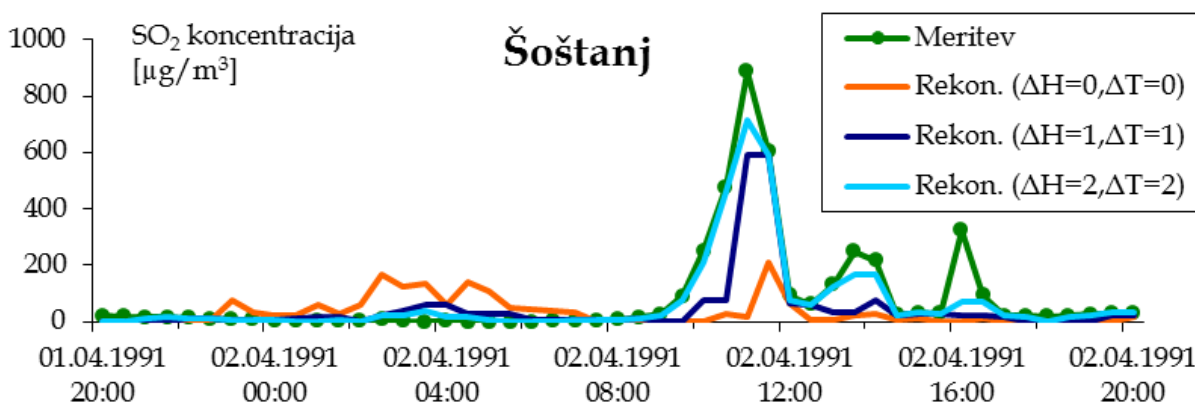
Na spodnjih slikah (Slika 22, Slika 23, Slika 24 in Slika 25) je prikazana primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO₂ v okolju na različnih postajah v okolici TEŠ

z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino. Predstavljene so tri vrste rekonstruiranih koncentracij:

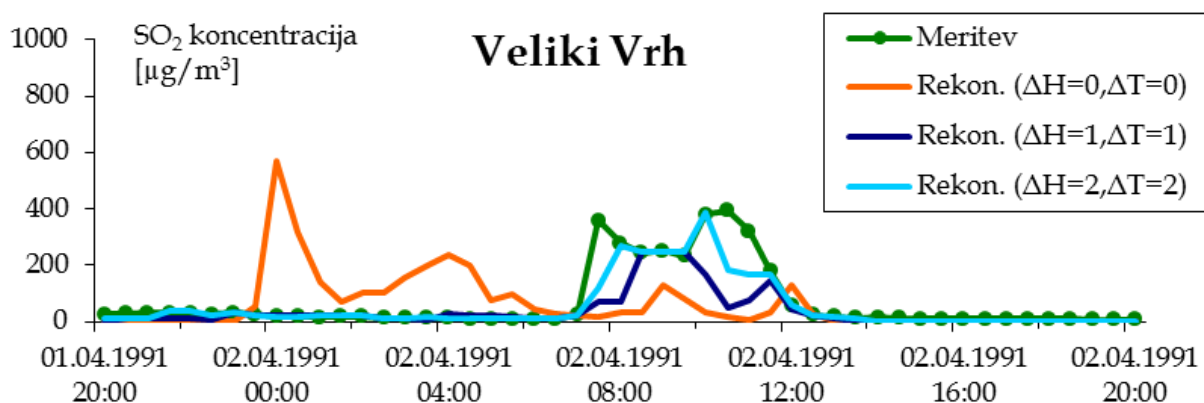
- Rekon. ($\Delta H=0, \Delta T=0$) – velikost obravnavane celice oz. lokacije s soseščino je 0, za primerjavo je uporabljena samo 1 celica, kjer se nahaja postaja, to so rezultati tradicionalne validacije,
- Rekon. ($\Delta H=1, \Delta T=1$) – velikost obravnavane celice oz. lokacije s soseščino je 27 celic (9 celic v horizontalni delitvi in 3 celice v časovnem koraku),
- Rekon. ($\Delta H=2, \Delta T=2$) – velikost obravnavane celice oz. lokacije s soseščino je 125 celic (25 celic v horizontalni delitvi in 5 celic v časovnem koraku) (Grašič in sod., 2011).



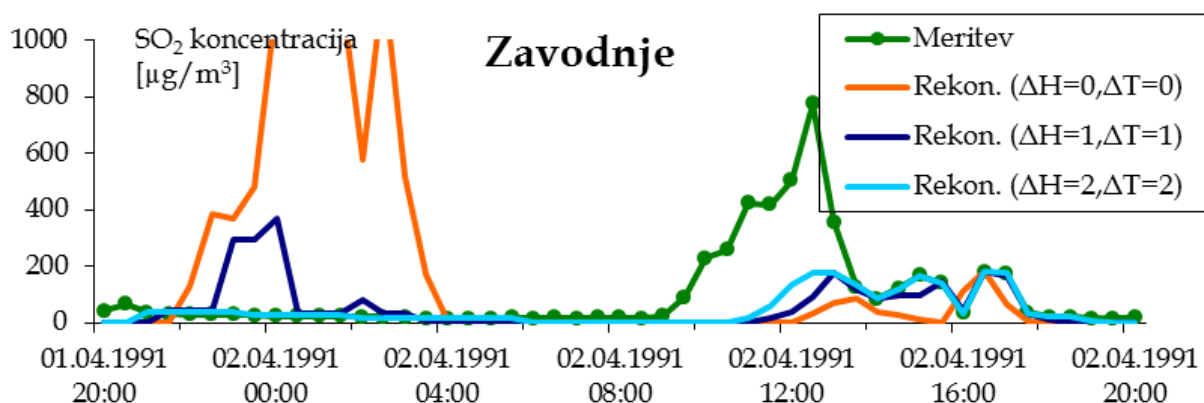
Slika 22: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO_2 v okolju na postaji Graška Gora z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 23: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO_2 v okolju na postaji Šoštanj z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 24: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO₂ v okolju na postaji Veliki Vrh z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)



Slika 25: Primerjava med izmerjenimi in rekonstruiranimi koncentracijami SO₂ v okolju na postaji Zavodnje z uporabo različnih velikosti obravnavane celice oz. lokacije s soseščino (Vir: Grašič in sod., 2011)

Svetlo modra krivulja se na postajah Graška Gora, Šoštanj in Veliki Vrh odlično ujema z meritvijo. Na postaji Zavodnje pa le delno. Razlogi za slednje so v lokaciji postaje Zavodnje, ki je že blizu roba domene. Naknadno so ugotovili, da je veter pri situaciji 2. 4. 1991 ob cca. 12. uri oblak onesnaženja odnesel ven iz domene, ni ga pa mogel vrniti nazaj ob spremembi smeri globalnega vetra na veliki višini (Grašič in sod., 2011).

Preglednica 4: Primerjava statističnih cenilk z uporabo izboljšane validacijske metodologije za celotno trajanje eksperimentalne merilne kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991, kjer je velikost soseske sestavljena iz 27 celic ($\Delta H = 1$ in $\Delta T = 1$) (Vir: Grašič in sod., 2011)

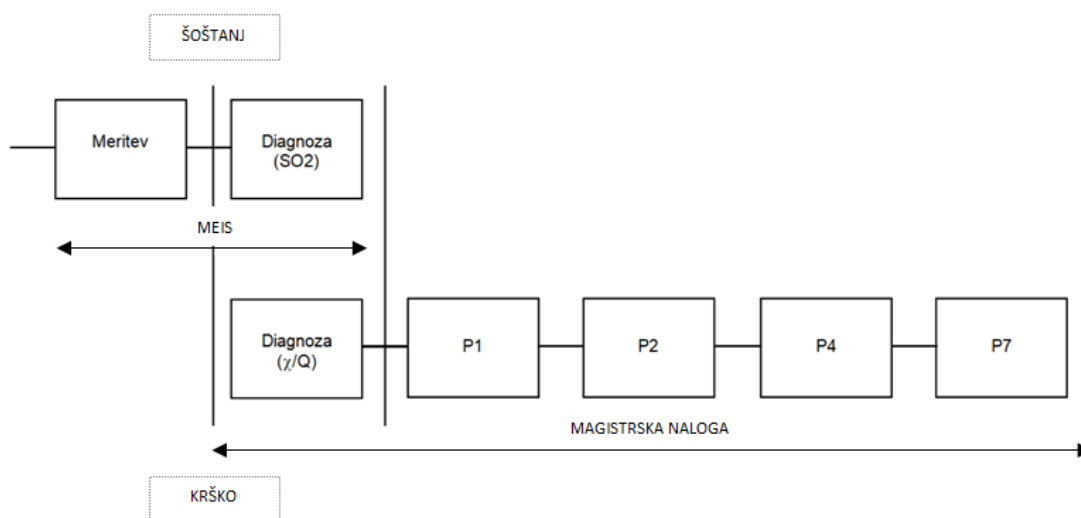
Ime postaje	Število parov	Pearsonov korelacijski koeficient	Normalizirana povprečna kvadratna napaka	Normalizirana pristranskost (FB)
Graška Gora	881	0,7	1,08	9,07
Šoštanj	836	0,38	0,93	19,72
Veliki Vrh	878	0,75	0,61	3,1
Zavodnje	855	0,39	0,78	6,02

Preglednica 5: Primerjava statističnih cenilk z uporabo izboljšane validacijske metodologije za celotno trajanje eksperimentalne merilne kampanje od 15. marca do 5. aprila 1991, kjer je velikost soseske sestavljena iz 125 celic ($\Delta H = 2$ in $\Delta T = 2$) (Vir: Grašič in sod., 2011)

Ime postaje	Število parov	Pearsonov korelacijski koeficient	Normalizirana povprečna kvadratna napaka	Normalizirana pristranskost (FB)
Graška Gora	879	0,76	0,83	5,22
Šoštanj	876	0,47	0,79	14,92
Veliki Vrh	834	0,88	0,38	1,3
Zavodnje	853	0,67	0,65	3,38

2.1.3 Primerjava med diagnozo in prognozo

Prvo primerjavo med meritvijo in diagnozo na TEŠ so izvedli strokovnjaki iz podjetja MEIS d. o. o., primerjavo med diagnozo in prognozo na različnih lokacijah in oddaljenostih od NEK, sem izvedla jaz v okviru te magistrske naloge. Spodnja slika (Slika 26) nam prikazuje sledljivost kvalitete modela do navideznega etalona in posledično tudi nastop mojega dela.



Slika 26: Sledljivost kvalitete modela do navideznega etalona; P1 pomeni modelski izračun z uporabo numerične vremenske napovedi za 1 dan vnaprej, P2 za 2 dni vnaprej, P4 za 4 dni vnaprej in P7 za 7 dni vnaprej

Kar zadeva meritve lahko rečemo, da je šoštanjski primer zelo podoben Krškemu. Prav tako je zelo podoben tudi teren, le da je TEŠ še malenkost bolj zahteven. V obeh primerih imamo isti model in približno podobne meteorološke meritve (uporaba SODAR-ja, meteorološke talne meritve – temperatura na 2 m in veter na 10 m). V Krškem ne moremo izvesti dejanskih meritev koncentracij radionuklidov in jih primerjati z diagnozo, zato sem v tem magistrskem delu primerjala diagnozo (izračunano z modelom, ki je poprej preverjen na TEŠ) in ne dejanske meritve koncentracije onesnaževala s prognozami za 1, 2, 4 in 7 (v nadaljevanju P1, P2, P4 in P7) dni vnaprej.

3 SREDSTVA

3.1 Opis modela

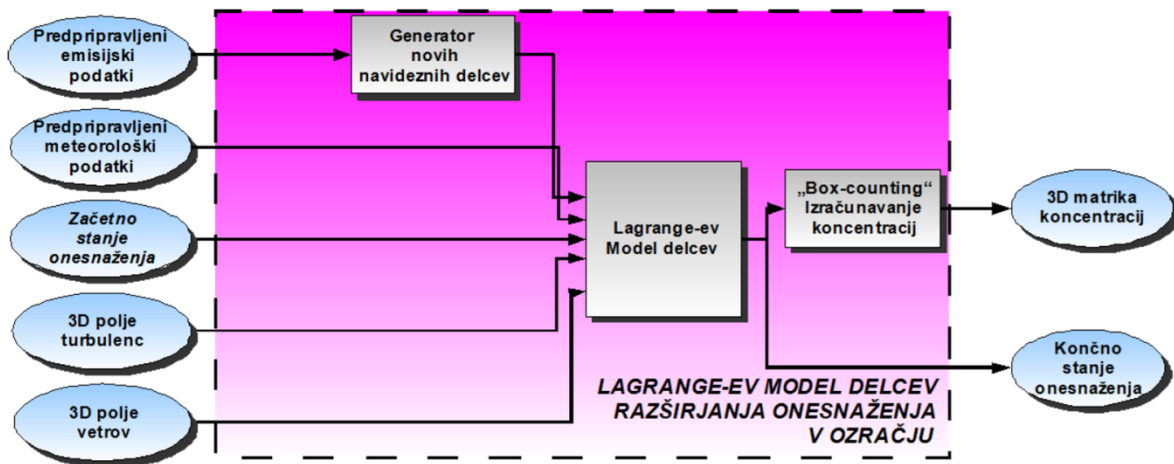
Modeliranje širjenja emitiranih snovi v zraku v okolici NEK je ena izmed zelo pomembnih nalog tako za oceno doz prebivalcev ob rednem izpustu kot za pripravljenost na izredne razmere.

Za NEK in njeno okolico je značilen zelo kompleksen teren. Krška kotlina je na jugu in severu obdana s hribovji, proti vzhodu je delno zaprta, proti zahodu pa je v celoti odprta. Zaradi zapletenih meteoroloških razmer tako v celotni Sloveniji kot tudi v sami Krški kotlini ter zaradi zahtevnega terena, so morali za modeliranje širjenja onesnaženja ozračja izbrati najbolj zmogljive validirane modele. Krovna dokumenta, ki opredeljujeta formalne zahteve na radiološkem področju, kar se tiče modeliranja onesnaženja ozračja, sta RG 1.111, izdan leta 1977 (uporaba modelov za redne izpuste) in RG 1.145, izdan leta 1979 (uporaba modelov za nezgodne izpuste) (U.S. Nuclear..., 1977; U.S. Nuclear..., 1982). Oba dokumenta, zaradi takratne računalniške tehnike, navajata kot uporabno modeliranje z Gaussovimi modeli, vendar se v RG 1.111 že pojavljajo nekatere smernice za prihodnost. RG 1.111 navaja, da je želeni najboljši model tisti, ki najbolje ponazarja atmosferski transport in difuzijo v proučevanem območju za katerega se zanimamo, od lokacije izvora do receptorja ob upoštevanju meteoroloških značilnosti regije, topografije, karakteristike izpusta, razpoložljivosti in reprezentativnosti vhodnih podatkov, oddaljenosti od vira do receptorja in enostavnosti uporabe. Poleg tega se RG 1.111 že malce nakazuje bodoči razvoj tudi Lagrangevega modela delcev za malo bolj zahtevne primere. Opredeljuje koncept 3D diagnostičnega meteorološkega polja in razširjanja (matematičnih) delcev v tem polju. Da pa model vsem tem karakteristikam lahko sploh zadostuje, se to dokaže z ustrezno validacijo. NEK je že pred samo uporabo modela imel izvedeno validacijo. Izvedena je bila na podobno meteorološko zahtevnem območju Šaleške doline (TEŠ).

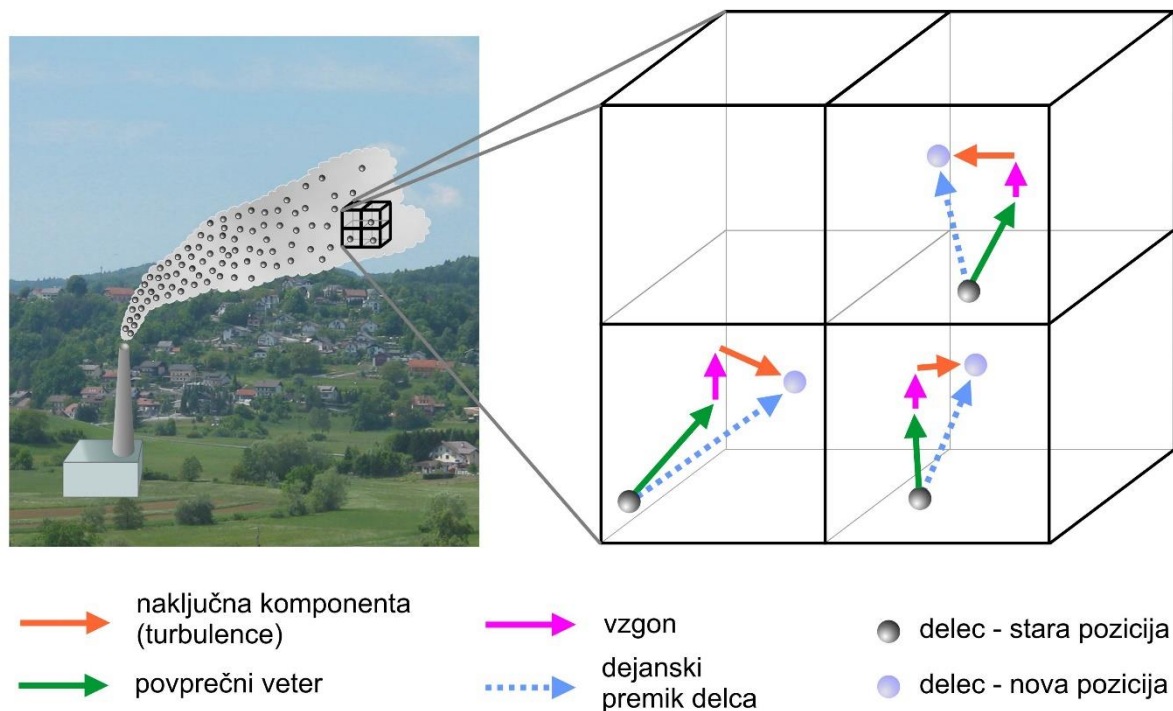
Model za rekonstrukcijo širjenja onesnaženja v ozračju je sestavljen iz dveh glavnih modelov Minerve in SPRAY. Oba omenjena modela sta proizvedena v italijanskem podjetju Arianet iz Milana. Minerve je model za rekonstrukcijo vetrovnega polja, ki vetrovno polje preračuna v vsaki prostorski celici nad obravnavnim krajevnim območjem. Preračuna ga iz podanih točkovnih ali profilnih meteoroloških podatkov o vetru za vsak polurni interval posebej. Pri tem upošteva zakon o ohranitvi mase. SPRAY pa je Lagrangeov model delcev, ki ponazarja širjenje snovi, ki so izpuščene iz NEK v ozračje. Delci so pri tem matematično orodje (psevdo delci), ki omogoča ponazarjanje postopnega izpusta snovi in širjenje teh snovi po ozračju (Meritve radioaktivnosti..., 2008). Od leta 2002 se v območju 25 x 25 km okoli Krškega, uporablja Lagrangeov model delcev, ki deluje vse dni v letu, 24 ur na dan in preračunava disperzijo sproti za vsak polurni interval z uporabo sprotne avtomatsko izmerjenih meteoroloških podatkov.

Model upošteva tako reliefne značilnosti okolice kot tudi terenske značilnosti na območju vrednotenja (Meritve radioaktivnosti ..., 2008).

3.1.1 Lagrangeov model delcev SPRAY



Slika 27: Shema Lagrangeovega modela delcev razširjanja onesnaženja v ozračju SPRAY (Vir: Božnar in sod., 2015)



Slika 28: Skica Lagrangeovega modela delcev (Vir: MEIS d. o. o.)

S pomočjo zgornjih dveh slik (Slika 26 in Slika 27) v nadaljevanju podajam poenostavljeno razlago kako deluje Lagrangeov model delcev.

Preden zaženejo model širjenja onesnaženja ozračja morajo s predprocesorjem za vsako celico nad matematično domeno izračunati rekonstrukcijo vetra. To pomeni, da za vsako celico

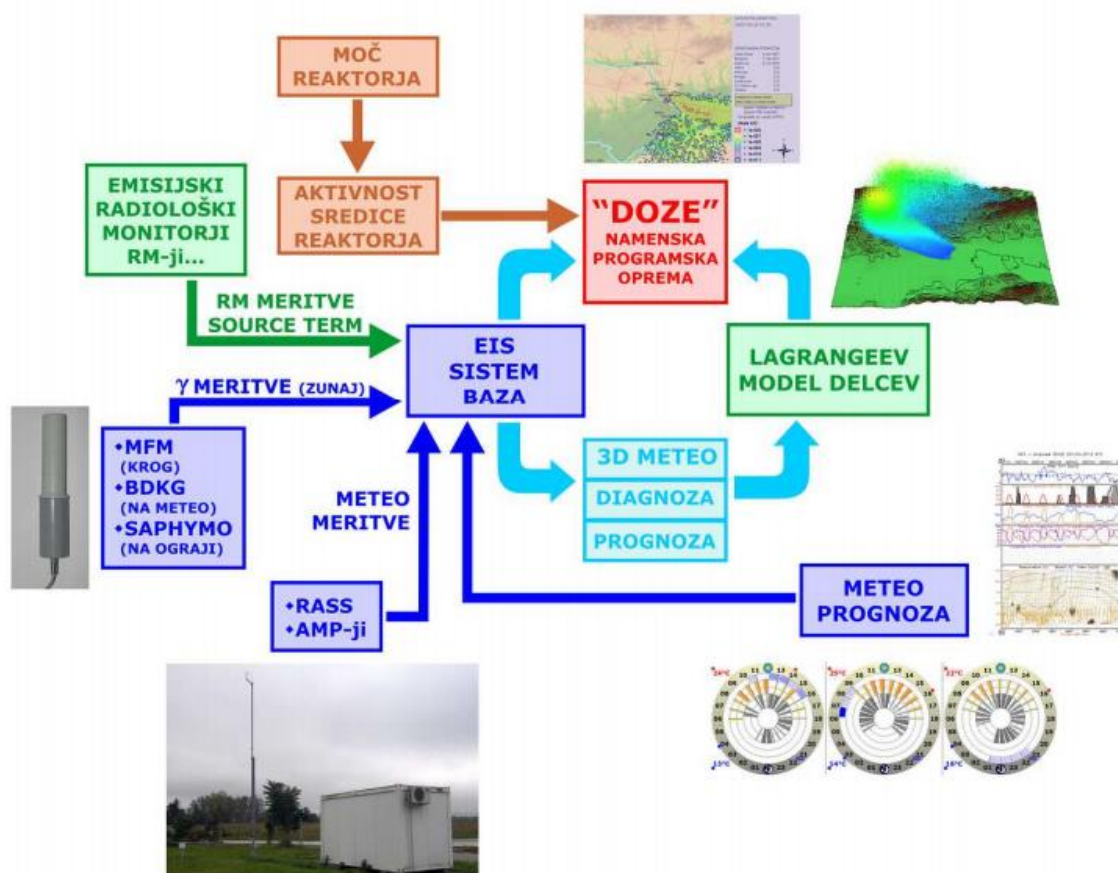
v 3D prostoru izračunajo, kakšen je glavni veter v celici, v kateri smeri se giblje horizontalno in koliko se giblje po vertikali. To je 3D vektor vetra. Nad kompleksnim terenom se skoraj vedno uporablja masno konsistentne modele (to so modeli, ki izračunajo veter in ohranjajo maso). Ta rekonstruirani veter je potem vhodni podatek v model za disperzijo, ki je lahko Lagrangeov model delcev ali pa tudi kakšen drug model. Pri Lagrangeovem modelu delcev ti delci pomenijo navidezne ali pseudo delce (to niso dejanski delci kot se jih meri pri kontroli onesnaženja ozračja, ki ga izvaja npr. ARSO). To so matematični delci, kjer se vsak delec giblje po svoji trajektoriji v tem 3D prostoru.

Najprej se izračuna, koliko onesnaženja izhaja v ozračje (npr. iz dimnika), ta količina se razdeli tako, da vsak takšen pseudo delček vsebuje navidezno določeno količino npr. SO₂. Potem ta delček potuje naprej iz dimnika vertikalno navzgor. Ti delci se zatem gibljejo z glavnim vetrom v vsaki posamični celici prostora. V vsaki taki celici delček pogleda kakšen je glavni veter. Tu je pomemben še vektor turbulence (drugačna smer kot je glavna smer vetra). Rezultanta je gibanje v smeri glavnega vetra, v smeri vektorja turbulence in vektorja v vertikali - vzgona. Torej končna rezultanta koliko se v vsakem koraku delček premakne v prostoru, je vsota teh omenjenih vektorjev. Nato sledi iterativni izračun v kratkih časovnih korakih. Ti delčki se premikajo različno po prostoru in tako naletijo na različne turbulence, ki so prirejene za vsak delček posebej. Velikost teh turbulenc je sorazmerna turbulentnosti atmosfere ta pa je obratno sorazmerna stabilnosti atmosfere. Turbulentnost se računa v treh dimenzijah. Na ta način dosežejo, da se dim razprši tako vertikalno kot tudi prečno horizontalno na smer vetra. Nato v polurnih intervalih navidezno ustavijo premikanje delčkov in preštejejo za vsako celico v prostoru koliko delčkov je dejansko prispelo v tisto celico. To število najprej pomnožijo s težo onesnaženja, ki ga vsak delček nosi s seboj, nato dobljeno število delijo s celotnim volumnom celice in rezultat je volumska koncentracija. Na ta način pretvarjajo rezultat v prave koncentracije (primer Šoštanj), v primeru NEK pa pretvarjajo z normalizirano emisijo in dobijo relativne koncentracije.

3.2 Opis EIS baze

Ekološki informacijski sistem (v nadaljevanju EIS) je kompleksen sistem, ki avtomatsko pridobiva določene podatke za nadaljnji izračun doz prebivalcev zaradi rednih izpustov radionuklidov v ozračje in tudi za morebitne nezgodne dogodke.

OKOLJSKI EKSPERTNI SISTEM NEK



Slika 29: Okoljski ekspertni sistem (EIS) NEK; posamezne komponente so prikazane slikovno ali shematsko, s puščicami pa so nakazane zgoj najbolj bistvene povezave in pretoki podatkov (Vir: Božnar in sod., 2018)

EIS sistem izvaja sprotno vse meritve in izračune skozi celo leto ter v točno določenih intervalih (desetminutni in polurni interval). EIS baza pridobiva meritve iz radioloških monitorjev (RM), gama meritve in meteorološke meritve ter vremensko napoved (prognozo). NEK ob rednem delovanju izpušča zelo malo snovi oz. posameznih vrst radionuklidov v ozračje, a kljub temu predpisi zahtevajo, da se izvršujejo izračuni doz prebivalstva. RM meritve se tako avtomatsko prenašajo v EIS bazo s pomočjo emisijskih radioloških monitorjev (RM monitorji), ki so locirani na posameznih lokacijah v NEK. EIS baza upošteva tudi gama meritve hitrosti doze s pomočjo različnih merilnikov (MFM, BDKG, SAPHYMO) zunaj in znotraj ograje NEK. Vsi merilniki so na točno določenih lokacijah, zbirajo meritve in jih avtomatsko prenašajo v EIS bazo. Slike 30, 31 in 32 prikazujejo nekatere izmed omenjenih merilnikov. Za izračun doz prebivalstva se upošteva tudi meteorološke meritve iz štirih meteoroloških postaj. Upošteevajo se linijske meritve vertikalnega profila vetra in temperatur (SODAR, RASS) ter točkovne meritve (AMP-ji) osnovnih meteoroloških parametrov. Poleg vseh podatkov iz rednega obratovanja se morajo upoštevati tudi varnostni predpisi, ki obravnavajo možnost nezgodnega dogodka. V kolikor želimo vnaprej predvideti razplet nezgodnega dogodka, moramo poznati meteorološko napoved oz. prognozo. Tudi ta komponenta je popolnoma avtomatizirana in podaja izračune numerične vremenske napovedi v fini krajevni in časovni resoluciji (Mlakar in sod. 2015; Mlakar in sod., 2019). Posebna programska oprema na MEIS-u vsakodnevno, za sedem dni vnaprej

izvaja izračune za vremensko prognozo. Preko strežnika se pridobijo podatki za širšo okolico Slovenije (Global Forecast System – GFS) in se s pomočjo numerične modelne napovedi (The Weather Research and Forecasting – WRF) izdelajo izračuni, ki omejijo krajevno resolucijo celice na 2 km, za območje Krškega z okolico. Nato s pomočjo namenskih programov rezultate prognoze uporabijo za izračun disperzije z modeloma Minerve in SPRAY in končne rezultate avtomatsko pošljejo v EIS bazo NEK. Tam so nato rezultati kadarkoli na voljo operaterjem, da lahko z ustreznim orodjem (SW »DOZE«) izračunajo doze prebivalstva vnaprej ob morebitnem nezgodnem izpustu. Lahko pa prognozo disperzije uporabijo tudi za redne izpuste, če niso na voljo sprotne meteorološke meritve (Božnar in sod., 2018).



Slika 30: Multifunkcijski monitor radioaktivnega gama sevanja (MFM) v NEK



Slika 31: Meteorološka postaja NEK – Stolp (levo), BDKG merilnik na postaji NEK – Stolp (desno)

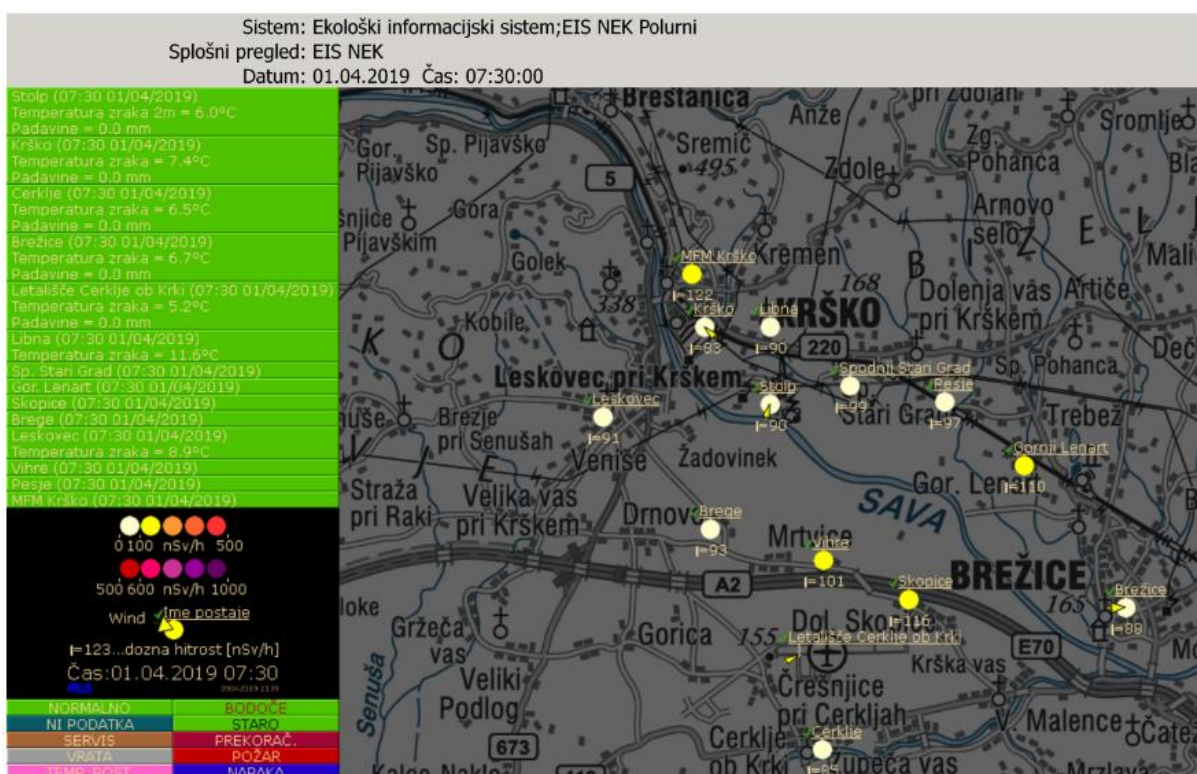


Slika 32: Del merilne postaje NEK – Stolp; levo na sliki je merilnik za hitrost vetra, desno merilnik za merjenje vlage in temperature zraka

3.3 Opis programa MUNGO

MUNGO je okrajšano ime programa, ki ga podjetje MEIS d. o. o. uporablja za numerično in grafično pregledovanje podatkov. Program prikazuje podatke tako v tabelarni kot tudi v grafični obliki, poleg tega pa je namenjen prikazu rezultatov modeliranja razširjanja onesnaženja v ozračju.

Osnovna slika programa (Slika 33) prikazuje izmerjene vrednosti iz vseh avtomatskih postaj v okviru okoljskega merilnega sistema na podlagi izbranega časovnega intervala. Omenjene avtomatske postaje so: MFM Krško, Krško, Leskovec, Libna, Stolp, Spodnji Stari Grad, Pesje, Brege, Gornji Lenart, Vihre, Skopice, Letališče Cerklje ob Krki, Cerklje ob Krki in Brežice.

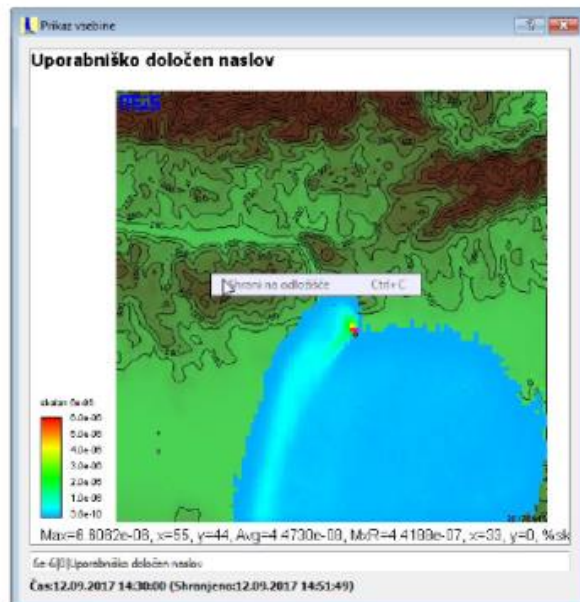
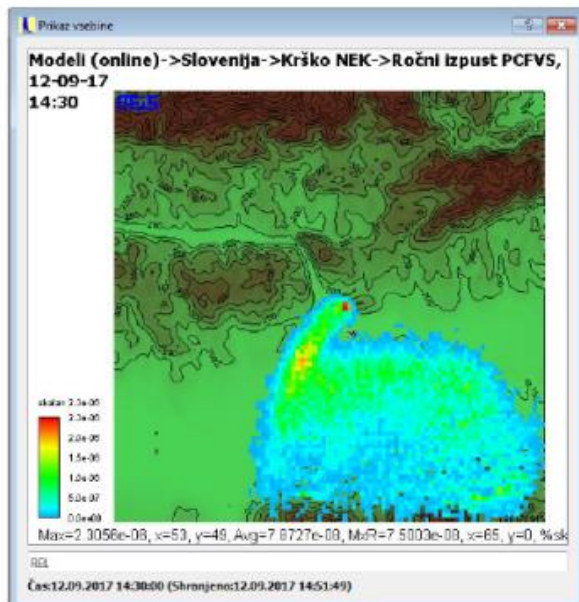
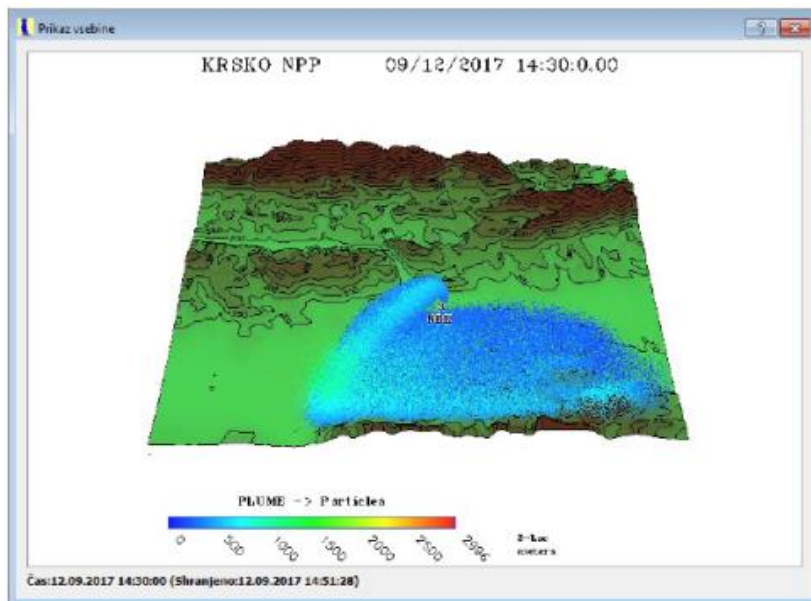


Slika 33: Osnovna slika programa MUNGO

Poleg grafičnega prikaza nam osnovna slika omogoča tudi pregled numerične preglednice za izbrani časovni interval.

Program omogoča različne prikaze za vsako izbrano postajo posebej za različno časovno obdobje. MUNGO prikazuje povprečne vrednosti vseh parametrov, rožo vetrov, hitrost in smer vetra na različnih višinah ter radiosondažne meritve vertikalnih profilov temperature, vlage in vetra do približno 3000 m visoko. Rezultati modeliranja razširjanja onesnaženja v ozračju so 2D polja relativnih koncentracij χ/Q in slike.

Slike (Slika 34) prikazujejo nekaj primerov prikazov, in sicer 3D razširjanje onesnaženja v domeni, 2D relativnih koncentracij χ/Q risanih z relativno skalo ali z uporabniško določeno skalo.



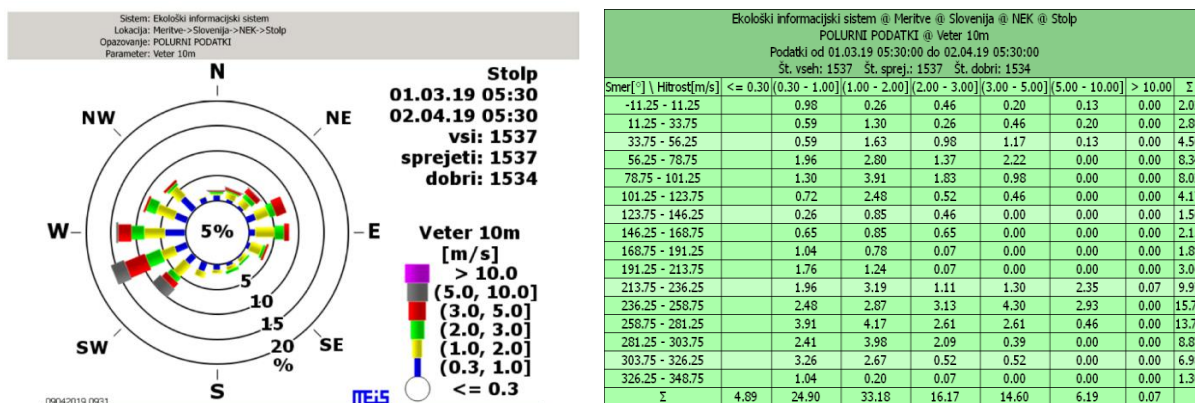
Slika 34: 3D razširjanje onesnaženja v domeni (slika zgoraj), 2D relativne koncentracije χ/Q risane z relativno skalo (spodaj levo) ali z uporabniško določeno skalo in naslovom (spodaj desno) (Vir: Božnar in sod., 2017)

3.3.1 Roža vetrov

Roža vetrov je polarni diagram na katerem so predstavljene strani neba (N-sever, NE-severovzhod, E-vzhod, SE-jugovzhod, S-jug, SW-jugozahod, W-zahod, NW-severozahod), z oznako smeri vetra, torej iz katere smeri piha veter (slednje je dogovor v meteorologiji).

Slika (Slika 35) prikazuje rožo vetrov za 16 smeri in 6 razredov hitrosti vetra. Legenda barvno ponazarja različne razrede hitrosti vetra, posamezni kraki določajo smeri iz katerih piha veter, v središču diagrama so predstavljeni odstotki brezvetrja in dolžina posameznih krakov je proporcionalna odstotku vetra iz tiste smeri in iz izbranega hitrostnega razreda. Na podlagi

diagrama se tako preštejejo vsi pojavi vetra v posameznem smernem sektorju. Znotraj izbranega sektorja se potem izmerjene vetre sortira v razrede po hitrosti. Nato se za vsak razred prešteje količino merilnih intervalov in izračuna delež v odstotkih. Vse podatke si lahko pogledamo tudi numerično (Božnar in sod., 2017).



Slika 35: Roža vetrov: levo grafični prikaz, desno numerični prikaz podatkov

Natančneje zgornja slika (Slika 35) prikazuje rožo vetrov za lokacijo NEK Stolp.

Opazovani so polurni podatki vetra na 10 m (smer in hitrost vetra) za obdobje od 01. 03. 2019, 05.30 do 02. 04. 2019, 05.30. Vseh merilnih intervalov je bilo 1537, od tega je bilo sprejetih 1537 in 1534 dobrih. Pojem »vsi« pomeni število vseh polurnih podatkov iz omenjenega obdobja, pojem »sprejeti« označuje vse podatke, ki jih je EIS sprejel in pojem »dobri« predstavlja vse veljavne podatke (neveljavni podatki so npr. v primeru, da kateri merilnik ne deluje pravilno in tako ne izmeri pravih vrednosti). Legenda (leva slika) prikazuje deleže različnih razredov hitrosti vetra izmerjenih v posamezni smeri. Hitrost vetra se meri v m/s. Bel krog označuje delež podatkov, ko je hitrost vetra manjša ali enaka 0,3 m/s, vsi nadaljnji razredi so barvno označeni glede na različne hitrosti vetra. Razredi vsebujejo okrogle in oglete oklepaje, kar pomeni npr. v modrem razredu so vključeni vsi podatki, kjer je hitrost vetra med 0.3 in 1.0, vendar vrednost 0.3 zaradi okroglega oklepaja ni vključena v ta razred, vrednost 1.0 pa je vključena. Maksimalne hitrosti so označene z vijolično barvo. Na desni strani slike so podatki prikazani tudi numerično. Za vsako kombinacijo smer / razred je izpisan relativni delež (v odstotkih) števila takih meritev glede na število dobrih podatkov.

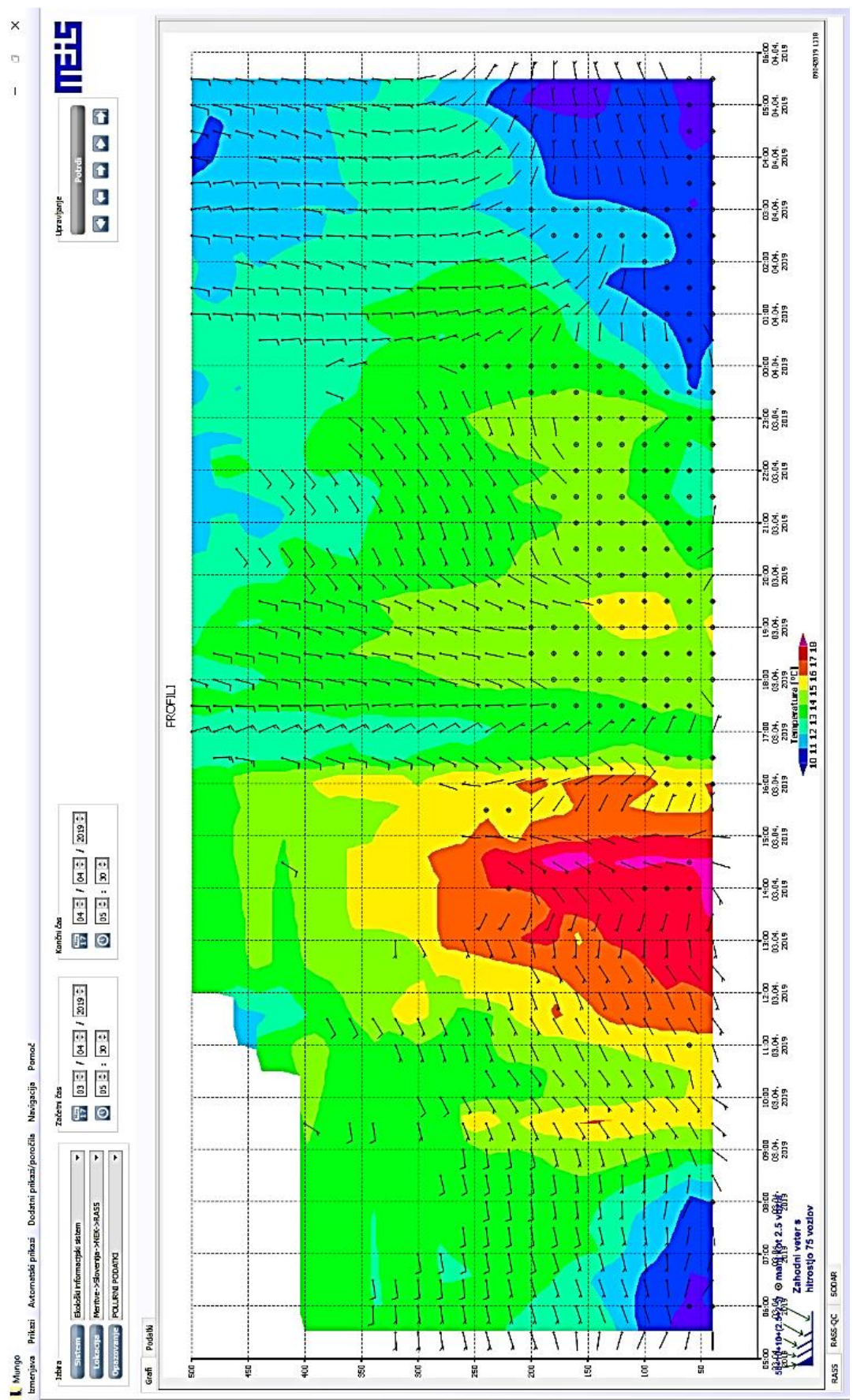
3.3.2 Prikaz SODAR/RASS

Instrument, ki meri hitrost in smer vetra na različnih višinah z oddajanjem zvočnih valov, se imenuje SODAR. Razširjen instrument SODAR, ki meri še temperaturo zraka na različnih višinah s pomočjo oddajanja radijskih valov, se imenuje RASS. Glede na izbrane parametre nam tako program grafično izriše rezultate meritev tega instrumenta (Božnar in sod., 2017).

Na grafičnem časovnem prikazu (Slika 36) je z barvami prikazan temperaturni profil v odvisnosti od višine glede na barvno skalo (ta se samodejno prilagaja izmerjenim vrednostim) in je izrisana spodaj na grafu. Prikazana sta pa tudi smer in hitrost vetra s posebnimi puščicami (standardni meteorološki prikaz vetra). Pomen simbolov:

- krog pomeni brezvetrje,
- paličica veter 2,5 vozla (približno 1,25 m/s),
- kratek repek 5 vozlov (približno 2,5 m/s),
- dolg repek (zastavica) 10 vozlov (približno 5 m/s),
- trikotnik pa 50 vozlov (približno 25 m/s).

Veter piha v smeri od repkov proti začetku puščice (Božnar in sod., 2017).



Slika 36: RASS profil

Poleg omenjenega grafičnega prikaza lahko izbiramo še tabelični prikaz podatkov.

3.3.3 Prikaz profilov

Radiosondažne meritve vertikalnih profilov temperature, vetra in vlage se izvajajo do približno 3000 m na lokaciji ARSO v Ljubljani. Prav tako so nam v enaki obliki na voljo tudi rezultati vremenskega modela za izbrane profile v modelirani domeni. Z grafičnim prikazom se z ustreznimi barvnimi krivuljami prikaže temperaturni profil v odvisnosti od višine glede na barvno skalo (ta se samodejno prilagaja izmerjenim vrednostim). Barvno ozadje nam pa prikazuje profil relativne vlage zraka in sicer v odvisnosti od višine (samodejno prilagajanje vrednostim) (Božnar in sod., 2017).

3.3.4 Prikaz grafa in poročil

Program omogoča grafični prikaz povprečnih vrednosti štirih poljubno izbranih parametrov merilnega sistema za poljubno izbran časovni interval. Določi se število krivulj oziroma parametrov, ki jih želimo prikazati (1, 2, 3 ali 4), vrsto krivulj (zvezno ali nezvezno), območje (absolutno ali relativno) in vrsto (linearno ali logaritemsko) skale ter upoštevanje veljavnosti (Božnar in sod., 2017). Naknadno lahko dodamo tudi poljubno število krivulj. Ko izbrani nabor krivulj izrišemo kot graf, ga lahko poimenujemo za poročilo in nabor shranimo za nadaljnjo uporabo.

Vsa grafična dnevna poročila, numerično dnevna in numerično mesečna poročila so dostopna v programu in se jih lahko izvozi kot PDF datoteko.

3.4 Opis vhodnih podatkov za analizo

DIAGNOZA:

Model uporablja diagnostični meteorološki opis območja na podlagi različnih meritev. Te vključujejo meteorološke talne meritve z merjenjem hitrosti vetra na višini 10 m iz postaj Krško, Brežice in Cerklje ob Krki, prav tako pa sta v te meritve vključena tudi meteorološki stolp in RASS. Oba omenjena merilnika sta postavljena v bližini NEK. Stolp meri veter, temperaturo in relativno vlažnost zraka na 10 m, 40 m in 70 m, globalno sončno sevanje na 2 m, RASS pa meri vertikalni profil vetra in temperature do 500 m nad tlemi (hitrost in smer vetra ali temperaturo po nivojih). Poleg vseh naštetih vhodov se upoštevajo tudi statični vhodi. Statični vhod je lokacija NEK, torej geografska lokacija glavne ventilacije »Plant vent« na višini 60 m in digitalni model višin. Avtomatsko delujoči model razširjanja onesnaževanja v ozračju nato izračunava relativno koncentracijo oz. razredčitvene koeficiente na podlagi enotske emisije (hitrost emisije je 1, enota je 1/s). To pomeni, da namesto pravih koncentracij uporabijo normaliziran izpust 1 iz Plant vent-a.

PROGNOZA:

Pri prognostični meteorologiji ravnajo podobno, le da iz meteorološke prognoze ekstrahirajo podatke enako, kot bi imeli merilne postaje. Model za širjenje onesnaženja v ozračju je v principu isti, vendar imamo v enem primeru dejanske meritve, v drugem pa izvoženo obdelano vremensko prognozo. Torej vhodi v ponazoritev 3D meteorologije so enkrat merjeni meteorološki podatki, drugič pa prognozirani meteorološki podatki. Avtomatsko delujoči model razširjanja onesnaževanja v ozračju nato izračunava relativno koncentracijo oz. razredčitvene

koeficiente na podlagi enotske emisije (hitrost emisije je 1, enota je 1/s). To pomeni, da uporabijo namesto pravih koncentracij normaliziran izpust 1 iz Plant vent-a.

Opisan postopek prikazuje pot izračuna relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov, katere sem obravnavala. Obravnave rezultatov se izvajajo na različnih lokacijah in vsi zbrani podatki v magistrski nalogi so rezultat na teh lokacijah. Poudariti je potrebno, da so bile lokacije vzorčevanja predhodno že izbrane in se za to nalogo novih lokacij ni iskalo. Izbira vzorčevalnih lokacij temelji na podlagi poročil Instituta Jožef Stefan (v nadaljevanju IJS). Dodatno so izbrane že obstoječe lokacije MFM-jev.

Vse obravnavane rezultate sem izdelala v izbranih točkah, ni pa predmet magistrske naloge obravnavati rezultatov za celotno talno ploskev (kot matrike, ploskovni rezultati), ker bi to glede težavnosti bistveno presevalo nalogo.

4 METODOLOGIJA DELA

4.1 ISO 9001 in povezava z vhodnimi podatki za model

Standard ISO 9001 predpisuje, da se uporabljajo pristopi, ki zagotavljajo dosledno sledljivost celotnega izvedenega postopka obravnave problematike. ISO 9001 spodbuja svoj način zapisovanja vseh dogodkov, ki so pomembni v verigi dogodkov zagotavljanja kvalitete. V mojem primeru so vsi zapiski urejeni na dosleden način, skupaj s podjetjem MEIS d. o. o. sem si pripravila načrt označevanja oz. poimenovanja datotek, ki sem shranjevala tako na računalnik kot tudi dodatno na USB ključek. Zapisi so v pisni in slikovni obliki. Vsi sestanki na podjetju MEIS d. o. o. so tudi v audio obliki. Posredno vse zapise prav tako vodi podjetje MEIS d. o. o. na svojih računalnikih. Kopije so shranjene tudi na CD-ju pri meni.

Vse podatke sem zbirala sistematično, izračune in grafe sem izvedla s pomočjo programa Excel, izrisi QQP so narejeni s pomočjo programa Matlab. Skozi celotni potek dela smo izvajali samopreverjanja in tako potrjevali pravilno izvedbo prenosa podatkov ter vseh izračunov.

Vsi podatki, ki sem jih posredno uporabila in so bili podlaga za izračune, so stalno nadzorovani s procedurami, ki jih imajo v podjetju MEIS in so si jih prepisali po ISO standardu 9001.

4.2 Uporabljene statistične metode

Urejeni podatki so bili ključni za statistične izračune. Za statistične izračune sem uporabila naslednje cenilke:

- CORREL (R): Pearsonov korelacijski koeficient, ki govori o povezanosti dveh razmernostnih spremenljivk. Obstaja negativna in pozitivna povezanost. V tem primeru lahko govorimo, da sta spremenljivki med seboj povezani. V kolikor spremenljivki nista pozitivno niti negativno povezani, pravimo, da nista v korelaciji. Bolj ko se bliža 1 oz. -1, večja je povezanost.

Enačba 5: Pearsonov korelacijski koeficient (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (E(\hat{y}_i) - E(\hat{y})) (y_i - E(y))}{N \sigma_y \sigma_{\hat{y}}}, \text{ kjer je}$$

R . . . Pearsonov korelacijski koeficient

N . . . število uporabljenih opazovanj

y_i . . . diagnoza v koraku i

\hat{y}_i . . . prognoza v koraku i

$E(\hat{y})$. . . srednja vrednost vektorja napovedi

σ_y . . . standardna deviacija diagnoze

$\sigma_{\hat{y}}$. . . standardna deviacija prognoze

- *RMSE*: koren srednje kvadratne napake oz. standardni odklon napake napovedi – pove nam kako so razpršene oz. koncentrirane te točke okoli premice najboljšega ujemanja. Vrednost 0 je merilo odličnosti.

Enačba 6: Koren srednje kvadratne napake oz. standardni odklon napake napovedi (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E(\hat{y}_i) - y_i)^2}$$

- *MFB*: merilo za povprečni odklon napovedi. Pozitivna vrednost cenilke pomeni, da je model večkrat prognoziral večjo vrednost kot je meritev, torej pomeni da model precenjuje vrednost izmerjenega parametra, negativna vrednost cenilke pa pomeni, da podcenjuje. Vrednosti MFB-ja so od -2 do 2, vrednost 0 je idealna.

Enačba 7: Povprečni odklon napovedi (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)

$$MFB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{E(\hat{y}_i) - y_i}{\frac{1}{2}(E(\hat{y}_i) + y_i)}$$

- *FAC2*: »FAKTOR 2« označuje delež podatkov, ki izpolnjuje pogoj iz enačbe. Vrednosti so med 0 in 1, pri čemer je vrednost 1 merilo odličnega modela.

Enačba 8: FAKTOR2 (Vir: MEIS d. o. o., Cenilke za validacijo)

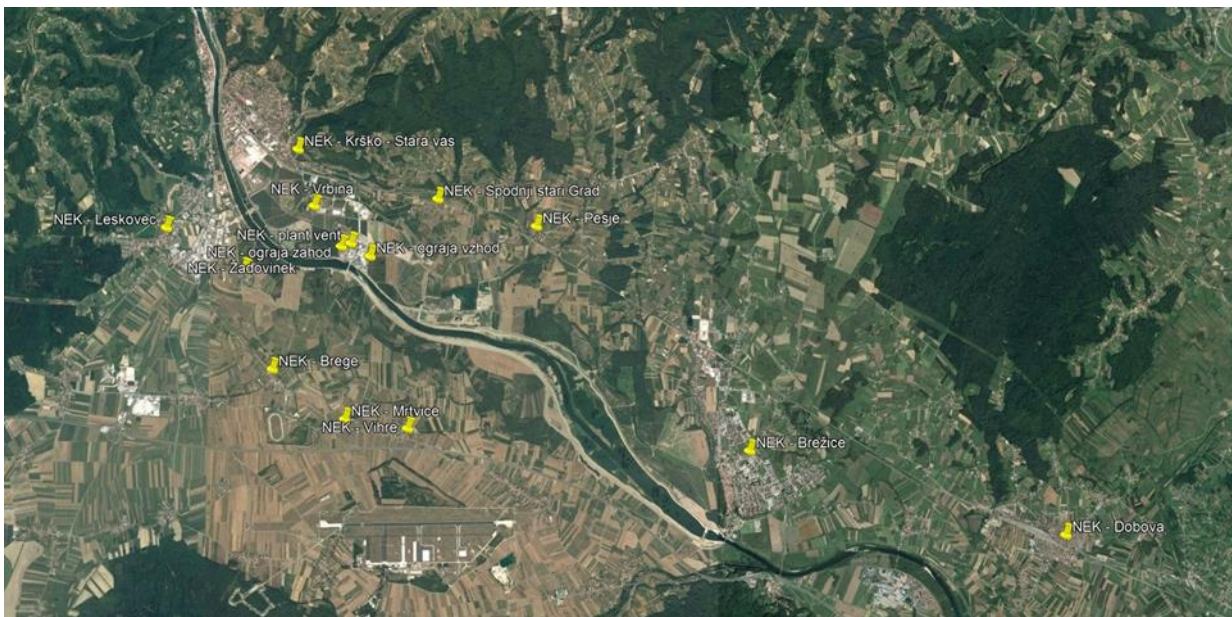
$$FAC2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i ; n_i = \begin{cases} 1 & \text{za } 0.5 \leq \left| \frac{E(\hat{y}_i)}{y_i} \right| \leq 2, \\ 0 & \text{ostalo.} \end{cases}$$

- *MSE*: povprečna kvadratna napaka.
- R^2 : determinacijski koeficient. R^2 pojasnjuje, v kolikšni meri varianca ene spremenljivke pojasnjuje varianco druge spremenljivke.

5 MERITVE IN IZRAČUNI

Meritve in izračuni so bili iz baze avtomatsko preneseni v tekstovne datoteke, ki sem jih uporabila za obravnavo v tej nalogi, za 13 različnih lokacij vzorčenja v okolici NEK za leto 2018. Lokacije so vidne na spodnjem zemljevidu (Slika 37), in sicer so:

- NEK - ograja zahod,
- NEK - ograja vzhod,
- Spodnji Stari Grad,
- Vrbina,
- Brežice,
- Vihre,
- Mrtvice,
- Brege,
- Žadovinek,
- Leskovec,
- Krško - Stara Vas,
- Pesje in
- Dobova.



Slika 37: Zemljevid lokacij (Vir: MEIS d. o. o.), prikaz na Google zemljevidu

V spodnji preglednici (Preglednica 6) je prikaz vseh zgoraj omenjenih lokacij urejenih po oddaljenosti od NEK. Postaje si sledijo od najmanj do najbolj oddaljene od NEK. Številčenje postaj ustreza številčenju iz programa MUNGO.

Preglednica 6: Razvrstitev lokacij po oddaljenosti od NEK

Št.	Lokacija	Oddaljenost merilnih postaj od NEK (km)
1	NEK - ograja zahod	0,16
2	NEK - ograja vzhod	0,37
4	Vrbina	0,84
3	Spodnji Stari Grad	1,55
11	Krško - Stara Vas	1,73
9	Žadovinek	1,74
8	Brege	2,33
7	Mrtvice	2,77
10	Leskovec	2,93
12	Pesje	2,96
6	Vihre	3,06
5	Brežice	7,11
13	Dobova	12,15

V magistrski nalogi pri zbiranju podatkov in pri urejanju teh opisujem dve predstavitvi rezultatov. V prvem delu so predstavljeni vsi statistični rezultati za eno lokacijo, za Leskovec pri Krškem, in samo QQP-i za vse ostale lokacije, v drugem delu so pa predstavljeni rezultati glede na oddaljenost od NEK in ne glede na merilne postaje oz. lokacije.

Podatki so bili preneseni iz programa Mungo kot »ASCII« datoteke v Notepad in so bili nato urejeni v grafe in cenilke s pomočjo Excela. Podatki so zajemali vsako lokacijo posebej in njene relativne koncentracije oz. razredčitvene koeficiente za vsake pol ure za celotno leto 2018. Referenčne podatke, ki jih je zame predstavljala diagnoza Plant vent (etalon), sem primerjala s prognostičnimi podatki za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej. Datoteko vhodnih podatkov sem najprej uredila tako, da sem za vse časovne intervale manjkajoče podatke izločila iz preglednice (npr. v kolikor je bil podatek za diagnozo, a ga za prognozo ni bilo ter obratno, sem oba podatka izbrisala) in za nadaljnjo rabo upoštevala izključno tako prečiščene podatke. Nato sem izdelala časovni diagram relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov (skupaj za diagnozo in prognozo), statistične rezultate, QQP in na koncu še centile.

Za vsako posamezno postajo je vseh podatkov 17521 (polurni podatki za obdobje od 01. 01. 2018, 00.00 do vključno 01. 01. 2019, 00.00), od tega je manjkajočih 126 podatkov (to je manj kot 1 %). Ker model naredi rezultat hkrati za vse te postaje, so manjkajoči podatki za vse postaje enaki.

Preglednica 7: Prikaz delnih podatkov diagnoze (DIAG LES) in prognoze (P1 LES) za lokacijo Leskovec pri Krškem

Modeli (online)		Modeli (online)		CENILKE					
Slovenija		Slovenija							
Krško NEK		MNEK25P01							
Plant vent.		Plant vent.							
1/2-urni		1/2-urni							
X/Q		X/Q							
Povp. (Leskovec)		Povp. (Leskovec)							
s/m3		s/m3							
DATUM (DIAG+P1)	DIAG LES	P1 LES	ERR	ABS(ERR)	ERR*ERR	MFB	FAC2		
8.1.2018 14:30	3,35E-08	2,54E-06	2,51E-06	2,51E-06	6,28E-12	1,95	0		
8.1.2018 15:00	3,85E-07	1,59E-06	1,21E-06	1,21E-06	1,45E-12	1,22	0		
8.1.2018 15:30	1,00E-07	0,00E+00	-1,00E-07	1,00E-07	1,00E-14	-2,00	0		
8.1.2018 16:00	8,37E-07	1,14E-07	-7,23E-07	7,23E-07	5,23E-13	-1,52	0		
8.1.2018 16:30	1,09E-06	1,52E-07	-9,38E-07	9,38E-07	8,80E-13	-1,51	0		
8.1.2018 17:00	2,43E-06	1,06E-06	-1,37E-06	1,37E-06	1,88E-12	-0,79	0		
8.1.2018 17:30	1,96E-06	1,48E-06	-4,80E-07	4,80E-07	2,30E-13	-0,28	1		
8.1.2018 18:00	1,76E-06	1,29E-06	-4,70E-07	4,70E-07	2,21E-13	-0,31	1		
8.1.2018 18:30	1,61E-06	6,83E-07	-9,27E-07	9,27E-07	8,59E-13	-0,81	0		
8.1.2018 19:00	1,16E-06	1,14E-07	-1,05E-06	1,05E-06	1,09E-12	-1,64	0		
8.1.2018 19:30	8,20E-07	1,14E-07	-7,06E-07	7,06E-07	4,98E-13	-1,51	0		
8.1.2018 20:00	9,04E-07	2,16E-06	1,26E-06	1,26E-06	1,58E-12	0,82	0		
8.1.2018 20:30	1,00E-06	1,48E-06	4,80E-07	4,80E-07	2,30E-13	0,39	1		
8.1.2018 21:00	8,87E-07	3,79E-08	-8,49E-07	8,49E-07	7,21E-13	-1,84	0		
8.1.2018 21:30	3,08E-06	1,10E-06	-1,98E-06	1,98E-06	3,92E-12	-0,95	0		
8.1.2018 22:00	2,79E-06	2,28E-07	-2,56E-06	2,56E-06	6,56E-12	-1,70	0		
8.1.2018 22:30	2,53E-06	1,90E-07	-2,34E-06	2,34E-06	5,48E-12	-1,72	0		
8.1.2018 23:00	1,62E-06	1,37E-06	-2,50E-07	2,50E-07	6,25E-14	-0,17	1		
8.1.2018 23:30	7,86E-07	0,00E+00	-7,86E-07	7,86E-07	6,18E-13	-2,00	0		
9.1.2018 0:00	7,86E-07	0,00E+00	-7,86E-07	7,86E-07	6,18E-13	-2,00	0		
9.1.2018 0:30	3,35E-08	0,00E+00	-3,35E-08	3,35E-08	1,12E-15	-2,00	0		
9.1.2018 1:00	2,01E-07	0,00E+00	-2,01E-07	2,01E-07	4,04E-14	-2,00	0		
9.1.2018 1:30	1,29E-06	0,00E+00	-1,29E-06	1,29E-06	1,66E-12	-2,00	0		
9.1.2018 2:00	4,18E-07	0,00E+00	-4,18E-07	4,18E-07	1,75E-13	-2,00	0		
9.1.2018 2:30	3,35E-08	0,00E+00	-3,35E-08	3,35E-08	1,12E-15	-2,00	0		
9.1.2018 3:00	1,34E-07	0,00E+00	-1,34E-07	1,34E-07	1,80E-14	-2,00	0		
9.1.2018 3:30	1,22E-06	0,00E+00	-1,22E-06	1,22E-06	1,49E-12	-2,00	0		
9.1.2018 4:00	1,34E-06	0,00E+00	-1,34E-06	1,34E-06	1,80E-12	-2,00	0		
9.1.2018 4:30	3,85E-07	0,00E+00	-3,85E-07	3,85E-07	1,48E-13	-2,00	0		
9.1.2018 5:00	3,35E-08	0,00E+00	-3,35E-08	3,35E-08	1,12E-15	-2,00	0		
9.1.2018 5:30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0		
9.1.2018 6:00	5,02E-08	0,00E+00	-5,02E-08	5,02E-08	2,52E-15	-2,00	0		
9.1.2018 6:30	1,17E-07	0,00E+00	-1,17E-07	1,17E-07	1,37E-14	-2,00	0		
9.1.2018 7:00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0		
9.1.2018 7:30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0		
9.1.2018 8:00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0		
9.1.2018 8:30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0		
9.1.2018 9:00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00	0		
9.1.2018 9:30	1,67E-08	0,00E+00	-1,67E-08	1,67E-08	2,79E-16	-2,00	0		
9.1.2018 10:00	7,70E-07	0,00E+00	-7,70E-07	7,70E-07	5,93E-13	-2,00	0		
9.1.2018 10:30	3,35E-08	0,00E+00	-3,35E-08	3,35E-08	1,12E-15	-2,00	0		

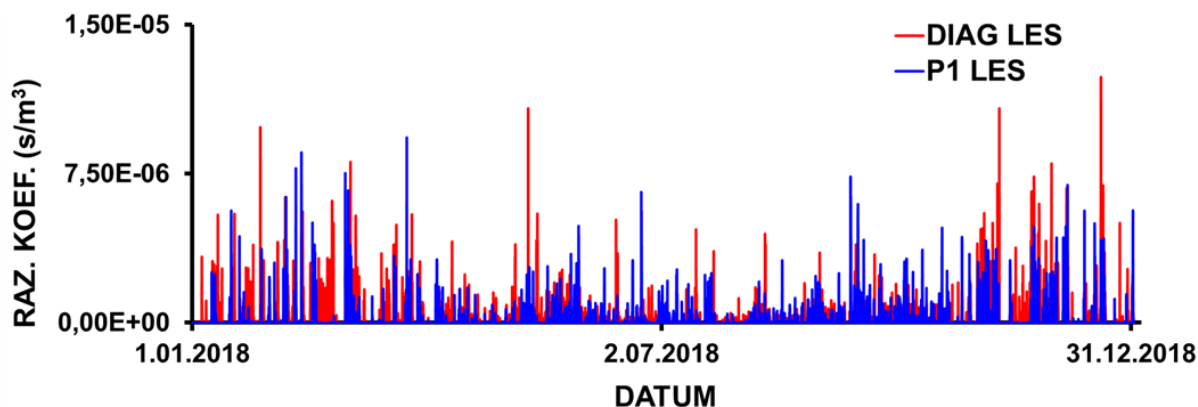
Zgornja preglednica (Preglednica 7) prikazuje delne, že prečiščene podatke (brez manjkajočih podatkov), izvožene iz programa MUNGO. V prvem stolpcu sta vidna datum in ura (polurni podatki), drugi stolpec obarvan oranžno prikazuje diagnostične podatke za lokacijo Leskovec pri Krškem, medtem ko stolpec obarvan zeleno prikazuje prognostične podatke za en dan vnaprej (P1), prav tako za lokacijo Leskovec pri Krškem. Naslednjih pet stolpcev je bilo namenjenih izračunom cenilk (glej tudi Preglednica 8).

Zaradi preobsežnosti podatkov je zgornja preglednica (Preglednica 7) le delni prikaz urejenosti mojih datotek, načina poteka izračunov in sistematičnega zaporedja podatkov. Prikazanih je le nekaj zaporednih podatkov iz celotnega niza (50 podatkov). Ostale datoteke za vse lokacije posebej, so urejene na enak način.

6 REZULTATI IN RAZPRAVA O REZULTATIH

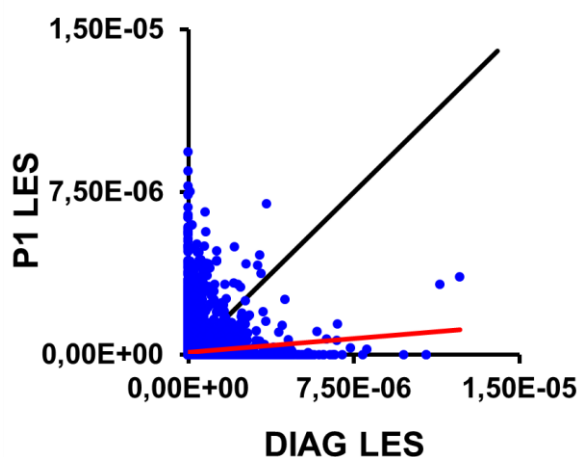
6.1 Rezultati za lokacijo Leskovec pri Krškem

Leskovec pri Krškem je lociran zahodno od NEK in od NEK oddaljen 2,93 km. Spodnja slika (Slika 38) prikazuje časovni diagram od 01. 01. 2018 do 31. 12. 2018 relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov tako za diagnozo kot tudi ta prognozo (P1). V časovnem grafu so prikazani vsi izbrani podatki, v nadaljevanju so za naslednje primerjave in grafične predstavitve, so pa manjkajoči podatki izvzeti.



Slika 38: Časovni graf med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Leskovec pri Krškem (LES)

Iz izbranih rezultatov sem izdelala še grafično predstavitev v obliki razsevnega diagrama in QQP (Slika 39 in Slika 40). Spodaj je podana tudi razširjena preglednica rezultatov statističnih cenilk.



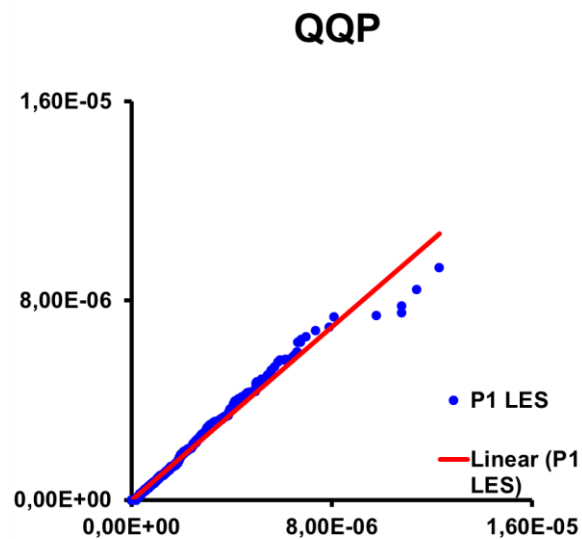
R = 0,096 RMSE = 6,95E-07
R² = 0,009 MSE = 4,82E-13

Slika 39: Primerjava diagnoze in prognoze (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov z grafom za lokacijo Leskovec pri Krškem (LES)

Preglednica 8: Statistične cenilke za lokacijo Leskovec pri Krškem

Statistične cenilke	Vrednosti
R	9,62E-02
RMSE	6,95E-07
MFB	-2,98E-01
FAC2	1,06E-01
MSE	4,82E-13
R ²	9,26E-03

Zgornja grafa (časovni graf in razsevni diagram, Slika 38 in Slika 39) nam prikažeta, da diagnoza in prognoza (P1) nista linearno povezani. Med temi podatki ni linearne povezave. V časovnem grafu že na prvi pogled opazimo veliko razlikovanje, kot da bi bila to dva naključna signala. Tudi statistične cenilke (Preglednica 8) nam povedo, da prognoza in diagnoza v kraju in času skoraj nista linearno povezani. Črna premica prikazuje 45° in ponazarja ideal - ko so meritve enake diagnozi (pri Šoštanju) oziroma prognoze enake diagnozam (pri NEK), rdeča premica je pa linearna aproksimacija vseh narisanih točk (po metodi najmanjših kvadratov), ki nam tudi vizuelno nazorno pokaže, koliko se približamo zaželeni črni premici. Kadar se rdeča in črna premica prekrivata, govorimo o idealnih modelih.



Slika 40: Primerjava diagnoze in prognoze (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov s QQP za lokacijo Leskovec pri Krškem (LES)

Boljše rezultate smo pridobili z uporabo QQP (Slika 40). V tem primeru smo gledali samo krajevno ujemanje (lokacija Leskovec pri Krškem), časovnega pa ne.

Na koncu sem podatke uporabila še za predstavitev centilov, in sicer za 50, 75, 85, 90 in 95 centil.

Preglednica 9: Centili diagnoze za lokacijo Leskovec pri Krškem

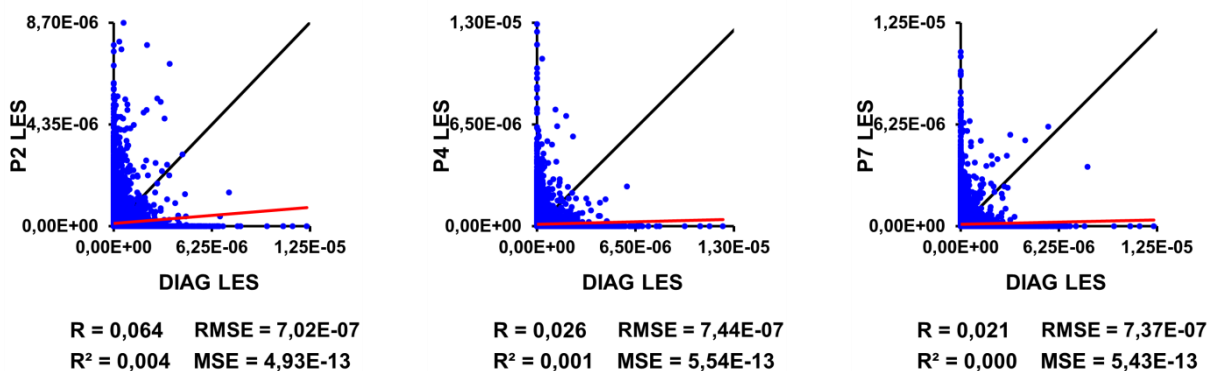
Centil Relativne koncentracije	
50	0,00E+00
75	8,37E-08
85	2,51E-07
90	4,35E-07
95	9,20E-07

Preglednica 10: Centili prognoze za lokacijo Leskovec pri Krškem

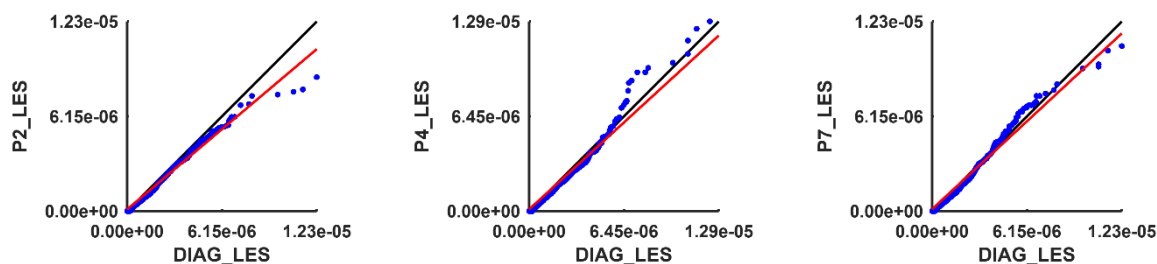
Centil Relativne koncentracije	
50	0,00E+00
75	0,00E+00
85	1,14E-07
90	3,03E-07
95	7,21E-07

Iz zgornjih preglednic (Preglednica 9 in Preglednica 10) je razvidno, da je npr. 90 centil pri diagnozi v točki 4,35E-07, medtem ko je 90 centil pri prognozi 3,03E-07, kar pomeni dobro ujemanje.

Na enak način kot prej omenjene diagnostične rezultate in prognozo za 1 dan (P1), sem nato pridobivala in analizirala tudi prognostične rezultate za 2, 4 in 7 dni vnaprej. Najprej so podani grafični prikazi razsevnih diagramov (Slika 41), nato še QQP (Slika 42). Vse omenjene grafične predstavitve se nanašajo na lokacijo Leskovec pri Krškem.



Slika 41: Prikaz razsevnih diagramov med diagnozo in prognozami relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 2, 4 in 7 dni vnaprej

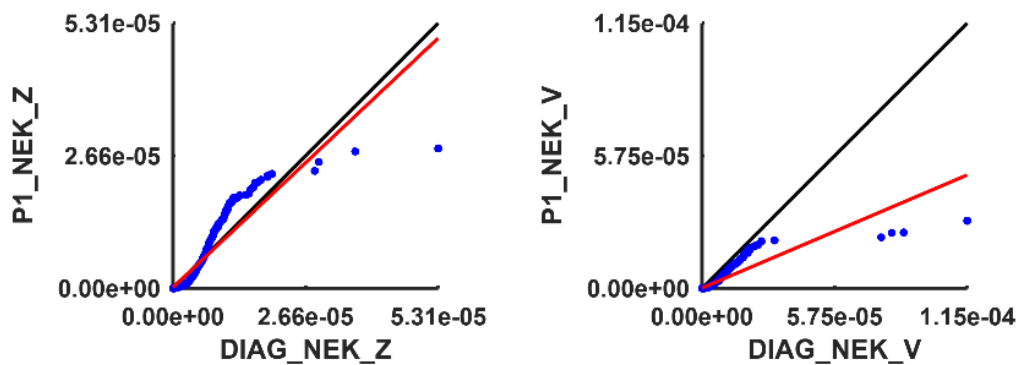


Slika 42: QQP prikazi med diagnozo in prognozami relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 2, 4 in 7 dni vnaprej

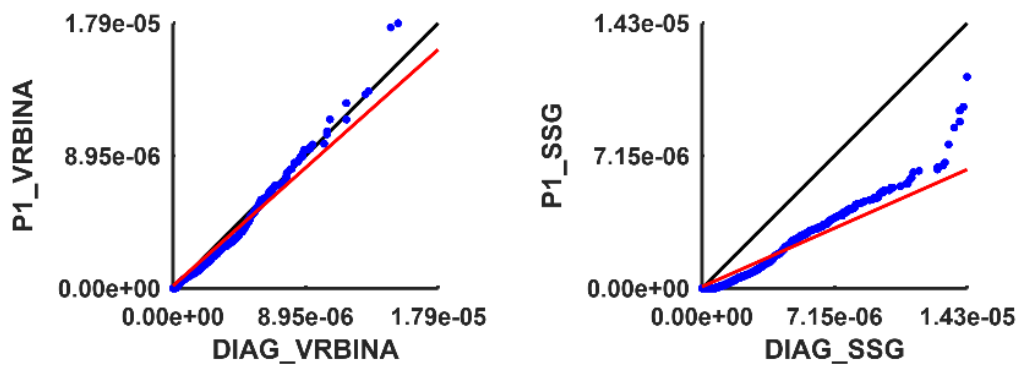
Ker zgornji prikazi rezultatov (razsevni diagrami in statistične cenilke) niso pokazali dobrega ujemanja, smo se odločili, da v nadaljevanju za vse ostale lokacije prikažemo samo QQP.

6.2 Prikaz rezultatov med diagnozo in prognozo (P1) s QQP za vse obravnavane lokacije

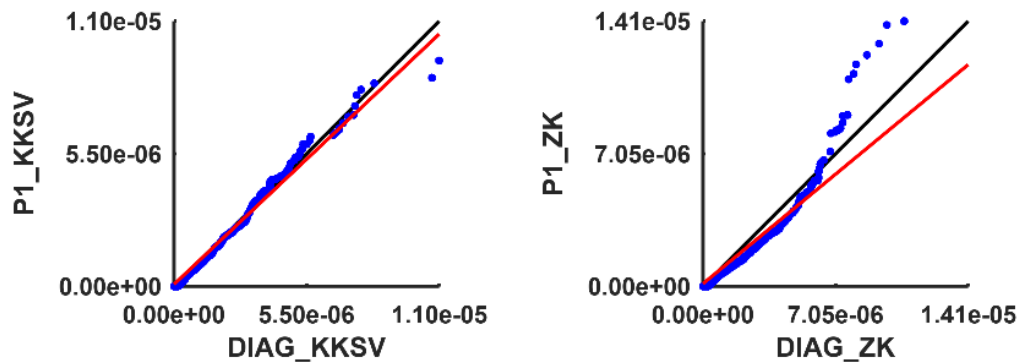
V tem podpoglavju so prikazani rezultati za vse obravnavane lokacije, in sicer samo QQP, ker ostali načini prikazov ne kažejo uporabne informacije o kvaliteti. Grafi lokacij so razvrščeni po oddaljenosti od NEK, od najmanj do najbolj oddaljene. Oddaljenosti so prikazane v poglavju 5 (Preglednica 6).



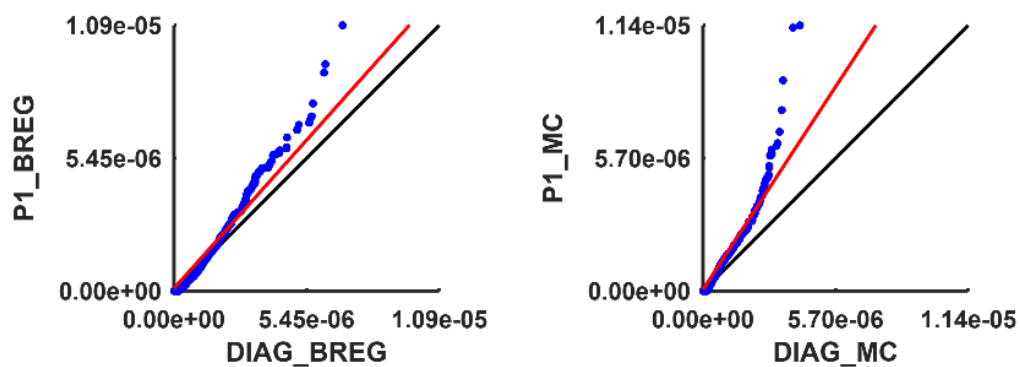
Slika 43: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo NEK zahod (levo) in NEK vzhod (desno)



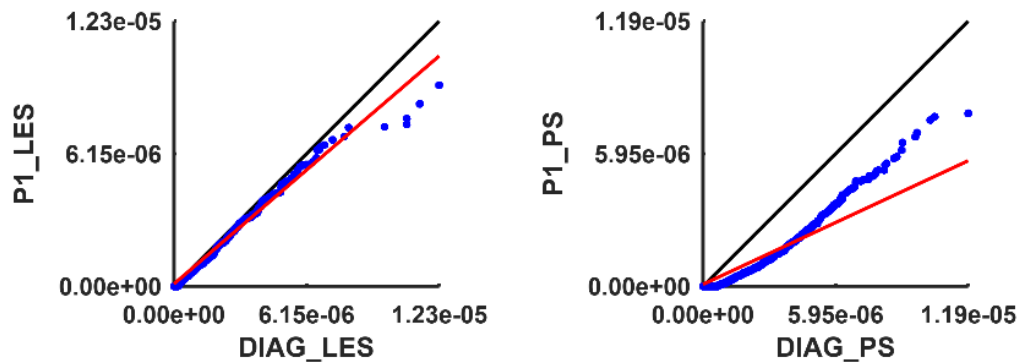
Slika 44: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Vrbina (levo) in Spodnji Stari Grad (desno)



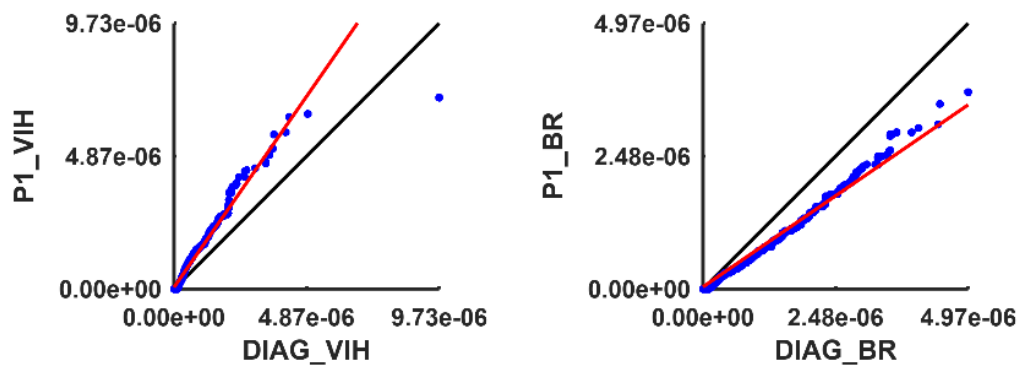
Slika 45: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Krško – Stara vas (levo) in Žadovinek (desno)



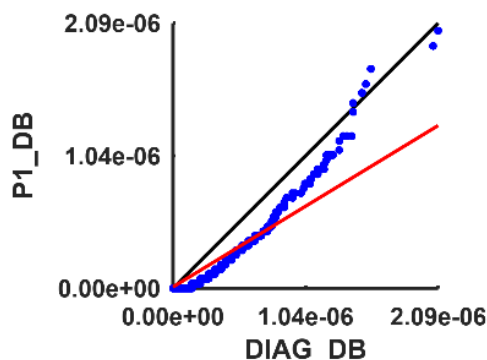
Slika 46: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Brege (levo) in Mrtvice (desno)



Slika 47: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Leskovec pri Krškem (levo) in Pesje (desno)



Slika 48: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Vihre (levo) in Brežice (desno)

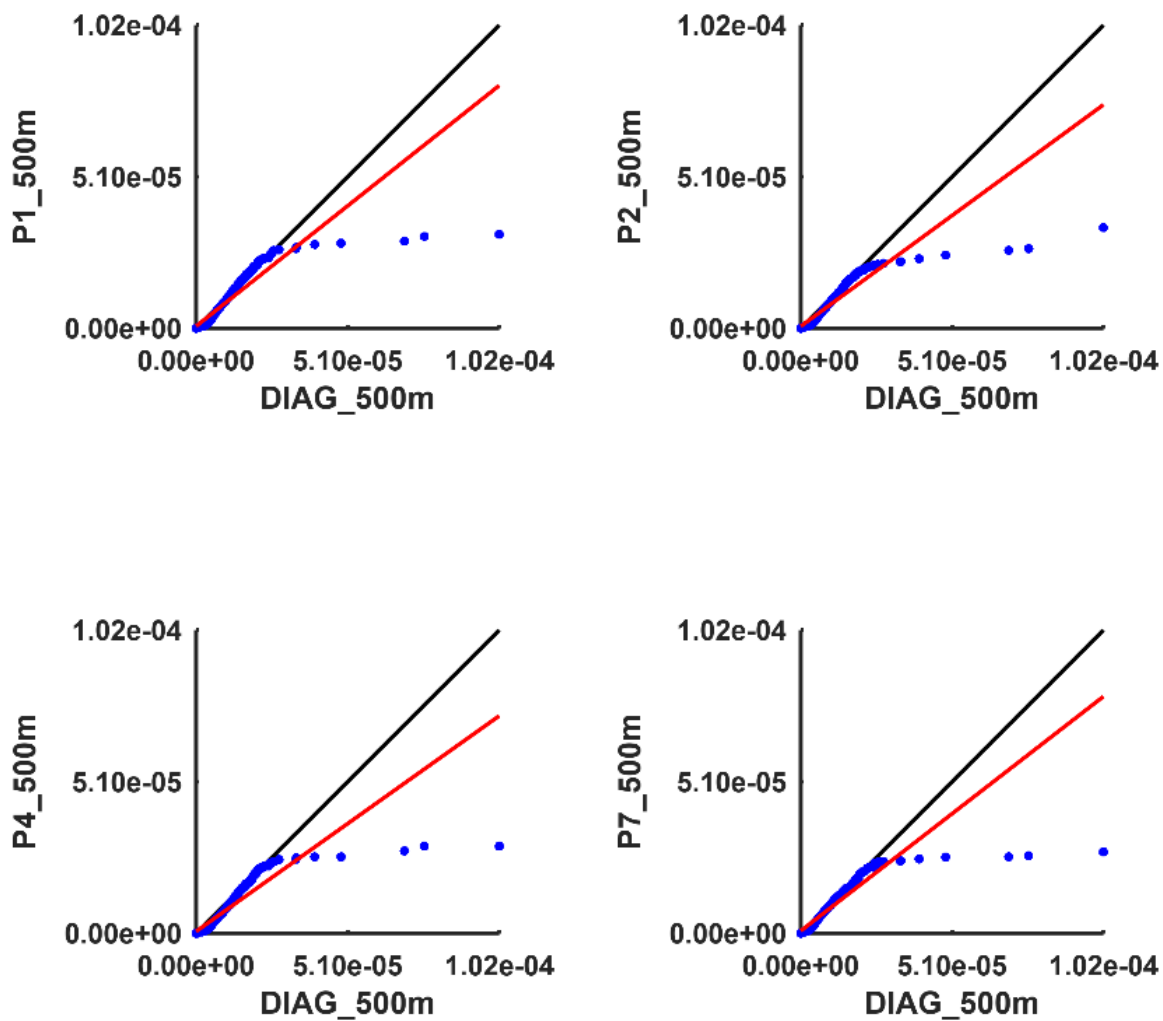


Slika 49: Primerjava med diagnozo in prognozo (P1) relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za lokacijo Dobova

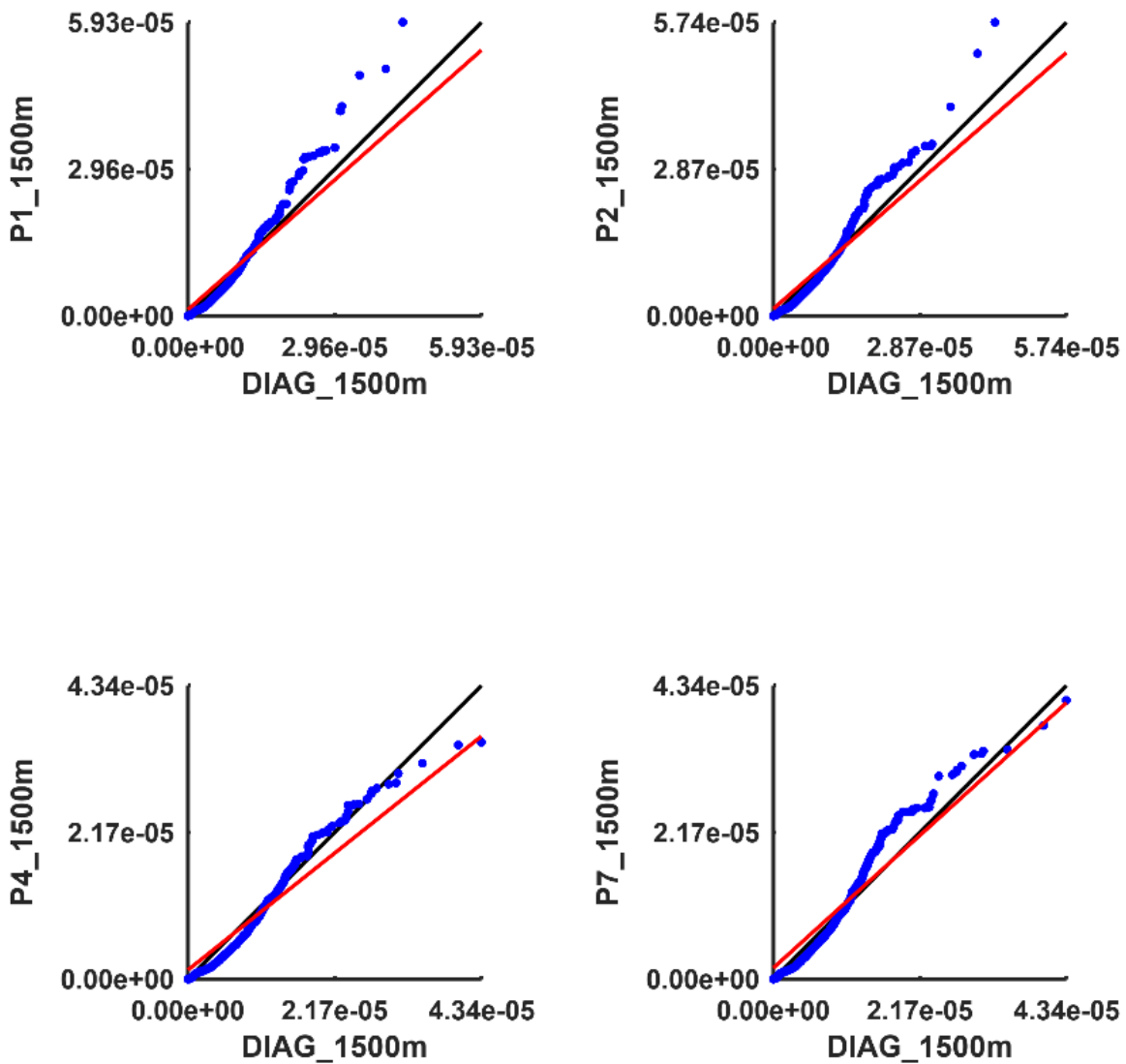
Rezultati so pokazali, da je za nekatere lokacije prognoza precenjena glede na diagnozo, za druge lokacije pa je podcenjena glede na diagnozo. QQP nam pokažejo, da v kolikor so točke bolj oddaljene od 45° črte, slabše je ujemanje. Prikaz odličnih rezultatov so lokacije: Vrbinja, Krško – Stara vas, Leskovec pri Krškem, Brežice in Dobova. Za vse te lokacije lahko potrdimo, da je za statistično vrednotenje vpliva NEK za obdobje 1 leta, prognoza za en dan vnaprej (P1) zelo podobna diagnozi. Žadovinec, Brege, Vihre, Mrtvice in Pesje so prikaz solidno dobrih rezultatov. Zelo odstopajoče vrednosti so na lokacijah v neposredni bližini NEK. To so lokacija NEK zahod in vzhod ter Spodnji Stari Grad. V neposredni bližini vira vsi modeli zelo težko pravilno določijo koncentracije. Napake, ki jih doprinesejo formule npr. formula za dimni dvig; formula za obtok vetra ob objektu; formule, ki ponazarjajo turbulentnost, ind.; vse te formule so samo približek realnosti in v neposredni bližini vira pridejo napake teh približkov zelo do izraza. Glavni razlog za odstopanja v neposredni bližini sta vsekakor napaki dimnega dviga in začetne razpršenosti zaradi turbulentnosti.

6.3 Prikaz rezultatov glede na oddaljenost od NEK

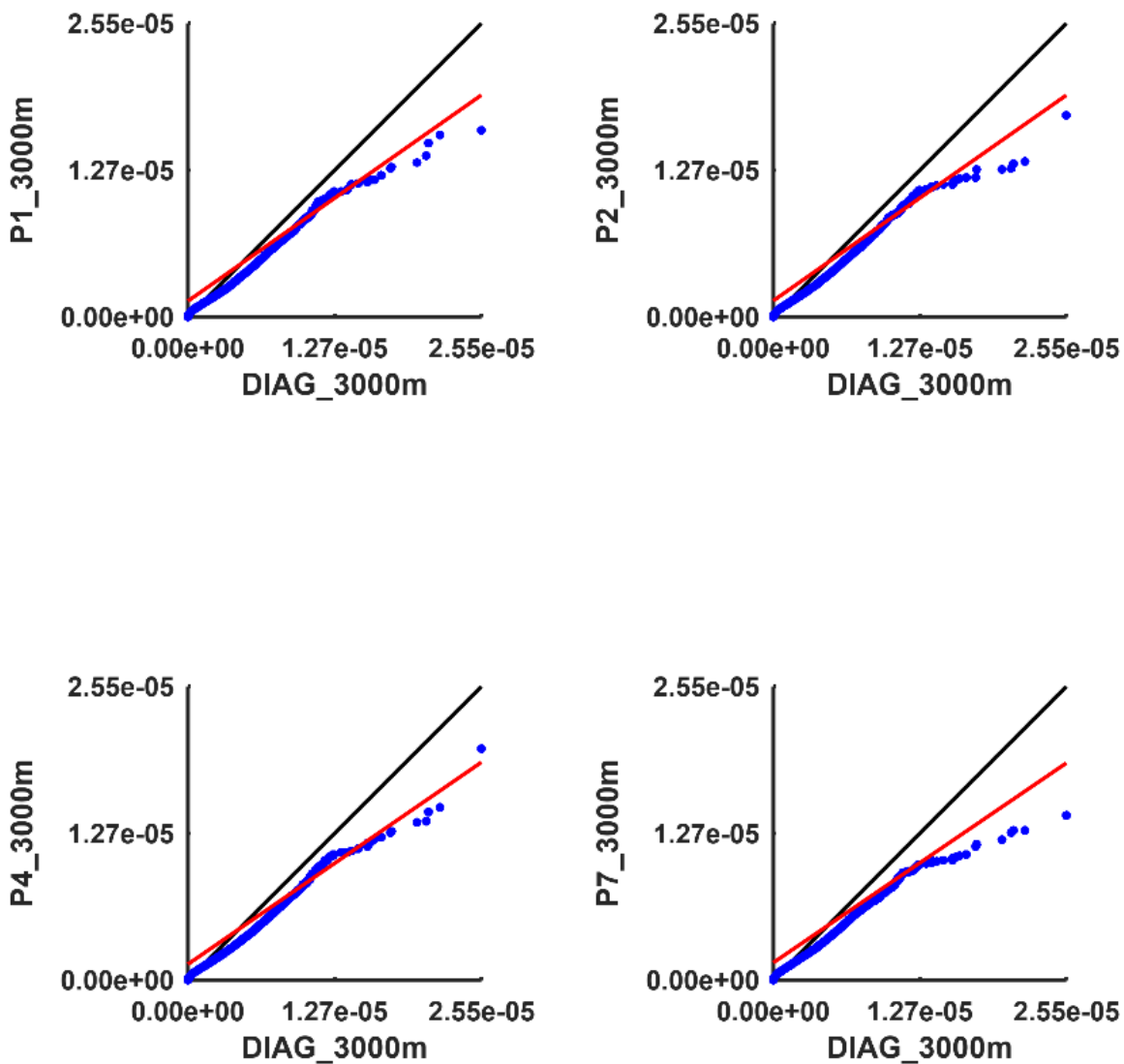
V tem delu so podani grafični prikazi QQP v odvisnosti od različne oddaljenosti od NEK. To pomeni, da so iskali (vhodne podatke so pripravili v MEIS-u) s programom maksimalno vrednost na krožnici za izbrano oddaljenost od NEK. Metoda iskanja maksimuma na krožnici ali na krožnem loku v smeri vetra je standardiziran način obravnave disperzijskih modelov (Božnar in sod., 1994a). To pomeni, da ne gledamo več vrednosti, vezanih na izbrano lokacijo, temveč le na izbrano oddaljenost od NEK. Rezultate sem pridobila na enak način kot pri prejšnjih analizah. Izpis vhodnih podatkov so mi pripravili strokovnjaki iz podjetja MEIS d. o. o. Upoštevana je oddaljenost 500 m, 1500 m, 3000 m in 10000 m in izdelana prognoza za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej.



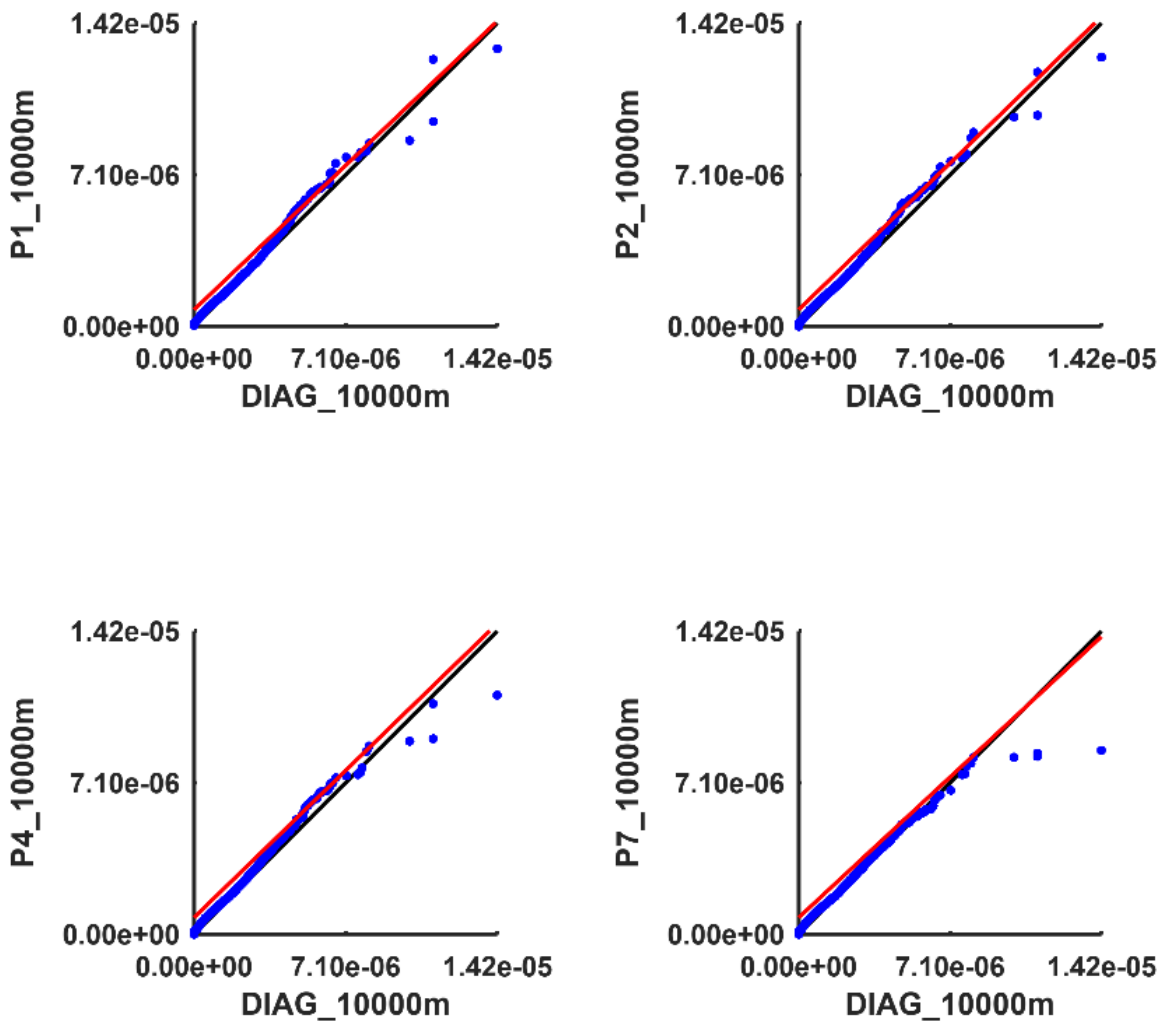
Slika 50: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 500 metrov



Slika 51: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 1500 metrov



Slika 52: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 3000 metrov



Slika 53: Primerjava med diagnozo in prognozo relativnih koncentracij oz. razredčitvenih koeficientov za 1, 2, 4 in 7 dni vnaprej (P1, P2, P4 IN P7) za oddaljenost 10000 metrov

Prognoze P1, P2, P4 in P7 se za izbrano oddaljenost medsebojno obnašajo skoraj enako neodvisno od obravnavane časovne dolžine napovedi. Vse prognoze za izbrano oddaljenost so skoraj enako dobre ali enako slabe nasproti diagnozi. Lahko rečemo, da prognoza ne pada bistveno z dnevi. Izrazito različne prognoze so za 500 m, za 1500 m in 3000 m se bolje ujemajo z diagnozo, najboljše so pa na 10 km.

6.4 Razprava

6.4.1 Zastavljena naloga

Cilj naloge je bil ovrednotiti kakovost prognoze širjenja onesnaženja v ozračju v okolici NEK. Ta prognoza se uporablja v postopkih za varovanje prebivalcev v primeru nezgodnega izpusta v ozračje iz NEK.

Prognoze širjenja onesnaženja v ozračju na območju Krškega neposredno ne moremo ovrednotiti, ker nimamo na razpolago sledilnega eksperimenta v naravi, kjer bi dogajanje lahko izmerili. Zato smo primerjali prognozo z diagnozo (modelski rezultat širjenja onesnaženja izračunan z uporabo merjene meteorologije), ki je bila naša referenca. Dodatno pa smo prikazali primerjavo med diagnostičnim modeliranjem širjenja onesnaženja in meritvami onesnaženja ozračja na primeru okolice Termoelektrarne Šoštanj, kjer je za pomlad 1991 na voljo tak nabor podatkov, ki so ga v članku prikazali raziskovalci iz MEIS-a.

Naša raziskovalna pot je bila začrtana nekoliko drugače, kot je dejansko potekala na koncu. Začetni potek dela in predstavitev rezultatov je bil tak, da smo izdelali naslednje obdelave podatkov:

- časovni diagram posameznih lokacij (prikaz diagnoze in prognoze v kraju in času),
- razsevni diagram za posamezne lokacije (prikaz diagnoze in prognoze z ujemanjem v kraju in času),
- QQP za posamezne lokacije (prikaz diagnoze in prognoze v kraju, brez ujemanja v času) in
- predstavitev številskih statističnih cenilk za posamezne lokacije.

Pokazalo se je, da nam dobra ujemanja predstavljajo le QQP, vsi ostali grafični prikazi in statistični rezultati nam ne prikažejo dobrih ujemanj. Sledila je nadgradnja naloge.

Izbrane lokacij, ki so bile nespremenjene skozi potek dela, so bile naslednje:

- NEK - ograja zahod,
- NEK - ograja vzhod,
- Spodnji Stari Grad,
- Vrbina,
- Brežice,
- Vihre,
- Mrtvice,
- Brege,
- Žadovinek,
- Leskovec,
- Krško - Stara Vas,
- Pesje in
- Dobova.

Dodali smo prikaz rezultatov glede na različne oddaljenosti od NEK (500 m, 1500 m, 3000 m in 10000 m).

6.4.2 Uporabljene metode in njihova primernost

Prvotno zastavljene metode, kot so opisane v 6.4.1, so se pokazale za nezadostno informativne za zastavljeno vprašanje.

Zato smo poleg že omenjenih metod, ki smo jih uporabili za predstavitev rezultatov (podpoglavje 6.4.1), nalogo nadgradili še z naslednjimi metodami:

- s QQP glede na različne oddaljenosti od NEK in
- z metodo soseščin.

Časovni diagram in razsevni diagram nam ne pokažeta dobrih ujemanj diagnoze in prognoze za posamezne lokacije. V obeh omenjenih primerih gledamo tako krajevno kot tudi časovno (rezultate v izbranem kraju in času). V kolikor izvzamemo čas (QQP), so te primerjave boljše. Opazimo, da se kvaliteta napovedi z dnevi (z daljšim časom za napoved) bistveno ne zmanjša. Nadgradnja naloge je sledila s prikazom rezultatov glede na različne oddaljenosti od vira. Tudi s tako obravnavo smo potrdili, da prognoza ne pada bistveno z dnevi.

Glavna omejitev je ta, da kvaliteta napovedi še ni dovolj dobra, v kolikor gledamo v kraju in v času, zato smo v nalogi predstavili strokovno študijo, ki opisuje metodo soseščin. S to metodo (gledano v kraju in v času) se nadgradi vse hibe prej omenjenih metod in dejansko predstavi, da so modeli zelo dobri, vendar še vedno nepopolni. Pri metodi soseščin ne gledamo točno določeno točko, temveč območje oz. soseščino te točke tako krajevno kot časovno.

6.4.3 Pomen naloge

Celotna naloga je zahtevala veliko raznovrstnih znanj in podatkov iz različnih strok. Naloga zajema meritve vremenskih podatkov, statistične vrednosti in modele. S pomočjo naloge smo spoznali delovanje modelov in pridobili podrobnejše informacije ter spoznanja o prognoziranju širjenja onesnaženja v ozračju iz NEK.

Pri interpretiranju rezultatov smo spoznali, da vsa statistična orodja niso primerna za interpretacijo vseh dobljenih rezultatov. Ugotovili smo, da je potreben razmislek o tem, katero statistično orodje je primerno in dovolj dobro za pravilno razlaganje rezultatov.

Glavni pomen te magistrske naloge je predvsem predstavitev kvalitete postopkov, meritev in rezultatov, ki zadevajo varovanje prebivalcev v primeru nezgodnega izpusta v ozračje iz NEK.

7 SKLEP

HIPOTEZA 1: Prognoza za en dan vnaprej je enaka diagnozi za tisti dan.

Odgovor na hipotezo 1: to hipotezo smo ovrgli. Prognoza za en dan vnaprej ni enaka diagnozi za tisti dan. V primeru, da podatke obravnavamo na kompleksnem terenu v točno določenem kraju in času, se nam diagnoza s prognozo ne ujema, kar smo ovrednotili tudi z grafi v poglavju 6.1.

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 1: Ali so klasične statistične metode primerne za vrednotenje diagnoze in prognoze v izbranem kraju in času?

Odgovor na prvo raziskovalno vprašanje: iz vseh podatkov oz. rezultatov lahko odgovorimo, da niso primerne. Klasične statistične metode, razsevni diagrami in statistične cenilke (QQP so izvzeti) navedene v poglavju 6.1, niso primerne za vrednotenje diagnoze in prognoze v izbranem kraju in času. Teren je preveč kompleksen in znanost zaenkrat še ni dovolj napredovala, da bi bili rezultati modelov bolj podobni realnosti (gledano hkrati v kraju in času). Odgovor je izpeljan glede na rezultate prikazane v poglavju 6.1.

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 2: Kako sta povezani dolžina prognoze (za 2, 4 in 7 dni vnaprej) in njena kvaliteta?

Odgovor na drugo raziskovalno vprašanje: v kolikor obravnavamo eno časovno leto zaporednih vrednosti (prikazi QQP), potem dobimo z uporabo prognostične meteorologije ali z uporabo diagnostične merjene meteorologije enake oz. zelo podobne relativne koncentracije oz. razredčitvene koeficiente, iz česar lahko zaključimo, da lahko za dolgoročne statistične obravnave nadomestimo diagnozo s prognozo. Kvaliteta prognoze z dnevi ne pada v pomembni meri. Odgovor je izpeljan glede na rezultate prikazane v poglavju 6.2.

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 3: Ali je metoda z obravnavo rezultatov na izbrani konstantni oddaljenosti od vira primerna za vrednotenje kvalitete prognoz?

Odgovor na tretje raziskovalno vprašanje: ujemanje prognoze (P1, P2, P4 in P7) z diagnozo skoraj nič ne pada z večanjem časovnega okna, če obravnavamo eno statistično leto s QQP. To pomeni, da ne gledamo v času in v konkretnem kraju, temveč zgolj na isti oddaljenosti od vira. Na tak izveden način je metoda zelo primerna za vrednotenje kvalitete prognoz. Odgovor je izpeljan glede na rezultate prikazane v poglavju 6.3.

8 SUMMARY

HYPOTHESIS 1: The prognosis (forecast) for one day in advance is the same as the diagnosis for that day.

Answer to Hypothesis 1: We have rejected this hypothesis. The prognosis for one day in advance is not the same as the diagnosis for that day. If we deal with the data on complex terrain at a specific place and time, the diagnosis does not match with the prognosis, which was also evaluated with graphs in Section 6.1.

RESEARCH QUESTION 1: Are traditional statistical methods suitable for evaluating diagnosis and prognosis in the chosen place and time?

Answer: From all the data, respectively the results can be answered as not being suitable. Traditional statistical methods, scatter plots and statistical estimators (QQPs are excluded) listed in Section 6.1 are not suitable for evaluating diagnosis and prognosis at the selected location and time. The terrain is too complex while science hasn't advanced enough so far to make model results more similar to reality (viewed simultaneously in place and time). The answer is obtained according to the results shown in Section 6.1.

RESEARCH QUESTION 2: How are the length of the prognosis (2, 4 and 7 days in advance) and its quality related?

Answer: If we consider one year of successive values (QQP graph), then we get very similar relative concentrations or dilution coefficients using either the forecasted meteorology or the diagnostic meteorology. This leads to the conclusion that diagnosis can be substituted with prognosis for long-term statistical evaluation. The quality of the prognosis does not degrade significantly with the length of the forecast. The answer is obtained according to results shown in Section 6.2.

RESEARCH QUESTION 3: Is the method of processing the results at the chosen constant distance from the source suitable for the quality of the prognosis?

Answer: When evaluating one statistical year with QQP, it shows us that matching of prognosis and diagnosis doesn't differ a lot if we increase the time frame. This means that we are not looking in time and place, but only at the same distance from the source. In this way, the method is very suitable for evaluating the quality of forecasts. The answer is obtained according to results shown in Section 6.3.

9 LITERATURA IN VIRI

- Anfossi, D., Desiato, F., Tinarelli, G., Brusasca, G., Ferrero, E., & Sacchetti, D. (1998). TRANSALP 1989 experimental campaign - II. Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models. *Atmospheric Environment* 32, 1157-1166. doi:10.1016/S1352-2310(97)00191-X
- Božnar, M. Z., Brusasca, G., Cavicchioli, C., Faggian, P., Finardi, S., Minella, M., . . . Sozzi, R. (1994a). Model evaluation and application of advanced and traditional Gaussian models on the experimental Šoštanj (Slovenia, 1991) campaign. *Cuvelier, C. (Ed.): Workshop on the Intercomparison of Advanced Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Model, Manno, 1993, Proceedings of the Workshop, European Commission*, 112-121.
- Božnar, M. Z., Mlakar, P., Grašič, B., Breznik, B., & Kocijan, J. (2018). Avtomatizacija procesov za sprotno ocenjevanje vpliva nuklearne elektrarne na okolico. *SZGG Zbornik*, 41-50.
- Božnar, M., BRUSASCA, G., CAVICCHIOL, C., FAGGIAN, P., FINARDI, S., MLAKAR, P., . . . TINARELLI, G. (1994). Application of advanced and traditional diffusion models to an experimental campaign in complex terrain. *Air Pollution II. Volume 1, Computer simulation, Second International Conference on Air Pollution*, (str. 159-166). Barcelona, Spain.
- Božnar, M., Mlakar, P., & Breznik, B. (2003). Advanced modeling of potential air pollution dispersion around Krško NPP using 3D wind field reconstruction and Lagrangean particle model. *International Conference Nuclear Energy for New Europe 2003, 8–11 September 2003, Portorož, Slovenija. Proceedings*. (str. 602). Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia.
- Božnar, M., Mlakar, P., & Breznik, B. (2012). Dose projection in case of a nuclear emergency. *V: 21st International Conference Nuclear Energy for New Europe, September 5-7. Žagar, Tomaž (ur.), Fuerst, Samo (ur.). Proceedings. Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia, 2012*. Ljubljana.
- Božnar, M., Mlakar, P., & Grašič, B. (2012). Short-term fine resolution WRF forecast data validation in complex terrain in Slovenia. *International journal of Environment and Pollution accepted for publication*.
- Božnar, M., Mlakar, P., & Grašič, B. (2014). Operational background air pollution prediction over Slovenia by QualeAria modelling system - validation. *Int. J. Environmental and Pollution, Vol. 54, Nos. 2/3/4, 2014*.
- Božnar, M., Mlakar, P., Grašič, B., Kokal, D., & Popovič, D. (2015). *Verifikacija in validacija programa DOZE*. Poročilo št.: MEIS-NEK-VV-DOZE-4. Mali Vrh pri Šmarju.
- Božnar, M., Mlakar, P., Grašič, B., Popovič, D., & Kokal, D. (2017). *Program za pregledovanje podatkov MUNGO*. Mali Vrh pri Šmarju.
- Breznik, B. (1997). *Postopek za hitro napovedovanje radioloških doz, Magistrsko delo*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, FMF.
- Breznik, B., Božnar, M., Mlakar, P., & Tinarelli, G. (2003). Dose projection using dispersion models. *Int. J. Environ. Pollut.* 20, 278–285. doi:10.1504/IJEP.2003.004291

- Elisei, G., Bistacchi, S., Bocchiola, G., Brusasca, G., Marcacci, P., Marzorati, A., . . . Slavic, F. (1992). *Experimental Campaign for the Environmental Impact Evaluation of Šoštanj Thermal Power Plant*. Progress report. Milano, Italy and Ljubljana, Slovenia.
- Geai, P. (1987). *Methodes d'Interpolation et de Reconstitution Tridimensionnelle d'un Champ de Vent: le Code d'Analyse Objective MINERVE*. Report EDF/DER, HE/34-87.03.
- Grašič, B., Božnar, M., & Mlakar, P. (2007). Re-evaluation of the Lagrangian particle modelling system on an experimental campaign in complex terrain. *Il Nuovo Cimento C, Vol. 30, No. 6*, 557-575.
- Grašič, B., Mlakar, P., & Božnar, M. (2011). Method for validation of Lagrangian particle air pollution dispersion model based on experimental field data set from complex terrain. *in: Nejadkoorki, D.F. (Ed.), Advanced Air Pollution. INTECH Open Access Publisher*, pp. 535–556. doi:10.5772/17286
- Grašič, B., Mlakar, P., & Božnar, M. Z. (2011). Method for Validation of Lagrangian Particle Air Pollution Dispersion Model Based on Experimental Field Data Set from Complex Terrain. *IntechOpen*. doi:10.5772/17286
- Grašič, B., Mlakar, P., Božnar, M., & Popovič, D. (2017). *EIS - opis baze podatkov in nadzora delovanja*. MEIS storitve za okolje d.o.o., Mali Vrh pri Šmarju.
- International Organization for Standardization*. (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems - Requirements.
- Liyong, C., & Malo, L. G. (2017). Validation of fluidyn-panache CFD model against large-scale and wind tunnel experiments. *18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, (str. 1-6). Bologna, Italy.
- (2008). *Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2007*. Ljubljana: interna oznaka 25/2007, ISSN 1318-2161, marec 2008.
- (2017). *Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016*. Ljubljana: interna oznaka 7/2017, ISSN 1318-2161, marec 2017.
- Mlakar, P., Božnar, M., & Breznik, B. (2014). Operational air pollution prediction and doses calculation in case of nuclear emergency at Krško Nuclear Power Plant. *Int. J. Environ. Pollut.* 15 54, 184–192. doi:10.1504/IJEP.2014.065119
- Mlakar, P., Božnar, M., Breznik, B., & Kovač, A. (1997). Modelling of air pollutants releases from the Krško Nuclear Power Plant. *V: 4th Regional Meeting Nuclear Energy in Central Europe, 7-10 September 1997, Bled, Slovenia. Book of abstracts. Ljubljana: Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije = Nuclear Society of Slovenia: Jožef Stefan Institute, 1997, pages 16.*
- Mlakar, P., Božnar, M., Grašič, B., & Breznik, B. (2019). Integrated system for population dose calculation and decision making on protection measures in case of an accident with air emissions in a nuclear power plant. *Science of the total environment*, ISSN 0048-9697, 58.
- Mlakar, P., Božnar, M., Grašič, B., Brusasca, G., Tinarelli, G., Morselli, M., & Finardi, S. (2015). Air pollution dispersion models validation dataset from complex terrain in Šoštanj. *Int. J. Environ. Pollut.*, 57. doi:10.1504/IJEP.2015.074507
- Mlakar, P., Grašič, B., & Božnar, M. (2012b). Validation of small scale prognostic air pollution modeling system in highly complex terrain. *V: 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, 7-11, May, 2012, Utrecht, The Netherlands. ITM 2012. [S.l.:s.n.], 2012, 4 pages.*

- Mlakar, P., Grašič, B., Božnar, M., & Breznik, B. (2015b). Online relative air dispersion concentrations one week forecast for Krško NPP prepared for routine and emergency use, in: Jenčič, I. (Ed.). *24th International Conference Nuclear Energy for New Europe - NENE 2015* (str. 601-602). Portorož, Slovenia, September 14-17. Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia.
- Tinarelli, G., Anfossi, D., Trini Castelli, S., Bider, M., & Ferrero, E. (2000). A New High Performance Version of the Lagrangian Particle Dispersion Model Spray, Some Case Studies, in: Gryning, S.-E., Batchvarova, E. (Eds.), *Air Pollution Modeling and Its Application XIII.*, (str. 499-507). Springer US, Boston, MA. doi:10.1007/978-1-4615-4153-0_51
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Regulatory Guide RG 1.111, Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water-Cooled Reactors.* (1977). Pridobljeno iz <https://www.nrc.gov/docs/ML0037/ML003740354.pdf>
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Regulatory Guide RG 1.145, Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessment at nuclear power plants.* (1982). Pridobljeno iz <https://www.nrc.gov/docs/ML0037/ML003740205.pdf>