UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA

DOKTORSKA DISERTACIJA

SANDRA SENČIČ

LJUBLJANA, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA MATERIALE IN METALURGIJO

Vrednotenje emisij prašnih delcev v metalurški industriji

DOKTORSKA DISERTACIJA

Sandra SENČIČ

Ljubljana, avgust 2016

UNIVERSITY OF LJUBLJANA
FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALURGY

Evaluation of the emission of dust particles in the metallurgical industry

Ph. D. THESIS

Sandra SENČIČ

Ljubljana, avgust 2016

IZJAVA

V skladu s Statutom Univerze v Ljubljani z dne 4.12.2015 spodaj podpisana Sandra Senčič, rojena 5.7.2016 v Celju, izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom:

Vrednotenje emisij prašnih delcev v metalurški industriji.

Doktorska disertacija je rezultat lastnega raziskovalnega dela pod mentorstvom red. prof.dr. Boruta KOSCA, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta.

Sandra Senčič

Mentor: red.prof.dr. Borut Kosec

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju red.prof.dr. Borutu Koscu in vsem članom komisije red.prof.dr. Jakobu Lamutu, doc.dr. Matjažu Knapu in izr.prof.dr. Jusufu Durakoviću za pomoč pri opravljanju doktorske disertacije. Zahvaljujem se tudi kolegom v metalurškem obratu, ki so mi omogočili raziskovanje, nudili strokovno pomoč in koristne nasvete.

Posebna zahvala kolektivu v službi in domačim, ki so mi omogočili zaključek študija.

Sandra Senčič

Ključne besede:

delci PM_{10}

koncentracija niklja v delcih PM_{10}

integrirano okoljevarstveno dovoljenje

najboljše razpoložljive tehnologije

emisije v zrak

celokupne emisije

razpršene in ubežne emisije

ocena o letnih emisijah v zrak

modeliranje emisij delcev

programsko orodje Austal View

reverzno disperzno modeliranje

Povzetek

Vrednotenje celokupnih emisij prašnih delcev iz metalurškega obrata pomembno vpliva na oceno okoljskega vidika obrata in izpolnjevanja zakonskih obveznosti IED zavezancev na področju emisij snovi v zrak. Njihovo pravilno vrednotenje je pomemben okoljski kriterij ocene vpliva obrata na celokupne obremenitve z imisijami prašnih delcev v zunanjem zraku. Celokupne emisije v zrak obrata predstavljajo zajete, prečiščene in odvedene emisije skozi odvodnike (t.i. dimnike), ki jih vrednotimo na podlagi opravljanega monitoringa emisij v zrak in nezajete razpršene emisije, ki se prenašajo v širšo okolje skozi odprtine proizvodnih objektov, zaradi netesnosti odvodnikov, izvajanja transporta in zunanjih skladišč sipkih materialov ipd.. Nezajete razpršene emisije snovi v zrak lahko bistveno prispevajo k izmerjenih vrednostim delcev v zunanjem zraku. Meritev imisij v zunanjem zraku na merilni točki v neposredni bližini obrata vključujejo skupne emisije delcev PM_{10} iz obrata (emisije iz odvodnikov in nezajete razpršene emisije emisije) in emisije iz stanovanjskih kurišč, prometa ter emisij drugih obratov na območju vrednotenja.

Na praktičnem primeru metalurškega obrata, ki ima pridobljeno IED dovoljenje, so bile opravljene kompleksne meritve celokupnih emisij prašnih delcev (t.i. emisije celotnega prahu iz odvodnikov in delcev PM_{10}, izmerjene koncentracije imisij PM_{10} delcev na merilnem mestu v neposredni bližini obrata) ter izračunane razpršene emisije delcev PM_{10} z reverzno disperznim modeliranjem z namenom pridobitve možnosti izboljšav tehnologij z vidika zmanjšanja razpršenih emisij PM_{10} na delovno in bivalno okolje in preverjanja možnosti načina poročanja o celokupnih emisijah v oceni letne emisije v zrak. Za oceno celotne obremenitve so se upoštevale meritve emisij celokupnega prahu skladno s standardi SIST ISO 10780:1996[2], SIST ISO 9096:2003[3], SIST EN 13284-1:2002[4] in SIST EN 14385:2005[5], meritve delcev PM_{10} v zraku v neposredni bližini obravnavnavanega obrata v skladu s SIST EN 12341:2014[7] ter določil prispevek nezajetih razpršenih emisij po standardu SIST EN 15445:2008[8].

Na podlagi pridobljenih rezultatov meritev emisije prašnih delcev v zrak iz odvodnikov in meritev imisije delcev PM_{10} v obratu, na funkcionalnem območju obrata in v neposredni bližini obrata, se je izvedlo modeliranje emisij v zrak s programskim orodjem AUSTAL View[20]. Jedro AUSTAL View je Lagrange-ov model disperzije delcev z upoštevanjem topografije in vetrovnega polja.

Prispevek razpršenih emisij se je ocenil glede na meritve koncentracije delcev PM_{10} delovnega okolja v notranjosti stavb, površino odprtin ali pretok prisilnega prezračevanja ter na podlagi reverzno disperznega modeliranja skladno s standardom SIST EN 15445:2008[8]. Ubežne in razpršene emisije skupnega pomena za industrijske sektorje - Ovrednotenje ubežne emisije prahu z reverzno disperznim modeliranjem.

V doktorski disertaciji se je preverjala možnost vrednotenja emisij prašnih delcev zavezancev v oceni letne emisije v zrak, ki jo morajo zavezanci do 31.3. posredovati ARSO za preteklo koledarsko leto. Iz pridobljenih rezultatov je razvidno, da zavezanci nimajo ustreznih občasnih meritev niti delcev PM_{10} (ali $PM_{2,5}$) na odvodnikih, niti imisijskih vrednosti delcev PM_{10} (ali $PM_{2,5}$) v neposredni bližini industrijskega obrata v obsegu in številu, ki omogoča učinkovito uporabo metode reverzno disperznega modeliranja tako, da so vrednosti podane s strani zavezancev zelo pomanjkljive, zakonodaja na področju spremljanja razpršenih in ubežnih emisij prav tako ne določa obveznega občasnega monitoringa za spremljanje teh emisij, niti ne določuje standardov za meritve, temveč zgolj od zavezancev zahteva, da k oceni letne emisije v zrak vključijo tudi prispevek razpršenih in ubežnih emisij. Področje vrednotenja razpršenih in ubežnih emisij zahteva obsežne meritve v daljšem časovnem obdobju, vzpostavitev goste mreže vzorčenja v neposredni bližini industrijskih razpršenih virov, ki pa v veliki večini zaradi ureditve metalurške industrije v industrijskih območjih, kjer so prisotni tudi drugi onesnaževalci, otežuje učinkovite izračune dejanskih prispevkov posameznega vira.

Dokumenti BREF podajajo najboljše razpoložljive tehnologije, ne določujejo prispevka nezajetih razpršenih in ubežnih emisij, ki jih posamezne tehnologije lahko povzročajo v zrak, zato niso direktno uporabni za primerjavo določevanja prispevkov teh emisij posameznega industrijskega obrata ter za primerjavo z izračunanimi prispevki razpršenih in ubežnih emisij skaldno s standardom SIST EN 15445:2008[8].

Glede na rezultate meritev in primerljivih študij opravljenih na podobnih obratih je razvidno, da ima prispevek razpršenih in ubežnih emisij prašnih delcev zelo pomembni delež skupnih emisij v ocenah o letnih emisijah v zrak in pri vrednotenju dodatne obremenitve zunanjega zraka na vplivnem območju metalurškega obrata pri postopku pridobivanja IED dovoljenja.

Sandra Senčič

Key words

particles PM_{10}

the concentration of nickel in particles PM_{10}

integrated environmental permit

the best available technology

air emissions

total emissions

fugitive and diffuse emissions

assessment of the annual emissions in the air

modeling of particulate emissions

software tool Austal View

reverse dispersion modelling

Abstract

Evaluation of total particulate matter emissions from the metallurgical plant has a significant impact on the assessment of the environmental aspect of the installation and compliance with legal obligations IED plants in the field of emissions into the air. Their correct evaluation is an important environmental criteria for assessment of the impact of the plant on the total load by the emissions of particulate matter in ambient air. Of the total air emissions of the plant they constitute recovered, treated and discharged emissions through the ducts (the chimney), which are valued on the basis of SUPPLIED monitoring of air emissions and fugitive diffuse emissions, which are transmitted into the wider environment through the opening production facilities due to leaks arresters, implementation transportation and external storage of bulk materials. Scattered fugitive air emissions can significantly contribute to the measured values of particulate matter in ambient air. Immission measurements in ambient air at the measuring point in the immediate vicinity of the plant include the total emissions of PM_{10} from the plant (emissions from a stack and fugitive emissions diffuse emissions) and emissions from residential fireplaces, transport and emissions of other establishments in the area of evaluation.

On a practical example metallurgical plant, which has acquired IED permit were carried out complex measurements of total emissions of particulate matter (called total dust emissions from a stack and PM_{10} measured concentrations of immissions PM_{10} particles on the measuring site in the immediate vicinity of the plant) and calculated dispersed particulate emissions PM_{10} reverse dispersion modelling in order to obtain the possibility of improvements in technology with a view to reducing diffuse emissions of PM_{10} in the working and living environment, and examining the potential ways of reporting of total emissions in the estimated annual emissions into the air.

To assess the overall load are taken into account measurements of the emissions of total dust in accordance with the standards of SIST ISO 10780: 1996[2], SIST ISO 9096: 2003[3], SIST EN 13284-1: 2002[4] and SIST EN 14385: 2005[5], measurements of PM_{10} in the air in the immediate vicinity obravnavnavanega source in accordance with SIST EN 12341: 2014[7] and set the contribution of diffuse and fugitive emissions standard SIST EN 15445: 2008[8].

On the basis of the results of emission measurement of dust particles in the air from a stack and measurement of PM_{10} immissions in the establishment of a functional area of the plant and in the immediate vicinity of the plant, it was carried out modeling of emissions into the air with a programming tool Austal View[20]. The core Austal View is Lagrange's particle dispersion model taking into account the topography and wind field.

The contribution of diffuse emissions are estimated according to the measurements of the concentration of PM_{10} working environment inside the buildings, surface openings or flow forced ventilation and on the basis of reverse dispersion modeling in accordance with standard SIST EN 15445: 2008[8]. Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors - Evaluation of fugitive dust emissions reverse dispersing modeling.

In Ph. D. Thesis we check the possibilities of evaluation of dust emissions from foundary in the assessment of annual emissions into the air, which must be liable to 31.3. ARSO to provide for the previous calendar year. From the results obtained it is evident that firms have now relevant periodical measurements for PM_{10} and $PM_{2,5}$ particles in the ducts, now measurments of levels PM_{10} and $PM_{2,5}$ particles in the immediate surroundings industrial plant in scope and number, which enables the use of methods such reverse dispersion modeling, that the values given by foundary to significant weaknesses in the legislation governing the monitoring of diffuse and fugitive emissions but also does not provide for mandatory periodic monitoring for monitoring these emissions, nor does it also sets standards for the measurement, but only from firms requires that an assessment of the annual emissions air include the contribution of diffuse and fugitive emissions. Field evaluation of diffuse and fugitive emissions requires extensive measurements over time, the establishment of a dense network of sampling in the surroundings of industrial point sources, but in the most majority due to the organization of the metallurgical industry in industrial zones, where the presence of other contaminants, undermines efficient calculation of the actual the contribution of each source.

BREF documents provide the best available techniques do not define the contribution of fugitive diffuse and fugitive emissions by specific technologies can be created in the air, and therefore are not directly useful for comparing the determination of the contribution of those emissions of each industrial plant and for comparison with the calculated contributions of diffuse and fugitive emissions skaldno with SIST EN 15445: 2008[8].

According to the results of measurements and comparative studies conducted on similar establishments is evident that the contribution of diffuse and fugitive emissions of particulate matter are very important share of total emissions in the estimates of the annual emissions in the air and in the evaluation of additional burden the ambient air in the impact area of metallurgical plant in the process of obtaining IED permit.

Kazalo:

1. UVOD 6

2. OKOLJEVARSTVENE ZAHTEVE ZA EMISIJE SNOVI V ZRAK 9

2.1. Zahteve Zakona o varstvu okolja (ZVO-1) za IED naprave in okoljevarstvena dovoljenja za obratovanje naprave **9**

2.2. Predpisi o emisijami snovi v zrak v Republiki Sloveniji **11**

2.2.1. Dopustne vrednosti in ukrepi za zmanjševanje emisij v zrak **11**

2.2.2. Ocenjevanje obstoječe in dodatne obremenitve na območju vrednotenja **19**

2.3. Zahteve zakonodaje o kakovosti zunanjega zraka v Republiki Sloveniji **21**

2.4. BAT tehnologije za livarne **21**

2.5. Zahteve na področju predpisov o razpršenih in ubežnih emisijah IED naprav **25**

2.6. Zahteve okoljevarstvenega dovoljenja IED metalurškega obrata glede emisij v zrak (celokupni prah, delci PM_{10}) **25**

3. OPIS METALURŠKEGA OBRATA IN TEHNOLOGIJ V POVEZAVI Z EMISIJAMI PRAŠNIH DELCEV V ZRAK 29

3.1. Opis dejavnosti družbe **29**

3.2. Opis tehnologij in naprav **29**

3.2.1. Nove investicije v obratu za zmanjšanje emisij prašnih delcev v zrak z uvedbo najboljših razpoložljivih tehnologij skladno z BREF dokumenti **33**

4. ANALIZNE METODE ZA VZORČENJE PRAHU IN DELCEV V ZRAKU 37

4.1. Prikaz metod za izvedbo meritev emisij v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (t.i. odvodniki), ki so bile uporabljene pri izvajanju meritev za ekperimentalni del doktorske disertacije **37**

4.1.1. Metoda merjenja nizkih koncentracij prahu iz nepremičnih virov emisije s prenosnimi vzorčevalniki in ročno gravimetrijsko metodo **37**

4.1.2. Metoda merjenja celokupnih kovin iz nepremičnih virov emisije **43**

4.2. Metode za izvedbo meritev razpršenih in ubežnih emisij v delovno okolje v industrijskem obratu uporabljene v času izvajanja eksperimentalnega dela **50**

4.3. Novi pristopi in metode za izvedbo meritev prahu v delovnem okolju za spremljanje obremenjenosti delavce pri njihovih izpostavljenosti nevarnim kemičnih snovem na delovnih mestih 51

4.4. Prikaz metod za izvedbo meritev imisije delcev PM_{10} v zunanjem zraku, ki so bile uporabljene pri izvajanju meritev za ekperimentalni del doktorske disertacije 52

4.4.1. Metode za določevanje masne frakcije delcev PM_{10} v zunanjem zraku 52

4.4.2. Metoda za vzorčenje kovin v frakciji lebdečih delcev PM_{10} v zunanjem zraku 59

5. REZULTATI MERITEV DELCEV V ZRAKU 61

5.1. Rezultati meritev emisij prašnih delcev v zrak iz odvodnikov 61

5.1.1. Viri emisij snovi v zrak iz nepremičnih virov naprave in merilna mesta (MME) 61

5.1.2. Obratovalni čas naprave 62

5.1.3. Nazivi merilnega mesta in parametri merjenja 62

5.1.4. Rezultati meritev emisij snovi v zrak iz odvodnikov Z1, Z2 in Z3 63

5.1.5. Vrednotenje rezultatov meritev emisij v zrak iz Z1, Z2 in Z3 glede na dopustne vrednosti iz OVD 67

5.1.6. Vrednotenje skladnosti z OVD 69

5.1.7. Rezultati dodatnih 24 urnih meritev celokupnega prahu in delcev PM_{10} v odvodnikih Z1 in Z270

5.2. Rezultati meritev razpršenih in ubežnih emisij v zrak z imisijskimi koncentracijami delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$, celokupnega prahu in koncentracije Ni v metalurškem obratu in neposredni bližini emisijskega razpršenega vira 72

5.3. Rezultati imisijskih meritev delcev PM_{10} in Ni v delcih PM_{10} v zraku z vzorčevalnikom skladno s standardom SIST EN 12341:2007 v vplivnem območju metalurškega obrata 75

6. MODELIRANJE EMISIJ PRAŠNIH DELCEV V ZRAK 79

6.1. Vrednotenje razpršene in ubežne emisije prahu enega vira z reverzno disperznim modeliranjem skladno s standardom SIST EN 15445:2008 79

6.2. Rezultati modeliranja emisij delcev PM_{10} in Ni na vplivnem območju metalurškega obrata v obdobju 3.12.2010 in 3.12.2011 z uporabo disperzijskega modeliranja s programskim orodjem AUSTAL View 80

6.2.1. Vhodni podatki za modeliranje 81

6.2.2. Rezultati modeliranja za delce PM_{10} in Ni v zunanjem zraku 82

6.2.3. Analiza obremenitve na območju vrednotenja vplivnega območja metalurškega obrata glede na meritve imisije delcev v zraku in rezultate modeliranja emisij obravnavanega vira 85

6.3. Rezultati modeliranja emisij delcev PM_{10} v letu 2012 z reverzno disperznim modeliranjem po standardu SIST EN 15445:2008 87

7. ZAKLJUČKI 91

8. LITERATURA 96

Simboli in okrajšave:

PM_{10} ..... trdi delci premera 10 µm

$PM_{2,5}$ ..... trdi delci premera 2,5 µm

$PM_{1,0}$ ..... trdi delci premera 1,0 µm

BAT ..... najboljša razpoložljiva tehnologija

BREF ..... Best available techniques Reference document (BREFs) pripravljen na podlagi IPPC Direktive

OVD .....okoljevarstveno dovoljenje

IPPC.....Integrated Pollution Prevention and Control

IED naprava ..... naprava, ki lahko povzroča onesnaževanje okolja večjega obsega

ARSO ..... Agencija Republike Slovenije za okolje

TEQ ..... toksični ekvivalent mešanice dioksinov

m_{trd} .....masa elementa v trdni frakciji [mg]

m_{razv} .....masa elementa v raztopini [mg]

V_{glav} .....volumen prečrpanega suhega plina v glavni liniji pri standardnih pogojih [m^3]

V_{str} .....volumen prečrpanega suhega plina v stranski liniji pri standardnih pogoj [m^3]

Vd .....volumen vzorčenega plina pri standardnih pogojih [m^3]

Vm .....volumen suhega plina [m^3]

p_{atm} .....atmosferski tlak [kPa]

Tpov .....povprečna temperatura plina pred volumskim merilcem pretoka [K]

C .....koncentracija [µg/m^3]

m(l) .....masa polnega filtra [µg]

m(u) .....masa praznega filtra [µg]

F .....pretok pri zunanjih pogojih [m^3/h]

t .....čas vzorčenja [h]

Ca .....masna koncentracija kovine v vzorčenem zraku [µg/m^3]

V .....volumen vzorčenega zraka [m^3]

c_0 ..... koncentracija prašnih delcev iz ozadja [µg/m^3]

c_i ..... koncentracija prašnih delcev na merilnem mestu [µg/m^3]

c_n ..... koncentracija prašnih delcev pri normnih pogojih [$\mu g/m^3$]

$q_{m,razp.}$..... masni pretok razpršenih in ubežnih emisij [g/h]

$q_{m,skup}$..... skupni masni pretok vseh emisij [g/h]

$q_{m,zaj.}$..... masni pretok iz odvodnikov [g/h]

α ..... disperzijski faktor

q_{mi} ..... masni pretok izračunan z metodo linearne regresije [g/s]

1. UVOD

Proizvodne tehnologije in z njimi povezani tehnološki procesi so povzročitelji pomembnega deleža emisij prašnih delcev v zrak. Večina proizvodnih obratov metalurške dejavnosti se uvršča med zavezance za pridobitev integriranega okoljevarstvenega dovoljenja (t.i. IED dovoljenje). Za posamezne metalurške tehnologije BREF dokumenti EU navajajo najboljše razpoložljive tehnologije, vključno z navedbo njihovih predvidenih emisij in ukrepe za zmanjšanje razpršenih in ubežnih emisij, vendar ne določajo ob upoštevanju ukrepov neposredno pričakovani delež razpršenih in ubežnih emisij IED naprave[9]. Zakonodaja Republike Slovenije natančno določa, da mora upravljavec naprave zajeti in oceniti njihov prispevek k skupnim emisijam naprave v oceni letnih emisij v zrak. Emisije snovi v zrak iz proizvodnih obratov metalurške industrije skozi odvodnike se redno spremlja v okviru okoljskega monitoringa, ki jih izvajajo pooblaščeni akreditirani preskusni laboratoriji. Na odvodnikih se merijo le koncentracije in masni pretoki celotnega prahu, ki zajema tako delce PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$. Razmerje deležev posameznih delcev v celokupnem prahu ni določeno tako, da upravljavec dejansko ne pozna dejanske vrednosti koncentracij in masnih pretokov za delce PM_{10} in $PM_{2,5}$ v emisijah iz odvodnikov. Delci PM_{10} in $PM_{2,5}$ predstavljajo parameter merjen v okviru ocenjevanja dodatne obremenitve zunanjega zraka na vplivnem območju vrednotenja industrijskega obrata skladno s predpisi o kakovosti zunanjega zraka. Upravljavec obrata ne spremlja masnih pretokov in količin izpusta nezajetih emisij, ki se v zrak izpuščajo kot razpršene in ubežne emisije iz industrijskega obrata ter so vključene v imisijski obremenitvi na mestu merjenja delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v neposredni bližini obrata. Upravljavec obrata je dolžan v oceni letnih emisij v zrak upoštevati tudi nezajete emisije, ki jih sestavljajo nezajete razpršene in ubežne emisije. V ocenah letnih emisij naprave niso ustrezno upoštevane te emisije, ki imajo lahko pomemben vpliv na imisijsko obremenitev s prašnimi delci širšega okolja proizvodnega obrata.

Upravljavci so lahko do sedaj ocenili skupne razpršene emisije na podlagi znanih masnih pretokov in količin celokupnega prahu iz odvodnikov in meritev delcev PM_{10} v neposredni bližini industrijskega obrata ter z uporabo reverzno disperzijskega modeliranja po standardu SIST EN 15445:2008[8] izračunali prispevni delež razpršenih in ubežnih emisij delcev v zrak.
Praktični primer obravnavan v disertaciji potrjuje strokovnim ugotovitvam, da so ključni parametri ocenjevanja ustrezni vhodni podatki za modeliranje. Glede na razlike med vnosnimi

podatki, saj se pri modeliranju emisij iz odvodnikov vnaša celokupni prah oz. ocenjen delež PM_{10} delcev in ne dejansko izmerjene vrednosti iz odvodnika in meritve delcev PM_{10} na merjeni točki v neposredni bližini industrijskega vira ter vplivu ozadja na ostanek pri reverzno disperzijskem modeliranju lahko pri oceni prispevka razpršenih in ubežnih emisij prihaja do bistvenih razlik, zato sem v praktičnem delu doktorske disertacije preverila delež razpršenih in ubežnih emisij glede na meritve koncentracij delcev v delovnem okolju, površino odprtin ali pretoka prisilnega odsesavanja iz industrijskih prostorov, kjer nastajajo razpršene in ubežne emisije, ki jih industrijski obrati povzročajo na okolje in niso vključene v izmerjene vrednosti iz odvodnikov.

Ocena prispevka razpršenih in ubežnih emisij se oceni z modeliranje disperzijskega širjenja delcev od mesta nastajanja v okolje upoštevajoč klimatske značilnosti, meteorološke pojave, procese pretvorbe snovi v zraku, topografija terene itd.. AUSTAL View[20] je uporabniško prijazen vmesnik za izračun disperzij v zraku po German Federal Environment Agency modelu – AUSTAL2000. Jedro AUSTAL View je Lagrange-ov model disperzije delcev z upoštevanjem topografije in vetrovnega polja[20]. Program omogoča tridimenzionalni prikaz, izvoz v Google Earth in različne grafične zapise ter podpira samodejen dostop do baze topografskih podatkov in podatkov o tipu površja. Disperzijske modele izračunane s programskim paketom AUSTAL View priznava tudi Agencija Republike Slovenije za okolje v postopkih pridobivanja okoljevarstvenih dovoljenj. Licenco za programski paket je pridobila družba KOVA d.o.o. v kateri je kandidatka zaposlena.

Doktorska disertacija predstavi metode za izvedbo meritev emisije snovi v zrak skladno s standardi SIST ISO 10780[2], SIST ISO 9096[3], SIST EN 13284-1[4], SIST EN 14385[5], meritve delcev PM_{10} v zraku skladno s standardom SIST EN 12341[7] in vrednotenje razpršenih in ubežnih emisij prašnih delcev z reverzno disperznim modeliranjem skladno s standardom SIST EN 15445[8]. Navedeni standardi podajajo tehnične zahteve za pripravo akreditiranih metod za izvedbo meritev emisije snovi v zrak, ki jih preskusni laboratoriji akreditirajo pri Slovenski akreditaciji. S pridobljeno akreditacijsko listino pa pridobijo pooblastilo MOP za izvajanje prvih in obdobnih meritev emisij v zrak.

Namen doktorske disertacije je preveriti ustreznost ocene prispevka razpršenih in ubežnih emisij z uporabo metode reverzno disperzijskega modeliranja ter njihovo uporabnost skladno s predpisi na praktičnem primeru metalurškega obrata.

Praktični primer izračuna razpršenih in ubežnih emisij je izveden na podlagi opravljenih meritve in modeliranja v okviru eksperimentalnega dela doktorske disertacije:

- meritev koncentracij nezajetih razpršenih in ubežnih emisij z meritvami koncentracij delcev v neposredni bližini njihovega nastanka (ob viru),
- meritev emisije celotnega prahu in delcev PM_{10} iz odvodnikov,
- meritev delcev PM_{10} na območju 200 m stran od metalurškega obrata,
- z uporabo disperzijskega modeliranja emisije v zrak iz odvodnikov kot razpršene emisije delcev v zrak (s programskim orodjem Austal View[20]), da se pridobi karta pričakovane koncentracije prašnih delcev v oddaljenosti od obrata (koncentracijska območja glede na meteorološke podatke),
- in z rezerzno disperzivnim modeliranjem po standardu SIST EN 15445:2008[8].

Prikaz pristopa k izračunu razpršenih in ubežnih emisij na podlagi letnih meritev imisije prašnih delcev v zraku:

- letnih meritev delcev PM_{10} v zraku v neposredni bližini metalurškega obrata,
- meritev emisije celotnega prahu iz odvodnikov,
- z uporabo disperzijskega modeliranja emisije v zrak iz odvodnikov kot razpršene emisije delcev v zrak (s programskim orodjem Austal View[20]), da se pridobi karta pričakovane koncentracije prašnih delcev v oddaljenosti od obrata (koncentracijska območja glede na meteorološke podatke), kot to zahteva trenutna zakonodaja v okviru ocene dodatne obremenitve vira v območju vrednotenja.

Obrati ne izvajajo letnih meritev imisijskih obremenitev delcev v neposredni bližini obrata, da bi se lahko na letni ravni pripravljale ocene letnih emisij razršenih in ubežnih emisij z uporabo reverzno disperzijskega modeliranja po standardu SIST EN 15445:2008[8], vpliv in ocena enkratnih meritev v okviru ocene dodatne obremenitve vira na območju vrednotenja pa se glede na izvajanje ukrepov za zmanjšanje emisij razpršenih in ubežnih emisij v obratu lahko bistveno spreminja in jih v letni oceni ne moremo privzemati kar v enakem deležu od skupnih emisij obrata.

S pridobitvijo rezultatov emisije nezajetih razpršenih in ubežnih emisij se je preverjala učinkovitost sedanje zakonodaje na področju spremljanja emisij v zrak ter priprava nadgradnje pristopov k vrednotenju emisije nezajetih razpršenih in ubežnih prašnih delcev iz metalurških obratov pri poročanju celokupnih emisij snovi v zrak v oceni letnih emisij v zrak, ki jih morajo zavezanci posredovati ARSO do 31.3 za preteklo koledarsko leto[6].

2. OKOLJEVARSTVENE ZAHTEVE ZA EMISIJE SNOVI V ZRAK

2.1. Zahteve Zakona o varstvu okolja (ZVO-1) za IED naprave in okoljevarstvena dovoljenja za obratovanje naprave

Namen in cilj pravne ureditve zakonodaje varstva okolja je predvsem v preprečevanju in zmanjševanju obremenjevanja okolja, ohranjanju in izboljševanju kakovosti okolja, trajnostni rabi naravnih virov, zmanjšanju rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije, odpravljanju posledic obremenjevanja okolja, izboljšanju porušenega naravnega ravnovesja in ponovno vzpostavljanje njegovih regeneracijskih sposobnosti, povečevanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje ter opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi. Za doseganje ciljev se spodbuja razvoj in uporabo tehnologij, ki preprečujejo, odpravljajo ali zmanjšujejo obremenjevanje okolja. Povzročitelj obremenitve krije vse stroške predpisanih ukrepov za preprečevanje in zmanjševanje onesnaževanja ter tveganja za okolje, rabo okolja ter odpravo posledic obremenjevanja okolja, vključno s stroški izvedbe preprečevalnih in sanacijskih ukrepov v primeru okoljske škode[12].

Okoljevarstvene zahteve za emisije v zrak so za upravljavce IED naprav določene v okoljevarstvenem dovoljenju (OVD), ki povzema zahteve iz predpisov na področju emisij v zrak. V skladu z 68. členom Zakona o varstvu okolja (Ur. list RS, št. 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZmetD, 66/06-Odl, 33/07-ZPNačrt, 57/08-ZFO-1A, 70/08, 108/09, 57/12 v nadaljevanju ZVO-1)[12] upravljavec za obratovanje naprave v kateri se bo izvajala dejavnost, ki lahko povzroči onesnaževanje okolja večjega obsega in za vsako večjo spremembo v obratovanju te naprave pridobiti okoljevarstveno dovoljenje. Okoljevarstveno dovoljenje se izda za eno ali več naprav ali njenih delov, ki so na istem kraju in imajo istega upravljavca. Skladno z Uredbo o vrsti dejavnosti in naprav, ki povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega (Ur. list RS, št. 57/15)[13] je naprava, ki lahko povzroča onesnaževanje večjega obsega, nepremična tehnološka naprava, v kateri poteka ena ali več dejavnosti s proizvodnjo zmogljivostjo nad določenim pragom navedenim v prilogi 1 Uredbe[13] in na istem kraju katerakoli druga z njo neposredno tehnično povezana dejavnost, ki lahko povzroči obremenitev okolja. Iz priloge 1 Uredbe[13] je razvidno, da je prag proizvodne zmogljivosti obravnavanega metalurškega obrata za taljenje nodularne in sive litine proizvodna zmogljivost več kot 20 ton na dan (točka 2. v prilogi 1 Uredbe[13]) in pri predelavi barvnih

kovin je prag pri taljenju in legiranju zlitin bakra s talilno zmogljivostjo več kot 20 ton na dan (točka 2.5. priloge I Uredbe[13]).

Obravnavan metalurški obrat se razvršča med IED naprave (skladno s prilogo 1 Uredbe[13]):

- naprava za taljenje in litje nodularne in sive litine s proizvodno zmogljivostjo taljenja 91 ton na dan, in
- naprava za taljenje in legiranje zlitin bakra s talilno zmogljivostjo 30 ton na dan.

Pomemben element zakona o varstvu okolja je načelo javnosti (13. člen ZVO-1[12]), ki določa, da so okoljski podatki javni. Vsakdo ima pravico dostopa do okoljskih podatkov. Javnost ima pravico sodelovati v postopkih sprejemanja predpisov, politik, strategij, programov, planov in načrtov, ki se nanašajo na varstvo okolja. Javnost ima pravico sodelovati v postopkih, ki se nanašajo na plane, programe in posege v okolje v drugih državah, ki bi lahko vplivali na okolje v Republiki Sloveniji. Javnost ima pravico sodelovati v postopkih izdajanja konkretnih pravnih aktov, ki se nanašajo na posege v okolje[12].

Skladno s prvim odstavkom 70. člena ZVO-1[12] upravljavec v zvezi z obratovanjem naprave iz 68. člena ZVO-1[12] zagotoviti ukrepe za preprečevanje onesnaževanja okolja, uporabo najboljših razpoložljivih tehnik (NRT oz. BAT), preprečevanje onesnaženja okolja večjega obsega, preprečevanje nastajanja odpadkov, da se odpadki, ki nastanejo, pripravijo za ponovno uporabo, reciklirajo, predelajo ali če to tehnološko ali ekonomsko ni mogoče, odstranijo brez vpliva ali z manjšim vplivom na okolje, učinkovito rabo energije, ukrepe za preprečevanje nesreč in omejevanje njihovih posledic ter ukrepe za preprečitev onesnaževanja okolja in vzpostavitev zadovoljivega stanja okolja na kraju naprave po dokončnem prenehanju njenega obratovanja. Najboljša razpoložljiva tehnika je najbolj učinkovita in napredna razvojna stopnja dejavnosti in z njo povezanih načinov obratovanja, ki kaže praktično primernost posamezne tehnike, da se na njeni podlagi določajo mejne vrednosti emisije za preprečevanje, in če to ni izvedljivo, za zmanjševanje emisij na splošno in njihovega vpliva na okolje kot celoto. Najboljša razpoložljiva tehnika je opredeljena z dokumenti pristojnega organa EU. Referenčni dokument BAT je dokument, ki ga sprejme in na svoji spletni stran objavi Evropska komisija, izdelan pa je za določene dejavnosti; opisuje predvsem uporabljene tehnologije, sedanje vrednosti emisij, porabe snovi in energije, tehnike, ki se uporabljajo za opredelitev najboljših razpoložljivih tehnik, ter zaključke o BAT in vse nastajajoče tehnike. Zaključki o BAT so dokument, ki ga sprejme Evropska komisija in je objavljen v Uradnem

listu EU, vsebuje pa dele referenčnega dokumenta BAT, zaključke o najboljših razpoložljivih tehnikah, njihov opis, informacije za oceno njihove ustreznosti, ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnikami, z njimi povezan monitoring, vrednosti porabe snovi in energije, lahko pa tudi ukrepe za sanacijo območja, na katerem je naprava. Zaključki o BAT se uporabljajo neposredno. Do objave zaključkov o BAT se uporabljajo zaključki o BAT iz referenčnega dokumenta BREF. Ravni emisij, povezane z najboljšimi razpoložljivimi tehnikami, so razpon ravni emisij, nastalih pri običajnih pogojih obratovanja naprave ob uporabi najboljše razpoložljive tehnike ali kombinaciji najboljših razpoložljivih tehnik, kot so opisane v zaključkih o BAT. Te ravni so izražene kot povprečje v določenem časovnem obdobju pod posebnimi referenčnimi pogoji in se uporabljajo neposredno[12].

Skladno z 17. členom ZVO-1[12] povzročitelj onesnaževanja izvede ukrepe, potrebne za preprečevanje in zmanjšanje onesnaževanja, tako da njegove emisije v okolje ne presegajo predpisanih mejnih vrednosti. Vlada Republike Slovenije določi mejne vrednosti emisije, ki pri običajnih pogojih obratovanja naprave ali opravljanja dejavnosti ne smejo biti presežene, stopnje zmanjševanja onesnaževanja okolja in s tem povezane enakovredne parametre ter tehnične ukrepe, pa tudi mogoče učinke celotne in skupne obremenitve okolja, zavezance za zagotavljanje izvajanja obratovalnega monitoringa in njegov obseg ter podrobnejšo določitev večje spremembe naprave. Vlada za naprave iz 68. člena ZVO-1[12] lahko določi podrobnejša pravila za uporabo zaključkov o BAT, pri čemer se dosežena raven varstva okolja ne sme poslabšati, mejne vrednosti emisij in druge zahteve pa so lahko določene tudi strožje, kot jih določajo zaključki o BAT[12].

2.2. Predpisi o emisijami snovi v zrak v Republiki Sloveniji

2.2.1. Dopustne vrednosti in ukrepi za zmanjševanje emisij v zrak

Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 31/07, 70/08, 61/09 in 50/13 v nadaljevanju Uredba[14]) določa ukrepe in postopke za preprečevanje ali zmanjševanje onesnaženosti zraka iz naprav, ukrepe v zvezi z varovanjem zdravja ljudi v okolici naprav, ki kot nepremični viri onesnaževanja zaradi svojega obratovanja povzročajo onesnaževanje zunanjega zraka, ter ukrepe v zvezi z zagotavljanjem varstva ljudi in okolja pred škodljivim učinki onesnaževanja zunanjega zraka zaradi emisije snovi v zrak iz teh naprav. Za obratovanje naprave so zavezanci, vključno z metalurškimi obrati, pridobili okoljevarstveno dovoljenje (IED dovoljenje) skladno z 68. členom Zakona o

varstvu okolja (Ur. list RS, št. 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZmetD, 66/06-Odl, 33/07-ZPNačrt, 57/08-ZFO-1A, 70/08, 108/09, 57/12 v nadaljevanju ZVO-1)[12].

Dopustne vrednosti emisij v zrak se določijo v okoljevarstvenem dovoljenju za posamezno napravo. V zvezi z onesnaževanjem zunanjega zraka zaradi emisije snovi iz naprave se v okoljevarstvenem dovoljenju določijo za vsak odvodnik naprave posebej največji prostorninski pretoki odpadnih plinov in največji masni pretoki snovi, če gre za napravo, za katero je treba zagotoviti ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka, pri čemer se upošteva, da:

- pri trajnih meritvah nobena povprečna dnevna vrednost izmerjenega prostorninskega pretoka na posameznem odvodniku ne sme presegati največjega prostorninskega pretoka odpadnih plinov in nobena povprečna dnevna vrednost izmerjenega masnega pretoka na posameznem odvodniku ne sme presegati največjega masnega pretoka odpadnih plinov;
- pri občasnih meritvah povprečje izmerjenega prostorninskega pretoka na posameznem odvodniku ne sme presegati največjega prostorninskega pretoka odpadnih plinov in povprečje izmerjenega masnega pretoka na posameznem odvodniku ne sme presegati največjega masnega pretoka odpadnih plinov[14].

V skladu z Uredbo[14] je mejna koncentracija celotnega prahu za obstoječi metalurški obrat 20 mg/m^3 pri vrednosti masnega pretoka celotnega prahu 0,5 kg/h za naprave s filtrnimi odpraševalnimi napravami ter v primeru brez filtrnih naprav koncentracija 50 mg/m^3 pri masnem pretoku 0,5 kg/h. Mejna vrednost anorganskih delcev je določena za II. nevarnostno skupino anorganskih delcev iz:

- svinca in njegovih spojin, izraženih kot Pb,
- kobalta in njegovih spojin, izraženih kot Co,
- niklja in njegovih spojin, izraženih kot Ni,
- selena in njegovih spojin, izraženih kot Se, in
- telurja in njegovih spojin, izraženih kot Te,

je mejni masni pretok vsote teh delcev 2,5 g/h in mejna koncentracija vsote teh delcev 0,5 mg/m^3[14].

Upravljavec naprave, ki povzroča emisije v ozračje zagotavlja ukrepe za zmanjševanje emisij iz naprav zlasti:

- dodatne ukrepe za preprečevanje in zmanjševanje emisij,
- omejitve uporabe ali proizvodnje surovin, goriv ali proizvodov, ki povzročajo večje emisije snovi in njihovo zamenjavo s takimi, ki povzročajo manjše emisije snovi,
- dodatne omejitve masnih pretokov in emisij snovi iz naprave z obratovanjem pri manjši zmogljivosti od proizvodne zmogljivosti naprave,
- uvedbo najboljših referenčnih razpoložljivih tehnik (NRT oz. BAT), z uporabo katerih se dosežejo nižje mejne vrednosti emisije od predpisanih,
- drugi organizacijski ukrepi, ki vplivajo na zmanjševanje emisij iz naprave[14].

Na podlagi 33. člena Uredbe[14] se pri napravah, ki brez naprav za čiščenje odpadnih plinov čezmerno obremenjujejo okolje se zahteva, da upravljavec naprave zagotovi njihovo vgradnjo in obratovanje, če čezmernega obremenjevanja okolja ni mogoče preprečiti z drugimi ukrepi. Pri načrtovanju naprave ali večje spremembe naprave upravljavec naprave izbere tehniko za preprečevanje in zmanjševanje emisije snovi, ki je enakovredna najboljši referenčni razpoložljivi tehniki in, ki zagotavlja, da predpisane mejne vrednosti emisije snovi niso presežene, in hkrati omogoča najnižjo tehnično dosegljivo emisijo snovi. Pri načrtovanju in obratovanju naprav upravljavec naprave zagotovi izvajanje naslednjih ukrepov za preprečevanje in zmanjševanje emisije snovi:

- tesnjenje delov naprav, zajemanje odpadnih plinov na izvoru, zapiranje krožnih tokov, recikliranje snovi in rekuperacijo toplote, recirkulacijo odpadnega zraka in druge ukrepe za zmanjšanje količine odpadnih plinov,
- popolnejšo izrabo surovin in energije in druge ukrepe za izboljšanje proizvodnih procesov,
- izboljšanje obratovalnih stanj zagona, spremembe zmogljivosti in zaustavljanja ter drugih izjemnih pogonskih stanj,
- preprečevanje povečanja emisije snovi zaradi kopičenja izpuščenih snovi v krožnem procesu, če gre za delce iz I. in II. nevarnostne skupine anorganskih delcev ali rakotvorne snovi ali snovi, ki vsebujejo svinec,
- redno vzdrževanje dobrega tehničnega stanja naprave[14].

Pri stanjih in pojavih, pri katerih se morajo naprave za čiščenje odpadnih plinov izklopiti ali obiti ali kadar gre za zagon, spremembo moči ali obsega proizvodnje, ustavljanje, zalaganje in podobne prehodne pojave v tehnološkem procesu, upravljavec naprave zagotovi stalen nadzor in njihovo vodenje tako, da ni presežena najnižja dosegljiva raven emisije snovi pod takimi

pogoji. Če se v napravi uporabljajo ali obstaja možnost nastajanja emisije snovi iz I. ali II. nevarnostne skupine anorganskih delcev, I. ali II. nevarnostne skupine anorganskih snovi v plinastem stanju, I. nevarnostne skupine organskih snovi ali rakotvornih snovi, je treba vhodne surovine in vhodne pomožne snovi izbrati tako, da pri njihovi uporabi nastaja čim manj emisije snovi. Upravljavec naprave zagotovi, da je sestavni del dokumentacije, priložene k vlogi za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja, program ukrepov preprečevanja in zmanjševanja emisije snovi, v katerega so vključeni opisi ukrepov za preprečevanje in zmanjšanje emisij snovi v zrak[14].

Na podlagi 34. člena Uredbe[14] je potrebno pri načrtovanju in gradnji ter obratovanju naprave, kjer se trdne snovi pretovarjajo, prekladajo ali prevažajo, uporabljajo, predelujejo, obdelujejo ali skladiščijo in zaradi gostote, zrnatosti, velikosti zrn, površinskih lastnosti, abrazijski neodpornosti, drobljivosti, sestave ali nizke vsebnosti vlage teh snovi nastaja emisija, upravljavec naprave zagotovi izvajanje ukrepov preprečevanja in zmanjševanja emisije celotnega prahu v skladu s programom ukrepov preprečevanja in zmanjševanja emisije snovi zlasti razpršene emisije snovi iz naprave iz okoljevarstvenega dovoljenja. Upravljavec naprave v programu ukrepov preprečevanja in zmanjševanja razpršene emisije snovi iz naprave, ki je sestavni del dokumentacije, priložene k vlogi za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja za napravo opisati:

- vrsto in lastnosti trdnih snovi in njihovo sestavo, zlasti če gre za snovi, za katere so določene mejne vrednosti emisije snovi,
- opremo in način natovarjanja in raztovarjanja trdnih snovi,
- oceno masnega pretoka snovi in čas, v katerem nastaja emisija snovi,
- meteorološke pogoje na lokaciji naprave,
- lokacijo naprave v zvezi z njeno oddaljenostjo stavb, kjer ljudje prebivajo ali se dalj časa zadržujejo[14].

Pri obratovanju naprav, kjer se trdne snovi pretovarjajo, upravljavec naprave v program ukrepov preprečevanja in zmanjševanja razpršene emisije snovi iz naprave vključi predvsem naslednje ukrepe:

- pri pretovarjanju trdnih snovi (zmanjševanje poti padanja pri iztresanju, samodejno prilagajanje višine iztresa spreminjajoči višini nasutja, prilagajanje obratovanja naprave lastnostim trdnih snovi, mehak premik polnega grabeža, vračanju praznih

grabežev v izhodiščni položaj v zaprtem stanju, zmanjševanje nastavitvenih del in čiščenja, avtomatiziranje pretovora),

- v zvezi z opremo naprave za pretovor trdnih snovi (redno vzdrževanje naprav, uporaba popolnoma ali v pretežni meri zaprtih grabežev, uporaba stresalne cevi z glavo za natovarjanje in z odsesavanjem, uporaba navpičnih nakladalnikov s conami in z odsesavanjem, zmanjševanje izstopne hitrosti snovi z vgradnjo zadrževalnikov ali kaskadnih žlebov, zmanjševanje uporabe izmetnih transporterjev izven zaprtih prostorov, po možnosti uporaba nakladalnikov le za vlažne materiale ali materiale, ki se ne prašijo),
- v zvezi z lokacijo pretovora (popolno ali v pretežni meri zaprtje prostorov, ki se uporabljajo za pretovor materiala, odsesovanje lijakov, predajnih mest in drč, izboljšanje učinkovitosti odsesovanja, uporaba lijakov, pršenje z vodo na izstopnih odprtinah in zbirnih lijakih, uporaba vetrobranov v času pretovora na odprtem, podajšanje zadrževanja grabeža po iztresu materiala na prostoru iztresa, omejitve pretovarjanja pri visokih hitrostih vetra),
- v zvezi z lastnostmi trdnih snovi (zvišanje vlažnosti materiala v primerih, ko vlaženje ne vpliva na kvaliteto materiala, proizvoda ali zmožnosti njegovega skladiščenja, po potrebi z dodajanjem sredstev za zmanjševanje površinske napetosti, uporaba sredstev, ki vežejo prah, peletiranje, poenotenje velikosti zrn, zmanjševanje števila mest za pretovarjanje)[14].

Pri obratovanju strojev in opreme na območju naprave, kjer se trdne snovi prevažajo, upravljavec naprave v program ukrepov preprečevanja in zmanjševanja razpršene emisije snovi iz naprave vključi predvsem naslednje ukrepe:

- uporaba zaprtih prevoznih sredstev in zaprtih sistemov za natovarjanje in raztovarjanja trdnih snovi kot so vozila z zaprtimi vsebniki in v notranjem transportu zaprti transportni trakovi in elevatorji ter polžasti vijačni ali pnevmatski transporterji,
- čiščenje transportnega zraka, uporabljenega za pnevmatski transport, na napravi za odpraševanje, ali njegovo zadrževanje v zaprtem krogotoku,
- zapiranje brezkončnih transportnih trakov, če je to tehnično izvedljivo,
- zajemanje in odvajanje v napravo za odpraševanje zraka, ki je izpodrinjen iz zaprtih vsebnikov pri njihovem polnjenju s trdnimi snovmi,
- preprečevanje in zmanjševanje emisije na mestih, kjer se trdne snovi pretovarjajo na prostem z vlaženjem zraka, če vlaženje ne ovira kasnejše obdelave, možnosti

skladiščenja ali kakovosti pretovarjanih snovi, ali z zaprtjem predajnih mest, odpadne pline pa je potrebno očistiti na odpraševalni napravi,

- pranje in vzdrževanje površin cest, po katerih vozijo vozila za prevoz trdnih snovi, razen za ceste na območju odkopa mineralnih surovin na prostem,
- zapiranje vhodnih vrat v prostore stavb, v katera se dovažajo, uporabljajo ali odvažajo trdne snovi,
- obdelava celotnega prahu v zajetih odpadnih plinih[14].

Pri obratovanju naprav, kjer se trdne snovi uporabljajo, predelujejo ali obdelujejo upravljavec naprave v program ukrepov preprečevanja in zmanjševanja razpršene emisije snovi iz naprave vključi predvsem naslednje ukrepe:

- zapiranje strojev in druge opreme za obdelavo trdnih snovi, kot so oprema za lomljenje, mletje, sejanje, mešanje, peletiranje, briketiranje, ogrevanje, sušenje ali za drugo obdelavo trdnih snovi, ali uporaba drugih tehnik za preprečevanje in zmanjševanje razpršene emisije, s katerimi se dosegajo primerljivi učinki,
- zapiranje ali tesnjenje mest za pretovarjanje trdnih snovi ali uporaba tehnike vlaženja trdne snovi,
- zajemanje in odpraševanje odpadnih plinov iz strojev in druge opreme za obdelavo trdnih snovi[14].

Pri obratovanju naprav, kjer se trdne snovi skladiščijo v zaprtih ali prekritih prostorih, upravljavec naprave v program ukrepov preprečevanja in zmanjševanja razpršene emisije snovi iz naprave vključi predvsem naslednje ukrepe:

- prednostna uporaba zaprtih načinov skladiščenja, kot je skladiščenje v silosih, bunkerjih, zabojnikih, skladiščnih halah ali kontejnerjih,
- upoštevanje geometrije skladiščnih prostorov z namenom, da je emisija prahu čim manjša, če skladiščenje ni izvedeno popolnoma zaprto,
- uporaba zaprtih sistemov za natovarjanje in raztovarjanja trdnih snovi, pri čemer je treba zajeti odpadne pline in izpodrinjeni zrak iz posod, kamor se snov pretovarja, ter jih očistiti na odpraševalni napravi,
- uporaba opreme polnilnih naprav z varovalnim sistemom pred prenapolnitvijo,
- praznjenje silosov, zabojnikov skozi odprtino za odvzem z urejenim odsesovanjem in uporaba stožčaste ali rotacijske zapore v povezavi s transportnimi trakovi ali pnevmatskim transporterji[14].

Pri obratovanju skladišč na prostem upravljavec naprave v program ukrepov preprečevanja in zmanjševanja razpršene emisije snovi iz skladišča na prostem vključi naslednje ukrepe:

- prekritje površine na primer z blazinami,
- ozelenitev površine,
- pršenje s sredstvi, ki vežejo prah, med postavljanjem skladišča,
- utrjevanje površine,
- izdatno vlaženje jalovišč in mest natovarjanja in raztovarjanja, po potrebi ob uporabi sredstev za zmanjšanje površinske napetosti, če vlaženje ne ovira poznejše obdelave ali predelave, zmožnosti skladiščenja ali kakovosti proizvoda pretovarjanih snovi,
- sipanje ali odvzemanje za nasipi,
- uporaba višinsko nastavljivih transportnih trakov,
- zasaditev rastlinja kot zaščite pred vetrom,
- usmeritev vzdolžne osi jalovišča v glavni smeri vetra,
- omejitev višine jalovišča,
- čim večjo opustitev dovažanja in odvzemanja pri vremenskih razmerah, ki so še zlasti naklonjena nastajanju emisije snovi, kakor je dolgotrajna suša, obdobja zmrzali ali velike hitrosti vetra, in
- postavitev strehe, bočne zaščite ali kombinacija obeh ukrepov tako, da se odprto skladiščenje, vključno s pomožnimi napravami, spremeni v deloma ali popolnoma zaprt način skladiščenja trdnih snovi[14].

37. člen Uredbe[14] določa, da upravljavec naprave zagotovi izvajanje obratovalnega monitoringa emisije snovi in v njegovem okviru zagotovi izvajanje:

- prvih meritev,
- občasnih ali trajnih meritev emisije snovi in
- ocenjevanje dodatne in celotne obremenitve na območju vrednotenja, če je ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka za napravo določeno v okoljevarstvenem dovoljenju[14].

Meritve emisije snovi v zrak se izvajajo na podlagi Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št.105/08 v nadaljevanju Pravilnik)[16]. Pravilnik določa vrste snovi v odpadnih plinih, parametre stanja odpadnih plinov in obratovalne

parametre, ki so predmet prvih meritev in obratovalnega monitoringa emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja, metodologijo vzorčenja, merjenja in vrednotenja meritev ter način poročanja o opravljenih meritvah ministrstvu, pristojnemu za varstvo okolja. Pravilnik določa tudi opremo, vrsto akreditacije in tehnične pogoje, ki jih mora izpolnjevati oseba, ki izvaja obratovalni monitoring[16].
Vsa določila v zvezi z metodologijo vzorčenja, merjenja in vrednotenja meritev ter poročanja o opravljenih meritvah, ki niso urejena s slovenskimi predpisi se uporablja Referenčni dokument o splošnih načelih monitoringa 2003/C 170/03 z dne 7. julija 2003 za namene Direktive Sveta 96/61/ES o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja okolja (UL C št. 170 z dne 19. 7. 2002, str. 3)[10].

Poročilo o obratovalnem monitoringu skladno z 21. členom Pravilnika[16] sestavlja:

- poročilo o trajnih meritvah emisije snovi,
- poročilo o občasnih meritvah emisije snovi v skladu s standardom SIST EN 15259[1],
- ocena o letnih emisijah snovi v zrak,
- poročilo o ocenjevanju celotne obremenitve zunanjega zraka, če gre za emisijo snovi iz naprave, za katero je treba dokazovati izpolnjevanje pogojev v zvezi s kakovostjo zunanjega zraka, in
- poročilo o ocenjevanju dodatne obremenitve zunanjega zraka, če je za napravo v okoljevarstvenem dovoljenju posebej določeno ocenjevanje dodatne obremenitve zunanjega zraka v okviru obratovalnega monitoringa.

Poročilo o občasnih meritvah emisije snovi izvajalec obratovalnega monitoringa izdela za tisto leto v več letnem obdobju izvajanja občasnih meritev, ki je določeno v predpisu, ki ureja emisijo snovi v zrak iz nepremičnih virov nesnaževanja, ali v okoljevarstvenem dovoljenju in ga predloži zavezancu v elektronski obliki najkasneje 60 dni po opravljenih meritvah.

Upravljavec naprave pošlje poročilo o občasnih meritvah v elektronski obliki ministrstvu najkasneje 10 dni po prejemu poročila. Oceno o letnih emisijah snovi v zrak za vsako leto izdela izvajalec obratovalnega monitoringa, ki je izvedel obratovalni monitoring na napravi na obrazcu, ki ga ministrstvo objavi na svojih spletnih straneh. Oceno o letnih emisijah snovi v zrak izvajalec obratovalnega monitoringa predloži upravljavcu naprave najpozneje do 10. marca tekočega leta za preteklo leto pisno in v elektronski obliki, upravljavec naprave pa jo

pošlje ministrstvu v elektronski obliki najpozneje do 31. marca tekočega leta za preteklo koledarsko leto[16].

Poglavje 4 doktorske disertacije predstavljena akreditirane metode za merjenje emisij v zrak, meritve imisij delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v zunanjem zraku, v poglavju 5 so podani rezultati in vrednotenje pri obravnavanem metalurškem obratu.

2.2.2. Ocenjevanje obstoječe in dodatne obremenitve na območju vrednotenja

Za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja upravljavec naprave zagotovi ocenjevanje obstoječe in dodatne obremenitve in na podlagi analize obremenitve na območju vrednotenja dokaže izpolnjevanje pogojev za izdajo okoljevarstvenega dovoljenja v zvezi s kakovostjo zunanjega zraka na območju vrednotenja.

Upravljavec naprave zagotovi ocenjevanje obstoječe obremenitve za snov, ki obremenjuje zunanji zrak zaradi emisije iz naprave in za katero je določena mejna vrednost emisije, če je:

- za to snov predpisana mejna letna koncentracija in je najmanj na enem merilnem mestu na območju vrednotenja obstoječa obremenitev zaradi obratovanja druge naprave ali drugega vira onesnaževanja, ki ni naprava po uredbi[14], zaradi te snovi večja od spodnjega ocenjevalnega praga, določenega v skladu s predpisom, ki ureja koncentracijo te snovi v zunanjem zraku[15], ali
- ta snov arzen, svinec, kadmij, nikelj ali živo srebro in na območju, katerega radij je dvakrat večji od radija območja vrednotenja, obratuje najmanj ena naprava, pri kateri urni povprečni masni pretok te snovi na katerem koli odvodniku, izračunan za 8.760 ur obratovanja naprave, presega vrednosti urnega masnega pretoka snovi, ki so za to snov glede na višino odvodnika, določene na diagramu v prilogi 5 Uredbe[14].

Pri izvedbi meritev v okviru ocenjevanja obstoječe obremenitve je treba zagotoviti, da določitev glavnih smeri vetrov in izbira merilnih mest na območju vrednotenja zagotavlja verodostojno ocenjevanje deleža, ki ga k obstoječi obremenitvi prispevajo druge naprave, ki vplivajo na kakovost zraka na tem območju.

Upravljavcu naprave ni treba zagotoviti ocenjevanja obstoječe obremenitve za snov, za katero je določena mejna letna koncentracija ali ciljna letna vrednost v zunanjem zraku, če je na

podlagi podatkov predhodnih ocenjevanj kakovosti zunanjega zraka za največjo obstoječo obremenitev zaradi te snovi na območju vrednotenja ugotovljeno, da:

- je letna vrednost v zunanjem zraku manjša od 85 odstotkov ciljne letne vrednosti v zunanjem zraku, določene za to snov v skladu s predpisom, ki ureja koncentracijo arzena, kadmija, živega srebra, niklja in policikličnih aromatskih ogljikovodikov v zunanjem zraku[41] ;
- je letna koncentracije manjša od 85 odstotkov mejne letne koncentracije snovi v zunanjem zraku, določene za to snov v skladu s predpisom, ki ureja koncentracijo žveplovih oksidov, dušikovih oksidov, delcev, svinca in benzena v zunanjem zraku[15];
- je največja 24-urna koncentracija snovi iz prejšnje točke manjša od 95 odstotkov mejne dnevne koncentracije snovi v zunanjem zraku, razen za delce PM_{10};
- je največja urna koncentracija snovi iz 2. točke tega odstavka manjša od 95 odstotkov mejne urne koncentracije snovi v zunanjem zraku in
- 24-urna koncentracija v zadnjih treh letih ni presegla mejne 24 urne koncentracije več kakor 15 krat letno, če gre za delce PM_{10}[14].

Določbe se ne uporabljajo, če gre za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja za napravo, pri kateri ocenjeni masni pretok razpršene emisije snovi presega 10 odstotkov najmanjše vrednosti masnega pretoka snovi v odpadnih plinih iz priloge 5 k tej uredbi[14].

Okoljevarstveno dovoljenje na območjih vrednotenja, na katerih je presežena mejna letna koncentracija ali ciljna letna vrednost v zunanjem zraku in za to območje, kjer ni sprejet načrt za kakovost zraka, ki upravljavcem posameznih naprav nalaga obveznosti za zmanjševanje emisij iz teh naprav v celotni obremenitvi na območju vrednotenja, se izda, če njena dodatna obremenitev na območju vrednotenja zaradi emisije teh snovi ne presega treh odstotkov predpisane mejne letne koncentracije ali ciljne letne vrednosti v zunanjem zraku[14].

Okoljevarstveno dovoljenje na območjih vrednotenja, na katerih je presežena mejna letna koncentracija ali ciljna letna vrednost v zunanjem zraku in za to območje ni sprejet načrt za kakovost zraka, ki upravljavcem posameznih naprav nalaga obveznosti za zmanjševanje emisij iz teh naprav v celotni obremenitvi na območju vrednotenja, se izda za obstoječe naprave, za katere je treba zagotoviti ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka, katerih dodatna obremenitev na katerem koli merilnem mestu na območju vrednotenja presega tri odstotke predpisane mejne letne koncentracije ali ciljne letne vrednosti v zunanjem zraku, in sicer za:

- obstoječe naprave, za katere je treba zagotoviti ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka, se v okoljevarstveno dovoljenje dodajo dodatne zahteve,
- obstoječe naprave, za katere je treba zagotoviti ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka in se namerava izvesti sprememba, ki bo vplivala na povečanje emisij iz celotne naprave po spremembi, se okoljevarstveno dovoljenje izda, če se masni pretok iz naprave po spremembi ne poveča, pri čemer se v okoljevarstveno dovoljenje doda zahteve dodajo dodatne zahteve[14].

Glede na zakonodajne zahteve je eden najpomembnejših vidikov ocenjevanja obstoječe in dodatne obremenitve in na podlagi analize obremenitve na območju vrednotenja prav ocenjevanje masnega pretoka razpršene emisije snovi industrijske naprave ter verodostojno ocenjevanje deleža, ki ga k obstoječi obremenitvi prispevajo druge naprave, ki vplivajo na kakovost zraka na tem območju.

2.3. Zahteve zakonodaje o kakovosti zunanjega zraka v Republiki Sloveniji

Zahteve v zvezi s kakovostjo zunanjega zraka določa Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 9/11 in 8/15)[15]. Uredba določa mejne vrednosti za žveplov dioksid, dušikov dioksid, delce PM_{10} in $PM_{2,5}$, svinec, benzen in ogljikov monoksid v zraku na posameznem območju, podobmočju in aglomeraciji.

Mejne vrednosti in sprejemljivo preseganje za delce PM_{10}:

- Čas povprečenja: 1 dan, mejna vrednost [$\mu g/m^3$]: 50 ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu, sprejemljivo preseganje [$\mu g/m^3$]: 25
- Čas povprečenja: koledarsko leto, mejna vrednost [$\mu g/m^3$]: 40, sprejemljivo preseganje [$\mu g/m^3$]: 10.[15]

2.4. BAT tehnologije za livarne

Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry May 2005 je dokument BREF za kovačnice in livarne[9] (referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah) in je pripravljen na podlagi izmenjave informacij, opravljene v skladu s členom 16(2) Direktive Sveta 96/61/ES. Dokument navaja najboljše razpoložljive tehnike (BAT) in z njimi povezane ravni emisije snovi v zrak. Ključno okoljsko vprašanje livarn so predvsem emisije v zrak. Pri livarskem postopku nastane mineralni prah z vsebnostjo kovinskih delcev, kisle spojine, produkti nepopolnega izgorevanja in hlapne organske

ogljikove spojine. Prah lahko nastane pri vseh fazah postopka, različnih vrst in kemične sestave. Prašni delci se sproščajo pri taljenju kovin, litju v peščene forme in končni obdelavi proizvodov. Pri izdelavi peščenih form in jeder se za vezavo peska uporabljajo različni dodatki (nevarne kemične snovi). Litje v pesek vključuje uporabo velikih količin peska, razmerja v teži med peskom in talino se običajno gibljejo od 1:1 do 20:1. Rabljeni pesek se lahko regenerira, ponovno uporabi ali odstrani. Glavne emisije v livarnah so prah, amini in HOS, pri določenih vrstah peči pa tudi SO_2, dioksini in NO_x. Ključni vidik pri zmanjševanju emisij je predvsem njihovo učinkovito zajetje in suho prečiščevanje skozi čistilne naprave za odpadne pline.

BAT tehnologije za posamezne tehnološke procese:

- Taljenje kovin: Emisijski faktor prašnih delcev iz indukcijskih peči, glede na podatke v literaturi znaša 0,06 do 1 kg/tono staljenega železa, vendar se v praksi dosegajo vrednosti 0,04 do 3 kg/tono staljenega železa. Najvišje emisije pri taljenju nastajajo na začetku procesa taljenja. Velikosti delcev so predvsem med 1 do 100µm, 50 % delež predstavljajo delci manjši od 10-20µm. Pri zajemanju in obdelavi emisij snovi v zrak iz indukcijskih peči se mora uporabljati napo, ekstrakcijo s šobo ali pokrovom na vsaki indukcijski peči za zajemanje odpadnih plinov iz peči in povečati zbiranje odpadnih plinov med celotnim delovnim ciklom, za čiščenje plinov se uporabljajo suhi vrečasti filtri. Vrednost emisije prahu mora znašati pod 0,2 kg/tono staljenega železa.
- Ulivanje taline v netrajno formo: Ulivanje v netrajno formo vključuje izdelavo forme, izdelavo jedra, ulivanje taline, hlajenje in iztresanje ulitkov iz forme. Proces vključuje izdelavo bentonitne peščene mešanice ali kemično vezanih peščenih form in jeder. BAT obravnava: izdelavo form iz bentonitne peščene mešanice, izdelavo form iz kemično vezanega peska in ulivanje/hlajenje/iztresanje. Pri pripravi bentonitne peščene mešanice je pomembno zajemanje emisij snovi v zrak, njihovo suho čiščenje ter notranje ali zunanje recikliranje odpadnega prahu. Namen je zmanjšati količino porabe peska ter povečati delež recikliranja peska. Pri ulivanju, hlajenju in iztresanju nastanejo emisije prahu, HOS in drugih organskih produktov. Emisijski faktorji prašnih delcev (g/tono staljenega železa) pri ulivanju/hlajenju/iztresanju znašajo za skupni prah 120 g/t staljenega železa za celokupni prah, 74 g/t staljenega železa za delce $>PM_{10}$, 44 g/ t staljenega železa za delce PM_{10} in 8 g/t staljenega železa za delce $PM_{2,5}$. Največji deleži emisije delcev PM_{10} nastane pri hlajenju (26 g/t staljenega železa), pri ulivanju (8 g/t staljenega železa) in iztresanju (10 g/t staljenega železa).

Največji deleži emisije delcev $PM_{2,5}$ nastane pri hlajenju (5 g/t staljenega železa), pri ulivanju (2 g/t staljenega železa) in iztresanju (1 g/t staljenega železa). Največji deleži emisije delcev >PM_{10} nastane pri iztresanju (42 g/t staljenega železa), pri hlajenju (22 g/t staljenega železa) in ulivanju (10 g/t staljenega železa). V tabeli 1 so prikazani deleži posameznih delcev v skupnem prahu pri ulivanju, hlajenju in iztresanju.

Tabela 1: Deleži delcev > PM_{10}, PM_{10} in PM v skupnem prahu pri ulivanju, hlajenju in iztresanju ulitkov

Tehnološki proces	Delež delcev > PM_{10} v skupnem prahu	Delež delcev PM_{10} v skupnem prahu	Delež delcev $PM_{2,5}$ v skupnem prahu
ulivanje	50 %	40 %	10 %
hlajenje	46 %	54%	10 %
iztresanje	80%	19 %	1 %

Namen BAT je predvsem vključiti procese hlajenja in iztresanja, kjer nastaja največji delež emisije snovi v zrak, zagotavljati zajem odpadnih plinov pri avtomatskem ulivanju in hlajenju ter preprečiti emisije prašnih delcev pri opremi za iztresanje. Vse zahete prašne delce prečistiti z uporabo suhega odstranjevanja prahu, pri ostalih odpadnih plinih pa uporabiti mokre postopke čiščenja.

- Mehanska in toplotna obdelava ulitkov: Pri mehanski obdelavi ulitkov nastaja kovinski prah z vsebnostjo peščene mešanice. Odpadni plini pri toplotni obdelavi vsebujejo odpadne pline pri izgorevanju goriva.

Tabela 3 prikazuje ravni emisije v povezavi z BAT za posamezne tehnološke procese v livarni.

Tabela 2: Ravni emisije povezane z BAT[9]

Dejavnost	Vrsta	Parameter	Raven emisije (mg/Nm³)
taljenje železnih kovin	splošno indukcijska peč	prah (1)	5–20
		PCDD/PCDF	≤ 0,1 ng TEQ/Nm³
taljenje neželeznih kovin	splošno	prah	1–20
izdelava form in ulivanje z uporabo netrajnih form	splošno	prah	5–20
	jedrarna	amin	5
	regeneracijske enote	SO_2	120
končna obdelava ulitkov		prah	5–20
		NO_x	150
(1) Raven emisije prahu je odvisna od sestavin prahu, kot so težke kovine in dioksini, ter njegovega masnega pretoka.			

Referenčni dokumenti BAT niso pravno zavezujoči, ampak so namenjeni dajanju informacij za usmerjanje panoge, države članic in javnosti pri dosegljivih ravni emisije in porab surovin in energentov. Mejne vrednosti so določene ob upoštevanju ciljev Direktive IPPC v nacionalnih predpisih.

V točki 4.5.1.1. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry May 2005[9] so določeni ukrepi za zmanjšanje razpršenih in ubežnih emisij, ki nastajajo na območjih skladišč, pri raztovarjanju in natovarjanju sipkih materialov, pri notranjem transportu materiala iz ene posode v drugo (npr. peči, ponovce, silosi), mešanje in rokovanje z vezivnimi materiali, litje v forme (topila), tekoči trakovi za transport materiala, cevovodi in odvodni sistemi – netesnost, slabo vzdrževanje objektov, razsutja/razlitja itd.. Delež razpršenih in ubežnih emisij, ki niso zajete v odvodnikih dokument BREF v svojih BAT ne določuje, prav tako ni podatkov iz opravljenih raziskav na praktičnih primerih meritev v livarnah, kot je to pri predstavitvi emisijskih ravni in emisijskih faktorjev za zajete emisije snovi v zrak iz posameznih tehnoloških naprav. Za zmanjšanje razpršenih in ubežnih emisij zavezanec izvaja ukrepe zapiranja vrat in pokrivanja posod, preprečevanje odlaganje

nezaprtih posod na prostem, redno mokro čiščenje cest in površin v neposredni bližini obrata, uporabo industrijskih sesalcev za zagotavljanje čistosti notranjosti obrata itd..

2.5. Zahteve na področju predpisov o razpršenih in ubežnih emisijah IED naprav

IED naprave so dolžne na podlagi veljavnega IED okoljevarstvenenega dovoljenja in predpisov:

- zajeti vse emisije, vključno z razpršenimi in ubežnimi emisijami v letni oceni o emisijah snovi v zrak,
- na podlagi ocenjevanja obstoječe in dodatne obremenitve na območju vrednotenja z uporabo direktnih meritev obremenitve izbranih točk z delci PM_{10} v okolici razpršenega vira z znano koncentracijo emitirane snovi iz odvodnikov in metodo reverzno disperzijskega modeliranja skladno s standardom SIST EN 15445:2008[8], določiti skupni masni pretok prašnih delcev PM_{10} ter določiti delež nezajetih razpršenih emisij in ubežnih emisij, ki jih obrat izpušča v okolje.

Podlaga za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja na območjih vrednotenja je ravno delež skupnih emisije glede na mejno letno koncentracijo ali ciljne letne vrednosti v zunanjem zraku tako, da je pravilno ovrednotenje deleža razpršenih in ubežnih emisij metalurškega obrata, ki niso vključene v emisijah snovi v zrak iz odvodnikov, pomembni podatek pri ocenjevanju skladnosti naprave v postopkih pridobitve OVD in pri podajanju pravilnih odatkov v ocenah letnih emisij v zrak posamezne obrata oz. IED naprave.

Eksperimentalni del doktorske disertacije na primeru metalurškega obrata obravnava vrednotenje celokupnih emisij delcev v zrak (celokupni prah, delci PM_{10}), predvsem s problematiko vrednotenja prispevka razpršenih in ubežnih emisij, ki niso zajete v odvodnikih.

2.6. Zahteve okoljevarstvenega dovoljenja IED metalurškega obrata glede emisij v zrak (celokupni prah, delci PM_{10})

Okoljevarstvene zahteve v zvezi z emisijami snovi v zrak, ki izhajajo iz okoljevarstvenega dovoljenja (OVD) metalurškega obrata so:

- preprečevati vnosa naoljenih, rjastih in s peskom onesnaženih odpadnih kovin v tehnološki proces taljenja,

- izvajati ukrepe dobre prakse ob taljenju in prevozu taline,
- obratovati z napravo za pripravo peska zaprte izvedbe, odpadne pline, ki nastanejo pri obratovanju pa zajemati in odvajati v čistilno napravo,
- obratovati z napravo za odstranjevanje jeder in iztresanje odlitkov zaprte izvedbe, odpadne pline, ki nastanejo pri obratovanju pa zajemati in odvajati v čistilno napravo,
- obratovati z napravami za čiščenje livarskega peska z odlitkov zaprte izvedbe, odpadne pline, ki nastanejo pri obratovanju pa zajemati in odvajati v čistilno napravo,
- zajemati odpadne pline iz indukcijskih peči na kraju njihovega nastanka ter jih odvajati v čistilno napravo,
- zajemati odpadne pline, ki nastajajo v postopku nodulacije sive litine na kraju njihovega nastanka ter jih odvajati v čistilno napravo,
- zajemati odpadne pline, ki nastajajo pri obratovanju naprav za pripravo jeder, po cold box postopku ali njihovem začasnem skladiščenju ter uporabljati premaze za jedra, ki so na alkoholni ali vodni osnovi,
- uporaba zaprtega sistema natovarjanja in raztovarjanja silosov, kjer se skladišči bentonit in kremenčev pesek, pri čemer se odpadni plini in izpodrinjeni zrak iz silosov zajema ter očisti na odpraševalni napravi, polnilna naprava mora imeti varovalni sistem pred prenapolnitvijo,
- za kondicioniranje taline v napravi za taljenje in legiranje zlitin barvnih kovin je prepovedana uporaba heksakloretana,
- obratovanje z napravo za litje in hlajenje zaprte izvedbe, odpadne pline, ki nastanejo pri obratovanju pa zajemati in odvajati v čistilno napravo,
- izvajanje pranja in vzdrževanja površin cest znotraj industrijskega kompleksa po katerih vozijo vozila za prenov trdnih snovi,
- zapiranje vhodnih vrat v prostore stavb, v katera se dovažajo, uporabljajo ali odvažajo trdne snovi.

Upravljavec zagotovi zajemanje odpadnih plinov na izvoru in izpuščanje zajetih emisij v zrak iz naprav samo skozi definirane izpuste določene v OVD. Na definiranih izpustih emisij snovi v zrak ne smejo biti presežene dopustne vrednosti in največji masni pretoki določeni v OVD.

V metalurškem obratu so definirani 4 izpusti, ki povzročajo emisije prašnih delcev v zrak skozi odvodnike, določeni v IED okoljevarstvenem dovoljenju. V tabelah 3, 4, 5 in 6 so prikazane dopustne vrednosti in največji masni pretoki posameznih snovi v teh odvodnikih.

Merilno mesto 1 (MME1, izpust z oznako Z1-Linija 1 Talilnica): Talilnica – indukcijske talilne peči, ki vključuje naslednje tehnološke enote: Indukcijska talilna peč za sivo litino št. 1, 2 in 3; Nodulizacija in Indukcijska talilna peč, zlitine bakra.

Tabela 3: Dopustne vrednosti in največji masni pretoki

Parameter	Dopustna vrednost	Največji masni pretok
Celotni prah	20 mg/m^3	343 g/h
Vsota anorganskih delcev II.nevarnostne skupine: -Svinca in njegovih spojin, izraženih kot Pb -Kobalta in njegovih spojin, izraženih kot Co -Niklja in njegovih spojin, izraženih kot Ni.	0,5 mg/m^3	2,5 g/h
Vsota anorganskih delcev III.nevarnostne skupine: -Kroma in njegovih spojin, izraženih kot Cr, -Bakra in njegovih spojin, izraženih kot Cu, -Mangana in njegovih spojin, izraženih kot Mn, -Vanadija in njegovih spojin, izraženih kot V, -Kositra in njegovih spojin, izraženih kot Sn	1 mg/m^3	5 g/h
Vsota anorganskih delcev II in III.nevarnostne skupine	1 mg/m^3	5g/h
Dioksini in furani	0,1 ng TEQ/m^3	/

Merilno mesto 2 (MME2, izpust z oznako Z2-Linija 2 in 3): Priprava peska in končna obdelava, ki vključuje naslednje tehnološke enote: Priprava peska, formanje, iztres ulitkov, peskanje in brušenje.

Tabela 4: Dopustne vrednosti in največji masni pretoki

Parameter	Dopustna vrednost	Največji masni pretok
Celotni prah	10 mg/m^3	1146 g/h

Merilno mesto 3 (MME3, izpust z oznako Z3- Rupmann 1): Talilnica brona 1, ki vključuje tehnološko enoto: Lončena peč 1.

Tabela 5: Dopustne vrednosti in največji masni pretoki

Parameter	Dopustna vrednost	Največji masni pretok
Celotni prah	20 mg/m^3	16 g/h
Žveplov dioksid in žveplov trioksid, izražena kot SO_2	350 mg/m^3	1800 g/h
Dušikov monoksid in dušikov dioksid, izražen kot NO_2	350 mg/m^3	1800 g/h

Merilno mesto 4 (MME4, izpust z oznako Z4-Rupmann 2): Talilnica brona 2, ki vključuje tehnološko enoto: lončena peč 2.

Tabela 6: Dopustne vrednosti in največji masni pretoki

Parameter	Dopustna vrednost	Največji masni pretok
Celotni prah	20 mg/m^3	16 g/h
Žveplov dioksid in žveplov trioksid, izražena kot SO_2	350 mg/m^3	1800 g/h
Dušikov monoksid in dušikov dioksid, izražen kot NO_2	350 mg/m^3	1800 g/h

Upravljavec izvaja obratovalni monitoring emisij snovi v zrak na vseh definiranih odvodnikih skladno s predpisi, ki urejajo prve meritve in obratovalni monitoring emisij snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje. Upravljavec zagotovi, da se razpršene emisije snovi iz naprav pri vrednotenju emisije snovi oceni in količine izpuščenih snovi prišteje k izmerjeni emisiji snovi iz izpustov naprave. Upravljavec Agenciji RS za okolje posreduje letno poročilo o emisiji snovi v zrak do 31.3. tekočega leta za preteklo leto. Poročila o obratovalnem monitoringu in letna poročila o emisijah snovi v zrak iz virov emisije naprav iz dovoljenja upravljavec naprave hrani najmanj pet let.

3. OPIS METALURŠKEGA OBRATA IN TEHNOLOGIJ V POVEZAVI Z EMISIJAMI PRAŠNIH DELCEV V ZRAK

3.1. Opis dejavnosti družbe

Obravnavan metalurški obrat je livarna specializirana za proizvodnjo ulitkov iz sive litine, legirane sive litine in nodularne litine, Ni-resist litin in bakrovih zlitin (bron, Al-bron). V času izdelave eksperimentalnega dela doktorske disertacije je IED naprava imela veljavno okoljevarstveno dovoljenje za IPPC napravo, izdano leta 2008. Vse nadaljne spremembe okoljevarstvenega dovoljenja se nanašajo na izvedene investicije v izboljšanje tehnoloških procesov, zmanjševanje vplivov na okolje in prilagoditvi tehnologij zahtevam BAT z namenom zmanjšanja razpršenih emisij prašnih delcev v zrak.

3.2. Opis tehnologij in naprav

Naprava za taljenje in litje nodularne in sive litine s proizvodno zmogljivostjo taljenja 91 ton na dan se sestoji iz naslednjih nepremičnih tehnoloških enot:

- indukcijska talilna peč (Tri srednje frekvenčne indukcijske lončene peči tipa Inductherm, 250 Hz, 1250 kW z zmogljivostjo taljenja 1900 kg/h.)
- naprava za nodulacijo (Avtomatsko vodena naprava za nodulacijo s polnjeno žico. Žice so polnjene z leguro FeSiMg ali FeSi, programsko se dodajajo glede na količino in temperaturo taline.)
- stroji za izdelavo jeder (Jedrarski stroji SPN 15 (15 litrov Foundry Automation), SPN 7 (7 litrov Foundry Automation) in SCB 40 (40 litrov Primafond).)
- priprava peska (Silosi za kremečev pesek, bunker za reciklirani pesek in mešalec z dozirnimi sistemi.)
- linija formanja in litja (Avtomatiziran formarski stroj Adiabatic proizvajalca Foundry Automation in livna naprava z livno ponovco kapacitete 0,6 tone taline.)
- linija hlajenja ulitkov (Avtomatska formatski stroj Adiabatic proizvajalca Foundry)
- čistilnica in obdelava ulitkov (Peskalni stroji, CNC stroji, ročni brusilniki.)
- toplotna obdelava ulitkov
- modelna delavnica
- kompresorska postaja
- skladišče surovin in izdelkov.

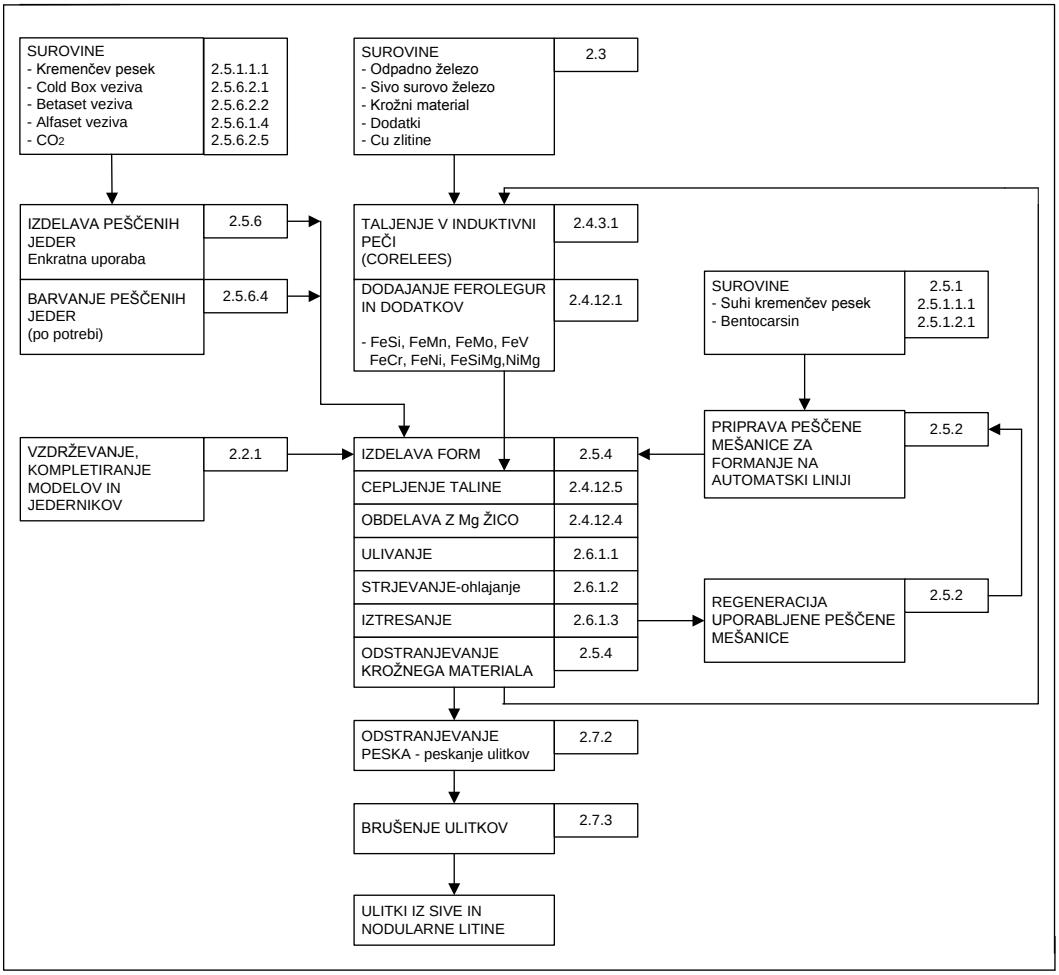
Naprava za taljenje in legiranje zlitin bakra s talilno zmogljivostjo 30 ton na dan obsega tehnološke enote:

- indukcijska peč (ena omrežno frekvenčna indukcijska lončena peč tip AEG NFT Ge 1600, 450 kW z zmogljivostjo taljenja 500 kg/h)
- lončeni peči (dve lončeni peči ogrevani s kurilnim oljem ekstra lahkim (ELKO) tip Rupman 750 kW vsaka z zmogljivostjo taljenja 375 kg brona/h)
- prostor ročnega litja.

Na sliki 1 so prikazani tehnološki procesi in njihova medsebojna soodvisnost. Livarski proces se začne s taljenjem livarskega vložka in krožnega materiala v talilnih pečeh. Med procesom taljenja se v indukcijskih lončenih pečeh izvaja legiranje taline z legurami: FeSi, FeMn, FeMo, FeV, FeCr, FeNi, FeTi, FeSiMg (za izdelavo nodularne litine), NiMg ter za izdelavo barvnih zlitin Zn in Sn. Zajeti odpadni plini iz peči med procesom zalaganja, taljenja in izlitja iz peči v livarsko ponovco se odvajajo v vrečasto čistilno napravo, kjer se po suhem postopku prečistijo. Odpadni prah se seseda v vrečastih filtrih, prečiščen zrak se izpusča skozi odvodnik Z1- Linija 1 Talilnica v zrak.

Med izlivanjem taline iz indukcijskih peči se opravi primarno cepljenje in posname žlindra. Talino se izlije v livno ponev, ki visi na livni napravi oz. je radijsko vodena preko mostovnega žerjava.

Pri pripravi taline brona se zajeti prečiščeni odpadni plini iz lončene peči 1 izpuščajo skozi odvodnik Z3- Rupmann, iz lončene peči 2 pa skozi odvodnik Z4-Rupmann 2.



Slika 1: Livarski procesi v metalurškem obratu

Sledi proces avtomatske ali ročne izdelave peščenih form in ulivanja, ohlajanje in zaključne operacije čiščenja ulitkov. Peščene mešanice za izdelavo form se pripravljajo na tehnološki enoti priprava peska. Surovine za pripravo peščenih mešanic so bentocarsin, kremenčev pesek in reciklirani pesek iz iztresanja form. Odpadni pesek, ki vsebuje uporabljeno peščeno mešanico in kovinske delce prihaja s tekočim trakom v napravo za pripravo peska, kjer se očisti na magnetnem separatorju in vibracijskih sitih. Recikliran pesek se nato skladišči v 100 m^3 bunkerju nad mešalcem.

V proces mešanja, ki se opravlja na mešalcu WEBAC 88 B zmogljivosti do max. 30 m^3/h, vstopajo za pripravo peščene mešanice komponente v orientacijskih težnostnih razmerjih: recikliran pesek (90-95%), novi pesek (0-5%), bentocarsin (0-0,5 %) in voda (1-2,5 %). Čas mešanja peščene mešanice znaša 1 min 25 sekund. Količina potrebne vode za doseganje ustrezne vlažnosti se določa na podlagi rezultatov na avtomatskem merilniku vlage Micehenfelder, količina dodane vode je odvisna tudi od količine vlage v recikliranem pesku.

Ostali dodatki se nadzorujejo s pomočjo časovnih relejev in tehtnice na vsipnem bunkerju v mešalec. Pridobljena peščena mešanica ima naslednje lastnosti: vlaga (3,0-3,8%), aktivni bentonit (7,5-9,5%), stisljivost (37do43%), propustnost (GF; 80-120), tlačna trdnost (18-25 N/cm^2), žaro izgube (4-5 %).

Emisije prahu, ki nastrajajo v tehnološkem postopku priprave peska se zajemajo in odvajajo v čistilno napravo. Uporablja se dve tehniki čiščenja odpadnih plinov: grobo čiščenje odpadnih plinov s ciklonom in nato še fino čiščenje z vrečastim filtrom. Očiščeni odpadni plini se odvajajo skozi odvodnik Z2-Linija 2 in 3.

Izdelava jeder poteka na jedrarskih strojih. Odpadni plini iz tehnološkega postopka jeder nastajajo le pri cold box postopku in se zajemajo ter ločeno iz posameznega stroja izpuščajo v zrak. Odpadni plini iz jedrarskega stroja SPN15 se izpuščajo skozi odvodnik Z7-Cold box 15 l. Odpadni plini jedrarskega stroja SCB40 se izpuščajo skozi odvodnik Z6-Cold nox 40 l.

Po vstavitvi jeder v forme se prične postopek litja, ki poteka s pomočjo livne ponovce, ki je pritrjena na mostovni žerjav. Odpadni plini iz livne in hladilne linije se ne zajemajo in spadajo med razpršene emisije iz naprave. Ulite forme potujejo po hladilnem delu avtomatske formarske linije. Število form oz. parov formarskih okvirjev je 122 kar pomeni, da pri nazivni kapaciteti linije 50 form/h znaša najkrajši čas hlajenja ulitkov v formah 2,44 ure, ob predpostavki, da se takoj po izdelavi ulijejo, sicer je čas hlajenja ustrezno krajši. Na koncu hladilne proge je nameščeno vibracijska rešetka na kateri poteka iztresanje ulitkov iz peščenih form. Odpadni plini, ki nastajajo med delovnim procesom iztresa ulitkov se zajemajo in odvajajo v čistilno napravo. Očiščene odpadne pline se izpušča v zrak skozi odvodnik Z2 - Linija 2 in 3.

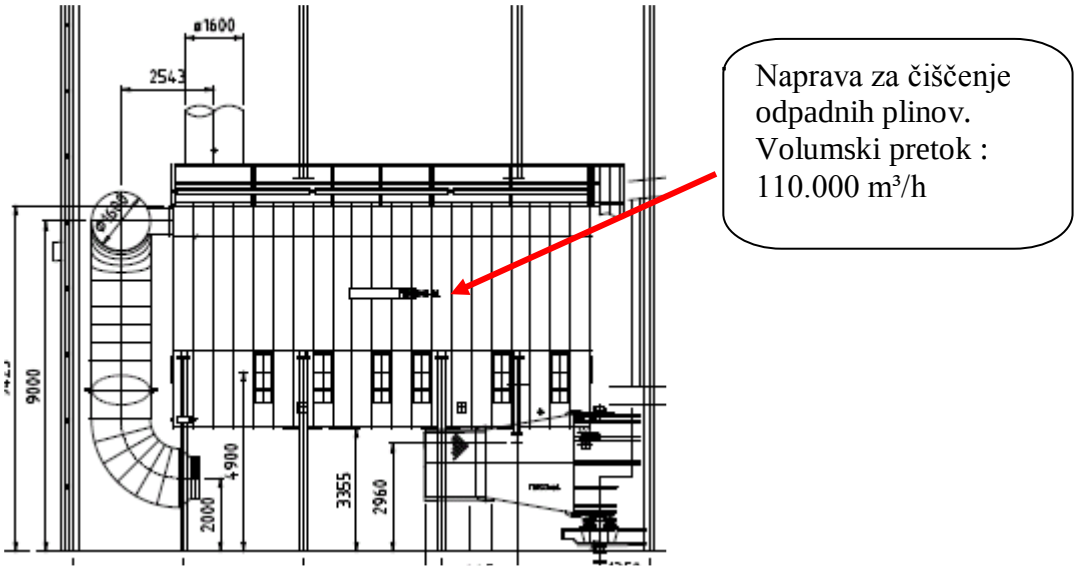
Končna obdelava ulitkov zajema tehnološke postopke odstranjevanja livnih sistemov, formarskega peska in jeder, brušenje dolivkov, livarskega srha in popravila livarskih napak. Ločevanje ulitkov od peščenih form in jeder se izvaja v zaprtih iztresnih komorah, odstranjevanje formatskega peska v zaprtih peskalnih strojih. Brušenje dolivkov in odstranjevanje livarskega srha se izvaja ročno z ročnimi brusilniki in na avtomatskem brusilnem aparatu. Odpadni plini, ki nastajajo pri peskanju in brušenju odlitkov se zajemajo in odvajajo v čistilno napravo, prečiščeni zrak se nato odvaja v zrak skozi odvodnik Z2-Linija2 in 3.

3.2.1. Nove investicije v obratu za zmanjšanje emisij prašnih delcev v zrak z uvedbo najboljših razpoložljivih tehnologij skladno z BREF dokumenti

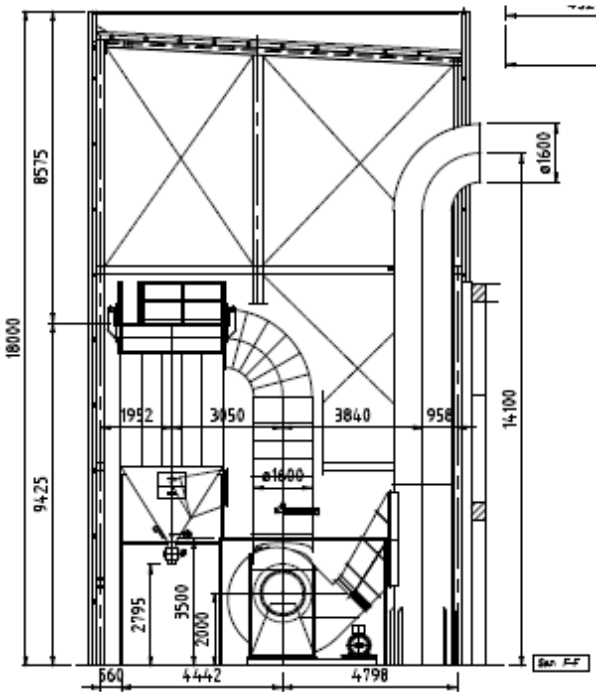
Obravnavani metalurški obrat je v obdobju od 2012 do 2016 pričel z izvajanjem investicij z namenom približevanja tehnoloških procesov BAT, predvsem na delu zajemanja razpršenih emisij snovi v zrak pri procesih litja v forme in hlajenja, ki do sedaj niso bile zajete v sistem zbiranja odpadnih plinov in prečiščevanja na čistilnih napravah.

Z uporabo BAT je razvidno, da so emisijski faktorji prašnih delcev (g/tono staljenega železa) pri ulivanju, hlajenju in iztresanju 120 g/t staljenega železa za celokupni prah, od tega 74 g/t staljenega železa za delce >PM_{10}, 44 g/ t staljenega železa za delce PM_{10} in 8 g/t staljenega železa za delce $PM_{2,5}$. Skupna količina emitiranih prašnih delcev v zrak, ki so predstavljali pred investicijo, razpršene emisije prašnih delcev v zrak (v t.i. delovno okolje in skozi odprtine stavb tudi v zunanje okolje) znaša v primeru obratovanja obrata s kapacitetami talilne naprave za sivo in nodularno litino (91 ton/dan) za celokupni prah: 10,92 kg/dan; za delce >PM_{10}: 6,7 kg/dan; za delce PM_{10}: 4,0 kg/dan; za delce $PM_{2,5}$: 0,78 kg/dan. Pri proizvodnji zlitin bakra znaša količina prašnih delcev pri kapaciteti 30 t/dan talilne peči za celokupni prah: 3,7 kg/dan; za delce >PM_{10}: 2,2 kg/dan; za delce PM_{10}: 1,3 kg/dan; za delce $PM_{2,5}$: 0,24 kg/dan. V tabeli 1 so prikazani deleži posameznih delcev v skupnem prahu pri posameznih tehnoloških fazah ulivanju, hlajenju in iztresanju, iz katerih je razvidno, da je investicija v zaprtje avtomatske formatske linije in zajem razpršenih prašnih delcev ključni okoljski vidik obrata k zmanjšanju koncentracij prašnih delcev v delovno in bivalno okolje.

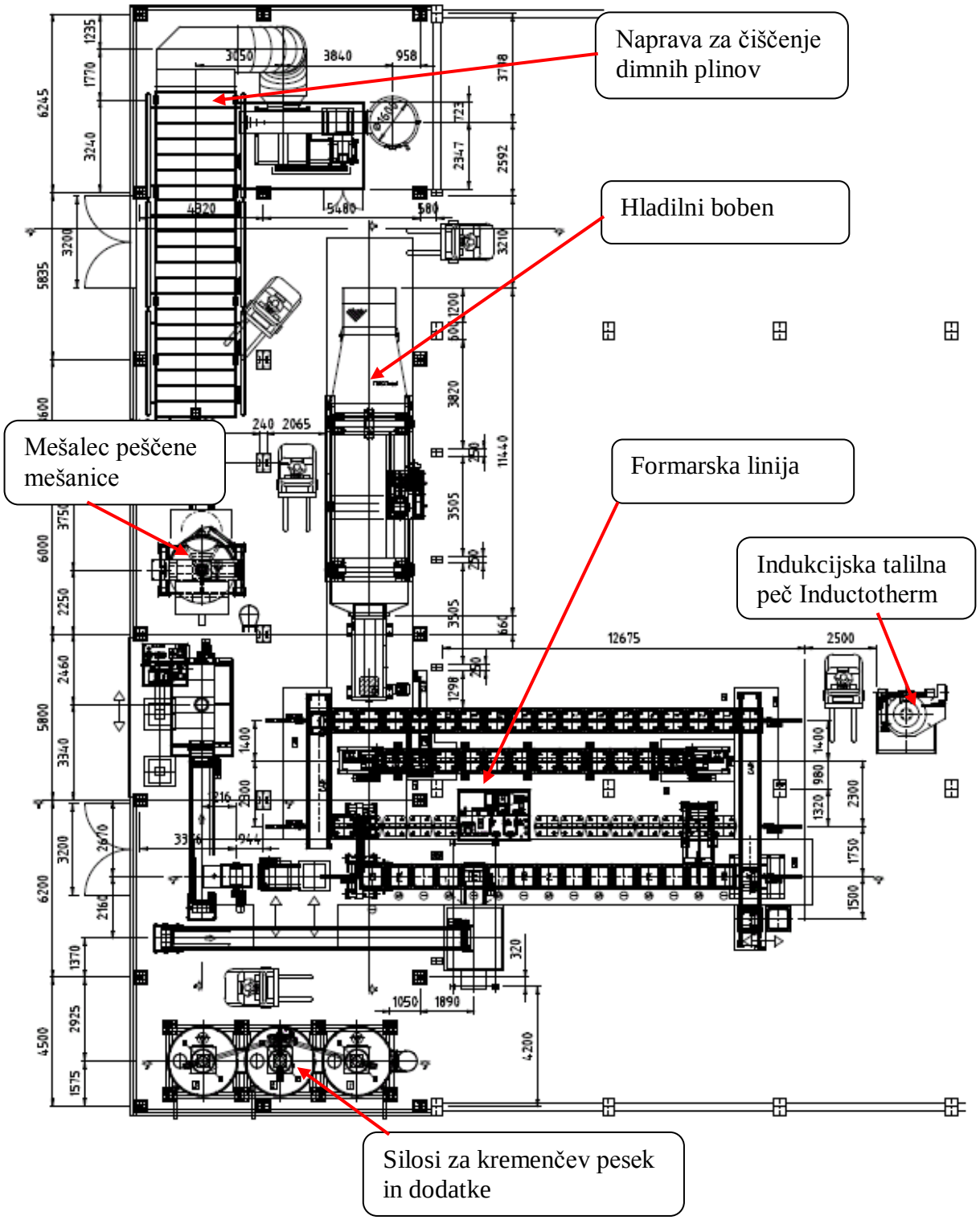
Formarska linija bo rekonstruirana tako, da bo livna linija oziroma naprava za litje in hlajenje izvedena v zaprti izvedbi odsesovalne nape in odpadni plini bodo odvajani v čistilno napravo (slika 3 in 4). Izvedla se bo tudi nadgradnja naprave za čiščenje odpadnih plinov. Za čiščenje odpadnih plinov iz formarske linije, hladilnega bobna in priprave peska bo nameščen dodaten filter. S filtrom bodo povezana tudi presipna mesta na pripravi peska. Izpust dimnih plinov iz filtra bo urejen s stransko postavljenim samonosilnim izpustom. Notranji premer izpusta znaša 1600 mm. Merilno mesto za emisijske meritve bo izvedeno v skladu s standardom SIST ISO 10780[2] in SIST EN 15259[1].



Slika 2: Naprava za čiščenje odpadnih plinov



Slika 3: Naprava za čiščenje odpadnih plinov-pogled od strani



Slika 4: Tloris formarske linije, priprave peska, naprave za čiščenje odpadnih plinov in lokacija indukcijske peči

Upravljavec naprave namerava v okviru investicije vgraditi tudi nove peči za toplotno obdelavo žarjenje železovih zlitin oziroma ulitkov (slika 5). Peči bodo opremljene z izvoznimi vozički na katere se bodo nalagale ognjeodporne kovinske košare v katerih bodo zloženi ulitki za predviden postopek žarjenja. Nakladanje kovinskih košar bo izvedeno z viličarjem. Postavljeni bosta dveh komornih peči z izvoznim ognjiščem. Gorivo za ogrevanje je zemeljski plin. Gorilniki bodo nameščeni horizontalno v liniji na obeh stranskih stenah peči in gorijo pod vložek. Gorilniki delujejo s predgretim zrakom. Regulacija temperature v peči bo triconska. Trije termoelementi bodo nameščeni na stropu peči. Delovanje gorilnikov je vklop/izklop. V posamezni coni se gorilniki ciklično oz. taktno vklapljajo in izklapljajo. Na priključnem mestu plina pri peči je vgrajena plinska proga. Zrak za zgorevanje zagotavlja ventilator, nameščen ob peči. Ventilator je izoliran, z glušnikom zvoka in filtrom. Hlajenje dimnih plinov pred vstopom v rekuperator je s posebnim hladilnim ventilatorjem. Kontrolirano ohlajevanje vložka v pečeh se izvaja skozi hladilne šobe na bočnih stenah peči. Vsaka hladilna šoba ima nameščeno elektromagnetno loputo. Delovanje je izvedeno po sistemu » on-off«, kar zagotavlja polni impulz hladilnega zraka in s tem enakomerno porazdelitev po volumnu peči. Na pečeh sta vgrajena hladilna ventilatorja, ki se vključita v fazi ohlajanja peči.

Izpust dimnih plinov iz obeh peči je s sredinsko postavljenim samonosilnim dimnikom. Dimnik bo izveden s prisilnim vlekom, ki ga bosta zagotavljala radialna ventilatorja moči 11 KW. Notranji premer dimnika znaša 750 mm. Višina dimnika je usklajena z zahtevami iz projektnih pogojev za pridobitev gradbega dovoljenja investicije. Merilno mesto za emisijske meritve bo izvedeno v skladu s standardom SIST ISO 10780[2] in SIST EN 15259[1].

Slika 5: Peč za toplotno obdelavo ulitkov

4. ANALIZNE METODE ZA VZORČENJE PRAHU IN DELCEV V ZRAKU

4.1. Prikaz metod za izvedbo meritev emisij v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (t.i. odvodniki), ki so bile uporabljene pri izvajanju meritev za ekperimentalni del doktorske disertacije

4.1.1. Metoda merjenja nizkih koncentracij prahu iz nepremičnih virov emisije s prenosnimi vzorčevalniki in ročno gravimetrijsko metodo

Metoda vzorčevanja in merjenja koncentracij prahu iz nepremičnih virov onesnaževanja upošteva zahteve standardov:

- Emisije nepremičnih virov - Meritev hitrosti in volumskega pretoka plinskih tokov v odvodnikih SIST ISO 10780:1996[2],
- Emisije nepremičnih virov - Ročno določanje masne koncentracije trdnih delcev SIST ISO 9096:2003[3], in
- Emisije nepremičnih virov - Določevanje nizkih masnih koncentracij prahu - 1. del: Ročna gravimetrijska metoda SIST EN 13284-1: 2002[4].

Vzorčenje prahu se izvaja pri izokinetičnih pogojih na trdni nosilec (filter), ki ga nato v akreditiranem laboratoriju družbe KOVA d.o.o. Celje[21] stehtamo. Iz razlike teže med praznim in polnim nosilcem se izračuna količino celokupnega prahu. Metoda ne omogoča izvajanje meritev posameznih delcev PM_{10} ali $PM_{2,5}$ v odvodnikih, temveč le skupni prah. Med vzorčenjem se meri stanje plinov: temperatura, tlak, vlaga in hitrost. Rezultate meritev se podaja kot koncentracijo prahu na volumsko enoto (npr. mg/m^3) in kot količina prahu na časovno enoto (npr. g/h).

Merilna oprema, ki se uporablja pri vzorčevanju in gravimetriji je:

- merilec temperature, gibanja zraka in relativne vlažnosti TESTOTERM tip TESTO 400: s sondami,
- črpalka za izokinetični odvzem vzorcev in za meritve parametrov stanja odpadnih plinov ZAMBELLI srl. model 6000 plus ali isoplus,
- prenosni računalnik z validirano programsko opremo za zajem podatkov,
- Mettler Toledo tehtnica model AX105 Delta Range, tip AX105DR, in

- avtomatski analizator dimnih plinov RBR ECOM KD z merilnim območjem za CO (4-4000 ppm), CO_2 (0 – CO_2 max.(6,3 vol. %)), O_2 (0 – 21 vol. %), NO (0 – 2000 ppm), NO_2 (0 – 200 ppm), SO_2 (0 – 2000 ppm).

Pred izvedbo meritve je potrebno z vodstvom naročnika uskladiti čas vzorčevanja v katerem se bodo zajemali tudi podatki o procesih v proizvodnji tako, da se zagotovijo maksimalni pogoji obratovanja med merjenjem. Preverijo se podatki o predhodnih izmerjenih koncentracijah prahu, vsebnostih vlage in o doseženih hitrostih pretoka v odvodnikih. Na osnovi tega se določi mesto in čas vzorčenja, število točk in velikost ustnika za odvzem vzorca.

Ključni pogoj ustrezne izvedbe meritev in odvzem reprezentativnega vzorca je izbira merilnega mesta. Merilno mesto se določi po predhodni podrobni preučitvi in ogledu odvodnikov na samem kraju, na podlagi Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št.70/96, 71/00, 99/01, 17/03, 41/04 – ZVO-1 in 105/08)[16] in standardov SIST ISO 10780[2] ter SIST EN 13284-1[4]. Merilno mesto mora zagotavljati odvzem reprezentativnega vzorca in realne pogoje za meritve stanja plinov. Odprtine na odvodniku morajo ležati v delu odvodnika, kjer ni turbolentnih tokov in sicer na sredini ravnega dela z dolžino, ki je enaka petkratniku premera odvodnika. Premer odprtine za odvzem vzorca mora biti vsaj 120 mm oziroma 100 x 400 mm in imeti mora obrobo za pritrditev tesnila. Zahteve za izbiro merilnega mesta so:

- kot pretoka glede na os kanala mora biti manjši od 15°,
- ne sme biti negativnih lokalnih pretokov,
- minimalna hitrost plinov mora biti višja od ločljivosti instrumenta (5 Pa),
- razmerje med najmanjšo in največjo hitrostjo mora biti manjše od 1:3.

Kriterije se najlažje doseže, če je pred merilno točko (proti toku) kanal raven 5 hidravličnih premerov, za merilno točko (s tokom) pa 2 hidravlična premera (vsaj 5 hidravličnih premerov pred izpustom). V primeru, da merilno mesto ni ustrezno urejeno in so v odvodniku turbolentni tokovi, povečamo število merilnih točk v odvodniku.

Dostop do merilnega mesta mora biti varen, nosilnost delovne ploščadi mora biti vsaj 400 kg, velikost pa 5 m^2. V primeru, da merilno mesto ne zagotavlja odvzem reprezentativnega vzorca

se razloge natančno opiše v listine za vzorčenje in v poročilu o izvedenih občasnih meritvah emisij v zrak.

Pred merjenjem se pripravi in izbere ustrezne filtre. Filtri, ki jih uporabimo predčasno ustrezno pripravimo. Sestava filtra ne sme reagirati s sestavinami odpadnega plina in mora biti termično obstojna. Najprimernejši filtri so kvarčni filtri, vendar le-ti lahko reagirajo s komponentami kot so SO_3 in HF. Teflonski filtri so primerni za višje temperature v odvodnikih do T = 230^0C. Kvarčne filtre se uporablja za vzorčenje prahu, ki vsebujejo kovine, da jih v nadaljnju z razklopom analiziramo v pogodbenem akreditiranem podjetju.

Pred začetkom vzorčevanja se določi stanje plinov v odvodniku:

- hitrost,
- temperatura,
- tlak,
- vlaga in
- gostota plinov v odvodniku (izračunana glede na koncentracije O_2 in CO_2 v plinih).

Meritve izvedemo tako, da se dobi prostorska in časovna porazdelitve teh parametrov v odvodniku. Hitrosti v posameznih točkah odvodnika se zapiše v listino o meritvah. Molekularno maso in gostoto zraka se izračuna s pomočjo prenosnega računalnika v programu Zambelli na listu "osnovni" tako, da se vnese na osenčena polja vrednosti koncentracij CO_2 in O_2 v merjenem plinu. Gostota zraka se določi na ± 0,05 kg/m^3 natančno. V primeru, da se mora izraziti koncentracijo prahu glede na koncentracijo O_2 ali CO_2, se izmeri v vseh točkah tudi koncentracijo obeh plinov. Na osnovi karakteristik plina se določi:

- izbor načina vzorčevanja in sicer: uporabo filtra v kanalu (»in stack« metoda) ali zunaj kanala v primeru povišane vlage in prisotnosti SO_3 (»out stack« metoda), in
- določi temperaturo ogrevanja filtra, ki mora biti enaka temperaturi v odvodniku oziroma 160^0C ± 5^0C.

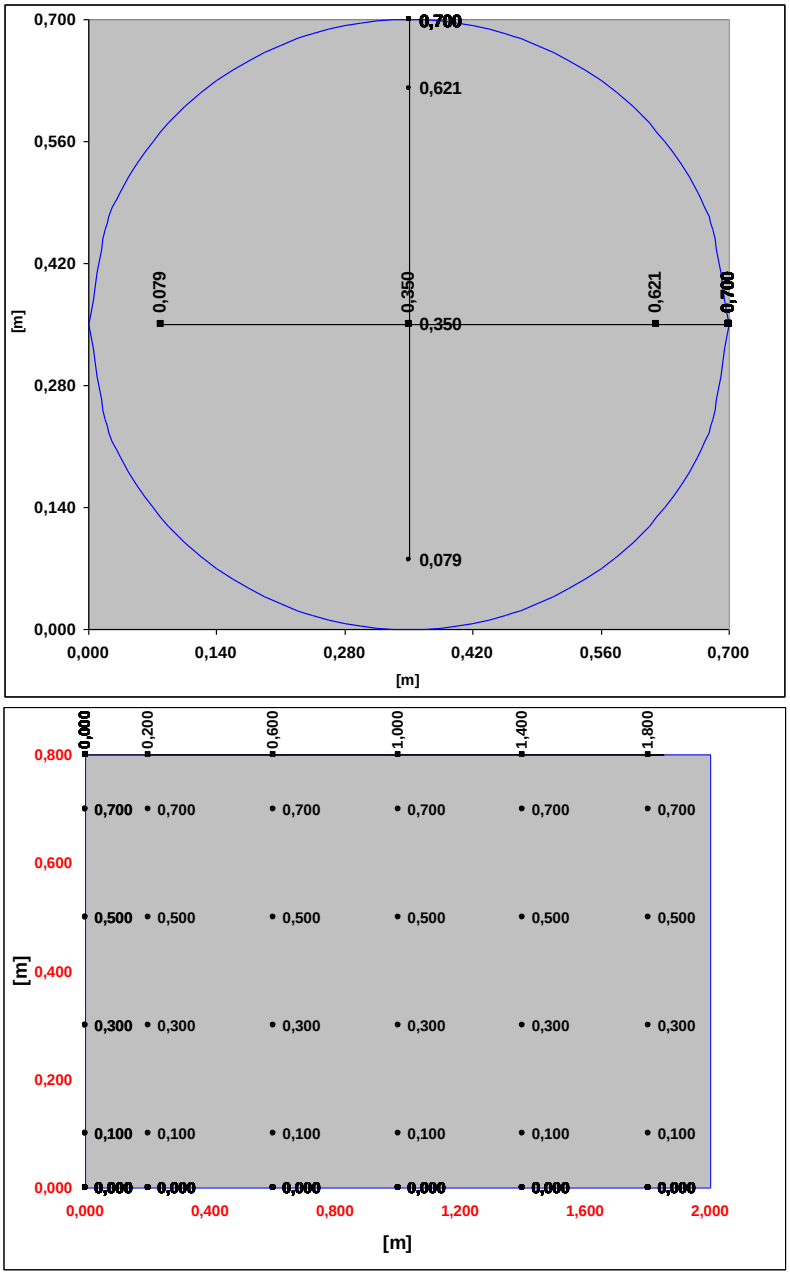
Izmeri se zunanje vremenske pogoje pri katerih se izvaja meritev emisij iz odvodnika ter zapiše v listino o meritvah.

Nadalje se določi število in lege merilnih točk v odvodniku. Izmerimo dimenzije kanala in določimo točke vzorčevanja tako, da na dlančniku v programu Zambelli na list "osnovni " v

osenčena polja zapišemo osnovne dimenzije kanala ter poženemo makro 'nasliko'. V listu 'slikep' oz. 'slikeo' se izriše kanal z merilnimi točkami pravokotne oz. okrogle oblike (slika 6). Tabela 7 prikazuje primer zapisa na listu »osnovni«.

Tabela 7: Primer zapisa na listu »osnovni«

okrogli presek	
0,7	premer[m]
0,7	hidravlični premer [m]
0,35	polmer[m]
0,385	površina [m^2]
3	št. točk na osi s centralno
2	št. točk na osi brez centralne
pravokotni presek	
2	d_1 (daljša stran) [m]
0,8	d_2 [m]
1,143	hidravlični premer [m]
1,6	površina [m^2]
5	št. deljenj na d_1
4	št. deljenj na d_2
večje število točk	
3	pri zahtevi po več točkah



Slika 6: Primer prikaza merilnih točk za izvedbo vzorčevanja v odvodniku

Meritev s črpalko za izokinetično vzorčenje in merjenje stanja plinov poteka v treh korakih:

- inšpekcija, v kateri se določi hitrost plina v posameznih točkah in prisotnost turbolentnih tokov,
- test tesnosti, in
- izokinetično vzorčenje ali vzorčenje pri stalnem pretoku.

V postopku inšpekcije se izmeri hitrost plina v posameznih merilnih točkah. Merilni sistem ZAMBELLI, model 6000 plus ali isoplus na osnovi meritev določi tri priporočljive premere ustnika, za katere se lahko zagotavlja izokinetično vzorčenje.

Z obračanjem ustnika Pitotove cevi glede na tok plina v odvodniku se ugotavlja homogenost tokov v odvodniku. S spremembo kota med ustjem S Pitotove cevi in smerjo toka se spreminja vrednost na manometru. Tlak je najvišji, ko sta ustnik in tok poravnana znotraj 15^0, najnižji pa, ko ustnik leži pravokotno na smer toka. Med postopkom vzorčenja se izvede prazno vzorčenje (t.i. »overall blank test«). Po postopku se zamenja filter. Za postopkom inšpekcije se izvede še test tesnosti (t.i. »leak test«) s katerim se preveri testnost vzorčevalnega sistema. Pretok pri zatesnjenem sistemu sme biti manjši od 2 % normalnega pretoka. Po končani meritvi se test tesnosti ponovi.

Potem se izvede vzročevanje. Sondo se vstavi v kanal tako, da je ustnik obrnjen s tokom plina (kot 180^0) in jo po potrebi segrejemo na ustrezno temperaturo ter zatesnimo odprtino v dimnik. Sondo se pozicionira na prvo merilno točko in nastavi ustnik tako, da tvori kot s tokom $\pm 10^0$ in se požene postopek izokinetičnega vzorčevanja. Pri tem se vnese vse osnovne parametre. Čas za vsako točko vzorčenja je enak, skupen čas na kanal ne sme biti manjši od 30 minut. Med pomikanjem sonde na merilne točke črpanja se ne prekinja razen, ko se sondo premakne v drugo ravnino.

Temperaturo ogrevane sonde in filtra se med meritvijo preveri s kontaktnim termometrom. Med črpanjem se nadzoruje pretok. Pretok ne sme odstopati od izokinetičnih pogojev + 15% oz. -5 %. Delovanje črpalke se nadzira z zunanjim merilcem pretoka ali plinske ure. Ko se konča vzorčenje se pregleda filter. V primeru, da se opazi poškodba filtra ali prisotnost kondenzirane vlage je potrebno meritev ponoviti. Po končanih meritvah se filtre spravi v transportne posode.

Na vsakem merilnem mestu se izvede po tri meritve. Zaostali prah v vzorčevalnih ceveh se spere z vodo in acetonom v vzorčevalne steklenice in označi ter odnese v laboratorij. Sondo se izpira tako, da se pobere celoten prah v cevi na način, da jo zavrtimo za 180° okoli osi. S tem se zagotovi, da se pobere prah tudi iz vrha cevi. Pred vzorčenjem se pripravi še slepo probo z očiščeno sondo. V laboratoriju se vodo ali topilo izpari in stehta zaostali prah. Filtre se tehta z gravimetrijsko metodo na kalibrirani tehnici v nadzrovanem delovnem okolju.

Maso zaostalega prahu v vzorčevalni cevi se doda k masam ostanka na filtrih v razmerju z masami na posameznih filtrih. Mase zaostalega prahu se ne upošteva, če je manjša od 10 % mejne dovoljene količine za merjeni proces. Meja detekcije pri določitvi mase filtra je 0,12 mg. Slepo vrednost se poda v mg/m^3 (uporabi se povprečni vzorčevalni volumen). Slepa vrednost ne sme presegati 2 mg/m^3 ali 10 % mejne dovoljene vrednosti za merjeno dejavnost.

Pri izvajanju meritev se opraviti tudi validacija meritve. Izvedena meritev je validirana v primeru, če so izpolnjeni kriteriji validacije in sicer za:

- test tesnosti: Pretok skozi zaprt sistem sme biti manjši od 2 % od normalnega pretoka, če je večji meritev ni veljavna.
- izokinetični pretok: Pretok sme od pogojev za izokinetičnost odstopati med celotnim vzorčenjem največ za 10 %, če je odstopanje večje meritev ni veljavna.

V primeru, da se izokinetičnosti v odvodniku ne da doseči se poroča o neskladju s standardom v akreditiranem poročilu o meritvah emisij snovi v zrak.

4.1.2. Metoda merjenja celokupnih kovin iz nepremičnih virov emisije

Metoda merjenja celokupnih kovin iz nepremičnih virov emisije je usklajena z zahtevami standardov:

- Emisije nepremičnih virov – Določevanje celotne emisije As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI in V, SIST EN 14385:2004[5] in
- Določevanje nizkih koncentracija prahu iz stacionarnih virov emisije snovi v zrak - Ročna gravimetrijska metoda, SIST EN 13284-1:2002[4].

Potek priprave na vzorčevanje, izbor merilnih točk in izokinetično vzorčevanje je enako metodi za meritev prašnih delcev v odvodnikih. Prašne delce se ujame na filter, odpadni plin pa se vodi skozi serijo absorbcijskih raztopin, kjer se ujamejo še topne komponente. Pri merjenju kovin je potrebno vzorčiti tako trde kot hlapne kovine. Filtre, absorpcijske raztopine in izpiralne raztopine se analizira v laboratoriju. Metoda je primerna na koncentracijskem intervalu od 0,005 mg kovin/m^3 do 0,5 mg kovin/m^3. Metoda je primerna za naslednje kovine: Sb, As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Tl, V v matriksu, ki je čimbolj podoben sestavi plina določeni v tabeli 8.

Tabela 8: Sestava odpadnega plina

Parameter	Interval masnih koncentracij
celokupni prah	0 - 20 mg/m^3
TOC	0 - 20 mg/m^3
HCl	0 - 20 mg/m^3
HF	0 - 2 mg/m^3
SO_2	0 - 100 mg/m^3
CO	0 - 250 mg/m^3
NO_x	0 - 500 mg/m^3
CO_2	3 – 15 %
H_2O	10 – 35 %
O_2	3 – 17 %
temperatura	60 – 200 ^{0}C

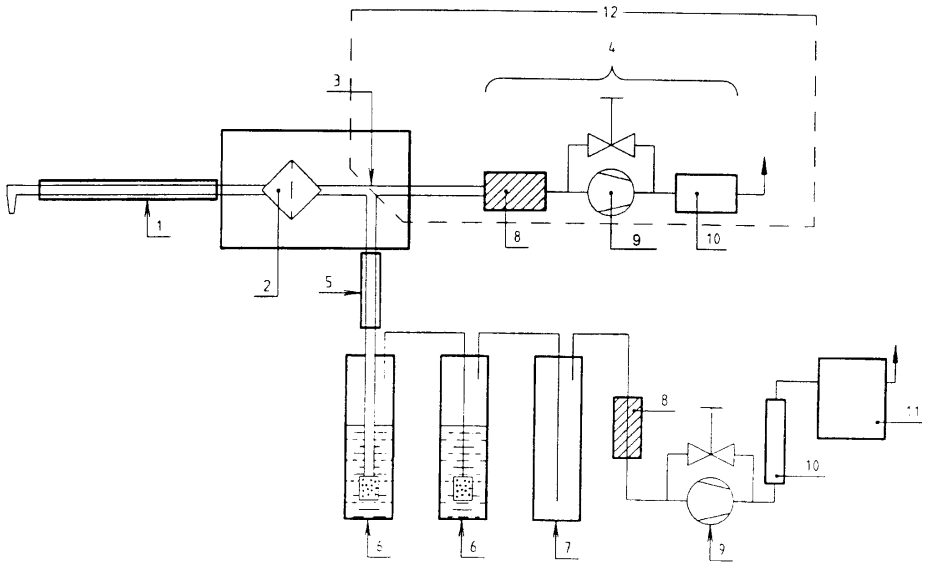
Vzorčenje hlapnih kovin se izvaja pri meritvah na odvodnikih iz proizvodnih naprav, kjer so temperature visoke in se lahko pričakuje prisotnost hlapnih kovin.

Podatke o koncentracijah hlapnih kovin se vključi v poročilo o meritvah. V poročilo se vključijo tudi podatke o koncentraciji kovin v izpiralni tekočini, katera nastane pri izpiranju vzorčevalnega sistema.

Merilna oprema, ki se uporablja pri vzorčevanju in gravimetriji kovin je:

- Vzorčevalna linija, ki je opisana na sliki 7 je sestavljena iz dveh vzporednih linij: glavna linija s črpalko za izokinetični odvzem vzorca Zambeli 6000 plus ali iso plus in iz stranke linije s črpalko ZB1 TIMER za manjše volumne, ki zagotavlja pretok plinov skozi plinoizpiralke v katerih se nahajajo absorpcijske raztopine.
- Vzorčevalna sonda iz titana z možnostjo ogrevanja filtra, vključno s sistemom za ogrevanje vzorčevalne sonde.
- Hladilnik za plinoizpiralke, ki zagotavlja hlajenje vzorcev pod 30 ^{0}C.
- 4 plinoizpiralke: izpiralke so iz polietilena ali borosilikatnega stekla, med seboj povezane s teflonskimi cevmi. Volumen izpiralk mora biti med 125 ml ali 250 ml.
- Teflonski in kvarčni filtri.
- Teflonske povezovalne cevke. Dolžina med povezovalno cevjo in izpiralkami ne sme presegati 1 m.
- Silikagel – suh.
- Polietilenske stekleničke za hranjenje vzorcev.

- Merilec temperature, gibanja zraka in relativne vlažnosti TESTOTERM tip TESTO 400 s sondami.



Slika 7: Sestava linije za vzorčevanje celokupnih kovin iz odvodnikov[5]

Sestavo linije za vzorčevanje celokupnih kovin predstavljajo, razvidno iz slike 7:

1- ogrevana sonda
2- ogrevan nosilec filtra
3 - glavna linija za izokinetično vzorčenje
4 - sestava za izokinetično vzorčenje
5 - ogrevana povezovalna cev
6,7 - plinoizpiralke z absorpcijsko raztopino
8 - silikagel
9 - črpalka
10 - merilec pretoka
11 - plinska ura.

Reagenti, ki se uporabljajo pri metodi vzorčevanja kovin so:

- Absorbcijska raztopina: V 1000 ml bučko se odmeri 50 ml HNO_3 (z masnim deležem *w*=65 %, Φ_4^{20} = 1,40 kg/l; npr: MERCK 1.00441.1000 ali MERCK 1.00456.1000), 50 ml H_2O_2 (z masnim deležem w=30 %, Φ_4^{20} = 1,11 kg/l; npr. MERCK 1.072090250 ali MERCK 107209.1000) in dopolni bučko z vodo pripravljeno z aparaturo Barnstead

Nanopure Infinity PO-040 oz. z vodo enake kakovosti, upornost 18,2 MΩcm-1. Raztopina ima $w(HNO_3) \approx 3,3\%$, $w(H_2O_2) \approx 3,3\%$.

- Raztopina za izpiranje: V 1000 ml bučko se odmeri 300 ml vode identičnih karakteristik kot za absorbcijsko raztopino ter pazljivo doda 275 ml HNO_3, nadalje temeljito premeša in dolije vodo do 1000 ml.

Pred pričetkom izvajanja vzorčevanja se ustrezno očisti merilno opremo in pripravi raztopine za izpiranje. Vse dele opreme, ki pridejo v stik z vzorčenim plinom se pred vzorčenjem očisti po naslednjem postopku:

- Priprava raztopin:
  - Raztopina za izpiranje: V 1000 ml bučko se odmeri 300 ml vode pripravljeno z aparaturo Barnstead Nanopure Infinity PO-040 oz. z vodo enake kakovosti, upornost 18,2 MΩcm-1, pazljvo se doda 275 ml HNO_3, temeljito premeša in razredči z vodo do 1000 ml.
  - Raztopina vodikovega peroksida: V 1000 ml buči se dobro premeša 90 ml H_2O_2 in 500 ml deionizirane vode in dopolni bučo do 1000 ml z vodo.
- Čiščenje opreme: Ustnik, notranjo cev in nosilec filtra se očisti s 15 minutnim izpiranjem z izpiralno raztopino ali s čiščenjem v ultrazvočni kopeli. Absorpcijske izpiralke in stekleničke za hranjenje vzorcev se očisti z izpiranjem in čiščenjem v ultrazvočni kopeli z razredčenim peroksidom.

Pred pričetkom meritev se opravi meritve stanja plinov v odvodniku in sicer:

- temperatura,
- vlaga,
- hitrosti plinov,
- tlak plinov v odvodniku,
- koncentracija kisika (v primeru potrebe po preračunavanju koncentracij na računsko vrednost kisika).

Ko so določeni vsi parametri, ustrezno očiščena linija in kalibrirana merilna proga, pred vsako izvedbo meritve preverimo tesnost proge. Najprej preverimo glavno linijo tako, da se stranska zatesni oz. zapre. Pretok pri zatesnitvi mora biti manjši od 2% normalnega pretoka. Pretok zraka pri izvedbi tesnosti se lahko preveri s plinsko uro pred tesnenjem. Preden preverimo tesnenje počakamo, da se zrak izsesa iz linije. Test izvajamo vsaj 2 min. Za tem preverimo

tesnost še stranske linije. Stik med glavno in stransko linijo ostane zatesnjen oz. zaprt. Ko pade merilec pretoka na 0 začnemo z merjenjem časa. Ker je pretok na črpalki ponavadi med 2 in 3 l/min prilagodimo temu čas preverjanja. Pretok pri zatesnitvi mora biti manji od 2% normalnega pretoka, kar pomeni 2% od 2 l/min in je to največ 0,04 l/min. Razdelek na instrumentu (plinska ura) pa je 0,2 l/min. Upoštevajoč to dejstvo je minimalen čas preverjanja stranske linije 5 min.

Na mestu meritev se sestavi glavno in stransko vzorčevalno linijo. Postopek meritve poteka po naslednjih korakih:

- Izvede se preliminarne meritve stanja plinov v odvodniku in inšpekcijo.
- Po izbiri velikosti ustnika se sestavi vzorčevalno linijo. Vstavi se filter in izpiralke se napolni z absorpcijsko raztopino.
- V prve tri izpiralke se odmeri med 40 do 80 ml absorpcijske raztopine. Kot četrto se namesti prazno izpiralko, zato da v njej lovimo absorpcijsko raztopino. Med vzorčenjem se plin vodi v prvo izpiralko do dna nato skozi absorpcijsko raztopino v drugo izpiralko do dna in v tretjo izpiralko do dna.
- Za doseganje boljše absorbcijske učinkovitosti je potrebno hladiti plinoizpiralke. V ta namen se uporabi hladilni gel, ki se ga predhodno hrani v zamrzovalni skrinji vsaj en dan pred pričetkom merjenja. Lahko se posoda, v kateri se nahajajo plinoizpiralke napolni z vodo do polovice in doda nekaj ledu.
- Temperatura ogrevane vzorčevalne cevi, filtra in povezovalnih cevi med vzorčevalno cevjo in izpiralkami naj bo 20^0C nad temperaturo vzorca oziroma nad točko rosišča. Med zaporednimi vzorčevanji se cev ohladi, dobro izpere ter odstrani prašne delce.
- Vklopi se črpalko ZB1.
- Nastavi se željeno hitrost črpanja, ki zagotavlja aktivno mešanje v absorpcijskih raztopinah; 0,5 l/min - 3 l/min v steklenih izpiralkah in 4 l/min v polietilenskih izpiralkah.
- Črpanje se ustavi, filter in absorpcijske raztopine se uporabi za določitev slepe probe.
- Vstavi se nov filter in doda sveže absorpcijske raztopine, ter sestavi vzorčevalno linijo z obema vzporednima vejama.
- Izvede se test tesnosti tako, da se preveri obe veji vzorčevalne linije.
- Vzorčevalno sondo se vstavi v odvodnik na prvo merilno točko.

- Vzorčevalno sondo se segreje, ko doseže željeno temperaturo (vsaj 20 ^{0}C več, kot je temperatura plinov v odvodniku), se prične z vzorčenjem tako, da se vklopi glavno linijo in nato priključi vzporedno linijo. Temperaturo filtra pri vzorčenju se zapiše v listono o meritvah.
- Zapiše se stanje na plinski uri ZB1 in prične s črpanjem.
- Periodično se zapisuje temperaturo, tlak in pretok ter temperaturo in volumen na plinski uri na ZB1.
- V primeru, da se meri v več točkah, med premikanjem v naslednjo točko se ne izklaplja črpalke. Izklopi se jo pri prenosu na naslednjo vzorčevalno ravnino.
- Na koncu vzorčenja se izklopi glavno črpalko in nato stransko črpalko.
- Odčita in zapiše se stanje na plinski uri ZB1.

Za zagotavljanje kakovosti meritev se izvaja:

- periodično zapisovanje pretoka, temperature in diferencialnega tlaka med vzorčenjem,
- določitev časa vzorčenja,
- zagotavljanje izokinetičnosti vzorčenja,
- zagotavljanje učinkovite absorbcije vlage na silikagelu – uporaba suhega silikagela,
- test tesnosti, pretok zatesnjenega sistema ne sme biti večji od 2 % nominalnega pretoka.

Pomemben vidik zagotavljanja kakovosti meritev so tudi pravilni postopki ravnanja z vzorci in pri tem se upoštevajo naslednje zahteve:

- Odstrani se vzorčevalno cev iz dimnika in odstrani delce prahu iz okolice ustnika.
- V primeru, da je v cevi prisoten kondenzat ob filtru, meritev ni veljavna.
- Filter se shrani za nadaljnjo analizo v embalaži z oznako identifikacije EK-LL-NNN/MMn – paralelka.
- Vzorčevalno opremo: ustnik, cev in nosilec filtra se izpira z izpiralno raztopino v polietilensko stekleničko z oznako za identifikacijo EK-LL-NNN/MMn – vzorčevalna oprema za določitev zaostalega prahu v vzorčevalnem sistemu.
- Po vsaki meritvi se izpere povezovalne cevke z izpiralno raztopino v prvo absorpcijsko izpiralko.
- Vsebino prvih dveh izpiralk se izprazni v skupno polietilensko posodo za shranjevanje vzorca z oznako EK-LL-NNN/MMn – paralelka.

- Vsebino tretje shrani v polietilensko posodo z oznako EK-LL-NNN/MMn – paralelka – 3.izpiralka.
- Eventuelna raztopina iz četrte izpiralke služi za kontrolo premajhne absorpcijske kapacitete.
- Vsako izpiralko se izpere z 10 ml izpiralne raztopine in izprazni v skupno polietilensko posodo za shranjevanje vzorca.
- Zapiše si volumne vzorca v posameznih izpiralkah.
- Vzorce se hrani pri T majši od 6^0C. Vzorci morajo biti analizirani v dveh tednih po vzorčenju.
- Vzorce se pošlje v analizo v akreditiran pooblaščen laboratroij.
- Vsebnost kovin v 3. plinoizpiralki ne sme presegati 5 % koncentracije v prvih dveh plinoizpiralkah.

Pred vsako serijo meritev se izvede prazno vzorčenje t.i. celokupno slepo probo. Vrednosti izpiralne raztopine prištejemo k vrednostim trdnega dela vzorčenja. Meritev na merilnih mestih, kjer je koncentracija v slepi probi presegala 10 % dovoljeno mejno količino ni veljavna. V primeru, da je izračunana vrednost v vzorcu z zaostalim prahom (vzorčevalna oprema) manjša ali enaka kot slepa proba, v poročilu definiramo rezultate kot manj ali enako slepi probi.

Laboratorijske analize obsegajo:

- Analiza kovin na filtru:
  - Vzorci, ki se dostavijo v laboratorij: slepi filter iz iste šarže kot so filtri z vzorcem, celokupna slepa proba in filtri z vzorcem.
- Analiza kovin v absorbcijski raztopini:
  - Vzorci, ki se dostavijo v laboratorij: vzorec uporabljene izpiralne raztopine in absorpcijske raztopne – slepa proba, vzorec celokupne slepe probe, vzorec v absorpcijski raztopini v prvih dveh izpiralkah, vzorec v absorpcijski raztopini – v tretji izpiralki in vzorec z zaostalim prahom v vzorčevalni cevi (izpiralna tekočina iz vzorčenja).

Rezultate se podaja v poročilih o meritvah:

- Določitev celokupne vsebnosti kovin, C_{cel}

  $C_{cel} = (m_{trd} / V_{glav} + V_{str}) + (m_{raz} / V_{str})$

  m_{trd} = masa elementa v trdni frakciji (mg)

  m_{razv}= masa elementa v raztopini (mg)

  V_{glav}= volumen prečrpanega suhega plina v glavni liniji v m^3 pri standardnih pogojih (293 K, 101,3 kPa)

  V_{str} = volumen prečrpanega suhega plina v stranski liniji v m^3 pri standardnih pogojih (293 K, 101,3 kPa)

  Vrednosti izpiralne raztopine prištejemo k vrednostim trdnega dela vzorčenja.

- Izračun volumna vzorčenega suhega plina pri standardnih pogojih, V_d

  $Vd = Vm \times ((p_{atm}) \times 273,15)/T \times 101,325$

  Vd = volumen vzorčenega plina v m^3 pri standardnih pogojih

  Vm = volumen suhega plina v m^3

  p_{atm} = atmosferski tlak v kPa

  Tpov = povprečna temperatura plina pred volumskim merilcem pretoka v K

4.2. Metode za izvedbo meritev razpršenih in ubežnih emisij v delovno okolje v industrijskem obratu uporabljene v času izvajanja eksperimentalnega dela

Za oceno koncentracije celokupnega prahu, delcev PM_{10} in vsebnosti Ni v trdih delcih je potrebno izmeriti koncentracije delcev v delovnem okolju, ki predstavljajo t.i. razpršene in ubežne emisije naprave v zrak.

Njihov celotni delež v vplivnem območju metalurškega obrata se modelira s programskim orodjem Austal View upoštevajoč standard Ubežne in razpršene emisije skupnega pomena za industrijske sektorje - Ovrednotenje ubežne emisije prahu z reverzno disperznim modeliranje SIST EN 15445:2008[8], kot je to predstavljeno v praktičnem primeru v poglavju 6. doktorske disertacije.

Za izvedbo meritev dejanske koncentracije razpršenih delcev v notranjosti industrijskega obrata se je uporabil merilnik GRIMM[19], ki zagotavlja kontinuirane meritve koncentracij prašnih delcev glede na njihovo velikost.

Merilno mesto za oceno koncentracije razpršenih in ubežnih emisij industrijskega obrata je praviloma v bližini izvajanja tehnološkega procesa, ki povzroča razpršene emisije v delovno okolje (npr. mesta presipavanja sipkih materialov, brušenja, ulivanja v forme in hlajenja, skladiščenja sipkih materialov na prostem, netesnost odvodnikov ipd.).

Merilnik GRIMM[19] je prenosni laserski spektometer za merjenje prahu. Merilnik deluje na principu sipanja svetlobe. Uporablja se za določevanje koncentracije delcev v zraku. Rezultat je podan v št. delcev na liter, masa prahu pa v $\mu g/m^3$. Koncentracije posameznih snovi se določujejo s kemično analizo na teflonskem filtru. Črpalka s pretokom 1,2 l/min prečrpava zrak skozi filter, kjer se prah zbira.

Z merilnikom GRIMM[19] smo izvedli meritve skupnega prahu (z gravimetrijo), določili koncentracije delcev PM_{10} in pridobili koncentracijo Ni s kemično analizo filtra, vzorcev vzetih na 6 merilnih mestih podrobneje opisanih v poglavju 6 doktorske disertacije.

4.3. Novi pristopi in metode za izvedbo meritev prahu v delovnem okolju za spremljanje obremenjenosti delavce pri njihovih izpostavljenosti nevarnim kemičnih snovem na delovnih mestih

Metode temeljijo na Nemških standardih IFA 6068 (alveolna frakcija prahu) in IFA 7284 (inhabilna frakcija prahu). Merjenje se izvaja z osebnimi dozimetri, ki zagotavjajo vzorčevanje zraka neposredno na mestu vdihavanja delavca. Pred izvedbo meritev je potrebno zagotoviti pravilno načrtovanje meritev, ki obsega pregled delovnih mest, identifikacijo nevarnih kemičnih snovi katerim so izpostavljeni delavci, način in vrsta izpostavljenosti, čas izpostavljenosti, določitev število vzorcev in merilnih mest, način vrednotenje rezultatov (MV, KTV) skladno s standardom SIST EN 689:1998 Zrak na delovnem mestu - Navodilo za oceno izpostavljenosti pri vdihavanju kemičnih snovi za primerjavo z mejnimi vrednostmi in načrtovanje meritev in SIST EN 482:2007 Zrak na delovnem mestu - Splošne zahteve za izvajanje meritev kemičnih agensov. Za zajem alveolarne frakcije uporabimo vzorčevalno glavo s Higgins Dewellovim ciklonom. Pred meritvijo pripravimo filtre (celulozo nitratni filter dimenzije 25 mm s širino pore 8 μm), jih kondicioniramo 48 h na sobni temperaturi in stehtamo skupaj z nastavkom. Pred vzorčenjem opravimo preizkus tesnosti.

Opremo sestavimo tako, kot jo bomo uporabljali pri meritvi, zraven priključimo tudi merilnik pretoka. Na merilniku začnemo operacijo leak test. Preizkus tesnosti traja 10 min. Ko je preizkus uspešno zaključen se lahko začne umerjanje in same meritve. Preden začnemo z meritvijo preverimo pretok. Pretok črpalke je pretok 2,0 l/min ±0,1 l/min. Opravimo 3 meritve pretoka in zapišemo srednjo vrednost iz zaslona. Meritev izvajamo vsaj en delovni ponavljajoči se cikel oz min 2 h. Po opravljeni meritvi, opravimo 3 meritve pretoka in zapišemo srednjo vrednost ter čas trajanja meritve. Razlika med pretoki mora biti max 2 %. Filtre kondicioniramo 48 h pri sobni temperaturi in stehtamo s kaseto na kalibrirani tehnici v kontroliranih pogojih laboratorija. Za zajem inhalabilne frakcije uporabimo IOM vzorčevalno glavo in steklene filtre 25 mm. Preostali del meritev je identičen kot za alveolarni prah.

Ključni vidik pravilnih meritev obremenjenosti delovnega okolja z imisijami prašnih delcev je ustrezno načrtovanje in izvedba meritev, da se pridobi reprezentativen vzorec in oceni obremenjenost delavcev na delovnih mestih. V delovnem okolju razrpšene emisije prašnih delcev iz tehnoloških naprav in postopkov povzročajo obremenitve delovnega okolja katerim so izpostavljeni delavci. Prašni delci v obravnavanem obratu predstavljajo delce težkih kovin za katere je predpisana mejna vrednost za poklicno izpostavljenost v prilogi 1. Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu (Ur.l.RS, št.100/01, 39/05, 53/07, 102/10, 38/15) za posamezne vrste frakcij (inhalabilna in alveolarna).

4.4. Prikaz metod za izvedbo meritev imisije delcev PM_{10} v zunanjem zraku, ki so bile uporabljene pri izvajanju meritev za ekperimentalni del doktorske disertacije

4.4.1. Metode za določevanje masne frakcije delcev PM_{10} v zunanjem zraku

Metoda opisuje gravimetrični postopek za določitev koncentracije frakcije PM_{10} v suspendiranih delcih v zunanjem zraku. Zunanji zrak črpamo 24 ur pri znanem in konstantnem volumnu skozi vhodno odprtino selektivno za delce PM_{10}. Pri prehodu skozi filter se delci ujamejo na filtru. Maso ujetih delcev se določi s tehtanjem filtra pri konstantnih pogojih pred in po vzorčenju. Rezultate meritev se poda v $\mu g/m^3$, kjer je volumen zraka volumen pri zunanjih pogojih ob vhodni odprtini med vzorčenjem.

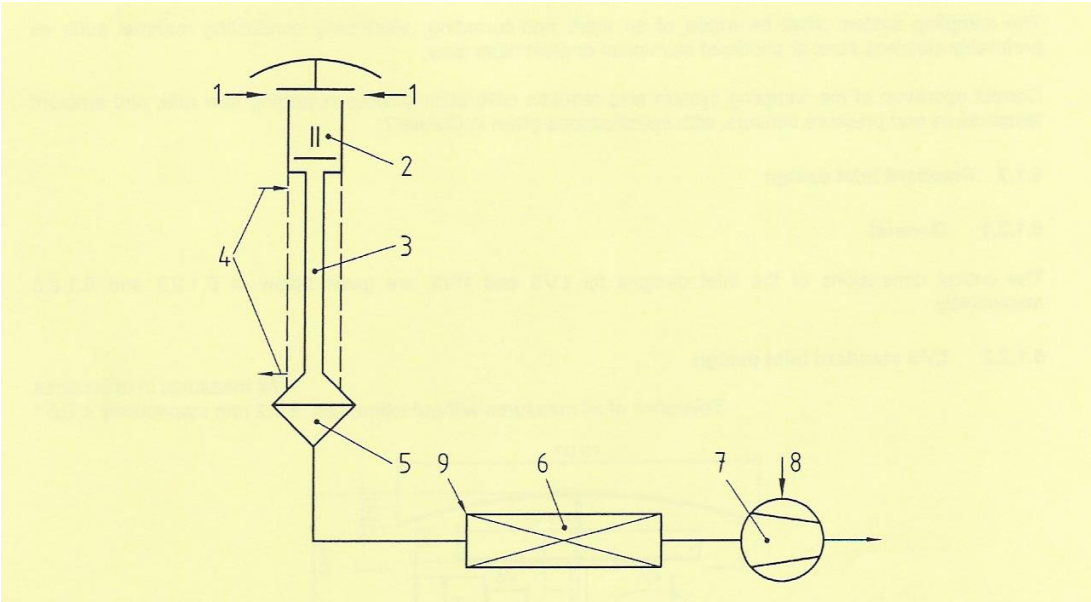
Merilna oprema, ki se je uporabila za določevanje delcev PM_{10} v zunanjem zraku:

- TCR Tecora SKYPOST PM HV[18] avtomatska sekvenčna postaja za vzorčenje prahu, ki omogoča:
  - vzdrževanje konstantnega pretoka zraka skozi vzorčevalno glavo 2,3 m^3/h ± 5 % (slika 10) s pomočjo elektronskega uravnavanja pretoka glede na zunanje pogoje v skladu z enačbo 1 iz tabele 9,
  - merjenje atmosferskega tlaka,
  - merjenje zunanje temperature,
  - merjenje padca tlak na filtru,
  - merjenje temperature suhega zraka,
  - merjenje volumna prečrpanega zraka z natančnostjo 2 %,
  - beleženje smeri vetra,
  - avtomatsko sekvenčno menjavo 16 filtrov,
  - merjenje in beleženje časa vzorčenja, ki mora trajati 24 ± 1 uro s pravilnostjo odčitavanja ± 5 minut.

Za meritev zunanje temperature in tlaka se uporabljajo kalibrirana merila.

Vzorčevalni sistem za delce PM_{10} v zunanjem zraku je prikazan na sliki 8.

- Vzorčevalna glava za delce PM_{10} po standardu SIST EN 12341 (slika 9)[7].
- Grelni sistem za nizke temperature.
- Merilo za meritev smeri in hitrosti gibanja zraka (vetra).
- Referenčni kalibrirani merilec pretoka za kontroliranje pretoka. Dovoljena merilna negotovost referenčnega merilca pretoka je 2 % pri 95 % intervalu zaupanja.
- Mazalno sredstvo - silikonska mast.

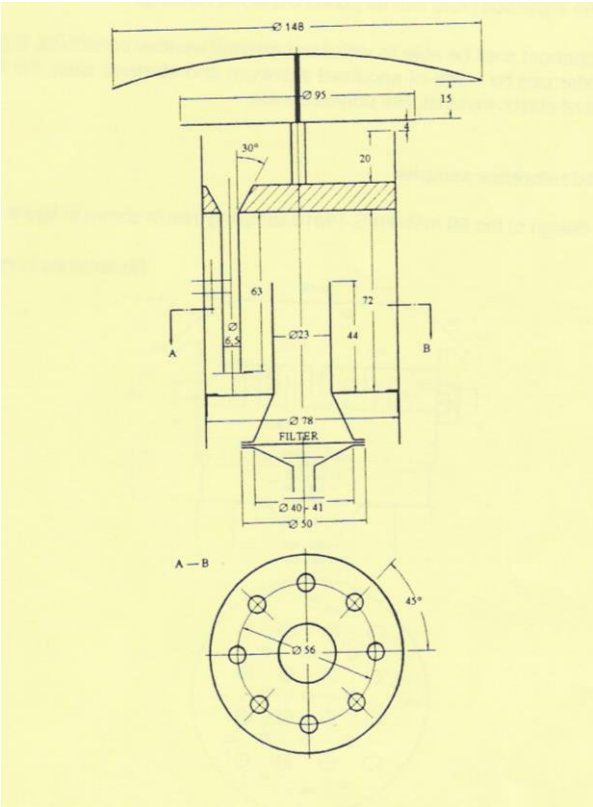


Slika 8: Shema standardnega vzorčevalnika delcev PM_{10}[7]

Tabela 9: Podatki vzorčevalnika za delce PM_{10} in legenda slike 8

št. oznake na sliki 12	parameter in enote	št. oznake na sliki 12	parameter in enote
1	vzorec zraka (Ta, p_a)	7	črpalka
2	vhod v zračna vodila (impaktor)	8	sistem za uravnavanje pretoka
3	povezovalne cevi	9	merjenje *T*, tlaka *p* in hitrosti zraka *F*
4	obodni zrak	Ta	temperatura zunanjega zraka
5	nosilec filtra	p_a	zračni tlak zunanjega zraka
6	merilec pretoka	Fa	hitrost zraka pri zunanjih pogojih (T_a in p_a) Fa = F x (Ta x p)/ (T x pa) [m^3/h] (enačba 1)

Vzorčevalna glava je selektivna za delce z velikostjo PM_{10} in omogoča minimalne izgube zaradi odlaganja delcev v zračnih vodilih, ki bi bila posledica kinetičnih, termičnih, kemičnih ali elektrostatičnih procesov.



Slika 9: Oblika vzorčevalne glave za selektivno vzorčenje delcev PM_{10} na filter pri pretoku 2,3 m^3/h[7]

Za izvajanje meritev delcev PM_{10} v zunanjem zraku smo uporabili laboratorijsko opremo:

- Prostor za tehtanje s kontroliranimi klimatskimi pogoji: T zraka je 20^0 C ± 1K in zračno vlago 50 % ± 5 %.
- Analitska tehtnica: Mettler Toledo tehtnica model AX105 DeltaRange, tip AX105DR z etalonom 0,2000 g.
- Kvarčni filtri z učinkovitostjo separacije 99, 5 % in premerom 47 mm. Uporabi se lahko tudi kvarčne in teflonske filtre oz. kvarčne filtre prevlečene s teflonom.
- Polietilenske kasete za shranjevanje in transport filtrov.
- Kovinske pincete.

Referenčni merilnik TCR Tecora SKYPOST PM HV[18], ki je namenjen avtomatskemu vzorčevanju atmosferskih delcev v okolju se pripravi skladno z navodili proizvajalca. Redno se izvaja vzdrževanje vzorčevalnika na vsakih 20 vzorcev in servisiranje po urah obratovanja glede na zahteve proizvajalca.

Pred vsako meritvijo se očisti vhod v vzorčevalnik, sesalno cev, mehanizem za zamenjavo filtrov, nosilce filtrov in druge dele vzorčevalnika, ki bi lahko prišli v stik s filtri. Preveri se namaščene dele, kot so površine vzorčevalne glave, po potrebi očisti in nanovo namasti.

Kontrolo pretoka z referenčnim kalibriranim merilcem pretoka se opravi:

- ob prestavitvi vzorčevalnika na drugo merilno mesto,
- ob pričetku meritev in ob menjavi filtrov,
- ob zaključku meritev,
- po popravilu ali servisu vzorčevalne naprave.

V primeru da izmerjeni pretok odstopa več kot 2 % od nastavljenega pretoka, je treba uravnati sistem za uravnavanje pretoka v skladu z navodili proizvajalca.

Postopke tehtanja v tehtalnici se izvaja pod kontroliranimi mikroklimatskimi pogoji. Pred vsakim tehtanjem se izvede meritev temperature in vlage v prostoru in se jo zabeleži na kontrolni list. Merilna negotovost merjenja temperature v prostoru mora biti boljša od 0,5 K. Merilna negotovost merjenja vlage v prostoru mora biti boljša od 2,0 % relativne vlažnosti. Senzorje se preveri z ustreznim standardom vsake 3 mesece in izvede kalibracija enkrat letno. Postopek preverjana tehtnice in tehtanje vzorcev se izvede po navodilih proizvajalca. Dovoljeni odmik od mase referenčnega etalona z maso 0,2000 g je 20 μg.

Pred uporabo se filtre kondicionira v tehtalnem prostoru vsaj 48 ur. Zelo vlažne ali zelo suhe filtre se kondicionira 12 ur več. Pri tem uporabimo sušilnik ali eksikator. Prazne in polne filtre se hrani in transportira v nosilcu filtra ali v označenih posodah za hranjenje filtrov. Prazne filtre v prostoru za tehtanje pred uporabo hranimo 28 dni. Filtre lahko pri zunanjih temperaturah (med postopkom vzorčenja) pred tehtanjem hranimo največ 15 dni.

Postopek vzorčenja na terenu se izvede v skladu s predpisanim protokolom laboratorija za izvajanje meritev imisijskih koncentracij masnih delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in kovin Pb, Cd, As in Ni v delcih PM_{10} in sicer:

- Na izbranem vzorčevalnem mestu se z zahtevami proizvajalca postavi in priklopi vzorčevalnik.
- Izvede se test tesnosti.
- Preveri se volumski pretok s kalibriranim merilcem pretoka. Pretok merilnika znaša 2,3 m^3/h ± 5%. Trenutna odstopanja med vzorčenjem lahko zanašajo do 10 % pretika merilnika.
- Vzame se terenski slepi vzorec. Vpliv transporta in ravnanja s filtri se preveri s slepim filtrom, ki se ga pripravi na enak način kot vzorčevalne filtre in stehta pred in po transportu do mesta vzorčenja. V primeru da je razlika v masi večja od 40 μg, se preverijo vzroki za odstopanje in sutrezno ukrepa.
- Slepo probo se izvede na vsakih 20 filtrov.
- V vzorčevalnik se vstavi nosilec s filtri in nastavi program za vzorčenje po navodilu za uporabo merila TCR Tecora SKYPOST PM HV[18].
- Ob pričetku vzorčenja se zabeleži: pričetek vzorčenja, pretok in oznako nosilca filtra.
- Nosilec uporabljenih filtrov se ob koncu vzorčenja shrani v označeno kaseto za prenos filtrov v laboratorij.
- Ob koncu meritve se zabeleži naslednje podatke:
    - oznaka vzorca,
    - čas zaključka vzorčenja,
    - pretok zraka,
    - volumen prečrpanega zraka v m^3,
    - mehanske ali električne napake,
    - meteorološke pogoje v času vzorčenja,
    - druge pomembne podatke, ki bi lahko bili pomembni za interpretacijo rezultatov.

Pomemben vidik ustreznosti meritve je izbira vzorčevalnega mesta z umestitvijo vzorčevalnih mest na mikro ravni. Pri tem je potrebno upoštevati naslednja merila:

- Pretok okrog vzorčevalne sonde na dovodu mora biti nemoten, tako da kakršne koli ovire ne vplivajo na pretok zraka v bližini vzorčevalnika (vsaj 5 m od zgradb,

balkonov, dreves in drugih ovir ter vsaj 0,5 m od najbližje stavbe, če so vzorčevalna mesta reprezentativna za kakovost zraka ob gradbeni liniji).

- Praviloma mora biti vzorčevalno mesto na dovodu na višini med 1,5 m (območje dihanja) in 4 m nad tlemi. Zaradi posebnih okoliščin se lahko izberejo višja mesta (do 8 m). Umestitev na višje mesto je lahko primerna tudi, če je vzorčevalno mesto reprezentativno za večje območje.
- Sonda na dovodu ne sme biti nameščena v neposredni bližini virov onesnaževanja zraka, da ne pride do neposrednega zajema emisij iz vira, nepremešanih z zunanjim zrakom.
- Izpuh vzorčevalnika se mora namestiti tako, da ne pride do ponovnega zajema izpušnega zraka skozi dovod v vzorčevalnik.
- Umestitev vzorčevalnikov na prometu izpostavljenih mestih: vzorčevalna mesta morajo biti vsaj 25 m od roba večjih križišč in vsaj 4 m od sredine najbližjega prometnega pasu.
- Za delce, svinec, benzen, arzen, kadmij, živo srebro, nikelj in policiklične aromatske ogljikovodike morajo biti dovodi umeščeni tako, da so reprezentativni za kakovost zraka v bližini gradbenih linij.

Upoštevati se morajo tudi naslednji dejavniki:

- moteči viri,
- varnost,
- dostop,
- razpoložljivost električnega in telefonskega omrežja,
- vidljivost mesta glede na njegovo okolico,
- varnost javnosti in izvajalcev,
- skupna umestitev vzorčevalnih mest za različna onesnaževala,
- zahteve prostorskega načrtovanja.

V fazi umeščanja je treba z izpolnjenim vprašalnikom v katerega so vključena vsa merila postavitve na makro in mikro ravni, orientacijskimi fotografijami okoliškega območja in njegovo podrobno karto v celoti dokumentirati postopek izbire vzorčevalnih mest.

Čas vzorčenja znaša 24 ± 1 ur in mora biti zapisan z natančnostjo ± 5 minut. Čas vzorčenja se lahko skrajša ali podaljša glede na pričakovano količino delcev v zraku. Meritve se izvedejo 14 % časa skozi vse leto. To je ena meritev na teden enakomerno porazdeljeno skozi vse leto ali osem tednov enakomerno razporejenih skozi vse leto.

Za koncentracije delcev PM_{10} v zunanjem zraku se merilne rezultate poda v $\mu g/m^3$, kjer je volumen zraka podan pri zunanjih pogojih. Koncentracije se izračuna po enačbi:

$$C = [m(l) - m(u)] / F \times t$$

kjer je:

C ..... koncentracija v $\mu g/m^3$

m(l) .....masa polnega filtra v μg

m(u) .....masa praznega filtra v μg

F .....pretok pri zunanjih pogojih v m^3/h

t .....čas vzorčenja v urah (h)

4.4.2. Metoda za vzorčenje kovin v frakciji lebdečih delcev PM_{10} v zunanjem zraku

Metoda za vzorčevanje Pb, Cd, As in Ni v frakciji PM_{10} v suspendiranih delcih v zunanjem zraku je identična metodi za določevanje delcev PM_{10}. Vzorčenje poteka v skladu s standardno metodo, ki je opisana v standardu SIST EN 12341:2000[7].

Koncentracijo kovin se določi z mikrovalovnim razklopom vzorca na filtru in analizo z atomsko absorpcijsko spektrometrijo ali z ICP-MS metodo. Rezultate meritev se poda v ng/m^3, kjer je volumen zraka volumen pri zunanjih pogojih ob vhodni odprtini med vzorčenjem.

Analitski laboratorij določi koncentracije posamezne kovine in izračuna mase Pb, Cd, As in Ni na filtru.

Laboratorijsko poročilo vsebuje naslednje rezultate:

- masa posamezne kovine na filtru m_a v ng,
- masa posamezne kovine na laboratorijskih slepih vzorcih $m_{La,}$ ki je povprečna vrednost mas na vseh filtrih v ng,
- masa posamezne kovine na terenskih slepih vzorcih m_{Ta} v ng.

Za izračun koncentracije Pb, Cd, As in Ni v delcih PM_{10} v zunanjem zraku se uporabi enačba:

$C_a = (m_a - m_{La})/ V$

kjer je:

Ca ..... masna koncentracija kovine v vzorčenem zraku v $\mu g/m^3$

m_a ..... masa posamezne kovine na filtru v ng,

m_{La} ..... masa posamezne kovine na laboratorijskih slepih vzorcih v ng

V .....volumen vzorčenega zraka v m^3.

5. REZULTATI MERITEV DELCEV V ZRAKU

5.1. Rezultati meritev emisij prašnih delcev v zrak iz odvodnikov

Meritve emisije snovi v zrak iz naprave za taljenje in litje nodularne in sive litine s proizvodno zmogljivostjo taljenja 91 ton na dan in naprave za taljenje in legiranje zlitin bakra s talilno zmogljivostjo 30 ton na dan so bile opravljene v skladu z izdanim okoljevarstvenim dovoljenjem v letu 2008 in z uporabo akreditiranih metod za naslednje odvodnike:

- Z1– Linija 1 Talilnica
- Z2 – Linija 2 in 3
- Z3 – Rupmann 1
- Z4 – Rupmann 2.

5.1.1. Viri emisij snovi v zrak iz nepremičnih virov naprave in merilna mesta

Tabela 10 prikazuje podatke o virih emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov naprave (t.i. odvodnikov), ki so bili upoštevani pri izvajanju meritev v okviru doktorske disertacije. Obravnavali so se odvodniki, ki povzročajo prašne delce v zrak in so zanje določene dopustne vrednosti in največji masni pretoki v IED dovoljenju naprave.

Tabela 10: Podatki o virih emisij iz odvodnikov

Oznaka izpusta po IED dovoljenju	Opis vira emisij prašnih delcev v zrak	Vrste snovi v emisijah iz izpusta
Izpust iz Z1 – linija 1 Talilnica	Na izpustu Z1 so zajeti emisije iz indukcijskih talilnih peči za taljenje sive in nodularne litine.	celotni prah, Pb, Co, Ni, Cr, Cu, mn, V, Sn, dioksini in furani
Izpust iz Z2 – linija 2 in 3	Na izpustu Z2 so zajeti emisije iz priprave peska, formanja, iztresa ulitkov, pekanja in brušenja odlitkov.	celotni prah
Izpust iz Z3 – Rupmann 1*	Na izpustu Z3 so zajeti emisije iz lončene peči 1 za taljenje brona.	celotni prah, SO_2 in NO_2
Izpust iz Z4 – Rupmann 2*	Na izpustu Z4 so zajeti emisije iz lončene peči 2 iz taljenja brona.	celotni prah, SO_2 in NO_2

5.1.2. Obratovalni čas naprave

Proizvodnja v napravah poteka tri izmensko. Naprava obratuje 7122 ur na leto. Obratovalni čas naprav peči za litje brona Rupmann 1 in Rupmann 2 je manj kot 900 ur na leto, zato se v okviru izvajanja meritev zagotovila izvedba meritev na peči Rupmann 2 (izpust Z4).

5.1.3. Nazivi merilnega mesta in parametri merjenja

V tabeli 11 so prikazani nazivi merilnih mest odvodnikov iz posameznih delov nepremičnih tehnoloških enot naprave, ki izpuščajo prašne delce v zrak.

Tabela 11: Nazivi merilnih mest emisij v zrak iz odvodnikov (MME)

Oznaka	Opis
MME1	Izpust iz Z1 – linija 1 Talilnica
MME2	Izpust iz Z2 – linija 2 in 3
MME3	Izpust iz Z3 – Rupmann 1*
MME4	Izpust iz Z4 – Rupmann 2*

*vira obratujeta izmenično, zato se upošteva prispevek enega vira

V tabeli 12 so prikazani parametri merjenja na posameznem odvodniku v skladu z zahtevami IED dovoljenja. Dodatno smo izvajali meritve delcev PM_{10} v odvodnikih na ZI in Z2 z uporabo vzorčevalnika za delce PM_{10} v odvodnikih skladno s standardom ISO 25597:2013[37] in sicer z uporabo vzorčevalnega ciklona za delce PM_{10} proizvajalca Zambelli.

Tabela 12: Parametri merjenja

Parameter	MME1 Izpust iz Z1	MME2 Izpust iz Z2	MME3 Izpust iz Z4
Parametri stanja odpadnih plinov:			
temperatura plinov (ºC)	da	da	da
hitrost plinov (m/s)	da	da	da
volumski pretok plinov (m^3/h)	da	da	da
tlak plinov (hPa)	da	da	da
vlažnost plinov (g/m^3)	da	da	da
Emisijski parametri:			
celotni prah (mg/m^3)	da	da	da
vsota anorg. delcev II. nevarnostne skupine (mg/m^3)	da	ne	ne
vsota anorg. delcev III. nevarnostne skupine (mg/m^3)	da	ne	ne
vsota anorg. delcev II. in III. nevarnostne skupine (mg/m^3)	da	ne	ne
žveplov dioksid (mg/m^3)	ne	ne	da
dušikovi oksidi (mg/m^3)	ne	ne	da
benzen (mg/m^3)	da	ne	ne
HF (mg/m^3)	da	ne	ne
ogljikov monoksid (mg/m^3)	ne	ne	ne

5.1.4. Rezultati meritev emisij snovi v zrak iz odvodnikov Z1, Z2 in Z3

Rezultati izpusta emisij v zrak iz odvodnikov so prikazani v tabelah 13, 14, 15, 16, 17 in 18.

Tabela 13: Rezultati posameznih vzorcev meritev in povprečne vrednosti MME1 – Izpust iz Z1 - linija 1 Talilnica

Parameter	ME	Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Povprečna vrednost
volumski pretok plinov	[m³/h]	19851	19073	19978	19634
		(±1191)	(±1144)	(±1198)	(±1178)
volumski pretok plinov	[Nm³/h]	16973	16306	17123	16801
		(±1018)	(±978,4)	(±1027,4)	(±1008)
temperatura plinov	[°C]	35,0	35	34,2	34,73
		(±1,1)	(±1,1)	(±1)	(±1)
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm³]	0,3	0,7	0,3	0,4
		(±0)	(±0,1)	(±0)	(±0)
celotni prah – masni pretok	[g/h]	4,42	10,77	5,10	6,8
		(±0,5)	(±1,3)	(±0,6)	(±0,8)
kobalt in njegove spojine, izražen kot Co	[mg/Nm³]	< 0,0002 (±0,0)	< 0,0002 (±0,0)	< 0,0002 (±0,0)	< 0,0002 (±0,0)
kobalt in njegove spojine, izražen kot Co	[g/h]	< 0,0034 (±0,0)	< 0,0033 (±0,0)	< 0,0034 (±0,0)	< 0,0034 (±0,0)
nikelj in njegove spojine, izražen kot Ni - koncentracija	[mg/Nm³]	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0009 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)
nikelj in njegove spojine, izražen kot Ni – masni pretok	[g/h]	< 0,0136 (±0,0)	< 0,0147 (±0,0)	< 0,0137 (±0,0)	< 0,0134 (±0,0)
svinec in njegove spojine, izražen kot Pb	[mg/Nm³]	< 0,0004 (±0,0)	< 0,0004 (±0,0)	< 0,0004 (±0,0)	< 0,0004 (±0,0)
svinec in njegove spojine, izražen kot Pb	[g/h]	< 0,0068 (±0,0)	< 0,0065 (±0,0)	< 0,0068 (±0,0)	< 0,0067 (±0,0)
vsota anorganskih delcev II. nevarnostne skupine	[mg/Nm³]	< 0,001 (±0,0)	< 0,002 (±0,0)	< 0,001 (±0,0)	< 0,001 (±0,0)
krom in njegove spojine, izražen kot Cr	[mg/Nm³]	< 0,004 (±0,0)	< 0,004 (±0,0)	< 0,004 (±0,0)	< 0,004 (±0,0)
krom in njegove spojine, izražen kot Cr	[g/h]	< 0,0679 (±0,01)	< 0,0652 (±0,01)	< 0,0685 (±0,01)	< 0,0672 (±0,01)
baker in njegove spojine, izražen kot Cu	[mg/Nm³]	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0009 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)
baker in njegove spojine, izražen kot Cu	[g/h]	< 0,0136 (±0,0)	< 0,0147 (±0,0)	< 0,0137 (±0,0)	< 0,0134 (±0,0)
mangan in njegove spojine, izražen kot Mn	[mg/Nm³]	< 0,002 (±0,0)	< 0,002 (±0,0)	< 0,002 (±0,0)	< 0,002 (±0,0)
mangan in njegove spojine, izražen kot Mn	[g/h]	< 0,0339 (±0,0)	< 0,0489 (±0,0)	< 0,0342 (±0,0)	< 0,0336 (±0,0)
vanadij in njegove spojine, izražen kot V	[mg/Nm³]	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0009 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)
vanadij in njegove spojine, izražen kot V	[g/h]	< 0,0136 (±0,0)	< 0,0147 (±0,0)	< 0,0137 (±0,0)	< 0,0134 (±0,0)
kositer in njegove spojine, izražen kot Sn	[mg/Nm³]	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0009 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)	< 0,0008 (±0,0)
kositer in njegove spojine, izražen kot Sn	[g/h]	< 0,0136 (±0,0)	< 0,0147 (±0,0)	< 0,0137 (±0,0)	< 0,0134 (±0,0)
vsota anorganskih delcev III. nevarnostne skupine	[mg/Nm³]	< 0,008 (±0,0)	< 0,01 (±0,0)	< 0,008 (±0,0)	< 0,009 (±0,0)
vsota anorganskih delcev II. in III. nevarnostne skupine	[mg/Nm³]	< 0,009 (±0,0)	< 0,012 (±0,0)	< 0,009 (±0,0)	< 0,01 (±0,0)
benzen	[mg/Nm³]	< 0,697 (±0,25)	< 0,699 (±0,25)	< 0,714 (±0,26)	< 0,703 (±0,25)
benzen	[g/h]	< 11,87 (±4,25)	< 11,40 (±4,10)	< 12,22 (±4,40)	< 11,81 (±4,25)
HF	[mg/Nm³]	< 0,305 (±0,08)	< 0,291 (±0,08)	< 0,293 (±0,08)	< 0,296 (±0,08)
HF	[g/h]	< 5,18 (±1,35)	< 4,74 (±1,23)	< 5,02 (±1,31)	< 4,97 (±1,29)
dioksini in furani (PCCD/F)	[ng /Nm³]				0,01 (±0,0036)
dioksini in furani (PCCD/F)	[ug/h]				0,16 (±0,0576)

Opomba: Vrednosti v oklepajih podajajo merilno negotovost

Tabela 14: Rezultati meritev MME1 – Izpust iz Z1 - linija 1 Talilnica

Parameter	ME	Srednja vrednost	Največja vrednost	Mejna vrednost	Meritve v pogojih največjih emisij (DA/NE)
volumski pretok plinov	[m^3/h]	19634	19978	-	Da
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	16801	17123	-	Da
temperatura plinov	[°C]	34,7	35,0	-	Da
vlažnost plinov	[g/m^3]	11,0	11,0	-	Da
hitrost plinov	[m/s]	10,9	11,0	-	Da
statični tlak plinov	[hPa]	991	991	-	Da
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm^3]	0,4	0,7	20	Da
celotni prah – masni pretok	[g/h]	6,8	10,8	-	Da
benzen	[mg/Nm^3]	< 0,703	< 0,714		Da
HF	[mg/Nm^3]	< 0,296	< 0,305		Da
vsota anorganskih delcev II. nevarnostne skupine	[mg/Nm^3]	< 0,001	< 0,002	0,5	Da
vsota anorganskih delcev III. nevarnostne skupine	[mg/Nm^3]	< 0,009	< 0,01	1	Da
vsota anorganskih delcev II. in III. nevarnostne skupine	[mg/Nm^3]	< 0,01	< 0,012	1	Da
dioksini in furani (PCCD/F)	[ng /Nm^3]	0,01	/	0,1	Da
dioksini in furani (PCCD/F)	[ug/h]	0,16	/	-	Da

Izmerjena emisijska koncentracija celotnega prahu, posameznih organskih spojin in kovin je bila v času izvedbe meritev v mejah predpisanih vrednosti, ki jih predpisuje Okoljevarstveno dovoljenje.

Tabela 15: Rezultati posameznih vzorcev meritev in povprečne vrednosti meritev MME2-Izpust iz Z2 – linija 2 in 3

Parameter	ME	Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Povprečna vrednost
volumski pretok plinov	[m^3/h]	69374	59922	53918	61072
		(±4162,5)	(±3595,3)	(±3235,1)	(±3664,3)
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	62463	52332	46565	53787
		(±3747,8)	(±3139,9)	(±2793,9)	(±3227,2)
temperatura plinov	[°C]	19,1	28,2	31,6	26,3
		(±0,6)	(±0,8)	(±0,9)	(±0,8)
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm^3]	1,8	2	1,8	1,8
		(±0,2)	(±0,2)	(±0,2)	(±0,2)
celotni prah – masni pretok	[g/h]	112,40	102,73	82,55	99,2
		(±13,5)	(±12,3)	(±9,9)	(±11,9)

Opomba: Vrednosti v oklepajih podajajo merilno negotovost

Tabela 16: Rezultati meritev MME2- Izpust iz Z2 – linija 2 in 3

Parameter	ME	Srednja vrednost	Največja vrednost	Mejna vrednost	Meritve v pogojih največjih emisij (DA/NE)
volumski pretok plinov	[m^3/h]	61072	69374	-	Da
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	53787	62463	-	Da
temperatura plinov	[°C]	26,3	31,6	-	Da
vlažnost plinov	[g/m^3]	12,0	12,0	-	Da
hitrost plinov	[m/s]	10,3	11,7	-	Da
statični tlak plinov	[hPa]	991	991	-	Da
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm^3]	1,9	2,0	10	Da
celotni prah – masni pretok	[g/h]	99,2	112,4	-	Da

Izmerjene vrednosti koncentracija celotnega prahu ne presegajo mejnih vrednosti navedenih v okoljevarstvenem dovoljenju, ki ga je izdal ARSO leta 2008.

Tabela 17: Rezultati posameznih vzorcev meritev in povprečne vrednosti meritev MME4 - Odvod iz Z4 – Rupmann 2

Parameter	ME	Meritev 1	Meritev 2	Meritev 3	Povprečna vrednost
volumski pretok plinov	[m^3/h]	1484	1484	1484	1484
		(±89,1)	(±89,1)	(±89,1)	(±89,1)
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	674	659	651	661
		(±40,4)	(±39,5)	(±39)	(±39,7)
temperatura plinov	[°C]	287,0	300	307	298
		(±8,6)	(±9)	(±9,2)	(±8,9)
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm^3]	7,6	12,1	15,4	11,7
		(±0,9)	(±1,5)	(±1,9)	(±1,4)
celotni prah – masni pretok	[g/h]	5,11	8,00	10,04	7,7
		(±0,6)	(±1)	(±1,2)	(±0,9)
kisik (O_2)	[%]	18	18	17	17,67
		(±2,5)	(±2,5)	(±2,4)	(±2,5)
ogljikov monoksid (CO)	[mg/Nm^3]	11	13	14	12,7
		(±1,8)	(±1,8)	(±2)	(±1,8)
ogljikov monoksid (CO)	[g/h]	7,4	8,6	9,1	8,4
		(±1)	(±1,2)	(±1,3)	(±1,2)
žveplov dioksid (SO_2)	[mg/Nm^3]	< 14,3	< 14,3	< 14,3	< 14,3
		(±1,9)	(±1,9)	(±1,9)	(±1,9)
žveplov dioksid (SO_2)	[g/h]	< 9,6	< 9,4	< 9,3	< 9,5
		(±1,3)	(±1,2)	(±1,2)	(±1,2)
dušikovi oksidi NO_x(kot NO_2)	[mg/Nm^3]	59	50	46	51,7
		(±9,4)	(±8)	(±7,4)	(±8,3)
dušikovi oksidi NO_x (kot NO_2)	[g/h]	39,8	32,9	29,9	34,2
		(±6,4)	(±5,3)	(±4,8)	(±5,5)

Opomba: Vrednosti v oklepajih podajajo merilno negotovost

Tabela 18: Rezultati meritev MME4 - Odvod iz Z4 – Rupmann 2

Parameter	ME	Srednja vrednost	Največja vrednost	Mejna vrednost	Meritve v pogojih največjih emisij (DA/NE)
volumski pretok plinov	[m^3/h]	1484	1484	-	Da
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	661	674	-	Da
temperatura plinov	[°C]	298,0	307,0	-	Da
vlažnost plinov	[g/m^3]	49,0	49,0	-	Da
hitrost plinov	[m/s]	2,1	2,1	-	Da
statični tlak plinov	[hPa]	1001	1001	-	Da
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm^3]	11,7	15,4	20	Da
celotni prah – masni pretok	[g/h]	7,7	10,0	-	Da
kisik (O_2)	[%]	17,7	18,0	-	Da
ogljikov monoksid (CO)	[mg/Nm^3]	12,7	14	-	Da
ogljikov monoksid (CO)	[g/h]	8,4	9,3	-	Da
žveplov dioksid (SO_2)	[mg/Nm^3]	< 14,3	< 14,3	350	Da
		(7,7)	(9)		
žveplov dioksid (SO_2)	[g/h]	< 9,5	< 9,5	-	Da
dušikovi oksidi NO_x (kot NO_2)	[mg/Nm^3]	51,7	59	350	Da
dušikovi oksidi NO_x (kot NO_2)	[g/h]	34,2	39	-	Da

Izmerjena emisijska koncentracija celotnega prahu, dušikovih oksidov, izraženih kot NO_2, žveplovih oksidov, izraženih kot SO_2 in ogljikovega monoksida je bila v času izvedbe meritev v mejah predpisanih vrednosti, ki jih predpisuje Okoljevarstveno dovoljenje.

5.1.5. Vrednotenje rezultatov meritev emisij v zrak iz Z1, Z2 in Z3 glede na dopustne vrednosti iz OVD

Kriteriji za vrednotenje skladnosti rezultatov občasnih meritve emisij v zrak iz naprave za taljenje in litje nodularne in sive litine s proizvodno zmogljivostjo taljenja 91 ton na dan in naprave za taljenje in legiranje zlitin bakra s talilno zmogljivostjo 30 ton na dan so določeni z dopustnimi vrednostmi iz okoljevarstvenega dovoljenja za posamezni izpust iz naprave.

Vrednotenje rezultatov meritev za MME1 (Z1) je razvidno iz tabele 19.

Tabela 19: Vrednotenje rezultatov MME1 – Izpust iz Z1 – linija 1 Talilnica glede nadopustne vrednosti in največje masne pretoke iz tabele 3

Parameter	Rezultati meritev	Mejna koncentracija pri dani količini	Vrednotenje
	koncentracija mg/m^3		presega / ne presega
koncentracija celotnega prahu	0,40	20 mg/m^3	ne presega
vsota anorganskih delcev II. nevarnostne skupine	< 0,001	0,5 mg/m^3	ne presega
vsota anorganskih delcev III. nevarnostne skupine	< 0,009	1 mg/m^3	ne presega
vsota anorganskih delcev II. in III. nevarnostne skupine	< 0,01	1 mg/m^3	ne presega
koncentracija dioksinov in furanov (PCCD/F)	0,01	0,1 ng /Nm^3	ne presega

Vrednotenje rezultatov meritev za MME2 (Z2) je razvidno iz tabele 20.

Tabela 20: Vrednotenje rezultatov- MME2 – Izpust iz Z2 – linija 2 in 3 glede na dopustne vrednosti in največje masne pretoke iz tabele 4

Parameter	Rezultati meritev	Mejna koncentracija pri dani količini	Vrednotenje
celotni prah:			
koncentracija (mg/m^3)	1,90	10	ne presega
masni pretok (g/h)	99,23	1146	ne presega

Vrednotenje rezultatov meritev za MME4 (Z4) je razvidno iz tabele 21.

Tabela 21: Vrednotenje rezultatov- MME4 – Izpust iz Z4 – Rupmann 2 glede na dopustne vrednosti in največje masne pretoke iz tabele 6

Parameter	Rezultati meritev	Mejna koncentracija pri dani količini	Vrednotenje
	Koncentracija mg/m^3		Presega /Ne presega
Koncentracija celotnega prahu	11,70	20 mg/m^3	Ne presega
Koncentracija SO_2	< 14,3 (7,7)	350 mg/m^3	Ne presega
Koncentracija NO_2	51,7	350 mg/m^3	Ne presega

5.1.6. Vrednotenje skladnosti z OVD

MME1- Izpust iz Z1 - linija 1 Talilnica:

Izmerjena vrednost koncentracije in masnega pretoka celotnega prahu ne presegajo dopustne vrednosti navedene v okoljevarstvenem dovoljenju. Izmerjena vrednost masnega pretoka vsote anorganskih delcev II.nevarnostne skupine, vsote anorganskih delcev III.nevarnostne skupine, vsote anorganskih delcev II.in III.nevarnostne skupine ne presegajo dopustnih vrednosti navedenih v okoljevarstvenem dovoljenju. Izmerjena vrednost največjega masnega pretoka celotnega prahu in vsota anorganskih delcev II.nevarnostne skupine ne presega največjega masnega pretoka navedenega v okoljevarstvenem dovoljenju.

MME2 –Izpust iz Z2 – linija 2 in 3:

Izmerjena vrednost koncentracije celotnega prahu ne presegajo mejnih vrednosti navedenih v okoljevarstvenem dovoljenju.

MME4 - Izpust Z4 – Rupmann 2:

Izmerjena vrednost koncentracije in masnega pretoka celotnega prahu ne presega dopustne vrednosti navedene v okoljevarstvenem dovoljenju. Izmerjena vrednost koncentracije in masnega pretoka žveplovega dioksida in žveplovega trioksida, izražena kot SO_2, dušikovega monoksida in dušikovega dioksida, izraženega kot NO_2 ne presega dopustne vrednosti navedene v okoljevarstvenem dovoljenju. Izmerjena vrednost največjega masnega pretoka žveplovega dioksida in žveplovega trioksida, izražena kot SO_2, dušikovega monoksida in dušikovega dioksida, izraženega kot NO_2 ne presega največjega masnega pretoka navedenega v okoljevarstvenem dovoljenju.

5.1.7. Rezultati dodatnih 24 urnih meritev celokupnega prahu in delcev PM_{10} v odvodnikih Z1 in Z2

V odvodnikih Z1 in Z2 smo izvedli 24 urne kontinuirane meritve celokupnega prahu in delcev PM_{10} z ciklonskim vzorčevalnikom za delce PM_{10} v odvodnikih skladno s standardom ISO 25597:2013[37]. Meritve so se izvajala z dvema vzorčevalnikom hkrati na istem odvodniku z namenom primerjave rezultatov emisijske vrednost za celokupni prah in od tega delež emisije delcev PM_{10} v odvodnikih. Rezultati dobljeni na podlagi dodatnih meritev celokupnega prahu delcev PM_{10} v odvodnikih Z1 in Z2 so prikazani v tabeli 22 in 23.

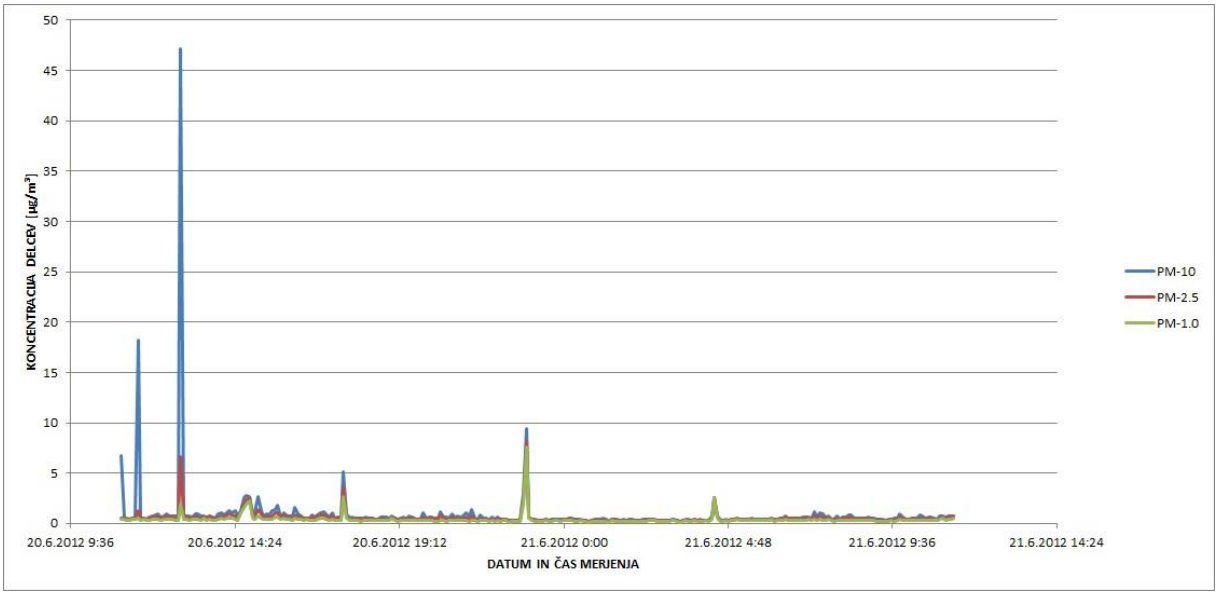
Tabela 22: Rezultati 24 urnih meritev koncentracij skupnega prahu

Parameter	ME	Z1- Linija 1 talilnica	Z2- Linija 2 in 3
celotni prah - koncentracija	[mg/Nm^3]	0,44	1,8854
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	17057	47705
celotni prah - masni pretok	[g/h]	7,5	89,9

Tabela 23: Rezultati 24 urnih meritev koncentracij delcev PM_{10} (izokinetično vzorčevanje s ciklonom za delce PM_{10})

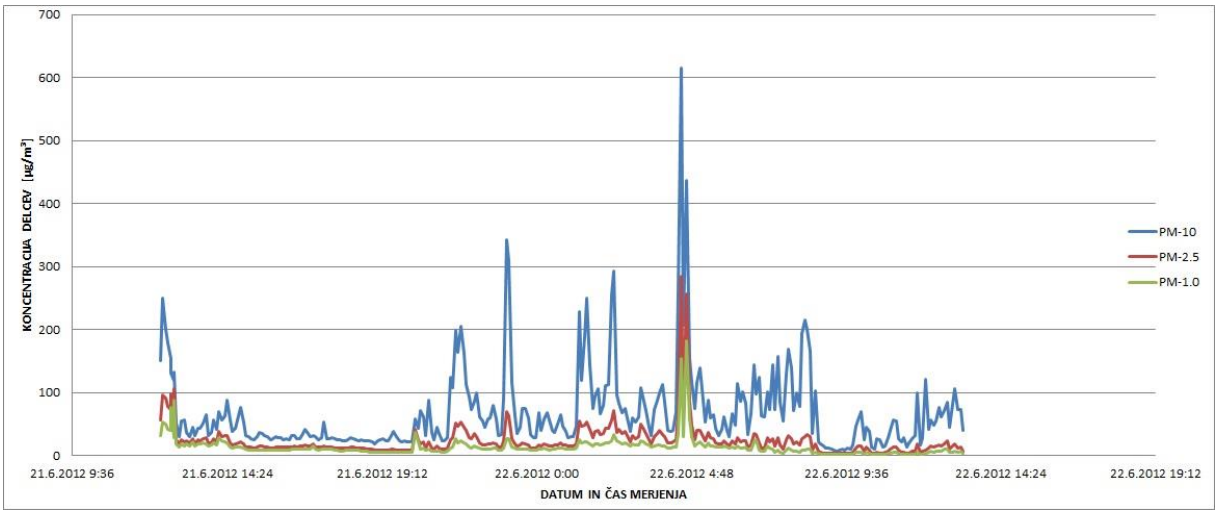
Parameter	ME	Z1- Linija 1 talilnica	Z2- Linija 2 in 3
delci PM_{10} - koncentracija delcev	[mg/Nm^3]	0,034	0,3407
volumski pretok plinov	[Nm^3/h]	14907	38242
delci PM_{10} – masni pretok	[g/h]	0,51	13,0

V času izvajanja 24 urnih meritev emisij delcev z akreditiranimi metodami smo v odvodniku še dodatno spremljali z merilnikom GRIMM dejanske koncentracije prašnih delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$, s ciklom 5 minutnega merjenja. Rezultati koncentracij delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ so prikazani na grafih na slikah 10 in 11.



Slika 10: Koncentracije delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ iz izpusta Z1 pri 24 urnih meritvah (merilnik GRIMM)

Iz slike 10 je razvidno, da so bile vrednosti koncentracije delcev občasno povečane, kar bi glede na proizvodne podatke pripisali fazi začetnega taljenja vložka v indukcijskih pečeh, ko prihaja do povečanih emisij prašnih delcev v zrak. Povišanje koncentracij delcev predstavlja predvsem povečanje koncentracij delcev PM_{10}. Povprečna koncentracija delcev PM_{10} je bila 0,9 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 0,55 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 0,37µg/m^3. Trenutna max. koncentracije delcev PM_{10} je znašala 47,1 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 6,6 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 2,2 µg/m^3.



Slika 11: Koncentracije delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ iz izpusta Z2 pri 24 urnih meritvah (merilnik GRIMM)

Iz slike 11 je razvidno, da so se vrednosti koncentracij delcev nenehno spreminjale predvsem zaradi spreminjajočih emisij delcev iz proizvodnih procesov priprave peska, formanja, iztresa

ulitkov, pekanja in brušenja odlitkov, kar je tudi pričakovano. Povišanje koncentracij delcev predstavlja predvsem povečanje koncentracij delcev PM_{10}. Povprečna koncentracija delcev PM_{10} je bila 68,24 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 23,01 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 12,87 µg/m^3. Trenutna max. koncentracije delcev PM_{10} je znašala 614,3 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 283,7 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 182,5 µg/m^3.

5.2. Rezultati meritev razpršenih in ubežnih emisij v zrak z imisijskimi koncentracijami delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$, celokupnega prahu in koncentracije Ni v metalurškem obratu in neposredni bližini emisijskega razpršenega vira

Merilna mesta merjenja 24 urnih koncentracij razpršenih in ubežnih emisij celokupnega prahu, delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$ in koncentracije niklja z imisijskimi koncentracijami neposredno v in neposredno ob proizvodnem obratu so:

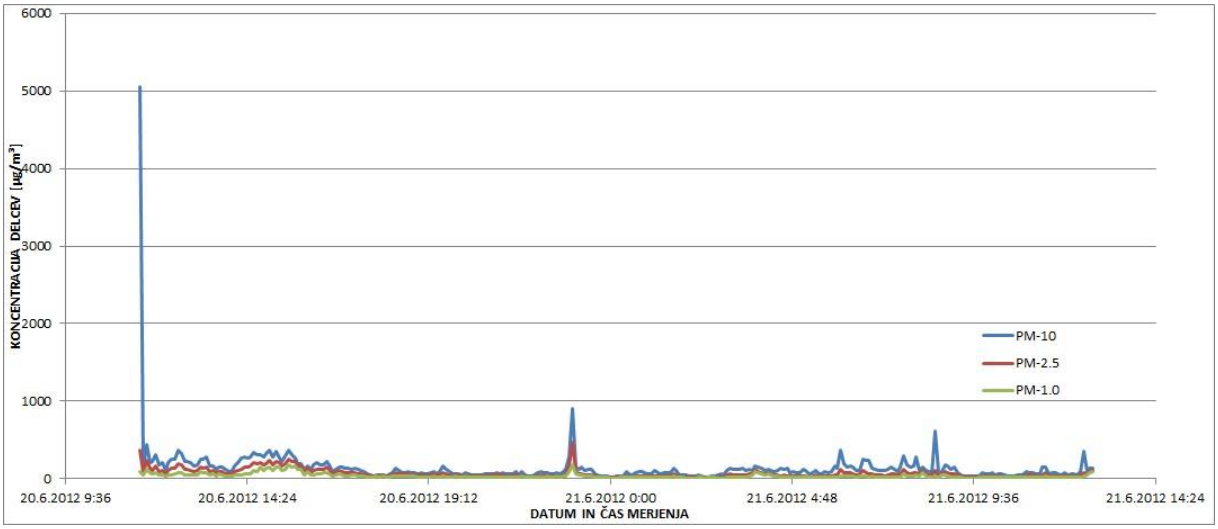
- MM1 (talilnica – delovni prostor): merilno mesto v proizvodnji na katero imajo vpliv talilne peči, prelivanje iz peči v livne ponovce, transport livne ponovce, ulitja v forme in hlajenje ulitih form na formarski liniji, iztresanje odlitkov iz form, notranji transport in ostali pomožni delovni procesi v proizvodnji,
- MM2 (zunanje skladišče – zunanji prostor): mesto, kjer so prisotne razpršene emisije zaradi skladiščenja sipkih materialov (odpadni livarski pesek) na zunanjem skladišču pred odvozom na odlagališče,
- MM3 (brusilnica – delovni prostor): izvajanje avtomatskega in ročnega brušenja, in
- MM4 (jedrarna – delovni prostor): izvajanje izdelave jeder.

Rezultati meritev imisijskih koncentracij prašnih delcev v industrijskem obratu so prikazani ločeno za vsako merilno mesto (MM) v tabeli 24.

Tabela 24: Rezultati meritev imisijskih koncentracij v in neposredno ob industrijskem obratu

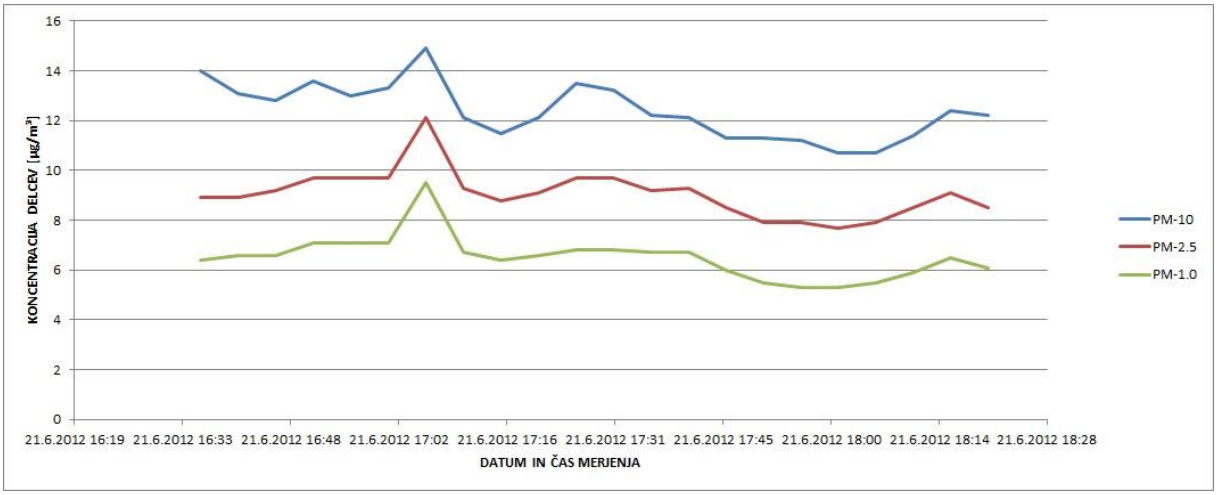
Merilno mesto	celokupni prah (mg/m^3)	PM_{10} (mg/m^3)	Ni v delcih PM_{10} (µg/m^3)
MM1 (talilnica)	1,1810	0,1402	4,2 x10^{-4}
MM2 (zunanje skladišče)	/	0,0024	< 4,2 x10^{-4}
MM3 (brusilnica)	3,1758	0,1234	< 3,6 x10^{-3}
MM4 (jedrarna)	2,8421	0,2223	4,9 x10^{-3}

Rezultati koncentracij delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ v času meritev so razvidni na prikazani na grafih na slikah 12, 13, 14 in 15.



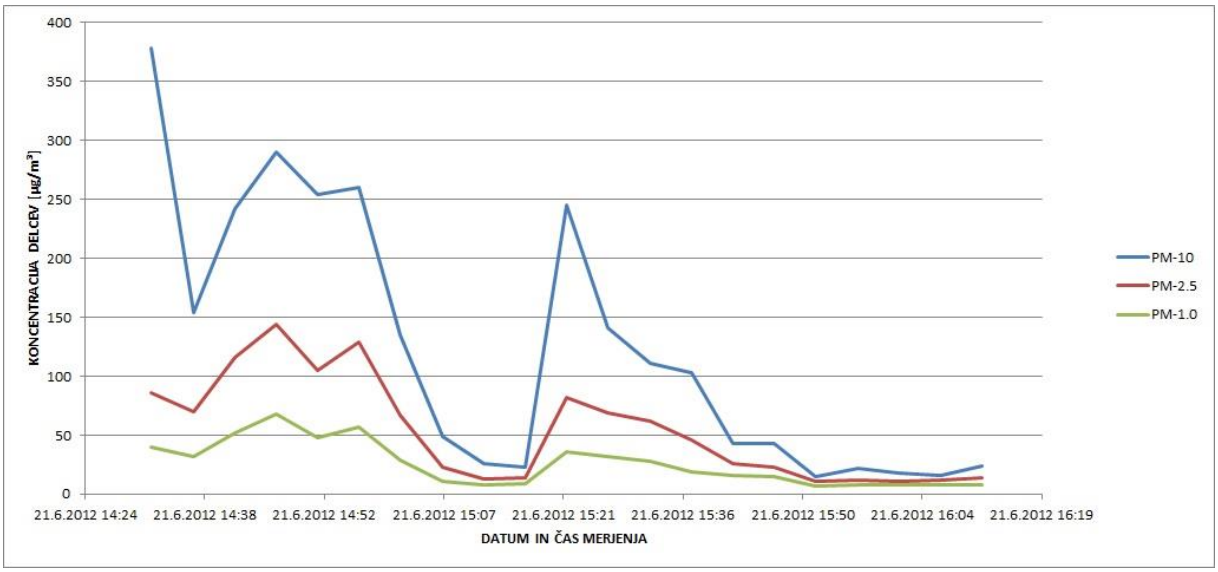
Slika 12: Koncentracije delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ na merilnem mestu talilnica (MM1) pri 24 urnih meritvah (merilnik GRIMM)

Iz slike 12 je razvidno, da se vrednosti koncentracije delcev spreminjajo v delovnem okolju primerljivo glede na graf na sliki 10, kjer so prikazane emisije snovi iz odvodnika Z1 - talilnica, kar je pripisati začetni fazi taljenja v indukcijskih pečeh. Povišanje koncentracij delcev predstavlja predvsem povečanje koncentracij delcev PM_{10}. Povprečna koncentracija delcev PM_{10} je bila 140,17 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 68,08 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 37,04 µg/m^3. Trenutna max. koncentracije delcev PM_{10} je znašala 5058 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 371,8 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 166,9 µg/m^3.



Slika 13: Koncentracije delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ na merilnem mestu MM2 zunanje skladišče (merilnik GRIMM)

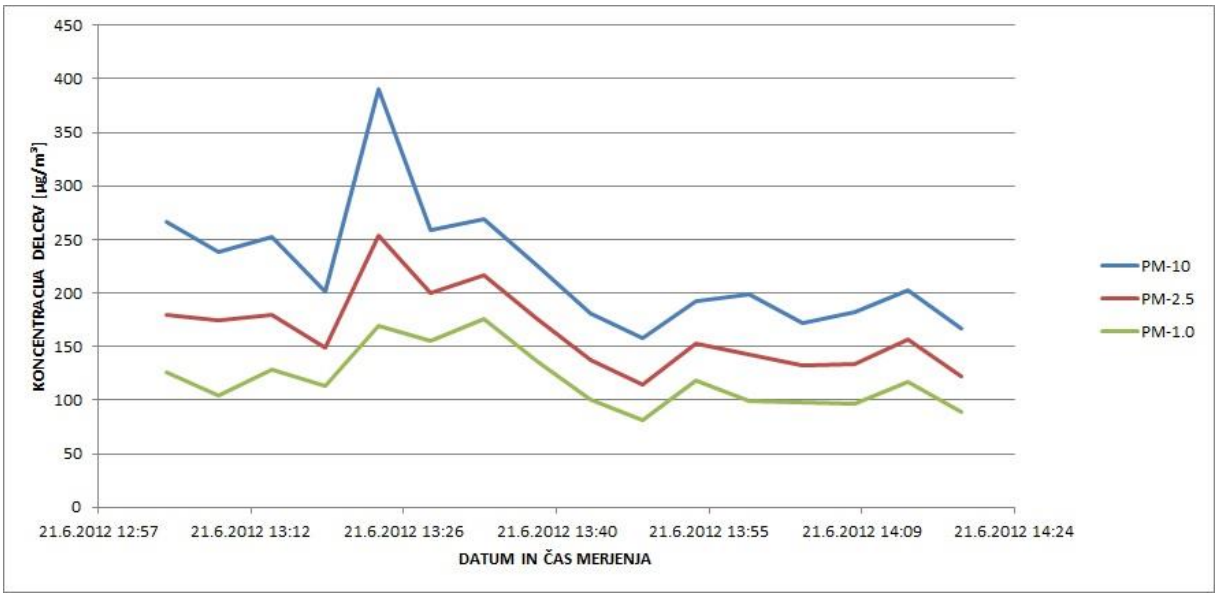
Iz slike 13 je razvidno, da se vrednosti koncentracije delcev spreminjajo glede na zunanje meteorološke razmere in enakomerno glede na celikost delcev. Povišanje koncentracij delcev predstavlja povečanje koncentracij delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$. Povprečna koncentracija delcev PM_{10} je bila 12,39 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 9,06 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 6,51 µg/m^3. Trenutna max. koncentracije delcev PM_{10} je znašala 14,9 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 12,1 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 9,5 µg/m^3.



Slika 14: Koncentracije delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ v brusilnici MM3 (merilnik GRIMM)

Iz slike 14 je razvidno, da se vrednosti koncentracij spreminjajo glede na spreminjajoče proizvodne procese ročnega brušenja odlitkov. Povišanje koncentracij delcev predstavlja predvsem povečanje koncentracij delcev PM_{10}. Povprečna koncentracija delcev PM_{10} je bila

123,44 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 53,79 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 25,52 µg/m^3. Trenutna max. koncentracije delcev PM_{10} je znašala 290,4 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 144,1 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 67,8 µg/m^3.



Slika 15: Koncentracije delcev PM_{10}, $PM_{2,5}$ in $PM_{1,0}$ v jedrarni MM4 (merilnik GRIMM)

Iz slike 15 je razvidno, da da se vrednosti koncentracij spreminjajo glede na spreminjajoče proizvodne procese izdelav jeder. Povišanje koncentracij delcev predstavlja predvsem povečanje koncentracij delcev PM_{10}. Povprečna koncentracija delcev PM_{10} je bila 222,30 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 164,09 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 119,42 µg/m^3. Trenutna max. koncentracije delcev PM_{10} je znašala 390,7 µg/m^3, delcev $PM_{2,5}$ 253,9 µg/m^3 in delcev $PM_{1,0}$ 119,42 µg/m^3.

5.3. Rezultati imisijskih meritev delcev PM_{10} in Ni v delcih PM_{10} v zraku z vzorčevalnikom skladno s standardom SIST EN 12341:2007 v vplivnem območju metalurškega obrata

V obdobju med 3.12.2010 in 3.12.2011 so se izvajale v neposredni bližini lokacije metalurškega obrata meritve koncentracije delcev PM_{10} v zunanjem zraku. Izmerila se je tudi koncentracija Ni v delcih PM_{10}. Meritve so se opravljale v skladu s programom ocenjevanja celotne obremenitve metalurškega obrata in Uredbo o kakovosti zunanjega zraka ter na podlagi standarda Zunanji zrak - Standardna gravimetrijska metoda za določevanje masne koncentracije frakcije lebdečih delcev PM_{10} ali $PM_{2,5}$, SIST EN 12341:2000[7].

V tabelah od 25 do 28 so prikazani rezultati letnih meritve za delce PM_{10} in Ni na merilnem mestu MMI 1.

Tabela 25: Delci PM_{10} v zunanjem zraku

	Vrednotenje na leto		Vrednotenje na dan		Korekcijski faktor	
Postaje	% pod	povprečna vrednost delcev PM_{10} C_p [μg/m^3]	max	>MV	pozimi	poleti
MMI 1	92,6	35,3	142	88 dni	/	/

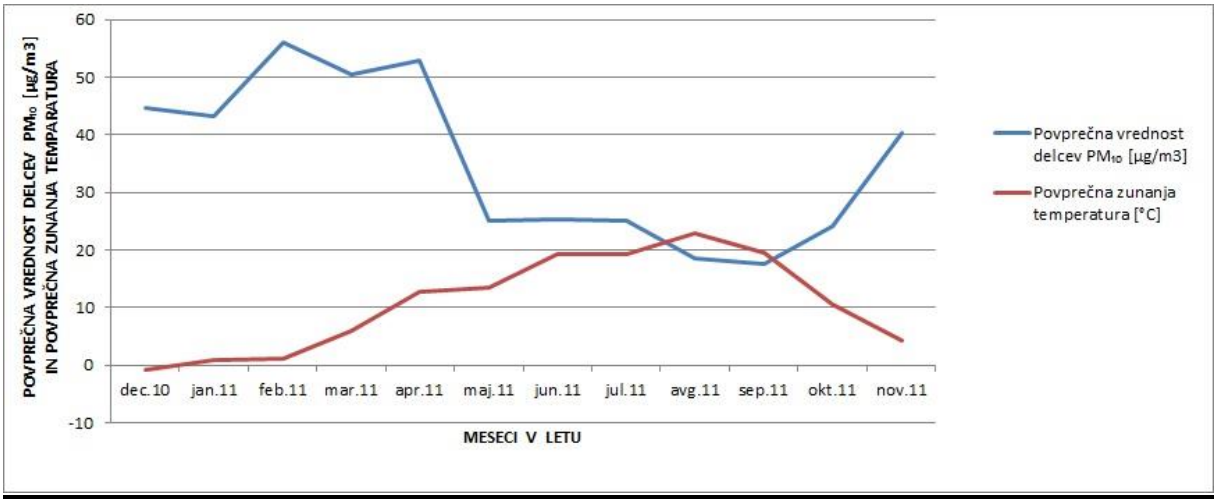
Tabela 26: Težke kovine v delcih PM_{10} v skladu s predpisi o kakovosti zunanjega zraka

Postaja/Kovina	As*	Cd*	Ni (ng/m^3)	Pb*	Hg*
MMI 1	/	/	< 4,08	/	/

* kovine niso bile predmet programa vzorčevanja na MMI 1 glede na rezultate meritev emisij snovi v zrak iz odvodnikov v obravnavanem metalurškem obratu

Tabela 27: Rezultati mesečnih povprečnih vrednosti za delcev PM_{10}

Mesec	Povprečna vrednost delcev PM_{10} [μg/m^3]	Povprečna zunanja temperatura [°C]
December 2010	44,61	-0,80
Januar 2011	43,25	0,81
Februar 2011	56,02	1,04
Marec 2011	50,47	6,00
April 2011	52,95	12,67
Maj 2011	25,03	13,53
Junij 2011	25,29	19,24
Julij 2011	25,01	19,20
Avgust 2011	18,50	22,82
September 2011	17,62	19,56
Oktober 2011	24,05	10,44
November 2011	40,41	4,32
Povprečje	35,27	10,74



Slika 16: Soodvisnost povprečne vrednosti delcev PM_{10} glede na povprečno zunanjo temperaturo v obdobju merjenja

Iz slike 16 je razvidno, da so povečane povprečne vrednosti delcev v času nizkih temperatur in ogrevanja objektov. V poletnem času se koncentracija zniža in predstavlja predvsem obremenitev okolja z viri emisij snovi v zrak industrijskih virov in prometa.

Tabela 28: Rezultati mesečnih koncentracije Ni v ng/m^3 v delcih PM_{10} na merilnem mestu MMI 1

Postaja	Obdobje	Koncentracija Ni (ng/m^3)
MMI1 (v neposredni bližini metalurškega obrata)	3.12.2010 - 6.1.2011	2,54
	7.1.2011 - 4.2.2011	2,92
	5.2.2011 - 4.3.2011	2,93
	5.3.2011 - 31.3.2011	3,00
	1.4.2011 - 29.4.2011	*< 2,86
	30.4.2011 - 11.5.2011	*< 7,53
	27.5.2011 - 9.6.2011	*< 6,34
	10.6.2011 - 30.6.2011	*< 6,36
	1.7.2011 - 31.7.2011	< 5,55
	1.8.2011 - 1.9.2011	4,22
	2.9.2011 - 30.9.2011	*< 2,78
	1.10.2011 - 26.10.2011	3,00
	27.10.2011 - 4.12.2011	3,05
Povprečna letna koncentracija Ni v filtrih		< 4,08

Opomba: * v analizo je bilo dano manjše število filtrov, zato je bila izmerjena vrednost Ni pod analitskim LOQ

Povprečna izmerjena vrednost delcev PM_{10} je bila 35,3 μg/m^3 (razvidno iz tabele 28 in 30), medtem, ko je mejna letna vrednost delcev PM_{10} 40 μg/m^3 (MV). Mejna dnevna vrednost za delce je 50 μg/m^3 in je bila presežena 88 krat (tabela 28) v obravnavanem obdobju. Ciljna vrednost za nikelj v zunanjem zraku znaša 20 ng/m^3 in v obdobju meritev ni bila nikoli presežena. Povprečna vrednost za nikelj je bila manj kot 4,08 ng/m^3.

V letu 2012 so se izvedle še dodatne kratkotrajne meritve koncentracij delcev PM_{10} in Ni z namestitvijo dodatne postaje Tecora Skypost PM/HV za spremljanje koncentracij delcev PM_{10} in Ni v zraku v oddaljenosti 200 m od metalurškega obrata v drugi smeri, kot je bila lokacija v letu 2010. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 29.

Tabela 29: Rezultati meritev MMI 2 v letu 2012

Merilno mesto	PM_{10} (μg/m^3)	Ni v delcih PM_{10} (ng/m^3)
MMI 2 (20.6.2012)	26,95	< 0,046
MMI 2 (21.6.2012)	29,70	< 0,046

Izmerjene vrednosti delcev PM_{10} so bile nižje od mejne letne vrednosti za delce PM_{10}, ki je 40 μg/m^3 (MV). Mejna dnevna vrednost za delce 50 μg/m^3 ni bila presežena. Izmerjene vrednosti za Ni so bile bistveno nižje od ciljnih vrednost za nikelj v zunanjem zraku.

Pridobljeni rezultati imisijskih meritev delcev PM_{10} in Ni predstavljajo koncentracije delcev PM_{10} in Ni v delcih PM_{10} vseh emisijskih virov v območju merilnega mesta. Metalurški obrat predstavlja le en vir razpršenih emisij delcev v zrak, ki vpliva na koncentracije na imisijskem merilnem mestu. Glede na lokacijo območje obrata so v neposredni bližini tudi drugi viri emisije kot npr. železniška proga, cestni promet, drugi industrijski obrati s svojimi viri emisij, kurišča poslovnih in stanovanjskih objektov itd..

6. MODELIRANJE EMISIJ PRAŠNIH DELCEV V ZRAK

6.1. Vrednotenje razpršene in ubežne emisije prahu enega vira z reverzno disperznim modeliranjem skladno s standardom SIST EN 15445:2008

Standard SIST EN 15445:2008[8] določa kvantitativno metodo z reverzno disperznim modeliranjem za ovrednotenje deleža nezajetih emisij iz industrijskih naprav. Disperzno modeliranje izvajamo z uporabo programskega orodja AUSTAL View[20]. AUSTAL View je uporabniško prijazen vmesnik za izračun disperzij v zraku po German Federal Environment Agency modelu – AUSTAL 2000. Jedro AUSTAL View je Lagrange-ov model disperzije delcev z upoštevanjem topografije in vetrovnega polja. Program omogoča tridimenzionalni prikaz, izvoz v Google Earth in različne grafične zapise ter podpira samodejen dostop do baze topografskih podatkov in podatkov o tipu površja. Disperzijske modele izračunane s programskim paketom AUSTAL View priznava tudi Agencija Republike Slovenije za okolje v postopkih pridobivanja okoljevarstvenih dovoljenj IED zavezancev in priprave poročil o dodatni obremenitvi zunanjega zraka na vplivnem območju metalurškega obrata.

Standard določuje minimalno število merilnih postaj glede na število virov emisij delcev iz obravnavanega obrata, razdaljo od vira emisij do merilne postaje, ki mora biti med 50 do 300m ter ustrezen izbor lokacij merilnih postaj glede na smer vetra[8]. Hkrati z meritvami imisije delcev v zraku je potrebno izvajati meritve meteoroloških parametrov v območju obravnavanega vira.

V skladu s točko 8.1. standarda SIST EN 15445:2008[8] je potrebno pri izračunu upoštevati tudi vpliv prahu iz ozadja (t.i. prah iz drugih virov, ki ga ne obravnavamo). Prispevek prahu iz ozadja ocenjujemo glede na koncentracije prahu na dveh merilnikih na različnih lokacijah. V kolikor je koncentracija prahu povečana na obeh merilnikih lahko ocenimo, da so izmerjene koncentracije delcev v visoki korelaciji in je korelacijski faktor R_c=1. Nasprotno v primeru, da je koncentracija delcev povzročena z emisijo delcev obravnavanega industrijskega vira, je korelacija med koncentracijama prašnih delcev dveh merilnikov nizka. Izmerjene vrednosti koncentracij na merilnem mestu na posamezni lokaciji vključujejo prispevek delcev iz različnih virov, kot jih prikazuje enačba[8]: $c = \alpha_1 e_1 + \alpha_2 e_2 + \alpha_3 e_3 + ...$

Potrebna sta dva koraka za določitev emisijskega pretoka delcev:

- določi se disperzijski faktor α za vsak izvor delcev za vsako merilno lokacijo in izračuna korelacijski koeficient R_c in
- izračuna emisijski pretok.

Disperzijski faktor (α) izračunamo za vsako posamezno merilno mesto (MMI) z disperzijskim modelom na osnovi privzetega emisijskega pretoka 1 g/h z uporabo eksperimentalnih podatkov (lokacija in geometrija dimenzije vira, njegova višina, lokacija in višina merilnika) ter urne meteorološke podatke v obdobju meritev. Disperzijski faktor se izračuna po naslednji enačbi[8]:

$$c_i = \alpha_i \cdot q_{mi} + c_o$$

kjer so:

c_i ..... koncentracija delcev na merilnem mestu i [μg/m^3]

c_0..... koncentracija delcev iz ozadja [μg/m^3]

α_i.....disperzijski faktor

q_{mi} ....masni pretok izračunan z metodo linearne regresije [g/s]

Privzeti masni pretok znaša 1 g/s in privzete koncentracije delcev iz ozadja so 0 μg/m^3, zato so koncentracije, ki jih izračunamo z disperzijskim modelom enake disperzijskemu faktorju. Disperzijski faktor različnih virov mora biti neodvisen in viri so med seboj neodvisni, kadar je njihov korelacijski koeficient $R_\alpha < 0,5$. Kadar je korelacijski koeficient $R_\alpha > 0,5$ lahko vire združimo v en vir ali pa enega od dveh virov zanemarimo. Po združitvi se disperzijski faktor izračuna za skupino novega združenega vira za vsako merilno mesto[8].

6.2. Rezultati modeliranja emisij delcev PM_{10} in Ni na vplivnem območju metalurškega obrata v obdobju 3.12.2010 in 3.12.2011 z uporabo disperzijskega modeliranja s programskim orodjem AUSTAL View

Programsko orodje AUSTAL View omogoča, ob poznavanju emisij snovi v zrak posameznega vira, meteoroloških podatkov, ortofoto posnetka lokacije obrata in širšega območja, modeliranje disperzije emisij snovi v zrak obravnavanega vira v okolje. Z

modeliranjem lahko povzročitev obremenitve okolja z emisijami v zrak (IED naprava) preveri svoje vplive na okolje, zato je potrebno za uporabo modela nedvoumno poznati celokupne emisije vira (iz odvodnikov in razpršene emisije) ali uporabiti metodo vrednotenja razpršenih emisij z reverzno disperznim modeliranjem, saj v nasportnem primeru prikaz koncentracij snovi z modelom ne odraža dejanske obremenitve povzročene s strani obravnavanega obrata.

6.2.1. Vhodni podatki za modeliranje

Ključni vidik modeliranja so uporabljeni vhodni podatki za modeliranje. Pri modeliranju se je uporabil program AUSTAL View TG 6.0.0 (AUSTAL 2000)[20] z medprocesorjem meteorologije TALdia in emisije AUSTAL2000, izdelovalca Lakes Environmental (Janicke Consulting). Programsko orodje je odobrila German Federal Environmental Agency (UBA, UFOPLAN project 200 43 256), upoštevajoč TA Luft (Technical Instruction on Air Quality Control). Tip uporabljenega modela v programu je Lagrang-ov model.

Vhodni podatki za izračun vetrovnega polja:

- lastnosti procesorja: izračun 3-dimenzionalnega vetrovnega in turbulentnega polja na podlagi časovnih vetrovnih podatkov, topografiji in ovir.
- število upoštevanih merilnih mest: 1
- upoštevano obdobje meritev: 3.12.2010 – 3.12.2011
- vir meteoroloških podatkov: lastna meteorološka postaja
- frekvenca izračunanih polj vetra (za vsako uro posebej, izbrane tipične situacije, metoda izbire situacij, njihovo število): vsako uro v obdobju od 3.12.2010 do 3.12.2011

Nastavitve načina izračuna koncentracij:

- obdobje izračuna: 3.12.2010 – 3.12.2011
- izračun na podlagi urnih koncentracij (da/ne): da
- izračun na podlagi pogostosti situacij glede na stabilnost, smer in hitrost vetra (da/ne): da
- dimenzije območja izračuna v metrih: večja mreža 1664 × 1664, manjša mreža 416 × 416
- Koordinate levega spodnjega kota območja izračuna (GK ali geografske): večja mreža (X, Y), manjša mreža (X, Y)
- število točk v smeri x: večja mreža 52, manjša mreža 26
- število točk v smeri y: večja mreža 52, manjša mreža 26

• razdalja med točkami v horizontalni smeri: večja mreža 32, manjša mreža 16
• število točk v vertikalni smeri: 22
• višine računskih ploskev: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 25, 40, 65, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1500
• sledenje ploskev reliefu: da
• raba tal: ceste in železnice, zelena urbana območja, vinogradi, kompleksna kultivirana območja, agrokulturno območje z značilno naravno vegetacijo, gola skala
• hrapavost tal (z0): 0,2

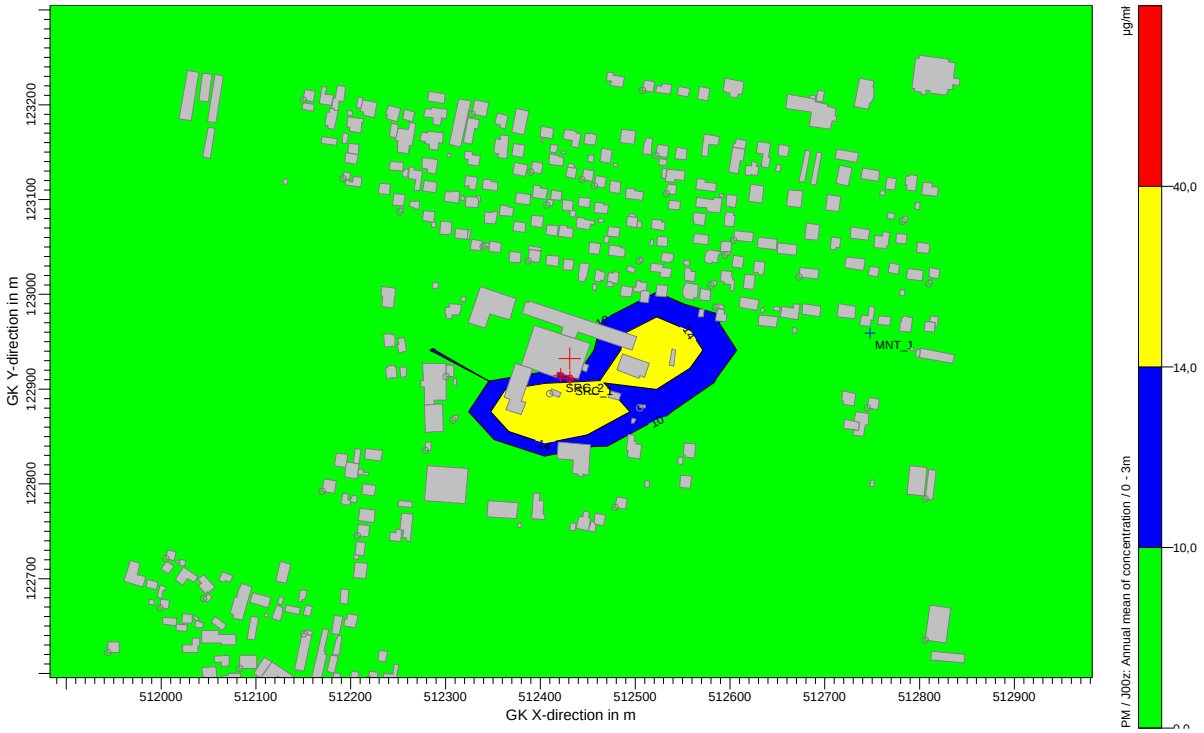
6.2.2. Rezultati modeliranja za delce PM_{10} in Ni v zunanjem zraku

Rezultati modeliranja koncentracij razpršenih emisij delcev PM_{10} in Ni v zunanjem zraku so prikazani v tabeli 30 in 31.

Iz rezultatov modeliranja širjenja emisij snovi iz obravnavanega metalurškega obrata je razvidno, da je povprečna letna koncentracija delcev PM_{10}, ki jo povzroča obravnavan obrat, znašala 3,35 μg/m^3 in ni presegala mejne vrednosti za zunanji zrak. Najvišja dnevna koncentracija delcev PM_{10} pa je znašala 18,8 μg/m^3 in tudi ni presega mejne vrednosti.

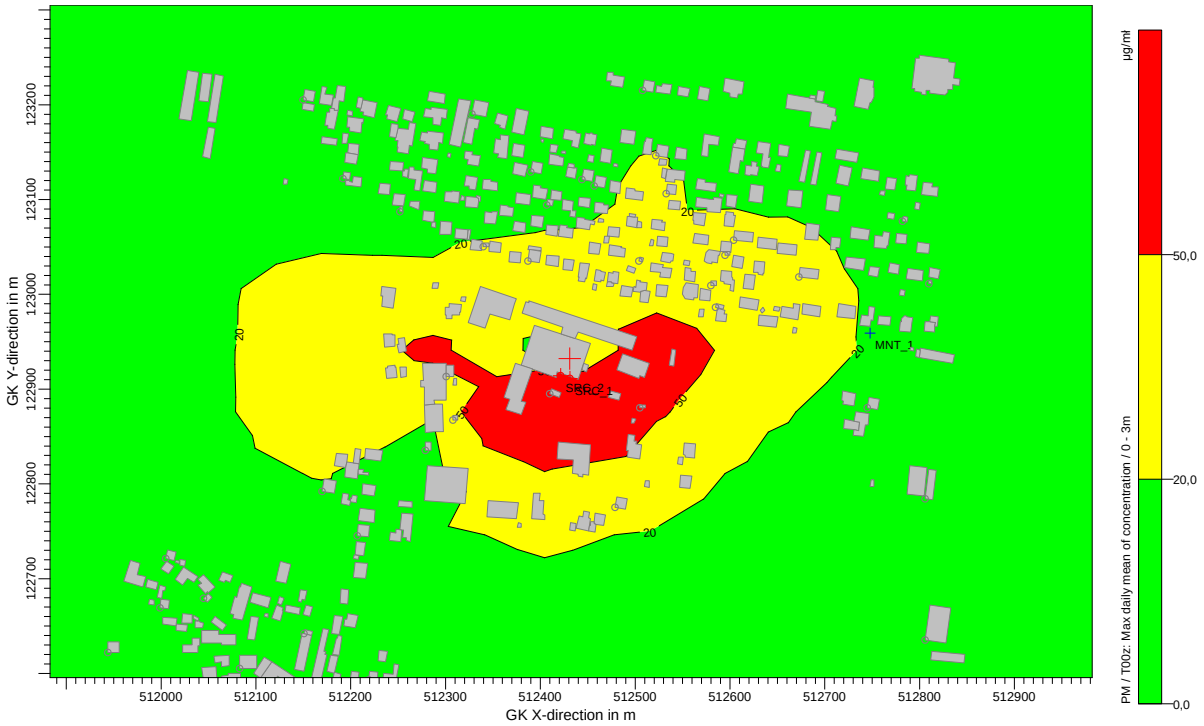
Tabela 30: Delci PM_{10} v zunanjem zraku pridobljeni z modeliranjem

	Vrednosti		
	Merilno mesto 1 Oznaka: MMI 1	Točka z največjo vrednostjo v območju obrata	Mejna vrednost za zunanji zrak
Povprečna letna koncentracija	3,35 μg/m^3	(X, Y), 89 μg/m^3	40 μg/m^3
Najvišja dnevna koncentracija	18,8 μg/m^3	(X, Y), 396,5 μg/m^3	50 μg/m^3



Slika 17: Povprečna letna koncentracija delcev PM_{10}

Slika 17 prikazuje karto povprečnih letnih koncentracij delcev PM_{10} obravnavanega metalurškega obrata. Iz slike je razvidno, da je širjenje delcev PM_{10} predvsem v smeri J in JV od lokacije obrata. Območje koncetracij delcev PM_{10} med 14-40 µg/m^3 pokriva funkcionalno območje obrata, na J delu sega do sosednjih zemljišč z industrijsko dejavnostjo, na S delu do železniške proge. Območje koncentracij delcev PM_{10} med 10-14 µg/m^3 sega do prvih hiš stanovanjskega naselja na S strani lokacij obrata ter na J in JV strani do sosednjih zemljišč z industrijsko dejavnostjo.

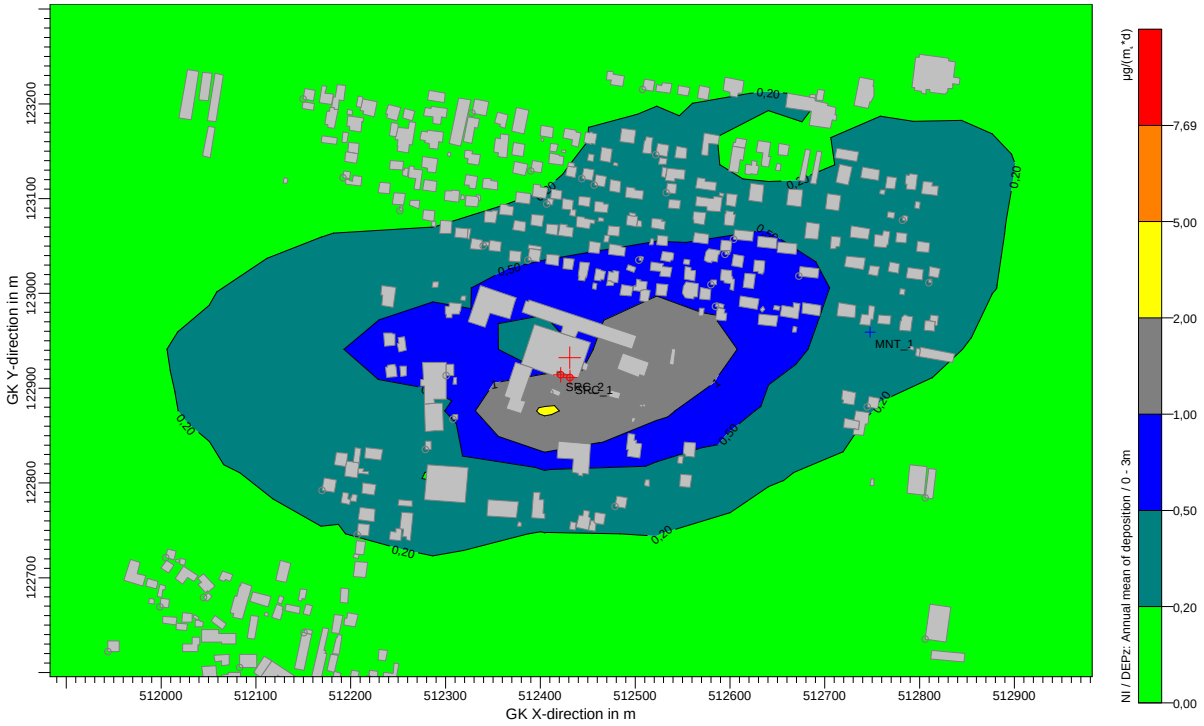


Slika 18: Najvišja dnevna koncentracija delcev PM_{10}

Slika 18 prikazuje karto najvišje dnevne koncentracije delcev PM_{10} obravnavanega metalurškega obrata. Iz slike je razvidno je območje koncentracij delcev PM_{10} nad 50 µg/m^3 na J, JV in JZ strani lokacije obravnavanega objekta, predvsem na območju industrijskega obrata. Delno posega na sosednje zemljišče na J in JZ strani, kjer se izvajajo industrijske dejavnosti. Na območju stanovanjskega naselja na S strani in individualnih stanovanjskih hiš na J strani od obrata je dosežena najvišja koncentracija delcev PM_{10} med 20 do 50 µg/m^3.

Tabela 31: Nikelj

	Vrednosti	
	Merilno mesto 1 Oznaka:	Točka z največjo vrednostjo
Povprečna letna depozicija	0,33 µg/m^3	(X, Y), 7,8 µg/m^3



Slika 19: Povprečna letna depozicija Ni

Slika 19 prikazuje povprečno letno depozijo Ni. Iz slike je razvidno območje koncetracij Ni od 0,20 do 0,50 µg/m^3 v zunanjem zraku obsega širšo območje okrog lokacije obrata, zajema stanovanjsko naselje na S strani v oddaljenosti več kot 250 m in na JZ strani obsega individualne stanovanjske hiše v oddaljenosti 150 m od obrata. Območje koncentracij med 0,50 do 1,0 µg/m^3 zajema del stanovanjskega naselja na S strani do razdalje 150 m od obrata ter večji del industrijske cone. Povprečna lestna koncentracije Ni v zunanjem zraku med 1,0 do 5,00 µg/m^3 je znotraj območja obrata.

6.2.3. Analiza obremenitve na območju vrednotenja vplivnega območja metalurškega obrata glede na meritve imisije delcev v zraku in rezultate modeliranja emisij obravnavanega vira

Meritve delcev PM_{10} so se izvajale v skladu s potrjenim Predlogom programa ocenjevanje celotne obremenitve in standardom SIST EN 12341:2000[7]. Oznaka merilne postaja je MMI 1. Merilnik delcev PM_{10} je bil postavljen na predpisan način in na potrjeni lokaciji.

V skladu s tabelo 3, priloge 2 Uredbe o kakovosti zunanjega zraka (Ur.l.RS 9/11)[15] je dnevna mejna vrednost koncentracije delcev PM_{10} 50 µg/m^3 in ne sme biti presežena več kot 35-krat

v koledarskem letu medtem, ko je predpisana povprečna letna mejna vrednost 40 μg/m^3. Dnevna mejna vrednost 50 μg/m^3 je bila v obdobju med decembrom 2010 in novembrom 2011 presežena 88 krat, kar presega dovoljenih 35 preseganj. Medtem, ko je bila povprečna vrednost izmerjene koncentracije delcev na merilnem mestu MMI 1 v obdobju med decembrom 2010 in novembrom 2011 35,3 μg/m^3 in ni presegala predpisane letne mejne vrednost (40 μg/m^3) koncentracije delcev PM_{10}.

Pri podrobnem pregledu rezultatov meritev se je ugotovilo, da sta koncentracija delcev PM_{10} in temperatura zunanjega zraka v obratnem sorazmerju (slika 16). Nižja kot je temperatura zunanjega zraka višja je koncentracija delcev PM_{10}. Domneva se, da so razlog za povišano koncentracijo delcev PM_{10} ob nizkih temperaturah individualna kurišča v stanovanjskem naselju, ki meji na lokacijo merilne postaje. To domnevo potrjuje tudi temna barva filtrov kot tudi njihov vonj po sajah v tem obdobju. V spomladanskih mesecih je za povišano koncentracijo delcev PM_{10} poleg individualnih kurišč lahko krivo tudi suho obdobje in s tem posledično povečano prašenje s cest, ki so polne peska in soli od zimskega posipanja.

Poleg meritev delcev PM_{10} [μg/m^3] so se v skladu s programom ocenjevanja celotne obremenitve na tej lokaciji izvajale tudi meritve koncentracije elementa niklja (Ni) v delcih PM_{10}. Mejna koncentracija Ni v delcih PM_{10} ni bila nikoli prekoračena.

Izračunane koncentracije PM_{10} in niklja, z uporabo programskega orodja AUSTAL View, ne prekoračujejo dovoljenih vrednosti, ki so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka (Ur.l.RS št. 9/11)[15]. Izmerjena povprečna vrednost koncentracije delcev PM_{10} 35,3 μg/m^3, izračunava pa 3,35 μg/m^3, tako so izračunane koncentracije PM_{10} v povprečju za 10 krat nižje od izmerjenih koncentracij PM_{10}. Izračunane maksimalne vrednosti koncentracij ne sovpadajo z maksimalnimi izmerjenimi vrednostmi, kar kaže na to, da lahko razlike med izračunanimi in izmerjenimi koncentracijami PM_{10} pripišemo neposredni bližini železniške proge, ceste in individualnih kurišč.

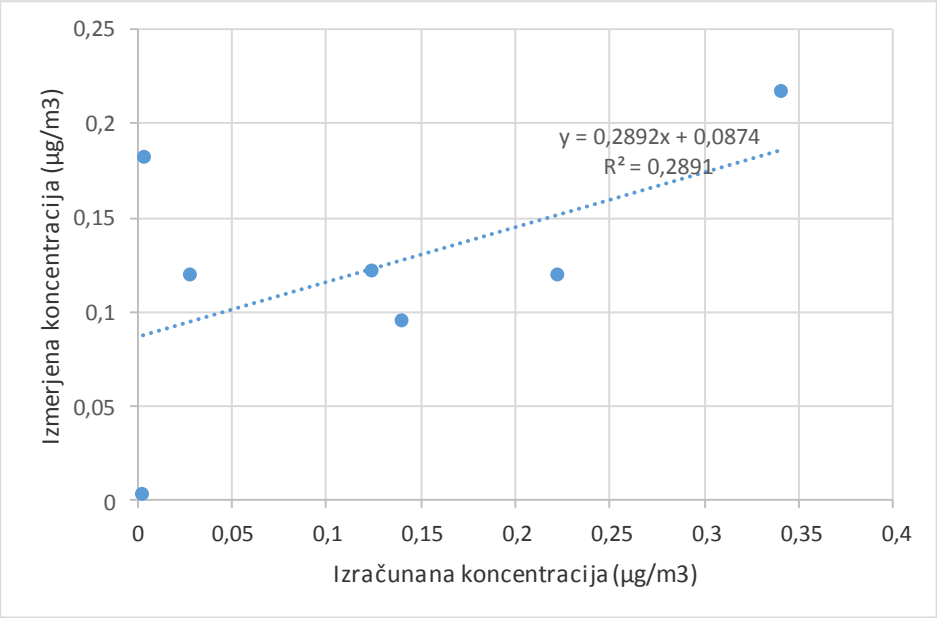
Glede na pridobljene rezultate modeliranja je tako ocenjen delež delcev PM_{10}, ki ga prispeva obravnavan metaluški obrat k celotni obremenitvi na območju vrednotenja manj kot 10 %.

6.3. Rezultati modeliranja emisij delcev PM_{10} v letu 2012 z reverzno disperznim modeliranjem po standardu SIST EN 15445:2008

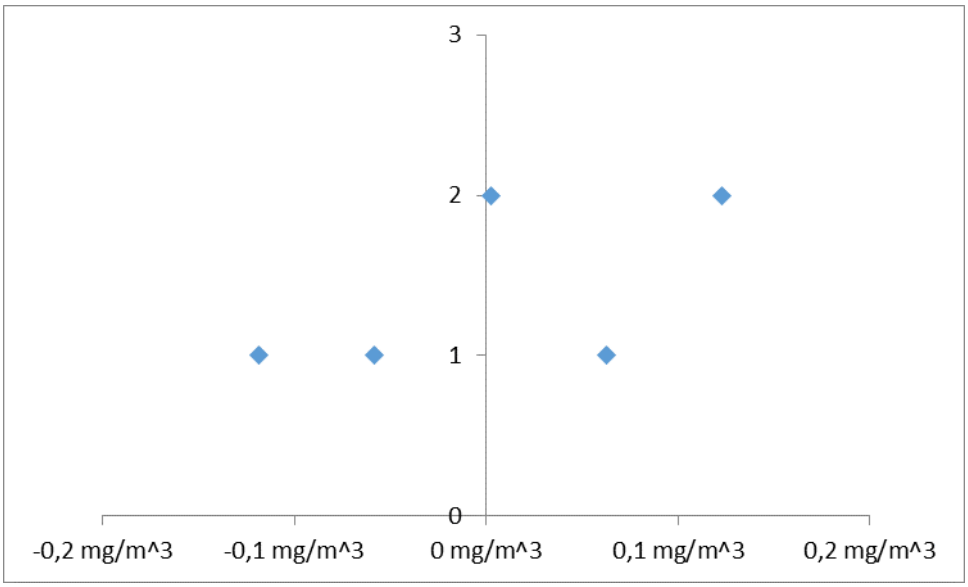
Na podlagi akreditiranih meritev zajetih emisij v zrak iz odvodnikov in mreže sedmih imisijskih mest z izvedbo meritev delcev PM_{10} na mestih v neposredni bližini IED naprave za krajše obdobje se je izvedlo modeliranje emisije s programskim orodjem AUSTAL View in z reverznim disperznim modeliranjem skladno s standardom SIST EN 15445:2008[8]. Praktični primer podaja obsežnost metode za določevanje razpršenih in ubežnih emisij ter ključne vidike problematike pri zagotavljanju verodostojnih vhodnih podatkov in pridobljenih rezultatov glede na veliko število parametrov, ki bistveno vplivajo na samo modeliranje in rezultate.

Skupni masni pretok zajetih emisij iz odvodnikov znaša 113,7 g/h glede na izmerjene meritve v letu 2012. Zaradi izostanka meritev delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v odvodnikih na odvodniku imamo masni pretok samo celokupnega prahu, za katere so predpisane dopustne vrednosti emisije celotnega prahu v zrak. V večini primerov iz prakse se je tako privzema delež (npr. 50 %) kot delež delcev PM_{10} v celokupnem prahu iz odvodnikov. Trenutno v RS meritve delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ lahko izvaja le en preskusni laboratorij v skladu s standardom ISO 23210:2009[36]. S privzetim deležem izračunan masni pretok delcev PM_{10} iz zajetih emisij znaša 56,85 g/h. Rezultati meritev za emisije delcev PM_{10} na odvodnikih Z1 in Z2 kažejo, da je skupni masni pretok za delce PM_{10} 13,5 g/h (Z1 in Z2), če pogledamo še vir Z4, kjer je masni pretok skupnega prahu znašal 7,7 g/h ugotovimo, da so vrednosti skupnih masnih pretokov za delce PM_{10} na podlagi meritev bistveno nižje od predpostavljenih v modelnih izračunih. Z metodo linearne regresije se nato izračuna masni pretok prašnih delcev iz industrijskega vira (livarne). Iz enačbe linearne regresije na sliki 20 lahko razberemo skupni masni pretok prašnih delcev in koncentracijo, ki jo povzročajo viri iz ozadja. Regresijski faktor, ki kaže odvisnost med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi koncentracij mora biti dovolj visok in sicer $R^2 > 0,5$, kar v našem primeru zaradi premajhnega števila meritev ni dosežen, saj znaša 0,29. Na podlagi pridobljene premice lahko določimo skupni masni pretok, ki v našem primeru znaša 0,2892 g/s oz. 1041,12 g/h ali 1,041 kg/h. Slika 21 prikazuje porazdelitev ostankov, katerih koncentracija delcev PM_{10} iz ozadja znaša 0,084 $\mu g/m^3$. Na podlagi enostavnega izračuna $q_{m,razp.} = q_{m,skup} - q_{m,zaj.} =$ 1041,12 - 17,35 = 1023,77 g/h ugotovimo, da metalurški obrat vsako uro izpušča 1,02 kg prašnih delcev PM_{10} v zrak kot prispevek razpršenih in ubežnih emisij metalurškega obrata. Iz ocene letnih emisij v zrak za

leto 2012 je razvidno v točki 5, da je bila prijavljena koncentracija razpršenih emisij 4 g/h, glede na število obratovalnih ur v letu 6.416 ur to pomeni, da bi naj obrat izpustil 25,6 kg razpršenih emisij v zrak letno. Zaradi premajhnega števila merilnih mest v okolici lokacije obrata in merilnih rezultatov je bilo pričakovano (kar je razvidno iz slike 21), da izračunani ostanki, zaradi premajhega števila obravnavanih meritev, niso ustrezno linijsko porazdeljeni.



Slika 20: Primerjava izmerjenih in izračunanih koncentracij delcev PM_{10} s programskim orodjem Austal View



Slika 21: Porazdelitev ostankov

Pri izvajanju modeliranja emisij v zrak s programskim orodjem Austal View in ob uporabi ovrednotenja ubežnih emisij prahu z reverzno disperznim modeliranjem nastaja se uporablja veliko parametrov, ki lahko bistveno vplivajo na sam pridobljen rezultat koncentracij in masnih pretokov prašnih delcev ter pridobljenih prispevkov razpršenih in ubežnih emisij. Ključne pomanjkljivosti so lahko pri vhodnih podatkih meteoroloških podatki o geometriji, površinska hrapavost, meritve emisij (popis virov, režim obratovanja, čas), meritve imisij, pri modeliranju z linearno regresijo (če so odzivi proporcionalni), meritve ozadja in vplivi ostalih virov onesnaževanja na obravnavanem območju industrijskega vira.
Avtorji primerljivih študij[34], ki so bile opravljene z identičnim pristopom prav tako ugotavljajo, da je za kompleksen industrijski razpršeni vir potrebno zagotavljati izvajanje meritev z večjim številom merilnikov in daljšim obdobjem merjenja ter znanih pogojih vetra, da se zagotovi pokritost posameznih obratov in pridobi natančnejšo sliko, kako se širijo emisije prašnih delcev iz razpršenega vira in tudi natančneje določijo masni pretoki.

Pogoji, da se lahko ustrezno ovrednotijo razpršene in ubežne emisije v zrak so tako pri zavezancu naslednje:

- meritve emisije snovi v zrak iz odvodnika morajo vključevati ne samo celokupni prah temveč tudi meritve delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ skladno s standardom ISO 23210:2009[36] z namenom, da se pridobijo ustrezni podatki o masnem pretoku zajetih emisij v zrak delcev PM_{10} in $PM_{2,5,}$ pogostost meritev v obdobju merjenja delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v zraku na mestu imisije bistveno povečati tako, da je število meritev čim večje,
- izvajajo meritve meteoroloških parametrov neposredno ob obravnavanem industrijskem viru z namenom pridobitve rože vetrov,
- zagotovi ustrezna mreža merilnikov za merjenje masne koncentracije delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ skladno s standardom SIST EN 12341:2014[7],
- ovrednoti ubežne emisije prahu z rezerzno disperznim modeliranje skladno s standardom SIST EN 15445:2008[8].

V praksi to pomeni, da bi vsa industrija, ki povzroča emisije v zrak skozi odvodnike in opravlja dejavnosti na območju obrata, ki povzročajo razpršene in ubežne emisije v zrak, morala izpolniti zgodnje zahteve povečanja okoljskega monitoringa, kar pa pomeni hkrati bistveno povečanje stroškov glede na obstoječi okoljski monitoring meritev paarmetrov emisije iz odvodnikov, ki predpisuje meritve en krat na tri ali pet let. Hkrati se glede na dileme o ustreznosti zagotavljanja vseh vhodnih podatkov v modeliranju (npr. že sama roža

vetrov, ki jo nimajo na lokaciji obrata zavezanci na razpolago, merilne postaje pa niso postavljene s tako pogosto mrežo npr. v industrijskih območjih) se postavlja vprašanje ali je pristop ovrednotenju razpršenih in ubežnih emisij z modeliranjem sploh metoda, ki jo glede na stroške za realizacijo le-te in verodostojnost rezultatov in njihov namen zavezanci sploh potrebujejo ali pa se strategija države spremljanja emisij v zrak lahko bolj usmeri na večjo pogostost in povečan obseg merjenih parametrov na samih odvodnikih. Vsekakor bi ta stategija bila primerna za industrijske obrate, kjer se razpršene emisije nahajajo večinoma v samim proizvodnih obratih ter se preko sistema prisilnega prezračevanja in njihovega spremljanja v zrak primerno ovrednotijo. Nikakor ne moremo v takšen pristop vključiti dejavnosti, ki se opravljajo na prostem (npr. površinski kopi, predelovalnice gradbenih odpadkov, gradbišča, odlagališča itd.), pri katerih je delež razpršenih emisij bistven in so tudi v širši strokovni javnosti uporabe opisanih tovrstnih pristopov že uveljavljene. Trenutno v RS ni ločenih pristopov v zakonodajnem delu glede različnih dejavnosti pri oceni celokupnih emisij v zrak, kot tudi načinu ovrednotenja deleža razpršenih in ubežnih emisij.

7. ZAKLJUČKI

Pomemben rezultat doktorske disertacije je prikaz izvedenih meritev emisij delcev PM_{10} značilnega proizvodnega obrata metalurške dejavnosti (livarne) s pridobljenim IED okoljevarstvenim dovoljenjem, z namenom vrednotenja celokupnih emisij delcev v zrak in vrednotenjem deleža razpršenih in ubežnih emisij industrijskega obrata v bivalnem okolju.

Pri vrednotenju emisij prašnih delcev v livarni je izvedena raziskava pokazala pomanjkljivosti med zakonodajnimi zahtevami pri izvajanju občasnega monitoringa emisij v ozračje v Republiki Sloveniji in pravilnim vrednotenjem emisij v zrak, ki zagotavlja obravnavo vseh virov emisije prašnih delcev, ki jih industrijski obrat izpušča v zrak. Raziskava je pokazala pomanjkljivosti med zakonsko predpisanim obsegom občasnega monitoringa emisij v ozračje, ki na mestih odvodnikov ne spremlja koncentracije in ne masnih pretokov delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, temveč le celokupni prah in vrednotenjem dodatne obremenitve, ki ga povzroča vir na okolje. V okviru ocenjevanja dodatne obremenitve na območju vrednotenja vplivnega območja industrijskega obrata se spremlja kakovost zunanjega zraka s koncentracijo delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ bi se moralo uporabiti reverzno disperzno modeliranje za določitev skupnih masnih pretokov razpršene emisije obravnavanega vira ob upoštevanju regresijskega faktorja $R_c > 0,5$, posledično se lahko izračuna delež razpršene in ubežne emisije kot razlike med skupnim masnim pretokom vseh emisij in masnim pretokom zajetih emisij iz industrijskega vira skladno s standardom SIST EN 15445:2008. Trenutno v Republiki Sloveniji izvedena vrednotenja dodatne obremenitve glede na bistvene razlike med vhodnimi podatki za modeliranje v celoti ne prikazujejo ustreznih vrednotenj celokupnih emisij prašnih delcev iz industrijskega obrata, saj se delež razpršenih emisij ne vrednoti z reverznim disperzivnim modeliranjem. Glede na velik problem industrijskih con, kjer imamo večje število različnih onesnaževalcev je potrebno za ustrezno izvedbo meritev izvesti meritve z večjim številom merilnikov na najbolj izpostavljenem mestu vplivnega območja industrijskega vira glede na meteorološke podatke smeri in hitrosti vetra. Obdobje meritev mora biti izvedeno v daljšem časovnem obdobju s pogojem pogostejših meritev emisij v zrak iz odvodnikov, kot je to določeno s periodiko v OVD. Prav tako bi morale biti meritve v odvodnikih izvedene z merjenjem koncentracij in masnega pretoka delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, kar se danes glede na obvezno uporabljene standarde za merjenje emisij v zrak ne zahteva.

Z samo oceno deleža delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v celokupnem prahu v odvodnikih se ne zagotavlja ustreznih vhodnih podatkov za modeliranje dejanskih emisij v zrak, prav tako že sama metoda reverznega disperznega modeliranja zaradi različnih vplivov drugih onesnaževalcev in onesnaževal ne omogoča popolne verodostojnosti izračunanega prispevka razpršenih in ubežnih emisij industrijskega vira temveč podaja le oceno.

Novejši pristopi v EU na področju standardov za vzorčevanje delcev v odvodnikih v Evropski uniji že vključujejo meritve koncentracij delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v odvodnikih, kot le te določa v primeru koncentracij < 50 mg/m^3 standard ISO 23210:2009 in v primeru koncentracij > 50 mg/m^3 standarda ISO 25597:2013 in ISO 13271:2012.

Zavezanci in to niso le IED naprave temveč vsi industrijski obrati, ki povzročajo emisije v zrak morajo do 31.3. posredovati oceno letnih emisij v zrak za preteklo koledarsko leto na ARSO. V točki 5 obrazca »Ocena letnih emisij v zrak« se morajo prikazati masni pretoki razpršenih in ubežnih emisij v g/h ter glede na obratovalne ure posameznih delov naprav izračunati količine razpršenih in ubežnih emisij v kg/leto. Letno oceno o emisijah snovi v zrak izdelujejo pooblaščene organizacije z dovoljenjem Ministrstva za okolje in prostor, ki izvajajo meritve emisij v zrak v Republiki Sloveniji, na podlagi poročil o izvedenih občasnih meritvah in podatkov o obratovanju naprave predloženih s strani obrata.

Večina zavezancev danes ne izvaja meritev razpršenih emisij v zrak niti nima izračunanih prispevkov le-teh tako, da v večini primerov ocene deleža razpršenih in ubežnih emisij ni možno podati, kar pa ne predstavlja obratovanje naprave v skladu z izdanim okoljevarstvenim dovoljenjem, ki zavezancu predpisuje, da je k oceni letnih emisij snovi v zrak potrebno prišteti tudi razpršene in ubežne emisije. Problem nastane predvsem zato, ker zakonodaja ni obvezala zavezance k izvedbi meritev imisij delcev PM_{10} ali $PM_{2,5}$ ter vrednotenje razpršenih in ubežnih emisij prahu z reverzno disperzivnim modeliranjem, kar bi pomenilo, da bi s tem zavezancem določila zelo velik obseg skoraj trajnih meritev imisije delcev v neposredni bližini industrijskega razpršenega vira.

Zaradi izostanka natančnejših izvršnih predpisov na področju merjenja in ovrednotenja deleža razpršenih in ubežnih emisij iz industrijskih naprav in hkrati zakonodajnih določb o vključitvi deleža razpršenih in ubežnih emisij v oceni letnih emisij snovi v zrak ter v postopkih ocenjevanja na območju vrednotenja vplivnega območja industrijskega vira, je zakonodaja

varstva okolja glede emisij v zrak na tem področju nasprotujoča, pomanjkljiva in ne omogoča zavezancem izpolnitev svojih obveznosti.

Problem spremljanja razpršenih in ubežnih emisij je vsekakor širši, kar je možno razbrati tudi iz dokumentov BREF pri podajanju najboljših razpoložljivih tehnologij, kjer prav tako niso predstavljeni deleži prispevkov razpršenih in ubežnih emisij posameznih tehnologij temveč pričakovane skupne emisije snovi v zrak, ki se potem lahko bistveno razlikujejo od obrata do obrata, saj so prav ukrepi za zmanjšanje izpustov razpršenih in ubežnih emisij tisti, ki lahko bistveno vplivajo na dejanski njihov delež v zraku.

V doktorski disertaciji so predstavljene vse potrebne meritve, vključno z razvojem metod, za ustrezno vrednotenje emisij delcev v zrak in način pridobitve dejanskih kvantitativnih vrednosti masnih pretokov razpršenih in ubežnih emisij v metalurških tehnologiji v Republiki Sloveniji za primerno poročanje ARSO o celokupnih emisijah delcev v zrak. Iz rezultatov dobljenih v obravnavanem metalurškem obratu je razvidno, da je bila izmerjena koncentracija delcev PM_{10} iz odvodnika Z1 0,034 mg/Nm^3 pri masnem pretoku 0,51 g/h (izmerjena koncentracija celokupnega prahu 0,44 mg/Nm^3 pri masnem pretoku 7,5 g/h), iz odvodnika Z2 je bila izmerjena koncentracija delcev PM_{10} 0,3407 mg/Nm^3 pri masnem pretoku 13,0 g/h (izmerjena koncentracija celokupnega prahu 01,8854 mg/Nm^3 pri masnem pretoku 89,9 g/h). Pri vrednotenju emisij delcev v zrak iz odvodnikov nastane bistvena razlika med meritvami celokupnega prahu in delcev PM_{10}, ki se uporabijo v vhodnih podatkih za modeliranje razpršenih in ubežnih emisij delcev PM_{10} na imisijskem merilnem mestu za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. Podatki izmerjenih koncentracij delcev PM_{10} prikazujejo izmerjene koncentracije delcev PM_{10} vseh virov onesnaževanja v neposredni bližini merilnega mesta in so znašali za delce PM_{10} v povprečju 35,27 µg/m^3. Izračunana kocentracija delcev PM_{10}, z uporabo programskega orodja AUSTAL View, je znašala 3,35 µg/m^3 tako, da so bile izračunane vrednosti za 10 krat nižje od izmerjenih vrednosti. Glede na pridobljene rezultate iz meritev in modeliranjem sledi, da je ocenjeni delež delcev PM_{10}, ki ga je prispeval obravnavan metalurški obrat na območju vrednotenja manj kot 10 % od izmerjenih koncentracij PM_{10} delcev na imisijskem merilnem mestu. Z uporabo reverzno disperznega modeliranja se izračuna delež prispevka razpršenih in ubežnih emisij industrijskega obrata, vendar mora zavezanec zagotoviti večje število merilnih mest v neposredni bližini obrata. Iz izračuna na podlagi opravljenih meritev, ki zaradi premajhnega števila meritev imisij delcev PM_{10} niso zagotavljale ustrezno visok regresijski faktor, ki mora znašati $R^2 > 0,5$, dosežen je

bil 0,29, smo na podlagi pridobljene premice določili skupni masni pretok, ki v našem primeru znaša 0,2892 g/s oz. 1041,12 g/h ali 1,041 kg/h. Porazdelitev ostankov s koncentracijo delcev PM_{10} iz ozadja znaša 0,084 $\mu g/m^3$. Na podlagi izračuna razlik med skupnim masnih pretokom in pretokom iz odvodnikov dobimo masni pretok razpršenih emisij delcev PM_{10}, ki je znašal 1023,77 g/h. Tako smo ugotovili, da je obravnavani metalurški obrat vsako uro izpuščal 1,02 kg prašnih delcev PM_{10} v zrak kot prispevek razpršenih in ubežnih emisij metalurškega obrata, pod danimi pogoji zagotovljenih meritev, kar je bistveno več kot jih je zavezanec prikazoval v oceni letnih emisij v zrak. Nekatere primerljive študije celo ugotavljajo, da je z uporabo standarda SIST EN 15445:2008 izračunan masni pretok razpršenih in ubežnih emisij lahko bistveno večji od masnega pretoka zajetih emisij v dejavnostih, kjer razpršene emisije predstavljajo pomemben delež skupnih emisij v zrak.

Z uporabo programskega orodja Austal View in reverznim disperznim modeliranjem po standardu SIST EN 15445:2008 ter znanimi rezultati opravljenih meritev smo pridobili pomembne informacije o trenutnemu stanju proizvodnih metalurških procesov, vodstvu obrata omogočili pripravo nadaljnih načrtovanj in optimizacijo proizvodnih procesov z vidika varstva okolja. Na podlagi pridobljenih meritev je vodstvo metalurškega obrata že v času izvajanja raziskav in analiz v okviru doktorske disertacije uvedlo vrsto investicij, ki so bistveno zmanjšale delež izračunanih razpršenih emisij. V nadaljevanju se bo v metalurškem obratu izvedlo ponovitev vseh izvedenih meritev, s povečanjem deleža meritev imisij in z numeričnim modeliranjem z namenom pridobitve deleža zmanjšanja emisije razpršenih delcev PM_{10}, ki ga je metalurški obrat dosegel z izvedbo novih investicij.

Zakonodajalec bo moral dopolniti predpise na področju emisije snovi v zrak tako, da bo vključil standarde za vzorčevanje delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v odvodnikih in k obstoječemu predpisanemu občasnemu monitoringu emisij v zrak iz odvodnikov dodati tudi zakonsko obveznost, vključno s predpisanimi metodami za določevanje prispevka razpršenih in ubežnih emisij prašnih delcev v zrak skozi meritve imisijske masne koncentracije delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ skladno s standardom SIST EN 12341:2014 in uporabo standarda SIST EN 15445:2008 z reverzno disperznim modeliranjem.

Trenutno zavezanci niso zakonodajno vezani na izpolnitev teh zahtev, vendar bi jih kljub temu morali dejansko izvajati, da bi se lahko izpolnila ustrezna letna ocena emisije v zrak, ki jo zavezanci posredujejo do 31.3. za preteklo koledarsko leto na ARSO. Glede na poznavanje

praktičnih primerov industrijskih zavezancev se te zahteve v večini primerov ne izpolnjujejo in ocene letnih emisij v zrak ne odražajo dejanskih količin celokupnega prahu in delcev PM_{10} ter $PM_{2,5}$, ki jih industrijski obrati izpuščajo v zrak.

Glede na bistvene razlike med proizvodnimi dejavnostmi v prispevkih razpršenih in ubežnih emisij v zrak, bi zakonodajalec moral spremeniti tudi politiko in strategijo glede načina spremljanja emisij v zrak tako, da bi povečal obseg in pogostost meritev emisij v zrak iz odvodnikov ter predvidel oceno razpršene emisije z uporabo emisijskih faktorjev. Za dejavnosti, kjer so razpršene emisije prevladujoče pa zahteval uporabo modeliranja, saj je le-ta edina uporabna metoda vrednotenja emisije prašnih delcev v zrak ob pogojih ustreznih vhodnih podatkov iz imisijskih meritev, lokacije in topografije obrata, podatki o vetru itd..

Glede na podroben pregled in analizo znanstvene in strokovne literature ter drugih sodobnih virov informacij je obravnavana tematika edinstven primer celovite obravnave vrednotenja celokupnih emisij prašnih delcev v zrak, predvsem vrednotenja razpršenih emisij v zrak z merjenji v industrijskih proizvodnih obratih in numeričnega modeliranja.

8. LITERATURA

1. SIST EN 15259:2007 Kakovost zraka - Meritve emisije nepremičnih virov - Zahteve za merilne odseke in merilna mesta ter namen meritev, načrt meritev in poročilo o meritvah
2. SIST ISO 10780:1996 Emisije nepremičnih virov- Meritev hitrosti in volumenskega pretoka plinskih tokov v odvodnikih
3. SIST ISO 9096:2003 Emisije nepremičnih virov - Ročno določanje masne koncentracije trdnih delcev
4. SIST EN 13284-1:2002 Emisije nepremičnih virov – Določevanje majhnih masnih koncentracij prahu – 1.del:
5. SIST EN 14385: 2004 Emisije nepremičnih virov – Določevanje celotne emisije As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V
6. SIST EN 14790:2005 Emisije nepremičnih virov – Določevanje vodne pare v odvodnikih
7. SIST EN 12341:2014 Zunanji zrak - Standardna gravimetrijska metoda za določevanje masne koncentracije frakcije lebdečih delcev PM_{10} ali $PM_{2,5}$
8. SIST EN 15445:2008 Ubežne in razpršene emisije skupnega pomena za industrijske sektorje – Ovrednotenje ubežne emisije prahu z reverzno disperznim modeliranjem
9. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry, May 2005,
10. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Dokument ob General Principles of Monitoring, Julij 2003
11. National Pollutant Inventory, Emission estimation technique manual for Ferrous Foundaries, Verzuija 2.0, januar 2014
12. Zakona o varstvu okolja (Ur. list RS, št. 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZmetD, 66/06-Odl, 33/07-ZPNačrt, 57/08-ZFO-1A, 70/08, 108/09, 57/12)
13. Uredba o vrsti dejavnosti in naprav, ki povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega (Ur. list RS, št. 57/15)
14. Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 31/07, 70/08, 61/09 in 50/13)
15. Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 9/11 in 8/15)

16. Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št.105/08)
17. Referenčni dokument o splošnih načelih monitoringa 2003/C 170/03 z dne 7. julija 2003 za namene Direktive Sveta 96/61/ES o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja okolja (UL C št. 170 z dne 19. 7. 2002, str. 3)
18. TCR Tecora, Seguential sampling system, Skypost PM HV, Corsico, Italy, 2005
19. GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co KG, Ainring, Germany, Harardware Manual for the Model 1.108, Maj 2000
20. Lakes Environmental Austal View^{TM}, Lagrangian Particle Tracking Air Dispersion Model, Ontario, Canada, 2000
21. KOVA d.o.o. Celje, Priloga k akreditacijski listini LP-034, december 2015
22. J. Richter, F.J.Braun, H. Enderle, A. Wiegele, Bestimmung diffuser Emissionen aus Kraftwerksanlagen-VGB-Projekt, Diffuse Emissionen, VDI-Berichte Nr. 2072, Dusseldorf 2009
23. I. Diego, A. Pelegry, S. Torno, J. Torano, M. Menendez, Simultaneous CFD evaluation of wind flow and dust emission in open storage piles, Applied Mathematical Modelling, Volume 33, Issue 7, 2009, 3197-3207
24. C. McKenna Neuman, J. Wayne Boulton, S. Sanderson, Wind tunnel simulation of environmental controls on fugitive dust emissions from mine tailings, Atmospheric Environment, Volume 43, Issue 3, 2009, 520-529
25. Y. Song, M. Zhang, X. Cai, PM10 modeling of Beijing in the winter, Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 22, 2006, 4126-4136
26. M.C. Minguillón, X. Querol, A. Alastuey, E. Monfort, E. Mantilla, M.J. Sanz, F. Sanz, A. Roig, A. Renau, C. Felis, J.V. Miró, B. Artíñano, PM10 speciation and determination of air quality target levels. A case study in a highly industrialized area of Spain, Science of The Total Environment, Volume 372, Issues 2-3, 2007, 382-396
27. M. Marcazzan, M. Ceriani, G. Valli, R. Vecchi, Source apportionment of PM10 and PM 2.5 in Milan (Italy) using receptor modelling, The Science of the Total Environment 317, 2003, 137-147
28. Th. Spanos, V. Simeonov, G. Andreev, Environmetric modeling of emission sources for dry and wet precipitation from an urban area, Talanta, 58, 2002, 367-375
29. G. Žibret, Determination of historical emission of heavy metals into the atmosphere: Celje case study, Environ Geol, 2008, 56,189-196

30. R. Mihelak, Določitev masnega pretoka emisije prašnih delcev iz industrijskega razpršenega vira, Februar 2011, 45-47
31. G. Žibret, R. Šajn, Modelling of atmospheric dispersion of heavy metals in the Celje area, Slovenia, Journal of Geochemical Exploration, 97, 2008, 29-41
32. EN ISO 23210: 2009 Emisije nepremičnih virov - Določevanje $PM_{10}/PM_{2,5}$ masnih koncentracij v dimnih plinih - Meritve pri nizkih koncentracijah z uporabo impactors
33. ISO 25597:2013 Emisije nepremičnih virov - Metoda za določanje $PM_{2,5}$ in PM_{10} maso v plinih v odvodnikih s pomočjo vzrorčevalnega ciklona in razredčitve vzorca
34. ISO 13271: 2012 Emisije nepremičnih virov - Določanje PM10/PM2,5 masne koncentracije v dimnih plinov - Merjenje pri višjih koncentracijah z uporabo virtualne impactors
35. Environmental Agency, Technical Guidance Note (Monitoring), M15, Monitoring PM_{10} and $PM_{2,5}$, julij 2012, verzija 2
36. Environmental Agency, Technical Guidance Note (Monitoring) M2, Monitoring of stack emissions to air, november 2015, verzija 11
37. Uredba o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Uradni list RS, št. 56/06)
38. M. Kovačič, S. Senčič, U. Župerl, Modeliranje emisij PM_{10} ob železarni z genetskim programiranjem in nevronskimi mrežami, RMZ - Materials and geoenvironment, ISSN 1408-7073, jul. 2013, vol. 60, no. 1, str. 9-16
39. M. Kovačič, S. Senčič, Modeliranje emisije PM_{10} z genetskim programiranjem, Materiali in tehnologije, ISSN 1580-2949, 2012, vol. 46, no. 5, str. 453-457
40. M. Kovačič, S. Senčič, Kritična velikost vključka v vzmetnem jeklu in genetsko programiranje, RMZ - Materials and geoenvironment, ISSN 1408-7073, 2010, vol. 57, no. 1, str. 17-23
41. S. Senčič, Celovito obvladovanje odpadkov iz livarn: magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2005
42. G.M. Masters, Introduction to Environmental Engineering and Science. New York: Prentice – Hall, 1997
43. H.F. Lund, The McGraw – Hill Recycling Handbook. New York: McGraw – Hill, 2001
44. T.E.Greadel, B.R. Allenby, Industrial Ecology. New Jersey: Pearson Education, 2003.
45. G. Burke, B. Singh , L. Theodore, Handbook of Environmental Management and Technology. New Yersey: John Wiley & Sons, 2005

46. B. Kosec, S. Senčič, M. Soković, B. Karpe, Foundry waste management. International journal for quality research, 2008, vol. 2, no. 2, 129-133
47. I. Diego, A. Pelegry, S. Torno, J. Torano, M. Menendez, Simultaneous CFD evaluation of wind flow and dust emission in open storage piles, Applied Mathematical Modelling, Volume 33, Issue 7, 2009, 3197-3207
48. S.H. Park, S.L. Gong, W. Gong, P.A. Makar, M.D. Moran, C.A. Stroud, J. Zhang, Sensitivity of surface characteristics on the simulation of wind-blown-dust source in North America, Atmospheric Environment, Volume 43, Issu 19, 2011, 3122-3129
49. C. McKenna Neuman, J. Wayne Boulton, S. Sanderson, Wind tunnel simulation of environmental controls on fugitive dust emissions from mine tailings, Atmospheric Environment, Volume 43, Issue 3, 2009, 520-529
50. M. Korcz, J. Fudała, C. Kliś, Estimation of wind blown dust emissions in Europe and its vicinity, Atmospheric Environment, Volume 43, Issue 7, 2009, 1410-1420
51. Y. Song, M. Zhang, X. Cai, PM10 modeling of Beijing in the winter, Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 22, 2006, 4126-4136
52. M.C. Minguillón, X. Querol, A. Alastuey, E. Monfort, E. Mantilla, M.J. Sanz, F. Sanz, A. Roig, A. Renau, C. Felis, J.V. Miró, B. Artíñano, PM10 speciation and determination of air quality target levels. A case study in a highly industrialized area of Spain, Science of The Total Environment, Volume 372, Issues 2-3, 2007, 382-396
53. M. Marcazzan, M. Ceriani, G. Valli, R. Vecchi, Source apportionment of PM10 and PM 2.5 in Milan (Italy) using receptor modelling, The Science of the Total Environment 317, 2003, 137-147
54. C. Branquino, G. Gaio-Oliveira, S. Augusto, P. Pinho, C. Maguas, O. Correia, Biomonitoring spatial and temporal impact of atmospheric dust from a cement industry, Environmental Pollution 151, 2008, 292-299
55. S. S. Polugurtha, D. James, Estimating windblown PM-10 emissions from vacant urban land using GIS, Journal of Hazardous Materials 132, 2006, 47-57
56. S. A. Silvester, I. S. Lowndes, S. W. Kingman, A. Arroussi, Improved dust capture methods for crushing plant, Applied Mathematical Modelling 31, 2007, 311-331
57. B. Neto, C. Kroeze, L. Hordijk, C. Costa, Modelling the environmental impact of an aluminium pressure die casting plant and options for control, Environmental Modelling & Software, 23, 2008, 147-168

58. M. Kirschen, V. Velikorodov, H. Pfeifer, Mathematical modeling of heat transfer in dedusting plants and comparison to off-gas measurement at electric arc furnaces, Energy 31, 2006, 2926-2939
59. H. Zhou, K. Cen, J. Fan, Modeling and optimization of the NOx emission characteristics of a tangentially fired boiler with artificial neural networks, Energy, 29, 2004, 167-183
60. Th. Spanos, V. Simeonov, G. Andreev, Environmetric modeling of emission sources for dry and wet precipitation from an urban area, Talanta, 58, 2002, 367-375
61. G. Žibret, Determination of historical emission of heavy metals into the atmosphere: Celje case study, Environ Geol, 2008, 56,189-196