

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture: magistrsko delo = Possibilities of lowering of PM emissions to ambient air using trenchless technology instead of open cut when building buried pipelines : master of science thesis. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 157 str. (mentor: Kryžanowski, A.).

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/6161/>

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI PODDIPLOMSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKI ŠTUDIJ

Kandidat:

ANDREJ SEDEJ, univ. dipl. inž. grad.

**MOŽNOST ZMANJŠANJA VNOSA EMISIJ DELCEV V
ZUNANJI ZRAK Z NADOMESTITVIJO KLASIČNEGA
NAČINA GRADNJE Z GRADNJO BREZ IZKOPA PRI
GRADNJI PODZEMNE LINIJSKE INFRASTRUKTURE**

Magistrsko delo št.: 285

**POSSIBILITIES OF LOWERING OF PM EMISSIONS TO
AMBIENT AIR USING TRENCHLESS TECHNOLOGY
INSTEAD OF OPEN CUT WHEN BUILDING BURRIED
PIPELINES**

Master of Science Thesis No.: 285

Člana komisije:
prof. dr. Jože Rakovec
prof. dr. Jakob Likar

Predsednik komisije in mentor:
doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 16. september 2016

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
fgg@fgg.uni-lj.si
Univerzitetni podiplomski študij
varstva okolja

Kandidat:

ANDREJ SEDEJ

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture

Magistrsko delo št.: 285

Possibilities of lowering of PM emissions to ambient air using trenchless technology instead of open cut when building buried pipelines

Master of Science Thesis No.: 285

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Člana komisije:

prof. dr. Jože Rakovec
prof. dr. Jakob Likar

Ljubljana, 16. september 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent Andrej Sedej, vpisna številka 97404521, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta:

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji:

doc. dr. Andrej Kryžanowski, FGG

prof. dr. Jože Rakovec, UL FMF

prof. dr. Jakob Likar, UL NTF

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 502/504:52-62:69.05(043)
- Avtor:** Andrej Sedej
- Mentor:** doc. dr. Andrej Kryžanowski
- Naslov:** Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture
- Obseg in oprema:** 157 str., 39 tab., 44 sl., 19 gr., 13 en.
- Tip dokumenta:** magistrsko delo
- Ključne besede:** gradnja z izkopom, gradnja brez izkopa, delci $PM_{2,5}$ in PM_{10} , gradbišče
- Izvleček** Gradbišče pri gradnji podzemne linijske infrastrukture zaradi dejavnosti, ki na njem potekajo, predstavlja vir onesnaženja, izbira načina gradnje (z izkopom, brez izkopa) pa vpliva na stopnjo emisije delcev v zunanji zrak. V nalogi so uvodoma predstavljeni delci ter opredeljen vir njihovega nastanka na gradbišču glede na izbrano tehnologijo gradnje. V opisu tehnologij gradnje so podana izhodišča za račun emisije delcev, ki jo predstavljata manipulacija z zemljino in kamenim agregatom ter izpusti kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem. Jedro naloge predstavlja račun emisije delcev na gradbišču glede na izbrano tehnologijo gradnje in različno globino vgradnje cevovoda ter vrednotenje rezultatov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDK:** 502/504:52-62:69.05(043)
- Author:** Andrej Sedej
- Mentor:** Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
- Title:** Possibilities of lowering of PM emissions to ambient air using trenchless technology instead of open cut when building burried pipelines
- Notes:** 157 p., 39 tab., 44 fig., 19 ch., 13 eq.
- Document type:** M. Sc. Thesis
- Keywords:** open cut, trenchless, PM_{2,5}, PM₁₀, construction site
- Abstract** When constructing underground infrastructure, either the open cut method or the trenchless one, we are faced with fugitive emissions to ambient air. First section provides overview of particles and how they are introduced into the environment according to the selected technology. In following section base for the fugitive OM emisiions calculation is set up, based on on-road and off-road machinery, as well as the manipulation of the ditch spoil, the pipe bedding and the overlay. The core of the thesis is calculation of fugitive PM emissions on construction site, depending on cover and selected technology and analysis of results.

ZAHVALA

Pri nastajanju magistrskega dela je bil v veliko pomoč doc. dr. Andrej Kryžanowski, ki me je znal usmeriti na razpotjih razmišljanj. Zahvala tudi sodelavkama mag. Bernardki Jurič in Maci Uhliř, ki sta se morali seznaniti z delci in o njih občasno razmišljati.

Zahvaljujem se tudi podjetjem ter njihovimi predstavniki, in sicer v abecednem vrstnem redu: Geoinženiring d.o.o. (Jadranka Begić), ki je izdelalo preiskave vzorcev zemljine, Gradbeništvo Prestor d.o.o. (Iztok Kern) za pomoč pri premeščanju zemljine in kamenega agregata, Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG (Andreas Jaksch), ki je brezplačno nudilo na izposajo merilni inštrument, Pozitivna gradnja inženiring za izdelavo plana gradnje za gradnjo z izkopom, Vilkoograd d.o.o. (Viljem Kolar) za izdelavo plana gradnje za gradnjo brez izkopa.

Posebna zahvala moji družini, ki je v času izdelave magistrskega dela preživljala vikende in večere brez mene.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Cilji naloge	2
1.2	Potek dela	2
1.3	Hipoteza in pričakovani rezultati	3
2	ONESNAŽEVANJE, OKOLJE, ČLOVEK	5
2.1	Vnos snovi v okolje	5
2.1.1	Vplivi graditve in obratovanja objekta na človeka	6
2.1.2	Vplivi graditve in obratovanja objekta na vodo	6
2.1.3	Vplivi graditve in obratovanja objekta na tla	7
2.1.4	Vplivi graditve in obratovanja objekta na zrak	7
3	DELCI	9
3.1	LASTNOSTI DELCEV	11
3.2	PORAZDELITEV GLEDE NA VELIKOST, POVRŠINO IN PROSTORNINO	14
3.3	KEMIJSKA SESTAVA	16
3.4	VPLIV DELCEV NA ZDRAVJE LJUDI	17
3.4.1	Velikost delcev in dihalne poti	17
3.4.2	Vplivi na zdravje glede na vrsto delcev	20
3.4.3	Zakonodaja	21
3.5	VIRI DELCEV	25
3.5.1	Izgorevanje goriva dizelskih motorjev	25
3.5.2	Mehanska obraba profila pnevmatik	29
3.5.3	Mehanska obraba zavor	33
3.5.4	Mehanska obraba podlage	36
3.5.5	Manipulacija z gradbenim materialom	38
4	OPIS MOŽNIH NAČINOV GRADNJE PODZEMNE LINIJSKE INFRASTRUKTURE 45	
4.1	Gradnja z izkopom	47
4.1.1	Opis gradbišča in potek gradnje	47
4.1.2	Gradbena mehanizacija in oprema, ki je vir emisije delcev	49
4.2	Gradnja brez izkopa	51
4.2.1	Opis gradbišča in potek gradnje	51

4.2.2	Gradbena mehanizacija in oprema, ki je vir emisije delcev.....	53
5	OPIS OPERACIJ TER GRADBENE MEHANIZACIJE IN OPREME.....	55
5.1	Opis gradnje z izkopom.....	55
5.1.1	Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije.....	55
5.1.2	Rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo.....	56
5.1.3	Odvoz gradbenih odpadkov (asfalt) na deponijo.....	57
5.1.4	Strojni izkop jarka.....	57
5.1.5	Odvoz gradbenih odpadkov (izkopen material) na deponijo.....	58
5.1.6	Prevoz, razkladanje in izdelava opaža.....	58
5.1.7	Prevoz (dobava) peska, tampona.....	59
5.1.8	Odstranitev, nakladanje in prevoz opaža.....	60
5.1.9	Izdelava finega planuma.....	60
5.1.10	Premik gradbene mehanizacije (gradbena mehanizacija, asfaltna dela).....	60
5.1.11	Vgradnja vezane nosilne ter obrabne in zaporne plasti.....	61
5.1.12	Premik gradbene mehanizacije (asfaltna dela).....	61
5.1.13	Zapiranje gradbišča.....	61
5.2	Definiranje gradbene mehanizacije in opreme, gradnja z izkopom.....	62
5.2.1	Tovorno vozilo.....	62
5.2.2	Tovorna prikolica.....	62
5.2.3	Bager na kolesih.....	63
5.2.4	Opaž.....	63
5.2.5	Valjar.....	63
5.2.6	Valjar »jež«.....	64
5.2.7	Vibronabijač »žaba«.....	64
5.2.8	Vibracijska plošča.....	65
5.2.9	Finišer.....	65
5.3	Opis gradnje brez izkopa.....	66
5.3.1	Premik vrtalne garniture in bagra.....	66
5.3.2	Izvedba pilotne vrtine in črpanje vrtalne tekočine.....	67
5.3.3	Širjenje pilotne vrtine, uvlečenje cevovoda in črpanje vrtalne tekočine.....	67
5.3.4	Premik vrtalne garniture in tovornega vozila cisterna.....	68
5.4	Definiranje gradbene mehanizacije in opreme, gradnja brez izkopa.....	68
5.4.1	Tovorno vozilo 1.....	68

5.4.2	Tovorno vozilo 2	68
5.4.3	Tovorna prikolica	69
5.4.4	Bager.....	70
5.4.5	Vrtalna garnitura	70
5.4.6	Mešalna naprava	71
6	RAČUN EMISIJ DELCEV ZARADI DELOVANJA GRADBIŠČA.....	72
6.1	Račun emisije delcev zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik, zavor in podlage.....	74
6.1.1	Mehanska obraba profila pnevmatik	74
6.1.2	Mehanska obraba zavor	76
6.1.3	Mehanska obraba podlage.....	77
6.2	Račun emisije delcev zaradi delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem, cestna gradbena mehanizacija in oprema.....	79
6.3	Račun emisije delcev zaradi delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem, necestna gradbena mehanizacija in oprema.....	82
6.4	Račun emisije delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom	85
7	ANALIZA REZULTATOV.....	88
7.1	Čas obratovanja gradbišča	88
7.2	Delež emisije delcev izven ograje gradbišča.....	89
7.3	Emisije delcev znotraj ograje gradbišča.....	92
7.4	Količina PM ₁₀ in PM _{2,5} po dnevih od pričetka obratovanja do zaprtja gradbišča	96
7.4.1	Gradnja z izkopom.....	96
7.4.2	Gradnja brez izkopa	99
7.5	Lastnosti delcev.....	106
8	ZAKLJUČKI	111
9	CONCLUSION.....	115
10	VIRI.....	119

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1 Definicije delcev, vezane na njihovo velikost	10
Tabela 2 Velikost delcev, njihovo tipično število in njihova površino (Vir: Defra, 2016).....	16
Tabela 3 Izvor kemijske komponente glede na vir onesnaženja (Vir: povzeto po Colbeck, 2008).....	16
Tabela 4 Razdelitev Republike Slovenije na območja in aglomeracije (Vir: UL RS, 2011)...	22
Tabela 5 Mejne vrednosti za PM ₁₀ in PM _{2,5} (Vir: UL RS, 2011).....	23
Tabela 6 Ciljno zmanjšanje izpostavljenosti PM _{2,5} na območju RS (Vir: UL RS, 2011).....	23
Tabela 7 WHO smernice za delce PM ₁₀ in PM _{2,5} (Vir: WHO, 2005b).....	24
Tabela 8 Tier 2 emisijski faktorji za težka tovorna vozila* (Vir: Ntziachristos, 2013)	28
Tabela 9 Emisijski faktorji za PM (g/km) za režime vožnje glede na tip ceste (Vir: Defra, 2015).....	28
Tabela 10 Porazdelitev delcev glede na število, pregled vrednosti iz literature (Vir: Grigoratos, 2014).....	31
Tabela 11 Emisijski faktorji Tier 1, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba profila pnevmatik in zavor (Vir: Ntziachristos, 2013)	32
Tabela 12 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba profila pnevmatik (Vir: Ntziachristos, 2013).....	32
Tabela 13 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba zavor (Vir: Ntziachristos, 2013).....	32
Tabela 14 Povprečna vrednost emisijskega faktorja PM ₁₀ , obraba profila pnevmatik in zavor (Vir: Defra, 2016).....	33
Tabela 15 Emisijski faktorji Tier 1, kategorija emisije 1.A.3.b.vii, obraba podlage (Vir: Ntziachristos, 2013).....	37
Tabela 16 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vii, obraba podlage (Vir: Ntziachristos, 2013).....	37
Tabela 17 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba zavor (Vir: Ntziachristos, 2013).....	37
Tabela 18 Emisijski faktorji pri nakladanju z bagrom na keson/stresanju s kesona (Vir: Muleski et al., 2005).....	39

Tabela 19 Vzorci izkopane zemljine in kamenega agregata z gradbišča Bled-Mlino.....	40
Tabela 20 Vzorci izkopane zemljine in kamenega agregata z gradbišča Bled-Rečica	41
Tabela 21 Meteorološki podatki z gradbišča na lokaciji Bled-Rečica	42
Tabela 22 Operacije pri gradnji z izkopom, cevovod DN100.....	48
Tabela 23 Gradbena mehanizacija in oprema, gradnja z izkopom.....	49
Tabela 24 Operacije pri gradnji brez izkopa, cevovod DN100	53
Tabela 25 Gradbena mehanizacija in oprema, gradnja brez izkopa	54
Tabela 26 Količina izkopa / zasipa v odvisnosti od višine nadkritja.....	58
Tabela 27 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi profila pnevmatik in mehanski obrabi zavor, gradnja z izkopom.....	78
Tabela 28 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi podlage, gradnja z izkopom	78
Tabela 29 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi profila pnevmatik in mehanski obrabi zavor, gradnja brez izkopa	79
Tabela 30 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi podlage, gradnja brez izkopa.....	79
Tabela 31 Kategorija vozil glede na metodologijo Tier 2 (Vir: Ntziachristos, 2013).....	80
Tabela 32 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelskega motorja tovornega vozila, gradnja z izkopom.....	82
Tabela 33 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelskega motorja tovornega vozila, gradnja brez izkopa.....	82
Tabela 34 Implementacija Stage za dizelska necestna vozila in opremo (Vir: Ntziachristos, 2013).....	83
Tabela 35 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelskega motorja necestne gradbene mehanizacije in opreme, gradnja z izkopom.....	85
Tabela 36 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelskega motorja necestne gradbene mehanizacije in opreme, gradnja brez izkopa.....	85
Tabela 37 Faktor aerodinamičnega premera in razponi vrednosti zemljin in kamenih agregatov (Vir: EPA, 2016b).....	86

Tabela 38 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom, gradnja z izkopom, gradbišče Rečica 86

Tabela 39 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom, gradnja z izkopom, Gradbišče Mlino 87

KAZALO SLIK

Slika 1 Velikostni razredi delcev v primerjavi s človeškim lasom (Vir: Mann filter, 2016) ...	11
Slika 2 Primerjava delcev različne gostote z enakim aerodinamičnim premerom in enako hitrostjo padanja	11
Slika 3 Shematski prikaz velikosti in nastanka delcev (Vir: prirejeno po Colbeck, 2008; Landesamt für Natur..., 2015).....	14
Slika 4 Porazdelitev tipičnega vzorca zunanjega zraka glede na število, površino in prostornino delcev (Vir: prirejeno po Colbeck, 2008; Landesamt für..., 2016)	15
Slika 5 Shematski prikaz prevladujočega aerosola na različnih lokacijah zemlje (Vir: U.S. department of commerce..., 2016))	17
Slika 6 Diagram prodiranja delcev vzdolž con dihalnih poti izražena kot odstotek vseh lebdečih delcev (Vir: SIST EN 481:1998, 1998.....	18
Slika 7 Anatomska zgradba dihalne poti in prodiranje delcev vzdolž dihalne poti glede na velikost (Vir: prirejeno po Poepping, 2014).....	19
Slika 8 Vpliv onesnaževal na c ₁₀ loveka (Vir: ARSO, 2014)	20
Slika 9 Karta območij in aglomeracij v Republiki Sloveniji glede na SO ₂ , NO ₂ , NO _x , delce PM ₁₀ in PM _{2,5} , benzen, CO ter benzo(a)piren (Vir: UL RS, 2011).....	21
Slika 10 Tipična porazdelitev delcev v izpustu dizelskega motorja (Vir: Kittelson, 2001) ...	26
Slika 11 Tipična kemična sestava PM _{2,5} v procesu zgorevanja dizelskega goriva (U.S. EPA, 2002).....	27
Slika 12 Bimodalna masna porazdelitev delcev zaradi obrabe profila pnevmatik na asfaltni podlagi (Vir: Grigoratos, 2014, po Panko et al., 2009)	30
Slika 13 : Porazdelitev števila delcev glede na njihovo velikost pri različnih manevrih vozila (Vir: Grigoratos, 2014, po Mathissen et al., 2011).....	31
Slika 14 Zgoraj: porazdelitev glede na maso in število delcev prahu iz obrabe zavor pri zaviranju tovornega vozila v odvisnosti od temperature zavorne ploščice (Vir: von Uexküll et al., 2011), spodaj: masna porazdelitev prahu iz obrabe zavor v odvisnosti od temperature (Iijima, 2007).....	35
Slika 15 : Masni delež kovin emisije zaradi obrabe zavornih oblog tovornih vozil glede na velikost (Vir: Bukowiecki et al., 2009)	35

Slika 16 Porazdelitev bitumenskih delcev v vzorcu zraka v Kopenhagenu glede na velikost (Vir: Fauser, 1999)	37
Slika 17 Masna porazdelitev delcev s pomočjo sledilnih delcev (Vir: Ntziachristos, 2013, po Harrison et al., 2012)	38
Slika 18 Globina izkopa od kote -90 cm (Vir: lastni arhiv)	41
Slika 19 a) vzorec (obsip) VZ-1 b) vzorec (izkopana zamljina) VZ-2 c) lokacija odvzema vzorca VZ-2 č) izkopana zemljina, odložena na robu jarka (Vir: lastni arhiv)	42
Slika 20 Meritve meteoroloških parametrov s prenosno vremensko postajo Vaisala MAWS201 (Vir: lastni arhiv)	43
Slika 21 Obsip cevovoda s kamenim agregatom 0/4 (kontrolirani pogoji) (Vir: lastni arhiv)	44
Slika 22 Makro raven: linijsko gradbišče kot razpršeni vir onesnaževanja ter odsek dolžine 100 m kot točkovni vir onesnaževanja	46
Slika 23 Mikro raven: linijsko gradbišče dolžine 100 m kot zgoraj) točkovni ali spodaj) razpršeni vir onesnaževanja	46
Slika 24 Lokacija vstopnega jaška pri izvedbi HDD	52
Slika 25 Tovorno vozilo prekucnik, štiriosno, z največjo dovoljeno skupno maso 32.000 kg (Vir: lastni arhiv)	62
Slika 26 Tovorna prikolica za premik bagra, štiriosna (Vir: lastni arhiv)	62
Slika 27 Bager na kolesih (Vir: lastni arhiv)	63
Slika 28 Razpiralni opaž (Vir: lastni arhiv)	63
Slika 29 Valjar (Vir: lastni arhiv)	64
Slika 30 Valjar »jež« (Vir: lastni arhiv)	64
Slika 31 Vibronabijač »žaba« (Vir: lastni arhiv)	65
Slika 32 Vibracijska plošča (Vir: lastni arhiv)	65
Slika 33 Finišer (Vir: lastni arhiv)	66
Slika 34 Tovorno vozilo, dvoosno (Vir: lastni arhiv)	68
Slika 35 Tovorno vozilo s črpalko in cisterno, dvoosno (Vir: lastni arhiv)	69
Slika 36 Tovorna prikolica za premik mini bagra, štiriosna (Vir: lastni arhiv)	69
Slika 37 Bager (Vir: lastni arhiv)	70

Slika 38 Vrtalna garnitura (Vir: lastni arhiv).....	70
Slika 39 Viri onesnaženja z delci PM ₁₀ (levo) in PM _{2,5} glede na vir, v letu 2009, v 32 Evropskih državah (Vir: Pihlava, 2014, after EEA, 2012).....	72
Slika 40 Diagram odločanja za način izračuna emisije zaradi obrabe profila pnevmatike, zavor in podlage (Vir: Ntziachristos, 2013)	74
Slika 41 Korekcijski faktor emisije delcev zaradi mehanske obrabe plašča pnevmatike v odvisnosti od hitrosti vozila (Vir: Ntziachristos, 2013)	76
Slika 42 Korekcijski faktor emisije delcev zaradi mehanske obrabe zavor v odvisnosti od hitrosti vozila (Vir: Ntziachristos, 2013).....	77
Slika 43 Diagram odločanja za način izračuna emisije v cestnem prometu (Vir: Ntziachristos, 2013).....	80
Slika 44 Diagram odločanja za način izračuna emisije zaradi delovanja necestne gradbene mehanizacije in opreme (Vir: Ntziachristos, 2013).....	83

KAZALO GRAFOV

Graf 1 Čas obratovanja gradbišča v dnevih glede na izbrano tehnologijo gradnje in višino nadkritja.....	89
Graf 2 Masa delcev PM ₁₀ znotraj in izven ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino	90
Graf 3 Masa delcev PM _{2,5} znotraj in izven ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino	91
Graf 4 Masa delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} pri vožnji 4-osnega tovornega vozila na razdalji 30 km in hitrosti vožnje 70 km/h.....	92
Graf 5 Vsota emisije delcev PM ₁₀ znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino	94
Graf 6 Vsota emisije delcev PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino	94
Graf 7 Vsota emisije delcev PM ₁₀ znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Rečica	95
Graf 8 Vsota emisije delcev PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Rečica	96
Graf 9 Emisija delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, Hn = 1,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Mlino	101
Graf 10 Emisija delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, Hn = 2,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Mlino	102
Graf 11 Emisija delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, Hn = 3,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Mlino	103
Graf 12 Emisija delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, Hn = 1,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Rečica.....	104
Graf 13 Emisija delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, Hn = 2,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Rečica	105
Graf 14 Emisija delcev PM ₁₀ in PM _{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, Hn = 3,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Rečica	106
Graf 15 Koncentracija delcev v odvisnosti od časa pri stresanju kamenega agregata lomljenca 0/4 v jarek, lokacija gradbišča Bled-Rečica	107

Graf 16 Porazdelitev delcev glede na število, kameni agregat lomljenec za obsip frakcije 0/4, faza stresanja iz bagske žlice, lokacija gradbišča Bled-Rečica	108
Graf 17 Porazdelitev delcev glede na maso, kameni agregat lomljenec za obsip frakcije 0/4, faza stresanja iz bagske žlice, lokacija gradbišča Bled-Rečica	109
Graf 18 Porazdelitev delcev glede na površino, kameni agregat lomljenec za obsip frakcije 0/4, faza stresanja iz bagske žlice, lokacija gradbišča Bled-Rečica	109
Graf 19 Povprečne vrednosti PM ₁₀ in PM _{2,5} pri izvajanju obsipa, kameni agregat lomljenec 0/4, lokacija gradbišča Bled-Rečica	110

LIST OF TABLES

Table 1 Particulate matter definition	10
Table 2 Particle size, typical particle number and surface area (Source: Defra, 2016).....	16
Table 3 Source of chemical components linked to the emitting source (Source: Colbeck, 2008).....	16
Table 4 Emission areas and agglomerations in the Republic of Slovenia (Source: UL RS, 2011).....	22
Table 5 Limit values for PM ₁₀ and PM _{2,5} (Source: UL RS, 2011).....	23
Table 6 Target values of PM _{2,5} in the Republic of Slovenia (Source: UL RS, 2011).....	23
Table 7 WHO air quality guidelines for particulate matter PM ₁₀ and PM _{2,5} (Source: WHO, 2005b).....	24
Table 8 Tier 2 emission factors for heavy-duty vehicles (Source: Ntziachristos, 2013).....	28
Table 9 Exhaust emission factors for PM (g/km) for different road types (Source: Defra, 2015).....	28
Table 10 Review of literature studies regarding the particle number distribution of airborne tyre wear particles (Source: Grigoratos, 2014).....	31
Table 11 Tier 1 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle tyre and brake wear combined (Source: Ntziachristos, 2013).....	32
Table 12 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle tyre wear (Source: Ntziachristos, 2013)	32
Table 13 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle brake wear (Source: Ntziachristos, 2013)	32
Table 14 Average PM ₁₀ emission factors for tyre and brake wear in the UK (Source: Defra, 2016).....	33
Table 15 Tier 1 emission factors for source category 1.A.3.b.vii, road surface wear (Source: Ntziachristos, 2013).....	37
Table 16 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vii, road surface wear (Source: Ntziachristos, 2013).....	37
Table 17 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle brake wear (Source: Ntziachristos, 2013).....	37

Table 18 Truck loading/unloading test results (Source: Muleski et al., 2005).....	39
Table 19 Samples of excavated material and bedding material from Bled-Mlino construction site.....	40
Table 20 Samples of excavated material and bedding material from Bled-Rečica construction site.....	41
Table 21 Meteorological data from Bled-Rečica construction site	42
Table 22 DN100 pipeline construction site works phases, open cut	48
Table 23 Construction plant and equipment, open cut	49
Table 24 DN100 pipeline construction site works phases, trenchless.....	53
Table 25 Construction plant and equipment, open cut, trenchless	54
Table 26 Quantity of excavated material / backfill according to depth of cover	58
Table 27 PM emission per unit for tyre and brake wear, open cut.....	78
Table 28 PM emission per unit for road surface wear, open cut.....	78
Table 29 PM emission per unit for tyre and brake wear, trenchless	79
Table 30 PM emission per unit for road surface wear, trenchless.....	79
Table 31 Vehicle class covered by the Tier 2 methodology (Source: Ntziachristos, 2013).....	80
Table 32 PM emission per unit in HDV diesel vehicle exhaust, open cut	82
Table 33 PM emission per unit in HDV diesel vehicle exhaust, trenchless.....	82
Table 34 Implementation of Stage for diesel-fuelled non-road machinery (Source: Ntziachristos, 2013).....	83
Table 35 PM emission per unit in diesel vehicle exhaust of mobile machinery, open cut.....	85
Table 36 PM emission per unit in diesel vehicle exhaust of mobile machinery, trenchless	85
Table 37 The particle size multiplier and ranges of source conditions (Source: EPA, 2016b)	86
Table 38 PM emission per unit for excavated soil, bedding and cover, open cut, Rečica construction site.....	86
Table 39 PM emission per unit for excavated soil, bedding and cover, open cut, Mlino construction site.....	87

LIST OF FIGURES

Figure 1 Size of particulate matter comparing to size of human hair (Source: Mann filter, 2016).....	11
Figure 2 Comparison of particulate matter of different density, the same aerodynamic diameter and the same settling velocity.....	11
Figure 3 Schematic diagram of the size distribution and modes of airborne particles (Source: adopted from Colbeck, 2008; Landesamt für Natur..., 2015; DEFRA, 2016)	14
Figure 4 Number, surface and volume aerosol distributions (Source: adopted from Colbeck, 2008; Landesamt für..., 2016).....	15
Figure 5 Schematic showing the complexity of dominant aerosol composition based on shipboard measurements in various locations (Source: U.S. department of commerce..., 2016)	17
Figure 6 The inhalable, thoracic and respirable conventions as percentages of total airborne particles (Source: SIST EN 481:1998, 1998)	18
Figure 7 Anatomical construction of human respiratory system and particulate matter size penetration to respiratory system (Source: after Poepping, 2014)	19
Figure 8 Influence of different types of pollutant to human body (Source: ARSO, 2014).....	20
Figure 9 Emission areas and agglomerations in the Republic of Slovenia according to SO ₂ , NO ₂ , NO _x , PM ₁₀ and PM _{2,5} , benzene, CO and benzo(a)pyrene (Source: UL RS, 2011)	21
Figure 10 Typical size distributions and definitions as measured in diesel vehicle exhaust (Source: Kittelson, 2001).....	26
Figure 11 Typical chemical composition for diesel particulate matter (PM _{2,5}) from new (post-1990) HD diesel vehicle exhaust (U.S. EPA, 2002).....	27
Figure 12 Bimodal mass distributions of particles generated from friction tyres running against different asphalt pavements (Source: Grigoratos, 2014, after Panko et al., 2009)	30
Figure 13 Particle number size distributions for different maneuvers (Source: Grigoratos, 2014, after Mathissen et al., 2011)	31
Figure 14 Upper: particle number and mass distributions of brake dust emitted from stopping of HGV at different temperatures of brake pads (Source: von Uexküll et al., 2011), lower: normalized particle size distributions of brake abrasion dusts expressed as the mass at different temperatures of brake pads (Source: Iijima, 2007).....	35

Figure 15 Fractional size contribution for HDV EFs determined for brake wear related trace elements (Source: Bukowiecki et al., 2009)	35
Figure 16 Bitumen particle size distribution in Copenhagen air (Source: Fauser, 1999)	37
Figure 17 Reconstruction of micrometer particle mass through scaling of tracer elements. (Source: Ntziachristos, 2013, after Harrison et al., 2012)	38
Figure 18 Depth of trench excavation starting from level -90 cm (Source: personal archive)	41
Figure 19 a) bedding sample VZ-1 b) ditch spoil sample VZ-2 c) VZ-2 sampling point č) ditch spoil (Source: personal archive)	42
Figure 20 Measurements of meteorological parameters with portable weather station Vaisala MAWS201 (Source: personal archive)	43
Figure 21 Pipe overlay with crushed sand 0/4 mm (Source: personal archive)	44
Figure 22 Macro point of view: linear shaped construction site as dispersed source of pollution and 100 m long section as point source of pollution.....	46
Figure 23 Micro point of view: 100 m long section of linear shaped construction site as upper) point or lower) dispersed source of pollution.....	46
Figure 24 Entrance pit location during HDD boring.....	52
Figure 25 Heavy duty vehicle, four axles, rigid, maximum load 32.000 kg (Source: personal archive).....	62
Figure 26 Heavy trailer for hauling excavator, four axles (Source: personal archive)	62
Figure 27 Wheel excavator (Source: personal archive).....	63
Figure 28 Shore box (Source: personal archive)	63
Figure 29 Roller (Source: personal archive).....	64
Figure 30 Trench roller (Source: personal archive).....	64
Figure 31 Rammer (Source: personal archive).....	65
Figure 32 Hydrostatic vibratory plate (Source: personal archive)	65
Figure 33 Road paver (Source: personal archive)	66
Figure 34 Heavy duty vehicle, two axles, rigid (Source: personal archive).....	68
Figure 35 Heavy duty vehicle with cistern and pump, two axles, rigid (Source: personal archive).....	69

Figure 36 Light trailer for hauling mini excavator, four axles (Source: personal archive).....	69
Figure 37 Compact excavator (Source: personal archive).....	70
Figure 38 Drill rig (Source: personal archive).....	70
Figure 39 Contribution of different sectors (energy and non-energy) to total emissions of PM ₁₀ (left) and PM _{2,5} , 2009 in 32 European countries (Source: Pihlava, 2014, after EEA, 2012).....	72
Figure 40 Decision tree for vehicle tyre and brake wear and road surface wear emissions (Source: Ntziachristos, 2013).....	74
Figure 41 Speed correction factor for tyre wear particle emissions (Source: Ntziachristos, 2013).....	76
Figure 42 Speed correction factor for brake wear particle emissions (Source: Ntziachristos, 2013).....	77
Figure 43 Decision tree for exhaust emissions from road transport (Source: Ntziachristos, 2013).....	80
Figure 44 Decision tree for other off-road mobile machinery (Source: Ntziachristos, 2013)..	83

LIST OF CHARTS

Chart 1 Construction site total working time in days according to selected technology and cover	89
Chart 2 PM ₁₀ mass inside and outside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	90
Chart 3 PM _{2,5} mass inside and outside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	91
Chart 4 PM ₁₀ and PM _{2,5} mass of 4-axle HDV, driving distance 30 km, speed 70 km/h.....	92
Chart 5 PM ₁₀ mass inside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	94
Chart 6 PM _{2,5} mass inside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	94
Chart 7 PM ₁₀ mass inside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site	95
Chart 8 PM _{2,5} mass inside Bled- Rečica construction site area.....	96
Chart 9 PM ₁₀ and PM _{2,5} emission inside construction site, daily values, H _{cover} = 1,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	101
Chart 10 PM ₁₀ and PM _{2,5} emission inside construction site, daily values, H _{cover} = 2,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	102
Chart 11 PM ₁₀ and PM _{2,5} emission inside construction site, daily values, H _{cover} = 3,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site	103
Chart 12 PM ₁₀ and PM _{2,5} emission inside construction site, daily values, H _{cover} = 1,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site	104
Chart 13 PM ₁₀ and PM _{2,5} emission inside construction site, daily values, H _{cover} = 2,2 m, ditch	105
Chart 14 PM ₁₀ and PM _{2,5} emission inside construction site, daily values, H _{cover} = 3,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site	106
Chart 15 Concentration/time schedule when working bedding operation, crushed rock, 0/4 mm, Bled-Rečica construction site.....	107
Chart 16 PM number distribution, bedding and cover, crushed rock, 0/4 mm, bucket dumping, Bled-Rečica construction site	108

Chart 17 PM mass distribution, bedding and cover, crushed rock, 0/4 mm, bucket dumping, Bled-Rečica construction site	109
Chart 18 PM area distribution, bedding and cover, crushed rock, 0/4 mm, bucket dumping, Bled-Rečica construction site	109
Chart 19 Average PM ₁₀ and PM _{2,5} , total time, when working bedding operation, crushed rock, 0/4 mm, Bled-Rečica construction site.....	110

KRATICE

BC	črni ogljik / Black Carbon
EEA	Evropska agencija za okolje / European Environment Agency
EF	emisijski faktor / Emission Factor
GIS	Geografski Informacijski Sistem
HAB	usmerjeno vrtanje z optičnim vodenjem / Horizontal Auger Boring
HDD	usmerjeno vrtanje z radijskim vodenjem / Horizontal Directional Drilling
HDV	tovorno vozilo nad nosilnosti nad 3,5t / Heavy Duty Vehicle
PEHD	polietilen visoke gostote / Polyethylene High-Density
PM	delci / Particulate Matter
MT	mikro tuneliranje / MicroTunneling
NAAQS	ameriški standard za kakovost zraka / National Ambient Air Quality Standard
NASTT	severnoameriško združenje za gradnjo brez izkopa / North American Society for
PAH	policiklični aromatski ogljikovodiki / Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
SPM	suspendirani delci / Suspended Particulate Matter
TSP	skupni delci / Total Suspended Particles
UFP	ultrafini delci / Ultra Fine Particles
UN	Združeni narodi / United Nations
USEPA	Ameriška agencija za okolje / United States Environmental Protection Agency
VOC	hlapne organske spojine / Volatile Organic Compound
WHO	Svetovna zdravstvena organizacija / World Health Organization

1 UVOD

Sodoben način življenja zahteva gradnjo podzemne linijske energetske in komunalne infrastrukture (v nadaljnjem besedilu: podzemna linijska infrastruktura), ki s svojim delovanjem prispeva k človekovemu udobju bivanja. Umestitev omenjene infrastrukture v prostor v času projektiranja, gradnje, vzdrževanja in obratovanja tako ali drugače povzroča vplive na okolje in človeka kot del okolja. Pri gradnji podzemne linijske infrastrukture se uporabljata dve metodi:

- klasičen način gradnje z izkopom in
- gradnja brez izkopa.

Na oba načina je možna vgradnja sledeče podzemne linijske infrastrukture: vodovod, telekomunikacijski vod, kanalizacija, plinovod, vročevod, električni kablovod.

Klasičen način gradnje z izkopom (v nadaljnjem besedilu: gradnja z izkopom) poteka z uporabo gradbene mehanizacije in opreme. Za potrebe vgradnje podzemne linijske infrastrukture se izkoplje gradbena jama v obliki jarka (v nadaljnjem besedilu: jarek), ki se po končani vgradnji infrastrukture zasuje. Za izkop in zasip jarka je ves čas gradnje potrebna prisotnost gradbene mehanizacije in opreme, ki se premika vzdolž linije gradbene jame. V običajnih pogojih gradnje dolžina gradbišča meri od nekaj 100 m do več kilometrov.

Pri gradnji brez izkopa se za pripravo vstopne in izstopne točke uporablja kombinacija gradbene mehanizacije in opreme. Za vgradnjo podzemne infrastrukture se uporablja vrtalna garnitura s spremljajočo gradbeno mehanizacijo in opremo, ki jo narekuje posamezna tehnologija gradnje brez izkopa. V običajnih pogojih gradnje je gradbišče točkovno in se po zaključku gradnje posameznega odseka premakne vzdolž linije. Gradbišče meri, glede na izbrano tehnologijo gradnje, od nekaj deset pa do 1.000 m².

Dejstvo v Slovenskem prostoru je, da se večina gradnje podzemne linijske infrastrukture praviloma izvaja klasično, to je z izkopom. Omenjeni način gradnje je izvajalcem ter investitorjem najbolj poznan, zato se za gradnjo brez izkopa praviloma ne odločajo, če pa se, se zaradi nepoznavanja tehnologije odločajo zanjo z določeno stopnjo nezaupanja. V kolikor se pristopa h gradnji brez izkopa, se le-to izvaja zaradi zahtev, ki jih narekujejo omejitve v prostoru, kot so: infrastrukturni objekti (ceste, železnice, letališča, komunalni vodi),

zavarovana območja (območja kulturne dediščine, varstva narave) in gosta pozidanost, ki je z izkopom tehnično ni možno obiti.

V Sloveniji pri projektantih, gradbenih izvajalcih in investitorjih še ni zaslediti, da bi se odločali za gradnjo brez izkopa zaradi zmanjševanja vplivov gradnje na okolje. Odločujoči faktorji za izbiro načina gradnje so prej omenjene omejitve v prostoru ter zaupanje klasičnemu načinu gradnje.

Iz pregleda literature ugotavljamo, da se v svetu že kažejo trendi izbire tehnologije gradnje podzemne infrastrukture, ki v ospredje postavlja zmanjševanje negativnih vplivov na okolje. Gradnja z izkopom se v primerjavi z gradnjo brez izkopa kaže kot energetsko potraten, okolju in ljudem neprijazen (prometni zastoji, obvozi, menjava obstoječega materiala z novim, deponiranje in transport itd.). Obenem izkazuje bistveno večje izpuste CO₂, NO_x in SO_x; delci niso opredeljeni.

Za primerjavo vgradnje podzemne infrastrukture (kanalizacijskih cevi, zaščitnih cevi za ostalo infrastrukturo) z izkopom in brez izkopa z metodo mikrotuneliranja so razvita in verificirana tudi orodja (CO₂ calculator, 2015). Slednja na podlagi tehničnih vhodnih podatkov gradnje kot rezultat podajo skupno količino izpusta toplogrednega plina CO₂, ne pa tudi preostalih toplogrednih plinov NO_x, SO_x ter delcev.

1.1 Cilji naloge

Cilj magistrskega dela je raziskati možnost zmanjšanja vnosa delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje podzemne linijske infrastrukture z gradnjo brez izkopa.

1.2 Potek dela

V prvem delu podajamo pregled načinov vnašanja snovi v okolje. Tipičen vir vnašanja snovi v segmente okolja, ki škoduje okolju ali človekovemu zdravju in je posledica človekove dejavnosti, je na področju gradbeništva nedvomno graditev objekta. Glede na način vnosa snovi v okolje graditev objekta lahko obravnavamo kot razpršen ali točkovni vir. Pri gradnji podzemne linijske infrastrukture sta vir vnosa snovi v zrak, pri čemer izstopajo delci, gradbena mehanizacija ter manipulacija z izkopanim materialom in kamenim agregatom.

Delce, njihovo definicijo in nastanek obravnavamo v drugem delu. V osnovi delce glede na vir nastanka delimo na primarne in sekundarne. Primarni delci kot posledica človekove aktivnosti nastanejo zaradi zgorevanja in mehanskih procesov, sekundarni delci pa kot posledica kemičnih in fizikalnih reakcij v atmosferi. Glede na aerodinamični premer delce razvrščamo na nukleacijsko obliko (delci s premerom <50 nm), akumulacijsko obliko (50 nm do 1 μ m) ter grobe delce. Glede vpliva delcev na zdravje ugotavljamo, da so najnevarnejši delci, ki preko grla prodrejo v spodnje dihalne poti. V predelu pljuč, kjer poteka izmenjava plinov, lahko fini in ultrafini preidejo v kri. Podali smo tudi pregled zakonodaje, ki ureja vnos delcev v zrak.

V tretjem delu opredeljujemo način onesnaževanja (razpršeni-linijski, točkovni). Za oba načina gradnje smo analizirali operacije gradnje ter izpostavili te, ki povzročajo emisije delcev v okolje znotraj ograje gradbišča in tiste, ki so potrebni za obratovanje gradbišča. Za posamezno tehnologijo gradnje podzemne linijske infrastrukture podajamo izhodišča za izvedbo računa emisije delcev, vključno z izvedenimi meritvami lastnosti vzorcev zemljine, kamenega agregata in vremenskih podatkov v času gradnje na dveh gradbiščih.

Račun emisijskih faktorjev zaradi delovanja gradbišča smo izvedli po metodah Tier, ki jih predlaga priročnik Evropske agencije za okolje. Pri gradbeni cestni in necestni mehanizaciji in opremi smo upoštevali njihovo dejansko starost in z njo povezano vrsto agregata, dnevni čas obratovanja, moč motorja, porabo in vrsto goriva. Metodo Tier smo izbrali po odločitvenem drevesu glede na razpoložljivost podatkov. Pri manipulaciji z izkopano zemljino in kamenim agregatom smo prav tako uporabili metodo Tier, ki pa temelji na EPA AP-42. Upoštevali smo vlažnost materiala in hitrost vetra v času gradnje.

Interpretacijo rezultatov smo opravili v zadnjem delu naloge.

1.3 Hipoteza in pričakovani rezultati

Gradbišče zaradi dejavnosti, ki na njem potekajo, predstavlja vir onesnaženja. Izbira tehnologije gradnje podzemne linijske infrastrukture vpliva na stopnjo emisije delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v ozračje ter s tem predstavlja dodatek na obstoječo stopnjo onesnaženosti z delci na mikrolokaciji. S pravilnim izborom tehnologije gradnje, to je z gradnjo brez izkopa, se dodatno onesnaženje z delci lahko zmanjša, ne pa v celoti prepreči, prav tako se zmanjša celotni čas obratovanja gradbišča. Na območju gradbišča kot celote (izven in znotraj ograje)

so glavni viri emisije delcev dizelski motorji z notranjim izgorevanjem ter manipulacija z izkopano zemljino in kamenim agregatom. Pričakujemo, da so emisije delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom zanemarljive v primerjavi z emisijami delcev, ki so posledica procesa izgorevanja v dizelskih motorjih ter da se stopnja emisije delcev z globino jarka povečuje.

2 ONESNAŽEVANJE, OKOLJE, ČLOVEK

Obdobje, v katerem živimo, se srečuje s izrazitim onesnaževanjem okolja, ki ga s svojimi dejavnostmi povzroča človek. Pojem onesnaževanja zakonsko opredeljuje Zakonu o varstvu okolja. Definicija onesnaževanja okolja po omenjenem zakonu je »...neposredno ali posredno vnašanje snovi ali energije v zrak, vodo ali tla ali povzročanje odpadkov in je posledica človekove dejavnosti, ki lahko škoduje okolju ali človekovemu zdravju... (ULRS, št. 39/06 in spremembe)«.

Dva tipična vira vnašanja snovi v zrak, vodo ali tla, ki škoduje okolju ali človekovemu zdravju in je posledica človekove dejavnosti v gradbeništvu, sta nedvomno graditev in obratovanje objekta. Poleg omenjenih virov smo razpoznali tudi posreden vpliv graditve in obratovanja na človeka –vpliv nanj s sociološkega in psihološkega stališča.

Graditev objekta po Zakonu o graditvi objektov obsega projektiranje, gradnjo in vzdrževanje objekta. Obratovanje, ki je vezano na obratovanje ter s tem posredno na življenjsko dobo objekta, obravnavajo podzakonski akti Zakona o varstvu okolja.

2.1 Vnos snovi v okolje

Onesnaževanje se glede na način vnosa snovi v okolje deli na točkovno in razpršeno.

Točkovni vir onesnaževanja predstavlja vir onesnaževanja, ki ga lahko v prostoru nedvoumno določimo. Lahko mu geodetsko določimo pozicijo v prostoru s koordinatami, ga prikažemo na karti, spremljamo v GIS sistemu, izvajamo monitoring. Vpliv točkovnega vira se z večanjem od vira zmanjšuje. Tipičen primer točkovnega vira onesnaževanja podzemne linijske infrastrukture je točkovno puščanje distribucijskega plinovoda za zemeljski plin, točkovno puščanje kanalizacijske cevi. Tip označevanja vira onesnaževanja je točka.

Razpršeni vir onesnaževanja predstavlja vir onesnaževanja, ki ga v prostoru ne moremo nedvoumno določiti. Ne moremo mu geodetsko določiti pozicije v prostoru s koordinatami, pač pa ga opredeljujemo z območjem. Še vedno pa ga lahko prikažemo na karti, spremljamo v GIS sistemu, težje pa izvajamo monitoring. Tipična primera virov razpršenega vira onesnaževanja sta puščanje distribucijskega plinovoda za utekočinjeni naftni plin, puščanje kanalizacijskega sistema. Tip označevanja vira onesnaževanja je poligon.

2.1.1 Vplivi graditve in obratovanja objekta na človeka

Z gledišča umestitve objekta v prostor ter s tem njegovega neposrednega vpliva na človeka kot del okolja so po našem mnenju izmed predhodno naštetih procesov pomembni trije: projektiranje, gradnja in obratovanje. Človekovo dožemanje omenjenih procesov je pomemben, v nekaterih primerih celo odločujoč faktor, predvsem kadar vidno posegajo v njegovo bivanjsko okolje. Bivanjsko okolje človek dožema s socialnega vidika ter organoleptično.

Socialni vidik obsega človekovo dožemanje umestitve objekta v njegovo bivanjsko okolje, kako bo predvideni objekt v okolju sprejet pa je odvisno od vrste in namena objekta. Nekatere vrste objektov so lahko problematične še preden so dejansko v prostoru, kot so npr. nuklearna elektrarna, daljnovod, cesta itd..

Organoleptični vidik predstavlja človekovo dožemanje projektiranja, gradnje in obratovanja s čutili: vid, okus, tip, sluh in voh. Z vidom zaznavamo objekt ali nastajanje le-tega (npr. napredovanje gradnje, gradbišče, posledice gradnje itd.). Okus omogoča zaznavo morebitnega onesnaženja pitne vode, čutilo za tip pa je osredotočeno na podatke o obstoju, obliki, materialu. S sluhom sprejemamo podatke o zvočnih dražljajih (npr. hrup gradbene mehanizacije v času gradnje, obratovanje ceste ipd.), voh pa omogoča zaznavo vonjav (npr. delovanje kanalizacijskega sistema, delovanje dizelskih motorjev z notranjim zgorevanjem kot posledico delovanja gradbene mehanizacije, izlitje goriv, ipd.).

2.1.2 Vplivi graditve in obratovanja objekta na vodo

Točkovni in razpršeni vnosi snovi in toplote v vodo (razpršeni viri onesnaženja, industrijske odpadne vode, komunalne odpadne vode) spreminjajo njene biološke, kemijske in fizikalne elemente.

Agencija Republike Slovenije za okolje je imela v letu 2002 znanih 543 virov onesnaževanja. 86 virov onesnaževanja so predstavljale pretežno biorazgradljive odpadne vode iz živilske industrije, 457 pa industrijski viri, katerih odpadne vode vsebujejo nevarne snovi. Podatki temeljijo na onesnaževalcih, ki so skladno z zakonodajo dolžni izvajati obratovalni monitoring.

Tipičen točkovni vir onesnaževanja v času obratovanja predstavlja iztok iz čistilne naprave, razpršeni vir pa netesnost kanalizacijskega sistema.

V času gradnje predstavljajo tveganje za vnos snovi v površinske ali podzemne vode procesi na gradbišču ter mehanizacija, ki je na njem prisotna v času gradnje. Tipični predstavniki so izliv cementnega mleka v površinsko vodo, razlitje goriva ob pretakanju v delovne stroje. Slednji lahko npr. v kraškem vodonosniku preide v razpršenega.

2.1.3 Vplivi graditve in obratovanja objekta na tla

Kot navaja Zupan et al. štejemo med najpogostejše onesnaževalce tal kmetijstvo, industrijo, mesta (urbano onesnaževanje) ter promet (2008), dodamo pa lahko še nenadzorovana odlagališča odpadkov in naravno ozadje. Onesnaževala so organske ali anorganske sestave, po izvoru pa so antropogena ali naravna. Ko so onesnaževala v tleh se iz tal izločajo ali pa razpadajo.

Lobnik navaja, da so od nevarnih snovi v tleh najpogosteje prisotne težke kovine (Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, Hg, Cu), nitrati, radionukleidi, fluoridi in fosfati. Predstavniki organskih nevarnih snovi so dioksini, klorirani ogljikovodiki, poliklorirani bifenili, policiklični aromatski ogljikovodiki, fenoli, policiklični aromatski ogljikovodiki in mineralna olja, ki so v tleh prisotne kot posledica uporabe goriv, fitofarmaceutskih sredstev in vnosom blata čistilnih naprav ali kompostov (1992).

Tipičen točkovni vir onesnaževanja tal v času obratovanja predstavlja vnos blata iz čistilne naprave, razpršeni vir pa vpliv prometa, kmetijske dejavnosti ali mesta (promet, kurišča, industrija ipd.).

V času gradnje, a hkrati ne neposredna posledica obratovanja, predstavlja onesnaževanje tal vnos onesnažene zemljine, ki se uporablja kot zasipni material. Govorimo o razpršenem viru onesnaževanja. Točkovni vir v fazi gradnje onesnaževanja predstavlja onesnaženje zemljine z izlitjem goriv ali maziv.

2.1.4 Vplivi graditve in obratovanja objekta na zrak

Zrak se, enako kot tla, onesnažuje iz antropogenih virov in virov naravnega izvora. Antropogene vire predstavljajo zgorevanje fosilnih goriv pri proizvodnji elektrike, v prometu,

industriji in gospodinjstvih, industrijski procesi in uporaba topil, kmetijstvo. Naravne vire zastopajo izbruhi vulkanov, Saharski prah, razpršena morska sol (EEA, 2016a).

Tipičen točkovni vir vnosa snovi v zrak je dimnik velike kurilne naprave. Predstavnik razpršenega vira onesnaževanja je skupek malih kurišč v mestu, naselju ipd..

Kot navaja WHO je trenutno najbolj pereča in preučevana onesnaženost zaradi delcev, prilehnega ozona, dušikovega dioksida in žveplovega dioksida (WHO, 2016a), US EPA pa poleg omenjenih na seznam dodaja še svinec in dušikov monoksid (EPA, 2016a). EEA kot glavne krivce onesnaževanja navaja delce, prilehni ozon in dušikov dioksid (EEA, 2016b).

Ko govorimo o vnosu snovi v zrak v času gradnje podzemne linijske infrastrukture, smo osredotočeni na gradbišče kot celoto. Le-to zajema gradbeno mehanizacijo in opremo znotraj in izven ograje gradbišča ter posledice njihovega delovanja - manipulacijo z materiali.

Gradbišče zaradi pestrega nabora procesov na njem zajema velik spekter onesnaževal, pri čemer nedvomno izstopajo delci.

3 DELCI

Evropska agencija za okolje (v nadaljnjem besedilu: EEA) delce definira kot »skupno ime za fine trdne ali tekoče delce v atmosferi zaradi procesov na zemeljskem površju, ki se pojavljajo kot prah, dim, saje, cvetni prah in prašni delci zemljin (<http://glossary.eea.europa.eu/...>, 2016)«.

Slovar Združenih narodov (v nadaljnjem besedilu UN) delce razlaga kot »fine tekoče ali trdne delce kot so prah, dim, meglica, izpuhi ali smog¹ v zraku ali emisijah (United Nations, 1997)«.

Ameriška agencija za okolje (v nadaljnjem besedilu: USEPA) delce opredeljuje kot »mešanico izjemno majhnih trdnih delcev in kapljic tekočin. Onesnaženje z delci je sestavljeno iz mnogoterih komponent, vključno s kislinami (nitrati, sulfati), organskimi kemikalijami, kovinami in prašnimi delci zemljin (USEPA, 2016)«.

Svetovna zdravstvena organizacija (v nadaljnjem besedilu: WHO) delce trdi, da »delci s stališča zdravja prizadenejo več ljudi kot katerokoli drugo onesnaževalo. Glavni gradniki delcev so sulfati, nitrati, amonijak, natrijev klorid, črni ogljik, prašni delci zemljin in voda. Sestavljen je iz kompleksne mešanice trdnih in tekočih organskih in anorganskih delcev, suspendiranih v zraku (WHO, 2016a).

Če povzamemo zgoraj navedene definicije EEA, UN, USEPA in WHO, govorimo o kompleksni mešanici zelo majhnih delcev, suspendiranih v atmosferi, ki se v njej pojavijo kot posledica delovanja narave in/ali človeka. Pojavljajo se v trdni in tekoči obliki, glede na izvor so organski in anorganski. Mešanica omenjenih delcev in plina (npr. atmosferski zrak) tvori aerosol.

Lastnosti delcev so tesno povezane z njihovim nastankom, velikostjo, kemijsko sestavo. Definicij omenjenih pojmov ni možno nedvoumno razmejiti, zato se pri opisu lastnosti delcev (nastanek, velikost, kemijska sestava) pogosto prepletajo. V literaturi se pojavljajo definicije delcev, vezane na aerodinamični premer, kot je prikazano v tabeli spodaj.

¹ smog, skovanka angleških besed smoke in fog

Tabela 1 Definicije delcev, vezane na njihovo velikost

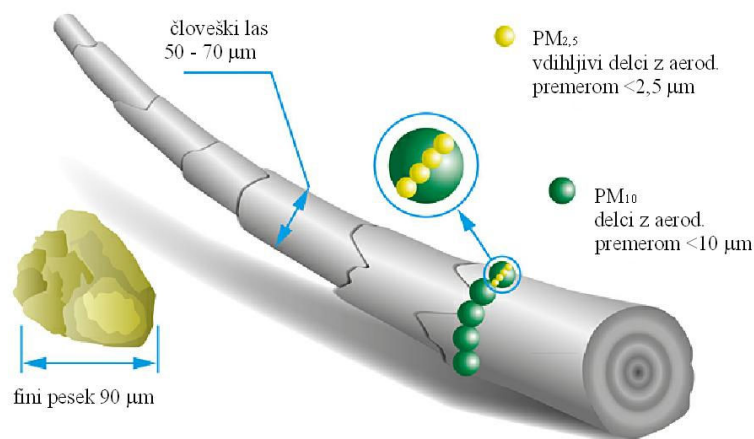
Table 1 Particulate matter definition

Naziv	Definicija	Vir
nanodelci	delci z aerodinamičnim premerom <50 nm	1
ultrafini delci	delci z aerodinamičnim premerom <100 nm (0,1 µm)	1
fini delci	delci z aerodinamičnim premerom <1 µm	1
fini delci	delci z aerodinamičnim premerom <2,5 µm	1
grobi delci	delež izmerjene mase delcev PM ₁₀ minus PM _{2,5}	1
PM _{2,5}	delci, ki preidejo skozi dovod, kakor je opredeljen v referenčni metodi za vzorčenje in merjenje PM _{2,5} , SIST EN 14907, s 50-odstotno učinkovitostjo za odstranjevanje delcev z aerodinamičnim premerom nad 2,5 µm	1
PM _{2,5} -PM ₁₀	(PM _{2,5} do PM ₁₀) grobi delci	1
PM ₁₀	delci, ki preidejo skozi dovod, kakor je opredeljen v referenčni metodi za vzorčenje in merjenje PM ₁₀ , SIST EN 12341, s 50-odstotno učinkovitostjo za odstranjevanje delcev z aerodinamičnim premerom nad 10 µm	1
skupni delci	delež skupnih delcev z aerodinamičnim premerom <50-100 µm	2
PM ₁₀	vdihljivi delci z aerodinamičnim premerom <10 µm. Delci prodrejo v spodnje dihalne poti z vdihavanjem skozi nos	2
delci v dihalnih poteh	delci, ki približno ustrezajo PM ₁₀	2
PM _{2,5}	delci z aerodinamičnim premerom pod 2,5 µm. Delci prodrejo v pljuča	2
črni dim (black smoke)	merilo za oceno »črnosti« delca, vzorčenega na belem filtrskem papirju. Ocena vsebnosti saj v vzorcu.	2
skupni delci	delež skupnih delcev z aerodinamičnim premerom <35 µm	3

(1 Particulate matter in the UK 2015, 2 Steinar 2015, 3 Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub... 2016)

Prvi standard NAAQS, vezan na meritve delcev, je nastajal v Združenih državah Amerike in temeljil na masni koncentraciji skupnih delcev (TSP). Leto 1987 je bila velika prelomnica na področju meritev delcev-namesto meritve TSP je bila uvedena meritve PM₁₀. V obdobju med 1971 in 1987 se je z raziskavami delcev na področju zdravja izkazalo, da se v območju nad 10

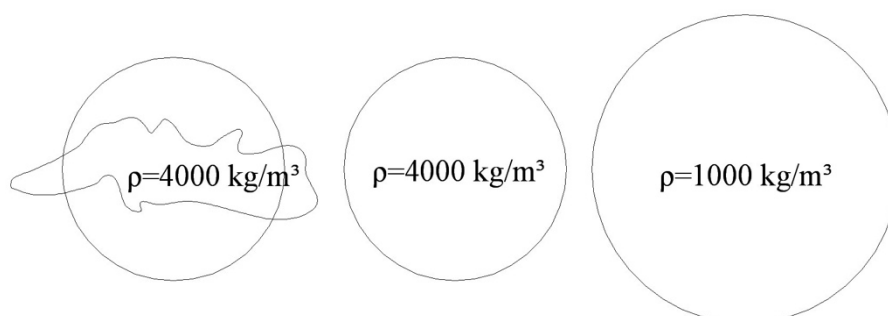
mikronov nahaja le majhno število delcev, na zdravje oz. dihala pa vplivajo le delci manjši od 10 μm . Uvedla se je meritev PM_{10} . V naslednjih desetih letih je EPA dodala še vrednost $\text{PM}_{2,5}$. (Brown et al., 2013, Cao et al., 2013).



Slika 1 Velikostni razredi delcev v primerjavi s človeškim lasom (Vir: Mann filter, 2016)

Figure 1 Size of particulate matter comparing to size of human hair (Source: Mann filter, 2016)

Aerodinamični premer (v nadaljnjem besedilu: premer) je definiran kot premer okroglega delca z gostoto 1 g/cm^3 in pomeni, da se v zraku obnaša kot vodna kapljica definiranega premera. Delci v popolnem brezvetrju enake oblike in velikosti pri istih pogojih (temperatura, tlak, relativna vlažnost), toda različne gostote, imajo različne aerodinamični premer (ARSO, 2016; SIST EN 481:1998, 1998). Delci različnih oblik in velikosti imajo enako hitrost padanja skozi zrak ter s tem enak aerodinamični premer.



Slika 2 Primerjava delcev različne gostote z enakim aerodinamičnim premerom in enako hitrostjo padanja

Figure 2 Comparison of particulate matter of different density, the same aerodynamic diameter and the same settling velocity

3.1 LASTNOSTI DELCEV

Delci se glede na vir nastanka delijo na primarne in sekundarne.

Primarni delci so posledica direktne emisije iz virov onesnaževanja; glede na nastanek so lahko antropogenega ali naravnega izvora. Primarni delci kot posledica človekove aktivnosti nastanejo zaradi zgorevanja in mehanskih procesov. Delci, ki nastanejo zaradi zgorevanja so: produkti zgorevanja motorjev z notranjim zgorevanjem (kopenski, morski, zračni promet), izpusti termoelektrarn, tobačni dim, individualna kurišča (les, premog, itd.). Delci mehanskega izvora so posledica delovanja kamnolomov, separacij, posledica kmetijske dejavnosti (npr. žetev, oranje), proizvodnja cementa, prometa (obraba zavor, pnevmatik, vozišč). Med primarne delce naravnega izvora se uvrščajo: dvigovanje delcev zemljine zaradi pojava vetra, aerosoli morske vode, naravno povzročeni požari v naravi, erozija kamenin, vulkanski prah, cvetni prah ipd (RS MOP ARSO, 2016, USEPA, 2016, MKGP, 2016).

Sekundarni delci naravnega ali antropogenega izvora nastanejo kot posledica kemičnih in fizikalnih reakcij v atmosferi (predvsem oksidacije), ki vodijo do nastanka težkohlapnih snovi. Le-te kondenzirajo v trdno ali tekočo obliko in tako postanejo delci.

Proces, v katerem nastajajo sekundarni delci, se imenuje nukleacija. Nukleacija je proces, v katerem težko hlapljive molekule kondenzirajo v tekočo ali trdno fazo. Poznana sta dva tipa nukleacije: heterogena in homogena.

Večina sekundarnih delcev v atmosferi nastane s heterogeno nukleacijo. Novo nastale snovi kondenzirajo na obstoječe delce in s tem povzročajo rast le-teh. Kondenzacija je najbolj izrazita na majhnih in srednje velikih delcih.

V procesu homogene nukleacije molekule z zelo nizkim parnim tlakom (težko hlapne) ter ob odsotnosti obstoječih delcev medsebojno kondenzirajo in s tem tvorijo nove delce.

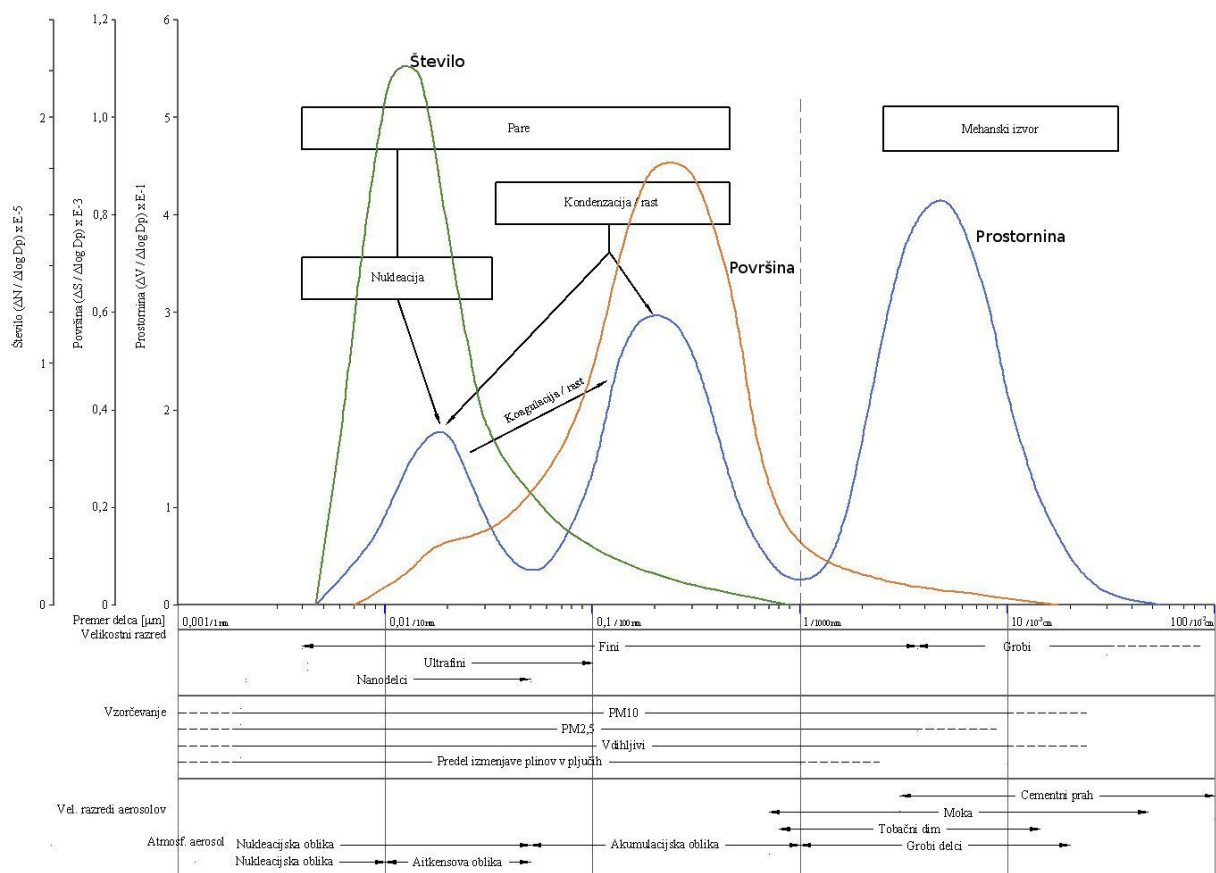
Nukleacijsko obliko tvorijo delci s premerom <50 nm.

»Območje <50 nm se nadalje deli na dve podobmočji. Območje <10 nm se definira kot nukleacijsko, območje 10-50 nm pa kot Aitkensovo (Hinds, 1999)«. Vsekakor delci <10 nm slej ko prej v procesu nukleacije preidejo v Aitkensovo območje zaradi procesa kondenzacije. Taki delci so prehodnega značaja, saj so razpršeni in podvrženi Brownovemu stohastičnemu gibanju v prostoru; to pa je že predpogoj za akumulacijo. Nukleacijski delci služijo kot osnova za nastanek kapljic oz. oblakov; posledično so odstranjeni iz atmosfere z izpiranjem. Meja kdaj nukleacijska oblika preide v akumulacijsko obliko ni ostro začrtana. Tako je v

literaturi zaslediti podatek, da je v »represntativnem vzorcu zunanjega zraka prehodno območje med obema oblikama med 1-3 μm (Colbeck, 2008)«. Delci ostanejo suspendirani v zraku 7-30 dni.

Delci, ki nastanejo z nukleacijo, se lahko povečujejo oz. rastejo (z akumulacijo oz. aglomeracijo) zaradi kondenzacije vodne pare in/ali koagulacije. Slednja se pojavi, ko delci - tako nukleacijski med seboj kot nukleacijski z akumulacijskimi - trčijo in se zlepijo. Pogoj za pojav koagulacije je seveda zadostna koncentracija delcev. Če ni pojava novega onesnaženja ali ne nastajajo novi delci z nukleacijo, upada koncentracija delcev, povečuje pa se njihova velikost. Ti delci so velikosti od 50 nm do 1 μm . Delci zaradi svoje velikosti niso podvrženi hitremu Brownovemu gibanju in usedanju, zaradi premajhne koncentracije delcev in počasne koagulacije ne dosežejo velikosti grobih delcev. Delci ostanejo suspendirani v zraku 1-2 tedna, so predmet daljinskega transporta, usedanju niso podvrženi, s padavinami se ne odstranjujejo učinkovito.

Grobi delci, delci večji od 1 μm , so praviloma mehanskega izvora, redkeje nastanejo z nukleacijo ali kondenzacijo. Tipični primeri virov grobih delcev so pridobivalne površine (kamnolomi, dnevni kopi), dvigovanje delcev zemljine zaradi pojava vetra, aerosoli morske vode, vulkanski prah. Zaradi njihove mase se že pojavlja usedanje. Čas obstoja v zraku je bistveno krajši kot pri delcih, ki nastanejo z nukleacijo in je reda velikosti nekaj ur do nekaj dni.

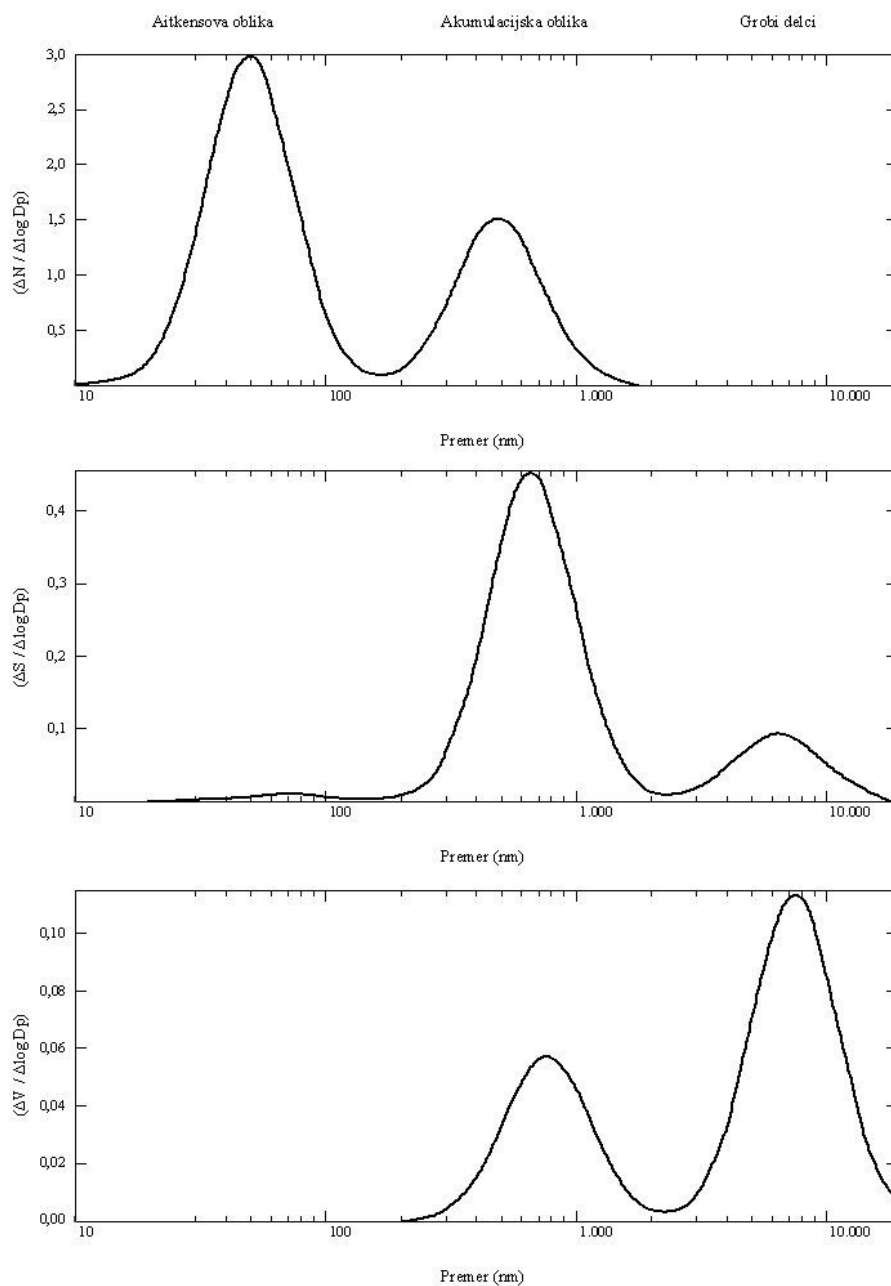


Slika 3 Shematski prikaz velikosti in nastanka delcev (Vir: prirejeno po Colbeck, 2008; Landesamt für Natur..., 2015)

Figure 3 Schematic diagram of the size distribution and modes of airborne particles (Source: adopted from Colbeck, 2008; Landesamt für Natur..., 2015; DEFRA, 2016)

3.2 PORAZDELITEV GLEDE NA VELIKOST, POVRŠINO IN PROSTORNINO

Analiza tipičnega vzorca zunanjega zraka glede porazdelitve delcev glede na velikost, površino in prostornino je prikazana na sliki 4. Po številu delcev je najbolj zastopano območje ultrafinih delcev (premer <100 nm), ki zavzema delež 70-80% skupnih delcev, preostanek zavzema akumulacijska oblika. Delci ultrafinega velikostnega razreda imajo relativno majhno površino in zanemarljivo maso v primerjavi z ostalimi delci. Po površini najbolj izstopa območje akumulacije; močno zaostajata območje nukleacije in grobih delcev. Največji prispevek k volumnu ima območje grobih delcev, pomemben delež pa prispeva območje akumulacije.



Slika 4 Porazdelitev tipičnega vzorca zunanjega zraka glede na število, površino in prostornino delcev (Vir: prirejeno po Colbeck, 2008; Landesamt für..., 2016)

Figure 4 Number, surface and volume aerosol distributions (Source: adopted from Colbeck, 2008; Landesamt für..., 2016)

Zgornja slika je za boljšo predstavbo tudi v številkah s predpostavko, da je vzorec sestavljen iz okroglih delcev (glej tabelo spodaj).

Tabela 2 Velikost delcev, njihovo tipično število in njihova površina (Vir: Defra, 2016)

Table 2 Particle size, typical particle number and surface area (Source: Defra, 2016)

Premer [μm]	Število	Površina
10	1	10
1	1×10^3	1×10^2
0,1	1×10^6	1×10^4
0,01	1×10^9	1×10^6

3.3 KEMIJSKA SESTAVA

Kemijska sestava finih in grobih delcev zunanje atmosfere se močno razlikuje. Ker je med območjem finih in grobih delcev razmeroma majhen masni pretok, se ti delci pojavljajo v zraku kot dva kemijsko ločena aerosola (Hinds, 1999).

V splošnem so fini delci kisli in vsebujejo večino sulfatov, dušikovih spojin, ogljikovodikov, elementarnega ogljika (saje), strupenih kovin in vode ter težke kovine v sledovih (As, Cd, Cs, Sr, Zn, Se).

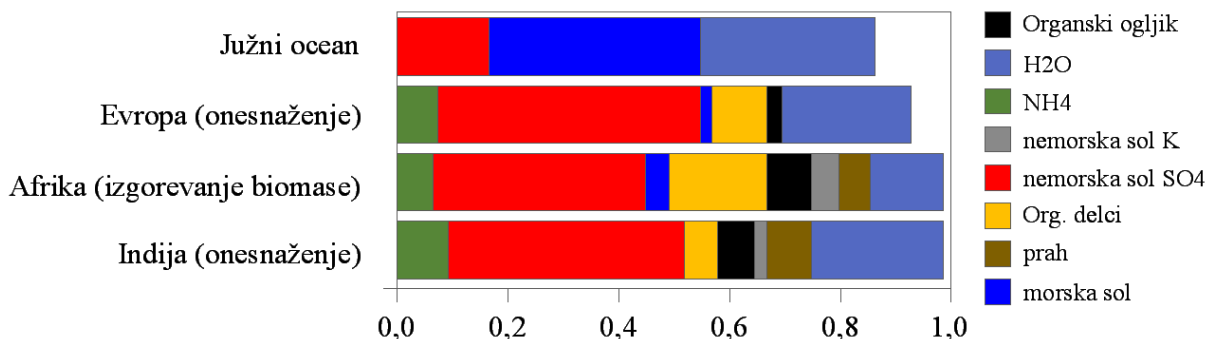
Grobe delce sestavljajo večinoma zemljine, silicij, železo, kalcij, aluminij in njihovi oksidi, soli ter drobcji organskega izvora.

Vsebnost oz. prevlada kemijskih komponent je neposredno odvisna od vira (glej sliko 5).

Tabela 3 Izvor kemijske komponente glede na vir onesnaženja (Vir: povzeto po Colbeck, 2008)

Table 3 Source of chemical components linked to the emitting source (Source: Colbeck, 2008)

Spojina	Nastanek
sulfati	sekundarna komponenta oksidacije SO_2 v atmosferi
nitriti	običajno prisoten kot NH_4NO_3 , nevtralizacija pare HNO_3 z NH_3 ali kot natrijev nitrat (NaNO_3) z zamenjavo H in Cl iz NaCl s paro HNO_3
amonijak	običajno prisoten v obliki amonijevega sulfata ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ali NH_4NO_3
natrij in klor	v obliki morske soli
elementarni ogljik	črni, grafitni ogljik, posledica zgorevanja fosilnih goriv in biomase pri visokih temperaturah
organski ogljik	komponente organskega ogljika. Primarni delci iz prometa in industrije. Sekundarni delci iz oksidacije hlapnih organskih spojin
mineralne snovi	trdni materiali (zemljine, kamnine), bogate z elementi Al, Si, Fe, Ca. Večinoma prisotni grobih delcih eolske erozije kamnin, gradnje, rušitvenih del
voda	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , NaCl vežejo nase vodo iz atmosfere pri visoki vlažnosti in se iz kristalčkov pretvorijo v tekočo raztopino.



Slika 5 Shematski prikaz prevladujočega aerosola na različnih lokacijah zemlje (Vir: U.S. department of commerce..., 2016)

Figure 5 Schematic showing the complexity of dominant aerosol composition based on shipboard measurements in various locations (Source: U.S. department of commerce..., 2016)

3.4 VPLIV DELCEV NA ZDRAVJE LJUDI

Delci s tem, ko preko dihalnih poti prodrejo v človeško telo, povzročijo nezanemarljive vplive na zdravje.

Kratkotrajna (akutna) izpostavljenost delcem se odraža kot draženje oči, nosu, grla, pljuč, težave pri dihanju, omotica.

Dolgotrajno izpostavljanje delcem povzroča zmanjšanje pljučne funkcije, razvoj kroničnega bronhitisa, aritmijo, lažje srčne kapi, prezgodnje smrti, raka mehurja, obolenosti srca, okvare DNK, okvare živčnega sistema.

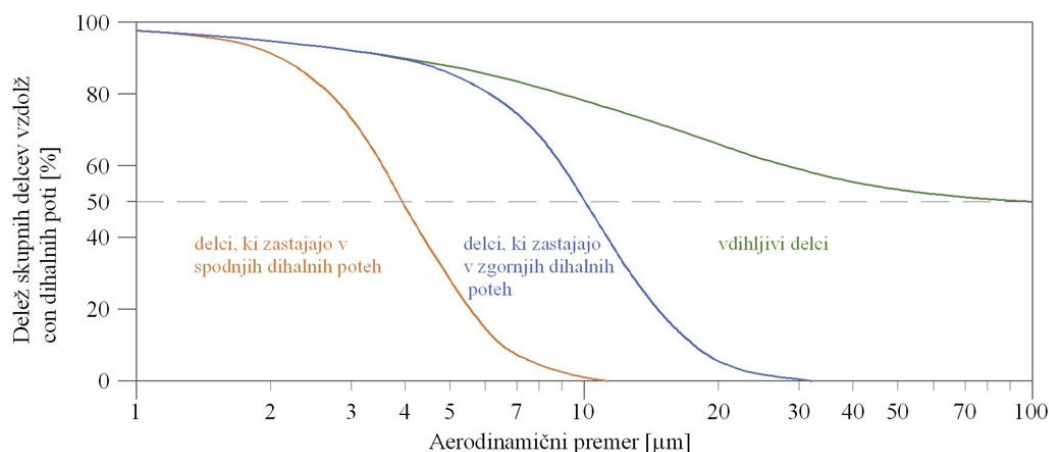
Zmožnost prodiranja delcev v dihalne poti se razlikuje glede na spol, starost, način dihanja (nos, usta) ter stopnjo ventilacije. Najbolj so ogroženi otroci, saj se pri njih pojavlja večji odstotek prodiranja delcev v spodnje dihalne poti (Brown, 2013).

3.4.1 Velikost delcev in dihalne poti

Medicinska stroka velikost delcev opredeljuje glede na možnost le-teh, da prodrejo v telo preko dihalnih poti. Vdihnejo se delci, ki so v bližini nosa in ust. Velikost delcev zraka na delovnem mestu opredeljuje standard EN 481:1998 in jih deli na tri skupine oz. cone:

- vdihljivi (ang. inhalable fraction): masni delež delcev od skupnih delcev, ki se vdihnejo skozi nos in usta ter se lahko odložijo vzdolž respiratornega trakta,
- delci, ki zastajajo v zgornjih dihalnih poteh (ang. extrathoracic fraction) masni delež delcev od skupnih delcev, ki se vdihnejo skozi nos in usta ter se lahko odložijo vzdolž respiratornega trakta, vendar ne prodrejo preko grla ($> 3,3 - 4,7 \mu\text{m}$),
- delci, ki zastajajo v spodnjih dihalnih poti (ang. thoracic fraction): masni delež delcev od skupnih delcev, ki se vdihnejo in prodrejo preko grla (sapnik, bronhiji) ($< 3,3 - 4,7 \mu\text{m}$),
- delci, ki prodrejo v predel pljuč, kjer poteka izmenjava plinov (ang. respirable fraction): masni delež delcev od skupnih delcev, ki se vdihnejo in prodrejo v pljuča (bronhioli, pljučni mehurčki-alveole (predel, kjer poteka izmenjava plinov) ($< 1 \mu\text{m}$).

V respiratorni sistem vstopijo vsi delci, ki opisujejo površino pod krivuljo vdihljivi delci (slika spodaj). Pri tem v spodnji del respiratornega trakta vstopi le 50% masnega deleža skupnih delcev.



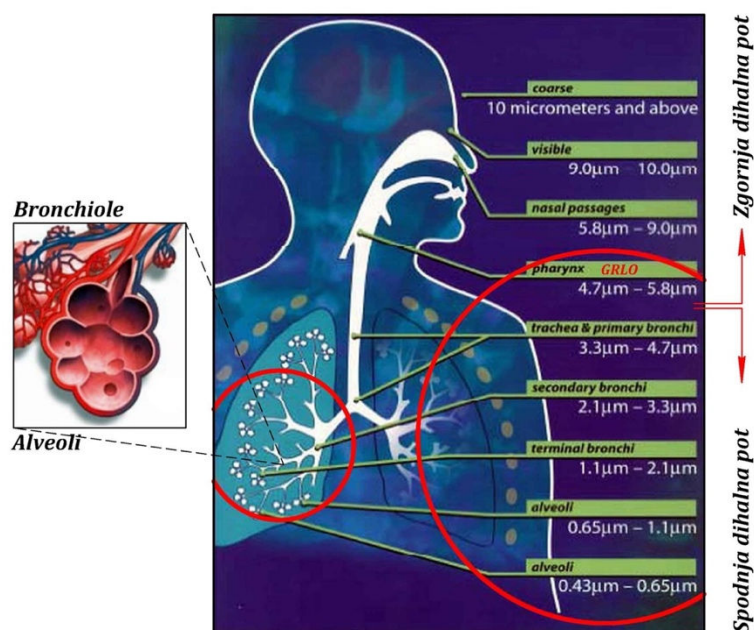
Slika 6 Diagram prodiranja delcev vzdolž con dihalnih poti izražena kot odstotek vseh lebdečih delcev (Vir: SIST EN 481:1998, 1998)

Figure 6 The inhalable, thoracic and respirable conventions as percentages of total airborne particles (Source: SIST EN 481:1998, 1998)

Večji delci se odložijo v nosu, ustih ali migetalkah bronhijev, kar povzroči draženje in kašelj. Izločijo se s kašljem, kihanjem ali skozi prebavni trakt s požiranjem, lahko pa v roku nekaj ur tudi z dihanjem.

Fini in ultrafini delci prodrejo do pljuč in alveol, kjer poteka izmenjava plinov v krvi. Enak mehanizem kot plini pa koristijo tudi ultrafini delci in nekatere v maščobi topne komponente, naložene na večjih delcih, ter prodrejo v krvni obtok. Običajno jih krvni obtok zanese do limfnih vozlov ali pa jih pojejo makrofagi. Del delcev kljub vsemu lahko ostane v pljučih ali krvnem obtoku leta ali pa se sploh ne izloči.

Na podlagi obširnih epidemioloških študij, vezanih na vpliv delcev na zdravje ljudi ter velikostni red delcev, deponiranih vzdolž dihalnih poti, sta se oblikovali vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$.



Slika 7 Anatomska zgradba dihalne poti in prodiranje delcev vzdolž dihalne poti glede na velikost (Vir: prirejeno po Poepping, 2014)

Figure 7 Anatomical construction of human respiratory system and particulate matter size penetration to respiratory system (Source: after Poepping, 2014)

3.4.2 Vplivi na zdravje glede na vrsto delcev

3.4.2.1 Ozon (O_3)

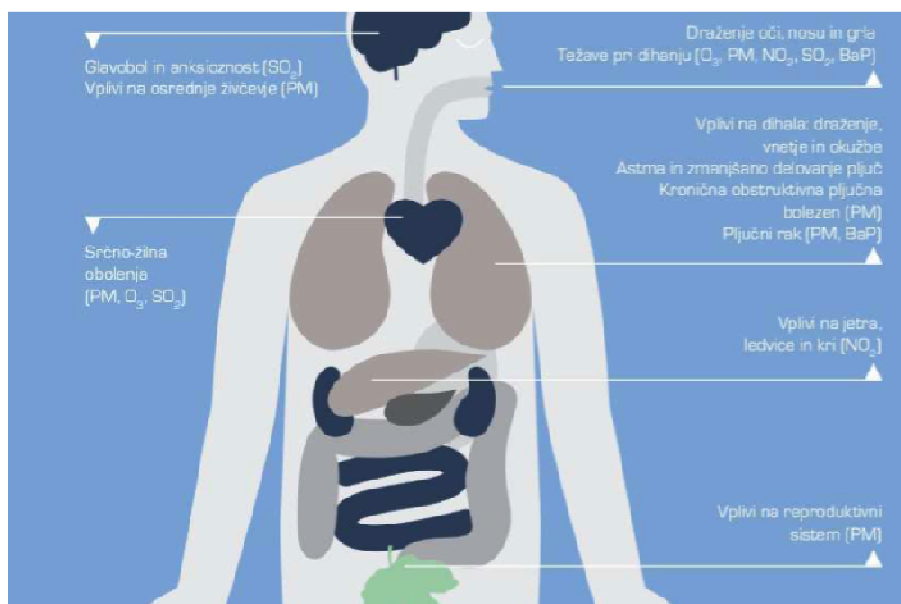
Na zdravje vplivata raven koncentracije in trajanje izpostavljenosti. Ozon lahko oteži dihanje, sproži astmo in povzroči okvare pljuč. Pri povišanih koncentracijah ozona se poveča smrtnost in pogostost srčnih obolenj (WHO, 2005b, WHO, 2016a).

3.4.2.2 Sulfati (SO_4)

Sulfati prizadenejo respiratorni sistem, zmanjšajo in povzročijo vnetje oči. Vnetje dihalnega trakta povzroča kašelj, izločanje sluzi, p anje astmatskih obolenj in kronične bronhitise. Pri povišanih koncentracijah sulfatov se poveča hospitalizacija bolnikov zaradi srčnih obolenj ter zviša smrtnosti (WHO, 2016b).

3.4.2.3 Nitrati (NO_3)

Dolgotrajna izpostavljenost NO_2 poveča težave pri otrocih, obolelih za astmo in bronhitisom, kratkotrajna izpostavljenost pa močno vnetje dihalnih poti (WHO, 2016b). P nico zaradi obolenj dihal ter imi obolenji dihal (Landesamt..., 2016).



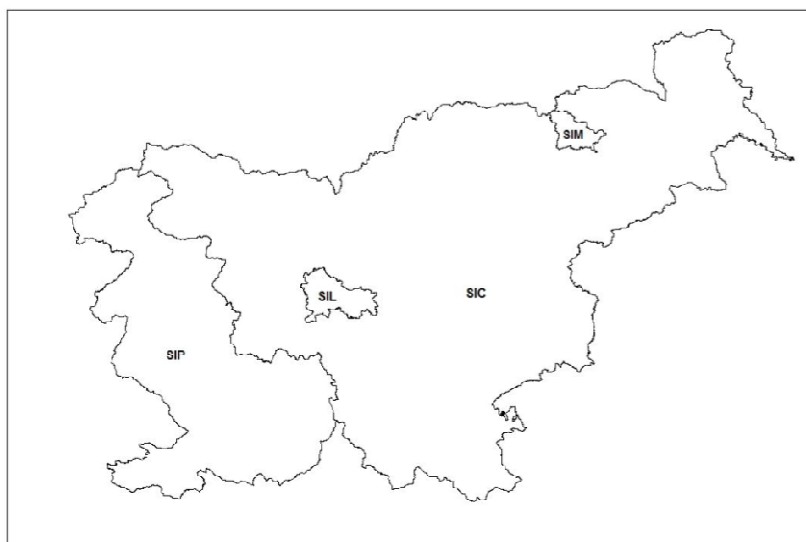
Slika 8 Vpliv loveka (Vir: ARSO, 2014)
Figure 8 Influence of different types of pollutant to human body (Source: ARSO, 2014)

3.4.3 Zakonodaja

ju kakovosti zunanjega zraka je »Zakon o varstvu okolja«, podzakonski akti, ki natančneje opredeljujejo posamezna področja, so:

- Uredba o kakovosti zunanjega zraka,
- Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka,
- nih aromatskih
ogljikovodikih v zunanjem zraku,
- ij zaradi upravljanja s kakovostjo zunanjega zraka,
- ij
glede na onesnaženost zunanjega zraka,
- nih virov onesnaževanja,
- Uredba o preprečevanju in zmanjševanju emisije delcev iz gradbišč,
- Pravilnik o emisiji plinastih onesnaževal in delcev iz motorjev z notranjim zgorevanjem, namenjenih za vgradnjo v necestne premične stroje.

Omenjeni krovni zakon in podzakonski ajo katera onesnaževala je potrebno spremljati, določajo pa tudi njihove mejne, ciljne, opozorilne in alarmne vrednosti.



Slika 9 ij in aglomeracij v Republiki Sloveniji glede na SO₂, NO₂, NO_x, delce PM₁₀ in PM_{2,5}, benzen, CO ter benzo(a)piren (Vir: UL RS, 2011)

Figure 9 Emission areas and agglomerations in the Republic of Slovenia according to SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀ and PM_{2,5}, benzene, CO and benzo(a)pyrene (Source: UL RS, 2011)

Območje Republike Slovenije je glede onesnaženosti z delci razdeljeno na dve območji in dve aglomeraciji, kot je prikazano v tabeli.

Tabela 4 Razdelitev Republike Slovenije na območja in aglomeracije (Vir: UL RS, 2011)

Table 4 Emission areas and agglomerations in the Republic of Slovenia (Source: UL RS, 2011)

Oznaka območja	Ime območja	Obseg območja glede na statistične regije
SIC	celinsko območje	Pomurska in Podravska brez Mestne občine Maribor, Koroška, Savinjska in Zasavska, Spodnjeposavska, Gorenjska, Osrednjeslovenska in Jugovzhodna Slovenija brez Mestne občine Ljubljana
SIP	primorsko območje	Goriška, Notranjsko-kraška, Obalno-kraška

Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije	Obseg aglomeracije
SIL	Ljubljana	območje Mestne občine Ljubljana
SIM	Maribor	območje Mestne občine Maribor

Glede na 5. člen Uredbe o kakovosti zunanjega zraka se lahko posamezna območja in posamezne aglomeracije razvrstijo v I. ali II. stopnjo onesnaženosti zraka, posamezno podobmočje pa se lahko razvrsti le v I. stopnjo onesnaženosti zraka.

»I. stopnja onesnaženosti zraka se za območje, podobmočje in aglomeracijo določi, če raven onesnaževala presega mejne ali ciljne vrednosti ali če obstaja tveganje, da bo raven onesnaževala presegla alarmno vrednost. II. stopnja onesnaženosti zraka se za območje in aglomeracijo določi, če raven onesnaževala ne presega mejne ali ciljne vrednosti.

Mejna vrednost je raven, določena na podlagi znanstvenih spoznanj, katere cilj je izogniti se škodljivim učinkom na zdravje ljudi oziroma okolje, jih preprečiti ali zmanjšati, in ki jo je v določenem roku treba doseči, ko pa se ta doseže, se ne sme preseči.

Tabela 5 Mejne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} (Vir: UL RS, 2011)

Table 5 Limit values for PM₁₀ and PM_{2,5} (Source: UL RS, 2011)

enja	Mejna vrednost [µg/m ³]	Datum, do katerega je i mejno vrednost
PM₁₀		
1 dan	kot 35-krat v koledarskem letu	-
koledarsko leto	40	-
PM_{2,5}		
I. STOPNJA		
koledarsko leto	25	1. januar 2015
II. STOPNJA		
koledarsko leto	20	1. januar 2020

Ciljna vrednost je raven, določena s ciljem izogniti se škodljivim učinkom na zdravje ljudi oziroma okolje, jih preprečiti ali zmanjšati, in ki jo je treba, če je to mogoče, doseči v določenem času (UL RS, 2011)«.

Vrednosti mejnih in ciljnih vrednosti v Republiki Sloveniji so prikazane v tabelah v nadaljevanju. Nekatere vrednosti so bile v času od uveljavitve zakonodaje do danes že dosežene.

Tabela 6 Ciljno zmanjšanje izpostavljenosti PM_{2,5} na območju RS (Vir: UL RS, 2011)

Table 6 Target values of PM_{2,5} in the Republic of Slovenia (Source: UL RS, 2011)

OBVEZNOST GLEDE STOPNJE IZPOSTAVLJENOSTI		
Obveznost glede stopnje izpostavljenosti		eno z obveznostjo
20 µg/m ³		2015
CILJNE VREDNOSTI		
enja	Ciljne vrednosti	Datum, od katerega se uporablja ciljna vrednost
koledarsko leto	25 µg/m ³	1. januar 2010

JU REPUBLIKE SLOVENIJE			
Ciljno	ne		i ciljno zmanjšanje
	izpostavljenosti za leto 2010		izpostavljenosti
etna koncentracija v $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cilj zmanjšanja izpostavljenosti v odstotkih		
< 8,5 = 8,5	0%		2020
> 8,5 – < 13	10 %		2020
= 13 – < 18	15 %		2020
= 18 – < 22	20 %		2020
≥ 22	Vsi primerni ukrepi za doseganje vrednosti $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$		2020

WHO v svojih smernicah predlaga mejne vrednosti onesnaževal za delce pri kratkotrajni (24 h) in dolgotrajni (1 leto) izpostavljenosti (WHO, 2005b).

Tabela 7 WHO smernice za delce PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ (Vir: WHO, 2005b)

Table 7 WHO air quality guidelines for particulate matter PM_{10} and $\text{PM}_{2,5}$ (Source: WHO, 2005b)

	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Osnova za določitev
24 urna koncentracija, 99-ta percentila 3 dni/leto			
Air quality guideline (AQG)	50	25	na osnovi povezave med 24 urno koncentracijo in vrednostjo koncentracije PM v koledarskem letu
koledarsko leto			
Air quality guideline (AQG)	20	10	najnižji vrednosti, pri katerih je bila pri dolgotrajni izpostavljenosti $\text{PM}_{2,5}$ s 95% zanesljivostjo povečana smrtnost zaradi raka na pljučih ter kardiopulmonarnem sistemu

Za zmanjšanje izpustov PM_{10} v Sloveniji so bili po Operativnem programu varstva zunanjega zraka pred onesnaževanjem s PM_{10} predvideni naslednji ukrepi:

- zmanjševanje izpustov iz kurilnih naprav na nacionalni, regionalni in lokalni ravni,
- zmanjševanje izpustov iz cestnega prometa na nacionalni, regionalni in lokalni ravni,
- zmanjševanje izpustov iz industrijskih virov,

- zmanjševanje izpustov, ki nastajajo pri gradbenih delih (ARSO, 2016).

Zmanjšanje izpustov, ki nastajajo pri gradbenih delih, zajema Uredba o preprečevanju in zmanjševanju emisije delcev iz gradbišč, ki pa ne opredeljuje mejnih in ciljnih vrednosti. Omenjena uredba določa pravila v času izvajanja gradbenih del na gradbiščih, zahteve za gradbeno mehanizacijo in opremo ter ukrepe na gradbišču, s katerimi se lahko preprečijo oz. zmanjšajo emisije delcev v zunanji zrak.

3.5 VIRI DELCEV

Pri gradnji so na gradbišču glavni povzročitelji delcev transport, gradbena mehanizacija in oprema ter manipulacija z izkopano zemljino in kamenim agregatom.

V segment transport spadajo:

- izgorevanje goriva dizelskih motorjev prevoznih sredstev,
- mehanska obraba profila pnevmatik,
- mehanska obraba zavor,
- mehanska obraba vozišča,
- resuspenzija delcev s cestnih površin, bankin in neutrjenih površin.

V skupino gradbena mehanizacija in oprema se uvrščajo:

- izgorevanje goriva dizelskih motorjev gradbene mehanizacije,
- izgorevanje goriva dizelskih motorjev gradbene opreme,
- izgorevanje goriva dvotaktnih ali štiritalnih motorjev gradbene opreme.

Manipulacija z izkopano zemljino in kamenim agregatom zajema:

- nakladanje / razkladanje,
- druga manipulacija,
- resuspenzija zaradi prevoza.

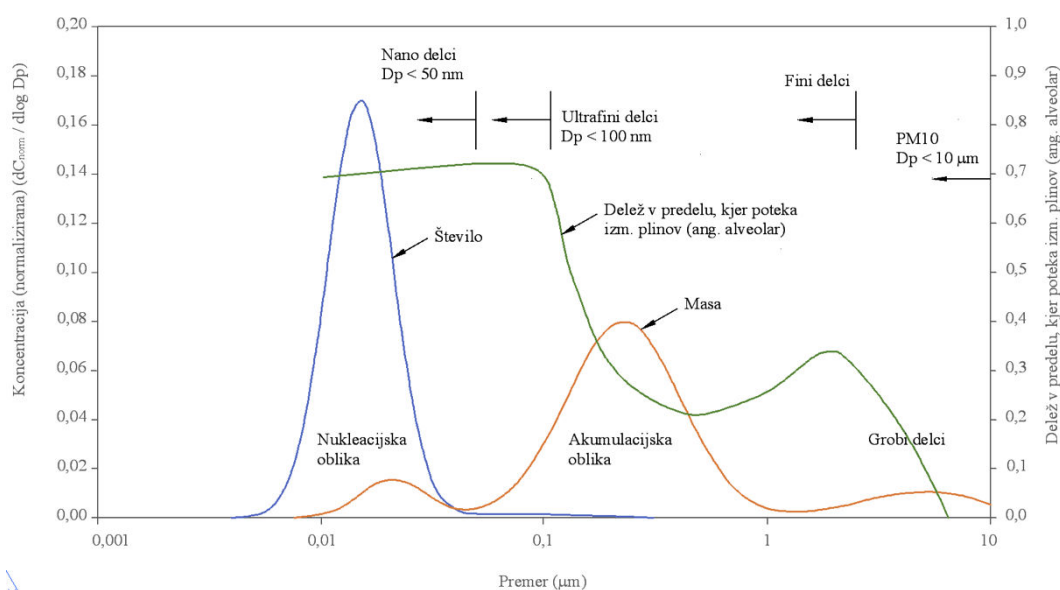
3.5.1 Izgorevanje goriva dizelskih motorjev

Idealni proces zgorevanja dizelskega motorja bi tvoril CO₂ in H₂O. Ker pa zgorevanje ni popolno, se v izpušnem sistemu pojavljajo še nezgorelo gorivo, maziva ter produkti delnega zgorevanja in pirolize.

Dizelsko gorivo sestavljajo C (83-87%), H (11-14%), S (0,5-6%), N (0,1-2%), O (0,05-1,5%) in kovine v sledovih (najpomembnejše so Fe, Al, Ca, Mg, Ni, V) (Sertić-Bionda, 2016).

Proces tvorjenja delcev se prične v cilindru, kjer razpršeno gorivo, zrak in del nezgorelih produktov prejšnjega cikla delno ali v celoti oksidirajo pri temperaturah med 1000 K-2300 K in tlaku 50-100 (150) atm. V 2 milisekundah, tlaku 150 atm in temperaturi 2500 K nastane ogljik (saje). Nastanek anorganskih pepelov je posledica prisotnosti kovin v gorivu in mazivih. Nastanejo po približno 10 ms, tlaku 20 atm in temperaturi pod 1500 K (Kittelson, 2001). Glavnina delcev nastane z nukleacijo ogljika in anorganskih pepelov; velikostni razred delcev je < 2 nm (U.S. EPA, 2002, Kittleson, 2001). Marjamäki navaja, da so delci velikostnega razreda pod 0,5 nm (2001).

Območje nukleacije vsebuje 1-20% mase in 90% delcev glede na število skupnih delcev, večina delcev glede na njihovo število v razponu je velikostnega razreda 3-30 nm. Liang v svoji študiji ugotavlja, da je 90% mase delcev v dizelskem izpustu manjših od $1 \mu\text{m}$ (2005).



Slika 10 Tipična porazdelitev delcev v izpustu dizelskega motorja (Vir: Kittelson, 2001)

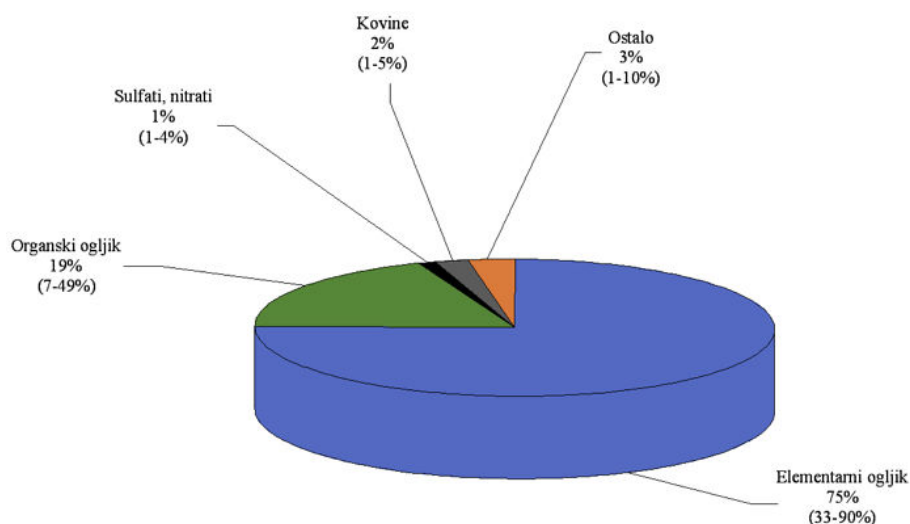
Figure 10 Typical size distributions and definitions as measured in diesel vehicle exhaust (Source: Kittelson, 2001)

Delci preidejo v akumulacijsko obliko (20 - 500 nm), površina delcev v cilindru raste zaradi koagulacije, adsorpcije in kondenzacije tako, da se nanje vežejo spojine z visoko molekulsko maso (žveplove spojine, ogljikovodiki - npr. PAH) v plinastem stanju (U.S. EPA, 2002;

Marjamäki, 2001). Specifične površine delcev znašajo 30-50 m²/g, po navedbah nekaterih avtorjev tudi do 90 m²/g (U.S. EPA, 2002). V fazi akumulacije je premer delcev od 30 - 500 nm, v tem območju je največja koncentracija mase delcev.

Grobi delci predstavljajo 5-20 % mase dizelskih izpustov. Predstavljajo jih reabsorbirani delci, odloženi v cilindru in vzdolž izpušnega sistema ter mehanski delci, ki nastajajo zaradi uporabe, obrabe itd. izpušnega sistema. Grobi delci so deponirani vzdolž izpušnega sistema in predstavljajo 5 - 20 % mase skupnih delcev.

Na ustju izpušne cevi težkega tovornega vozila pri enakomerni vožnji je temperatura izpušnih plinov približno 600°K. Na tej točki v nekaj desetinkah sekunde pride do 5-50 kratnega razredčenja predhodnikov delcev v uparjenem stanju (žveplova kislina, težki ogljikovodiki-ostanki maziv, goriva) in padca temperature zaradi mešanja z zunanjim zrakom. V tej točki poteka intenziven proces nastajanja delcev (večinoma hlapnih) z nukleacijo, prav tako pa vzporedno teče adsorbcija in kondenzacija že obstoječih delcev. Ogljikovi aglomerati tvorijo veliko površino kot osnovo za adsorbcijo, kar zavira nukleacijo. Po približno dveh sekundah je razredčenje že 1.000 kratno.



Slika 11 Tipična kemična sestava PM_{2,5} v procesu zgorevanja dizelskega goriva (U.S. EPA, 2002)

Figure 11 Typical chemical composition for diesel particulate matter (PM_{2,5}) from new (post-1990) HD diesel vehicle exhaust (U.S. EPA, 2002)

Evropska agencija za okolje v poročilu »EEA emission inventory guidebook 2013« za izračun emisij tovornih vozil predlaga vrednosti glede na tip vozila (lahko, težko tovorno vozilo), razred Euro motorja ter kategorijo vozila glede na dovoljeno skupno maso.

Tabela 8 Tier 2 emisijski faktorji za težka tovorna vozila* (Vir: Ntziachristos, 2013)

Table 8 Tier 2 emission factors for heavy-duty vehicles (Source: Ntziachristos, 2013)

Vrsta vozila tovorno vozilo	Razpon glede na razred Euro PM _{2,5} =PM ₁₀ =TSP	
	klasičen (ne Euro) g/km	Euro I – Euro VI g/km
<= 7,5t	0,333	0,129-0,0005
12 - 14 t	0,3344	0,201-0,0008
20 - 26 t	0,418	0,297-0,0012
>32 t	0,491	0,358-0,0013

*Emisijski faktorji so odvisni od razpoložljivosti podatkov ter se razlikujejo glede na metodo računa Tier 1, 2 ali 3.

Angleška agencija za okolje, hrano in kmetijstvo Defra predlaga faktorje emisije zgolj za skupne delce PM, loči pa jih glede na vrsto goriva (bencin, dizel), vrsto vozila (osebno vozilo, lahko tovorno vozilo do 3,5 t, težko tovorno vozilo nad 7,5 t itd.) in tipično hitrost glede na tip ceste. Vrednosti so določene na podlagi meritev v Veliki Britaniji.

Tabela 9 Emisijski faktorji za PM (g/km) za režime vožnje glede na tip ceste (Vir: Defra, 2015)

Table 9 Exhaust emission factors for PM (g/km) for different road types (Source: Defra, 2015)

Vrsta vozila	Razred Euro	Naselje	Lokalna cesta, primestn vožnja	Avtocesta
		[g/km]	[g/km]	[g/km]
tovorno vozilo nad 7,5t	Pred-1988	0,890	0,730	0,718
	88/77/EEC	0,426	0,350	0,344
	Euro I	0,220	0,180	0,177
	Euro II	0,153	0,124	0,123
	Euro III	0,111	0,089	0,089
	Euro IV (2006)	0,025	0,019	0,019
	Euro IV (2008)	0,025	0,019	0,019

Emisijski faktorji Tier 3 za necestna vozila in opremo so določeni glede na moč motorja in podani v g/kWh. Lastnost necestne gradbene mehanizacije in opreme namreč je, da je prisotna v omejenem območju znotraj območja gradbišča, deluje v časovnem obdobju, torej ne more biti izražena v enoti mase na razdaljo.

Emisijski faktorji Tier 2 PM_{10} oz. $PM_{2,5}$ ($PM_{10} = PM_{2,5}$) necestne mehanizacije znašajo 957 g/t goriva za dizelske motorje, 4.299 g/t goriva za 2-taktne motorje in 159 g/t goriva za 4-taktne motorje (EEA, 2013, povzeto po Winther, 2012).

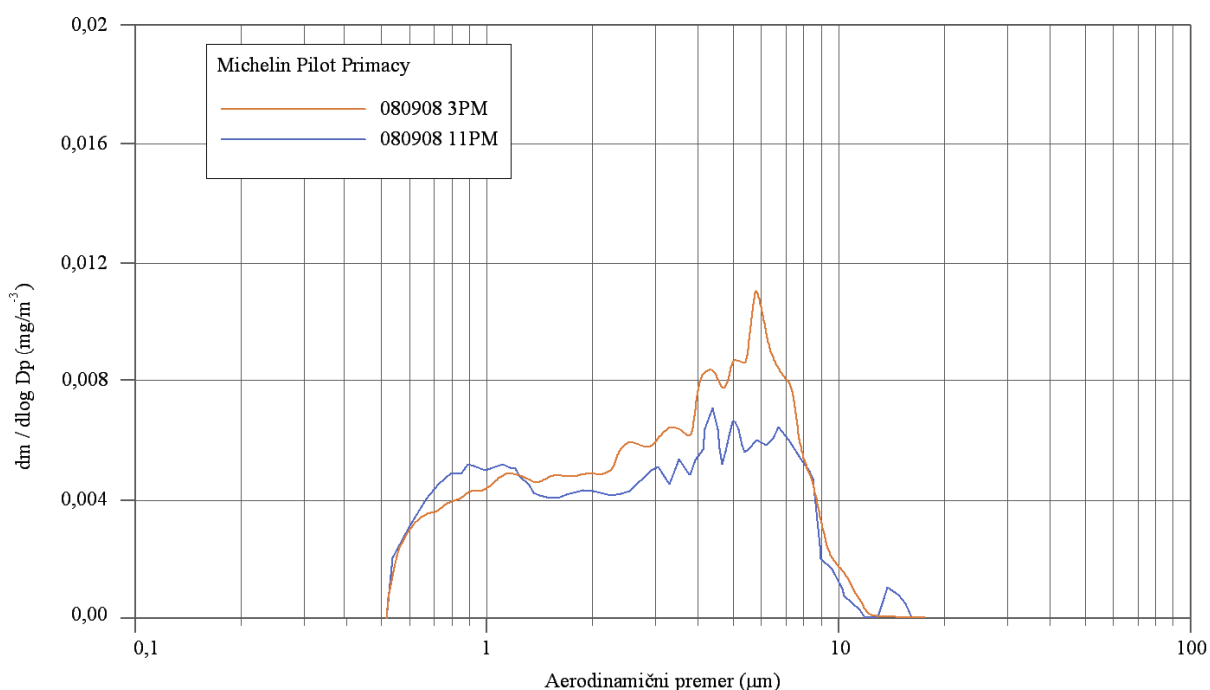
3.5.2 Mehanska obraba profila pnevmatik

Profil pnevmatike sestavlja mešanica različnih vrst gume (naravna, poli-butadien, stiren-butadien, nitridna, neoprenska, izoprenska, polisulfidna guma) in dodatkov (polnila, sredstva za vulkanizacijo, sredstva za zagotavljanje plastičnosti (smole, sintetična organska olja, ki vsebujejo PAH). Običajno razmerje sestavin za pnevmatike osebnih vozil je 75 % stiren butadien gume, 15 % naravne gume in 10 % polibutadiena (Ntziachristos, 2013). Profil pnevmatike sestavlja naravna guma 40%, stiren-butadien guma 30%, butadien guma 20 % in ostale gume 10 % (Grigoratos, 2014). Polnila so gumam dodana za izboljšanje mehanskih lastnosti. Tipičen vulkanizerski dodatek gumam za tovorna vozila je cinkov oksid ZnO (približno 2,1 %).

Mehanska obraba profila pnevmatike je fizikalno-kemijski-termični proces, ki ga ustvarja trenje med gumo in podlago. Odvisen je od kemijske sestave profila, njegove starosti, podlage, načina prenosa moči motorja na pogonski sklop, načina vožnje, vremena, hitrosti vožnje itd. Pričakovana življenjska doba pnevmatike tovornih vozil je približno 100.000 km, v veliki meri pa je odvisna od predhodno naštetih pogojev in osne obremenitve. Povprečna izguba materiala na profilu pnevmatike tovornega vozila v njeni pričakovani življenjski dobi je do 10 kg. Večina materiala se zgubi pri zavijanju, pospeševanju in zaviranju.

Zaradi trenja med podlago in profilom nastanejo veliki delci velikosti $> 20 \mu\text{m}$ in grobi delci delci $PM_{2,5} - PM_{10}$. Fini in ultrafini delci nastanejo zaradi termo-mehanskih in termokemičnih procesov (termična razgradnja polimerov, izhlapevanje hlapljivih dodatkov, kondenzacije ultrafinih delcev) pri temperaturah (lokalne točke) nad 180°C . Te se pojavijo pri intenzivnem speljevanju, sunkovitem zaviranju, drsenju v ovinkih. Povprečna velikost delca

je 80 μm (Ntziachristos, 2013; Grigoratos, 2014, Defra, 2016). Približno 0,1 - 10 % delež skupnih delcev zaradi obrabe profila pnevmatik je lebdečih. Večina študij kot rezultat na asfaltnih površinah navaja bimodalno masno porazdelitev PM_{10} s prvim vrhom v območju finih delcev ter drugim v območju grobih delcev: 1 μm in 8 - 9 μm meritve v laboratoriju (Grigoratos, 2014, po Panko et al. 2009), 2,5 μm in 10 μm meritve v realnem okolju z modeliranjem (Grigoratos, 2014, po Harrison et al., 2012). Unimodalno masno porazdelitev PM_{10} navajata pri meritvah v realnem okolju v razponu 2 - 3 μm (Grigoratos, 2014, po Kwak et al., 2013) ter 3 - 5 μm (Grigoratos, 2014, po Hussein et al., 2008).



Slika 12 Bimodalna masna porazdelitev delcev zaradi obrabe profila pnevmatik na asfaltni podlagi (Vir: Grigoratos, 2014, po Panko et al., 2009)

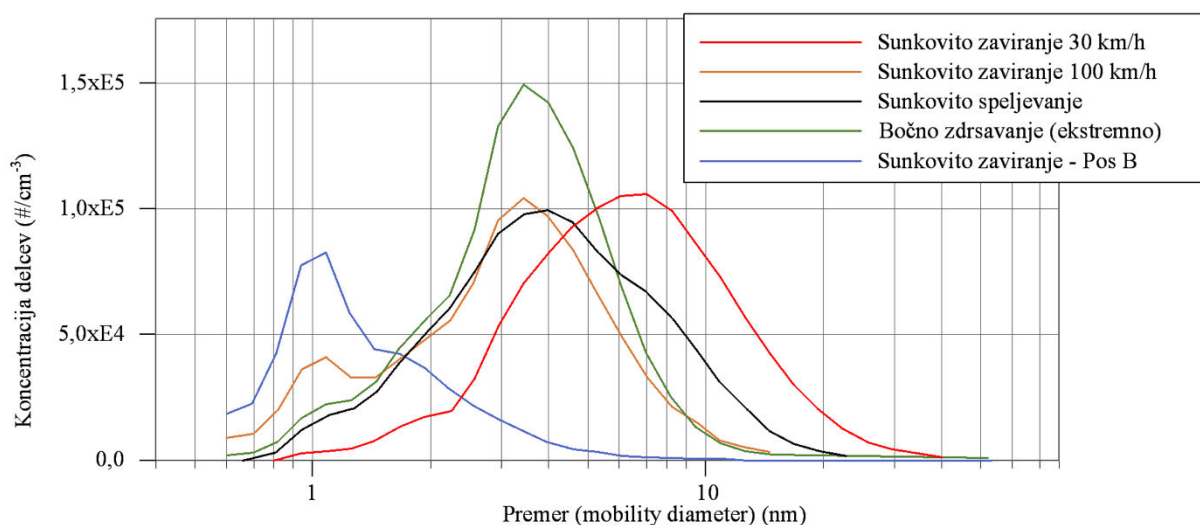
Figure 12 Bimodal mass distributions of particles generated from friction tyres running against different asphalt pavements (Source: Grigoratos, 2014, after Panko et al., 2009)

Pri porazdelitvi glede na število delcev na asfaltnih površinah stroka ni enotna. Meritve v laboratoriju navajajo tako unimodalno kot bimodalno porazdelitev, medtem ko meritve v realnem okolju navajajo unimodalno porazdelitev, a vse v območju ultrafinih delcev (glej tabelo 10). Tipični produkti pri obrabi profila (laboratorijske meritve), prisotni ves čas, so ogljikovodiki in žveplove spojine (Cadle, 1978).

Tabela 10 Porazdelitev delcev glede na število, pregled vrednosti iz literature (Vir: Grigoratos, 2014)

Table 10 Review of literature studies regarding the particle number distribution of airborne tyre wear particles (Source: Grigoratos, 2014)

Avtor	Okolje	Vrsta gume, vrsta podlage	Porazdelitev delcev glede na število
Panko et al. 2009	laboratorij	Letne gume na na asfaltni podlagi	Unimodalna (30-90 nm)
Kreider et al. 2010	laboratorij	standardiziranem asafalt betonu	Bimodalna (5 μm & 25 μm)
Kreider et al. 2010	realno okolje	letne gume na asfaltni podlagi	Unimodalna (25 μm)
Mathissen et al. 2011	On-road direct measurement	letne gume na običajni asfaltni podlagi	glej sliko 13



Slika 13 : Porazdelitev števila delcev glede na njihovo velikost pri različnih manevrih vozila (Vir: Grigoratos, 2014, po Mathissen et al., 2011)

Figure 13 Particle number size distributions for different maneuvers (Source: Grigoratos, 2014, after Mathissen et al., 2011)

OP.: Pojem “mobility diameter” predstavlja premer krogle, ki se v električnem polju giba z enako hitrostjo kot preiskovani delec.

V praksi so za izračun količine delcev v uporabi t.i. emisijski faktorji, ki omogočajo račun emisije delcev v okolje.

Emisijski faktorji (TSP) za tovorna vozila so v razponu 136 – 1.403 mg/vkm na vozilo (Ntziachristos, 2013). Emisijski faktor se razlikuje glede na uporabljeno metodo meritev (laboratorijska, analiza zraka, merjenje emisij v realnem okolju), števila osi, količine tovora, podlage itd.

Evropska agencija za okolje v poročilu »EEA emission inventory guidebook 2013« za oceno računa emisij tovornih vozil predlaga skupne faktorje obrabe profila pnevmatik in zavor. Vrednosti v poročilu so določene na podlagi pregleda literature oz. predhodnih rezultatov z omenjenega področja.

Tabela 11 Emisijski faktorji Tier 1, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba profila pnevmatik in zavor (Vir: Ntziachristos, 2013)

Table 11 Tier 1 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle tyre and brake wear combined (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesnaževalo	Vrsta vozila	Povprečna vrednost [g/vkm]	Spodnja vrednost	Zgornja vrednost
TSP	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0777	0.0462	0.1318
PM ₁₀	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0590	0.0500	0.0950
PM _{2.5}	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0316	0.0281	0.0541

Tabela 12 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba profila pnevmatik (Vir: Ntziachristos, 2013)

Table 12 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle tyre wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesnaževalo	Vrsta vozila	Povprečna vrednost [g/vkm]	Spodnja vrednost	Zgornja vrednost
TSP	tovorno vozilo nad 7,5t	potreben izračun	0,0227	0,0898

Tabela 13 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba zavor (Vir: Ntziachristos, 2013)

Table 13 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle brake wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesnaževalo	Vrsta vozila	Povprečna vrednost [g/vkm]	Spodnja vrednost	Zgornja vrednost
TSP	tovorno vozilo nad 7,5t	potreben izračun	0,0235	0,0420

Angleška agencija za okolje, hrano in kmetijstvo Defra v poročilu »Particulate matter in the UK« predlaga faktorje emisije zgolj za PM₁₀, loči pa jih glede na vrsto vira (obrada profila gume, obraba zavor), vozila (osebno vozilo, lahko tovorno vozilo do 3,5 t, težko tovorno vozilo nad 7,5 t) in tipično hitrost glede na tip ceste ter število osi. Vrednosti so določene na podlagi meritev v Veliki Britaniji.

Tabela 14 Povprečna vrednost emisijskega faktorja PM₁₀, obraba profila pnevmatik in zavor (Vir: Defra, 2016)
Table 14 Average PM₁₀ emission factors for tyre and brake wear in the UK (Source: Defra, 2016)

Vrsta vozila	Okolje vožnje	Obraba profila [g/1 os km]	Obraba zavor [g/km]
tovorno vozilo nad 7,5t	mesto	0,00918	0.0510
	lokalna cesta, primestna vožnja	0,00737	0.0271
	avtocesta	0,00608	0.0084

3.5.3 Mehanska obraba zavor

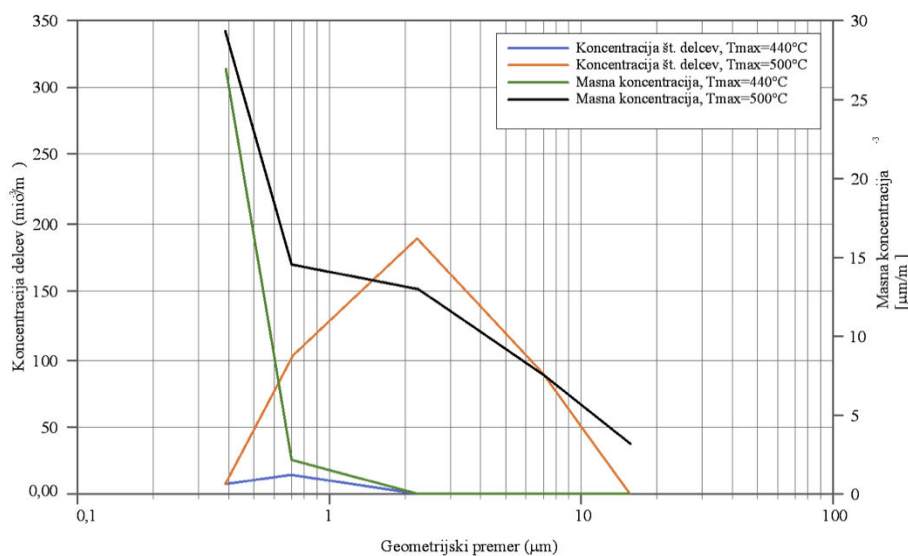
Glede na tip ločimo bobnaste in disk zavore, oboje pa delujejo na principu trenja, ki ustavi vozilo. Običajno se disk zavore uporabljajo v osebnih in lahkih dostavnih vozilih, bobnaste pa v težkih tovornih vozilih.

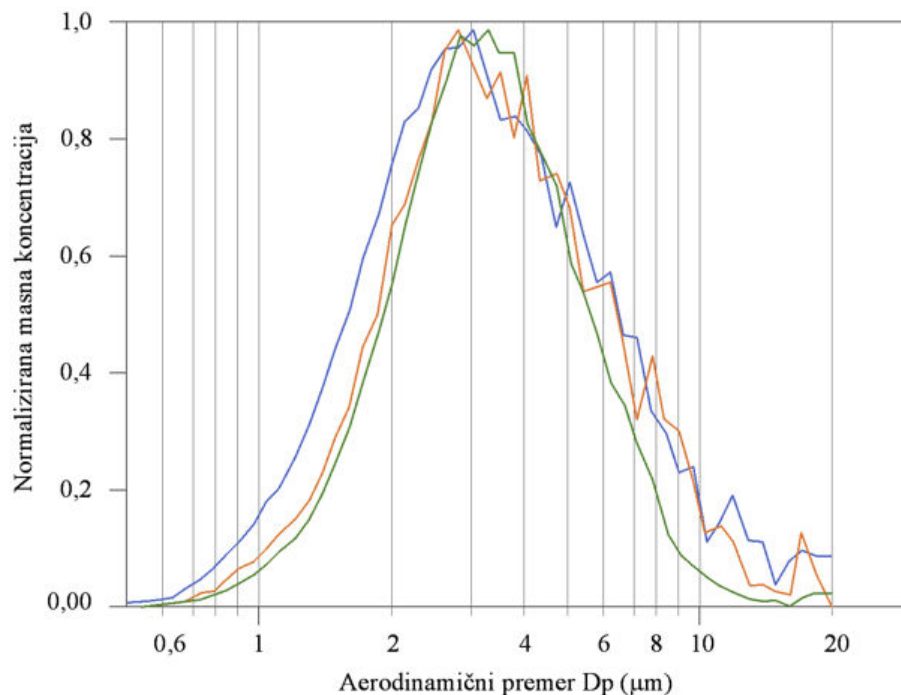
Zavorne obloge sestavljajo štiri glavne komponente: veziva, vlakna, polnila in snovi za ustvarjanje trenja. Kot veziva so uporabljeni fenol-formaldehidne smole, kot vlakna pa nastopajo kovine, minerali, keramika ali aramid ter vsebujejo jeklo, baker, medenino, azbest, organske materiale in kevlar. Predstavniki polnil so barijev sulfat, antimonov sulfat, kaolinske gline, magnezij, kromovi oksidi. Snovi za ustvarjanje trenja kot so grafit, prah lupine indijskih oreščkov, guma, so nadomestili nekdanj široko uporabljan azbest.

Mehanska obraba zavor je mehansko-kemijski-termični proces, ki ga ustvarja trenje med zavornimi oblogami in diskom oz. bobnom. Obraba zavor je odvisna od kemijske sestave, načina vožnje, režima vožnje, hitrosti vožnje itd. Pričakovana življenjska doba zavor, vgrajenih v tovorna vozila, je približno 60.000 km (Ntziachristos, 2013; Grigoratos, 2014, Defra, 2016). Največja koncentracija delcev je v bližini križišč, semaforjev, prehodov za pešce, ovinkov, cestninskih postaj, kjer je največja pogostost pojava zaviranja.

Kot navajata Grigoratos (2014) in Sanders (2003) je približno 50% delež skupnih delcev zaradi obrabe zavor lebdečih. Kot PM₁₀ je opredeljenih > 90 % glede na masno porazdelitev

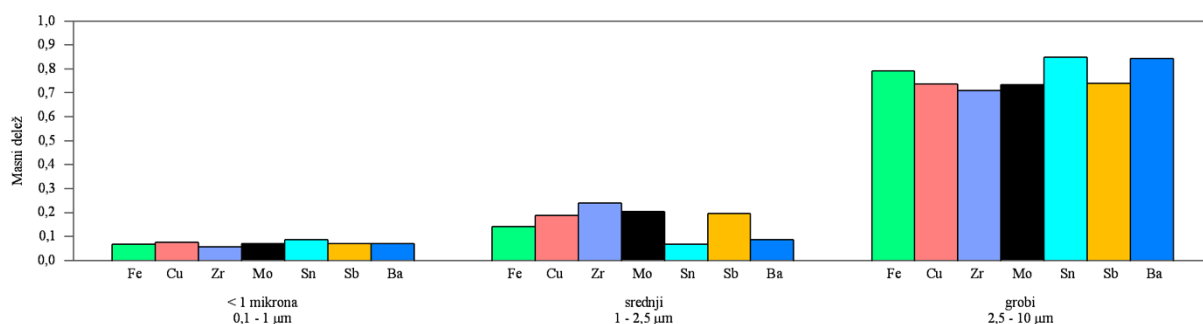
(von Uexküll et al., 2011) oz. kot z laboratorijskimi testi ugotavlja Sanders 70 - 90 % (2003). Iijima z raziskavami ugotavlja, da 74 % - 92 % števila delcev (v odvisnosti od temperaure zavornih ploščic) pade v $PM_{2,5}$, kar predstavlja 12 % - 36 % delež masne porazdelitve (2007). Rezultati študij navajajo unimodalno masno porazdelitev delcev z vrhom v razponu 2-3 μm (Grigoratos, 2014, po Harrison et al., 2012), 2 - 4 μm (Grigoratos, 2014, po Kukutschová et al., 2011) oz. 3 - 6 μm (dinamometer, laboratorijski preizkus) (Iijima et al, 2007). Eksplicitno za tovorna vozila unimodalno masno porazdelitev (vzorec prahu iz bobnov tovornih vozil) z vrhom 1 - 5 μm (geometrijski premer) navaja le von Uexküll (von Uexküll et al., 2011). Pri porazdelitvi glede na število delcev Iijima ugotavlja unimodalno porazdelitev z vrhom 1 - 2 μm (2007), von Uexküll pa 0,5 - 1 μm (2005). Literatura navaja tudi bimodalno porazdelitev glede na število delcev, z obema vrhovoma v območju finih delcev, od tega eden v območju ultrafinih ($< 100 \mu m$) (Grigoratos, 2015).





Slika 14 Zgoraj: porazdelitev glede na maso in število delcev prahu iz obrabe zavor pri zaviranju tovornega vozila v odvisnosti od temperature zavorne ploščice (Vir: von Uexküll et al., 2011), spodaj: masna porazdelitev prahu iz obrabe zavor v odvisnosti od temperature (Iijima, 2007)

Figure 14 Upper: particle number and mass distributions of brake dust emitted from stopping of HGV at different temperatures of brake pads (Source: von Uexküll et al., 2011), lower: normalized particle size distributions of brake abrasion dusts expressed as the mass at different temperatures of brake pads (Source: Iijima, 2007)



Slika 15 : Masni delež kovin emisije zaradi obrabe zavornih oblog tovornih vozil glede na velikost (Vir: Bukowiecki et al., 2009)

Figure 15 Fractional size contribution for HDV EFs determined for brake wear related trace elements (Source: Bukowiecki et al., 2009)

Emisijski faktorji (TSP) za tovorna vozila so v razponu 47 – 84 mg/vkm na vozilo (Ntziachristos, 2013). Razlika v vrednostih emisijskih faktorjev nastopa zaradi razlike v številu osi, količini tovora, podlage itd.

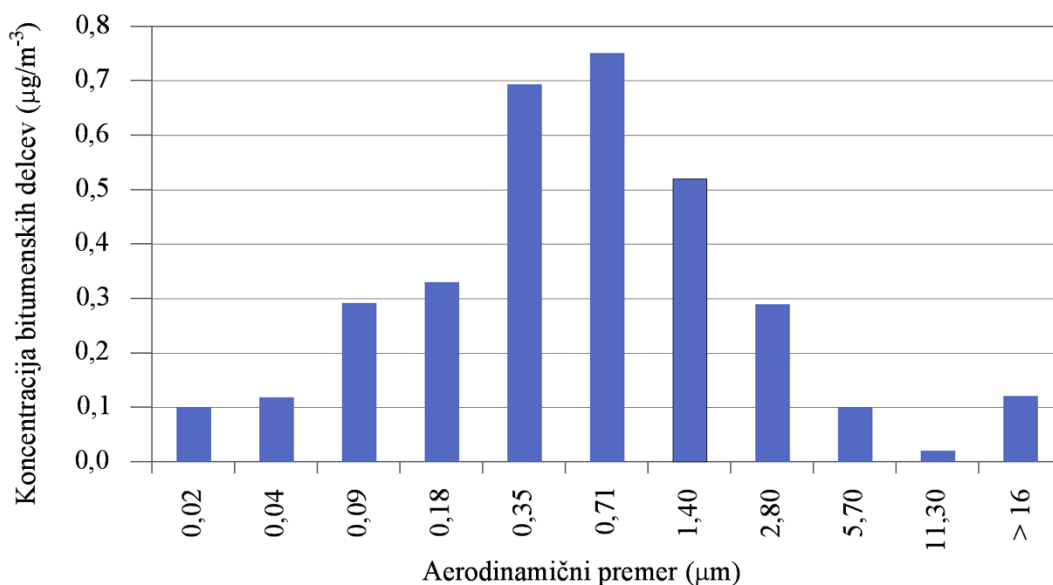
Evropska agencija za okolje v poročilu »EEA emission inventory guidebook 2013« za oceno računa emisij tovornih vozil predlaga skupne faktorje obrabe profila pnevmatik in zavor. Emisijski faktorji zaradi obrabe zavor po metodi Tier 1 in Tier 2 so prikazani v tabelah v poglavju 4.4.2. Vrednosti emisijskih faktorjev, ki jih predlaga Angleška agencija za okolje, hrano in kmetijstvo Defra, so prikazane v tabeli 4.

3.5.4 Mehanska obraba podlage

Ceste v Sloveniji, ki so utrjene, so večinoma zgrajene iz asfaltnih zmesi, redkeje iz betona. Asfaltno zmes sestavljajo (utežno razmerje) kamniti materiali 92 - 96 %, bitumensko vezivo 5 - 10 % ter dodatki (Henigman et al, 2006).

Mehanska obraba podlage je mehanski proces, ki ga ustvarja trenje med profilom pnevmatike in podlago. Obraba površine je odvisna od njene sestave, hitrosti vozila, tlaka v gumah in zunanje temperature; obraba podlage je intenzivnejša pri nižjih zunanjih temperaturah. Prav tako se poveča obraba podlage zaradi zimskega vzdrževanja (posipanje peska, pluženje, soljenje) in v primeru mokrega vozišča.

Pri obrabi podlage 71 % masnega deleža lebdečih bitumenskih delcev leži v območju 0,35 - 2,8 μm , unimodalna porazdelitev (Fauser, 1999). Lükeville navaja, da PM_{10} pri obrabi podlage zaradi prevoza težkih tovornih vozil predstavlja 50 % TSP, $\text{PM}_{2,5}$ pa približno 50% PM_{10} (2001).



Slika 16 Porazdelitev bitumenskih delcev v vzorcu zraka v Kopenhagnu glede na velikost (Vir: Fauser, 1999)
Figure 16 Bitumen particle size distribution in Copenhagen air (Source: Fauser, 1999)

Znanstvene raziskave, ki obravnavajo obrabo podlage, so zelo redke. Luhana v študiji, ki je bila izvedena v tunelu Hatfield (asfaltno vozišče) ugotavlja emisijske faktorje PM_{10} za težka tovorna vozila 29 mg/vkm (2004), ki so primerljivi z rezultati 38 mg/vkm, kot jih navaja Lükewille (2001).

Emisijski faktorji za obrabo podlage zaradi vožnje tovornih vozil, ki jih predlaga Evropska agencija za okolje, so prikazani v tabeli spodaj.

Tabela 15 Emisijski faktorji Tier 1, kategorija emisije 1.A.3.b.vii, obraba podlage (Vir: Ntziachristos, 2013)
Table 15 Tier 1 emission factors for source category 1.A.3.b.vii, road surface wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesnaževalo	Vrsta vozila	Povprečna vrednot [g/vkm]	Spodnja vrednost	Zgornja vrednost
TSP	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0760	0.0456	0.1026
PM_{10}	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0380	0.0228	0.0513
$PM_{2,5}$	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0205	0.0123	0.0277

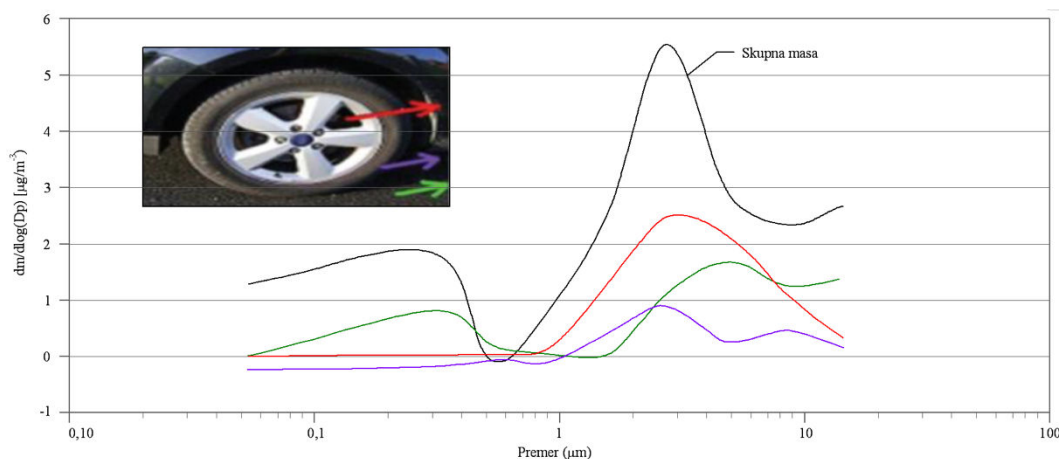
Tabela 16 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vii, obraba podlage (Vir: Ntziachristos, 2013)
Table 16 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vii, road surface wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesnaževalo	Vrsta vozila	Povprečna vrednot [g/vkm]	Spodnja vrednost	Zgornja vrednost
TSP	tovorno vozilo nad 7,5t	0.0760	0.0456	0.1026

Tabela 17 Emisijski faktorji Tier 2, kategorija emisije 1.A.3.b.vi, obraba zavor (Vir: Ntziachristos, 2013)
Table 17 Tier 2 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle brake wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesnaževalo	Vrsta vozila	Povprečna vrednot [g/vkm]	Spodnja vrednost	Zgornja vrednost
TSP	tovorno vozilo nad 7,5t	potreben izračun	0,0235	0,0420

Angleška agencija za okolje, hrano in kmetijstvo Defra predlaga faktorje emisije zgoj za PM_{10} na podlagi podatkov iz literature, to je 124 ± 71 mg/vkm (2016).



Slika 17 Masna porazdelitev delcev s pomočjo sledilnih delcev (Vir: Ntziachristos, 2013, po Harrison et al., 2012)

Figure 17 Reconstruction of micrometer particle mass through scaling of tracer elements. (Source: Ntziachristos, 2013, after Harrison et al., 2012)

3.5.5 Manipulacija z gradbenim materialom

Manipulacija z gradbenim materialom, ki povzroča emisijo delcev na gradbišču pri gradnji podzemne linijske infrastrukture, obsega operacije:

- odlaganje izkopanega materiala z bagrsko žlico na rob jarka,
- nakladanje izkopanega materiala z bagrsko žlico na keson tovornjaka,
- stresanje pripeljanega razsutega materiala s kesona tovornjaka,
- stresanje razsutega materiala z bagske žlice.

Na stopnjo emisije delcev vplivajo sledeči faktorji:

- lastnosti zemljine (vsebnost glinenih delcev, vlažnost),
- vremenski pogoji (vlažnost, hitrost vetra),
- višina stresanja, prostornina stresenega materiala.

Emisijski faktorji za gradnjo so, kot ugotavlja Muleski, slabo raziskani in so bili od sedemdesetih do devetdesetih v USEPA priročniku za določanje emisijskih faktorjev AP-42 omejeni na gradbišče kot ploskovni pojav z vrednostjo emisijskega faktorja $e = 2,7$ Mg (megagram)/mesec ha, TSP pa izraženi kot PM_{30} (2005).

V letu 1999 je Muleski s sodelavci izvedel študijo za določitev emisijskih faktorjev za nakladanje materiala iz zalogovnika na tovornjak z malim bagrom nakladačem ter stresanje s kesona tovornjaka. V študiji sta bila ločeno uporabljena lomljenec večje frakcije (ang. crushed rock) ter lomljenec enakomerne zrnavosti z veliko vsebnostjo prašnih delcev. Granulometrične krivulje, vremenski pogoji in višina stresanja v članku niso opredeljeni. Vsebnost gline v vzorcu je bila 8,9 - 11,4 % (2005).

Tabela 18 Emisijski faktorji pri nakladanju z bagrom na keson/stresanju s kesona (Vir: Muleski et al., 2005)
Table 18 Truck loading/unloading test results (Source: Muleski et al., 2005)

Operacija	Prostornina žlice/kesona [m ³]	Emisijski faktor PM_{10} [mg/kg]	
		Povprečna vrednost	Rang vrednosti
stresanje s kesona	5	0,00030	0,00015-0,00055
nakladanje z bagrom nakladačem	0,5	0,060	0,060-0,065

Evropska agencija za okolje v poročilu »EEA emission inventory guidebook 2013« za izračun emisijskih faktorjev predlaga uporabo USEPA priročnika za določanje emisijskih faktorjev AP-42, poglavje 13.2.4. Slednje temeljijo na manipulaciji z materialom v zalogovnikih agregatov. Poskusi, s katerimi so bili pridobljeni emisijski faktorji, so bili izvedeni v zalogovnikih premoga, kamnolomih, železove rude, termoelektrarnah, ki za gorivo uporabljajo premog in odlagališčih odpadkov. Emisijski faktor ni enotno določen ter se določi na podlagi računa, ki upošteva faktor aerodinamičnega premera, povprečno hitrost vetra in vlažnost materiala. Vsebnost gline in melja je upoštevana, čeprav se vrednost le-te v enačbi neposredno ne uporabi. Melj je določen po standardu ASTM-C-136, najbolj drobno sito je 75 μ m in ne 63 μ m kot pri sejalni analizi po standardu SIST-TS CEN ISO/TS 17892-4:2004, po katerem delamo na območju Slovenije.

3.5.5.1 Izkopana zemljina in kameni agregat

Za potrebe računa emisije delcev so bili na dveh gradbiščih v različnih vremenskih pogojih vzeti vzorci izkopane zemljine in kamenega agregata.

Lokaciji gradbišč sta:

- Bled-Mlino, prekop državne ceste za gradnjo podzemne linijske infrastrukture,
- Bled-Rečica, gradnja podzemne linijske infrastrukture in rekonstrukcija državne ceste.

3.5.5.1.1 Bled-Mlino

V sklopu gradnje podzemne linijske infrastrukture se je izvedlo prečkanje državne ceste. Cestno telo je v vrhnjem sloju do globine približno 1 m sestavljala mešanica naravne zemljine in materiala za zasip slabše kakovosti, do globine približno 2 m je temeljna tla sestavljala naravna zemljina. Podzemna voda kljub bližini jezera ni bila prisotna. Dela so se izvajala v nočnem času.

Odvzeta sta bila dva vzorca z lastnostmi, prikazanih v tabeli spodaj. Meteorološki parametri zraka niso bili izmerjeni.

Tabela 19 Vzorci izkopane zemljine in kamenega agregata z gradbišča Bled-Mlino
Table 19 Samples of excavated material and bedding material from Bled-Mlino construction site

Vzorec	Datum odvzema	Material	Vsebnost zrn pod 0,063 mm [%]	Vlažnost [%]
VZ-1	21.4.2016	drobljenec 0/4	5,60	0,02
VZ-2	21.4.2016	izkopana zemljina	10,91	6,00

3.5.5.1.2 Bled-Rečica

Na gradbišču Rečica se je v sklopu rekonstrukcije državne ceste izvajala gradnja podzemne linijske infrastrukture. Cestno telo se je v celoti odstranilo do kote -90 cm, izkop za jarke se je izvajal od kote -90 cm še približno 150 - 180 cm v globino ter od kote $\pm 0,00$ približno 250 cm v globino.



Slika 18 Globina izkopa od kote -90 cm (Vir: lastni arhiv)

Figure 18 Depth of trench excavation starting from level -90 cm (Source: personal archive)

Temeljna tla je sestavljala naravna zemljina. Podzemna voda ni bila prisotna. Dela so se izvajala v dnevnem času.

V razmaku treh tednov sta bila na gradbišču dvakrat vzeta dva vzorca z lastnostmi, prikazanimi v tabeli spodaj. Meteorološki parametri so bili spremljani.

Tabela 20 Vzorci izkopane zemljine in kamenega agregata z gradbišča Bled-Rečica

Table 20 Samples of excavated material and bedding material from Bled-Rečica construction site

Vzorec	Datum odvzema	Material	Vsebnost zrn pod 0,063 mm [%]	Vlažnost [%]
VZ-1	24.6.2016	separacija 0/4	39,00	5,24
VZ-2	24.6.2016	izkopana zemljina	11,29	4,68
VZ-10	9.7.2016	drobljenec 0/4	5,60	1,18
VZ-11	9.7.2016	izkopana zemljina	12,82	9,19



Slika 19 a) vzorec (obsip) VZ-1 b) vzorec (izkopana zamljina) VZ-2 c) lokacija odvzema vzorca VZ-2 č) izkopana zemljina, odložena na robu jarka (Vir: lastni arhiv)

Figure 19 a) bedding sample VZ-1 b) ditch spoil sample VZ-2 c) VZ-2 sampling point č) ditch spoil (Source: personal archive)

3.5.5.2 Meteorološki podatki

Na lokaciji gradbišča Bled-Rečica so bili s prenosno meteorološko postajo Vaisala MAWS201 spremljani meteorološki podatki.

Tabela 21 Meteorološki podatki z gradbišča na lokaciji Bled-Rečica

Table 21 Meteorological data from Bled-Rečica construction site

Datum	Čas. obdobje	Povprečna temperatura [°C]	Povprečna smer vetra [°]	Povprečna hitrost vetra [m/s]	Vlažnost [%]
24.6.2016	13.10 - 16:10	31,7	296	0,8	43
9.7.2016	10.40 - 13.10	-	-	-	-



Slika 20 Meritve meteoroloških parametrov s prenosno vremensko postajo Vaisala MAWS201 (Vir: lastni arhiv)
Figure 20 Measurements of meteorological parameters with portable weather station Vaisala MAWS201 (Source: personal archive)

3.5.5.3 Meritve emisij

Na lokaciji gradbišča Bled-Rečica smo dne 24.6.2016 in 9.7.2016 izvedli meritve emisij, ki nastanejo pri manipulaciji z izkopano zemljino in kamenim agregatom. Meritve smo izvedli s prenosno napravo GRIMM Environmental Dust Monitor EDM 107, ki v realnem času zagotavlja meritve delcev v velikostnem razponu 0.25 - 32 μm v 31 velikostnih razredih. Naprava deluje na principu osvetlitve delcev z laserskim snopom. Slednji delcem določi fizikalne lastnosti: masa, število in površina.

Meritve smo izvedli za sledeče operacije:

- zasip jarka s kamenim agregatom 0/4 (kontrolirani pogoji),
- zasip jarka z izkopano zemljino (kontrolirani pogoji),
- zasip jarka z izkopano zemljino (običajni pogoji dela),
- izkop jarka z nalaganjem na tovorno vozilo (kontrolirani pogoji).

Meritev je bila izvedena v jarku globine do 250 cm. Izkopana zemljina in kameni agregat sta se iz bagske žlice stresala z znane višine, to je 1,0 in 1,5 m.



Slika 21 Obsip cevododa s kamenim agregatom 0/4 (kontrolirani pogoji) (Vir: lastni arhiv)
Figure 21 Pipe overlay with crushed sand 0/4 mm (Source: personal archive)

Meritev smo izvajali po poenostavljeni tehniki meritve upwind-downwind, ki ga za meritve emisij delcev odobrava EPA. Slednja zahteva meritev pred in za virom emisije delcev glede na smer vetra. Zaradi omejenosti s številom inštrumentov in dejstvom, da se je meritev izvajala v jarku, smo ocenili, da je metoda z meritvijo z enim inštrumentom zadovoljiva. Hkrati z meritvijo emisije delcev smo spremljali smer vetra, ki je v vseh primerih izvajanja meritev pihala v smer lokacije inštrumenta. Način meritve emisije delcev je hkrati tudi izločil emisije delcev, ki nastanejo zaradi delovanja gradbene mehanizacije. Inštrument je bil v času meritve emisije delcev postavljen na polovici razdalje med bagsko žlico in dnom jarka, na horizontalni razdalji približno 0,5 m od toka zemljine oz. kamenega agregata. Kontrolirani pogoji pomenijo stresanje zemljine oz. kamenega agregata z znane višine in polno bagsko žlico. Običajni pogoji dela pomenijo stresanje zemljine oz. kamenega agregata z znane višine in polno bagsko žlico ter manipulacijo z materialom (ravnanje, premetavanje itd.).

4 OPIS MOŽNIH NAČINOV GRADNJE PODZEMNE LINIJSKE INFRASTRUKTURE

Gradnja podzemne linijske infrastrukture, neodvisno od izbire tehnologije gradnje, poteka po etapah. Območje gradbišča se premika skladno z napredovanjem polaganja linije infrastrukture, narava gradbišča pa je odvisna od tehnologije gradnje.

V običajnih pogojih gradnje dolžina gradbišča meri od nekaj 100 m do več kilometrov. Običajni pogoji gradnje so tam, kjer ni večjih grajenih ovir, geoloških in morfoloških posebnosti, zaščitene območij, malo obstoječe podzemne gospodarske javne infrastrukture ter gradnjo izven naseljenih območij.

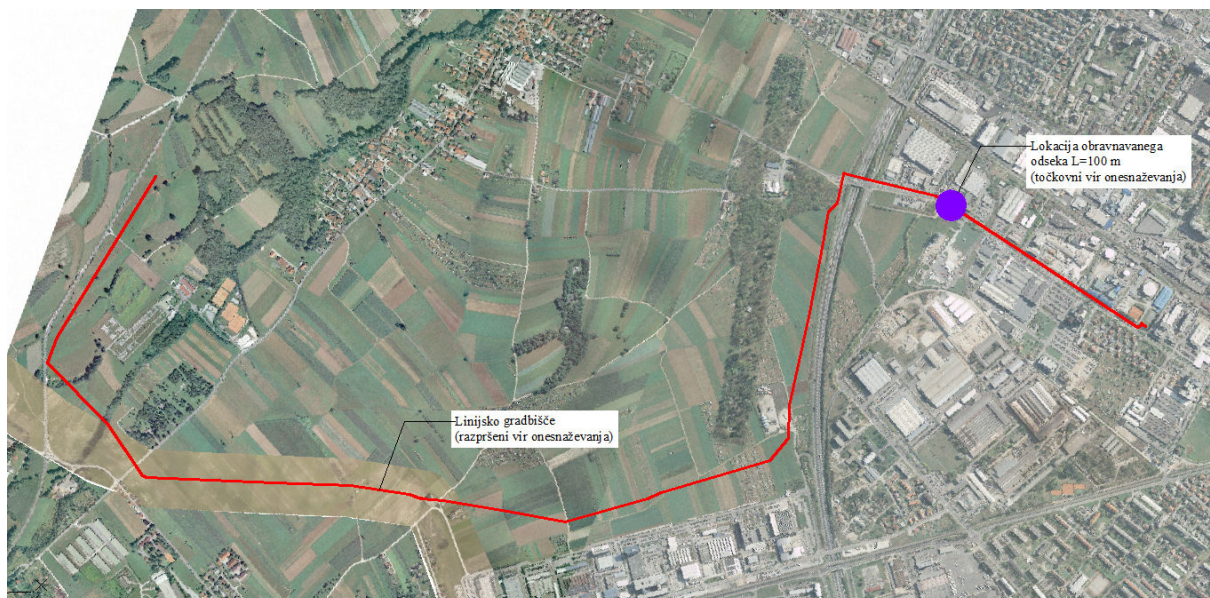
Na naseljenih področjih, še posebej v visoko urbaniziranem mestnem okolju, je dolžina gradbišča praviloma krajša, gradnjo ovirajo obstoječa podzemna gospodarska javna infrastruktura, vertikalne in horizontalne ovire ter promet.

Glede na dejstvo, da podzemno linijsko infrastrukturo pogojuje prisotnost poselitve, se gradnja praviloma odvija v bližini ali znotraj urbanega okolja mest in naselij. Zato za potrebe izračuna emisije delcev linijskega gradbišča obravnavamo vgradnjo podzemne linijske infrastrukture v mestnem okolju, kjer je že prisotna naravna in antropogena onesnaženost z delci. Podzemno linijsko infrastrukturo predstavlja jeklena ali PEHD cev (v nadaljnjem besedilu: cevovod).

Na makro ravni gradnjo linijskega objekta zaradi dolžine gradbišča od nekaj 100 m do nekaj kilometrov obravnavamo kot razpršeni (linijski) vir onesnaževanja. Obravnavani odsek dolžine 100 m v primerjavi z dolžino celotnega gradbišča (do nekaj kilometrov) lahko obravnavamo kot točkovni vir onesnaževanja, saj je vezan zgolj na eno, sorazmerno kratko območje v prostoru.

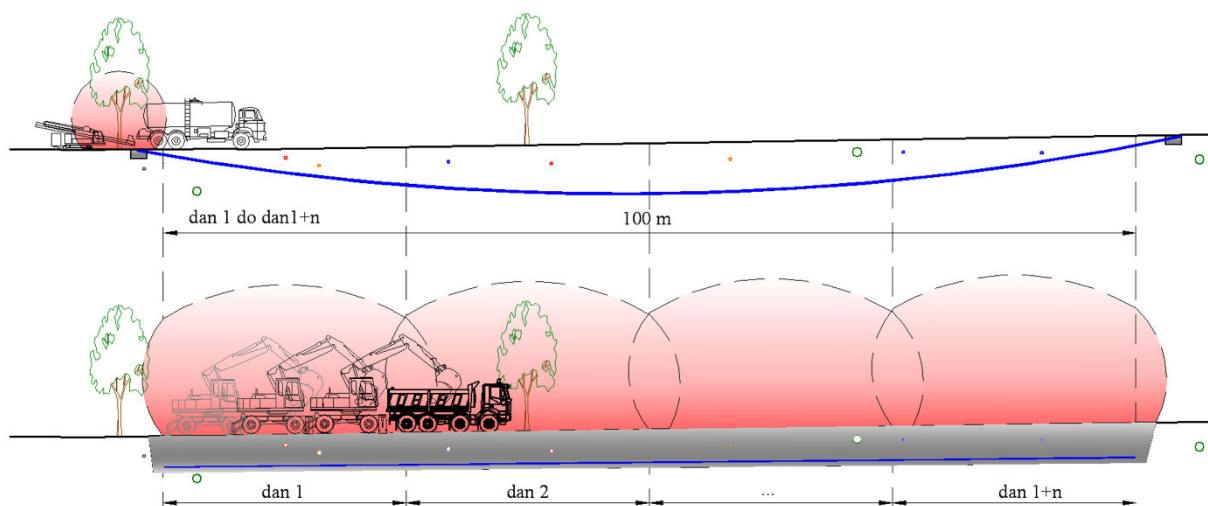
Na mikro ravni obravnavani odsek glede na izbrano tehnologijo gradnje ter posledično razporeditev emisije lahko obravnavamo kot:

- točkovno pri gradnji brez izkopa ali
- razpršeno (linijsko) pri gradnji z izkopom.



Slika 22 Makro raven: linijsko gradbišče kot razpršeni vir onesnaževanja ter odsek dolžine 100 m kot točkovni vir onesnaževanja

Figure 22 Macro point of view: linear shaped construction site as dispersed source of pollution and 100 m long section as point source of pollution



Slika 23 Mikro raven: linijsko gradbišče dolžine 100 m kot zgoraj) točkovni ali spodaj) razpršeni vir onesnaževanja

Figure 23 Micro point of view: 100 m long section of linear shaped construction site as upper) point or lower) dispersed source of pollution

Pri gradnji brez izkopa je gradbena mehanizacija in oprema ves čas gradnje vezana na eno točko gradbišča, pri gradnji z izkopom pa se pomika vzdolž linije dolžine 100 m.

Območje izven ograje gradbišča, ki jih predstavljajo prevozi, vezani na vzpostavitev in zapiranje gradbišča, pri obeh načinih gradnje opredeljujemo kot razpršeni-linijski vir onesnaženja.

4.1 Gradnja z izkopom

Večina gradnje podzemne linijske infrastrukture v Sloveniji se praviloma izvaja s klasičnim načinom gradnje, to je z izkopom. Klasičen način gradnje Ameriško združenje za gradnje brez izkopa (v nadaljnjem besedilu: NASTT) opredeljuje kot »poseg, pri katerem se izvaja izkop zemljine za vgradnjo, sanacijo ali pregled podzemne linijske infrastrukture, po končani gradnji pa se vzpostavi prvotno stanje, kot je bilo pred gradbenim posegom (NASTT, 2016)«.

4.1.1 Opis gradbišča in potek gradnje

Pričetek gradnje predstavlja priprava gradbišča. Po zakoličbi obstoječe in predvidene infrastrukture ter delovnega pasu za gradnjo se v vzdolžni smeri vozišča izvede polovična zapora ceste in zavarovanje gradbišča z gradbiščno ograjo. Sledi izkop jarka z odlaganjem zemljine vzdolž jarka. V kolikor izkopani material ni ustrezne kvalitete se nalaga na prevozno sredstvo ter odvaža na stalno deponijo. Prav tako se izkopani material nalaga na prevozno sredstvo ter odvaža na začasno deponijo znotraj ali izven območja delovnega pasu, če širina delovnega pasu ne dopušča odlaganja znotraj območja delovnega pasu. V odvisnosti od globine izkopa se pred izkopom ali v času izvajanja gradbenih del izvaja opaženje stranic jarka. Ko so zagotovljeni pogoji za varno delo v jarku, se prične izvajanje priprave jarka. Slednja obsega odstranitev večjih kamnov na dnu jarka, ki bi lahko poškodovali cev oz. njeno izolacijo ter izdelava peščene posteljice, na katero se položi cevovod. Cevovod se, če to omogočajo razmere, lahko položi kot ena predhodno zvarjena sekcija ali v kampadah. Cevovod se obsuje s peskom frakcije 0/4 mm, sledi zasip s prebranim izkopanim materialom z največjim premerom zrna 32 mm z utrjevanjem po slojih debeline približno 30 cm. Pod asfaltnimi površinami prebrani izkopani material zamenja tamponski drobljenec frakcije 0/32 mm, na katerem se izdelata fini planum frakcije 0/16 mm. Zaključek gradbenih del predstavlja izvedba vezane nosilne ter obrabne in zaporne plasti (grobi in fini asfalt) in zapiranje gradbišča.

Gradbišče je glede na razporeditev gradbene mehanizacije in opreme na mikro ravni linijsko.

Priprava gradbišča in gradnja potekata po zaporedju operacij, prikazanih v tabeli spodaj. V tabeli je tudi ovrednoten vpliv emisije delcev v zrak. Z »da« je ovrednotena operacija, ki ima zaradi svojega obsega in velikosti emisijskega faktorja vpliv na končni rezultat. Z »zanemarljiv« je ovrednotena operacija, ki sicer povzroča emisijo delcev v zrak, a ima na končni rezultat zanemarljiv vpliv ter se pri računu emisije ne upošteva.

Tabela 22 Operacije pri gradnji z izkopom, cevovod DN100

Table 22 DN100 pipeline construction site works phases, open cut

Operacija	Vpliv emisije
Priprava gradbišča	
prevoz in izdelava gradbiščne ograje	da
zakoličba komunalnih vodov, zakoličba trase, zakoličba delovnega pasu	zanemarljiv
premik gradbene mehanizacije (bager)	da
Izkop jarka	
rezanje asfalta	zanemarljiv
rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo	da
odvoz gradbenih odpadkov (porušenega asfalta) na deponijo	da
strojni in ročni izkop jarka z odlaganjem izkopane zemljine vzdolž jarka ali nakladanjem na tovorno vozilo	da
odvoz gradbenih odpadkov (izkopane zemljine) na deponijo	da
prevoz, razkladanje in izdelava opaža jarka	da
Zasip jarka	
priprava jarka	zanemarljiv
prevoz (dobava) peska frakcije 0/4 mm	da
izdelava posteljice s peskom frakcije 0/4 mm	da
priprava cevovoda: varjenje, izoliranje varov	zanemarljiv
polaganje cevovoda v jarek	zanemarljiv
obsip cevovoda s peskom frakcije 0/4 mm	da
zasip jarka s prebranim izkopanim materialom z največjim premerom zrna 32 mm in utrjevanje po slojih, material začasno deponiran vzdolž jarka	da
odstranitev, nakladanje in prevoz opaža	da
prevoz (dobava) tamponskega drobirja frakcije 0/32 mm	da
zasip jarka s tamponskim drobirjem frakcije 0/32 mm in utrjevanje po slojih	da

izdelava finega planuma frakcije 0/16 mm s komprimiranjem	da
premik gradbene mehanizacije (bager)	da
Asfalterska dela	
premik gradbene mehanizacije (finišer, valjar)	da
vgradnja vezane nosilne plasti (grobi asfalt)	da
vgradnja obrabne in zaporne plasti (fini asfalt)	da
premik gradbene mehanizacije (finišer, valjar)	da
čiščenje gradbišča, zapiranje gradbišča (prevoz ograje)	da

4.1.2 Gradbena mehanizacija in oprema, ki je vir emisije delcev

Gradnja z izkopom se izvaja z uporabo gradbene mehanizacije in opreme.

Gradbena mehanizacija in oprema pri gradnji z izkopom se pomika od začetne točke predvidene linije (stacionaža km X+000-1) do končne točke predvidene linije cevovoda (stacionaža km X+100+1), skladno z napredovanjem linije dnevnega izkopa jarka. V tabeli 23 so prikazane samo operacije gradnje iz predhodne tabele, ki bodo upoštevane v poglavju za račun emisij delcev v zrak, navedena pa je gradbena mehanizacija in oprema, ki bo upoštevana pri računu emisij delcev v zrak.

Tabela 23 Gradbena mehanizacija in oprema, gradnja z izkopom

Table 23 Construction plant and equipment, open cut

Operacija	Gradbena mehanizacija in oprema
Priprava gradbišča	
prevoz in izdelava gradbiščne ograje	tovorno vozilo
premik gradbene mehanizacije (bager)	tovorno vozilo s tovorno prikolico
Izkop jarka	
rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo	bager tovorno vozilo
odvoz gradbenih odpadkov (porušenega asfalta) na deponijo	tovorno vozilo
strojni in ročni izkop jarka z odlaganjem vzdolž jarka ali nakladanjem izkopanega materiala na tovorno vozilo	bager tovorno vozilo
odvoz gradbenih odpadkov (izkopanega materiala) na	tovorno vozilo

deponijo	
prevoz, razkladanje in izdelava opaža jarka	tovorno vozilo bager
Zasip jarka	
prevoz (dobava) peska frakcije 0/4 mm	tovorno vozilo
izdelava posteljice in obsip cevovoda s peskom frakcije 0/4	bager
zasip jarka s prebranim izkopanim materialom z največjim premerom zrna 32 mm in utrjevanje po slojih, material začasno deponiran vzdolž jarka	bager valjar »jež« žaba
odstranitev, nakladanje in prevoz opaža	tovorno vozilo bager
dobava tampona frakcije 0/32 mm, zasip jarka in utrjevanje po slojih	tovorno vozilo bager valjar »jež« vibronabijač »žaba«
izdelava finega planuma frakcije 0/16 s komprimiranjem	tovorno vozilo bager valjar vibronabijač »žaba«
premik gradbene mehanizacije (bager)	tovorno vozilo s tovorno prikolico
Asfalterska dela	
premik gradbene mehanizacije (finišer, valjar)	tovorno vozilo s tovorno prikolico
vgradnja vezane nosilne plasti (grobi asfalt)	tovorno vozilo finišer valjar vibronabijač »žaba«
vgradnja obrabne in zaporne plasti (fini asfalt)	tovorno vozilo finišer valjar vibronabijač »žaba«
premik gradbene mehanizacije (finišer, valjar)	tovorno vozilo s tovorno prikolico
zapiranje gradbišča (prevoz ograje)	tovorno vozilo

4.2 Gradnja brez izkopa

Po definiciji NASTT je gradnja brez izkopa »skupina tehnik novogradnje ali obnove podzemne linijske infrastrukture, ki ne ovira prometa, prebivalcev ali kakorkoli drugače povzroča motnje v okolici z najmanjšim možnim obsegom izvajanja izkopa zemljine (NASTT, 2016)«.

Tehnologija gradnje brez izkopa se uporabi, ko dela z izkopom niso izvedljiva, rentabilna ali predstavljajo nevarnost pri gradnji. Največkrat jo narekujejo omejitve v prostoru, kot so: horizontalne ali vertikalne ovire v prostoru, infrastrukturni objekti (ceste, železnice, letališča, komunalni vodi), zavarovana območja (območja kulturne dediščine, varstva narave, ipd.), naravne ovire (vodotoki, jezera, vzpetine), velike globine izkopov, gosta pozidanost, ki je z izkopom tehnično ni možno obiti ipd..

Osnovna delitev tehnologij gradnje brez izkopa za gradnjo podzemne linijske infrastrukture se deli na tri osnovne skupine:

- usmerjeno vrtnanje z radijskim vodenjem (v nadaljnjem besedilu: HDD),
- usmerjeno vrtnanje z optičnim vodenjem (v nadaljnjem besedilu: HAB),
- mikro tuneliranje (v nadaljnjem besedilu: MT).

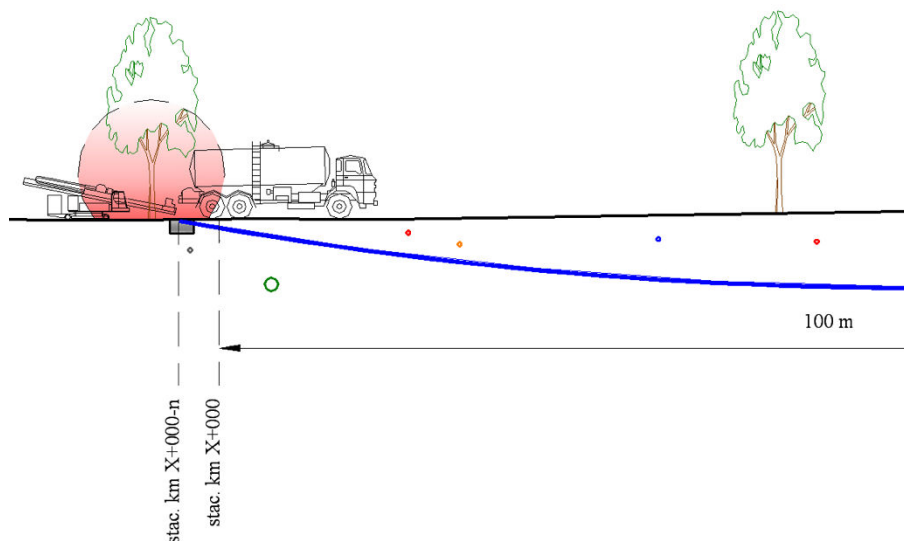
Izbira tehnologije gradnje je odvisna od mnogih dejavnikov, kot so npr.: tip linijske infrastrukture (komunalna, prometna infrastruktura), nazivni premer cevovoda, material cevovoda, geološki pogoji (sestava temeljnih tal), željena dolžina vgradnje cevovoda itd.. Od izbire tehnologije gradnje je odvisna tudi velikost gradbišča; glede na uporabljeno tehnologijo gradnje površina gradbišča meri od nekaj deset (HDD, HAB) do 1000 m² (MT).

Za vgradnjo cevovoda dolžine 100 m ob predhodno omenjenih predpostavkah smo izbrali tehnologijo usmerjenega vrtnanja z radijskim vodenjem HDD.

4.2.1 Opis gradbišča in potek gradnje

Pričetek gradnje predstavlja priprava gradbišča. Po zakoličbi obstoječe in predvidene infrastrukture ter delovnega pasu se izvede polovična zapora ceste z zavarovanjem z gradbiščno ograjo. Sledi izkop vstopnega in izstopnega jaška velikosti do 1,5 x 1,5 m z odlaganjem izkopenega materiala ob rob jaška. Ko je vrtalna garnitura na lokaciji vstopnega

jaška, se prične vrtnje pilotne vrtine od začetne točke predvidene linije (vstopna stran, stacionaža km X+000-n) do končne točke predvidene linije plinovoda (izstopna stran, stacionaža km X+100+n).



Slika 24 Lokacija vstopnega jaška pri izvedbi HDD
Figure 24 Entrance pit location during HDD boring

Smer in globina vrtalne glave pilotne vrtine se spremlja radijsko s površja. Na izstopni strani se na vrtalno drogovje namesti razširjevalec (ang. reamer) ter razširi pilotno vrtino do željenega premera, ki je vsaj 30% večji od premera vgrajene cevi. Vrtanje pilotne vrtine in širjenje pilotne vrtine se izvaja s sprotnim vbrizgavanjem vrtalne tekočine v vrtino. Vrtalna tekočina skupaj z izvrtanim materialom izteka v vstopni in izstopni jašek, kjer se prečrpa v cisterno. Sledi faza uvlečenja cevovoda. Cevovod se pred uvlečenjem zavari v celotni dolžini, pritrdi na vrtalno drogovje ter uvleče v vrtino.

Gradbišče je glede na razporeditev gradbene mehanizacije in opreme na mikro ravni obravnavano kot točkovno.

Priprava gradbišča in gradnja potekata po zaporedju operacij, prikazanih v tabeli 24. V tabeli je tudi ovrednoten vpliv emisije delcev v zrak. Z »da« je ovrednotena operacija, ki ima zaradi svojega obsega in velikosti emisijskega faktorja vpliv na končni rezultat. Z »zanemarljiv« je ovrednotena operacija, ki sicer povzroča emisijo delcev v zrak, a ima na končni rezultat zanemarljiv vpliv ter se pri računu emisije ne upošteva.

Tabela 24 Operacije pri gradnji brez izkopa, cevovod DN100

Table 24 DN100 pipeline construction site works phases, trenchless

Operacija	Vpliv emisije
Priprava gradbišča	
prevoz in izdelava gradbiščne ograje	da
zakoličba komunalnih vodov, zakoličba trase, zakoličba delovnega pasu	zanemarljiv
Izkop vstopnega in izstopnega jaška	
rezanje asfalta	zanemarljiv
strojni in ročni izkop vstopnega jaška z odlaganjem asfalta in izkopane zemljine ob rob gradbene jame	zanemarljiv
Izvedba vrtine in vgradnja cevovoda	
premik črpalke za izdelavo vrtalne tekočine in bagra	da
premik vrtalne garniture in tovornega vozila cisterna	da
delovanje mešalne naprave	zanemarljiv
izvedba pilotne vrtine in črpanje vrtalne tekočine	da
širjenje pilotne vrtine, uvlečenje cevovoda in črpanje vrtalne tekočine	da
premik vrtalne garniture	da
Zapiranje vstopnega in izstopnega jaška	
zasip z izkopanim materialom	zanemarljiv
Zapiranje gradbišča	
čiščenje gradbišča, zapiranje gradbišča	zanemarljiv

4.2.2 Gradbena mehanizacija in oprema, ki je vir emisije delcev

Gradnja brez izkopa se izvaja z uporabo gradbene mehanizacije in opreme. Gradbena mehanizacija in oprema so pri gradnji brez izkopa nepogrešljivi, saj zagotavljajo vzpostavitev robnih pogojev za pričetek gradnje brez izkopa. Številčni obseg gradbene mehanizacije in opreme na gradbišču je v primerjavi z gradnjo z izkopom zelo majhen ter je konstanten. Največji obseg je v času izvajanja vrtine.

Pri pripravi vstopnega in izstopnega jaška je prisotna gradbena mehanizacija in oprema na lokacijah vstopnega in izstopnega jaška, število je konstantno. Pri izvedbi vrtine je prisotna

gradbena mehanizacija in oprema, število je prav tako konstantno ter je locirano na lokaciji začetne točke predvidene linije (stacionaža km X+000-n) in končne točke predvidene linije plinovoda (stacionaža km X+100+n). V tabeli spodaj so prikazane samo faze gradnje iz predhodne tabele, ki bodo upošteevane v poglavju za račun emisij delcev v zrak, navedena pa gradbena mehanizacija in oprema, ki bo upošteevana pri računu emisij delcev v zrak.

Tabela 25 Gradbena mehanizacija in oprema, gradnja brez izkopa

Table 25 Construction plant and equipment, open cut, trenchless

Operacija	Gradbena mehanizacija in oprema
Priprava gradbišča	
prevoz in izdelava gradbiščne ograje	zajeto v premiku črpalke
Izvedba vrtine in vgradnja cevovoda	
premik črpalke za izdelavo vrtalne tekočine in bagra	tovorno vozilo s tovorno prikolico
premik vrtalne garniture in tovornega vozila cisterna	tovorno vozilo cisterna s tovorno prikolico
izvedba pilotne vrtine in črpanje vrtalne tekočine	vrtalna garnitura tovorno vozlo cisterna
širjenje pilotne vrtine, uvlečenje cevovoda in črpanje vrtalne tekočine	vrtalna garnitura tovorno vozilo cisterna
premik črpalke za izdelavo vrtalne tekočine in bagra	tovorno vozilo s tovorno prikolico
premik vrtalne garniture in tovornega vozila cisterna	tovorno vozilo cisterna s tovorno prikolico

5 OPIS OPERACIJ TER GRADBENE MEHANIZACIJE IN OPREME

V nadaljevanju so opisane operacije, gradbena mehanizacija in oprema ter predpostavke, na podlagi katerih je izveden račun primerjave emisije delcev za račun pri klasičnem načinu gradnje z izkopom in gradnji brez izkopa.

Splošne predpostavke za zaradi delovanja gradbišča so sledeče:

- vgradnja v cestno telo na območju mesta,
- jeklen ali PEHD cevovod DN100, ki omogoča vgradnjo z izkopom ali brez izkopa,
- meja računa je odsek dolžine 100 m,
- celotna sekcija plinovoda se zavari izven jarka ter vgradi naenkrat (gradnja brez izkopa) ali pa vari segmentno v jarku (gradnja z izkopom),
- sprotni odvoz večine izkopanega materiala z gradbišča,
- del izkopanega materiala je ustrezen za ponovno uporabo,
- sprotni dovoz novega materiala na gradbišče, npr. kamenega agregata za posteljico, obsip, zasip jarka, bitumenska zmes ipd.,
- temeljna tla sestavlja zaglinjen prod, podtalnica ni prisotna,
- nakladanje materiala za vgradnjo (pesek, tamponski drobir ipd.) in razkladanje gradbenih odpadkov (izkopane zemljine) na deponiji gradbenih odpadkov nista upoštevani,
- prevoz delavcev na delo, prevozi gradbenega in projektantskega nadzora niso upoštevani,
- obvozi in prometni zastoji niso upoštevani,
- območje gradbišča je območje za gradbiščno ograjo; prevozi izven gradbišča se obravnavajo ločeno,
- resuspenzija delcev znotraj ograje gradbišča zaradi prevoza ni upoštevana.

5.1 Opis gradnje z izkopom

5.1.1 Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije

Po zapori enega voznega pasu z vertikalno prometno signalizacijo se izvede postavitve gradbiščne ograje.

Pri gradnji z izkopom se zaradi varnosti pri delu ter hkrati preprečitev emisije delcev na vozišče in posledično pojava resuspenzije delcev uporabijo montažni neprosojni kovinski paneli vzdolž celotnega gradbišča, prav tako na obeh čelih gradbišča.

Operacija sestavlja prevoz gradbiščne ograje s tovornim vozilom z lokacije skladišča izvajalca do lokacije gradbišča. Paneli se ročno raztovorijo točkovno vzdolž gradbišča. Nadaljnji raznos po gradbišču je ročen, prav tako montaža.

5.1.1.1 Predpostavka za račun

Štiriosno tovorno vozilo na gradbišče dvakrat pripelje polno naloženo z gradbiščno ograjo. Prvič hkrati izvede tudi premik bagra s štiriosno tovorno prikolico. Tovorna prikolica je v času gradnje začasno deponirana na gradbišču. Tovorna prikolica se glede mehanske obrabe profila pnevmatik, zavor in podlage obravnava kot tovorno vozilo. Oddaljenost med skladiščem izvajalca in gradbiščem je 30 km, povprečna hitrost vozila je 70 km/h. Raztovarjanje gradbiščne ograje traja 2 uri, v tem času je tovorno vozilo v pogonu v prostem teku z minimalno obremenitvijo agregata. Manjši gradbeni stroji in oprema (vibronabijač, vibracijska plošča ipd. se pripeljejo na gradbišče s poltovornjaki hkrati z delavci in niso zajeti v račun.

5.1.2 Rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo

Ko je asfaltni sloj zarezan, se prične odstranitev asfaltne plasti. Rušenje se izvaja z bagrsko žlico ter sproti naklada na tovorno vozilo. Morebitni večji kosi asfaltne plasti se sproti zdrobijo na manjše kose, primerne za nakladanje. Emisija zaradi nakladanja asfaltne sloja na keson se zanemari.

5.1.2.1 Predpostavka za račun

Rušenje asfalta se izvede v 10 urah, zaradi počitka in tehnoloških zastojev (npr. obstoječa gospodarska javna infrastruktura) so prisotne prekinitve. Upošteva se 9 učinkovitih ur obratovanja bagra, ki je obremenjeno 80%. Štiriosno tovorno vozilo je na gradbišču med nakladanjem porušenega asfalta v prostem teku oz. pogonu z minimalno obremenitvijo agregata 3 ure, ker mora slediti bagru zaradi napredovanja izkopa. Gostota asfalta je 2.200 kg/m^3 .

5.1.3 Odvoz gradbenih odpadkov (asfalt) na deponijo

Gradbeni odpadki (izkopan material, asfalt) se odvažajo na deponijo.

5.1.3.1 Predpostavka za račun

Oddaljenost deponije gradbenih odpadkov od lokacije gradbišča je 13 km, povprečna hitrost vozila je 45 km/h. Štiriosno tovorno vozilo je na poti do deponije polno naloženo, vrača se prazno. Tovorno vozilo je obteženo s 100% dovoljene obremenitve, to je 18.000 kg.

5.1.4 Strojni izkop jarka

Izkop jarka se večino časa izvaja z bagrom, bližina obstoječe gospodarske javne infrastrukture se izvaja deloma strojno, deloma ročno. Zemljina iz jarka se v obeh primerih odstrani strojno. Izkopani material nevezane nosilne plasti (obstoječi tampon frakcije 0/32 mm) ter izkopani material, ki je ustrezne kvalitete, se odlaga vzdolž jarka, na razdalji najmanj 1 m od roba jarka, ter uporabi pri zasipu jarka. Material se z bagske žlice na keson odlaga z višine do 1 m. V primeru pojava gospodarske javne infrastrukture se napredovanje izkopa upočasnijo zaradi povečanega števila manipulacij z bagsko žlico.

5.1.4.1 Predpostavka za račun

Dnevni izkop jarka z bagrom, ob upoštevanju višine nadkritja nad temenom cevi (v nadaljnjem besedilu: nadkritje) 3,2 m in prisotnosti obstoječe gospodarske javne infrastrukture, je približno 20 m. Dnevni izkop jarka pri nadkritju 2,2 m je 26 m, ter nadkritju 1,2 m približno 33 m. Delavnik traja 10 ur, od tega je učinkovitih 9 ur, kar je tudi čas obratovanja bagra. Vzorčena izkopana zemljina ima naravno vlažnost 3,9 % ter 4,9 % delcev manjših od 63 μm , gostota 1.900 kg/m^3 . Štiriosno tovorno vozilo je na gradbišču med nakladanjem izkopane zemljine v prostem teku oz. pogonu z minimalno obremenitvijo agregata 3 ure, ker mora slediti bagru zaradi napredovanja izkopa.

Tabela 26 Količina izkopa / zasipa v odvisnosti od višine nadkritja
Table 26 Quantity of excavated material / backfill according to depth of cover

	Hn = 1,2 m [m ³ /m ¹]	Hn = 2,2 m [m ³ /m ¹]	Hn = 3,2 m [m ³ /m ¹]
celotni izkop	1,040	2,070	2,970
*posteljica in obsip	0,272	0,307	0,307
zasip z izkopano zemljino	0,520	1,485	2,385
tamponski drobir	0,240	0,270	0,270
širina jarka glede na SIST EN 1610	0,8 m	0,9 m	0,9 m

*prostornina posteljice in obsipa = izkop zemljine - prostornina cevi 0,008 m²

5.1.5 Odvoz gradbenih odpadkov (izkopan material) na deponijo

5.1.5.1 Predpostavka za račun

Oddaljenost deponije gradbenih odpadkov od lokacije gradbišča je 13 km, povprečna hitrost vozila je 45 km/h. Štiriosno tovorno vozilo je na poti do deponije polno naloženo, vrača se prazno. Tovorno vozilo je obteženo s 100% dovoljene obremenitve, to je 18.000 kg.

5.1.6 Prevoz, razkladanje in izdelava opaža

Kadar ima gradbena jama navpične stene in presega globino 1 metra, jo je potrebno zavarovati z zasipnim opazem. Za manjše globine se uporabljajo opaži z razpiranjem oz. t.i. škatlasti (ang. box) opaži. Vgrajujejo se z metodo »cut and lower«, opaž »tone« v jarek skladno s povečevanjem globine. V primeru stabilnih temeljnih tal se najprej izkoplje jarek z vertikalnima stranicama ter naknadno vgradi opaž.

5.1.6.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo na gradbišče pripelje polno naloženo z opazem ter se prazno vrne do skladišča po nov tovor. Oddaljenost med skladiščem izvajalca in gradbiščem je 30 km. Opaž se raztovori vzdolž jarka. Razpiralni opaž se s pomočjo bagra vgradi po izkopu segmenta jarka, ki je približno enak dolžini razpiralnega opaža. Čas, potreben za vgradnjo opaža, je vštet v izkop jarka. Skupna količina opaža se dobavi na gradbišče v dolžini, ki je enaka dnevni količini (dolžini) izkopa jarka. Tovorno vozilo med razkladanjem opaža ni v pogonu.

5.1.7 Prevoz (dobava) peska, tampona

Operaciji prevoza kamenega agregata 0/4 in tamponskega drobirja 0/32 sta združeni, ker med njima ni razlike. Kameni agregat in tampon se raztovorita na stacionaži km X+000 ali km X+100.

5.1.7.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo na gradbišče pripelje polno naloženo s kamenim agregatom (posteljica in obsip) ter se prazno vrne do kamnoloma po nov tovor. Oddaljenost med kamnolomom in gradbiščem je 14 km, povprečna hitrost vozila je 45 km/h. Na gradbišču Mlino ima kameni agregat za izdelavo posteljice in obsipa lastnosti: frakcija 0/4, lomljenec iz kamnoloma z vlažnostjo 0,02 % ter s 15,4 % delci manjšimi od 63 μm , gostota 1.900 kg/m³. Na gradbišču Rečica ima kameni agregat za izdelavo posteljice in obsipa lastnosti: frakcija 0/4, separiran, z vlažnostjo 5,24 % ter s 18,44 % delci manjšimi od 63 μm , gostota 1.900 kg/m³. Za tampon 0/32 ni bila izvedena preiskava in se predpostavijo karakteristike materiala: vlažnost 2 % in vsebnost delcev manjših od 63 μm 4,9 %, gostota 1.900 kg/m³.

5.1.7.2 Zasip jarka

Po pripravi jarka se izdelata posteljica, obsip in zasip s prebranim izkopanim materialom ter tamponskim drobirjem. Zasip s prebranim izkopanim materialom in tampon se vgrajujeta z utrjevanjem po slojih debeline 30 cm. Obstoječa gospodarska javna infrastruktura se zaščiti z zaščitnimi cevmi ter obsuje s peskom frakcije 0/4 mm. Utrjevanje se izvaja z valjarjem, valjarjem »ježem« in vibronabijačem »žabo«.

5.1.7.3 Predpostavka za račun

Zasip jarka brez ureditve finega planuma je v porabi časa enak času, potrebnem za celoten izkop jarka. Komprimacija se izvaja v času zasipanja jarka do nivoja finega planuma, učinkovito obratovanje vibronabijača »žabe«, valjarja in valjarja »ježa« je 6 ur dnevno.

5.1.8 Odstranitev, nakladanje in prevoz opaža

Odstranjevanje razpiralnega opaža poteka hkrati z zasipanjem jarka. Ko zasip doseže koto – 1 m od nivoja roba jarka, se opaž s pomočjo bagra v celoti odstrani in odloži najmanj 1 m od roba jarka.

5.1.8.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo na gradbišče pripelje prazno ter se polno naloženo vrne do skladišča. Oddaljenost med skladiščem izvajalca in gradbiščem je 30 km. Opaž se z začasne deponije naenkrat naloži na tovorno vozilo. Tovorno vozilo v času nakladanja ni v teku.

5.1.9 Izdelava finega planuma

Fini planum iz lomljenca frakcije 0/16 mm se izdelava na tamponski podlagi pred izdelavo vezane nosilne plasti.

5.1.9.1 Predpostavka za račun

Komprimacija se izvede z vibronabijačem »žabo« in valjarjem v 6 urah. Bager izvrši raznos materiala vzdolž zasutega jarka, efektivni čas obratovanja bagra je 3 ure z obremenitvijo 50 %. Masa finega planuma (prevoz s težkim tovornim vozilom) ter manipulacija z materialom sta upoštevana v količinah pri dobavi tampona.

5.1.10 Premik gradbene mehanizacije (gradbena mehanizacija, asfaltna dela)

Po končanih zemeljskih delih se izvede premik gradbene mehanizacije. Z gradbišča se odpelje bager, na gradbišče tovorno vozilo pripelje finišer in valjar.

5.1.10.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo izvede premik bagra s tovorno prikolico do skladišča izvajalca na razdalji 30 km, povprečna hitrost tovornega vozila je 70 km/h. Tovorna prikolica se glede mehanske obrabe profila pnevmatik, zavor in podlage obravnava kot tovorno vozilo. Tovorno vozilo izvede premik finišerja in valjarja s tovorno prikolico z lokacije skladišča izvajalca na razdalji 13 km, povprečna hitrost tovornega vozila je 45 km/h. Tovorno vozilo je v obeh primerih prazno.

5.1.11 Vgradnja vezane nosilne ter obrabne in zaporne plasti

Na finem planumu se najprej izvede vezana nosilna plast, na njej pa še obrabna in zaporna plast. Prehod med novim in starim asfaltom se izvede na stik.

5.1.11.1 Predpostavka za račun

Vgradnja vezane nosilne plasti se neodvisno od višine nadkritja izvaja 7 ur. Pri vgradnji se uporabljajo valjar, vibracijska plošča in finišer, efektivni čas uporabe gradbene mehanizacije je 6 ur. Tovorno vozilo je v prostem teku v pogonu 3 ure. Razlika v času delovanja gradbene mehanizacije in opreme zaradi večje površine asfaltne površine pri večjem nadkritju se zaradi majhne razlike v površini asfaltne plasti zanemari.

Vgradnja obrabne in zaporne plasti se izvaja 7 ur, efektivni čas uporabe gradbene mehanizacije je 6 ur. Pri vgradnji se uporabljajo valjar, vibracijska plošča in finišer. Tovorno vozilo je v prostem teku v pogonu 3 ure.

Oddaljenost med asfaltno bazo in gradbiščem je 6 km.

5.1.12 Premik gradbene mehanizacije (asfalterška dela)

Po končanih asfalterških delih se izvede premik gradbene mehanizacije. Z gradbišča se odpeljeta finišer in valjar.

5.1.12.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo izvede premik finišerja in valjarja s tovorno prikolico do skladišča izvajalca na razdalji 14 km, povprečna hitrost tovornega vozila je 45 km/h. Tovorna prikolica se glede mehanske obrabe profila pnevmatik, zavor in podlage obravnava kot tovorno vozilo.

5.1.13 Zapiranje gradbišča

Območje gradbišča se strojno mokro pomeđe ter pospravi gradbiščna ograja.

5.1.13.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo odpelje polno naloženo do skladišča izvajalca na razdalji 30 km. Tovorno vozilo med nakladanjem gradbiščne ograje ni v teku. Delovanje vozila za strojno mokro pometanje se zanemari.

5.2 Definiranje gradbene mehanizacije in opreme, gradnja z izkopom

5.2.1 Tovorno vozilo

Za transport materiala na gradbišče in z gradbišča se uporabi tovorno vozilo prekucnik mase 14.000 kg. Skupna dovoljena masa vozila je 32.000 kg, koristna obtežba je 18.000 kg. Vozilo letnik 2006 je opremljeno z dizelskim agregatom moči 316 kW, tehnologija motorja Euro 4. Dnevna poraba goriva je približno 48 l. Vozilo ima štiri osi. Prednji osi sta opremljeni z dvema gumama, zadnji osi pa s štirimi gumami (skupaj 12 gum).



Slika 25 Tovorno vozilo prekucnik, štiriosno, z največjo dovoljeno skupno maso 32.000 kg (Vir: lastni arhiv)
Figure 25 Heavy duty vehicle, four axles, rigid, maximum load 32.000 kg (Source: personal archive)

5.2.2 Tovorna prikolica

Za premik bagra se uporabi tovorna prikolica mase 8.000 kg. Skupna dovoljena masa vozila je 40.000 kg, koristna obtežba je 32.000 kg. Vozilo ima štiri osi. Prednji osi sta opremljeni s štirimi gumami, prav tako zadnji osi (skupaj 16 gum).



Slika 26 Tovorna prikolica za premik bagra, štiriosna (Vir: lastni arhiv)
Figure 26 Heavy trailer for hauling excavator, four axles (Source: personal archive)

5.2.3 Bager na kolesih

Za izkop jarka se uporablja bager na kolesih, letnik 2009, mase 17 t. Moč motorja je 93 kW, dnevna poraba (efektivnih 9 ur) goriva 120 l. Bager uporablja žlico velikosti 0,5 m³.



Slika 27 Bager na kolesih (Vir: lastni arhiv)

Figure 27 Wheel excavator (Source: personal archive)

5.2.4 Opaž

Opaž sam po sebi ni vir emisije delcev; delce povzroča vgradnja le-tega. Razpiralni opaži (t.i. box opaži) so dimenzij L x H = 2 - 3,5 x 1,4 - 2,6 m se vgrajujejo do globine 4 m. Masa obeh stranic se giblje od 900 do 1.900 kg.



Slika 28 Razpiralni opaž (Vir: lastni arhiv)

Figure 28 Shore box (Source: personal archive)

5.2.5 Valjar

Komprimacija po slojih v jarku se izvaja z valjarjem, leto proizvodnje 2009, moči 5,1 kW, mase 715 kg in dnevno porabo dizel goriva približno 11 l.



Slika 29 Valjar (Vir: lastni arhiv)

Figure 29 Roller (Source: personal archive)

5.2.6 Valjar »jež«

Komprimacija po slojih v jarku se izvaja z valjarjem »ježem«, leto proizvodnje 2006, moči 13,2 kW, mase 1.490 kg in dnevno porabo dizel goriva približno 11 l.



Slika 30 Valjar »jež« (Vir: lastni arhiv)

Figure 30 Trench roller (Source: personal archive)

5.2.7 Vibronabijač »žaba«

Komprimacija na manj dostopnih mestih v jarku, ki niso dosegljiva z valjarjem ali valjarjem ježem, se izvaja z vibronabijačem »žabo«, leto proizvodnje 2009, moči 2,2 kW, mase 68 kg in dnevno porabo bencinskega goriva približno 7 l.



Slika 31 Vibronabijač »žaba« (Vir: lastni arhiv)
Figure 31 Rammer (Source: personal archive)

5.2.8 Vibracijska plošča

Komprimacija na manj dostopnih mestih v jarku, ki niso dosegljiva z valjarjem, ali komprimacija vezane nosilne ter obrabne in zaporne plasti se uporablja vibracijska plošča, letnik 2009, mase 675 kg, ki jo poganja dizelski agregat 10,9 kW, Stage IIIA.



Slika 32 Vibracijska plošča (Vir: lastni arhiv)
Figure 32 Hydrostatic vibratory plate (Source: personal archive)

5.2.9 Finišer

Pri vgradnji vezane nosilne ter obrabne in zaporne plasti se uporablja mini finišer s prilagodljivo širino vgradnje sloja. Finišer letnik 2013 poganja dizelski agregat moči 54 kW, tip motorja EU Stage 4.



Slika 33 Finišer (Vir: lastni arhiv)

Figure 33 Road paver (Source: personal archive)

5.3 Opis gradnje brez izkopa

5.3.1 Premik vrtalne garniture in bagra

Po zapori enega voznega pasu z vertikalno prometno signalizacijo se izvede postavitve gradbiščne ograje. Uporabijo se vertikalne smerne deske (Klemmfix).

Operacijo sestavlja prevoz gradbiščne ograje s tovornim vozilom z lokacije skladišča izvajalca do lokacije gradbišča. Smerne deske se ročno raztovorijo točkovno ter ročno raznosijo in postavijo vzdolž gradbišča.

Izvede se premik vrtalne garniture in bagra z lokacije izvajalca do gradbišča.

5.3.1.1 Predpostavka za račun

Tovorno vozilo, na katerem je nameščena črpalka za mešanje vrtalne tekočine, na gradbišče pripelje polno naloženo (maso predstavlja črpalka), hkrati izvede tudi premik bagra s tovorno prikolico. Isto vozilo pripelje tudi smerne deske. Tovorna prikolica je v času gradnje začasno deponirana na gradbišču. Oddaljenost med skladiščem izvajalca in gradbiščem je 83 km. Med raztovarjanjem gradbiščne ograje in bagra tovorno vozilo ni v pogonu.

Tovorno vozilo cisterna na poti do gradbišča hkrati izvede tudi premik vrtalne garniture s tovorno prikolico. Tovorno vozilo cisterna je prazno, tovorna prikolica je v času gradnje začasno deponirana na gradbišču. Oddaljenost med skladiščem izvajalca in gradbiščem je 83 km. Med raztovarjanjem vrtalne garniture tovorno vozilo ni v pogonu.

5.3.2 Izvedba pilotne vrtine in črpanje vrtalne tekočine

V vstopnem jašku se vrtalna glava usmeri v zemljino z vstopno inklinacijo in začetno globino glede na zahteve projekta. Vrtalna garnitura izvaja pilotno vrtino od vstopna točke v stacionaži X+000-n do izstopne točke v stacionaži X+100+n. Pri vrtnanju se uporablja vrtalna tekočina, ki se pripravlja v mešalni napravi. Vrtalna tekočina, ki je pod pritiskom, ima pri vrtnanju funkcijo izplakovanja izvrtanega materiala iz vrtine, hlajenja ter stabilizacije vrtine. V notranjosti vrtalne glave je sonda, ki oddaja radijski signal in omogoča spremljanje položaja vrtalne glave s površine s pomočjo sledilne naprave.

5.3.2.1 Predpostavka za račun

Vrtalna garnitura pri vrtnanju pilotne vrtine deluje z obremenitvijo agregata 25 %. Hitrost napredovanja vrtnanja je 20 m/h. Mešalna naprava deluje v času obratovanja vrtalne garniture. Emisija delcev zaradi delovanja mešalne naprave za vrtalno tekočino se zanemari. Tovorno vozilo cisterna je v pogonu 3,5 ure.

5.3.3 Širjenje pilotne vrtine, uvlečenje cevovoda in črpanje vrtalne tekočine

Po izvedbi pilotne vrtine se na lokaciji izstopne točke na vrtalno drogovje namesti povratni razširjevalec za širitev pilotne vrtine na premer, ki je običajno 30 % večji od nazivnega premera uvlečene cevi. Pri širjenju pilotne vrtine se prav tako uporablja vrtalna tekočina. Širjenje pilotne vrtine se izvaja od izstopne točke v stacionaži X+000+n do vstopne točke v stacionaži X+100-n, prav tako uvlečenje. Po širjenju vrtine se izvede uvlečenje cevovoda.

5.3.3.1 Predpostavka za račun

Vrtalna garnitura pri širjenju pilotne vrtine in uvlečenju deluje z obremenitvijo agregata 50 %. Hitrost napredovanja pri širjenju pilotne vrtine in uvlečenju je 18 m/h. Mešalna naprava deluje 80% časa obratovanja vrtalne garniture. Emisija zaradi delovanja mešalne naprave za vrtalno tekočino se zanemari. Širjenje pilotne vrtine se izvaja v obratni smeri izvedbe pilotne vrtine. Tovorno vozilo cisterna je v pogonu 3,5 ure. Uvlečenje cevovoda se izvaja v obratni smeri izvedbe pilotne vrtine. Tovorno vozilo cisterna je v pogonu 3,5 ure.

5.3.4 Premik vrtalne garniture in tovornega vozila cisterna

Tovorno vozilo cisterna na poti z gradbišča hkrati izvede tudi premik vrtalne garniture s tovorno prikolico.

5.3.4.1 Predpostavka za račun

Oddaljenost med skladiščem izvajalca in gradbiščem je 83 km. Tovorno vozilo cisterna je polno obremenjeno. Tovorna prikolica se obravnava kot tovorno vozilo.

5.4 Definiranje gradbene mehanizacije in opreme, gradnja brez izkopa

5.4.1 Tovorno vozilo 1

Črpalka za mešanje vrtalne tekočine je nameščena na tovornem vozilu mase 6.600 kg. Skupna dovoljena masa vozila je 12.000 kg, koristna obtežba je 5.400 kg. Vozilo letnik 2006 je opremljeno z dizelskim agregatom moči 350 kW, tehnologija motorja Euro 4. Poraba goriva je približno 0,35 l/km. Vozilo ima dve osi. Prednja os je opremljena z dvema gumama, zadnja os pa s štirimi (skupaj 6 gum).



Slika 34 Tovorno vozilo, dvoosno (Vir: lastni arhiv)

Figure 34 Heavy duty vehicle, two axles, rigid (Source: personal archive)

5.4.2 Tovorno vozilo 2

Za črpanje vrtalne tekočine se uporablja tovorno vozilo s cisterno in črpalko. Vozilo letnik 2006 je opremljeno z dizelskim agregatom moči 350 kW, tehnologija motorja Euro 3. Poraba goriva je približno 22 l/h. Vozilo ima dve osi. Prednja os je opremljena z eno gumo, zadnja os pa z dvema gumama (skupaj 6 gum).



Slika 35 Tovorno vozilo s črpalko in cisterno, dvoosno (Vir: lastni arhiv)

Figure 35 Heavy duty vehicle with cistern and pump, two axles, rigid (Source: personal archive)

5.4.3 Tovorna prikolica

Za premik vrtnalne garniture se uporabi tovorna prikolica mase 4.000 kg. Skupna dovoljena masa vozila je 20.000 kg. Vozilo ima dve osi, vsaka je opremljena s štirimi gumami (skupaj 8 gum).



Slika 36 Tovorna prikolica za premik mini bagra, štiriosna (Vir: lastni arhiv)

Figure 36 Light trailer for hauling mini excavator, four axles (Source: personal archive)

5.4.4 Bager

Za izkop vstopnega jaška se uporablja bager na gumiranih gosenicah, letnik 2013, mase 4,8 t. Moč motorja je 29,6 kW, dnevna poraba goriva do 50 l, motor dosega standard US EPA Tier 4. Bager uporablja žlico velikosti 0,125 m³.



Slika 37 Bager (Vir: lastni arhiv)

Figure 37 Compact excavator (Source: personal archive)

5.4.5 Vrtalna garnitura

Vrtalna garnitura je delovni stroj, namenjen usmerjenemu vrtanju z radijskim vodenjem. Deluje po sistemu potiskanja ali vlečenja vrtalnega drogova, na katerega so nameščena orodja. Le-ta omogočajo vrtanje pilotne vrtine ter širitev vrtine. Masa vrtalne garniture je 12.500 kg, zmore 16,7 t potisne oz. vlečne mase, poganja pa jo dizel agregat z močjo 106 kW.



Slika 38 Vrtalna garnitura (Vir: lastni arhiv)

Figure 38 Drill rig (Source: personal archive)

Vrtalna garnitura je letnik 2009. Običajni obremenitveni faktorji agregata pri posameznih fazah vrtanja so: pilotna vrtina 25 %, širitev vrtine 50 %, uvlečenje cevovoda 50 %.

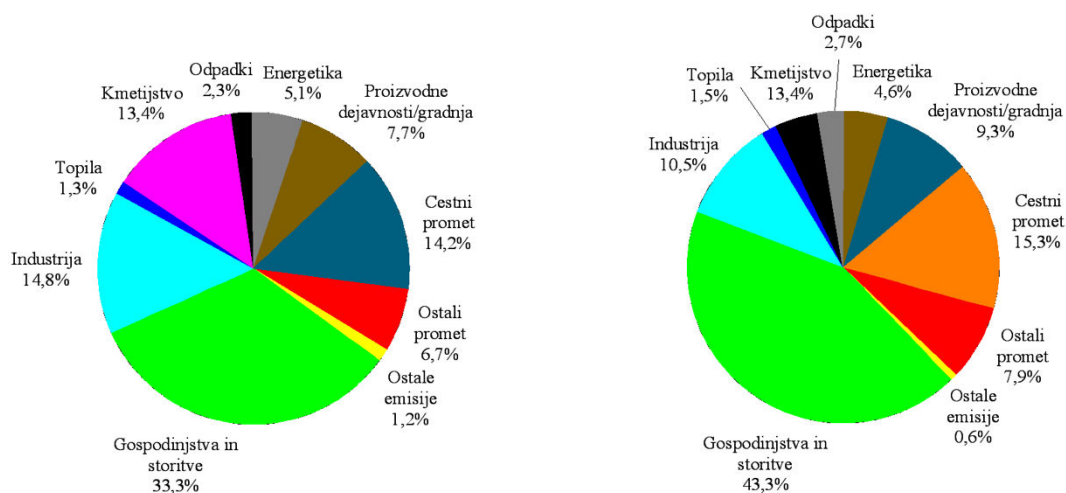
5.4.6 Mešalna naprava

Mešalna naprava je sistem za pripravo vrtalne tekočine, ki jo sestavlja mešanica bentonita, vode in aditivov. Nameščena je na kesonu tovornjaka. Mešalno napravo poganja bencinski motor moči 13 kW s porabo goriva 2 l/h.

6 RAČUN EMISIJ DELCEV ZARADI DELOVANJA GRADBIŠČA

»Zaradi smoga, ki že dosega desetkratne dovoljene vrednosti Svetovne zdravstvene organizacije, bodo v Pekingu za dva dneva zaprli vse šole in otroške vrtnice, prepovedali pa bodo tudi vsa gradbena dela v mestu in okolici (Druga jutranja kronika, Radio Slovenija, 7.12.2015)«.

Zrak je poleg naravnega ozadja, ki ga predstavljajo cvetni prah, mehanski prašni delci kamnin, sol, ipd. obremenjen tudi z delci, ki jih s svojimi aktivnostmi povzročajo ljudje. Med antropogenimi viri delcev PM_{10} v državah Evropske skupnosti najbolj izstopajo individualna kurišča (33,3%), sledijo jim industrija, kopenski promet in kmetijska dejavnost, že na petem mestu pa je s 7,7% gradbena dejavnost. K onesnaženju z delci $PM_{2,5}$ prav tako kot za delce PM_{10} največji delež prispevajo individualna kurišča (43,3%). Sledijo jim kopenski promet, industrija ter na četrtem mestu z 9,3% gradbena dejavnost.



Slika 39 Viri onesnaženja z delci PM_{10} (levo) in $PM_{2,5}$ glede na vir, v letu 2009, v 32 Evropskih državah (Vir: Pihlava, 2014, after EEA, 2012)

Figure 39 Contribution of different sectors (energy and non-energy) to total emissions of PM_{10} (left) and $PM_{2,5}$, 2009 in 32 European countries (Source: Pihlava, 2014, after EEA, 2012)

Gradbišče s svojimi aktivnostmi je nedvomno unija operacij, ki ima sorazmerno velik prispevek k vnosu delcev v zrak. Na količino vnosa delcev vplivajo dejavniki, kot so: lokacija gradbišča, vrsta in število gradbenih operacij, vremenski pojavi, sestava temeljnih tal in izbor tehnologije gradnje. Izbor slednje pri gradnji podzemne linijske infrastrukture omogoča gradnjo z izkopom ali gradnjo brez izkopa.

Račune emisij delcev v zunanji zrak smo izvedli na podlagi priročnika Evropske agencije za okolje, EEA emission inventory guidebook (v nadaljnjem besedilu: priročnik). Slednja podaja emisijske faktorje za posamezne vire onesnaževanja ter, glede na razpoložljivost podatkov o emisijskih faktorjih, način računa emisije delcev.

Za posamezne operacije, za katere v priročniku niso bili na razpolago podatki o emisijskem faktorju, smo podatke o le-teh povzeli iz literature, v kolikor so bili le-ti na razpolago.

Priročnik predvideva tri metode računa emisij: Tier 1 (osnovna), Tier 2 (srednja) in Tier 3 (zahtevna). Izbira metode Tier računa emisije je odvisna od količine razpoložljivih podatkov. Posamezni metodi ter s tem načinom izračuna emisije ustreza tudi pripadajoči emisijski faktor, ki je za posamezno metodo Tier različen. Izbira višje metode Tier pomeni večji nabor vhodnih podatkov in posledično zanesljivejši rezultat.

Metoda Tier 1 predstavlja linearno relacijo med aktivnostjo (povzročitelj emisije) in emisijskim faktorjem. Emisijski faktorji pri tej metodi so določeni na podlagi tipičnih procesov, temeljijo na povprečnih statističnih vrednostih in so posplošeni, ne glede na izbiro tehnologije.

Metoda Tier 2 uporablja enak nabor aktivnosti (povzročitelj emisije) kot metoda Tier 1. Emisijski faktorji so prilagojeni lokalnim specifikam aktivnosti, kvalitete goriva, tehnologijam itd. Aktivnosti so zaradi natančnosti računa lahko razdrobljene na podaktivnosti.

Metoda Tier 3 se običajno uporablja za modelne izračune s sofisticiranimi računalniškimi orodji oz. modeli (npr. za emisije delcev motorjev z notranjim izgorevanjem).

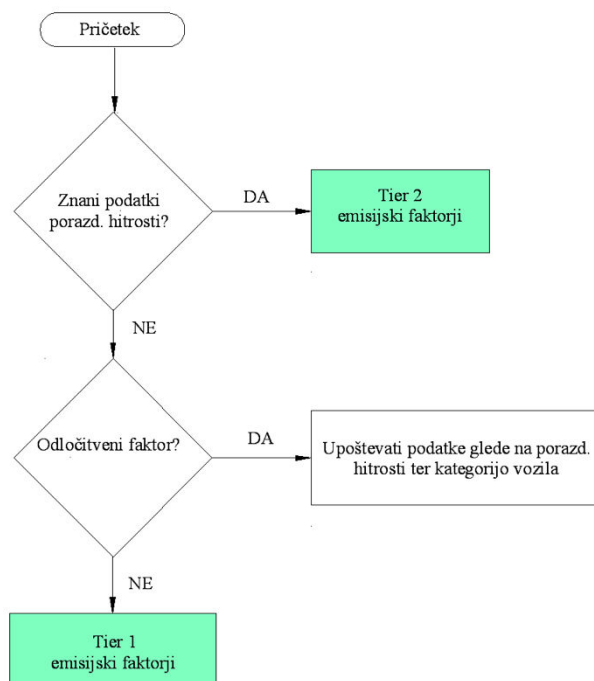
Pri računu vrednosti emisij delcev z gradbišča smo upoštevali metodi Tier 1, Tier 2 in Tier 3, v odvisnosti od razpoložljivosti vhodnih podatkov ter odločitveno drevo Tier.

V nadaljevanju smo za posamezno vrsto vira emisije delcev v zunanji zrak na podlagi enačb iz priročnika izračunali velikost emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala. Slednje smo upoštevali pri računu emisij delcev v zunanji zrak znotraj gradbišča; celoten izračun emisije delcev na enoto posamezne vrste onesnaževala je podan v Prilogi 5.

Izračun dnevni vrednosti emisij delcev znotraj ograje gradbišča je podan v Prilogi 6.

6.1 Račun emisije delcev zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik, zavor in podlage

Za račun emisije delcev zaradi obrabe profila gum, zavor in podlage se glede na diagram odločanja in razpoložljivost podatkov uporabi metoda Tier 2.



Slika 40 Diagram odločanja za način izračuna emisije zaradi obrabe profila pnevmatike, zavor in podlage (Vir: Ntziachristos, 2013)

Figure 40 Decision tree for vehicle tyre and brake wear and road surface wear emissions (Source: Ntziachristos, 2013)

6.1.1 Mehanska obraba profila pnevmatik

Enačba za račun, ki velja tako račun emisije delcev zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik kot tudi za račun emisije delcev zaradi obrabe zavor, se glasi:

(1)

TE	skupna emisija [g]
N_j	število vozil v kategoriji j
M_j	število prevoženih kilometrov [km] z enim vozilom v kategoriji j
$EF_{TSP,s,j}$	emisijski faktor skupnih delcev (TSP) za vozila v kategoriji j [g/km]

$F_{s,i}$	masni delež skupnih delcev (TSP) glede na velikost v razredu i
$S_s(V)$	korekcijski faktor za povprečno potovalno hitrost V oznaka indeksa: j – kategorija obsega enosledno vozilo, osebno vozilo, lahko tovorno vozilo, težko tovorno vozilo s - (T) mehanska obraba profila pnevmatik, (B) mehanska obraba zavor

Emisijski faktor $EF_{TSP,s,j}$ zaradi mehanske obrabe profila gum je določen na podlagi števila osi in status tovornega vozila obremenjeno/prazno.

$$EF_{TSP,T,HDV} = \frac{N_{axle}}{2} \times LCF_T \times EF_{TSP,T,PC} \quad (2)$$

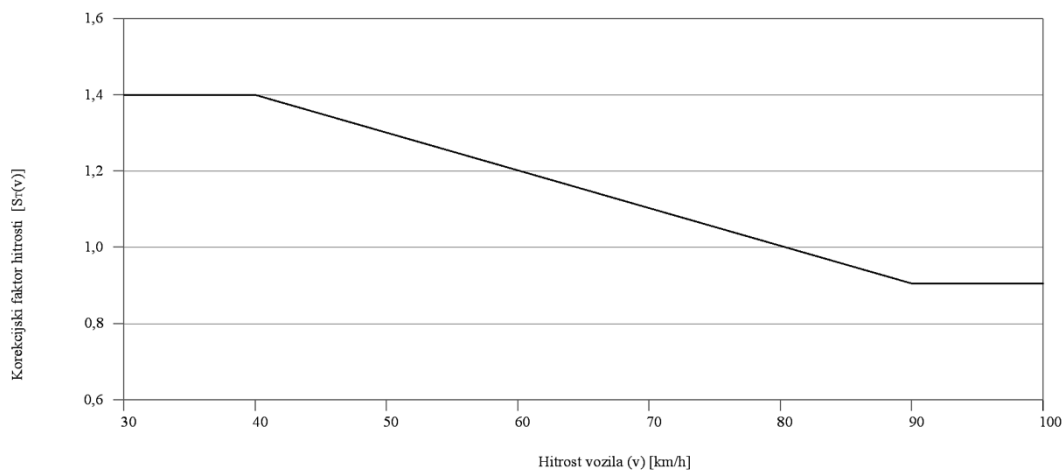
$EF_{TSP,T,HDV}$	emisijski faktor skupnih delcev (TSP) mehanske obrabe plašča pnevmatike za težko tovorno vozilo [g/km]
N_{axle}	število osi tovornega vozila
LCF_T	korekcijski faktor mehanske obrabe plašča pnevmatike
$EF_{TSP,T,PC}$	emisijski faktor skupnih delcev (TSP) mehanske obrabe plašča pnevmatike za osebno vozilo = 0,0107 [g/km]

$$LCF_T = 1,41 + (1,38 + LF) \quad (3)$$

LF	faktor obremenjenosti vozila, razpon od 0 (prazno vozilo) do 1 (polno obremenjeno vozilo)
------	---

Korekcijski faktorji za povprečno potovalno hitrost so sledeči:

$V < 40$ km/h	$S_T(V) = 1,39$	
40 km/h $\leq V \leq 90$ km/h	$S_T(V) = -0,00974$ [h/km] $\times V + 1,78$	(4)
$V > 90$ km/h	$S_T(V) = 0,902$	



Slika 41 Korekcijski faktor emisije delcev zaradi mehanske obrabe plašča pnevmatike v odvisnosti od hitrosti vozila (Vir: Ntziachristos, 2013)

Figure 41 Speed correction factor for tyre wear particle emissions (Source: Ntziachristos, 2013)

6.1.2 Mehanska obraba zavor

Emisijski faktor $EF_{TSP,s,j}$ zaradi mehanske obrabe zavor za težka tovorna vozila je določen eksperimentalno in enako kot mehanska obraba profila pnevmatike upošteva status tovornega vozila obremenjeno/prazno. Izračuna se po enačbi (9).

(5)

$EF_{TSP,T,HDV}$ emisijski faktor skupnih delcev (TSP) mehanske obrabe zavor za težko tovorno vozilo [g/km]

LCF_B korekcijski faktor mehanske obrabe zavor

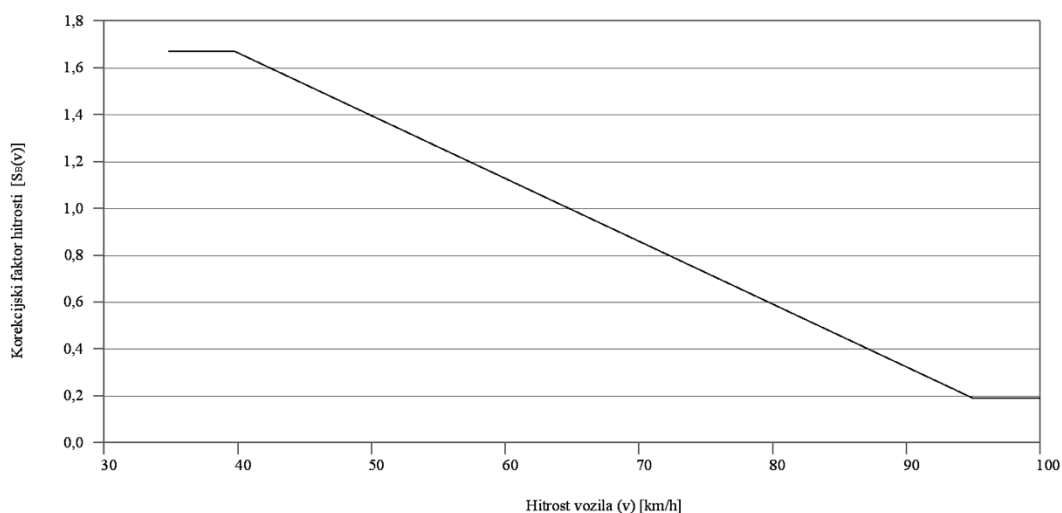
$EF_{TSP,T,PC}$ emisijski faktor skupnih delcev (TSP) mehanske obrabe za osebno vozilo, 0,0075 [g/km]

(6)

LF faktor obremenjenosti vozila, razpon od 0 (prazno vozilo) do 1 (polno obremenjeno vozilo)

Korekcijski faktorji za povprečno potovalno hitrost so sledeči:

$$\begin{aligned} V < 40 \text{ km/h} & \quad S_B(V) = 1,67 \\ 40 \text{ km/h} \leq V \leq 90 \text{ km/h} & \quad S_B(V) = -0,0270 \text{ [h/km]} \quad V + 2,75 \\ V > 90 \text{ km/h} & \quad S_T(V) = 0,185 \end{aligned} \quad (7)$$



Slika 42 Korekcijski faktor emisije delcev zaradi mehanske obrabe zavor v odvisnosti od hitrosti vozila (Vir: Ntziachristos, 2013)

Figure 42 Speed correction factor for brake wear particle emissions (Source: Ntziachristos, 2013)

6.1.3 Mehanska obraba podlage

Enačba za račun zaradi mehanske obrabe podlage se glasi:

(8)

$TE_{R,i}$	skupna emisija i podlage [g]
N_j	število vozil v kategoriji j
M_j	število prevoženih kilometrov [km] z enim vozilom v kategoriji j
$EF_{R,j}$	emisijski faktor skupnih delcev (TSP) za vozila v kategoriji j [g/km]
$F_{s,i}$	masni delež skupnih delcev (TSP) glede na velikost v razredu i

Tabela 27 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi profila pnevmatik in mehanski obrabi zavor, gradnja z izkopom

Table 27 PM emission per unit for tyre and brake wear, open cut

Vir emisije delcev	Mehanska obraba profila pnevmatik		Mehanska obraba podlage	
	TE		TE	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
	[g]	[g]	[g]	[g]
1 tov. vozilo, 4 osi, polno 45 km/h, 6km	0,2884	0,2019	0,3777	0,1503
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 45 km/h, 6km	0,1457	0,1020	0,1354	0,0539
1 tov. vozilo, 4 osi, polno, 45 km/h, 13km	0,6248	0,4374	0,8184	0,3257
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 45 km/h, 13km	0,3158	0,2210	0,2933	0,1167
1 tov. vozilo, 4 osi polno, 70 km/h, 30km	1,1802	0,8262	1,0581	0,4211
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 70 km/h, 30km	0,5965	0,4175	0,3793	0,1509
1 tov. prikolica 4 osna polna 70 km/h - 30km	1,1802	0,8262	1,0581	0,4211
1 tov. prikolica 4 osna polna 45 km/h - 13km	0,6248	0,4374	0,8184	0,3257

Tabela 28 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi podlage, gradnja z izkopom

Table 28 PM emission per unit for road surface wear, open cut

Vir emisije delcev	Mehanska obraba podlage	
	TE	
	PM10	PM2,5
	[g]	[g]
1 tov. vozilo, 4 osi, 6km	0,2280	0,1231
1 tov. vozilo, 4 osi, 13km	0,4940	0,2668
1 tov. vozilo, 4 osi, 30km	1,1400	0,6156
1 tov. prikolica, 4 osi, 30km	1,1400	0,6156
1 tov. prikolica, 4 osi, 13km	0,4940	0,2668

Tabela 29 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi profila pnevmatik in mehanski obrabi zavor, gradnja brez izkopa

Table 29 PM emission per unit for tyre and brake wear, trenchless

Vir emisije delcev	Mehanska obraba profila pnevmatik		Mehanska obraba podlage	
	TE		TE	
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
	[g]	[g]	[g]	[g]
1 tov. vozilo, 2 osi, polno, 70 km/h, 83km	1,6327	1,1429	1,4638	0,5825
1 tov. prikolica 2 osi, polna, 70 km/h, 83km	1,6327	1,1429	1,4638	0,5825
1 tov. vozilo cisterna, 2 osi, prazno 70 km/h, 83km	0,8251	0,5776	0,5246	0,2088
1 tov. prikolica, 2 osi, polna, 70 km/h, 83km	1,6327	1,1429	1,4638	0,5825
1 tov. vozilo cisterna, 2 osi, polno, 70 km/h, 83km	1,6327	1,1429	1,4638	0,5825
1 tov. prikolica, 2 osi, polna, 70 km/h, 83km	1,6327	1,1429	1,4638	0,5825

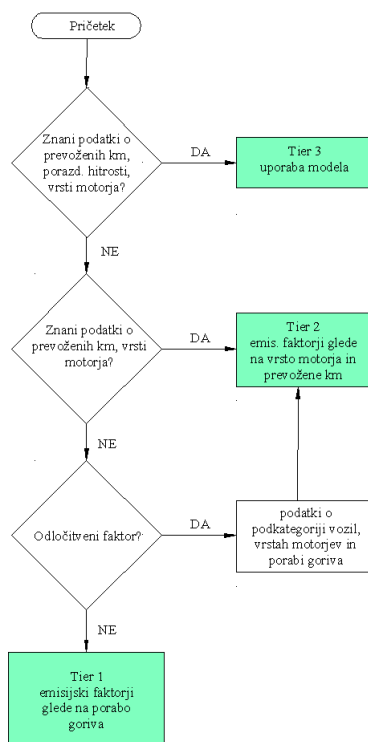
Tabela 30 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala pri mehanski obrabi podlage, gradnja brez izkopa

Table 30 PM emission per unit for road surface wear, trenchless

Vir emisije delcev	Mehanska obraba podlage	
	TE	
	PM ₁₀	PM _{2,5}
	[g]	[g]
1 tov. vozilo, 2 osi	3,1540	1,7032
1 tov. prikolica, 2 osi	3,1540	1,7032

6.2 Račun emisije delcev zaradi delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem, cestna gradbena mehanizacija in oprema

Za račun emisije delcev zaradi delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem se glede na diagram odločanja in razpoložljivost podatkov uporabi metoda Tier 2.



Slika 43 Diagram odločanja za način izračuna emisije v cestnem prometu (Vir: Ntziachristos, 2013)

Figure 43 Decision tree for exhaust emissions from road transport (Source: Ntziachristos, 2013)

Metoda Tier 2 predpostavlja emisijske faktorje glede na porabo goriva v določeni kategoriji vozila: osebna vozila, lahka tovorna vozila, težka tovorna vozila, avtobusi, mopedi in motorna kolesa.

Tabela 31 Kategorija vozil glede na metodologijo Tier 2 (Vir: Ntziachristos, 2013)

Table 31 Vehicle class covered by the Tier 2 methodology (Source: Ntziachristos, 2013)

Kategorija vozila	Tip	Tehnologija motorja
težka tovorna vozila	bencin > 3,5 t	klasičen
	<= 7,5 t, 7,5 - 16 t	klasičen, Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV,
	16 – 32 t, > 32 t	Euro V, Euro VI

Enačba za račun emisije N vozil (ki so lahko različnih kategorij) se glasi:

$$E_{i,j} = \sum_k (N_{j,k} \times M_{j,k} \times EF_{i,j,k}) \quad (9)$$

- $EF_{i,j,k}$ emisijski faktor i glede na kategorijo vozila j in tehnologijo k [g/vkm]
 $M_{j,k}$ povprečna razdalja na eno vozilo v kategoriji j in tehnologijo k [km/v]
 $N_{j,k}$ število vozil v kategoriji j in tehnologiji k
vkm ... eno vozilo x kilometer
v ... eno vozilo

Emisijski faktorji Tier 2 so določeni glede na posamezno kategorijo vozila. Emisijski faktorji temeljijo na izračunu z metodo Tier 3 na podlagi tipičnih hitrosti vožnje, zunanji temperaturi, režimu vožnje, vrsti goriva itd. Za potrebe računa emisij težkih tovornih vozil se uporabi linearna interpolacija med masami vozil, saj v nasprotju z metodologijo Tier 3 metodologija Tier 2 pokriva manjši nabor vozil. Delci v emisijah delcev zaradi delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem so večinoma v velikostnem razredu $PM_{2,5}$, zato so vsi emisijski faktorji izraženi kot $PM_{2,5}$.

Za primere, ko motor vozila deluje v prostem teku, se uporabi metoda izračuna Tier 1, ki podaja emisijski faktor glede na porabo goriva. Emisijski faktorji temeljijo na izračunu z metodo Tier 3. Enačba za račun emisije se glasi:

$$E_i = \sum_j \left(\sum_m (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m}) \right) \quad (10)$$

- E_i emisija onesnaževala i [g]
 $FC_{j,m}$ poraba goriva vozila v kategoriji j pri uporabi goriva m [kg]
 $EF_{i,j,m}$ emisijski faktor glede na porabo goriva i za vozilo kategorije j in gorivo kategorije m [g/kg]

Tabela 32 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelskega motorja tovornega vozila, gradnja z izkopom

Table 32 PM emission per unit in HDV diesel vehicle exhaust, open cut

Vir emisije delcev	Tovorno vozilo	Tovorno vozilo v prostem teku
	E PM _{2,5} =PM ₁₀ [g]	TE PM _{2,5} [g]
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 6km	0,1608	-
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 13km	0,3484	-
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 30km	0,8040	-
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 1 ura	-	4,7940

Tabela 33 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelskega motorja tovornega vozila, gradnja brez izkopa

Table 33 PM emission per unit in HDV diesel vehicle exhaust, trenchless

Vir emisije delcev	Tovorno vozilo	Tovorno vozilo v prostem teku
	E PM _{2,5} =PM ₁₀ [g]	TE PM _{2,5} [g]
1 tov. vozilo, 2 osi, 12t, Euro 4, 83km	2,2244	-
1 tov. vozilo, 2 osi, 12t, Euro 3, 83km	7,3123	-
1 tov. vozilo, 2 osi, 12t, Euro 3, 1 ura	-	17,5780

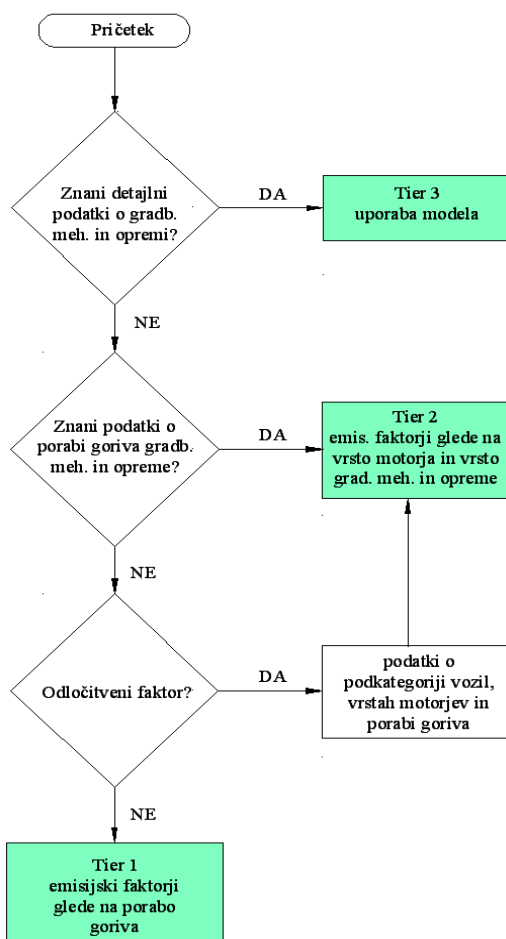
6.3 Račun emisije delcev zaradi delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem, necestna gradbena mehanizacija in oprema

Za račun emisije delcev zaradi delovanja necestnih vozil in opreme se glede na diagram odločanja in razpoložljivost podatkov za dizelske agregate uporabi metoda Tier 3. Metoda upošteva različne tipe necestnih vozil in opreme, čas delovanja, moč agregatov ter starost. Dopustni emisijski faktorji za nove agregate, neglede na vrsto goriva, se z zahtevami Evropske zakonodaje zmanjšujejo.

Tabela 34 Implementacija Stage za dizelska necestna vozila in opremo (Vir: Ntziachristos, 2013)
 Table 34 Implementation of Stage for diesel-fuelled non-road machinery (Source: Ntziachristos, 2013)

Stage	Implementacija	
	Prehodno obdobje	Obvezna uporaba
Stage I	1.4.1999	-
Stage II	1.1.2001-1.1.2004*	2007
Stage IIIA	1.1.2006-1.1.2008	2011-2012*
Stage IIIB	1.1.2011-1.1.2013*	-
Stage IV	1.1.2014-1.10.2014	-

* pričetek prehodnega obdobja je odvisen od moči agregata



Slika 44 Diagram odločanja za način izračuna emisije zaradi delovanja necestne gradbene mehanizacije in opreme (Vir: Ntziachristos, 2013)

Figure 44 Decision tree for other off-road mobile machinery (Source: Ntziachristos, 2013)

Enačba za račun emisije se glasi:

$$E = N \times HRS \times HP \times LF \times EF \quad (11)$$

E	masa emisije z vira emisije i v času obratovanja
N	število virov emisije
HRS	število ur uporabe
HP	moč
LF	tipični faktor obremenitve
EF _i	povprečni emisijski faktor vira emisije i na enoto [g/kWh]

Za račun emisije delcev zaradi delovanja necestnih vozil in opreme, ki uporabljajo dvo ali štiritaltni motor, se uporabi metoda Tier 2.

Enačba za račun emisije se glasi:

$$E_i = \sum_j \sum_t FC_{j,t} \times EF_{i,j,t} \quad (12)$$

E _i	masa emisije z vira emisije i v času obratovanja
FC _{jt}	poraba goriva j z opremo kategorije c in tehnologijo tipa t
EF _{ij}	povprečni emisijski faktor za onesnaževalo i za tip goriva j z uporabo opreme kategorije c in tehnologije tipa t
i	vrsta onesnaževala
j	tip goriva (dizel, bencin, mešanica)
t	oprema (motor) necestnega vozila in opreme (< 1981, 1981–1990, 1991–Stage I, Stage I, Stage II, Stage IIIA)

Tabela 35 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelsekega motorja necestne gradbene mehanizacije in opreme, gradnja z izkopom

Table 35 PM emission per unit in diesel vehicle exhaust of mobile machinery, open cut

Vir emisije delcev	Dizel necestna mehanizacija in oprema	
	TE	
	PM ₁₀ [g]	PM _{2,5} [g]
1 bager 17t, 80% moči, 1 ura	22,3200	20,8320
1 bager 17t, 50% moči, 1 ura	13,9500	13,0200
1 valjar jež, 50% moči, 1 ura	14,6520	13,7940
1 valjar, 50% moči, 1 ura	5,6610	5,3295
1 vibr. plošča, 50% moči, 1 ura	12,0990	11,3905
1 finišer, 50 % moči, 1 ura	10,8000	10,2600

Tabela 36 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala v izpustu dizelsekega motorja necestne gradbene mehanizacije in opreme, gradnja brez izkopa

Table 36 PM emission per unit in diesel vehicle exhaust of mobile machinery, trenchless

Vir emisije delcev	Dizel necestna mehanizacija in oprema	
	TE	
	PM ₁₀ [g]	PM _{2,5} [g]
1 bager 4,8t, 80% moči, 1 ura	0,4736	0,4452
1 vrtna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	7,9500	7,4200
1 vrtna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	15,9000	14,8400

6.4 Račun emisije delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom

Enačba za račun emisij po metodi EPA AP-42 zaradi manipulacije z zemljino in kamenimi agregati se glasi:

$$E = k \times 0,0016 \times \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \quad (13)$$

- E emisijski faktor (kg/t)
 k faktor aerodinamičnega premera
 U povprečna hitrost vetra (m/s)
 M vlažnost materiala

Tabela 37 Faktor aerodinamičnega premera in razponi vrednosti zemljin in kamenih agregatov (Vir: EPA, 2016b)

Table 37 The particle size multiplier and ranges of source conditions (Source: EPA, 2016b)

Aerodinamični premer				
< 30 µm	< 15 µm	< 10 µm	< 5 µm	< 2.5 µm
0,74	0,48	0,35	0,20	0,053

Vsebnost gline	Vsebnost vlage	Hitrost vetra
[%]	[%]	[m/s]
0,44 - 19	0,25-4,8	0,6-6,7

Metodo izračuna po metodi, ki jo predlaga priročnik smo izbrali, ker emisijski faktor upošteva fizične lastnosti zemljine oz. kamenega agregata ter podatke o okoliškem zraku. Faktor k za delež PM₁₀ in PM_{2,5} ostaja, neglede na vrsto zemljine, konstanten.

Tabela 38 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom, gradnja z izkopom, gradbišče Rečica

Table 38 PM emission per unit for excavated soil, bedding and cover, open cut, Rečica construction site

Vir emisije delcev	TE	
	PM ₁₀	PM _{2,5}
	[kg/t]	[kg/t]
izkopana zemljina	0,0000457	0,0000069
separiran kameni agregat 0/4	0,0000390	0,0000059
izkopana zemljina, ki se ponovno vgradi	0,0000457	0,0000069
tamponski drobljenec 0/32	0,0001503	0,0000228

Tabela 39 Emisije delcev na enoto posameznega onesnaževala zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom, gradnja z izkopom, Gradbišče Mlino

Table 39 PM emission per unit for excavated soil, bedding and cover, open cut, Mlino construction site

Vir emisije delcev	TE	
	PM ₁₀	PM _{2,5}
	[kg/t]	[kg/t]
izkopana zemljina	0,0000222	0,0000034
lomljenec kamni agregat frakcije 0/4	0,0652582	0,0098820
izkopana zemljina, ki se ponovno vgradi	0,0000222	0,0000034
tamponski drobljenec 0/32	0,0001034	0,0000157

7 ANALIZA REZULTATOV

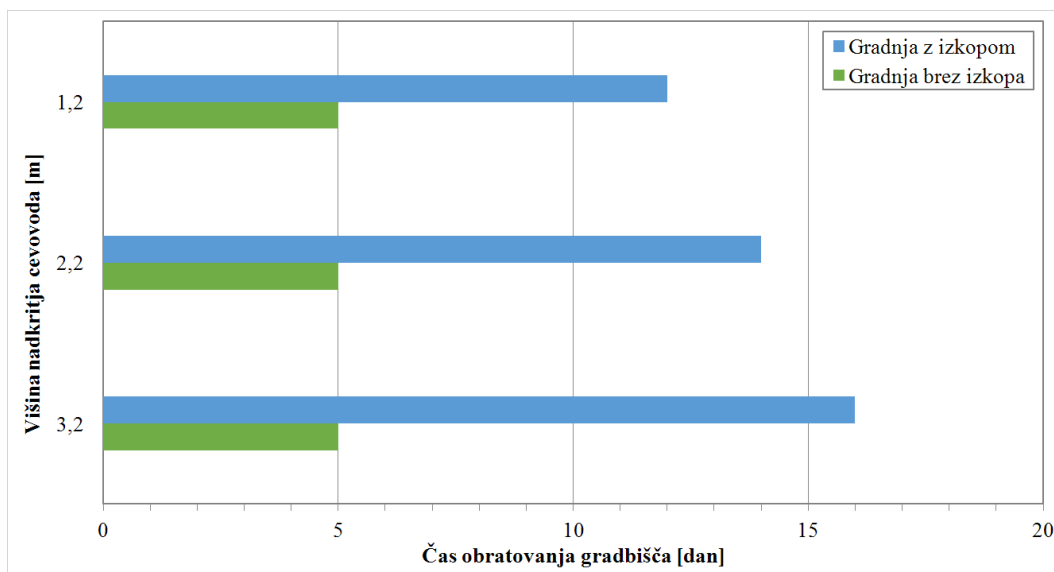
Na podlagi predhodno opisanih operacij, ki se dogajajo znotraj območja gradbišča, smo po metodah Tier, ki jih predlaga EEA, izvedli izračun količine emisije PM_{10} in $PM_{2,5}$ za posamezno operacijo pri gradnji z izkopom in gradnji brez izkopa. Lokacija gradbišča je na območju goste poseljenosti v Ljubljani. Zaradi simulacije različnih zunanjih robnih pogojev gradbišča (meteorološki pogoji, lastnosti zemljine in kamenega agregata), smo upoštevali lastnosti zemljine in kamenega agregata z dveh gradbišč na različnih lokacijah. Pri gradnji z izkopom smo uporabili podatke odvzetih vzorcev izkopane zemljine in kamenega agregata z gradbišč: Bled-Mlino z dne 21.4.2016 in Bled-Rečica z dne 24.6.2016. Račun smo izvedli za tri različne višine nadkritja: 1,2 m, 2,2 m in 3,2 m ter pri enaki višini nadkritja primerjali emisije gradbišča za oba načina gradnje podzemne linijske infrastrukture.

7.1 Čas obratovanja gradbišča

Gradbišče smo analizirali glede na čas pojava le-tega v prostoru - od vzpostavitve do zaprtja gradbišča. Skladno s pričakovanji je čas obratovanja gradbišča pri načinu gradnje z izkopom daljši od načina gradnje brez izkopa.

Čas obratovanja gradbišča pri gradnji z izkopom se s povečevanjem višine nadkritja pričakovano podaljšuje. S povečevanjem nadkritja se povečuje količina izkopane zemljine ter dopeljanega kamenega agregata, ki nadomesti izkopano zemljino. Hkrati se z večanjem globine jarka zmanjšuje dolžina dnevnega izkopa jarka. Časovna enota obratovanja gradbišča zaradi spreminjanja nadkritja cevovoda je dan.

Pri gradnji brez izkopa se čas obratovanja gradbišča s povečevanjem višine nadkritja pričakovano podaljšuje. S povečevanjem nadkritja se podaljšuje tudi dolžina vrtine. Časovna enota obratovanja gradbišča zaradi večanja višine nadkritja cevovoda je ura. Število dni obratovanja gradbišča se pri izbrani tehnologiji gradnje in obravnavani dolžini vgradnje cevovoda ne spreminja.



Graf 1 Čas obratovanja gradbišča v dnevih glede na izbrano tehnologijo gradnje in višino nadkritja
Chart 1 Construction site total working time in days according to selected technology and cover

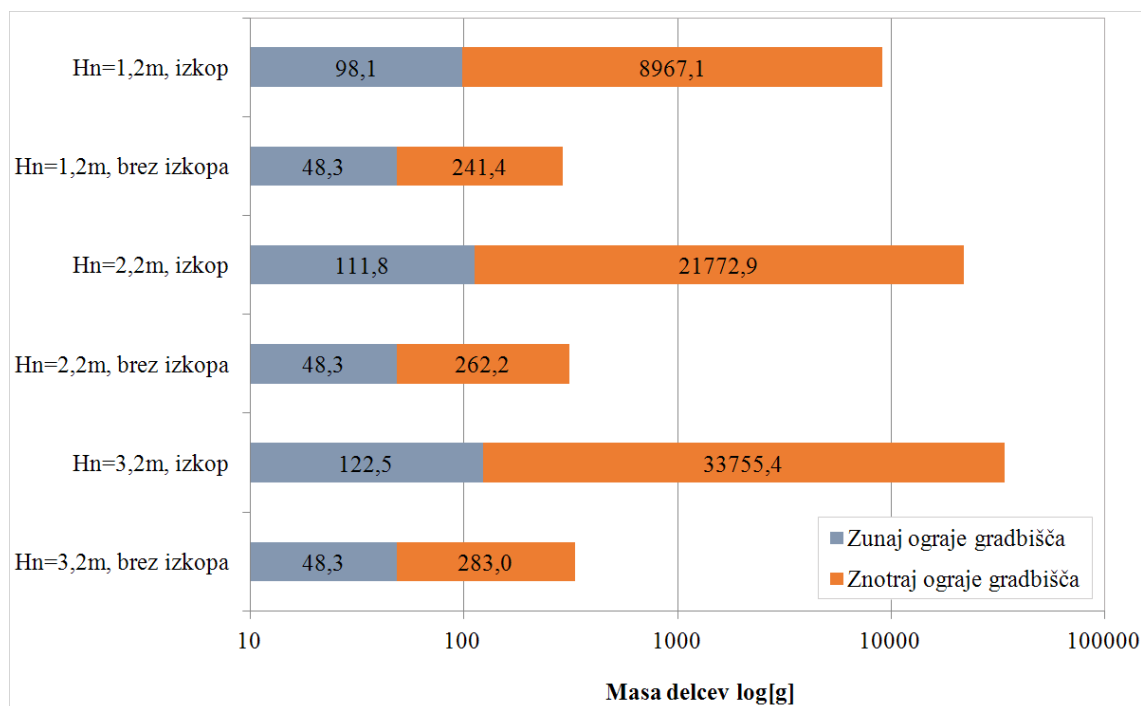
7.2 Delež emisije delcev izven ograje gradbišča

Emisijski viri, ki se pojavljajo v sklopu delovanja gradbišča kot celote, se delijo na vire znotraj ograje gradbišča in izven ograje gradbišča. Znotraj ograje gradbišča vire emisije predstavljata delovanje gradbene mehanizacije in opreme pri obeh načinih gradnje ter dodatno manipulacija z izkopano zemljino in kamenim agregatom pri gradnji z izkopom. Izven ograje gradbišča so pri obeh načinih gradnje viri emisije vezani na prevoze, ki so nujno potrebni za vzpostavitev in zapiranje gradbišča. Pri gradnji z izkopom k večanju emisij prispevajo tudi prevozi, vezani na izkopano zemljino oziroma dopeljani material (kamni agregat, opaži).

Po analizi operacij zunaj in znotraj ograje gradbišča ter opravljenem računu vrednosti emisij PM_{10} in $PM_{2,5}$ smo v nasprotju s pričakovanji ugotovili, da pri gradnji z izkopom emisije delcev zaradi prevozov izven ograje gradbišča zavzemajo sorazmerno majhen delež v primerjavi s skupnimi emisijami PM_{10} in $PM_{2,5}$ (vsota emisij delcev znotraj in izven ograje gradbišča).

Kljub povečevanju nadkritja količina izkopane zemljine, ki se trajno deponira ter z njo povezani prevozi, ostajajo konstantni. Emisija delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ se povečuje le na račun dinamike obratovanja gradbišča, saj se predpostavlja, da se ves material z gradbišča odpelje

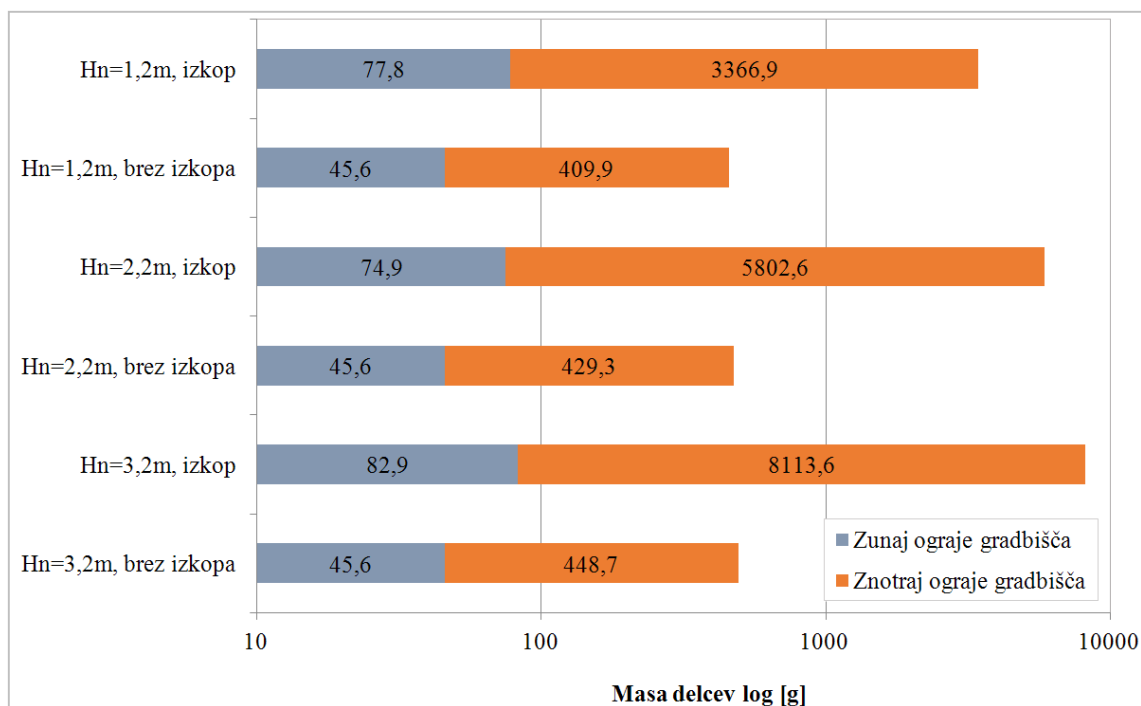
sproti. To pri večjem nadkritju in enaki količini odpeljane / dopeljane zemljine oz. kamenega agregata pomeni večje število obratovalnih dni gradbišča in večje število voženj tovornega vozila. Slednje odpelje z gradbišča in se nanj vrne tudi v primeru, da ni popolnoma polno.



Graf 2 Masa delcev PM₁₀ znotraj in izven ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino

Chart 2 PM₁₀ mass inside and outside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site

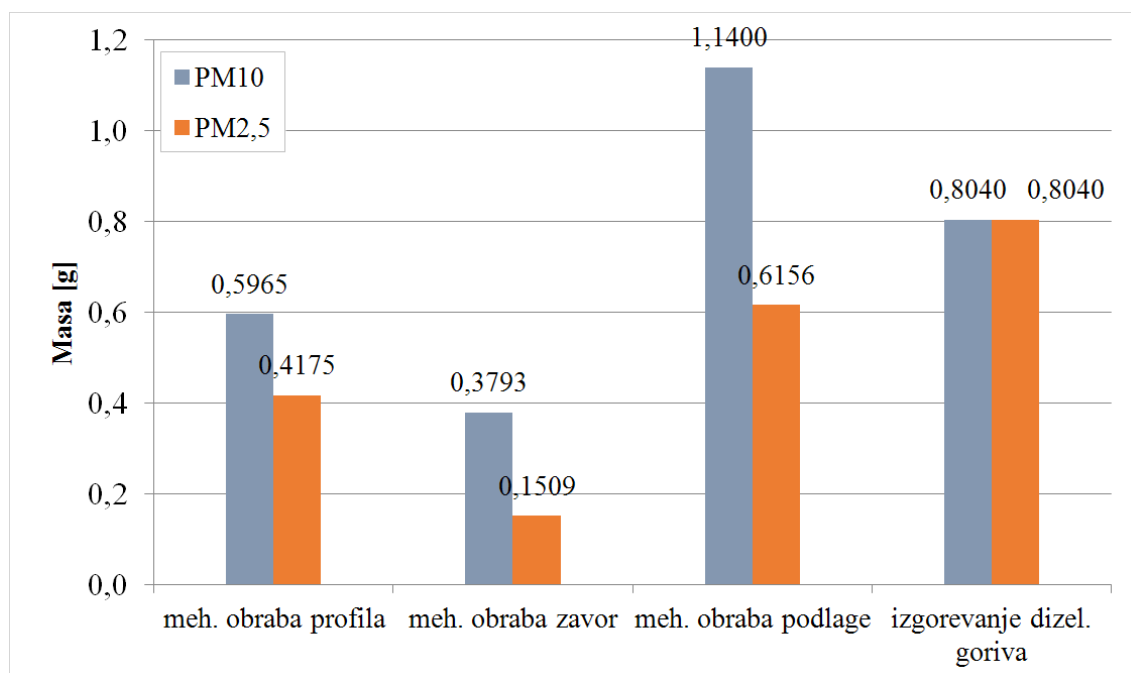
Pri gradnji brez izkopa masa, vezana na emisije delcev izven ograje gradbišča, ostaja konstanta. Ker pa se z daljšanjem vrtine podaljšuje čas obratovanja gradbene mehanizacije in opreme znotraj ograje gradbišča, se delež emisije delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, vezan na prevoze zmanjšuje na račun povečanja mase delcev, ki nastanejo kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem znotraj ograje gradbišča.



Graf 3 Masa delcev PM_{2,5} znotraj in izven ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino

Chart 3 PM_{2,5} mass inside and outside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site

Pri računu emisij, vezanih na prevoze, je presenetilo dejstvo, da ne prevladujejo delci, ki nastanejo kot posledica izgorovanja delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorovanjem, pač pa prevladujejo delci kot posledica mehanske obrabe profila pnevmatik, mehanske obrabe zavor in mehanske obrabe podlage. Vsota mase delcev PM₁₀ pri vožnji 4-osnega tovornega vozila na razdalji 30 km ter s povprečno hitrostjo 70 km/h, ki nastanejo zaradi predhodno navedenih virov mehanske obrabe znaša 2,1157 g. Delci, ki nastanejo zaradi notranjega izgorovanja dizelskih motorjev, z 0,8040 g predstavljajo le 38 % delež. Vsota mase delcev PM_{2,5} pri enakih pogojih je 1,1841 g, delci, ki nastanejo zaradi notranjega izgorovanja dizelskih motorjev pa z 0,8040 g predstavljajo 64 % delež.



Graf 4 Masa delcev PM₁₀ in PM_{2,5} pri vožnji 4-osnega tovornega vozila na razdalji 30 km in hitrosti vožnje 70 km/h

Chart 4 PM₁₀ and PM_{2,5} mass of 4-axle HDV, driving distance 30 km, speed 70 km/h

Zaradi ugotovitve, da prevozi k emisiji gradbišča kot celote prispevajo sorazmerno majhen delež, v nadaljnji analizi obravnavamo samo območje znotraj ograje gradbišča.

7.3 Emisije delcev znotraj ograje gradbišča

Analiza skupne emisije delcev PM₁₀ in PM_{2,5} (delovanje dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem ter manipulacija z izkopano zemljino in kamenim agregatom) znotraj območja ograje gradbišča je pokazala, da pri upoštevanju podatkov z gradbišča Bled-Mlino pri gradnji z izkopom v nasprotju s pričakovanimi rezultati prevladujejo emisije zaradi manipulacije z gradbenim materialom. Na gradbišču se je za posteljico in obsip uporabljal kameni agregat lomljenec 0/4 z zelo nizko naravno vlažnostjo 0,02 %, izkopana zemljina, ki je hkrati služila tudi za zasip pod tamponskim slojem, je imela naravno vlažnost 6 %.

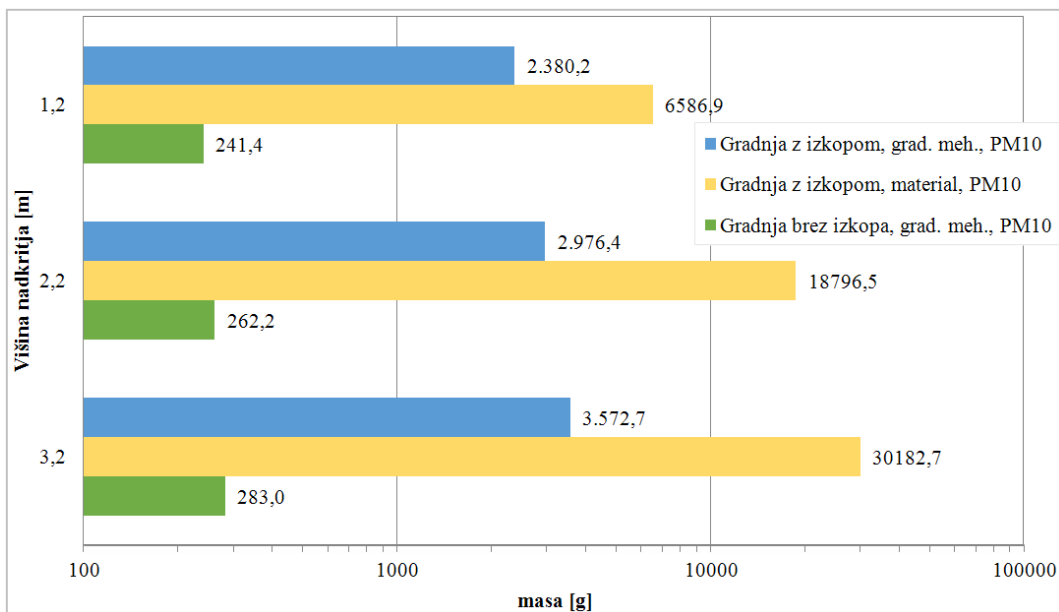
Emisije delcev PM₁₀ zaradi delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem glede na nadkritje 1,2 m ($m = 2.380,2$ g) narastejo za faktor 1,25 pri nadkritju 2,2 m in faktor 1,50 pri nadkritju 3,2 m. Emisije PM_{2,5} imajo enak trend naraščanja: faktor 1,25 pri nadkritju 2,2 m ter faktor 1,50 pri nadkritju 3,2 m.

Emisije delcev PM_{10} zaradi manipulacije z gradbenim materialom glede na višino nadkritja 1,2 m ($m = 6.586,9$ g) narastejo za faktor 2,85 pri nadkritju 2,2 m in faktor 4,58 pri nadkritju 3,2 m. Tudi tu imajo emisije $PM_{2,5}$ enak trend naraščanja: z začetne mase pri nadkritju 1,2 m 997,4 g skokovito narastejo za faktor 2,85 pri nadkritju 2,2 m ter faktor 4,58 pri nadkritju 3,2 m.

Emisija delcev PM_{10} zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom pri nadkritju 3,2 m dosega kar 845 % vrednosti emisije delcev, ki nastanejo kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem. Emisija delcev $PM_{2,5}$ pri enakih pogojih znaša le 129 % vrednosti emisije delcev kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem.

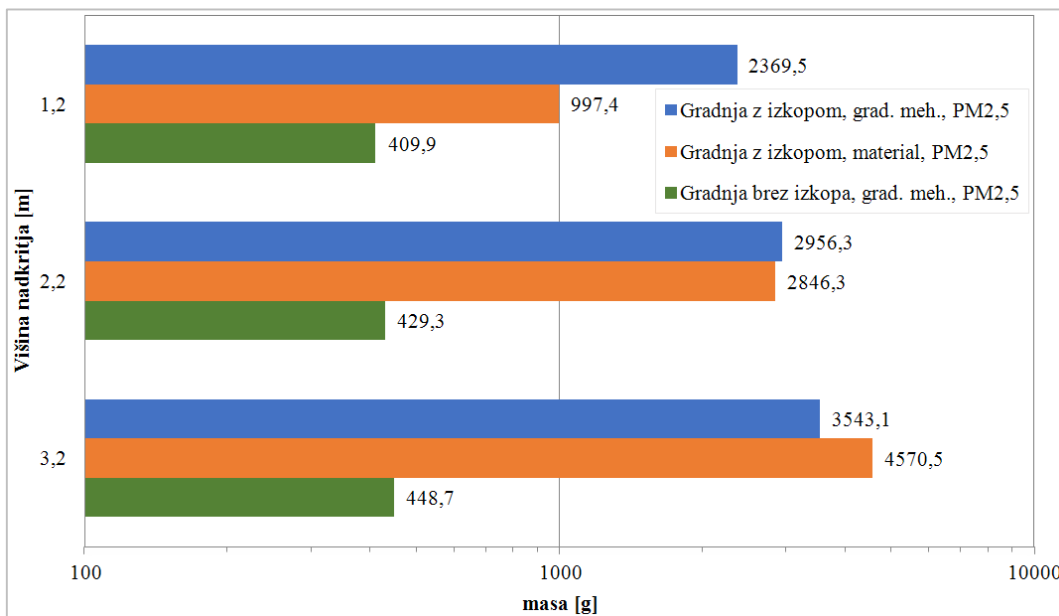
Pri gradnji brez izkopa manipulacije z gradbenim materialom ni, prisotna je le emisija zaradi delovanja gradbene mehanizacije. Z večanjem nadkritja se vrednost emisije delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ pričakovano povečuje, saj se podaljšuje čas delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Zaradi predpostavke pri metodi Tier 1 (račun za delovanje dizelskega motorja z notranjim izgorevanjem v prostem teku, tovornjak cisterna), ki opredeljuje le $PM_{2,5}$ in jih enači s PM_{10} , so vrednosti emisije $PM_{2,5}$ nekoliko večje od vrednosti emisije PM_{10} . Vrednosti emisije zaradi delovanja necestne mehanizacije so izračunane po metodi Tier 3, ki ločeno opredeljuje emisijske faktorje za PM_{10} in $PM_{2,5}$.

Emisije delcev PM_{10} zaradi delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem glede na višino nadkritja 1,2 m ($m = 241,4$ g) praktično ostajajo na enaki ravni, saj narastejo za faktor zgolj 1,17 pri nadkritju 3,2 m. Emisije $PM_{2,5}$ imajo podoben trend naraščanja: z začetne mase 409,9 g pri nadkritju 1,2 m naraste za faktor 1,09 na maso 448,7 g pri nadkritju 3,2 m.



Graf 5 Vsota emisije delcev PM₁₀ znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino

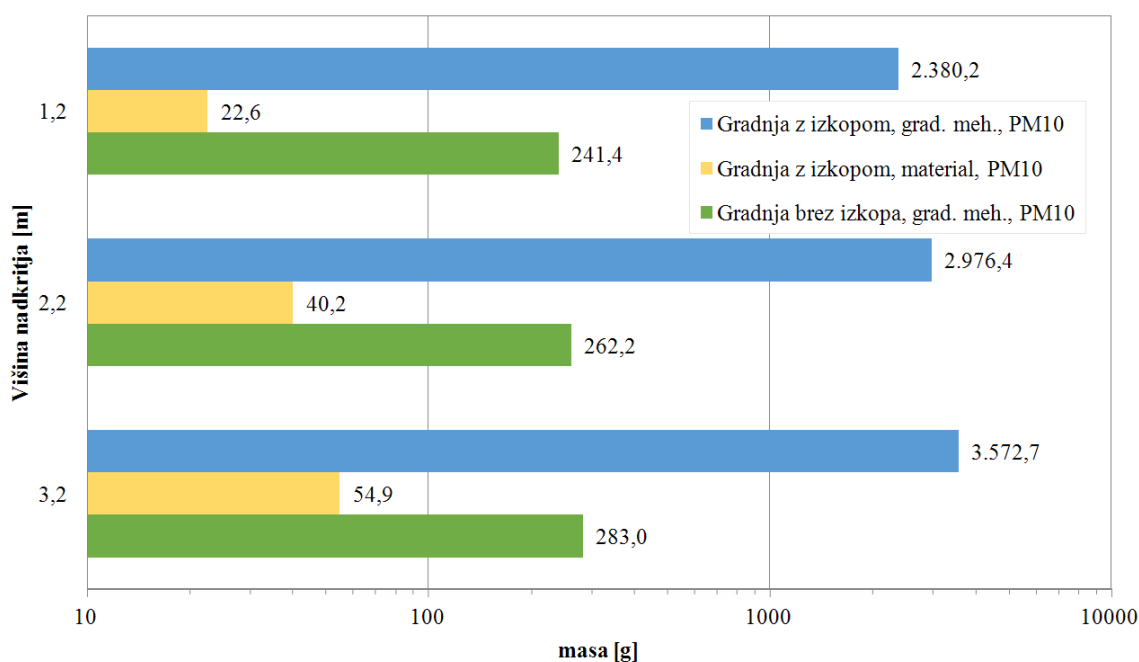
Chart 5 PM₁₀ mass inside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site



Graf 6 Vsota emisije delcev PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Mlino

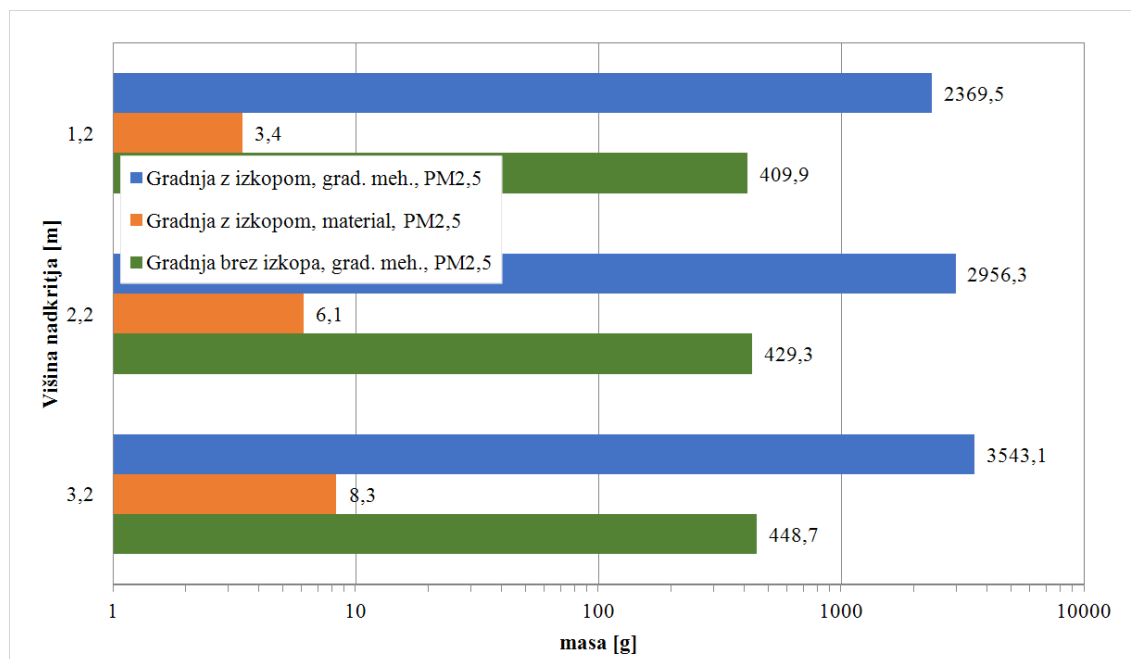
Chart 6 PM_{2,5} mass inside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site

Na gradbišču Bled-Rečica se je namesto lomljenca za posteljico in obsip uporabljal separiran material z okroglimi zrni 0/4 z naravno vlažnostjo 5,24 %. Zaradi načina pridobivanja kamenega agregata je v njem prisotna višja vsebnost vlage. Menjava materiala za posteljico in obsip je pokazala, da je emisija delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom zanemarljiva v primerjavi z emisijami delcev, ki jih povzročajo dizelski motorji z notranjim izgorevanjem. Emisija delcev PM₁₀ zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom pri nadkritju 1,2 m pomeni zgolj 0,95 % vrednosti emisije delcev, ki nastanejo kot posledica delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Pri nadkritju 3,2 m se delež povzpne na 1,54 %. Emisija delcev PM_{2,5} pri nadkritju 1,2 m zaradi manipulacije z zemljino in kamenim agregatom znaša 0,14 % vrednosti emisije delcev zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme, s povečanjem nadkritja na 3,2 m pa se delež povzpne na 0,23 %.



Graf 7 Vsota emisije delcev PM₁₀ znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Rečica

Chart 7 PM₁₀ mass inside construction site area, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site



Graf 8 Vsota emisije delcev PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, podatki o izkopani zemljini in kamenem agregatu na lokaciji Bled-Rečica

Chart 8 PM_{2,5} mass inside Bled- Rečica construction site area

7.4 Količina PM₁₀ in PM_{2,5} po dnevih od pričetka obratovanja do zaprtja gradbišča

Od dneva vzpostavitve gradbišča do dneva zaprtja gradbišča se pri gradnji z izkopom dnevne vrednosti emisij delcev PM₁₀ in PM_{2,5} spreminjajo glede na aktivnosti dnevnih operacij: priprava gradbišča, izvajanje izkopa, priprava posteljice in obsipa, izvajanje zasipa, priprava finega planuma, asfaltiranje ter zapiranje gradbišča.

7.4.1 Gradnja z izkopom

Pri pripravi gradbišča (dan 1) so prisotne le emisije PM_{2,5} = 9,59 g/dan zaradi delovanja tovornega vozila v prostem teku pri vzpostavitvi gradbišča. Zaradi predpostavke pri metodi Tier 1 (račun za delovanje dizelskega motorja z notranjim izgorevanjem v prostem teku), so upoštevani le delci PM_{2,5}. Emisije so enake za vse višine nadkritja temena cevovoda.

Rušenje asfalta (dan 2) poteka z bagrom, ki naklada gradbene odpadke na tovorno vozilo v prostem teku, zato so prisotne emisije PM₁₀ in PM_{2,5} kot posledica delovanja dizelskega motorja z notranjim izgorevanjem. Vrednosti slednjih zaradi enakega načina dela in uporabe

enake gradbene mehanizacije ostajajo konstantne tudi pri izkopu jarka; spreminja se le čas uporabe, ki z globino izkopa jarka narašča. Vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ so praktično enake in so velikostnega razreda 200,88 g/dan za delce PM_{10} oz. 201,87 g/dan za delce $PM_{2,5}$.

Z dnevom, ko nastopi izkop jarka (dan 3, pri vseh višinah nadkritja), nastanejo tudi emisije zaradi manipulacije z izkopano zemljino.

Zaradi različnih vrednosti naravnih vlažnosti izkopane zemljine so vrednosti emisije delcev od gradbišča do gradbišča različne.

Za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Mlino prevladujejo delci PM_{10} z maso 1,49 g/dan in nadkritju 1,2 m do 2,56 g/dan pri nadkritju 3,2 m. Delež $PM_{2,5}$ znaša 0,23 g/dan (višina nadkritja 1,2 m), 0,34 g/dan (višina nadkritja 2,2 m) ter 0,39 g/dan (višina nadkritja 3,2 m). Pri nobeni višini nadkritja vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ ne presegajo vrednosti emisije delcev, ki nastanejo zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme.

Za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Rečica podobno kot na gradbišču Bled-Mlino prevladujejo delci PM_{10} . Zaradi manjše naravne vlažnosti izkopane zemljine se emisije delcev povečajo na maso 3,07 g/dan in nadkritju 1,2 m, 4,59 g/dan pri nadkritju 2,2 m in 5,26 g/dan pri nadkritju 3,2 m. Delež $PM_{2,5}$ znaša 0,47 g/dan (višina nadkritja 1,2 m), 0,69 g/dan (višina nadkritja 2,2 m) ter 0,80 g/dan (višina nadkritja 3,2 m). Pri nobeni višini nadkritja vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ ne presegajo vrednosti emisije delcev, ki nastanejo zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme.

V času izvajanja izkopa jarka so emisije delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino zanemarljive v primerjavi z emisijo delcev, ki nastane zaradi delovanja dizelskih motorjev. Pri vlažnosti izkopane zemljine 4,68 % (lokacija gradbišča Bled-Rečica) emisija delcev PM_{10} pri 3,2 m nadkritja dosega le 2,62 % deleža emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Pri večji vlažnosti izkopane zemljine, to je 6 % (lokacija gradbišča Bled-Mlino) in enakem nadkritju, emisija delcev pade na 1,27 %. Emisija delcev $PM_{2,5}$ pri enakih pogojih v nobenem primeru ne preseže 0,5 %.

S pričetkom zasipanja jarka se poveča prisotnost števila gradbene mehanizacije in opreme na gradbišču. Posledično se poveča emisija delcev zaradi delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem. V primerjavi z dnevi, ko se izvaja izkop jarka, se vrednost PM_{10}

poveča za faktor 1,97 (na vrednost 395,35 g/dan), vrednost $PM_{2,5}$ pa se poveča za faktor 1,91 (na vrednost 384,95 g/dan), neodvisno od višine nadkritja. Dnevna vrednost emisije delcev v času zasipanja jarka ostaja konstantna ves čas uporabe gradbene mehanizacije in opreme.

Emisija delcev za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Mlino se skokovito poveča pri izdelavi posteljice in obsipa cevi iz kamnitega lomljenca frakcije 0/4. V primerjavi z izkopano zemljino iz jarka ima preiskani material frakcije 0/4 zgolj 0,02 % naravno vlažnost, izkopani material pa 6,00 % naravno vlažnost. Zaradi omenjenega dejstva pri stresanju materiala iz bagske žlice približno z višine nivoja terena prihaja do obilnega, s prostim očesom vidnega pojava prahu. V primerjavi z emisijami delcev PM_{10} , ki se pojavijo pri izkopu zemljine, se emisija delcev pri izdelavi posteljice in obsipa poveča za faktor 1.470 (na 2.194,15 g/dan v primerjavi z 1,50 g/dan pri izkopu zemljine) pri nadkritju 1,2 m, za faktor 2.108 (na 4.696,90 g/dan v primerjavi z 2,23 g/dan pri izkopu zemljine) pri nadkritju 2,2 m ter za faktor 2.359 (na 6.033,99 g/dan v primerjavi z 2,56 g/dan pri izkopu zemljine) pri nadkritju 3,2 m. Razmerje vrednosti emisije delcev $PM_{2,5} / PM_{10}$ pri vseh višinah nadkritja znaša 15,14 %.

Razlog za manjši skok faktorja emisije delcev med vrednostma nadkritij 2,2 m in 3,2 m v primerjavi z vrednostma nadkritja 1,2 m in 2,2 m tiči v razmerju tamponskega drobirja in izkopane zemljine, ki se vgradi nazaj v jarek. Za izkopano zemljino se privzame, da ima ob ponovni vgradnji še vedno naravno vlažnost, to je 4,68 %. Tamponski drobir ima vlažnost 2 %. Količina ponovno vgrajene zemljine pri nadkritju 2,2 m je $1,85 \text{ m}^3/\text{m}^1$, pri nadkritju 3,2 m pa $2,93 \text{ m}^3/\text{m}^1$, pri nadkritju 1,2 m pa le $0,52 \text{ m}^3/\text{m}^1$.

Emisija delcev na gradbišču Bled-Rečica se poveča pri izdelavi posteljice in obsipa cevi iz separiranega kamenega agregata frakcije 0/4. V primerjavi z izkopano zemljino iz jarka ima preiskani material frakcije 0/4 naravno vlažnost 5,24 %, ki je celo večja od vlažnosti izkopane zemljine z vrednostjo 4,68 %. Vlažnost separiranega kamenega agregata je sicer odvisna od časa izpostavljenosti vremenskim vplivom v času od proizvodnje agregata do časa vgradnje. V primerjavi z emisijami delcev PM_{10} , ki se pojavijo pri izkopu zemljine, emisija delcev pri izdelavi posteljice in obsipa praktično ostaja na enaki ravni: povečanje z vrednosti 3,07 g/dan iz časa izkopa na vrednost 4,45 g/dan pri nadkritju 1,2 m, ter povečanje z vrednosti 5,26 g/dan na vrednost 5,73 g/dan pri nadkritju 3,2 m.

Pri vgradnji posteljice in obsipa se je izkazalo, da na vrednost emisije delcev močno vpliva vlažnost kamenega agregata. Tako emisija delcev $PM_{2,5}$ za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Mlino pri nadkritju 1,2 m ne doseže vrednosti emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme, medtem ko vrednosti emisije PM_{10} to vrednost presegajo za 5,55 krat. Pri nadkritju 3,2 m emisije $PM_{2,5}$ presežejo vrednosti emisije delcev, ki nastanejo zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme 2,37-krat, emisije delcev PM_{10} pa kar 15,26-krat.

Emisija delcev $PM_{2,5}$ za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Rečica pri nobeni vrednosti nadkritja ne doseže vrednosti emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme, prav tako vrednosti emisije PM_{10} . Pri nadkritju 3,2 m emisija delcev PM_{10} ne preseže 1,45 %, vrednost emisije delcev $PM_{2,5}$ pa ne preseže 0,23 % emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Vrednosti z globino praktično ostajajo konstantne.

Pri pripravi finega planuma so prisotne le emisije delcev zaradi delovanja majhnega števila gradbene mehanizacije in opreme. Neodvisno od višine nadkritja je številčna prisotnost gradbene mehanizacije in opreme za pripravo finega planuma konstanta, vrednosti $PM_{10} = 47,92$ g/dan ter $PM_{2,5} = 45,00$ g/dan pa ostajata enaki.

V fazi vgradnje asfaltne nosilne ter obrabne in zaporne plasti je prisotno večje število gradbene mehanizacije, zato se pričakovano vrednosti emisije PM_{10} zvišajo na 171,36 g/dan in vrednosti $PM_{2,5}$ na 176,26 g/dan. Vrednosti emisije delcev ne glede na višino nadkritja ostajajo enake.

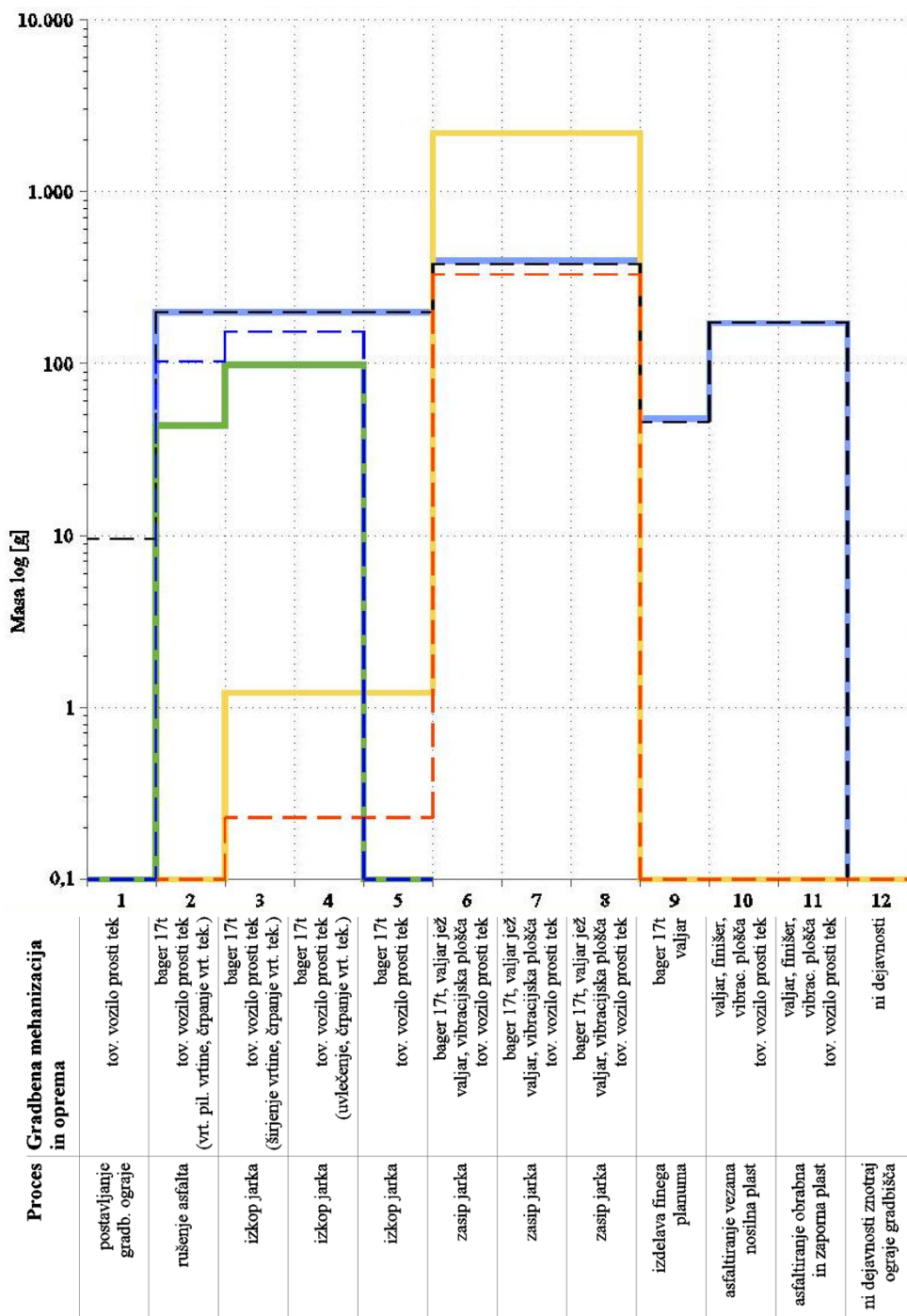
7.4.2 Gradnja brez izkopa

Pri gradnji brez izkopa so prisotni le delci PM_{10} in $PM_{2,5}$, ki nastajajo kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem gradbene mehanizacije in opreme.

Pri izvedbi pilotne vrtine, ko vrtalna garnitura obratuje s 25 % moči, so emisije delcev najnižje, z globino pa vrednost te emisije zaradi izvedbe daljše vrtine pričakovano narašča. Vrednosti emisije delcev PM_{10} pri nadkritju 1,2 m znašajo 44,34 g/dan, pri nadkritju 2,2 m 48,16 g/dan ter pri najvišjem nadkritju 3,2 m 51,99 g/dan. Vrednosti $PM_{2,5}$ zaradi že v predhodnih poglavjih omenjenega načina računa emisije prostega teka tovornega vozila za

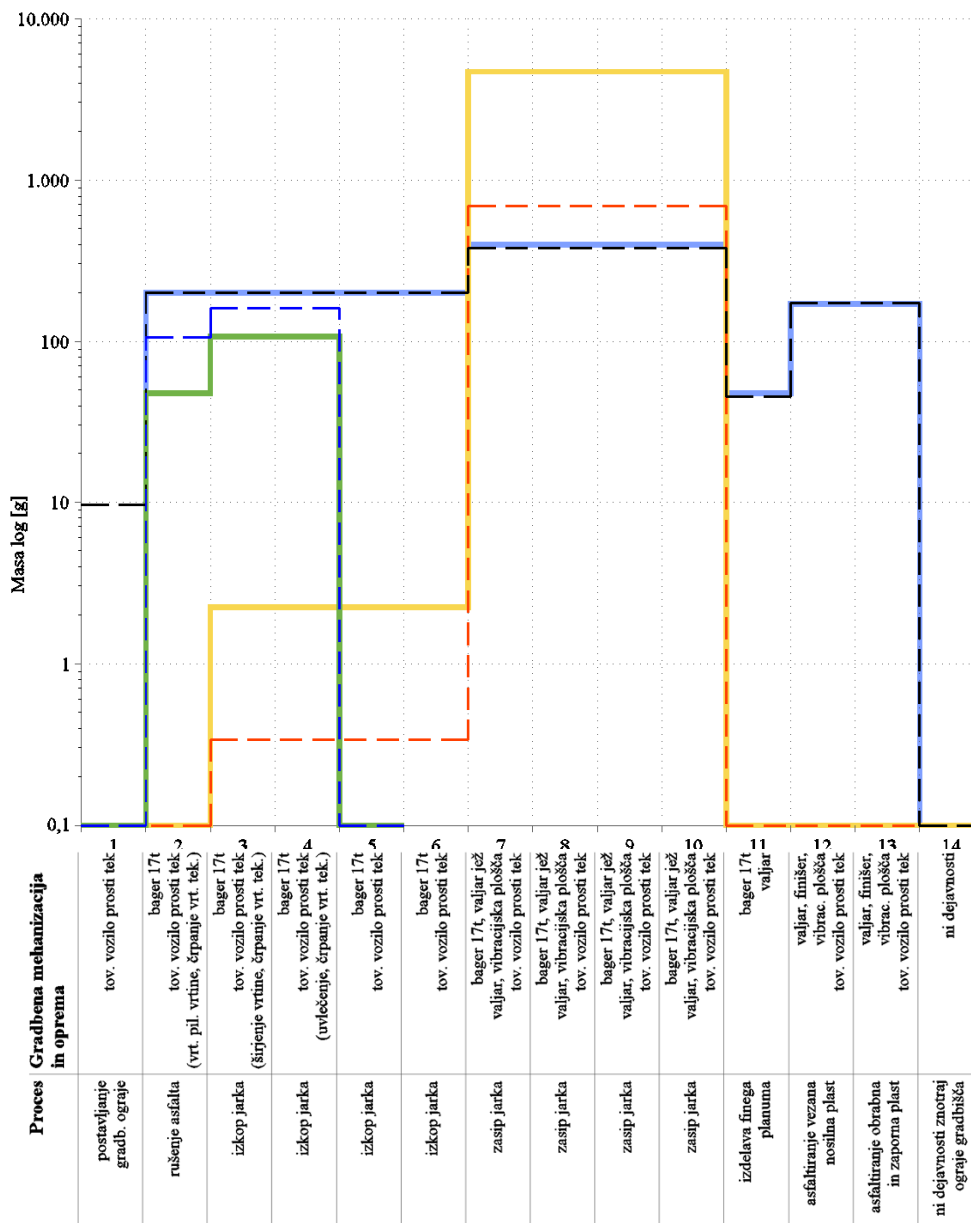
črpanje vrtalne tekočine presegajo vrednosti PM_{10} . Tako pri nadkritju 1,2 m znašajo 102,91 g/dan, pri nadkritju 2,2 m 106,47 g/dan ter pri največji vrednosti nadkritja dosežejo 110,04 g/dan.

Z izvedbo širjenja vrtine in uvlečenja cevovoda se poveča moč obratovanja vrtalne garniture na 50 % ter posledično emisije delcev, ki naraščajo tudi z povečevanjem dolžine vrtine. Vrednosti emisije delcev PM_{10} pri nadkritju 1,2 m znašajo 98,53 g/dan, pri nadkritju 2,2 m 107,03 g/dan ter pri najvišjem nadkritju 3,2 m 115,52 g/dan. Vrednosti $PM_{2,5}$ zaradi že v predhodnih poglavjih omenjenega načina računa emisije prostega teka tovornega vozila za črpanje vrtalne tekočine presegajo vrednosti PM_{10} . Tako pri nadkritju 1,2 m znašajo 153,48 g/dan, pri nadkritju 2,2 m 161,42 g/dan ter pri največji vrednosti nadkritja dosežejo 169,35 g/dan.



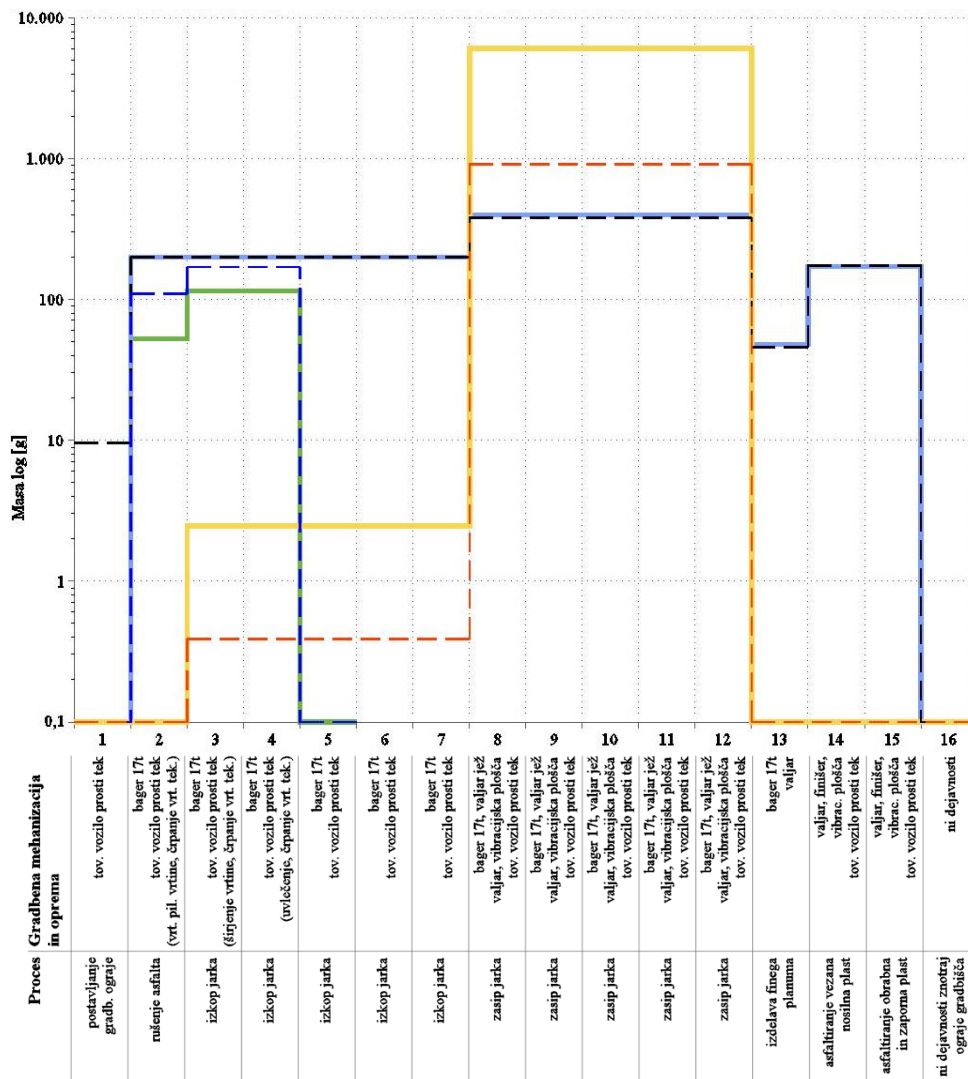
Graf 9 Emisija delcev PM₁₀ in PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, H_n = 1,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Mlino

Chart 9 PM₁₀ and PM_{2,5} emission inside construction site, daily values, H_{cover} = 1,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site



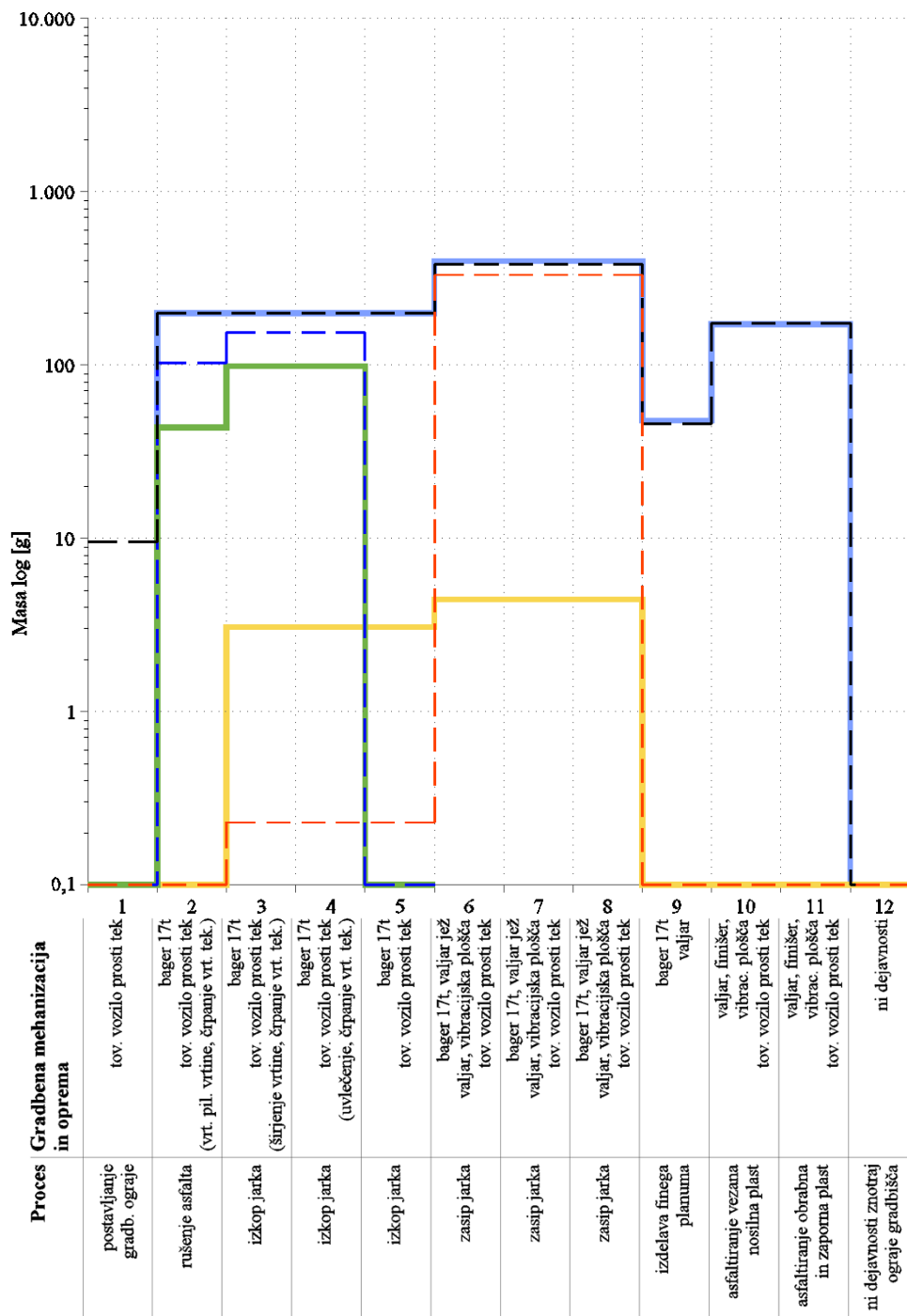
Graf 10 Emisija delcev PM₁₀ in PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, H_n = 2,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Mlino

Chart 10 PM₁₀ and PM_{2,5} emission inside construction site, daily values, H_{cover} = 2,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site



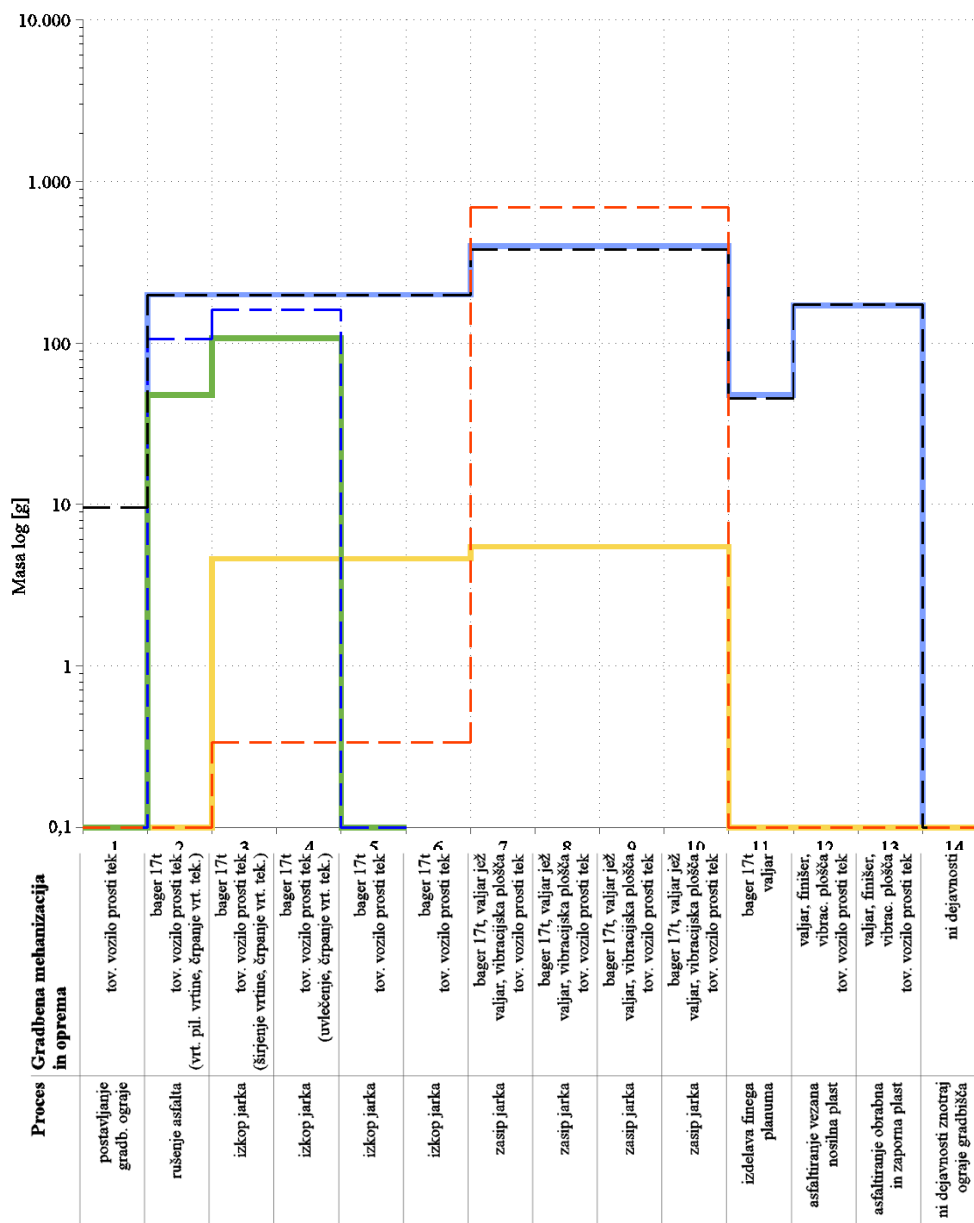
Graf 11 Emisija delcev PM₁₀ in PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, H_n = 3,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Mlino

Chart 11 PM₁₀ and PM_{2,5} emission inside construction site, daily values, H_{cover} = 3,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Mlino construction site



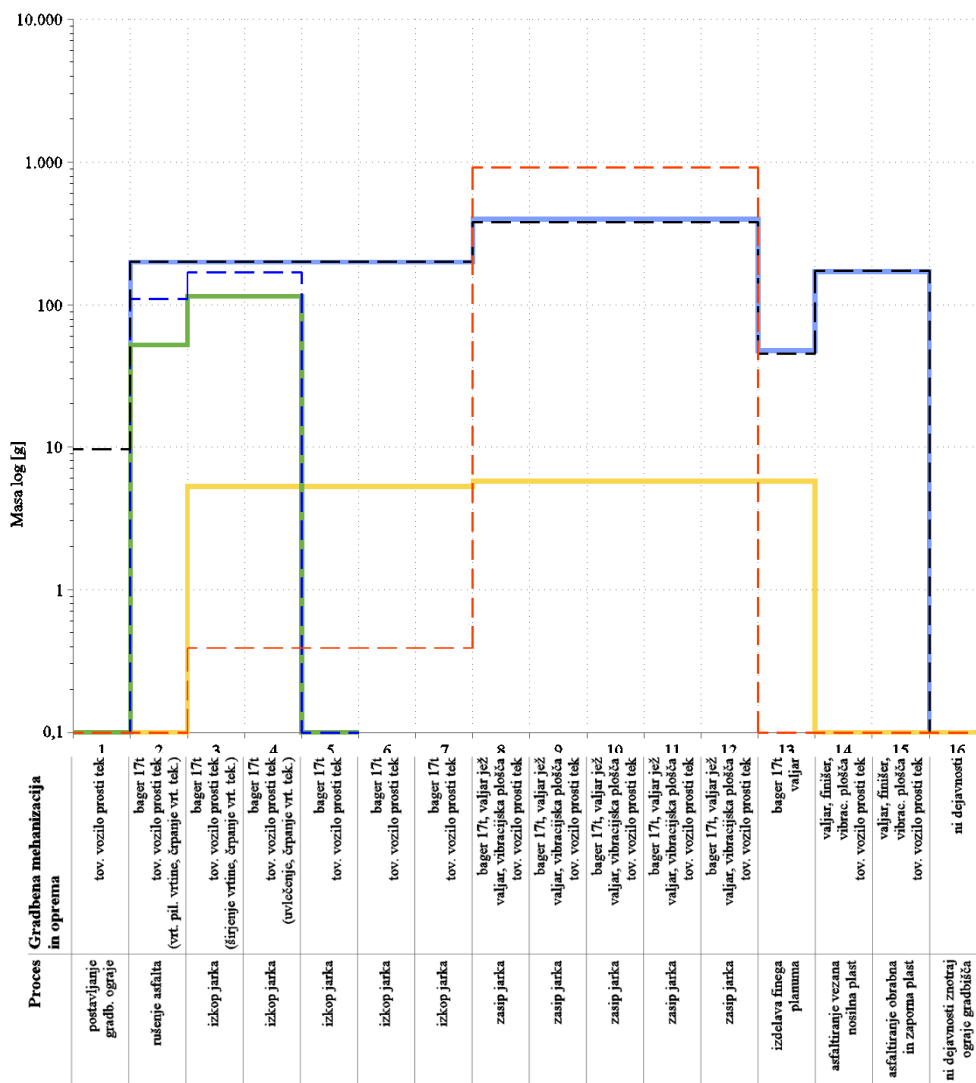
Graf 12 Emisija delcev PM₁₀ in PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, H_n = 1,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Rečica

Chart 12 PM₁₀ and PM_{2,5} emission inside construction site, daily values, H_{cover} = 1,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site



Graf 13 Emisija delcev PM₁₀ in PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, H_n = 2,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Rečica

Chart 13 PM₁₀ and PM_{2,5} emission inside construction site, daily values, H_{cover} = 2,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site

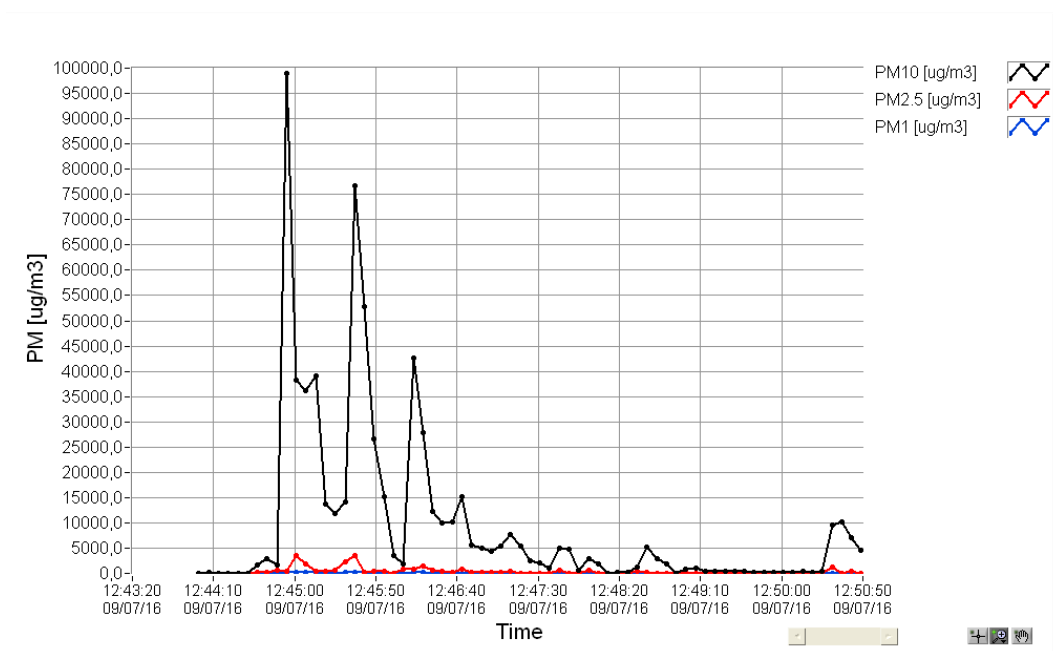


Graf 14 Emisija delcev PM₁₀ in PM_{2,5} znotraj ograje gradbišča, dnevna razporeditev, H_n = 3,2 m, podatki o zemljini in kamenem agregatu za gradbišče Bled-Rečica

Chart 14 PM₁₀ and PM_{2,5} emission inside construction site, daily values, H_{cover} = 3,2 m, ditch spoil and bedding data from Bled-Rečica construction site

7.5 Lastnosti delcev

Vsi delci, ki nastajajo zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme ter manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom znotraj ograje gradbišča, so glede na vir nastanka primarni in nastajajo izključno kot posledica človekove aktivnosti. Produkti zgorevanja dizelskih motorjev z notranjim zgorevanjem so posledica delovanja gradbene mehanizacije in opreme, delci mehanskega izvora pa so posledica manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom.



Graf 15 Koncentracija delcev v odvisnosti od časa pri stresanju kamenega agregata lomljenca 0/4 v jarek, lokacija gradbišča Bled-Rečica

Chart 15 Concentratiton/time schedule when working bedding operation, crushed rock, 0/4 mm, Bled-Rečica construction site

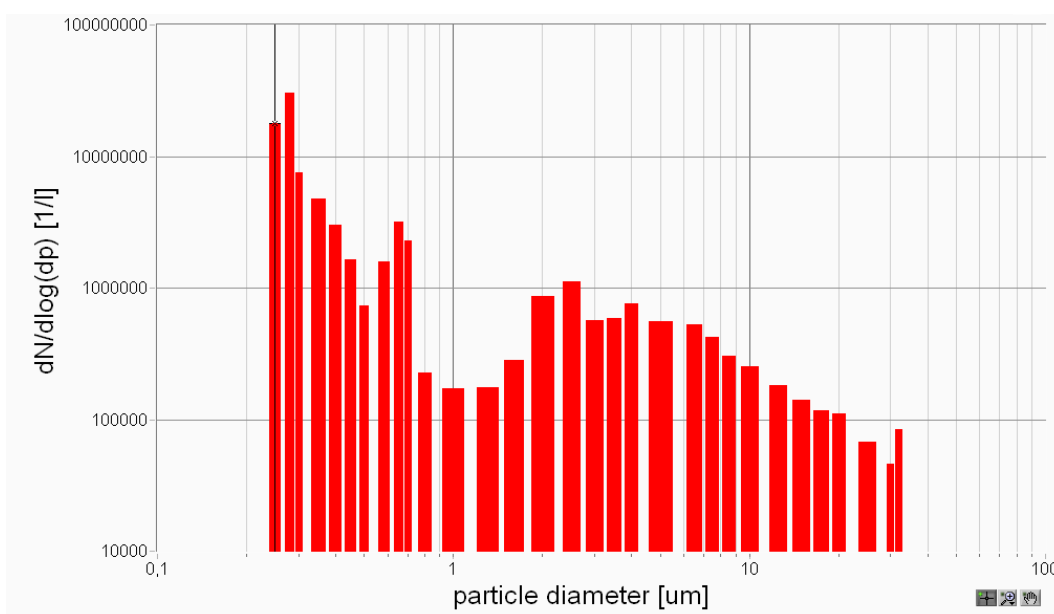
Glede na aerodinamični premer so prisotni delci v spektru od finih do grobih. V času stresanja kamenega agregata lomljenca 0/4 z naravno vlažnostjo 1,02 %, iz bagske žlice z višine približno 1,8 m, kontrolirani pogoji, podatki za lokacijo gradbišča Bled-Rečica, po številu delcev prevladujejo delci $PM_{2,5}$, ki predstavljajo približno dve tretjini skupnih delcev (TSP). PM_1 predstavljajo približno eno tretjino skupnih delcev (TSP).

Porazdelitev glede na maso delcev kaže, da večina delcev leži v območju grobih delcev, to je delcev z aerodinamičnim premerom večjim od 2,5 μm . Slednji se hitro usedajo.

Pri porazdelitvi delcev glede na površino ugotavljamo, da približno ena tretjina skupnih delcev leži v območju pod 2,5 μm . Ugotovitev, da tretjinski delež delcev glede na površino delcev $PM_{2,5}$ je vzpodbudna, saj je veliko število delcev in hkrati velika površina le-teh primerna podlaga za ukrep proti emisiji delcev (prašenju) - vlaženje kamenega agregata.

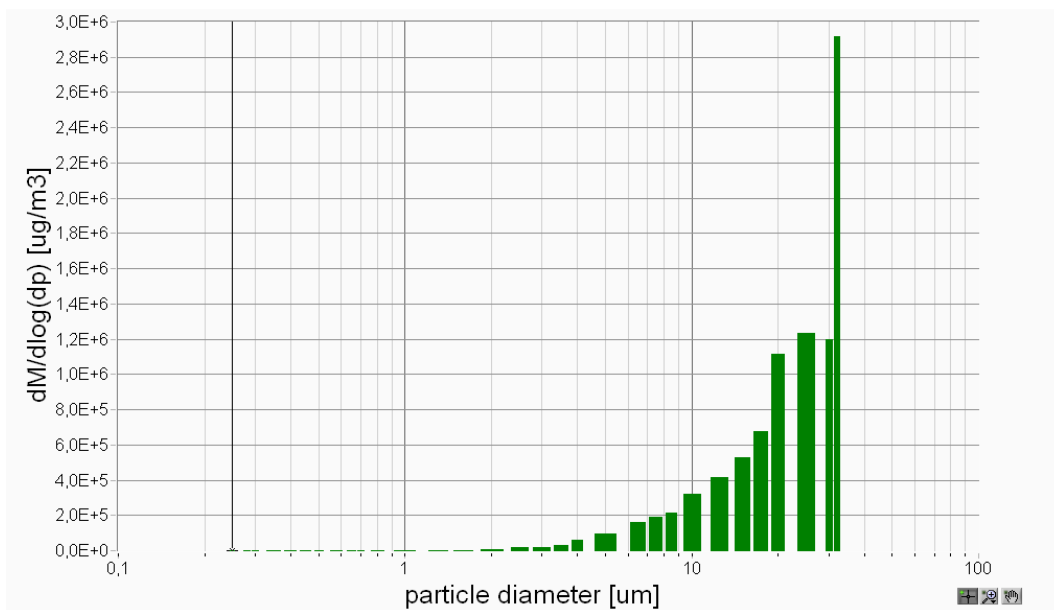
Rezultati, prikazani v grafih spodaj so predstavljajo dejansko emisijo, ki vključuje naravno in antropogeno ozadje. Emisije delcev, ki nastajajo zaradi delovanja gradbišča, smo pri meritvi zanemarili zaradi sledečih dejstev:

- globina jarka >2,50 m,
- čas od izkopa jarka do pričetka izdelave posteljice in obsipa manjši od ene ure,
- visoka naravna vlažnost izkopane zemljine,
- visoka temperatura zunanjega zraka 32° - topel zunanji zrak ne izpodriva hladnega zraka v jarku,
- meritev pred izvajanjem obsipa s kamenim agregatom kaže povprečne koncentracije delcev PM_{2,5} pod 20 µm/m³ ter PM₁₀ pod 50 µm/m³.



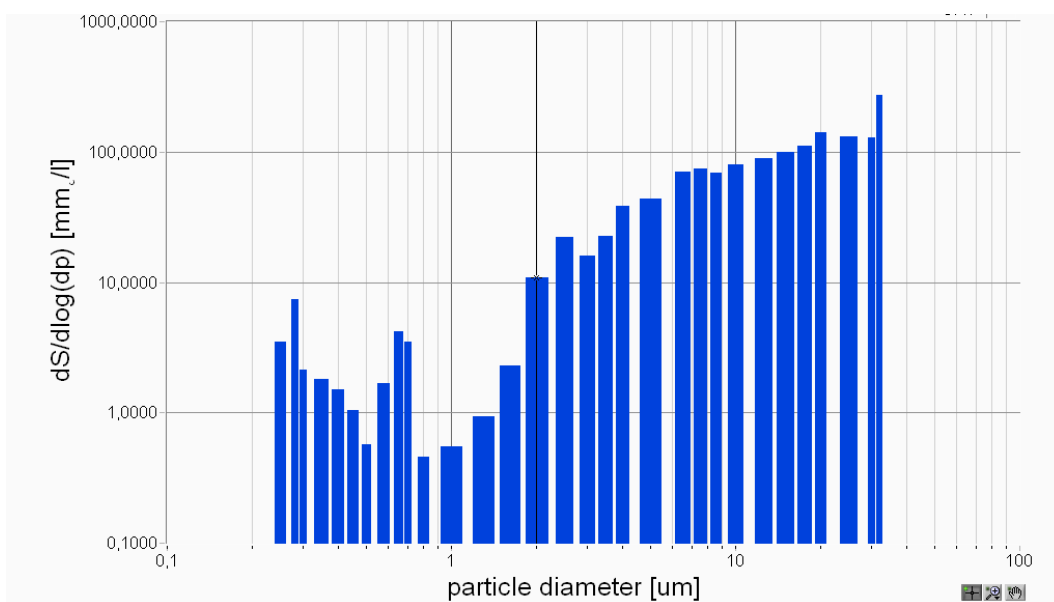
Graf 16 Porazdelitev delcev glede na število, kameni agregat lomljenec za obsip frakcije 0/4, faza stresanja iz bagske žlice, lokacija gradbišča Bled-Rečica

Chart 16 PM number distribution, bedding and cover, crushed rock, 0/4 mm, bucket dumping, Bled-Rečica construction site



Graf 17 Porazdelitev delcev glede na maso, kamni agregat lomljenec za obsip frakcije 0/4, faza stresanja iz bagske žlice, lokacija gradbišča Bled-Rečica

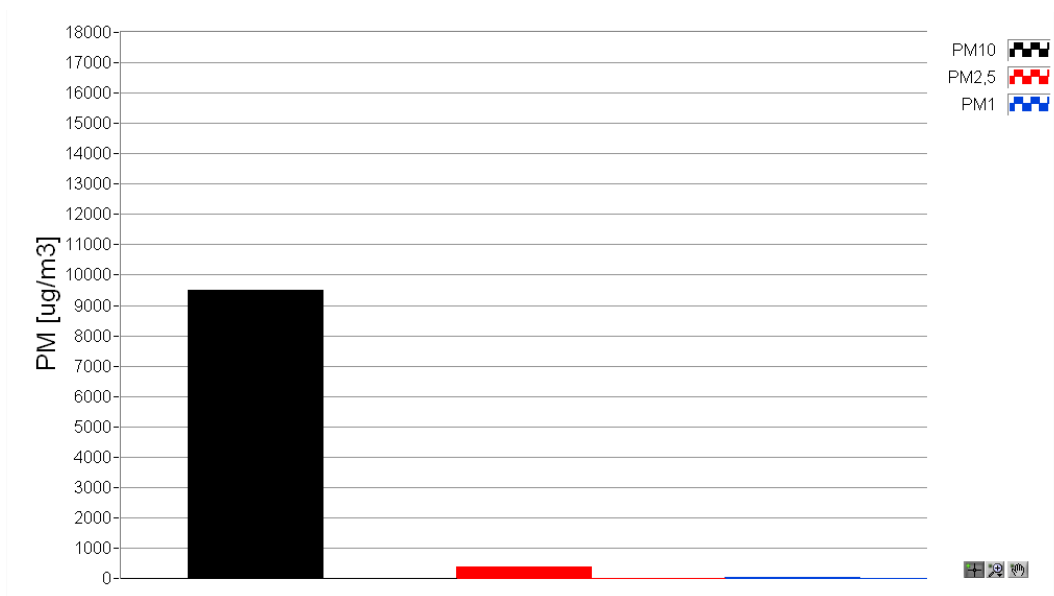
Chart 17 PM mass distribution, bedding and cover, crushed rock, 0/4 mm, bucket dumping, Bled-Rečica construction site



Graf 18 Porazdelitev delcev glede na površino, kamni agregat lomljenec za obsip frakcije 0/4, faza stresanja iz bagske žlice, lokacija gradbišča Bled-Rečica

Chart 18 PM area distribution, bedding and cover, crushed rock, 0/4 mm, bucket dumping, Bled-Rečica construction site.

Povprečne vrednosti pri izdelavi posteljice in obsipa, ki zajema operacijo stresanja kamenega agregata iz bagske žlice in vmesni čas čakanja na naslednjo operacijo znašajo $PM_{10} = 9506,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2,5} = 379,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $PM_1 = 45,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka.



Graf 19 Povprečne vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ pri izvajanju obsipa, kameni agregat lomljenec 0/4, lokacija gradbišča Bled-Rečica

Chart 19 Average PM_{10} and $PM_{2,5}$, total time, when working bedding operation, crushed rock, 0/4 mm, Bled-Rečica construction site

Glede na dejstvo, da povprečni vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ pri izdelavi posteljice in obsipa iz kamenega agregata presegata mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oz. $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, predstavlja omenjena operacija zdravstveno tveganje za osebe, ki je emisiji delcev izpostavljeno. Oseba, ki je prisotna v jarku, zaradi neposredne bližine vira delcev prejema emisijsko vrednost, ki je v tem primeru izenačena z imisijsko vrednostjo.

8 ZAKLJUČKI

Pri gradnji podzemne linijske infrastrukture se srečujemo z dvema načinoma gradnje, to je z izkopom in brez izkopa. Pri obeh načinih gradnje se znotraj ograje gradbišča pojavlja emisija delcev v zunanji zrak zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom ter emisija delcev kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem.

Emisijski viri, ki se pojavljajo v sklopu delovanje gradbišča kot celote, se delijo na vire znotraj ograje gradbišča in izven ograje gradbišča. Znotraj ograje gradbišča vire emisije predstavljata delovanje gradbene mehanizacije in opreme pri obeh načinih gradnje ter dodatno manipulacija z izkopano zemljino in kamenim agregatom pri gradnji z izkopom. Izven ograje gradbišča so pri obeh načinih gradnje viri emisije vezani na prevoze, ki so nujno potrebni za vzpostavitev in zapiranje gradbišča. Pri gradnji z izkopom k večanju emisij prispevajo tudi prevozi, vezani na izkopano zemljino oziroma dopeljani material. Ugotovili smo, da prevozi zunaj ograje gradbišča prispevajo le manjši delež k emisiji delcev in v najslabšem primeru ne presežejo

3,9 % skupnih emisij. Izven ograje gradbišča v nasprotju s pričakovanji glavni vir emisije delcev v zunanji zrak ne predstavljajo posledice izgorevanja dizelskih motorjev, pač pa emisije delcev zaradi obrabe zavor in profila pnevmatik. Emisije delcev izven ograje gradbišča smo v nadaljevanju zaradi majhnega skupnega prispevka k skupni emisiji delcev izločili.

Pri računu emisij znotraj ograje gradbišča smo ugotovili, da pričakovano skupne emisije kot posledica delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem ter manipulacije z izkopanim materialom in kamenim agregatom naraščajo z višino nadkritja, saj se povečuje volumen izkopa na dolžinski meter jarka.

Pri gradnji z izkopom emisija delcev zaradi delovanja dizelskih motorjev z notranjim izgorevanjem s povečevanjem nadkritja narašča neodvisno od lastnosti zemljine in kamenega agregata. Pri večanju nadkritja se namreč krajša dolžina dnevnega izkopa jarka, posledično pa podaljšuje število obratovalnih dni gradbišča. Emisija delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom je odvisna od vlažnosti le-tega ter hitrosti vetra. V času izvajanja izkopa jarka so emisije delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino zanemarljive v primerjavi z emisijo delcev, ki nastane zaradi delovanja dizelskih motorjev. Pri vlažnosti

izkopane zemljine 4,68 % (lokacija gradbišča Bled-Rečica) emisija delcev PM_{10} pri 3,2 m nadkritja dosega le 2,62 % deleža emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Pri večji vlažnosti izkopane zemljine, to je 6 % (lokacija gradbišča Bled-Mlino) in enakem nadkritju, emisija delcev pade na 1,27 %. Emisija delcev $PM_{2,5}$ pri enakih pogojih v nobenem primeru ne preseže 0,5 %.

Pri vgradnji posteljice in obsipa se je izkazalo, da na vrednost emisije delcev močno vpliva vlažnost kamenega agregata. Tako emisija delcev $PM_{2,5}$ za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Mlino pri nadkritju 1,2 m ne doseže vrednosti emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme, medtem ko vrednosti emisije PM_{10} to vrednost presegajo za 5,55 krat. Pri nadkritju 3,2 m emisije $PM_{2,5}$ presežejo vrednosti emisije delcev, ki nastanejo zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme 2,37-krat, emisije delcev PM_{10} pa kar 15,26-krat.

Emisija delcev $PM_{2,5}$ za podatke o izkopani zemljini na lokaciji gradbišča Bled-Rečica pri nobeni vrednosti nadkritja ne doseže vrednosti emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme, prav tako vrednosti emisije PM_{10} . Pri nadkritju 3,2 m emisija delcev PM_{10} ne preseže 1,45 %, vrednost emisije delcev $PM_{2,5}$ pa ne preseže 0,23 % emisije delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Vrednosti z globino praktično ostajajo konstantne.

V sklepnih fazi gradbenih del, to je pripravi finega planuma in asfalterskih delih, so prisotne le emisije delcev zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme. Neglede na višino nadkritja je številčna prisotnost gradbene mehanizacije in opreme glede na zahteve posamezne operacije konstanta. Tako sta vrednosti $PM_{10} = 47,92$ g/dan in $PM_{2,5} = 45,00$ g/dan pri izvajanju finega planuma ter $PM_{10} = 171,36$ g/dan in $PM_{2,5} = 176,26$ g/dan v fazi vgradnje asfaltne nosilne ter obrabne in zaporne plasti.

Pri gradnji brez izkopa vrednost emisije z večanjem nadkritja pričakovano narašča, saj se hkrati z večanjem nadkritja daljša vrtina ter število obratovalnih ur gradbene mehanizacije in opreme. Vrednosti emisije so odvisne tudi od faze izdelave vrtine. V fazi izdelave pilotne vrtine, ko vrtalna garnitura obratuje z najmanjšo močjo, so emisije delcev najnižje. Za delce PM_{10} se v odvisnosti od nadkritja gibajo v okviru od 44,34 - 51,99 g/dan, za delce $PM_{2,5}$ pa 102,91 - 110,04 g/dan. V nadaljevanju, to je pri širjenju vrtine in uvlečenju cevovoda, se moč

delovanja vrtalne garniture poveča, poveča se tudi čas obratovanja spremljajoče gradbene mehanizacije in opreme. Za delce PM_{10} se v odvisnosti od nadkritja vrednosti emisije gibajo v okviru od 98,53 - 115,52 g/dan, za delce $PM_{2,5}$ pa 153,48 - 169,35 g/dan.

Skupna emisija delcev zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme na gradbišču dolžine 100 m se glede na višino nadkritja giblje v razponu 2.380,2 g - 3.572,7 g (PM_{10}) oz. 2369,5 g - 3543,1 g ($PM_{2,5}$). Emisija delcev zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom se spreminja glede na robne pogoje, ki jih predstavlja vlažnost zemljine z vsebnost glinenih in meljastih delcev v njej ter hitrost vetra ter se giblje v razponu 6.586,9 g - 30.182,7 (PM_{10} , nizka vlažnost) oz. 22,6 g - 54,9 g (PM_{10} , visoka vlažnost) ter 997,4 g - 4.570,5 g ($PM_{2,5}$, nizka vlažnost) oz. 3,4 g - 8,3 ($PM_{2,5}$, visoka vlažnost). Pri gradnji brez izkopa se vrednosti v odvisnosti od globine gibljejo v razponu 241,4 g - 283,0 g (PM_{10}) oz. 409,9 g - 448,7 g ($PM_{2,5}$). Z računom smo dokazali, da se emisija delcev iz vseh virov znotraj ograje gradbišča v zunanji zrak z višino nadkritja povečuje. Hkrati smo dokazali, da je emisija delcev, ki nastane zaradi manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom res zanemarljiva v primerjavi z emisijo delcev, ki nastane zaradi delovanja gradbene mehanizacije in opreme, vendar le v primeru, ko je vlažnost zemljine in kamenega agregata zadosti velika. V primeru majhne vlažnosti le-teh emisija delcev zaradi manipulacije z zemljino in kamenim agregatom močno prevlada.

Glede na vir nastanka so delci znotraj ograje gradbišča primarni in nastajajo izključno kot posledica človekove aktivnosti: produkt zgorevanja dizelskih motorjev z notranjim zgorevanjem ter manipulacije z izkopano zemljino in kamenim agregatom. Z meritvami emisij smo dokazali, da so povprečne emisije delcev zaradi manipulacije z zemljino in kamenim agregatom tudi zdravju škodljive, saj močno presegajo zakonsko dovoljene mejne vrednosti $PM_{10} = 9506,9 \mu\text{g}/\text{m}^3 > \text{mejna vrednost } 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oz. $PM_{2,5} = 379,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 > \text{mejna vrednost } 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Neodvisno od lastnosti izkopane zemljine in kamenega agregata ter višine nadkritja se je način gradnje brez izkopa izkazal za ustrežnejši, kot ga predstavlja način gradnje z izkopom. Gradnja brez izkopa s kratkim časom obratovanja gradbišča in majhno vrednostjo emisije delcev v zunanji zrak znotraj ograje gradbišča predstavlja majhno obremenitev okolja. Zaradi gradnje podzemne linijske infrastrukture dodatka emisije delcev na naravno in antropogeno

ozadje ni možno preprečiti, z izbiro primerne tehnologije gradnje pa ga je mogoče ustrezno zmanjšati.

9 CONCLUSION

When constructing underground infrastructure we are faced with two construction methods – either the open cut method or the trenchless one. In both methods, fugitive emissions to ambient air due to the manipulation of the ditch soil and the pipe bedding and overlay, as well as the emissions of particulate matter as a result of the internal combustion of diesel engines, occur on the construction site.

Emission sources, which occur as part of the construction site operation as a whole, are divided between the recourses within the construction site fence and outside it. Inside the construction site fence emission sources are represented by the operation of on-road and off-road machinery and equipment for both methods of construction and further handling of ditch spoil, pipe bedding and overlay with the open cut method. Outside the fence the emission sources of both methods are linked with transportation that is required for the establishment and closure of the construction site. With open cut sites transportation also adds to these emissions, since they are directly linked with the ditch spoil, or the removed material, respectively. We found out that transport outside the construction site fence contributes only a small proportion of the fugitive emissions to ambient air, and that in the worst case it does not exceed 3.9% of total emissions. Outside the construction site fence the main source of fugitive emissions is, contrary to expectations, not the aftermath of diesel engine combustion, but rather the particulate matter emissions from break and tire gauge wear. We have excluded fugitive emissions outside the construction site fence due to the small total contribution to total particle emissions.

While calculating the fugitive emissions inside the construction site fence we have concluded, that the expected total emissions as a result of the operating of diesel engines with internal combustion and the handling of ditch spoil, pipe bedding and overlay increase with the height of the enclosure, since the volume of the dig increases to the linear trench meter.

When constructing with the open cut method the fugitive emissions rise due to the operation of diesel internal combustion engines by increasing the covering independently of the properties of the ditch spoil, the pipe bedding and the overlay. With the expansion of the covering the length of the daily open cut decreases, however, this increases the number of construction site operational days. The fugitive emissions due to handling of ditch spoil, pipe

bedding and overlay depends on its humidity and the wind speed. During the excavation of the trench the fugitive emissions due to the manipulation of the excavated soil are negligible compared to the fugitive emissions resulting from the operation of diesel engines. At the humidity of the excavated ditch spoil 4,68 % (construction site location Bled-Rečica) the fugitive emissions of PM₁₀ with an 3,2m high covering reaches only 2,62% of the fugitive emissions shares, that occur due to the operation of on-road and off-road machinery, as well as of the equipment. At a higher humidity of the excavated ditch spoil, which is at 6% (construction site location Bled-Mlino) at the same covering, the emissions drop to 1,27%. The fugitive emissions of PM_{2,5} do not exceed 0,5% in any of the cases.

When installing the pipe bedding and the overlay it turned out that the value of the fugitive emissions is significantly affected by the humidity of the pipe bedding and the overlay. The fugitive emissions of PM_{2,5} according to the data of the excavated ditch spoil at the location at the Bled-Mlino site with a covering of 1,2m do not reach the fugitive emission values that occur due to the operation of on-road and off-road machinery and equipment, while the value of PM₁₀ fugitive emissions exceed the value 5,55 times. With a covering of 3,2m fugitive emissions of PM_{2,5} exceed the fugitive emissions that result from the operation of construction machinery and equipment 2,37 times, the fugitive emissions of PM₁₀ are even 15,26 times greater.

The data on fugitive emissions of PM_{2,5} for the ditch spoil at the location construction site Bled-Rečica did not reach at any covering height the amount of fugitive emissions that occur due to the operation of on-road and off-road machinery, as well as equipment, the same goes for the fugitive emission of PM₁₀ particulate matter. With a covering of 3,2 m the fugitive emissions of PM₁₀ particulate matter did not exceed 1,45%, the value of PM_{2,5} fugitive emissions did not reach above 0,23% of particle emissions that occur due to the operation of construction machinery and equipment. The values in relation with the depth remain practically constant.

In the final stage of construction, that is the preparation of the fine subgrade and the asphalt works, only fugitive emissions from the operation of on-road and off-road machinery, as well as the equipment, occur. Independently of the covering height the numerical presence of construction machinery and equipment, according to the requirements of each operation,

remains constant. Thus, the value of $PM_{10} = 47,92$ g/day and $PM_{2,5} = 45.00$ g/day in carrying out the fine subgrade and $PM_{10} = 171.36$ g/day and $PM_{2,5} = 176.26$ g/day in the stage of asphalt bearing and barrier layer installation.

With trenchless construction the emission values as expected increase with the expansion of the covering, since the length of the ditch and the number of operational hours of the machinery and equipment increase with the growth of the covering. Emission values also depend on the stage of construction the bore is in. The initial stage of drilling the pilot bore, when the drilling rig is operating at a minimum level, the fugitive emissions are at their lowest. The PM_{10} particulate matter ranges, depending from the covering, in the frame of 44,34 - 51,99 g/day, the values for the $PM_{2,5}$ are 102,91 - 110,04 g/day. Further, that is when the backreaming and pullback operation is held, hence the operating power of the drilling rig is increased, and thus also the service life of the on-road and off-road machinery. The fugitive emission values of PM_{10} particulate matter in connection with the covering moves within 98.53 - 15.52 g/day, for $PM_{2,5}$ particulate matter it is somewhere between 153.48 - 169.35 g/day.

The total fugitive emissions into ambient air from the operation of construction machinery and equipment, depending on the height of the covering ranges between 2380.2 g - 3572.7 g (PM_{10}) or 2369.5 g - 3543.1 g ($PM_{2,5}$) respectively. The fugitive emission due to the manipulation of the ditch spoil, pipe bedding and overlay varies depending on the boundary conditions posed by the moisture content of the soil with clay and silt particles in it, as well as the wind speed, and ranges between 6586.9 g - 30,182.7 (PM_{10} , low humidity) or 22.6 g - 54.9 g (PM_{10} , high humidity) and 997.4 g - 4570.5 g ($PM_{2,5}$, low humidity) or 3.4 g - 8.3 g ($PM_{2,5}$, high humidity) respectively.

In trenchless construction the values range between 241.4 g - 283.0 g (PM_{10}) or 409.9 - 448.7 g ($PM_{2,5}$), depending on the depth of the ditch. Our calculations have shown that the fugitive emission from all the sources within the construction site fence into ambient air increase with the height of the covering. At the same time we have proven that the fugitive emission of particulate matter caused by the manipulation of the ditch spoil, pipe bedding and the overlay is really negligible compared to the emission of particles resulting from the operation off-road machinery, but only in the case where the moisture content of the soil and the pipe bedding is

high enough. In case of low humidity, these fugitive emissions strongly prevail due to the manipulation of the ditch spoil, the pipe bedding and the overlay.

Depending on the source of the particles inside the construction site fence these are seen as primary and occur solely as a result of human activity: a product of diesel engine internal combustion, as well as the manipulation of the ditch spoil, the pipe bedding and the overlay. We have shown with our emission measurements that the average fugitive emissions of particulate matter due to the manipulation of the ditch spoil, the pipe bedding and the overlay are a health hazard, since they far exceed the legally allowed limit values for $PM_{10} = 9506.9 \mu\text{g}/\text{m}^3 > \text{limit value of } 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $PM_{2,5} = 379.0 \text{ mg}/\text{m}^3 > \text{limit value of } 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Independently of the characteristics of the excavated ditch spoil, the pipe bedding, the overlay and the height of the covering, the trenchless method of construction proved to be more appropriate compared to the open cut method. Trenchless construction, with its short operational time of the site and a small amount of particulate emissions in the ambient air inside the fence site, represents a small burden on the environment. Due to the nature of underground infrastructure construction it is not possible to prevent fugitive emissions entering the natural and anthropogenic environment, however, selecting the appropriate construction technology can correspondingly reduce it.

10 VIRI

ČLANKI

Brown, J. S., Gordon, T., Price, O., Asgharian, B. 2013. Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment. *Particle and fibre toxicology*, 10. Spletna objava 10.4.2013, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3640939/>

Cadle, S.H., Williams, R. L., 1978. Gas and particle emissions from automobile tires in laboratory and field studies. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 28:5, 502-507.

Cao, J., Chow, J. C., Lee, F. S. C., Watson, J. G., 2013. Evolution of PM_{2,5} Measurements and Standards in the U.S. and Future Perspectives for China. *Aerosol and air quality research*, 13: 1197–1211.

Grigoratos, T., Martini, G., 2015. Brake wear particle emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 2491–2504.

Iijima, A. et al., 2007. Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter. *Atmospheric Environment*, 41: 4908–4919.

Liang, F. et al., 2005. The organic composition of diesel particulate matter, diesel fuel and engine oil of a non-road diesel generator. *Journal of environmental monitoring*, 7: 983-988.

Muleski, E. G., Cowherd, C. Jr., Kinsey, J. S., 2005. Particulate emissions from construction activities. *Journal of the air and waste management association*, 55: 772-783.

Sanders, P. G. et al., 2003. Airborne Brake Wear Debris: Size Distributions, Composition, and a Comparison of Dynamometer and Vehicle Tests. *Environmental science & technology*, 37: 4060-4069.

Von Uexküll, O. et al., 2003. Antimony in brake pads-a carcinogenic component? *Journal of Cleaner Production*, 13: 19–31.

DIPLOMSKE NALOGE, MAGISTRSKE NALOGE, DOKTORATI

Fausser, P., 1999. Particulate Air Pollution with Emphasis on Traffic Generated Aerosols. Doctoral dissertation. Roskilde, Technical University of Denmark Riso National Laboratory,

KNJIGE

Hinds, W. C. 1999. *Aerosol technology-Properties, behaviour, and measurement of airborne particles*. Los Angeles, California, John Wiley & Sons, inc.: 465 str.

Colbeck, I. 2008. *Environmental chemistry of aerosols* Oxford, Blackwell publishing: 255 str.

Henigman, S. et al., 2006. *Asfalt*. Ljubljana, Zveza asfalterjev Slovenije: 302 str.

Lobnik, F., Zupan, M., Ruprecht, J., Šporar, M., Knapic, M., Prus, T., Hudnik, V. 1992. *Monitoring onesnazenosti tal in vegetacije v Sloveniji*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 322 str.

KONFERENCE

Kittelson, D. B., 2001. Recent measurements of nanoparticle emissions from engines. Current research on diesel exhaust particles Japan association of aerosol science and technology, 9th January 2001, Tokyo, Japan.

Ulrich, A., Wichser, A., Hess, A., Heeb, N., Emmenegger, L., Czerwinski, J., Kasper, M. Mooney, J., Mayer, A., 2012. Particle and metal emissions of diesel and gasoline engines Are particle filters appropriate measures? 16th Conference on Combustion Generated Nanoparticles 2012, 24.6.2012 – 27.6.2012, Zürich, Switzerland.

POROČILA

Bukowiecki, N. et al., 2009. PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART). Schweizerische Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen: 199 str.

Grigoratos, T., Martini, G., 2014. Non-exhaust traffic related emissions, Brake and tyre wear PM. Luxembourg, Publications Office of the European Union: 53 str.

Luhana, L. et al., 2004. Particulates-Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles, Measurement of non-exhaust particulate matter. European Commission- DG TrEn, 5th Framework Programme Competitive and Sustainable Growth Sustainable Mobility and Intermodality: 96 str.

Lükewille, A. et al., 2001. A Framework to Estimate the Potential and Costs for the Control of Fine Particulate Emissions in Europe. Laxenburg, Austria: 109 str.

Marjamäki, M., Keskinen, J., 2001. Particulates-Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles; Vehicle exhaust particulates characterisation, properties, instrumentation and sampling requirements. European Commission- DG TrEn, 5th Framework Programme Competitive and Sustainable Growth Sustainable Mobility and Intermodality: 79 str.

Ntziachristos, L., Boulter, P., 2013. EEA Technical report No 12/2013, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013, Technical guidance to prepare national emission inventories, 1.A.3.b.vi Road vehicle tyre and brake wear, 1.A.3.b.vii Road surface wear. European Environment Agency, 2013, 34 str.

Pihlava, T., Uuppo, M., Niemi, S.. Health effects of exhaust particles. University of Vaasa, Proceedings of the university of Vaasa reports 187. http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-479-7.pdf (Pridobljeno 8. 1. 2014.)

Steinar, L., Leif, O. H. 1996. Air quality in Europe, 1993 A pilot report. Copenhagen, European Environment Agency, European topic centre on air quality: 123 str.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2002. Health assessment document for diesel engine exhaust. Prepared by the National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, for the Office of Transportation and Air Quality; EPA/600/8-90/057F.

Zupan, M., Grčman, H., Lobnik, F. 2008. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije, Agencija RS za okolje. Ljubljana, 2008: 63 str.

STANDARDI

SIST EN 481:1998. 1998. Zrak na delovnem mestu - Definicije velikostnih razredov za merjenje lebdečih delcev (Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles): 14 str.

RAZNO

Poepping, N., Ginda, J., 2010. Adverse Health Effects of Diesel Particle Air Pollution. An Overview for the DEM Clean Diesel Workshops. Diesel Workshop presentations. Rhodes, February 2010.

United Nations, Department for economic and social information and policy analysis, Statistics division 1997. Glossary of Environment statistics. New York, United Nations publication: 96 str.

Druga jutranja kronika, Radio Slovenija. (Pridobljeno 7. 12. 2015.)

WWW

Charron, A., Harrison, R. M.. Fine (PM_{2.5}) and coarse (PM_{2.5-10}) particulate matter on a heavily trafficked London highway: sources and processes.

http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat05/0506061415_Fine_PM25_and_Coarse4.pdf (Pridobljeno 14. 1. 2016.)

Department for environment food and rural affairs 2015. Particulate matter in the UK <http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/aqeg/ch1.pdf> do [ch5.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/aqeg/ch5.pdf) (Pridobljeno 14. 2. 2016.)

EEA, European Environment Agency 2016a.

http://glossary.eea.europa.eu/terminology/terminology_sources_html (Pridobljeno 1. 1. 2016. - 20. 5. 2016.)

EEA, European Environment Agency 2016b. Onesnaževanje zraka.

<http://www.eea.europa.eu/sl/themes/air/intro> (Pridobljeno 1. 4. 2016.)

EEA, European Environment Agency 2016c. Contribution of different sectors (energy and non-energy) to total emissions of PM₁₀ and PM_{2.5}, 2009, EEA-32.

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/contribution-of-different-sectors-energy-4> (Pridobljeno 2. 6. 2016.)

EPA, United States Environmental Protection Agency 2004. Office of transportation and air quality, Regulatory Announcement, EPA420-F-04-032.

<https://www3.epa.gov/otaq/documents/nonroad-diesel/420f04032.pdf> (24.5.2016a)

EPA, United States Environmental Protection Agency, Emissions Factors & AP 42. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/> (17.1.2016b)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2016. Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub und Stickstoffdioxid im Zusammenhang mit der Luftreinhalteplanung

http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheit/schadstoffe/gesundheitliche_wirkungen.pdf (Pridobljeno 7. 1. 2016.)

Mann filter.

https://www.mann-hummel.com/en/mann-filter/news/newsdetail/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=682&cHash=4596ba05e1ac7180025c5594ae442e63 (Pridobljeno 29. 3. 2016.)

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano 2016. Problematika prahu PM10 in PM2,5. http://www.mkgp.gov.si/si/delovna_podrocja/gozdarstvo/navodila_za_pravilno_kurjenje/zgoravanje_lesa_v_malih_kurilnih_napravah/problematika_prahu_pm10_in_pm25/ (Pridobljeno 7. 1. 2016.)

NASTT, North American Society for Trenchless Technology, Glossary of terms and conditions.

<https://www.nastt.org/glossary/T?page=2> (Pridobljeno 2. 4. 2016.)

Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo 2016. Problematika onesnaženosti zraka z delci.

<http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/031398-DELICI.pdf> (Pridobljeno 7. 1. 2016.)

Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje 2014. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2013.

http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poročila%20in%20publikacije/porocilo_2013.pdf (Pridobljeno 13. 5. 2016.)

Republika Slovenija, Vlada Republike Slovenije 2009. Operativni program varstva zunanjega zraka pred onesnaževanjem s PM10.

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/operativni_programi/op_onesnazevanje_pm10.pdf (Pridobljeno 7. 1. 2016.)

Sertić-Bionda, K.. Zastita okolisa u preradbi nafte, Sveucilis te u zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju.

[https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/1.PREDAVANJE_-Nafta,2.Sastav,3.Svojstva_\(ZOPN-2012-2013\).pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/1.PREDAVANJE_-Nafta,2.Sastav,3.Svojstva_(ZOPN-2012-2013).pdf) (Pridobljeno 7. 4. 2016.)

The pipe jacking association 2015. CO2 calculator, Pipe jacking v open-cut.

<http://www.pipejackingco2calculator.com> (Pridobljeno 18. 5. 2015.)

USEPA, United States Environmental Protection Agency 2016.

<http://www3.epa.gov/pm/> (Pridobljeno 7. 3. 2016.)

WHO, World health organization 2016a. Ambient (outdoor) air quality and health, Fact sheet N°313.

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/> (Pridobljeno 7. 3. 2016.)

WHO, World health organization 2005b. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005, Summary of risk assessment. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf (Pridobljeno 7. 2. 2016.)

U.S. department of commerce, National oceanic & atmospheric administration. <http://www.esrl.noaa.gov/research/themes/aerosols/> (Pridobljeno 30. 3. 2016.)

ZAKONODAJA

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). UL RS št. 39/06 in spremembe.

Uredba o kakovosti zunanjega zraka, UL RS, št. 9/11 in spremembe.

PRILOGA 1 – MEHANSKA OBRABA PROFILA PNEVMATIK, ZAVOR IN PODLAGE, METODA TIER 2

TSP emisijski faktorji zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik, kategorija 1.A.3.b.vi (Vir: Ntziachristos, 2013)

TSP emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle tyre wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Vrsta vozila [j]	TSP emisijski faktor [g/km]	Razpon [g/km]
enosledno vozilo	0,0046	0,0042-0,0053
osebno vozilo	0,0107	0,0067-0,0162
kahko tovorno vozilo	0,0169	0,088-0,0217
težko tovorno vozilo	račun po enačbi	0,0227-0,0898

Velikostna porazdelitev delcev zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik (Vir: Ntziachristos, 2013)

Size distribution of tyre wear particles (Source: Ntziachristos, 2013)

Velikostni razred [i]	Masni delež ($f_{B,i}$) TSP
TSP	1,000
PM ₁₀	0,600
PM _{2,5}	0,420
PM ₁	0,060
PM _{0,1}	0,048

TSP emisijski faktorji zaradi mehanske obrabe zavor, kategorija 1.A.3.b.vi (Vir: Ntziachristos, 2013)

TSP emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle brake wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Vrsta vozila [j]	TSP emisijski faktor [g/km]	Razpon [g/km]
enosledno vozilo	0,0037	0,0022-0,0050
osebno vozilo	0,0075	0,0044-0,0100
kahko tovorno vozilo	0,0117	0,0088-0,0145
težko tovorno vozilo	račun po enačbi	0,0235-0,0420

Velikostna porazdelitev delcev zaradi mehanske obrabe zavor (Vir: Ntziachristos, 2013)
Size distribution of brake wear particles (Source: Ntziachristos, 2013)

Velikostni razred [i]	Masni delež ($f_{B,i}$) TSP
TSP	1,000
PM ₁₀	0,980
PM _{2,5}	0,390
PM ₁	0,100
PM _{0,1}	0,080

TSP emisijski faktorji zaradi mehanske obrabe podlage (Vir: Ntziachristos, 2013)
TSP emission factors for road surface wear (Source: Ntziachristos, 2013)

Vrsta vozila [j]	TSP emisijski faktor [g/km]
enosledno vozilo	0,0060
osebno vozilo	0,0150
kahko tovorno vozilo	0,0150
težko tovorno vozilo	0,0760

Velikostna porazdelitev delcev zaradi mehanske obrabe podlage (Vir: Ntziachristos, 2013)
Size distribution of surface wear particles (Source: Ntziachristos, 2013)

Velikostni razred [i]	Masni delež ($f_{B,i}$) TSP
TSP	1,00
PM ₁₀	0,50
PM _{2,5}	0,27

PRILOGA 2 – MOTORJI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM, CESTNA VOZILA

Tier 1 emisijski faktorji za težka tovorna vozila (Vir: Ntziachristos, 2013)

Tier 1 emission factors for heavy-duty vehicles (Source: Ntziachristos, 2013)

Kategorija	Vrsta goriva	PM2,5=PM10 =TSP g/kg goriva		
		Povpr.	Min.	Max.
težko tovorno vozilo	dizel	0,94	0,61	1,57

Tier 2 emisijski faktorji za težka tovorna vozila, 1.A.3.B.iii (Vir: Ntziachristos, 2013)

Tier 2 emission factors for heavy-duty vehicles, 1.A.3.B.iii (Source: Ntziachristos, 2013)

Tip Enota Opomba	Tehnologija motorja	PM2,5 g/km PM2,5=PM10 =TSP	Tip Enota Opomba	Tehnologija motorja	PM2,5 g/km PM2,5=PM10 =TSP
bencin >3.5 t	klasičen	0.000	20 - 26 t	Conventional	0.418
<=7.5 t	klasičen	0.333	20 - 26 t	HD Euro I - 91/542/EEC I	0.297
<=7.5 t	HD Euro I - 91/542/EEC I	0.129	20 - 26 t	HD Euro II - 91/542/EEC II	0.155
<=7.5 t	HD Euro II - 91/542/EEC II	0.061	20 - 26 t	HD Euro III - 2000	0.13 0
<=7.5 t	HD Euro III - 2000	0.0566	20 - 26 t	HD Euro IV - 2005	0.0239
<=7.5 t	HD Euro IV - 2005	0.0106	20 - 26 t	HD Euro V - 2008	0.0239
<=7.5 t	HD Euro V - 2008	0.0106	20 - 26 t	HD Euro VI	0.0012
<=7.5 t	HD Euro VI	0.0005	>32 t	Conventional	0.491
12 - 14 t	klasičen	0.3344	>32 t	HD Euro I - 91/542/EEC I	0.358
12 - 14 t	HD Euro I - 91/542/EEC I	0.201	>32 t	HD Euro II - 91/542/EEC II	0.194
12 - 14 t	HD Euro II - 91/542/EEC II	0.104	>32 t	HD Euro III - 2000	0.151
12 - 14 t	HD Euro III - 2000	0.0881	>32 t	HD Euro IV - 2005	0.0268
12 - 14 t	HD Euro IV -	0.0161	>32 t	HD Euro V -	0.0268

2005			2008		
12 - 14 t	HD Euro V - 2008	0.0161	>32 t	HD Euro VI	0.0013
12 - 14 t	HD Euro VI	0.0008			

PRILOGA 3 – MOTORJI Z NOTRANJIM IZGOREVANJEM, NECESTNA VOZILA (GRADBENA MEHANIZACIJA IN OPREMA)

Tier 3 emisijski faktorji za necestna vozila (gradbena mehanizacija in oprema) z dizelskim agregatom (Vir: Ntziachristos, 2013)

Tier 3 baseline emission factors for controlled diesel engines (Source: Ntziachristos, 2013)

Onesn.	Moč [kW]							
	0-20	20-37	37-75	75-130	130-300	300-560	560-1000	>1000
Stage I								
PM ₁₀	2,22	1,81	0,85	0,70	0,54	0,54	1,10	1,10
PM _{2,5}	2,09	1,70	0,80	0,66	0,51	0,51	1,03	1,03
Stage II								
PM ₁₀	2,22	0,80	0,40	0,30	0,20	0,20	1,10	1,10
PM _{2,5}	2,09	0,75	0,38	0,28	0,19	0,19	1,03	1,03
Stage III								
PM ₁₀	2,22	0,60	0,40	0,30	0,20	0,20	1,10	1,10
PM _{2,5}	2,09	0,56	0,38	0,28	0,19	0,19	1,03	1,03

Tier 2 emisijski faktorji za necestna vozila in opremo z dvo ali štiritalnim agregatom (Vir: Ntziachristos, 2013)

Tier 2 baseline emission factors for controlled two and four stroke engines (Source: Ntziachristos, 2013)

Vrsta motorja	Tehnologija				
	<1981 [g/t goriva]	1981-1991 [g/t goriva]	1991-Stage I [g/t goriva]	Stage I [g/t goriva]	Stage II [g/t goriva]
Dvotaktni					
PM ₁₀	7.037	6.054	3.869	3.683	4.299
PM _{2,5}	7.037	6.054	3.869	3.683	4.299
TSP	7.037	6.054	3.869	3.683	4.299
Štiritalni					
PM ₁₀	148	133	157	159	159
PM _{2,5}	148	133	157	159	159
TSP	148	133	157	159	159

PRILOGA 4

EPA Tier 4 emisijski standard za necestno mehanzacijo (Vir: EPA, 2016a)

EPA Tier 4 emission standard for off-road machinery (Source: EPA, 2016a)

Moč agregata	pričetek uporabe standarda	PM	NOx
hp < 25	2008	0,30	-
25 ≤ hp < 75	2013	0,02	3,5
75 ≤ hp < 175	1012 – 2013	0,01	0,30
175 ≤ hp < 750	2011 – 2013	0,01	0,30
hp ≥ 750	2011 – 2014	0,075	2,6/0,50
	2015	0,02/0,03	0,50 ^x

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

PRILOGA 5

Emisija zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik, gradnja z izkopom

Total emission, tyre wear, open cut

Mehanska obraba profila pnevmatik	TE	Nj	Mj	N(ax)	LF	V	LCF(T)	EF(TSP,T,PC)	TSP	f(x)	Ss(V)		
[g]	[g]	[št.vozil]	[št.km]	[št.osi]	fak.obr.	povp.hitr.	[-]	[g/km]	[-]	[-]	km/h		
PM ₁₀	PM _{2,5}		ena smer	razpon 0-1		[km/h]				PM ₁₀	PM _{2,5}		
											40<=V<=90		
1 tov. vozilo, 4 osi, polno 45 km/h, 6 km	0,2884	0,2019	1	6	4	1	45	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,3417
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 45 km/h, 6 km	0,1457	0,1020	1	6	4	0	45	1,41	0,0107	1	0,6	0,42	1,3417
1 tov. vozilo, 4 osi, polno, 45 km/h, 13 km	0,6248	0,4374	1	13	4	1	45	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,3417
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 45 km/h, 13 km	0,3158	0,2210	1	13	4	0	45	1,41	0,0107	1	0,6	0,42	1,3417
1 tov. vozilo, 4 osi polno, 70 km/h, 30 km	1,1802	0,8262	1	30	4	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 70 km/h, 30 km	0,5965	0,4175	1	30	4	0	70	1,41	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. prikolica, 4 osna, polna, 70 km/h, 30 km	1,1802	0,8262	1	30	4	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. prikolica, 4 osna, polna, 45 km/h, 13 km	0,6248	0,4374	1	13	4	1	45	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,3417

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi mehanske obrabe zavor, gradnja z izkopom

Total emission, brake wear, open cut

Mehanska obraba zavor	TE	Nj	Mj	N(ax)	LF	V	LCF(B)	EF(TSP,B,PC)	f(x)	Ss(V)			
	PM ₁₀ [g]	PM _{2,5} [g]	ena smer [št.km]	[št.osi]	fak.obr. razpon 0-1	popv.hitr. [km/h]	[-]	[g/km]	PM ₁₀ [-]	PM _{2,5} [-]	40<=V<=90 km/h		
1 tov. vozilo, 4 osi, polno, 45 km/h, 6 km	0,3777	0,1503	1	6	4	1	45	2,79	0,0075	1	0,98	0,39	1,535
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 45 km/h, 6 km	0,1354	0,0539	1	6	4	0	45	1,00	0,0075	1	0,98	0,39	1,535
1 tov. vozilo, 4 osi polno, 45 km/h, 13 km	0,8184	0,3257	1	13	4	1	45	2,79	0,0075	1	0,98	0,39	1,535
1 tov. vozilo, 4 osi, prazno, 45 km/h, 13 km	0,2933	0,1167	1	13	4	0	45	1,00	0,0075	1	0,98	0,39	1,535
1 tov. vozilo, 4 osni, polno, 70 km/h, 30 km	1,0581	0,4211	1	30	4	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39	0,86
1 tov. vozilo, 4 osi prazno, 70 km/h, 30 km	0,3793	0,1509	1	30	4	0	70	1,00	0,0075	1	0,98	0,39	0,86
1 prikolica, 4 osi, polna 70 km/h, 30 km	1,0581	0,4211	1	30	4	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39	0,86
1 tov. prikolica, 4 osi, polna 45 km/h, 13 km	0,8184	0,3257	1	13	4	1	45	2,79	0,0075	1	0,98	0,39	1,535

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi mehanske obrabe podlage, gradnja z izkopom

Total emission, road surface wear, open cut

Mehanska obraba podlage	TE		Nj	Mj	EF(R _{c,j})	f(x)		
	PM ₁₀ [g]	PM _{2,5} [g]				PM ₁₀ [-]	TSP [-]	PM _{2,5} [-]
1 tov. vozilo, 4 osi, 6km	0,2280	0,1231	1	6	0,076	1	0,5	0,27
1 tov. vozilo, 4 osi, 13km	0,4940	0,2668	1	13	0,076	1	0,5	0,27
1 tov. vozilo, 4 osi, 30km	1,1400	0,6156	1	30	0,076	1	0,5	0,27
1 prikolica, 4 osi, 30km	1,1400	0,6156	1	30	0,076	1	0,5	0,27
1 prikolica, 4 osi, 13km	0,4940	0,2668	1	13	0,076	1	0,5	0,27

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi izpustov dizelskega motorja, tovorno vozilo med vožnjo, gradnja z izkopom
Total emission, diesel exhaust, HDV while driving, open cut

Dizel cestno vozilo	E PM _{2,5} =PM ₁₀ [g]	EF(i,j,k) [g/vkm]	M(i,k) [km/v]	N(i,k) št.vozil [-]
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 6km	0,1608	0,0268	6	1
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 13km	0,3484	0,0268	13	1
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 30km	0,8040	0,0268	30	1

Emisija zaradi izpustov dizelskega motorja, tovorno vozilo v prostem teku, gradnja z izkopom
Total emission, diesel exhaust, HDV idle run, open cut

Dizel cestno vozilo v prostem teku	TE PM ₁₀ [g]	PM _{2,5} [g]	FCON poraba goriva [l/h]	HRS poraba goriva [kg/h]	EF(i,j,m) PM ₁₀ [g/kg goriva]	PM _{2,5} [g/kg goriva]
1 tov. vozilo, 4 osi, 32t, Euro4, 1 ura	-	4,7940	6	5,1	-	0,94

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi izpustov dizelskega motorja, necestna gradbena mehanizacija in oprema, gradnja z izkopom
Total emission, diesel exhaust, off-road mobile machinery, open cut

Dizel necestna mehanizacija in oprema	TE		Nj	HRS št. ur. uporabe	HP moč	LF fak.obrem.	Stage	EF(i)	
	PM ₁₀ [g]	PM _{2,5} [g]						PM ₁₀ [g/kWh]	PM _{2,5} [g/kWh]
1 bager 17t, 80% moči, 1 ura	22,3200	20,8320	1	1	93	0,8	Stage IIIA	0,30	0,28
1 bager 17t, 50% moči, 1 ura	13,9500	13,0200	1	1	93	0,5	Stage IIIA	0,30	0,28
1 valjar jež, 50% moči, 1 ura	14,6520	13,7940	1	1	13,2	0,5	Stage IIIA	2,22	2,09
1 valjar, 50% moči, 1 ura	5,6610	5,3295	1	1	5,1	0,5	Stage IIIA	2,22	2,09
1 vibr. plošča, 50% moči, 1 ura	12,0990	11,3905	1	1	10,9	0,5	Stage IIIA	2,22	2,09
1 finišer, 50 % moči, 1 ura	10,8000	10,2600	1	1	54	0,5	Stage IIIB	0,40	0,38

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi manipulacije z zemljino in kamenim agregatom, gradnja z izkopom, lokacija gradbišča Bled-Rečica
 Total emission, earth works - ditch spoil and bedding, Bled-Rečica construction site, open cut

Zemljina in kameni agregat	TE		U	M	k	
	PM ₁₀ [kg/t]	PM _{2,5} [kg/t]	hit. vetra [m/s]	vlažnost [%]	PM ₁₀ [-]	PM _{2,5} [-]
izkopana zemljina	0,0000457	0,0000069	0,8	4,68	0,35	0,053
separiran kameni agregat 0/4	0,0000390	0,0000059	0,8	5,24	0,35	0,053
izkopana zemljina, ki se ponovno vgradi	0,0000457	0,0000069	0,8	4,68	0,35	0,053
tamponski drobljenec 0/32	0,0001503	0,0000228	0,8	2	0,35	0,053

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi manipulacije z zemljino in kamenim agregatom, gradnja z izkopom, lokacija gradbišča Bled-Mlino
Total emission, earth works - ditch spoil and bedding, Bled-Mlino construction site, open cut

Zemljina in kameni agregat	TE		U hit. vetra [m/s]	M vlažnost [%]	k PM ₁₀ [-]	PM _{2,5} [-]
	PM ₁₀ [kg/t]	PM _{2,5} [kg/t]				
izkopana zemljina	0,0000222	0,0000034	0,6	6	0,35	0,053
lomljenec kameni agregat frakcije 0/4	0,0652582	0,0098820	0,6	0,02	0,35	0,053
izkopana zemljina, ki se ponovno vgradi	0,0000222	0,0000034	0,6	6	0,35	0,053
tamponski drobljenec 0/32	0,0001034	0,0000157	0,6	2	0,35	0,053

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi mehanske obrabe profila pnevmatik, gradnja brez izkopa Total emission, tyre wear, trenchless

Mehanska obraba profila pnevmatik	TE		Nj	Mj	N(ax)	LF	V	LCF(T)	EF(TSP,T,PC)	f(x)	Ss(V)		
	[g]	PM10										PM2,5	[št.vozil]
1 tov. vozilo, 2 osi, polno, 70 km/h, 83km	1,6327	1,1429	1	83	2	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. prikolica 2 osi, polna, 70 km/h, 83 km	1,6327	1,1429	1	83	2	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. vozilo cisterna, 2 osi, prazno 70 km/h, 83 km	0,8251	0,5776	1	83	2	0	70	1,41	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. prikolica, 2 osi, polna, 70 km/h, 83 km	1,6327	1,1429	1	83	2	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. vozilo cisterna, 2 osi, polno, 70 km/h, 83 km	1,6327	1,1429	1	83	2	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982
1 tov. prikolica, 2 osi, polna, 70 km/h, 83 km	1,6327	1,1429	1	83	2	1	70	2,79	0,0107	1	0,6	0,42	1,0982

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi mehanske obrabe zavor, gradnja brez izkopa

Total emission, brake wear, trenchless

Mehanska obraba zavor	TE		Nj	Mj	N(ax)	LF	V	LCF(B)	EF(TSP,B,PC)	TSP	f(x)	Ss(V)
	PM ₁₀	PM _{2,5}										
	[g]	[g]	[št.vozil]	[št.km]	[št.osi]	razpon 0-1	[km/h]	[-]	[g/km]	[-]	[-]	40<=V<=90 km/h
1 tov. vozilo, 2 osi, polno, 70 km/h, 83km	1,4638	0,5825	1	83	2	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39
1 tov. prikolica 2 osi, polna, 70 km/h, 83km	1,4638	0,5825	1	83	2	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39
1 tov. vozilo cisterna, 2 osi, prazno 70 km/h, 83km	0,5246	0,2088	1	83	2	0	70	1	0,0075	1	0,98	0,39
1 tov. prikolica, 2 osi, polna, 70 km/h, 83km	1,4638	0,5825	1	83	2	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39
1 tov. vozilo cisterna, 2 osi, polno, 70 km/h, 83km	1,4638	0,5825	1	83	2	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39
1 tov. prikolica, 2 osi, polna, 70 km/h, 83km	1,4638	0,5825	1	83	2	1	70	2,79	0,0075	1	0,98	0,39

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi mehanske obrabe podlage, gradnja brez izkopa

Total emission, road surface wear, trenchless

Mehanska obraba podlage	PM ₁₀ [g]	TE PM _{2,5} [g]	Nj [št.vozil]	Mj ena smer [št.km]	EF(R _{s,j}) [g/km]	TSP [-]	f(x) PM ₁₀ [-]	PM _{2,5} [-]
1 tov. vozilo, 2 osi, 83 km	3,1540	1,7032	1	83	0,076	1	0,5	0,27
1 tov. prikolica, 2 osi, 83 km	3,1540	1,7032	1	83	0,076	1	0,5	0,27

Emisija zaradi izpusta dizelskega motorja, tovorno vozilo med vožnjo, gradnja brez izkopa

Total emission, diesel exhaust, HDV while driving, trenchless

Dizel cestno vozilo	E PM _{2,5} =PM ₁₀ [g]	EF(i,j,k) [g/vkm]	M(j,k) [km/v]	N(j,k) št.vozil [-]
1 tov. vozilo, 2 osi, 12t, Euro 4, 83 km	2,2244	0,0268	83	1
1 tov. vozilo, 2 osi, 12t, Euro 3, 83 km	7,3123	0,0881	83	1

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Emisija zaradi izpusta dizelskega motorja, tovorno vozilo v prostem teku, gradnja brez izkopa

Total emission, diesel exhaust, HDV idle run, trenchless

	TE	FCON	HRS	EF(i,j,m)
Dizel cestno vozilo v prostem teku	PM ₁₀	PM _{2,5}	poraba goriva	PM ₁₀
	[g]	[l/h]	[kg/h]	[g/kg goriva]
1 tov. vozilo, 2 osi, 12t, Euro 3, 1 ura	-	17,5780	18,7	0,94

Emisija zaradi izpusta dizelskega motorja, necestna gradbena mehanizacija in oprema, gradnja brez izkopa

Total emission, diesel exhaust, off-road mobile machinery, trenchless

	TE	Nj	HRS	HP	LF	Stage	EF(i)
Dizel necestna mehanizacija in oprema	PM ₁₀	PM _{2,5}	št. ur. uporabe	moč	fak.obrem.		PM ₁₀
	[g]	[g]	[h]	[kW]	[-]	[-]	[g/kWh]
1 vrtalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	7,9500	7,4200	1	106	0,25	Stage IIIA	0,30
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	15,9000	14,8400	1	106	0,5	Stage IIIA	0,30

PRILOGA 6 (Emisija delcev po dnevih v odvisnosti od lokacije gradišča, višine nadkritja)

Gradišče Mlino, z izkopom, Hn = 1,2 m

DAN 1											
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije											
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	3,9341	2,3605	1,6523	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,9941	0,5965	0,4175		
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	1,9671	1,1802	0,8262		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	2,1595	2,1163	0,8422	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,3870	0,3793	0,1509		
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	3,2392	3,1744	1,2633		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	2	-	prevoz meh.	6,8400	3,4200	1,8468	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	in gradb.	2,2800	1,1400	0,6156		
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	ograje	2,3220	2,2756	0,9056		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	3	-	prevoz meh. ograje	0,0000	0,0000	2,4120	Izgorevanje diz. goriva-voznja	
tovorno vozilo, 4 osno	-	0	0	prosti tek	2	ograja	0,0000	0,0000	9,5880	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek	
SKUPAJ DAN 1 PREVOZ							24,1230	16,6427	10,9324		
SKUPAJ DAN 1 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	0,0000	9,5880		
DAN 2											
Prevoz in razkladanje opaža, rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-voznja	
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	ruš.asf+nakl.asf	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek	
hager, 17 t	80%	-	-	-	9	ruš.asf+nakl.asf	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.	
SKUPAJ DAN 2 PREVOZ							24,9620	17,9986	15,8391		
SKUPAJ DAN 2 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700		
DAN 3 - DAN 5											
Strojni izkop jarka z nakladanjem na tovorno vozilo, manipulacija z materialom DAN 1/3											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja	
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek	
hager, 17 t	80%	-	-	-	9	izkop jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.	
izkopani material						delci izkop	-	1,4926	0,2260	Manipul. zemljino	
SKUPAJ DAN 1/3 (3-5) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624		
SKUPAJ DAN 1/3 (3-5) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700		
SKUPAJ DAN 1/3 (3-5) ZEMLJINA IN KAMENI AGREGAT							-	1,4926	0,2260		
DAN 6 - DAN 8											
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja	
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek	

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

bager, 17 t	80%	-	-	-	9	zasip jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
valjar jež	50%	-	-	-	6		-	87,9120	82,7640	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6		-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6		-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
material za obsip, zasip						delci izkop	-	0,3906	0,0591	Manipul. z materialom od izkopa
material za obsip, zasip						delci izkop	-	2192,1538	331,9547	Manipul. z 0/4
material za obsip, zasip						delci izkop	-	1,6035	0,2428	Manipul. z 0/32

SKUPAJ DAN 1/3 (6-8) PREVOZ	9,3563	6,0807	4,6624
SKUPAJ DAN 1/3 (6-8) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	395,3520	384,9540
SKUPAJ DAN 1/3 (6-8) ZEM LJINA IN KAMENI AGREGAT	0,0000	2194,1480	332,2567

DAN 9

Izdelava finega planuma	Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
bager, 17 t		50%	-	-	-	3	fini planum	-	13,9500	13,0200	Delovanje necestne grad.meh.
valjar		50%	-	-	-	6	fini planum	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	0,9941	0,5965	0,4175	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna		polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna		polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna		polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna		polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno		-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna		-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno vozilo, 4 osno		-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno prikolica, 4 osna		-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno		-	70	30	1	-	prevoz bagra	-	-	0,8040	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno		-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	

SKUPAJ DAN 9 PREVOZ	14,5858	9,2358	6,5566
SKUPAJ DAN 9 GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	47,9160	44,9970

DAN 10-11

Asfaltiranje-grobi asfalt, fini asfalt	Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
valjar		50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča		50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
finišer		50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	64,8000	61,5600	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno		-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
tovorno vozilo, 4 osno		polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,4806	0,2884	0,2019	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,2429	0,1457	0,1020	
tovorno vozilo, 4 osno		polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,3854	0,3777	0,1503	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,1382	0,1354	0,0539	
tovorno vozilo, 4 osno		-	45	6	2	-	prevoz asfalta	0,9120	0,4560	0,2462	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno		-	45	6	2	-	prevoz asfalta	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja

SKUPAJ DAN 1/2 (10-11) PREVOZ	2,1591	1,4032	1,4511
SKUPAJ DAN 1/2 (10-11) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	171,3600	176,2620

DAN 12

Premik gradbene mehanizacije-asfalt, premik gradbiščne ograje, premik opažev	Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno		polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno		polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno		-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno		-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna		polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno		prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna		polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno		-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna		-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno		-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja

SKUPAJ DAN 12 PREVOZ	20,5109	14,9807	13,6122
-----------------------------	----------------	----------------	----------------

Gradišče Mlino, z izkopom, Hn = 2,2 m

DAN 1										
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	3,9341	2,3605	1,6523	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb. ograje	0,9941	0,5965	0,4175	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-		1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	2,1595	2,1163	0,8422	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb. ograje	0,3870	0,3793	0,1509	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-		3,2392	3,1744	1,2633	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	2	-	prevoz meh.	6,8400	3,4200	1,8468	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	in gradb. ograje	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-		2,3220	2,2756	0,9056	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	3	-	meh+ogr	0,0000	0,0000	2,4120	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	0	0	prosti tek	2	meh+ogr	0,0000	0,0000	9,5880	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
SKUPAJ DAN 1 PREVOZ							24,1230	16,6427	10,9324	
SKUPAJ DAN 1 GRADBIŠČE DIZEL							0,0000	0,0000	9,5880	

DAN 2										
Prevoz in razkladanje opaža, rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	ruš.asf+nakl.asf	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	ruš.asf+nakl.asf	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
SKUPAJ DAN 2 PREVOZ							24,9620	17,9986	15,8391	
SKUPAJ DAN 2 GRADBIŠČE DIZEL							0,0000	200,8800	201,8700	

DAN 3 - DAN 6										
Strojni izkop jarka z nakladanjem na tovorno vozilo, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	odvoz asf.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	odvoz asf.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	odvoz asf.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	odvoz asf.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	odvoz asf.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	odvoz asf.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
izkopani material	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	izkop jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
SKUPAJ DAN 1/5 (3-6) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-6) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-6) ZEMLJINA IN KAMENI AGREGAT							-	2,2281	0,3374	

DAN 7 - DAN 10										
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
izkopani material	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek

DAN 7 - DAN 10										
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
izkopani material	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek

bager, 17 t	80%	-	-	-	9	zasip jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
valjar jež	50%	-	-	-	6		-	87,9120	82,7640	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6		-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6		-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
material za obsip, zasip						delci izkop	-	0,3306	0,0501	Manipul. z materialom od izkopa
material za obsip, zasip						delci izkop	-	4695,2141	710,9896	Manipul. z 0/4
material za obsip, zasip						delci izkop	-	1,3530	0,2049	Manipul. z 0/32

SKUPAJ DAN 1/5 (7-10) PREVOZ	9,3563	6,0807	4,6624
SKUPAJ DAN 1/5 (7-10) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	395,3520	384,9540
SKUPAJ DAN 1/5 (7-10) ZEM LJINA IN KAMENI AGREGAT	0,0000	4696,8977	711,2445

DAN 11

Izdelava finega planuma										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
bager, 17 t	50%	-	-	-	3	fini planum	-	13,9500	13,0200	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6	fini planum	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	0,9941	0,5965	0,4175	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	-	-	0,8040	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	

SKUPAJ DAN 11 PREVOZ	14,5858	9,2358	6,5566
SKUPAJ DAN 11 GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	47,9160	44,9970

DAN 12-13

Asfaltiranje-grobi asfalt, fini asfalt										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
valjar	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
finišer	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	64,8000	61,5600	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,4806	0,2884	0,2019	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,2429	0,1457	0,1020	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,3854	0,3777	0,1503	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,1382	0,1354	0,0539	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	0,9120	0,4560	0,2462	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja

SKUPAJ DAN 1/2 (12-13) PREVOZ	2,1591	1,4032	1,4511
SKUPAJ DAN 1/2 (12-13) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	171,3600	176,2620

DAN 14

Premik gradbene mehanizacije-asfalt, premik gradbiščne ograje, premik opažev										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja

SKUPAJ DAN 14 PREVOZ	20,5109	14,9807	13,6122
-----------------------------	----------------	----------------	----------------

Gradišče Mlino, z izkopom, Hn = 3,2 m

DAN 1										
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	3,9341	2,3605	1,6523	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,9941	0,5965	0,4175	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	2,1595	2,1163	0,8422	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,3870	0,3793	0,1509	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	3,2392	3,1744	1,2633	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	2	-	prevoz meh.	6,8400	3,4200	1,8468	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	in gradb.	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	ograje	2,3220	2,2756	0,9056	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	3	-	meh+ogr	0,0000	0,0000	2,4120	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	0	0	prosti tek	2	meh+ogr	0,0000	0,0000	9,5880	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
SKUPAJ DAN 1 PREVOZ							24,1230	16,6427	10,9324	
SKUPAJ DAN 1 GRADBIŠČE DIZEL							0,0000	0,0000	9,5880	

DAN 2										
Prevoz in razkladanje opaža, rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	ruš.asf+nakl.asf	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	ruš.asf+nakl.asf	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
SKUPAJ DAN 2 PREVOZ							24,9620	17,9986	15,8391	
SKUPAJ DAN 2 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	

DAN 3 - DAN 7										
Strojni izkop jarka z nakladanjem na tovorno vozilo, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	izkop jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
izkopani material						delci izkop	-	2,5574	0,3873	Manipul. zemljino
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) ZEM'LJINA IN KAMENI AGREGAT							-	2,5574	0,3873	

DAN 8 - DAN 12										
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

bager, 17 t	80%	-	-	-	9	zasip jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
valjar jež	50%	-	-	-	6		-	87,9120	82,7640	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6		-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6		-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
material za obsip, zasip						delci izkop	-	0,2645	0,0401	Manipul. z materialom od izkopa
material za obsip, zasip						delci izkop	-	6032,6387	913,5139	Manipul. z 0/4
material za obsip, zasip						delci izkop	-	1,0824	0,1639	Manipul. z 0/32

SKUPAJ DAN 1/5 (8-12) PREVOZ	9,3563	6,0807	4,6624
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	395,3520	384,9540
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) ZEM LJINA IN KAMENI AGREGAT	0,0000	6033,9856	913,7178

DAN 13

Izdelava finega planuma											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
bager, 17 t	50%	-	-	-	3	fini planum	-	13,9500	13,0200	Delovanje necestne grad.meh.	
valjar	50%	-	-	-	6	fini planum	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	0,9941	0,5965	0,4175	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,9671	1,1802	0,8262		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210		
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	Mehanska obraba zavor	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210		
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	Mehanska obraba podlage	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668		
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	-	-	0,8040	Izgorevanje diz. goriva-voznja	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968		

SKUPAJ DAN 13 PREVOZ	14,5858	9,2358	6,5566
SKUPAJ DAN 13 GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	47,9160	44,9970

DAN 14-15

Asfaltiranje-grobi asfalt, fini asfalt											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
valjar	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.	
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.	
finišer	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	64,8000	61,5600	Delovanje necestne grad.meh.	
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	prevoz asfalta	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,4806	0,2884	0,2019	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,2429	0,1457	0,1020		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,3854	0,3777	0,1503	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,1382	0,1354	0,0539		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	0,9120	0,4560	0,2462	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-voznja	

SKUPAJ DAN 1/2 (14-15) PREVOZ	2,1591	1,4032	1,4511
SKUPAJ DAN 1/2 (14-15) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	171,3600	176,2620

DAN 16

Premik gradbene mehanizacije-asfalt, premik gradbiščne ograje, premik opažev											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-voznja	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba zavor	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	Mehanska obraba podlage	
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-voznja	

SKUPAJ DAN 16 PREVOZ	20,5109	14,9807	13,6122
-----------------------------	----------------	----------------	----------------

Gradbišče Mlino, brez izkopa, Hn = 1,2 m

DAN 1

Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo, 2 osno polno	70	83	1	-	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno	70	83	1	-	-	prevoz	1,3752	0,8251	0,5776	
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo, 2 osno polno	70	83	1	-	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno	70	83	1	-	-	prevoz	0,5354	0,5246	0,2088	
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo, 2 osno polno	70	83	1	-	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno	70	83	1	-	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 1 PREVOZ 39,7868 23,2550 22,3119

DAN 2

Izdelava pilotne vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	5,58	vrtanje	-	44,3385	41,3826	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 2 GORIVO 0,0000 44,3385 102,9056

DAN 3

Širjenje vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,20	širjenje	-	98,5300	91,9613	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 3 GORIVO 0,0000 98,5300 153,4843

DAN 4

Uvlečenje cevi

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,20	uvlečenje	-	98,5300	91,9613	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 4 GORIVO 0,0000 98,5300 153,4843

DAN 5

Premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km polno	70	83	1	-	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna	70	83	1	-	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km polno	70	83	1	-	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna	70	83	1	-	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km polno	70	83	1	-	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna	70	83	1	-	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km polno	70	83	1	-	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna	70	83	1	-	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km polno	70	83	1	-	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna	70	83	1	-	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km polno	70	83	1	-	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna	70	83	1	-	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 5 PREVOZ 42,0910 25,0017 23,2509

Gradbišče Mlino, brez izkopa, Hn = 2,2 m

DAN 1												
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije												
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev		
tovorno vozilo, 2 osno	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik		
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429			
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	1,3752	0,8251	0,5776			
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429			
tovorno vozilo, 2 osno	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor		
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825			
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	0,5354	0,5246	0,2088			
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825			
tovorno vozilo, 2 osno	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage		
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032			
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032			
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032			
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja		
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123			

SKUPAJ DAN 1 39,7868 23,2550 22,3119

DAN 2												
Izdelava pilotne vrtine												
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev		
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine		
1 vrtalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,06	vrtanje	-	48,1622	44,9514	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.		

SKUPAJ DAN 2 0,0000 48,1622 106,4744

DAN 3												
Širjenje vrtine												
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev		
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine		
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,73	širjenje	-	107,0272	99,8920	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.		

SKUPAJ DAN 3 0,0000 107,0272 161,4150

DAN 4												
Uvlečenje cevi												
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev		
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine		
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,73	uvlečenje	-	107,0272	99,8920	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.		

SKUPAJ DAN 4 0,0000 107,0272 161,4150

DAN 5												
Premik gradbene mehanizacije												
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev		
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik		
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429			
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429			
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429			
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor		
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825			
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825			
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825			
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage		
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032			
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032			
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032			
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja		
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123			

SKUPAJ DAN 5 42,0910 25,0017 23,2509

Gradbišče Mlino, brez izkopa, Hn = 3,2 m

DAN 1

Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo, 2 osno	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	1,3752	0,8251	0,5776	
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo, 2 osno	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	0,5354	0,5246	0,2088	
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo, 2 osno	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 1 39,7868 23,2550 22,3119

DAN 2

Izdelava pilotne vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtnalne tekočine
1 vrtnalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,54	vrtnanje	-	51,9860	48,5202	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 2 0,0000 51,9860 110,0432

DAN 3

Širjenje vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtnalne tekočine
1 vrtnalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	7,27	širjenje	-	115,5244	107,8227	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 3 0,0000 115,5244 169,3457

DAN 4

Uvlečenje cevi

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtnalne tekočine
1 vrtnalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	7,27	uvlečenje	-	115,5244	107,8227	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 4 0,0000 115,5244 169,3457

DAN 5

Premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 5 42,0910 25,0017 23,2509

Gradbišče Rečica, z izkopom, Hn = 1,2 m

DAN 1										
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	3,9341	2,3605	1,6523	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,9941	0,5965	0,4175	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	2,1595	2,1163	0,8422	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,3870	0,3793	0,1509	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	3,2392	3,1744	1,2633	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	2	-	prevoz meh.	6,8400	3,4200	1,8468	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	in gradb.	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	ograje	2,3220	2,2756	0,9056	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	3	-	prevoz meh. ograje	0,0000	0,0000	2,4120	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	0	0	prosti tek	2	ograjna	0,0000	0,0000	9,5880	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
SKUPAJ DAN 1 PREVOZ							24,1230	16,6427	10,9324	
SKUPAJ DAN 1 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	0,0000	9,5880	

DAN 2										
Prevoz in razkladanje opaža, rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	ruš.asf+nakl.asf	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	ruš.asf+nakl.asf	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
SKUPAJ DAN 2 PREVOZ							24,9620	17,9986	15,8391	
SKUPAJ DAN 2 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	

DAN 3 - DAN 5										
Strojni izkop jarka z nakladanjem na tovorno vozilo, manipulacija z materialom DAN 1/3										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	izkop jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
izkopani material						delci izkop	-	3,0720	0,4652	Manipul. z izkopanim materialom
SKUPAJ DAN 1/3 (3-5) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624	
SKUPAJ DAN 1/3 (3-5) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	
SKUPAJ DAN 1/3 (3-5) ZEM.LJINA IN KAMENI AGREGAT							-	3,0720	0,4652	

DAN 6 - DAN 8										
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

bager, 17 t	80%	-	-	-	9	zasip jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.	
valjar jež	50%	-	-	-	6		-	87,9120	82,7640	Delovanje necestne grad.meh.	
valjar	50%	-	-	-	6		-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.	
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6		-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.	
material za obsip, zasip						delci izkop	-	0,8039	0,1217	Manipul. z materialom od izkopa	
material za obsip, zasip						delci izkop	-	1,3112	0,1986	Manipul. z 0/4	
material za obsip, zasip						delci izkop	-	2,3308	0,3529	Manipul. z 0/32	
SKUPAJ DAN 1/3 (6-82) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624		
SKUPAJ DAN 1/3 (6-8) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	395,3520	384,9540		
SKUPAJ DAN 1/3 (6-8) ZEM LJINA IN KAMENI AGREGAT							0,0000	4,4459	0,6732		
DAN 9											
Izdelava finega planuma											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
bager, 17 t	50%	-	-	-	3	fini planum	-	13,9500	13,0200	Delovanje necestne grad.meh.	
valjar	50%	-	-	-	6	fini planum	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	0,9941	0,5965	0,4175	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,9671	1,1802	0,8262		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210		
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	Mehanska obraba zavor	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211		
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210		
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	Mehanska obraba podlage	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668		
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668		
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	-	-	0,8040	Izgorevanje diz. goriva-vožnja	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968		
SKUPAJ DAN 9 PREVOZ							14,5858	9,2358	6,5566		
SKUPAJ DAN 13 GRADBIŠČE-GORIVO							0,0000	47,9160	44,9970		
DAN 10-11											
Asfaltiranje-grobi asfalt, fini asfalt											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
valjar	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.	
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.	
finišer	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	64,8000	61,5600	Delovanje necestne grad.meh.	
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,4806	0,2884	0,2019	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,2429	0,1457	0,1020		
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,3854	0,3777	0,1503	Mehanska obraba zavor	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,1382	0,1354	0,0539		
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	0,9120	0,4560	0,2462	Mehanska obraba podlage	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja	
SKUPAJ DAN 1/2 (10-11) PREVOZ							2,1591	1,4032	1,4511		
SKUPAJ DAN 1/2 (10-11) GRADBIŠČE-GORIVO							0,0000	171,3600	176,2620		
DAN 12											
Premik gradbene mehanizacije-asfalt, premik gradbiščne ograje, premik opažev											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	0	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	0	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,9880	0,4940	0,2668	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
SKUPAJ DAN 12 PREVOZ							20,5109	14,9807	13,6122		

Gradbišče Rečica, z izkopom, Hn = 2,2 m

DAN 1										
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	3,9341	2,3605	1,6523	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,9941	0,5965	0,4175	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	2,1595	2,1163	0,8422	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,3870	0,3793	0,1509	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	3,2392	3,1744	1,2633	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	2	-	prevoz meh.	6,8400	3,4200	1,8468	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	in gradb.	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	ograje	2,3220	2,2756	0,9056	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	3	-	meh+ogr	0,0000	0,0000	2,4120	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	0	0	prosti tek	2	meh+ogr	0,0000	0,0000	9,5880	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
SKUPAJ DAN 1 PREVOZ							24,1230	16,6427	10,9324	
SKUPAJ DAN 1 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	0,0000	9,5880	

DAN 2										
Prevoz in razkladanje opaža, rušenje asfalta z nakladanjem na tovorno vozilo										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	ruš.asf+nakl.asf	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	ruš.asf+nakl.asf	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
SKUPAJ DAN 2 PREVOZ							24,9620	17,9986	15,8391	
SKUPAJ DAN 2 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	

DAN 3 - DAN 6										
Strojni izkop jarka z nakladanjem na tovorno vozilo, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	izkop jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
izkopani material						delci izkop	-	4,5858	0,6944	Manipul. z izkopanim materialom
SKUPAJ DAN 1/5 (3-6) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-6) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-6) ZEM LJINA IN KAMENI AGREGAT							-	4,5858	0,6944	

DAN 7 - DAN 10										
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat.	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat.	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

bager, 17 t	80%	-	-	-	9	zasip jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
valjar jež	50%	-	-	-	6		-	87,9120	82,7640	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6		-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6		-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
material za obsip, zasip						delci izkop	-	0,6805	0,1030	Manipul. z materialom od izkopa
material za obsip, zasip						delci izkop	-	2,8084	0,4253	Manipul. z 0/4
material za obsip, zasip						delci izkop	-	1,9666	0,2978	Manipul. z 0/32

SKUPAJ DAN 1/5 (7-10) PREVOZ	9,3563	6,0807	4,6624
SKUPAJ DAN 1/5 (7-10) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	395,3520	384,9540
SKUPAJ DAN 1/5 (7-10) ZEM LJINA IN KAMENI AGREGAT	0,0000	5,4554	0,8261

DAN 11										
Izdelava finega planuma										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
bager, 17 t	50%	-	-	-	3	fini planum	-	13,9500	13,0200	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6	fini planum	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	0,9941	0,5965	0,4175	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	-	-	0,8040	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	
SKUPAJ DAN 11 PREVOZ							14,5858	9,2358	6,5566	
SKUPAJ DAN 11 GRADBIŠČE-GORIVO							0,0000	47,9160	44,9970	

DAN 12-13										
Asfaltiranje-grobi asfalt, fini asfalt										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
valjar	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
finišer	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	64,8000	61,5600	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,4806	0,2884	0,2019	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,2429	0,1457	0,1020	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,3854	0,3777	0,1503	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,1382	0,1354	0,0539	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	0,9120	0,4560	0,2462	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
SKUPAJ DAN 1/2 (12-13) PREVOZ							2,1591	1,4032	1,4511	
SKUPAJ DAN 1/2 (12-13) GRADBIŠČE-GORIVO							0,0000	171,3600	176,2620	

DAN 14											
Premik gradbene mehanizacije-asfalt, premik gradbiščne ograje, premik opažev											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	0	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	0	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,9880	0,4940	0,2668	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
SKUPAJ DAN 14 PREVOZ							20,5109	14,9807	13,6122		

Možnost zmanjšanja vnosa emisij delcev v zunanji zrak z nadomestitvijo klasičnega načina gradnje z gradnjo brez izkopa pri gradnji podzemne linijske infrastrukture. Mag. d., Ljubljana, UPŠVO, UL FGG.

Gradbišče Rečica, z izkopom, Hn = 3,2 m

DAN 1										
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	3,9341	2,3605	1,6523	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,9941	0,5965	0,4175	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	2	-	prevoz meh.	2,1595	2,1163	0,8422	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	in gradb.	0,3870	0,3793	0,1509	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	ograje	3,2392	3,1744	1,2633	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	2	-	prevoz meh.	6,8400	3,4200	1,8468	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	in gradb.	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	ograje	2,3220	2,2756	0,9056	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	3	-	meh+ogr	0,0000	0,0000	2,4120	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	0	0	prosti tek	2	meh+ogr	0,0000	0,0000	9,5880	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
SKUPAJ DAN 1 PREVOZ							24,1230	16,6427	10,9324	
SKUPAJ DAN 1 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	0,0000	9,5880	
DAN 2										
Prevoz in razkladanje opaža, rušenje asfalta z nakladijem na tovorno vozilo										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	ruš.asf+nakl.asf	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	ruš.asf+nakl.asf	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
SKUPAJ DAN 2 PREVOZ							24,9620	17,9986	15,8391	
SKUPAJ DAN 2 GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	
DAN 3 - DAN 7										
Strojni izkop jarka z nakladijem na tovorno vozilo, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
bager, 17 t	80%	-	-	-	9	izkop jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
izkopani material						delci izkop	-	5,2637	0,7971	Manipul. z izkopanim materialom
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) PREVOZ							9,3563	6,0807	4,6624	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) GRADBIŠČE GORIVO							0,0000	200,8800	201,8700	
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) ZEM LJNIJA IN KAMENI AGREGAT							-	5,2637	0,7971	
DAN 8 - DAN 12										
Strojni zasip jarka, manipulacija z materialom DAN 1/5										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	2,0828	1,2497	0,8748	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	1,0526	0,6316	0,4421	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	1,6702	1,6368	0,6514	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	2	-	prevoz izk.mat	0,5987	0,5867	0,2335	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat	3,9520	1,9760	1,0670	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	4	-	prevoz izk.mat	-	-	1,3936	Izgorevanje diz. goriva-voznja
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	prosti tek	3	izkop jarka	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek

bager, 17 t	80%	-	-	-	9	zasip jarka	-	200,8800	187,4880	Delovanje necestne grad.meh.
valjar jež	50%	-	-	-	6		-	87,9120	82,7640	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6		-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6		-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
material za obsip, zasip						delci izkop	-	0,5444	0,0824	Manipul. z materialom od izkopa
material za obsip, zasip						delci izkop	-	3,6083	0,5464	Manipul. z 0/4
material za obsip, zasip						delci izkop	-	1,5733	0,2382	Manipul. z 0/32

SKUPAJ DAN 1/5 (8-12) PREVOZ	9,3563	6,0807	4,6624
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) GRADBIŠČE GORIVO	0,0000	395,3520	384,9540
SKUPAJ DAN 1/5 (3-7) ZEM LJINA IN KAM ENI AGREGAT	0,0000	5,7260	0,8671

DAN 13

Izdelava finega planuma										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
bager, 17 t	50%	-	-	-	3	fini planum	-	13,9500	13,0200	Delovanje necestne grad.meh.
valjar	50%	-	-	-	6	fini planum	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	0,9941	0,5965	0,4175	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,9671	1,1802	0,8262	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	70	30	1	-	prevoz bagra	1,0797	1,0581	0,4211	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0,5263	0,3158	0,2210	
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	70	30	1	-	prevoz bagra	2,2800	1,1400	0,6156	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	1	-	prevoz bagra	-	-	0,8040	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	-	-	0,6968	

SKUPAJ DAN 13 PREVOZ	14,5858	9,2358	6,5566
SKUPAJ DAN 13 GRADBIŠČE-GORIVO	0,0000	47,9160	44,9970

DAN 14

Asfaltiranje-grobi asfalt, fini asfalt										
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
valjar	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	33,9660	31,9770	Delovanje necestne grad.meh.
vibracijska plošča	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	72,5940	68,3430	Delovanje necestne grad.meh.
finišer	50%	-	-	-	6	grobi, fini asfalt	-	64,8000	61,5600	Delovanje necestne grad.meh.
tovorno vozilo, 4 osno	-	-	-	-	3	prostni tek	-	-	14,3820	Izgorevanje diz. goriva-prosti tek
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,4806	0,2884	0,2019	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,2429	0,1457	0,1020	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,3854	0,3777	0,1503	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	6	1	-	prevoz asfalta	0,1382	0,1354	0,0539	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	0,9120	0,4560	0,2462	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	6	2	-	prevoz asfalta	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja

SKUPAJ DAN 1/2 (14-15) PREVOZ	2,1591	1,4032	1,4511
SKUPAJ DAN 1/2 (14-15) GRADBIŠČE-GORIVO	0,0000	171,3600	176,2620

DAN 16

Premik gradbene mehanizacije-asfalt, premik gradbiščne ograje, premik opažev											
Grad. mehanizacija in oprema	Status/obremenitev	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	5,9012	3,5407	2,4785	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	2,9823	1,7894	1,2526	
tovorno vozilo, 4 osno	polno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	3,2392	3,1744	1,2633	Mehanska obraba zavor
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	70	30	3	-	prevoz opaža	0	1,1610	1,1378	0,4528	
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	0	2,3220	2,2756	0,9056	Mehanska obraba podlage
tovorno vozilo, 4 osno	-	70	30	6	-	prevoz opaža	0	-	-	4,8240	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0	1,0414	0,6248	0,4374	
tovorno vozilo, 4 osno	prazno	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,5263	0,3158	0,2210	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 4 osna	polna	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,8351	0,8184	0,3257	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,9880	0,4940	0,2668	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 4 osna	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	0,9880	0,4940	0,2668	
tovorno vozilo, 4 osno	-	45	13	1	-	prevoz finišer	0	-	-	0,6968	Izgorevanje diz. goriva-vožnja

SKUPAJ DAN 16 PREVOZ	20,5109	14,9807	13,6122
-----------------------------	----------------	----------------	----------------

Gradbišče Rečica, brez izkopa, Hn = 1,2 m

DAN 1

Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo, 2 osno polno		70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 2 osna polna		70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno		70	83	1	-	prevoz	1,3752	0,8251	0,5776	
tovorno prikolica, 2 osna polna		70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo, 2 osno polno		70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 2 osna polna		70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno		70	83	1	-	prevoz	0,5354	0,5246	0,2088	
tovorno prikolica, 2 osna polna		70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo, 2 osno polno		70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 2 osna polna		70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno		70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno prikolica, 2 osna polna		70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 1 PREVOZ 39,7868 23,2550 22,3119

DAN 2

Izdelava pilotne vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	5,58	vrtanje	-	44,3385	41,3826	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 2 GORIVO 0,0000 44,3385 102,9056

DAN 3

Širjenje vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,20	širjenje	-	98,5300	91,9613	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 3 GORIVO 0,0000 98,5300 153,4843

DAN 4

Uvlečenje cevi

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,20	uvlečenje	-	98,5300	91,9613	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 4 GORIVO 0,0000 98,5300 153,4843

DAN 5

Premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km polno		70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna		70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km polno		70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna		70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km polno		70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna		70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km polno		70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna		70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km polno		70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna		70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km polno		70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km polna		70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 5 PREVOZ 42,0910 25,0017 23,2509

Gradbišče Rečica, brez izkopa, Hn = 2,2 m

DAN 1

Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo, 2 osno polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik	
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429		
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno	70	83	1	-	prevoz	1,3752	0,8251	0,5776		
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429		
tovorno vozilo, 2 osno polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor	
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825		
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno	70	83	1	-	prevoz	0,5354	0,5246	0,2088		
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825		
tovorno vozilo, 2 osno polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage	
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032		
tovorno vozilo cisterna, 2 osna prazno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032		
tovorno prikolica, 2 osna polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032		
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83		prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83		prevoz HDD	-	-	7,3123		

SKUPAJ DAN 1 PREVOZ 39,7868 23,2550 22,3119

DAN 2

Izdelava pilotne vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,06	vrtanje	-	48,1622	44,9514	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 2 GORIVO 0,0000 48,1622 106,4744

DAN 3

Širjenje vrtnice

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,73	širjenje	-	107,0272	99,8920	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 3 GORIVO 0,0000 107,0272 161,4150

DAN 4

Uvlečenje cevi

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,73	uvlečenje	-	107,0272	99,8920	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 4 GORIVO 0,0000 107,0272 161,4150

DAN 5

Premik gradbene mehanizacije

Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TE			Vzrok za nastanek delcev
							TSP	PM10	PM2,5	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83		prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83		prevoz HDD	-	-	7,3123		

SKUPAJ DAN 5 PREVOZ 42,0910 25,0017 23,2509

Gradbišče Rečica, brez izkopa, Hn = 3,2 m

DAN 1										
Izdelava gradbiščne ograje, premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo, 2 osna	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	1,3752	0,8251	0,5776	
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
tovorno vozilo, 2 osna	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	0,5354	0,5246	0,2088	
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
tovorno vozilo, 2 osna	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno vozilo cisterna, 2 osna	prazno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
tovorno prikolica, 2 osna	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 1 PREVOZ 39,7868 23,2550 22,3119

DAN 2										
Izdelava pilotne vrtnice										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 25% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	6,54	vrtanje	-	51,9860	48,5202	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 2 GORIVO 0,0000 51,9860 110,0432

DAN 3										
Širjenje vrtnice										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	7,27	širjenje	-	115,5244	107,8227	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 3 GORIVO 0,0000 115,5244 169,3457

DAN 4										
Uvlečenje cevi										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
tovorno vozilo v prostem teku	-	-	-	-	3,5	črpanje vrt. tek.	-	-	61,5230	Črpanje vrtalne tekočine
1 vrtalna garnitura, 50% moči, 1 ura, Stage III	-	-	-	-	7,27	uvlečenje	-	115,5244	107,8227	Izgorevanje diz. goriva-grad.meh.

SKUPAJ DAN 4 GORIVO 0,0000 115,5244 169,3457

DAN 5										
Premik gradbene mehanizacije										
Grad. mehanizacija in oprema	Status	Hitrost [km/h]	Razdalja [km]	Št. voženj [št.]	Ure obrat. [h]	Proces	TSP	TE PM10	PM2,5	Vzrok za nastanek delcev
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	Mehanska obraba profila pnevmatik
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	2,7211	1,6327	1,1429	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	2,7211	1,6327	1,1429	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	Mehanska obraba zavor
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	1,4936	1,4638	0,5825	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	1,4936	1,4638	0,5825	
1 tovornjak 2 osni poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	Mehanska obraba podlage
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	bager	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni cisterna poln 70 km/h - 83km	polno	70	83	1	-	prevoz	6,3080	3,1540	1,7032	
1 prikolica 2 osna polna 70 km/h - 83km	polna	70	83	1	-	HDD	6,3080	3,1540	1,7032	
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 4 - 83km			83			prevoz bager	-	-	2,2244	Izgorevanje diz. goriva-vožnja
1 tovornjak 2 osni, 12t, Euro 3 - 83km			83			prevoz HDD	-	-	7,3123	

SKUPAJ DAN 5 PREVOZ 42,0910 25,0017 23,2509