

Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

Fadljević Ivana, Königshofer Dominik

**Procjena nekancerogenih i kancerogenih rizika oštećenja  
zdravlja djece izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta  
Grada Zagreba**

Zagreb, 2020.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za melioracije Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom dr. sc. Lane Filipović i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019/2020.

## Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

US EPA	Američka agencija za zaštitu okoliša (engl. <i>United States Environmental Protection Agency</i> )
GPS	Globalni pozicijski sustav
NN	Narodne novine
EC	Električna vodljivost (engl. <i>Electrical Conductivity</i> )
ADI	Prosječni dnevni unos (engl. <i>Average Daily Intake</i> )
HI	Indeks opasnosti (engl. <i>Hazard Index</i> )
HQ	Kvocijent opasnosti (engl. <i>Hazard Quotient</i> )
TCR	Ukupni kancerogeni rizik (engl. <i>Total Cancer Risk</i> )
CR	Kancerogeni rizik (engl. <i>Cancer Risk</i> )
ADI <sub>ingestion</sub>	Prosječni dnevni unos oralnim putem
ADI <sub>inhalation</sub>	Prosječni dnevni unos inhalatornim putem
ADI <sub>dermal</sub>	Prosječni dnevni unos dermalnim putem
IngR <sub>soil</sub>	Stopa unosa tla oralnim putem (engl. <i>Ingestion Rate</i> )
InhR <sub>soil</sub>	Stopa unosa tla inhalacijom (engl. <i>Inhalation Rate</i> )
C <sub>soil</sub>	Koncentracija teškog metala u tlu (engl. <i>Concentration</i> )
EF	Učestalost izloženosti (engl. <i>Exposure Frequency</i> )
ED	Trajanje izloženosti (engl. <i>Exposure Duration</i> )
BW	Tjelesna težina (engl. <i>Body Weight</i> )
AT	Prosječno vrijeme izloženosti (engl. <i>Average Time</i> )
PEF	Faktor emisije čestica (engl. <i>Particulate Emission Factor</i> )
SA	Područje izložene kože (engl. <i>Skin Area</i> )
AF	Faktor prijanjanja (engl. <i>Adherence Factor</i> )
ABS	Faktor apsorpcije (engl. <i>Absorption Factor</i> )
CSF	Faktor nagiba za kancerogenost (engl. <i>Cancer Slope Factor</i> )
RfD	Referentna doza
DNA	Deoksiribonukleinska kiselina (engl. <i>Deoxyribonucleic Acid</i> )
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>2. Ciljevi istraživanja</b> .....	3
<b>3. Materijali i metode</b> .....	4
<b>3.1. Odabir lokacija dječjih igrališta za provedbu istraživanja</b> .....	4
<b>3.2. Uzorkovanje tla s dječjih igrališta u Gradu Zagrebu</b> .....	8
<b>3.3. Laboratorijsko određivanje fizikalno-kemijskih značajki tla</b> .....	9
3.3.1. Priprema uzoraka tla za analize .....	9
3.3.2. Mjerenje pH tla.....	9
3.3.3. Mjerenje električne vodljivosti tla.....	10
3.3.4. Određivanje udjela karbonata u tlu.....	11
3.3.5. Određivanje udjela humusa u tlu.....	12
3.3.6. Određivanje mehaničkog sastava tla .....	13
<b>3.4. Laboratorijsko određivanje ukupnih koncentracija metala u tlima dječjih igrališta</b> .....	15
<b>3.5. Metodologija procjene rizika oštećenja zdravlja djece</b> .....	17
3.5.1. Izračun rizika oštećenja zdravlja djece izlaganjem metalima u tlima .....	19
<b>4. Rezultati i rasprava</b> .....	23
<b>4.1. Rezultati fizikalno-kemijskih analiza tala</b> .....	23
<b>4.2. Utvrđivanje moguće opasnosti određivanjem ukupnih koncentracija metala u tlima dječjih igrališta u Gradu Zagrebu</b> .....	27
<b>4.3. Procjena opasnosti izračunavanjem rizika oštećenja zdravlja djece (oralnim, dermalnim i inhalacijskim) izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta Grada Zagreba</b> .....	49
4.3.1. Nekancerogeni rizik za djecu uzrokovan koncentracijom teških metala.....	52
4.3.2. Kancerogeni rizik za djecu uzrokovan koncentracijom teških metala .....	54
<b>5. Zaključci</b> .....	58
<b>Zahvala</b> .....	58
<b>6. Popis literature</b> .....	60
<b>Sažetak</b> .....	66
<b>Summary</b> .....	66
<b>7. Prilozi</b> .....	68

## 1. Uvod

Prevenција i kontrola onečišćenja urbanog okoliša teme su od osobitog interesa u posljednjih nekoliko desetljeća, kako za znanstveni, tako i za javni sektor. Veća informiranost javnosti i povećanje javne svijesti o mogućim onečišćenjima u urbanom okolišu te o negativnom utjecaju pojedinih onečišćivača na zdravlje ljudi, razlozi su zašto istraživanja kvalitete okoliša ne gube na važnosti. Definicija urbanog ekosustava, između ostalog, obuhvaća i aspekt onečišćenja okoliša kao neizbježnu posljedicu rasta populacije, procesa urbanizacije i industrijalizacije. Navedeni procesi izvor su antropogenog unosa povećanih koncentracija metala u komponente urbanog okoliša - zrak, vodu i tlo; predstavljajući dodatno opterećenje na urbani okoliš zbog narušene bilance njihovog kruženja. U isto vrijeme, zbog korisnosti primjene metala u svakodnevnom životu, smanjenje njihove emisije u okoliš nije realno očekivati u skoroj budućnosti. Stoga se općenito za korištenje tala na gradskim područjima vežu određene nesigurnosti koje se prvenstveno odnose na zdravstvene aspekte stanovnika urbanih područja, a osobito djece.

Povećane koncentracije metala u okolišu u fokusu su mnogih znanstvenih istraživanja, a značaj takvih istraživanja ne gubi na važnosti zbog činjenice da se jednom prisutni u okolišu, metali na nikoji način ne mijenjaju s vremenom, ne razgrađuju se i najčešće im se u urbanom okolišu koncentracija ne smanjuje, nego naprotiv, postupno povećava akumulacijom u pojedinim komponentama okoliša, najčešće tlu. Povećana koncentracija metala u urbanom okolišu smatra se složenom problematikom zbog širokog spektra mogućih izvora onečišćenja, kao i kompleksne migracije od izvora onečišćenja do mjesta njihove konačne depozicije. Transfer i transport metala u urbanom okolišu, uz antropogeno djelovanje, mogu biti uvjetovani i okolišnim čimbenicima (npr. smjer i jačina vjetera te postojanje prepreka kao što su visoke građevine), što uz otežano prepoznavanje izvora onečišćenja, otežava i predviđanje lokacija na kojima se takva onečišćenja mogu očekivati. Zbog navedenog, u urbanoj sredini se kontaminacija okoliša metalima najčešće otkrije istraživanjima koja obuhvaćaju uzimanje uzoraka na odabranim lokacijama od posebnog interesa, kao što su područja za rekreaciju, vrtića i školska igrališta te javna dječja igrališta.

Dječja igrališta nerijetko predstavljaju najčešća, a ponekad i jedina, mjesta za rekreaciju djece u urbanim sredinama. U Gradu Zagrebu, neprekriveno tlo prisutno je u većoj ili manjoj mjeri na većini javnih dječjih igrališta. Općenito, broj dječjih igrališta u jedinici lokalne samouprave u odnosu na broj stanovnika razmjernan je jednom igralištu na oko 800 stanovnika (Ministarstvo gospodarstva RH, 2015). Kako je prethodno objašnjeno, tla u urbanim područjima mogu sadržavati toksične ili potencijalno toksične tvari, uključujući metale, a koje se mogu štetno odraziti na zdravlje čovjeka, osobito djece. Djeca su povećanim koncentracijama metala u tlu najčešće izložena direktno putem kože, respiratornim putem (udisanjem čestica tla) ili gastrointestinalnim putem (konzumacijom čestica tla, što je osobito značajno za dječju populaciju). Rizik oštećenja zdravlja djece (nekancerogeni ili kancerogeni) izazvan izlaganjem metalima prisutnim u tlima dječjih igrališta ovisit će o koncentraciji i (bio)kemijskim značajkama pojedinog metala kojemu je dijete izloženo, načinu na koji je dijete bilo izloženo (koža, inhalacija, oralno i/ili njihove kombinacije) te o vremenu izloženosti (jednokratna ili dugotrajna).

Zbog svega navedenog, iznimno je važno pravovremeno prepoznati rizike za zdravlje djece koje korištenje tala za javna dječja igrališta u urbanoj sredini može nositi sa sobom, odnosno pratiti kvalitetu tih tala. Rezultati istraživanja procjene rizika oštećenja zdravlja djece izlaganjem visokim koncentracijama nekog onečišćivača za vrijeme korištenja dječjeg igrališta mogu se koristiti u svrhu izrade preporuka za daljnji način korištenja tala na takvim igralištima, kao što su primjerice: korištenje bez ograničenja, korištenje uz prekrivanje tla (zatravljanje, prekrivanje gumenim pločama i sl.) ili, u slučaju identifikacije visokog rizika, sugerirati potpunu prenamjenu tla.

## 2. Ciljevi istraživanja

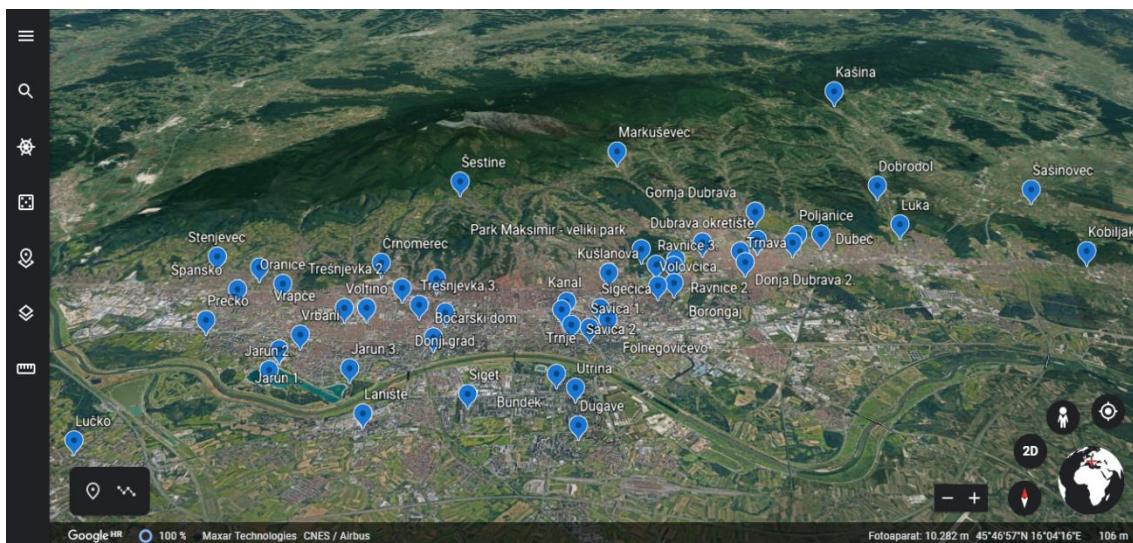
U istraživanju provedenom na dječjim igralištima u Gradu Zagrebu, ciljevi su bili definirani koracima procjene rizika oštećenja zdravlja ljudi prema Pravilniku o izradi procjene rizika (NN 112/2014), kako slijedi:

1. Utvrditi moguću opasnost određivanjem ukupnih koncentracija metala u tlima dječjih igrališta u Gradu Zagrebu;
2. Procijeniti opasnost izračunavanjem nekancerogenih i kancerogenih rizika oštećenja zdravlja djece (oralnim, dermalnim i inhalacijskim) izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta te označiti rizik kao:
  - a) Prisutan ili nije prisutan rizik od nekancerogenog oboljenja
  - b) Zanemariv, prihvatljiv ili neprihvatljiv rizik od kancerogenog oboljenja

### 3. Materijali i metode

#### 3.1. Odabir lokacija dječjih igrališta za provedbu istraživanja

Ovim istraživanjem obuhvaćeno je 51 javno dječje igralište u Gradu Zagrebu, a na Slici 1 vidljiv je njihov prostorni raspored prikazan u Google Earth u 3D prikazu. Ukupna površina grada iznosi 641 km<sup>2</sup>, a prema zadnjem popisu stanovništva iz 2011. godine u gradu je živjelo 790 017 stanovnika, od čega 116 059 djece u dobi 0 - 15 godina<sup>1</sup>. Grad Zagreb je podijeljen na 17 gradskih četvrti unutar kojih se nalazi jedno ili više javnih dječjih igrališta: Črnomerec, Gornji grad - Medveščak, Donji grad, Trnje, Maksimir, Peščenica - Žitnjak, Novi Zagreb- istok, Novi Zagreb- zapad, Trešnjevka - jug, Trešnjevka - sjever, Gornja Dubrava, Donja Dubrava, Črnomerec, Stenjevec, Podsused - Vrapče, Podsljeme, koji obuhvaća Šestine, Gračane i Markuševac te Sesvete - Brezovica. Za ovo istraživanje odabrano je 51 javno dječje igralište u Gradu Zagrebu koje je imalo veće ili manje površine neprekrivenog tla s kojim su djeca u neposrednom kontaktu prilikom korištenja igrališta (Slika 2).



Slika 1. Karta Grada Zagreba s označenom 51 lokacijom na kojoj se nalazi javno dječje igralište uključeno u procjenu rizika oštećenja zdravlja djece inhalacijskim, oralnim i dermalnim izlaganjem metalima u tlima. Izvor: Google Earth (Fotografija: Ivana Fadljević)

<sup>1</sup> Državni Zavod za Statistiku Republike Hrvatske (2016). Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. Kućanstva i obitelji. Zagreb, Statistička izvješća ISSN 1333-1876.





Slika 2. Primjeri lokacija dječjih igrališta obuhvaćenih u procjenu rizika oštećenja zdravlja djece inhalacijskim, oralnim i dermalnim izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta u Gradu Zagrebu. (Fotografije: Ivana Fadljević, Dominik Königshofer)

Popis javnih dječjih igrališta u Gradu Zagrebu uključenih u procjenu rizika oštećenja zdravlja djece inhalacijskim, oralnim i dermalnim izlaganjem metalima u tlima, s naznakom lokacije (naziv ulice i GPS koordinate) i terenskim opažanjima prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1. Popis javnih dječjih igrališta u Gradu Zagrebu uključenih u procjenu rizika oštećenja zdravlja djece inhalacijskim, oralnim i dermalnim izlaganjem metalima u tlima.

Redni broj	Dječje igralište	Naziv ulice	GPS koordinate	Terenska opažanja
1.	Dobrodol	Dobrodolska ulica	45° 51' 17" N 16° 06' 30" E	Travnati pokrov i ploče
2.	Kašina	Ul. Ivana Mažuranića	45° 55' 25" N 16° 07' 10" E	Travnati pokrov
3.	Šašinovec	Ul. Ivana Grande	45° 51' 10" N 16° 09' 52" E	Travnati pokrov i ploče
4.	Kobiljak	Kobiljačka cesta	45° 49' 18" N 16° 09' 39" E	Travnati pokrov s lišćem drveća
5.	Luka	Bistrička ulica	45° 50' 03" N 16° 06' 24" E	Travnati pokrov i ploče
6.	Dubec	Dubečka ulica	45° 49' 45" N 16° 04' 41" E	Travnati pokrov, puno lišća, ploče
7.	Poljanice	Dubrava	45° 49' 44" N 16° 04' 13" E	Travnati pokrov i ploče
8.	Gornja Dubrava	Ul. Mate Lovraka	45° 50' 25" N 16° 03' 33" E	Ploče, travnati pokrov
9.	Markuševec	Markuševečka cesta	45° 52' 27" N 16° 00' 47" E	Ploče, travnati pokrov
10.	Šestine	Šestinska cesta	45° 51' 16" N 15° 57' 13" E	Ploče i travnati pokrov
11.	Črnomerec	Ul. dr. Milana Rojca	45° 48' 59" N 15° 56' 07" E	Travnati pokrov i ploče
12.	Vrapče	Bolnička cesta	45° 48' 53" N 15° 53' 52" E	Ploče i travnati pokrov
13.	Stenjevec	Bolnička cesta	45° 49' 09" N 15° 52' 56" E	Travnati pokrov sa lišćem, ploče
14.	Oranice	Ul. Oranice	45° 48' 29" N 15° 54' 29" E	Travnati pokrov s lišćem, ploče
15.	Špansko	Ul. Ivane Brlić Mažuranić	45° 48' 22" N 15° 53' 44" E	Travnati pokrov, ploče i beton
16.	Prečko	Svilkovići ul.	45° 47' 42" N 15° 53' 32" E	Travnati pokrov i ploče
17.	Voltino	Ul. Dragutina Golika	45° 47' 57" N 15° 55' 47" E	Ploče i travnati pokrov
18.	Trešnjevka 1	Jablanovečka ul.	45° 47' 57" N 15° 56' 10" E	Ploče i travnati pokrov
19.	Dubrava okretište	Dubrava ul.	45° 49' 32" N 16° 02' 16" E	Travnati pokrov, ploče
20.	Park Maksimir	Park Maksimir	45° 49' 21" N 16° 01' 03" E	Ploče, travnati pokrov, šljunak
21.	Donja Dubrava	Vinodolska ul.	45° 49' 36" N 16° 03' 22" E	Lišće drveća kao pokrov, ploče

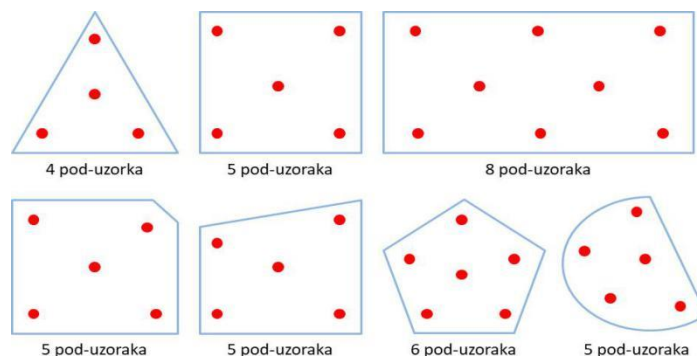
Redni broj	Dječje igralište	Naziv ulice	GPS koordinate	Terenska opažanja
22.	Retkovec	Ul. Breza	45° 49' 32" N 16° 04' 02" E	Travnati pokrov i ploče
23.	Trnava	Resnički put	45° 49' 01" N 16° 02' 58" E	Travnati pokrov i ploče
24.	Donja Dubrava 2	Kapucinska ul.	45° 49' 17" N 16° 02' 57" E	Ploče, šljunak, travnati pokrov
25.	Ravnice 1	Bulvanova ul.	45° 48' 55" N 16° 01' 37" E	Ploče, šljunak i djelomično zatravnjeno
26.	Ravnice 2	Aleja Antuna Augustinčića	45° 49' 05" N 16° 01' 41" E	Ploče i travnati pokrov
27.	Ravnice 3	Trg Augustina Kažotića	45° 48' 57" N 16° 01' 17" E	Šljunak, ploče, djelomično zatravnjeno
28.	Borongaj	Borongajska cesta	45° 48' 31" N 16° 01' 32" E	Travnati pokrov i ploče
29.	Volovčica	Prilaz Sv. Josipa Radnika	45° 48' 27" N 16° 01' 15" E	Ploče i pijesak, djelomično zatravnjeno
30.	Folnegovićevo	Ul. Otona Zupančića	45° 47' 44" N 16° 00' 19" E	Travnati pokrov i ploče
31.	Savica 1	Lastovska ul.	45° 47' 33" N 16° 00' 00" E	Travnati pokrov i ploče
32.	Savica 2	Lastovska ul.	45° 47' 37" N 15° 59' 42" E	Travnati pokrov i ploče
33.	Trnje	Palić ul.	45° 47' 55" N 15° 59' 32" E	Travnati pokrov i pijesak
34.	Kanal	Ul. Grada Vukovara	45° 48' 06" N 15° 59' 37" E	Travnati pokrov i dio ploče
35.	Sigečica	Rapska ul.	45° 47' 57" N 16° 00' 12" E	Ploče, travnati pokrov
36.	Bundek	Park Vjekoslava Majera	45° 46' 59" N 15° 59' 18" E	Šljunak, ploče i travnati pokrov
37.	Utrina	Balotin prilaz	45° 46' 29" N 15° 59' 46" E	Travnati pokrov i ploče
38.	Dugave	Park Dugave	45° 45' 55" N 15° 59' 48" E	Travnati pokrov i pijesak
39.	Siget	Siget ul.	45° 46' 23" N 15° 58' 10" E	Travnati pokrov i pijesak
40.	Lanište	Remetinečki gaj	45° 46' 05" N 15° 56' 42" E	Travnati pokrov i ploče
41.	Lučko	Puškariceva ul.	45° 45' 42" N 15° 52' 48" E	Travnati pokrov
42.	Vrbani	Ul. Hrv. sokola	45° 47' 25" N 15° 55' 14" E	Travnati pokrov i ploče

Redni broj	Dječje igralište	Naziv ulice	GPS koordinate	Terenska opažanja
43.	Jarun 1	Aleja Matije Ljubeka	45° 47' 08" N 15° 55' 01" E	Travnati pokrov
44.	Jarun 2	Kajakaški prilaz	45° 46' 47" N 15° 55' 01" E	Travnati pokrov i ploče
45.	Jarun 3	Aleja Matije Ljubeka	45° 46' 48" N 15° 56' 15" E	Travnati pokrov
46.	Boćarski dom	Veslačka ul.	45° 47' 22" N 15° 57' 27" E	Travnati pokrov
47.	Trešnjevka 2	Zagorska ul.	45° 48' 24" N 15° 56' 40" E	Travnati pokrov, ploče i šljunak
48.	Trešnjevka 3	Susedgradska ul.	45° 48' 01" N 15° 57' 03" E	Travnati pokrov i ploče
49.	Donji grad	Ul. Florijana Andrašeca	45° 47' 51" N 15° 57' 32" E	Travnati pokrov
50.	Trg Dr.Franje Tuđmana	Talovčeva ul.	45° 48' 36" N 15° 57' 14" E	Travnati pokrov i ploče
51.	Kušlanova	Kušlanova ul.	45° 48' 46" N 16° 00' 23" E	Travnati pokrov

### 3.2. Uzorkovanje tla s dječjih igrališta u Gradu Zagrebu

Uzorkovanje je provedeno na 51 dječjem igralištu u Gradu Zagrebu na način da je sa svake lokacije uzet kompozitni (složeni) uzorak površinskog tla (gornjih 15 cm tla) koji se smatrao reprezentativnim za površinsko tlo na cijelom dječjem igralištu.

Kompozitni uzorak tla bio je složen od 4 - 8 pod-uzoraka, ovisno o veličini i obliku parcele na kojoj se nalazi dječje igralište, uzetih prema shemi prikazanoj na Slici 3. Uzeti pod-uzorci pomiješani su na terenu i ručno homogenizirani u jedan prosječan reprezentativni uzorak za određivanje ukupne koncentracije metala u površinskom tlu s dječjih igrališta.



Slika 3. Shema uzimanja pod-uzoraka za pripremu kompozitnog uzorka tla s dječjih igrališta u Gradu Zagrebu. Crvenim točkama označena je mikro-lokacija uzimanja pod-uzoraka s navedenim brojem uzetih pod-uzoraka s obzirom na veličinu i oblik parcele na kojoj se nalazilo dječje igralište.

Svi uzorci uzeti su pomoću inox sonde za uzimanje uzoraka tla s dubine 0 - 15 cm (površinsko tlo). Na sondu je stavljena oznaka na 15 cm (mjereno od vrha sonde) te su se sa svake lokacije dječjeg igrališta uzimali pod-uzorci za pripremu kompozitnog uzorka. Broj i mikro-lokacija uzimanja pod-uzoraka uzetih s parcele na kojoj se nalazilo dječje igralište određeni su prema shemi prikazanoj na Slici 3.

### 3.3. Laboratorijsko određivanje fizikalno-kemijskih značajki tla

#### 3.3.1. Priprema uzoraka tla za analize

Priprema uzoraka tla za analize napravljena je prema standardiziranom postupku za fizikalne i kemijske analize (HRN ISO 11464:2004). Ukratko, uzorci tla osušeni su na zraku, usitnjeni, prosijani kroz sita promjera mreže 2 mm i 0,5 mm te spremljeni u zasebne papirnate vrećice do provođenja analiza.

#### 3.3.2. Mjerenje pH tla

Mjerenje pH tla provedeno je u suspenziji tla s destiliranom vodom u omjeru 1:5 i 1 M otopinom kalijevog klorida,  $pH_{KCl}$  (HRN ISO 10390:2005). Mjerenjem pH u suspenziji tla s destiliranom vodom izračunavala se aktivna kiselost, dok je potencijalna kiselost bila

mjerena u suspenziji tla s KCl-om. Aktivna kiselost predstavlja prisutnost  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  i  $OH^-$  u otopini. Potencijalnu kiselost predstavljaju svi slabije vezani  $H^+$  i dijelom adsorbirani  $Fe^{3+}$  i  $Al^{3+}$  ioni. Plastičnom laboratorijskom žlicom uzeto je 5 g reprezentativnog uzorka tla te je on stavljen u plastični kivetu. Uzorak je zatim preliven s 25 ml destilirane vode. Postupak je ponovljen u drugoj plastičnoj kiveti u kojoj je uzorak tla preliven s 25 ml 1M KCl-a. Tako pripremljeni uzorci su snažno miješani u rotacijskoj mućkalici u razdoblju od 5 min nakon čega su 2 sata proveli u mirovanju. Nakon mirovanja provedeno je mjerenje reakcije tla pH metrom (Slika 4) koji je prethodno kalibriran dvjema pufer otopinama različitih reakcija ( $pH=7,00$  i  $pH=4,01$  pri  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ). U svrhu kontrole kvalitete provođenja postupka, u ispitivanju je korišten i referentni uzorak tla dobiven međunarodnom usporedbom laboratorija za analize tla i sedimenata WEPAL-ISE (Houba i sur., 1996).



Slika 4. Laboratorijski pH metar (pH Meter Lab 870, Schott Instruments).

Fotografija: Ivana Fadljević

### 3.3.3. Mjerenje električne vodljivosti tla

Mjerenje električne vodljivosti (E.C.) tla provedeno je u suspenziji tla i vode u omjeru 1:5 (HRN ISO 11265:2004). U plastične kivete odvagano je 5 g uzorka tla te je dodano 25 ml destilirane vode. Tako pripremljen uzorak stavljen je u rotacijsku mućkalicu u trajanju od 30 min. Uzorak je potom ostavljen na mirovanju 2h nakon čega je mjeren E.C. na konduktometru (Slika 5) koji je prethodno kalibriran pomoću 2 standarda (Standard 1 =  $0,100\text{ M KCl}$  od  $12,88\text{ mS cm}^{-1}$ ; i Standard 2 =  $0,010\text{ M KCl}$  od  $1413\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$  pri  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ). U svrhu kontrole kvalitete provođenja postupka, u ispitivanju je korišten i referentni uzorak tla dobiven međunarodnom usporedbom laboratorija za analize tla i sedimenata WEPAL-ISE (Houba i sur., 1996).



Slika 5. Laboratorijski konduktometar (Conductivity Meter Lab 970, Schott Instruments).

Fotografija: Dominik Königshofer

#### 3.3.4. Određivanje udjela karbonata u tlu

Udio karbonata (%  $\text{CaCO}_3$ ) određen je u onim uzorcima tla čije su izmjerene vrijednosti  $\text{pH}_{\text{KCl}} > 7,0$ . Udio karbonata određen je volumetrijski pomoću Scheiblerovog kalcimetra (HRN ISO 10693:2004; Slika 6). Za određivanje karbonata u tlu odvagano je 1 g tla koje je stavljeno u Scheiblerovu bočicu. U mali lončić ulivena je 10%-tna otopina HCl-a nakon čega je lončić pažljivo pincetom umetnut u Scheiblerovu bočicu, pritom pazeći da se HCl ne prolije po uzorku tla. Razina vode u graduiranoj cijevi namještena je na 0, dok je Scheiblerova bočica s uzorkom i HCl-om zatvorena gumenim čepom. Ventil između prve cijevi do bočice i graduirane cijevi je u tom trenutku stavljen u položaj kojim se omogućuje nesmetani protok plina. Prevrtnjem lončića s HCl-om u bočici s uzorkom započeta je reakcija oslobađanja  $\text{CO}_2$  koji je potiskivao vodu u graduiranoj cijevi. Nakon što je razina vode prestala degradirati očitao se volumen oslobođenog  $\text{CO}_2$  u  $\text{cm}^3$ . Za izračunavanje faktora potrebnog za izračun %  $\text{CaCO}_3$  potrebno je zabilježiti trenutnu temperaturu u laboratoriju te vrijednost atmosferskog tlaka na stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda. U svrhu kontrole kvalitete provođenja postupka, u ispitivanju je korišten i referentni uzorak tla dobiven međunarodnom usporedbom laboratorija za analize tla i sedimenata WEPAL-ISE (Houba i sur., 1996).



Slika 6. Scheiblerov kalcimetar.

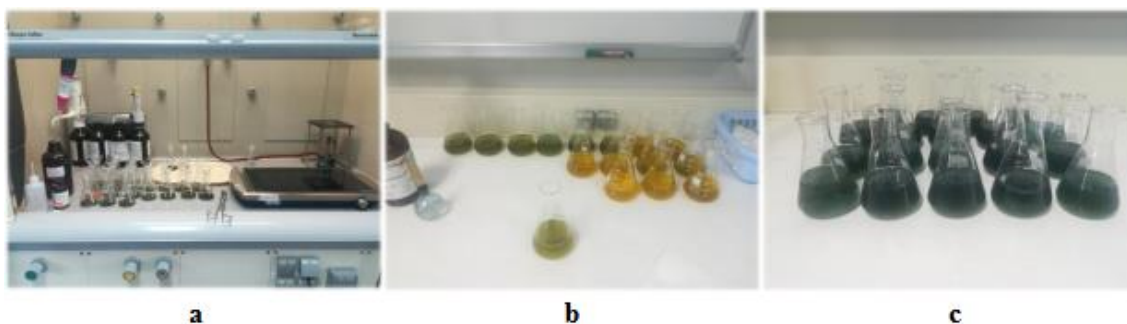
Fotografija: Dominik Königshofer

### 3.3.5. Određivanje udjela humusa u tlu

Udio (%) humusa u tlu određen je sulfokromnom oksidacijom (HRN ISO 14235:1998; Slika 7). U Erlenmeyerovu tikvicu od 100 ml odvuđeno je 0,3 g tla, odnosno 0,1 g tla u slučaju visokog sadržaja humusa. U istu tikvicu pipetirano je 10 ml 0,067 M otopine kalijevog bikromata ( $K_2Cr_2O_7$ ), nakon čega je dodana mala količina srebrovog sulfata  $Ag_2SO_4$  (oko 0,1 g). Na tikvicu je stavljen mali stakleni lijevak te se tikvica zajedno s lijevkom prenijela na ploču za kuhanje na zagrijavanje. Uzorak je kuhan 5min od početka vrenja te je nakon toga maknut s kuhala i ostavljen na hlađenju. Nakon hlađenja, sadržaj tikvice se kvantitativno prenio u graduiranu Erlenmeyerovu tikvicu od 300 ml pri čemu su lijevak i mala Erlenmeyerova tikvica dobro isprani destiliranom vodom. Sadržaj u velikoj Erlenmeyerovoj tikvici nadopunjen je destiliranom vodom do oznake od 150 ml. U tako pripremljen uzorak dodano je 2 ml smjese koncentrirane  $H_3PO_4$  i koncentrirane  $H_2SO_4$  te 8 kapi DFS indikatora (difenilamin sulfonska kiselina). Nakon toga je uzorak titriran 0,1 M otopinom Mohrove soli ( $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$ ) do prve promjene boje u zelenu. Za slijepu probu je umjesto tla korišteno 0,3 g kremenog pijeska uz jednaku pripremu kao i za uzorke tla. U svrhu kontrole kvalitete provođenja postupka, u ispitivanju je korišten i



referentni uzorak tla dobiven međunarodnom usporedbom laboratorija za analize tla i sedimentata WEPAL-ISE (Houba i sur., 1996).



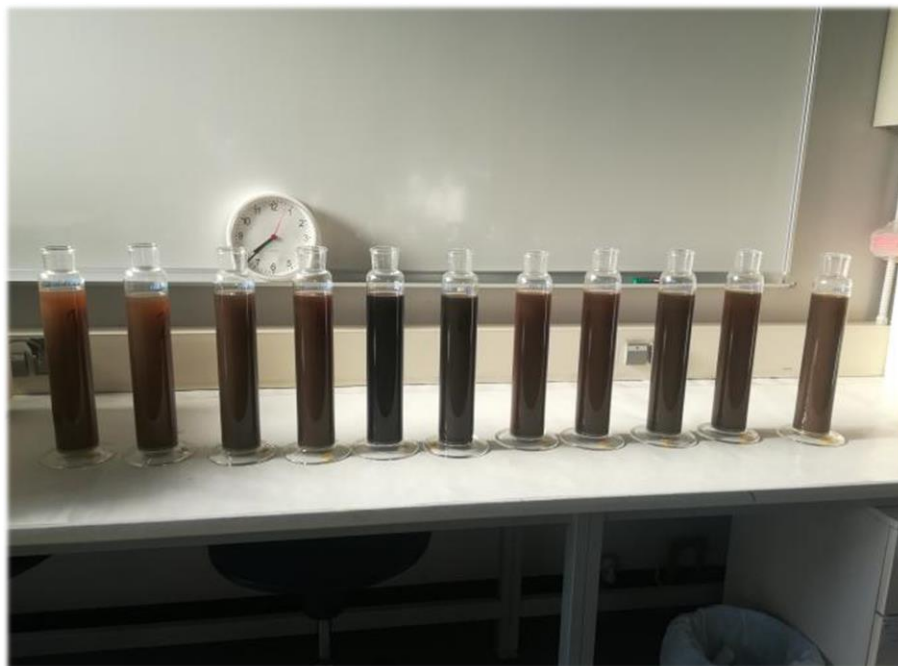
Slika 7. Određivanje udjela humusa u tlu: (a) priprema uzorka, (b) uzorak prije i (c) nakon titriranja.

Fotografije: Ivana Fadljević

### 3.3.6. Određivanje mehaničkog sastava tla

Raspodjela veličina čestica tla (granulometrijski ili mehanički sastav tla) određena je metodom prosijavanja i sedimentacije prema standardnoj normi i proceduri (HRN ISO 11277:2004; Slika 8). Na analitičkoj vagi odvagano je 10 g uzorka tla koje je prebačeno u Erlenmeyerovu tikvicu i preliveno s 25 ml 0,4 N otopine natrijevog pirofosfata ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ). Uzorak je lagano promiješan i ostavljen preko noći. Sljedeći dan uzorak je promućkan te je izvršeno direktno mokro prosijavanje kroz dva sita, preko lijevka, u stakleni cilindar za sedimentaciju pri čemu su dobivene frakcije krupnog pijeska (2 - 0,2 mm) i sitnog pijeska (0,2 - 0,05 mm). Obje frakcije prebačene su u zasebne porculanske zdjele kako bi se istaložile. Nakon taloženja višak vode je izliven, a nataloženi pijesak se pomoću mlaza destilirane vode isprao u prethodno odvagane staklene posudice. Tako odvojene frakcije pijeska nadalje su sušene na ploči za kuhanje te potom u sušioniku na 105 °C oko 30 min nakon čega su izvagane na analitičkoj vagi s tri decimale. Sadržaj cilindra za sedimentaciju nadopunjen je destiliranom vodom do oznake od 1000 ml te je začepljen gumenim čepom. Tako zatvoren cilindar mućkan je oko 1 min u horizontalnom položaju te je ostavljen da miruje 4 min i 48 sekundi, nakon čega je izvršeno prvo pipetiranje suspenzije tla i vode (10 ml) s dubine od 10 cm od površine suspenzije. Sadržaj

pipete prebačen je u prethodno odvagano staklenu posudicu. Taj je uzorak predstavljao čestice praha i gline koji se potom sušio i vagao na analitičkoj vagi s četiri decimale točnosti 0,0001. Nakon 4 sata s dubine od 5 cm od površine suspenzije, pipetirano je 10 ml suspenzije tla i vode. Sadržaj pipete prebačen je u staklenu posudicu, a ovim pipetiranjem dobio se sadržaj gline. Staklene posudice sa suspenzijama tla i vode stavljene su na sušenje na temperaturu od 105 °C. Uzorci gline i prah+gline nakon sušenja u sušioniku su u laboratorij na vaganje prenošeni u eksikatoru kako bi se spriječilo vlaženje uzoraka vlagom iz zraka. U svrhu kontrole kvalitete provođenja postupka, u ispitivanju je korišten i referentni uzorak tla dobiven međunarodnom usporedbom laboratorija za analize tla i sedimenata WEPAL-ISE (Houba i sur., 1996).



Slika 8. Cilindri sa suspenzijama tla prilikom određivanja mehaničkog sastava tla.

Fotografija: Ivana Fadljević

### 3.4. Laboratorijsko određivanje ukupnih koncentracija metala u tlima dječjih igrališta

Za određivanje ukupne koncentracije metala, uzorci tla razloženi su u zlatotopci, smjesi koncentrirane klorovodične (HCl; 37 %) i nitratne kiseline (HNO<sub>3</sub>; 65 %) u omjeru 3 : 1 (v/v), primjenom mikrovalne tehnike u MARSXpress, CEM sustavu (HRN ISO 11466:2004; Slika 9).



Slika 9. a) MARSXpress mikrovalni sustav (CEM) za razlaganje uzoraka tla u zlatotopci,  
i

b) priprema ekstrakta tla za mjerenje ukupnih koncentracija metala.

Fotografija: Dominik Königshofer

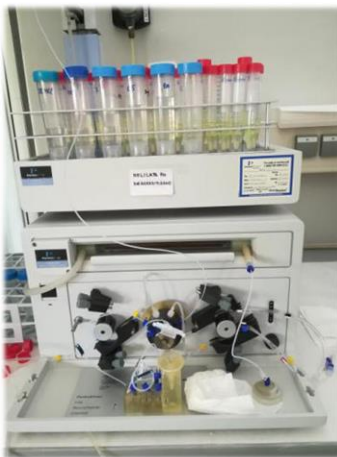
Ukupne koncentracije kadmija (Cd), olova (Pb), kroma (Cr), kobalta (Co), nikla (Ni), bakra (Cu), cinka (Zn), željeza (Fe), aluminija (Al) i mangana (Mn) određene su iz dobivenog ekstrakta tla optičkom emisijskom spektroskopijom induktivno spregnutom plazmom (*engl.* Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer, Vista MPX, Varian; Slika 10).



Slika 10. Vista MPX optički emisijski spektrometar induktivno spregnutom plazmom  
(*engl.* Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer), Varian.

Fotografija: Ivana Fadljević

Koncentracije žive (Hg) određene su iz istog ekstrakta tla upotrebom živinog analizatora  
(*engl.* Flow Injection Mercury System, FIMS 400, Perkin Elmer; Slika 11).



Slika 11. Živin analizator FIMS 400 (*engl.* Flow Injection Mercury System), Perkin  
Elmer. Fotografija: Dominik Königshofer

U svrhu kontrole kvalitete provođenja postupka, u ispitivanjima je korišten i referentni uzorak tla dobiven međunarodnom usporedbom laboratorija za analize tla i sedimenata WEPAL-ISE (Houba i sur., 1996).

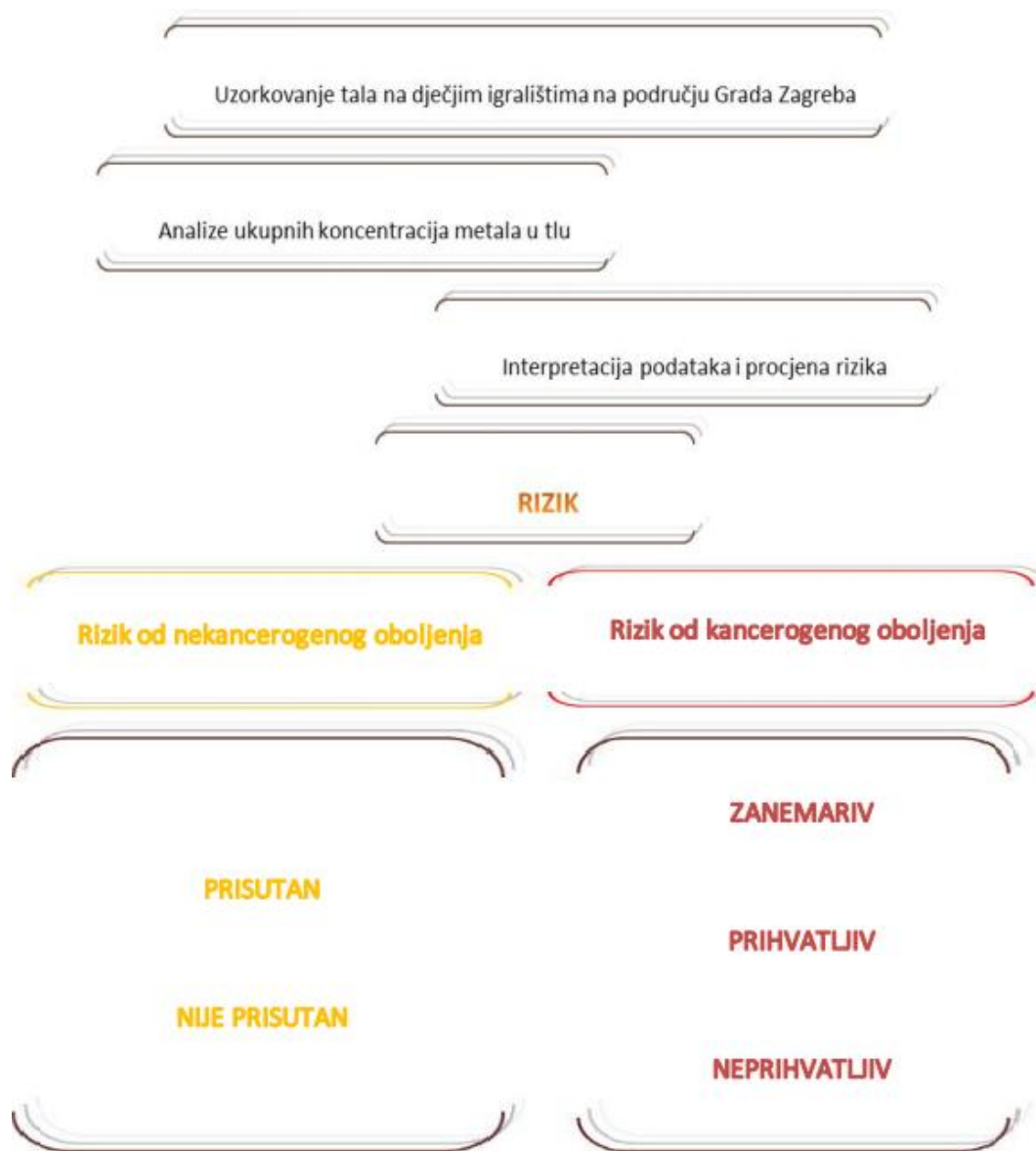
### 3.5. Metodologija procjene rizika oštećenja zdravlja djece

Ideja za istraživanje nastala je na osnovu Programa kontrole i osiguranja kvalitete u odgovarajućem projektu izgradnje dječjih igrališta (Ministarstvo gospodarstva RH, 2015) koji između ostalog, sadrži i obvezu određivanja svojstava važnih značajki koje moraju imati građevni i drugi proizvodi koji se ugrađuju u projektirani dio građevine te primjenu različitih programa kontrole i osiguranja kvalitete. Tlo najčešće nije građevni proizvod koji se ugrađuje (osim u slučaju navoženja tla s druge lokacije), nego je prirodno prisutno na lokaciji na kojoj se gradi dječje igralište. Stoga je, s obzirom da je tlo sastavni element dječjih igrališta, potrebna provjera kvalitete tala s kojima djeca dolaze u doticaj prilikom korištenja dječjeg igrališta.

Nakon uzorkovanja tala dječjih igrališta i analiza fizikalno-kemijskih značajki zala te ukupnih koncentracija metala u tlima, pristupilo se obradi dobivenih podataka i računanju (procijenjenog) rizika oštećenja zdravlja djece. Rizik se procjenjivao pomoću izračuna prema smjernicama Američke agencije za zaštitu okoliša (United States Environmental Protection Agency - US EPA) za inhalacijsko, oralno i dermalno izlaganje djece metalima (Huang i sur. 2019), za one metale za koje je u istraživanim tlima dječjih igrališta potvrđena koncentracija veća od granice kvantifikacije primijenjenih instrumentalnih analitičkih metoda.

S obzirom na dobivene ukupne koncentracije metala u tlu i procijenjeni rizik od nekancerogenih i kancerogenih oštećenja zdravlja djece (inhalacijom, oralnim i/ili dermalnim putem), rizici su označeni kao: prisutan ili nije prisutan rizik od nekancerogenog oboljenja; te kao zanemariv, prihvatljiv ili neprihvatljiv rizik od kancerogenog oboljenja (Huang i sur., 2019).

Shematski prikaz metodologije korištene pri procjeni rizika oštećenja zdravlja djece inhalacijskim, oralnim i dermalnim izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta u Gradu Zagrebu prikazan je na Slici 12.



Slika 12. Shematski prikaz istraživačkog pristupa korištenog prilikom procjene nekancerogenih i kancerogenih rizika oštećenja zdravlja djece (inhalacijskim, oralnim i dermalnim) izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

### 3.5.1. Izračun rizika oštećenja zdravlja djece izlaganjem metalima u tlima

Općenito, procjena zdravstvenog rizika zasniva se na izračunima mogućih štetnih zdravstvenih učinaka na ljude koji su izloženi određenoj kemijskoj kontaminaciji. Ovisno o cilju istraživanja, izračuni se razlikuju za odrasle osobe u odnosu na djecu, a nerijetko osim dobi uzimaju u obzir i druge značajke organizama (npr. spol, zdravstvenu sliku jedinke, i sl.). U ovom istraživanju, procjena se vršila isključivo za djecu s obzirom da djeca provode najviše vremena na dječjim igralištima, pa su prema tome i najizloženija. Prosječni dnevni unos (ADI), kvocijenti opasnosti od nekancerogenih (HI i HQ) i kancerogenih rizika (TCR i CR) kroz tri načina izloženosti izračunati su formulama (1)-(5).<sup>2</sup>

$$ADI_{ingestion} = \frac{C_{soil} \times IngR_{soil} \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$ADI_{inhalation} = \frac{C_{soil} \times InhR_{soil} \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (2)$$

$$ADI_{dermal} = \frac{C_{soil} \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (3)$$

$$HI = \sum_{i=1}^i HQ_i = \sum_{i=1}^i \frac{ADI_i}{RfD_i} \quad (4)$$

$$TCR = \sum_{i=1}^i CR_i = \sum_{i=1}^i (ADI_i \times CSF_i) \quad (5)$$

U navedenim formulama  $ADI_{ingestion}$ ,  $ADI_{inhalation}$  i  $ADI_{dermal}$  predstavljaju prosječni dnevni unos kroz 3 različita načina (inhalacijom, oralnim i dermalnim putem).  $IngR_{soil}$  označava stopu unosa tla oralnim putem, odnosno gutanjem.  $InhR_{soil}$  je stopa udisanja tla, dok je  $C_{soil}$  određena koncentracija teškog metala u neobrađenim tlima.  $EF$  predstavlja učestalost izloženosti, a  $ED$  trajanje izloženosti.  $BW$  označava prosječnu

<sup>2</sup> Huang, H., Lin, C., Yu, R., Yan, Ya., Hu, G. i Li, H. (2019). Contamination assessment, source apportionment and health risk assessment of heavy metals in paddy soils of Jiulong River Basin, Southeast China. RSC Adv., 2019, 9, 14736.

tjelesnu težinu, dok je AT oznaka za prosječno vrijeme izloženosti. PEF je faktor emisije čestica tla, SA je područje izložene kože, dok je AF faktor prijanjanja kože, a ABS dermalni faktor apsorpcije. HI označava indeks ukupne opasnosti od nekoliko teških metala, dok HQ predstavlja kvocijent opasnosti od jednog teškog metala. RfD je referentna doza nekancerogenih teških metala, TCR je ukupni rizik od raka za nekoliko teških metala, CR je kancerogeni rizik za jedan teški metal, a CSF je faktor nagiba za kancerogenost.

Kada su vrijednosti HI i HQ niže od 1, tada ne postoji nekancerogeni rizik, odnosno kada su HI i HQ veći od 1 postoji rizik od nekancerogenog oboljenja. Kada je  $10^{-6} < \text{TCR}$  (ili  $\text{CR} < 10^{-4}$ ), tada postoji kancerogeni rizik kojega ljudi mogu tolerirati, dok u slučaju  $10^{-4} < \text{TCR}$  (ili  $\text{CR}$ ) postoji neprihvatljiv kancerogeni rizik (US EPA, 2004); Tablica 2.

Tablica 2. Usporedba rizika kancerogenih i nekancerogenih oboljenja s obzirom na granične vrijednosti.

Nekancerogena oboljenja				Kancerogena oboljenja			
Kvocijent opasnosti (HQ)	Rizik	Indeks opasnosti (HI)	Rizik	Kancerogeni rizik (CR)	Rizik	Ukupni kancerogeni rizik (TRC)	Rizik
< 1	NE	< 1	NE	$< 10^{-6}$	Zanemariv	$< 10^{-6}$	Zanemariv
> 1	DA	> 1	DA	$10^{-4}$ - $10^{-6}$	Prihvatljiv	$10^{-4}$ - $10^{-6}$	Prihvatljiv
< 1	NE	> 1	DA	$> 10^{-4}$	Neprihvatljiv	$> 10^{-4}$	Neprihvatljiv

Odabir parametara izloženosti može utjecati na točnost rezultata. Parametri korišteni u formulama preuzeti su iz literaturnih izvora: Faiz i sur., 2012; Li i sur., 2013; Boateng i sur., 2015; Kamunda i sur., 2016; Onyedikachi i sur., 2018; Huang i sur., 2019; Johnbull i sur., 2019; Obasi i sur., 2019; Wang i sur., 2019; te su navedeni u Tablici 3 i Tablici 4. U radu su korišteni faktori za izračunavanje kancerogenog i nekancerogenog rizika od oboljenja isključivo za djecu. Korišteni su RfD i CSF faktori koji su bili dostupni u literaturi kako je navedeno u Tablici 3.



Tablica 3. Referentne doze (RfD) i faktor kancerogenosti (CSF) korišteni u ovome radu u izračunima rizika izloženosti.

Element	RfD <sub>ing</sub>	RfD <sub>inh</sub>	RfD <sub>derm</sub>	CSF <sub>ing</sub>	CSF <sub>inh</sub>	CSF <sub>derm</sub>
Al	1,00E-03	1,43E-03	1,00E-01	-	-	-
Cd	1,00E-03	1,00E-05	1,00E-05	3,80E-01	6,30E+00	-
Co	2,00E-02	1,43E-04	4,90E-03	-	9,80E+00	-
Cr	3,00E-03	2,86E-05	6,00E-05	5,01E-01	4,20E-01	2,00E-01
Cu	4,00E-02	4,02E-03	1,20E-02	0	-	-
Fe	7,00E-01	7,00E-01	4,5E-02	0	-	-
Hg	3,00E-04	8,57E-05	2,10E-05	-	-	-
Mn	4,60E-02	1,43E-05	1,84E-03	0	-	-
Ni	2,00E-02	2,06E-02	5,40E-03	1,70E+00	8,40E-01	4,25E-01
Pb	3,50E-03	3,52E-03	5,25E-04	8,50E-03	4,20E+00	8,50E-06
Zn	3,00E-01	3,00E-01	6,00E02	0	-	-

Tablica 4. Faktori izloženosti te njihove vrijednosti za izračunavanje procjene rizika za djecu (Kamunda i sur., 2016; Huang i sur., 2019).

Faktor	Engleski naziv	Hrvatski naziv	Mjerna jedinica	Vrijednost za djecu
BW	Body Weight	Tjelesna težina	kg	29,30
EF	Exposure Frequency	Frekvencija izloženosti	dan/godina	345
ED	Exposure Duration	Trajanje izloženosti	godina	18
IR	Soil ingestion rate	Stopa unosa tla oralnim putem	mg/dan	24
IRair	Inhalation rate	Stopa inhalacije	m <sup>3</sup> /dan	7,63
SA	Exposed skin area	Izložena površina kože	cm <sup>2</sup>	860
AF	Soil adherence factor	Faktor prijanjanja kože i tla	mg/cm <sup>2</sup> dan	0,65
ABS	Dermal absorption factor	Apsorpcijski faktor putem kože	-	Različito za svaki element
	Al		-	0,1 <sup>a</sup>
	Cd		-	0,14
	Co		-	0,1 <sup>a</sup>
	Cr		-	0,04
	Cu		-	0,1
	Fe		-	0,1 <sup>a</sup>
	Hg		-	0,05
	Mn		-	0,1 <sup>a</sup>
	Ni		-	0,35
	Pb		-	0,006
	Zn		-	0,02
PEF	Particulate emission factor	Faktor emisije čestica	m <sup>3</sup> /kg	1,36×10 <sup>9</sup>
AT <sub>nc</sub>	Averaging Time for non-cancerogens	Prosječno vrijeme izloženosti za ne kancerogene	dan	6570
AT <sub>ca</sub>	Averaging Time for cancerogens	Prosječno vrijeme izloženosti za kancerogene	dan	25 500

## 4. Rezultati i rasprava

### 4.1. Rezultati fizikalno-kemijskih analiza tala

Rezultati fizikalno-kemijskih analiza tala uzorkovanih (0 - 15 cm) u javnim dječjim igralištima Grada Zagreba prikazani su u Tablici 5.

Tablica 5. Fizikalno-kemijske karakteristike tala javnih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Dječje igralište	pH		E.C. dS m <sup>-1</sup>	Humus %	CaCO <sub>3</sub> %	MEHANIČKI SASTAV TLA		
	H <sub>2</sub> O	KCl				2-0,02 mm	0,02-0,002 mm	< 0,002 mm
							%	
Dobrodol	8,1	7,7	0,186	3,86	7,8	52	31	17
Kašina	8,0	7,6	0,144	4,45	10,3	60	22	18
Šašincec	7,9	7,2	0,136	3,33	4,9	51	33	16
Kobiljak	8,1	7,6	0,155	3,27	2,1	47	30	23
Luka	8,0	7,6	0,179	6,64	9,9	48	33	19
Dubec	8,0	7,4	0,168	7,76	4,5	39	34	27
Poljanice	8,0	7,5	0,154	3,85	2,9	49	34	17
Gornja Dubrava	8,1	7,7	0,149	4,69	11,1	57	32	11
Markuševac	8,2	7,7	0,158	6,72	25,1	41	39	20
Šestine	8,2	7,9	0,177	4,24	21,4	55	36	9
Črnomerec	8,2	7,8	0,143	4,37	17,7	39	47	14
Vrapče	8,2	8,0	0,142	1,85	16,9	66	23	11
Stenjevec	8,2	7,8	0,155	4,98	18,5	62	25	13
Oranice	8,2	7,9	0,137	3,13	12,3	58	33	9
Špansko	8,2	7,7	0,129	3,45	6,6	51	41	8
Prečko	7,9	7,7	0,345	3,69	9,1	54	31	15
Voltino	8,0	7,7	0,258	4,13	7,0	44	42	14

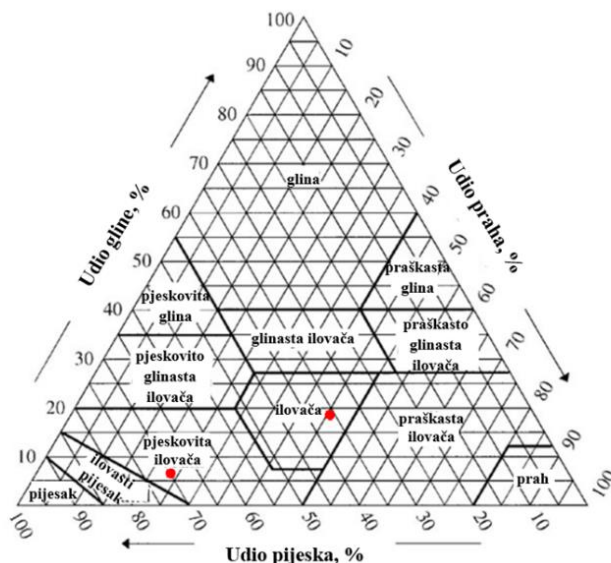
Dječje igralište	pH		E.C. dS m <sup>-1</sup>	Humus %	CaCO <sub>3</sub> %	MEHANIČKI SASTAV TLA		
	H <sub>2</sub> O	KCl				2-0,02 mm	0,02-0,002 mm	< 0,002 mm
							%	
Trešnjevka 1.	8,1	7,9	0,156	2,85	14,0	66	27	7
Dubrava okretište	7,8	7,4	0,174	5,28	2,9	52	39	9
Park Maksimir	7,4	6,4	0,084	3,95	-	37	49	14
Donja Dubrava	7,8	7,4	0,160	6,40	4,5	48	41	11
Retkovec	8,0	7,7	0,163	3,88	3,3	52	39	9
Trnava	8,1	7,7	0,160	6,45	11,5	50	37	13
Donja Dubrava 2.	8,0	7,7	0,188	5,37	6,2	50	32	18
Ravnice 1.	8,1	7,6	0,155	3,54	8,2	51	36	13
Ravnice 2.	8,0	7,5	0,144	3,55	5,8	61	29	10
Ravnice 3.	7,5	7,0	0,116	7,96	-	48	41	11
Borongaj	7,6	6,9	0,097	4,68	-	43	46	11
Volovčica	7,9	7,6	0,127	3,51	9,9	71	22	7
Folnegovićevo	8,2	7,8	0,119	4,20	21,8	59	35	6
Savica 1.	8,0	7,8	0,172	4,85	18,9	63	30	7
Savica 2.	8,1	7,6	0,166	4,13	14,0	51	37	12
Trnje	8,0	7,6	0,161	5,41	12,3	50	38	12
Kanal	8,0	7,6	0,153	5,24	9,5	59	30	11
Sigečica	8,1	7,6	0,136	4,85	6,6	47	39	14
Bundek	8,1	7,8	0,131	3,70	16,5	52	38	10
Utrina	8,1	7,8	0,143	4,19	16,0	42	49	9
Dugave	8,1	7,8	0,139	2,80	9,9	54	38	8
Siget	8,1	7,5	0,164	5,69	9,5	60	25	15
Lanište	8,2	7,5	0,141	3,70	7,4	46	43	11

Dječje igralište	pH		E.C. dS m <sup>-1</sup>	Humus %	CaCO <sub>3</sub> %	MEHANIČKI SASTAV TLA		
	H <sub>2</sub> O	KCl				2-0,02 mm	0,02-0,002 mm	< 0,002 mm
						%		
Lučko	8,2	7,5	0,149	4,07	12,8	48	44	8
Vrbani	8,1	7,6	0,165	3,50	13,6	60	34	6
Jarun 1.	8,1	7,4	0,141	4,51	7,0	46	40	14
Jarun 2.	8,2	7,6	0,148	3,90	13,6	62	31	7
Jarun 3.	8,1	7,6	0,143	4,59	12,3	51	37	12
Boćarski dom	8,1	7,6	0,153	4,86	15,2	55	36	9
Trešnjevka 2.	8,1	7,4	0,164	4,73	9,5	59	29	12
Trešnjevka 3.	8,3	7,7	0,250	4,53	14,4	60	31	9
Donji grad	8,0	7,4	0,163	5,34	7,8	67	25	8
Trg dr. Franje Tuđmana	8,2	7,5	0,151	4,75	8,2	60	32	8
Kušlanova	8,1	7,4	0,144	4,44	10,3	50	38	12

Osim ukupne koncentracije metala u tlu, fizikalno-kemijske značajke tala važne su za procjenu ponašanja metala u tlima, odnosno određuju njihovu krajnju sudbinu u okolišu. Poznato je da parametri kao što su pH tla, udio organske tvari (humusa) i gline te prisutnost različitih organskih ili anorganskih liganada mogu značajno utjecati na vezanje (sorpciju) osobito kationskih metala na čestice tla, odnosno njihovu mobilnost u okolišu (Filipović i sur., 2018). Rezultati fizikalno-kemijskih značajki tala dječjih igrališta u Gradu Zagrebu (Tablica 5) pokazuju da se pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> ispitivanih tala kretao u rasponu od 7,4 - 8,3 (odnosno, pH<sub>KCl</sub> u rasponu od 6,4 - 7,8), što pokazuje da ispitivana tla spadaju u lužnata tla. Izmjerena električna vodljivost tala nalazila se u rasponu od 0,084 - 0,188 dS m<sup>-1</sup>, što ukazuje da u ispitivanim tlima nema povećane koncentracije otopljenih soli (iona). Udio humusa nalazio se u rasponu od 3,5 - 7,96 %, što ispitivana tla, prema podjeli tala prema udjelu humusa prema Gračaninu (1951), svrstava u kategorije dosta humoznih (3 - 5 % humusa), odnosno jako humoznih tala (5 - 10 % humusa). Udio karbonata (CaCO<sub>3</sub>) dosta je varirao i kretao

se u rasponu od 2,9 - 21,8 %  $\text{CaCO}_3$ , što prema Škorić (1982) ispitivana tla svrstava u slabo (< 8 %  $\text{CaCO}_3$ ) ili srednje karbonatna tla (8 - 25 %  $\text{CaCO}_3$ ).

Mehanički sastav tla prema FAO (2006) sva ispitivana tla svrstava kao pjeskovitu ilovaču, odnosno ilovaču (Slika 13).



Slika 13. Trokut za očitavanje mehaničkog sastava tla prema udjelu pijeska, praha i gline. Raspon udjela pijeska i gline (%) unutar kojega su se nalazila sva ispitivana tla dječjih igrališta Grada Zagreba označena su crvenim točkama (crvene točke predstavljaju najveći, odnosno najmanji udio pijeska i gline u istraživanim tlima).

Prilagođeno prema: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)

Sveukupni rezultati fizikalno-kemijskih značajki tala (viši pH, osrednji do veći udio humusa i gline) ne ukazuju na povećanu mobilnost metala u površinskom tlu (0 - 15 cm) ispitivanih dječjih igrališta u Gradu Zagrebu (Filipović i sur., 2018), što je pozitivno s aspekta onečišćenja okoliša jer pokazuje da ne bi trebalo doći do njihovog većeg ispiranja u dublje horizonte tla ili podzemne vode. Međutim, iz rezultata se također može zaključiti i da ukoliko je došlo do onečišćenja površinskog tla metalima u dječjim igralištima Grada Zagreba, ti metali će vjerojatno i ostati u površinskom horizontu, čime se povećava i vjerojatnost izlaganja djece njihovim povećanim koncentracijama u tlu.

## 4.2. Utvrđivanje moguće opasnosti određivanjem ukupnih koncentracija metala u tlima dječjih igrališta u Gradu Zagrebu

Na Grafovima 1 - 11 prikazane su ukupne koncentracije 11 analiziranih ukupnih koncentracija metala u površinskom tlu (0 - 15 cm) dječjih igrališta Grada Zagreba, prikazane po lokacijama uzorkovanja tla u  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Na Grafu 1 prikazane su ukupne koncentracije aluminija u površinskom tlu istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba. Najviša koncentracija aluminija zabilježena je na dječjem igralištu Dubec i iznosila je  $33000 \text{ mg kg}^{-1}$ , dok je najmanje aluminija,  $7170 \text{ mg kg}^{-1}$ , detektirano na dječjem igralištu Trešnjevka 3.

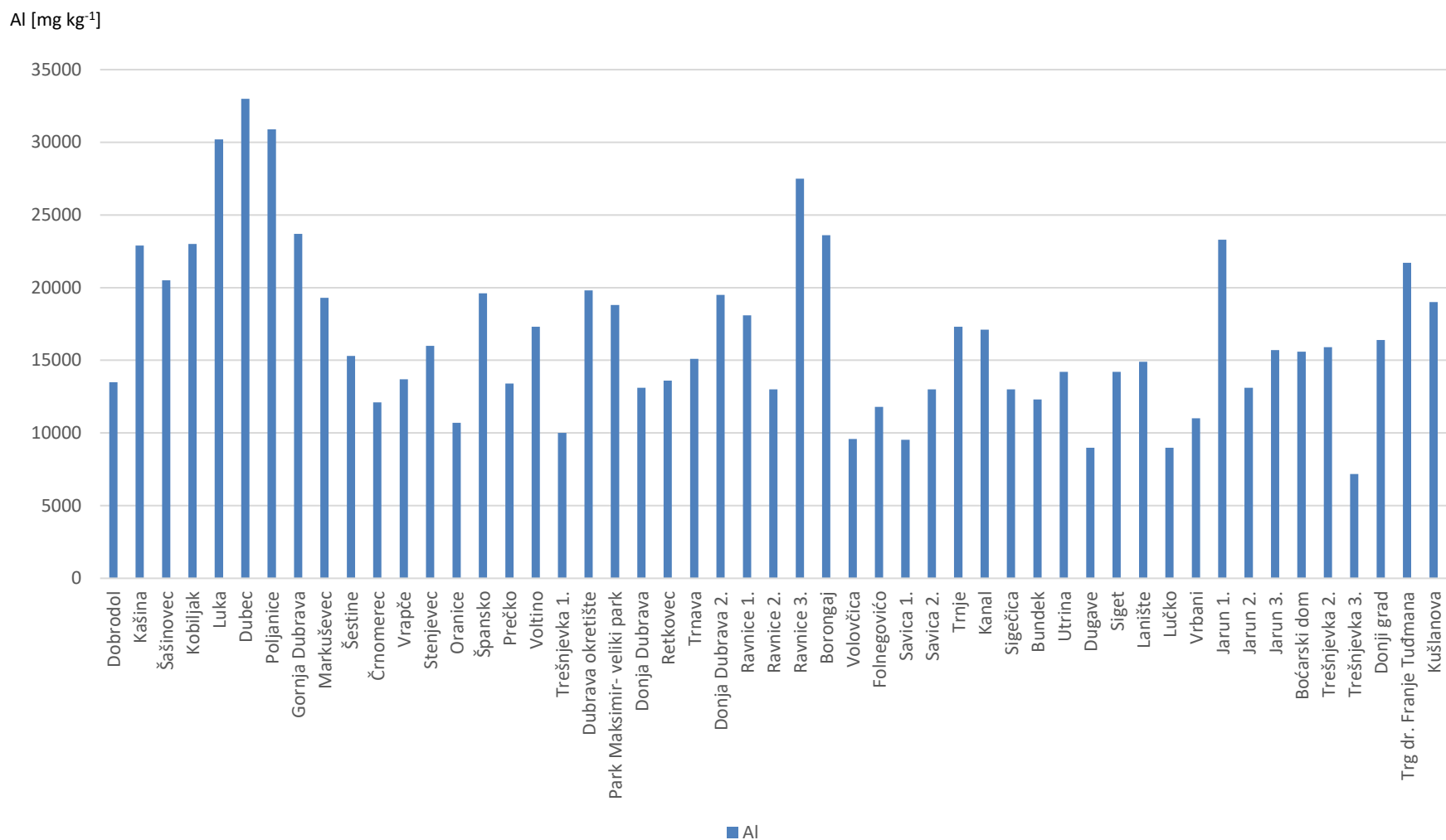
U tlu, aluminij je treći najzastupljeniji element u zemljinoj kori te se prirodno javlja u okolišu, ali i u prehrambenim proizvodima te vodi za piće (Klotz i sur., 2017).

Na raspodjelu aluminija u tlu utječu dvije skupine reakcija:

1. konkurencija liganda za aluminij;
2. konkurencija aluminija i drugih kationa za ligande (Robson, 1984).

Kiselina koja se taloži u tlu pospješuje otpuštanje aluminija u otopinu tla i površinske vode. Nekoliko različitih mineralnih faza se smatraju izvorom aluminija u tlu: alumino-silikati različitog stupnja kristalnosti, gipsit ili Al-hidroksidni sloj minerala gline 2:1 i aluminosulfatnih minerala poput jurbanita (Fernández-Sanjurjo i sur., 1998).

Izlaganjem organizama povećanim koncentracijama aluminija može doći do različitih poremećaja. Kod ljudi je utvrđena povezanost aluminija s pojavom kroničnih bolesti kao što su aluminoza i sindrom dijalizne encefalopatije. Aluminij se također dovodi u neposrednu vezu s pojavom demencije kod Alzheimerove bolesti, dok se njegova uloga u nastanku karcinoma dojke tek treba dokazati (Klotz i sur., 2017).



Graf 1. Ukupne koncentracije aluminija ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

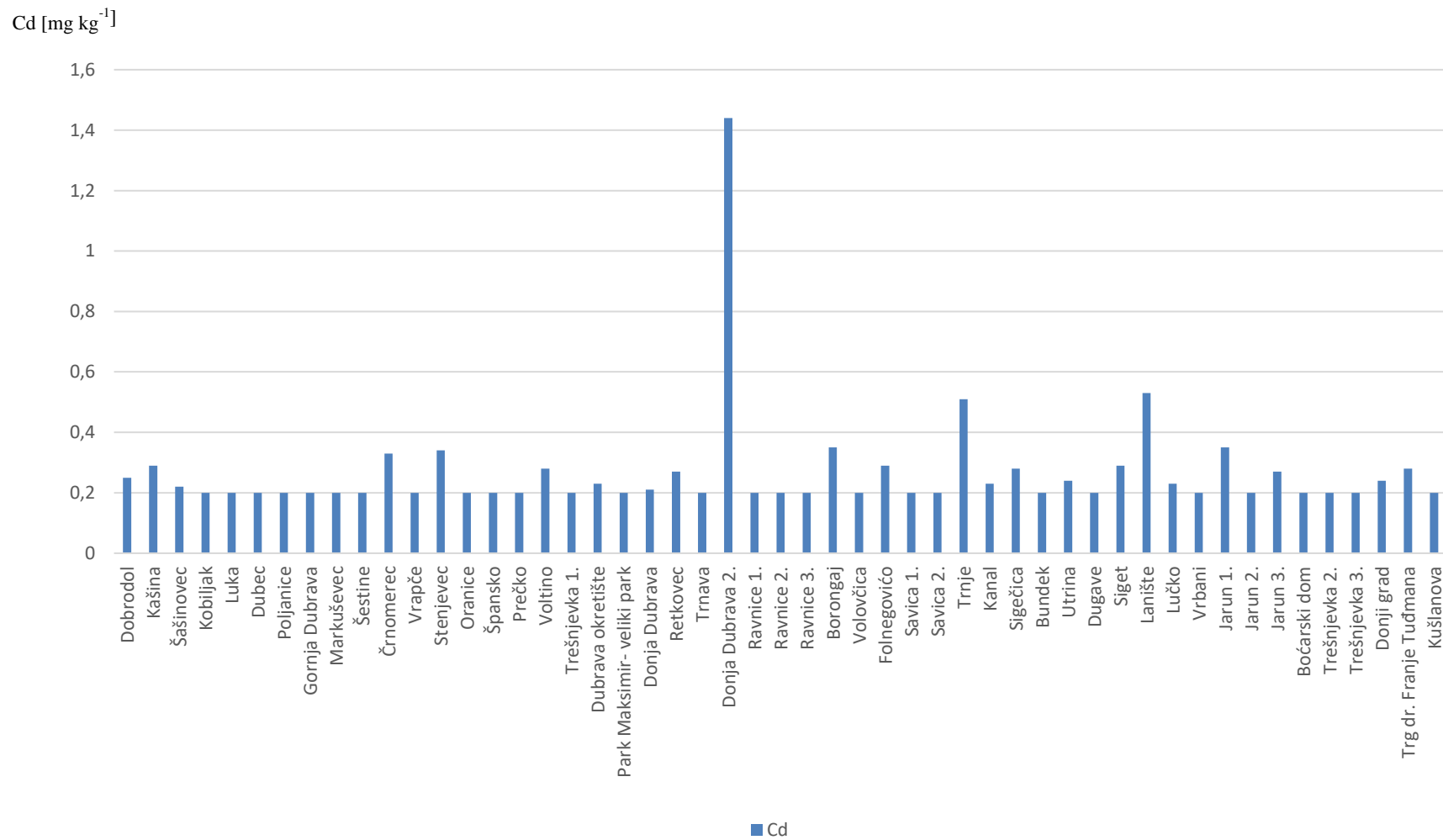


Na Grafu 2 prikazane su ukupne koncentracije kadmija u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Na dječjem igralištu Donja Dubrava 2. zabilježena je najviša koncentracija kadmija i iznosila je čak 1,44 mg kg<sup>-1</sup>, što je u odnosu na ostale lokacije mnogostruko viši iznos.

Kadmij je sveprisutni zagađivač okoliša u urbanom, ali i agro-okolišu (povezano s fosforom koji se dobivaju iz fosforne rude koja često sadrži primjese kadmija). Danas se uglavnom koristi u proizvodnji nikal-kadmijevih baterija, pigmenata i plastičnih stabilizatora. Količina kadmija u okolišu se povećava antropogenim i prirodnim utjecajem. Prirodni izvori kadmija su: šumski požari, vulkanska aktivnost i čestice tla koje prenosi vjetar (Matović i sur., 2011).

Kadmij nema poznatu esencijalnu ulogu u živim organizmima te se smatra isključivo toksičnim elementom, a poznato je da njegova akumulacija može dovesti do teških poremećaja. U tlima na području Zagreba koja su istraživana prosječni sadržaj kadmija iznosio je 0,43 mg kg<sup>-1</sup> (Romić i Romić, 1998). Bolest Itai-itai (ouch-ouch) pokazala je opasne dimenzije kadmija kao onečišćivača okoliša. To je endemska bolest kostiju koju karakteriziraju prijelomi kostiju i jaka bol povezana s izlaganjem kadmiju. Itai-itai se dogodila nakon Drugog svjetskog rata u Toyami u Japanu. Klinički simptomi toksičnosti kadmija su: osteomalacije i osteoporozе, deformacija skeleta, apatije, bolovi u bedrima, disfunkcija bubrežnih tubula, imunološki nedostatak, malapsorpcija i anemije (Matović i sur., 2011).



Graf 2. Ukupne koncentracije kadmija (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

Na Grafu 3 prikazane su ukupne koncentracije kobalta u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Najviša koncentracija kobalta zabilježena je na dječjem igralištu Borongaj i iznosila je 16,2 mg kg<sup>-1</sup>, dok je najmanje kobalta zabilježeno u dječjem igralištu Dugave u iznosu od 4,73 mg kg<sup>-1</sup>.

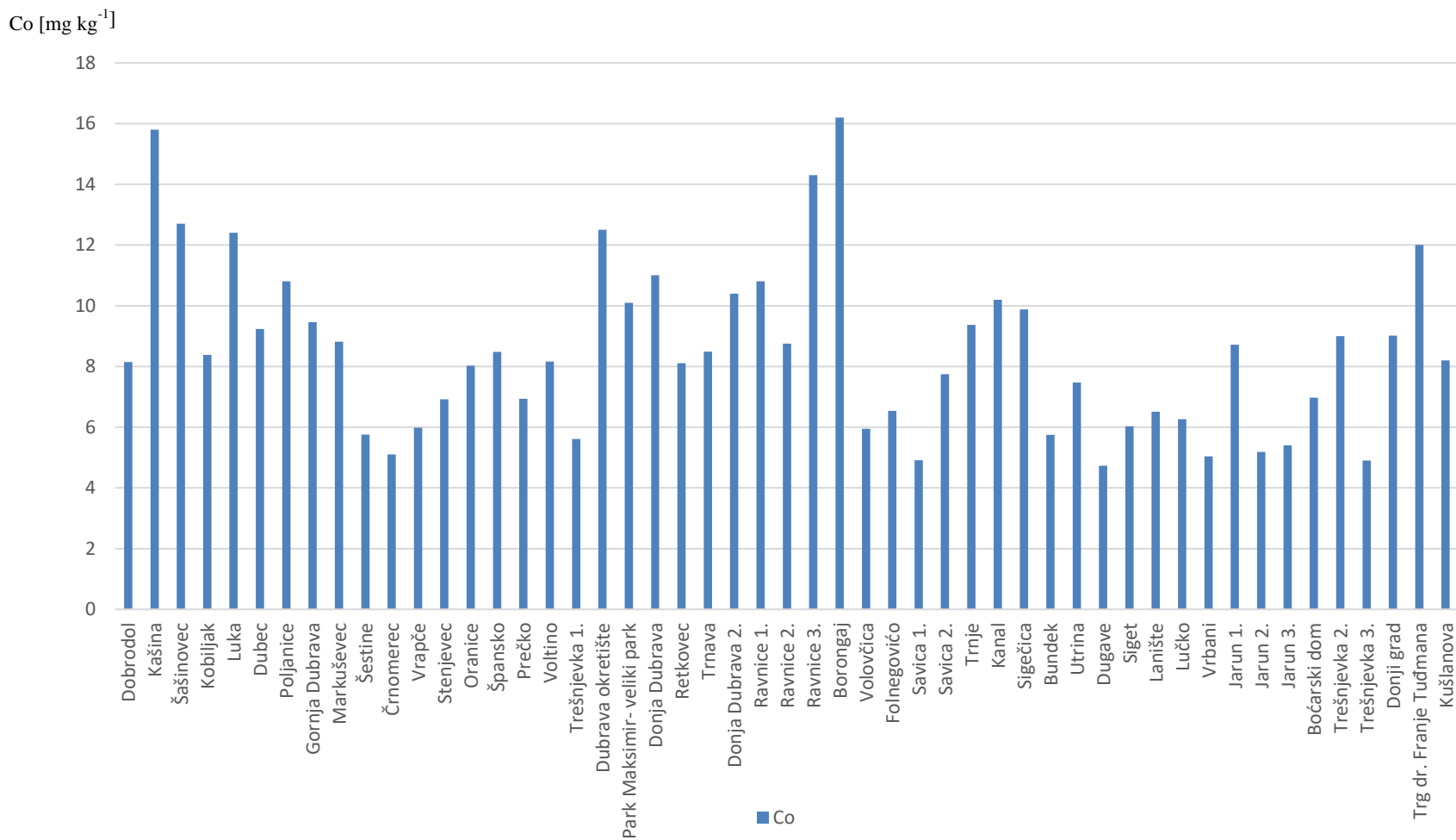
Sadržaj kobalta u tlu kreće se od 2 do 38 mg kg<sup>-1</sup>, a srednji sadržaj u sjevernoj Hrvatskoj je 12 mg kg<sup>-1</sup>. U sjevernoj Hrvatskoj visoke koncentracije kobalta su kontrolirane i temeljene na litologiji s povišenim vrijednostima u tlima razvijenim na bazičnim i ultrabazičnim magmatskim stijenama, kao i na ležištima krednog fliša (Miko i sur. 2001).

Kobalt je sjajan, plavo-bijeli, feromagnetičan metal, velike tvrdoće. Ne reagira s vodom, a otapa se u razrijeđenoj sumpornoj, dušičnoj i klorovodičnoj kiselini. Kobalt se rijetko koristi u elementarnom stanju, a najšira uporaba je u proizvodnji legura. Koristiti se može i u bojanju stakla i pri dobivanju porculanskih glazura i antikorozivnih obloga<sup>3</sup>.

Kobalt je toksičan za čovjeka. Udisanje kobaltove prašine uzrokuje bronhitis, dok kobaltove soli mogu uzrokovati benignu dermatozu. Također, zbog pretjeranog izlaganja visokim koncentracijama kobalta dolazi do problema s plućima, oštećenja štitne arterije, prekomjerne produkcije crvenih krvnih stanica i policitemije (Robert i Mari, 2003).

---

<sup>3</sup> <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/co/spojevi.html>



Graf 3. Ukupne koncentracije kobalta (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

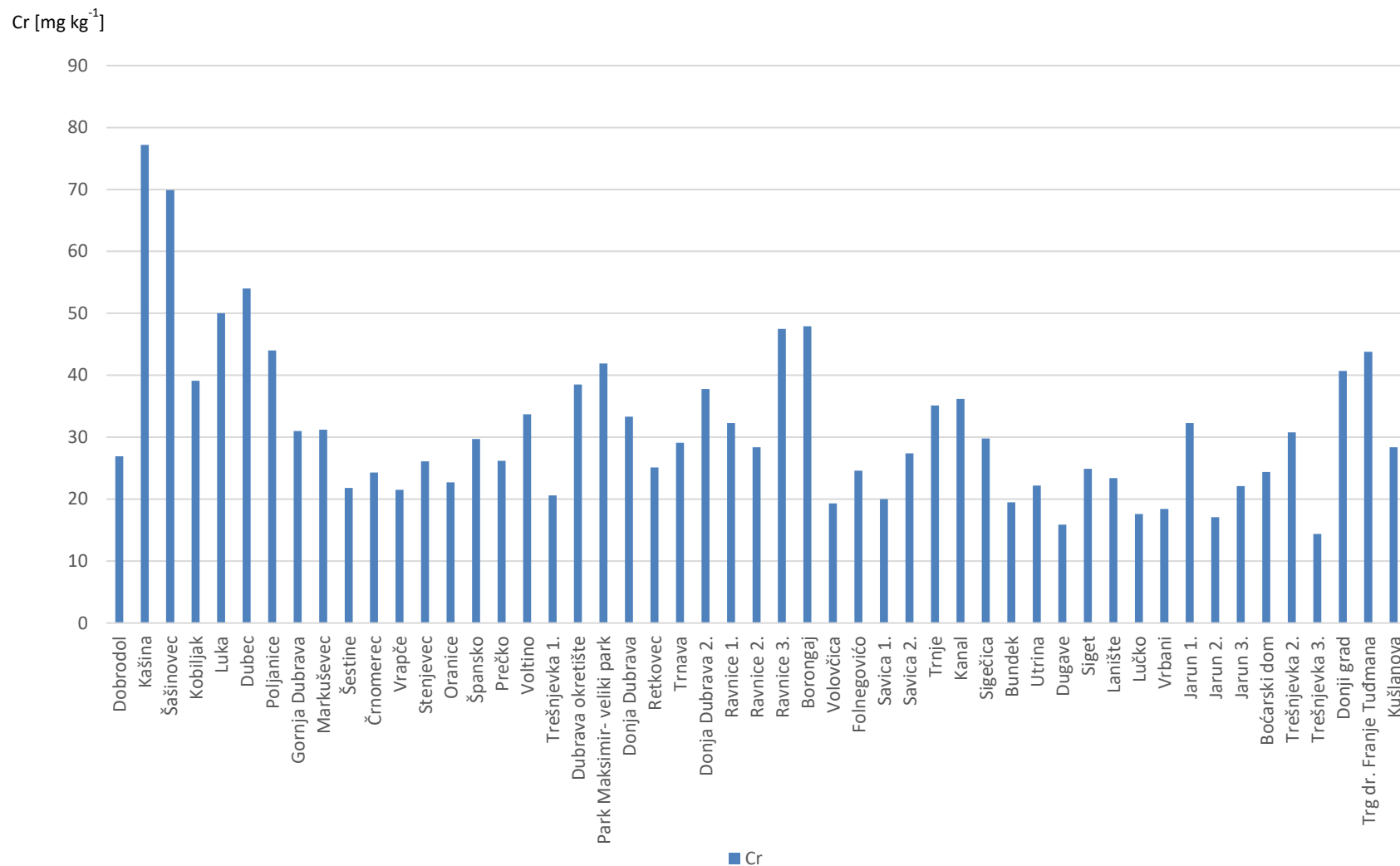
Na Grafu 4 prikazane su ukupne koncentracije kroma u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Na dječjem igralištu Kašina koncentracija kroma je bila najviša te je iznosila 77,2 mg kg<sup>-1</sup>, dok je na Trešnjevci 3. ona bila najniža, a iznosila je 14,4 mg kg<sup>-1</sup>.

Krom je esencijalni metal kojeg nalazimo u tragovima, odnosno obično se u tlu nalazi u niskim koncentracijama. Uglavnom se nalazi u dva oksidacijska stanja: Cr<sup>3+</sup> i Cr<sup>6+</sup> (Tadon, 1985). U tlima sjeverozapadne Hrvatske koncentracija kroma kreće se u rasponu od 32 do 524 mg kg<sup>-1</sup>. Veće koncentracije (> 83 mg kg<sup>-1</sup>) kroma su utvrđene u fluvisolima i glečerima, dok su velike anomalije od preko 500 mg kg<sup>-1</sup> utvrđene u blizini Zeline (Miko i sur., 2001).

Krom je jedan od glavnih industrijskih otpada. Nastaje u raznim procesima u proizvodnji tekstila, kože ili metalurgije. Trovalentni krom Cr (III) obično je prisutan u okolišu, dok je Cr (VI) u potpunosti proizveden antropogenim djelovanjem. Cr (VI) koristi se kao antikorozivno sredstvo u raznim rashladnim sustavima.

Najčešća izlaganja kromu obuhvaćaju 3 načina: inhalacijom, oralnim putem ili dermalnim kontaktom. Zabilježeni slučajevi trovanja kromom opisani su kroz razne simptome kao što su: čirevi na ustima, probavne smetnje, povraćanje, zatajenje bubrega, pa čak i smrt (Shekhawat i sur., 2015). Koncentracija kroma može varirati od nekoliko mg g<sup>-1</sup> u krvnoj plazmi do preko 1 mg g<sup>-1</sup> u nekim frakcijama jetre. S porastom dobi, koncentracija kroma opada u ljudskom tkivu i povećava se u plućima.



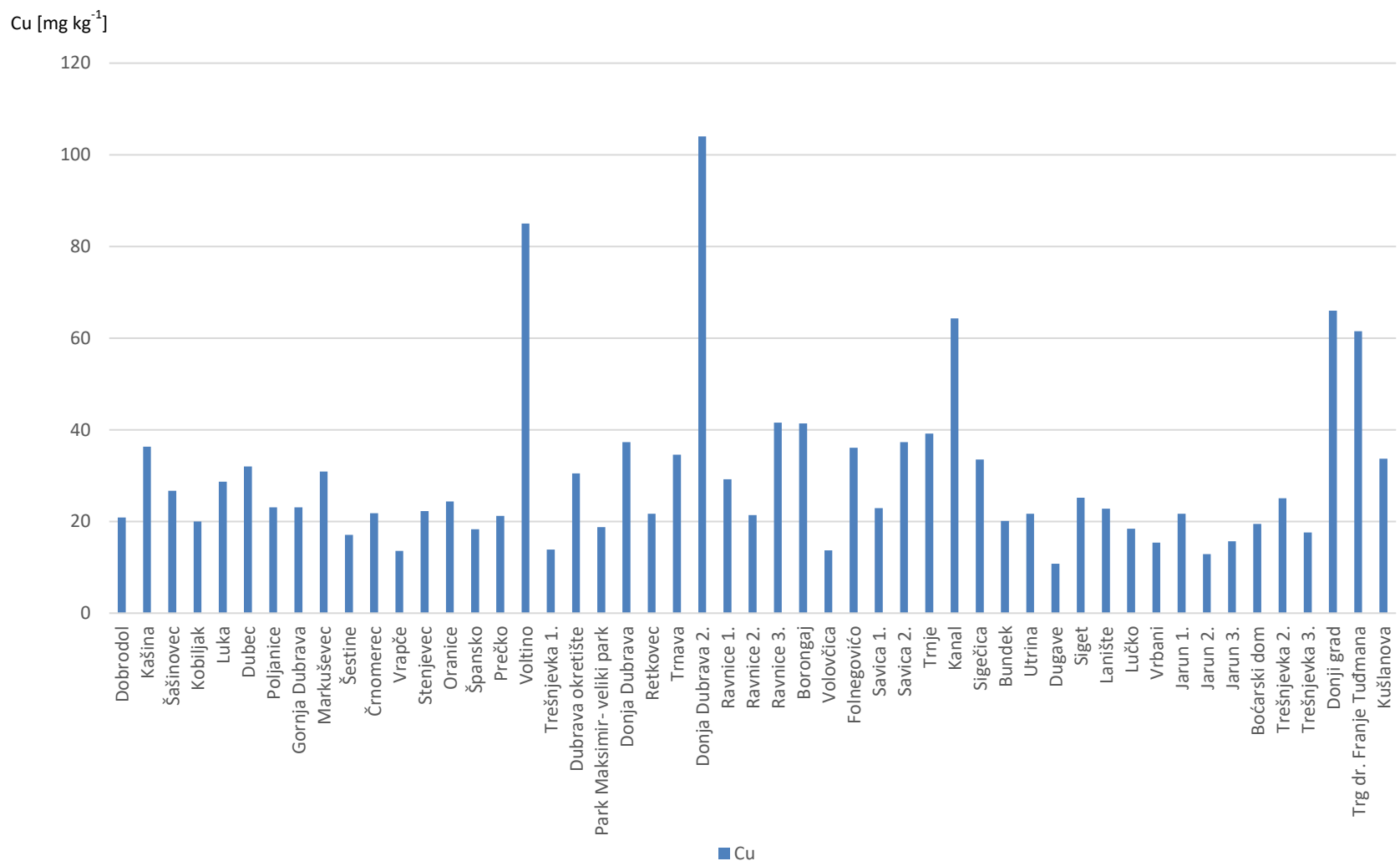
Graf 4. Ukupne koncentracije kroma (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

Na Grafu 5 prikazane su ukupne koncentracije bakra u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Najviša koncentracija bakra zabilježena je na dječjim igralištima Donja Dubrava 2 ( $104 \text{ mg kg}^{-1}$ ) i Voltino ( $85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), dok je najniža koncentracija detektirana na dječjem igralištu Dugave i iznosila je  $10,8 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Bakar je esencijalni element neophodan za život, no ovisno o koncentraciji može postati vrlo toksičan. Koncentracija bakra u tlima je obično u rasponu  $20 - 30 \text{ mg kg}^{-1}$  (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007). Bakar je u tlu najčešće vezan u Fe-Mn oksihidrokside,  $\text{MnO}_2$  i organsku tvar. Mobilan je u blago kiseloj sredini. Vrlo često se nalazi u poljoprivrednim tlima, naročito oko vinograda zbog raznih pesticida koji se koriste u vinogradarstvu. U području sjeverozapadne Hrvatske koncentracija bakra u tlima kreće se od 5 do  $248 \text{ mg kg}^{-1}$  (Miko i sur., 2001).

Već kod umjerenog onečišćenja tla bakrom, može doći do akutnog trovanja kod djece prilikom gutanja tla. Postoje dokazi da dugotrajno uzimanje više od  $200 \text{ mg}$  bakra uzrokuje razne simptome kao što su: mučnina, povraćanje, niski tlak, bol u mišićima, konfuzija i abnormalna funkcija bubrega (Wright i Welbourn, 2002).



Graf 5. Ukupne koncentracije bakra (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.



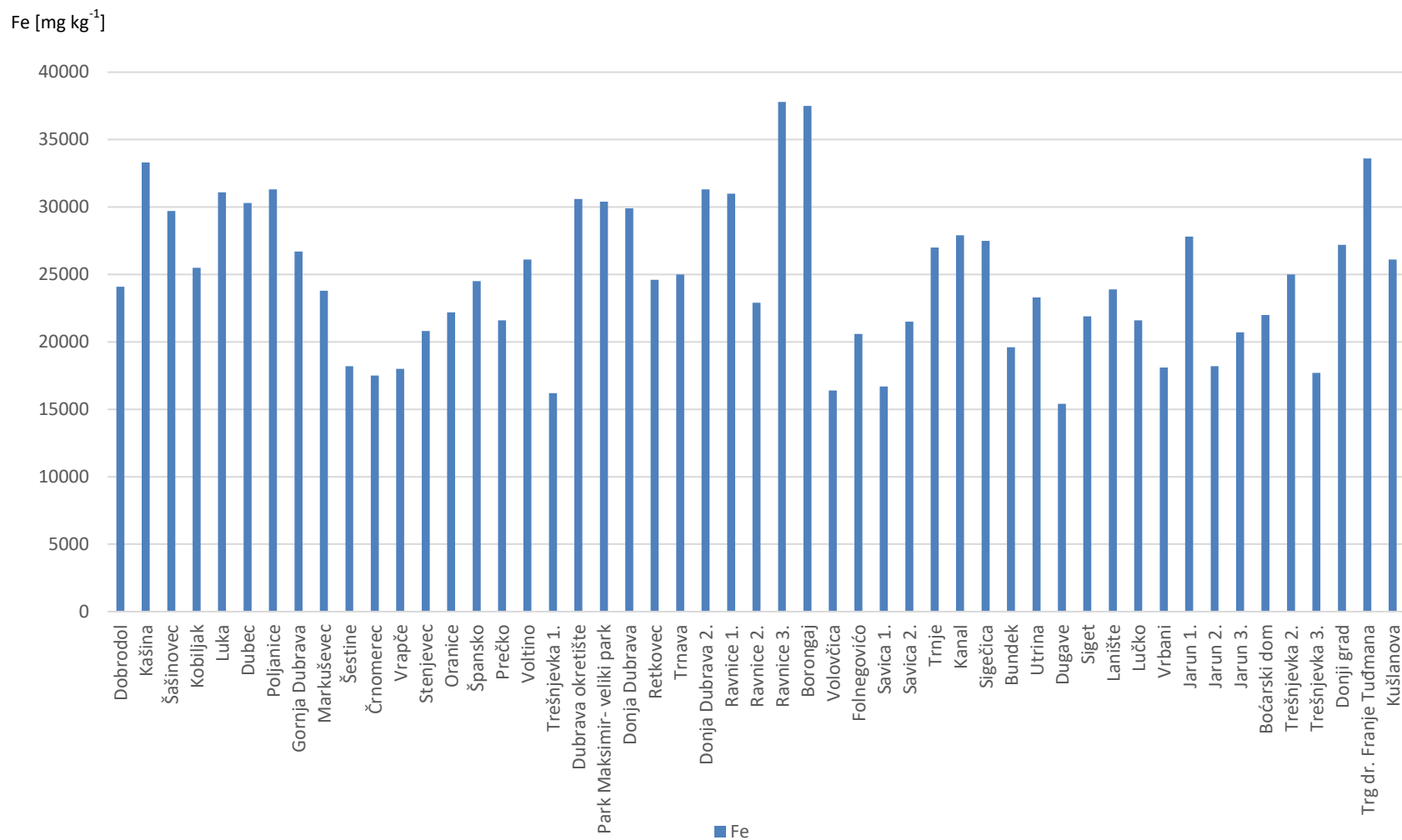
Na Grafu 6 prikazane su ukupne koncentracije željeza u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Na dječjem igralištu Ravnice 3 koncentracija željeza je bila najviša te je iznosila 37 800 mg kg<sup>-1</sup>, dok je na dječjem igralištu Dugave ona bila najniža, a iznosila je 15 400 mg kg<sup>-1</sup>.

Koncentracija željeza u tlu najčešće ovisi o sadržaju gline i količini karbonata. Sadržaj željeza u tlima sjeverozapadne Hrvatske kreće se od 0,60 % do 6,43%, sa srednjom vrijednosti od 3,28%. U Dalmaciji je taj postotak nešto veći, od 0,43% do čak 35%, sa srednjom vrijednosti od 3,94%. Tla sa povećanom koncentracijom karbonata obično sadrže manje količine željeza (Miko i sur., 2001).

Željezo je najčešći prijelazni metal na Zemlji i važan je za mnoge životne oblike te je uz rijetke iznimke, bitan za opstanak svih organizama. Smatra se esencijalnim jer je sastavni dio svih staničnih procesa, uključujući disanje, redoks procese, energetski metabolizam, sintezu DNA i regulaciju širenja gena. Unatoč njegovoj širokoj rasprostranjenosti u biosferi, organizmi mogu biti podložni nedostatku ili suvišku željeza, što u konačnici može dovesti do negativnih posljedica (Đokić i Bilandžić, 2012).

Opterećenje organizma željezom nastaje zbog nakupljanja željeza u tijelu kada njegov unos premašuje mogućnosti fiziološke prehrane. Akumulacija se zbiva u jetri, srcu, gušterači, slezeni, zatim koži, zglobovima i žlijezdama s unutrašnjim lučenjem u obliku topljivog feritina i kasnije netopljivog hemosiderina. Sveukupna količina željeza u tijelu čovjeka iznosi od 800 do 1500 mg. Opterećenje organizma povećanim koncentracijama željeza uzrokuje morfološko i funkcionalno oštećenje stanica, potiče stvaranje slobodnih radikala, stimulira sintezu kolagena i uzrokuje fibrozu tkiva. Kronično oštećenje stanica i fibroza uzrokuju disfunkciju jetre, srca, bubrega, kože, endokrinih žlijezda, gušterače i pluća. Kod teških oblika izražena je pigmentacija kože, disfunkcija jetre i srca, šećerna bolest, gonadna i ostale endokrine disfunkcije, abdominalna bol, itd. (Čulić i Armanda, 2013).



Graf 6. Ukupne koncentracije željeza (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

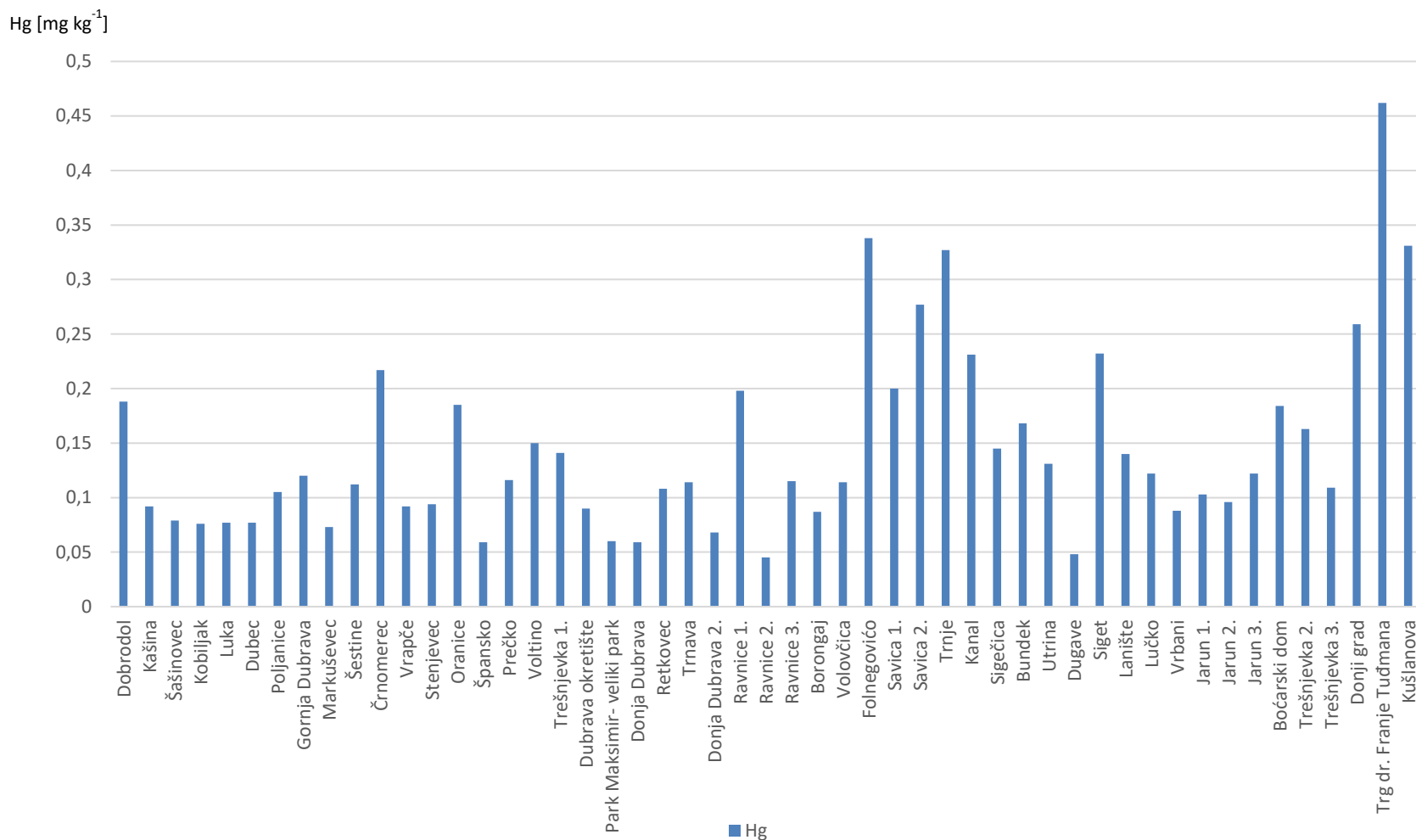
Na Grafu 7 prikazane su ukupne koncentracije žive u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Najviša koncentracija žive zabilježena je na dječjem igralištu Trg dr. Franje Tuđmana i iznosila je  $0,462 \text{ mg kg}^{-1}$ , dok je najmanje žive, svega  $0,045 \text{ mg kg}^{-1}$ , detektirano na dječjem igralištu Ravnice 2.

Gradska tla općenito imaju veći sadržaj žive, a naročito tla u gradu Zagrebu (Miko i sur., 2001). Visoku razinu žive u tlima grada Zagreba utvrdili su Namjesnik i sur. (1992.) i Palinkaš i sur. (1996).

Živa je jedan od teških metala koji se u prirodi nalazi u anorganskom obliku ( $\text{HgS}$ ,  $\text{HgO}$ ,  $\text{HgCl}_2$ ) i organskom obliku (metilživa i dimetilživa). Metilživa se vrlo često nalazi u velikim ribama u kojima se nakuplja kao posljedica hranidbenog lanca. Dimetilživa je izrazito opasan oblik žive. Letalnu dozu predstavlja 0,001 ml dimetilžive. Vrlo je opasna jer jedna kap ispušta veliku koncentraciju pare koja prolazi kroz moždane barijere te se lako akumulira i na taj način truje organizam (Pavlović i Siketić, 2011). Prema tome, otrovna je u tekućem i plinovitom obliku.

Poznati ekološki incident u prošlosti dogodio se u Japanu u zaljevu Minamata u koji je poznata firma Nippon Chisso Co. prilikom proizvodnje acetaldehida i polivinilklorida u more ispuštala veliku količinu metilžive te tako onečistila zaljev. Ljudi su konzumacijom ribe unosili velike količine metilžive koja se akumulirala u mozgu te su oboljevali (gubitak vida, sluha i govora) te na poslijetku umirali (Pavlović i Siketić, 2011).



Graf 7. Ukupne koncentracije žive (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

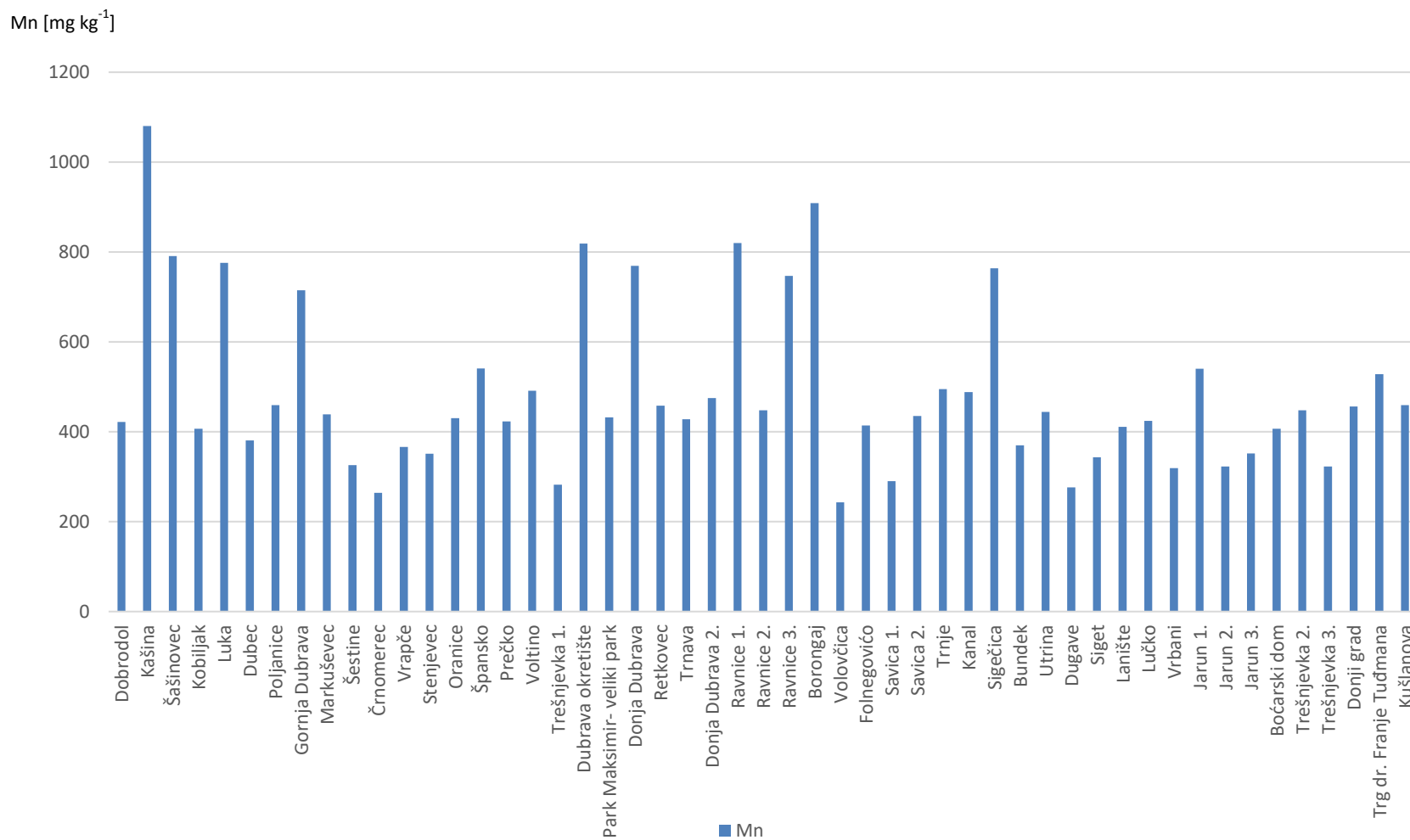
Na Grafu 8 prikazane su ukupne koncentracije mangana u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Na dječjem igralištu Kašina zabilježena je najveća razina mangana, a iznosila je  $1080 \text{ mg kg}^{-1}$ , dok je najmanja razina zabilježena na Volovčici,  $243 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Mangan je esencijalni nutrijent. Prema udjelu u zemljinoj kori (prosječno 0,1%) nalazi se na 5. mjestu najzastupljenijih metala u zemljinoj kori. U prirodi nije prisutan u elementarnom obliku, već u formi karbonata, oksida i silikata u više od 100 minerala (ATSDR, 2013). Mangan se u prirodi javlja u organskim i anorganskim oblicima. Koncentracija mangana se u tlima obično kreće u koncentracijama  $131 - 5619 \text{ mg kg}^{-1}$  (Miko i sur., 2001).

Nekada se mangan koristio za pigmentiranje boja. Anorganski se mangan koristi u proizvodnji baterija, gnojiva, u kemijskoj, kožnoj i tekstilnoj industriji te u proizvodnji stakla i pirotehnike. S druge strane, organski oblici mangana koriste se u medicini kao kontrastna sredstva, u poljoprivredi kao fungicidi te kao dodaci za loživo ulje (ATSDR, 2013).

Mangan je neophodan element koji sudjeluje u nizu metaboličkih funkcija, uključujući razvoj skeletnog sustava, metabolizam energije, aktivaciju određenih enzima, funkcioniranje živčanog sustava, rast veznog tkiva, zgrušavanje krvi, funkcioniranje imunološkog sustava te pravilnu funkciju reproduktivnih hormona (Đokić i sur., 2017). Važan je kofaktor u raznim antioksidacijskim enzimima, ali je i toksičan ako se tijekom vremena udiše u velikim količinama. Mangan je poznati strukovni toksični agens koji izaziva iscrpljivanje dopamina u mozgu i sindrom motoričke disfunkcije te gubitak pamćenja nalik Parkinsonovoj bolesti (Woolf i sur., 2002).



Graf 8. Ukupne koncentracije mangana ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

Na Grafu 9 prikazane su ukupne koncentracije nikla u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Najviša koncentracija nikla zabilježena je na dječjem igralištu Kašina i iznosila je 89,1 mg kg<sup>-1</sup>. Najmanje nikla zabilježeno je na dječjem igralištu Črnomerec u iznosu od 15,4 mg kg<sup>-1</sup>.

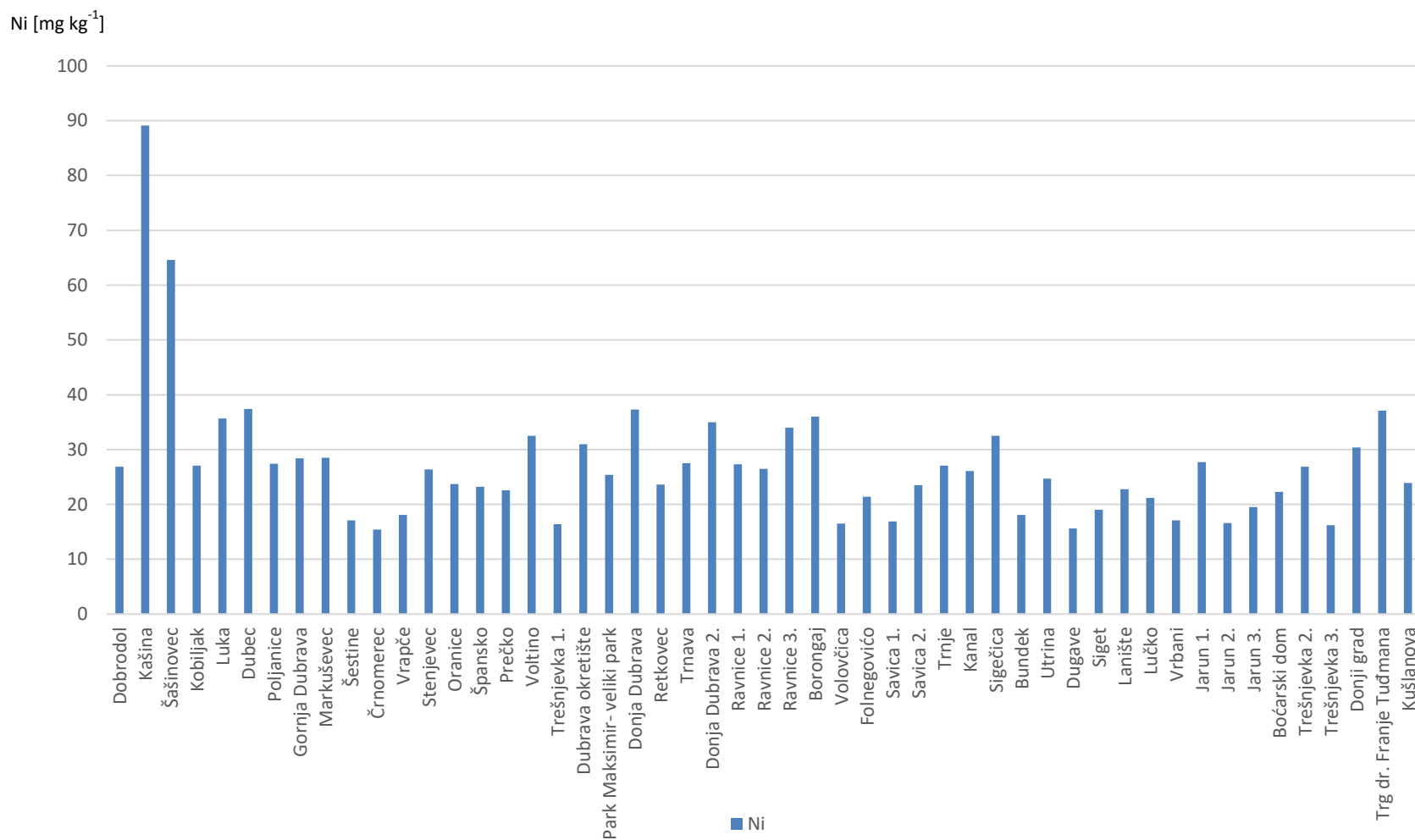
Nikal je vrlo čest metal široko rasprostranjen u zemljinoj kori. To je srebrno-bijeli metal s određenim svojstvima koja olakšavaju stvaranje legura nikla i željeza. Koncentracija nikla u tlu ovisi o koncentraciji u matičnim stijenkama te procesima formiranja tla i onečišćenja (Iyaka, 2011). Koncentracija nikla u tlima sjeverozapadne Hrvatske kreće se u rasponu od 13 do 427 mg kg<sup>-1</sup>. Visoke koncentracije su zabilježene u blizini Zeline, a posljedica su bazičnih i ultrabazičnih magmatskih podloga. Upravo su bazične i ultrabazične stijene vjerojatno izvor nikla u aluvijalnim tlima (Miko i sur., 2001).

Kompleksi nikla su pokretljiviji u tlu u prisutnosti huminskih i fluvičnih kiselina (ATSDR, 2005). Stoga se može zaključiti da u prisutnosti niskog pH nikal postaje lako dostupan. Osim iz prirodnih izvora, nikal u tlo dospjeva i iz antropogenih izvora. McIlveen i Negusanti (1994) naveli su neke od glavnih izvora nikla u tlu, a to su: vapno, gnojivo, industrijski otpadni materijali i talog iz kanalizacije. Zato se može pretpostaviti da se visoke koncentracije nikla mogu nalaziti u poljoprivrednim tlima i tlima blizu odlagališta.

Pretežno svi slučajevi akutnog trovanja niklom proizlaze iz izloženosti nikal-karbonilu. Primarni simptomi su nespecifični i uključuju iritaciju dišnih puteva. Nikal je element poznat kao jaki senzibilni alergen koji uzrokuje dermatitis<sup>4</sup>. Štetni učinci nikla na zdravlje čovjeka mogu se manifestirati u vidu mučnina, dispneja, glavobolje i boli u prsima, a u težim oblicima dovode do tumora pluća i nosa (Iyaka, 2011).

---

<sup>4</sup> <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/CLT-100102423>



Graf 9. Ukupne koncentracije nikla (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.



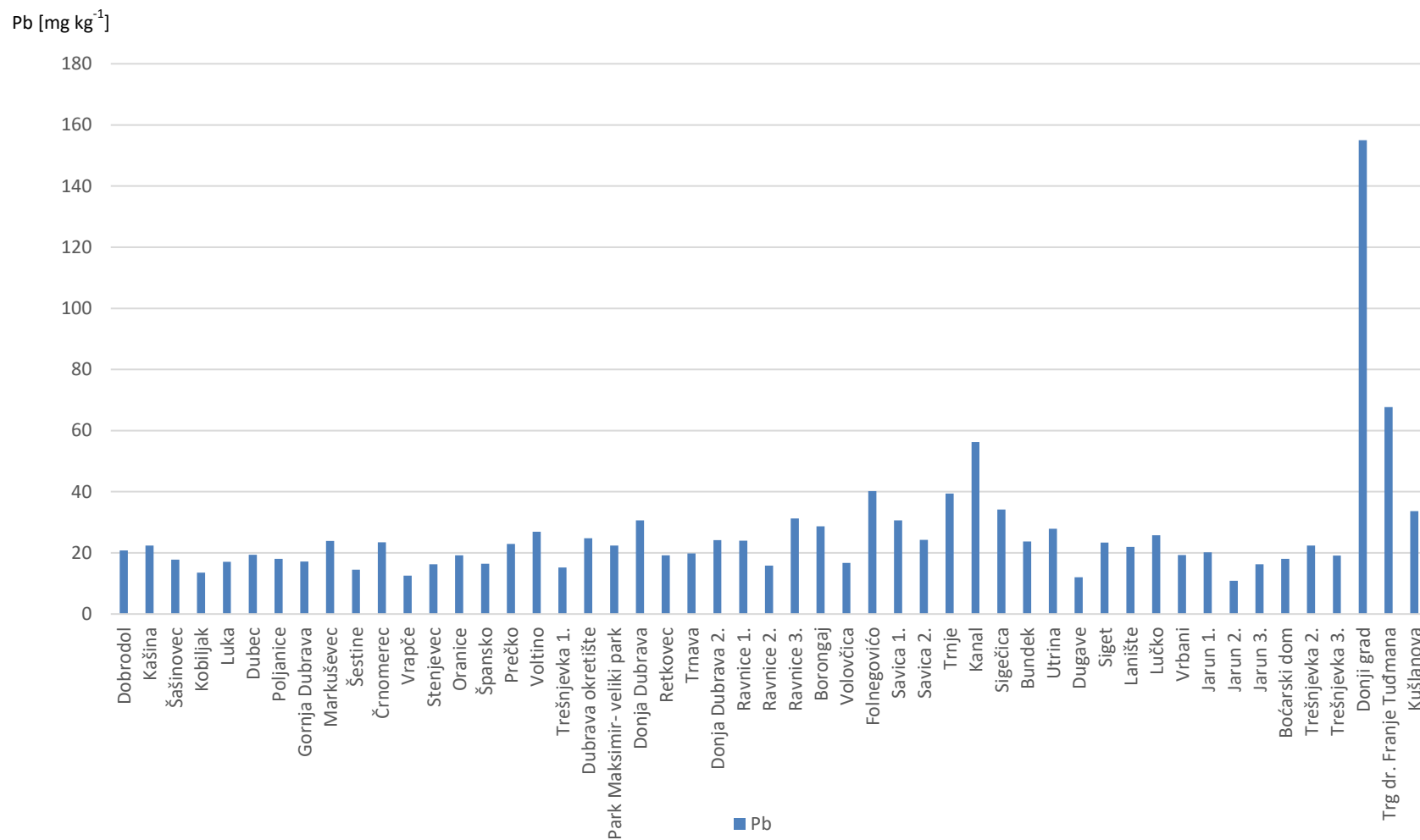
Na Grafu 10 prikazane su ukupne koncentracije olova u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Na dječjem igralištu Donji grad zabilježena je najviša koncentracija olova i iznosila je  $155 \text{ mg kg}^{-1}$ , dok je najmanja koncentracija zabilježena na igralištu Jarun 2 te je iznosila  $10,9 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Olovo (Pb) je sveprisutni teški metal poznat kao jedan od najopasnijih onečišćivača okoliša zbog svoje sposobnosti da utječe na zdravlje ljudi kroz različite izvore izloženosti poput zraka, vode i kontaminirane hrane (Lopes i sur., 2016). Olovo u visokim koncentracijama, predstavlja potencijalno toksičan element za ljude kao i za većinu drugih oblika života (Rosen C.J., 2002). Vrlo često tla s većim udjelom gline sadrže povišene koncentracije olova. Prema Kabata-Pendias i Mukherjee (2007) ukupna prosječna koncentracija olova u tlu iznosi oko  $25 \text{ mg kg}^{-1}$ . Briga o tlu je ključna za rješavanje problema izloženosti djece olovu.

Olovo je teški metal povezan s emisijom u urbanim okolišima, odnosno prometnicama i automobilskim gorivom. Također, boja na bazi olova je štetna ukoliko se komadići boje sa starih zgrada miješaju s tlom. Emisija olova iz automobilskih plinova je danas smanjena, no urbana područja su u prošlosti kontaminirana olovom. S obzirom na navedeno, područja kontaminirana olovom najčešće se nalaze uz rubove zgrada i prometnica. U tlu onečišćenim olovom i nakon dužeg vremenskog perioda može se pronaći onečišćenje zbog slabe mobilnosti olova u tlu.

Olovo se smatra toksičnim elementom te uzrokuje oštećenje gotovo svih organa, a pogotovo djeluje na središnji živčani sustav, bubrege i krv. Uz kadmij, olovo u ljudskom organizmu nastoji zamijeniti kalcij, stoga ga nalazimo u kostima i zubima. Trovanje olovom ima negativan utjecaj na središnji živčani sustav. Ukoliko se djeca izlažu olovu u razdoblju do tri godine, dolazi do smanjenja kvocijenta inteligencije (Wright i Welbourn, 2002). Smatra se da olovo iz tla ima veći faktor rizika od boja na bazi olova, stoga je učinkovitija mjera smanjenja razine olova u krvi male djece u vidu smanjenja koncentracije olova u tlu (Mielke i Reagan, 1998). Također, prema Wallace G. i Wallace A. (2008) država Kalifornija preporučuje da dnevni unos olova ne prelazi  $75 \mu\text{g}$  dnevno za odraslu osobu,  $20 \mu\text{g}$  dnevno tijekom trudnoće i  $6 \mu\text{g}$  dnevno za dijete. Isto tako navode da su razine olova u krvi od samo  $15 \text{ mg dL}^{-1}$  povezane s kroničnim poremećajima djece.



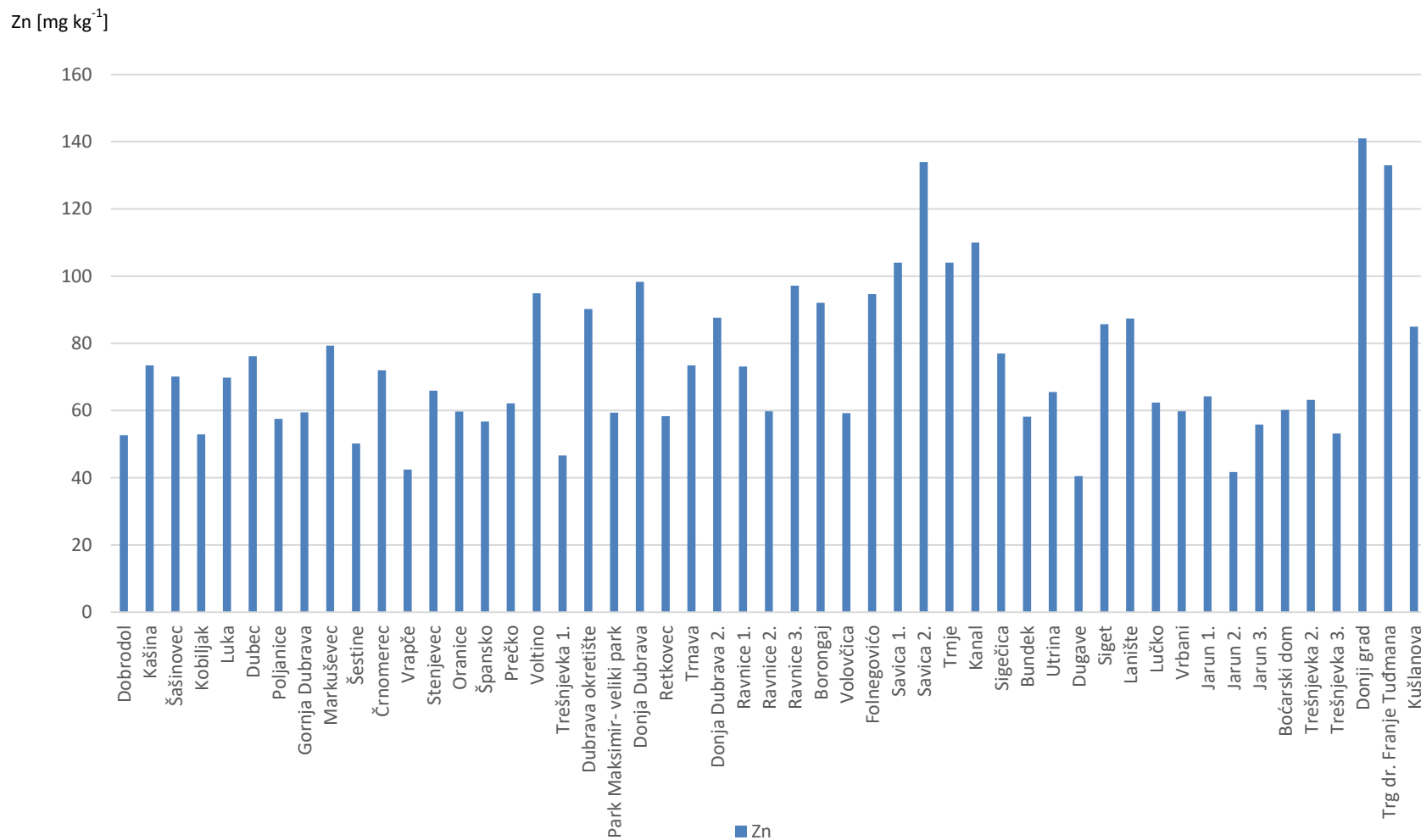
Graf 10. Ukupne koncentracije olova (mg kg<sup>-1</sup>) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

Na Grafu 11 prikazane su ukupne koncentracije cinka u površinskom tlu (0 - 15 cm) istraživanih dječjih igrališta Grada Zagreba.

Najviša koncentracija cinka zabilježena je na dječjem igralištu Donji grad i iznosila je 141 mg kg<sup>-1</sup>, dok je najmanje cinka detektirano na dječjem igralištu Dugave u iznosu od 40,5 mg kg<sup>-1</sup>.

Cink je jedan od metala neophodnih za život. Svrstava se u mikronutrijente koji su neophodni za ljudsko zdravlje, ali koji su mogu biti štetni u previsokim kao i u preniskim koncentracijama. Na globalnoj razini, sadržaj cinka u tlu se nalazi u rasponu od 10 do 300 mg kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007).

Cink sudjeluje u različitim metaboličkim procesima, prvenstveno u sintezi proteina, ugljikohidrata i DNA (Kabata-Pendias i Mukherjee, 2007). Prema Moheru, simptomi nastali zbog nedostatka cinka su: česte infekcije, proljev, ugrožena imunološka funkcija, alopecija, mentalni poremećaj i odgoda spolnog i koštanog sazrijevanja (Peganova i Edlet, 2004). Nasuprot tome, prevelika količina cinka unesena u tijelo inhalacijom ili oralnim putem, uzrokuje širok spektar štetnih učinaka poput letargije, anemije, mučnine, abdominalnih grčeva, povraćanja, poteškoća u disanju, a može dovesti i do povećanog rizika od pojave raka prostate kod muškaraca (Plum i sur., 2010).



Graf 11. Ukupne koncentracije cinka ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) u površinskom tlu dječjih igrališta u Gradu Zagrebu.

### 4.3. Procjena opasnosti izračunavanjem rizika oštećenja zdravlja djece (oralnim, dermalnim i inhalacijskim) izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta Grada Zagreba

Prema Huang i sur. (2019) rizik od oboljenja djece izlaganjem metalima u tlima Grada Zagreba dijeli se na nekancerogeni i kancerogeni. Nekancerogeni rizik opisan je kvocijentom opasnosti za svaki metal (engl. *Hazard Quotient*, HQ) i indeksom opasnosti za igralište (engl. *Hazard Index*, HI =  $\Sigma$  HQ), dok je kancerogeni rizik opisan kancerogenim rizikom od oboljenja za svaki metal (engl. *Cancer Risk*, CR) i ukupnim rizikom od kancerogenog oboljenja (engl. *Total Cancer Risk*, TCR =  $\Sigma$  CR), kako je prikazano u Tablici 7. Isti autori navode da rizik od nekancerogenog oboljenja postoji u slučaju kada je HI > 1, odnosno HQ > 1. Također navode da prihvatljivi rizik od kancerogenog oboljenja postoji kada je  $10^{-4} > \text{TCR (CR)} > 10^{-6}$ , dok neprihvatljivi rizik postoji u slučaju kada je vrijednost TCR (CR) >  $10^{-4}$ . Rizik je zanemariv kada je TCR (CR) manji od  $10^{-6}$ .

Tablica 7. Prikaz rizika od nekancerogenog oboljenja s obzirom na kvocijent opasnosti svakog pojedinog metala (HQ) i indeks opasnosti igrališta (HI) te rizik od kancerogenog oboljenja od pojedinog metala (CR) i ukupni rizik od kancerogenog oboljenja (TCR) na dječjim igralištima Grada Zagreba.

Dječje igralište	Rizik od nekancerogenih oboljenja			Rizik od kancerogenih oboljenja		
	HQ > 1	HI > 1	Oznaka rizika	CR	TCR	Oznaka rizika
Dobrodol	-	Da	Da	Cr, Ni	$10^{-5}$	✓
Kašina	Cr, Fe, Mn	Da	Da	Cr, Ni	$10^{-5}$	✓
Šašinovec	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	$10^{-5}$	✓
Kobiljak	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	$10^{-5}$	✓
Luka	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	$10^{-5}$	✓
Dubec	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	$10^{-5}$	✓

Dječje igralište	HQ > 1	HI > 1	Oznaka rizika	CR	TCR	Oznaka
Poljanice	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Gornja Dubrava	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Markuševec	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Šestine	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Črnomerec	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Vrapče	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Stenjevec	--	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Oranice	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Špansko	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Prečko	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Voltino	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Trešnjevka 1	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Dubrava okretište	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Park Maksimir	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Donja Dubrava	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Retkovec	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Trnava	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Donja Dubrava 2	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Ravnice 1	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Ravnice 2	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Ravnice 3	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Borongaj	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Volovčica	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Folnegovićevo	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Savica 1	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓

Dječje igralište	HQ > 1	HI > 1	Oznaka rizika	CR	TCR	Oznaka
Savica 2	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Trnje	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Kanal	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Sigečica	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Bundek	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Utrina	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Dugave	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Siget	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Lanište	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Lučko	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Vrbani	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Jarun 1	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Jarun 2	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Jarun 3	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Boćarski dom	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Trešnjevka 2	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Trešnjevka 3	-	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Donji grad	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Trg Dr.Franje Tuđmana	Cr, Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓
Kušlanova	Fe	Da	Da	Cr, Ni	10 <sup>-5</sup>	✓

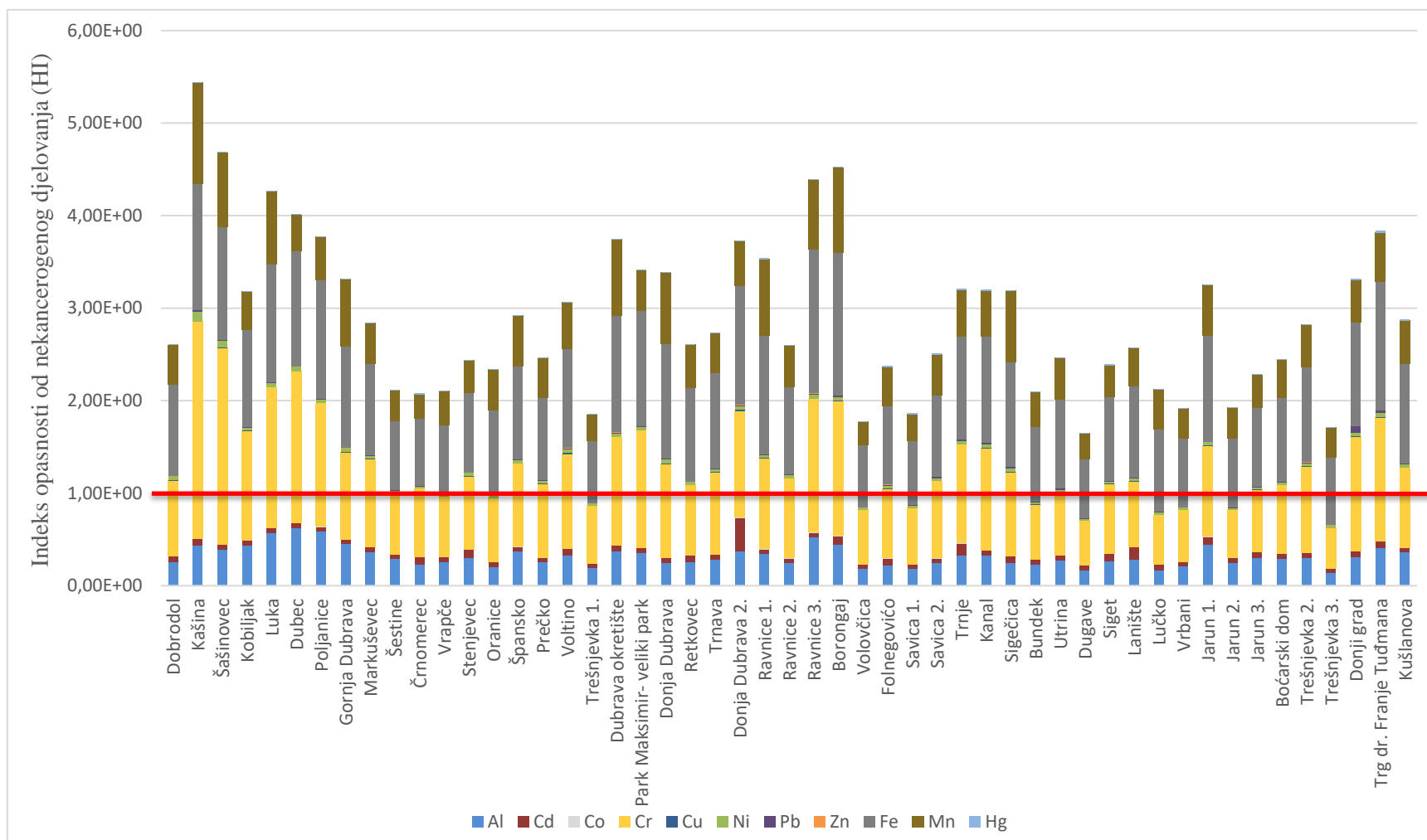
#### 4.3.1. Nekancerogeni rizik za djecu uzrokovan koncentracijom teških metala

Faktori nekancerogenog rizika za djecu izračunati su koristeći RfD svojstven za svaki element, kako je prikazano u Tablici 2 te izračunatim ADI vrijednostima (Prilog, Tablice P1; P2; P3). Dobiveni rezultati prezentirani su u Grafu 12 i Tablici 8. Kao što je ranije navedeno u tekstu, kada su HQ i HI vrijednosti manje od 1 tada ne postoji očit rizik za zdravlje ljudi, ali ako te vrijednosti prelaze 1, postoji zabrinutost za potencijalne nekancerogene efekte.

HQ vrijednost oralnog, inhalatornog i dermalnog unosa teških metala u organizam djece bio je manji od 1 u većini slučajeva. Iznimke su Mn, čiji je HQ bio veći od 1 na samo jednom dječjem igralištu (Kašina), Fe kojemu je HQ bio veći od 1 na više od polovice igrališta, točnije njih 26, dok je HQ za Cr bio veći od 1 u 17 ispitanih uzoraka tla. Na navedenim igralištima zbog povišenih koncentracija spomenutih teških metala postoji zamjetan rizik od potencijalnih nekancerogenih oboljenja djece povezanih s djelovanjem tih metala na njihov organizam. Negativne posljedice uzrokovane akumulacijom Fe, Mn i Cr opisane su u prethodnom poglavlju, od kojih valja istaknuti probavne smetnje, povraćanje, disfunkciju jetre, bubrega, pluća i oštećenja kože (Shekhawat i sur., 2015; Čulić i Armanda, 2013).

Međutim, kada se u obzir uzme suma utjecaja svih metala (HI), tada je rizik od nekancerogenog oboljenja prisutan u svim dječjim igralištima, a naročito u Kašini gdje je HI izrazito visok (HI=5,44) te u igralištima Šašinovec, Luka, Dubec, Ravnice 3 i Borongaj u kojima je HI > 4.





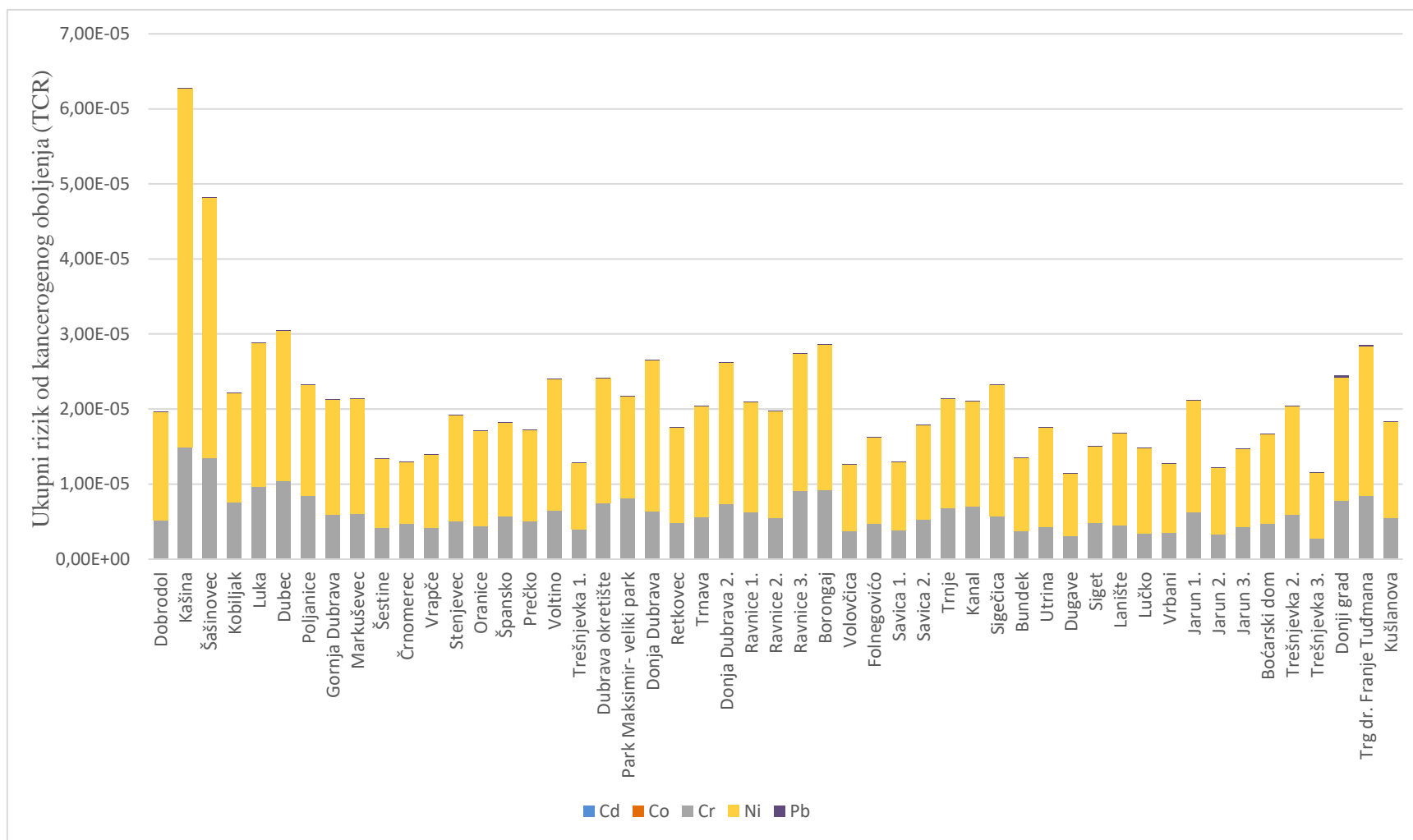
Graf 12. Rizik od nekancerogenog oboljenja za pojedinačne elemente na dječjim igralištima grada Zagreba. Svaki stupac predstavlja kumulativnu vrijednost kvocijenta opasnosti (HQ) koji zajedno daju indeks opasnosti (HI) za određeno dječje igralište. Linija prikazana crvenom bojom označava graničnu vrijednost  $HI = 1$  ( $HI > 1$  predstavlja rizik od nekancerogenog oboljenja; Huang i sur., 2019).

#### 4.3.2. Kancerogeni rizik za djecu uzrokovan koncentracijom teških metala

Kancerogeni rizik za djecu izračunat je odvojeno prema doprinosu svakog teškog metala u tlu za sva tri načina unosa koristeći formule navedene u prethodnom poglavlju. Vrijednosti kancerogenog rizika izračunate na temelju ADI vrijednosti (Prilog, Tablice P4; P5; P6) prikazane su u Grafu 13 i Tablici 8.

Prema navodima US EPA-e, rizik od raka (CR) smatra se prihvatljivim ako su njegove vrijednosti unutar  $1 \times 10^{-6}$  -  $1 \times 10^{-4}$ . U slučaju dječjih igrališta u Zagrebu, CR za Cd, Co i Pb ne ulazi u raspon navedenih vrijednosti, već se kreće od  $10^{-7}$  do  $10^{-9}$ , ovisno o elementu, te se stoga smatra zanemarivim. CR u slučaju Ni i Cr nalazi se u rasponu od  $1 \times 10^{-6}$  do  $1 \times 10^{-4}$  što ukazuje na to da postoji kancerogeni rizik, ali je on prihvatljiv. Vrijednosti TCR-a za sva igrališta u Gradu Zagrebu nalaze se unutar raspona od  $1 \times 10^{-6}$  do  $1 \times 10^{-4}$ , što upozorava da na svim igralištima postoji rizik od kancerogenog oboljenja, ali je on prihvatljiv.

Za istaknuti je dječje igralište u Kašini koje se i u ovom slučaju ističe visokim vrijednostima svih navedenih faktora: CR (Cr)=  $1,49E-05$ , CR (Ni)=  $4,78E-05$  i TCR =  $6,28E-05$ .



Graf 13. Rizik od kancerogenog oboljenja za pojedinačne elemente na dječjim igralištima grada Zagreba. Rizik od kancerogenog oboljenja za istraživane metale u tlima Grada Zagreba računao se za metale za koje u literaturi postoje definirani faktori potrebni za izračun CR i TCR vrijednosti. Na dječjim igralištima za koje se vrijednost TCR nalazi u rasponu od  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  postoji rizik od kancerogenog oboljenja, ali je on prihvatljiv (Huang i sur., 2019).

U Tablici 8 brojčano su prikazani ukupni rizik od nekancerogenog oboljenja (HI) i ukupni rizik od kancerogenog oboljenja (TCR) za 51 ispitivano dječje igralište u Gradu Zagrebu.

Tablica 8. Prikaz ukupnog rizika od nekancerogenog oboljenja (HI) i ukupnog rizika od kancerogenog oboljenja (TCR) za 51 ispitivano dječje igralište Grada Zagreba.

Dječje igralište	HI	TCR
Dobrodol	2,61	1,96856E-05
Kašina	5,44	6,27745E-05
Šašincev	4,68	4,8204E-05
Kobiljak	3,18	2,21286E-05
Luka	4,27	2,88545E-05
Dubec	4,01	3,05412E-05
Poljanice	3,78	2,32445E-05
Gornja Dubrava	3,32	2,12713E-05
Markuševec	2,84	2,1376E-05
Šestine	2,12	1,34263E-05
Črnomerec	2,08	1,30229E-05
Vrapče	2,11	1,39015E-05
Stenjevec	2,44	1,92608E-05
Oranice	2,34	1,71514E-05
Špansko	2,92	1,82284E-05
Prečko	2,46	1,72428E-05
Voltino	3,07	2,40161E-05
Trešnjevka 1	1,85	1,28204E-05
Dubrava okretište	3,75	2,41312E-05
Park Maksimir	3,42	2,1774E-05
Donja Dubrava	3,39	2,65177E-05
Retkovec	2,16	1,75661E-05
Trnava	2,74	2,04264E-05
Donja Dubrava 2	3,73	2,62326E-05

Dječje igralište	HI	TCR
Ravnice 1	3,54	2,09453E-05
Ravnice 2	2,60	1,97473E-05
Ravnice 3	4,40	2,74878E-05
Borongaj	4,52	2,86456E-05
Volovčica	1,78	1,26263E-05
Folnegovićevo	2,38	1,63297E-05
Savica 1	1,87	1,30019E-05
Savica 2	2,51	1,79602E-05
Trnje	3,21	2,14302E-05
Kanal	3,20	2,11168E-05
Sigečica	3,20	2,32785E-05
Bundek	2,10	1,35367E-05
Utrina	2,47	1,76109E-05
Dugave	1,65	1,14781E-05
Siget	2,40	1,50676E-05
Lanište	2,58	1,68332E-05
Lučko	2,13	1,48402E-05
Vrbani	1,92	1,27792E-05
Jarun 1	3,25	2,11632E-05
Jarun 2	1,93	1,22443E-05
Jarun 3	2,28	1,47806E-05
Boćarski dom	2,45	1,67255E-05
Trešnjevka 2	2,83	2,04375E-05
Trešnjevka 3	1,72	1,15243E-05
Donji grad	3,32	2,44795E-05
Trg Dr.Franje Tuđmana	3,84	2,85117E-05
Kušlanova	2,88	1,83858E-05

## 5. Zaključci

Provedeno istraživanje obuhvatilo je terensko uzorkovanje, laboratorijske analize, istraživanje suvremene literature te matematičke izračune u svrhu procjene nekancerogenih i kancerogenih rizika mogućih oštećenja zdravlja djece nastalih zbog izlaganja metalima u tlima prilikom igre na 51 dječjem igralištu u Gradu Zagrebu.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da se u površinskom tlu (0 - 15 cm) na određenim dječjim igralištima nalaze povećane ukupne koncentracije metala koji se smatraju alergenima, kao što su krom i nikal (dječja igrališta Kašina sa 77,2 mg Cr kg<sup>-1</sup> tla i 89,1 mg Ni kg<sup>-1</sup> tla te Šašinovec sa 69,9 mg Cr kg<sup>-1</sup> tla); ili se smatraju toksičnima, primjerice Cd, Hg i Pb (dječja igrališta Donja Dubrava 2 s 1,44 mg Cd kg<sup>-1</sup> tla, Trg Franje Tuđmana s 0,46 mg Hg kg<sup>-1</sup> tla i Donji Grad sa 155 mg Pb kg<sup>-1</sup> tla).

Utvrđeno je da je rizik od nekancerogenog oboljenja prisutan na svim ispitivanim dječjim igralištima Grada Zagreba, a posebno na dječjim igralištima Kašina, Šašinovec, Luka, Dubec, Ravnice 3 i Borongaj (prema vrijednostima HI, engl. *Hazard Index*). Također, utvrđeno je i da je rizik od kancerogenog oboljenja prisutan na svim istraživanim dječjim igralištima Grada Zagreba (TCR, engl. *Total Cancer Risk*), ali da je taj rizik prihvatljiv. Prema navedenim parametrima, od 51 istraživanog dječjeg igrališta u Gradu Zagrebu, dječje igralište Kašina pokazalo se kao najmanje pogodno za igru. Dodatno, dermalni put izloženosti pokazao se kao najrizičniji za nekancerogena oboljenja, dok je u slučaju kancerogenih oboljenja rizik najveći oralnim i dermalnim putem izloženosti.

Zbog svega navedenog, ovo istraživanje omogućava pravovremeno prepoznavanje rizika za zdravlje djece nastalih korištenjem javnih dječjih igrališta u urbanoj sredini. Rezultati se mogu koristiti u svrhu izrade preporuke za daljnji način korištenja tala na igralištima za koja je utvrđena povećana koncentracija alergena (Cr, Ni) ili toksičnih elemenata (Cd, Hg i Pb), odnosno visoke vrijednosti parametara koji opisuju nekancerogeni i kancerogeni rizik; primjerice, korištenje igrališta uz prekrivanje tla (zatravljanje ili prekrivanje gumenim pločama).

## **Zahvala**

Zahvaljujemo se mentorici doktorici znanosti Lani Filipović na iskazanom povjerenju, uloženom trudu, vremenu, stručnim savjetima i velikoj pomoći koju nam je pružila tijekom izrade ovog rada. Hvala svim djelatnicima Zavoda za melioracije na sveukupnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

## 6. Popis literature

1. ATSDR (2005). Toxicological profile of nickel. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
2. ATSDR (2013). Toxicological Profile for Manganese. US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta. pp. 1-556.
3. Boateng T.K., Opoku F., Acquah S.O., Akoto O. (2015). Pollution evaluation, sources and risk assessment of heavy metals in hand-dug wells from Ejisu-Juaben Municipality, Ghana. *Environ Syst Res* 4, 18 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0045-y>.
4. Čulić S., Armanda V., (2013). Opterećenje željezom, hemosideroza u djece. *Paediatr Croat.* 2013; 57 (Supl 1): 198-202.
5. Đokić M., Bilandžić N., (2012). Iron- toxicological and nutritional aspects in the body. Vol. XIV [2012] | svibanj - lipanj | broj 3.
6. Đokić M., Bilandžić N., Đuras M., Gomerčić T. i Sedak M. (2017). Biokemijske funkcije i toksičnost mangana te njegove koncentracije u tkivima morskih sisavaca . *Veterinarska stanica*, 48 (6), 439-449. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/222679>.
7. Državni Zavod za Statistiku Republike Hrvatske (2016). Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. Kućanstva i obitelji. Zagreb, Statistička izvješća ISSN 1333-1876.
8. Faiz Y., Siddique N., Tufail M. (2012). Pollution level and health risk assessment of road dust from an expressway. *Journal of Environmental Science and Health Part A Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. DOI: 10.1080/10934529.2012.664994.
9. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006). Guidelines for soil description, FAO, Rome, 25-29.
10. Filipović L., Romić M., Romić D., Filipović V., Ondrašek G. (2018). Organic matter and salinity modify cadmium soil (phyto)availability. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147, 824 – 831.
11. Gračanin M. (1951). *Sistematika tala*. Školska knjiga, Zagreb.



12. Houba V. J. G., Uittenbogaard J., Pellen P. (1996). Wageningen evaluating programmes for analytical laboratories (WEPAL) organization and purpose. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27(3-4): 421-431.
13. HRN ISO 10390:2005 (2005). Kakvoća tla - Određivanje pH-vrijednosti (ISO 10390:2005). Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
14. HRN ISO 10693:2004 (2004). Kakvoća tla - Određivanje sadržaja karbonata - Volumetrijska metoda. Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
15. HRN ISO 11265:2004 (2005). Kakvoća tla - Određivanje specifične električne vodljivosti (ISO 11265:1994). Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
16. HRN ISO 11277:2004 (2004). Kvaliteta tla - Određivanje raspodjele veličine čestica (mehaničkog sastava) u mineralnom dijelu tla - Metoda prosijavanja i sedimentacije. Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
17. HRN ISO 11464:2004 (2004). Kakvoća tla - Priprema uzorka za fizikalno-kemijske analize. Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
18. HRN ISO 11466:2004 (2004). Kakvoća tla - Ekstrakcija elemenata topljivih u zlatotopci. Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
19. HRN ISO 14235:1998 (1998). Kakvoća tla - Određivanje organskog ugljika sulfokromnom oksidacijom. Međunarodni standard, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, Hrvatska.
20. Huang H., Lin C., Yu R., Yan Ya., Hu G., Li H. (2019). Contamination assessment, source apportionment and health risk assessment of heavy metals in paddy soils of Jiulong River Basin, Southeast China. *RSC Adv.*, 2019, 9, 14736.
21. Iyaka Y.A. (2011). Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. *Scientific Research and Essays* Vol. 6(33), pp. 6774-6777. DOI: 10.5897/SREX11.035.
22. Johnbull O., Abbassi B., Zytner R.G. (2019). Risk assessment of heavy metals in soil based on the geographic information system-Kriging technique in Anka,

- Nigeria. *Environmental Engineering Research* 2019; 24(1): 150-158. DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.130>.
23. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. (2007). *Trace elements from soil to human*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
  24. Kamunda C., Mathuthu M., Madhuku M. (2016). Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, 663; doi:10.3390/ijerph13070663.
  25. Klotz K., Weistenhöfer W., Neff F., Hartwig A., van Thriel C., Drexler H., (2017). The Health Effects of Aluminum Exposure. *Dtsch Arztebl Int.* 2017 Sep; 114(39): 653–659.
  26. Li J., Li F.D., Zhang Q.Y., Zhao G.S., Liu Q., Song S. (2013). Groundwater trace metal pollution and health risk assessment in agricultural areas. *Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World. Proceedings of H04, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 361, 2013)*.
  27. Lopes A.C., Peixe T.S., Mesas A.E., Paoliello M.M., (2016). Lead exposure and oxidative stress: a systematic review. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 236, 193e238. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-20013-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20013-2_3).
  28. Matović V., Buha A., Bulat Z. i Đukić-Ćosić D. (2011). Cadmium Toxicity Revisited: Focus on Oxidative Stress Induction and Interactions with Zinc and Magnesium. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 62 (1), 65-75. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-62-2011-2075>.
  29. McIlveen W.D., Negusanti J.J. (1994). Nickel in terrestrial environment. *Sci. Total Environ.*, 148: 109-138.
  30. Mielke H.W., Reagan P. L. (1998). Soil is an important pathway of human lead exposure, *Environ Health Prospect* 160(Suppl 1): 217-229. <http://ehpnetl.niehs.nih.gov/docs/1998/Suppl-1/217-229mielke/abstract.html>
  31. Miko S., Halamić J., Peh Z., Galović L. (2001). Geochemical Baseline Mapping of Soils Developed on Diverse Bedrock from Two Regions in Croatia. *Geologia Croatica*, 54 (1), 53- 118.

32. Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske (2015). Vodič o sigurnosti dječjih igrališta. Izvor: <https://www.mingo.hr/page/kategorija/e-publikacije> (Pristupljeno: 03.03.2020.)
33. Namjesnik K., Palinkaš A. L., Miko S., Durn G., Polić D., Kvrgrnjaš L. (1992). Lead, zinc, nickel and mercury in soil along road sides and of some rural and urban parts of Zagreb, Croatia.- Rud. Met. Zbornik, 39, 1-2, 93-112, Ljubljana.
34. Obasi N.A., Obasi S.E., Nwaeze E., Amadi S.O., Chinyere A., Aloh G.O. (2019). Heavy Metal Pollution and Human Health Risk Assessment of Farmlands around Enyigba Lead-Zinc Mining Site, Ebonyi State, Nigeria. World Congress on Civil, Structural and Environmental Engineering. Rome, Italy. DOI: 10.11159/iceptp19.135.
35. Onyedikachi U.B., Belonwu D.C., Wegwu M.O. (2018). Human health risk assessment of heavy metals in soils and commonly consumed food crops from quarry sites located at Isiagwu, Ebonyi State. Environmental Science. Ovidius University Annals of Chemistry. DOI:10.2478/auoc-2018-0002.
36. Palinkaš A. L., Namjesnik K., Miko S., Durn G., Pirc S. (1996). Distribution of mercury, lead and cadmium in Zagreb City Soils.- In: RICHARDSON, M. (ed.): Environmental Xenobiotics. Taylor & Francis, London, 355-374.
37. Pavlović G., Siketić S. (2011). 'KEMIJSKI ASPEKTI EKOTOKSIKOLOGIJE ŽIVE I NJEZINIH SPOJEVA', Sigurnost, 53(1), str. 17-28. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/67035> (Datum pristupa: 02.02.2020).
38. Peganova S., Edlet K. (2004). Zinc. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M (eds) Elements and their compounds in the environment. 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, pp 1203–1239.
39. Plum M. L., Rink L., Haase H., (2010). The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health. Institute of Immunology, Medical Faculty, RWTH Aachen University, Pauwelstrasse 30, 52074 Aachen, German. Int. J. Environ. Res. Public Health 2010, 7(4), 1342-1365.
40. Robert G., Mari G. (2003). Human Health Effects of Metals, US Environmental Protection Agency Risk Assessment Forum, Washington, DC.

41. Robson A.D. (1984). Soil acidity and plant growth, Soil Science and Plant Nutrition. School of Agriculture. The University of Western Australia.  
[https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=KL8gWPuOET0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=aluminium+in+soils&ots=7LHp5Mx5dL&sig=FW\\_b1u7qpvgI4IGbX70Xah-0MG4&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=KL8gWPuOET0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=aluminium+in+soils&ots=7LHp5Mx5dL&sig=FW_b1u7qpvgI4IGbX70Xah-0MG4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) (Pristupljeno: 03.02.2020.)
42. Romić M., Romić D. (1998). Contents of metals Pb, Cd, Zn and Cu in Agricultural Soils of zagreb and Its Surroundings. Department of Amelioration. Agronomski fakultet, Zagreb. AGRICULTURAE CONSPECTUS SCIENTIFICUS, Vol. 63, No. 3, 1998 (147-154).
43. Rosen C.J. (2002). Lead in the home garden and urban soil environment, Communication and Educational Technology Services, University of Minnesota Extension.
44. Shekhawat K., Chatterjee S., Joshi B., (2015). Chromium Toxicity and its Health Hazards. Department of Biotechnology, IIS University, Gurukul Marg, SFS, Mansarovar, Jaipur-302020, Rajasthan. International Journal of Advanced Research (2015), Volume 3, Issue 7, 167-172.
45. Škorić A. (1982). Priručnik za pedološka istraživanja. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
46. U.S. Environmental Protection Agency (2004). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment); USEPA: Washington, DC, USA.
47. US EPA (1989). US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Guidance for Superfund, Human Health Evaluation Manual (part A), 1, EPA/540/1-89/002.
48. US EPA (1996). US Environmental Protection Agency, Soil screening guidance: User`s guide, 4-23. Washington, DC 20460: Office of Solid Waste and Emergency Response, Publication 9355.
49. US EPA (2002). US Environmental Protection Agency, A Review of the Reference Dose and Reference Concentration Processes; dostupno na:  
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/rfd-final.pdf>,  
Preuzeto: 14.03.2020.

50. US EPA (2011). US Environmental Protection Agency, Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. EPA/600/R-09/052F. Washington, DC 20460: National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development.
51. Wallace D., Wallace R. (2008). Urban System during Disasters: Factors for Resilience. *Ecology and Society* 13 (1):18.
52. Wang N., Han J., Wei Y., Li G., Sun Y. (2019). Potential Ecological Risk and Health Risk Assessment of Heavy Metals and Metalloid in Soil around Xunyang Mining Areas. *Sustainability* 2019, 11, 4828; doi:10.3390/su11184828.
53. Woolf A., Wright R., Amarasiriwardena, C., Bellinger, D. (2002). A Child with Chronic Manganese Exposure from Drinking Water. Department of Pediatrics, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, USA. 110:613–616 (2002).
54. Wright D.A., Welbourn P. (2002). *Environmental Toxicology*. Cambridge environmental chemistry series 11, University Press, Cambridge.

Internetski izvori:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/CLT-100102423>

<http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/co/spojevi.html>

<https://meteo.hr/index.php>

[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)

## Sažetak

Ivana Fadljević, Dominik Königshofer

### Procjena nekancerogenih i kancerogenih rizika oštećenja zdravlja djece izlaganjem metalima u tlima dječjih igrališta Grada Zagreba

Urbana tla često sadrže toksične ili potencijalno toksične tvari, uključujući metale, koji mogu štetno djelovati na zdravlje čovjeka, a naročito djece. Nerijetko upravo dječja igrališta predstavljaju jedina mjesta za rekreaciju djece u urbanim sredinama. Cilj rada bio je utvrditi moguću opasnost za zdravlje djece određivanjem ukupnih koncentracija metala u tlu te procijeniti opasnost izračunavanjem nekancerogenih i kancerogenih rizika oštećenja zdravlja djece. U istraživanju je ispitano površinsko tlo (0 - 15 cm) uzeto s 51 javnog dječjeg igrališta Grada Zagreba. Laboratorijskim analizama određene su ukupne koncentracije metala u tlima, dok je procjena rizika oštećenja zdravlja djece učinjena izračunom rizika od nekancerogenog i kancerogenog oboljenja (oralnim, dermalnim i inhalacijskim putem). Rezultati su pokazali da se u tlima na određenim dječjim igralištima nalaze povećane ukupne koncentracije metala koji se smatraju alergenima, kao što su krom i nikal (dječja igrališta Kašina sa 77,2 mg Cr kg<sup>-1</sup> tla i 89,1 mg Ni kg<sup>-1</sup> tla te Šašincevec sa 69,9 mg Cr kg<sup>-1</sup> tla); ili se smatraju toksičnima, primjerice Cd, Hg i Pb (dječja igrališta Donja Dubrava 2 s 1,44 mg Cd kg<sup>-1</sup> tla, Trg Franje Tuđmana s 0,46 mg Hg kg<sup>-1</sup> tla i Donji Grad sa 155 mg Pb kg<sup>-1</sup> tla). Utvrđeno je i da je rizik od nekancerogenog oboljenja prisutan na svim igralištima, dok je rizik od kancerogenog oboljenja također prisutan na svim lokacijama, ali je on prihvatljiv. Prema navedenim parametrima, dječje igralište Kašina pokazalo se kao najmanje pogodno za igru. Dodatno, dermalni put izloženosti pokazao se kao najrizičniji za nekancerogena oboljenja, dok je u slučaju kancerogenih oboljenja rizik najveći oralnim i dermalnim putem izloženosti. Mjere prekrivanja tla kao što su zatravljanje ili prekrivanje gumenim pločama, mogle bi smanjiti prepoznate rizike.

**Ključne riječi:** urbani okoliš, dječja rekreacija, onečišćenje tala, zdravstveni rizik, alergeni

## Summary

**Ivana Fadljević, Dominik Königshofer**

### **The assessment of non-carcinogenic and carcinogenic children's health risks from exposure to metals in playground soils in the City of Zagreb**

Urban soils often contain toxic or potentially toxic substances, including metals, which can have a harmful effect on human, and especially children health. Children's playgrounds are frequently the only places for children's recreation in urban areas. The aim of this study was to determine possible hazards to children's health by determining the total concentrations of metals in soil, and by assessing the risks using mathematical calculations of non-carcinogenic and carcinogenic health risks. Surface soil (0 - 15 cm) from 51 public children's playground in the City of Zagreb was investigated. Total concentrations of metals in soil were measured in a laboratory, while the assessment of the health risks was done by calculating the non-carcinogenic and carcinogenic risks (including inhalation, oral and dermal exposure). Results from certain playgrounds showed elevated total concentrations of soil metals which are considered allergens, such as chromium and nickel (children's playgrounds Kašina with 77,2 mg Cr kg<sup>-1</sup> soil and 89,1 mg Ni kg<sup>-1</sup> soil, and Šašinovec with 69,9 mg Cr kg<sup>-1</sup> soil); and metals which are considered toxic, such as Cd, Hg and Pb (children's playgrounds Donja Dubrava 2 with 1,44 mg Cd kg<sup>-1</sup> soil, Trg Franje Tuđmana with 0,46 mg Hg kg<sup>-1</sup> soil and Donji Grad with 155 mg Pb kg<sup>-1</sup> soil). Non-carcinogenic and carcinogenic risks were confirmed for all investigated children's playgrounds, but the carcinogenic risk was identified as acceptable. According to the studied parameters, children's playground Kašina was recognized as the least favorable for children's play. Additionally, non-carcinogenic risk was found to be the highest through dermal exposure, and for carcinogenic risk through dermal and oral exposure. Soil covering measures using e.g., grass cover or rubber cubes, could decrease identified risks.

**Key words:** urban environment, children's recreation, soil contamination, health risk, allergens

## 7. Prilozi

Tablica P1. Vrijednost prosječnog dnevnog unosa teških metala u  $\text{mg kg}^{-1} \text{ dan}^{-1}$  za djecu na dječjim igralištima Grada Zagreba za procjenu nekancerogenog oboljenja oralnim putem izlaganja

Igralište	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
Dobrodol	1,05E-02	1,94E-04	3,15E-04	6,94E-03	4,05E-04	1,04E-03	4,60E-03	1,36E-04	2,67E-02	7,10E-03	4,85E-04
Kašina	1,77E-02	2,25E-04	6,12E-04	1,99E-02	7,03E-04	3,45E-03	4,96E-03	1,89E-04	3,68E-02	1,82E-02	2,37E-04
Šašinovec	1,59E-02	1,70E-04	4,92E-04	1,80E-02	5,17E-04	2,50E-03	3,94E-03	1,81E-04	3,28E-02	1,33E-02	2,04E-04
Kobiljak	1,78E-02	1,55E-04	3,24E-04	1,01E-02	3,87E-04	1,05E-03	2,99E-03	1,37E-04	2,82E-02	6,85E-03	1,96E-04
Luka	2,34E-02	1,55E-04	4,80E-04	1,29E-02	5,56E-04	1,38E-03	3,78E-03	1,80E-04	3,44E-02	1,31E-02	1,99E-04
Dubec	2,55E-02	1,55E-04	3,57E-04	1,39E-02	6,19E-04	1,45E-03	4,29E-03	1,97E-04	3,35E-02	6,41E-03	1,99E-04
Poljanice	2,39E-02	1,55E-04	4,18E-04	1,14E-02	4,47E-04	1,06E-03	4,00E-03	1,48E-04	3,46E-02	7,73E-03	2,71E-04
Gornja Dubrava	1,83E-02	1,55E-04	3,66E-04	8,00E-03	4,47E-04	1,10E-03	3,80E-03	1,54E-04	2,95E-02	1,20E-02	3,10E-04
Markuševac	1,49E-02	1,55E-04	3,41E-04	8,05E-03	5,98E-04	1,10E-03	5,29E-03	2,05E-04	2,63E-02	7,39E-03	1,88E-04
Šestine	1,18E-02	1,55E-04	2,23E-04	5,63E-03	3,31E-04	6,62E-04	3,21E-03	1,30E-04	2,01E-02	5,49E-03	2,89E-04
Črnomerec	9,37E-03	2,55E-04	1,97E-04	6,27E-03	4,22E-04	5,96E-04	5,20E-03	1,86E-04	1,94E-02	4,44E-03	5,60E-04
Vrapče	1,06E-02	1,55E-04	2,31E-04	5,55E-03	2,63E-04	7,01E-04	2,79E-03	1,09E-04	1,99E-02	6,16E-03	2,37E-04
Stenjevec	1,24E-02	2,63E-04	2,68E-04	6,74E-03	4,32E-04	1,02E-03	3,61E-03	1,70E-04	2,30E-02	5,91E-03	2,43E-04
Oranice	8,28E-03	1,55E-04	3,11E-04	5,86E-03	4,72E-04	9,17E-04	4,25E-03	1,54E-04	2,46E-02	7,24E-03	4,77E-04
Špansko	1,52E-02	1,55E-04	3,28E-04	7,66E-03	3,54E-04	8,98E-04	3,65E-03	1,46E-04	2,71E-02	9,11E-03	1,52E-04
Prečko	1,04E-02	1,55E-04	2,69E-04	6,76E-03	4,10E-04	8,75E-04	5,07E-03	1,60E-04	2,39E-02	7,12E-03	2,99E-04
Voltino	1,34E-02	2,17E-04	3,16E-04	8,70E-03	1,65E-03	1,26E-03	5,95E-03	2,45E-04	2,89E-02	8,26E-03	3,87E-04
Trešnjevka 1.	7,74E-03	1,55E-04	2,17E-04	5,32E-03	2,69E-04	6,35E-04	3,36E-03	1,20E-04	1,79E-02	4,75E-03	3,64E-04
Dubrava okretište	1,53E-02	1,78E-04	4,84E-04	9,94E-03	5,90E-04	1,20E-03	5,49E-03	2,33E-04	3,38E-02	1,38E-02	2,32E-04
Park Maksimir- veliki park	1,46E-02	1,55E-04	3,91E-04	1,08E-02	3,64E-04	9,83E-04	4,96E-03	1,53E-04	3,36E-02	7,27E-03	1,55E-04
Donja Dubrava	1,01E-02	1,63E-04	4,26E-04	8,59E-03	7,22E-04	1,44E-03	6,77E-03	2,54E-04	3,31E-02	1,29E-02	1,52E-04
Retkovec	1,05E-02	2,09E-04	3,14E-04	6,48E-03	4,20E-04	9,14E-04	4,25E-03	1,50E-04	2,72E-02	7,71E-03	2,79E-04



Igralište	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
Trnava	1,17E-02	1,55E-04	3,29E-04	7,51E-03	6,70E-04	1,06E-03	4,38E-03	1,89E-04	2,77E-02	7,20E-03	2,94E-04
Donja Dubrava 2.	1,51E-02	1,11E-03	4,03E-04	9,76E-03	2,01E-03	1,35E-03	5,35E-03	2,26E-04	3,46E-02	7,99E-03	1,75E-04
Ravnice 1.	1,40E-02	1,55E-04	4,18E-04	8,34E-03	5,65E-04	1,06E-03	5,31E-03	1,89E-04	3,43E-02	1,38E-02	5,11E-04
Ravnice 2.	1,01E-02	1,55E-04	3,39E-04	7,33E-03	4,14E-04	1,03E-03	3,50E-03	1,54E-04	2,53E-02	7,54E-03	1,16E-04
Ravnice 3.	2,13E-02	1,55E-04	5,54E-04	1,23E-02	8,05E-04	1,32E-03	6,92E-03	2,51E-04	4,18E-02	1,26E-02	2,97E-04
Borongaj	1,83E-02	2,71E-04	6,27E-04	1,24E-02	8,01E-04	1,39E-03	6,35E-03	2,38E-04	4,15E-02	1,53E-02	2,25E-04
Volovčica	7,42E-03	1,55E-04	2,30E-04	4,98E-03	2,65E-04	6,39E-04	3,69E-03	1,53E-04	1,81E-02	4,09E-03	2,94E-04
Folnegovićevo	9,14E-03	2,25E-04	2,53E-04	6,35E-03	6,99E-04	8,28E-04	8,89E-03	2,44E-04	2,28E-02	6,97E-03	8,72E-04
Savica 1.	7,38E-03	1,55E-04	1,90E-04	5,16E-03	4,43E-04	6,54E-04	6,77E-03	2,68E-04	1,85E-02	4,88E-03	5,16E-04
Savica 2.	1,01E-02	1,55E-04	3,00E-04	7,07E-03	7,22E-04	9,10E-04	5,38E-03	3,46E-04	2,38E-02	7,32E-03	7,15E-04
Trnje	1,34E-02	3,95E-04	3,63E-04	9,06E-03	7,59E-04	1,05E-03	8,72E-03	2,68E-04	2,99E-02	8,33E-03	8,44E-04
Kanal	1,32E-02	1,78E-04	3,95E-04	9,34E-03	1,24E-03	1,01E-03	1,25E-02	2,84E-04	3,09E-02	8,21E-03	5,96E-04
Sigečica	1,01E-02	2,17E-04	3,82E-04	7,69E-03	6,48E-04	1,26E-03	7,57E-03	1,99E-04	3,04E-02	1,29E-02	3,74E-04
Bundek	9,52E-03	1,55E-04	2,23E-04	5,03E-03	3,89E-04	7,01E-04	5,24E-03	1,50E-04	2,17E-02	6,23E-03	4,34E-04
Utrina	1,10E-02	1,86E-04	2,89E-04	5,73E-03	4,20E-04	9,56E-04	6,17E-03	1,69E-04	2,58E-02	7,47E-03	3,38E-04
Dugave	6,96E-03	1,55E-04	1,83E-04	4,10E-03	2,09E-04	6,04E-04	2,65E-03	1,05E-04	1,70E-02	4,65E-03	1,24E-04
Siget	1,10E-02	2,25E-04	2,33E-04	6,43E-03	4,88E-04	7,36E-04	5,18E-03	2,21E-04	2,42E-02	5,77E-03	5,99E-04
Lanište	1,15E-02	4,10E-04	2,52E-04	6,04E-03	4,41E-04	8,83E-04	4,87E-03	2,26E-04	2,64E-02	6,92E-03	3,61E-04
Lučko	6,95E-03	1,78E-04	2,42E-04	4,54E-03	3,56E-04	8,21E-04	5,71E-03	1,61E-04	2,39E-02	7,14E-03	3,15E-04
Vrbani	8,52E-03	1,55E-04	1,95E-04	4,75E-03	2,98E-04	6,62E-04	4,27E-03	1,54E-04	2,00E-02	5,37E-03	2,27E-04
Jarun 1.	1,80E-02	2,71E-04	3,38E-04	8,34E-03	4,20E-04	1,07E-03	4,47E-03	1,66E-04	3,07E-02	9,09E-03	2,66E-04
Jarun 2.	1,01E-02	1,55E-04	2,01E-04	4,41E-03	2,50E-04	6,43E-04	2,41E-03	1,08E-04	2,01E-02	5,44E-03	2,48E-04
Jarun 3.	1,22E-02	2,09E-04	2,09E-04	5,70E-03	3,04E-04	7,55E-04	3,61E-03	1,44E-04	2,29E-02	5,92E-03	3,15E-04
Boćarski dom	1,21E-02	1,55E-04	2,70E-04	6,30E-03	3,77E-04	8,63E-04	4,00E-03	1,55E-04	2,43E-02	6,85E-03	4,75E-04
Trešnjevka 2.	1,23E-02	1,55E-04	3,48E-04	7,95E-03	4,86E-04	1,04E-03	4,96E-03	1,63E-04	2,77E-02	7,54E-03	4,21E-04
Trešnjevka 3.	5,55E-03	1,55E-04	1,90E-04	3,72E-03	3,41E-04	6,27E-04	4,23E-03	1,37E-04	1,96E-02	5,44E-03	2,81E-04
Donji Grad	1,27E-02	1,86E-04	3,49E-04	1,05E-02	1,28E-03	1,18E-03	3,43E-02	3,64E-04	3,01E-02	7,67E-03	6,68E-04
Trg dr. Franje Tuđmana	1,68E-02	2,17E-04	4,65E-04	1,13E-02	1,19E-03	1,44E-03	1,50E-02	3,43E-04	3,72E-02	8,89E-03	1,19E-03
Kušlanova	1,47E-02	1,55E-04	3,17E-04	7,33E-03	6,52E-04	9,25E-04	7,45E-03	2,19E-04	2,89E-02	7,73E-03	8,54E-04

Tablica P2. Vrijednost prosječnog dnevnog unosa teških metala u  $\text{mg kg}^{-1} \text{ dan}^{-1}$  za djecu na dječjim igralištima Grada Zagreba za procjenu nekancerogenog oboljenja putem inhalatognog izlaganja

Igralište	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
Dobrodol	1,71E-03	4,52E-06	1,03E-05	1,70E-04	9,41E-07	2,36E-07	1,07E-06	3,18E-08	6,23E-06	5,34E-03	3,97E-07
Kašina	2,90E-03	5,25E-06	2,00E-05	4,89E-04	1,63E-06	7,83E-07	1,15E-06	4,43E-08	8,61E-06	1,37E-02	1,94E-07
Šašincev	2,59E-03	3,98E-06	1,61E-05	4,42E-04	1,20E-06	5,68E-07	9,15E-07	4,23E-08	7,68E-06	1,00E-02	1,67E-07
Kobiljak	2,91E-03	3,62E-06	1,06E-05	2,47E-04	9,00E-07	2,38E-07	6,94E-07	3,19E-08	6,59E-06	5,15E-03	1,61E-07
Luka	3,82E-03	3,62E-06	1,57E-05	3,16E-04	1,29E-06	3,14E-07	8,79E-07	4,21E-08	8,04E-06	9,82E-03	1,63E-07
Dubec	4,18E-03	3,62E-06	1,17E-05	3,42E-04	1,44E-06	3,29E-07	9,97E-07	4,60E-08	7,83E-06	4,82E-03	1,63E-07
Poljanice	3,91E-03	3,62E-06	1,37E-05	2,78E-04	1,04E-06	2,41E-07	9,31E-07	3,47E-08	8,09E-06	5,81E-03	2,22E-07
Gornja Dubrava	3,00E-03	3,62E-06	1,20E-05	1,96E-04	1,04E-06	2,50E-07	8,84E-07	3,59E-08	6,90E-06	9,05E-03	2,53E-07
Markuševec	2,44E-03	3,62E-06	1,12E-05	1,97E-04	1,39E-06	2,50E-07	1,23E-06	4,78E-08	6,15E-06	5,56E-03	1,54E-07
Šestine	1,94E-03	3,62E-06	7,29E-06	1,38E-04	7,70E-07	1,50E-07	7,46E-07	3,03E-08	4,71E-06	4,13E-03	2,37E-07
Čnomerec	1,53E-03	5,97E-06	6,45E-06	1,54E-04	9,81E-07	1,35E-07	1,21E-06	4,34E-08	4,52E-06	3,34E-03	4,58E-07
Vrapče	1,73E-03	3,62E-06	7,57E-06	1,36E-04	6,12E-07	1,59E-07	6,48E-07	2,56E-08	4,65E-06	4,63E-03	1,94E-07
Stenjevec	2,03E-03	6,15E-06	8,76E-06	1,65E-04	1,00E-06	2,32E-07	8,38E-07	3,98E-08	5,38E-06	4,44E-03	1,99E-07
Oranice	1,35E-03	3,62E-06	1,02E-05	1,44E-04	1,10E-06	2,08E-07	9,87E-07	3,60E-08	5,74E-06	5,44E-03	3,91E-07
Špansko	2,48E-03	3,62E-06	1,07E-05	1,88E-04	8,24E-07	2,04E-07	8,48E-07	3,42E-08	6,33E-06	6,85E-03	1,25E-07
Prečko	1,70E-03	3,62E-06	8,78E-06	1,66E-04	9,54E-07	1,99E-07	1,18E-06	3,75E-08	5,58E-06	5,35E-03	2,45E-07
Voltino	2,19E-03	5,07E-06	1,03E-05	2,13E-04	3,83E-06	2,86E-07	1,38E-06	5,73E-08	6,75E-06	6,21E-03	3,17E-07
Trešnjevka 1.	1,27E-03	3,62E-06	7,10E-06	1,30E-04	6,26E-07	1,44E-07	7,82E-07	2,81E-08	4,19E-06	3,57E-03	2,98E-07
Dubrava okretište	2,51E-03	4,16E-06	1,58E-05	2,44E-04	1,37E-06	2,72E-07	1,28E-06	5,44E-08	7,91E-06	1,04E-02	1,90E-07
Park Maksimir- veliki park	2,38E-03	3,62E-06	1,28E-05	2,65E-04	8,46E-07	2,23E-07	1,15E-06	3,58E-08	7,86E-06	5,47E-03	1,27E-07
Donja Dubrava	1,66E-03	3,80E-06	1,39E-05	2,11E-04	1,68E-06	3,28E-07	1,57E-06	5,93E-08	7,73E-06	9,73E-03	1,25E-07
Retkovec	1,72E-03	4,89E-06	1,03E-05	1,59E-04	9,77E-07	2,07E-07	9,87E-07	3,52E-08	6,36E-06	5,80E-03	2,28E-07
Trnava	1,91E-03	3,62E-06	1,07E-05	1,84E-04	1,56E-06	2,42E-07	1,02E-06	4,43E-08	6,46E-06	5,42E-03	2,41E-07
Donja Dubrava 2.	2,47E-03	2,61E-05	1,32E-05	2,39E-04	4,68E-06	3,07E-07	1,24E-06	5,28E-08	8,09E-06	6,01E-03	1,44E-07

Igralište	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
Ravnice 1.	2,29E-03	3,62E-06	1,37E-05	2,04E-04	1,31E-06	2,40E-07	1,23E-06	4,41E-08	8,02E-06	1,04E-02	4,18E-07
Ravnice 2.	1,65E-03	3,62E-06	1,11E-05	1,80E-04	9,63E-07	2,33E-07	8,12E-07	3,61E-08	5,92E-06	5,67E-03	9,50E-08
Ravnice 3.	3,48E-03	3,62E-06	1,81E-05	3,01E-04	1,87E-06	2,99E-07	1,61E-06	5,86E-08	9,77E-06	9,45E-03	2,43E-07
Borongaj	2,99E-03	6,33E-06	2,05E-05	3,03E-04	1,86E-06	3,16E-07	1,48E-06	5,56E-08	9,70E-06	1,15E-02	1,84E-07
Volovčica	1,21E-03	3,62E-06	7,53E-06	1,22E-04	6,17E-07	1,45E-07	8,59E-07	3,57E-08	4,24E-06	3,08E-03	2,41E-07
Folnegovićevo	1,49E-03	5,25E-06	8,28E-06	1,56E-04	1,63E-06	1,88E-07	2,07E-06	5,71E-08	5,33E-06	5,24E-03	7,14E-07
Savica 1.	1,21E-03	3,62E-06	6,21E-06	1,27E-04	1,03E-06	1,48E-07	1,57E-06	6,27E-08	4,32E-06	3,67E-03	4,22E-07
Savica 2.	1,65E-03	3,62E-06	9,80E-06	1,73E-04	1,68E-06	2,06E-07	1,25E-06	8,08E-08	5,56E-06	5,51E-03	5,85E-07
Trnje	2,19E-03	9,23E-06	1,19E-05	2,22E-04	1,76E-06	2,38E-07	2,03E-06	6,27E-08	6,98E-06	6,26E-03	6,91E-07
Kanal	2,16E-03	4,16E-06	1,29E-05	2,29E-04	2,89E-06	2,29E-07	2,89E-06	6,64E-08	7,21E-06	6,18E-03	4,88E-07
Sigečica	1,65E-03	5,07E-06	1,25E-05	1,89E-04	1,51E-06	2,86E-07	1,76E-06	4,65E-08	7,11E-06	9,67E-03	3,06E-07
Bundek	1,56E-03	3,62E-06	7,28E-06	1,23E-04	9,05E-07	1,59E-07	1,22E-06	3,51E-08	5,07E-06	4,68E-03	3,55E-07
Utrina	1,80E-03	4,34E-06	9,45E-06	1,40E-04	9,77E-07	2,17E-07	1,43E-06	3,95E-08	6,02E-06	5,62E-03	2,77E-07
Dugave	1,14E-03	3,62E-06	5,99E-06	1,01E-04	4,86E-07	1,37E-07	6,17E-07	2,44E-08	3,98E-06	3,49E-03	1,01E-07
Siget	1,80E-03	5,25E-06	7,63E-06	1,58E-04	1,13E-06	1,67E-07	1,20E-06	5,17E-08	5,66E-06	4,34E-03	4,90E-07
Lanište	1,89E-03	9,59E-06	8,24E-06	1,48E-04	1,03E-06	2,00E-07	1,13E-06	5,27E-08	6,18E-06	5,20E-03	2,96E-07
Lučko	1,14E-03	4,16E-06	7,92E-06	1,11E-04	8,28E-07	1,86E-07	1,33E-06	3,76E-08	5,58E-06	5,37E-03	2,58E-07
Vrbani	1,39E-03	3,62E-06	6,38E-06	1,16E-04	6,93E-07	1,50E-07	9,92E-07	3,61E-08	4,68E-06	4,04E-03	1,86E-07
Jarun 1.	2,95E-03	6,33E-06	1,10E-05	2,04E-04	9,77E-07	2,43E-07	1,04E-06	3,87E-08	7,19E-06	6,83E-03	2,18E-07
Jarun 2.	1,66E-03	3,62E-06	6,56E-06	1,08E-04	5,81E-07	1,46E-07	5,60E-07	2,52E-08	4,71E-06	4,09E-03	2,03E-07
Jarun 3.	1,99E-03	4,89E-06	6,83E-06	1,40E-04	7,07E-07	1,71E-07	8,38E-07	3,37E-08	5,35E-06	4,46E-03	2,58E-07
Bočarski dom	1,97E-03	3,62E-06	8,82E-06	1,54E-04	8,78E-07	1,96E-07	9,31E-07	3,63E-08	5,69E-06	5,15E-03	3,89E-07
Trešnjevka 2.	2,01E-03	3,62E-06	1,14E-05	1,95E-04	1,13E-06	2,36E-07	1,15E-06	3,81E-08	6,46E-06	5,67E-03	3,44E-07
Trešnjevka 3.	9,07E-04	3,62E-06	6,20E-06	9,11E-05	7,92E-07	1,42E-07	9,82E-07	3,21E-08	4,58E-06	4,09E-03	2,30E-07
Donji Grad	2,08E-03	4,34E-06	1,14E-05	2,58E-04	2,97E-06	2,67E-07	7,97E-06	8,51E-08	7,03E-06	5,77E-03	5,47E-07
Trg dr. Franje Tuđmana	2,75E-03	5,07E-06	1,52E-05	2,77E-04	2,77E-06	3,26E-07	3,48E-06	8,02E-08	8,69E-06	6,68E-03	9,76E-07
Kušlanova	2,40E-03	3,62E-06	1,04E-05	1,80E-04	1,52E-06	2,10E-07	1,73E-06	5,13E-08	6,75E-06	5,81E-03	6,99E-07

Tablica P3. Vrijednost prosječnog dnevnog unosa teških metala u  $\text{mg kg}^{-1} \text{ dan}^{-1}$  za djecu na dječjim igralištima Grada Zagreba za procjenu nekancerogenog oboljenja putem dermalnog izlaganja

Igralište	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
Dobrodol	2,43E-01	6,31E-02	3,00E-03	8,08E-01	3,14E-03	3,14E-02	4,29E-03	3,17E-04	9,66E-01	4,14E-01	8,07E-03
Kašina	4,13E-01	7,32E-02	5,81E-03	2,32E+00	5,46E-03	1,04E-01	4,62E-03	4,41E-04	1,33E+00	1,06E+00	3,95E-03
Šašinovec	3,70E-01	5,55E-02	4,67E-03	2,10E+00	4,01E-03	7,55E-02	3,67E-03	4,21E-04	1,19E+00	7,75E-01	3,39E-03
Kobiljak	4,15E-01	5,05E-02	3,08E-03	1,18E+00	3,01E-03	3,17E-02	2,78E-03	3,18E-04	1,02E+00	3,99E-01	3,26E-03
Luka	5,45E-01	5,05E-02	4,56E-03	1,50E+00	4,31E-03	4,17E-02	3,52E-03	4,20E-04	1,25E+00	7,61E-01	3,31E-03
Dubec	5,95E-01	5,05E-02	3,40E-03	1,62E+00	4,81E-03	4,37E-02	4,00E-03	4,58E-04	1,21E+00	3,73E-01	3,31E-03
Poljanice	5,57E-01	5,05E-02	3,97E-03	1,32E+00	3,47E-03	3,20E-02	3,73E-03	3,46E-04	1,25E+00	4,50E-01	4,51E-03
Gornja Dubrava	4,27E-01	5,05E-02	3,48E-03	9,32E-01	3,47E-03	3,32E-02	3,54E-03	3,58E-04	1,07E+00	7,01E-01	5,15E-03
Markuševac	3,48E-01	5,05E-02	3,25E-03	9,38E-01	4,64E-03	3,33E-02	4,93E-03	4,77E-04	9,54E-01	4,30E-01	3,13E-03
Šestine	2,76E-01	5,05E-02	2,12E-03	6,55E-01	2,57E-03	2,00E-02	2,99E-03	3,02E-04	7,29E-01	3,19E-01	4,81E-03
Črnomerec	2,18E-01	8,33E-02	1,88E-03	7,30E-01	3,28E-03	1,80E-02	4,84E-03	4,33E-04	7,01E-01	2,59E-01	9,32E-03
Vrapče	2,47E-01	5,05E-02	2,20E-03	6,46E-01	2,04E-03	2,12E-02	2,60E-03	2,55E-04	7,21E-01	3,59E-01	3,95E-03
Stenjevec	2,89E-01	8,58E-02	2,55E-03	7,84E-01	3,35E-03	3,09E-02	3,36E-03	3,96E-04	8,34E-01	3,44E-01	4,04E-03
Oranice	1,93E-01	5,05E-02	2,96E-03	6,82E-01	3,67E-03	2,77E-02	3,96E-03	3,59E-04	8,90E-01	4,21E-01	7,94E-03
Špansko	3,53E-01	5,05E-02	3,12E-03	8,93E-01	2,75E-03	2,71E-02	3,40E-03	3,41E-04	9,82E-01	5,30E-01	2,53E-03
Prečko	2,42E-01	5,05E-02	2,55E-03	7,87E-01	3,19E-03	2,64E-02	4,72E-03	3,73E-04	8,66E-01	4,15E-01	4,98E-03
Voltino	3,12E-01	7,07E-02	3,00E-03	1,01E+00	1,28E-02	3,80E-02	5,54E-03	5,70E-04	1,05E+00	4,81E-01	6,44E-03
Trešnjevka 1.	1,80E-01	5,05E-02	2,06E-03	6,19E-01	2,09E-03	1,92E-02	3,13E-03	2,80E-04	6,49E-01	2,76E-01	6,05E-03
Dubrava okretište	3,57E-01	5,81E-02	4,60E-03	1,16E+00	4,58E-03	3,62E-02	5,11E-03	5,42E-04	1,23E+00	8,03E-01	3,86E-03
Park Maksimir-veliki park	3,39E-01	5,05E-02	3,72E-03	1,26E+00	2,83E-03	2,97E-02	4,62E-03	3,57E-04	1,22E+00	4,23E-01	2,58E-03
Donja Dubrava	2,36E-01	5,30E-02	4,05E-03	1,00E+00	5,61E-03	4,36E-02	6,31E-03	5,91E-04	1,20E+00	7,54E-01	2,53E-03
Retkovec	2,45E-01	6,82E-02	2,98E-03	7,54E-01	3,26E-03	2,76E-02	3,96E-03	3,50E-04	9,86E-01	4,49E-01	4,64E-03
Trnava	2,72E-01	5,05E-02	3,12E-03	8,75E-01	5,20E-03	3,21E-02	4,08E-03	4,41E-04	1,00E+00	4,19E-01	4,89E-03
Donja Dubrava 2.	3,52E-01	3,64E-01	3,83E-03	1,14E+00	1,56E-02	4,09E-02	4,99E-03	5,27E-04	1,25E+00	4,66E-01	2,92E-03

Igralište	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
Ravnice 1.	3,26E-01	5,05E-02	3,97E-03	9,71E-01	4,39E-03	3,19E-02	4,95E-03	4,39E-04	1,24E+00	8,04E-01	8,50E-03
Ravnice 2.	2,34E-01	5,05E-02	3,22E-03	8,54E-01	3,22E-03	3,10E-02	3,26E-03	3,59E-04	9,18E-01	4,39E-01	1,93E-03
Ravnice 3.	4,96E-01	5,05E-02	5,26E-03	1,43E+00	6,25E-03	3,97E-02	6,45E-03	5,84E-04	1,51E+00	7,32E-01	4,94E-03
Borongaj	4,26E-01	8,84E-02	5,96E-03	1,44E+00	6,22E-03	4,21E-02	5,91E-03	5,54E-04	1,50E+00	8,91E-01	3,74E-03
Volovčica	1,73E-01	5,05E-02	2,19E-03	5,80E-01	2,06E-03	1,93E-02	3,44E-03	3,56E-04	6,57E-01	2,38E-01	4,89E-03
Folnegovićevo	2,13E-01	7,32E-02	2,41E-03	7,39E-01	5,42E-03	2,50E-02	8,28E-03	5,69E-04	8,26E-01	4,06E-01	1,45E-02
Savica 1.	1,72E-01	5,05E-02	1,81E-03	6,01E-01	3,44E-03	1,98E-02	6,31E-03	6,25E-04	6,69E-01	2,84E-01	8,59E-03
Savica 2.	2,34E-01	5,05E-02	2,85E-03	8,24E-01	5,61E-03	2,75E-02	5,01E-03	8,05E-04	8,62E-01	4,26E-01	1,19E-02
Trnje	3,12E-01	1,29E-01	3,45E-03	1,05E+00	5,89E-03	3,17E-02	8,12E-03	6,25E-04	1,08E+00	4,85E-01	1,40E-02
Kanal	3,08E-01	5,81E-02	3,75E-03	1,09E+00	9,66E-03	3,05E-02	1,16E-02	6,61E-04	1,12E+00	4,78E-01	9,92E-03
Sigečica	2,34E-01	7,07E-02	3,64E-03	8,96E-01	5,03E-03	3,80E-02	7,05E-03	4,63E-04	1,10E+00	7,49E-01	6,23E-03
Bundek	2,22E-01	5,05E-02	2,12E-03	5,86E-01	3,02E-03	2,12E-02	4,88E-03	3,50E-04	7,85E-01	3,63E-01	7,21E-03
Utrina	2,56E-01	6,06E-02	2,75E-03	6,67E-01	3,26E-03	2,89E-02	5,75E-03	3,94E-04	9,34E-01	4,35E-01	5,62E-03
Dugave	1,62E-01	5,05E-02	1,74E-03	4,78E-01	1,62E-03	1,82E-02	2,47E-03	2,43E-04	6,17E-01	2,70E-01	2,06E-03
Siget	2,56E-01	7,32E-02	2,22E-03	7,48E-01	3,79E-03	2,22E-02	4,82E-03	5,15E-04	8,78E-01	3,36E-01	9,96E-03
Lanište	2,69E-01	1,34E-01	2,40E-03	7,03E-01	3,43E-03	2,66E-02	4,53E-03	5,25E-04	9,58E-01	4,03E-01	6,01E-03
Lučko	1,62E-01	5,81E-02	2,30E-03	5,29E-01	2,77E-03	2,48E-02	5,32E-03	3,75E-04	8,66E-01	4,16E-01	5,24E-03
Vrbani	1,98E-01	5,05E-02	1,85E-03	5,53E-01	2,31E-03	2,00E-02	3,98E-03	3,59E-04	7,25E-01	3,13E-01	3,78E-03
Jarun 1.	4,20E-01	8,84E-02	3,21E-03	9,71E-01	3,26E-03	3,24E-02	4,16E-03	3,86E-04	1,11E+00	5,29E-01	4,42E-03
Jarun 2.	2,36E-01	5,05E-02	1,91E-03	5,14E-01	1,94E-03	1,94E-02	2,25E-03	2,51E-04	7,29E-01	3,17E-01	4,12E-03
Jarun 3.	2,83E-01	6,82E-02	1,99E-03	6,64E-01	2,36E-03	2,28E-02	3,36E-03	3,35E-04	8,30E-01	3,45E-01	5,24E-03
Boćarski dom	2,81E-01	5,05E-02	2,57E-03	7,33E-01	2,93E-03	2,61E-02	3,73E-03	3,62E-04	8,82E-01	3,99E-01	7,90E-03
Trešnjevka 2.	2,87E-01	5,05E-02	3,31E-03	9,26E-01	3,77E-03	3,14E-02	4,62E-03	3,80E-04	1,00E+00	4,39E-01	7,00E-03
Trešnjevka 3.	1,29E-01	5,05E-02	1,80E-03	4,33E-01	2,64E-03	1,89E-02	3,94E-03	3,20E-04	7,09E-01	3,17E-01	4,68E-03
Donji Grad	2,96E-01	6,06E-02	3,32E-03	1,22E+00	9,92E-03	3,55E-02	3,19E-02	8,48E-04	1,09E+00	4,47E-01	1,11E-02
Trg dr. Franje Tuđmana	3,91E-01	7,07E-02	4,42E-03	1,32E+00	9,24E-03	4,34E-02	1,40E-02	7,99E-04	1,35E+00	5,17E-01	1,98E-02
Kušlanova	3,43E-01	5,05E-02	3,02E-03	8,54E-01	5,06E-03	2,79E-02	6,95E-03	5,11E-04	1,05E+00	4,50E-01	1,42E-02

Tablica P4. Vrijednost prosječnog dnevnog unosa teških metala u  $\text{mg kg}^{-1} \text{ dan}^{-1}$  za djecu na dječjim igralištima Grada Zagreba za procjenu kancerogenog oboljenja oralnim putem izlaganja

Igralište	Cd	Cr	Ni	Pb
Dobrodol	1,89504E-08	2,68835E-06	9,12213E-06	3,52677E-08
Kašina	2,19825E-08	7,71525E-06	3,02149E-05	3,79806E-08
Šašinovec	1,66764E-08	6,9857E-06	2,19067E-05	3,0181E-08
Kobiljak	1,51603E-08	3,90759E-06	9,18995E-06	2,28901E-08
Luka	1,51603E-08	4,99692E-06	1,21063E-05	2,89941E-08
Dubec	1,51603E-08	5,39668E-06	1,26828E-05	3,28939E-08
Poljanice	1,51603E-08	4,39729E-06	9,29169E-06	3,06897E-08
Gornja Dubrava	1,51603E-08	3,09809E-06	9,6308E-06	2,91637E-08
Markuševac	1,51603E-08	3,11808E-06	9,66471E-06	4,0524E-08
Šestine	1,51603E-08	2,17866E-06	5,79883E-06	2,45857E-08
Črnomerec	2,50145E-08	2,42851E-06	5,22233E-06	3,98457E-08
Vrapče	1,51603E-08	2,14868E-06	6,13794E-06	2,13641E-08
Stenjevec	2,57726E-08	2,60839E-06	8,95257E-06	2,76377E-08
Oranice	1,51603E-08	2,2686E-06	8,03697E-06	3,25548E-08
Špansko	1,51603E-08	2,96817E-06	7,86741E-06	2,79768E-08
Prečko	1,51603E-08	2,61839E-06	7,66395E-06	3,88284E-08
Voltino	2,12245E-08	3,36793E-06	1,10212E-05	4,56106E-08
Trešnjevka 1.	1,51603E-08	2,05873E-06	5,56145E-06	2,57726E-08
Dubrava okretište	1,74344E-08	3,84763E-06	1,05125E-05	4,205E-08
Park Maksimir-veliki park	1,51603E-08	4,18742E-06	8,61346E-06	3,79806E-08
Donja Dubrava	1,59183E-08	3,32795E-06	1,26489E-05	5,18842E-08
Retkovec	2,04664E-08	2,50846E-06	8,00306E-06	3,25548E-08
Trnava	1,51603E-08	2,90821E-06	9,3256E-06	3,35722E-08
Donja Dubrava 2.	1,09154E-07	3,77767E-06	1,18689E-05	4,10326E-08
Ravnice 1.	1,51603E-08	3,22801E-06	9,25777E-06	4,06935E-08

Igralište	Cd	Cr	Ni	Pb
Ravnice 2.	1,51603E-08	2,83825E-06	8,98648E-06	2,67899E-08
Ravnice 3.	1,51603E-08	4,74708E-06	1,15298E-05	5,30711E-08
Borongaj	2,65306E-08	4,78705E-06	1,22081E-05	4,86627E-08
Volovčica	1,51603E-08	1,92881E-06	5,59536E-06	2,83159E-08
Folnegovićevo	2,19825E-08	2,45849E-06	7,25701E-06	6,81616E-08
Savica 1.	1,51603E-08	1,99877E-06	5,731E-06	5,18842E-08
Savica 2.	1,51603E-08	2,73831E-06	7,96915E-06	4,12022E-08
Trnje	3,86588E-08	3,50784E-06	9,18995E-06	6,68052E-08
Kanal	1,74344E-08	3,61777E-06	8,85084E-06	9,54602E-08
Sigečica	2,12245E-08	2,97817E-06	1,10212E-05	5,79883E-08
Bundek	1,51603E-08	1,9488E-06	6,13794E-06	4,01848E-08
Utrina	1,81924E-08	2,21863E-06	8,37608E-06	4,73062E-08
Dugave	1,51603E-08	1,58902E-06	5,29016E-06	2,03468E-08
Siget	2,19825E-08	2,48847E-06	6,44314E-06	3,96762E-08
Lanište	4,01749E-08	2,33856E-06	7,73177E-06	3,73024E-08
Lučko	1,74344E-08	1,75892E-06	7,18919E-06	4,37455E-08
Vrbani	1,51603E-08	1,83887E-06	5,79883E-06	3,27244E-08
Jarun 1.	2,65306E-08	3,22801E-06	9,39342E-06	3,42504E-08
Jarun 2.	1,51603E-08	1,70895E-06	5,62927E-06	1,84816E-08
Jarun 3.	2,04664E-08	2,20864E-06	6,6127E-06	2,76377E-08
Boćarski dom	1,51603E-08	2,4385E-06	7,56221E-06	3,06897E-08
Trešnjevka 2.	1,51603E-08	3,07811E-06	9,12213E-06	3,79806E-08
Trešnjevka 3.	1,51603E-08	1,43911E-06	5,49362E-06	3,23853E-08
Donji Grad	1,81924E-08	4,0675E-06	1,0309E-05	2,62812E-07
Trg dr. Franje Tuđmana	2,12245E-08	4,37731E-06	1,25811E-05	1,1479E-07
Kušlanova	1,51603E-08	2,83825E-06	8,10479E-06	5,71405E-08

Tablica P5. Vrijednost prosječnog dnevnog unosa teških metala u mg kg<sup>-1</sup> dan<sup>-1</sup> za djecu na dječjim igralištima Grada Zagreba za procjenu kancerogenog oboljenja putem inhalatornog izlaganja

Igralište	Cd	Co	Cr	Ni	Pb
Dobrodol	7,34429E-11	3,7198E-09	5,26831E-10	1,05366E-09	4,07363E-09
Kašina	8,51938E-11	7,22026E-09	1,51195E-09	3,49001E-09	4,38699E-09
Šašincevec	6,46298E-11	5,80362E-09	1,36898E-09	2,53035E-09	3,48609E-09
Kobiljak	5,87543E-11	3,82948E-09	7,65765E-10	1,0615E-09	2,64395E-09
Luka	5,87543E-11	5,66653E-09	9,79239E-10	1,39835E-09	3,349E-09
Dubec	5,87543E-11	4,21791E-09	1,05758E-09	1,46494E-09	3,79945E-09
Poljanice	5,87543E-11	4,93536E-09	8,6173E-10	1,07325E-09	3,54485E-09
Gornja Dubrava	5,87543E-11	4,32301E-09	6,07128E-10	1,11242E-09	3,36858E-09
Markuševac	5,87543E-11	4,03055E-09	6,11045E-10	1,11633E-09	4,68076E-09
Šestine	5,87543E-11	2,63219E-09	4,26948E-10	6,698E-10	2,83979E-09
Črnomerec	9,69447E-11	2,33059E-09	4,7591E-10	6,03211E-10	4,60242E-09
Vrapče	5,87543E-11	2,73273E-09	4,21073E-10	7,08969E-10	2,46768E-09
Stenjevec	9,98824E-11	3,16229E-09	5,11163E-10	1,03408E-09	3,19232E-09
Oranice	5,87543E-11	3,66954E-09	4,44575E-10	9,28319E-10	3,76028E-09
Špansko	5,87543E-11	3,87518E-09	5,81668E-10	9,08734E-10	3,23149E-09
Prečko	5,87543E-11	3,17143E-09	5,13121E-10	8,85232E-10	4,48491E-09
Voltino	8,22561E-11	3,72894E-09	6,60007E-10	1,27301E-09	5,26831E-09
Trešnjevka 1.	5,87543E-11	2,56365E-09	4,03446E-10	6,42381E-10	2,97689E-09
Dubrava okretište	6,75675E-11	5,71223E-09	7,54014E-10	1,21426E-09	4,85703E-09
Park Maksimir-veliki park	5,87543E-11	4,61548E-09	8,20602E-10	9,94907E-10	4,38699E-09
Donja Dubrava	6,16921E-11	5,02676E-09	6,52173E-10	1,46102E-09	5,99294E-09
Retkovec	7,93184E-11	3,70609E-09	4,91578E-10	9,24402E-10	3,76028E-09
Trnava	5,87543E-11	3,87975E-09	5,69917E-10	1,07716E-09	3,87779E-09
Donja Dubrava 2.	4,23031E-10	4,75257E-09	7,40305E-10	1,37093E-09	4,73952E-09
Ravnice 1.	5,87543E-11	4,93536E-09	6,32588E-10	1,06933E-09	4,70035E-09



Igralište	Cd	Co	Cr	Ni	Pb
Ravnice 2.	5,87543E-11	3,99856E-09	5,56208E-10	1,03799E-09	3,0944E-09
Ravnice 3.	5,87543E-11	6,53479E-09	9,30277E-10	1,33177E-09	6,13004E-09
Borongaj	1,0282E-10	7,40305E-09	9,38111E-10	1,4101E-09	5,62083E-09
Volovčica	5,87543E-11	2,71902E-09	3,77986E-10	6,46298E-10	3,27066E-09
Folnegovićevo	8,51938E-11	2,98864E-09	4,81786E-10	8,38229E-10	7,87308E-09
Savica 1.	5,87543E-11	2,24376E-09	3,91696E-10	6,61966E-10	5,99294E-09
Savica 2.	5,87543E-11	3,53701E-09	5,36623E-10	9,20485E-10	4,7591E-09
Trnje	1,49824E-10	4,28189E-09	6,87426E-10	1,0615E-09	7,7164E-09
Kanal	6,75675E-11	4,66118E-09	7,08969E-10	1,02233E-09	1,10262E-08
Sigečica	8,22561E-11	4,51494E-09	5,83626E-10	1,27301E-09	6,698E-09
Bundek	5,87543E-11	2,62762E-09	3,81903E-10	7,08969E-10	4,64159E-09
Utrina	7,05052E-11	3,41363E-09	4,34782E-10	9,67488E-10	5,46415E-09
Dugave	5,87543E-11	2,16151E-09	3,11398E-10	6,11045E-10	2,35017E-09
Siget	8,51938E-11	2,75558E-09	4,87661E-10	7,44222E-10	4,58284E-09
Lanište	1,55699E-10	2,97493E-09	4,58284E-10	8,93066E-10	4,30865E-09
Lučko	6,75675E-11	2,86068E-09	3,44692E-10	8,30395E-10	5,05287E-09
Vrbani	5,87543E-11	2,30317E-09	3,6036E-10	6,698E-10	3,77986E-09
Jarun 1.	1,0282E-10	3,98485E-09	6,32588E-10	1,085E-09	3,95613E-09
Jarun 2.	5,87543E-11	2,36715E-09	3,349E-10	6,50215E-10	2,13474E-09
Jarun 3.	7,93184E-11	2,46768E-09	4,32824E-10	7,63806E-10	3,19232E-09
Boćarski dom	5,87543E-11	3,18514E-09	4,77869E-10	8,73481E-10	3,54485E-09
Trešnjevka 2.	5,87543E-11	4,1128E-09	6,03211E-10	1,05366E-09	4,38699E-09
Trešnjevka 3.	5,87543E-11	2,23919E-09	2,82021E-10	6,34547E-10	3,74069E-09
Donji Grad	7,05052E-11	4,12194E-09	7,97101E-10	1,19075E-09	3,03564E-08
Trg dr. Franje Tuđmana	8,22561E-11	5,48374E-09	8,57813E-10	1,45319E-09	1,32589E-08
Kušlanova	5,87543E-11	3,74722E-09	5,56208E-10	9,36153E-10	6,60007E-09

Tablica P6. Vrijednost prosječnog dnevnog unosa teških metala u mg kg<sup>-1</sup> dan<sup>-1</sup> za djecu na dječjim igralištima Grada Zagreba za procjenu kancerogenog oboljenja putem dermalnog izlaganja

Igralište	Cr	Ni	Pb
Dobrodol	2,49964E-06	5,31174E-06	8,21444E-11
Kašina	7,17369E-06	1,75939E-05	8,84632E-11
Šašinovec	6,49535E-06	1,27561E-05	7,02966E-11
Kobiljak	3,63331E-06	5,35123E-06	5,33149E-11
Luka	4,64618E-06	7,04941E-06	6,75322E-11
Dubec	5,01787E-06	7,3851E-06	7,66154E-11
Poljanice	4,08863E-06	5,41047E-06	7,14814E-11
Gornja Dubrava	2,88063E-06	5,60793E-06	6,79271E-11
Markuševac	2,89921E-06	5,62768E-06	9,43871E-11
Šestine	2,02573E-06	3,37661E-06	5,72641E-11
Črnomerec	2,25804E-06	3,04092E-06	9,28074E-11
Vrapče	1,99786E-06	3,57407E-06	4,97605E-11
Stenjevec	2,4253E-06	5,21301E-06	6,43728E-11
Oranice	2,10936E-06	4,67986E-06	7,58256E-11
Špansko	2,75983E-06	4,58113E-06	6,51626E-11
Prečko	2,4346E-06	4,46265E-06	9,04378E-11
Voltino	3,13152E-06	6,41753E-06	1,06235E-10
Trešnjevka 1.	1,91422E-06	3,23838E-06	6,00286E-11
Dubrava okretište	3,57756E-06	6,12134E-06	9,79414E-11
Park Maksimir-veliki park	3,8935E-06	5,01555E-06	8,84632E-11
Donja Dubrava	3,09435E-06	7,36535E-06	1,20847E-10
Retkovec	2,33238E-06	4,66011E-06	7,58256E-11
Trnava	2,70407E-06	5,43022E-06	7,81951E-11
Donja Dubrava 2.	3,51251E-06	6,91119E-06	9,55718E-11

Igralište	Cr	Ni	Pb
Ravnice 1.	3,00143E-06	5,39073E-06	9,4782E-11
Ravnice 2.	2,63903E-06	5,23276E-06	6,23981E-11
Ravnice 3.	4,41387E-06	6,71372E-06	1,23611E-10
Borongaj	4,45104E-06	7,10865E-06	1,13343E-10
Volovčica	1,79342E-06	3,25813E-06	6,59525E-11
Folnegovićevo	2,28592E-06	4,2257E-06	1,5876E-10
Savica 1.	1,85847E-06	3,33712E-06	1,20847E-10
Savica 2.	2,5461E-06	4,64037E-06	9,59668E-11
Trnje	3,26162E-06	5,35123E-06	1,556E-10
Kanal	3,36383E-06	5,15377E-06	2,22343E-10
Sigečica	2,76912E-06	6,41753E-06	1,35064E-10
Bundek	1,81201E-06	3,57407E-06	9,35972E-11
Utrina	2,0629E-06	4,87732E-06	1,10184E-10
Dugave	1,47748E-06	3,08041E-06	4,7391E-11
Siget	2,3138E-06	3,75179E-06	9,24124E-11
Lanište	2,17441E-06	4,50214E-06	8,68835E-11
Lučko	1,63545E-06	4,1862E-06	1,01891E-10
Vrbani	1,70979E-06	3,37661E-06	7,62205E-11
Jarun 1.	3,00143E-06	5,46971E-06	7,97748E-11
Jarun 2.	1,58899E-06	3,27788E-06	4,30468E-11
Jarun 3.	2,05361E-06	3,85052E-06	6,43728E-11
Boćarski dom	2,26733E-06	4,40341E-06	7,14814E-11
Trešnjevka 2.	2,86204E-06	5,31174E-06	8,84632E-11
Trešnjevka 3.	1,3381E-06	3,19889E-06	7,54307E-11
Donji Grad	3,78199E-06	6,00286E-06	6,12134E-10
Trg dr. Franje Tuđmana	4,07005E-06	7,32586E-06	2,67364E-10
Kušlanova	2,63903E-06	4,71935E-06	1,3309E-10