

# UPORABA MODELA IEUBK ZA NAPOVED VSEBNOSTI SVINCA V KRVI OTROK PRI RAZISKAVAH IN SANACIJI OKOLJA V ZGORNJI MEŽIŠKI DOLINI

## THE IEUBK MODEL FOR LEAD BLOOD BURDEN PREDICTION IN CHILDREN USED IN THE EXPLORATION AND REMEDIATION OF THE UPPER MEŽA VALLEY ENVIRONMENT

Matej Ivartnik<sup>1</sup>, Ivan Eržen<sup>2</sup>

Prispelo: 7. 8. 2009 - Sprejeto: 29. 12. 2009

Izvirni znanstveni članek  
UDK 615.9(497.4 Zg. Mežiška dolina)

### Izvleček

**Uvod:** Model IEUBK je računalniško podprto orodje, ki na podlagi vnesenih podatkov o izpostavljenosti oceni koncentracijo svinca v krvi otrok. Namen raziskave je bil s pomočjo modela ugotoviti, ali izmerjene koncentracije svinca v krvi otrok iz Zgornje Mežiške doline ustrezno zrcalijo obremenjenost okolja s svincem, in oceniti, kateri so najpomembnejši dejavniki izpostavljenosti.

**Metoda dela:** V raziskavi smo uporabili model IEUBK s podatki o koncentracijah svinca v zraku, zemlji, hišnem prahu in pitni vodi v Zgornji Mežiški dolini in privzetimi vrednostmi za preostale dejavnike izpostavljenosti. Vrednosti, ki jih je napovedal model, smo primerjali z izmerjenimi vrednostmi svinca v krvi otrok v letih 2001–2002 in 2004–2007. Med seboj smo primerjali skupine otrok, oblikovane na podlagi geografske lege stalnega bivališča. Pri oblikovanju skupin smo uporabili dva pristopa. Ujemanje napovedanih in izmerjenih vrednosti smo ocenili na podlagi prekrivanja vrednosti in pripadajočih 95-odstotnih intervalov zaupanja.

**Rezultati:** Vključenih je bilo 196 triletnih otrok iz Zgornje Mežiške doline. Zadovoljivo ujemanje med napovedanimi in izmerjenimi vrednostmi je bilo pri 6 izmed 8 skupin, ki so vključevale vsaj pet otrok pri prvem pristopu oz. pri 5 od 7 skupin pri drugem pristopu. Simulacije z modelom so za vse skupine napovedale delež vnosa svinca preko zemlje in hišnega prahu v vrednosti nad 80 % skupnega vnosa.

**Zaključek:** Rezultati kažejo, da otroci z najvišjimi vrednostmi svinca živijo na najbolj onesnaženih območjih in da sta zemlja in hišni prah pomembna dejavnika izpostavljenosti svincu. Model je uporabno orodje za napovedovanje svinca v krvi otrok, saj je zelo prilagodljiv in omogoča natančen opis izpostavljenosti otrok svincu in identifikacijo najpomembnejših virov izpostavljenosti, če je na razpolago dovolj krajevno specifičnih podatkov.

**Ključne besede:** model IEUBK, svinec v krvi, Zgornja Mežiška dolina, otroci

Original scientific article  
UDC 615.9(497.4 Zg. Mežiška dolina)

### Abstract

**Introduction:** The Integrated Exposure Uptake Biokinetic (IEUBK) Model for Lead in Children is a computer software package used for determining blood lead concentrations in children on the basis of information about their exposure to lead. Data on environmental lead pollution of the Upper Meža valley were used for calculations by the model. The aim of the study was to determine whether lead burden data for children reflect environmental lead contamination, and to identify the most important lead exposure risk factors in the Upper Meža valley.

**Methods:** Data on air, soil, house dust and drinking water lead concentrations for the Upper Meža valley were used for calculations by the IEUBK model, together with default values for other lead exposure factors. The values predicted by the model were compared to blood lead concentrations in children measured during the periods 2001–2002 and 2004–2007. The groups of children compared were formed on the basis of the geographical location

<sup>1</sup>Zavod za zdravstveno varstvo Ravne, Ob Suhi 5b, 2390 Ravne na Koroškem

<sup>2</sup>Ministrstvo za zdravje, Štefanova 5, 1000 Ljubljana

Kontakti naslov: e-pošta: matej.ivartnik@zzv-ravne.si

of their residence, using two different approaches. The level of agreement between the observed and predicted values was assessed on the basis of the overlap between the two values and on the basis of the calculated 95 % confidence intervals.

**Results:** The study involved 196 three-year-old children from the Upper Meža valley. Using the first approach the predicted values were in good accordance with the measured levels for six out of eight groups including at least five children, and by the second approach, good accordance was found for five of seven groups. Simulations by the IEUBK model showed that over 80 % of the total lead intake was through ingestion of soil and dust in all groups.

**Conclusion:** The results show that children with highest blood lead levels live in the most polluted areas where soil and house dust are important lead exposure factors. The IEUBK model is a useful tool for predicting blood lead levels in children. It is very adaptable and allows for accurate assessment of lead exposure in children, as well as for identification of most important exposure factors, provided that sufficient site specific data are available.

**Key words:** IEUBK model, blood lead, Upper Meža Valley, children

## UVOD

Svinec je težka kovina, ki jo je človek skozi zgodovino uporabljal na številnih področjih, posledica pa je več kot tisočkratno povišanje koncentracij svinca v okolju v zadnjih treh stoletjih (1). Svinec ima akutno in kronično toksično delovanje. Zaradi večje občutljivosti in izpostavljenosti so skupina z največjim tveganjem otroci do sedmega leta starosti. Danes so problematične predvsem dolgotrajne izpostavljenosti nizkim koncentracijam svinca, ki jih povezujejo s spremembami v duševnem razvoju in vedenju otrok. Najpogosteje omenjajo hiperaktivnost, težave pri fini motoriki, podaljšan odzivni čas, slabšo koordinacijo rok in oči ter slabše rezultate inteligenčnih testov (2,3). Poleg otrok in nosečnic spadajo med skupine z največjim tveganjem še zaposleni v industriji svinca in prebivalci onesnaženih območij, kjer se je razvila proizvodnja in predelava svinca. Tako območje je tudi Zgornja Mežiška dolina, kjer imata pridobivanje in predelava svinca večstoletno zgodovino (4). Različne študije so pokazale, da je okolje in tudi prebivalstvo Zgornje Mežiške doline čezmerno obremenjeno s svincem in da bi bilo potrebno ukrepanje (5). Zadnja celovita študija leta 2002 (6) je med drugim pokazala, da ima večina otrok v krvi več kot 100 µg svinca na liter krvi, kar so potrdile tudi vrednosti svinca v krvi otrok, izmerjene v okviru projekta »Življenje s svincem.« (7). Čeprav študije kažejo, da za svinec praktično ni mogoče določiti koncentracije, ko ni škodljivih vplivov na zdravje (8,9,10), je 100 µg Pb/l krvi tista vrednost, ki jo Center za nadzor bolezni (CDC) določa kot akcijsko raven (11), to je raven, pri kateri je potrebno pričeti z izvajanjem dejavnosti za zmanjšanje izpostavljenosti svincu.

Vsebnost svinca v krvi otrok je odraz izpostavljenosti svincu v okolju, v katerem otroci živijo. Tako ne preseneča, da je bilo razvitih kar nekaj matematičnih modelov, ki na podlagi podatkov o izpostavljenosti

podajo oceno vsebnosti svinca v krvi. Model IEUBK, ki ga je razvila Agencija Združenih držav Amerike za varovanje okolja (US EPA), je eden najbolj izpopolnjenih modelov. Model na podlagi vnesenih podatkov o izpostavljenosti svincu iz različnih virov izračuna najverjetnejšo vsebnost svinca v krvi otrok in oceni doprinos posameznih virov k skupnemu vnosu svinca v telo (12). Model se je izkazal kot dober pripomoček pri načrtovanju ukrepov za sanacijo s svincem onesnaženih območij v svetu.

Na območju Zgornje Mežiške doline se izvajajo ukrepi za izboljšanje stanja okolja, katerih cilj je zmanjšati izpostavljenost svincu in doseči, da bo vsebnost svinca v krvi nižja od 100 µg/l pri 95 % otrok. Ukrepe je potrebno načrtovati tako, da je učinek ob izvedbi največji. Model IEUBK je bil uporabljen s podatki o obremenjenosti okolja s svincem za Zgornjo Mežiško dolino.

Namen je bil ugotoviti, ali na območjih, kjer je obremenjenost s svincem največja, živijo otroci z najvišjimi vrednostmi svinca v krvi in ali napovedane vrednosti modela ujemajo z dejansko izmerjenimi vrednostmi svinca v krvi. Izračuni z modelom naj bi nakazali, kateri so najpomembnejši dejavniki izpostavljenosti svincu v Zgornji Mežiški dolini. Prav slednje je bistvenega pomena pri načrtovanju ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja oziroma zmanjšanje izpostavljenosti svincu.

## METODE

### MODEL IEUBK

Model IEUBK omogoča napoved vsebnosti svinca v krvi otrok do sedmega leta starosti. Model ocenjuje verjetnostno porazdelitev koncentracije svinca v krvi okoli geometrične sredine za vrednost svinca v krvi in izračuna tveganje, da bo pri otrocih, ki na

onesnaženem območju živijo, presežena vrednost (100 µg/l), pri kateri je potrebno ukrepati (13).

Model IEUBK simulira vnos svinca v telo, njegovo porazdelitev znotraj telesa in izločanje iz telesa. Sestavljajo ga štirje moduli. Modul izpostavljenosti izračuna povprečen dnevni vnos svinca v telo na podlagi znanih podatkov o koncentraciji svinca v posameznih dejavnikih okolja in njihovih specifičnih vnosih v telo. Modul sprejema izračuna količino svinca, absorbiranega v krvni obtok otroka, iz količine vnesenega svinca v pljuča in prebavno cev. Biokinetični modul simulira premeščanja absorbiranega svinca med krvjo in preostalimi telesnimi tkivi in njegovo izločanje iz telesa. Zaključek tega dela je napoved geometrične sredine svinca v krvi otroka, ki je seveda odvisna od podatkov, vnesenih v modul izpostavljenosti. Modul verjetnostne porazdelitve predvideva log-normalno porazdelitev, ki jo določata geometrična sredina in geometrični standardni odklon, in na tej podlagi napove verjetnost pojava določene koncentracije svinca v krvi v populaciji podobno izpostavljenih otrok. Modul izračuna tudi verjetnost, da bo presežena vsebnost, ki nas skrbi (100 µg/l) (12).

Model omogoča vnos koncentracij svinca z različnimi dejavniki izpostavljenosti, ki vplivajo na končno vsebnost svinca v krvi otroka. Ti so: zrak, pitna voda, zemlja in hišni prah, prehrana, kri matere (za oceno prenatalne izpostavljenosti) in dodatna rubrika, ki omogoča vnos podatkov za izpostavljenost preko alternativnih virov. Poleg vnosa koncentracij svinca model omogoča tudi spreminjanje vrednosti za biorazpoložljivost svinca v zraku, zemlji in prahu in spreminjanje specifičnega količinskega vnosa posameznih snovi v telo. Že v osnovi so v model vnesene tipične vrednosti za urbano okolje v ZDA in v primeru zagona brez sprememb vrne oceno koncentracije svinca v krvi za tipičnega ameriškega mestnega otroka. Uporaba modela postane smiselna z vnosom krajevno specifičnih podatkov.

Model simulira kronično izpostavljenost in ne upošteva sezonskih sprememb. Model upošteva rast otroka in simulira spremembe v okolju v enoletnih intervalih. Uporaba modela IEUBK je najenostavnejša za oceno vsebnosti svinca v krvi otrok, ki živijo v okolju, kjer so koncentracije svinca v posameznih dejavnikih okolja približno konstantne. V takih primerih je dovolj enkratni zagon modela, saj ostaja izpostavljenost nespremenjena. V primeru obravnave večjega števila otrok, ki živijo na različnih lokacijah, kjer so koncentracije svinca v okolju različne, pa za napovedi ni možno uporabiti povprečij ali geometričnih sredin različnih koncentracij svinca v okolju. V takih primerih je

vedno potrebno oblikovati podskupine otrok s približno enako izpostavljenostjo. Za oceno izpostavljenosti vseh otrok je potrebno povezati izračune za vse podskupine (14).

## PODATKI

V študiji smo uporabili podatke o onesnaženosti okolja iz Primerjalne študije onesnaženosti okolja v Zgornji Mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001, ki jo je v letih 2001 in 2002 izvedel Inštitut za ekološke raziskave ERICo Velenje (6). Podatki o obremenjenosti zraka, zemlje in hišnega prahu s svincem so služili kot vhodni podatki za simulacije z modelom IEUBK. Kot vhodni podatki so bili uporabljeni tudi podatki o obremenjenosti pitne vode s svincem iz arhivov Zavoda za zdravstveno varstvo Ravne na Koroškem. Vrednosti, ki jih je napovedal model, so bile primerjane z vrednostmi, izračunanimi iz dejanskih meritev vsebnosti svinca v krvi otrok. Podatki o koncentracijah svinca v krvi otrok iz študije ERICo so bili za potrebe naše študije združeni s podatki iz projekta »Življenje s svincem.« Podatke je bilo možno združiti, ker je bila obakrat uporabljena enaka metodologija odvzema in analiz vzorcev, ki so jih izvajali isti izvajalci. Za analize vsebnosti svinca v krvi otrok so bili odvzeti kapilarni vzorci krvi tri leta starih otrok. Vzorci so bili odvzeti v laboratoriju ZD Ravne na Koroškem ob rednem preventivnem zdravniškem pregledu v letih 2001–2002 (ERICo) in 2004–2007 (ZZV Ravne).

Vzorčenje in laboratorijske analize so bile opravljene po standardnih metodah v akreditiranih laboratorijih (6). Skozi celotne postopke je bila zagotovljena ustrezna kontrola kakovosti.

## IZRAČUNI

Za simulacije je bil uporabljen model IEUBK za svinec v krvi otrok, verzija za programsko okolje Microsoft Okna (IEUBKwin v 1.0 build 264). Programska oprema je bila prenesena s spletnega naslova <http://www.epa.gov/superfund/lead/products.htm> dne 3.9.2007. Za potrebe primerjave podatkov so bili najprej vsi razpoložljivi podatki o obremenjenosti okolja in otrok s svincem glede na lokacijo mesta vzorčenja oziroma bivališča otroka (koordinate X in Y po Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu) vneseni na geografsko karto. Za mapiranje je bila uporabljena programska oprema Map Info 5.0. Na podlagi bližine lokacij so bile oblikovane skupine, v katerih so bili združeni posamezni podatki o koncentracijah svinca v okolju in koncentracijah svinca v krvi otrok. Podatki o obremenjenosti dejavnikov okolja (zemlja, prah,

zrak, pitna voda) za vsako skupino so bili uporabljeni v modelu IEUBK skupaj s preostalimi privzetimi vrednostmi. Vrednosti za geometrično sredino za koncentracijo svine v krvi in delež otrok s povišano vsebnost svine v krvi ( $\geq 100 \mu\text{g/l}$ ), ki jih je napovedal model, sta bili primerjani z vrednostmi, izračunanimi iz dejansko izmerjenih koncentracij pri populaciji otrok iz iste skupine. Izračuni z empiričnimi podatki so bili izvedeni s pomočjo programa Microsoft Excel.

Uporabljen je bil tudi drug pristop, pri katerem je bila na karti preko celotnega območja, ki je bilo predmet raziskave, oblikovana mreža kvadratov 1000 krat 1000 metrov. Podatki, ki so bili znotraj istega kvadrata, so predstavljali eno skupino (lokacijo). V tem primeru je bilo lahko v isti skupini tudi več lokacij vzorčenja za posamezen dejavnik izpostavljenosti, za izračune z modelom IEUBK pa so bile uporabljene povprečne vrednosti, sicer pa je bil postopek identičen prvemu. Ujemanje napovedanih in empiričnih vrednosti je bilo ocenjeno na podlagi prekrivanja 95-odstotnih intervalov zaupanja obeh vrednosti. Ti so bili izračunani po Enačbi 1 (geometrična srednja koncentracija svine v krvi) in Enačbi 2 (delež otrok s povišano koncentracijo svine v krvi).

$$CI(95\%) = \exp\left(\ln(GM) \pm t_{0,975} * \frac{\ln(GSD)}{\sqrt{N-1}}\right)$$

$GM$  – geometrična sredina,  $GSD$  – geometrični standardni odklon,  $N$  – število otrok

$$p = \frac{P + \frac{1.96^2}{2N} \pm 1.96 \sqrt{\frac{P(1-P)}{N} + \frac{1.96^2}{4N^2}}}{1 + \frac{1.96^2}{N}}$$

$P$  – delež otrok s povišano vsebnostjo svine v krvi,  $N$  – število otrok

Obravnavane so bile samo skupine, v katere je bilo uvrščenih vsaj 5 otrok.

## REZULTATI

Kot vhodni podatki za simulacije z modelom IEUBK so bile uporabljene izmerjene koncentracije svine v zemlji, notranjem prahu, zraku in pitni vodi v Zgornji Mežiški dolini (Tabela 1).

Tabela 1. *Specifični lokalni vhodni podatki po skupinah oz lokacijah.*  
Table 1. *Specific local input data by group and location.*

| Skupina /<br>lokacija<br><br>Group/<br>Location | Koncentracija svine/Lead concentration |                                                           |                                       |                                    | Skupina /<br>lokacija<br><br>Group/<br>Source | Koncentracija svine/Lead concentration |                                                           |                                       |                                    |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
|                                                 | zrak<br>( $\mu\text{g/m}$ )<br>Air     | pitna<br>voda<br>( $\mu\text{g/l}$ )<br>Drinking<br>water | zemlja<br>( $\text{mg/kg}$ )<br>Earth | prah<br>( $\text{mg/kg}$ )<br>Dust |                                               | zrak<br>( $\mu\text{g/m}^3$ )<br>Air   | pitna<br>voda<br>( $\mu\text{g/l}$ )<br>Drinking<br>water | zemlja<br>( $\text{mg/kg}$ )<br>Earth | prah<br>( $\text{mg/kg}$ )<br>Dust |
| Sk. 1                                           | /                                      | /                                                         | 1410                                  | 839                                | Sk. 11                                        | /                                      | 8,4                                                       | 1890                                  | 724                                |
| Sk. 2                                           | /                                      | /                                                         | 2830                                  | 787                                | Sk. 12                                        | 0,072                                  | /                                                         | 4470                                  | 2126                               |
| Sk. 3                                           | 0,054                                  | /                                                         | 898                                   | 524                                | C 10                                          | /                                      | /                                                         | 595                                   | 880,5                              |
| Sk. 4                                           | 0,054                                  | /                                                         | 597                                   | 737                                | C 11                                          | /                                      | /                                                         | 971                                   | 1287                               |
| Sk. 5                                           | /                                      | /                                                         | 593                                   | 1024                               | D 11                                          | 0,054                                  | /                                                         | 1864                                  | 699,3                              |
| Sk. 6                                           | /                                      | /                                                         | 1030                                  | 1287                               | G 12                                          | 0,072                                  | /                                                         | 3350                                  | 2201,5                             |
| Sk. 7                                           | /                                      | /                                                         | 1030                                  | 787                                | H 11                                          | /                                      | /                                                         | 1407,5                                | 724                                |
| Sk. 8                                           | /                                      | 8,4                                                       | 1950                                  | 1103                               | I 10                                          | /                                      | 8,4                                                       | 1950                                  | 1103                               |
| Sk. 9                                           | /                                      | /                                                         | 734                                   | 1426                               | I 11                                          | 0,080                                  | /                                                         | 815,5                                 | 1256,5                             |
| Sk. 10                                          | 0,083                                  | 8,4                                                       | 1087                                  | 925                                |                                               |                                        |                                                           |                                       |                                    |

Skupno je bilo v študijo vključenih 196 triletnih, 105 fantov in 91 deklet. 107 (54,6 %) otrok je imelo povišane vsebnosti svine v krvi ( $\geq 100 \mu\text{g/l}$ ). Geometrična sredina koncentracije svine v krvi je bila  $95,8 \mu\text{g/l}$ , mediana  $104 \mu\text{g/l}$ , modus pa  $110 \mu\text{g/l}$  (Tabela 2).

Na podlagi razpoložljivih podatkov o koncentraciji svine v okolju je bilo oblikovanih 12 skupin. Glede na neenakomerno porazdelitev lokacij vzorčenja okoljskih dejavnikov so nekatere skupine pokrivala večje območje kot druge. V skupine je bilo vključenih 126 otrok, preostalih 70 je živelo predaleč od lokacij

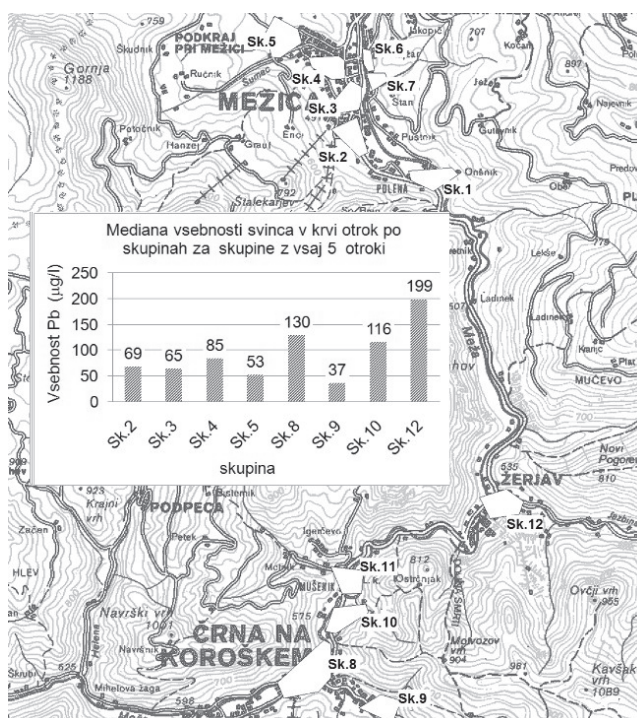
vzorčenja, da bi bilo moč zagotoviti ustrezen opis njihove izpostavljenosti svincu. 5 ali več otrok je vsebovalo 8 skupin. Pri drugem pristopu je bilo 5 oziroma več otrok uvrščenih v 7 skupin (lokacij), ki smo jih obravnavali. Skupno je bilo v obravnavane lokacije zajetih 143 otrok.

Vsebnosti svine v krvi otrok po posameznih skupinah so se precej razlikovale. Mediane po posameznih skupinah so bile od  $37 \mu\text{g/l}$  do  $199 \mu\text{g/l}$ . Pri drugem pristopu so bile mediane po lokacijah od  $60 \mu\text{g/l}$  do  $199 \mu\text{g/l}$  (Sliki 1 in 2).

Tabela 2. Geometrična sredina, mediana ter najvišja in najnižja izmerjena vsebnost svine v krvi otrok iz Zgornje Mežiške doline.

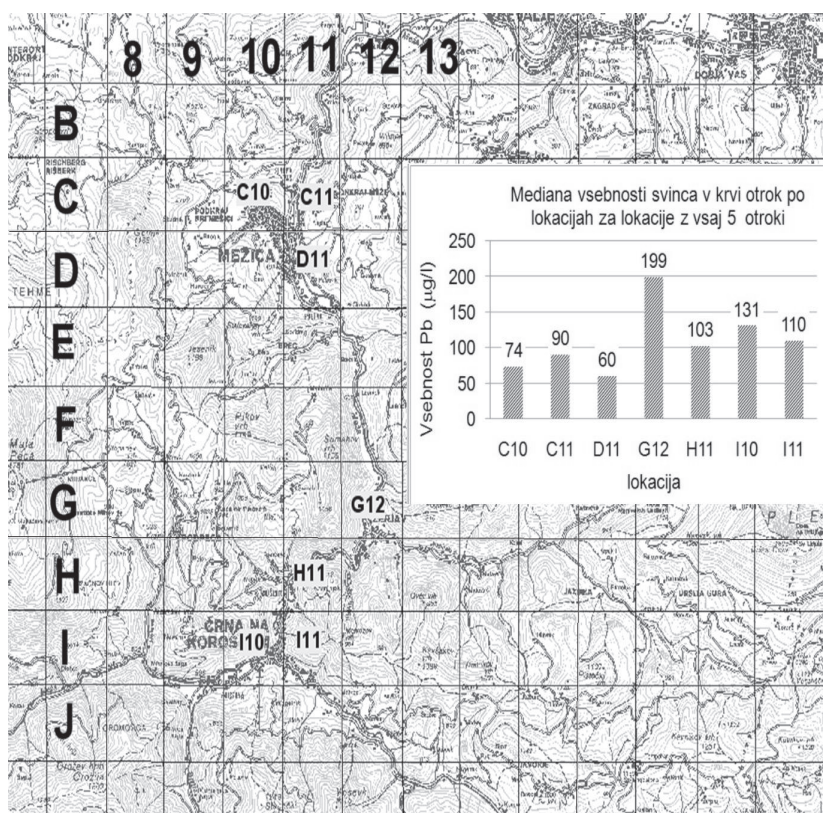
Table 2. Geometric mean, median, and highest and lowest blood lead levels measured in children from the Upper Meža valley.

|                  | N   | Geometrična sredina<br>( $\mu\text{g/l}$ )<br>Geometric mean | Mediana<br>( $\mu\text{g/l}$ )<br>Median | Skrajne vrednosti ( $\mu\text{g/l}$ )<br>Lowest/highest values |
|------------------|-----|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Fantje<br>Boys   | 105 | 105.9                                                        | 110                                      | 15 – 375                                                       |
| Dekleta<br>Girls | 91  | 85.4                                                         | 85                                       | 10 – 500                                                       |
| Skupaj<br>Total  | 196 | 95.8                                                         | 104                                      | 10 -500                                                        |



Slika 1. Prikaz skupin in mediana vsebnosti svine za skupine z vsaj 5 otroki.

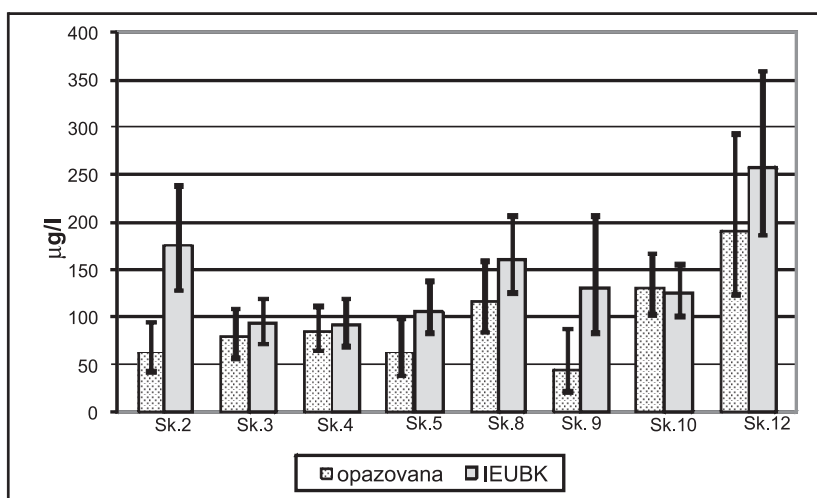
Figure 1. Map indicating groups and median blood lead levels for groups of at least 5 children.



Slika 2. Prikaz lokacij in mediana vsebnosti svine za lokacije z vsaj 5 otroki.

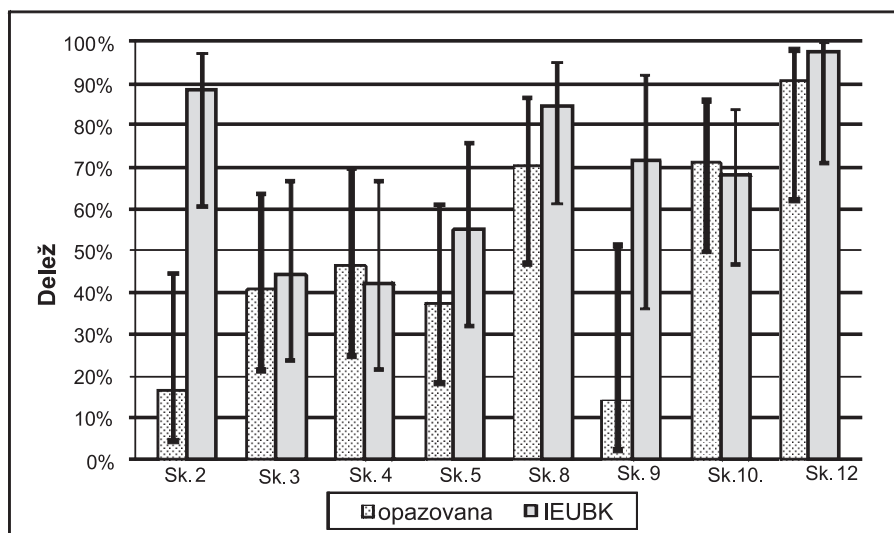
Figure 2. Map showing geographical locations and median blood lead levels for locations with at least 5 children.

Na slikah 3 do 6 je prikazana primerjava napovedanih in izmerjenih vsebnosti svine v krvi 3 leta starih otrok iz zgornje Mežiške doline po skupinah oz. lokacijah.



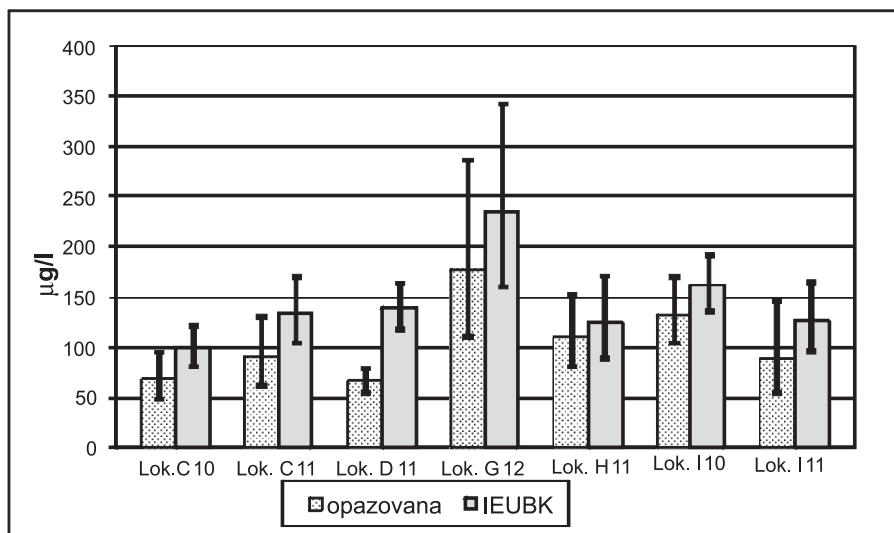
Slika 3. Primerjava napovedanih in izmerjenih geometričnih srednjih vrednosti in pripadajočih 95-odstotnih intervalov zaupanja za koncentracije svine v krvi otrok po skupinah.

Figure 3. Comparison between the IEUBK-predicted and observed geometric means of blood lead concentrations and the corresponding 95% confidence intervals, by group.



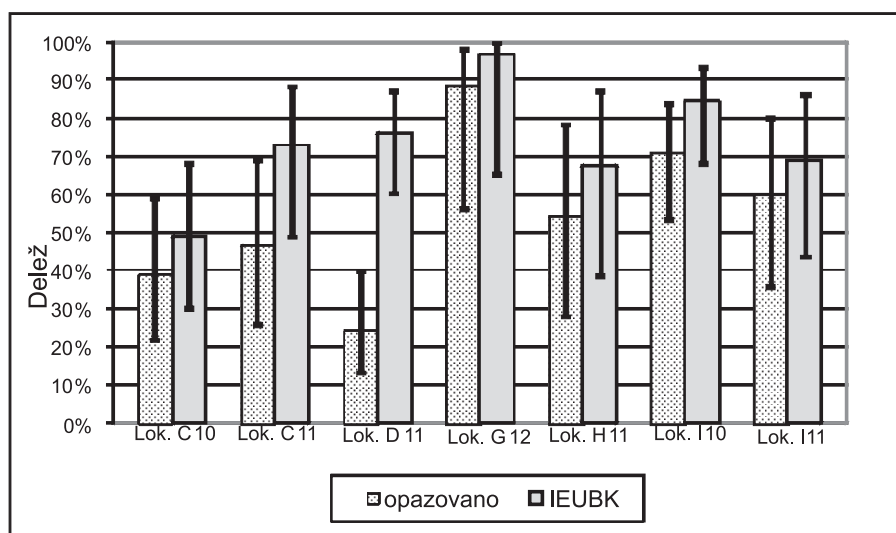
Slika 4. Primerjava napovedanih in izmerjenih deležev otrok s povišanimi koncentracijami svinca v krvi (nad 100  $\mu\text{g/l}$ ) in pripadajočih 95-odstotnih intervalov zaupanja po skupinah.

Figure 4. Comparison between the IEUBK- predicted and observed geometric means of blood lead concentrations and the corresponding 95% confidence intervals, by group.



Slika 5. Primerjava napovedanih in izmerjenih geometričnih srednjih vrednosti in pripadajočih 95-odstotnih intervalov zaupanja za koncentracije svinca v krvi otrok po lokacijah.

Figure 5. Comparison between the IEUBK- predicted and observed geometric means of blood lead concentrations and the corresponding 95% confidence intervals, by location.



Slika 6. Primerjava napovedanih in izmerjenih deležev otrok s povišanimi koncentracijami svinca v krvi (nad 100 µg/l) in pripadajočih 95-odstotnih intervalov zaupanja po lokacijah.

Figure 6. Comparison between the IEUBK- predicted and observed geometric means of blood lead concentrations and the corresponding 95% confidence intervals, by location.

Tabela 3 prikazuje delež posameznih dejavnikov izpostavljenosti pri skupnem vnosu svinca glede na napovedi IEUBK modela.

Tabela 3. Delež celokupnega vnosa svinca po dejavnikih izpostavljenosti.

Table 3. Proportion of lead uptake by exposure factors.

| Dejavnik<br>Factor           | Delež glede na celokupni vnos svinca<br>Percentage of total lead uptake |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Zrak<br>Air                  | 0,06–0,15 %                                                             |
| Zemlja/prah<br>Soil/Dust     | 86,6–96,8 %                                                             |
| Pitna voda<br>Drinking water | 3,4–4,8 %                                                               |

## RAZPRAVA

Vrednosti za napovedano geometrično srednjo vrednost svinca v krvi in delež otrok s povišanimi vsebnostmi svinca, ki jih je napovedal model IEUBK, so bile nekoliko višje od vrednosti, izračunanih iz dejansko izmerjenih vsebnosti svinca v krvi otrok. Glede na ujemanje napovedanih vrednosti in prekrivanje 95-odstotnih intervalov zaupanja je bila skladnost rezultatov zadovoljiva za 6 izmed 8 skupin, ki so vključevale vsaj 5 otrok. Drugi pristop je bil za izračune z modelom IEUBK manj primeren, ker je bila izpostavljenost otrok na večji površini z obstoječimi

vhodnimi podatki manj natančno opisana. Prednost drugega pristopa pa je bilo večje število otrok, zajetih v posamezni skupini, in s tem boljša osnova za statistično primerjavo. Rezultati pri drugem prestopu so bili podobni kot pri prvem. Vrednosti, ki jih je napovedal model, so pokazale zadovoljivo skladnost z izmerjenimi vrednostmi za 5 izmed 7 lokacij. Izračuni z modelom z obstoječimi vhodnimi podatki so pokazali, da je daleč največji vnos svinca preko zemlje in prahu. Prav pri vseh skupinah in lokacijah je model predvidel, da predstavljata ta dva dejavnika več kot 80 % celotnega vnosa svinca, medtem ko naj bi bil skupni vnos preko zraka in pitne vode nižji od 5 %.

Na najbolj onesnaženih območjih (Skupina 12, Lokacija G12) so bile izmerjene najvišje koncentracije svinca v krvi otrok. Ta ugotovitev potrjuje dejstvo, da so visoke koncentracije svinca v krvi otrok odraz visokih koncentracij svinca v okolju. Po drugi strani precej velik razpon vsebnosti svinca v krvi otrok pri posameznih skupinah kaže, da na izpostavljenost svincu in njegov vnos lahko vpliva vsak posameznik. Osebna higiena, prehrana otroka, higiena bivalnih prostorov, izogibanje prahu prijaznim materialom (preproge, zavese, plišaste igrače...) so dejavniki, ki imajo lahko velik vpliv (15). V študiji smo uporabili model IEUBK brez modifikacij z razpoložljivimi vhodnimi podatki. Vhodni podatki niso bili namensko zbrani za izračune z modelom IEUBK in nekateri tudi nekaj let starejši od podatkov o vsebnostih svinca v krvi otrok. Oboje vpliva na točnost napovedi, ki jih poda model IEUBK. Model pa je namenjen tudi za oceno vsebnosti svinca v krvi otrok, ki naj bi obravnavano območje naselili v prihodnosti in glede na to, da se koncentracija svinca v vrhnjem sloju tal sama od sebe zelo počasi spreminja in je koncentracija svinca v hišnem prahu v največji meri odvisna prav od koncentracije svinca v zunanji zemlji, časovni zamik ne bi smel bistveno vplivati na oba dejavnika izpostavljenosti. Problematično se zdi tudi napovedovanje vsebnosti svinca v krvi, saj ta odraža samo izpostavljenost v zadnjih dveh mesecih pred meritvijo. Vendar model napove samo najverjetnejšo koncentracijo svinca v krvi na letni ravni, za primerjavo pa so bile vedno uporabljene izračunane geometrične srednje vrednosti svinca v krvi za skupine otrok, pri katerih so bili vzorci krvi odvzeti v daljšem obdobju, tako da je tudi tu vpliv na netočnost napovedi manjši, kot se zdi. Boljše časovno ujemanje meritev vsebnosti svinca v dejavniki izpostavljenosti in krvi otrok ter več odvzetih vzorcev krvi pri posameznem otroku bi nedvomno izboljšali kakovost podatkov za primerjavo, vendar pa je moč oceniti, da je bila ta tudi v naši študiji zadovoljiva. Precej bolj problematično je bilo sorazmerno majhno število lokacij vzorčenja dejavnikov izpostavljenosti, da bi bilo moč zelo natančno opisati izpostavljenost na določeni lokaciji, za kakovostne statistične primerjave pa je bilo na razpolago tudi sorazmerno malo število odvzetih vzorcev krvi. Model je bil že večkrat ocenjen v drugih študijah (16,17,18) in opredeljen kot dovolj zanesljivo orodje za potrebe naše študije. Nekatere študije z več razpoložljivimi podatki in natančneje opisano izpostavljenostjo otrok (16,19) so pokazale natančnejše ujemanje napovedanih in opazovanih vrednosti za svinec v krvi, pri nekaterih (18,20) pa je bilo ujemanje vrednosti podobno kot v naši študiji. Prav tako sta bila hišni prah in zemlja že izpostavljena kot

najpomembnejša dejavnika izpostavljenosti (19,20). Dejavnika sta med seboj povezana, saj model ponuja tudi možnost izračuna koncentracije svinca v hišnem prahu po formuli 70-odstotna koncentracija svinca v zemlji + 100-kratna koncentracija svinca v zunanjem zraku (12). Zanimivo je, da je bila prav pri skupinah, kjer je bilo ujemanje napovedanih in opazovanih vrednosti najslabše, največja tudi razlika med izmerjeno in po formuli izračunano koncentracijo svinca v hišnem prahu. To posredno kaže na potrebo po večjem številu meritev v okolju, ki bi omogočali natančnejši opis izpostavljenosti svincu na določenem območju. Večletna študija remediacije okolja v Bunker Hillu (Idaho, ZDA) je ugotovila, da so zamenjavi dvoriščne zemlje in nižanju koncentracij svinca v njej sledile tudi nižje koncentracije svinca v hišnem prahu (21). Glede na simulacije z modelom je pitna voda nekoliko pomembnejši dejavnik izpostavljenosti svincu od zraka. Vendar pa je bila prisotnost svinca v pitni vodi ugotovljena le pri enem vodooskrbnem sistemu v Zgornji Mežiški dolini, tudi simulacije s tam izmerjenimi vrednostmi pa kažejo nizek delež vnosa svinca preko pitne vode.

Vnos svinca preko zraka je po ocenah modela IEUBK nizek, tudi kadar simulacije izvedemo z višjimi koncentracijami svinca (okoli  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ki so bile izmerjene na območju Žerjave v letu 2008 (22). Podobne so bile tudi ugotovitve študije, ki je z modeliranjem poskušala oceniti tveganje zaradi izpostavljenosti otrok prašnim delcem v zraku. Študija je ocenila, da tveganje ni povišano niti pri koncentracijah svinca v zraku preko  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (23). Kljub tem ugotovitvam je težko popolnoma izločiti zrak kot pomemben vir izpostavljenosti otrok svincu. Pomembno je dejstvo, da poteka zajem vzorca zraka na višini okoli 1,5 metra nad tlemi, kar je precej višje, kot zrak, ki ga triletni otroci vdihujejo. Koncentracija svinca je zaradi dvigovanja prahu z onesnaženih tal v bližini tal najbrž višja. Zelo majhni delci ( $<1 \mu\text{g}$ ) se v pljučih lažje absorbirajo. Majhni delci, ki jih otroci izkašljajo in nato požrejo, so v želodčni kislini bolje topni od večjih. Delci iz zraka se nalagajo tudi v hišnem prahu. Glede na našeto bi bil vnos svinca preko zraka lahko pomembnejši, kot kažejo sami izračuni z modelom.

V onesnaženi Zgornji Mežiški dolini so v letu 2008 pričeli izvajati določene ukrepe za izboljšanje kakovosti okolja. Različne študije (19,23) so pokazale, da je model IEUBK lahko uporabo orodje za določanje najpomembnejših dejavnikov izpostavljenosti otrok svincu in omogoča tudi določitev ciljnih koncentracij svinca, ki bi jih bilo potrebno v teh dejavniki doseči, da bi se ustrezno znižala vsebnost svinca v krvi otrok. V ta namen je možno model uporabiti tudi za primer

Zgornje Mežiške doline. Simulacije z modelom so pokazale, da bi z znižanjem vsebnosti svinca v hišnem prahu pod veljavno mejno vrednost 85 mg/kg (21) dosegli vrednost svinca v krvi pod 100 µg/l pri dobrih 90 % otrok, četudi bi koncentracije v zemlji ostale visoke. Ne gre pa spregledati, da je koncentracija svinca v hišnem prahu odvisna od koncentracije svinca v dvoriščni zemlji.

Model IEUBK je uporaben za nadaljnje študije v Zgornji Mežiški dolini, vendar bi bilo za bolj kakovostne ugotovitve potrebno izboljšati vhodne podatke. Potrebno bi bilo izvesti več meritev koncentracij svinca v okolju na več lokacijah ter določiti biorazpoložljivi delež svinca v zemlji in prahu. Za boljši opis izpostavljenosti bi bilo potrebno pridobiti še lokalne podatke o vnosu svinca preko hrane in podatke o vzorcih obnašanja otrok.

## ZAKLJUČEK

Čeprav so bili v našem primeru za modeliranje z modelom IEUBK uporabljeni dokaj pomanjkljivi vhodni podatki, lahko zaključimo, da so koncentracije svinca v krvi otrok v Zgornji Mežiški dolini odraz onesnaženosti okolja. Najvišje koncentracije svinca v krvi so bile izmerjene na najbolj onesnaženih območjih. Glede na izvedene simulacije sta zemlja in hišni prah pomembna dejavnika izpostavljenosti svincu, zato bi sanacijske dejavnosti v okolju morale v največji meri zadevati ta dva dejavnika. Model je uporabno orodje za napovedovanje svinca v krvi otrok, saj je zelo prilagodljiv in omogoča natančen opis izpostavljenosti otrok svincu in identifikacijo najpomembnejših virov izpostavljenosti, če je na razpolago dovolj krajevno specifičnih podatkov. Model ne more ustrezno nadomestiti dejanskega spremljanja svinca v krvi otrok v Zgornji Mežiški dolini, ker z njim ne odkrijemo najbolj občutljivih posameznikov, pri katerih je obravnavna individualna, glede na sorazmerno malo število otrok pa je vprašljiva tudi stroškovna učinkovitost. Model IEUBK bi lahko dal dodatne pomembne informacije pri raziskavah izpostavljenosti in poteh oz. mehanizmih, ki privedejo do povišanih vsebnosti svinca v krvi otrok v Zgornji Mežiški dolini, vendar bi bilo potrebno izboljšati vhodne podatke.

## Literatura

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2005.
- Weisskopf M, Wright R, Schwartz J, Spiro A, Sparrow D, Aro A, Hu H. Cumulative Lead Exposure and Prospective Change in Cognition among Elderly Men. *Am J Epidemiol* 2004; 160,12: 1184-93.
- American Academy of Pediatrics: Committee on Environmental Health. Lead Exposure in Children: Prevention, Detection, and Management. *Pediatrics* 2005; 116: 1036-46.
- Uran S, Mežnar F. 300 let mežiški rudniki. Mežica: Društvo rudarskih, metalurških in geoloških inženirjev in tehnikov, 1965.
- Prpič- Majić D, Fugaš M, Souvent P, Sušnik J, Šarič M. Istraživanja olova, kadmija i cinka u dolini rijeke Meže. Zagreb: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, 1998.
- Ribarič-Lasnik C, Eržen I, Kugonič N, Pokorny B, Končnik D, Svetina M et al. Primerjalna študija onesnaženosti okolja v zgornji Mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001: Končno poročilo. ERICo Velenje, Institut za ekološke raziskave, 2002.
- Horvat M, Janet E, Ivartnik M. Svinec v krvi triletnikov iz Mežiške doline. V: Cvahtetovi dnevi javnega zdravja 2007. Zaletel Kragelj L: Medicinska fakulteta Ljubljana, 2007: 16-24.
- Lanphear B, Hornung R, Ho M, Howard C, Eberle S, Knauf K. Environmental lead exposure during early childhood. *J Pediatr* 2002; 140,1: 40-7.
- Téllez-Rojó M, Bellinger D, Arroyo-Quiroz C, Lamadrid-Figueroa H, Mercado-García A, Schnaas-Arrieta L et al. Longitudinal Associations Between Blood Lead Concentrations Lower Than 10 µg/dL and Neurobehavioral Development in Environmentally Exposed Children in Mexico City. *Pediatrics* 2006; 118(2): 323-330.
- Schwartz J. Low-level lead exposure and children's IQ: a meta-analysis and search for a threshold. *Environ Res* 1994; 65(1):42-55.
- Centers for Disease Control and Prevention. Preventing Lead Poisoning in Young Children. Atlanta: CDC, 2005.
- U.S. Environmental Protection Agency. Guidance Manual for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children. Washington DC: Office of Emergency and Remedial Response, 1994.
- U.S. EPA. Short sheet: Overview of the IEUBK Model for Lead in Children. Washington DC: EPA Office of Emergency and Remedial Response, 2002.
- Ivartnik M. Predstavitev IEUBK modela za oceno vsebnosti svinca v krvi otrok. V: Cvahtetovi dnevi javnega zdravja 2007. Zaletel Kragelj L: Medicinska fakulteta Ljubljana, 2007: 25-33.
- Mandl N, Janet E, Horvat M, Kašnik Janet M, Ivartnik M, Pavlič H. Promocija zdravja v lokalni skupnosti v zvezi z zmanjševanjem izpostavljenosti svincu. V: Cvahtetovi dnevi javnega zdravja 2006. Bilban M: Medicinska fakulteta Ljubljana, 2006: 133-141.
- Hogan K, Marcus A, Smith, White P. Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children: Empirical Comparisons with Epidemiologic Data. *Environ Health Perspect* 1998; 106(6): 1557-67.
- The National Academy of Sciences. Report on Superfund and Mining Megsites: Lessons from the Coeur d'Alene River Basin. Washington: The National Academy of Sciences, 2005.
- Biesiada M, Hubicki L. Blood Lead Levels in Children: Epidemiology vs. Simulation. *Eur J Epidemiol* 1999; 15(5): 485-91.
- Cornelis C, Berghmans P, van Sprundel M, Van der Auwera J. Use of the IEUBK Model for Determination of Exposure Routes in View of Site Remediation. *Hum Ecol Risk Assess* 2006; 12: 963-82.
- von Lindern I, Spalinger S, Petroysan V, von Braun M. Assessing remedial effectiveness through the blood lead:soil/dust lead relationship at the Bunker Hill Superfund Site in the Silver Valley of Idaho. *The Science of the Total Environment* 2003; 303: 139-70.
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. Ur.l.RS št. 68-3722/96.
- Agencija Republike Slovenije za okolje. Monitoring zunanega zraka v Zgornji Mežiški dolini. Ljubljana, 2008.
- Khoury GA, Diamond GL. Risks to children from exposure to lead in air during remedial or removal activities at Superfund sites: A case study of the RSR lead smelter Superfund site. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2003; 13: 51-65.