GEOLOGIJA 68/1 – 2025
https://doi.org/10.5474/geologija.2025.002
monografija / monography

ISSN
Tiskana izdaja / Print edition: 0016-7789
Spletna izdaja / Online edition: 1854-620X

Martin Gaberšek

Geokemični atlas Maribora

Geochemical atlas of Maribor

GeoZS
Geološki zavod Slovenije

GEOLOGIJA	2025	68/1	1-88	Ljubljana

GEOLOGIJA
ISSN 0016-7789
eISSN 1854-620X

CC BY

Izdajatelj: Geološki zavod Slovenije, zanj direktor **dr. Miloš Bavec**
Publisher: Geological Survey of Slovenia, represented by Director **dr. Miloš Bavec**
Financirata Javna agencija za raziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije in Geološki zavod Slovenije
Financed by the Slovenian Research and Innovation Agency and the Geological Survey of Slovenia

Geokemični atlas Maribora
Geochemical atlas of Maribor

Avtor / Author: Martin Gaberšek
Recenzentki / Reviewers:
izr. prof. dr. Nastja Rogan Šmuc
dr. Ajka Pjanić
Oblikovanje / Design: Vida Pavlica
Avtor fotografij / Author of photographs: Martin Gaberšek

UREDNIŠTVO / EDITORIAL TEAM
Glavna in odgovorna urednica / Editor-in-Chief:
dr. Mateja Gosar, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Tehnična urednica / Technical Editor:
Bernarda Bole, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia

ČLANI TEHNIČNEGA UREDNIŠTVA / TECHNICAL EDITORIAL TEAM
Vida Pavlica, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Maks Šinigoj, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Irena Trebušak, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Marko Zakrajšek, Marko Zakrajšek, e-Tutor s.p., Kranj, Slovenia

UREDNIŠKI ODBOR / EDITORIAL BOARD
Dunja Aljinović, Faculty of Mining Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, Croatia
Kristine Asch, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover, Germany
Maria João Batista, National Laboratory of Energy and Geology, Lisbon, Portugal
Giovanni Battista Carulli, University of Trieste, Department of Mathematics and Earth Sciences, Trieste, Italy
Miloš Bavec, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Mihael Brenčič, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering and Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Stefano Covelli, University of Trieste, Department of Mathematics, Informatics and Geosciences, Trieste, Italy
Katica Drobne, Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences an Arts, Ivan Rakovec Institute of Palaeontology, Ljubljana, Slovenia
Jadran Faganeli, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty Ljubljana, Slovenia
László Fódor, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary
Martin Gaberšek, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Luka Gale, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering and Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Špela Goričan, Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences an Arts, Ivan Rakovec Institute of Palaeontology, Ljubljana, Slovenia
Andrej Gosar, Slovenian Environment Agency and University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia
Petra Jamšek Rupnik, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
János Haas, Etvos Lorand University, Budapest, Hungary

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID 242776579
ISBN 978-961-6498-84-5 (PDF)

Mitja Janža, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Mateja Jemec Auflič, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Bogdan Jurkovšek, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Roman Koch, GeoZentrum Nordbayern, Institute of Palaeontology, Erlangen, Germany
Marko Komac, Marko Komac s.p., Ljubljana, Slovenia
Harald Lobitzer, GeoSphere Austria, Vienna, Austria
Tamara Marković, Croatian Geological Survey, Zagreb, Croatia
Miloš Miler, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Rinaldo Nicolich, University of Trieste, Trieste, Italy
Frank Preusser, University of Freiburg, Institute of Earth and Environmental Science, Freiburg, Germany
Roberto Rettori, University of Perugia, Department of Physics and Geology, Perugia, Italy
Mihael Ribičič, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia
Nina Rman, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia
Boštjan Rožič, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia
Milan Sudar, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Beograd, Serbia
Kristina Šarić, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Beograd, Serbia
Sašo Šturm, Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana, Slovenia
Gevorg Tepanosyan, Center for Ecological-Noosphere Studies NAS RA, Yerevan, Armenia
Timotej Verbovšek, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia
Miran Veselič, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia
Michael Wagreich, University of Vienna, Department of Geology, Vienna, Austria
Nina Zupančič, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia

Naslov uredništva / Editorial Office: GEOLOGIJA Geološki zavod Slovenije / Geological Survey of Slovenia
Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
Tel.: +386 (01) 2809-700, Fax: +386 (01) 2809-753, e-mail: urednik@geologija-revija.si
URL: https://www.geologija-revija.si/

GEOLOGIJA izhaja dvakrat letno. / GEOLOGIJA is published two times a year.
GEOLOGIJA je na voljo tudi preko medknjižnične izmenjave publikacij. /
GEOLOGIJA is available also on exchange basis.

Izjava o etičnosti
Izdajatelji revije Geologija se zavedamo dejstva, da so se z naglim naraščanjem števila objav v svetovni znanstveni literaturi razmahnili tudi poskusi plagiatorstva, zlorab in prevar. Menimo, da je naša naloga, da se po svojih močeh borimo proti tem pojavom, zato v celoti sledimo etičnim smernicam in standardom, ki jih je razvil odbor COPE (Committee for Publication Ethics).

Publication Ethics Statement
As the publisher of Geologija, we are aware of the fact that with growing number of published titles also the problem of plagiarism, fraud and misconduct is becoming more severe in scientific publishing. We have, therefore, committed to support ethical publication and have fully endorsed the guidelines and standards developed by COPE (Committee on Publication Ethics).

Baze, v katerih je Geologija indeksirana / Indexation bases of Geologija: Scopus, Directory of Open Access Journals, GeoRef, Zoological Record, Geoscience e- Journals, EBSCOhost



GEOLOGIJA 68/1, 1-88, Ljubljana 2025



VSEBINA – CONTENTS

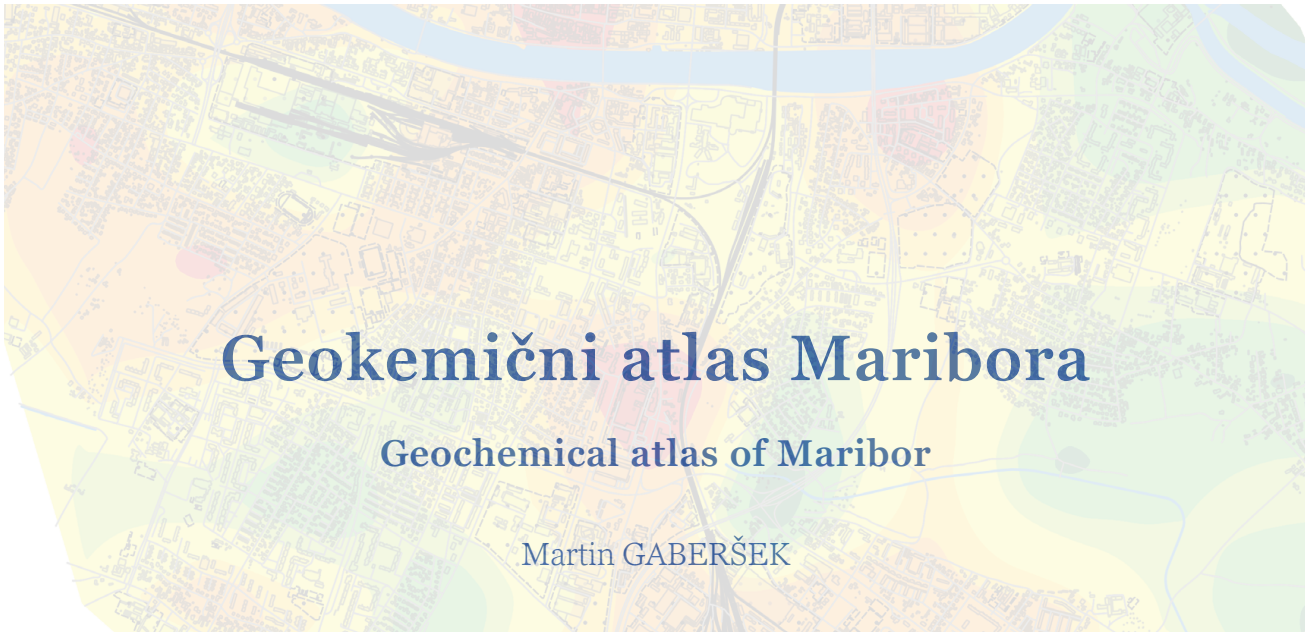
Geokemični atlas Maribora - Geochemical atlas of Maribor

Izvleček/Abstract 7
Uvod 8
Opis raziskovanega območja – mesto Maribor 9
Materiali in metode 13
Rezultati in diskusija 19
Zaključek 27
Geokemične karte 29
Literatura 85

GEOLOGIJA 68/1, 7-88, Ljubljana 2025 © Author(s) 2025. CC Atribution 4.0 License

https://doi.org/10.5474/geologija.2025.002

monografija / monography



Geokemični atlas Maribora

Geochemical atlas of Maribor

Martin GABERŠEK

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: martin.gabersek@geo-zs.si

Prejeto / Received 28. 3. 2025; Sprejeto / Accepted 26. 5. 2025; Objavljeno na spletu / Published online 25. 7. 2025

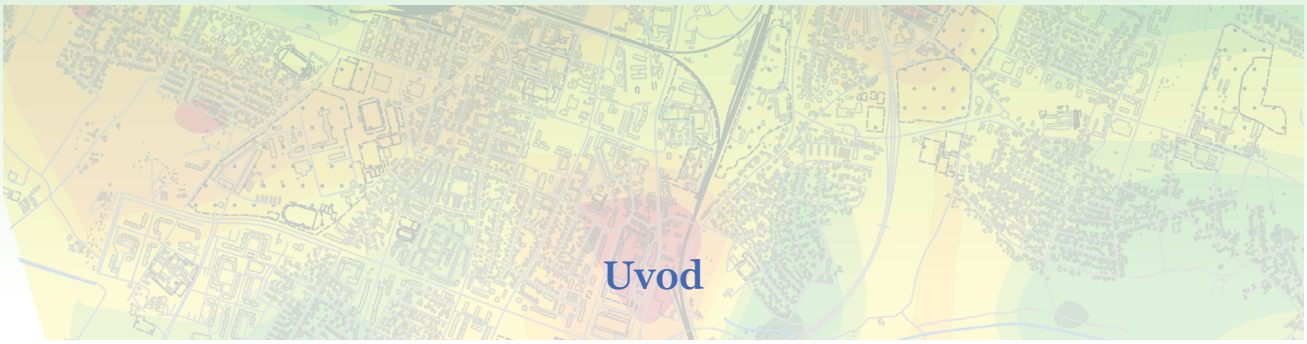
Ključne besede: tla, kemični elementi, potencialno strupeni elementi, geokemično kartiranje, urbana geokemija
Key words: soil, chemical elements, potentially toxic elements, geochemical mapping, urban geochemistry

Izvleček

Poznavanje prostorske porazdelitve vsebnosti kemičnih elementov v tleh je bistveno za zagotavljanje varnega in zdravega bivalnega okolja ter pomembno za prostorsko načrtovanje, posege v prostor in spremljanje dolgoročnih antropogenih vplivov na okolje. Zaradi velikega števila prebivalcev je to še posebej pomembno v urbanih okoljih. V monografiji podajamo rezultate raziskav vsebnosti kemičnih elementov, pH vrednosti in vsebnosti celotnega ter organskega ogljika v tleh v Mariboru in prikaze njihovih prostorskih porazdelitev z geokemičnimi kartami. Vzorčili smo zgornjih 10 cm tal po celotnem Mariboru v mreži 500 × 500 m. Po razklopu z zlatotopko smo z ICP-MS analizirali vsebnosti 65 elementov. Rezultati kažejo, da tla na območju Maribora niso močno obremenjena s potencialno strupenimi elementi, odkrili smo le manjša območja in nekatere izolirane lokacije z visokimi vsebnostmi bakra (Cu), svinca (Pb) in cinka (Zn), predvsem znotraj industrijskih območij ter starega mestnega jedra. Njihove mediane, ki so nekoliko nad slovenskimi, velika variabilnost v vsebnostih in prostorska porazdelitev kažejo na vsaj deloma antropogen izvor. Deloma antropogen izvor lahko pripišemo tudi kadmiju (Cd), antimonu (Sb), kositru (Sn), živemu srebru (Hg) in srebru (Ag). Nekateri preostali elementi, kot so aluminij (Al), kobalt (Co), krom (Cr), železo (Fe) in vanadij (V) jasno odražajo prevladujoč vpliv geološke podlage. S predstavljeno raziskavo smo želeli opredeliti trenutno geokemično stanje tal v Mariboru, približati rezultate splošni javnosti in omogočiti dolgoročno spremljanje stanja tal ter okolja na splošno.

Abstract

Understanding the spatial distribution of levels of chemical elements in soil is crucial for ensuring a safe and healthy living environment. It also plays an important role in spatial planning, land use management, and monitoring long-term anthropogenic impacts on the environment. This is particularly relevant in urban areas due to their high population density. This study presents the results of research on the levels of chemical elements, pH values, and total and organic carbon contents in the soil of Maribor, along with spatial distribution maps. Soil samples were collected from the upper 10 cm across the entire city using a 500 × 500 m grid. After digestion with aqua regia, the levels of 65 elements were determined using ICP-MS. The results indicate that the topsoil in Maribor is not heavily contaminated with potentially toxic elements. However, we identified several smaller areas and a few localized sites with elevated levels of copper (Cu), lead (Pb), and zinc (Zn), primarily within industrial zones and the historic city centre. Their slightly elevated medians compared to Slovenian medians, along with high variability of levels and spatial distribution, suggest at least a partially anthropogenic origin. A partially anthropogenic origin can also be attributed to cadmium (Cd), antimony (Sb), tin (Sn), mercury (Hg), and silver (Ag). In contrast, some elements, for example aluminium (Al), cobalt (Co), chromium (Cr), iron (Fe), and vanadium (V) clearly reflect the predominant influence of the geological setting. With this study, we aimed to define the current geochemical state of the soil in Maribor, make the findings more accessible to the general public, and enable long-term monitoring of soil and environmental conditions.



Uvod

Urbana okolja so v zadnjih desetletjih postala prevladujoča oblika človeških naselbin, saj globalno v urbanih naseljih živi 55 % prebivalstva, ta delež pa naj bi do leta 2050 narasel na 68 % (Združeni narodi, 2019). Proces urbanizacije je bistveno spremenil fizikalne, kemične in biološke lastnosti naravnih ekosistemov (Wong et al., 2006; Taylor, 2007). Kompleksna infrastruktura, velika gostota prebivalstva in predvsem intenzivne antropogene dejavnosti, ki povzročajo izpuste najrazličnejših kemičnih elementov ter spojin izrazito vplivajo na spremenjeno biogeokemično kroženje elementov v urbanih okoljih (Wong et al., 2006; Taylor, 2007; Lyons & Harmon, 2012; Sobrova et al., 2012; Chambers et al., 2016). Pomemben del antropogenih izpustov v urbanih okoljih predstavljajo izpusti trdnih delcev (PM), ki pogosto vsebujejo tudi potencialno strupene elemente (PSE). Trdni delci se nenehno sproščajo v urbano okolje iz številnih naravnih in antropogenih virov. Med naravnimi viri so najpogostejši erozija tal, vulkanska dejavnost, gozdni požari, morska sol in biološki material (Calvo et al., 2013; Miler, 2014; Karagulian et al., 2015). Najpomembnejši antropogeni viri v urbanem okolju so običajno promet, industrija, metalurške dejavnosti, procesi izgorevanja in rudarjenje (Thorpe & Harrison, 2008; Tack, 2010; Žibret & Rokavec, 2010; Lyons & Harmon, 2012; Karagulian et al., 2015; Žibret, 2018; Ali et al., 2019; Jabłońska & Janeczek, 2019; Miler & Gosar, 2019; Jeong et al., 2020; Teran et al., 2020; Gaberšek & Gosar, 2021a, 2021b; Miler, 2021; Gaberšek et al., 2022; Pučko et al., 2024). Sčasoma se trdni delci odložijo in postanejo del različnih okoljskih medijev, predvsem tal in različnih vrst prahu ter sedimentov.

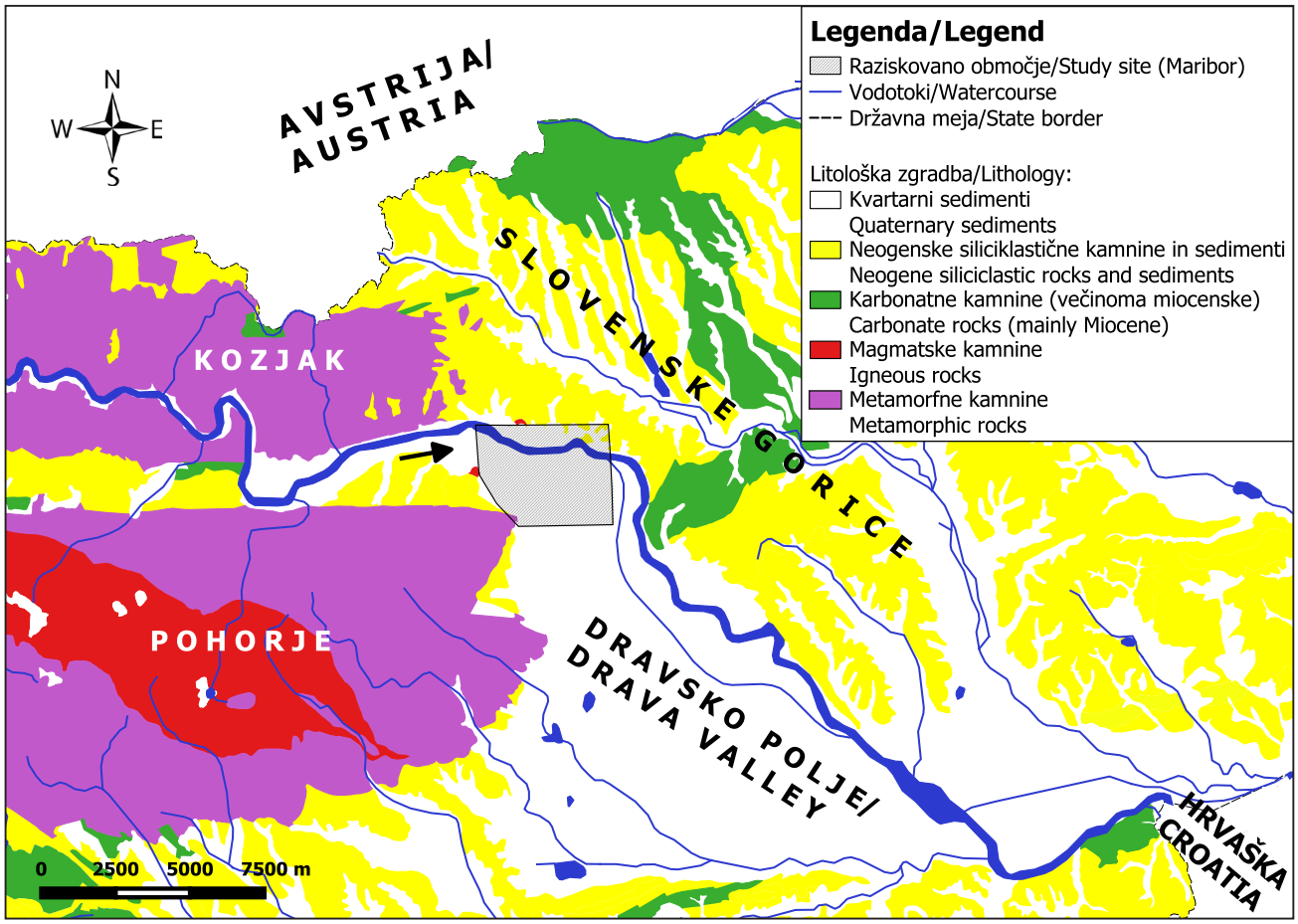
Tla veljajo za najpomembnejši ponor PSE v kopenskih ekosistemih (Wong et al., 2006). Tla v urbanih okoljih so posledično pogosto obremenjena z različnimi organskimi in anorganskimi snovmi, med drugim tudi s PSE (Wong et al., 2006; Hazelton & Murphy, 2011; Yang & Zhang, 2015). PSE niso (bio) razgradljivi, zato se, ob ustreznih fizikalno-kemičnih pogojih, v tleh akumulirajo, kar ima več posledic. Zadrževanje PSE v tleh po eni strani predstavlja varovalo pred trenutnim onesnaženjem podzemne vode, po drugi strani pa potencialno dolgoročno tveganje za okolje in ljudi, saj lahko ob spremembah fizikalno-kemičnih pogojev v tleh PSE preidejo v mobilne oblike. Nevarnost predstavlja tudi prehod talnih delcev s PSE v človeški organizem (Gaberšek & Gosar, 2024). Visoke vsebnosti PSE v tleh omogočajo posreden vpogled v pretekle antropogene dejavnosti in onesnaževanje okolja. V obdobju podnebnih sprememb in s tem povezanimi ekstremnimi vremenskimi pojavi, ki smo jim vse pogosteje izpostavljeni, potencialno nevarnost predstavljajo tudi morebitna erozija in premeščanje obremenjenih tal zaradi močnih padavin ter poplav, izpihovanje trdnih delcev s PSE zaradi dolgotrajnejših suš in močnih vetrov, spremembe zaradi obsežnih požarov ter tudi izhlapevanje hlapnih PSE, kot je na primer Hg, iz tal ob visokih temperaturah zraka (Foulds et al., 2014; Arrighi et al., 2018; Crawford et al., 2022; Floreani et al., 2023; Bolan et al., 2024).

Zaradi zgoraj podanih informacij je jasno, da je poznavanje vsebnosti in prostorske porazdelitve čim večjega števila PSE v tleh bistveno za zagotavljanje varnega in zdravega bivalnega okolja ter pomembno za prostorsko načrtovanje, posege v prostor in spremljanje dolgoročnih antropogenih vplivov na okolje. Predstavljeni rezultati so bili pridobljeni v okviru doktorske disertacije (Gaberšek, 2020). Geokemične lastnosti tal na območju Maribora so bile mednarodni znanstveni javnosti predstavljene v obliki znanstvenega članka (Gaberšek & Gosar, 2018). Vsebnosti 10 elementov so bile vključene tudi v spletni informacijski sistem Skupne občinske uprave Maribor (https://okolje.maribor.si/okolje/), ki je namenjen spremljanju okoljsko-zdravstvenih podatkov in njihovi predstavitvi splošni javnosti. Namen pričujočega dela pa je ponuditi natančnejšo interpretacijo rezultatov in grafični prikaz prostorske porazdelitve večjega števila analiziranih elementov v obliki geokemičnih kart, kar v preteklosti še ni bilo narejeno. S tem bomo rezultate geokemičnih raziskav tal v Mariboru še bolj približali splošni javnosti, kar je eden izmed temeljnih ciljev vseh raziskav okolja.

Opis raziskovanega območja – mesto Maribor

Geografska opredelitev območja

Maribor je z okrog 95.000 prebivalci drugo največje slovensko mesto. Nahaja se v severovzhodnem delu Slovenije, v bližini državne meje z Avstrijo, na križišču pomembnih mednarodnih prometnih povezav. Leži na aluvialnih ravnicah reke Drave na severnem obrobju Dravskega polja, ob vznožjih Slovenskih goric na severu in severovzhodu, Kozjaka na severozahodu in Pohorja na jugozahodu. Južno od mesta se dolina Drave razširi v Dravsko polje. Maribor obdajajo intenzivne kmetijske površine; strme površine na severu in vzhodu pokrivajo vinogradi, za ravninska področja so značilna polja, na katerih pridelujejo predvsem koruzo in druga žita. Jugovzhodni del mesta zaznamuje zaščiten mestni oz. parkovni gozd Stražun, površine približno 1,5 km^2. Podnebje v Mariboru in okolici je kontinentalno, za katerega so značilne velike vremenske razlike med posameznimi letnimi časi. Po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), je bila v letih 1971–2000 povprečna letna temperatura v Mariboru 10,1 °C in povprečna količina padavin 1034 mm (Internet 1). Povprečna hitrost vetra je med leti 1995–2004 znašala 1,8 m/s. Prevladoval je severozahodni veter, močnejši veter (nad 4 m/s) pa je najpogosteje pihal z juga (Bertalanič, 2007).



Sl. 1. Poenostavljena litološka zgradba širšega ozemlja okrog Maribora (po Mioč & Žnidarčič, 1977; Žnidarčič & Mioč, 1988; Buser, 2009).
Fig. 1. Simplified geological map of the wider Maribor area (Adapted from Mioč & Žnidarčič, 1977; Žnidarčič & Mioč, 1988; Buser, 2009).

Litološka zgradba raziskovanega ozemlja

V strukturnem smislu širše območje Maribora pripada dvema večjima tektonskima enotama: Slovenske gorice in Dravsko polje pripadajo enoti Panonski bazen, Pohorje in Kozjak pripadata Vzhodnim Alpam (Mioč & Žnidarčič, 1989; Placer, 2008). Poenostavljena litološka zgradba okolice Maribora je predstavljena na sliki 1. Mesto Maribor leži na kvartarnih glacio-fluvialnih in fluvialnih sedimentih debeline med 5 in 20 m (Žlebnik, 1982; Mioč & Žnidarčič, 1989; Trajanova, 2002). Sedimenti so sestavljeni pretežno iz magmatskih in metamorfnih zrn, kar je odraz geološke zgradbe porečja Drave zahodno od Maribora. Pogostejši minerali v dravskih sedimentih so kremen, granat, rutil, epidot, amfiboli, cirkon, stavrolit, kianit in drugi (Mioč & Žnidarčič, 1989). Karbonatna zrna so redkejša. Dravska dolina se proti jugu razširi, debelina sedimentov se poveča.

Na območju Slovenskih goric in južnem ter zahodnem obrobju Dravskega polja izdanjajo neogenske kamnine oz. sedimenti. Na severnem in zahodnem obrobju Maribora izdanjajo miocenske siliciklastične kamnine (konglomerat, peščenjak, peščeni laporovec) in nesprijeti sedimenti (kremenov prod in pesek ter glina). Del Slovenskih goric gradi miocenski litotamnijski apnenec (Mioč & Žnidarčič, 1989). Neogenske siliciklastične kamnine in sedimenti izdanjajo še zahodno od Maribora, ob vznožju Pohorja.

Hribovito ozemlje JZ in SZ od Maribora (Pohorje in Kozjak) gradijo predvsem metamorfne (gnajs, blestnik, amfibolit, eklogit, marmor, kvarcit, serpentinit, kloritno-amfibolski skrilavec, filit) in magmatske (granodiorit, dacit) kamnine (Hinterlechner Ravnik, 1971; Mioč, 1978; Mioč & Žnidarčič, 1989; Zupančič, 1994). Te kamnine na vzhodu potonejo pod kvartarne nanose oz. neogenske kamnine. Na območju Maribora se zaporedje magmatskih in metamorfnih kamnin prične v globini med 430 in 510 m (Trajanova, 2002). Posamezni omejeni izdanki magmatskih kamnin se pojavljajo še na severnem in zahodnem obrobju Maribora (npr. Pekrska gorca).

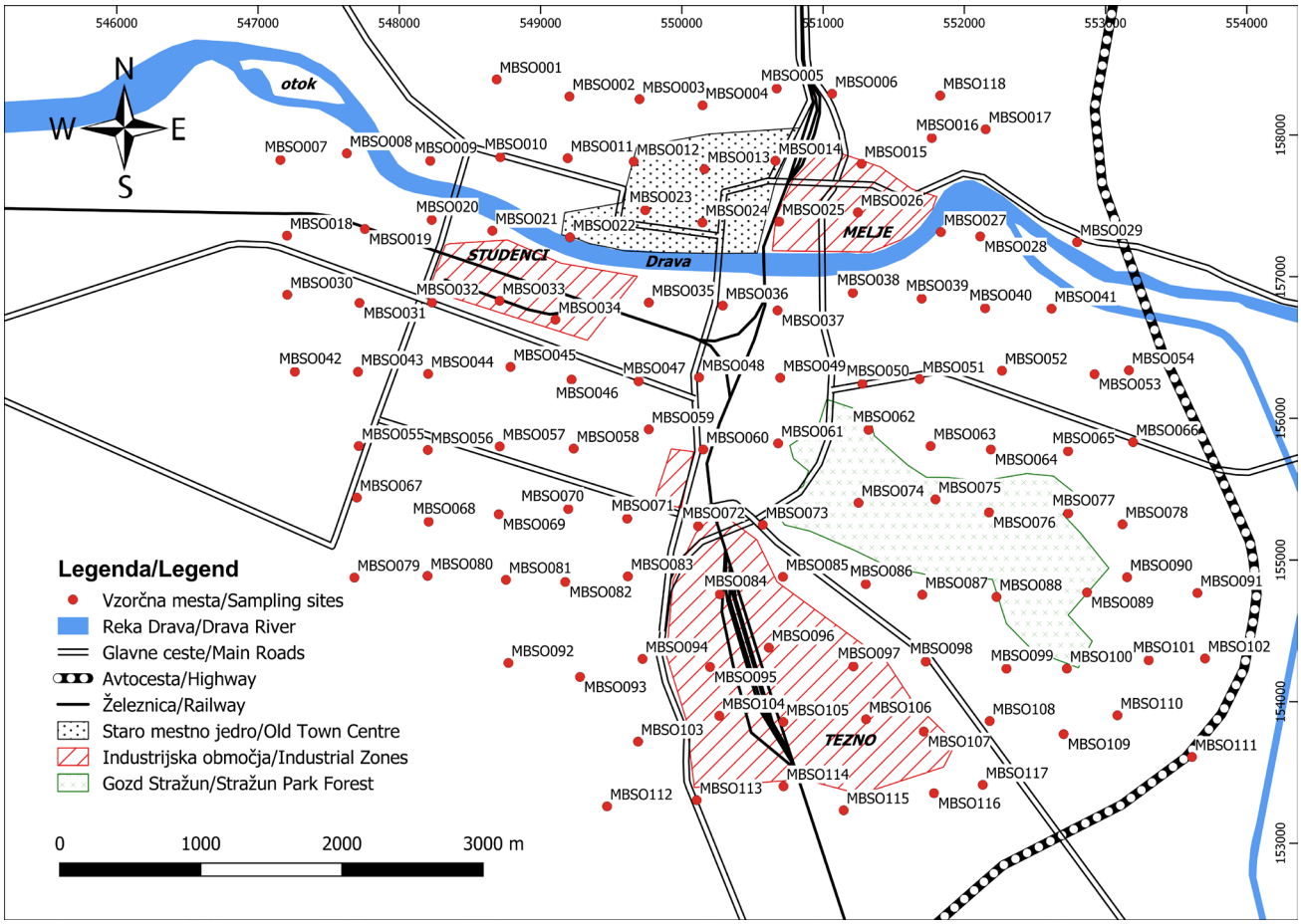
Pedološka zgradba raziskovanega ozemlja

Podatki o pedološki zgradbi širšega območja Maribora so povzeti po Vidic et al. (2015). Raznolika litološka sestava in razgibana morfologija ozemlja v okolici Maribora se odražata tudi v heterogenosti talnih tipov. Talni tip distrični ranker, ki ga opredeljujejo razvitost le Ah in C horizontov, nekarbonatna matična podlaga in nizka vrednost pH, je razvit na delu Pohorja in Kozjaka. Večji del omenjenih hribovij ter Dravskega polja južno od Maribora pokrivajo distrična rjava tla, za katere je zaradi kisle magmatske (granodiorit) in metamorfne (kloritno-amfibolski skrilavec) matične podlage značilen pH med 4 in 5. Razviti talni horizonti so A-Bv-C. V Slovenskih goricah in v manjši meri na ravnicah zahodno od Maribora so pogosta evtrična rjava tla, ki nastajajo na različnih karbonatnih oz. z bazičnimi kationi bogatih matičnih podlagah, vendar nikoli na čistem apnencu ali dolomitu. Gre za globoka tla, ki imajo razvite horizonte A-B-C, vrednosti pH so med 5,5 in 7,5. V neposredni bližini reke Drave in drugih manjših vodotokov se pojavljajo evtrična in distrična obrečna tla, deloma tudi oglejena tla oz. evtrični hipoglej. Za te tipe tal je značilna prekomerna vlažnost in visok delež gline. Na gričevnatih področjih, ki jih gradijo neogenske klastične kamnine, so številni vinogradi, v katerih je zaradi globokega oranja nastal poseben tip antropogenih tal, tj. rigolana tla (Vidic et al., 2015). Tla v samem Mariboru na pedološki karti niso natančno opredeljena, ampak je območje označeno kot urbana površina. Lastnosti tal se na tovrstnih površinah običajno močno razlikujejo od lastnosti naravnih tal. Slovenska klasifikacija iz leta 2019 (Vrščaj et al., 2019) opredeljuje razred antropogeniziranih in antropogenih tal, znotraj katerega je razred urbanih tal.

Kratek pregled industrijske zgodovine Maribora

Industrija je eden izmed najpomembnejših onesnaževalcev urbanega okolja s PSE, zato je za opredelitev geokemičnega stanja tal bistveno poznavanje sedanjih in preteklih industrijskih dejavnosti na raziskovanem območju. Maribor je bil v preteklosti eno izmed najpomembnejših industrijskih središč tako Slovenije kot nekdanje Jugoslavije. Razvoj Maribora iz majhnega agrarnega in obrtno-trgovskega mesta na levem bregu Drave v industrijsko središče se je pričel z izgradnjo železniške povezave med Dunajem in Trstom v sredini 19. st. ter malo kasneje še Koroške železniške proge (Slavec, 1991; Oset et al., 2010). Prvi večji industrijski objekt v mestu so bile delavnice za popravilo železniških vagonov na Studencih, ki jih je leta 1863 ustanovila avstrijska družba Južne železnice. Delavnice so že od začetka zaposlovale več kot 1200 ljudi (Slavec, 1991). V naslednjih desetletjih so nastajale še druge tovarne, npr. tovarna umetnih brusov (danes SwatyComet) in tovarna mil Zlatorog (danes Henkel). Prevladovala je predvsem predelovalna in lahka industrija (Lorber, 2006).

Kljub temu, da se je obseg industrijske dejavnosti vseskozi povečeval, je razcvet doživela šele po 1. svetovni vojni. Poleg ugodne geografske lege Maribora in izvrstne železniške povezave, je k rasti industrijskega sektorja v tem obdobju odločilno prispevala še izgradnja prvih hidroelektrarn na Dravi oz. elektrifikacija mesta v začetku 20. st. (Slavec, 1991). Najpomembnejši industrijski panogi med obema svetovnima vojnama sta postali tekstilna in kovinska industrija (Slavec, 1991; Lorber, 2006). Nekatera večja industrijska podjetja, ki so jih ustanovili v tem obdobju, so: tovarna akumulatorjev Vesna, Mariborska livarna Maribor (MLM), več manjših tekstilnih podjetij, nastali so tudi temelji kasnejše Metalne.



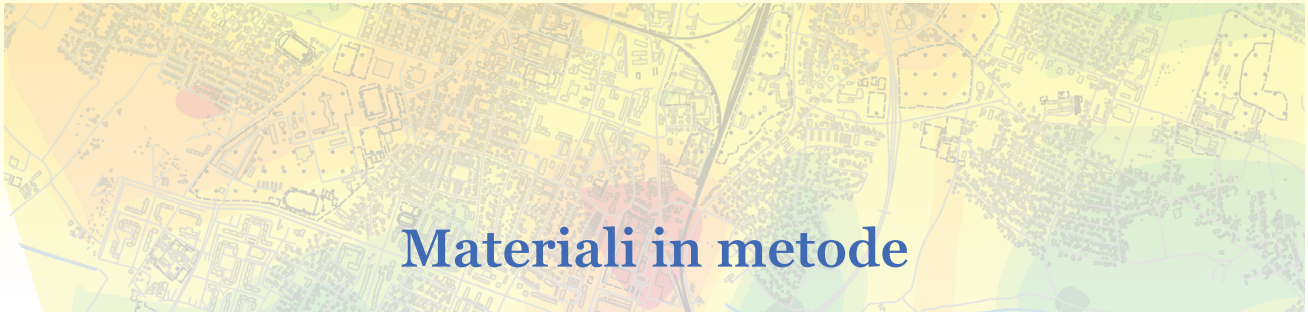
Sl. 2. Vzorčna mesta tal prikazana na shematski karti Maribora.
Fig. 2. Soil sampling sites presented on schematic map of Maribor.

Po koncu 2. svetovne vojne se je v Mariboru dogajal najintenzivnejši gospodarski razvoj. Vodilno vlogo sta še naprej ohranili kovinska in tekstilna industrija, skupno je bilo v Mariboru zastopanih 16 industrijskih panog (Lorber, 2006). Večino tovarn so podržavili, manjša podjetja so združevali v velike družbe, ki so zaposlovale po več tisoč delavcev (npr. z združevanjem manjših tekstilnih tovarn je nastala Mariborska tekstilna tovarna (MTT), ki je bila največja tekstilna tovarna v Jugoslaviji) (Oset et al., 2010), nekatera podjetja so preimenovali oz. spremenili njihovo proizvodnjo (npr. nekdanje železniške delavnice so preimenovali v Tovarno vozil in toplotne tehnike Boris Kidrič oz. krajše TVT Kidrič), ustanovljena so bila tudi nekatera nova podjetja (Slavec, 1991; Lorber, 2006). Na območju Tezna je bila iz medvojne okupatorjeve tovarne letalskih delov ustanovljena znamenita Tovarna avtomobilov Maribor (TAM). Kako pomembno vlogo je v gospodarski dejavnosti Maribora po 2. svetovni vojni imela industrija kaže podatek, da je bila leta 1977 skoraj polovica delovno aktivnega prebivalstva zaposlenega v industrijskem sektorju (Savnik & Planina, 1980). Najpomembnejša dejavnost leta 1987 je bila proizvodnja vozil, ki je prispevala 34,9 % prihodka industrije v Mariboru (Lorber, 2006). Zaradi nekaterih strukturnih napak (npr. nizka vlaganja v razvoj, tehnološka zastarelost tovarn) in gospodarsko-političnih sprememb (osamosvojitev, prehod v tržno gospodarstvo, izguba nekdanjih jugoslovanskih trgov) v 80. in 90. letih 20. st., je industrijska dejavnost zašla v globoko krizo, veliko tovarn je postopoma propadlo (npr. tekstilna industrija je do leta 2010 povsem izginila iz Maribora) ali pa so šle skozi različne, dolgotrajne procese prestrukturiranja (Slavec, 1991; Lorber, 2006).

Industrijske objekte so vse od izgradnje železnice dalje umeščali v tri glavna industrijska območja: Studenci, Melje in Tezno (sl. 2). Zametki prvih dveh območij so nastali že kmalu po odprtju železnice, območje Tezna se je razvilo nekoliko pozneje. Industrijsko območje Studenci se nahaja v zahodnem delu mesta, na desnem bregu Drave, zaznamovale so ga predvsem železniške delavnice oz. pozneje TVT Kidrič. Melje se nahaja na levem bregu reke, pod vznožjem Meljskega hriba na severovzhodu mesta. Najpomembnejše tovarne na tem območju so bile livarna, Vesna in MTT. Večji del industrijskega območja Tezno, ki se je razvilo na jugovzhodu Maribora, je zavzemal TAM, pomembna je še Metalna in podjetje za ravnanje z odpadki. Skladno z rastjo industrijske dejavnosti in širitvijo industrijskih območij je raslo tudi samo mesto in število prebivalcev, s tem pa tudi povečevanje vpliva na okolje z drugimi dejavnostmi (npr. promet).

Industrija ima danes manjši pomen v gospodarski dejavnosti Maribora kot v preteklosti, a je kljub temu ohranila pomemben status, predvsem na industrijskih območjih Melje in Tezno. Značilna so predvsem manjša podjetja, nekatera večja podjetja iz preteklosti delujejo v manjšem obsegu. V Melju med drugim delujejo tovarna kovinske opreme (trezorji, varnostne omare, kovinsko pohištvo) in proizvodnja elektroinstalacijskega materiala. Livarna, v kateri so stoletje izdelovali orodja in druge izdelke iz bakrovih zlitin oz. medenine ter aluminijastih tlačnih ulitkov, je od avgusta 2024 v postopku stečaja (Internet 2). Na območju nekdanjega TAM-a na Teznu se je razvila poslovno-proizvodna cona, v kateri deluje prek 200 podjetij, med drugim tudi tovarna avtobusov in druge tovarne s področja avtomobilske ter kovinsko-predelovalne industrije.





Materiali in metode

Vzorčenje in priprava vzorcev

Vzorčenje tal smo izvedli leta 2016. Zajeli smo celotno območje mesta Maribor in njegovo najožje obrobje (skupno 30 km^2). Pri postopkih vzorčenja smo sledili priporočilom geokemične ekspertne skupine evropskih geoloških zavodov (Demetriades & Birke, 2015). Vzorčili smo na 118 vzorčnih mestih (sl. 2), v vzorčni mreži velikosti 500 × 500 m. Na vsaki lokaciji smo odvzeli približno 1 kg vzorca iz zgornjih 10 cm tal. Posamezen vzorec je bil sestavljen iz 4 podvzorcev, ki smo jih odvzeli v ogliščih kvadrata velikosti 2 × 2 m. Za vzorčenje smo uporabljali orodje iz nerjavečega jekla, vzorce smo shranili v polietilenske vrečke. Vzorčna mesta so predstavljale zatravljene mestne površine, kot so zelenice v parkih in ob cestah, na obrobju mesta smo vzorčili na travnikih. Izogibali smo se površinam, na katerih so v zadnjih 10–15 letih izvajali večje posege v tla (npr. ureditev zelenic na nekdanjih industrijskih območjih) in površinam, katerih tla se zaradi obdelovanja ali naravnih danosti bistveno razlikujejo od tal na zelenicah (tj. vrtovi, cvetlične gredice, njive in gozdne površine).

Vzorce smo posušili pri 35 °C, ročno zdrobili v keramični terilnici, z najlonskimi siti presejali pod velikost 2 mm, homogenizirali in zmleli z ahatnim krogličnim mlinom.

Analiza pH in organske snovi v tleh

V vseh vzorcih tal smo v laboratorijih Geološkega zavoda Slovenije izmerili pH vrednosti. Za določitev vrednosti pH, smo pripravili suspenzijo 10 ml presejanega (< 2 mm) vzorca ter 50 ml 0,01 M $CaCl_2$ (volumsko razmerje 1:5). Suspenzijo smo najprej ročno mešali 5 min in jo nato pustili mirovati čez noč (ne več kot 24 ur). Pred meritvijo smo suspenzijo ponovno premešali, počakali, da se je stabilizirala in nato izmerili vrednosti s pH metrom (Thermo Scientific Orion Star A329). Merilnik smo predhodno kalibrirali s standardoma z vrednostma pH 4 in 7. Delež organske snovi v tleh smo ocenili s pomnožitvijo deleža organskega ogljika s faktorjem 1,9. Uporabljeni faktor je predlagal Pribyl (2010), ki je ugotovil, da je za izračun deleža organske snovi na podlagi deleža organskega ogljika bolj primeren faktor 1,9 kot vsesplošno uporabljan faktor 1,724.

Analiza vsebnosti kemičnih elementov

V zmletih vzorcih tal smo analizirali vsebnosti 65 elementov (Tabela 1), vključno z elementi redkih zemelj (REE) in platino (Pt) ter paladijem (Pd). Analize so opravili v kanadskem laboratoriju Bureau Veritas Commodities, kjer so vzorce raztopili z modificirano zlatotopko ($HCl:HNO_3:H_2O$ 1:1:1) pri 95 °C in nato z ICP-MS izmerili vsebnosti elementov. Teža posameznega analiziranega vzorca je bila 15 g. V omenjenem laboratoriju so z uporabo analizatorja LECO določili vsebnosti celotnega (C cel) in organskega ogljika (C org).

Tabela 1. Podatki o mejah določljivosti (DL) in kakovosti analitike (povprečna RPD in RE) za vseh 65 analiziranih elementov (elementi napisani odebeljeno in z rdečo so bili zaradi nezadovoljive kakovosti analiz izločeni iz nadaljnje obravnave).

Table 1. Data on detection limits (DL) and quality of analyses (average RPD and RE) for all 65 analysed elements (elements written in red bold were not included into further procedure due to insufficient quality of analysis).

Element	DL	Enota/Unit	RPD (%)	RE (%)
Ag	0,002	mg/kg	22,6	3,2[3]
Al	0,01	%	3,6	0,6[4]
As	0,1	mg/kg	2,5	4,7[1,2,3]
Au	0,0002	mg/kg	**41,5**	2,3[1,2,3]
B	1	mg/kg	27,6	20,0[4]
Ba	0,5	mg/kg	2,2	7,8[1,2]
Be	0,1	mg/kg	13,5	8,4[4]
Bi	0,02	mg/kg	5,1	0,0[3]
Ca	0,01	%	2,2	0,7[4]
Cd	0,01	mg/kg	8,8	11,1[3]
Ce	0,1	mg/kg	3,0	0,9[4]
Co	0,1	mg/kg	2,2	5,4[3]
Cr	0,5	mg/kg	2,5	3,7[3]
Cs	0,02	mg/kg	5,8	2,4[4]
Cu	0,01	mg/kg	12,7	4,9[1,2,3]
Dy	0,02	mg/kg	9,2	4,2[4]
Er	0,02	mg/kg	5,1	2,1[4]
Eu	0,02	mg/kg	4,5	8,4[4]
Fe	0,01	%	2,1	1,7[4]
Ga	0,1	mg/kg	3,6	0,4[4]
Gd	0,02	mg/kg	5,9	1,0[4]
Ge	0,1	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
Hf	0,02	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
Hg	0,005	mg/kg	9,9	7,4[4]
Ho	0,02	mg/kg	3,7	2,6[4]
In	0,02	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
K	0,01	%	2,1	3,6[4]
La	0,5	mg/kg	4,1	2,0[4]
Li	0,1	mg/kg	3,0	3,0[4]
Lu	0,02	mg/kg	11,9	11,6[4]
Mg	0,01	%	3,3	0,9[4]
Mn	1	mg/kg	2,6	2,1[4]
Mo	0,01	mg/kg	5,6	9,1[1,2]
Na	0,001	%	9,1	5,0[4]
Nb	0,02	mg/kg	4,5	3,0[4]

Element	DL	Enota/Unit	RPD (%)	RE (%)
Nd	0,02	mg/kg	4,2	4,8[4]
Ni	0,1	mg/kg	3,9	8,0[1,2,3]
P	0,001	%	4,4	1,5[4]
Pb	0,01	mg/kg	3,0	7,2[1,2,3]
Pd	0,01	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
Pr	0,02	mg/kg	4,3	2,6[4]
Pt	0,002	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
Rb	0,1	mg/kg	2,5	5,8[4]
Re	0,001	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
S	0,02	%	2,2	4,8[4]
Sb	0,02	mg/kg	7,5	2,6[3]
Sc	0,1	mg/kg	2,9	11,0[4]
Se	0,1	mg/kg	18,6	1,7[4]
Sm	0,02	mg/kg	5,4	5,6[4]
Sn	0,1	mg/kg	6,1	4,1[4]
Sr	0,5	mg/kg	2,7	0,57[4]
Ta	0,05	mg/kg		> 20 % meritev pod DL
Tb	0,02	mg/kg	3,6	2,4[4]
Te	0,02	mg/kg	**74,7**	0,6[4]
Th	0,1	mg/kg	6,0	2,3[4]
Ti	0,001	%	4,8	0,9[4]
Tl	0,02	mg/kg	8,9	8,2[4]
Tm	0,02	mg/kg	15,8	2,6[4]
U	0,1	mg/kg	3,9	3,5[4]
V	2	mg/kg	2,6	5,3[4]
W	0,1	mg/kg	17,9	**57,5[1,2]**
Y	0,01	mg/kg	2,8	3,0[4]
Yb	0,02	mg/kg	7,7	6,2[4]
Zn	0,1	mg/kg	4,9	3,2[1,2,3]
Zr	0,1	mg/kg	16,4	4,7[4]

[1]OREAS 43P; [2]OREAS 44P; [3]OREAS 45P; [4]interni laboratorijski standardi/internal laboratory certified reference materials (DS10, OXC129)

Kakovost analiz vsebnosti kemičnih elementov

Kakovost analiz smo zagotavljali na več načinov. Da bi enakomerno porazdelili oz. čimbolj zmanjšali morebiten vpliv analitske napake, smo vzorce pred pošiljanjem na analizo razvrstili v naključnem vrstnem redu. Točnost analiz smo spremljali z naključno vključitvijo sledečih standardov med vzorce: OREAS 43P, OREAS 44P in OREAS 45P (vsakega po dvakrat). Dodatno so v laboratoriju analizirali tudi interna standarda DS10 in OXC129 (vsakega po petkrat). Iz rezultatov analiz standardov smo po enačbi [1], kjer je x_r referenčna (pričakovana) vsebnost posameznega elementa v standardih in $\bar{x}$ povprečje dejansko izmerjenih vsebnosti v standardih, izračunali relativno napako (RE; Tabela 1):

$$RE = \frac{|x_r - \bar{x}|}{x_r} * 100\ [\%] \qquad [1]$$

Za elemente, za katere niso podane referenčne vrednosti v uporabljenih standardih, smo za oceno točnosti uporabili podatke o internih laboratorijskih standardih. Elemente, ki so imeli vrednost RE višjo od 20 %, smo izločili iz nadaljnje obravnave (Tabela 1).

Natančnost analiz smo spremljali z naključno vključitvijo 10 ponovljenih vzorcev tal. Natančnost analiz smo ocenili z izračunom relativne odstotne razlike (RPD; Tabela 1) po enačbi [2], kjer je x_1 vsebnost posameznega elementa v prvem vzorcu, x_2 vsebnost istega elementa v ponovljenem vzorcu in $\bar{x}$ povprečje obeh meritev:

$$RPD = \frac{|x_1 - x_2|}{\bar{x}} * 100\ [\%] \qquad [2]$$

Iz posameznih vrednosti RPD smo izračunali povprečno vrednost in elemente, za katere je ta bila višja od 30 %, izločili (Tabela 1). Iz nadaljnje statistične analize smo izločili tudi elemente, katerih ugotovljene vsebnosti so bile v več kot 20 % primerov pod mejo določljivosti (Tabela 1). V primeru, da je bilo le nekaj vrednosti pod mejo določljivosti (< 20 %), smo jih nadomestili s polovico meje določljivosti (DL/2), kar je pogost postopek v geokemičnih raziskavah (Salminen et al., 2005; Hewett & Ganser, 2007; Reimann et al., 2014). To smo storili v primeru sledečih elementov: B (3×), S (2×), Se (1×), Zr (5×).

Analiza podatkov in izdelava interpolacijskih geokemičnih kart

Statistične analize smo izvedli s programoma Statistica 13.3 in Microsoft Excel 365. V nadaljevanju (Tabela 2) podajamo osnovne statistične podatke o vsebnostih elementov: najnižja vsebnost (Min), 25. percentil (P25), aritmetična sredina (X), mediana (Me), geometrijska sredina (Xg), 75. percentil (P75), 95. percentil (P95), najvišja ugotovljena vsebnost (Maks), standardni odklon (s), stopnja asimetrije (A) in koničastost (E). Normalnost porazdelitve rezultatov smo ugotavljali na podlagi stopnje asimetrije in koničastosti, oblike izrisanih histogramov, primerjave aritmetične ter geometrijske sredine in mediane ter rezultatov Shapiro-Wilkovega testa.

Normalno porazdeljene so bile le vsebnosti Al, As, Rb. Posledično smo za analizo rezultatov uporabili neparametrična statistična orodja. Korelacije med elementi smo ugotavljali z izračunom Spearmanovega korelacijskega koeficienta. Na podlagi koeficientov višjih od 0,7, smo elemente združili v posamezne skupine.

Da bi primerjali vsebnosti med mariborskimi in slovenskimi ter evropskimi tlemi oz. ugotovili morebitne obogatitve, smo po enačbi [3] izračunali faktorje obogatitve (EF):

$$EF\ el. = \frac{\left(\frac{mediana\ el.}{mediana\ Al}\right) MB}{\left(\frac{mediana\ el.}{mediana\ Al}\right) SLO\ (ali\ EU)} \qquad [3]$$

Za izračun EF smo uporabili podatke o vsebnostih elementov v slovenskih (Gosar et al., 2019) in evropskih travniških tleh (Reimann et al., 2014). Za normalizacijo smo izbrali Al, ker je porazdelitev njegovih vsebnosti v mariborskih tleh normalna, kar kaže na prevladujoč geogen izvor.

Interpolacijske karte smo izdelali v programu QGIS 3.10.10 z uporabo metode naravnih sosedov (ang. Natural Neighbour), ki se je na podlagi preizkusa več interpolacijskih metod izkazala kot najprimernejša za naše podatke. Metoda naravnih sosedov je robustna metoda lokalne interpolacije (Belinc, 2014). Pri iskanju »naravnih sosedov« vsake celice uporablja Voronoijeve diagrame oziroma Thiessenove poligone in metodo območnih uteži (Belinc, 2014). Uteži vzorcev so določene na osnovi območja. Interpolirane vrednosti (vrednosti izhodne ploskve) so znotraj vzorčenega ob-

močja, kar je pomembno v primeru nepravilnega prostorskega obsega vzorčenega območja, kar pogosto velja za urbana okolja. Ker večina podatkov ni normalno porazdeljenih, smo pred interpolacijo izvedli Box-Cox transformacijo. Za prikaz na kartah smo vsebnosti razdelili v sledečih 7 percentilnih razredov: 0–10, 10–25, 25–40, 40–60, 60–75, 75–90, 90–100. Poleg prikaza prostorske porazdelitve vsebnosti, sta za vsak element dodana še histogram porazdelitve vsebnosti in diagram »škatla-brki«, s prikazom pripadajoče najmanjše in največje vsebnosti (brki), 25. ter 75. percentila (škatla) in mediane.

Tabela 2. Osnovni statistični podatki elementne sestave tal in pH (vse vsebnosti so podane v mg/kg, razen vsebnosti Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti, C cel in C org so podane v %).

Table 2. Descriptive statistics of soil elemental composition and pH (all levels are given in mg/kg, except for Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti, C tot, and C org are given in %).

	Min[1]	P25	X[1]	Me[1]	Xg	P75	P95	Maks[1]	s	A	E
Ag	0,035	0,066	0,131	0,093	0,101	0,137	0,266	1,727	0,18	6,92	55,55
Al	0,77	1,37	1,67	1,64	1,61	1,94	2,43	3,02	0,44	0,31	0,02
As	5,2	7,9	9,9	10,1	9,5	11,1	13,9	16,9	2,4	0,10	-0,11
B	0,5	2,0	4,3	4,0	3,5	5,0	9,00	19,0	2,75	2,17	8,35
Ba	41	79	106	97	98	113	179	613	59	5,85	47,92
Be	0,20	0,50	0,68	0,70	0,63	0,80	1,00	1,60	0,22	0,49	2,00
Bi	0,16	0,24	0,30	0,28	0,29	0,33	0,48	1,27	0,13	4,56	29,41
Ca	0,15	0,49	1,48	1,10	1,01	2,00	4,09	6,89	1,31	1,50	2,24
Cd	0,14	0,26	0,38	0,32	0,33	0,43	0,62	2,28	0,27	4,77	28,00
Ce	12,0	24,4	28,0	28,1	27,2	31,4	38,1	58,7	6,8	1,09	4,50
Co	5,5	8,9	11,0	10,2	10,6	11,9	19,1	31,9	3,7	2,53	9,65
Cr	16,0	27,3	33,5	31,0	32,2	36,8	62,4	74,2	10,5	1,93	4,44
Cs	0,78	1,31	1,54	1,56	1,50	1,74	2,03	2,94	0,32	0,62	2,43
Cu	17,5	31	75,9	40,0	48,6	60	196	1347	152	6,55	48,28
Dy	0,95	1,64	1,82	1,81	1,79	2,05	2,39	3,34	0,37	0,67	2,77
Er	0,49	0,82	0,94	0,94	0,92	1,03	1,30	1,64	0,21	0,77	1,79
Eu	0,31	0,48	0,55	0,55	0,54	0,60	0,74	1,03	0,12	0,86	2,95
Fe	1,34	2,31	2,58	2,58	2,53	2,87	3,51	4,54	0,50	0,59	1,85
Ga	2,10	3,80	4,58	4,45	4,43	5,20	6,90	9,50	1,20	0,81	1,70
Gd	1,18	1,91	2,21	2,19	2,16	2,43	2,94	4,26	0,44	0,90	3,51
Hg	0,032	0,066	0,136	0,095	0,105	0,145	0,309	0,807	0,135	3,31	12,42
Ho	0,18	0,28	0,32	0,32	0,32	0,36	0,44	0,55	0,07	0,60	1,44
K	0,07	0,10	0,13	0,13	0,12	0,15	0,19	0,25	0,03	0,91	1,49
La	5,8	12,0	13,6	13,5	13,2	15,2	18,4	29,1	3,3	1,15	5,02
Li	9,8	16,6	18,7	19,0	18,3	20,7	25,5	34,4	3,9	0,54	1,85
Lu	0,05	0,09	0,10	0,10	0,10	0,12	0,16	0,19	0,03	0,80	0,85
Mg	0,48	0,64	0,88	0,79	0,83	1,02	1,64	3,01	0,38	2,43	9,32
Mn	345	532	630	613	611	703	930	1483	163	1,44	5,56
Mo	0,38	0,70	0,93	0,85	0,88	1,06	1,67	2,78	0,36	2,03	6,31
Na	0,006	0,008	0,013	0,010	0,011	0,014	0,029	0,105	0,011	5,44	38,65

	Min[1]	P25	X[1]	Me[1]	Xg	P75	P95	Maks[1]	s	A	E
Nb	0,32	0,58	0,71	0,69	0,68	0,80	1,11	1,39	0,19	0,94	2,03
Nd	5,8	10,8	12,1	12,0	11,8	13,3	17,6	26,7	2,9	1,37	5,58
Ni	14,9	24,9	29,2	27,5	28,5	32,0	42,5	62,8	6,9	1,68	4,91
P	0,049	0,075	0,100	0,090	0,094	0,109	0,168	0,328	0,04	2,53	9,64
Pb	19	29	60	44	46	67	117	626	76	5,87	39,22
Pr	1,46	2,83	3,19	3,13	3,11	3,51	4,57	7,32	0,78	1,59	7,00
Rb	10,6	16,3	19,6	19,2	19,1	21,8	27,2	34,4	4,32	0,54	0,47
S	0,01	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,27	0,03	5,52	42,58
Sb	0,38	0,62	1,38	0,86	0,95	1,19	4,19	12,2	2,04	4,28	18,50
Sc	1,80	2,60	3,31	3,10	3,17	3,50	5,70	8,60	1,10	2,01	5,40
Se	0,05	0,30	0,38	0,40	0,36	0,45	0,50	0,90	0,13	0,75	3,19
Sm	1,33	2,23	2,51	2,48	2,45	2,82	3,42	4,96	0,56	0,97	3,44
Sn	0,70	1,50	4,72	2,30	2,75	4,60	16,50	70,4	8,44	5,42	35,30
Sr	8,4	14,4	26,9	20,1	22,2	33,7	56,7	172	21,7	3,55	18,25
Tb	0,18	0,29	0,33	0,33	0,32	0,36	0,44	0,61	0,06	0,85	3,12
Th	0,90	1,60	2,11	2,00	1,98	2,50	3,60	6,00	0,84	1,80	5,26
Ti	0,006	0,022	0,028	0,026	0,026	0,031	0,058	0,074	0,012	1,66	3,60
Tl	0,09	0,15	0,17	0,17	0,17	0,19	0,24	0,37	0,04	1,41	5,59
Tm	0,06	0,10	0,12	0,12	0,12	0,14	0,17	0,21	0,03	0,64	1,03
U	0,60	0,90	1,18	1,10	1,12	1,30	2,00	4,20	0,49	3,09	13,84
V	20	28	36	32	34	38	72	104	14	2,43	7,19
Y	5,2	8,1	8,9	8,9	8,8	9,6	12,1	15,2	1,7	0,63	2,05
Yb	0,43	0,71	0,81	0,80	0,79	0,88	1,19	1,40	0,18	0,80	1,74
Zn	54	98	164	131	139	178	310	1202	146	4,69	26,28
Zr	0,05	0,20	0,39	0,30	0,29	0,40	1,00	2,50	0,40	3,58	15,27
pH	4,72	6,85	6,87	7,10	6,84	7,23	7,39	7,49	0,60	–1,88	2,85
Ccel/ Ctot	1,34	2,91	3,83	3,60	3,61	4,45	6,23	12,71	1,48	2,54	11,65
Corg	1,20	2,62	3,28	3,09	3,09	3,67	4,83	11,55	1,28	2,91	15,24

[1]Gaberšek & Gosar, 2018; Min: najnižja vrednost/minimum level; P25: 25. percentil/25th percentile; X: aritmetična sredina/arithmetic mean; Me: mediana/median; Xg: geometrijska sredina/geometric mean; P75: 75. percentil/75th percentile; P95: 95. percentil/95th percentile; Maks: najvišja vrednost/maximum level; s: standardni odklon/standard deviation; A: stopnja asimetrije/skewness; E: koničastost/kurtosis; comma is a decimal separator

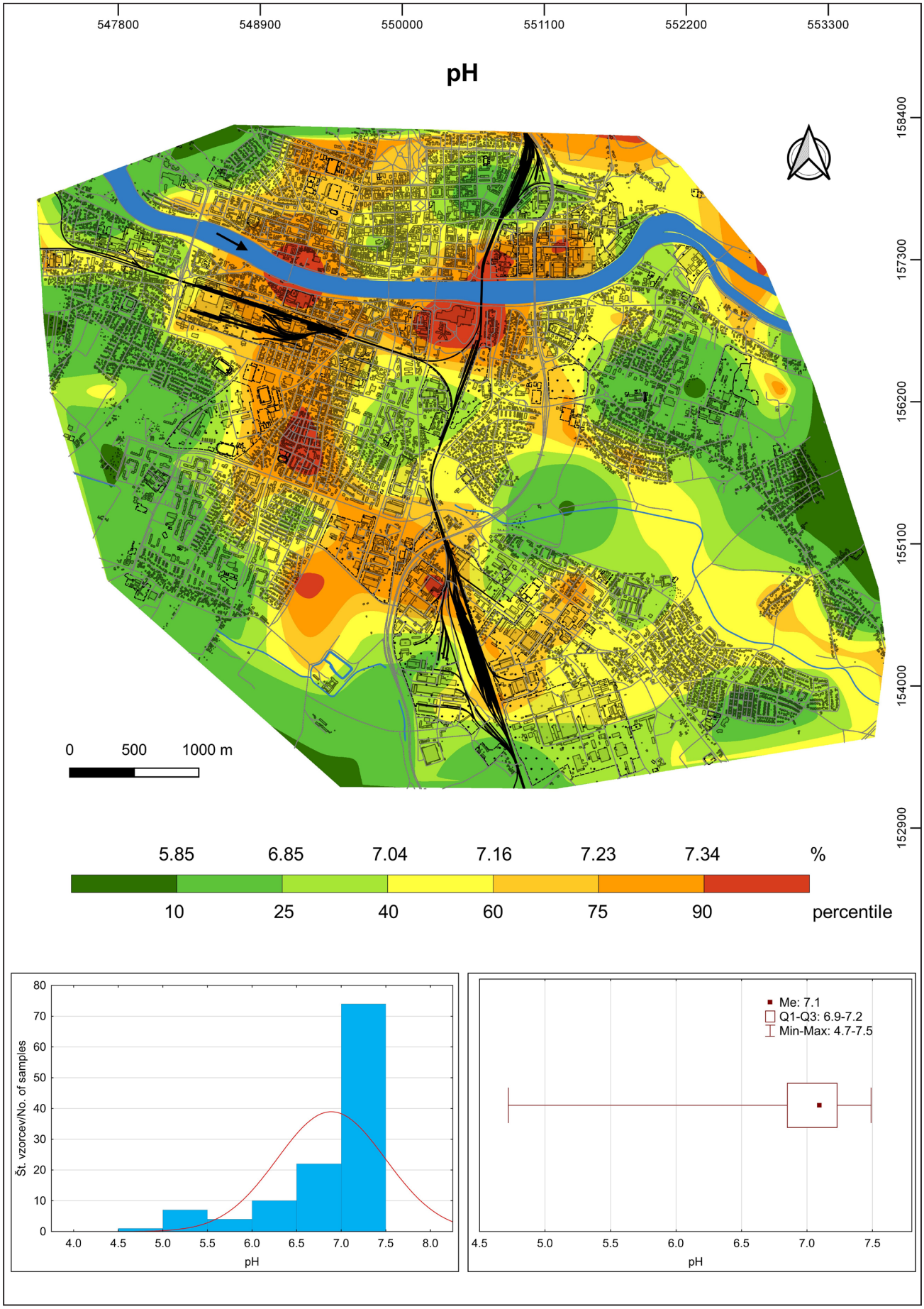
Rezultati in diskusija

Vrednosti pH in vsebnosti celotnega ter organskega ogljika

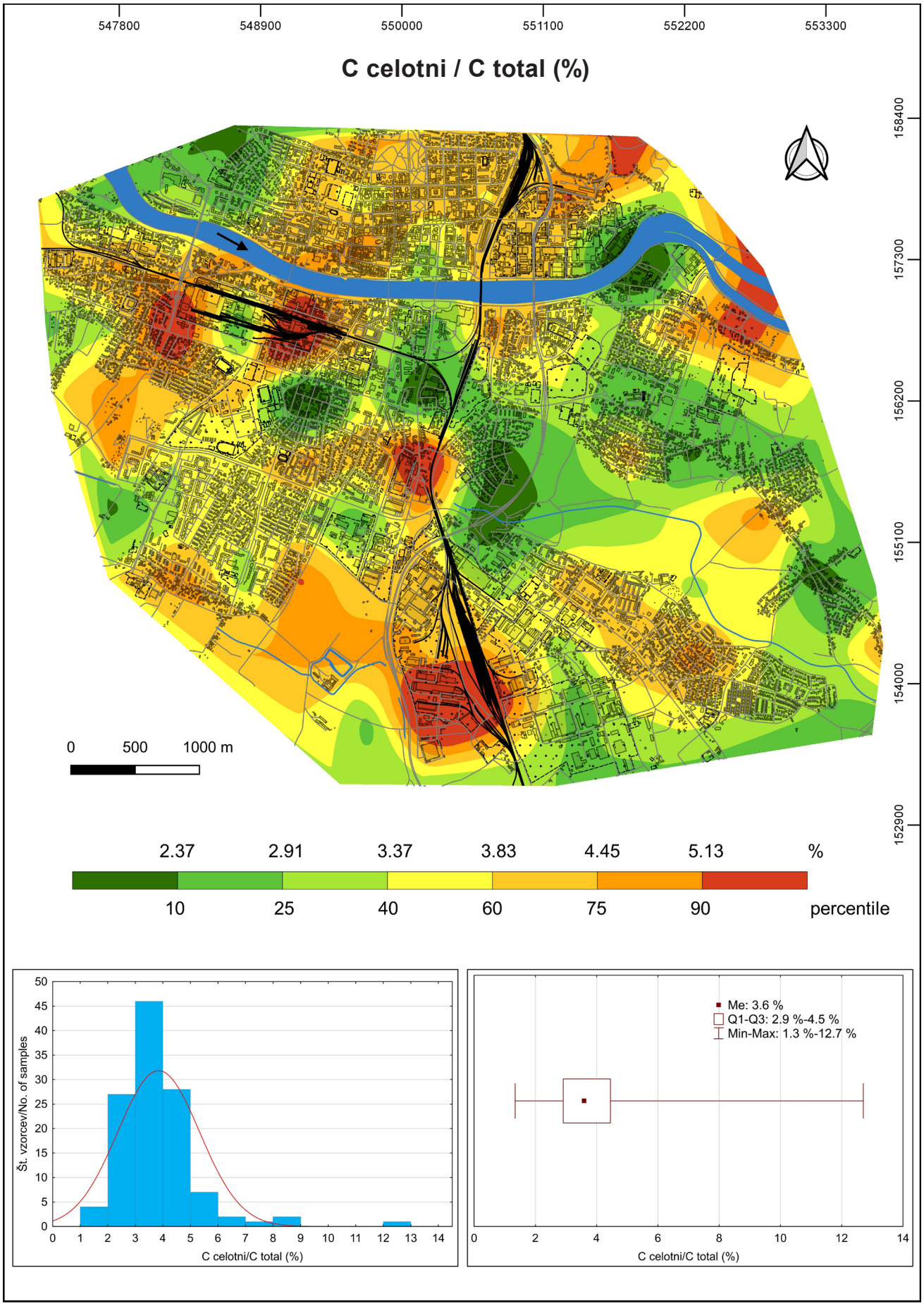
V Tabeli 2 so podani osnovni statistični podatki elementne sestave tal in pH vrednosti. Vrednosti pH so med 4,7 in 7,5, mediana znaša 7,1. Glede na to, da v Mariboru in okolici prevladujejo nekarbonatne kamnine in sedimenti, so ugotovljene vrednosti nekoliko višje od pričakovanih. Karta pH zgornjega horizonta tal v Sloveniji, ki so jo izdelali na Centru za pedologijo in varstvo okolja na ljubljanski Biotehniški fakulteti kaže, da so tla v okolici Maribora močno kisla (pH < 4,5; predvsem v Dravski dolini), kisla (4,6–5,5) in zmerno kisla (5,6–6,5). Nevtralna tla (6,6–7,2) so v močno podrejenem položaju, pojavljajo se le na območju Slovenskih goric. Za tla na urbanih območjih so sicer značilne nevtralne do rahlo ali celo močno bazične vrednosti pH, ne glede na geološko zgradbo ozemlja, kar je posledica antropogenih dejavnosti (Yang & Zhang, 2015). Na raziskovanem območju smo najnižjo vrednost pH izmerili na SZ robu, na travniški površini Vrbanskega platoja (sl. 3). Nekoliko nižje vrednosti smo ugotovili še na JZ obrobju Maribora, pod vznožjem Pohorja, in na V območja, predvsem na kmetijskih površinah (travnikih). Za večino ožjega območja Maribora so značilne vrednosti okrog nevtralne. Vrednosti nad 7 se nadaljujejo tudi na gričevnato, vinogradniško območje S od Maribora, kar je lahko posledica morebitnega apnenja kmetijskih površin. Višje vrednosti pH na območju Maribora glede na okolico lahko deloma pripišemo posipanju cest s karbonatnimi peski in soljenju v zimskem času, saj za te namene v Sloveniji uporabljajo suho sol (NaCl) in mokro sol, kjer je NaCl omočen z raztopino $MgCl_2$, $CaCl_2$ ali tudi NaCl (Švegl et al., 2006). Vnašanje (neposredno ali s prašenjem preko ozračja) elektrofiltrskega pepela in gradbenega materiala z nevtralno ali bazično vrednostjo pH (npr. apno, beton) lahko prav tako zviša pH tal v urbanih okoljih (Birke et al., 2011; Yang & Zhang, 2015). V okoljih z višjim pH je običajno večina PSE (npr. Cu, Hg, Pb) nemobilnih oz. manj mobilnih, kot v tleh z nižjim pH (Kabata Pendias, 2011) in posledično predstavljajo manjše tveganje za okolje in ljudi. To je še posebej pomembno za urbana okolja, za katera so značilne visoke vsebnosti nekaterih PSE v tleh in veliko število prebivalcev. Vsebnosti celotnega ogljika (C cel) v tleh so med 1,3 % in 12,7 % (sl. 4), vsebnosti organskega ogljika (C org) pa med 1,2 % in 11,6 %. Mediana C cel je 3,6 % in C org 3,1 %. Od celotne vsebnosti ogljika v tleh, ga povprečno 87 % pripada organskemu ogljiku. Mediana vsebnosti organske snovi, ki smo jo izračunali na podlagi vsebnosti C org, je 5,9 %, kar je nekoliko nižje od mediane slovenskih tal (8,2 %; Zupan et al., 2008) in tudi od tal v Ljubljani (9,5 %; Gliha, 2008). Najnižjo vsebnost (2,3 %) smo ugotovili na SV robu območja, blizu Drave, najvišjo (21,9 %) pa v bližini opuščenega industrijskega objekta na Teznu. Prostorska porazdelitev vsebnosti C org oz. organske snovi je precej enakomerna po celotnem Mariboru (sl. 5). Več pedoloških in mineraloških značilnosti izbranih 14 vzorcev mariborskih tal so predstavili Gaberšek in sodelavci (2020).

Povezave med elementi

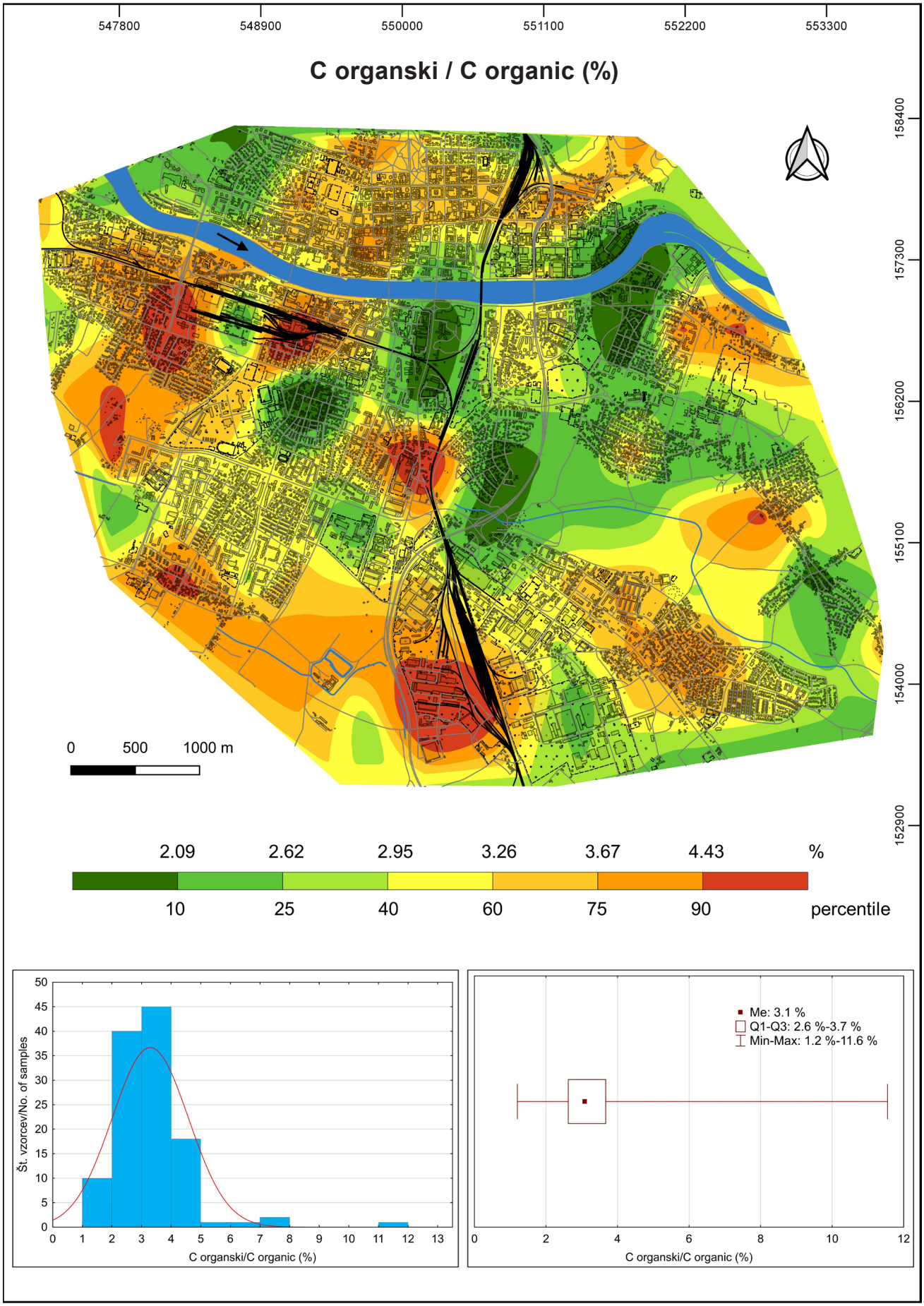
Povezave med elementi smo ugotavljali s Spearmanovim koeficientom korelacije. Ob upoštevanju le statistično značilnih ($p < 0,05$) koeficientov višjih od 0,7, smo lahko elemente (in nekaj pedoloških lastnosti) razdelili v sledečih 5 skupin, ki smo jih opisali v Gaberšek & Gosar (2018): (1) Al, Co, Cr, Fe, Ga, Li, Mn, Ni, REE in V; (2) Ag, Ba, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, Sn in Zn; (3) Ca, Mg, Sr, B, pH; (4) Cs, Tl, Rb; (5) S, C cel in C org. Prva skupina predstavlja elemente, ki so večinoma geogenega izvora oz. izvirajo iz preperevanja magmatskih in metamorfnih kamnin. To domnevo potrjuje tudi



Sl. 3. Prostorska porazdelitev pH vrednosti (decimalno ločilo je pika).
Fig. 3. Spatial distribution of pH values.



Sl. 4. Prostorska porazdelitev vsebnosti celotnega ogljika (v %; decimalno ločilo je pika).
Fig. 4. Spatial distribution of total carbon contents (in %).



Sl. 5. Prostorska porazdelitev vsebnosti organskega ogljika (v %; decimalno ločilo je pika).
Fig. 5. Spatial distribution of organic carbon contents (in %).



njihova prostorska porazdelitev, saj so najvišje vsebnosti večinoma zgoščene na JZ obravnavanega območja, pod vznožjem Pohorja. Opazne so določene podskupine, kot npr. Al-Ga-V-Fe, za katere so značilne močne korelacije (> 0,9) in jih lahko povežemo z nekaterimi minerali, ki so prisotni v tleh (npr. klorit, deloma amfiboli; Gaberšek et al., 2020) oz. preperevanjem kamnin bogatih s temi elementi (npr. amfibolitov, ki so bogati z V; Štrucl & Kluge, 1991).

Drugo skupino predstavljajo PSE (Ag, Ba, Cd, Cu, Hg, Sb, Sn, Pb in Zn), ki jih nekateri raziskovalci označujejo kot tipično urbane elemente, saj so njihove vsebnosti zaradi antropogenih dejavnosti pogosto večje v urbanih okoljih kot v ruralnih. Izvirajo tako iz antropogenih kot naravnih oz. geogenih virov. Doprinos iz antropogenih dejavnosti v Mariboru (npr. industrija, promet) potrjuje njihova prostorska porazdelitev, z višjimi vsebnostmi na vseh treh industrijskih območjih in v starem mestnem jedru. Določen vpliv na vsebnosti Cd, Pb in Zn bi lahko pripisali tudi rudnim pojavom oz. rudarsko-topilniški dejavnosti v zgornjem porečju Drave (Mežica, rudišča v Avstriji in SV Italiji). Tovrsten vpliv na kemično sestavo aluvialnih tal ob Dravi, predvsem na poplavnih ravnicah južno od Maribora, je že dokumentiran (Šajn et al., 2011; Gaberšek & Gosar, 2023). Kljub temu ocenjujemo, da je vpliv rudarjenja na porazdelitev PSE na raziskovanem območju zanemarljiv, saj Maribor ni izpostavljen poplavljanju reke Drave.

Tretjo skupino sestavljajo elementi (Ca, Mg, Sr, B), ki so večinoma povezani s karbonati oz. pedološkimi lastnostmi (pH), ki so odvisne od vsebnosti karbonatov v tleh. Ker so karbonatne kamnine v okolici Maribora redke, lahko njihov izvor deloma pripišemo tudi posipanju in soljenju cest ter uporabi gradbenega materiala. Dodatno bi v to skupino lahko uvrstili tudi Na, ki kaže visoki korelaciji s Ca (0,57) in Sr (0,66). Na drug izvor, kot ga imajo elementi prve skupine, nakazujejo tudi negativne korelacije Ca z Al, Ga ter Li.

V četrto skupino spadajo Cs, Rb in Tl. Če upoštevamo še korelacijske koeficiente med 0,6 in 0,7 vidimo, da so ti trije elementi povezani z elementi prve skupine, zato njihov izvor lahko pripišemo preperevanju magmatskih in metamorfnih kamnin.

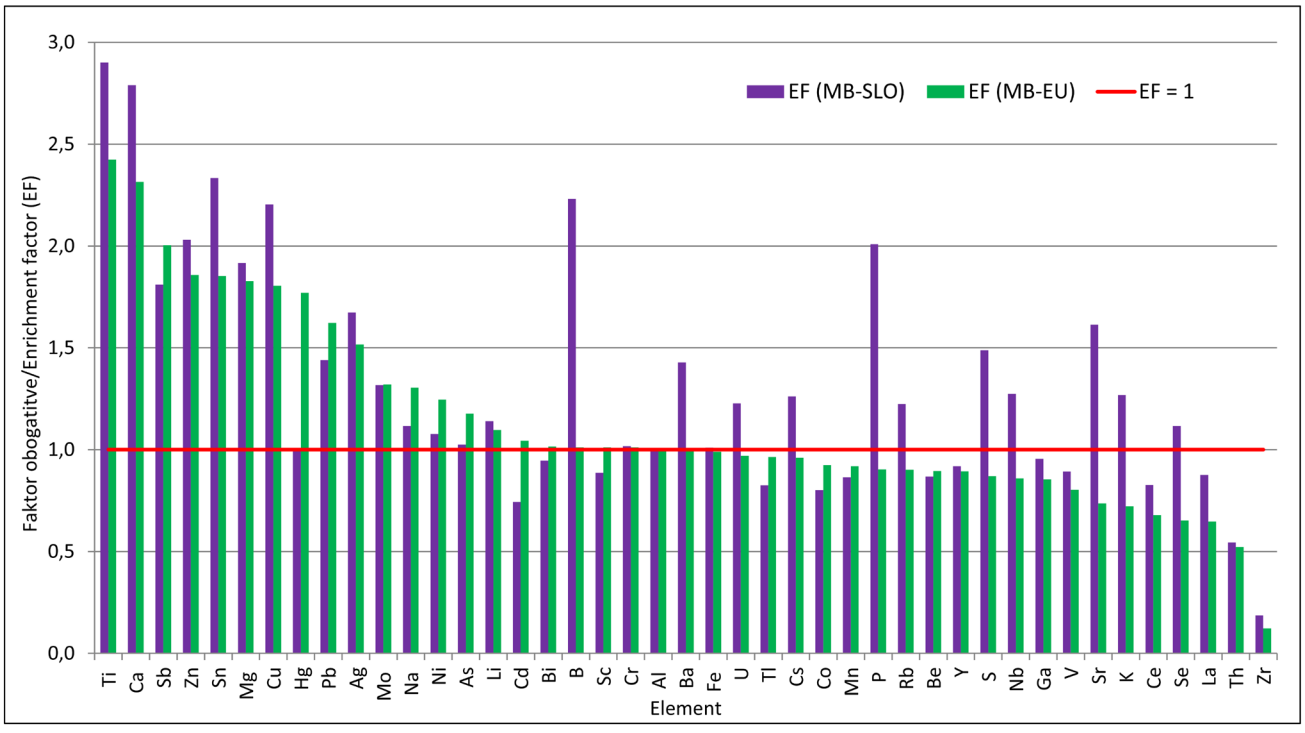
Peta skupina združuje C in S, ki sta del organske snovi. Korelacij med organsko snovjo in drugimi elementi nismo zaznali, kar kaže, da organska snov v mariborskih tleh ne igra pomembne vloge pri vezavi PSE.

Obogatitve v mariborskih tleh

Da bi ugotovili s katerimi elementi so v primerjavi s slovenskimi in evropskimi tlemi obogatena mariborska tla, smo izračunali faktorje obogatitve (EF). Ob primerjavi vsebnosti elementov v mariborskih in slovenskih tleh (Gosar et al., 2019), smo najvišji EF ugotovili za Ti (EF=2,9), Ca (EF=2,8), Sn (EF=2,3), B (EF=2,2), Cu (EF=2,2), Zn (EF=2,0) in P (EF=2,0) (sl. 6). Vrednosti EF med 1 in 2 imajo Mg, Sb, Ag, Sr, S, Pb, Ba, Mo, Nb, K, Cs, U, Rb, Li, Na, Se, Ni, As, Cr in Fe. Tla v Mariboru lahko torej opredelimo kot zmerno obogatena (EF = 2–5; Sutherland, 2000) s Ti, Ca, Sn, B, Cu, Zn in P v primerjavi s slovenskimi tlemi. Višje vsebnosti v Mariboru lahko pripišemo deloma geogenim, deloma antropogenim dejavnikom. Elementi, kot so Sn, Cu, Zn in Sb, predstavljajo tipične elemente urbanega okolja. Tudi višje vsebnosti Ca, Mg in Sr lahko deloma pripišemo antropogenim dejavnostim.

Ob primerjavi vsebnosti elementov v mariborskih in evropskih tleh (Reimann et al., 2014) smo najvišji EF ugotovili za Ti (EF=2,4), Ca (EF=2,3) in Sb (EF=2,0) (sl. 6). EF med 1 in 2 pa ima sledečih 17 elementov: Zn, Sn, Mg, Cu, Hg, Pb, Ag, Mo, Na, Ni, As, Li, Cd, Bi, B, Sc in Cr (Gaberšek & Gosar, 2018).

Obogatitve mariborskih tal glede na evropska so pričakovana, saj so v projektu GEMAS ugotovili, da so za tla v južni Evropi značilne višje vsebnosti več PSE glede na severno Evropo, mediane PSE za slovenska tla pa so pogosto med najvišjimi v Evropi (Reimann et al., 2014). Vzroki za tovrstno porazdelitev vsebnosti med severno in južno Evropo so razlike v geološki zgradbi (več karbonatnih kamnin na jugu Evrope, na katerih so nastala rezidualna tla, za katere so značilne večje vsebnosti nekaterih PSE), razlike v podnebnih razmerah, prisotnost vulkanske aktivnosti na jugu in zadnja poledenitev, ki je pokrivala severni del Evrope in s tem preprečevala preperevanje matične podlage oz. razvoj tal (Reimann et al., 2014). Dodatno na obogatitve določenih elementov vplivajo tudi različne antropogene dejavnosti.



Sl. 6. Normalizirani faktorji obogatitve (EF) za 43 elementov v mariborskih tleh, v primerjavi s slovenskimi (vijolična barva; Gosar et al., 2019) in evropskimi tlemi (zelena barva; Reimann et al., 2014).

Fig. 6. Normalised enrichment factors (EF) for 43 elements in soil in Maribor in comparison to Slovenian soil (purple colour; Gosar et al., 2019) and European soil (green colour; Reimann et al., 2014).

Prostorska porazdelitev vsebnosti elementov

V nadaljevanju podajamo podrobnejši komentar prostorske porazdelitve najbolj zanimivih elementov, začenši z glavnimi elementi, katerim sledijo potencialno strupeni elementi in elementi redkih zemelj. Podatki za primerjavo z vsebnostmi v slovenskih tleh so povzeti po Gosar in sodelavci (2019). V Tabeli 2 so podani osnovni statistični podatki elementne sestave tal. Ob koncu besedila po abecednem vrstnem redu (po kraticah elementov), kot je običajno za geokemične atlase, sledijo interpolacijske karte vseh 55 elementov (sl. 7–61), ki so zadostili zahtevam kakovosti analize.

Glavni elementi

Aluminij, Fe in Mn imajo podobno prostorsko porazdelitev, saj so njihove visoke vsebnosti značilne za JZ del območja, ob vznožju Pohorja. Najvišja vsebnost Fe je bila ugotovljena na S industrijskega območja Tezno in najvišja vsebnost Mn na območju saniranega odlagališča odpadkov Pobrežje na V mesta. Za vznožje Pohorja so značilne tudi nekoliko višje vsebnosti Ti, ki se v visokih vsebnostih pojavlja še na industrijskem območju Studenci oz. vzhodno od njega. Najvišja vsebnost P je bila ugotovljena v bližini tovarne umetnih brusov in tehničnih tkanin, višje vsebnosti so značilne še za staro mestno jedro in deloma za Z oz. JZ obrobje. Najvišje vsebnosti Ca, Mg in Na so neenakomerno porazdeljene po celotnem območju, pogosto se pojavljajo ob glavnih prometnicah. Opazno je pogosto sovpadanje visokih vsebnosti Ca in Mg. Najvišje vsebnosti K smo zaznali na skrajnem S in SV mesta, ob vznožjih Kalvarije in Mestnega vrha ter na Meljskem hribu. Nekaj lokacij s povišanimi vsebnostmi K smo zaznali še na industrijskih območjih Tezno in Studenci. Višje vsebnosti S se neenakomerno pojavljajo po celotnem območju, z izjemo Pobrežja in Stražuna. Najvišjo vsebnost smo ugotovili na industrijskem območju Tezno, ob opuščenem industrijskem objektu.

Potencialno strupeni elementi in elementi redkih zemelj

Baker, Pb in Zn v mariborskih tleh kažejo veliko prostorsko heterogenost. Vsebnosti **Cu** so med 17,5 in 1347 mg/kg, **Pb** med 19 in 626 mg/kg ter **Zn** med 54 in 1202 mg/kg. Mediana Cu (40,1 mg/kg) je dvakrat višja od slovenske (20,3 mg/kg) in tudi nekoliko višja od ljubljanske (32 mg/kg) (Biasioli et al., 2007). Tudi mediana Zn (131 mg/kg) je višja tako od slovenske kot ljubljanske. Svinec nekoliko manj odstopa, saj je njegova mediana (44 mg/kg) višja od slovenskih tal (34,1 mg/kg), ne pa tudi od ljubljanskih. Najvišje vsebnosti Cu se pojavljajo na industrijskih območjih Melje, v bližini livarne (maks. 525 mg/kg) in Tezno (maks. 857 mg/kg). Najvišjo vsebnost Cu (1347 mg/kg) smo ugotovili na JV obrobju Maribora, neposredno ob manjšem makadamskem parkirišču ob cesti (MBSO102). Za to lokacijo je značilna tudi visoka vrednost Zn (828 mg/kg). Nekoliko višje vsebnosti Cu so značilne še za vinogradniško, gričevnato področje SV od Maribora. Obogatitev tal z Cu v vinogradih je lahko posledica uporabe bakrovih fungicidov in herbicidov (Rusjan et al., 2007; Komárek, 2010; Reimann et al., 2014).

Cink kaže podobno prostorsko porazdelitev kot Cu. Visoke vsebnosti so značilne za industrijski območji Melje (308 in 628 mg/kg) in Tezno (1202 mg/kg). Visoki vsebnosti sta bili zaznani tudi severno od Tezna, v bližini tovarne umetnih brusov (680 mg/kg), in na travniku na JZ obrobju Maribora (535 mg/kg). Nekoliko višje vsebnosti tako Zn kot Cu so značilne še za staro mestno jedro, industrijsko območje Studenci in okoliška področja. V predelih mesta, ki so oddaljeni od prej izpostavljenih območij, so vsebnosti teh dveh elementov običajno občutno nižje. Tovrstna prostorska porazdelitev vsebnosti Cu in Zn kaže, da je njun glavni vir v Mariboru industrijska dejavnost, v manjši meri tudi promet in, na obrobju Maribora, kmetijstvo.

Tudi za Pb so značilne višje vsebnosti v tleh v starem mestnem jedru, v industrijskem območju Studenci, deloma na Teznu in v Melju ter okolici. Najvišjo vsebnost (626 mg/kg) smo ugotovili na kmetijski površini na JZ obrobju Maribora (MBSO092), kar nakazuje na vpliv kmetijske dejavnosti.

Glede na slovensko *Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh* (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1 2004), najvišje vsebnosti Cu, Pb in Zn presegajo zakonsko določene vrednosti. Vsebnosti Cu na 16 lokacijah presegajo mejno vrednost (60 mg/kg), na 11 opozorilno (100 mg/kg) in na treh kritično vrednost (300 mg/kg). Vsebnosti Cu tako presegajo eno izmed zakonsko določenih vrednosti v 25 %

vzorcev. Svinec presega mejno vrednost (85 mg/kg) na 6 vzorčnih mestih, opozorilno (100 mg/kg) na 8 in kritično (530 mg/kg) na 2 mestih. Vsebnosti Zn pa presegajo mejno vrednost (200 mg/kg) v 10 vzorcih, opozorilno (300 mg/kg) v 4 in kritično (720 mg/kg) v dveh vzorcih. Vsaj ena izmed zakonsko določenih vsebnosti Pb in Zn je tako presežena v 13,5 % vzorcev tal.

Vsebnosti **As** so precej enakomerno porazdeljene po celotnem območju, kar kaže na naraven oz. geogen izvor. Vsebnosti so med 5,2 in 16,9 mg/kg, mediana znaša 10,1 mg/kg, kar je nekoliko nižje od slovenske (11 mg/kg).

Mediana **Ba** (96,5 mg/kg) je višja od slovenske (75,4 mg/kg). Najvišja vsebnost (613 mg/kg) je bila ugotovljena v bližini tovarne umetnih brusov in tehničnih tkanin S od Tezna, višje vsebnosti so značilne še za Z del mesta, staro mestno jedro in del industrijskega območja Tezno.

Ugotovljene vsebnosti **Cd** so med 0,14 in 2,28 mg/kg. Mediana znaša 0,32 mg/kg, kar je nekoliko nižje od slovenske (0,48 mg/kg). Kljub relativno nizkim vsebnostim, smo na dveh vzorčnih mestih ugotovili preseganje mejne vrednosti iz uredbe (1 mg/kg) in na enem vzorčnem mestu preseganje opozorilne (2 mg/kg; Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1 2004). Predvidevamo, da so najvišje vsebnosti deloma antropogenega izvora, saj se večinoma pojavljajo na treh industrijskih območjih in starem mestnem jedru. Najvišja vrednost je bila sicer določena v vzorcu iz travniške površine na JZ Maribora (MBSO094). Glede na to, da so nekatere travniške površine na obrobju Maribora nestalne oz. gre za njive, ki so zaradi kolobarjenja občasno posejane s travo, bi lahko najvišjo vsebnost Cd pripisali uporabi pesticidov. Tudi Birke in sodelavci (2016) domnevajo, da je vir Cd v slovenskih travniških in njivskih tleh uporaba pesticidov.

Krom in **Co** imata podobno prostorsko porazdelitev, saj se njune najvišje vsebnosti večinoma pojavljajo na J oz. JZ obrobju mesta, ob vznožju Pohorja. Dodatno se visoke vsebnosti pojavljajo še na območju Tezna, kar lahko kaže na deloma antropogen izvor. Vsebnosti Co se gibljejo med 5,5 in 31,9 mg/kg in vsebnosti **Cr** med 16,0 in 74,2 mg/kg. Njuni mediani (10,2 mg/kg za Co in 31 mg/kg za Cr) sta nekoliko nižji od slovenskih. Vsebnosti Co v 4 vzorcih tudi presegajo mejno vrednost (20 mg/kg) glede na slovensko uredbo za tla (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1 2004).

Mediana **Hg** v mariborskih tleh znaša 0,095 mg/kg, kar je malo nižje od mediane slovenskih tal (0,106 mg/kg). Najvišji vrednosti (0,807 in 0,806 mg/kg) sta bili določeni v parku v starem mestnem jedru in S od Tezna, blizu tovarne umetnih brusov. Obe vrednosti rahlo presegata mejno vrednost (0,8 mg/kg) podano v uredbi za tla (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1 2004). Višje vsebnosti Hg so značilne še za S in SZ del mesta ter S del industrijskega območja Tezno.

Najnižja vsebnost **Mo** znaša 0,38 mg/kg, najvišja 2,78 mg/kg. Mediana (0,85 mg/kg) je nekoliko višja od slovenske (0,70 mg/kg). Rahlo povišane vsebnosti so značilne za vsa tri industrijska območja, najvišja vsebnost je bila ugotovljena na Teznu.

Vsebnosti **Ni** v mariborskih tleh se gibljejo med 14,9 in 62,8 mg/kg, mediana (27,5 mg/kg) ne odstopa od mediane slovenskih tal (28,5 mg/kg). Višje vsebnosti se pojavljajo na V in JZ obrobju obravnavanega območja, najvišja vrednost je bila določena v vzorcu z industrijskega območja Tezno. Na dveh vzorčnih mestih smo ugotovili preseganje mejne vrednosti (50 mg/kg) glede na slovensko uredbo za tla (Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1 2004).

Vsebnosti **Sb** so med 0,38 in 12,2 mg/kg. Najvišja vsebnost je bila ugotovljena na isti lokaciji kot najvišja vsebnost Pb, tj. na travniškem območju na JZ Maribora (MBSO092), sicer pa so visoke vsebnosti značilne predvsem za vsa tri industrijska območja in mestno jedro. Mediana Sb (0,86 mg/kg) je nekoliko višja od slovenske (0,53 mg/kg), kar skupaj s prostorsko porazdelitvijo kaže na deloma antropogen izvor tega elementa.

Najvišje vsebnosti **Sn** so bile zaznane na industrijskih območjih Tezno (najvišja vsebnost je 70,4 mg/kg) in Studenci, deloma so obogatena tudi tla v mestnem središču.

Najvišje vsebnosti **V** (do 104 mg/kg; mediana je 32 mg/kg) so zgoščene na JZ območja, pod vznožjem Pohorja. Njegova prostorska porazdelitev nakazuje na vpliv preperevanja metamorfnih kamnin na vsebnosti in porazdelitev nekaterih elementov v tleh na območju Maribora, saj se V pojavlja v visokih vsebnostih (do 270 mg/kg) v pohorskih amfibolitih (Štrucl & Kluge, 1991).

Prostorska porazdelitev **REE**, z najvišjimi vsebnostmi izven mestnega središča in industrijskih območij, porazdelitev rezultatov blizu normalne in primerjava z vsebnostmi v evropskih ter svetovnih tleh nakazujejo, da je vpliv antropogenih dejavnosti na vsebnosti in porazdelitev REE v mariborskih tleh zanemarljiv.

Zaključek

Poznavanje porazdelitve kemičnih elementov v tleh je bistveno za zagotavljanje varnega in zdravega bivalnega okolja ter pomembno za prostorsko načrtovanje, posege v prostor in spremljanje dolgoročnih antropogenih vplivov na okolje. Predstavljeni rezultati kažejo, da tla na območju Maribora niso močno obremenjena s PSE (glede na obsežno industrijsko dejavnost v preteklosti smo pričakovali večje vsebnosti nekaterih PSE), odkrili smo le manjša območja in nekatere precej izolirane lokacije z visokimi vsebnostmi Cu, Pb in Zn. Njihove mediane, ki so nekoliko nad slovenskimi, velika variabilnost in prostorska razporeditev kažejo na vsaj deloma antropogen izvor, ki ga lahko pripišemo tudi Cd, Sb, Sn, Hg in Ag. Nekateri preostali elementi, kot so Al, Co, Cr, Fe in V jasno odražajo prevladujoč vpliv geološke podlage.

Pomemben doprinos Geokemičnega atlasa Maribora je prikaz prostorske porazdelitve velikega števila elementov, med katerimi so številni taki, ki se bodo v prihodnosti zaradi zelenega prehoda in ukrepov proti podnebnim spremembam v večjem obsegu uporabljali v antropogenih dejavnostih. Razširjena uporaba nekaterih elementov bo lahko vplivala tudi na njihove prihodnje vsebnosti v tleh, zato prikazani rezultati predstavljajo podlago za spremljanje dolgoročnih antropogenih in tudi geogenih ter vremenskih vplivov na vsebnosti in prostorsko porazdelitev kemičnih elementov v mariborskih tleh.

Zahvala

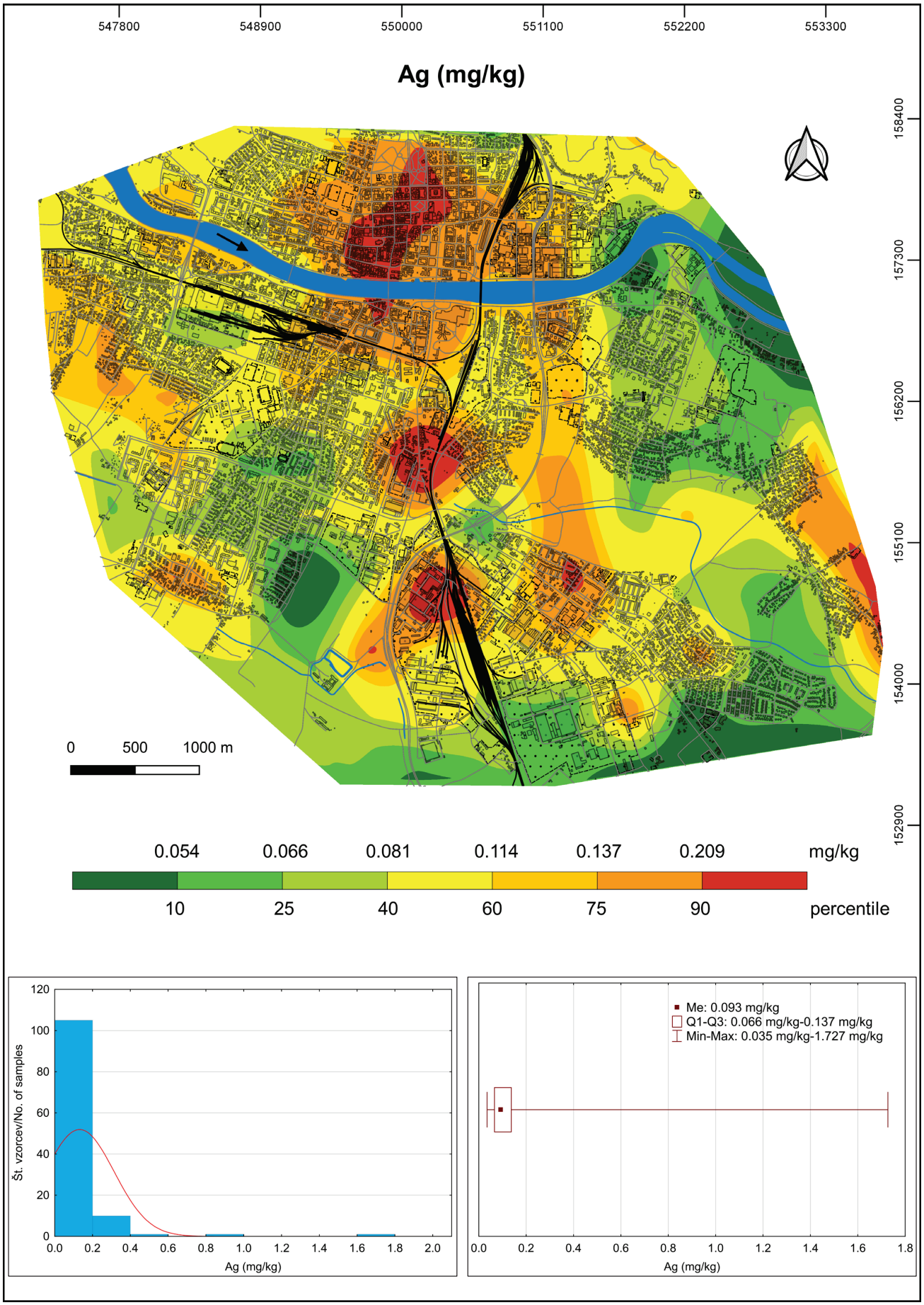
Predstavljeni podatki so bili pridobljeni v okviru doktorske disertacije, ki jo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS), pod mentorstvom dr. Mateje Gosar z Geološkega zavoda Slovenije in so-mentorstvom prof. dr. Nine Zupančič z Naravoslovnotehniške fakultete, katerima se zahvaljujem za vse nasvete in usmerjanje. Izdelavo geokemičnega atlasa je so-financirala ARIS v okviru raziskovalnega programa Podzemne vode in geokemija (P1-0020), ki se izvaja na Geološkem zavodu Slovenije. Zahvaljujem se tudi recenzentkama izr. prof. dr. Nastji Rogan Šmuc in dr. Ajki Pjanić.



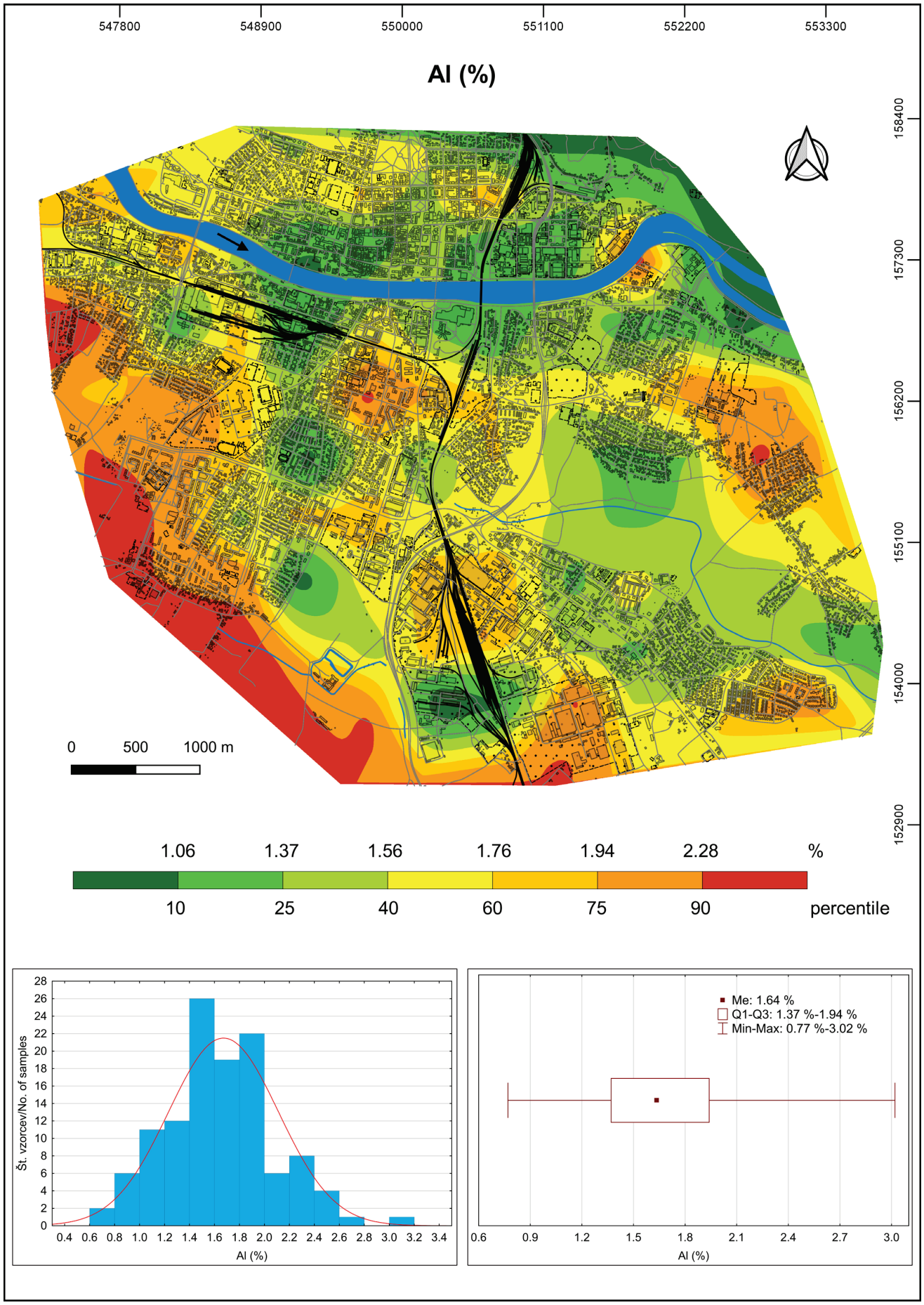


Geokemične karte

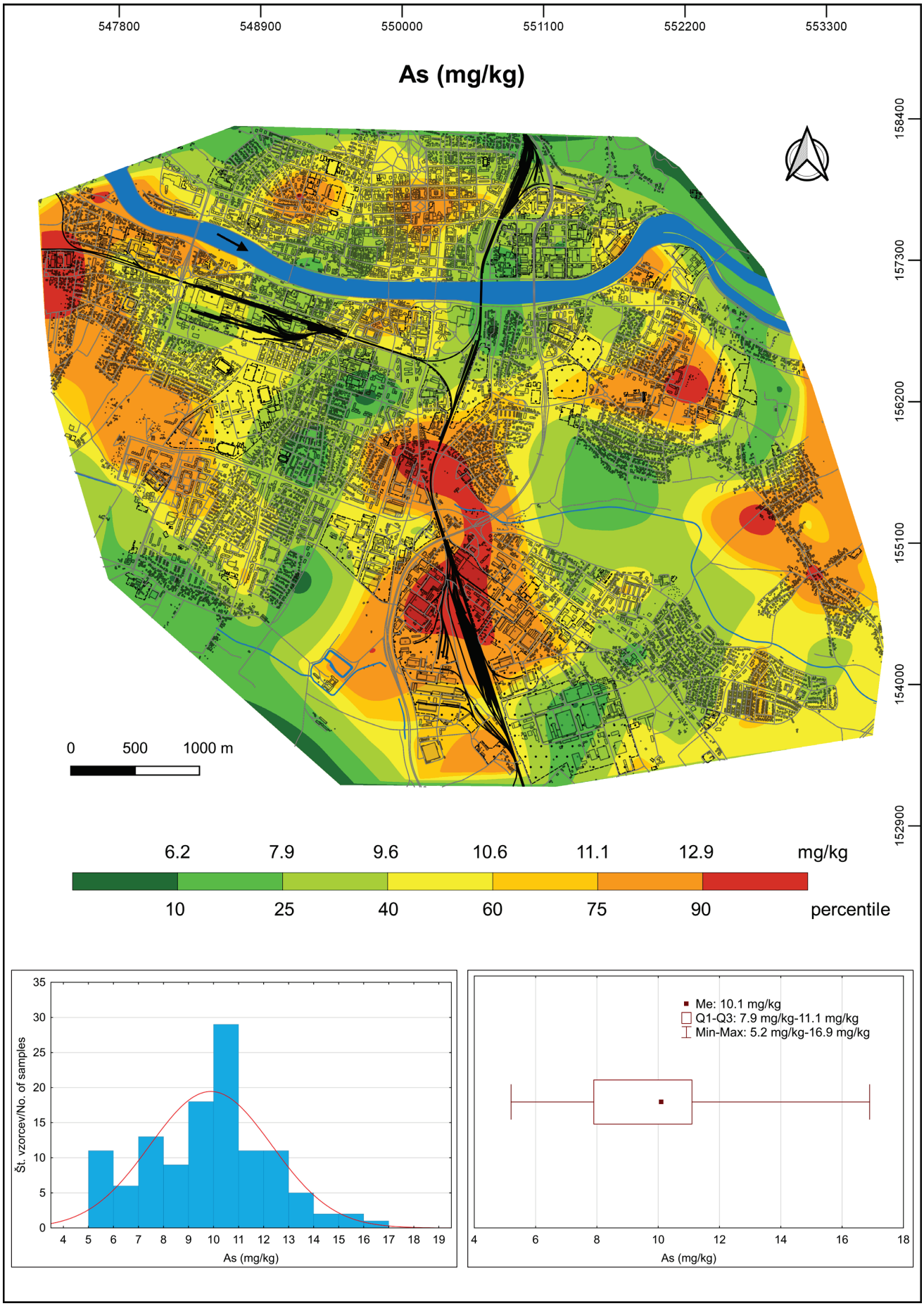




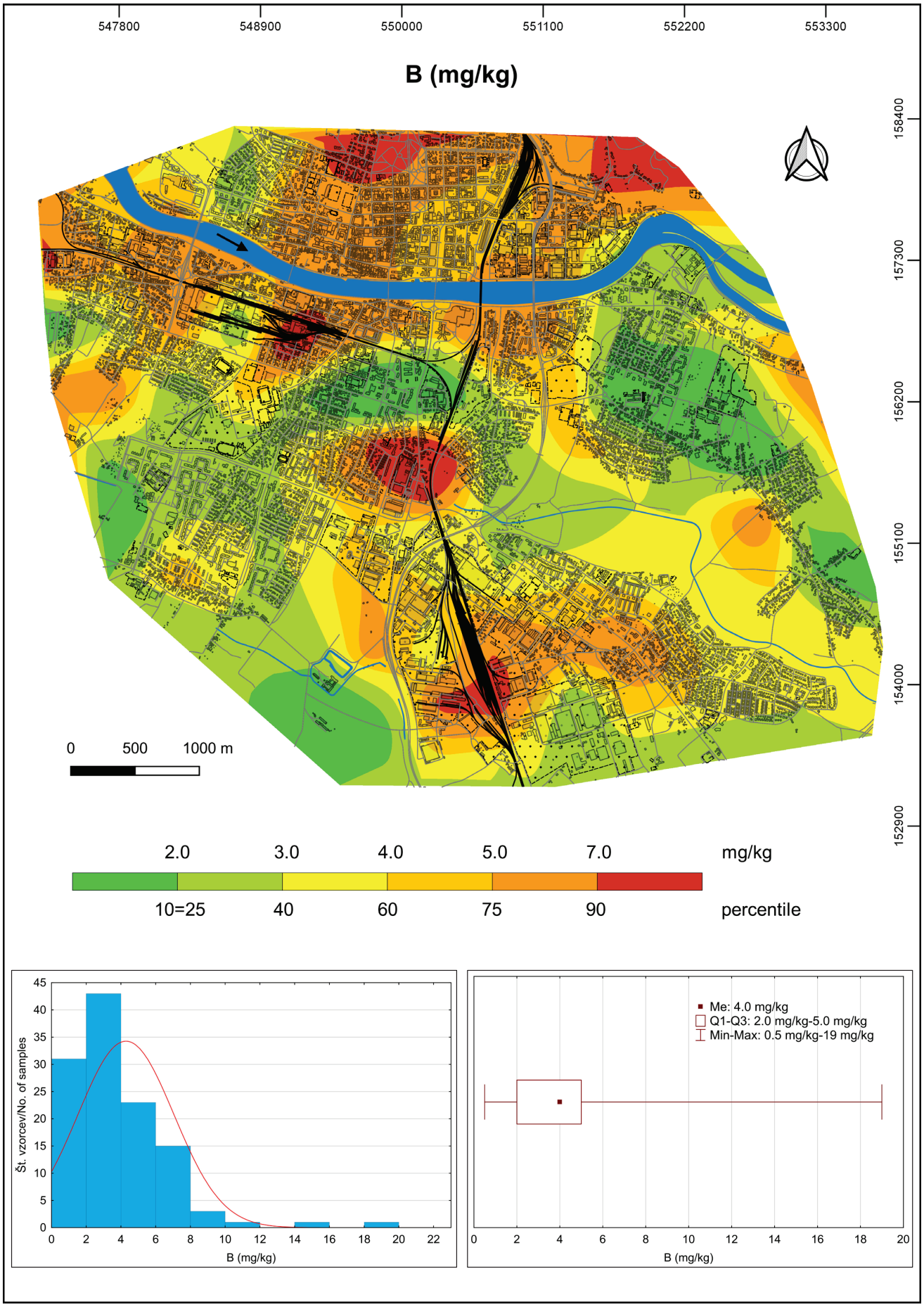
Sl. 7. Prostorska porazdelitev vsebnosti srebra (Ag; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 7. Spatial distribution of silver (Ag) levels (in mg/kg).



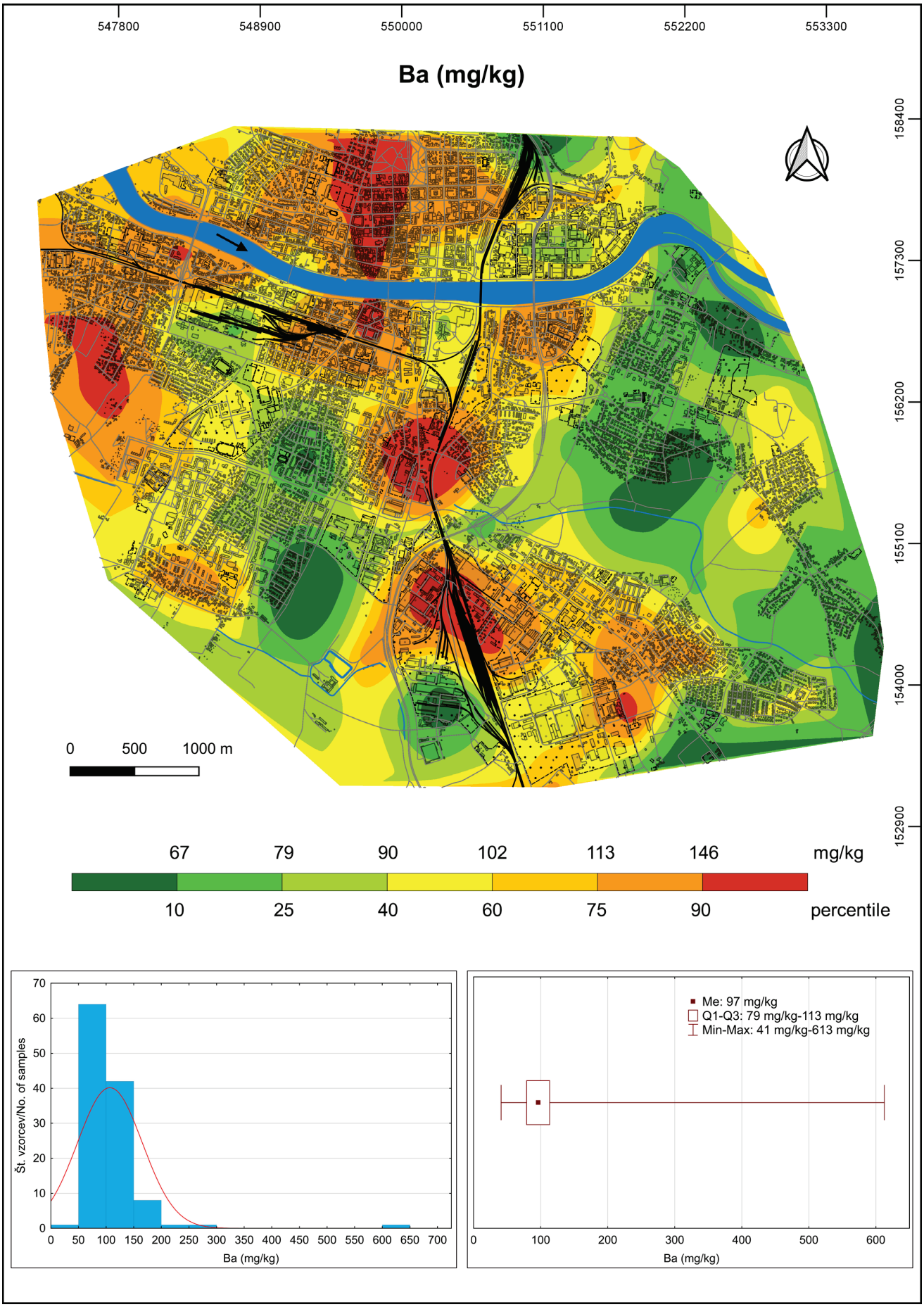
Sl. 8. Prostorska porazdelitev vsebnosti aluminija (Al; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 8. Spatial distribution of aluminium (Al) levels (in %).



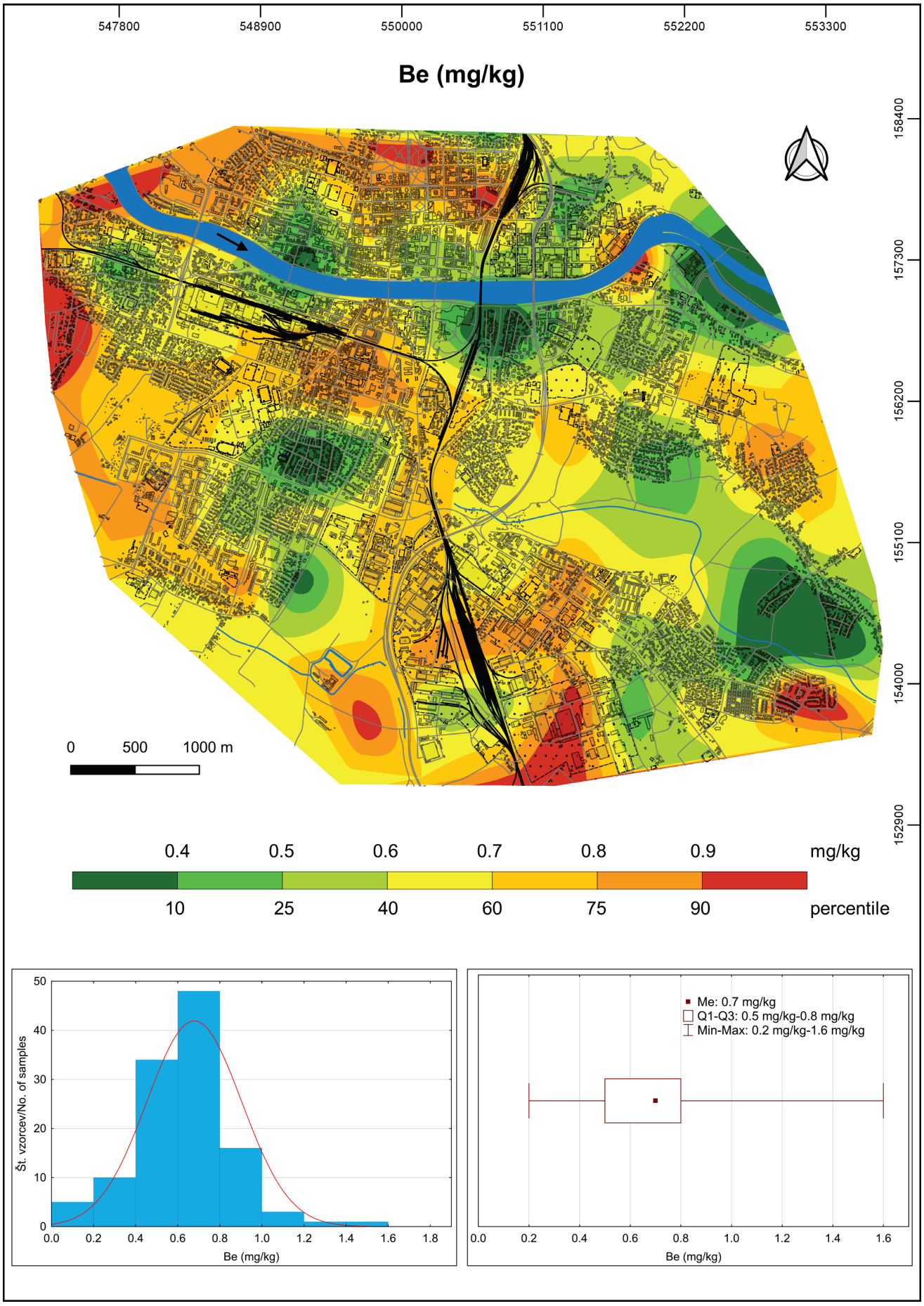
Sl. 9. Prostorska porazdelitev vsebnosti arzena (As; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 9. Spatial distribution of arsenic (As) levels (in mg/kg).



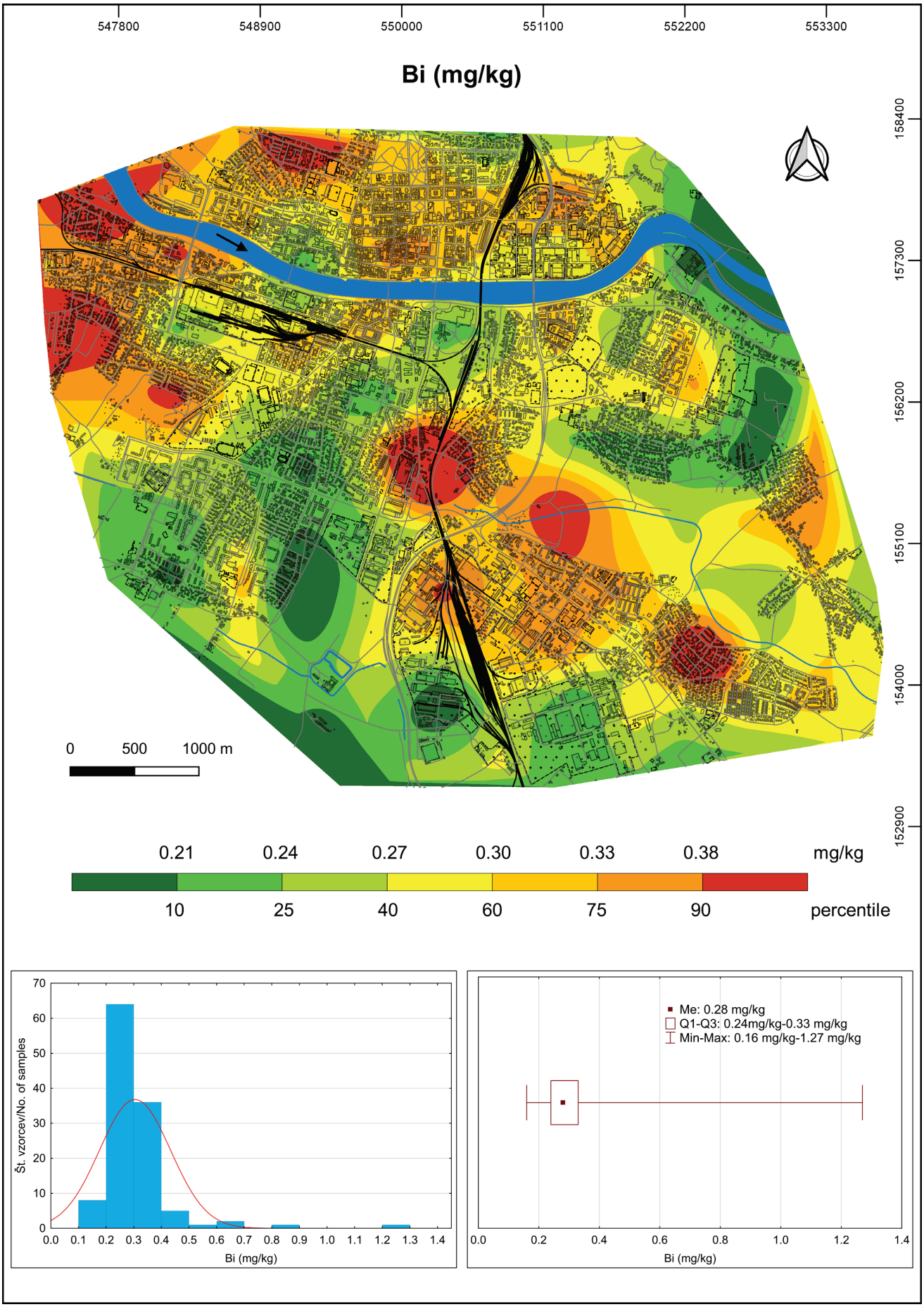
Sl. 10. Prostorska porazdelitev vsebnosti bora (B; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 10. Spatial distribution of boron (B) levels (in mg/kg).



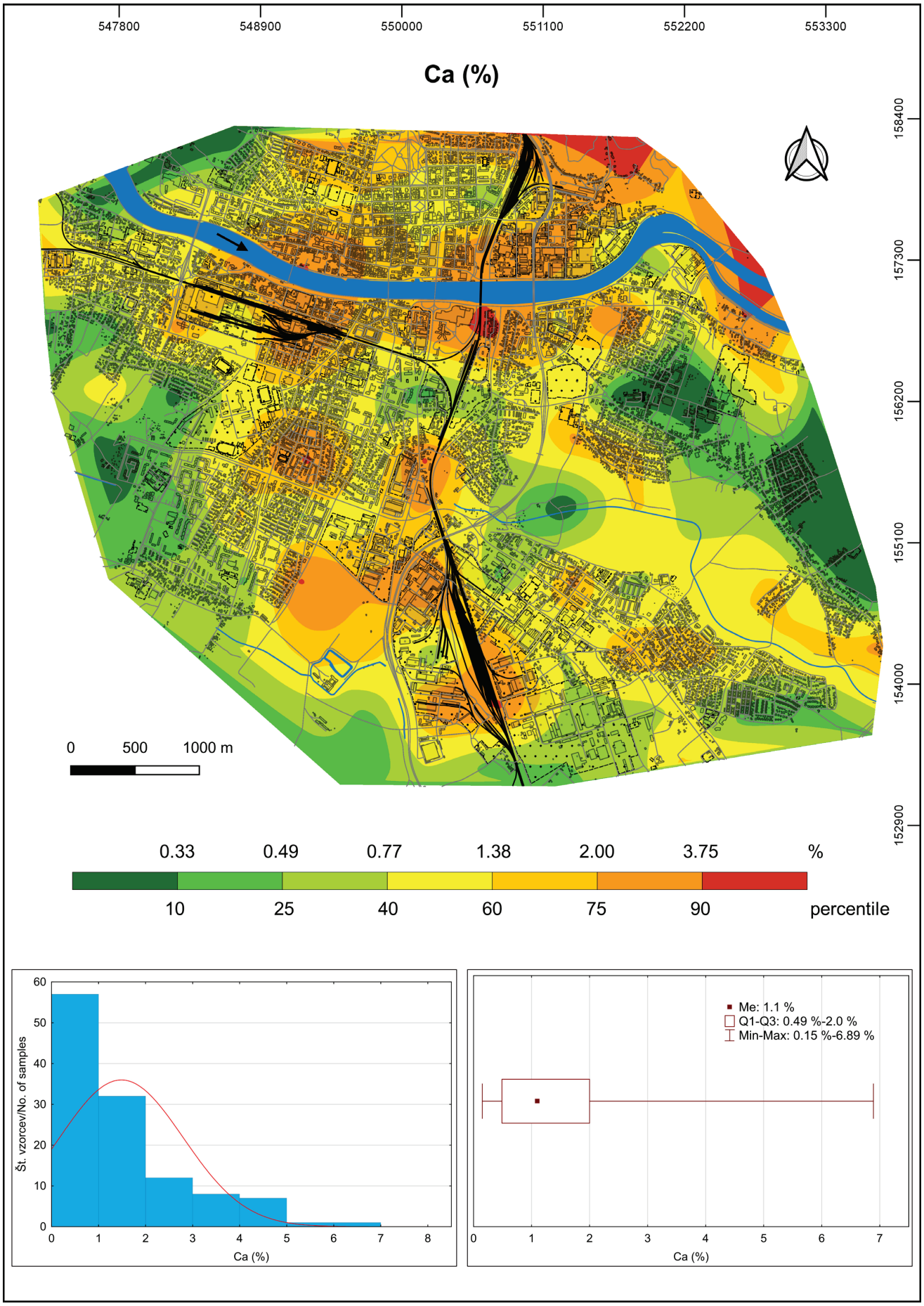
Sl. 11. Prostorska porazdelitev vsebnosti barija (Ba; v mg/kg).
Fig. 11. Spatial distribution of barium (Ba) levels (in mg/kg).



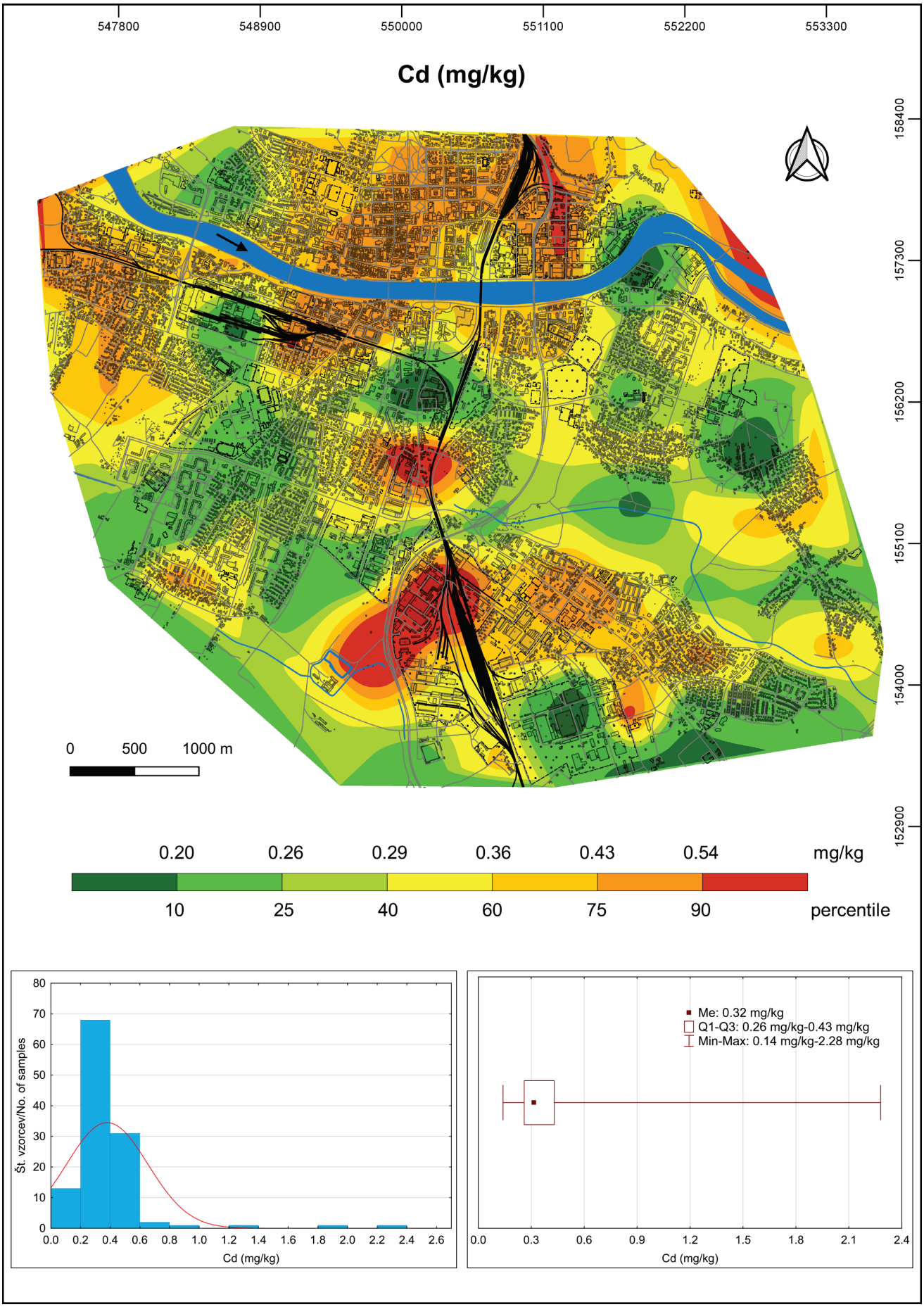
Sl. 12. Prostorska porazdelitev vsebnosti berilija (Be; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 12. Spatial distribution of beryllium (Be) levels (in mg/kg).



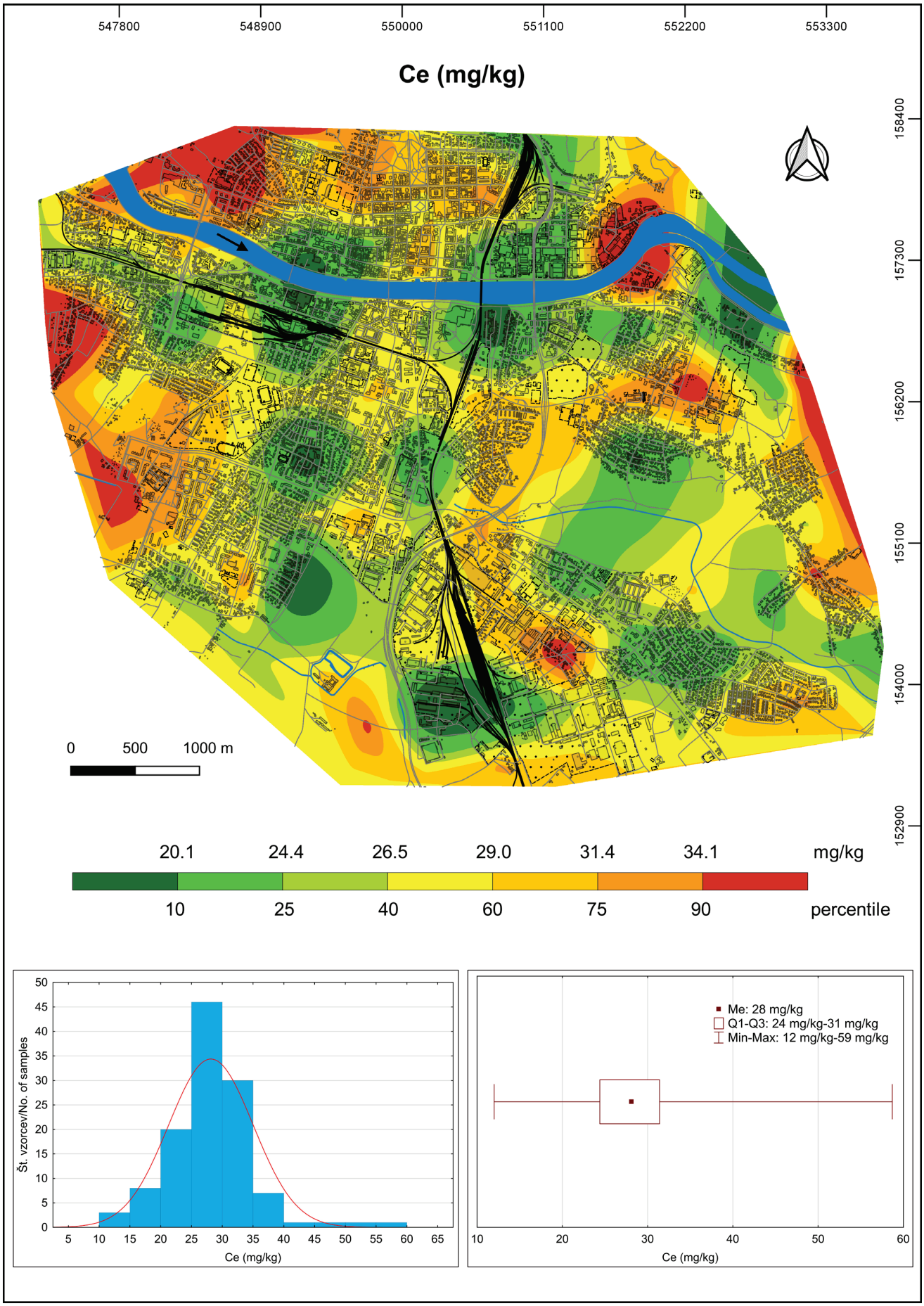
Sl. 13. Prostorska porazdelitev vsebnosti bizmuta (Bi; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 13. Spatial distribution of bismuth (Bi) levels (in mg/kg).



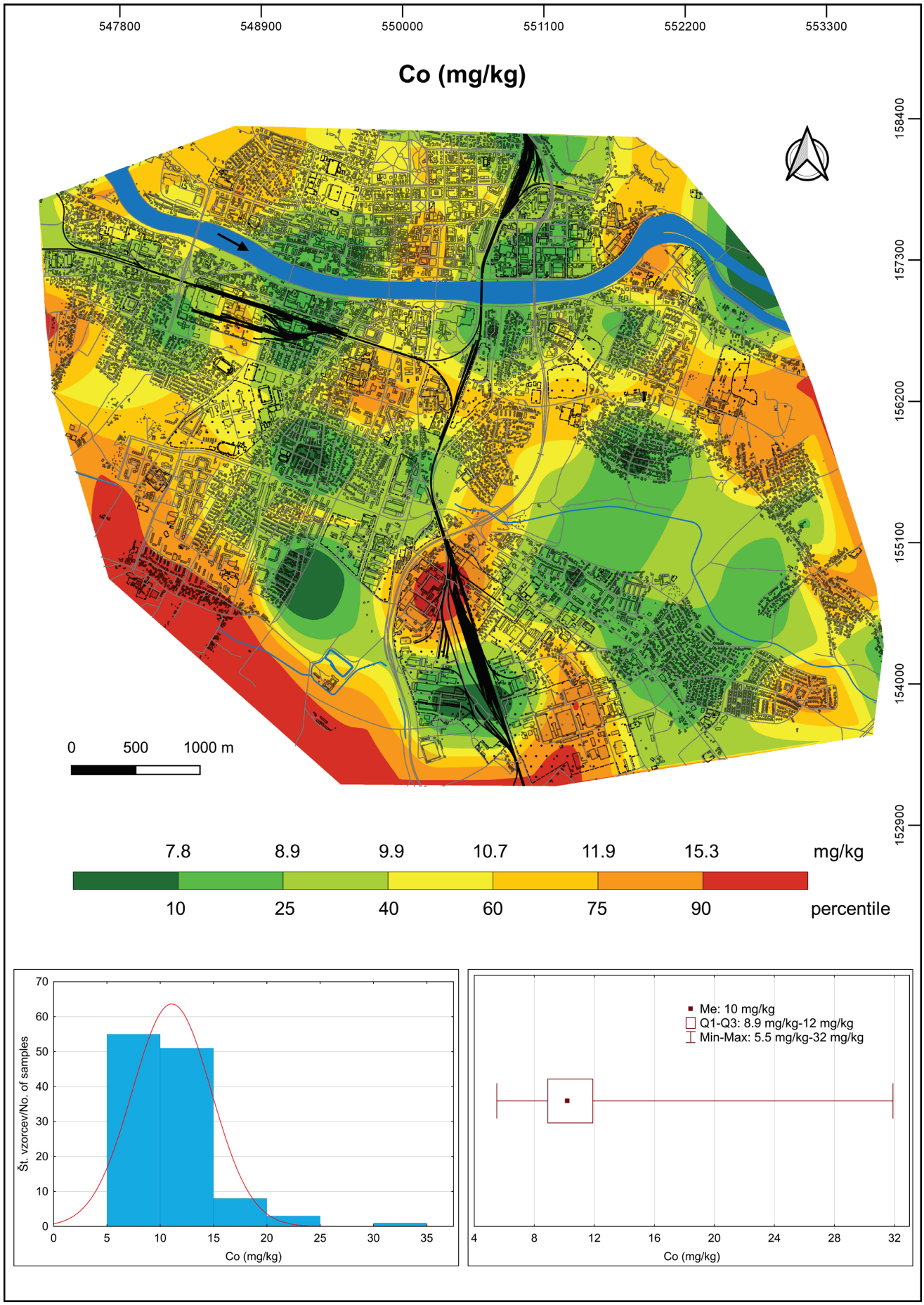
Sl. 14. Prostorska porazdelitev vsebnosti kalcija (Ca; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 14. Spatial distribution of calcium (Ca) levels (in %).



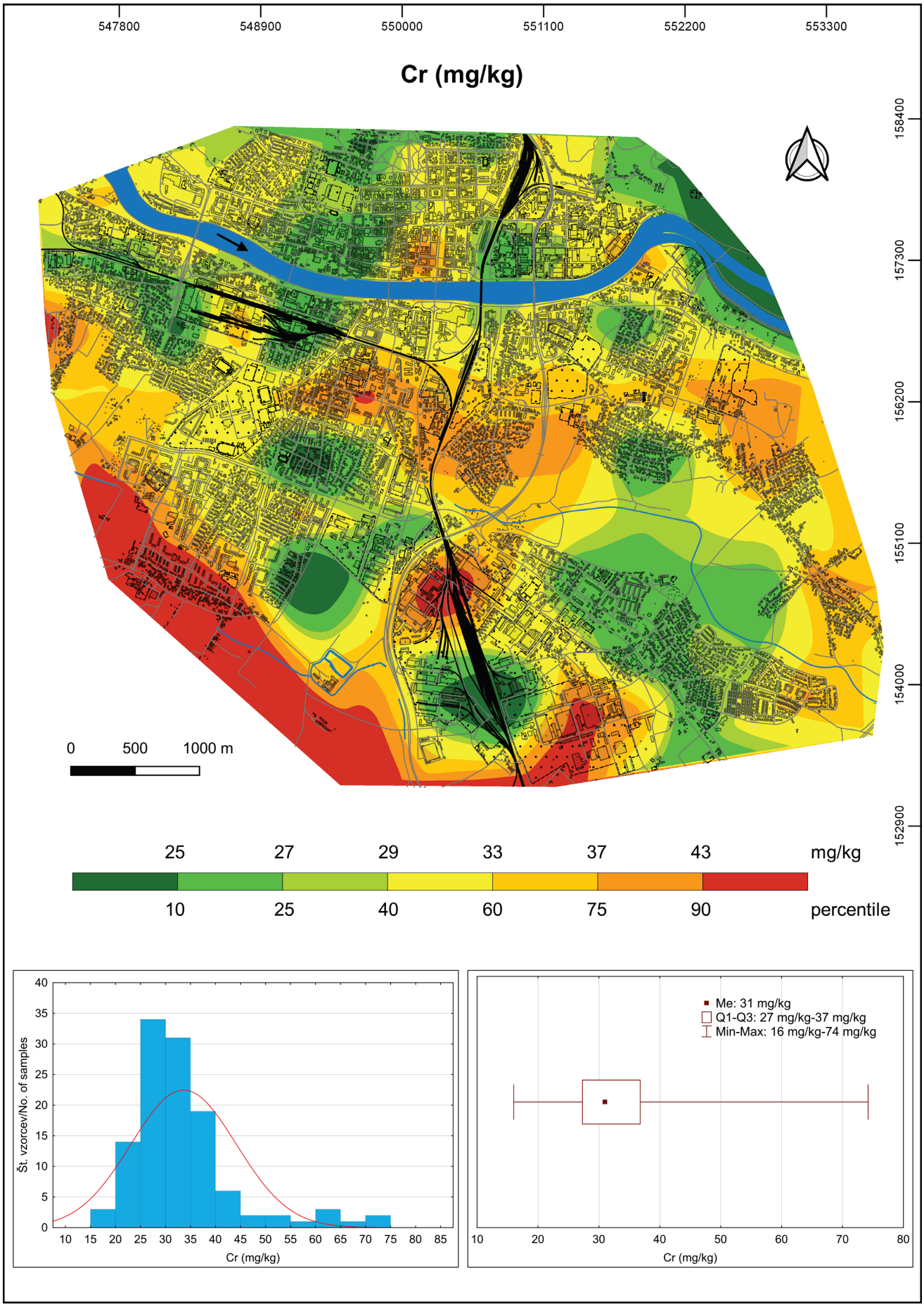
Sl. 15. Prostorska porazdelitev vsebnosti kadmija (Cd; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 15. Spatial distribution of cadmium (Cd) levels (in mg/kg).



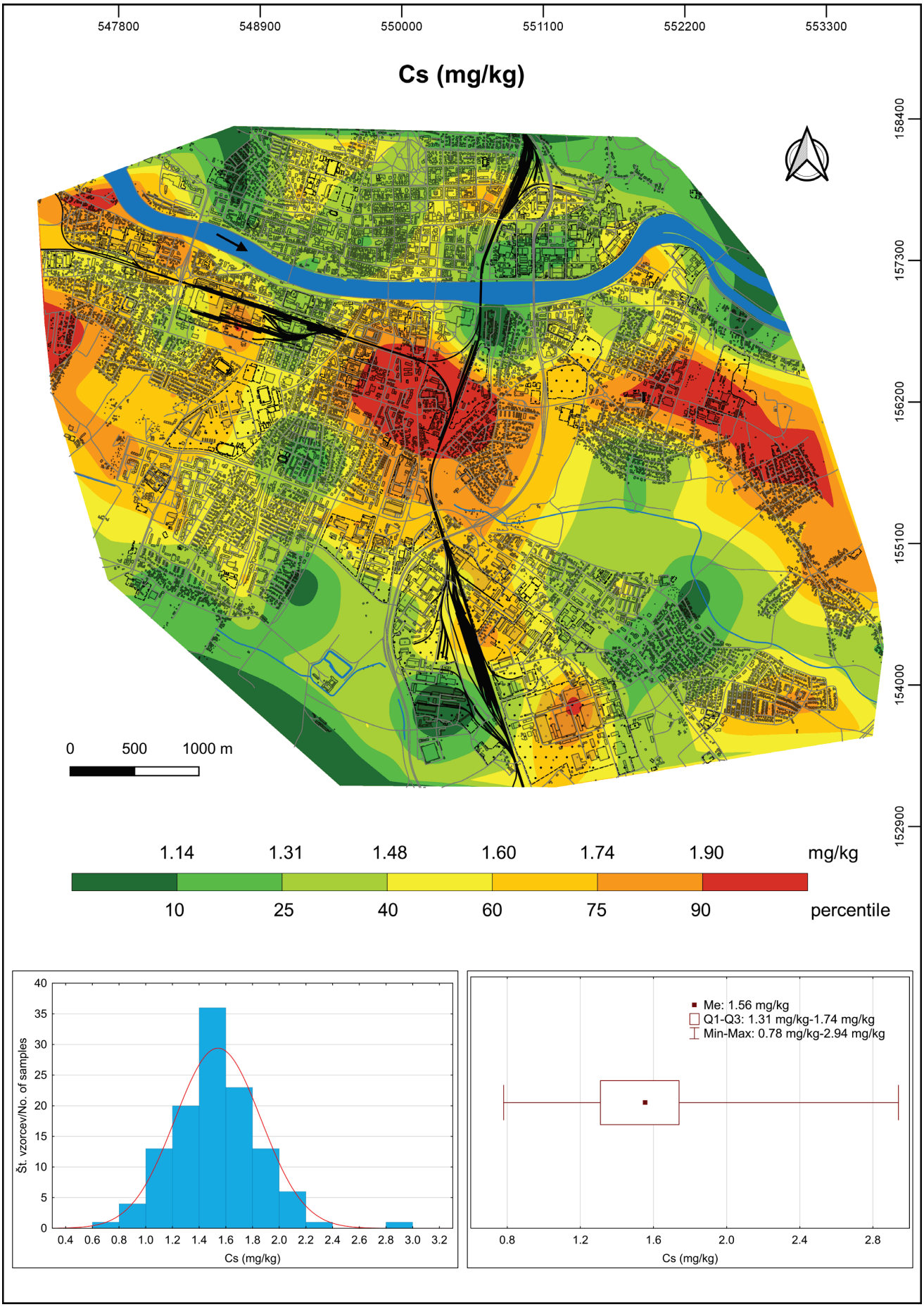
Sl. 16. Prostorska porazdelitev vsebnosti cerija (Ce; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 16. Spatial distribution of cerium (Ce) levels (in mg/kg).



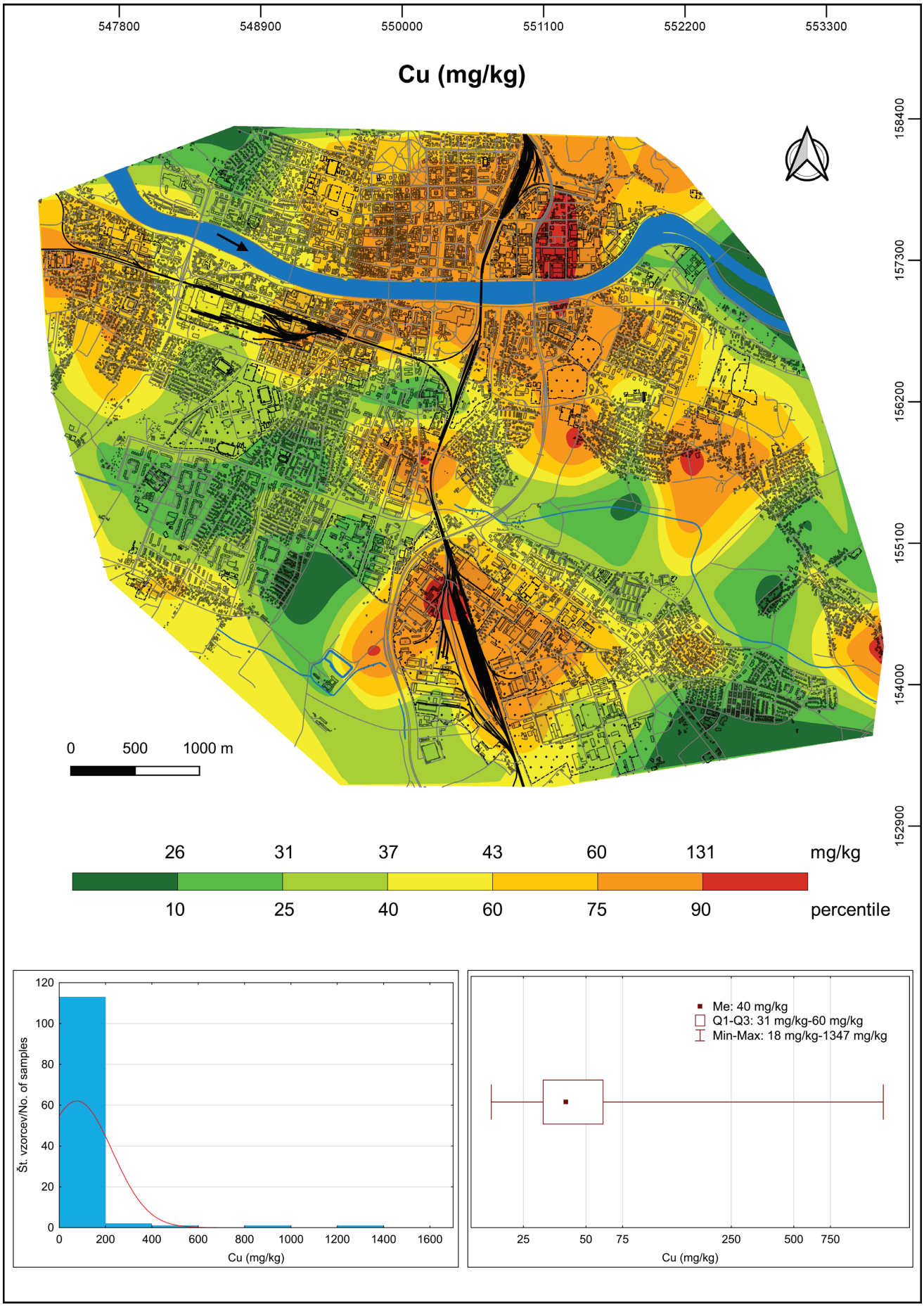
Sl. 17. Prostorska porazdelitev vsebnosti kobalta (Co; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 17. Spatial distribution of cobalt (Co) levels (in mg/kg).



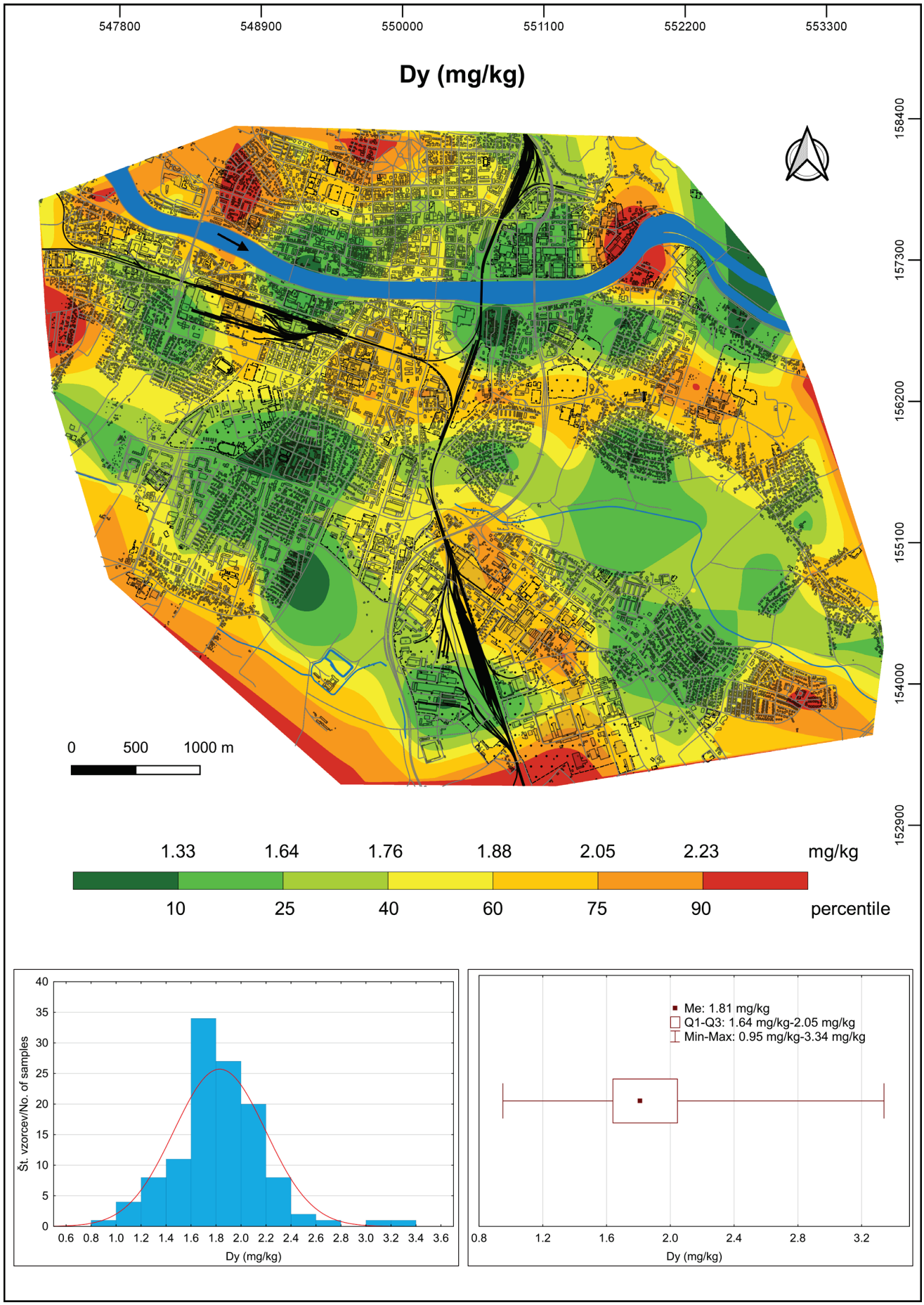
Sl. 18. Prostorska porazdelitev vsebnosti kroma (Cr; v mg/kg).
Fig. 18. Spatial distribution of chromium (Cr) levels (in mg/kg).



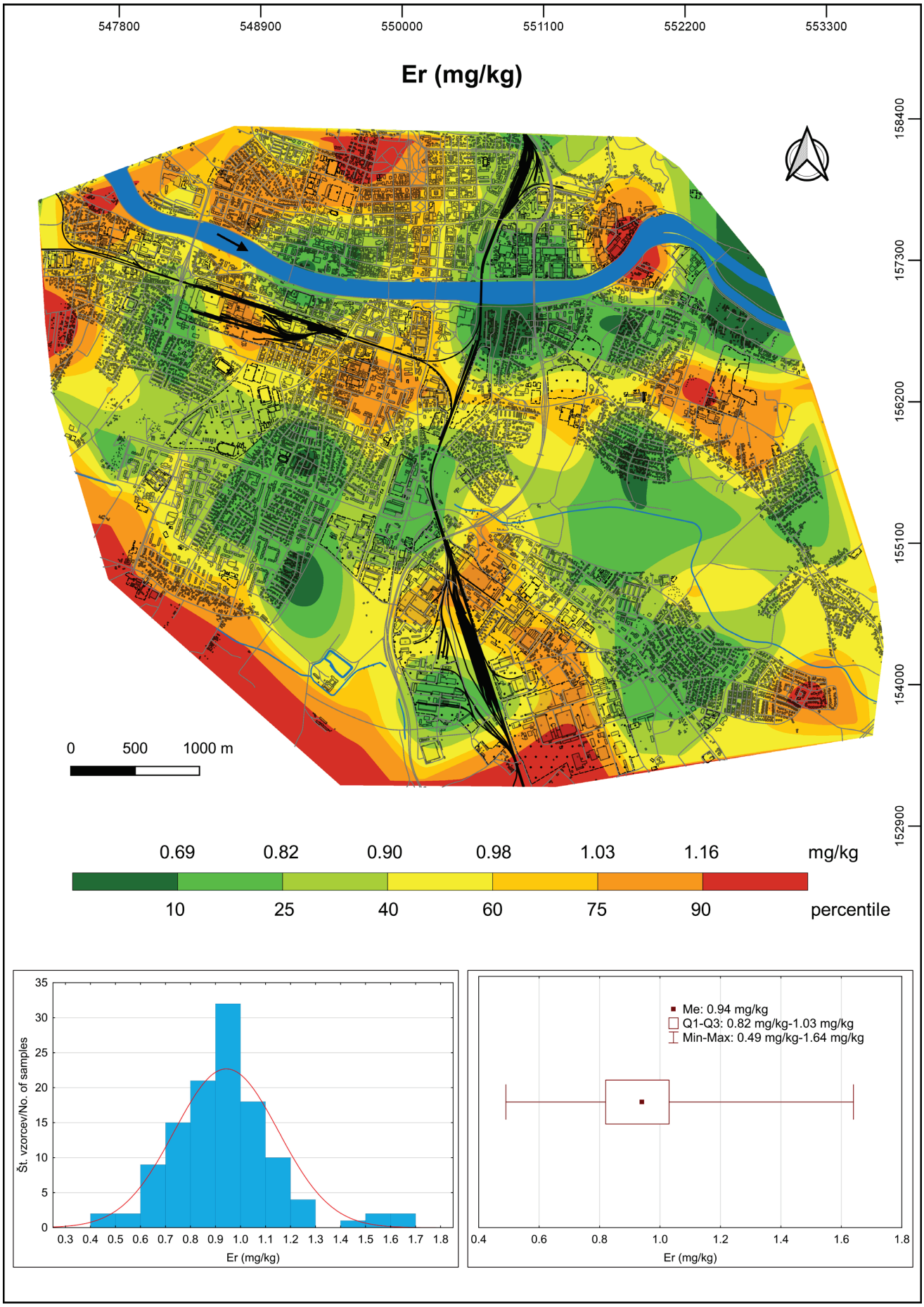
Sl. 19. Prostorska porazdelitev vsebnosti cezija (Cs; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 19. Spatial distribution of caesium (Cs) levels (in mg/kg).



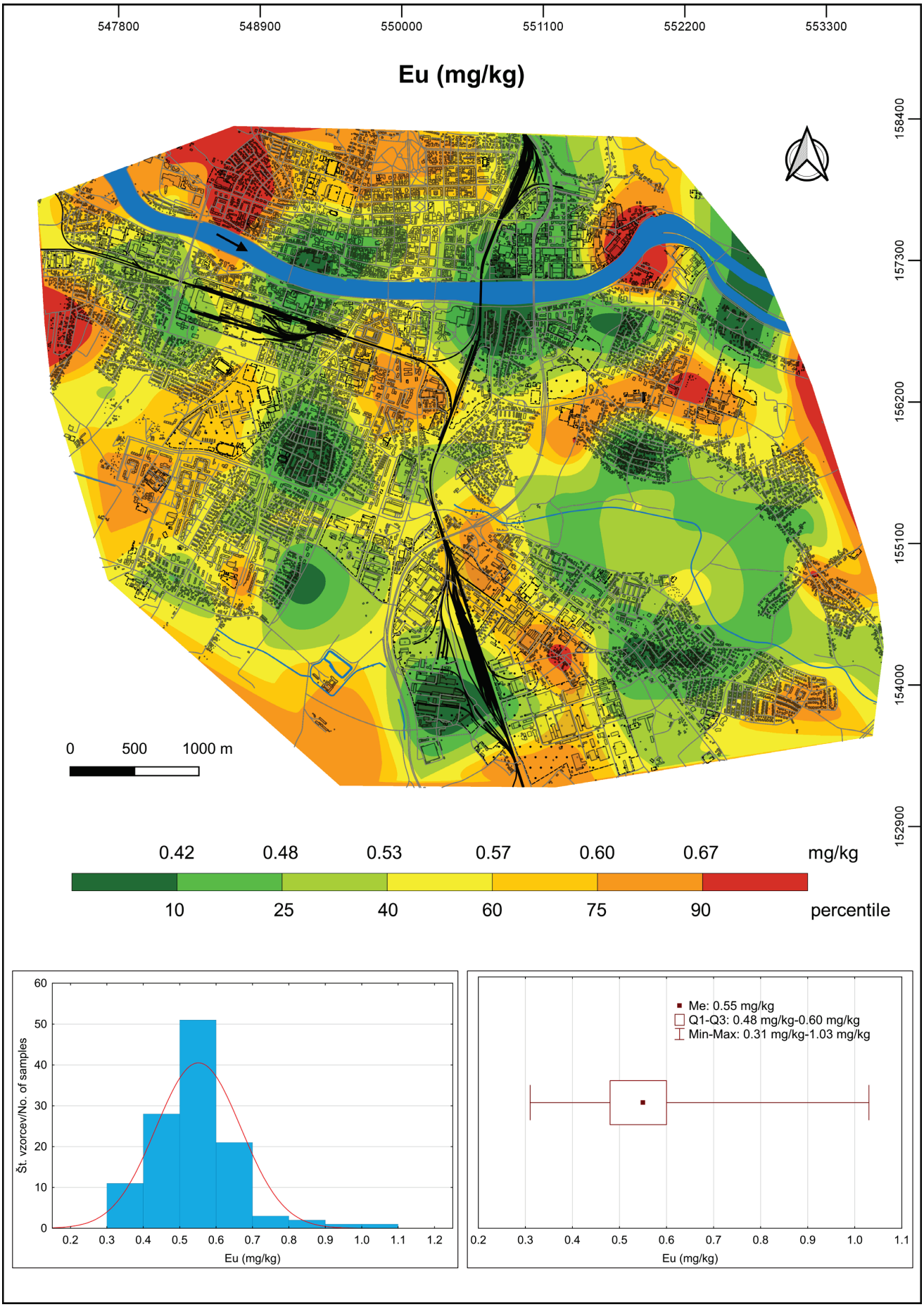
Sl. 20. Prostorska porazdelitev vsebnosti bakra (Cu; v mg/kg).
Fig. 20. Spatial distribution of copper (Cu) levels (in mg/kg).



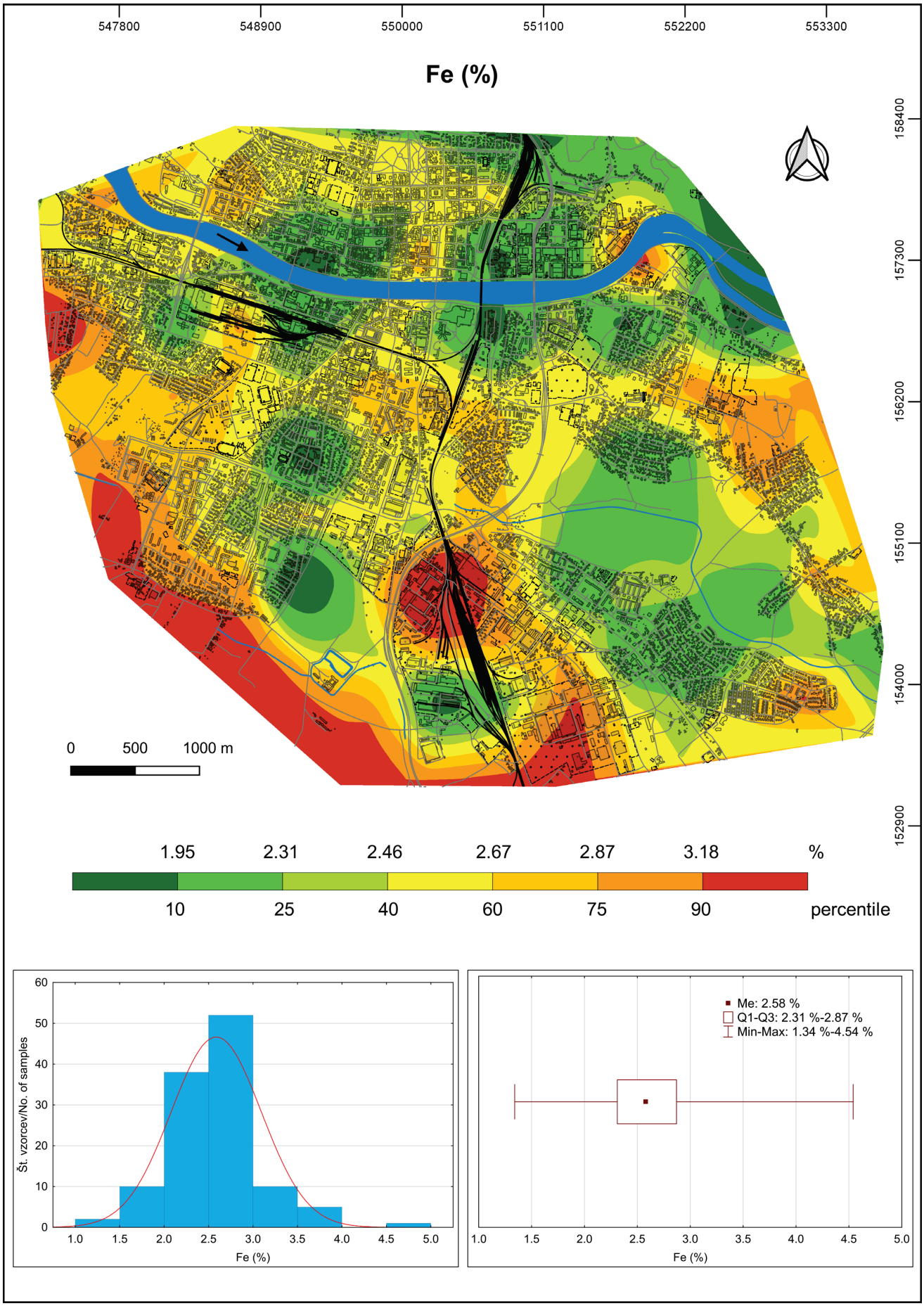
Sl. 21. Prostorska porazdelitev vsebnosti disprozija (Dy; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 21. Spatial distribution of dysprosium (Dy) levels (in mg/kg).



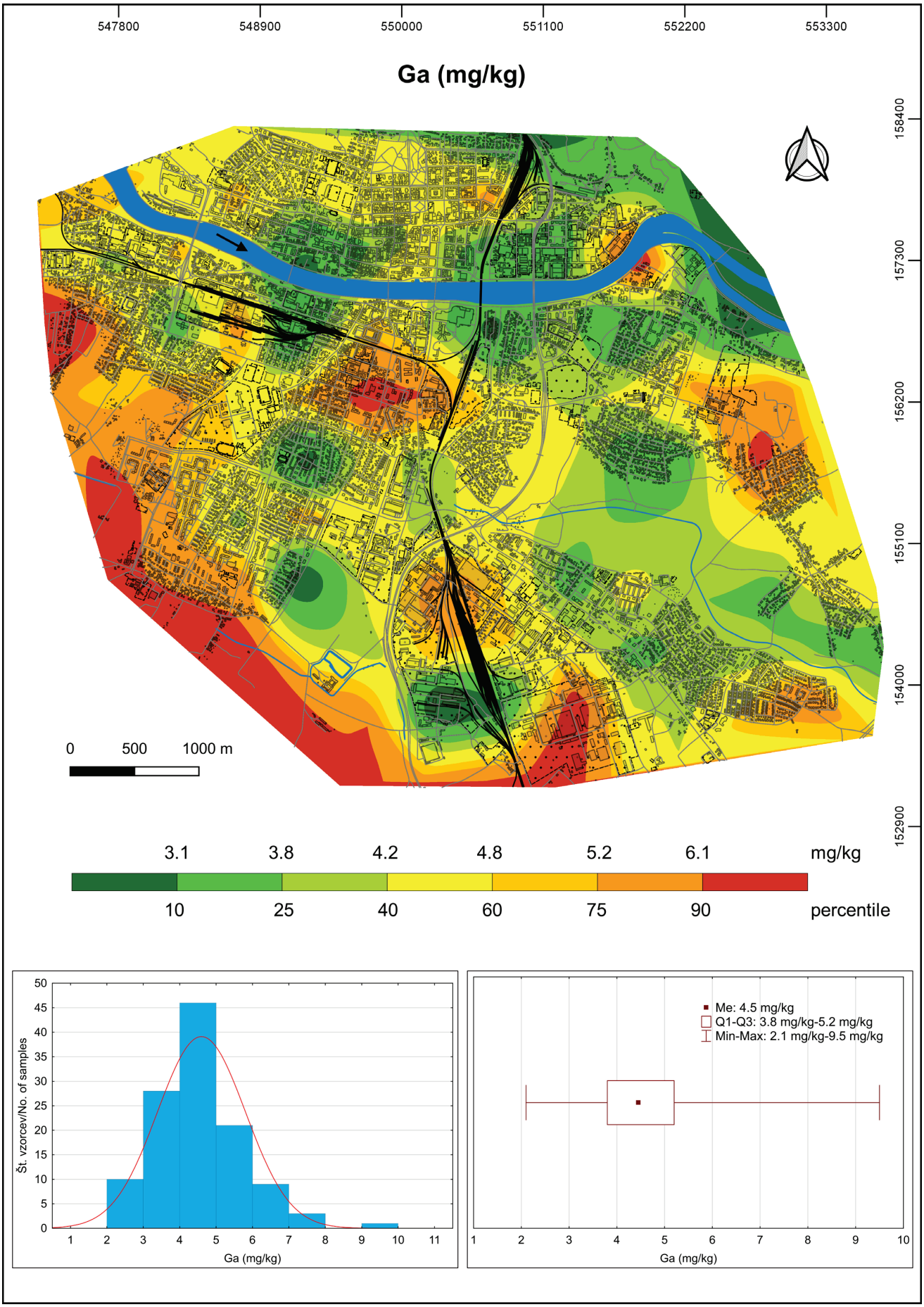
Sl. 22. Prostorska porazdelitev vsebnosti erbija (Er; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 22. Spatial distribution of erbium (Er) levels (in mg/kg).



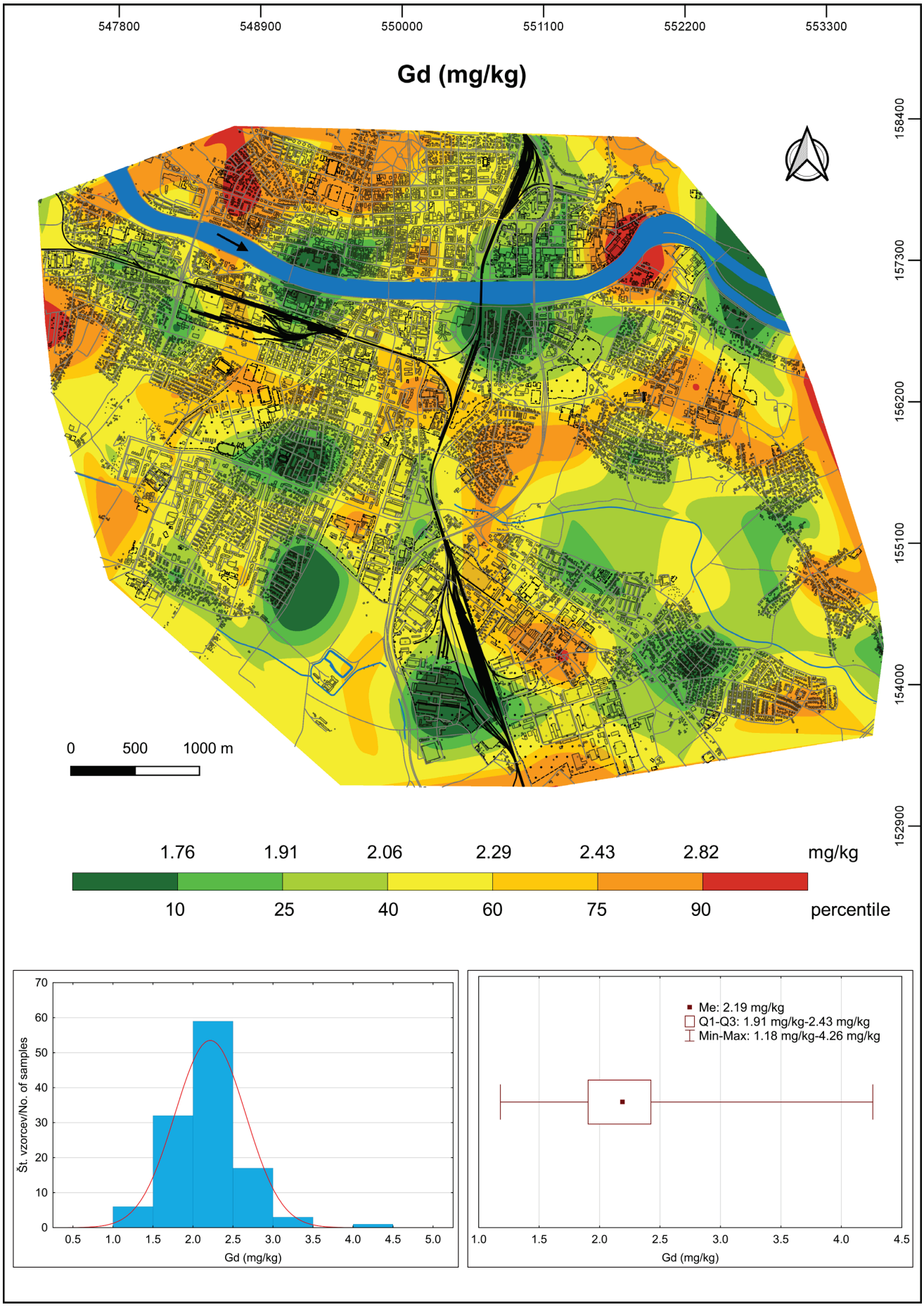
Sl. 23. Prostorska porazdelitev vsebnosti evropija (Eu; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 23. Spatial distribution of europium (Eu) levels (in mg/kg).



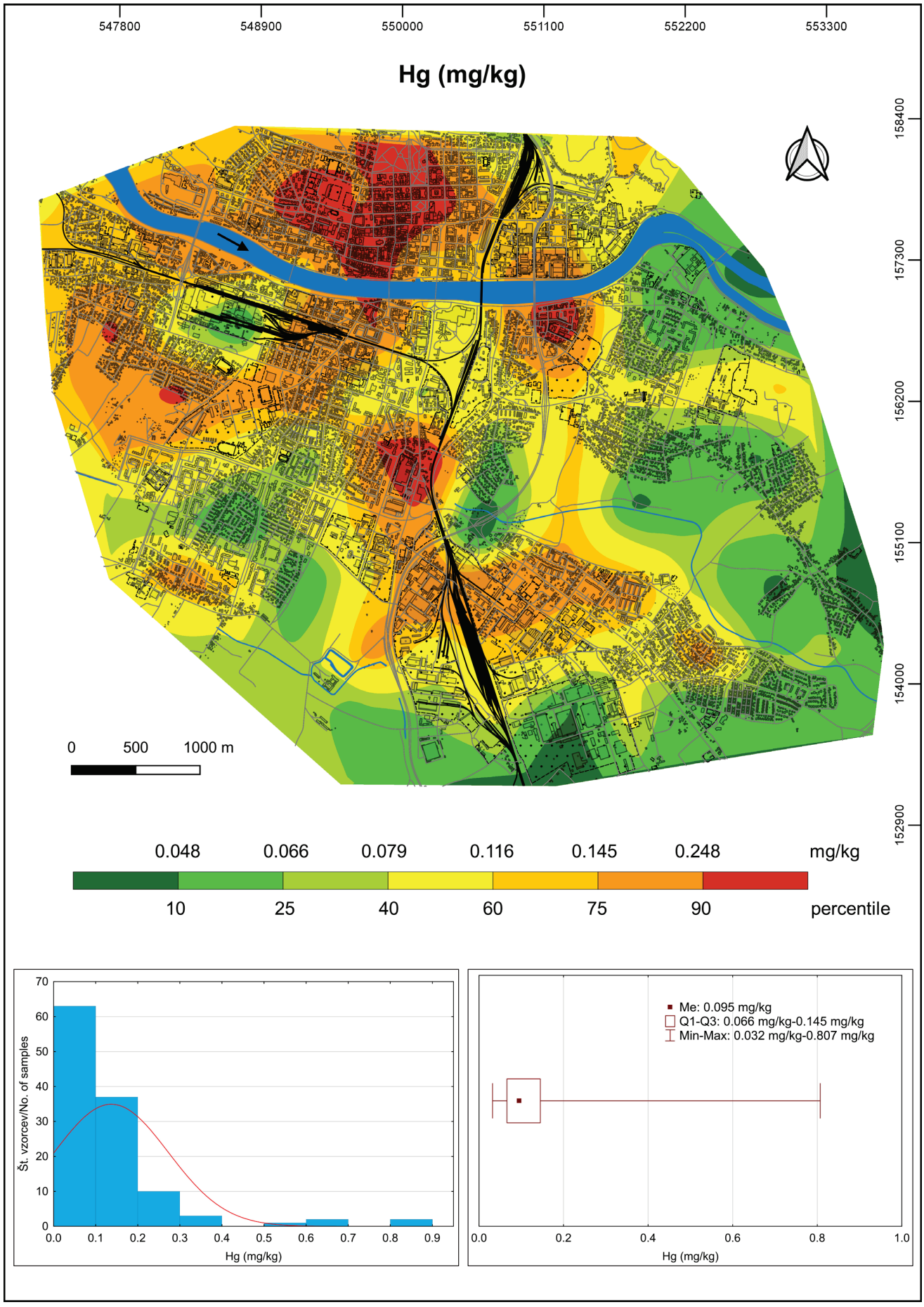
Sl. 24. Prostorska porazdelitev vsebnosti železa (Fe; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 24. Spatial distribution of iron (Fe) levels (in %).



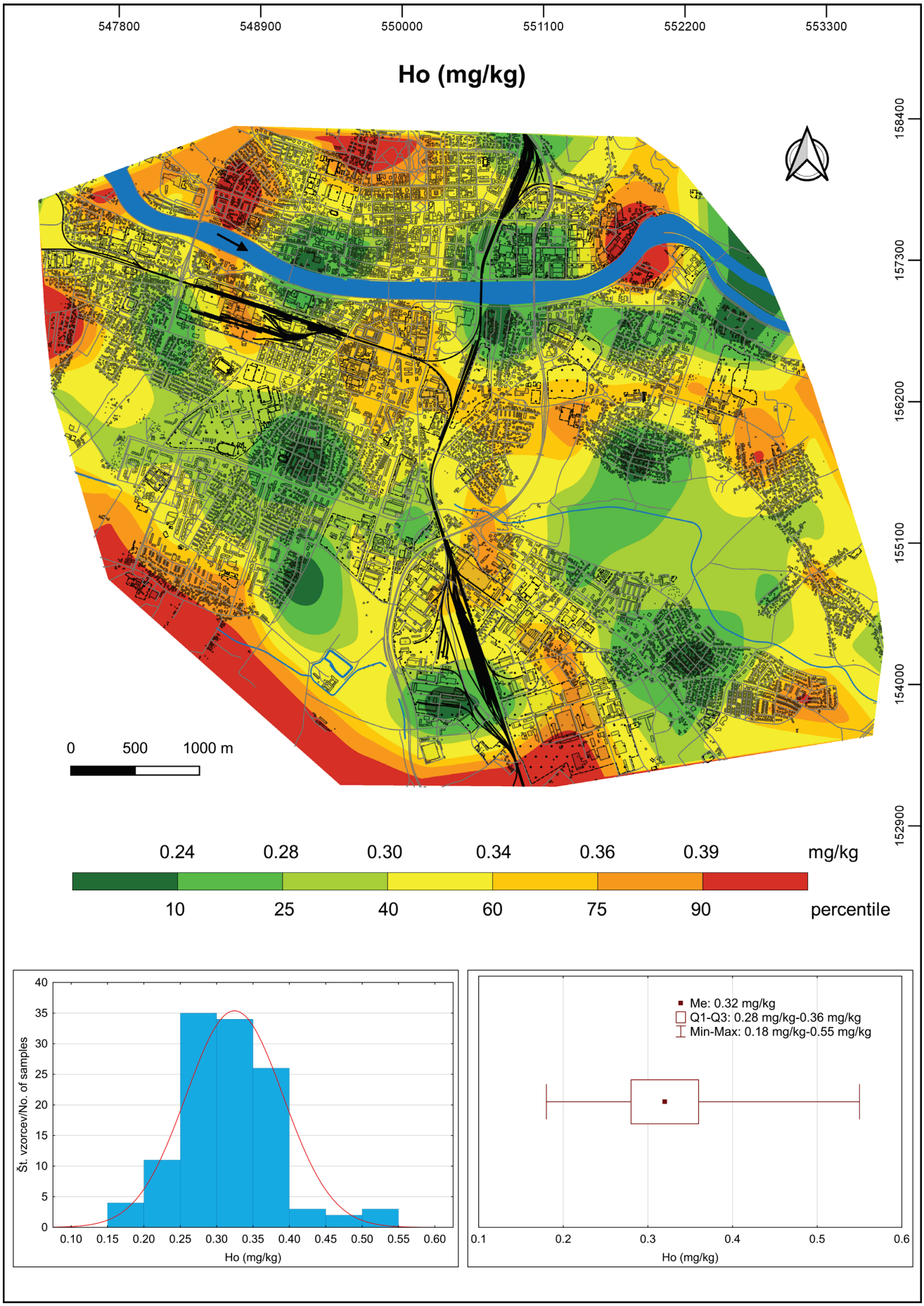
Sl. 25. Prostorska porazdelitev vsebnosti galija (Ga; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 25. Spatial distribution of gallium (Ga) levels (in mg/kg).



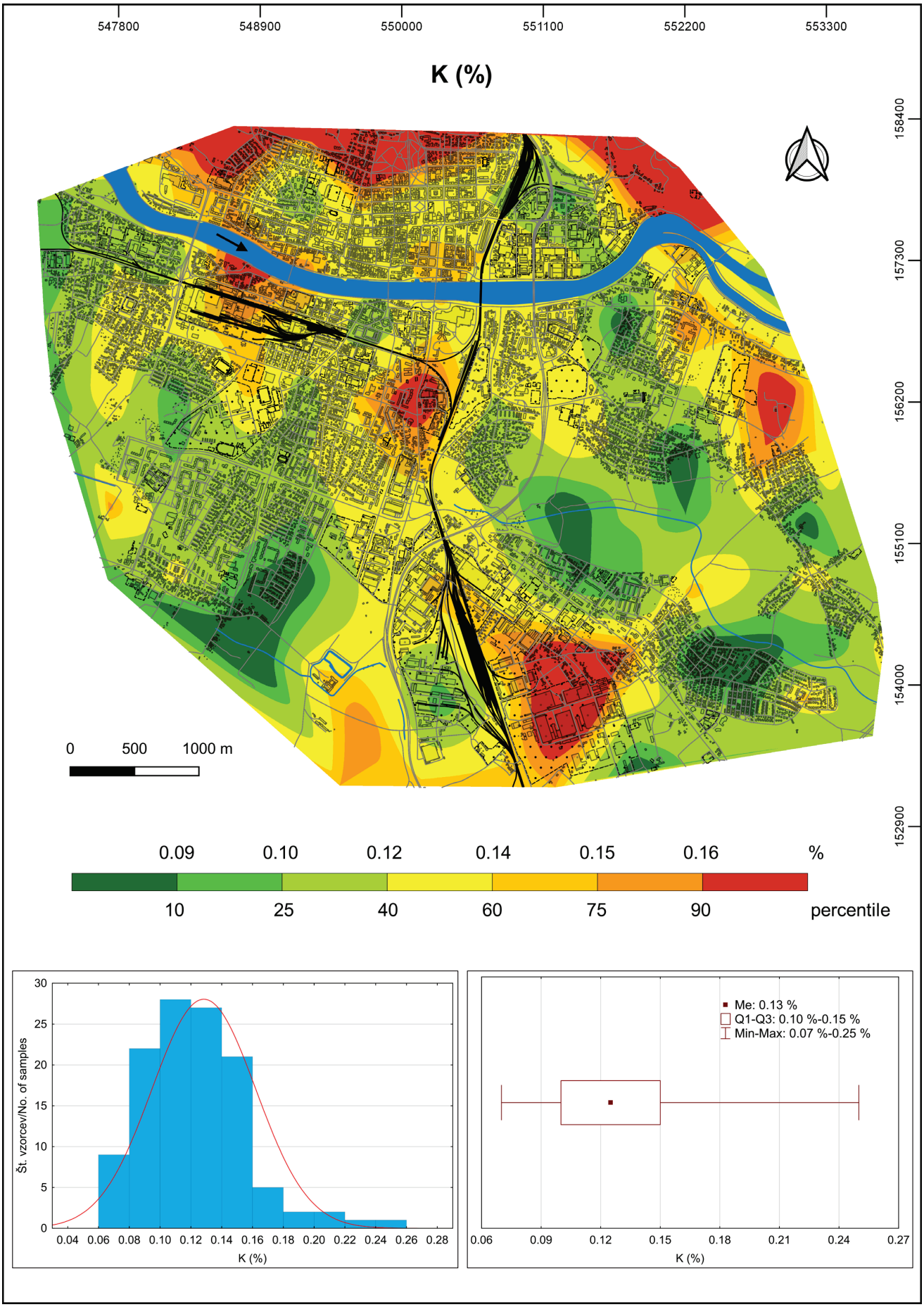
Sl. 26. Prostorska porazdelitev vsebnosti gadolinija (Gd; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 26. Spatial distribution of gadolinium (Gd) levels (in mg/kg).



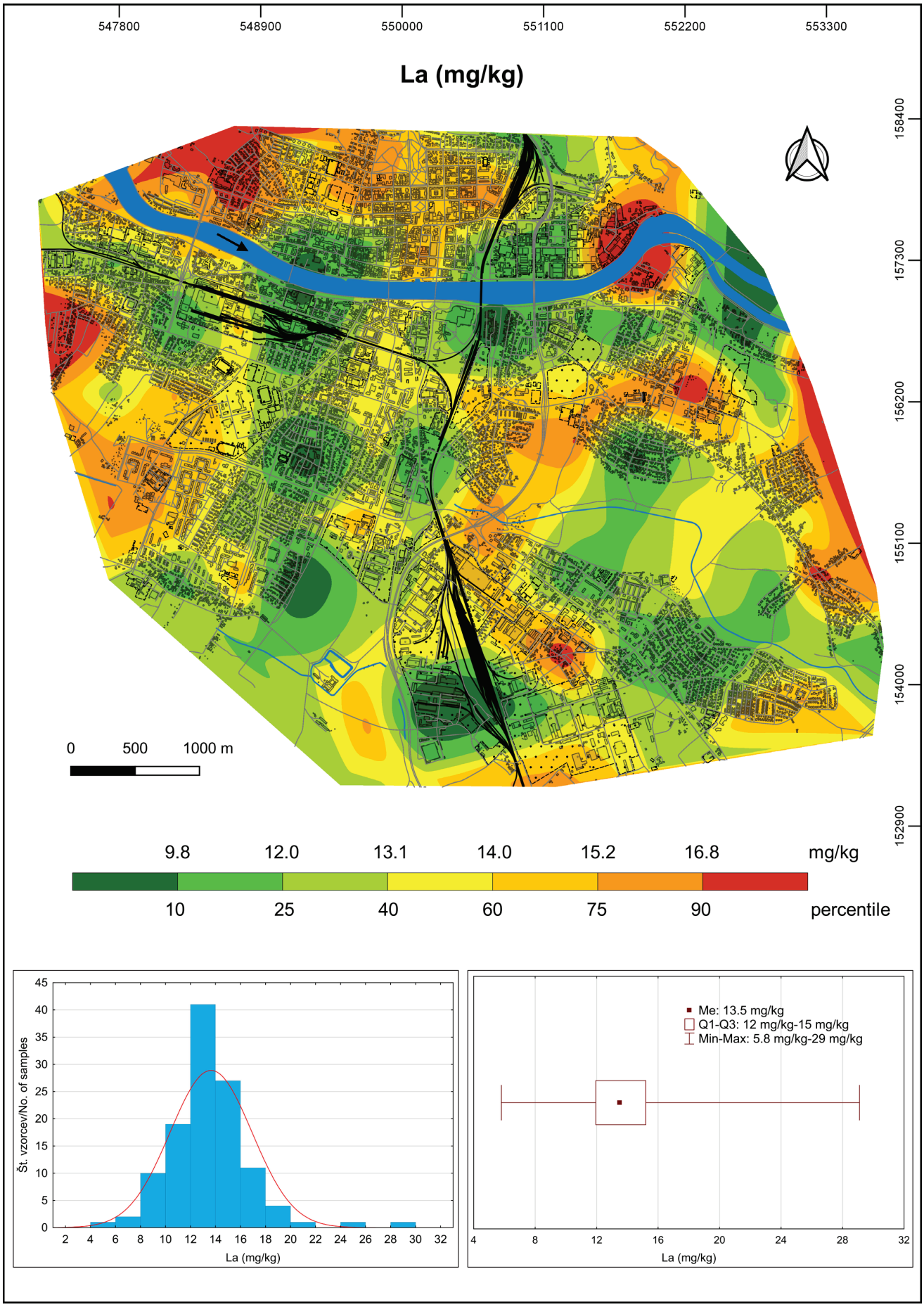
Sl. 27. Prostorska porazdelitev vsebnosti živega srebra (Hg; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 27. Spatial distribution of mercury (Hg) levels (in mg/kg).



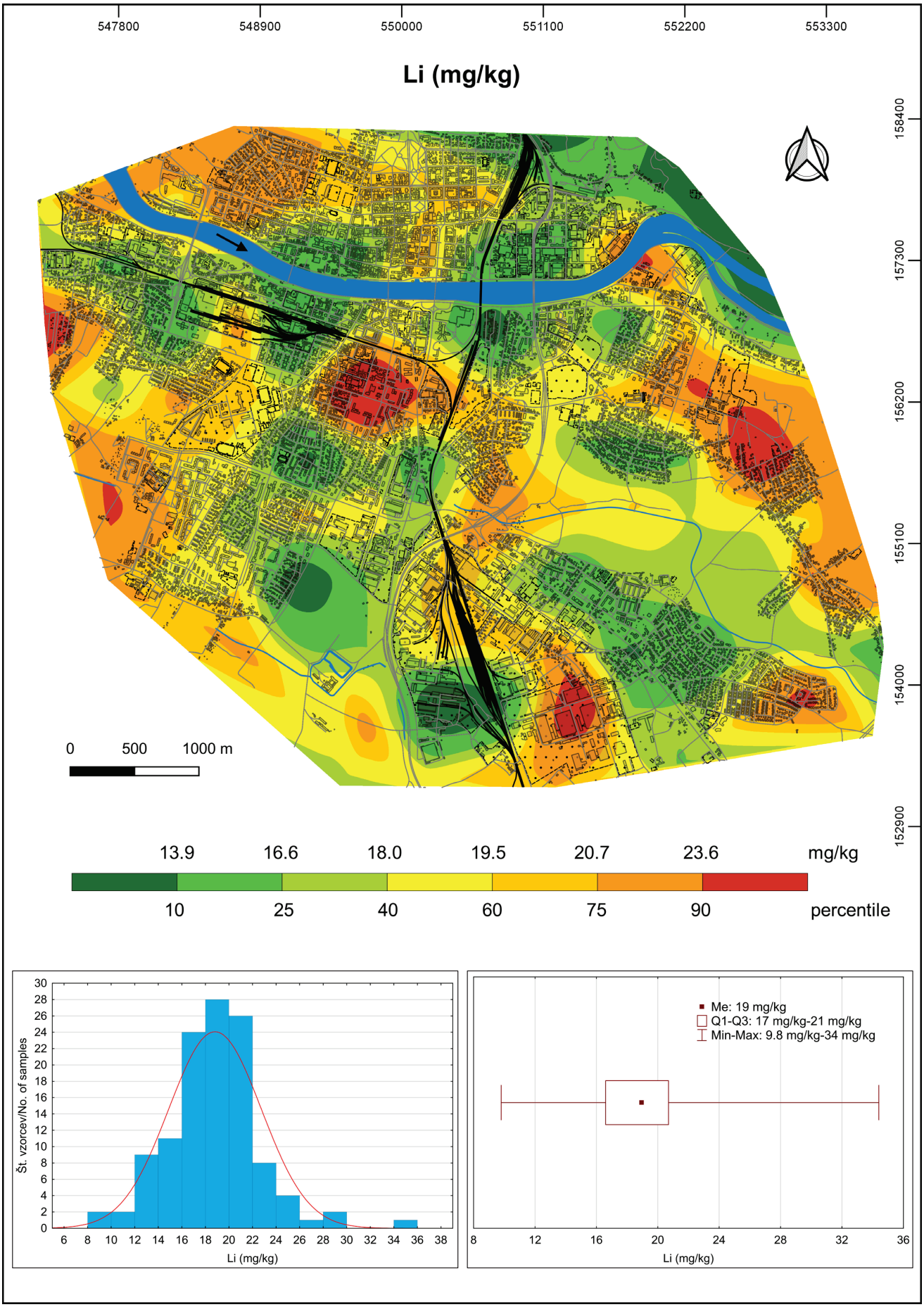
Sl. 28. Prostorska porazdelitev vsebnosti holmija (Ho; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 28. Spatial distribution of holmium (Ho) levels (in mg/kg).



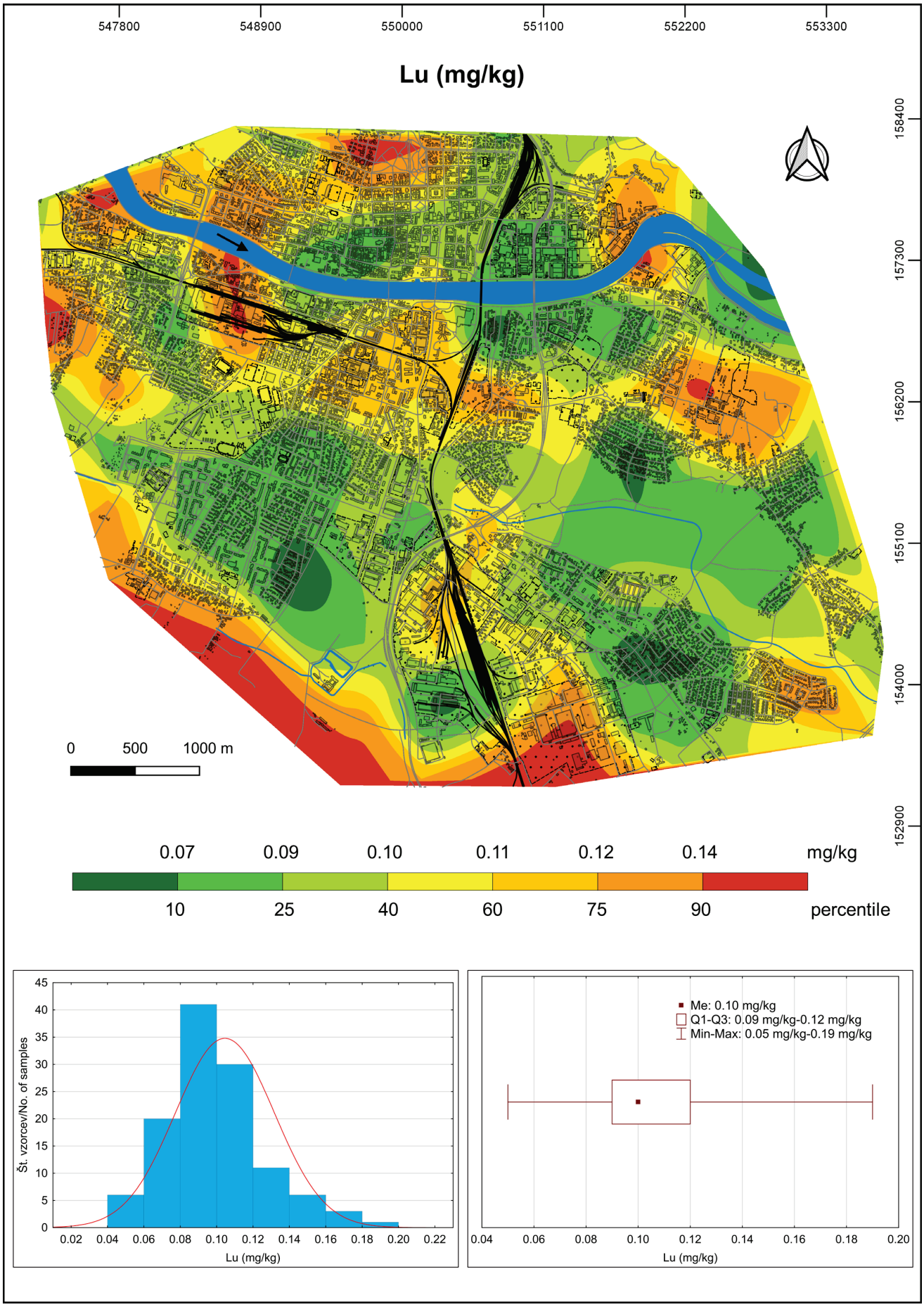
Sl. 29. Prostorska porazdelitev vsebnosti kalija (K; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 29. Spatial distribution of potassium (K) levels (in %).



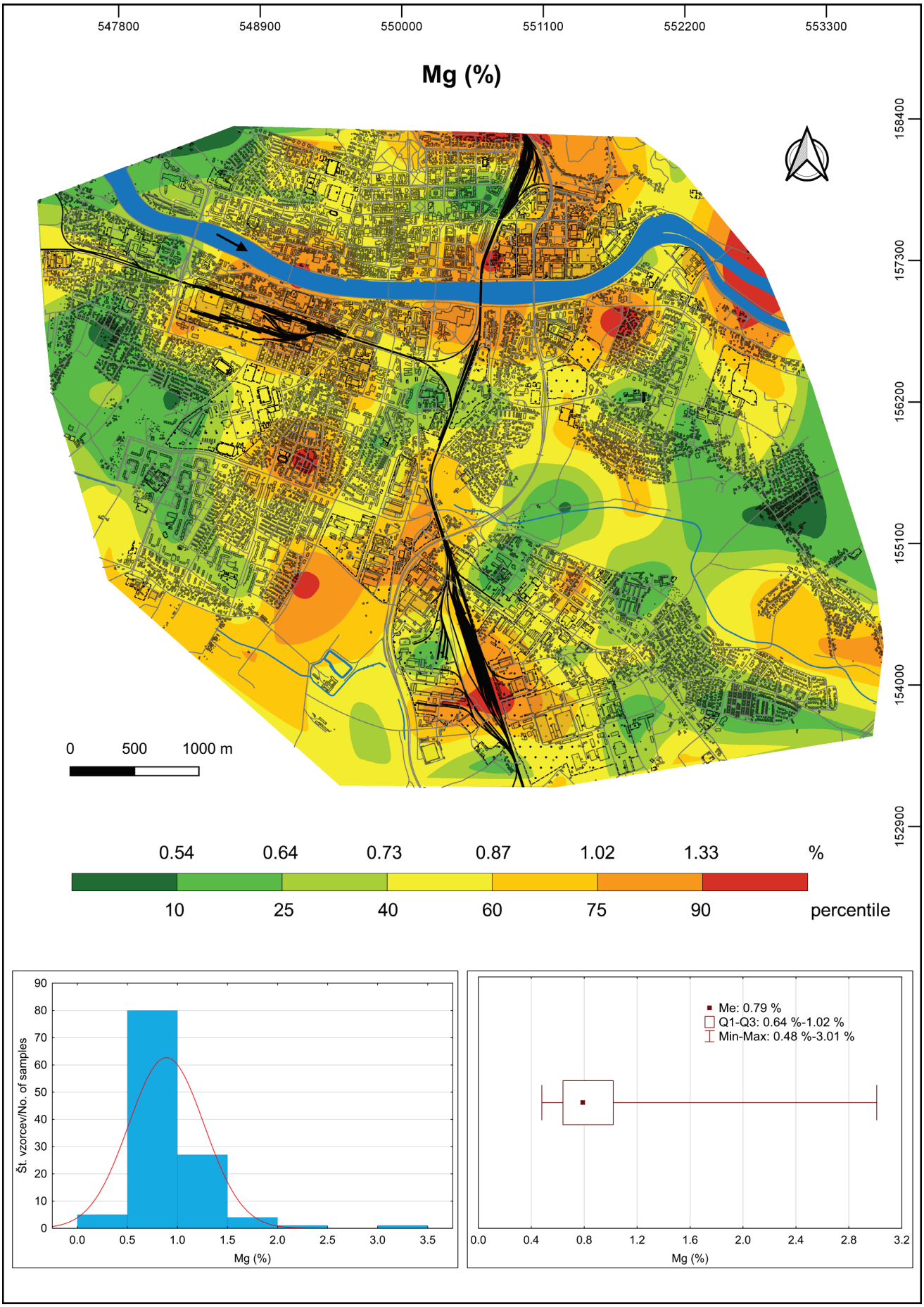
Sl. 30. Prostorska porazdelitev vsebnosti lantana (La; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 30. Spatial distribution of lanthanum (La) levels (in mg/kg).



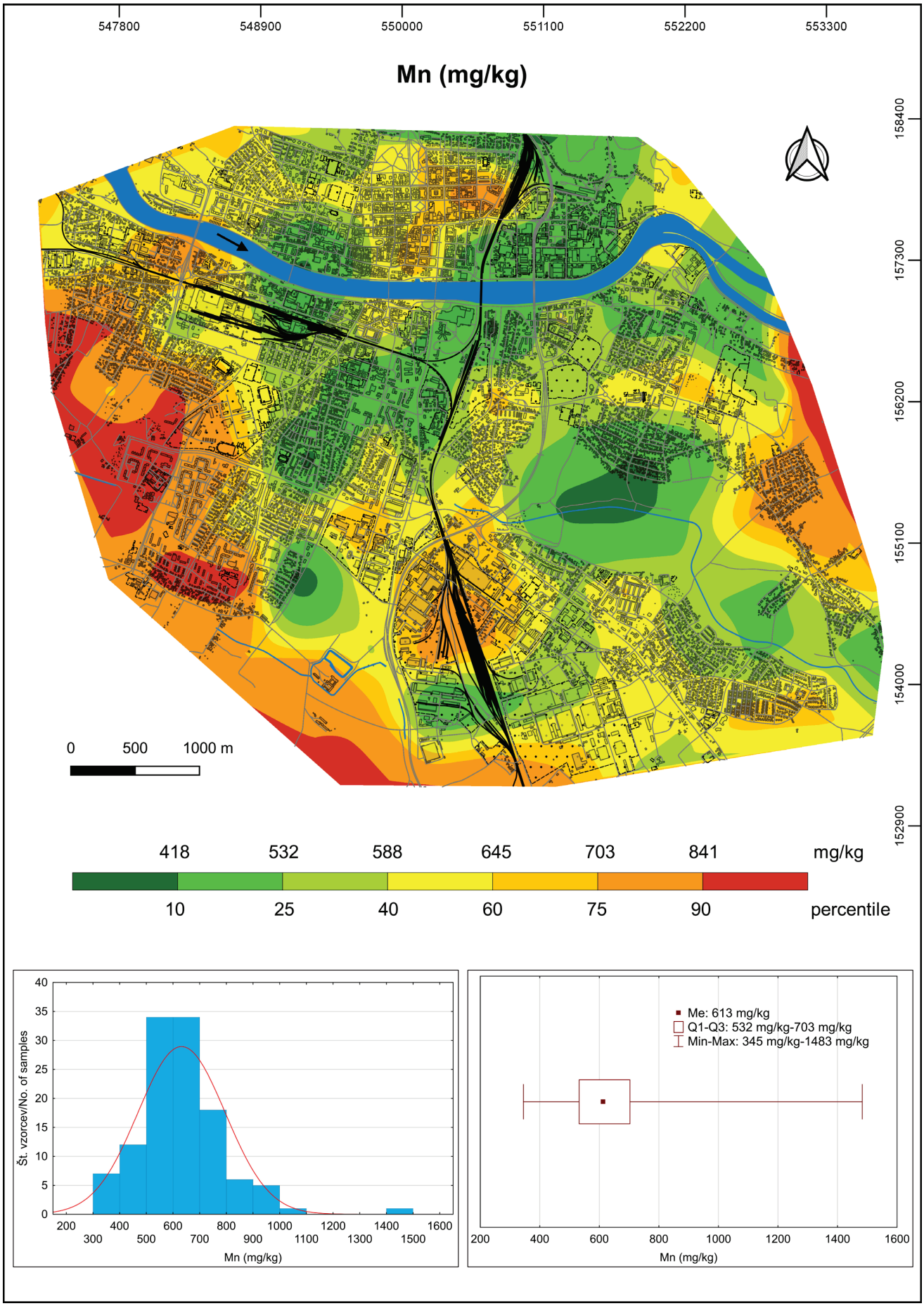
Sl. 31. Prostorska porazdelitev vsebnosti litija (Li; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 31. Spatial distribution of lithium (Li) levels (in mg/kg).



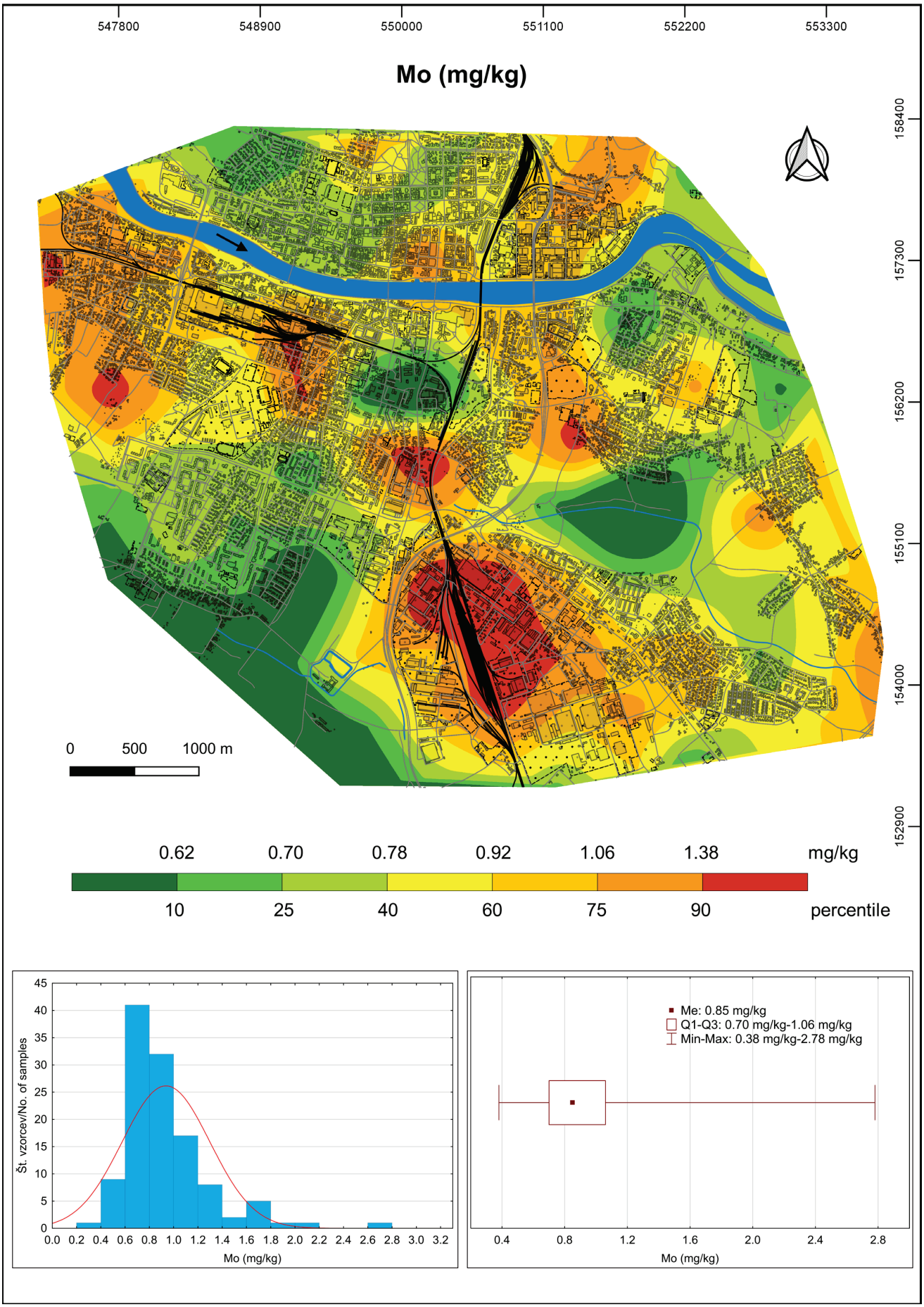
Sl. 32. Prostorska porazdelitev vsebnosti lutecija (Lu; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 32. Spatial distribution of lutetium (Lu) levels (in mg/kg).



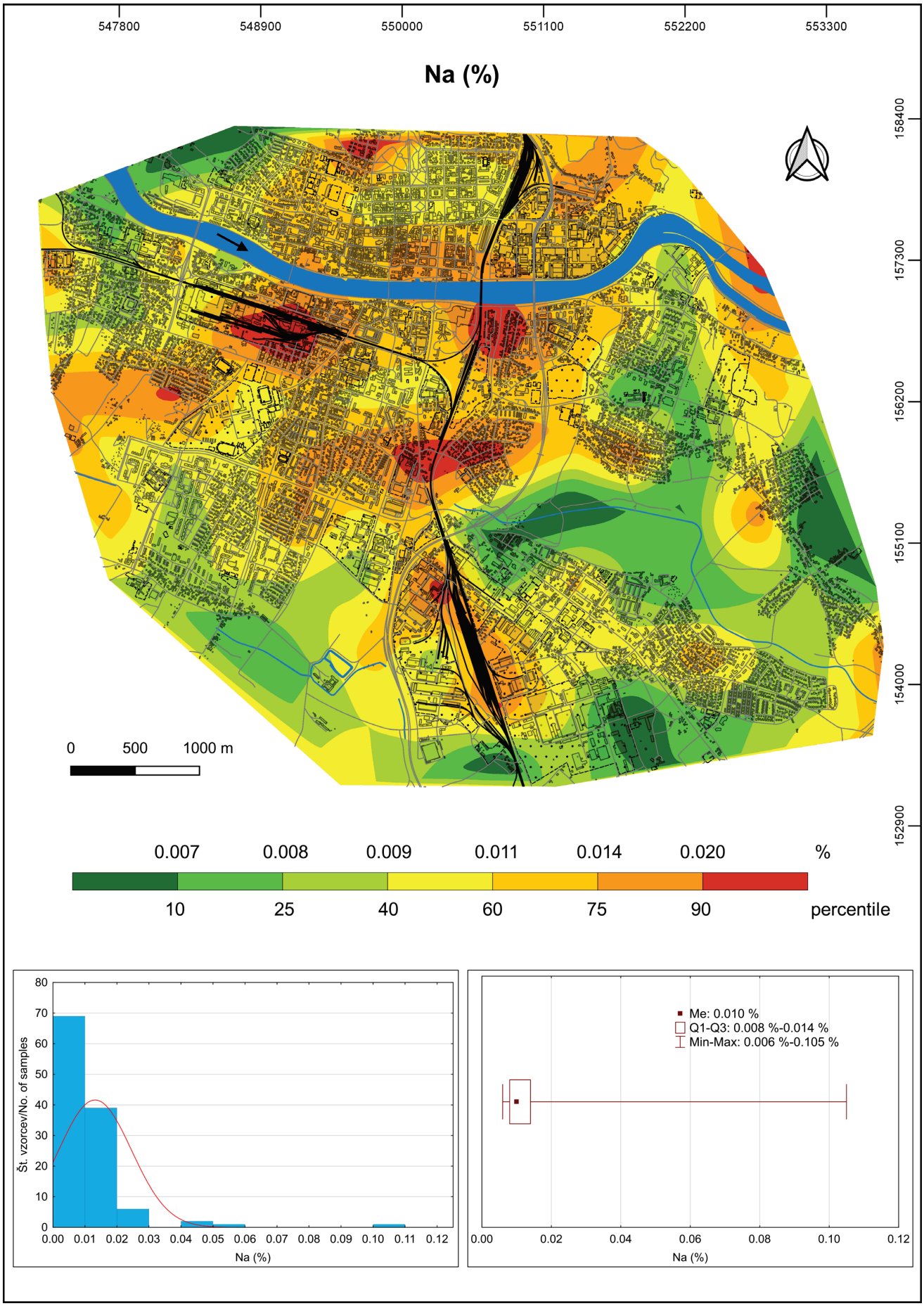
Sl. 33. Prostorska porazdelitev vsebnosti magnezija (Mg; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 33. Spatial distribution of magnesium (Mg) levels (in %).



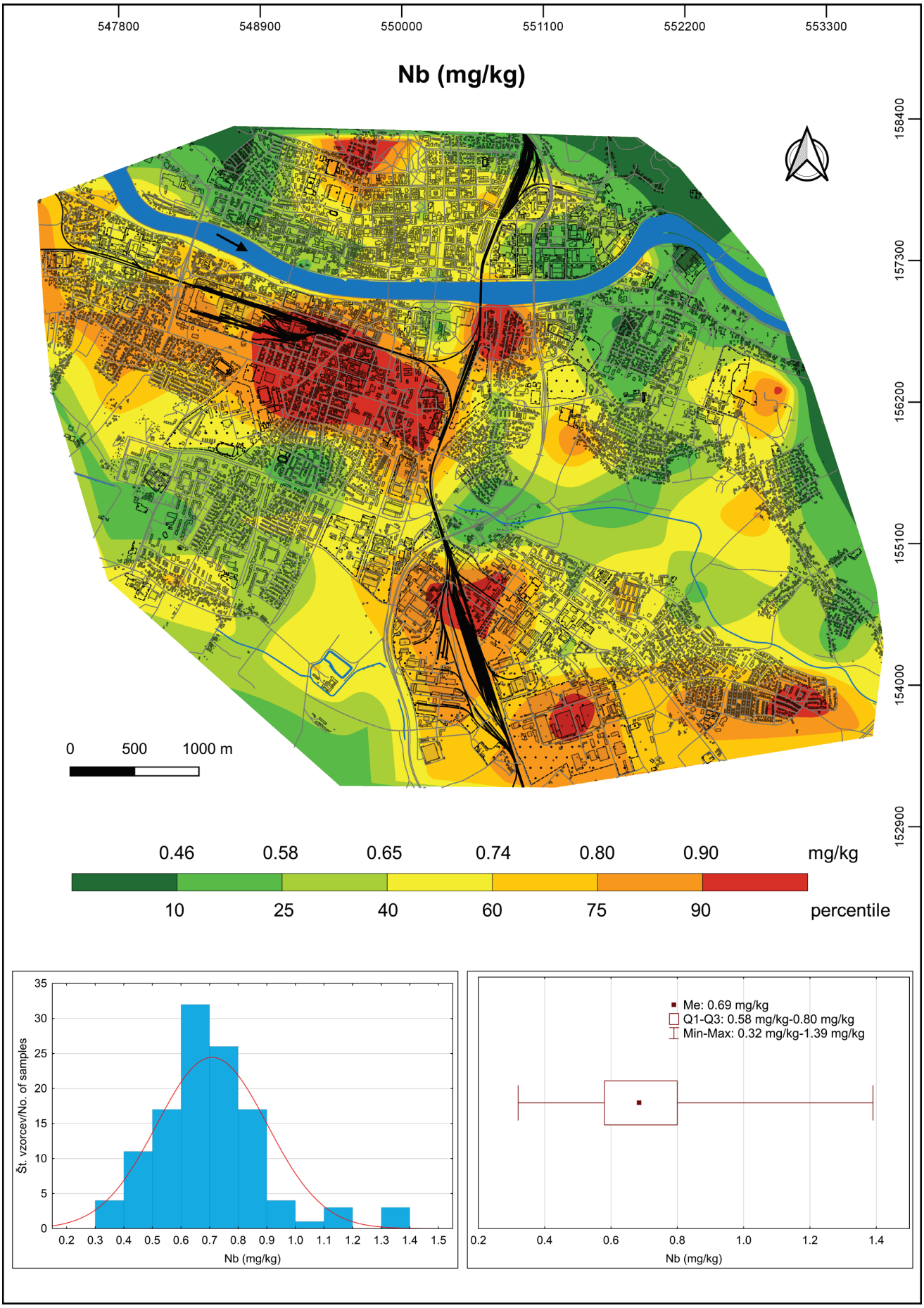
Sl. 34. Prostorska porazdelitev vsebnosti mangana (Mn; v mg/kg).
Fig. 34. Spatial distribution of manganese (Mn) levels (in mg/kg).



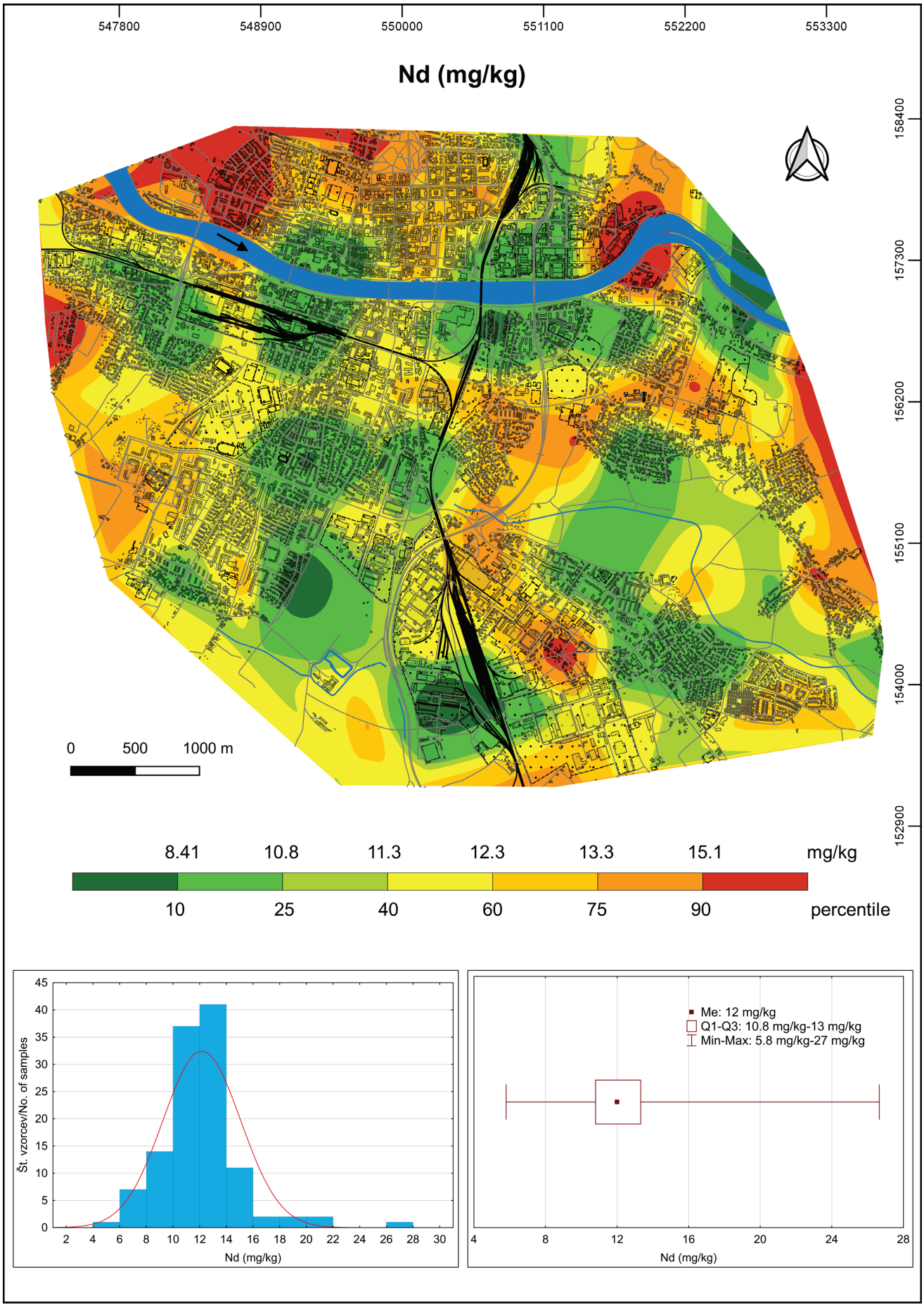
Sl.35. Prostorska porazdelitev vsebnosti molibdena (Mo; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 35. Spatial distribution of molybdenum (Mo) levels (in mg/kg).



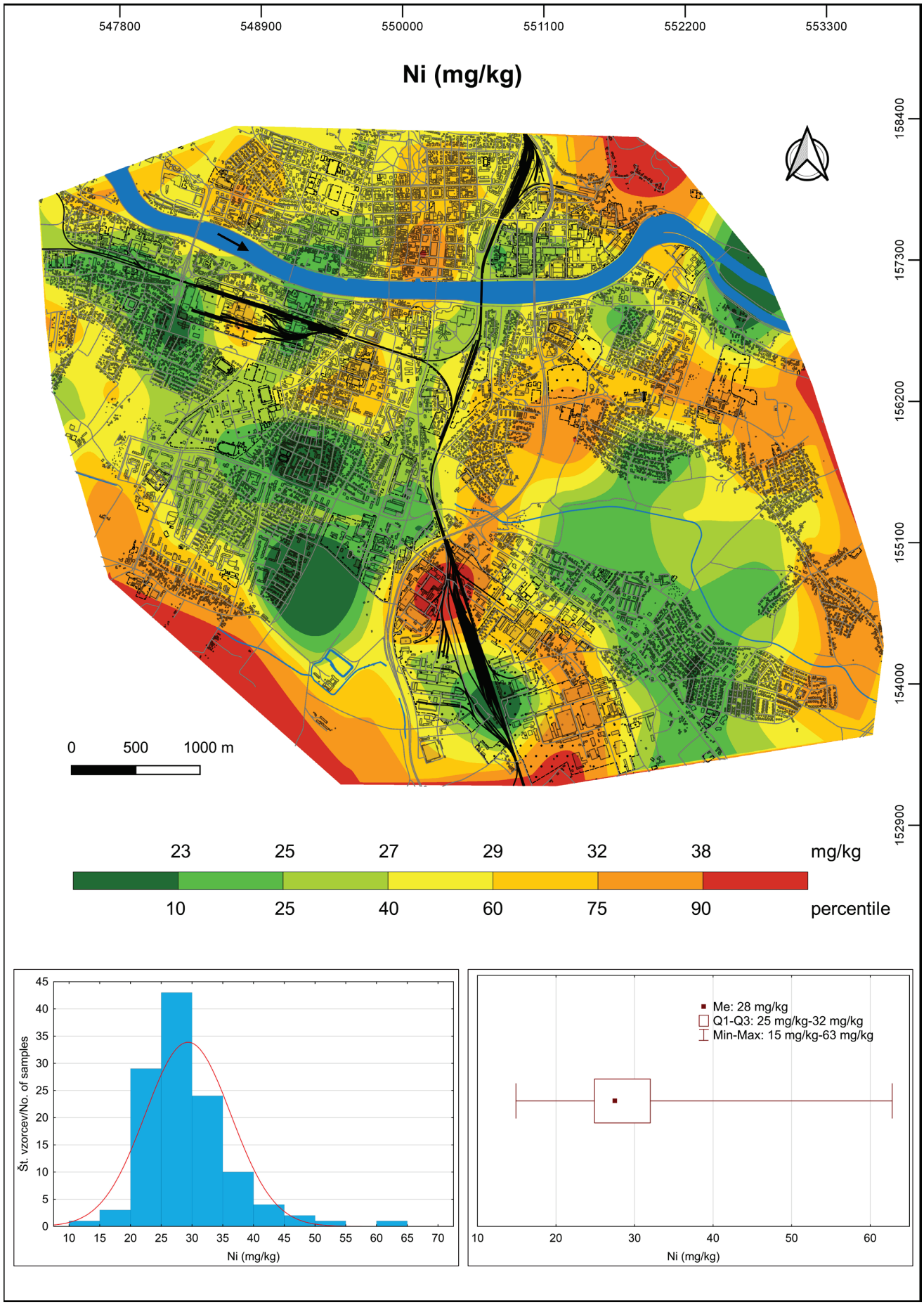
Sl. 36. Prostorska porazdelitev vsebnosti natrija (Na; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 36. Spatial distribution of sodium (Na) levels (in %).



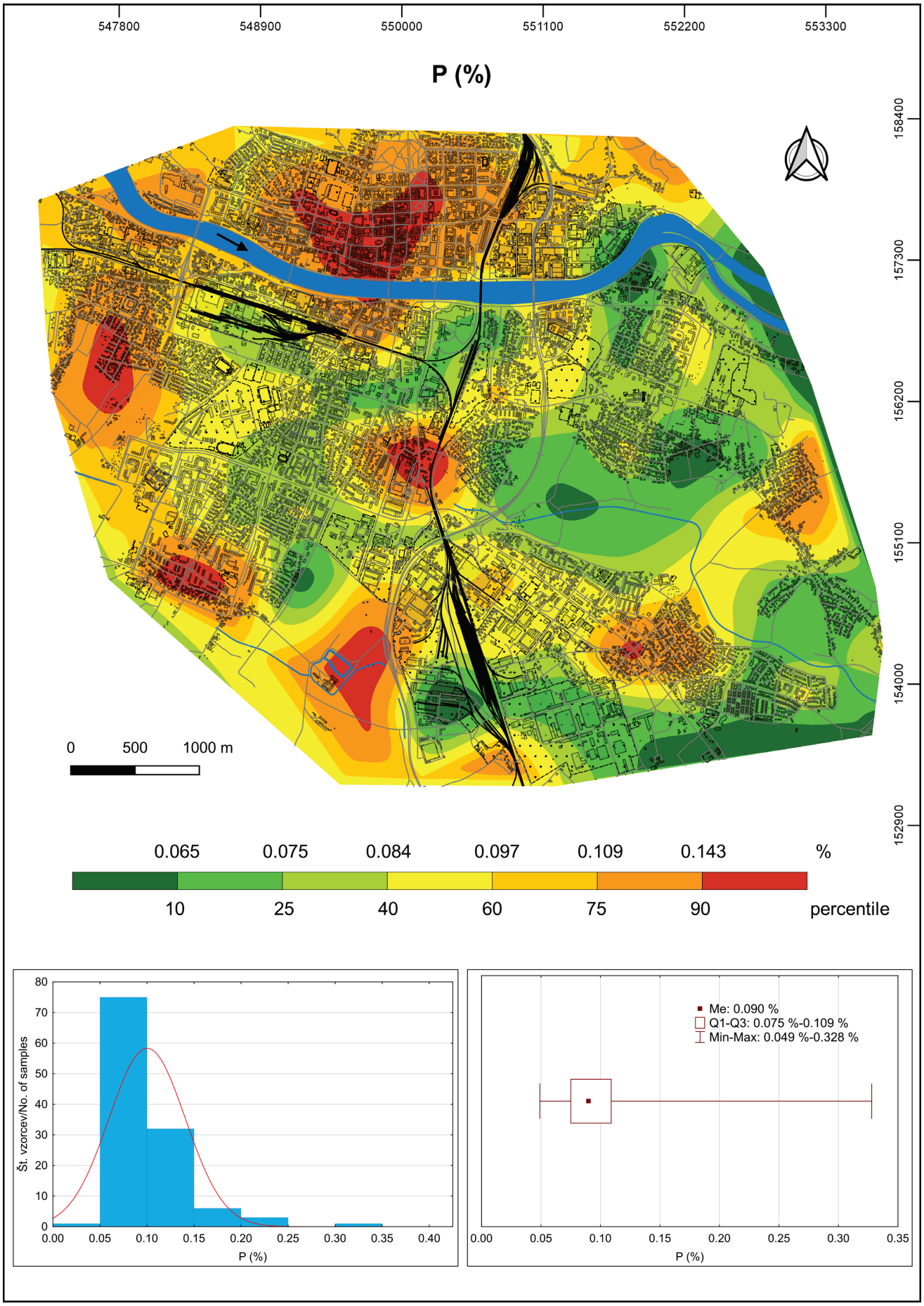
Sl. 37. Prostorska porazdelitev vsebnosti niobija (Nb; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 37. Spatial distribution of niobium (Nb) levels (in mg/kg).



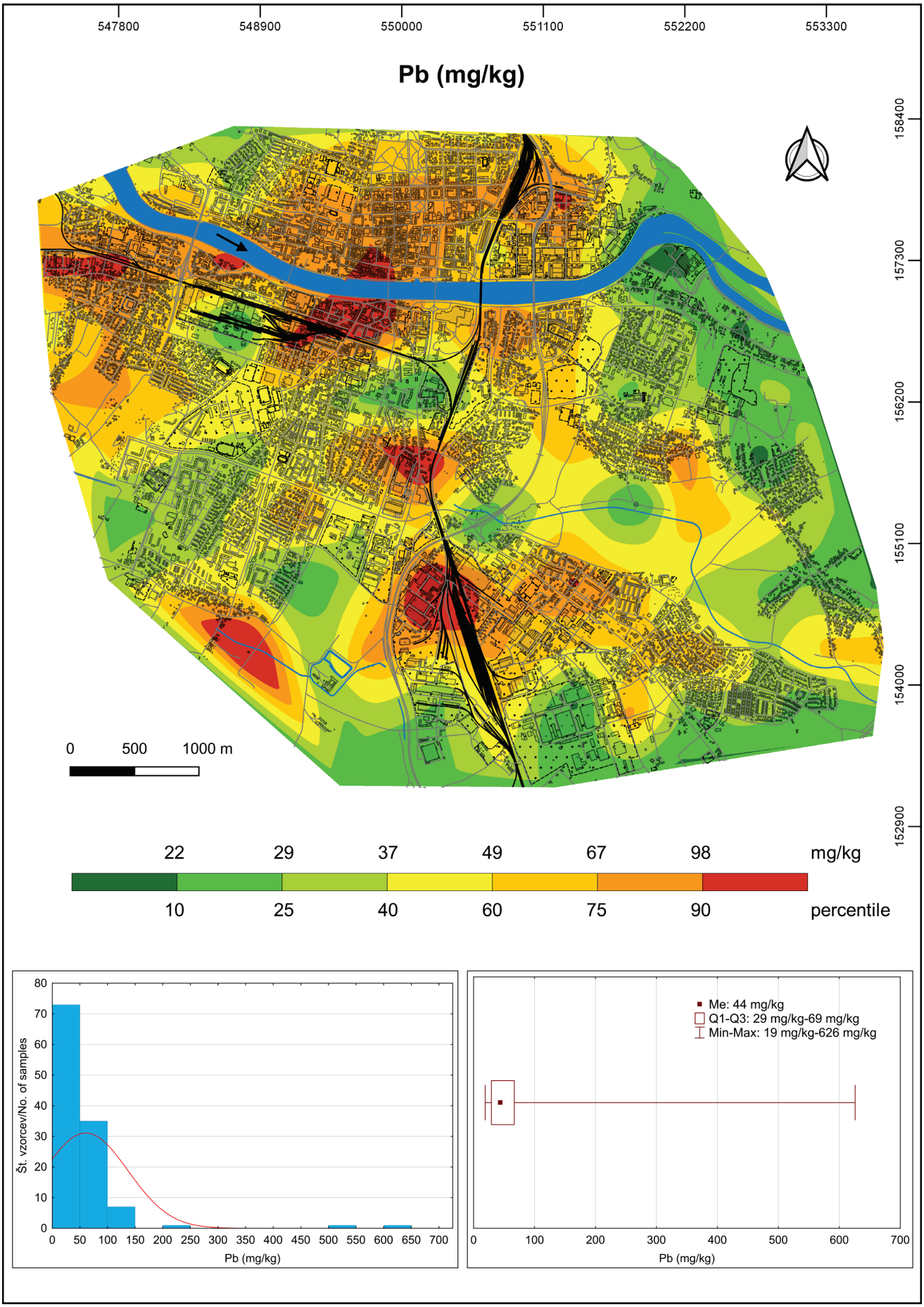
Sl. 38. Prostorska porazdelitev vsebnosti neodima (Nd; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 38. Spatial distribution of neodymium (Nd) levels (in mg/kg).



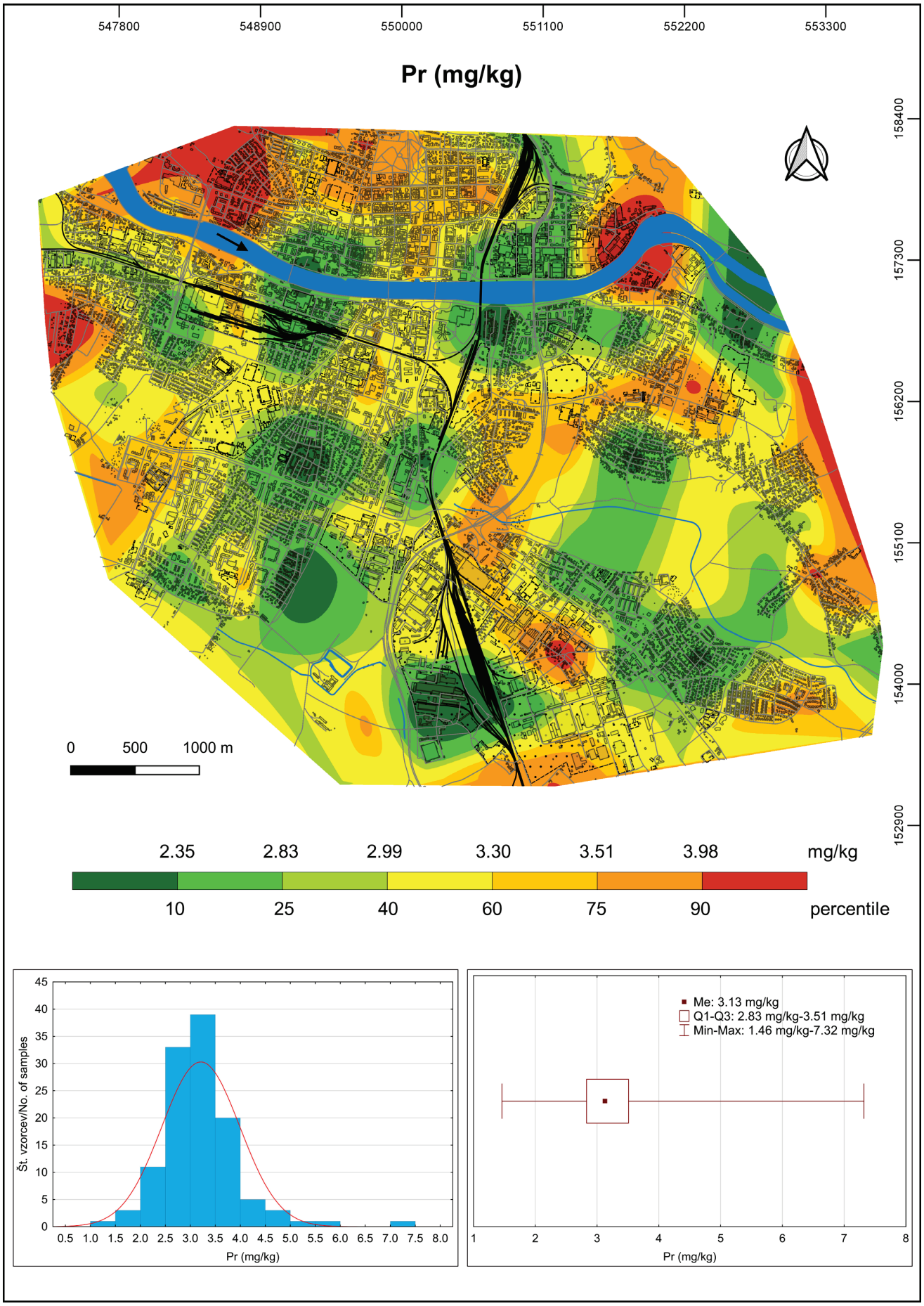
Sl. 39. Prostorska porazdelitev vsebnosti niklja (Ni; v mg/kg).
Fig. 39. Spatial distribution of nickel (Ni) levels (in mg/kg).



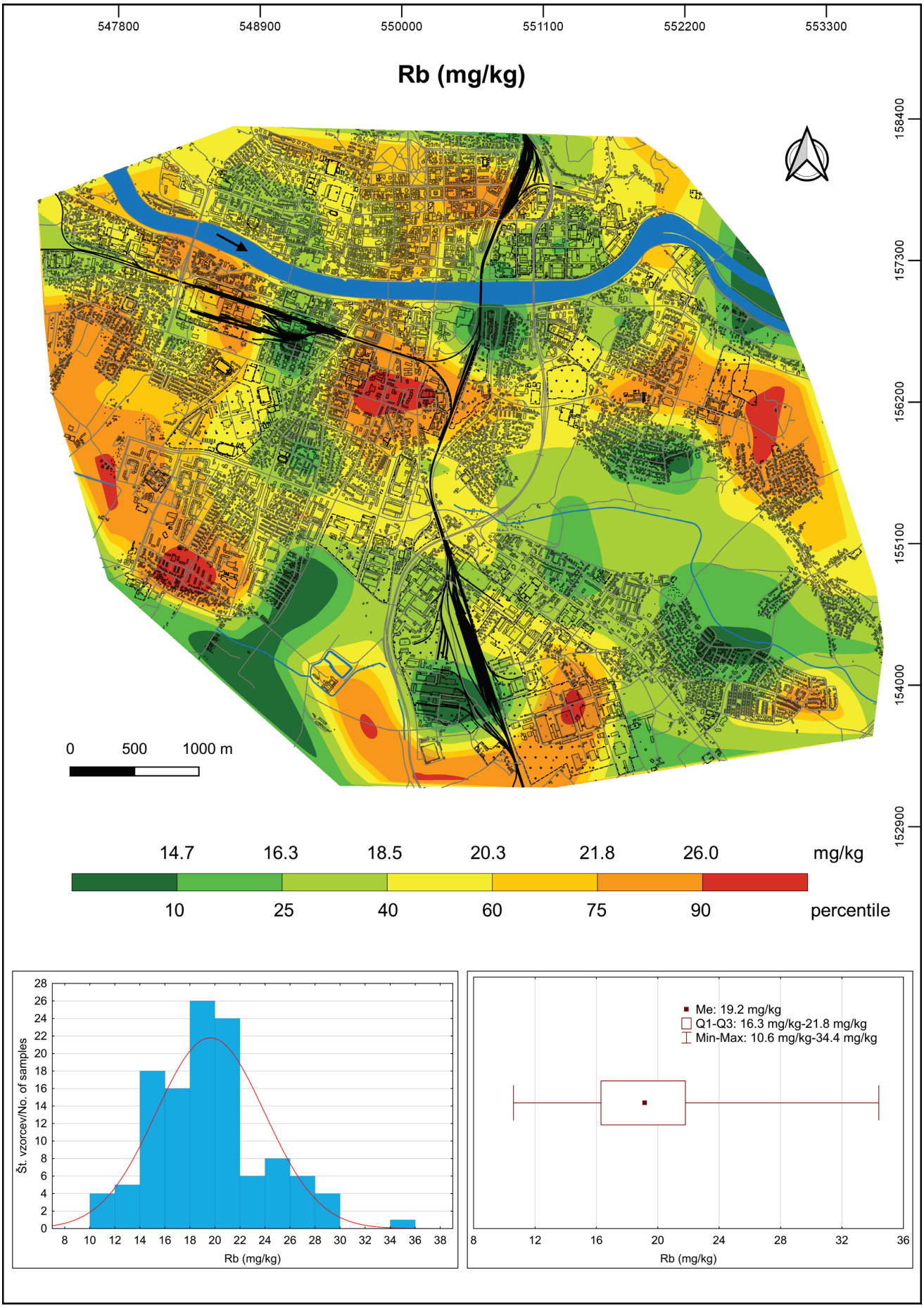
Sl. 40. Prostorska porazdelitev vsebnosti fosforja (P; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 40. Spatial distribution of phosphorous (P) levels (in %).



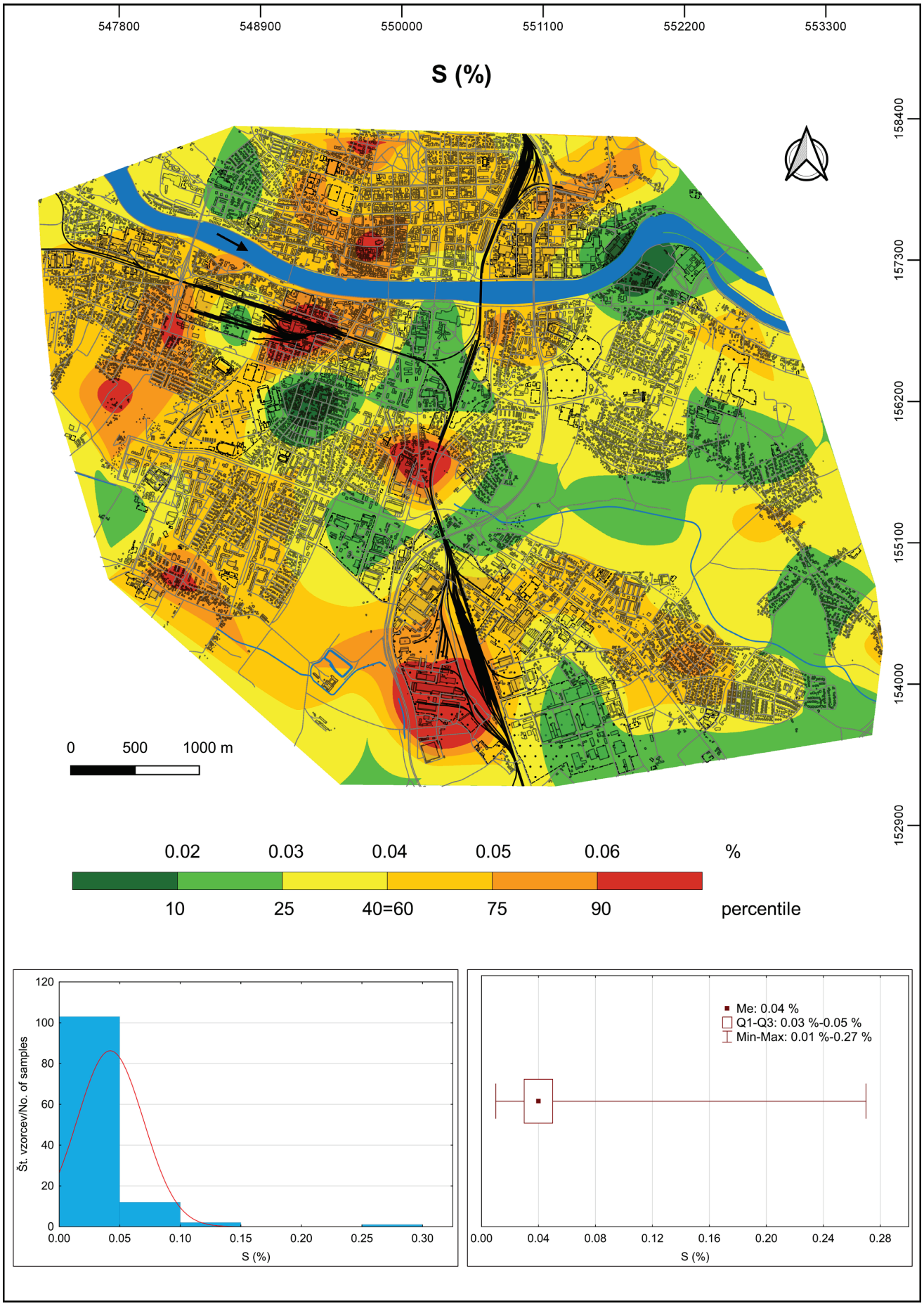
Sl. 41. Prostorska porazdelitev vsebnosti svinca (Pb; v mg/kg).
Fig. 41. Spatial distribution of lead (Pb) levels (in mg/kg).



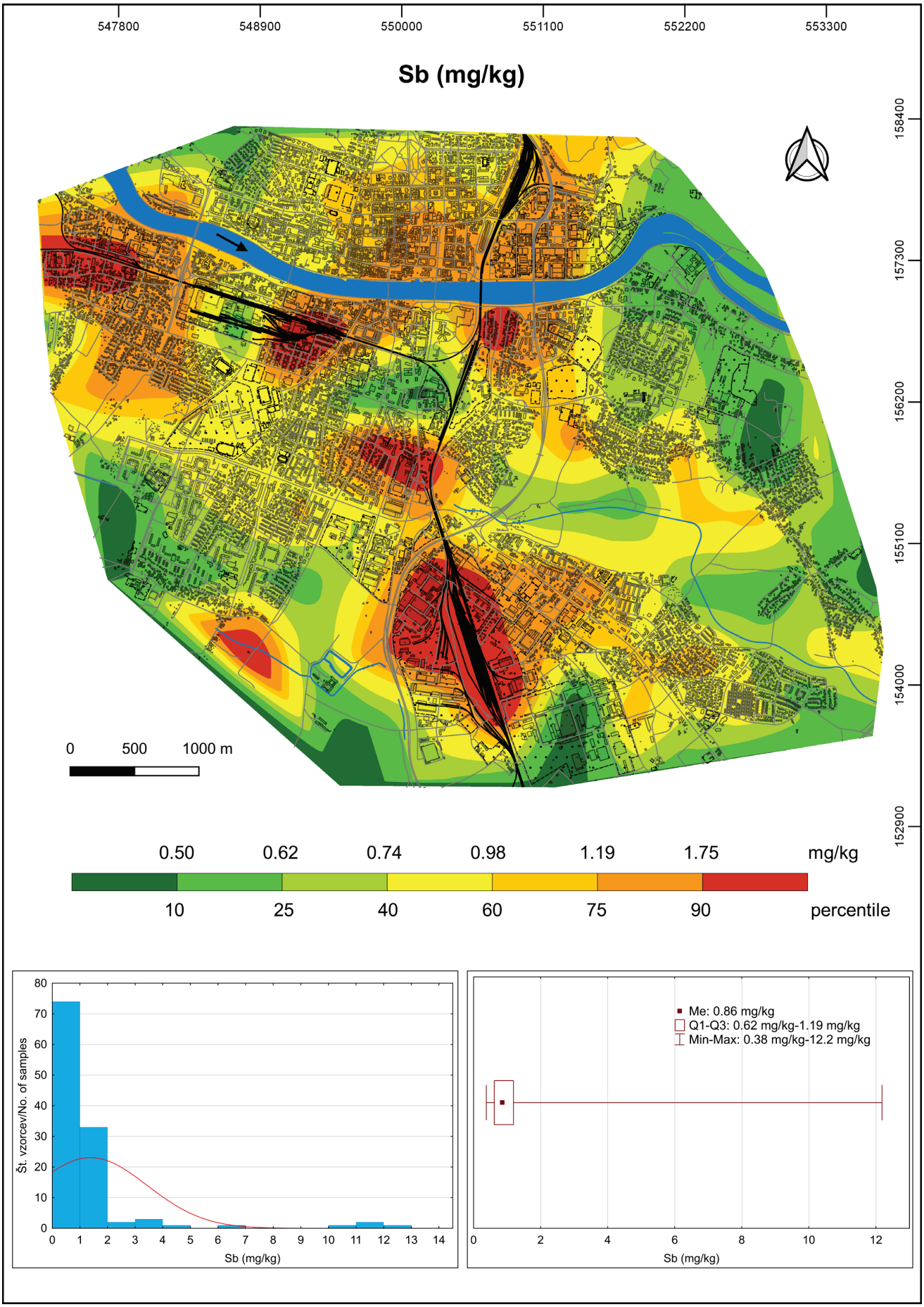
Sl. 42. Prostorska porazdelitev vsebnosti prazeodima (Pr; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 42. Spatial distribution of praseodymium (Pr) levels (in mg/kg).



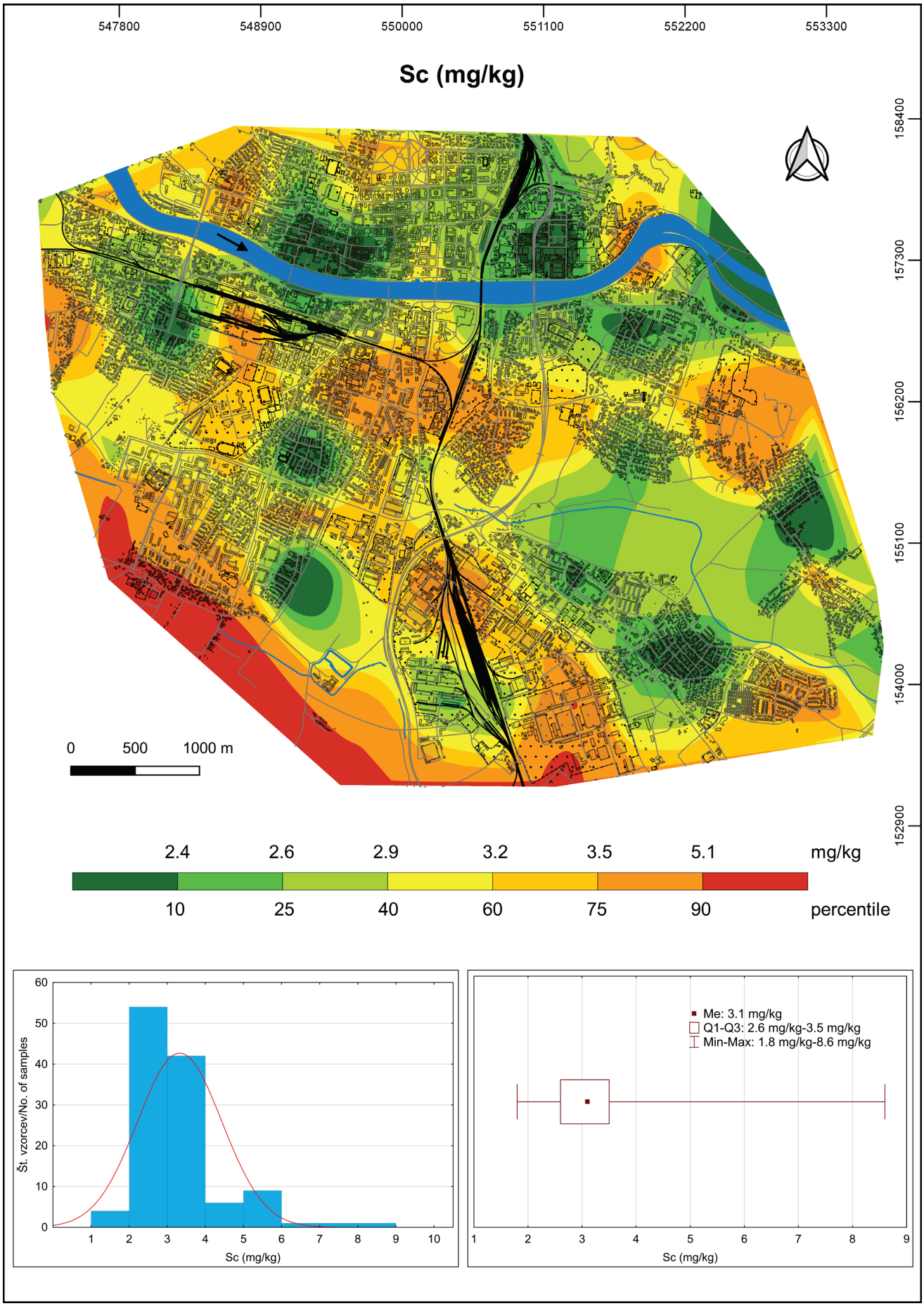
Sl. 43. Prostorska porazdelitev vsebnosti rubidija (Rb; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 43. Spatial distribution of rubidium (Rb) levels (in mg/kg).



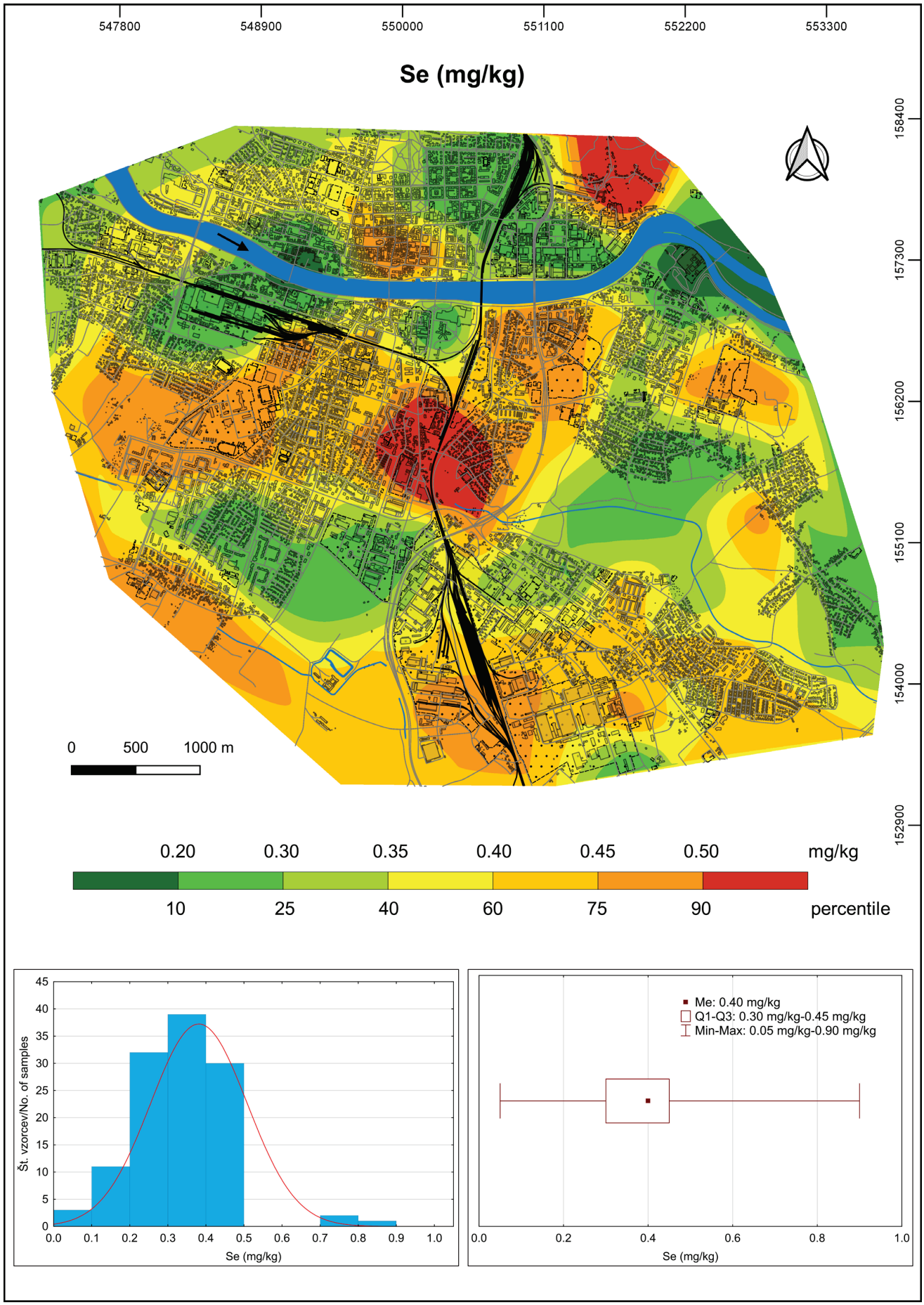
Sl. 44. Prostorska porazdelitev vsebnosti žvepla (S; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 44. Spatial distribution of sulphur (S) levels (in %).



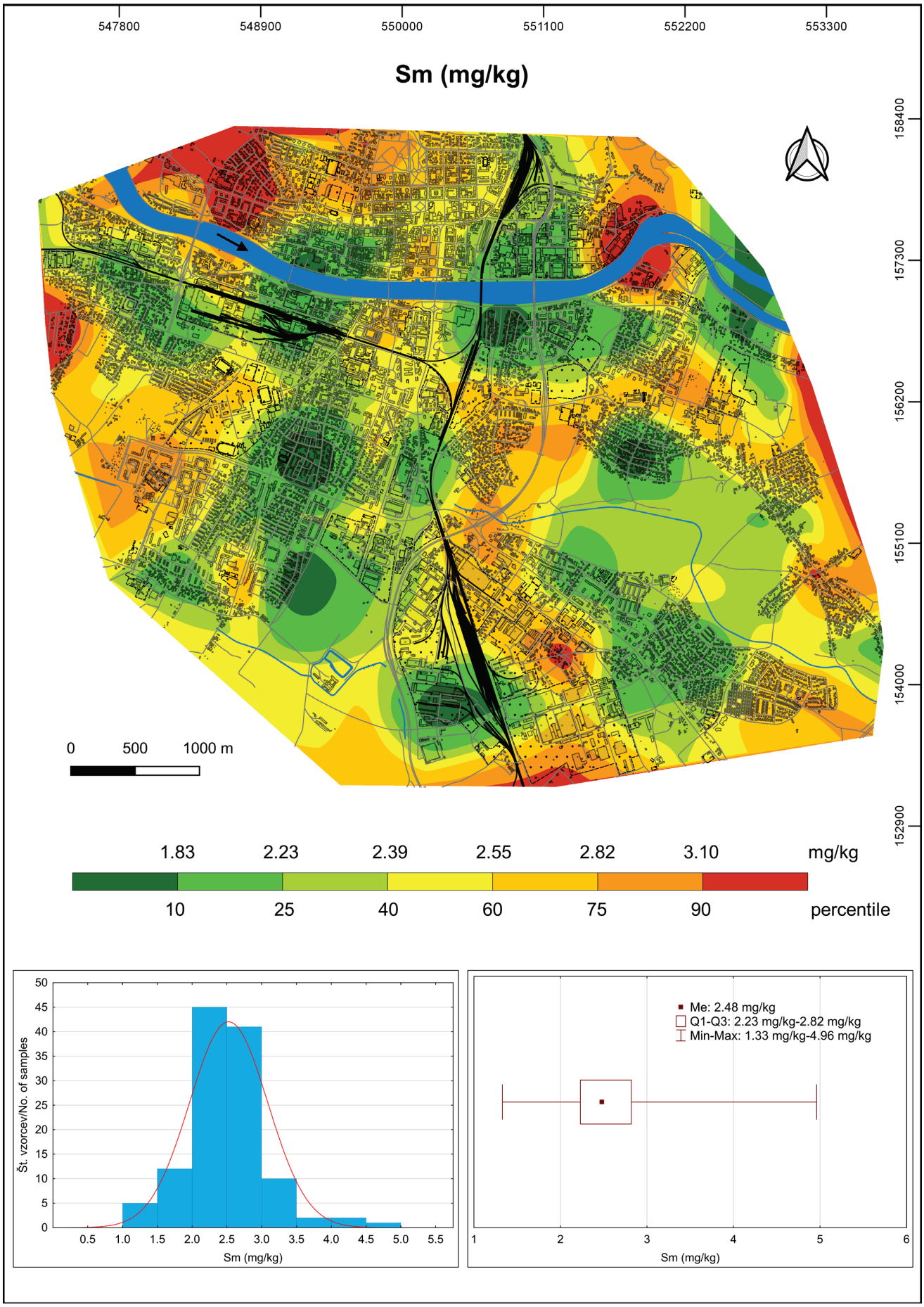
Sl. 45. Prostorska porazdelitev vsebnosti antimona (Sb; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 45. Spatial distribution of antimony (Sb) levels (in mg/kg).



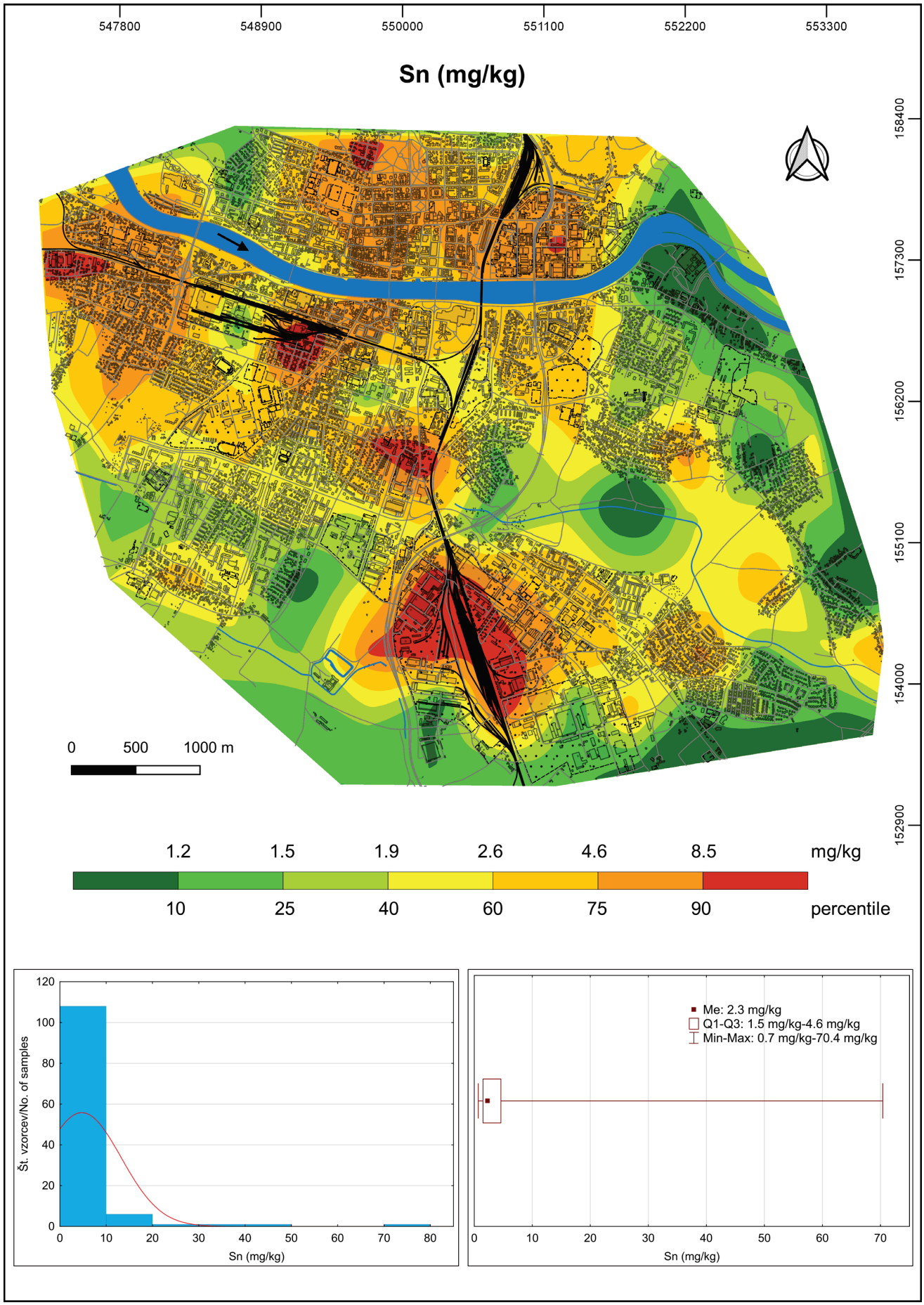
Sl. 46. Prostorska porazdelitev vsebnosti skandija (Sc; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 46. Spatial distribution of scandium (Sc) levels (in mg/kg).



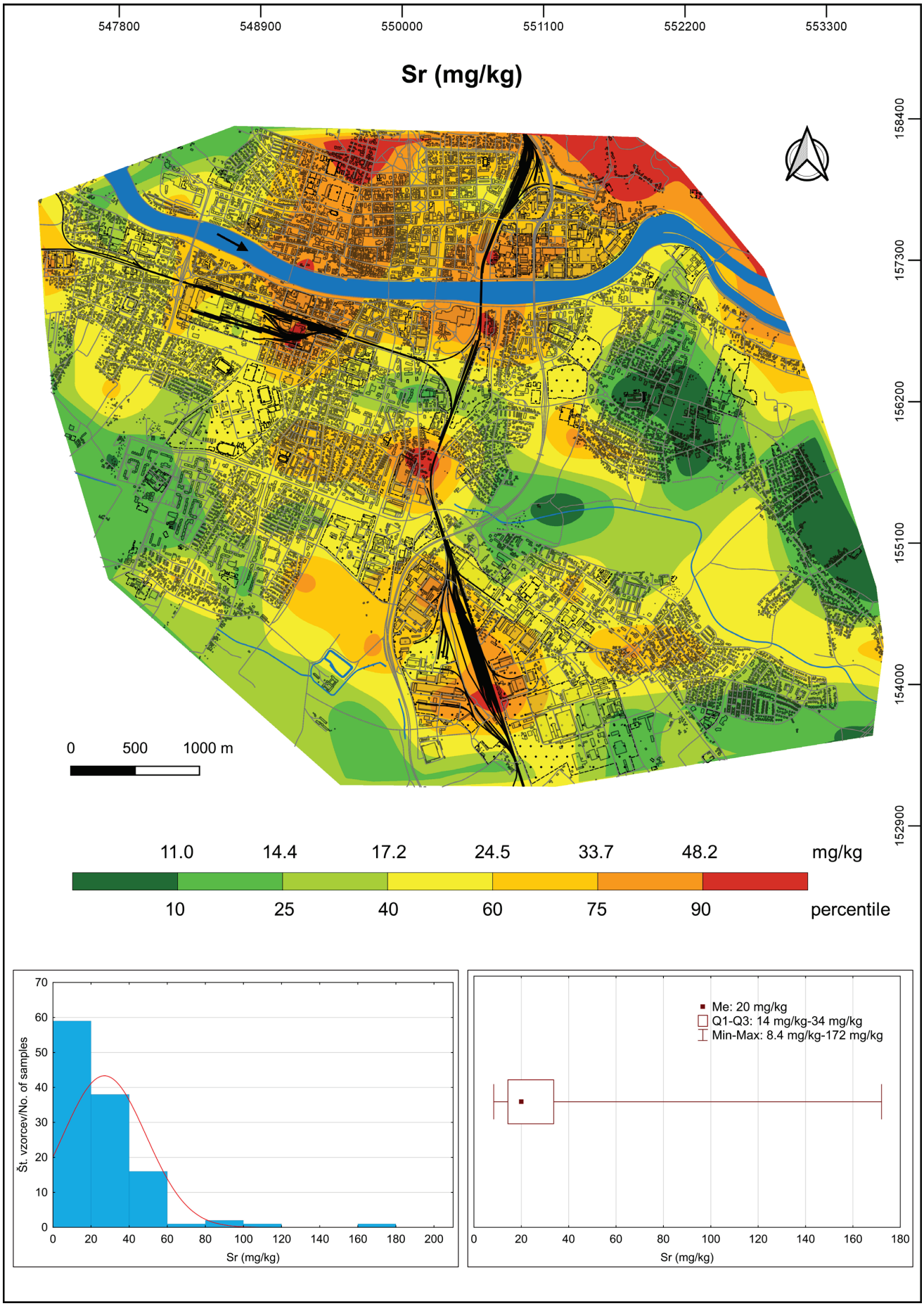
Sl. 47. Prostorska porazdelitev vsebnosti selena (Se; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 47. Spatial distribution of selenium (Se) levels (in mg/kg).



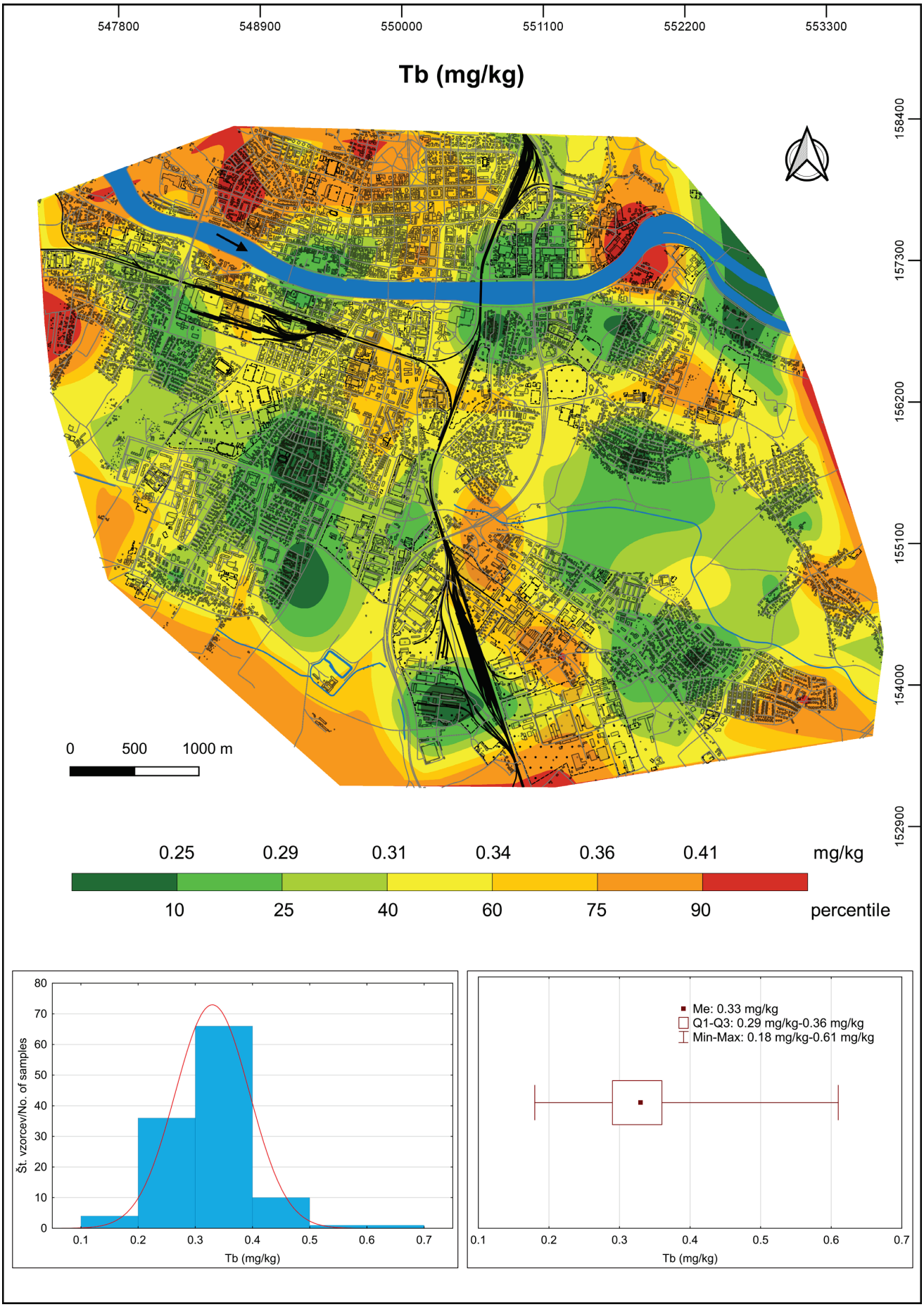
Sl. 48. Prostorska porazdelitev vsebnosti samarija (Sm; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 48. Spatial distribution of samarium (Sm) levels (in mg/kg).



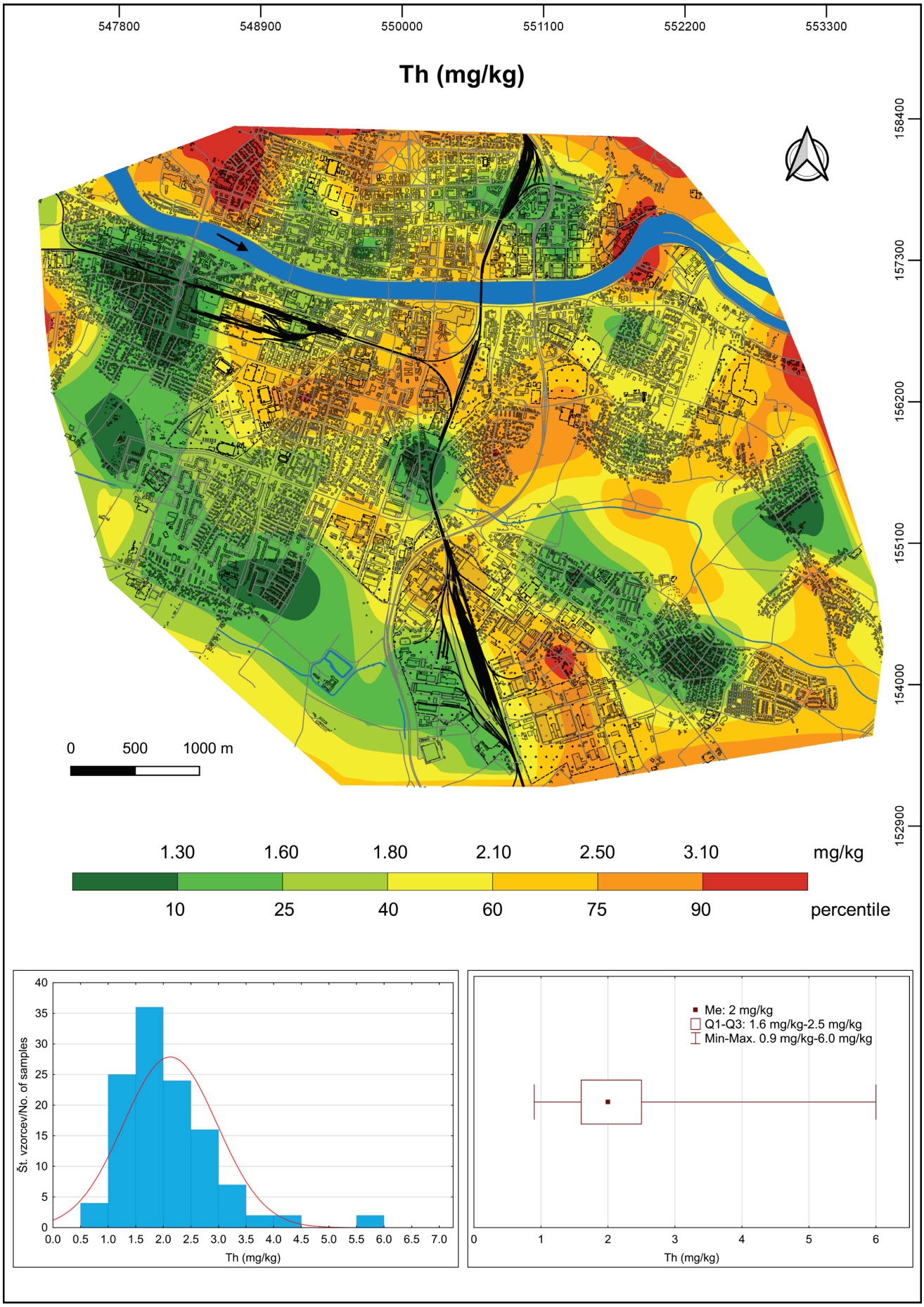
Sl. 49. Prostorska porazdelitev vsebnosti kositra (Sn; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 49. Spatial distribution of tin (Sn) levels (in mg/kg).



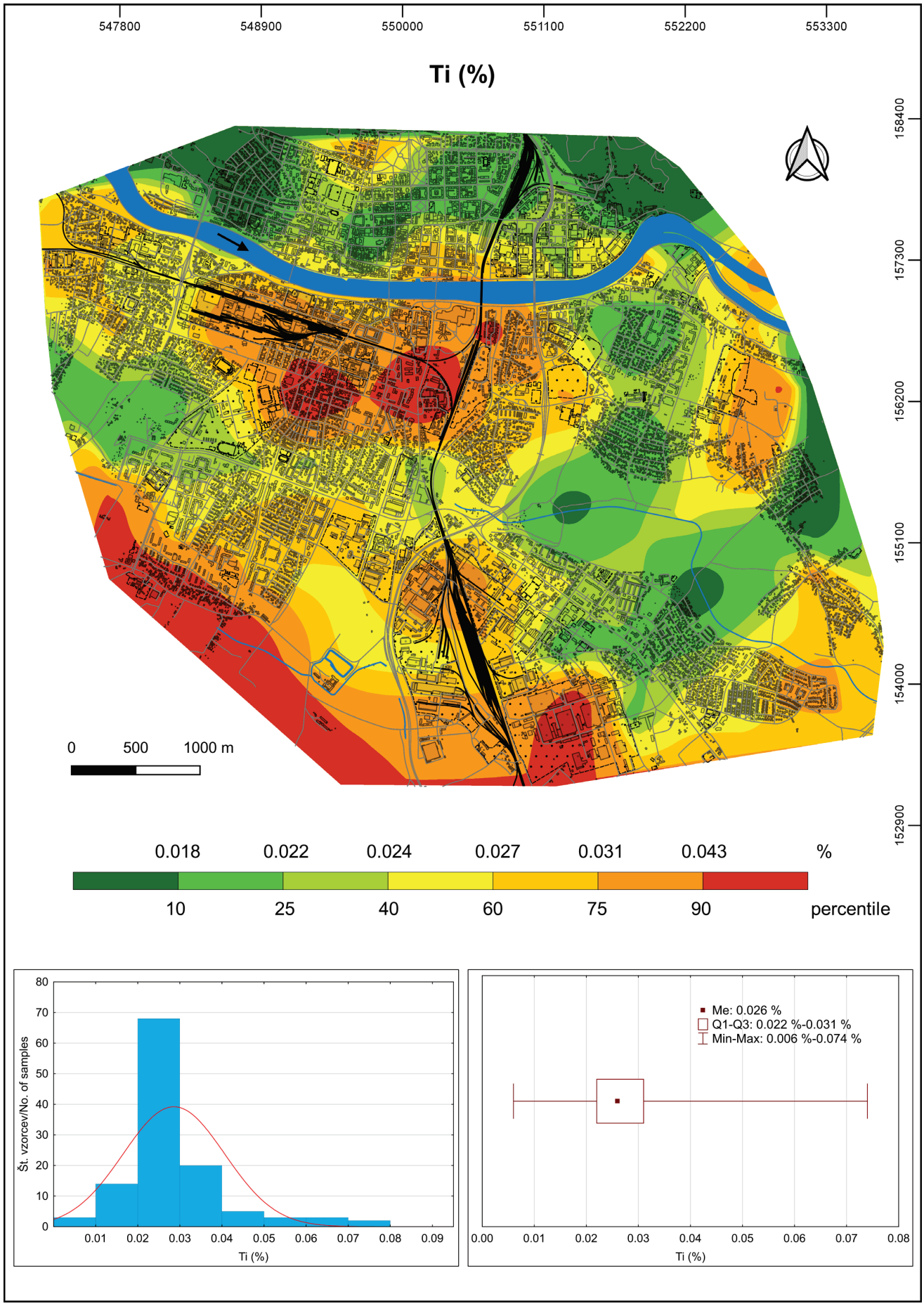
Sl. 50. Prostorska porazdelitev vsebnosti stroncija (Sr; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 50. Spatial distribution of strontium (Sr) levels (in mg/kg).



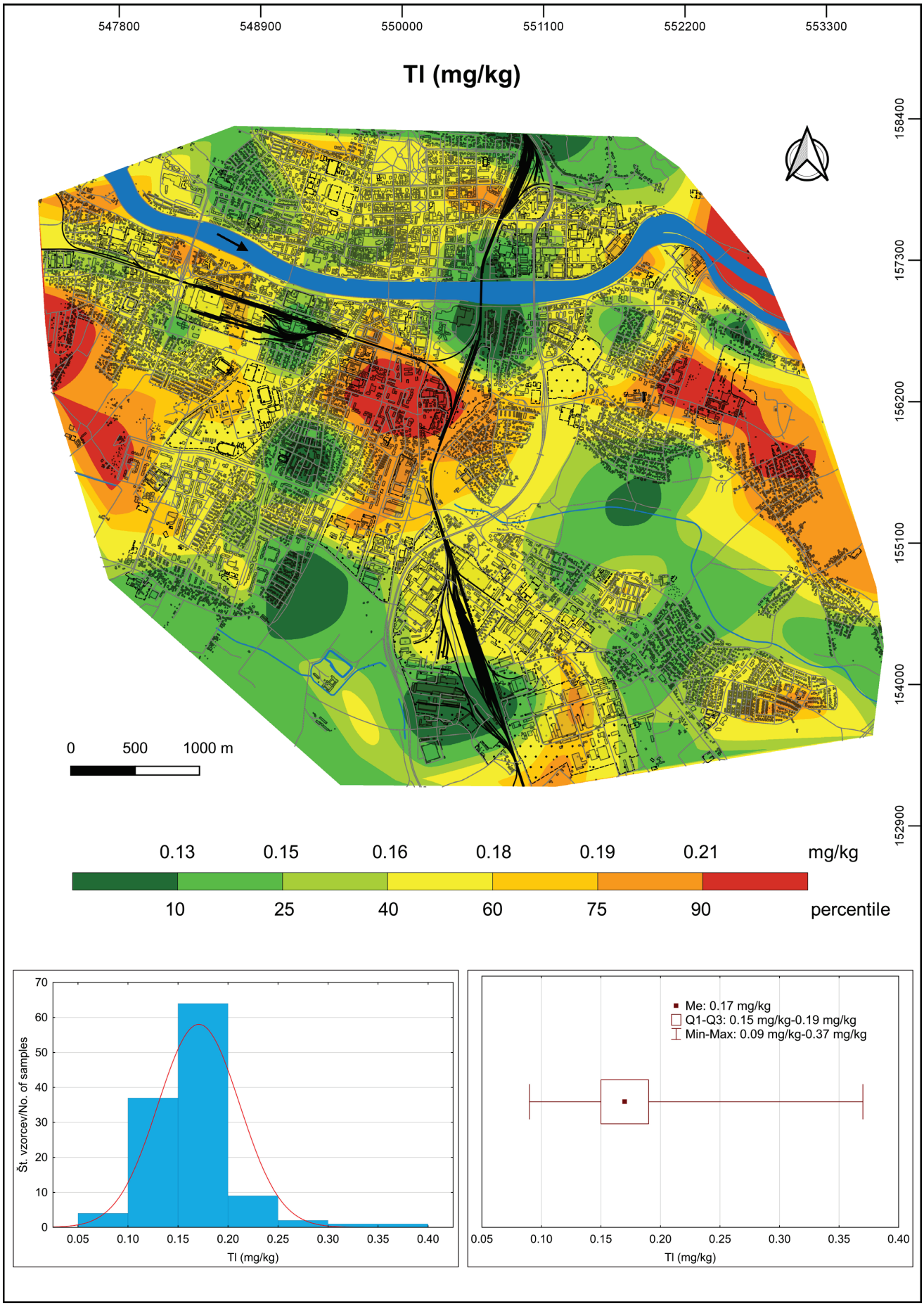
Sl. 51. Prostorska porazdelitev vsebnosti terbija (Tb; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 51. Spatial distribution of terbium (Tb) levels (in mg/kg).



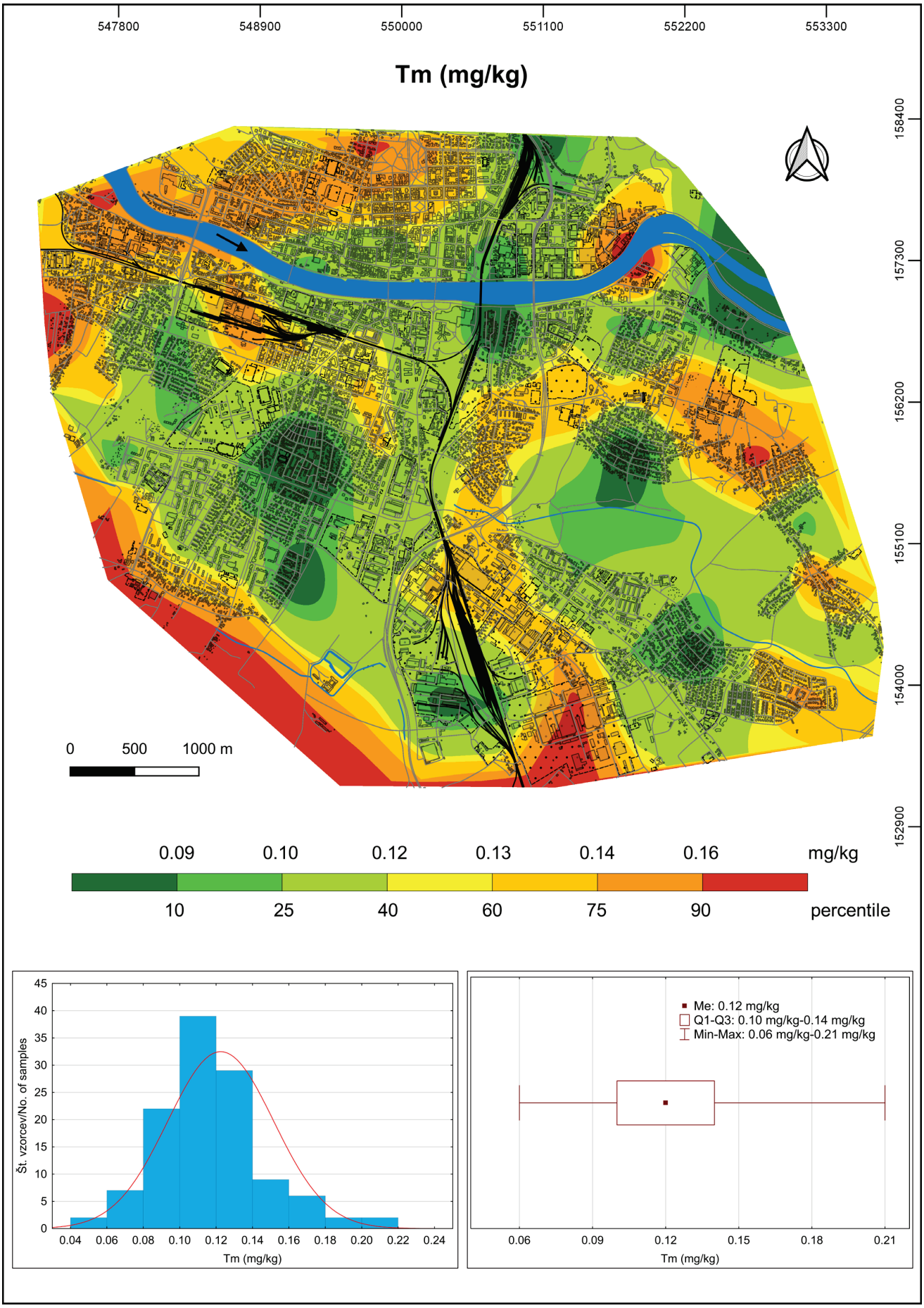
Sl. 52. Prostorska porazdelitev vsebnosti torija (Th; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 52. Spatial distribution of thorium (Th) levels (in mg/kg).



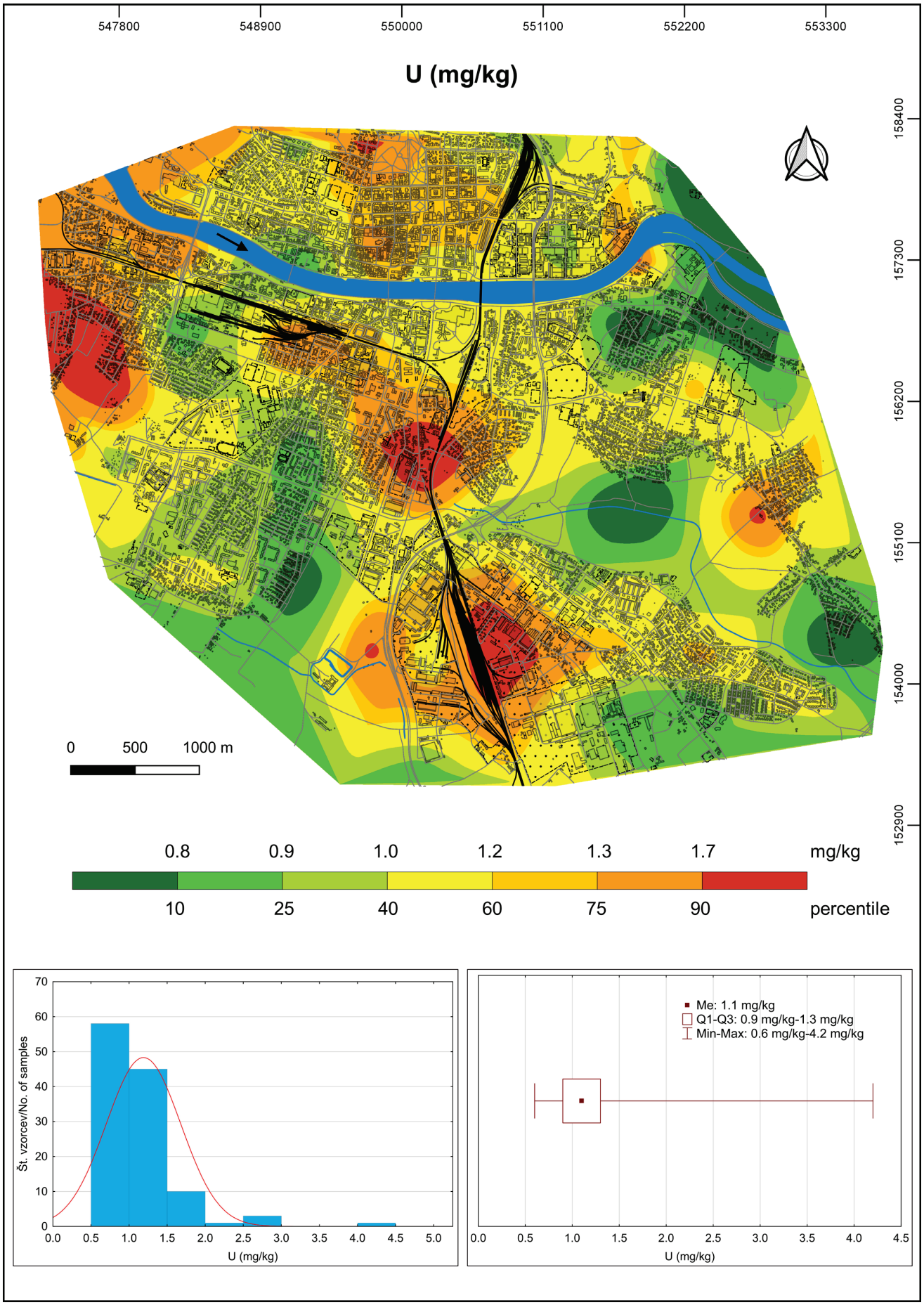
Sl. 53. Prostorska porazdelitev vsebnosti titana (Ti; v %), decimalno ločilo je pika.
Fig. 53. Spatial distribution of titanium (Ti) levels (in %).



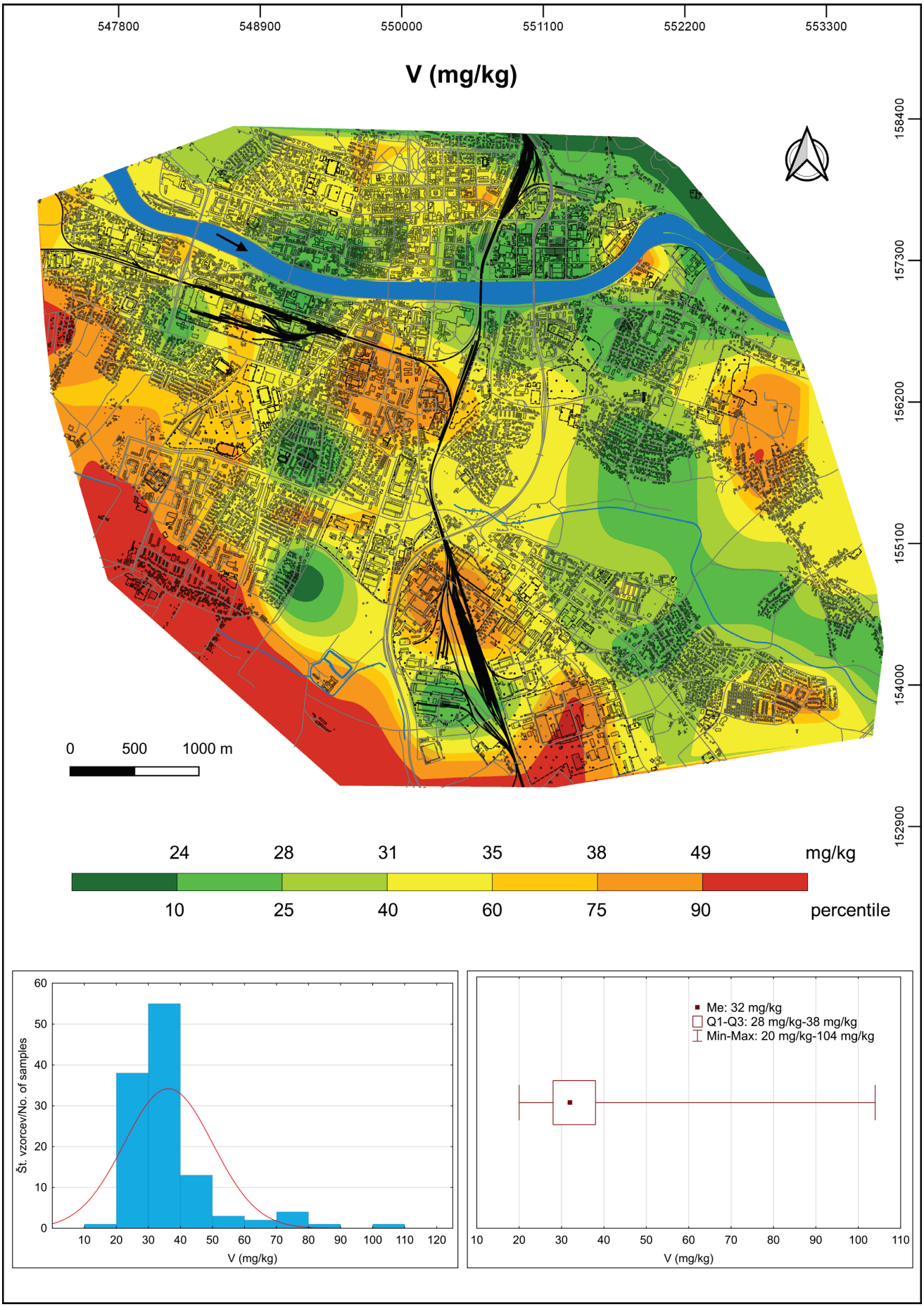
Sl. 54. Prostorska porazdelitev vsebnosti talija (Tl; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 54. Spatial distribution of thallium (Tl) levels (in mg/kg).



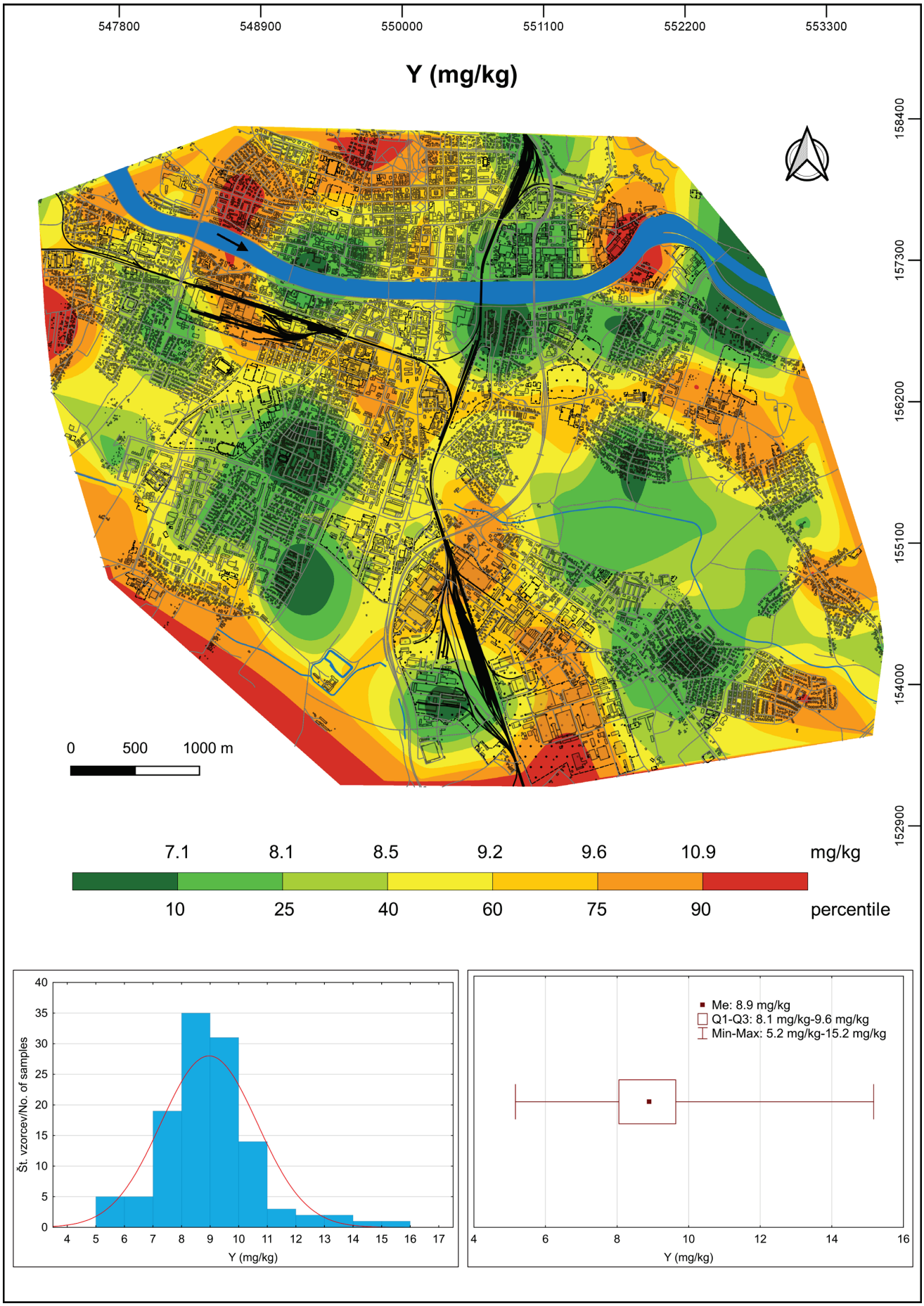
Sl. 55. Prostorska porazdelitev vsebnosti tulija (Tm; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 55. Spatial distribution of thulium (Tm) levels (in mg/kg).



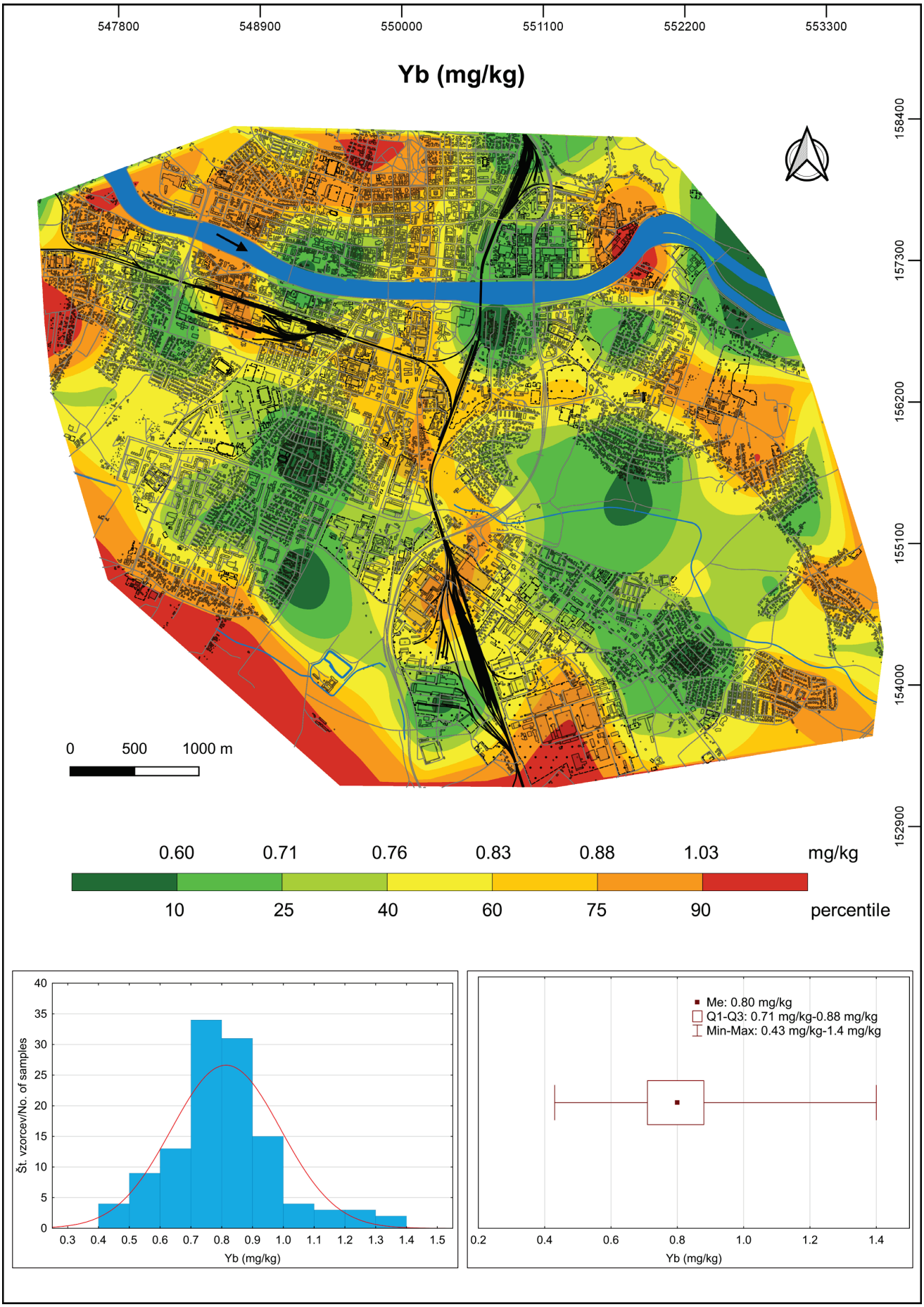
Sl. 56. Prostorska porazdelitev vsebnosti urana (U; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 56. Spatial distribution of uranium (U) levels (in mg/kg).



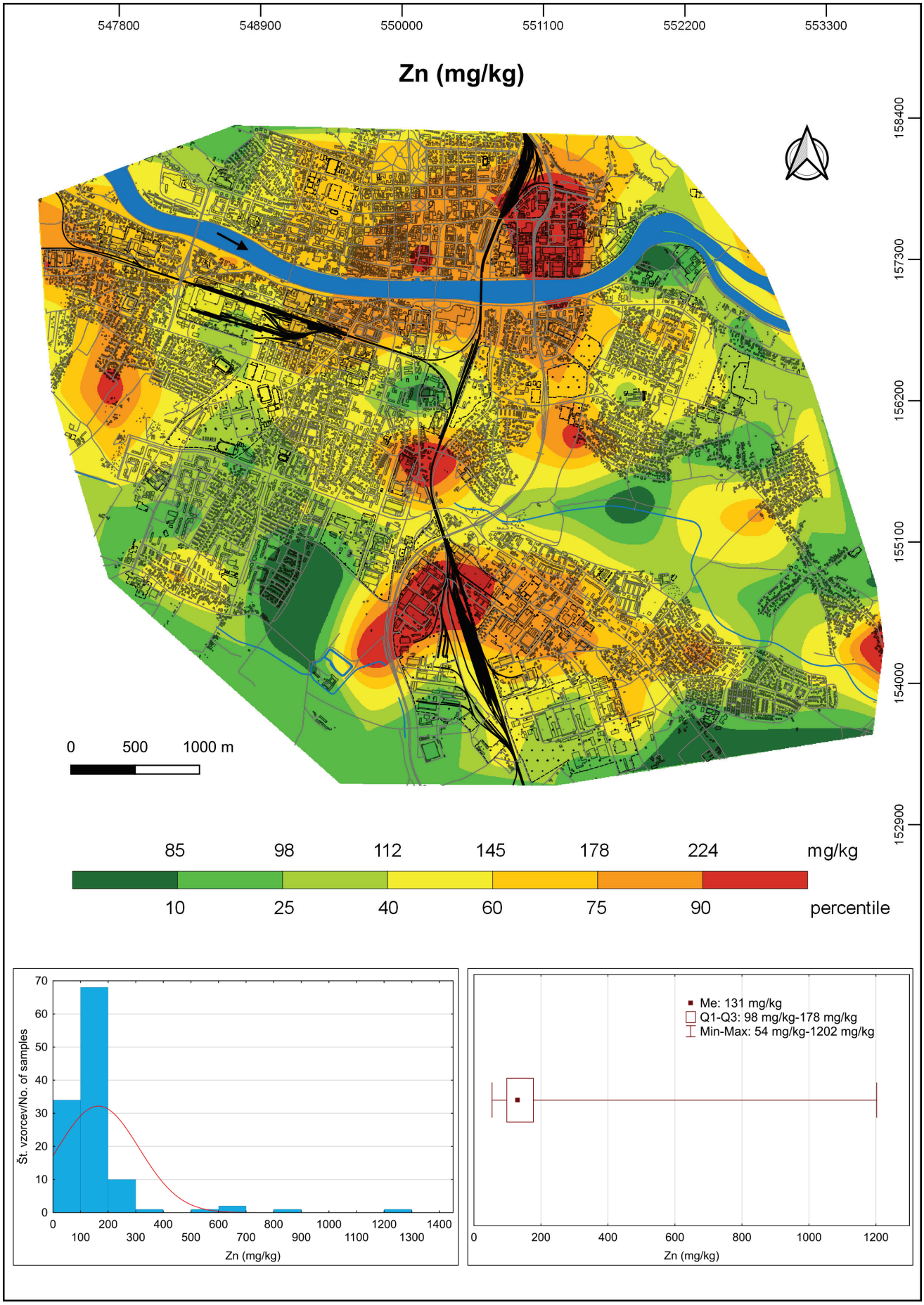
Sl. 57. Prostorska porazdelitev vsebnosti vanadija (V; v mg/kg).
Fig. 57. Spatial distribution of vanadium (V) levels (in mg/kg).



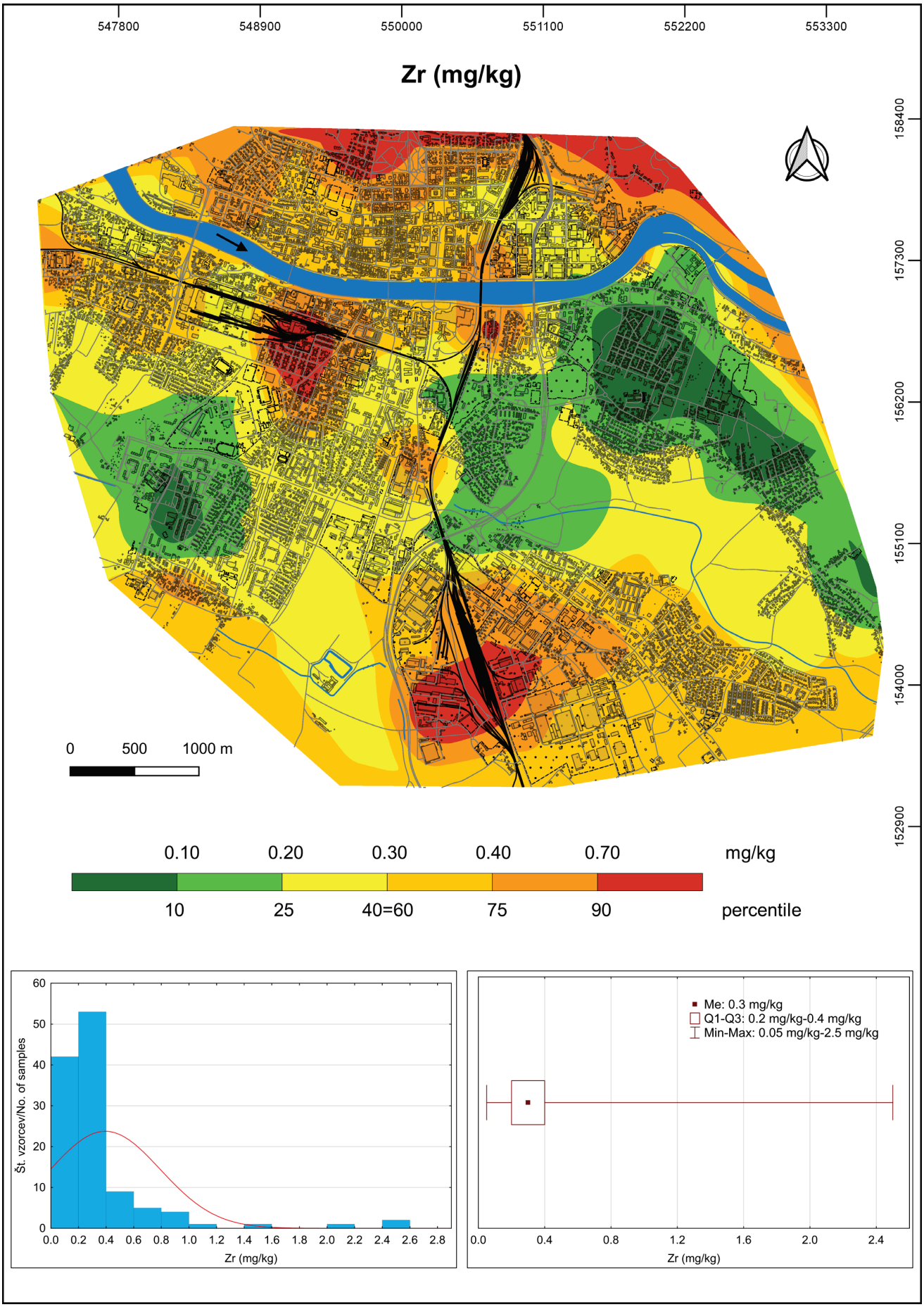
Sl. 58. Prostorska porazdelitev vsebnosti itrija (Y; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 58. Spatial distribution of yttrium (Y) levels (in mg/kg).



Sl. 59. Prostorska porazdelitev vsebnosti iterbija (Yb; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 59. Spatial distribution of ytterbium (Yb) levels (in mg/kg).



Sl. 60. Prostorska porazdelitev vsebnosti cinka (Zn; v mg/kg).
Fig. 60. Spatial distribution of zinc (Zn) levels (in mg/kg).



Sl. 61. Prostorska porazdelitev vsebnosti cirkonija (Zr; v mg/kg), decimalno ločilo je pika.
Fig. 61. Spatial distribution of zirconium (Zr) levels (in mg/kg).

Literatura

Ali, M.U., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Abbas, Q. & Munir, M.A.M. 2019: A systematic review on global pollution status of particulate matter-associated potential toxic elements and health perspectives in urban environment. Environ. Geochem. Health, 41: 1131–1162. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0203-z

Arrighi, C., Masi, M. & Iannelli, R. 2018: Flood risk assessment of environmental pollution hotspots. Environmental Modelling & Software 100, 1-10: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.014

Belinc, S. 2014: Prenova priročnika iz prostorskih analiz v orodju ArcGIS. Diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 194 str.

Bertalanič, R. 2007: Vetrovnost v Sloveniji leta 2006 = Wind levels in Slovenia in 2006. Ujma, 21: 27–36. https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8949/8380 (dostop 27. 3. 2025)

Biasioli, M., Grčman, H., Kralj, T., Madrid, F., Diaz-Barrientos, E. & Ajmone-Marsan, F. 2007: Potentially toxic elements contamination in urban soils: A comparison of three European cities. Journal of Environmental Quality, 36: 70–79. https://doi.org/10.2134/jeq2006.0254

Birke, M., Rauch, U. & Stummeyer, J. 2011: Urban geochemistry of Berlin, Germany. In: Johnson, C.C., Demetriades, A., Locutura, J. & Ottesen, R.T. (eds.): Mapping the Chemical Environment of Urban Areas. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Chichester, U.K.: 245–268.

Birke, M., Reimann, C., Oorts, K., Rauch, U., Demetriades, A., Dinelli, E., Ladenberger, A., Halamić, J., Gosar, M., Jähne-Klingberg, F. & The GEMAS Project Team 2016: Use of GEMAS data for risk assessment of cadmium in European agricultural and grazing land soil under the REACH regulation. Applied Geochemistry, 74: 109–121. http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.08.014

Bolan, S., Padhye, L.P., Jasemizad, T., Govarthanan, M., Karmegam, N. & et al. 2024: Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. Science of the Total Environment, 909: 168388. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388

Buser, S. 2009: Geološka karta Slovenije 1:250.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Calvo, A.I., Alves, C., Castro, A., Pont, V., Vicente, A.M. & Fraile, R. 2013: Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues. Atmos. Res. 120–121: 1–28. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.021

Chambers, L.G., Chin, Y.P., Filippelli, G.M., Gardner, C.B., Herndon, E.M., Long, D.T., Lyons, W.B., Macpherson, G.L., McElmurry, S.P., McLean, C.E., Moore, J., Moyer, R.P., Neumann, K., Nezat, C.A., Soderberg, K., Teutsch, N. & Widom, E. 2016: Developing the scientific framework for urban geochemistry. Appl. Geochem., 67: 1–20. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.01.005

Crawford, S.E., Brinkmann, M., Ouellet, J.D., Lehmkuhl, F. & et al.: 2022. Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. Journal of Hazardous Materials, 421, 126691. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691

Demetriades, A. & Birke, M. 2015: Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample Preparation, Laboratory Analysis, Quality Control Check, Statistical Processing and Map Plotting. EuroGeoSurveys, Brussels: 166 str. https://eurogeosurveys.org/wp-content/uploads/2022/11/Urban-Geochemical-Mapping-Manual.pdf (dostop 27. 3. 2025)

Floreani, F., Pavoni, E., Gosar, M. & Covelli, S. 2023: Evasion of Gaseous Elemental Mercury from Forest and Urban Soils Contaminated by Historical and Modern Ore Roasting Processes (Idrija, Slovenia). Atmosphere, 14/6: 1036. https://doi.org/10.3390/atmos14061036

Foulds, S.A., Brewer, P.A., Macklin, M.G., Haresign, W., Betson, R.E. & Rassner, S.M.E. 2014: Flood-related contamination in catchments

affected by historical metal mining: An unexpected and emerging hazard of climate change. Science of the Total Environment, 476–477, 165–180. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.079

Gaberšek, M. 2020: Celostna obravnava geokemije trdnih anorganskih delcev v urbanem okolju = Holistic approach to geochemistry of solid inorganic particles in urban environment. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Ljubljana: 215 str. https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=113514 (dostop 27. 3. 2025)

Gaberšek, M. & Gosar, M. 2018: Geochemistry of urban soil in the industrial town of Maribor, Slovenia. Journal of Geochemical Exploration, 187: 141–154. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.001

Gaberšek, M. & Gosar, M. 2021a: Towards a holistic approach to the geochemistry of solid inorganic particles in the urban environment. Science of The Total Environment, 763: 144214. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144214

Gaberšek, M. & Gosar, M. 2021b: Meltwater chemistry and characteristics of particulate matter deposited in snow as indicators of anthropogenic influences in an urban area. Environmental geochemistry and health, 43/7. https://doi.org/10.1007/s10653-020-00609-z

Gaberšek, M. & Gosar, M. 2023: Odraz preteklega rudarjenja v dravskih sedimentih. Proteus, 85: 6/7/8/9: 290–294. https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-GUTCONG0/2b57c753-65a6-48ec-8bf4-49d420150456/PDF (dostop 27. 3. 2025)

Gaberšek, M. & Gosar, M. 2024: Oral bioaccessibility of potentially toxic elements in various urban environmental media. Environmental Geochemistry and Health, 46: 259. https://doi.org/10.1007/s10653-024-02073-5

Gaberšek, M., Grčman, H. & Gosar, M. 2020: Mineral composition, pedological characteristics and fractionation of selected chemical elements in soil of Maribor. Geologija, 63/2: 177–191. https://doi.org/10.5474/geologija.2020.015

Gaberšek, M., Watts, M.J. & Gosar, M. 2022: Attic dust: an archive of historical air contamination of the urban environment and potential hazard to health? Journal of Hazardous Materials, 432: 128745. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128745

Gliha, S. 2008: Vpliv vsebnosti karbonatov v tleh na uspešnost standardizirane BCR sekvenčne ekstrakcije. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana: str. 18.

Gosar, M., Šajn, R., Bavec, Š., Gaberšek, M., Pezdir, V. & Miler, M. 2019: Geochemical background and threshold for 47 chemical elements in Slovenian topsoil = Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije. Geologija, 62/1: 5–57. https://doi.org/10.5474/geologija.2019.001

Hazelton, P. & Murphy, B. 2011: Understanding soils in urban environments. CSIRO, Collingwood, Earthscan, London: 148 str.

Hewett, P. & Ganser, G.H. 2007: A comparison of several methods for analyzing censored data. Ann. Occup. Hyg., 51/7: 611–632. http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/mem045

Hinterlechner Ravnik, A. 1971: Pohorske metamorfne kamenine. Geologija, 14: 187–226. http://www.geologija-revija.si/dokument.aspx?id=210

Jabłońska, M. & Janeczek, J. 2019: Identification of industrial point sources of airborne dust particles in anurban environment by a combined mineralogical and meteorologic alanalyses: A case study from the Upper Silesian conurbation, Poland. Atmos. Pollut. Res., 10: 980–988. https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.006

Jeong, C.H., Traub, A., Huang, A., Hilker, N., Wang, J.M., Herod, D., Dabek-Zlotorzynska, Celo, V. & Evans, G.J. 2020: Long-term analysis of PM2.5 from 2004 to 2017 in Toronto: Composition, sources, and oxidative potential. Environmental Pollution, 263, Part B: 114652. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114652

Kabata Pendias, A. 2011: Trace elements in soils and plants, fourth edition. Taylor and Francis Group, ZDA: 534 str.

Karagulian, F., Belis, C.A., Dora, C.F.C., Prüss-Ustün, A.M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H. & Amann, M., 2015: Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. Atmos. Environ., 120: 475–483. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087

Komárek, M., Čadková, E., Chrastný, V., Bordas, F. & Bollinger, J.C. 2010: Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. Environment International, 36: 138–151. https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.10.005

Lorber, L. 2006: Strukturne spremembe mariborskega gospodarstva po letu 1991. Revija za geografijo, 1/1: 63–80. https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=56241 (dostop 27. 3. 2025)

Lyons, W.B. & Harmon, R.S. 2012: Why urban geochemistry? Elements, 8: 417–422. https://doi.org/10.2113/gselements.8.6.417

Miler, M. 2014: SEM/EDS characterization of dusty deposits in precipitation and assessment of their origin. Geologija, 57: 5–14. https://doi.org/10.5474/geologija.2014.001

Miler, M. 2021: Airborne particles in city bus: concentrations, sources and simulated pulmonary solubility. Environmental geochemistry and health, 43: 2757–2780. https://doi.org/10.1007/s10653-020-00770-5

Miler, M. & Gosar, M. 2019: Assessment of contribution of metal pollution sources to attic and household dust in Pb-polluted area. Indoor Air, 29: 487–498. https://doi.org/10.1111/ina.12548

Mioč, P. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Slovenj Gradec. Zvezni geološki zavod, Beograd: 74 str.

Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1977: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Slovenj Gradec. Zvezni geološki zavod, Beograd.

Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1989: Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za lista Maribor in Leibnitz. Zvezni geološki zavod, Beograd: 60 str.

Oset, Ž., Berberih Slana, A. & Lazarević, Ž. (ur.) 2010: Mesto in gospodarstvo – Mariborsko gospodarstvo v 20. stoletju. Inštitut za novejšo zgodovino in Muzej narodne osvoboditve Maribor: 616 str.

Placer, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. Geologija, 51/2: 205–217. https://doi.org/10.5474/geologija.2008.021

Pribyl, D.W. 2010: A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma, 156: 75–83. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003

Pučko, E., Žibret, G. & Teran, K. 2024: Comparison of elemental composition of surface and subsurface soils on national level and identification of potential natural and anthropogenic processes influencing its composition. Journal of Geochemical Exploration, 258: 107422. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107422

Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. & O'Connor, P. 2014: Chemistry of Europe's Agricultural Soils - Part A: Methodology and Interpretation of the GEMAS Data Set. Geol. Jb. (Reihe B 102, Schweizerbarth, Hannover: 528 str.

Rusjan, D., Strlič, M., Pucko, D. & Korošec-Koruza, Z. 2007: Copper accumulation regarding the soil characteristics in Sub-Mediterranean vineyards of Slovenia. Geoderma, 141/1–2: 111–118. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.05.007

Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A. & Tarvainen, T. 2005: Geochemical Atlas of Europe. Part 1 - Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, Espoo: 526 str. http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/ (dostop 27. 3. 2025).

Savnik, R. & Planina, F. 1980: Krajevni leksikon Slovenije, IV. Knjiga – Podravje in Pomurje. Državna založba Slovenije, Ljubljana: str. 172.

Slavec, A. 1991: Razvoj industrije v Mariboru s posebnim poudarkom na razvojnih dejavnikih. Dela - Oddelek za geografijo Filozofske fakultete v Ljubljani, 8: 53–64. http://revije.ff.uni-lj.si/Dela/article/view/1185 (dostop 27. 3. 2025)

Sobrova, P., Zehnalek, J., Adam, V., Beklova, M. & Kizek, R. 2012: The effects on soil/water/plant/animal systems by platinum group elements. Cent. Eur. J. Chem., 10: 1369–1382. https://doi.org/10.2478/s11532-012-0073-7

Sutherland, R.A. 2000: Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology, 39/6: 611–627. https://doi.org/10.1007/s002540050473

Šajn, R., Halamić, J., Peh, Z., Galović, L. & Alijagić, J. 2011: Assessment of the natural and anthropogenic sources of chemical elements in alluvial soils from the Drava River using multivariate statistical methods. Journal of Geochemical Exploration, 110: 278–289. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.06.009

Štrucl, I. & Kluge, R. 1991: Metalogenetska problematika železovih nahajališč v staropaleozojskih metamorfnih kameninah. Geologija, 34/1: 305–335. https://doi.org/10.5474/geologija.1991.007

Švegl, F., Hevka, P. & Herga, L., Verbovšek Judež, V. 2006: Lastnosti soli za posipavanje oplaščene z melaso. In: Gostinčar, A. (ed.): Zbornik referatov – 8. Slovenski kongres o cestah in prometu. DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Ljubljana: 949–955.

Tack, F.M.G. 2010: Trace elements: General Soil Chemistry, Principles and Processess. In: Hooda, P. S. (ed.): Trace elements in soils. Wiley, VB: 9–37.

Taylor, K. 2007: Urban environments. In: Perry, C. & Taylor, K. (eds.): Environmental Sedimentology. Department of Environmental and Geographical Sciences, Manchester Metropolitan University. Blackwell Publishing: 190–222.

Teran, K., Žibret, G. & Fanetti, M. 2020: Impact of urbanization and steel mill emissions on elemental composition of street dust and corresponding particle characterization. Journal of Hazardous Materials, 384. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120963

Trajanova, M. 2002: Metamorfne kamnine v globokih vrtinah pri Mariboru = Metamorphic rocks in the deep boreholes near Maribor. Geologija, 45/2: 567–572. https://doi.org/10.5474/geologija.2002.066

Thorpe, A. & Harrison, R.M. 2008: Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. Science of the Total Environment, 400: 270–282. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007

Uradni list RS, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1 2004: Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh.

Vidic, N.J., Prus, T., Grčman, H., Zupan, M., Lisec, A., Kralj, T., Vrščaj, B., Rupreht, J., Šporar, M., Suhadolc, R., Mihelič, R. & Lobnik, F. 2015: Tla Slovenije s pedološko karto v merilu 1:250.000 = Soils of Slovenia with soil map 1:250.000. Evropska komisija, Skupni raziskovalni center (JRC): 187 str. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/538dee5b-dfbf-45d6-bc3c-d4b6fab3110d/language-en (dostop 27. 3. 2025)

Vrščaj, B., Grčman, H. & Kralj, T. 2019: Klasifikacija tal Slovenije 2019. Sistem za opisovanje in poimenovanje tal Slovenije. Kmetijski inštitut Slovenije, Univerza v Ljubljani, Biotehniška in filozofska fakulteta, Gozdarski inštitut Slovenije, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Zavod za gozdove Slovenije: 179 str. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOPE/Okolje/Tla/Klasifikacija_tal_Slovenije.pdf (dostop 27. 3. 2025)

Wong, C.S.C., Li, X. & Thornton, I. 2006: Urban environmental geochemistry of trace metals. Environmental Pollution, 142: 1–16. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.09.004

Yang, J.L. & Zhang, G.L. 2015: Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review. Soil Science and Plant Nutrition, 61: 30–46. https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1035622

Združeni narodi – United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019: World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations: 103 str. https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf

Zupan, M., Grčman, H. & Lobnik, F. 2008: Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana: 63 str. https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/ARSO/Tla/Publikacija-Raziskave-onesnazenosti-tal-Slovenije-1989-2007.pdf (dostop 27. 3. 2025)

Zupančič, N. 1994: Petrografske značilnosti in klasifikacija pohorskih magmatskih kamnin. Rudarsko metalurški zbornik, 41: 101–112.

Žibret, G. 2018: Influences of coal mines, metallurgical plants, urbanization and lithology on the elemental composition of street dust. Environ. Geochem. Health, 41: 1489–1505. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0228-3

Žibret, G. & Rokavec, D. 2010: Household dust and street sediment as an indicator of recent heavy metals in atmospheric emissions: a case study on a previously heavily contaminated area. Environ. Earth. Sci., 61: 443–453. https://doi.org/10.1007/s12665-009-0356-2

Žlebnik, L. 1982: Hidrogeološke razmere na Dravskem polju = Hydrogeology of the Drava field. Geologija, 25/1: 151–164. https://www.geologija-revija.si/index.php/geologija/article/view/507/487

Žnidarčič, M. & Mioč, P. 1988: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Maribor in Leibnitz. Zvezni geološki zavod, Beograd.

Internetni viri:

Internet 1: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/maribor/climate-normals_71-00_maribor.pdf (dostop 27. 3. 2025)

Internet 2: https://www.livarna-maribor.com/wp-content/uploads/2024/08/Izjava_za_javnost_NS_in_uprava_2024-08-29.pdf (dostop 27. 3. 2025)