

UNIVERZA NA PRIMORSKEM  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN  
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

ZAKLJUČNA NALOGA

ZOBNA FLUROZA SRNJADI KOT BIOINDIKATOR  
ONESNAŽENOSTI OKOLJA S FLUORIDI V OKOLICI  
TREH VELIKIH TOČKOVNIH VIROV EMISIJ  
V SLOVENIJI

NINA KOMPARE

UNIVERZA NA PRIMORSKEM  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN  
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

**Zobna fluoroza srnjadi kot bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi v  
okolici treh velikih točkovnih virov emisij v Sloveniji**

(Dental fluorosis of roe deer as bioindicator of environmental pollution with fluorides near  
three large point-emission sources in Slovenia)

Ime in priimek: Nina Kompare  
Študijski program: Biodiverziteta  
Mentor: prof. dr. Boštjan Pokorny  
Somentor: dr. Ida Jelenko Turinek

Koper, avgust 2021

## Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Nina KOMPARE

Naslov zaključne naloge: Zobna fluoroza srnjadi kot bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi v okolici treh velikih točkovnih virov emisij v Sloveniji

Kraj: Koper

Leto: 2021

Število strani: 37

Število slik: 22

Število tabel: 6

Število referenc: 25

Mentor: prof. dr. Boštjan Pokorny

Somentor: dr. Ida Jelenko Turinek

Ključne besede: srnjad, fluoridi, antropogene emisije, zobna fluoroza

Izveček: Onesnaženost okolja s fluoridi lahko določamo s pomočjo bioindikatorjev. Kot bioindikator za določanje vsebnosti fluoridov v okolju je zaradi svojih ekoloških značilnosti zelo primerna vrsta evropska srna/srnjad (*Capreolus capreolus* L.). Posledice kopičenja fluoridov v osebkih se izražajo kot makroskopsko vidne spremembe zobovja, tj. zobna fluoroza. V Sloveniji je več točkovnih virov emisij fluoridov; za raziskavo so bila izbrana tri območja, kjer se taki viri nahajajo (ali so se v preteklosti): osrednja Slovenija (točkovni vir emisij: Termoelektrarna toplarna Ljubljana), Zasavje (Termoelektrarna Trbovlje) in Dravsko-Ptujsko polje (tovarna aluminija Talum). Namen raziskave je bil: (i) s pomočjo zobne fluoroze srnjadi ugotoviti onesnaženost okolja s fluoridi v omenjenih treh območjih in ugotoviti spremembe v onesnaženosti okolja med leti 2007 in 2013; (ii) ugotoviti odvisnost stopnje zobne fluoroze od spola osebka; (iii) izdelati prostorsko razporeditev pojavljanja zobne fluoroze pri srnjadi. Določitev izpostavljenosti osebkov je temeljila na oceni makroskopskih sprememb zobovja srnjadi; prostorska razporeditev in zemljevidi so bili izdelani v programu Quantum GIS. Najbolj onesnaženo območje s fluoridi je Dravsko-Ptujsko polje, kjer pa se je zobna fluoroza pri srnjadi po sanacijskih ukrepih v tovarni aluminija zmanjšala. Med spoloma v stopnji zobne fluoroze ni bilo bistvenih razlik. Stopnja zobne fluoroze je bila večja bližje virom emisij, nanjo pa vpliva tudi struktura krajine in smer vetra, ki fluoride raznaša od vira emisij. Onesnaženost s fluoridi se je z leti zmanjšala v območjih, kjer so bili v najpomembnejših virih emisij izvedeni sanacijski ukrepi.

### Key document information

Name and SURNAME: Nina KOMPARE

Title of the final project paper: Dental fluorosis of roe deer as bioindicator of environmental pollution with fluorides near three large point-emission sources in Slovenia

Place: Koper

Year: 2021

Number of pages: 37

Number of figures: 22

Number of tables: 6

Number of references: 25

Mentor: prof. dr. Boštjan Pokorny

Co-Mentor: dr. Ida Jelenko Turinek

Keywords: roe deer, fluorides, anthropogenic emissions, dental fluorosis

Abstract: The pollution of environment with fluoride can be determined with the help of bioindicators. Because of its ecological characteristics, one of the most suitable bioindicator for determination of fluoride pollution is roe deer (*Capreolus capreolus* L.). The exposure to fluorides is expressed as macroscopically visible changes on teeth surface, called a dental fluorosis. In Slovenia, there are several point sources of emissions (or were located in the past), and for the study we selected three areas around them: central Slovenia (emission source: Thermal Power Plant Ljubljana), Zasavje (Thermal Power Plant Trbovlje), and Dravsko-Ptujsko polje (aluminium smelter Talum). The intention of the study was to determine: (i) pollution with fluorides in studied areas and changes in the period 2007–2013, by assessment of dental fluorosis in roe deer mandibles; (ii) whether the level of dental fluorosis is connected with the sex of an individual; (iii) spatial distribution of dental fluorosis in all studied areas. For so doing, we assessed fluorotic-based macroscopic lesions in roe deer teeth, and prepared spatial distribution maps by program Quantum GIS. The most polluted area with fluorides was Dravsko-Ptujsko polje, where however dental fluorosis of roe deer has decreased after the sanitation measures in the aluminium smelter. We found no effect of sex on the dental fluorosis status. The rate of dental fluorosis decreased with the distance from the emission source and was affected by the structure of the landscape as well as the wind direction. We also found that the fluoride pollution in studied areas decreased over the years due to the remediation measures carried out at the emission sources.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se tedanjemu Inštitutu za ekološke raziskave ERICo Velenje, ker so mi dovolili dostop do vzorcev in tako omogočili delo zaključne naloge na ekotoksikološkem področju. Prav tako se zahvaljujem mentorju prof. dr. Boštjanu Pokornju za svetovanje in somentorici dr. Idi Jelenko Turinek za pomoč in svetovanje pri določanju zobne fluoroze ter izdelavi zaključne naloge.

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Fluoridi .....	1
1.2	Srnjad kot bioindikatorska vrsta .....	2
1.3	Osnovne značilnosti srnjadi.....	2
1.4	Zobna fluoroza.....	3
1.5	Namen raziskave.....	3
2	METODE DELA .....	5
2.1	Območje raziskave .....	5
2.1.1	Osrednji del Slovenije .....	5
2.1.2	Zasavje.....	6
2.1.3	Dravsko-Ptujsko polje .....	6
2.2	Točkovni viri onesnaženosti.....	7
2.2.1	Termoelektrarna toplarna Ljubljana (TE-TOL) .....	7
2.2.2	Termoelektrarna Trbovlje (TET).....	8
2.2.3	Tovarna aluminija Talum .....	10
2.2	Vzorčenje.....	11
2.3	Sestava zobovja in določanje starosti srnjadi s pomočjo zobovja.....	12
2.4	Določanje zobne fluoroze.....	15
3	REZULTATI Z RAZPRAVO .....	17
3.1	Zobna fluoroza in spol osebkov.....	17
3.2	Zobna fluoroza in starost osebkov.....	17
3.3	Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz treh območij Slovenije med leti 2007 in 2013 ...	18
3.4	Podrobnejša prostorska slika zobne fluoroze srnjadi z Dravsko-Ptujskega polja .....	24
4	ZAKLJUČEK .....	26
5	LITERATURA .....	27

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Količina izpustov fluoridov iz tovarne aluminija Talum med leti 2005 in 2012. ....	10
Preglednica 3: Kategorije poškodovanosti zobovja zaradi fluoridov pri prežvekovalcih. ..	16
Preglednica 4: Indeks zobne poškodovanosti glede na spol osebk. ....	17
Preglednica 5: Povprečen indeks zobne poškodovanosti glede na starost osebk. ....	18
Preglednica 6: Povprečen DLI indeks srnjadi, živeče na treh območjih Slovenije, odvzete v letih 2007, 2008, 2012 in 2013. ....	19

## KAZALO SLIK IN GRAFIKONOV

Slika 1: Lokacija Termoelektrarne toplarne Ljubljana.....	7
Slika 2: Termoelektrarna toplarna Ljubljana.....	8
Slika 3: Lokacija Termoelektrarne Trbovlje. ....	9
Slika 4: Termoelektrarna Trbovlje. ....	9
Slika 5: Lokacija tovarne aluminija Talum. ....	11
Slika 6: Shema stalnega zobovja spodnje čeljustnice srnjadi.....	12
Slika 7: Izpodrivanje mlečnih predmeljakov s stalnimi. Starost osebka okoli 12 mesecev.13	
Slika 8: Primer zobovja mlade (dva do štiriletne) srnjadi. ....	14
Slika 9: Primer zobovja srednje stare (pet do sedemletne) srnjadi.....	14
Slika 10: Primer zobovja stare (osem in večletne) srnjadi. ....	15
Slika 11: Primer zobne fluoroze na levi spodnji čeljustnici srnjadi. Ocena zobne fluoroze: $P_2 = 3, P_3 = 3, P_4 = 3, M_1 = 0, M_2 = 4, M_3 = 5$ (skupaj DLI = 18). ....	16
Slika 12: Spreminjanje povprečnega DLI indeksa srnjadi, odvzete leta 2007, 2008, 2012 in 2013 v treh območjih Slovenije.....	19
Slika 13: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v osrednji Sloveniji, leto 2007.....	20
Slika 14: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v osrednji Sloveniji, leto 2008.....	20
Slika 15: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v Zasavju, leto 2007.....	21
Slika 16: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v Zasavju, leto 2008.....	21
Slika 17: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v Zasavju, leto 2012.....	22
Slika 18: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih na Dravsko-Ptujskem polju, leto 2007. ....	23
Slika 19: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih na Dravsko-Ptujskem polju, leto 2008. ....	23
Slika 20: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih na Dravsko-Ptujskem polju, leto 2013. ....	24
Slika 21: DLI indeks srnjadi v 1x1 km kvadrantih na Dravko-Ptujskem polju, leto 2007. 25	
Slika 22: DLI indeks srnjadi v 1x1 km kvadrantih na Dravko-Ptujskem polju, leto 2008. 25	



## **SEZNAM KRATIC**

DLI – indeks zobne poškodovanosti (angleško: *dental lesion index of fluorosis*)

LUO – lovskoupravljavsko območje

TE-TOL – Termoelektrarna toplarna Ljubljana

TET – Termoelektrarna Trbovlje

## 1 UVOD

V zaključni nalogi se osredotočamo na problematiko onesnaženosti okolja s fluoridi. Tovrstna onesnaženost vpliva na ljudi in živali in se lahko odraža kot kronična sprememba zobovja, imenovana zobna fluoroza (Jelenko 2011; Pokorny in Jelenko Turinek 2018). Za raziskavo smo izbrali območje Dravsko-Ptujskega polja, ki je najbolj onesnaženo območje s fluoridi v Sloveniji (Jelenko in sod. 2010b; Jelenko 2011), in primerjalno še dve območji: Zasavje in okolica Ljubljane. Zobno fluorozo določamo glede na makroskopsko vidne spremembe zobovja, npr. pri evropski srni/srnjadi (*Capreolus capreolus* L.), ki je zelo ustrežna vrsta za biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi (zbrano v Jelenko 2011). Pričakovali smo, da je bilo območje Dravsko-Ptujskega polja najbolj onesnaženo s fluoridi oz. jim je bila srnjad najbolj izpostavljena, vendar pa se je onesnaženost z leti zmanjševala zaradi sanacije tamkajšnjega največjega slovenskega točkovnega vira emisij fluoridov (tovarna aluminija Talum) v preteklem desetletju.

### 1.1 Fluoridi

Fluor je element, ki se v naravi zaradi svoje visoke reaktivnosti ne pojavlja v elementarnem stanju. Predstavlja približno 0,3 g/kg zemeljske skorje in obstaja v obliki fluoridov v številnih mineralih. Najpogostejši so fluorit, kriolit in fluorapatit. Fluoridi se najpogosteje pojavljajo v obliki vodikovega fluorida (HF), ki je brezbarvna jedka tekočina ali plin z vreliščem 19,5 °C. Je dobro topen v vodi, v kateri tvori vodikovo kislino. Fluoridi se v okolju pojavljajo tudi v trdni obliki, kot brezbarven do bel, v vodi zmerno topen natrijev fluorid (NaF) (Weinstein in Davison 2004). V okolju se fluoridi pojavijo kot posledica naravnih geoloških procesov, kot so vulkanska aktivnost in preperevanje kamnin oz. so del morskih aerosolov. Vsebnosti fluoridov v okolju pa povečujejo tudi industrijska proizvodnja aluminija, železa, jekla, niklja in bakra, proizvodnja stekla, keramike ter produktov opekarske gline, proizvodnja umetnih gnojil, pridelava fosfatne rude, proizvodnja fosforjevih kislin in fosforja, proizvodnja lepil in tudi delovanje termoelektrarn, cementarn in naftnih rafinerij (zbrano v Jelenko 2011). Onesnaženost zraka s fluoridi se je verjetno začela s predelavo rudnin, ki vsebujejo fluoride, vendar pa takrat ni bilo opisanega nobenega primera poškodb na rastlinah ali pri živalih. Prva, ki sta odkrila poškodbe rastlin zaradi fluoridov, sta bila Stöckhardt in Schröder leta 1848. Poškodbe rastlin zaradi talilnic aluminija so odkrili mnogo kasneje, med letoma 1915 in 1925, saj se je takrat povečala tudi proizvodnja aluminija (Weinstein in Davison 2004). Fluoridi v rastline pridejo preko zraka, tal in vode. Tisti fluoridi, ki v rastline pridejo preko zraka, so lahko v plinasti obliki ali pa se kot prašni delci usedejo na rastline (Weinstein 1977). Plinasti fluoridi v rastline pridejo skozi listne reže, najvišje vsebnosti fluoridov pa se praviloma pojavljajo v listih in drugih zelenih delih rastlin (zbrano v Jelenko in sod. 2010a). Iz tal največkrat pridejo v rastline fluoridi iz

apatita, kriolita, fluorita in topaza (Pickering 1985). Fluoridi se lahko v telo prenesejo ne samo preko zaužitih onesnaženih rastlin ampak tudi preko naključnega zaužitja tal in zaužitja vode, vnos z dihanjem pa je zanemarljiv (zbrano v Jelenko in sod. 2010a).

## 1.2 Srnjad kot bioindikatorska vrsta

Bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi lahko ločimo v dve veji: ena je akumulacijska bioindikacija, s katero določamo vsebnosti onesnažil v kostnih tkivih, npr. čeljustnicah, druga pa je odzivna bioindikacija, kjer odkrivamo izpostavljenost fluoridom z določanjem stopnje zobne fluoroze (Kierdorf 1999). Slednja vrsta bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi se je v Sloveniji pričela izvajati leta 2008 (zbrano v Jelenko in sod. 2010a).

Bioindikatorji so organizmi ali skupnosti organizmov, ki se odzivajo na okoljske vplive s spreminjanjem njihovih življenjskih funkcij ali njihovo kemično sestavo. Zaradi takih sprememb je mogoče sklepati o njihovem življenjskem okolju (Arndt in sod. 1996).

Evropska srna je zaradi svojega teritorialnega načina življenja z arealom aktivnosti, ki je bistveno manjši od 100 ha, specifičnega načina prehranjevanja in ekoloških ter sociobioloških značilnosti morda najprimernejša vrsta sesalcev za bioindikacijo onesnaženosti okolja. Srnjad je hkrati tudi najpomembnejša lovskoupravljavska vrsta v Sloveniji in veliki večini drugih evropskih držav (zbrano v Jelenko in sod. 2010a). Tako lahko na etično sprejemljiv način pridobimo veliko število vzorcev v sklopu rednega odvzema živali. Hkrati tudi dobro poznamo njene ekološke in fiziološke značilnosti, vrsta pa ni ogrožena in ima relativno dolgo življenjsko dobo (Pokorny 2003). V Sloveniji je vsako leto iz lovišč odvzetih (tj. odstreljenih, povoženih ali kako drugače poginulih) med 35.000 in 45.000 osebkov (Oslis. <http://oslis.gozdis.si/>; 9. 8. 2021). Vsako leto se na t. i. bazenskih pregledih zberejo vse leve polovice spodnjih čeljustnic odvzetih prostoživečih parkljarjev. Vsaka čeljustnica je označena z zaporedno številko odvzema na nivoju lovišč, kar omogoča povezavo z atributnimi podatki, kot so spol, telesna masa, starost, datum in natančna lokacija odvzema (zbrano v Jelenko in sod. 2010a).

## 1.3 Osnovne značilnosti srnjadi

Evropska srna spada v kraljestvo živali (Animalia), deblo strunarji (Chordata), razred sesalci (Mammalia), red sodoprsti kopitarji (Artiodactyla), družino jeleni (Cervidae), poddružino srnjad (Odocoileinae) in rod *Capreolus*. Telo je majhno, v plečih meri le 66 do 86 cm, rep je neznatn, rogovje pa praviloma trirogo z grbičavo površino (Marcon in Mongini 1986). Zadržuje se v z zelišči in raznovrstnim grmovjem poraslim mešanih gozdovih, ki so prepredeni z jasami, travniki in njivami. Preferenco ima do gozdnega roba in je teritorialna vrsta. Zaradi specifičnih prehranjevalnih navad ji pravimo izbiralec, ker prebira med mladimi poganjki, cvetovi, popjem, listi, plodovi in zelišči, pogosto pa se prehranjuje tudi s

kmetijskimi rastlinami (Leskovic in Pičulin 2012). Srnjad po navadi živi solitarno ali v majhnih skupinah. Samci označujejo svoj teritorij. Parjenje (prsk) poteka v juliju oz. avgustu. Samica skoti navadno enega do tri mladiče, ki jih nosi devet mesecev, od tega ostane pet mesecev oplojeno jajčece neaktivno v obliki blastociste, kar imenujemo odložena implantacija oz. embrionalna diapavza (Marcon in Mongini 1986).

## 1.4 Zobna fluoroza

Zobna fluoroza je kronična sprememba (bolezen) zobovja, pri kateri zaradi izpostavljenosti fluoridom prihaja do sprememb ali poškodb ter motenj v procesu formacije in mineralizacije stalnega zobovja (Kierdorf 2003). »V zobno tkivo se preko ionske izmenjave veže le del zaužitih fluoridov, polovica (ca. 50 %) pa se jih absorbira v kri skozi želodec in tanko črevo. Nato se elektronegativni fluoridni ioni povezujejo s kalcitnimi ioni, zaradi česar se od 97 do 99% absorbiranih fluoridov na koncu kopiči v zobovju in kostnih tkivih. Zobje posledično postanejo raskavi, porozni in krhki, zaradi česar prihaja do nenormalne obrabe zobovja. Sklenina zobovja, prizadetega zaradi zobne fluoroze, ima močno zmanjšano mehansko stabilnost, kar posledično pripelje do različnih sprememb na površju zobovja. Takšne spremembe so dobro vidne na makroskopskem nivoju in se kažejo kot motnost, pegavost in razbarvanost sklenine. Na površini sklenine so lahko vidne drobne luknjice (t. i. hipoplazija), pri hujši obliki zobne fluoroze pa prihaja celo do popolne izgube sklenine. Take spremembe vodijo v hitrejšo obrabo zobovja, močnega preoblikovanja (popačenja) in celo zlomov in izpadov posameznih zob, kar lahko povzroči skrajšanje življenjske dobe fluoridom močno izpostavljenih populacij. Na absorpcijo fluoridov v telesu in akumulacijo v tkivih vpliva starost osebkov, pH prebavnega trakta, snov, v katero je vezan elementarni fluor, in koncentracija kalcija, aluminija, magnezija, cinka, bakra in molibdena, ki v vodi ali zaužitih snoveh zmanjšujejo absorpcijo fluoridov v kri (razen molibdena). S temi elementi se fluoridni ioni izredno hitro vežejo, z njimi tvorijo netopne snovi, ki se iz telesa izločijo z uriniranjem. Pri srnjadi je vnos fluoridov v organizem odvisen tudi od načina prehranjevanja in mobilnosti osebkov (različno razporejena obremenjenost s fluoridi v posameznih delih njihovega areala aktivnosti)« (citirano po Jelenko in sod. 2010a).

## 1.5 Namen raziskave

Namen raziskave je bil preko določanja zobne fluoroze srnjadi oceniti onesnaženje okolja s fluoridi na treh območjih, ki so izpostavljeni večjim točkovnim virom emisij v Sloveniji. Preizkušali smo naslednje hipoteze:

- Najbolj onesnaženo območje s fluoridi je okolica tovarne aluminija Talum (Dravsko-Ptujsko polje) zaradi visokih izpustov fluoridov v okolje iz tega točkovnega vira v preteklosti.

- V okolici tovarne aluminija Talum oz. na Dravsko-Ptujskem polju je bila stopnja zobne fluoroze v letu 2013 manjša kot v letih 2007 in 2008, in sicer zaradi sanacijskih ukrepov v tovarni aluminija Talum, izvedenih do leta 2007.
- Med spoloma ni večjih razlik v stopnji zobne fluoroze.
- Bližje vira onesnaženja je višja stopnja zobne fluoroze, saj je tam onesnaženje okolja s fluoridi večje.

## 2 METODE DELA

### 2.1 Območje raziskave

Raziskovalno območje zajema tri večja območja, kjer se po podatkih ARSO nahajajo lokalni (točkovni) viri emisij fluoridov (ARSO. [www.arso.gov.si/](http://www.arso.gov.si/); 12. 1. 2016). V raziskavo smo vključili izbrana lovskoupravljavska območja (LUO) z izbranimi lovišči znotraj vplivnih območij teh točkovnih virov emisij (Zavod za gozdove Slovenije. <http://www.zgs.si/>; 12. 1. 2016):

- Osrednji del Slovenije: Notranjsko LUO, z lovišči Brezovica, Rakovnik in Tomišelj ter Gorenjsko LUO, z lovišči Pšata, Dobrova in Toško Čelo.
- Zasavje: Zasavsko LUO, z lovišči Pugled, Dol pri Hrastniku, Trbovlje, Zagorje, Hrastnik in Dobovec.
- Dravsko-Ptujsko polje: Ptujsko-Ormoško LUO, z lovišči Ptuj, Jože Lacko-Ptuj, Cirkovce, Markovci, Boris Kidrič, Dravinja-Majšperk in Destrnik, Slovenskogoriško LUO, z loviščem Rače.

#### 2.1.1 Osrednji del Slovenije

Osrednji del Slovenije se južno in severno precej razlikuje. Severni del prekrivajo predvsem konglomeratne terase, ki so nastale zaradi ledeniških vod, te so nasule prod tudi do 100 metrov na debelo, ki pa se je z leti začel sprijemati v konglomerat. Na tem delu se pojavljajo tudi triasni apnenci in dolomiti. Pogosto se pojavljajo mlajše prodnate terase, kjer so nastale od 20 do 30 centimetrov globoke rendzine, te so dokaj rodovitne, zato tu prevladujejo obdelovalne površine. Na območju najdemo tudi gozdove rdečega bora, bukve in belega gabra. Skozi severno območje osrednjega dela Slovenije tečeta dve večji reki, Sava in Ljubljanica. Zaradi debelih prodnatih plasti v podlagi je na tem območju veliko talne vode. Na območju najdemo glavno mesto Slovenije, Ljubljano, ki ga obkrožajo zelo prometne ceste (Orožen Adamič in Perko 1998).

Na južnem delu osrednje Slovenije se razprostira Ljubljansko barje. Ljubljansko barje je široka tektonska udorina, ki se še vedno počasi ugreza. Neenakomerno ugrezanje kamninskih blokov in nanašanje gradiva sta oblikovali današnje površje, ki je večinoma ravno. Večino gradiva na Ljubljanskem barju sta naplavili reka Ljubljanica in reka Gradaščica. Pod šoto, močno organogeno peščeno ilovico in kreda leži več plasti ilovnatega proda, ki ločuje plasti ilovic. Slabo prepustne glinaste in ilovnate usedline ter malo nagnjeno površje močno ovirajo odtekanje padavinske vode, zato so pore v prsti precejšnji del leta zapolnjene z vodo, kar povzroča oglejene prsti. Vode na Ljubljansko barje pritečejo kot kraški izviri na robu pokrajine, npr. reke Ljubljanica, Ižica in Bistra, ali pa kot površinski tokovi, npr. reki Iška in Gradaščica. Na območju najdemo tudi travnike, vendar so zaradi

velike vlažnosti slabše kakovosti. Zaradi šotne prsti in velike vlage tu rastejo predvsem vlagoljubne rastlinske vrste, kot je preslica. Tu najdemo predvsem združbe šotnih mahov in jesenske vrese. Gozdnatih površin je na tem območju malo, samo desetino celotnega območja, kjer pa se pojavljata združbi bora in breze. Najdemo tudi nasade topola in črne jelše. Območje je prepredeno s stanovanjskimi naselji (Orožen Adamič in Perko 1998).

### **2.1.2 Zasavje**

Zasavje je precej razgibano območje. Na severu ga omejujejo Kamniško-Savinjske Alpe, od tu se do dinarskega krasa na jugu razprostirajo Posavske gube. Te so sestavljene iz izbočenih kamninskih plasti (antiklinal) ter iz kotanjasto usločenih kamninskih plasti (sinklinal). Najstarejše kamnine segajo v obdobje perma in karbona. To so predvsem skrilavi glinovci, kremenovi peščenjaki in konglomerati, ki skupaj prekrivajo tretjino ozemlja. Kamnine so neprepustne, prevladuje denudacijsko-erozijski relief z obilico tesnih grap in globokih dolin. Na tem območju najdemo tudi mezozojske karbonatne kamnine. Dolomita je več kot apnenca, zato je tu delež fluviokraškega površja večji od kraškega. To pomeni, da so tu površje oblikovale tekoče vode z erozijo in denudacijo. Ravnega sveta je zelo malo, povečini najdemo hribovja v višinskem pasu med 300 in 600 metri. Kjer je površje bolj uravnano, se pojavlja globlja rjava pokarbonatna prst. Tu se največ pojavlja gozd bukve, navadnega tevja in gabrovca. Skozi območje teče reka Sava. Območje je precej poseljeno, tu najdemo največja mesta, ki so hkrati rudarska mesta, Trbovlje, Hrastnik in Zagorje ob Savi (Orožen Adamič in Perko 1998).

### **2.1.3 Dravsko-Ptujsko polje**

Dravsko-Ptujsko polje se zaradi različne debeline prodnih in peščenih usedlin, kakovosti prsti in vodnih razmer spreminja že na kratke razdalje. V osrednjem delu najdemo obsežen prodnati del, ob vznožju Pohorja vzpeto ilovnato-glineno pokrajino, na jugu mokrotne črete in holocenski svet ob Dravi. Območje je v zgornjem delu udorina ob tektonskem robu, v spodnjem delu pa široka rečna dolina. Udorino je v pleistocenu zapolnila Drava s silikatnim prodom, ki prekriva tri četrtine površja. Preostalo četrtino prekrivajo ilovnato-glineni nanosi. Vidne so štiri terase, ki se vlečejo skozi ves severni del polja, na njihove robove pa so se naslonila naselja in ceste. V zahodni del Dravskega polja so potoki s Pohorja nanegli debele sloje gline, peska in ilovice. Osrednji del Ptujskega polja prekriva prodna nasipina, ki jo loči terasa, na katero je naslonjena vrsta naselij. Prod prekriva plast humusa, zaradi katerega prevladujejo pretežno njive. Skozi območje teče reka Drava. Na Ptujskem polju pa najdemo tudi Ptujsko jezero. Ob strugi Drave se vleče pas nerazvite prsti, v glavnem razgaljen prod, kjer poljedelstvo ni mogoče. Na prodnatem delu ravnine najdemo tudi višje pasove, kjer površje pokriva oligotrofna prst, ki je globoka od 10 do 15 centimetrov in je manj primerna

za kmetijsko rabo, zato tam prevladuje gozd. Najpogostejši je rdeči bor nizke rasti, najdemo pa tudi smreko, dob, graden, brezo, trepetliko in bukev. Gozdnatih površin je na tem območju petina, tu najdemo tudi pašnike in travnike. Dravsko-Ptujsko polje je eno najbolj poseljenih območij v Sloveniji, največje mesto je Ptuj (Orožen Adamič in Perko 1998).

## 2.2 Točkovni viri onesnaženosti

### 2.2.1 Termoelektrarna toplarna Ljubljana (TE-TOL)

Lokalni vir emisij v osrednjem delu Slovenije je Termoelektrarna toplarna Ljubljana (slika 2). Nahaja se v Ljubljanski kotlini (slika 1). Izpusti se največ kažejo v obliki dušikovih oksidov ( $\text{NO}_x$ ) in žveplovega dioksida ( $\text{SO}_2$ ), manj pa kot ogljikov monoksid ( $\text{CO}$ ) in prah. Izpusti naj ne bi presegali predpisanih vrednosti (ARSO 2008), zato so tudi v skladu z Zakonom o varstvu okolja leta 2009 pridobili okoljevarstveno dovoljenje. Sredi devetdesetih let so začeli s postopno zamenjavo domačega premoga z uvoženim indonezijskim premogom z nizko vsebnostjo žvepla, zaradi česar razžvepljevalne naprave niso potrebne. Poleg tega je vsebnost pepela kar desetkrat manjša, kurilna vsebnost pa je višja. Od leta 2002 uporabljajo samo premog z nizko vsebnostjo žvepla. V letih od 2000 do 2004 so prigradili tudi odpraševalne naprave (vrečaste filtre in elektrofiltre), zato so se zmanjšale emisijske koncentracije dušikovih oksidov in prašnih delcev (Energetika Ljubljana. <http://www.te-tol.si/>; 17. 7. 2014).



Slika 1: Lokacija Termoelektrarne toplarne Ljubljana (vir: <https://www.google.si/maps>, 20. 3. 2021).





Slika 2: Termoelektrarna toplarna Ljubljana (vir: <https://www.google.si/maps>, 20. 3. 2021).

## 2.2.2 Termoelektrarna Trbovlje (TET)

V Zasavju je bil v preteklosti lokalni vir emisij Termoelektrarna Trbovlje (slika 4), ki se nahaja na južnem delu Trbovelj ob reki Savi (slika 3). Termoelektrarna Trbovlje ima enega izmed najvišjih dimnikov v Evropi, visok je 360 metrov. Zgrajen je bil leta 1976 z namenom izboljšanja okoljskih razmer v Zasavju. V letih 2005 in 2006 je potekala izgradnja in zagon delovanja nove čistilne naprave za razžveplanje dimnih plinov (Energetska družba Trbovlje; <https://hse-edt.si>; 25. 5. 2019). Leta 2007 je bila vložena vloga za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja, sprejeta je bila šele leta 2010, saj je bil sanacijski program zelo obsežen. Postavili so razžvepljevalne naprave in sanirali emisije žveplovega dioksida v zrak in emisije snovi v tehnološki vodi na centralnem izpustu ter tehnoloških hladilnih vod s trajnimi meritvami pretoka. Emisije žveplovega dioksida so se zmanjšale z 20.000 ton na 2.000 ton letno (ARSO 2006). Prav tako so se zmanjšale emisijske koncentracije prahu in posledično težkih kovin (Termoelektrarna Trbovlje. <http://www.tet.si>; 17. 7. 2014).

Leta 2014 se je dokončno zaustavil premogovniški blok 125 MW, s tem pa se je začel postopek likvidacije Termoelektrarne Trbovlje. Postopek je bil zaključen leta 2017, leta 2018 pa je termoelektrarno prevzela družba HSE-edT d.o.o. (HSE-edT d.o.o. <https://hse-edt.si>; 31. 7. 2021).



Slika 3: Lokacija Termoelektrarne Trbovlje (vir: <https://www.google.si/maps>; 20. 3. 2021).



Slika 4: Termoelektrarna Trbovlje (vir: <https://www.google.si/maps>; 20. 3. 2021).

### 2.2.3 Tovarna aluminija Talum

Nahaja se v Kidričevem, zahodno od Ptuja (slika 5). Je, predvsem v preteklosti, največji vir emisij s fluoridi v Sloveniji.

Njeni začetki segajo že v leto 1954, ko so novembra odprli tovarno aluminija. Do prve sanacije je prišlo šele leta 1991, ukinjena je bila elektrolizna hala A in proizvodnja metalurške glinice. Leta 2001 so pridobili certifikat Standard ISO 14001, ki je vključen v integrirani sistem vodenja: okolje, kakovost, varnost in zdravje pri delu. Leta 2008 so pridobili okoljevarstveno dovoljenje, ki ga je izdala Agencija Republike Slovenije za okolje, zaradi česar so konec leta 2007 morali zapreti proizvodnjo aluminija v elektrolizni hali B (Talum. <http://www.talum.si/>; 25. 5. 2019).

Po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje je bilo leta 2005 iz Taluma v ozračje sproščenih 402.025 kg fluoridov (preglednica 1). Emisije so se v letu 2007 zaradi zaprtja proizvodnje aluminija v elektrolizi B zmanjšale skoraj za polovico (261.856 kg), v naslednjih letih pa se je to še bolj poznalo (ARSO. <http://www.arso.gov.si/>; 23. 5. 2021).

Preglednica 1: Količina izpustov fluoridov iz tovarne aluminija Talum med leti 2005 in 2012 (ARSO; <http://www.arso.gov.si/>; 23. 5. 2021).

Leto	Količina izpustov fluoridov [kg/leto]
<b>2005</b>	402.025
<b>2007</b>	261.856
<b>2008</b>	5.440
<b>2009</b>	2.653
<b>2010</b>	3.012
<b>2011</b>	4.183
<b>2012</b>	1.641



Slika 5: Lokacija tovarne aluminija Talum (vir: <https://www.google.si/maps>; 20. 3. 2021).

## 2.2 Vzorčenje

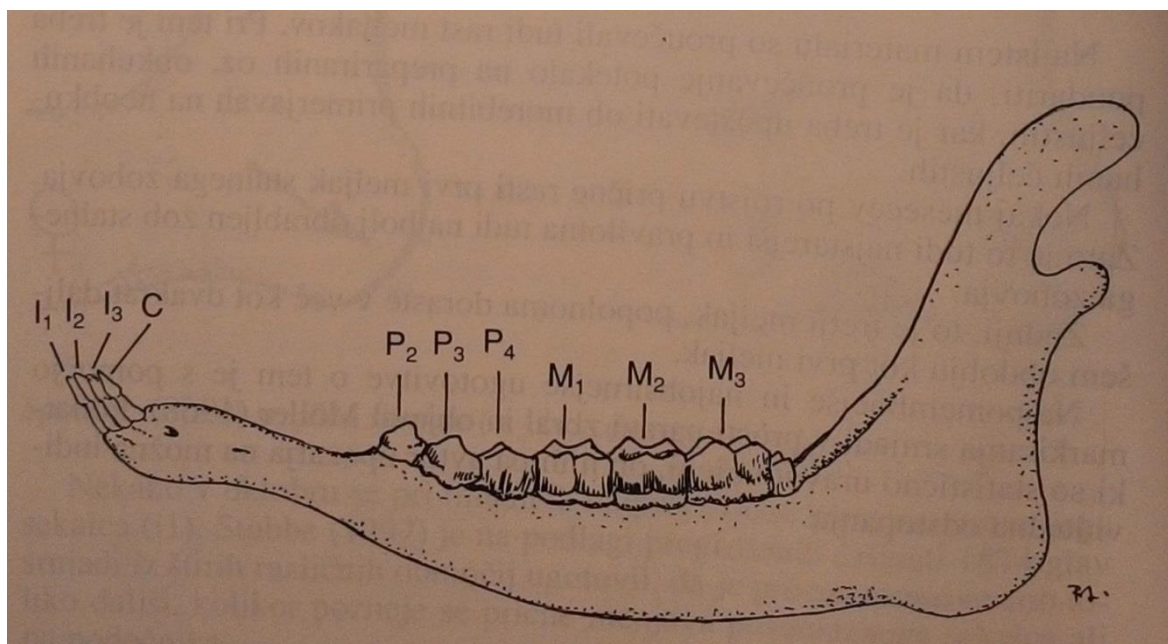
Vzorci (leve spodnje čeljustnice srnjadi) so bili pridobljeni na etično sprejemljiv način v sklopu rednega odvzema srnjadi. Ti vzorci so bili predani Inštitutu za ekološke raziskave ERICO. V raziskavo smo vključili čeljustnice s stalnim zobovjem in identifikacijsko številko, ki je omogočila povezavo do atributnih podatkov o vsaki odvzeti živali; slednji so dostopni v slovenskih lovsko-informacijskih sistemih.

Preglednica 2: Število analiziranih vzorcev.

OBMOČJE	LETO	ŠT. VZORCEV	SKUPNO ŠT. VZORCEV NA OBMOČJE
Osrednji del Slovenije	2007	207	541
	2008	334	
Zasavje	2007	138	417
	2008	150	
	2012	129	
Dravsko-Ptujsko polje	2007	258	909
	2008	227	
	2013	424	

### 2.3 Sestava zobovja in določanje starosti srnjadi s pomočjo zobovja

Pri srnjadi lahko po razvitosti zobovja ugotovimo ali je žival mladič, enoletni osebek oz. osebek v drugem življenjskem letu (laščak, mladica), srednje stara ali stara srnjad, in sicer glede na razvojno stopnjo in obrabljenost zobovja (Leskovic in Pičulin 2012; Pokorny in Jelenko Turinek 2018). Mladiči srnjadi imajo ob rojstvu mlečne sekalce (i), podočnike (c) in predmeljake (p). Meljaki (M) zrastejo v obdobju med 5. in 14. mesecem, ti nimajo mlečnih predhodnikov. Mlečno zobovje je sestavljeno iz mehkejše zobovine kot stalno zobovje, zato se tudi hitreje obrablja. Med rastjo zadnjega (tretjega) meljaka poteka tudi menjava mlečnih predmeljakov, ki jih nadomestijo stalni (slika 7). Sekalci in podočniki pa se zamenjajo že bistveno prej. Odraslo žival prepoznamo po vseh stalnih zobeh. Ti srnjadi zrastejo od 12. do 15. meseca starosti. Popolno zobovje šteje 32 zob. V raziskavi smo uporabili samo čeljustnice s polno razvitim stalnim zobovjem, tj. srnjad, staro dve ali več let (slika 6).



Slika 6: Shema stalnega zobovja spodnje čeljustnice srnjadi (vir: Krže 2000).



Slika 7: Izpodrivanje mlečnih predmeljakov s stalnimi. Starost osebka okoli 12 mesecev (foto: N. Kompare).

Del raziskave je bila primerjava stopnje zobne fluoroze glede na starost osebkov, za kar je bilo potrebno oceniti tudi okvirno starost odrasle (2+) srnjadi, in sicer na podlagi obrabljenosti zobovja. Osebkke odrasle srnjadi smo razporedili v tri starostne skupine:

- od 2 do 4 let – mlada srnjad (slika 8);
- od 5 do 7 let – srednje stara srnjad (slika 9);
- 8 in več let – stara srnjad (slika 10).



Slika 8: Primer zobovja mlade (dva do štiriletne) srnjadi (foto: N. Kompare).



Slika 9: Primer zobovja srednje stare (pet do sedemletne) srnjadi (foto: N. Kompare).



Slika 10: Primer zobovja stare (osem in večletne) srnjadi (foto: N. Kompare).

## 2.4 Določanje zobne fluoroze

Fluoridni ioni v telesu negativno vplivajo na formacijo zobnega tkiva, zlasti sklenine, in sicer tako v začetnem kot tudi končnem stadiju oblikovanja zobovja (Kierdorf in sod. 2004).

V Nemčiji so razvili točkovni sistem za oceno stopnje zobne fluoroze pri predstavnikih družine jelenov (*Cervidae*) in pri glodavcih, ki temelji na pogostosti in resnosti mikroskopsko vidnih znakov fluoroze. Ta ocenjevalni sistem je nastal z modifikacijo že obstoječega točkovnega sistema za oceno zobne fluoroze pri govedu (Kierdorf in sod. 1999). Ocena temelji na makroskopsko vidnih patoloških spremembah zobne sklenine stalnih kočnikov (predmeljakov in meljakov). Stopnja zobne fluoroze se zato določa le na čeljustnicah odraslih živali, ker imajo le-te dokončno razvito zobovje, saj je žival izpostavljena fluoridom v času rasti zob (zbrano v Jelenko 2011).

Pri določanju zobne fluoroze srnjadi se uporablja šest stalnih kočnikov, tj. tri predmeljake ( $P_2$ – $P_4$ ;  $P_1$  je pri srnjadi evolucijsko skoraj že izginil; Konjević in sod. 2012) in tri meljake ( $M_1$ – $M_3$ ) v spodnji čeljustnici. Za vsak zob ocenimo vrednosti od 0 do 5 (slika 11), kjer 0 pomeni nefluorozen zob, 5 pa močno poškodovan zob (preglednica 3). Vsota vseh ocen šestih kočnikov pomeni indeks zobne poškodovanosti (DLI – *dental lesion index of fluorosis*), ki se razteza v rangu od 0 do 30. Če je vsaj en zob točkovan z 1 ali več, potem se zobovje označi kot fluorozno (Kierdorf in sod. 1999; Jelenko in sod. 2010a; Jelenko 2011).



Preglednica 2: Kategorije poškodovanosti zobovja zaradi fluoridov pri prežvekovalcih (cit. po Jelenko in sod. 2010a).

Kategorija poškodovanosti	Opis kategorije
0	Normalna (bela in prozorna) sklenina. Sklenina tvori razločne grebene na grizni ploskvi. Obraba zoba je fiziološko (starostno) povzročena. Nefluorozen zob.
1	Zaznati je motnost in razbarvanje sklenine. Spremembe so omejene predvsem na koničaste dele zob, včasih pa so vidne tudi kot vodoravni pasovi na stranskem delu zob.
2	Za celotno zobno krono je značilna motna in razbarvana sklenina. Zmanjšana je višina zob, pogosto izginejo tudi grebeni.
3	Popolna izguba grebenov ima za posledico sploščitev grizne ploskve. Poškodbe površine sklenine so vidne na manj kot 5 % zobne krone.
4	Patološko pospešena obraba zob ima za posledico nenormalno obliko zob. Poškodbe površine sklenine so vidne na 5–25 % zobne krone.
5	Neprepoznavna oblika zob zaradi njihove skrajno povečane obrabe. Zobje so zlomljeni ali popolnoma manjkajo. Več kot 25 % zobne krone ima poškodbe površine sklenine.



Slika 11: Primer zobne fluoroze na levi spodnji čeljustnici srnjadi. Ocena zobne fluoroze:  $P_2 = 3$ ,  $P_3 = 3$ ,  $P_4 = 3$ ,  $M_1 = 0$ ,  $M_2 = 4$ ,  $M_3 = 5$  (skupaj DLI = 18) (foto: N. Kompare).

### 3 REZULTATI Z RAZPRAVO

#### 3.1 Zobna fluoroza in spol osebkov

Predvidevali smo, da med spoloma ne bo bistvenih razlik glede stopnje zobne fluoroze, kar se je izkazalo za pravilno (preglednica 4). Samo v območju 3 je bilo manjše odstopanje pri povprečnem indeksu zobne poškodovanosti med spoloma (samci: DLI = 1,6; samice: DLI = 2,2). Do tega odstopanja je najverjetneje prišlo zaradi različnega števila obravnavanih osebkov glede na starostni razred (srne so bile starejše), saj je bilo v razredu mladih osebkov (2–4 leta) obravnavanih 51 samic manj kot samcev, obratno pa je bilo v starostnem razredu starih osebkov (5–7 let) 21 samic več kot samcev.

Preglednica 3: Indeks zobne poškodovanosti glede na spol osebka.

OBMOČJE	SPOL	DLI SKUPAJ
Osrednji del Slovenije	M	0,1
	F	0,2
Zasavje	M	0,4
	F	0,5
Dravsko-Ptujsko polje	M	1,6
	F	2,2

#### 3.2 Zobna fluoroza in starost osebkov

Povprečen indeks zobne poškodovanosti je večji pri starejših osebkih, saj so bili ti poleženi v letih, ko je bilo okolje bolj onesnaženo s fluoridi. Kot ugotavlja Kierdorf (2003), se zobje zaradi zmanjšane mehanske stabilnosti zobnih tkiv, ki je posledica akumulacije fluoridov že v času formacije zobovja (tj. med 12. in 15. mesecem starosti), obrablja in lomijo še hitreje. Iz podatkov (preglednica 5) je razvidno, da s starostjo indeks zobne poškodovanosti narašča. Slednje je najbolj razvidno za Dravsko-Ptujsko polje, kjer so bili največji izpusti fluoridov v ozračje. V Zasavju je pri starostnem razredu 5–7 povprečje večje, kot v starostnem razredu 8+. To lahko pripišemo premanjhnemu številu vzorcev v starostnem razredu 8+ za dobro objektivno oceno. Ker pa je indeks zobne poškodovanosti na območjih Zasavja in Osrednjega dela Slovenije nizek ( $DLI \leq 1$ ), lahko te razlike zanemarimo.

Preglednica 4: Povprečen indeks zobne poškodovanosti glede na starost osebkov.

OBMOČJE	STAROST SRNJADI (let)	DLI SKUPAJ
Osrednji del Slovenije	2–4	0,0
	5–7	0,3
	8+	0,2
Zasavje	2–4	0,3
	5–7	1,0
	8+	0,5
Dravsko-Ptujsko polje	2–4	1,4
	5–7	2,3
	8+	2,6

### 3.3 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz treh območij Slovenije med leti 2007 in 2013

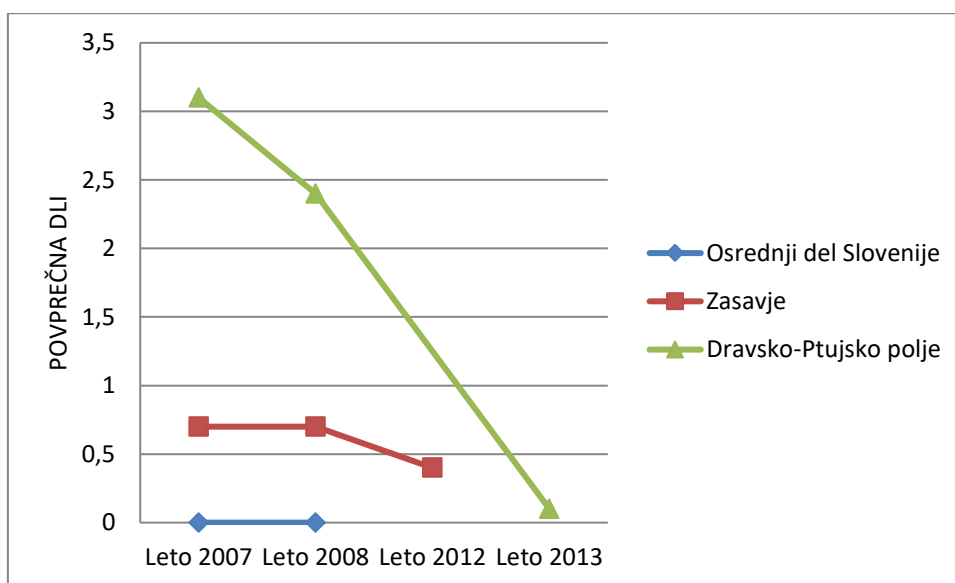
Dobljeni rezultati (preglednica 6) so pokazali, da je bil v času raziskave osrednji del Slovenije najmanj onesnažen s fluoridi oz. sploh ni bil onesnažen, saj je bil povprečen indeks zobne poškodovanosti srnjadi 0 pri vseh starostnih kategorijah. V letih 2007 in 2008 je bil povprečen indeks zobne poškodovanosti v tem območju enak, za leto 2012 in 2013 pa nismo imeli vzorcev.

Za območje Zasavja rezultati kažejo, da je bila zobna fluoroza srnjadi prisotna. Za leti 2007 in 2008 je bil povprečen indeks zobne poškodovanosti 0,7, v letu 2012 pa se je zmanjšal za 0,3, saj so bili v Termoelektrarni Trbovlje do leta 2010 izvedeni nekateri sanacijski ukrepi, ki so pripomogli k zmanjšanju emisij fluoridov v okolje.

Dravsko-Ptujsko polje je bilo najbolj onesnaženo območje s fluoridi, saj na tem območju stoji tovarna aluminija Talum, ki je bila v preteklosti največji onesnaževalec s fluoridi v Sloveniji. Tu je bil povprečen indeks zobne poškodovanosti najvišji; v letu 2007 je bil 3,1, a se je z leti manjšal zaradi izvedenih sanacij do tega leta (že leta 2008 je bil DLI = 2,4). Leta 2013 je bil povprečen indeks zobne poškodovanosti v tem območju le še 0,1 (preglednica 6; slika 12), saj se je v tem času zamenjalo več kohort srnjadi, in je delež osebkov, ki so bili poleženi pred končanjem sanacije, bistveno upadel. Torej je bilo leta 2013 v populaciji manj osebkov, ki so bili v času formacije zobovja (pri starost do 15–16 mesecev) izpostavljeni fluoridom, tj. pred izvedbo sanacij v tovarni aluminija Talum. Mlajše kohorte so bile zaradi manjših emisij po letu 2007 manj izpostavljene fluoridom, saj so se izpusti teh snovi iz tovarne aluminija Talum drastično zmanjšali. Osebki teh kohort so se prehranjevali v okolju, ki je bilo manj onesnaženo s fluoridi; posledično so zaužili manj fluoridov, zato je bil povprečen indeks zobne poškodovanosti srnjadi na Dravsko-Ptujskem polju v letu 2013 manjši kot v preteklih letih. Enak trend zmanjševanja zobne fluoroze srnjadi do leta 2011 (DLI  $\approx$  1), ko je zaključila svojo raziskavo, je v tem območju ugotovila tudi Hudejeva (2013).

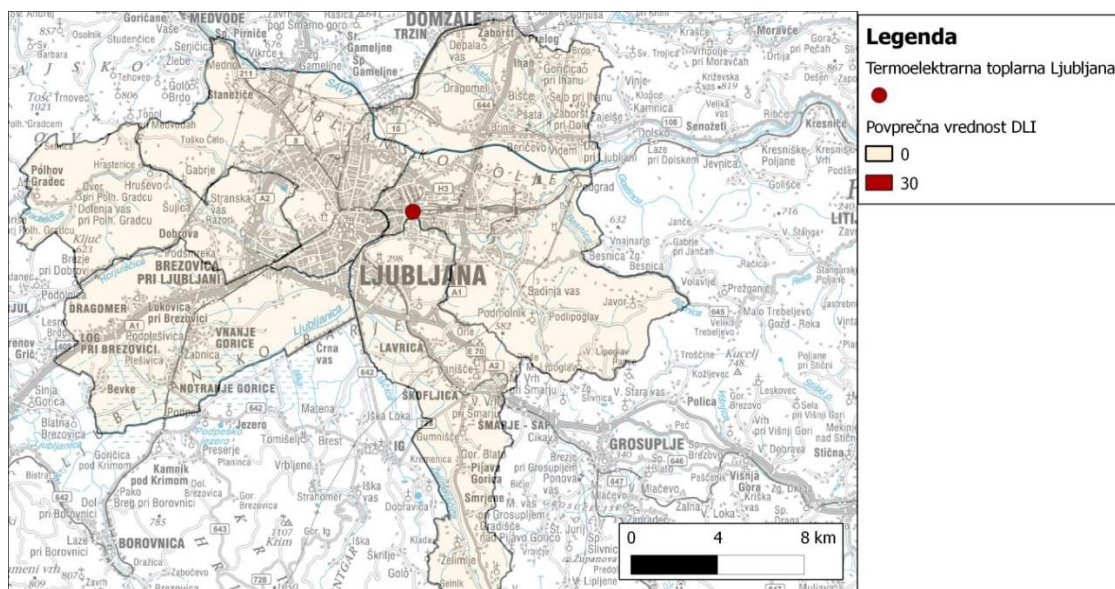
Preglednica 5: Povprečen DLI indeks srnjadi, živeče na treh območjih Slovenije, odvzete v letih 2007, 2008, 2012 in 2013.

OBMOČJE	Leto 2007	Leto 2008	Leto 2012	Leto 2013
<b>Osrednji del Slovenije</b>	0,0	0,0	-	-
<b>Zasavje</b>	0,7	0,7	0,4	-
<b>Dravsko-Ptujsko polje</b>	3,1	2,4	-	0,1

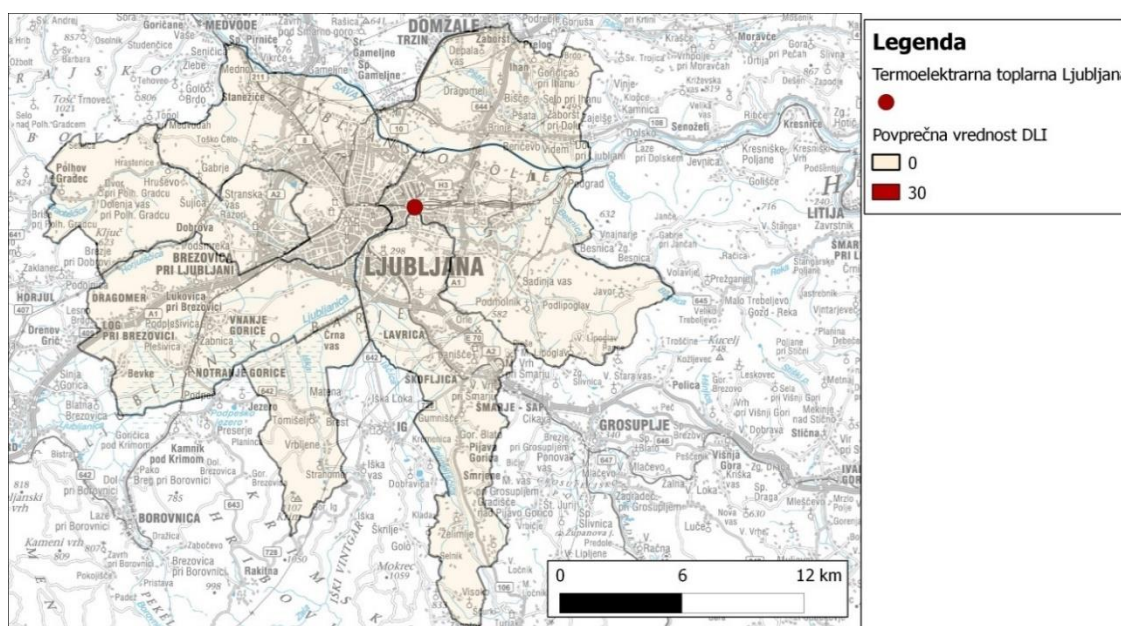


Slika 12: Spreminjanje povprečnega DLI indeksa srnjadi, odvzete leta 2007, 2008, 2012 in 2013 v treh območjih Slovenije.

V nadaljevanju podajamo karte povprečne stopnje zobne fluoroze (DLI indeks) v posameznih loviščih v vseh treh območjih, vključenih v raziskavo. Slika 13 prikazuje povprečen DLI indeks v loviščih okrog Termoelektrarne toplarne Ljubljana za leto 2007, slika 14 pa za leto 2008. Iz obeh slik je razvidno, da se v obeh letih zobna fluoroza na tem območju ni pojavljala (DLI = 0).

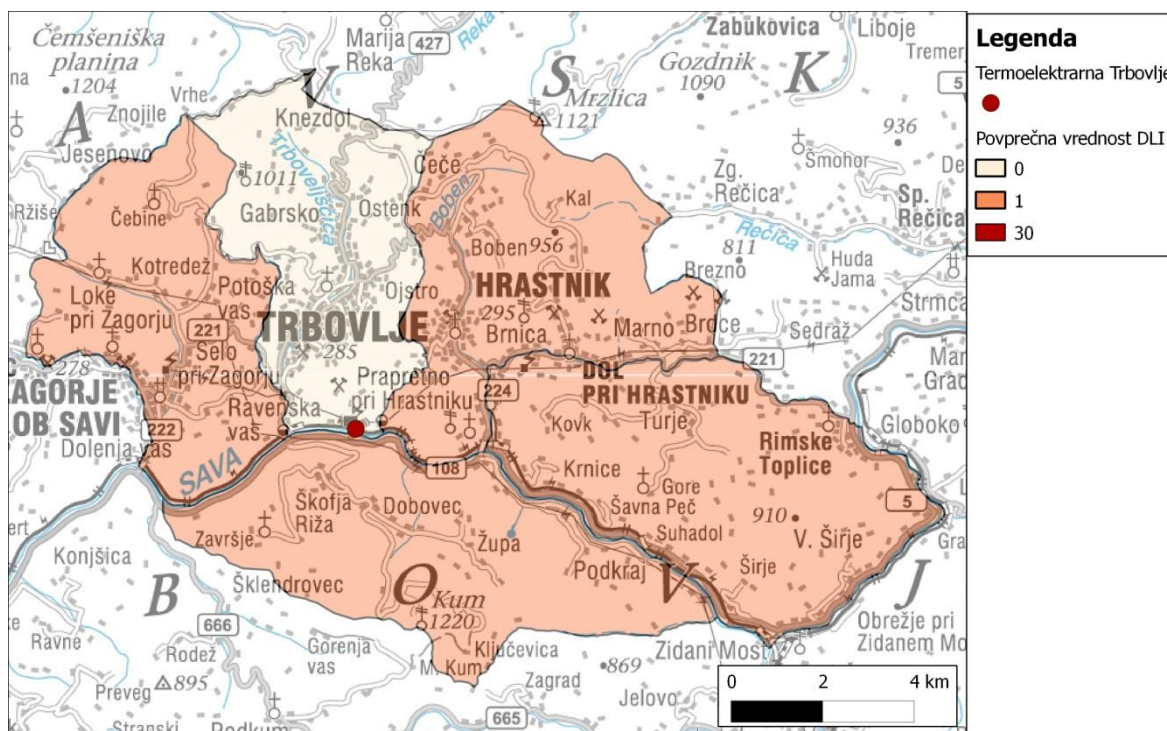


Slika 13: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v osrednji Sloveniji, leto 2007.

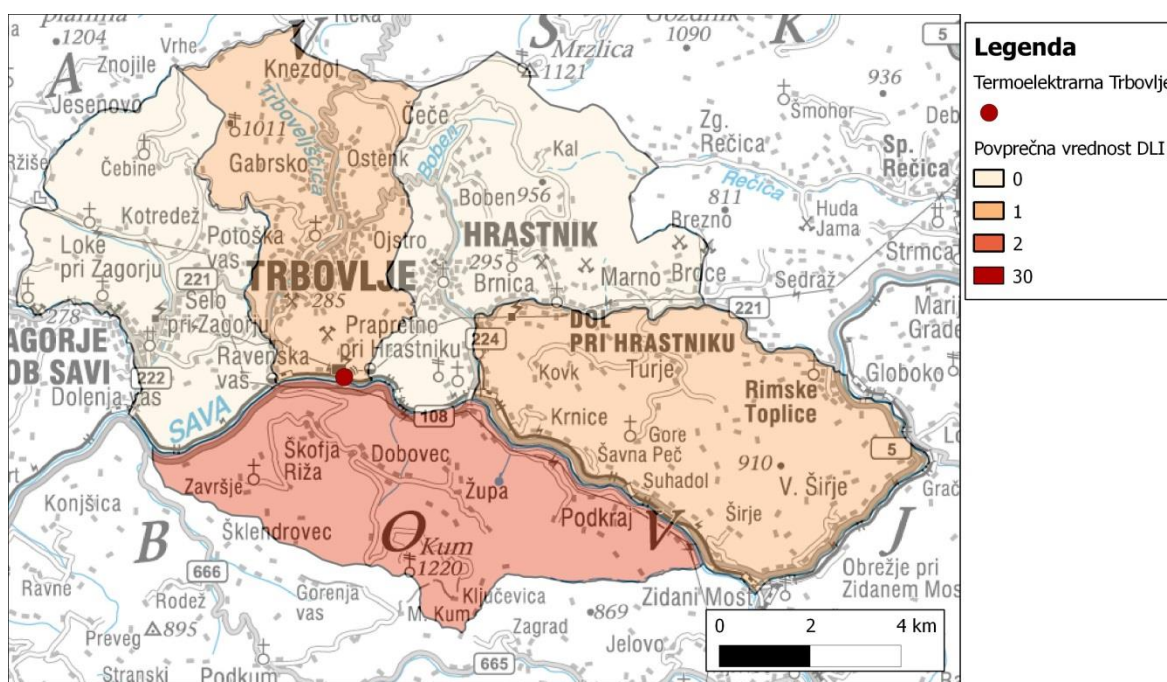


Slika 14: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v osrednji Sloveniji, leto 2008.

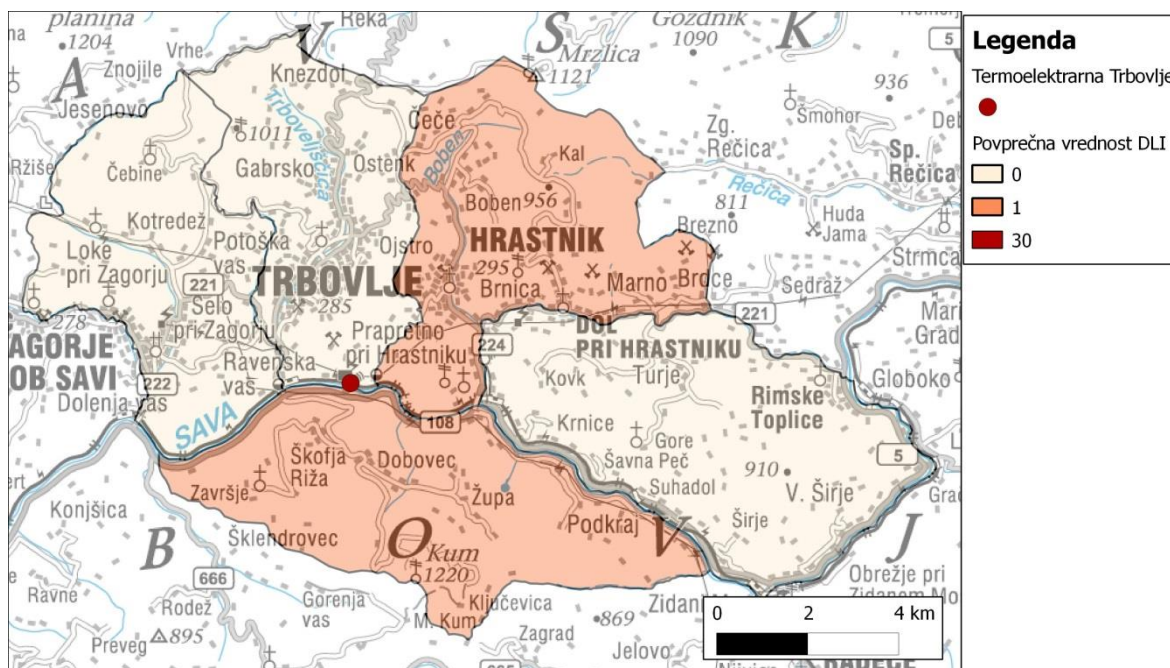
V Zasavju je bila zobna fluoroza pri srnjadi v času raziskave prisotna. Iz slike 15 je razvidno, da je bil leta 2007 povprečen DLI indeks v loviščih Dobovec, Zagorje, Hrastnik in Dol pri Hrastniku enak 1, v lovišču Trbovlje pa 0. Leta 2008 (slika 16) je bil povprečen DLI indeks v loviščih Dobovec = 2, Trbovlje in Dol pri Hrastniku = 1, Zagorje ter Hrastnik pa 0. Leta 2012 se je zaradi sanacij v Termoelektrani Trbovlje povprečen DLI indeks zmanjšal, zobna fluoroza srnjadi pa se je pojavljala samo še na območju dveh lovišč, tj. Hrastnik in Dobovec, kjer je bil povprečen DLI = 1 (slika 17).



Slika 15: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v Zasavju, leto 2007.

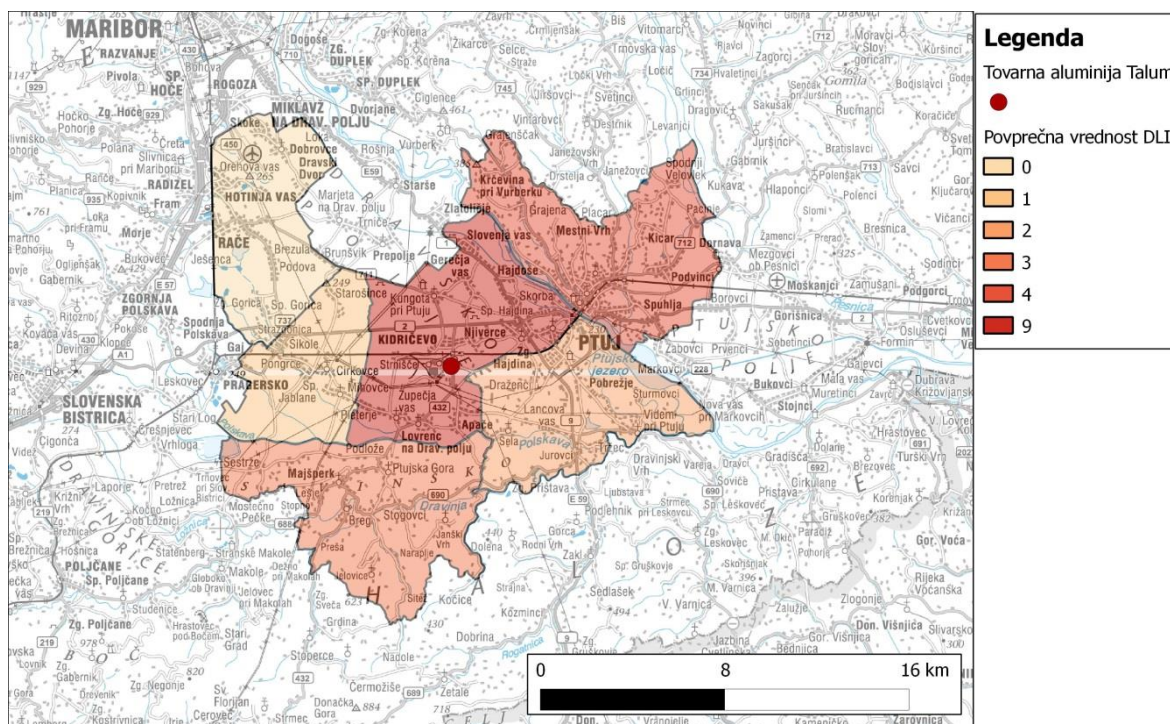


Slika 16: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v Zasavju, leto 2008.

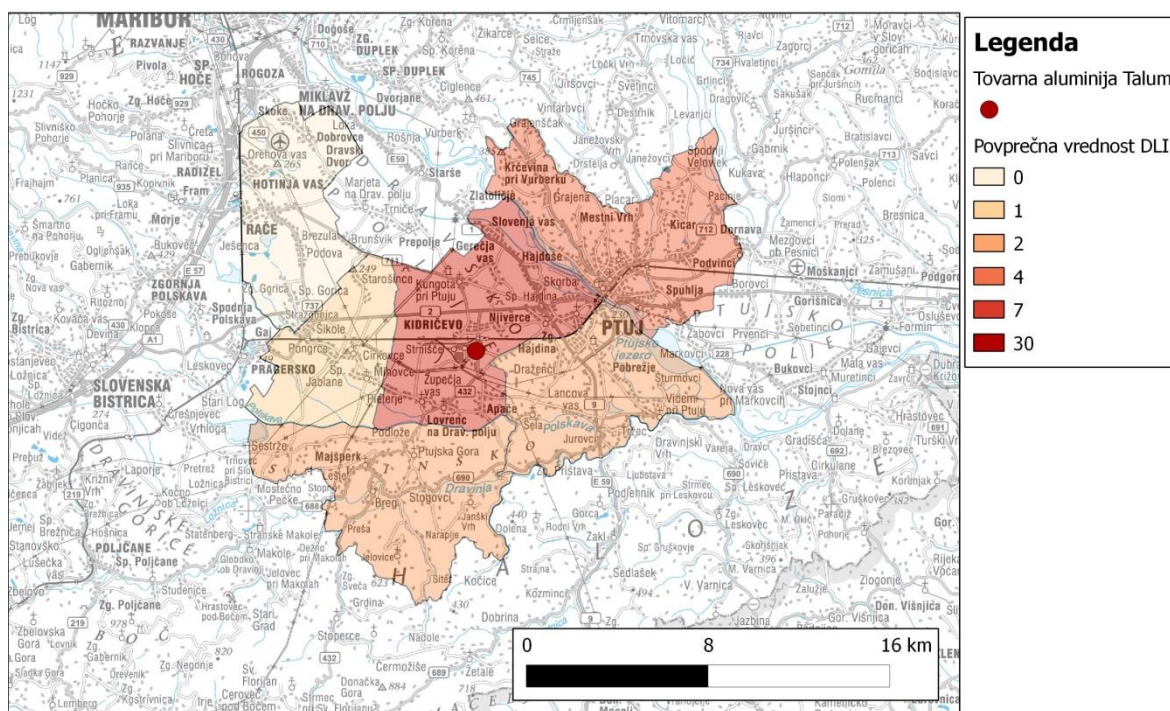


Slika 17: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih v Zasavju, leto 2012.

Najbolj onesnaženo območje s fluoridi v Sloveniji je bilo Dravsko-Ptujsko polje, kar je razvidno tudi s slik 18, 19 in 20. V letu 2007 (slika 18) je bil povprečen DLI indeks največji v lovišču Boris Kidrič (DLI = 9), najmanjši pa v lovišču Rače (DLI = 0). V letu 2008 (slika 19) se je, najverjetneje zaradi sanacijskih ukrepov v tovarni aluminija Talum, povprečen DLI indeks nekoliko zmanjšal; največji je bil še vedno v lovišču Boris Kidrič (DLI = 7), najmanjši pa v lovišču Rače (DLI = 0). Najbolj drastične spremembe pa so opazne leta 2013 (slika 20), saj se je zaradi sanacijskih ukrepov in menjave kohort srnjadi povprečen DLI indeks močno zmanjšal: v lovišču Boris Kidrič je bil tedaj 1, v ostalih loviščih pa zobna fluoroza ni bila več prisotna (DLI = 0).

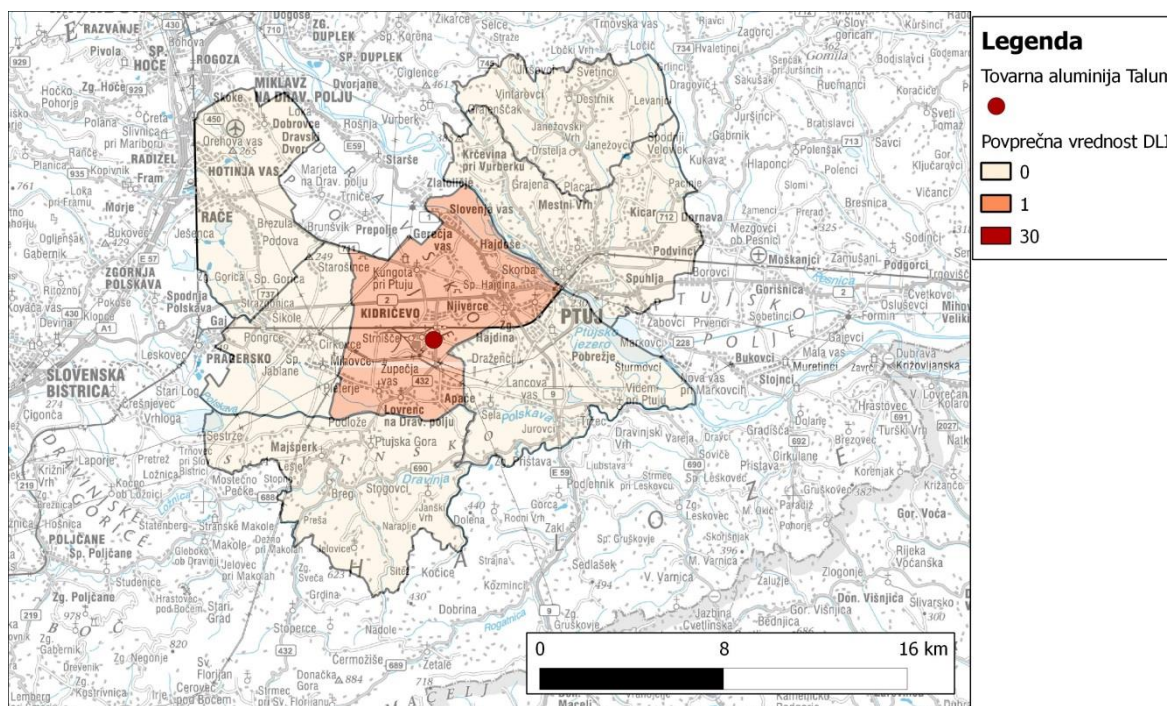


Slika 18: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih na Dravsko-Ptujskem polju, leto 2007.



Slika 19: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih na Dravsko-Ptujskem polju, leto 2008.

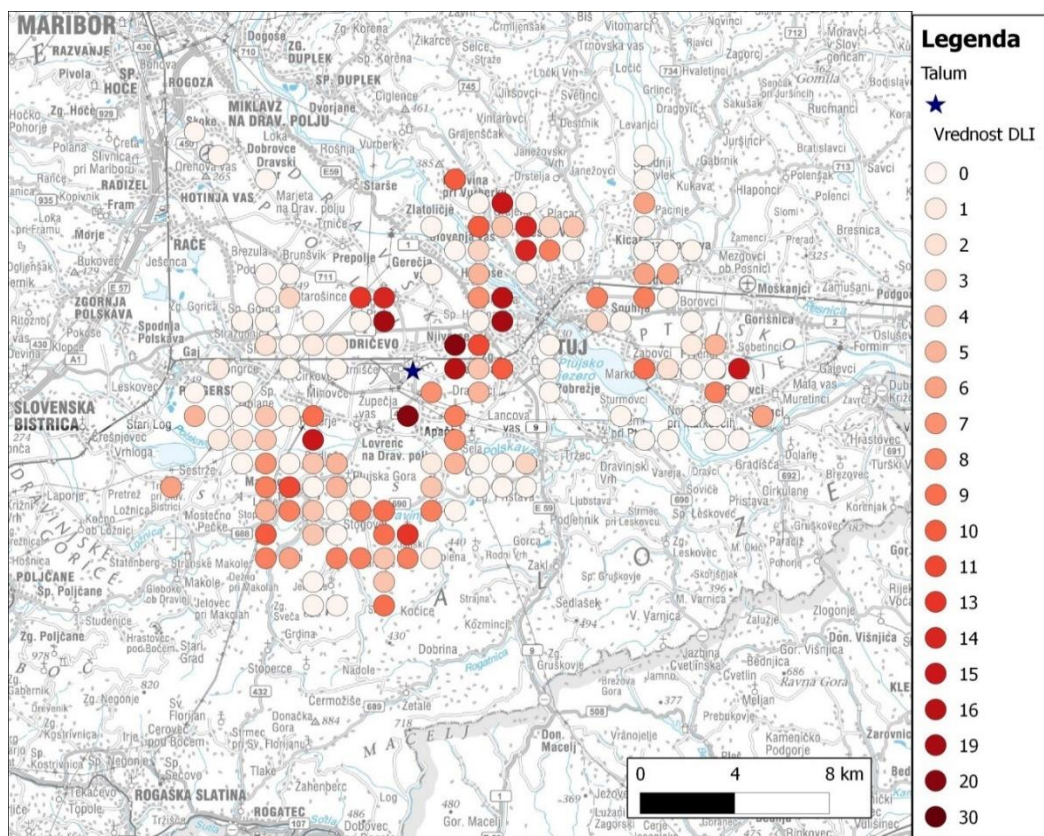




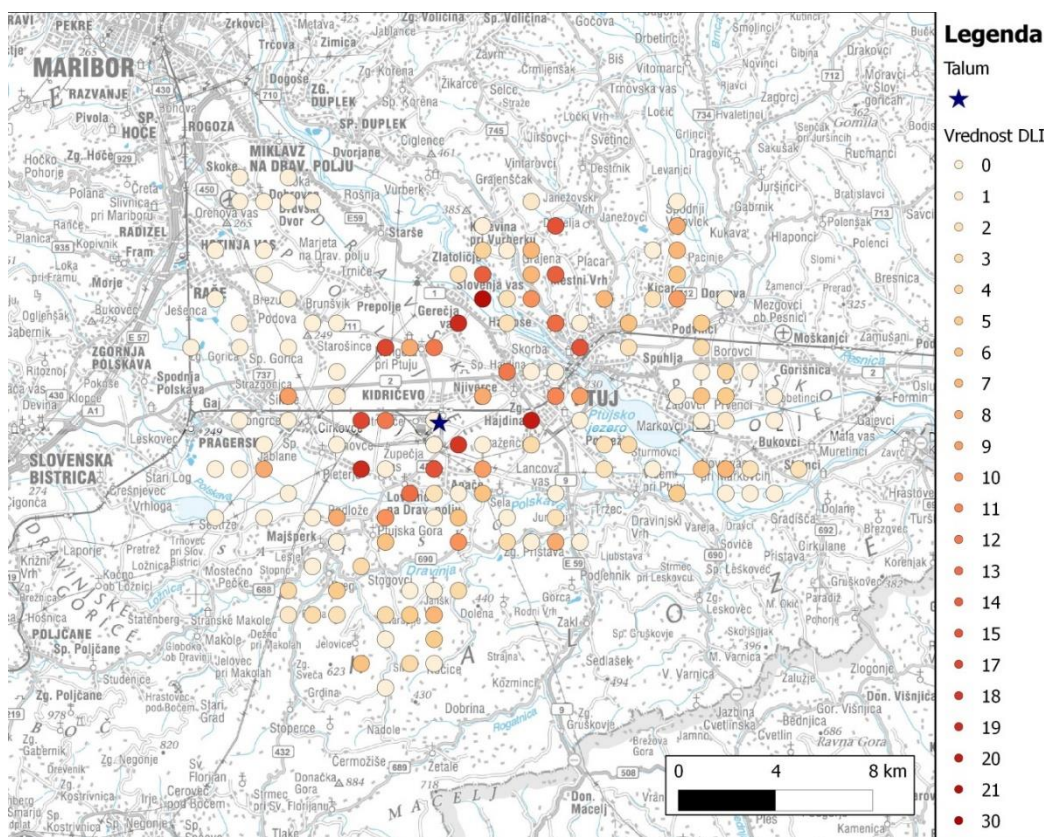
Slika 20: Povprečen DLI indeks srnjadi v loviščih na Dravsko-Ptujskem polju, leto 2013.

### 3.4 Podrobnejša prostorska slika zobne fluoroze srnjadi z Dravsko-Ptujskega polja

Prikaz podrobnejše prostorske razporeditve zobne fluoroze srnjadi smo naredili za območje Dravsko-Ptujskega polja, ki je (bilo) najbolj onesnaženo območje s fluoridi v Sloveniji (Jelenko 2011). Zastavili smo hipotezo, da bližje kot bo mesto odvzema živali do največjega točkovnega vira emisij (tovarna aluminija Talum), večji bo DLI indeks zobne poškodovanosti. Iz slik 21 in 22 vidimo, da je bilo temu res tako, čeprav je bila zmerena zobna fluoroza prisotna tudi nekaj kilometrov stran od točkovnega vira, DLI pa se je povečeval predvsem v smeri jugozahoda in severovzhoda od točkovnega vira. Razlog za takšen prostorski vzorec je najverjetneje v strukturi krajine, kjer se jugozahodno in severovzhodno od tovarne aluminija Talum razprostirajo odprte, ravne obdelovalne površine, ki sovpadajo s smerjo prevladujočega vetra v tem območju (Jelenko in sod. 2010b).



Slika 21: DLI indeks srnjadi v 1x1 km kvadrantih na Dravko-Ptujskem polju, leto 2007.



Slika 22: DLI indeks srnjadi v 1x1 km kvadrantih na Dravko-Ptujskem polju, leto 2008.

## 4 ZAKLJUČEK

Onesnaženost okolja lahko določamo s pomočjo bioindikatorjev. Za določanje onesnaženosti okolja s fluoridi je zelo primerna srnjad, saj (podobno kot človek) tudi srnjad lahko zaradi zaužitih fluoridov trpi za spremembami sklenine zob, tj. za zobno fluorozo. Spremembe niso ozdravljive, zato se je treba izpostavljenosti fluoridom izogibati ali pa ukrepati, da se onesnaženost s fluoridi zmanjša. Sanacijski ukrepi, izvedeni na največjih točkovnih virih emisij, so že delovali pozitivno na okolje, saj so se izpusti močno zmanjšali; rezultati so pokazali tudi na zmanjšanje zobne fluoroze pri srnjadi.

V Sloveniji je bilo najbolj onesnaženo območje s fluoridi Dravsko-Ptujsko polje, in sicer zaradi emisij iz tovarne aluminija Talum, ki je bila v času raziskave največji antropogeni vir fluoridov v Sloveniji. Zaradi tega je tudi povprečen indeks zobne poškodovanosti (DLI indeks) tam največji. Potrdili smo, da se je zobna fluoroza z leti v vseh treh raziskovalnih območjih zmanjševala; sklepamo, da zaradi izvedenih sanacij, ki so prispevale k manjšim emisijam fluoridov. Med spoloma nismo ugotovili bistvenih razlik v stopnji zobne fluoroze. Tudi prostorska razporeditev le-te se je ujemala s podano hipotezo. Indeks zobne poškodovanosti je bil bližje vira emisij večji, na kar vpliva tudi struktura krajine in smer vetra, ki raznaša fluoride tudi nekaj kilometrov stran od točkovnega vira emisij. Vse postavljene hipoteze so bile potrjene.

Z raziskavo smo potrdili, da sanacijski ukrepi v tovarnah in drugih virih emisij ter skrb za okolje, v katerem živimo, ni zaman. Slovenija bi morala še naprej težiti k ohranjanju čiste narave in s tem tudi k izboljšanju življenjskih razmer za živali in ljudi, ki tu živijo.

## 5 LITERATURA

Agencija republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si/> (datum dostopa 23. 5. 2021).

Arndt U., Fomin A., Lorenz S. 1996. Bio-indikation. Neue Entwicklungen, nomenklatur, synökologische aspekte. Verlag G. Heimbach: 308 str.

Energetika Ljubljana. [www.te-tol.si/](http://www.te-tol.si/) (datum dostopa: 17. 7. 2014).

Energetska družba Trbovlje HSE-edT d.o.o. <https://hse-edt.si> (datum dostopa 31. 7. 2021).

Gams I. Krajevni leksikon Slovenije. DZS, Ljubljana 1995. 638 str.

Hudej M. 2013. Čeljusti srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi na primeru treh območij Slovenije. Diplomsko delo. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja, 49 str.

Jelenko I., Jerina K., Pokorny B. 2010b. Vpliv okoljskih dejavnikov na pojavljanje in prostorsko razporeditev zobne fluoroze pri srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) v vzhodni Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva 92: 21-32.

Jelenko I., Kalpič A.B., Pokorny B. 2010a. Bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi z uporabo čeljusti srnjadi (*Capreolus capreolus* L.): stanje in perspektive. Zbornik gozdarstva in lesarstva 92: 3-20.

Kierdorf H., Kierdorf U., Richards A., Josephsen K. 2004. Fluoride-induced alteration of enamel structure: an experimental study in the miniature pig. *Anat Embryol* 207: 463-474.

Kierdorf H., Kierdorf U., Sedlaček F. 1999. Monitoring regional fluoride pollution in the Saxonian Ore mountains (Germany) using the biomarker dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus* L.). *The Science of the Total Environment* 232: 159-168.

Kierdorf U., Kierdorf H. 2003. Temporal variation of fluoride concentration in antlers of roe deer (*Capreolus capreolus*) living in an area exposed to emissions from iron and steel industry, 1984-2000. *Chemosphere* 52: 1677-1681.

Konjević D., Jelenko I., Severin K., Pokorny B., Janicki Z., Slavica A., Dumić T., Njemirovskij V. 2012. An overview of jaw injuries in roe deer – retrospective analysis. Hrvatska Veterinarska Komora.

Krže B. Srnjad. Lovska zveza Slovenije, 2000.

Leskovic B., Pičulin I. Divjad in lovstvo. Lovska zveza Slovenije, 2012.

Marcon E., Mongini M. Svetovna enciklopedija živali. Mladinska knjiga Ljubljana, 1986. 360 str.

Oslis. <http://oslis.gozdis.si/> (datum dostopa: 9. 8. 2021).

Perko D., Orožen Adamič M. Slovenija: Pokrajine in ljudje. Mladinska knjiga Ljubljana, 1998. 735 str.

Pickering W.F. 1985. The mobility of soluble fluoride in soils. Environ Pollut 9: 281-308.

Pokorny B. 2003. Notranji organi in rogovje srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikatorji onesnaženosti okolja z ioni težkih kovin: doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 193 str.

Pokorny B., Turinek J.I. Čeljustnice prostoživečih parkljarjev. Lovska zveza Slovenije, 2018. 137 str.

Talum. [www.talum.si](http://www.talum.si) (datum dostopa: 18. 7. 2014).

Termoelektrarna Trbovlje. [www.tet.si](http://www.tet.si) (datum dostopa: 17. 7. 2014).

Weinstein L.H. 1977. Fluoride and plant life. Journal of Occupational Medicine 19: 49-87.

Weinstein L.H., Davison A. 2004. Fluorides in the Environment. Effects on Plants and animals. Cambridge, CABI Publishing: 287 str.

Zavod za gozdove Slovenije. <http://www.zgs.si/> (datum dostopa: 12. 1. 2016).