

## Vplivi okoljskih dejavnikov na pojavljanje in prostorsko razporeditev zobne fluoroze pri srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) v vzhodni Sloveniji

Ida JELENKO<sup>1</sup>, Klemen JERINA<sup>2</sup>, Boštjan POKORNY<sup>3</sup>

### Izveček

Povečane koncentracije fluoridov v okolju negativno vplivajo na številne živalske vrste; ena najbolj vidnih posledic je nepravilni razvoj trdih zobnih tkiv oz. zobna fluoroza. Z ocenjevanjem stopnje zobne fluoroze pri vsej odrasli srnjadi, odvzeti iz vzhodne Slovenije v 10 lovsko-upravljaljskih območjih leta 2007 ( $n = 7.158$ ), izvedbo statističnih analiz v rastrskem GIS okolju z razmeroma veliko prostorsko ločljivostjo ( $1 \text{ km}^2$ ) ter s kartografskim prikazom smo želeli: (i) ugotoviti razlike v pojavnosti in stopnji zobne fluoroze pri srnjadi različnih območij vzhodne Slovenije; (ii) določiti vpliv glavnih virov emisij na stopnjo in pojavnost zobne fluoroze; (iii) določiti najpomembnejše okoljske dejavnike, ki vplivajo na pojavnost zobne fluoroze. Ugotovili smo, da vzhodna Slovenija na splošno s fluoridi ni onesnažena, saj se zmerna in močna fluoroza pojavljata pri manj kot 1 % vzorcev; 84 % vzorcev ni kazalo fluoroze. Le v okolici največjega vira fluoridov v Sloveniji (tovarna aluminija) je večje območje velike obremenjenosti okolja s fluoridi. Z multivariatnimi statistikami smo ugotovili, da na pojavnost in stopnjo fluoroze vplivajo: (i) oddaljenost od največjega vira emisij (94,6 % pojasnjene variance); (ii) starost srnjadi (5 % pojasnjene variance); (iii) oddaljenost od najbližjega gozdnega roba (0,7 % pojasnjene variance).

**Ključne besede:** fluoridi, zobna fluoroza, srnjad, bioindikator, GIS, okoljski dejavniki

## *Impact of environmental factors on the appearance and distribution of dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) in eastern Slovenia*

### Abstract

Increased concentrations of fluorides in the environment have a negative impact on different animal species, which are manifested mainly with the irregular formation of the dental hard tissue, called dental fluorosis. With the assessment of dental fluorosis in every adult roe deer shot in eastern Slovenia in 10 Hunting Management Districts in 2007 ( $n = 7,158$ ), implementation of statistical analyses in raster GIS environment with high resolution ( $1 \times 1 \text{ km}$ ) and cartography, we wished to: (i) establish the differences in the appearance and distribution of dental fluorosis in roe deer from different areas of eastern Slovenia; (ii) define the impact of the main sources of fluorides on the appearance and distribution of dental fluorosis; (iii) determine the most important environmental factors that have an impact on the appearance of dental fluorosis. In general, eastern Slovenia is not polluted with fluorides, while less than 1% of samples showed moderate to severe dental fluorosis; 84% of samples showed no fluorosis at all. Only in the vicinity of the most important source of fluorides in Slovenia (aluminium smelter), there is an area with extreme fluoride pollution of the environment. The multivariate statistics revealed that the appearance and distribution of dental fluorosis are influenced primarily by: (i) the distance from the most important point source – (94.6% of the total variance); (ii) the age of the analysed animal (5% of the total variance); and (iii) the distance from the nearest forest edge (0.7% of the total variance), respectively.

**Key words:** fluorides, dental fluorosis, roe deer, GIS analyses, environmental factors, eastern Slovenia

## 1 Uvod in namen

### 1 Introduction and purpose

Povečane koncentracije fluoridov v okolju imajo zaradi svoje strupenosti negativen vpliv na številne živalske vrste. Dolgotrajen vnos večjih količin fluoridov

v organizem lahko povzroči celo kronično zastrupitev (WHO 2002, FORDYCE *et al.* 2007), v primeru manjšega vnosa pa nastanejo različne spremembe/poškodbe stalnega zobovja, ki jih s skupnim imenom imenujemo zobna fluoroza (DEN BESTEN 1994, FEJERSKOV *et al.* 1994, AOBA / FEJERSKOV 2002, RICHTER *et al.* 2010). Le-ta je posledica negativnega vpliva fluoridov na razvoj trdih

<sup>1</sup> I. J.: ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d.o.o., Koroška 58, 3320 Velenje, ida.jelenko@erico.si

<sup>2</sup> doc. dr. K. J.: UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, klemen.jerina@bf.uni-lj.si

<sup>3</sup> doc. dr. B. P.: ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d.o.o., Koroška 58, 3320 Velenje, bostjan.pokorny@erico.si

zobnih tkiv, zlasti sklenine (za opis nastanka bolezni, bolezenskih znakov in ugotovljenega pojavljanja te bolezni pri prostoživečih parkljarjih glej pregledni članek JELENKO / BIENELLI KALPIČ / POKORNY 2010).

Onesnaženost okolja s fluoridi v Sloveniji doslej še ni bila sistematično preučena; izjema so nekatere geografsko zelo omejene raziskave onesnaženosti tal (BERIČNIK VRBOVŠEK 2001, 2002, ZUPAN / GRČMAN / LOBNIK 2008), vsebnosti fluoridov v iglicah smrek (BERIČNIK VRBOVŠEK 2001) in v rogovju srnjadi (POKORNY / JUSTIN 2004, POKORNY 2006). Zaradi tega smo se odločili za velikopovršinski biomonitoring onesnaženosti okolja vzhodne Slovenije z metodo odzivne bioindikacije z določitvijo stopnje zobne fluoroze pri srnjadi, in sicer na celotnem letnem odvzemu odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz lovišč vzhodne Slovenije v letu 2007.

V Sloveniji se z namenom pregleda in kontrole nad uresničevanjem lovsko-upravljaljskih ukrepov obvezno vsako leto zberejo vse leve spodnje čeljusti prostoživečih parkljarjev, ki so bili v preteklem koledarskem letu izločeni iz lovišč. Vsaka čeljust je enolično označena, kar omogoča sledljivost in povezavo z najpomembnejšimi atributnimi podatki o živali ter tudi z natančno lokacijo odvzema (središčna točka kilometer x kilometer velikega kvadranta); vsi naštetni podatki se od leta 2004 dalje zbirajo v Osrednjem slovenskem registru velike lovne divjadi in velikih zveri (VIRJENT / JERINA 2004) oz. v podatkovnih bazah Lisjak in X-Lov. Poznavanje natančnih lokacij odvzema (na km<sup>2</sup> natančno) omogoča opravljanje zanesljivih analiz vplivov okoljskih (naravnih in antropogenih) dejavnikov na stopnjo zobne fluoroze pri srnjadi.

Glavni raziskovalni cilji pričujoče raziskave so bili: (i) ugotoviti razlike v pojavnosti in stopnji zobne fluoroze srnjadi iz različnih območij vzhodne Slovenije in določiti vroče točke, kjer je obremenjenost s fluoridi največja; (ii) določiti vpliv glavnih virov emisij na stopnjo in pojavnost zobne fluoroze spodnjih čeljusti srnjadi; (iii) z GIS in statističnimi analizami določiti in količinsko ovrednotiti vplive okoljskih dejavnikov na pojavnost zobne fluoroze.

Pričujoče delo ima v primerjavi z drugimi po svetu opravljenimi raziskavami onesnaženosti okolja s pomočjo čeljusti parkljarjev več prednosti: (i) v raziskavo je bil vključen izredno velik vzorec čeljusti ( $n = 7.158$ ); (ii) vse čeljusti so povezane z natančno lokacijo odvzema (1 km<sup>2</sup>), kar pomeni izredno visoko prostorsko ločljivost zbranih podatkov (pri drugih raziskavah je vzorčna celica praviloma posamezno lovišče, kanton oz. občina); (iii) sistematično in celostno pokrivanje terena, saj se odstrel srnjadi opravlja tako rekoč po celotnem obravnavanem območju; (iv) reprezentativnost zbranih podatkov zaradi naključnega uresničevanja odstrela tako v smislu lokacije kot tudi izbora odvzetih živali. V vzorec so namreč vključene čeljusti celotnega odvzema, t.j. odstrela (v primeru srnjadi le-ta poteka naključno po celotni površini lovišč, brez težnje po grupiranju na določenih površinah) in vseh izgub, kar zagotavlja tako naključnost kot tudi veliko reprezentativnost vzorca.

## 2 Material in metode

### 2 Material and methods

#### 2.1 Območje raziskave

##### 2.1 Study area

Raziskovalno območje zajema vzhodni del Slovenije od Goriškega na vzhodu do Ljubljane na zahodu, a ker hkrati leži na stiku treh velikih naravnogeografskih enot, ga delimo na štiri makroregije, in sicer subpanonsko, predalpsko, dinarsko in na skrajnem severozahodu tudi alpsko pokrajino. Območje zajema vsa lovišča, ki ležijo znotraj 10 lovsko-upravljaljskih območij: Pomursko, Slovenskogoriško, Ptujsko-Ormoško, Pohorsko, Kamniško-Savinjsko, Savinjsko-Kozjansko, Zasavsko, Posavsko, Novomeško in Kočevsko-Belokranjsko (slika 1).

Obravnavano območje je tako z vidika kamninske sestave (karbonatne, magmatske in metamorfne kamnine), pedologije (evtrična in distična rjava tla, rjava pokarbonatna tla, rendzina ter obrečna tla), vegetacije (spreminjajoč delež gozda in gozdnih združb) kot tudi poselitve zelo pestro. Okoljski dejavniki tukaj variirajo v širokih gradientih, zaradi česar lahko pričakujemo, da bomo njihove vplive, če le obstajajo, lahko tudi zaznali.



Slika 1: Raziskovalno območje z opredeljenimi lovsko-upravljaljskimi območji

Figure 1: Research area with defined Hunting management districts

Dokaj visoka urbanizacija (predvsem v kotlinah in dolinah večjih rek na vzhodu) ter specifična industrijska dejavnost pomenita tudi intenzivnejše obremenjevanje okolja s fluoridi na tem območju. Po podatkih Agencije RS za okolje (2009) je bilo v Sloveniji leta 2005 v ozračje skupaj sproščenih 605.442 kg fluoridov. Emisije so v kasnejših letih zaradi okoljske ozaveščenosti in naprednejših proizvodnih tehnologij počasi upadale in so leta 2007 znašale skoraj polovico manj (357.141 kg).

Največji onesnaževalci s fluoridi v Sloveniji so ravno na obravnavanem območju vzhodne Slovenije: (i) tovarna aluminija Talum d.d. iz okolice Kidričevega z letnimi emisijami fluoridov > 250.000 kg (261.856 kg v letu 2007); (ii) Termoelektrarna Šoštanj (emisije HF v letu 2007: 57.700 kg); (iii) Termoelektrarna Trbovlje (emisije HF v letu 2007: 18.200 kg) (ARSO 2009). Poleg tega so v preučevanem območju tudi številni manjši onesnaževalci zraka s fluoridi, kot so različne metalurške tovarne, tovarne opečnatih izdelkov, steklarne in druge tovarne (*ibid.*)

Vzhodna Slovenija je zaradi svojih naravnih danostih (ugodnih reliefnih in klimatskih razmer) ter vpliva ljudi (stika gozda z intenzivno obdelano agrarno pokrajino) zelo ugoden habitat za srnjad, ki je vrsta gozdnega roba. Gostota odvzema (kot dober kazalec številčnosti populacije) je v tem območju najvišja v Sloveniji (STERGAR *et al.* 2009, ADAMIČ / JERINA 2010). Tako je na vzhodnem delu obravnavanega območja letna gostota odvzema srnjadi (povprečen odvzem po loviščih) > 3 do 4 živali / 100 ha, ponekod celo > 4 osebk / 100 ha. Osrednji del obravnavanega območja ima gostoto odvzema > 2 do 3 živali / 100 ha; le območje Kamniško-Savinjskih Alp, Pohorja in južni del obravnavanega območja imajo nižjo gostoto odvzema, in sicer do vključno 2 živali na 100 ha, kar je predvsem posledica velikega deleža gozda na teh območjih in morda pojavljanja drugih vrst rastlinojedih parkljarjev, predvsem jelenjadi.

## 2.2 Zbiranje vzorcev in priprava podatkov o srnjadi

### 2.2 Sampling and roe deer data preparation

Vzorci levih polovic spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz 274 lovišč vzhodne Slovenije v letu 2007, smo zbirali januarja 2008 neposredno na t.i. bazenskih pregledih iz lovišč izločene velike divjadi v sodelovanju z Inšpektoratom Republike Slovenije za kmetijstvo, gozdarstvo in hrano ter s Komisijami za pregled odstrela in izgub območnih združenj upravljavcev lovišč celotnega obravnavanega območja.

V Sloveniji se po letu 2003 podatke o vsej izločeni veliki divjadi georeferencira s kilometrsko prostorsko ločljivostjo (VIRJENT / JERINA 2004). V informacijskih sistemih Lisjak (Osrednji slovenski register velike lovne divjadi in velikih zveri – ta pokriva vsa lovišča, s katerimi upravljajo lovske družine – LD) oz. X-Lov (za lovišča s posebnim namenom – LPN) se za vsak izločeni osebek poleg mesta izločitve (šifra kvadranta) vodijo trajne evidence o njegovem spolu in ocenjeni starosti oz. strukturnem razredu, telesni masi, datumu in vzroku izločitve, kar je vse povezano z zaporedno številko iz evidenčne knjige odvzema. Zaradi sledljivosti pri kategorizacijah se pri velikih rastlinojedih parkljarjih del teh podatkov, praviloma zaporedna številka iz evidenčne knjige odvzema, zapisuje na same čeljusti. Tako je mogoče vse podatke s čeljusti (ocena stopnje zobne fluorozе in ocena starosti osebk)

povezati s podatki, ki se zbirajo v obeh omenjenih bazah Lisjak oz. X-Lov.

V raziskavo smo vključili le odrasle osebk, t.j. osebk s popolnim stalnim zobovjem, saj pri mladih in enoletnih osebk zobna fluoroza še ni izražena: spremembe se na zobovju (ki so nastale v času njihove formacije) pokažejo z zakasnitvijo (npr. KIERDORF / KIERDORF / FEJERSKOV 1993). Zaradi primerjave razlik v stopnji zobne fluorozе med različno starimi odraslimi osebk smo zbrane čeljusti razvrstili po starosti. Ocenjevanje starosti je potekalo po metodi razvojne stopnje in obrabe zobovja (KRŽE 2000). Ker ta sicer splošno uporabljena metoda ne zagotavlja natančne ocene starosti živali, smo znotraj odraslih (spolno zrelih) živali uporabili le tri starostne kategorije, in sicer: mlada (dvo- do štiriletna), srednje stara (pet- do sedemletna) in stara (osem- in večletna) žival. Pri tem velja poudariti, da natančno poznavanje starosti odraslih živali za opredeljene cilje raziskave ni bistveno.

Stopnjo zobne fluorozе srnjadi smo ocenili za vso odraslo srnjad, odvzeto iz vseh lovišč vzhodne Slovenije v letu 2007 (skupaj 10.081 čeljusti). Za namene tega prispevka smo v nadaljnje statistične analize vključili le čeljusti, ki so bile označene ustrezno in nedvoumno (z zaporedno številko odvzema za posamezno lovišče) ter so se podatki o starosti ujemali s podatki iz elektronskih baz. Poleg neoznačenih čeljusti smo izločili tudi vse tiste, ki so imele v bazah zapisan nepravilen kvadrant odvzema (t.j. takšen, ki ne leži v dotičnem lovišču). Zaradi težav s povezovanjem zaporednih števil na čeljustih s podatki iz baze X-Lov smo iz nadaljnjih analiz izločili tudi vso srnjad, uplenjeno v loviščih s posebnim namenom. Vsi v nadaljevanju prikazani rezultati se tako nanašajo na 7.158 georeferenciranih čeljusti srnjadi, uplenjene v vseh loviščih, s katerimi upravljajo lovske družine v 10 lovsko-upravljavskih območjih.

## 2.3 Ocenjevanje stopnje zobne fluorozе

### 2.3 Assessment of dental fluorosis

Ocena stopnje zobne fluorozе temelji na makroskopskem pregledu spektra patoloških sprememb zobne sklenine, ki so posledica izpostavljenosti živali fluoridom v času rasti zob (AOBA / FEJERSKOV 2002, TATARUCH / KIERDORF 2003). Stopnja zobne fluorozе se zaradi tega določa le na čeljustih srnjadi z dokončno razvitim zobovjem, t.j. pri odraslih (dvo- in večletnih) živalih.

Stopnjo zobne fluorozе smo ocenjevali makroskopsko po že večkrat uporabljenem, v Nemčiji izdelanem točkovanem sistemu za cervide (KIERDORF / KIERDORF 1999, KIERDORF / KIERDORF / SEDLÁČEK 1999). Pri tem se vsak izmed šestih stalnih kočnikov, t.j. treh stalnih predmeljakov (P<sub>2</sub>-P<sub>4</sub>) in treh meljakov (M<sub>1</sub>-M<sub>3</sub>) uvrsti v eno izmed kategorij poškodovanosti, ki so v razponu od 0 (nefluorozen zob) do 5 (naraščajoča intenziteta



poškodovanosti). Seštevek posameznih ocen vseh šestih zob ponazarja indeks zobne poškodovanosti (DLI) ali »dental lesion index« z rangom 0–30 (zbrano v JELENKO / BIENELLI KALPIČ / POKORNY 2010), ki smo ga uporabili v vseh nadaljnjih analizah.

## 2.4 Zbiranje in priprava podatkov o potencialnih vplivnih okoljskih dejavnikih

### 2.4 Collection and preparation of the data of potential environmental influential factors

S pričujočo raziskavo smo želeli celostno preučiti, kateri dejavniki najbolj vplivajo na pojavnost in stopnjo zobne fluorozе pri srnjadi. V analize smo zato vključili več individualno in okoljsko pogojenih ter domnevno pomembnih naravnih in antropogenih spremenljivk (glej preglednico 1). Pri izboru spremenljivk smo izhajali iz ugotovitev drugih podobnih raziskav po Evropi (npr. KIERDORF / KIERDORF / SEDLÁČEK 1999, WEINSTEIN / DAVISON 2004, ZEMEK *et al.* 2006).

- Povečane koncentracije fluoridov v ozračju so posledica antropogenih virov. Njihov prenos na daljše razdalje je odvisen predvsem od količine emisij, meteoroloških razmer, višine vira izpusta in reliefa (WHO 2002). Prostorsko variiranje jakosti vplivov točkovnih virov fluoridov smo ponazarjali s tremi spremenljivkami: (i) z modelnimi imisijami fluoridov (F\_MOD) iz glavnih točkovnih virov (Talum, Termoelektrarna Šoštanj, Termoelektrarna Trbovlje, Impol, STC, Mariborska livarna itn.; skupaj 21 virov, ki ležijo v vzhodni Sloveniji), pri čemer smo upoštevali povprečne letne emisije iz teh virov v obdobju 2005–2007 (ARSO 2009). Pri pripravi te spremenljivke smo predpostavili, da se imisije fluoridov s točkovnega vira z oddaljenostjo eksponentno zmanjšujejo, absolutno pa so premosorazmerno odvisne od skupnih letnih emisij iz tega vira. Prostorsko porazdelitveno funkcijo emisij ( $y = 2,3213 \times e^{-0,7802x}$  razdalja) smo parameterizirali na osnovi podatkov iz literature (glej WEINSTEIN / DAVISON 2004). Poleg tega smo upoštevali, da se imisije z več točkovnih virov seštevajo. Ta spremenljivka torej hkrati zajema imisije iz vseh točkovnih virov obravnavanega območja, vendar pa je njena natančnost povsem odvisna od realnosti funkcije, ki ponazarja upadanje količine fluoridov z oddaljenostjo od točkovnega vira. Zaradi tega smo v raziskavo vključili še dve bolj preprosti spremenljivki, in sicer: (ii) oddaljenost od treh glavnih točkovnih virov fluoridov (Talum, Termoelektrarna Šoštanj, Termoelektrarna Trbovlje; F\_ODD); (iii) oddaljenost od tovarne aluminija Talum d.d. (TALUM\_ODD). Zadnji dve spremenljivki se vsebinsko prekrivata, vključitev obeh pa je pomembna, ker smo želeli poleg ugotavljanja vpliva oddaljenosti od vira emisij ugotoviti tudi vpliv same količine emisij

na pojavnost zobne fluorozе. Zaradi tega smo kot posebno spremenljivko dodali TALUM\_ODD, s čimer smo dosegli, da se pomen oz. vpliv izjemno velikih emisij iz tega vira ne zmanjša na račun 4,5-krat oz. 14-krat manjših emisij iz obeh drugih velikih virov.

- Iz atmosfere se fluoridi odstranijo s suhim ali mokrim depozitom (NOTCUTT / DAVIES 2001, WHO 2002). Padavine s spiranjem fluoridov iz atmosfere ter s spiranjem odloženih prašnih delcev z vegetacije (prehrane srnjadi) vplivajo na količino zaužitih fluoridov (WHO 2002, WEINSTEIN / DAVISON 2004). Prostorsko variiranje vplivov padavin smo ponazarjali s spremenljivko povprečna letna količina padavin (PADAV).
- Pomemben del plinastih fluoridov iz ozračja prevzamejo rastline s procesom difuzije, pri čemer se fluoridi kopičijo predvsem v listih rastlin. Po drugi strani krošnje dreves delujejo kot streha, ki prestreže del prašnih delcev in s tem tudi imisij fluoridov v obliki trdnih delcev (*ibid.*). Takšen vpliv gozda smo analizirali prek spremenljivk delež gozda in oddaljenost od najbližjih negozdnih površin (GOZD%; ODD\_NEG).
- Fluoridi nastajajo tudi med kurjenjem premoga v individualnih ogrevalnih napravah/kuriščih. Vpliv tega vira fluoridov smo aproksimirali s spremenljivkama delež pozidanih površin in oddaljenost od najbližjih urbanih površin (URB%, ODD\_URB). Ker sta obe ocenjeni na ravni kvadrantov, prva ne more zaznati prenosa fluoridov med kvadranti, druga pa zaznava razlike med kvadranti glede na delež pozidanih površin.
- Na količino fluoridov lahko, bodisi prek puferskega delovanja bodisi kot vir, potencialno vplivajo tudi kamninska podlaga in tla (GEOL, PEDOL). Obe podatkovni plasti smo upoštevali namen te raziskave prekategoričili v pet širših skupin. Na vsebnost fluoridov v tleh in dostopnost le-teh rastlinam ter naprej rastlinojedim sesalcem (v našem primeru srnjadi) vplivajo dejanske koncentracije fluoridov v tleh, pH tal in vsebnosti gline ter organskih delcev (WHO 2002, KINNUNEN *et al.* 2003, OZSVATH 2009). Temu ustrezno smo pedološko sestavo tal vzhodne Slovenije prekategoričili predvsem glede na teksturo in pH tal ter glede na delež organskih delcev (MKGP 2009) v naslednjih pet skupin: evtrična rjava tla, distrična rjava tla, pokarbonatna rjava tla, hidromorfna tla, antropogena tla. Podobno smo kamninsko sestavo obravnavanega območja razdelili v pet kategorij (magmatske kamnine, metamorfne kamnine, apnenec in dolomit, mlajše nesprijete sedimentne kamnine, starejše sprijete sedimentne kamnine), in sicer na podlagi vrste/nastanka kamnin (določa pH) in strukture kamnin (določa vsebnost gline); slednja pospešuje ionsko izmenjavo in s tem omogoča večjo dostopnost

fluoridov (WHO 2002, WEINSTEIN / DAVISON 2004, GZS 2009).

Za vse naštetе spremenljivke smo po ustaljenih postopkih (glej JERINA 2006) pripravili rastrske GIS-plasti s kilometrsko prostorsko ločljivostjo. Za to velikost rastrskih celic smo se odločili, ker se ujemajo z velikostjo individualnih območij aktivnosti srnjadi (KRŽE 2000), poleg tega je tudi neodvisna spremenljivka (DLI pri srnjadi) georeferencirana na takšno ločljivost. Pri kategorialnih spremenljivkah so za rastrske celice podane vrednosti

tiste kategorije, ki v tej celici po površini prevladuje. S prekrivanjem GIS-plasti smo za vsak izločeni osebek srnjadi pridobili podatkovni niz z eno odvisno (DLI), dvema individualnima (SPOL, STAR) in desetimi okoljskimi neodvisnimi spremenljivkami (glej preglednico 1), ki smo jih uporabili v statističnih analizah. Za pripravo vseh podatkovnih plasti in izpeljavo podatkovnih nizov za nadaljnje statistične analize smo uporabili programe *Idrisi 32.2*, *ArcView GIS 3.2* in programe paketa *MS Office 2003*.

Preglednica 1: Seznam analiziranih spremenljivk s šiframi, vrsto spremenljivke in viri

Table 1: List of the analysed variables with codes, type of the variable and data sources

Spremenljivka / Variable	Koda spremenljivke / Variable code	Vrsta spremenljivke / Variable type	Enota / Unit	Vir podatkov / Data source
Povprečna letna količina padavin / Average yearly precipitation	PADAV	Zvezna	mm	ARSO 2004
Delež pozidanih površin / Share of urbanised area	URB%	Zvezna	%	MKGP 2000
Delež gozda in zaraščajočih površin / Share of forest (MKGP 2002, šifre 1410, 1420, 1500, 2000)	GOZD%	Zvezna	%	
Oddaljenost od najbližjih negozdnih površin / Distance from the nearest nonforested area	ODD_NEG	Zvezna	m	
Oddaljenost od najbližjega naselja / Distance from the nearest settlement	ODD_URB	Zvezna	m	
Modelne imisije fluoridov / Model fluoride imissions	F_MOD	Zvezna	kg / km <sup>2</sup>	ARSO 2009
Oddaljenost od treh glavnih emisijskih točkovnih virov fluoridov / Distance from the three main point sources of fluorides	F_ODD	Zvezna	m	
Oddaljenost od Taluma / Distance from Talum	TALUM_ODD	Zvezna	m	
Pedološka podlaga / Soil type	PEDOL	Kategorialna	evtrična rjava tla, distrična rjava tla, pokarbonatna rjava tla, hidromorfna tla, antropogena tla	MKGP 2009
Geološka podlaga / Bedrock type	GEOL	Kategorialna	magmatske kamnine, metamorfne kamnine, apnenec in dolomit, mlajše nesprijete sedimentne kamnine, starejše sprijete sedimentne kamnine	GZS 2009
Spol / Sex	SPOL	Kategorialna	M, Ž	LZS, ZGS
Starostna kategorija / Age category	STAR	Ordinalna	2-4, 5-7, 8 in več let	Makroskopsko ocenjevanje
Indeks zobne fluorozе / Dental lesion index	DLI	Ordinalna	0-30	

## 2.5 Statistične analize

### 2.5 Statistical analyses

Povezave med ordinalno odvisno in zveznimi ter ordinalnimi neodvisnimi spremenljivkami smo analizirali z neparametrično korelacijsko analizo (*Kendall Tau b*), ki ima v primerjavi s parametrično korelacijo to prednost, da je občutljiva za vse monotone in ne le na linearno povezavo, poleg tega je njena raba metodološko korektna tudi pri ordinalnih spremenljivkah. Vplive atributivnih spremenljivk smo analizirali s *Kruskall-Wallis* testom (preglednica 4).

Ker je odvisna spremenljivka DLI (stopnja zobne fluorozе) ordinalen znak, ekvidistanca med vrednostmi spremenljivke in normalnost porazdeljevanja ni zagotovljena. Zato bi bilo njene multivariatne povezave z neodvisnimi spremenljivkami statistično korektno lahko analizirati le z določenimi statistikami (npr. GLM-model: *Ordinal Multinomial* porazdelitev odvisne spremenljivke in log-povezovalna funkcija). Vendar GLM-modeli ob algoritmu vključevanja spremenljivk v model *Forward stepwise* niso konvergirali. Zato smo model zgradili s parametričnim GRM-modelom (*Forward stepwise* metoda vključevanja spremenljivk) in ga testirali s prej opisanim GLM-modelom. Pri tem je treba poudariti, da je število kategorij pri naši ordinalni spremenljivki veliko (30), kar pomeni, da njena aproksimacija z zvezno spremenljivko verjetno ni več tako groba. Ker oblike povezav med neodvisno in odvisnimi spremenljivkami nismo poznali, smo pred izvedbo multivariatne analize z GRM-modelom vse pare neodvisne in odvisnih spremenljivk grafično pregledali. Če se je vpliv neodvisne spremenljivke na odvisno vzdolž gradienta odvisne spremenljivke nelinearno spreminjal, smo linearni odziv skušali doseči s transformacijami. Če te niso bile uspešne, smo jo kategorizirali (preglednica 2).

Preglednica 2: Priprava spremenljivk za analizo z GRM-modelom

Table 2: Preparation of the variables for the analysis with the GRM model

Spremenljivka / Variable	Odziv odvisne spremenljivke na variiranje neodvisne / Response of the dependent variable to the variation of the independent variable	Število in meje (v oklepaju) ustvarjenih razredov pri kategorizaciji spremenljivk / Number and borders (in brackets) of the created classes by categorisation of the variables
PDAV	Linearen /Linear	/
URB%	Linearen /Linear	/
GOZD%	Linearen /Linear	/
ODD_NEG	Linearen /Linear	/
ODD_URB	Linearen /Linear	/
F_MOD	Nelinearen / Nonlinear	7 (100, 250, 500, 800, 1800, 6000)
F_ODD	Nelinearen / Nonlinear	10 (2500, 5000, ... , 20000, 22500)
TALUM_ODD	Nelinearen / Nonlinear	10 (2500, 5000, ... , 20000, 22500)
PEDOL	/	/
GEOL	/	/
SPOL	/	/
STAR	Linearen /Linear	/

## 2.6 Priprava kart pojavnosti zobne fluorozе

### 2.6 Preparation of maps of the occurrence of dental fluorosis

Pomemben del pričujoče raziskave je priprava podrobne karte zobne fluorozе pri srnjadi, saj le-ta vizualno razkriva potencialne, prej nepoznane vire fluoridov v okolju in prostorsko prikazuje lokalne obremenjenosti te živalske vrste oz. nekega okolja s fluoridi. Glede na velikost raziskovalnega območja in gostoto (izjemno številčnost) analiziranih podatkov smo se odločili za rastrsko kartiranje v prostorski ločljivosti 1 km<sup>2</sup>, pri čemer vsaka celica (ki dejansko ponazarja kvadrant odzema srnjadi) podaja tretji kvartil, zobne fluorozе srnjadi, odvzete iz tega kvadranta in najbližjih sosednjih kvadrantov v velikosti okna 7 × 7 km (skupaj 49 rastrskih celic). Tako se višja ocena zobne fluorozе pri določenih čeljustih srnjadi ne izgubi v izračunih povprečja, temveč pride bolj do izraza. Po drugi strani pa višjih vrednosti (npr. deveti decil) nismo uporabili predvsem zaradi tega, ker bi to pomenilo manjše število vzorcev, ki bi lahko zajeli tudi naključno pojavljanje visokih ocen zobne fluorozе, ki za neko območje v splošnem ni značilna. Za izbiro večjega okna smo se odločili zato, da smo v oknu povečali vzorec srnjadi in s tem omilili vplive naključnih dogodkov.

## 3 Rezultati

### 3 Results

Večina analiziranih čeljusti srnjadi (84 %) je bila brez vidnih znakov zobne fluorozе (nobeden izmed vseh stalnih kočnikov ni bil vidno prizadet). Pri preostalih 16 % čeljusti se je pojavljala predvsem rahla zobna fluorozа (DLI: 1-8). Zmerno in močno zobno fluorozo smo zabeleženi pri manj kot 1 % ocenjenih čeljusti (preglednica 3).

Preglednica 3: Frekvenčna porazdelitev različne stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete v vzhodni Sloveniji leta 2007  
 Table 3: Frequency of different levels of dental fluorosis in roe deer shot in eastern Slovenia in 2007

DLI	0	1-8	9-15	16-30	Skupaj / Total
N	6.044	1.047	52	15	7.158
Delež (%) / Frequency (%)	84,4	14,6	0,7	0,2	100

Z bivariatnimi analizami smo ugotovili statistično značilne povezave za vse pare odvisna-neodvisna spremenljivka (preglednica 4), vendar pa so bile vse izračunane povezave precej ohlapne. Med ordinalnimi (in

zveznimi) spremenljivkami je z DLI najtesneje, a vendarle z razmeroma majhnim korelacijskim koeficientom ( $r = -0,15$ ) povezana spremenljivka ODD\_TALUM. Tudi neodvisne spremenljivke med seboj korelirajo, a korelacije

Preglednica 4: Povezave med DLI in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi srnjadi vzhodne Slovenije  
 Table 4: Correlations between DLI and environmental factors or individual characteristics of roe deer from eastern Slovenia

	Kendall r	Z ( $\lambda^2$ )	Stopnja tveganja / Statistical significance (p)	Rang / Rank
PADAV	-0,07	-9,3	0,000	5
URB%	0,03	3,8	0,000	9
GOZD%	-0,04	-5,6	0,000	8
ODD_NEG	-0,07	-8,6	0,000	7
ODD_URB	-0,02	-2,7	0,007	10
F_MOD	0,14	17,9	0,000	2
F_ODD	-0,12	-15,3	0,000	3
TALUM_ODD	-0,15	-19,0	0,000	1
PEDOL*	/	17,8	0,001	/
GEOL*	/	77,8	0,000	/
SPOL	-0,08	-10,0	0,000	4
STAR	0,07	9,1	0,000	6

\* Pri kategorialnih spremenljivkah smo razlike med skupinami testirali s *Kruskall-Wallis* testom.

\* Differences between groups in categorical variables are tested with the *Kruskall-Wallis* test.

Preglednica 5: Spremenljivke in koeficienti v GRM-modelu zobne fluoroze srnjadi iz vzhodne Slovenije  
 Table 5: Variables in the GRM model of dental fluorosis in roe deer shot in eastern Slovenia

Spremenljivka / Variable	Parameter / Parameter	Standardna napaka ocene / Standard error (SE)	t-statistika / t-statistics	Stopnja tveganja / Statistical significance (p)	Delež skupne pojasnjene variance / Share of the total explained variance (%)
TALUM_ODD*					94,6
1	7,652	0,525	14,58	0,000	
2	1,637	0,244	6,70	0,000	
3	0,312	0,184	1,70	0,090	
4	0,176	0,153	1,15	0,252	
5	-0,914	0,151	-6,05	0,000	
6	-1,297	0,144	-8,99	0,000	
7	-1,481	0,141	-10,52	0,000	
8	-1,754	0,147	-11,91	0,000	
9	-2,066	0,148	-13,95	0,000	
STAR	0,224	0,031	7,23	0,000	4,7
ODD_NEG	-0,00072	0,00026	-2,81	0,005	0,7
Konstanta	2,457	0,091	27,15	0,000	
$R^2 = 0,37$ $F_{11,7145} = 103,5$ $p = 0,000$					

\* Kategorialna spremenljivka; primerjalni razred je zadnji razred; glej tudi preglednico 2.

\* Categorical variable; the comparing class is the last class; see table 2.

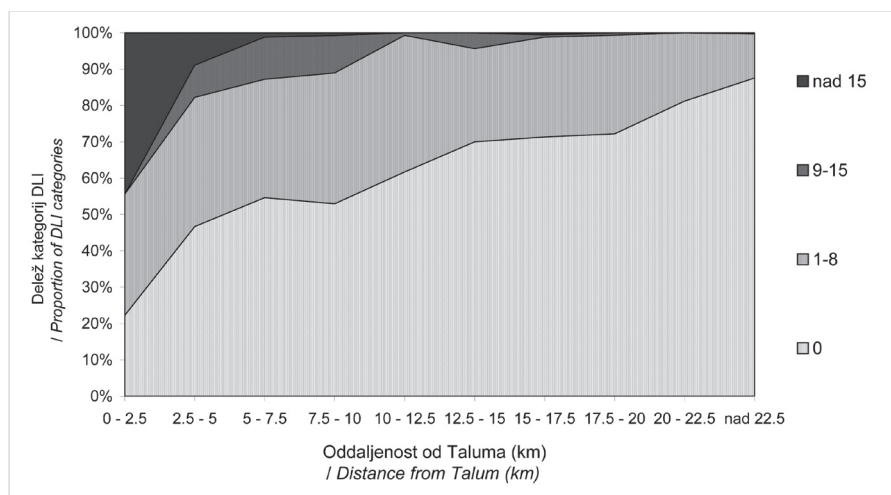


niso višje od konzervativnih meja ( $r < 0,50$ ), katerih nepreseganje je pogoj za vključitev v multivariatno analizo (DILLON / GOLDSTEIN 1984).

Po napovedih GRM na stopnjo in prostorsko razporeditev zobne fluoroze (DLI) srnjadi značilno vplivajo le tri spremenljivke (preglednica 5), in sicer oddaljenost od Taluma (ODD\_TALUM), starost osebka (STAR) ter oddaljenost od najbližjih negozdskih površin (ODD\_NEG). Vplive teh treh spremenljivk ( $p \text{ min} < 0,001$ ) je potrdila tudi neparametrična analiza z GLM-modelom. GRM pojasnjuje dokaj majhen delež variabilnosti DLI (37 %) in napoveduje, da na stopnjo zobne fluoroze srnjadi daleč najpomembneje vpliva Talum: z oddaljenostjo od tega točkovnega vira fluoridov se zobna fluoroza monotono zmanjšuje (slika 2). DLI je odvisen tudi od starosti

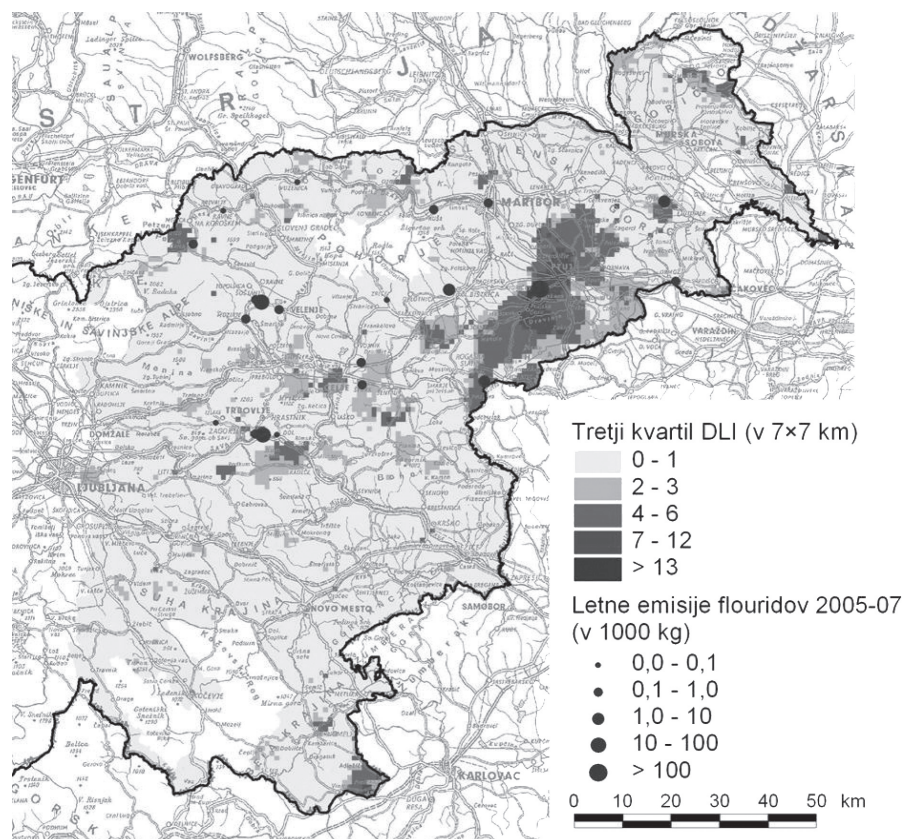
posameznega osebka in z njo narašča; poleg tega je DLI manjši pri osebkih, ki žive globlje v gozdu.

Eno večjih območij obremenjenosti srnjadi s fluoridi (slika 3) v vzhodni Sloveniji je okolica Kidričevega (Dravsko polje s Halozami). Pojavljajo se tudi nekatera manjša žarišča pojavljanja višjih stopenj zobne fluoroze. Za potrditev uporabnosti zobne fluoroze kot zelo primernega odzivnega bioindikatorja onesnaženosti okolja s fluoridi smo na karti prikazali tudi vse točkovne vire emisij fluoridov v območju raziskave. Ujemanje omenjenih žarišč zobne fluoroze s položajem večine pomembnih virov emisij (slika 3) potrjuje veliko primernost uporabljene metode za velikopovršinsko ugotavljanje onesnaženosti okolja s fluoridi.



Slika 2: Zmanjševanje stopnje zobne fluoroze srnjadi, izločene v letu 2007, z oddaljevanjem od tovarne aluminija Talum

Figure 2: Decrease of dental fluorosis in roe deer shot in 2007, with the increasing distance from the aluminium smelter Talum



Slika 3: Karta zobne fluoroze (tretji kvartil DLI) spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete v vzhodni Sloveniji leta 2007  
Figure 3: Map of dental fluorosis (third quartile of DLI) of roe deer mandibles taken from eastern Slovenia in 2007



## 4 Razprava

### 4 Discussion

V vzhodni Sloveniji izpostavljenost srnjadi fluoridom praviloma ne pomeni večjega tveganja za to živalsko vrsto, saj je le 15,6 % čeljusti srnjadi kazala znake zobne fluoroze. Ta delež je bistveno manjši, kot so ga v primerljivih raziskavah ugotovili na območju Saškega Rudogorja in Severne Šlezije na nemško-češki meji (KIERDORF / KIERDORF / SEDLÁČEK 1999, ZEMEK *et al.* 2006), kjer so zobno fluorozo zaznali pri 65,0 % (Nemčija) oz. 75,5 % (Češka) čeljusti srnjadi.

Znaki srednje oz. močne zobne fluoroze, ki lahko pomeni tudi skrajšanje pričakovane življenjske dobe srnjadi zaradi dolgotrajne in močne izpostavljenosti povišanim koncentracijam fluoridov v okolju (SCHULTZ *et al.* 1998, GARROTT *et al.* 2002, WEINSTEIN / DAVISON 2004), se pojavljajo pri manj kot 1 % vzorcev. Takšen delež je v primerjavi s podatki iz evropskega prostora (VIKØREN / STUVE 1996, KIERDORF / KIERDORF / SEDLÁČEK 1999, KIERDORF / KIERDORF 2000, ZEMEK *et al.* 2006) zelo majhen in v splošnem neproblematičen. Iz prikazane prostorske razporeditve zobne fluoroze (slika 3) lahko ugotovimo, da je pojav močnih oblik zobne fluoroze prostorsko skoncentriran na eno samo območje, in sicer Dravsko polje, ter v nekoliko manjši meri tudi Haloze, t.j. na območje v neposredni bližini največjega emitenta fluoridov v Sloveniji, tovarne aluminija Talum d.d. V vzhodni Sloveniji je torej le eno večje območje, ki je precej problematično v smislu onesnaženosti okolja s fluoridi (okolica Kidričevega; za podrobnejše podatke o DLI srnjadi v tem območju glej JELENKO / BIENELLI KALPIČ / POKORNY 2010) in je primerljivo z območji industrijsko precej onesnaženih delov centralne Evrope.

Poleg tega glavnega območja onesnaženosti s fluoridi se v določenih delih vzhodne Slovenije pojavljajo tudi manjša žarišča onesnaženosti, ki so vezana na: (i) določen točkovni vir onesnaženja, ki je ponekod potenciran z reliefom: Zasavje (Termoelektrarna Trbovlje, Lafarge Cement, Steklarna Hrastnik), okolica Rogaške Slatine (Steklarna Rogaška), Zgornja Mežiška dolina (MPI Reciklaža metalurgija), območje severno od Ljutomera (Tondach Slovenija); (ii) kotline oz. doline z visoko urbanizacijo, razvito industrijo in večjim deležem individualnih kurišč, kot je Celjska kotlina ter okolica Črnomlja; (iii) obmejna območja, katerih obremenjenost je lahko posledica daljinskega transporta fluoridov iz sosednjih držav, kot je skrajni jugovzhodni del Bele krajine (bližina industrijsko razvitega mesta Karlovac na Hrvaškem); (iv) območja, kjer vir fluoridov v okolje ni znan oz. ga je težko določiti, npr. okolica Planine pri Sevnici (obrat Tajfun Planina proizvodnja strojev ima povprečne letne emisije fluoridov v ozračje sicer pod 1 kg; ARSO 2009), okolica Loč pri Poljčanah, okolica Pesnice ter Kozjak severno od naselja Ožbalt (glej sliko 3). Zanimivo pa je, da se v Šaleški dolini (t.j. v okolici Termoelektrarne Šoštanj kot

drugega najpomembnejšega vira fluoridov v Sloveniji) zobna fluoroza pri srnjadi v zadnjih letih skoraj ne pojavlja, kar kaže tako na vpliv visokih dimnikov TEŠ in še zlasti na učinkovitost sanacijskih ukrepov po letu 1995. Po postavitvi razžvepljevalnih naprav na 4. in 5. bloku TEŠ je namreč stopnja zobne fluoroze srnjadi močno upadla, kar kažejo časovne analize čeljusti srnjadi, odvzete v Šaleški dolini v obdobju 1997-2008 (JELENKO / POKORNY 2009).

Vzroke za takšno razporeditev oz. lokalno pojavljanje zobne fluoroze pri srnjadi vzhodne Slovenije smo skušali poiskati s pomočjo GIS orodij, t.j. z iskanjem različnih individualnih in okoljskih dejavnikov (naravnih in antropogenih), ki najbolj vplivajo na pojavnost zobne fluoroze; podobno študijo, vendar prostorsko bistveno manj natančno, so predhodno napravili na Češkem (ZEMEK *et al.* 2006). Tako smo s statističnimi analizami (GRM-modelom) ugotovili, da ima največji vpliv na prostorsko razporeditev in intenziteto zobne fluoroze srnjadi iz vzhodne Slovenije oddaljenost od tovarne aluminija v Kidričevem (spremenljivka TALUM\_ODD), ki pojasnjuje 94,6 % skupne variance. Torej ima na samo izpostavljenost srnjadi fluoridom, ki se kaže s pojavom zobne fluoroze, daleč največji vpliv količina emitiranih fluoridov oz. oddaljenost od pomembnih virov emisij. Od treh najpomembnejših virov fluoridov v Sloveniji namreč prisotnost in jakost zobne fluoroze pojasnjuje le bližina zelo velikega vira emisij (v našem primeru Talum), ki ostala dva pomembnejša vira (TEŠ in TET) presega za 4,5-krat oz. 14-krat. Ugotovitev je skladna s prejšnjimi dognanji, in sicer, da je dejanski problem pojavljanja zobne fluoroze pri srnjadi zaznan le v okolici tega velikega vira emisij (JELENKO / POKORNY 2009). Te ugotovitve so primerljive tudi z ugotovitvami omenjene raziskave na Češkem, kjer se je močna zobna fluoroza srnjadi pojavljala ravno v okolici največjih virov emisij (ZEMEK *et al.* 2006).

Največja obremenjenost ekosistemov s fluoridi se torej pojavlja v neposredni bližini samega (glavnega) vira. Vendar se vplivi Taluma kažejo na bistveno večji razdalji, kot smo predpostavljali na osnovi podatkov iz literature (WEINSTEIN / DAVISON 2004). Razlog za bistveno daljši vpliv je verjetno v strukturi pokrajine oz. v vegetaciji, saj v okolici Kidričevega prevladuje nižinski svet, odprt proti severovzhodu in jugozahodu, kamor se z vetrovi prenašajo tudi emitirani fluoridi; vetrovi so namreč pomemben okoljski dejavnik, ki vpliva na imisije teh snovi (*ibid.*). Poleg tega je Dravsko polje območje intenzivnega kmetijstva z majhnim deležem gozda; le-ta bi lahko prestregel del imisij fluoridov iz ozračja. Puferski vpliv gozda v smislu prestrežanja fluoridov potrjuje tudi dokazani vpliv spremenljivke najbližja oddaljenost od negozdnih površin, in sicer smo večje DLI zaznali pri osebkih, ki so živeli zunaj gozda. Zaradi zahodne zračne cirkulacije, ki je značilnost celotne Slovenije, so s fluoridi obremenjeni tudi ekosistemi Haloze (vzhodno in jugovzhodno od Taluma), vendar je zobna fluoroza srnjadi tu nekoliko manj izrazita, saj so Haloze v večji meri poraščene z gozdom.

Tretja spremenljivka (individualna), ki vpliva na stopnjo zobne fluoroze srnjadi, je starost osebka. Zobna fluoroza pri srnjadi nastane praviloma le v starosti do 14 mesecev, ko se zaključi proces rasti in menjave zobovja (KRŽE 2000). V procesu sekundarne oziroma terciarne mineralizacije se sicer fluoridni ioni s starostjo lahko dodatno inkorporirajo v zobovino (a ne sklenino), vendar je ta proces manj intenziven (PINDBORG 1970), zaradi česar bi le izjemno velike količine fluoridov v okolju lahko prispevale k povečevanju stopnje zobne fluoroze s starostjo. O razlikah v stopnji zobne fluoroze pri različno starih osebkih srnjadi in jelenjadi poročajo tudi iz drugih območij (KIERDORF / KIERDORF / SEDLÁČEK 1999, KIERDORF / KIERDORF 2000, ZEMEK *et al.* 2006), kjer starostno pogojene razlike praviloma niso posledica dodatnega odlaganja fluoridov v zobno tkivo, temveč so posledica časovnih sprememb v onesnaženosti okolja (KIERDORF / KIERDORF / SEDLÁČEK 1999). Te razlike torej pomenijo različno obremenjenost nekega okolja s fluoridi v različnih letih, t.j. v času formacije in rasti zobovja posameznega osebka. Kot taka je torej zobna fluoroza bioindikator ne trenutne, ampak pretekle izpostavljenosti fluoridom (FEJERSKOV *et al.* 1994, AOBA / FEJERSKOV 2002). Na podlagi naših rezultatov in z upoštevanjem starostne strukture obravnavanih osebkov je očitno, da se je obremenjenost okolja s fluoridi v obravnavanem območju vzhodne Slovenije v obdobju od sredine 90-ih let 20. stoletja do leta 2005 zmanjševala, kar nakazujejo višje stopnje zobne fluoroze pri starejših osebkih v primerjavi z mlajšimi.

Na pojavljanje zobne fluoroze (tako prostorsko kot tudi v smislu njene jakosti) ima največji vpliv sama količina emisij, ki pa ni vedno poglaviti dejavnik. Poleg emisij so pomembni okoljski dejavniki še relief (doline, kotline, nadmorska višina), gozdnatost in prevladujoče smeri vetrov. Zaradi tega posamezni dokaj veliki točkovni viri emisij fluoridov nimajo občutnega negativnega vpliva na okolje v smislu obremenjevanja življenjske združbe s fluoridi (npr. TEŠ in ostali viri v Šaleški dolini, Impol Slovenska Bistrica, Mariborska livarna, TDR Metalurgija Ruše). Nasprotno lahko imajo določeni manjši viri poudarjen vpliv na okolje v svoji neposredni bližini; rahlo povečana stopnja zobne fluoroze se lahko tako lokalno pojavlja tudi na nekaterih območjih, kjer tega ne bi pričakovali (slika 3). Očitno je torej, da je zgolj na podlagi kemičnih meritev anorganskih medijev, t.j. poznanih emisij, imisije fluoridov v ekosisteme oz. obremenjenost okolja s temi onesnažili težko napovedati oz. so takšne napovedi praviloma le lokalno veljavne. Slednje poudarja izreden pomen biomonitoringov, še zlasti tistih, ki temeljijo na odzivih osebkov, kot je npr. s pomočjo čeljusti srnjadi oz. z določitvijo stopnje zobne fluoroze. Tako je namreč možno prepoznati posamezna območja onesnaženosti, ki bi jih drugače lahko prezrli.

## 5 Summary

### 5 Povzetek

Increased concentrations of fluorides in the environment have a negative impact on organisms due to their toxic impact and the fact that they act mostly on skeleton (osteofluorosis) and/or teeth (dental fluorosis). Environmental pollution with fluorides in Slovenia has not yet been intensely studied, therefore we decided to perform a wide-ranged biomonitoring of the entire eastern Slovenia, by assessing dental fluorosis in roe deer mandibles taken from 10 hunting Management Districts in 2007 (274 hunting grounds). The main research goals were as follows: (i) to establish the differences in the appearance and distribution of dental fluorosis in roe deer from different areas of eastern Slovenia; (ii) to define the impact of the main sources of fluorides in eastern Slovenia on the appearance and distribution of dental fluorosis; (iii) to determine the most important environmental factors that have an impact on the appearance and severity of dental fluorosis using GIS and statistical analyses.

We scored dental fluorosis on 10,081 roe deer mandibles, but only 7,158 of them were appropriately labelled, and therefore suitable for further GIS and statistical analyses. We tried to discover the most important anthropogenic and/or natural factors that have the main impact on the severity of dental fluorosis. We georeferenced data on dental fluorosis and data of different environmental factors: F\_MOD – model emissions from 21 point sources of fluorides in the region; F\_ODD – distance from the three main point sources of fluorides; TALUM\_ODD – distance from the most important source of fluorides (aluminium plant Talum); PADAV – average precipitation; GOZD% – forest share; ODD\_NEG – distance from the nearest forest edge; URB% – share of the urbanized area; ODD\_URB – distance from the nearest urban area; PEDOL – soil type and the GEOL – bedrock type, respectively. For this assessment we used the parametrical GRM model with the use of the Forward Stepwise method. We made a detailed map of the appearance of dental fluorosis in roe deer from eastern Slovenia, which shows the local impact of fluorides on roe deer population.

The majority of analysed samples showed no dental fluorosis (84%). Samples that are affected have mainly only slight fluorosis (15%), and less than 1% of the samples show moderate or even severe level of dental fluorosis. This indicates that Slovenia is generally less polluted with fluorides in comparison with some other European regions.

The GRM model revealed that only three variables have an impact on the distribution of dental fluorosis. The most important variable is the distance from the aluminium smelter, which describes 94.6% of the total variance. The other two variables are the age of the animal (5% of the total variance) and the distance from the nearest forest

edge (0.7% of the total variance). The latter suggests that the forest cover can intercept some of the atmospheric fluorides.

Both, the map and the analysis, revealed that Slovenia has one area of intensive fluoride pollution; it is located in the vicinity of the major fluoride source (aluminium smelter) that has the most important influence on the occurrence of dental fluorosis in roe deer. Besides, there are some small locally important hot spots, where dental fluorosis is present. Main factors that influence such a distribution are mainly local sources of fluorides, geomorphological features, winds and the absence of forest.

The variable age of the animal has no influence on the geographical distribution of dental enamel fluorosis. However, due to the specific characteristic of this disease, which develops only during tooth formation, it is the bioindicator of past pollution of a precise yearly period. Our results therefore revealed a decline of the environmental pollution with fluorides in eastern Slovenia in the period from the mid-1990s (when the oldest animals included in our study were born) to the year 2005.

This research has, in comparison with other researches of environmental pollution, some important advantages, such as: (i) extremely high number of samples; (ii) very high resolution of all included factors; (iii) the research area is systematically and entirely covered; (iv) representativeness of samples is assured.

With this research we stressed the huge importance of the system of collecting mandibles of roe deer and other ungulates, with the aim of verifying the management system of these species. Moreover, we established the importance of these mandibles also for the scientific and/or research purposes, for on the basis of this system the extremely important regional or even national biomonitoring can be carried out at very low costs.

## 6 Zahvala

### 6 Acknowledgment

Raziskava je bila v okviru projekta »Čeljusti srnjadi kot kazalec kakovosti življenjskega okolja in pripomoček za upravljanje s populacijami« podprta s strani Agencije Republike Slovenije za raziskovalno dejavnost (št. projekta L7-0026), Termoelektrarne Šoštanj (št. projekta 85-08-VSO) ter Lovske zveze Slovenije.

## 7 Viri

### 7 References

ADAMIČ, M. / JERINA, K., 2010. Ungulates and their management in Slovenia. V: APOLLONIO, M. / ANDERSEN, R. / PUTMAN, R. (ur.). European ungulates and their management in the 21st century.- Cambridge, New

- York, Cambridge University Press, s. 507-526.
- AOBA, T. / FEJERSKOV, O., 2002. Dental Fluorosis: Chemistry and Biology.- Crit Rev Oral Biol Med, 13,2: 155-170.
- ARSO, 2004. Povprečna letna količina padavin. URL: <http://gis.arso.gov.si/>
- ARSO, 2009. Emisije, zrak. URL: <http://www.arso.gov.si/podrocja/industrijskoonesnazevanje/podatki/EmisijeZrak>.
- BERIČNIK VRBOVŠEK, J., 2001. Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji. DP-9/02/01.- Velenje, ERICo Velenje, 36 s.
- BERIČNIK VRBOVŠEK, J., 2002. Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji. DP-16/02/02.- Velenje, ERICo Velenje, 34 s.
- DEN BESTEN, P. K., 1994. Dental fluorosis: its use as a biomarker. Advances in Dental tissue effects of fluoride.- Adv Dent Res, 8: 105-110.
- DILLON, W. R. / GOLDSTEIN, M., 1984. Multivariate Analysis. Methods and Applications.- New York, Wiley, 587 s.
- FEJERSKOV, O. / LARSEN, M. J. / RICHARDS, A. / BAELUM, V., 1994. Dental tissue effects of fluoride.- Adv Dent Res, 8: 15-31.
- FORDYCE, F. M. / VRANA, K. / ZHOVINSKY, E. / POVOROZNUK, V. / TOTH, G. / HOPE, B. C. / ILJINSKY, U. / BAKER J., 2007. A health risk assessment for fluoride in Central Europe.- Environ Geochem Health, 29:83-102.
- GARROTT, R. A. / EBERHARDT, L. L. / OTTON, J. K. / WHITE, P. J. / CHAFFEE, M. A., 2002. A Geochemical Trophic Cascade in Yellowstone's Geothermal Environments.- Ecosystems, 5: 659-666.
- GZS, 2009. Digitalna osnovna geološka karta Slovenije. <http://www.geo-zs.si/podrocje.aspx?id=125>
- JELENKO, I. / POKORNY, B., 2009. Čeljusti srnjadi kot bioindikator onesnaženosti okolja in pripomoček za upravljanje s populacijami. DP-20/02/09.- Velenje, ERICo Velenje, 111. s.
- JELENKO, I. / BIENELLI KALPIČ, A. / POKORNY, B., 2010. Bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi z uporabo čeljusti srnjadi (*Capreolus capreolus* L.): stanje in perspektive.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 92: 3-20.
- JERINA, K., 2006. Prostorska razporeditev, območja aktivnosti in telesna masa jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) glede na okoljske dejavnike. Doktorska disertacija.- Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 172 s.
- KIERDORF, U. / KIERDORF, H., 1999. Dental fluorosis in wild deer: its use as a biomarker of increased fluoride exposure.- Environ Monit Assess, 57: 265-175.
- KIERDORF, U. / KIERDORF, H., 2000. Comparative analysis of dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus*) and red deer (*Cervus elaphus*): interdental variation and species differences.- J Zool, 250: 87-93.
- KIERDORF, U. / KIERDORF, H., FEJERSKOV, O., 1993. Fluoride-induced developmental changes in enamel and dentine of European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) as a result of environmental pollution.- Arch Oral Biol, 38: 1071-1081.
- KIERDORF, H. / KIERDORF, U. / SEDLÁČEK, F., 1999. Monitoring regional fluoride pollution in the Saxonian Ore mountains (Germany) using the biomarker dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus* L.).- Sci Total Environ

- Contam, 232: 159-168.
- KINNUNEN, H. / HOLOPAINEN, T. / RÄISÄNEN, M. L. / KÄRENLAMPI, L., 2003. Fluoride in birch leaves, ground vegetation, litter and humus in the surroundings of a fertilizer plant and apatite mine in siilinjärvi, eastern Finland.- *Boreal Environment Research*, 8: 185-192.
- KRŽE, B., 2000. Srnjad: biologija, gojitev, ekologija.- Ljubljana, Lovska zveza Slovenije, Zlatorogova knjižica, 271 s.
- LZS, 2009. Statistični podatki lovskih organizacij Slovenije za leto 2007. Lovska zveza Slovenije (neobjavljeno).
- MKGP, 2000. URL: <http://rkg.gov.si/GERK/>
- MKGP, 2009. Grafični in pisni podatki Pedološke karte in pedoloških profilov. Ministrstvo za Kmetijstvo gozdarstvo in prehrano. URL: <http://rkg.gov.si/GERK/>
- NOTCUTT, G. / DAVIES, F., 2001. Environmental accumulation of airborne fluorides in Romania.- *Environmental Geochemistry and Health*, 23: 43-51.
- OZSVATH, D. L., 2009. Fluoride and environmental health: A review.- *Rev Environ Sci Biotechnol*, 8: 59-79.
- PINDBORG, J.J., 1970. Pathology of the Dental Hard Tissues. Copenhagen, Munksgaard, 445 s.
- POKORNY, B. / JUSTIN, B., 2004. Srnjad kot bioindikator onesnaženosti okolja z anorganskimi onesnažili. DP-25/02/04.- Velenje, ERICo Velenje, 44 s.
- POKORNY, B., 2006. Retrospektivni biomonitoring onesnaženosti ekosistemov Šaleške doline s svincem in fluoridi z uporabo rogovja srnjakov.- *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 80: 65-80.
- RICHTER, H. / KIERDORF, U. / RICHARDS, A. / KIERDORF, H., 2010. Dentin abnormalities in cheek teeth of wild red deer and roe deer from a fluoride-polluted area in Central Europe.- *Annals of Anatomy*, v tisku.
- SCHULTZ, M. / KIERDORF, U. / SEDLÁČEK, F. / KIERDORF, H., 1998. Pathological bone changes in the mandibles of wild red deer (*Cervus elaphus*) exposed to high environmental levels of fluoride.- *J Anatom*, 193: 431-442.
- STERGAR, M. / BUT, D. / SAMEC, J. / JONOZOVIČ, M. / JERINA, K., 2009. Območja razširjenosti in lokalne gostote parkljarjev v Sloveniji.- *Lovec*, 97, 11: 546-550.
- TATARUCH, F. / KIERDORF, H., 2003. Mammals as biomonitors. V: MARKERT, B. A., BREURE, A. M. / ZECHMEISTER, H. G. (ur.). *Bioindicators & biomonitors: principles, concepts and applications*.- Amsterdam, Elsevier Science, s. 737-772.
- VIKØREN, T. / STUVE, G., 1996. Fluoride exposure in cervids inhabiting areas adjacent to aluminium smelters in Norway: II. Fluorosis.- *J Wildl Diseases*, 32: 181-189.
- VIRJENT, Š. / JERINA, K., 2004. Osrednji slovenski register velike lovne divjadi in velikih zveri v sklopu novega lovsko-informacijskega sistema.- *Lovec*, 86: 280-281.
- WEINSTEIN, L. H. / DAVISON, A. 2004. Fluorides in the Environment. Effects on Plants and animals.- Cambridge, CABI Publishing, 287 s.
- WHO, 2002. Fluorides. Environmental Health Criteria 227. URL: <http://www.inchem.org/documents/>
- ZEMEK, F. / HERMAN, M. / KIERDORF, H. / KIERDORF, U. / SEDLÁČEK, F., 2006. Spatial distribution of dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus*) from North Bohemia (Czech Republic) and its relationships with environmental factors.- *Sci Total Environ*, 370,2-3: 491-505.
- ZGS, 2009. Statistični podatki o odvzemu divjadi za leto 2007. Zavod za gozdove Slovenije (neobjavljeno).
- ZUPAN, M. / GRČMAN, H. / LOBNIK, F., 2008. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije.- Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 63 s.