

## Temperaturna odvisnost razgradnje opada v tleh travnikov v zaraščanju

Marjetka SUHADOLC<sup>1\*</sup>, Zalika ČREPINŠEK<sup>1</sup>

Received January 28, 2018; accepted March 03, 2018.

Delo je prispejelo 28. januarja 2018, sprejeto 03. marca 2018.

### IZVLEČEK

Namen raziskave je bil ugotoviti, ali lahko dvig temperature, ki je predviden v projekcijah podnebnih sprememb, pospeši razgradnjo opada v tleh travnikov v zaraščanju. Poskus smo izvedli v naravnih razmerah na lokacijah Bohinj-Polje in Uskovnica s podobnimi okoljskimi razmerami (padavine, matična podlaga in razvoj tal, rastlinske združbe), ter razliko v temperaturah zraka. Povprečne mesečne temperature med poskusom so bile v Bohinju za 4,4 °C ( $\pm 1,5$  °C) višje kot na Uskovnici. Jeseni 2007 smo na obeh lokacijah v Of horizont talnega profila vstavili mrežaste najlonske vrečke, v katerih je bila mešanica rastlinskega opada z obeh lokacij. Vrečke z opadom smo vzorčili zaporedno v 4 terminih do maja 2009 v 5 ponovitvah. Razgradnja opada, izražena z izgubo mase, je bila v celotnem obdobju raziskave 57,1  $\pm$  1,2 % (0 - 526 dni) v Bohinju oz. 57,3  $\pm$  2,6 % (0 - 555 dni) na Uskovnici. Med lokacijama nismo ugotovili statistično značilnih razlik v hitrosti razgradnje opada in sezonskem vzorcu zmanjševanja mase. Dinamika skupne vsebnosti celuloze in lignina, Corg in N ter njihovih topnih oblik (DOC in DON) je bila med lokacijama prav tako podobna. Vsebnost lignina v rastlinskem opadu se v času našega poskusa ni statistično značilno spreminjala. Rezultati poskusa niso potrdili vpliva razlike v povprečni mesečni temperaturi zraka med lokacijama na hitrost razgradnje opada.

**Ključne besede:** podnebne spremembe; organska snov tal; kroženje ogljika; hitrost razgradnje; lignin

### ABSTRACT

#### LITTER DECOMPOSITION IN SOILS OF OVERGROWN GRASSLANDS IN DEPENDANCE OF TEMPERATURE

The aim of the study was to examine whether the effect of projected temperature rises due to the global climate change could accelerate plant litter decomposition in soils of overgrown grasslands. The experiment was carried out under natural conditions at the locations of Bohinj-Polje and Uskovnica with similar environmental conditions (precipitation, parent material and soil development, plant communities) and the difference in air temperatures. The average difference in monthly air temperatures during our study were higher in Bohinj for 4.4 °C ( $\pm 1.5$  °C) than in Uskovnica. Nylon mesh bags with mixed plant litter from both locations were placed into the Of horizon of the soil profiles at both locations in autumn 2007. The litter bags were sampled successively at 4 sampling times until May 2009 in 5 replicates. The litter degradation, expressed as mass loss, was throughout our study 57.1  $\pm$  1.2 % (0 - 526 days) in Bohinj, 57.3  $\pm$  2.6 % (0 - 555 days) at Uskovnica. No statistically significant differences in litter decomposition rate and seasonal pattern of mass loss was found between the sites. The dynamics of the total content of cellulose and lignin, Corg and N and their soluble forms (DOC and DON) were similar between the sites as well. The lignin content in the plant material did not statistically significantly change during the experiment. The results of our experiment did not confirm the effect of the difference in average air temperature on decomposition rate decreases. The results did not confirm any effect from the difference in the average monthly air temperature between the sites on the plant litter decomposition in our study.

**Key words:** climate change; soil organic matter; carbon cycling; decomposition rate; lignin

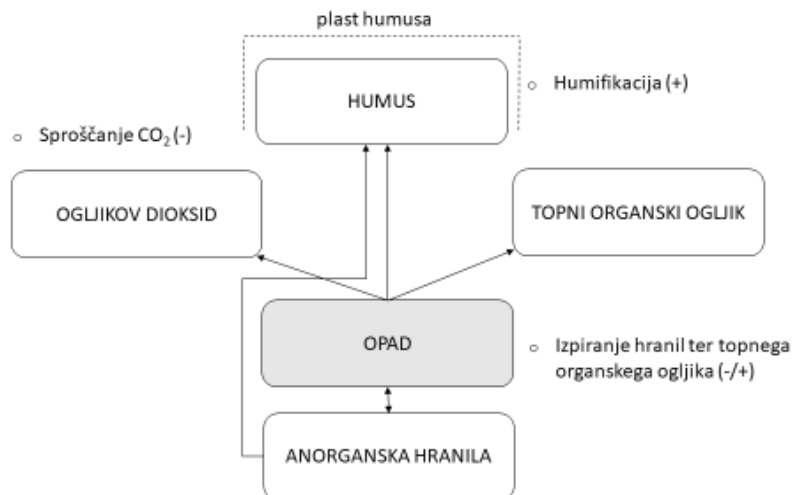
<sup>1</sup> doc. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101, Slovenia; \*Corresponding author, email: marjetka.suhadolc@bf.uni-lj.si

## 1 UVOD

Slovenija se nahaja v geografskih širinah, kjer lahko glede na modele globalnega kroženja ozračja pričakujemo hitrejšo in izrazitejšo ogrevanje kot v svetovnem povprečju (Kajfež Bogataj in sod., 2010). Območje Alp se segreva še nekoliko hitreje od ostale Evrope (Okolje se ..., 2010). Rezultati IPCC poročila (IPCC, 2014) kažejo, da lahko do konca 21. stoletja pričakujemo zaradi dosedanjih in prihodnjih izpustov toplogrednih plinov globalno ogrevanje med 1,1 in 4,8 °C glede na povprečne razmere v obdobju 1986-2005, odvisno od tega, kateri izmed scenarijev izpustov toplogrednih plinov in delcev se bo v prihodnje uresničil. V Sloveniji se je v obdobju 1951-2000 temperatura zraka zvišala za 1,1 °C, v zadnjih 30 letih pa je ogrevanje preseгло mejo 1,5 °C (Kajfež Bogataj in sod., 2010). V skladu s predvidenim segrevanjem po celotni Evropi tudi scenariji značilnega poteka vsebnosti toplogrednih plinov v Sloveniji do leta 2100 predvidevajo naraščanje temperatur, s srednjim razponom od 1 do 4 °C in sicer RCP2.6 za 1 °C, RCP4.5 za približno 2 °C in RCP8.5 za 4 °C (Ocena podnebnih ..., 2017). Z globalnim dvigom temperature zraka in spremembami ostalih podnebnih dejavnikov, npr. trajanjem in debelino snežne odeje, se zvišujejo tudi temperature tal (Houle in sod., 2012), kar vpliva na hitrost razgradnje organskih ostankov (Dar, 2010). Pogačar in sod. (2018) so ugotovili, da se tla v zadnjih letih ogrevajo tudi v Sloveniji, statistično značilen trend naraščanja letne temperature tal znaša med 0,62 in 0,76 °C/10 let, trendi naraščanja pa so večji v toplejšem delu leta. Med možnimi odzivi kopenskih ekosistemov na povišanje globalne temperature je poleg sprememb v rastlinski sestavi tudi povečana hitrost mineralizacije organske snovi v tleh, kar lahko vodi do degradacije tal, posebno zmanjšanja vsebnosti organske snovi, kar zmanjšuje obstojnost strukturnih agregatov in posledično povečuje občutljivost tal za erozijo.

Razgradnja organskih ostankov (na primer, rastlinskega opada) je sestavni in nujni del procesov globalnega kroženja ogljika (C) in hranil, ki vodi tako do sproščanja ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>) v ozračje in lahko-topnih C spojin v talno raztopino, kot tudi do vzporednega preoblikovanja organskih ostankov v bolj stabilne oblike in povezovanja z mineralnim delom tal humifikacija. Humus izboljšuje rodovitnost tal in pomeni dolgoročno zalogo C v tleh (skladiščenje ogljika) (Slika 1). Hitrost razgradnje lahko opišemo z izgubo mase opada, ki ga v naravnih ekosistemih dobro opisuje negativni eksponentni model, še posebno v prvi fazi razgradnje, ko so na voljo lahko razgradljive C spojine (sladkorji in aminokisljine), sledi razgradnja srednje labilnih in najbolj zastopanih spojin (celuloze in hemiceluloz), najobstojnejši strukturni material je lignin. Izgubo mase opada in nastajanje humusa uravnava set kompleksnih in medsebojno povezanih dejavnikov, med katerimi lahko izpostavimo kemijsko sestavo opada, podnebje, dostopnost hranil, sestavo mikrobnih združb, ter specifične dejavnike mikrolokacije (pregled v Berg in McClaugherty, 2014).

Z raziskavo smo želeli ugotoviti, ali lahko dvig temperature zaradi globalnih podnebnih sprememb, pospeši razgradnjo opada v tleh travnikov v zaraščanju, ter posledično vpliva na kroženje C v kopenskih ekosistemih. Poskus smo izvedli v naravnih razmerah na lokacijah Bohinj in Uskovnica, ki imata podobne okoljske razmere za razgradnjo opada (padavine, matična podlaga in razvoj tal, rastlinske združbe), ter razliko v temperaturah zraka okrog 4 °C, kakršne so tudi projekcije povečanja letnih temperatur zraka v primeru uresničitve najbolj pesimističnega scenarija za Slovenijo do leta 2060.



**Slika 1:** Razgradnja opada in pretvorbe C spojin (modificirano po Berg in McClaugherty, 2014)

**Figure 1:** Litter decomposition and conversion of C compounds (modified after Berg and McClaugherty, 2014)

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2.1 Lokaciji poskusa

Bohinj-Polje in Uskovnica. se zaradi različne nadmorske višine (599 in 1138 m n.m.v.) razlikujeta v povprečnih dolgoletnih temperaturah, po količini in razporedu padavin pa sta si podobni (ARSO, 2017). Mikrolokaciji poskusa sta si podobni tudi po rabi tal in rastlinski sestavi, topografiji in matični podlagi. V obeh primerih gre za zaraščen, grbinasti travnik oziroma opuščeni pašnik. Matična podlaga na obeh lokacijah je karbonatna morena, na kateri se je razvila rendzina. Površinski Ah horizont je v obeh primerih zelo močno humozen, z meljasto ilovnato teksturo, določeno s sedimentacijsko pipetno metodo (ISO 11277, 2009), ter s podobnim pH (5,4 v Bohinju in 5,1 na Uskovnici), določenim po ekstrakciji tal z 0,01 mol l<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> (SIST ISO 10390, 2005), ki se z globino povečuje. Na zakisanost oz. izpranost bazičnih kationov v zgornjem horizontu tal nakazuje tudi popis rastlin. Rastlinska združba na lokaciji v Bohinju je bila uvrščena v *Mesobrometum erecti* Koch 1926 (zveza: *Bromion erecti*, razred: *Festuco-Brometea*), na Uskovnici pa je združba nekoliko bolj prehodna in sicer med zvezami *Bromion erecti* in *Seslerio-Mesobromion* (Eler, osebna komunikacija).

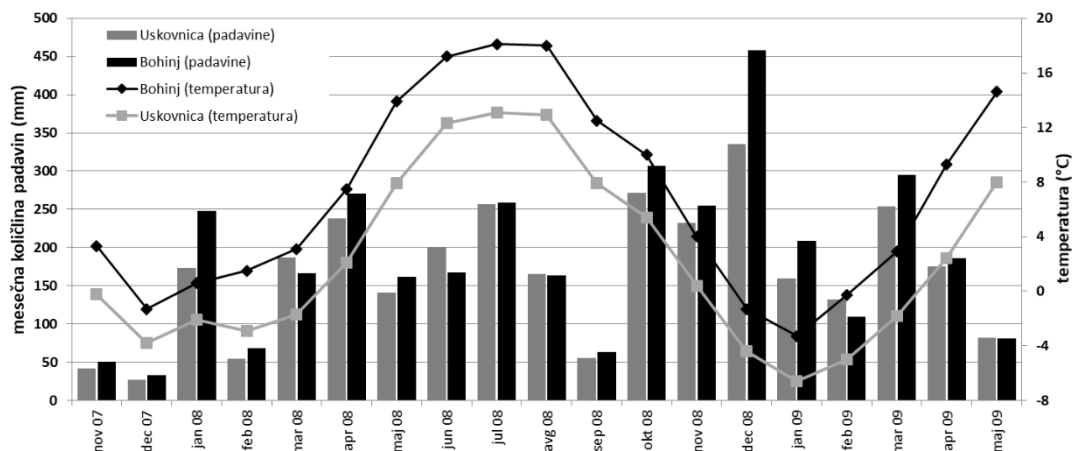
### 2.2 Zasnova poskusa

Jeseni 2007 smo na obeh mikrolokacijah nabrali rastlinski opad (trave in zeli tekoče rastne sezone), ga posušili na 35 °C, narezali na 0,5-1 cm dolžine in premešali v razmerju 1:1. V najlonske mrežaste vrečke

z odprtlinami 0,04 x 0,04 mm smo dali mešanico opada z okvirno težo 10 g, ter vsako natančno stekali. Vrečke z opadom smo 29.10.2007 na obeh lokacijah vgradili v Of horizont (2-3 cm od vrha tal). Skupaj smo pripravili 40 vrečk (2 lokaciji x 4 vzorčenja x 5 ponovitve).

### 2.3 Temperatura in padavine v času poskusa

V času trajanja poskusa je bilo povprečje mesečnih povprečnih temperatur zraka 6,9 °C v Bohinju in 2,3 °C na Uskovnici (Slika 2). Najtoplejša meseca sta bila na obeh lokacijah julij in avgust 2008, s povprečno temperaturo zraka v Bohinju 18,0 °C, na Uskovnici pa 13,0 °C. Najhladnejši mesec je bil januar 2009 s povprečno mesečno T v Bohinju -3,3 °C, na Uskovnici je dosegla -6,6 °C. V obdobju 1981-2010 je bila povprečna letna vsota padavin na izbranih lokacijah podobna, na padavinski postaji Bohinjska Bistrica (Bohinj) 2065 mm, v Gorjušah (Uskovnica) pa 1870 mm (ARSO, 2017). V času trajanja poskusa je bila skupna količina padavin v Bohinju 3548,7 mm, oz. povprečno mesečno 186,8 mm, na Uskovnici 3181,4 mm, oz. povprečno mesečno 167,4 mm. Leto 2008 je bilo na obeh lokacijah med bolj mokrimi leti zadnjega obdobja (2584 in 2309,8 mm). Največ padavin je bilo decembra 2008, medtem ko je bil december 2007 najbolj sušen mesec (32,5 in 27,4 mm) (Slika 2). Na lokaciji v Bohinju je padlo več padavin kot na Uskovnici, predvsem v bolj mokrih mesecih. Dinamika padavin je med lokacijama podobna.



**Slika 2:** Povprečne mesečne temperature zraka (°C)/padavine (mm) od novembra 2007 do maja 2009 (ARSO, 2017)

**Figure 2:** Average monthly air temperatures (°C)/precipitation (mm) from November 2007 to May 2009 (ARSO, 2017)

#### 2.4 Spremljanje razgradnje opada

Vrečke smo pobirali sukcesivno: 2 tedna po vgradnji, 6 mesecev po vgradnji (oz. 2-3 tedne po snegu), 8 mesecev po vgradnji (10 tednov po snegu), ter 17. oz. 18 mesecev po vgradnji (2-3 tedne po snegu). Poskus je potekal od oktobra 2007 do maja 2009. Vrečke z opadom smo po vzorčenju sušili 96 ur pri 70 °C, nato ohladili v eksikatorju ter določili maso, ter jo izrazili v % začetne teže ob vgradnji. Rastlinski material smo zmleli in shranili pri sobni temperaturi za nadaljnje analize. Vsebnost suhe snovi v rastlinskem materialu smo določili s sušenjem na 105 °C.

Vsebnost celuloze in lignina v rastlinskem materialu je bila določena po metodi za določanje vlaken netopnih v kislem detergentu (KDV) in metodi za določanje v kislem detergentu netopnega lignina (KDL) na Oddelku za Zootehniko Biotehniške fakultete (Lavrenčič, 2003). Rezultat KDL nam poda oceno vsebnosti lignina v materialu, razlika med KDV ( $\text{g kg}^{-1}$ ) in KDL ( $\text{g kg}^{-1}$ ) pa nam poda oceno vsebnosti celuloze.

Skupno vsebnost ogljika (%) in skupno vsebnost dušika (%) smo v rastlinskem materialu ( $0,3 \text{ g}$ ) določili po sežigu pri 900 °C na elementnem CNS analizatorju

(VarioMAX, Elementar). Topne oblike C in N (DOC in DON) smo določili z ekstrakcijo rastlinskih vzorcev ( $0,5 \text{ g}$ ) z  $0,01 \text{ M CaCl}_2$  (10 ml) (Houba, 1986). Ekstrakcija je potekala s stresanjem 20 minut, nato smo vzorce 30 min centrifugirali pri  $4000 \text{ obratih min}^{-1}$ . Ekstrakt smo vakuumsko filtrirali skozi filter premera  $0,4 \mu\text{m}$  (Whatman Nr. 111207 PC MB 50 mm). Ekstrate smo shranili v zamrzovalnik do določitve C in N. Nadaljnje analize so bile izvedene na Tehnični Univerzi v Münchenu, na katedri za talno ekologijo. Skupni C v ekstraktu rastlinskega opada (DOC,  $\text{g C kg}^{-1}$  SS opada) smo določili s TC analizatorjem (DIMATEC, Germany). Amonijski, nitratni in skupni dušik ( $\text{g N kg}^{-1}$  SS opada) smo določili fotometrično na analizatorju s kontinuiranim pretokom (Skalar Analytical, The Netherlands). Topni organski dušik (DON,  $\text{g N kg}^{-1}$  SS opada) smo izračunali iz razlike med skupnim N in mineralnimi oblikami N.

#### 2.5 Obdelava podatkov

Rezultate poskusov smo analizirali z analizo kovariance (ANOVA) z uporabo SPSS paketa, trendne črte (modelirane vrednosti) smo prikazali z eksponentnim modelom.

### 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Razgradnja opada je kompleksen proces, v katerem se prepletajo fizikalni, kemijski in biološki procesi, izguba mase opada, ki smo jo spremljali v naši študiji, odraža skupni, agregirani rezultat (Welsch in Yavitt, 2003).

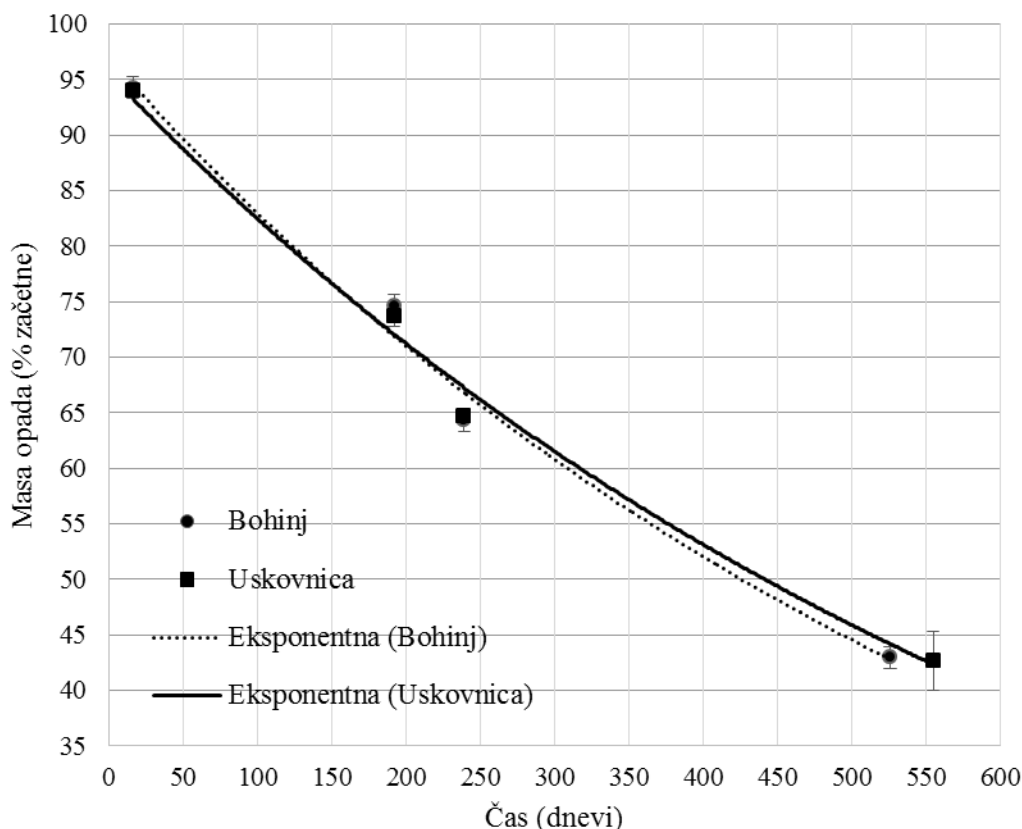
#### 3.1 Izguba mase opada

V času naše študije, od vgradnje vrečk z rastlinskim opadom 29.10.2007 do zadnjega vzorčenja 6.5.2009,

statistično značilnih razlik med lokacijama v hitrosti in poteku razgradnje nismo ugotovili (Slika 3). Podobno kot v drugih študijah je bila izguba mase opada največja v prvih tednih po vgradnji (pregled v Berg in McClaugherty, 2014; Santonja in sod., 2015; Duan in sod., 2018), v Bohinju je znašala  $5,7 \pm 0,3$  odstotnih točk in na Uskovnici  $6,1 \pm 0,6$  odstotnih točk. V prvih šestih mesecih smo ugotovili zmanjšanje mase za 25,4

$\pm 1,1$  odstotnih točk v Bohinju oz.  $26,3 \pm 0,9$  odstotnih točk na Uskovnici. Zanimivo je, da razlik v razgradnji opada med lokacijama ni bilo, čeprav so bile razlike v temperaturi zraka med lokacijama precejšnje (Slika 2). Na Uskovnici so bile na primer temperature zraka pod lediščem vse do začetnih dni v aprilu, v Bohinju pa le do konca februarja. Posledično je bila tudi pokritost s snežno odejo daljša na Uskovnici, spomladi 2008 za teden dni dlje, spomladi 2009 pa celo tri tedne dlje v primerjavi z Bohinjem. Sneg ima sicer tudi izolativno vlogo ter je na ta način lahko regulator procesov v tleh. Preprečuje zamrznitev talne vode in na ta način omogoča mikrobnogo pogojeno razgradnjo organskih ostankov tudi pod snežno odejo. V pozni pomladi smo pričakovano zaznali povečano razgradnjo zaradi višjih temperatur zraka, ki so ugodno vplivale na mikrobn

aktivnost. Dolgoletna povprečna majska temperatura zraka za Bohinj znaša  $12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maja 2008 je znašala  $13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maja 2009 pa kar  $14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Masa opada se je, na primer, med drugim in tretjim vzorčenjem zmanjšala za  $10,3$  odstotnih točk v Bohinju in za  $9,0$  odstotnih točk na Uskovnici, vendarle pa je razlika v izgubi mase opada med lokacijama le  $1$  odstotna točka, čeprav so bile povprečne temperature zraka v Bohinju aprila 2008 za  $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in maja 2008 za  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  višje kot na Uskovnici. Razgradnja opada se je nato pričakovano upočasnila zaradi spremenjene kemijske sestave preostalega rastlinskega materiala (Sliki 4, 5). Do konca naše raziskave se je razgradilo  $57,1 \pm 1,2\%$  (0 - 526 dni) v Bohinju oz.  $57,3 \pm 2,6\%$  (0 - 555 dni) na Uskovnici začetne (vgrajene) mase opada (Slika 3).



**Slika 3:** Izguba mase opada od novembra 2007 do maja 2009 na lokacijah Bohinj in Uskovnica. Prikazana so povprečja in standardni odkloni 5 ponovitev (preostale) mase izražene v % vgrajenega rastlinskega materiala

**Figure 3:** Litter mass loss from November 2007 to May 2009 at sites Bohinj and Uskovnica. Average and standard deviation of 5 replicates of remaining mass, expressed as % of incorporated plant material, are shown

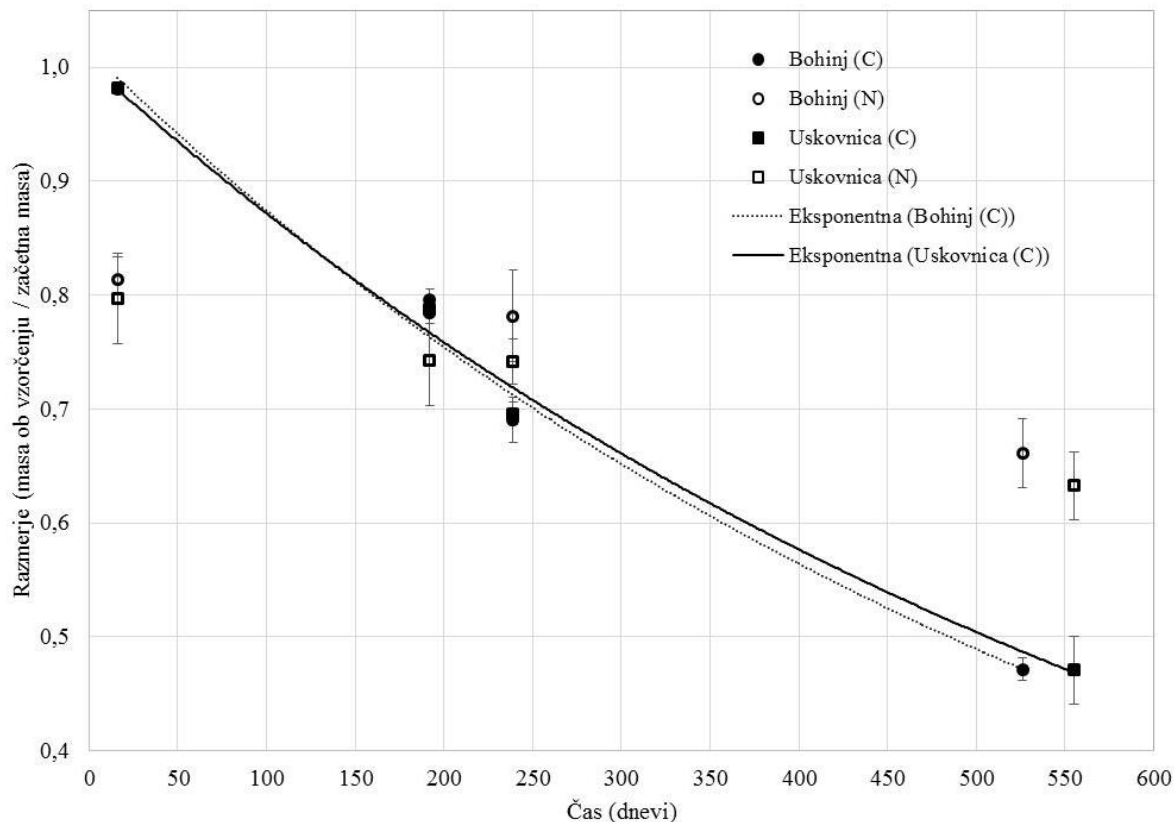
### 3.2 Kemijska sestava opada

Med razgradnjo se spreminja tudi kemijska sestava razgrajajočega se opada. Te spremembe niso nujno linearno povezane z izgubo mase. Prav tako so te spremembe v kemijski sestavi razgrajajočega opada lahko različne v različnih okoljskih razmerah, četudi gre

za podobno sestavo izvornega rastlinskega materiala (Coleman in sod., 2004). V naši raziskavi se je delež skupnega organskega ogljika (Corg) v rastlinskem opadu zmanjševal linearno z zmanjševanjem mase opada, medtem ko je bilo zmanjševanje deleža skupnega dušika počasnejše (Slika 4). Posledično se je ožilo C/N razmerje preostalega opada, od C/N 47:1 ob vgradnji do

25:1 v Bohinju, oz. 26:1 na Uskovnici ob koncu poskusa. Nekateri avtorji poročajo celo o akumulaciji N med razgradnjo, kar pojasnjujejo z imobilizacijo sproščenega N med razgradnjo v mikrobnio biomaso in/ali prenosom N iz tal na opad (Coleman in sod., 2004). Vsebnost topnega organskega ogljika (DOC) v rastlinskem materialu se je prav tako zmanjševala tekom

poskusa, vendar brez značilnih razlik med lokacijama (podatki niso prikazani). Do največjega zmanjšanja DOC je pričakovano prišlo ob prvem vzorčenju in sicer iz  $23,1 \pm 2,3 \text{ g kg}^{-1}$  ob vgradnji na  $12,6 \pm 1,1 \text{ g kg}^{-1}$  v Bohinju in  $11,2 \pm 0,9 \text{ g kg}^{-1}$  na Uskovnici. Ob koncu poskusa je bila vsebnost DOC  $5,2 \pm 0,5 \text{ g kg}^{-1}$  opada na Uskovnici in  $6,2 \pm 0,2 \text{ g kg}^{-1}$  opada v Bohinju.

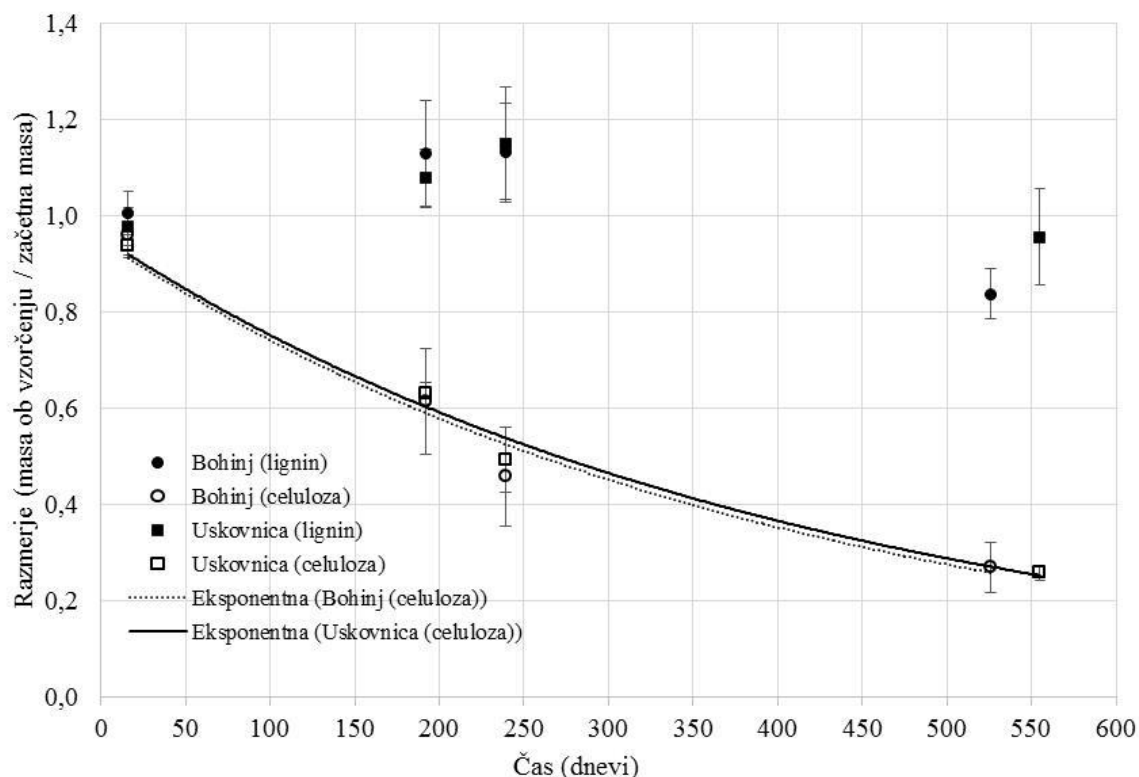


**Slika 4:** Razmerje med začetno vsebnostjo ob vgradnji in vsebnostjo ob vzorčenju za parametra skupni Corg in skupni N v času od vgradnje (dan 0, 29.10.2007) do zadnjega vzorčenja maja 2009 na lokacijah Bohinj in Uskovnica. Prikazana so povprečja in standardni odkloni 5 ponovitev

**Figure 4:** Ratio between initial and sampling time contents of total Corg and of total N from the litter bag incorporation (day 0, 29<sup>th</sup> of October 2007) till last sampling in May 2009 at sites Bohinj and Uskovnica. Average and standard deviation of 5 replicates are shown

Sestava rastlinskega materiala glede na vsebnost celuloze in lignina v času naše študije prav tako potrjuje enak potek razgradnje opada na obeh lokacijah (Slika 5). Vsebnost celuloze se je značilno zmanjševala ves čas poskusa, medtem ko se vsebnost lignina ni značilno spreminjala. Šele ob koncu poskusa, po letu in pol razgrajevanja, smo zaznali določeno zmanjšanje vsebnosti lignina, ki pa ni bilo statistično značilno. Rezultat nakazuje na večjo razgradnjo lignina v Bohinju v primerjavi z Uskovnico. Lignin je kompleksnejši

substrat v primerjavi s celulozo, zato ima večjo aktivacijsko energijo, kar bi lahko pojasnilo večjo občutljivost na temperaturne spremembe (Davidson in Janssens, 2006), vendarle pa so si rezultati različnih študij o temperaturni občutljivosti organske snovi glede na razgradljivost substrata nasprotujoči. Ker je v proces razgradnje vključenih več mehanizmov, ima lahko vsak od njih svojo specifično občutljivost na spremembe v temperaturi (Davidson in Janssens, 2006; Lützwow in Kögel-Knabner, 2009).



**Slika 5:** Razmerje med začetno vsebnostjo ob vgradnji in vsebnostjo ob vzorčenju za parametra celuloza in lignin v času od vgradnje opada (dan 0, 29.10.2007) do zadnjega vzorčenja maja 2009 na lokacijah Bohinj in Uskovnica. Prikazana so povprečja in standardni odkloni 5 ponovitev

**Figure 5:** Ratio between initial and sampling time contents of cellulose and lignin from the litter bag incorporation (day 0, 29<sup>th</sup> of October 2007) till last sampling time in May 2009 at sites Bohinj and Uskovnica. Average and standard deviation of 5 replicates are shown

Naše hipoteze, da bo razgradnja rastlinskega opada na lokaciji Bohinj hitrejša zaradi višjih povprečnih temperatur zraka, rezultati poskusa niso potrdili. Rezultati drugih študij kažejo na nasprotujoče si ocene temperaturne občutljivosti razgradnje organske snovi tal (Davidson in Janssens, 2006; Lützow in Kögel-Knabner, 2009; Kirschbaum, 2010; Ding in sod., 2016). Odziv razgradnje organske snovi na temperaturo je odvisen od več dejavnikov: (i) kemijske sestave (obstoynosti) organske snovi, (ii) razpoložljivosti substrata, ki jo določa ravnotežje med vnosom opada, stabilizacijo in mineralizacijo, (iii) fiziologije mikrobioma tal ter njegove učinkovitosti pri izkoriščanju substrata in temperaturnega optimuma ter (iv) fizikalno-kemijskih parametrov, ki vplivajo na razgradnjo, kot so na primer pH in vsebnost vode v tleh,

oskrba s kisikom in hranili. V naši raziskavi smo vgradili enak rastlinski material na obeh lokacijah, ki sta si bili po pedoloških lastnostih podobni. Učinek temperature bi lahko zmanjšala lega mikrolokacij, saj relief in ekspozicija lahko vplivata tako na temperaturo tal kot na vodno-zračni režim. V bodoče bi bilo potrebno izvesti tudi meritve temperature na globini tal, kjer je potekala razgradnja opada, saj lahko časovni zamik temperature tal v primerjavi s temperaturo zraka do določene mere vpliva na rezultate poskusa. Poudariti moramo tudi, da so bile povprečne dnevne temperature zraka na obeh lokacijah v celotnem času trajanja poskusa relativno nizke z vidika optimalnih temperatur za aktivnost mikroorganizmov: na lokaciji Bohinj 6,8 °C in na lokaciji Uskovnica 2,5 °C, zato bi bilo smiselno raziskavo razširiti v toplejšem območju.

## 4 SKLEPI

Razlika 4,4 °C ( $\pm 1,5$  °C) v povprečnih mesečnih temperaturah zraka ni vplivala na hitrost in potek razgradnje rastlinskega opada v travniških tleh v zaraščanju v leto in pol dolgem obdobju po vgradnji. Rezultate bi lahko pojasnili naslednji razlogi: (i) razgradnja opada je na spremembe v temperaturi manj občutljiva od napovedi, (ii) dejanske razlike v temperaturi tal so bile lahko manjše od razlik v spremljani temperaturi zraka, (iii) čas študije je bil prekratek, saj do razgradnje lignina v tem času še ni prišlo, (iv) povprečne dnevne temperature zraka so bile

na izbranih lokacijah prenizke z vidika optimalnih temperatur za aktivnost mikroorganizmov, ki so glavni akterji v razgradnji.

Razgradnja rastlinskega opada je pomemben del globalnega kroženja ogljika. Skupaj s primarno produkcijo določa zalogo ogljika v tleh in s tem ravnotežja ogljika v kopenskih ekosistemih. Glede na napovedi spreminjanja globalnih temperatur zraka ter povezanosti s temperaturami tal, so potrebne nadaljnje raziskave v spremenjenih razmerah.

## 5 ZAHVALA

Raziskavo je finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) v okviru projekta ARRS J4-7315 ter programske skupine P4-0085. Avtorici se za pomoč pri postavitvi poskusa, vzorčenju in nekaterih laboratorijskih analizah zahvaljujeva Andreji Kotnik, njeno diplomsko delo je

del predstavljene raziskave. Zahvala gre sodelavcem Biotehniške fakultete: Nataši Vidic za diskusije v okviru projekta (ARRS J4-7315), Janezu Ruprehtu za pomoč pri izbiri mikrolokacij poskusa in predajanje pedološkega znanja ter Klemenu Elerju za opis rastlinskih združb.

## 6 VIRI

- ARSO. (2017). Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), izpis meteoroloških podatkov iz baze podatkov za leta 2007-2009. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/>
- Berg, B., McLaugherty, C. (2014). *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration*, Springer, 3rd edition, 315 str.
- Coleman, C. D., Crossley, A. D., Hendrix, F. A. (2004). *Fundamentals of soil ecology*. 2nd edition. New York, Elsevier. 287 str.
- Dar, G.H. (2010). *Soil microbiology and biochemistry*. New Delhi, New India publishing Agency, 512 str.
- Davidson, E. A., Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440, 9, <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- Ding, J., Chen, L., Zhang, B., Liu, L., Yang, G., Fang, K., Chen, Y., Li, F., Kou, D., Ji, C., Luo, Y., Yanget, Y. (2016). Linking temperature sensitivity of soil CO<sub>2</sub> release to substrate, environmental, and microbial properties across alpine ecosystems, *Global Biogeochem. Cycles*, 30, 1310–1323. <https://doi.org/10.1002/2015GB005333>
- Duan, H., Wang, L., Zhang, Y., Fu, X., Tsang, Y., Wu, J., Le, Y. (2018). Variable decomposition of two plant litters and their effects on the carbon sequestration ability of wetland soil in the Yangtze River estuary. *Geoderma*, v tisku, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.050>.
- Houba, V. J. G. (1986). Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl<sub>2</sub>, by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil*, 96, 433-437. <https://doi.org/10.1007/BF02375149>
- Houle, D., Bouffard, A., Duchesne, L., Logan, T., Harvey, R. (2012). Projections of future soil temperature and water content for three southern Quebec Forested Sites. *Journal of Climate*, 25, 7690-7701. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00440.1>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R.K. Pachauri R.K., Meyer L.A. (ur.), IPCC, Geneva, Switzerland, 151 str.
- ISO 10390. (2005). *Soil quality - determination of pH. International Organization for Standardization*, Genève, Switzerland
- ISO 11277. (2009). *Determination of particle size distribution in mineral soil material-method by sieving and sedimentation. International Organization for Standardization*, Genève, Switzerland



- Kajfež Bogataj, L., Pogačar, T., Ceglar A., Črepinšek, Z. (2010). Spremembe agroklimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih. *Acta agriculturae Slovenica*, 95, 1, 97-109.
- Kirschbaum, M.U.F. (2010). The temperature dependence of organic matter decomposition: seasonal temperature variations turn a sharp short-term temperature response into a more moderate annually averaged response. *Global Change Biology*, 16, 2117–2129. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02093.x>
- Lavrenčič, A. (2003). *Vaje pri predmetu Prehrana domačih živali*. Ljubljana, Veterinarska fakulteta, 115 str.
- Lützw, M., Kögel-Knabner, I. (2009). Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition—what do we know? *Biology and Fertility of Soils*, 46, 1. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0413-8>
- Okolje se spreminja: podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. (2010). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor RS: 162 str.
- Pogačar, T., Zupanc, V., Kajfež Bogataj, L., Črepinšek, Z. (2018). Soil temperature analysis for various locations in Slovenia. *Italian Journal of Agrometeorology* (v tisku).
- Santonja, M., Fernandez, C., Gauquelin, T., Baldy, V. (2015). Climate change effects on litter decomposition: intensive drought leads to a strong decrease of litter mixture interactions. *Plant and Soil*, 393, 69-82. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2471-z>
- Welsch, M., Yavitt, J.B. (2003). Early stages of decay of *Lythrum salicaria* L. and *Typha latifolia* L. in a standing-dead position. *Aquatic Botany*, 75, 45-57.