

AKUMULACIJA UGLJIKA I DUŠIKA U SASTOJINI CRNE JOHE (*Alnus glutinosa* Gaertn.) U PODRAVINI

CARBON AND NITROGEN ACCUMULATION IN COMMON ALDER FOREST (*Alnus glutinosa* Gaertn.) IN PLAIN OF DRAVA RIVER

Nikola PERNAR¹, Emil KLIMO², Darko BAKŠIĆ¹, Ivan PERKOVIĆ¹, Michal RYBNÍČEK²,
Hanuš VAVRČÍK², Vladimír H. GRYC²

Sažetak

Istraživanja su provedena u 95-godišnjoj visokoproduktivnoj sastojini crne johe (*Alnus glutinosa* Gaertn.) u Podravini. Cilj ovoga rada je istražiti glavna obilježja akumulacije i dinamike ugljika i dušika u sastojini crne johe, kao indikatora stabilnosti ekosustava i održivosti gospodarenja ovom sastojinom.

Analiza dinamike i akumulacije ugljika i dušika tijekom godine obuhvatila je istraživanje tla, posebice šumske prostirke i A- horizonta, drva i kore crne johe te lista neposredno nakon odbacivanja.

Masa šumske prostirke kreće se od 4,71 Mg ha⁻¹ nakon odbacivanja lista, preko 3,36 Mg ha⁻¹ u proljeće, do 0,51 Mg ha⁻¹ u jesen prije ponovnog odbacivanja lista. Od jeseni do proljeća raste sadržaj ugljika i dušika u A- horizontu, a zatim ponovno opada. Akumulacija ugljika u nadzemnoj biomasi sastojine sredinom ljeta je 214,6 Mg ha⁻¹, a u tlu je prosječno 143,5 Mg ha⁻¹. S druge strane akumulacija dušika veća je u tlu – u nadzemnoj biomasi je 2 Mg ha⁻¹, a u tlu doseže čak i preko 14 Mg ha⁻¹ (prosječno 13,8). Sveukupna akumulacija organskog ugljika u ekosustavu je 359,5 Mg ha⁻¹, a dušika 15,8 Mg ha⁻¹.

Istraživanje je pokazalo da se radi o izuzetno vitalnoj sastojini, očito s izuzetno dobrim ekološkim uvjetima za rast crne johe. Njena se vitalnost i dugoročna stabilnost najbolje odražavaju u postojanom indeksu širine godova u posljednjih 80 godina, što potvrđuje i vrlo velika drvena zaliha, koja za sastojinu starosti 93–98 god. iznosi 751 m³ ha⁻¹ (iznad taksacijske granice od 7 cm).

KLJUČNE RIJEČI: crna joha, šumska prostirka, A- horizont, dendrokronološka analiza, akumulacija ugljika, akumulacija dušika

¹ Prof. dr. sc. Nikola Pernar, doc. dr. sc. Darko Bakšić, Ivan Perković dipl. ing., Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma, Svetošimunska 25, Zagreb, Hrvatska

² Prof. dr. sc. Emil Klímo, Ing. PhD. Michal Rybníček, Ing. PhD. Hanuš Vavrčík, Doc. ing. PhD. Vladimír H. Gryc, Mendelovo Sveučilište u Brnu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Brno, Češka Republika

Uvod Introduction

Areal crne joha obuhvaća široko područje Europe od Irske do zapadnog Sibira, te od Finske do sjeverne Afrike (Kajba i Gračan 2003). To upućuje na širok raspon različitih stanišnih prilika.

Prema Claessens i sur. (2010) i Mauer (2003), crna joha pridolazi na tlima sa širokim rasponom pedofiziografskih značajki, npr. pH vrijednost kreće se u rasponu od 4,2 do 7,5. Zalesov i sur. (2008) navode da u području rijeke Volge crna joha pridolazi na tlima s pH vrijednosti od 3,5 (KCl) na različitim tipovima tala od eugleja, hipoglejnog, tresetno-glejnog do luvisola pseudooglejenog i pseudooglej-gleja.

Generalno se može reći da crna joha raste na vlažnim i vodom zasićenim tlima u rasponu reakcije tla od kiselih i slabo kiselih, do slabo alkalnih. Crna joha poznata je po svojoj sposobnosti fiksacije dušika, pa se zbog toga često upotrebljava kao pionirska vrsta za remedijaciju tla u blizini ugljenokopa i sl. List crne joha vrlo je bogat dušikom, što se manifestira i u obliku povećanja sadržaja dušika u tlu tijekom razgradnje listinca (Brožek i Wanic 2002). Zahvaljujući tomu, list crne joha se relativno brzo razgrađuje, u pravilu u smjeru tvorbe zrelog humusa.

Najveće površine pod šumama crne joha nalaze se u europskom dijelu Ruske federacije – 717 tisuća ha, u Bjelorusiji – 419 tisuća ha i u Ukrajini – 190 tisuća ha (Zalesov 2008). U središnjoj Europi crna joha pojavljuje se uglavnom na poplavnim dijelovima aluvija i na manjim površinama alu-

vija prigrorskih vodotoka, često zaštićenim kao prirodnim rezervatima. Velike šumske površine crne joha nalaze se i južno od Berlina u Spreewald rezervatu biosfere, gdje crna joha s poljskim jasenom čini dominantnu vrstu u sloju drveća. Značajne površine pod crnom johom prisutne su i u Bialowieza Nacionalnom parku u Poljskoj. Areal crne joha u Hrvatskoj obuhvaća površinu od oko 8000 ha (Prpić i Milković, 2005).

Najvrijednije mješovite i čiste sastojine crne joha u Hrvatskoj pridolaze na oko 2000 ha u području Podravine u šumariji Đurđevac (Vukelić i sur., 2006). Na ovome se području nalazi i trajna pokusna ploha osnovana u okviru UNESCO programa "Čovjek i biosfera" na kojoj su i provedena istraživanja objavljena u ovome radu.

U sastojinama crne joha u ovom dijelu Podravine nisu zabilježene poplave dravskom vodom u više od 100 proteklih godina. Ipak, kad se razmatraju hidrološke značajke u cjelini (imajući na umu značaj vode za sastojine crne joha), u svijetlu ekoloških promjena na širem području (povezanih ponajprije s tehničkim zahvatima na uzvodnom dijelu dravskog korita), te klimatskih promjena i klimatskih specifičnosti ovoga dijela podravlja (Zaninović i sur. 2008) postavlja se pitanje u kojoj mjeri se takve promjene odražavaju i na poznate sastojine crne joha u Crnim jarkima.

Dosadašnje spoznaje upućuju da se radi o sastojinama visoke i postojane produktivnosti. Cilj ovoga rada je istražiti glavna obilježja akumulacije i dinamike ugljika i dušika u sastojini crne joha, kao indikatora stabilnosti ekosustava i održivosti gospodarenja ovom sastojinom.



Slika 1: Područje istraživanja
Figure 1: Research area





Slika 2: Sastojina crne johe na pokusnoj plohi u jesen i proljeće
Figure 2: Black alder stand in "Crni Jarki".

Područje istraživanja Research area

Terenski dio istraživanja proveden je u srednjem podravlju, između mjesta Kalinovca i Podravske Sesveta, na trajnoj pokusnoj plohi br. 24, osnovanoj 1980. god. u okviru projekta Čovjek i biosfera (UNESCO-MAB programme). Ploha je veličine 1 ha, nalazi se u odjeljenju 93, odsjeku a, u posebnom rezervatu šumske vegetacije "Crni jarki" unutar G.J. Đurđevačke nizinske šume (sl. 1). Šumom gospodari šumarija Đurđevac, kao sastavnica Uprave šuma Podružnica Koprivnica, Hrvatske šume d.o.o. Površina posebnog rezervata iznosi 72,25 ha, a odnosi se na sljedeća odjeljenja i odsjeke 92c, 93a, 99a i 100a.

Šume crne johe u ovom rezervatu starosti su od 93–98 god. U vrijeme pomlađivanja s njima je gospodarila Imovna općina Đurđevačka. Gospodarilo se u ophodnji od 30–40 god., a pomlađivane su nakon čiste sječe izbojcima iz panja, manje iz sjemena (x1 2006).

U cjelokupnom rezervatu dominantno je učešće crne johe (sl. 2) (359 stabala ha⁻¹), a participiraju još (ha⁻¹) javor klen (*Acer campestre*) (105), poljski jasen (*Fraxinus angustifolia*) (14), obični grab (*Carpinus betulus*) (18) i nizinski brijest (*Ulmus minor*) (2). U sloju grmlja najčešće su crna bazga (*Sambucus nigra*), sremza (*Prunus padus*), jednokoštuničavi glog (*Crataegus monogyna*) i trušljika (*Rhamnus frangula*), a u sloju prizemnog rašća gorka režuha (*Cardamine amara*), šumski rožac (*Cerastium sylvaticum*), dobričica (*Glechoma hederacea*), blijedožučkasti šaš (*Carex brisoides*) razmaknuti šaš (*Carex remota*), puzavi žabnjak (*Ranunculus repens*) i

dr. Drvna zaliha je 670 m³ ha⁻¹, godišnji tečajni prirast je 10,1 m³ ha⁻¹ (samo na crnu johu odnosi se 9,1 m³ ha⁻¹, odnosno 90 % prirasta), te je 497 stabala ha⁻¹.

Srednja sastojinska visina crne johe u rezervatu je 30,1 m (x1 2006).

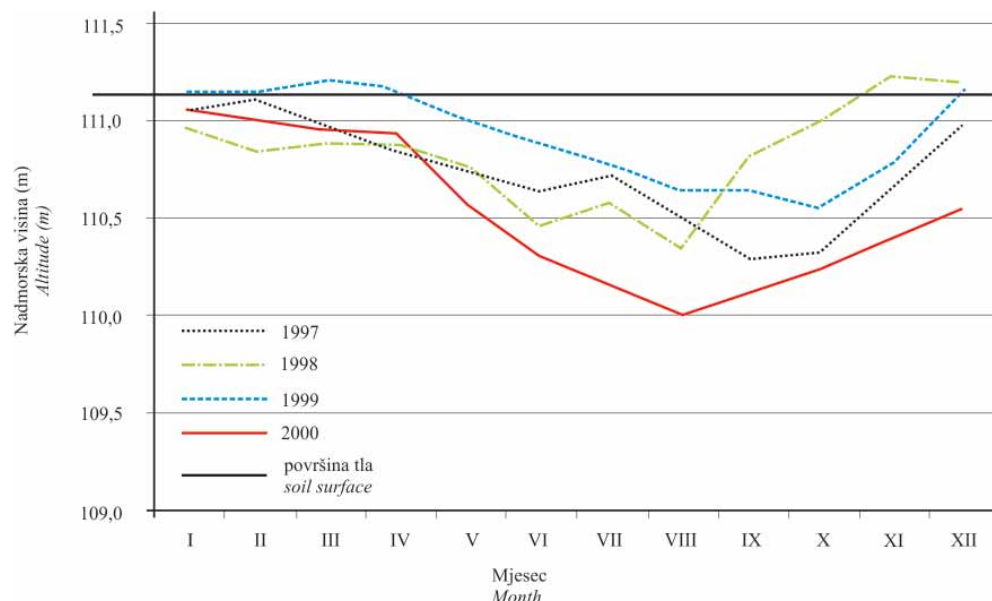
Na samoj pokusnoj plohi nalazi se 633 stabla. Drvna zaliha je 751,43 m³. Najveći prsni promjer je 60 cm, a najviše stablo 37 m (Anić i sur. 2005).

U fitocenološkom smislu ovo je šuma crne johe i poljskog jasena sa sremzom (*Pruno padi-Fraxinetum angustifoliae* Glavač 1960), koja pripada svezi *Alnion incanae* Pawl. in Pawl. et. al. 1928 i redu *Fagetalia sylvaticae* Pawl. in Pawl. et. al. 1928 (Vukelić i sur 2006, Vukelić 2012). U relativno malom udjelu unutar rezervata, u mikrodepresijama je zastupljena i šuma crne johe s dugoklasim šašem (*Carici elongatae-Alnetum glutinosae* W. Koch 1926 ex Tx. 1931). Vukelić i sur. (2006) i Vukelić (2012) potvrđuju nalaz Glavača (1960) o očitom smanjenju areala ove zajednice, koja je ograničena isključivo na mikrodepresije. Takvo ograničenje areala očito je povezano s hidromelioracijskim zahvatima na širem području, provedenim pred oko 150 god.

Današnje obilježje vodnog režima ove šume je relativno visoka i slabo fluktuirajuća razina vode temeljnice, te povremeno plitko (do 30-ak cm) "plavljenje" vodom temeljnicom.¹

U geološko litološkom smislu veliko područje podravlja, između Koprivnice, Đurđevca, Pitomače, Virovitice, sjevernih padina Bilogore, Donjeg Miholjca, Valpova i Belišća, obilježavaju fluvio-eolski kvartarni sedimenti. To su u velikoj

¹ U vrlo kišnom razdoblju tijekom kolovoza i rujna 2010. dugotrajnijoj poplavi s dubljom poplavnom vodom (>50 cm) pridonijelo je i izlivanje kanala Čivičevac, što je nezabilježena pojava u posljednjih 30-ak godina.



Slika 3: Dinamika razine vode temeljnice tijekom četverogodišnjeg motrenja (x1 2006).

Figure 3: Water table dynamics during four-year monitoring (x1 2006)

mjeri sekundarni eolski sedimenti nastali eolacijom dravskog pijeska, koji je akumuliran fluvijalnim taloženjem uslijed poplavnih voda, ali i iz presušanih dijelova riječnog korita (rijeka je često mijenjala tok, premiještajući se postupno prema sjeveru zbog izdizanja Bilogore). Ovi pijesci mjestimično tvore ilovaste i ilovasto pjeskovite slojeve, a ponegdje su akumulirani kao čisti do ilovasti pijesci u formi dina (Vrbek i Pilaš 2011). Šire područje istraživanja ima obilježja reljefne depresije, na koju se nastavlja aluvijalna terasa (greda) užeg porječja Drave. Nadmorska visina je oko 111 m. Biološki sanirane pješčane dine nalaze se južno od rezervata.

Vodni režim istraživanog lokaliteta obilježen je visokom razinom vode temeljnice (njena razina se tijekom godine ne spušta više od 130 cm ispod površine tla – sl. 3) unutar vodonosnog sloja kojega predstavljaju debeli kvartarni sedimenti dravskog porječja. Krovina šireg područja (visoki udjel eolskih pijesaka) također je vrlo propusna, pa se vodonosnik neposredno "prihranjuje" oborinskom vodom, tako da se razina vode temeljnice ponekad diže iznad površine tla i izaziva plavljenje (poplava može potrajati 1–2 mj., a dubina poplavne vode obično ne prelazi 20–30 cm).

Glavni vodotok koji protječe kroz šumski predjel Crni jarci je kanal Čivićevac.² Uzrok višekratnog plavljenja Crnih jaraka u ljeto i jesen 2010. je izlivanje upravo ovoga kanala. Ovaj kanal ima vjerojatno veliki utjecaj na razinu vode temeljnice u predjelu Crni jarci.

Klimatske značajke istraživanog područja najbolje se mogu prikazati prema podacima s meteorološke postaje Đurđevac za razdoblje od 1990–2010. god. Srednja godišnja temperatura iznosi 10,3 °C, a srednja godišnja količina oborina je

832 mm. Prema Köppenovoj klasifikaciji, klima ima oznaku Cfbwx". U smislu Thornthwait-ove klasifikacije područje je humidno.

Materijal i metode Material and methods

Terenski dio istraživanja obuhvatio je:

- uzorkovanje tla na pedološkom profilu,
- uzorkovanje tla sondom iz A- horizonta,
- uzorkovanje šumske prostirke u tri ponavljanja između dva odbacivanja lista,
- uzorkovanje fiziološki zrelog lista crne johe tijekom kolovoza,
- uzorkovanje drva crne johe za dendrokronološku, kemijsku i mehaničku analizu,
- uzorkovanje kore crne johe.

Na profilu tla uzeti su uzorci iz genetskih horizonata, u fizički izmijenjenom i neizmijenjenom stanju (pomoću cilindara po Kopeckom volumena 100 cm³). Na ovim uzorcima određen je granulometrijski sastav (ISO 11277), pH vrijednost (ISO 10390), sadržaj karbonata (ISO 10693), gustoća krute faze tla (ISO 11508), te gustoća (bulk density) tla (ISO 11272).

Uzorci šumske prostirke uzimani su u tri navrata:

- jesen 2009, nakon odbacivanja lista (autumn → "A⁺")
- proljeće (april) 2010 u vrijeme listanja (spring → "S")
- jesen 2010, prije odbacivanja lista (autumn → "A⁻")

² Kanal je dobio naziv prema zapovjedniku durđevačke pukovnije (od 1852.) Vatroslavu Čiviću, pl. Rohr, koji je rukovodio njegovim iskopom.

Uzorci su uzimani pomoću ploče dimenzija 25x25 cm, tako da je prikupljena sveukupna prostirka na plohci površine 0,0625 m². Svaki puta uzeto je 27 uzoraka, raspoređenih na tri skupine plohica od po 9 uzoraka. Naime, unutar svake skupine bilo je 9 plohica križnog rasporeda i međusobne udaljenosti od 1 m. Kod drugog i trećeg uzorkovanja određene su nove pozicije skupina plohica (cca 5–15 m između pojedinih ranijih i novih skupina plohica), tako da se izbjegne uzorkovanje tamo gdje je već narušeno izvorno stanje prostirke.

Svi uzorci šumske prostirke sušeni su na 50 °C do konstantne mase. Za određivanje C i N po tri uzorka iz svake skupine plohica združeni su u 1 kompozitni uzorak, tako da je nakon svakog uzorkovanja bilo po 3 kompozitna uzorka iz svake skupine, sveukupno 9 kompozitnih uzoraka za mjerenje C i N nakon svakog uzorkovanja. C i N izmjereni su metodom suhog spaljivanja, prema ISO normama 10694, odnosno 13878.

Uzorci tla iz A- horizonta na plohicama uzimani su žljebastom sondom, također u tri navrata između dva odbacivanja lista, kada je uzorkovana i šumska prostirka, ne na svih 9 plohica unutar skupine, već na 5 plohica, tako da je svaka druga izostavljena. Pri tomu je iz 5–10 pojedinačnih uzoraka formiran kompozitni uzorak. Tako je u tri navrata uzeto po 15 kompozitnih uzoraka tla. Mjerena je pH vrijednost (ISO 10390), sadržaj karbonata (ISO 10693), organski ugljik (ISO 10694) te ukupni dušik (ISO 13878). Kod prvog uzorkovanja uzeti su i uzorci pomoću cilindara (na sveukupno 9 plohica), radi jednokratnog određivanja gustoće krute faze tla (ISO 11508) te gustoće (bulk density) tla (ISO 11272).

Uzorci fiziološki zrelog lista crne johe uzeti su iz gornje trećine krošnje 9 oborenih stabala polovicom kolovoza. Za svako stablo formiran je poseban uzorak od oko 50-ak listova, tako da je bilo sveukupno 9 uzoraka lista. Sa istih stabala uz mjesto prereza uzorkovani su i odsječci kore (čitavom debljinom), 30–40 g po uzorku, sveukupno 9 kompozitnih uzoraka. Uzorci drva crne johe za kemijsku analizu drva uzeti su kao piljevina, na mjestima prereza debla, tako da je prikupljeno također 9 kompozitnih uzoraka piljevine. U uzorcima lista, kore i drva izmjeren je sadržaj ugljika (ISO 10694) i dušika (ISO 13878).

Uzorkovanje drva crne johe za dendrokronološku analizu obavljeno je na 5 stabala (odabrana su stabla srednje sastojinske visine), prema dendrokronološkim metodama (Cook i Kairiukstis 1990). Na svakom stablu prije sječe zabilježeno je mjesto prvog reza na prsnoj visini (1,30 m). Nakon obaranja stablo je prerezano na obilježenom mjestu (prsna visina), odakle je uzet uzorak debla duljine 1 m. Na stablima su također uzeti i kolutovi debljine 10 cm za dendrokronološku analizu. Rezultati dendrokronološke analize odnose se na poprečni presjek stabala 1,6; 16,6 i 26,6 m iznad površine tla.

Uzorci su mjereni na specijaliziranom mjernom stolu za očitavanje godova. Mjerenje i sinhronizacija sekvenci godova izvršena je u programu PAST 4. Nakon izmjere izvršeno je unakrsno datiranje uzoraka i napravljena je krivulja prosječne širine godova za svaki uzorak (kolut). Nakon toga, prosječne širine godova sa tri različite visine na deblu ponovo su sinhronizirane i za svako stablo napravljena je prosječna krivulja izmjerenih širina godova. Naposljetku, međusobno su uspoređene krivulje prosječnih širina godova između stabala i konstruirana je regionalna standardna kronologija. Razina podudarnosti između krivulja utvrđena je korelacijom i to tzv. koeficijentom jednakosti i vizualnim podudaranjem koji su odlučujući za konačnu usporedbu (Rybníček i sur. 2010). Paralelno s time izvršeno je dvostupanjsko uklanjanje trenda (Holmes i sur. 1986) u programu ARSTAN (Grissino–Mayer i sur. 1992). Za utvrđivanje rijetkih pojava, a koje imaju ključan utjecaj na rast stabala korištena je analiza karakterističnih negativnih godina (Kroupová 2002).

Za određivanje gustoće drva korišten je uzorak 20 × 20 × 30 mm izrezan s jednog metarskog trupca uzetog s prsne visine 1,3 m. Uzorak je sušen u sušioniku Sanyo na temperaturi od 103 °C ± 2 °C. Gustoća drva određena je prema normi ČSN 49 0108, a upotrijebljena je za izračun sadržaja ugljika i dušika u sastojini.

Podaci o gustoći kore pojedinih vrsta drveća vrlo su rijetki u literaturi. Većinom se radi samo o izračunima učešća kore u šumskim kulturama kratke ophodnje. Stoga smo se za izračun mase kore na temelju njene gustoće i obujamnog udjela u drvnoj zalihi ovdje poslužili aproksimacijom gustoće kore stabala obične jele, čija je srednja vrijednost 660 kg m⁻³ (Badjun 1977). Za obujamni udjel kore u drvnoj zalihi uzeli smo vrijednost od 17 %. Naime, za crnu johu u Podravini Stankić i sur. (2010) daju udjel kore od 16,4 % (debljinski razred 37,5 cm) do 23,6 % (debljinski razred 7,5 cm).

Uzorci su pripremani i analizirani u Ekološko-pedološkom laboratoriju Šumarskog fakulteta, u laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te u laboratoriju Instituta za ekologiju šuma Mendelovog Sveučilišta u Brnu.

Za izračun zalihe C i N u tlu uzeli smo srednje vrijednosti koncentracije u A- horizontu iz tri uzorkovanja (A⁺, S i A⁻). Tomu smo pribrojili zalihi C i N u dubljim dijelovima tla, određenu na uzorcima iz profila tla. Isti pristup, kao za A- horizont, imali smo i pri izračunu akumulacije C i N u šumskoj prostirci. Za izračun zalihe C i N u listu drveća uzeli smo kemizam zrelog lista iz kolovoza te masu listinca nakon odbacivanja lista.

Od statističkih metoda za obradu rezultata analiza primijenjena je deskriptivna statistika i provedeni su t-testovi diferencija zavisnih uzoraka.

Rezultati istraživanja

Research results

Fiziografske značajke tla – Physiographic soil characteristics

Fiziografija tla istraživanog područja odraz je specifične konstelacije pedogenetskih čimbenika, u kojoj dominiraju visoka razina vode temeljnice, pjeskoviti matični supstrat te ravničarski teren sa slabo izraženim mikroreljefnim uzvišenjima i depresijama. U takvim uvjetima dominantno tlo je euglej, čija svojstva variraju ovisno o mikroreljefnom položaju te o dubini do pijeska.

Na istraživanoj lokaciji mikroreljefne neravnine su vrlo slabo zamjetne. Prema taksonomskoj pripadnosti tlo je tipa euglej, podtipa hipoglej prema klasifikaciji Škorić i sur. (1985), a prema WRB (2006): Haplic Gleysol (Endoarenic, Abruptic). Debljina Ah³ horizonta je 4–12 cm, ovisno o mikroreljefu (prosječna debljina A- horizonta je 7 cm). Prema teksturi radi se o pjeskovito glinastoj ilovači (tab. 1), gustoće 0,69–0,77 Mg m⁻³, poroznosti 68–72 %, sa 100 g kg⁻¹ organskog ugljika te 9,6 g kg⁻¹ ukupnog dušika.

Ispod njega je Bl horizont (prosječne dubine 7–55 cm), koji na dubini >40 cm pokazuje prevladavajuća redukcijaska obilježja (sl. 4). Prema teksturi radi se također o pjeskovito glinastoj ilovači, gustoće 1,17 Mg m⁻³, poroznosti 55–58 %, sa 14 g kg⁻¹ organskog ugljika (TOC) → 78,6 Mg⁴ TOC ha⁻¹, te 1,5 g kg⁻¹ ukupnog dušika → 8,4 Mg N ha⁻¹⁵. Na dubini od ~45 cm počinje značajno veći udjel pijeska. Teksturno-morfološki to je Br horizont, odnosno prijelazna zona iz B u C horizont.

Na dubini većoj od 60 cm više se morfološki gotovo ne manifestira utjecaj pedogenetskih procesa. To je C horizont



Slika 4: Euglej hipoglejni na trajnoj plohi MAB 24 u Crnim jarcima (N – 46°00,881' E – 17°09,970')

Figure 4: Haplic Gleysol (Endoarenic, Abruptic) in the MAB 24 permanent plot in Crni Jarki (N – 46°00,881' E – 17°09,970')

koji je po teksturi ilovasta pjeskulja, gustoće 1,76 Mg m⁻³, poroznosti je 34 %, a prisutnost organskog ugljika i ukupnog dušika je u tragovima. Koncentracija TOC je 1,45 g kg⁻¹, a zaliha⁶ 7,6 Mg TOC ha⁻¹. Koncentracija N bila je ispod granice detekcije.

U svim horizontima prisutni su karbonati (25–30 g kg⁻¹). pH vrijednost (mjereno u suspenziji s vodom) kreće se od 6,11 u A- horizontu, preko 7,18 u B- horizontu do 7,82 u C- horizontu.

Tablica 1: Teksturne značajke tla

Table 1: Soil texture

Horizont Horizon	Dubina (cm) Depth (cm)	Udjel primarnih čestica Particle size distribution					Teksturna oznaka Texture class
		2,0–0,20 mm	0,20–0,063 mm	0,063–0,020 mm	0,020–0,002 mm	<0,002 mm	
(%)							
Ah	0-4-12 (7)	39.5	18.2	2.0	14.0	26.3	pjeskovito glinasta ilovača sandy clay loam
Bl/Br	12 (7)-55	30.0	17.4	11.7	12.5	28.4	pjeskovito glinasta ilovača sandy clay loam
C	>60 (70)	56.8	22.1	8.2	5.3	7.7	ilovasta pjeskulja loamy sand

³ Oznake horizonata dane su prema "Guidelines for soil description" (2006).

⁴ Izračunato na bazi debljine od 48 cm, gustoće 1,17 Mg m⁻³ i koncentracije TOC od 14 g kg⁻¹.

⁵ Izračunato na bazi debljine od 48 cm, gustoće 1,17 Mg m⁻³ i koncentracije N od 1,5 g kg⁻¹.

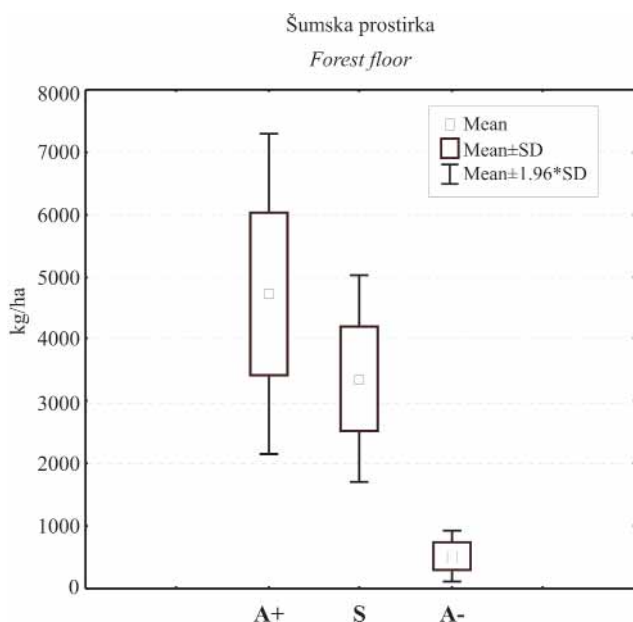
⁶ Izračunato na bazi debljine od 30 cm, dakle do 85 cm dubine.

Šumska prostirka – Forest floor

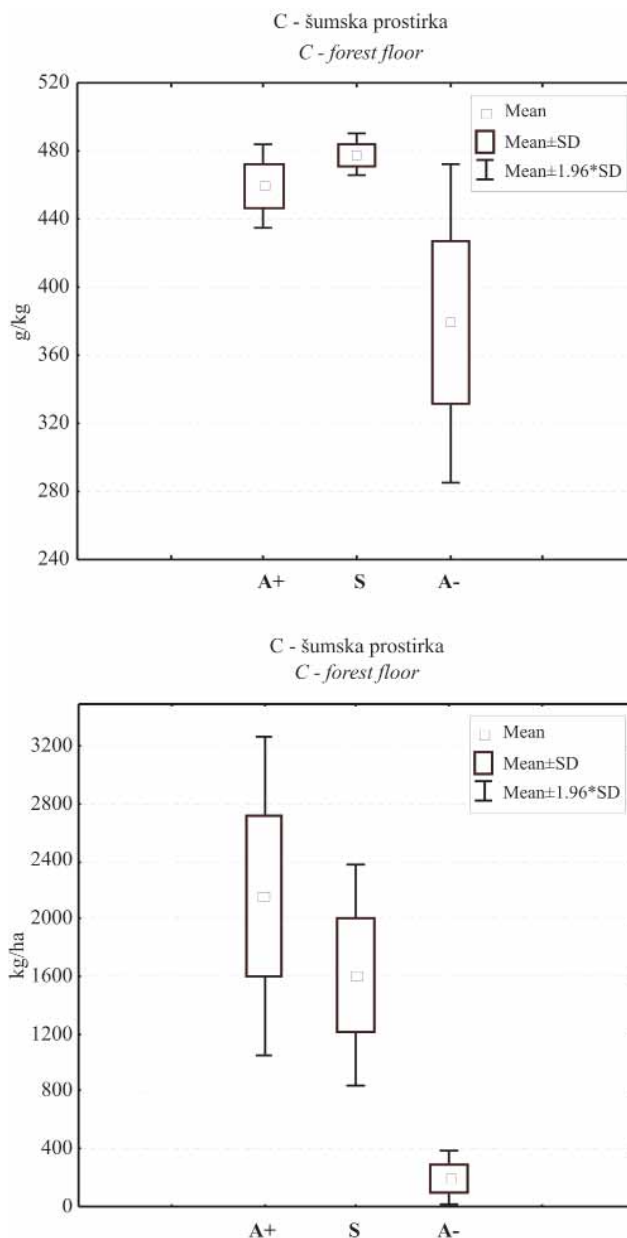
Usprkos velikoj razlici u prostornoj varijabilnosti mase prostirke nakon odbacivanja lista (sl. 5), testovi razlika između uzorkovanja tijekom godine ukazuju na signifikantne razlike u masi prostirke između tri provedena uzorkovanja. Analiza kompozitnih uzoraka šumske prostirke pokazala je da je najveća masa šumske prostirke u jesen nakon odbacivanja lista, kada joj je srednja vrijednost 4714 kg ha⁻¹. Do proljeća (travanj) prosječna masa šumske prostirke opada na 3360 kg ha⁻¹, a do jeseni prije odbacivanja lista na svega 511 kg ha⁻¹ suhe tvari. Najveća prostorna varijabilnost mase prostirke je nakon odbacivanja lista, da bi se njegovom razgradnjom značajno smanjivala (sl. 5).

Razgradnjom organske tvari tijekom godine značajno se mijenja i koncentracija ugljika u istoj (sl. 6). U prostirci sa svježim listincem srednja joj je vrijednost 460 g kg⁻¹, do proljeća pokazuje blagi rast na 478 g kg⁻¹, a do jeseni opada na 379 g kg⁻¹. Pri tomu se ističe varijabilnost trećeg mjerenja, koja je značajno viša od prethodna dva mjerenja. Zaliha ugljika u šumskoj prostirci u jesen je 2157 kg ha⁻¹, do proljeća se smanjuje na 1604 kg ha⁻¹, a do jeseni na svega 199 kg ha⁻¹.

Koncentracija dušika u šumskoj prostirci tijekom godine varira vrlo slično koncentraciji ugljika (sl. 7). Njena vrijednost od jeseni (24,2 g kg⁻¹) do proljeća pokazuje blagi rast (27,3 g kg⁻¹), a zatim do jeseni opada na 25,6 g kg⁻¹. Usprkos sveukupnom trendu povećanja koncentracije dušika, apsolutna količina dušika u šumskoj prostirci tijekom razgradnje opada. Tako je nakon odbacivanja listinca na 1 ha u prostirci bilo 114,5 kg N, u proljeće 91,4 (ova razlika ipak nije statistički značajna), a u jesen samo 13,5 kg N.



Slika 5: Aritmetičke sredine i varijabilnost mase šumske prostirke
Figure 5: Decrease of the forest floor mass during decomposition

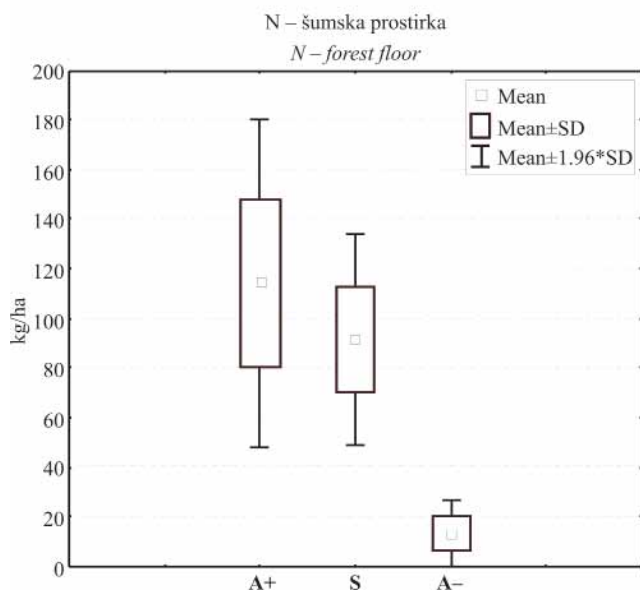
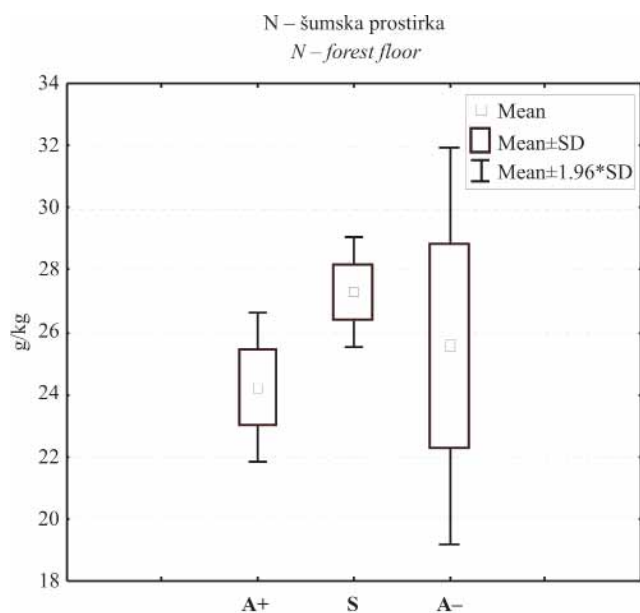


Slika 6: Aritmetičke sredine i varijabilnost koncentracije (gore) i mase ugljika (dolje) u šumskoj prostirci tijekom razgradnje
Figure 6: Carbon concentration (up) and mass (down) in the forest floor during decomposition

C:N je značajan pokazatelj kvalitativnih promjena prostirke tijekom godine. On pokazuje padajući trend, a kreće se od 19 u jesen nakon odbacivanja lista, preko 17,5 u proljeće, do 14,8 iduće jeseni (sl. 8).

A- horizont tla – Horizon A

Promjene mjerenih parametara humusnoakumulativnog horizonta tijekom razdoblja istraživanja znatno su manje od promjena parametara šumske prostirke. Gustoća mu se kreće između 0,75 i 0,77 Mg m⁻³, u prosjeku 0,767 Mg m⁻³. pH vrijednosti u A- horizontu tla tijekom opisana tri mjerenja pokazuje karakterističan trend, tako da od jeseni do

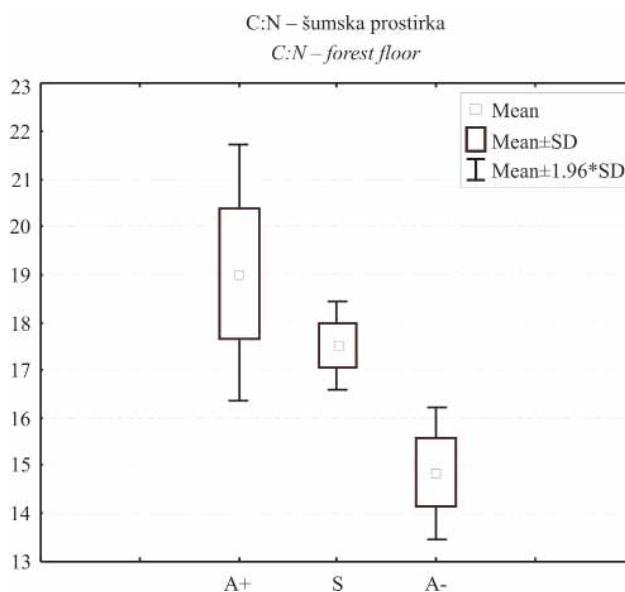


Slika 7: Aritmetičke sredine i varijabilnost koncentracije (gore) i mase dušika (dolje) u šumskoj prostirci tijekom razgradnje

Figure 7: Nitrogen concentration (up) and mass (down) in the forest floor during decomposition

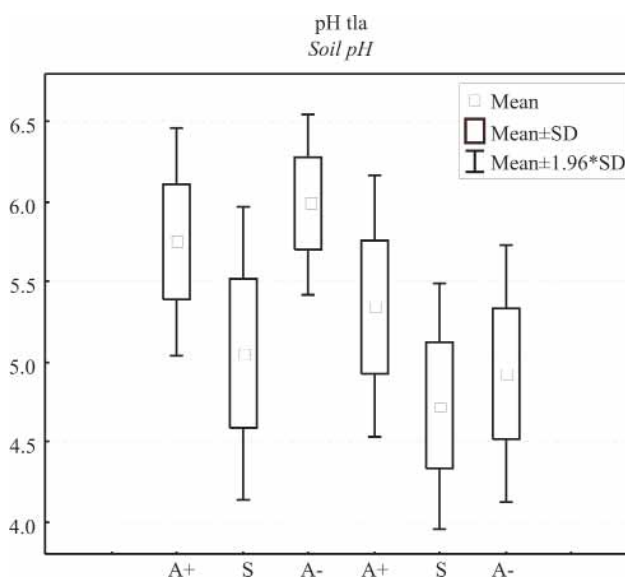
proljeća opada, a zatim prema jeseni raste (sl. 9). Mjereno u suspenziji s vodom, srednja vrijednost pH u jesen iznosi 5,8, opada do proljeća na 5,1, a u jesen je 6. Mjereno u suspenziji s 0,01 M CaCl_2 , pH vrijednost u jesen je 5,3, u proljeće 4,7, a u jesen 4,9.

Sadržaj organskog ugljika i dušika u A- horizontu tla tijekom razdoblja mjerenja mijenjao se daleko manje od ostalih parametara (sl. 10 i 11). Evidentan je jedino značajniji porast koncentracije i mase ugljika od jesenskog do proljetnog mjerenja. Tako je u jesen nakon odbacivanja lista srednja vrijednost koncentracije TOC u tlu bila $100,4 \text{ g kg}^{-1}$, što predstavlja



Slika 8: Aritmetičke sredine i varijabilnost C:N u šumskoj prostirci tijekom razgradnje

Figure 8: C:N in the forest floor during decomposition

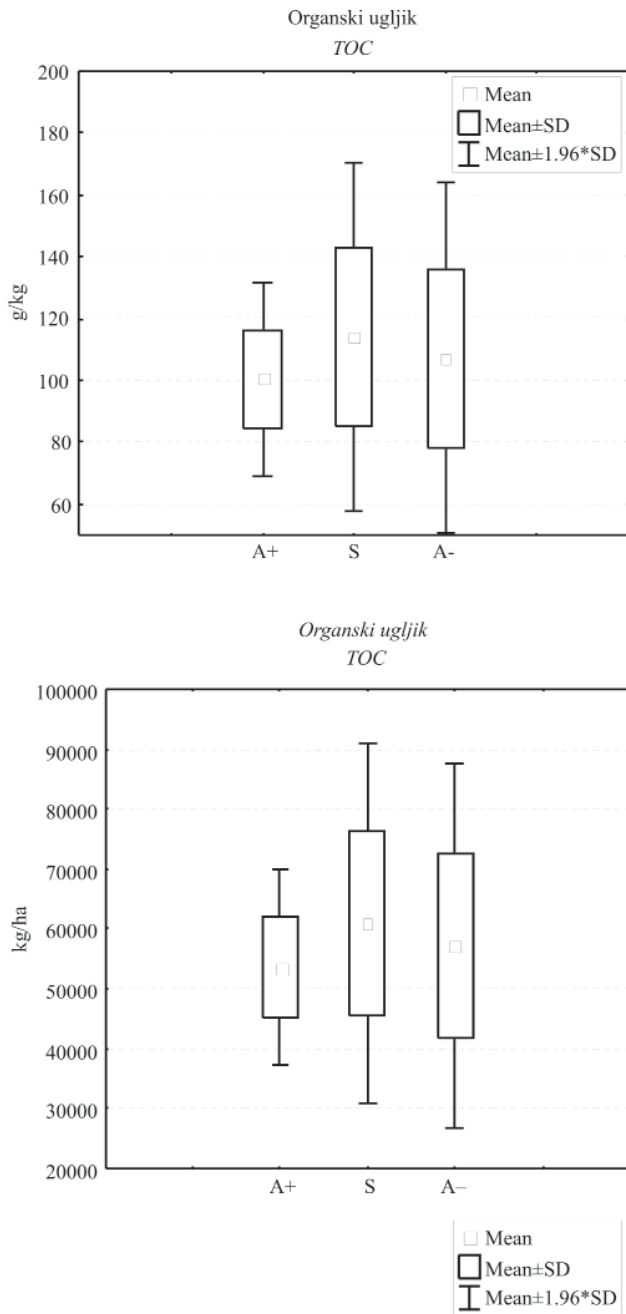


Slika 9: Aritmetičke sredine i varijabilnost pH vrijednosti tla u A horizontu u tri mjerenja tijekom godine (mjereno u vodi – lijevo, te u $0,01\text{M CaCl}_2$ – desno)

Figure 9: pH value in the A horizon in three measurements during the year (measured in water – left, and in 0.01M CaCl_2 – right.)

masu od 53655 kg ha^{-1} , do proljeća je značajno porasla na 114 g kg^{-1} (60955 kg ha^{-1}), a do jeseni se snizila na $107,1 \text{ g kg}^{-1}$ (57253 kg ha^{-1}).

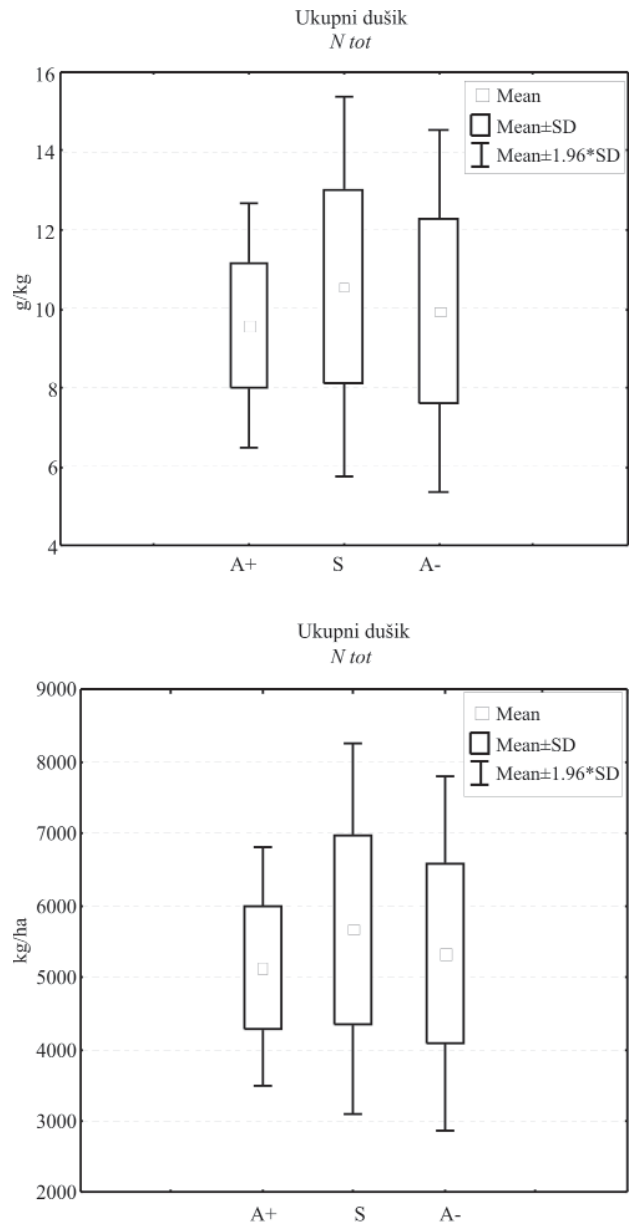
Trend promjene koncentracije dušika u tlu tijekom razdoblja mjerenja vrlo je slična onom kod TOC, pri čemu nema značajnih promjena. Od jeseni do proljeća koncentracija i masa dušika beznačajno raste ($9,6 \rightarrow 10,6 \text{ g kg}^{-1}$, odnosno $5142 \rightarrow 5671 \text{ kg ha}^{-1}$), a zatim opada ($10,6 \rightarrow 9,9 \text{ g kg}^{-1}$, odnosno $5671 \rightarrow 5335 \text{ kg ha}^{-1}$).



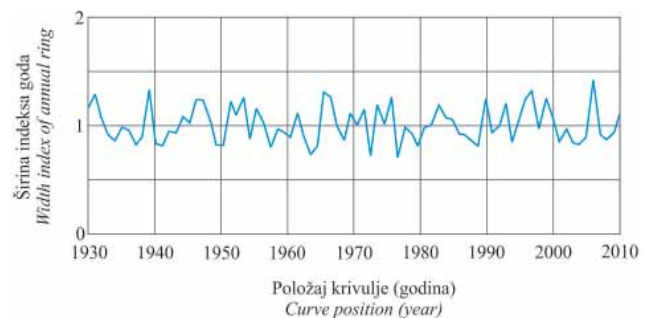
Slika 10. Aritmetičke sredine i varijabilnost koncentracije (gore) i mase organskog ugljika (dolje) u A horizontu u tri mjerenja tijekom godine
Figure 10. Organic carbon (TOC) concentration (up) and mass (down) in the A horizon in three measurements during the year

Dendrokronološka obilježja – Dendrochronological characteristics

Srednji prsni promjer pet analiziranih stabala bio je 36,2 cm. Međusobna usporedba krivulja prosječnih širina godova za određena stabla pokazala je visoke vrijednosti statističkih indikatora. Na temelju dobivenih rezultata izrađena je prosječna krivulja izmjerenih širina godova koja predstavlja radijalni prirast. Prosječna širina goda iznosila je 1,7 mm. Na temelju konstruirane regionalne standardne kronologije nije uočena nikakva veza s promjenama u vodnom režimu



Slika 11. Aritmetičke sredine i varijabilnost koncentracije (gore) i mase dušika (dolje) u A horizontu u tri mjerenja tijekom godine
Figure 11. Nitrogen concentration (up) and mass (down) in the A horizon in three measurements during the year

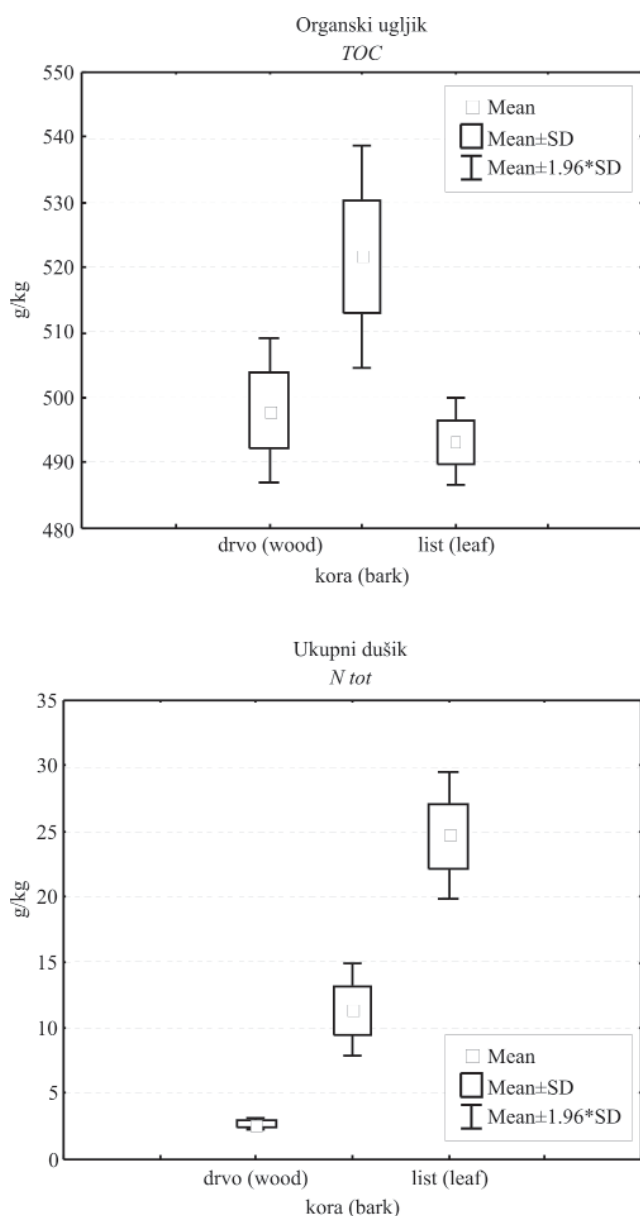


Slika 12. Regionalni indeks standardne kronologije godova
Figure 12. Regional index of the annual ring standard chronology

istraživane plohe. Najmanji prirast zabilježen je tijekom 1934, 1937, 1940, 1941, 1949, 1950, 1957, 1963, 1964, 1972, 1976, 1988, 1993, 2000. i 2002. (sl. 12). Većina navedenih godina s malim prirastom dokazane su i analizom karakterističnih negativnih godina.

Akumulacija ugljika i dušika – Carbon and nitrogen accumulation

Za izračun akumulacije ugljika i dušika određena je njihova koncentracija, osim u šumskoj prostirci i u tlu, također i u drvu, kori te fiziološki zreloom listu crne johe (sl. 13). Za iskazivanje mase drva, odnosno zalihe ugljika u drvu, određena je gustoća drva crne johe.



Slika 13. Koncentracija ugljika (gore) i dušika (dolje) u drvu, kori i fiziološki zreloom listu crne johe

Figure 13. Carbon (up) and nitrogen (down) concentration in the wood, bark and physiologically mature leaf of black alder

Koncentracija ugljika u drvu kreće se između 491,6 i 511,6 g kg⁻¹, a prosječna vrijednost mu je 498,1 g kg⁻¹. U kori mu je raspon između 512,60 i 540,60, s prosječnom vrijednošću od 521,66 g kg⁻¹, a u listu između 488,60 i 498,60, s prosječnom vrijednošću od 493,23 g kg⁻¹. Koncentracija dušika u drvu u rasponu je između 2,22 i 2,98, s prosječnom vrijednošću od 2,66 g kg⁻¹. U kori je raspon dušika između 8,97 i 14,59 g kg⁻¹, s prosječnom vrijednošću od 11,38 g kg⁻¹, a u listu između 21,82 i 29,48 g kg⁻¹, s prosječnom vrijednošću od 24,70 g kg⁻¹.

Prosječna gustoća drva u apsolutno suhom stanju određena na temelju svih testnih uzoraka bila je 507,5 kg m⁻³, s koeficijentom varijacije 5,7. Najniža vrijednost gustoće drva u apsolutno suhom stanju iznosila je 398,0 kg m⁻³, a najviša 580,7 kg m⁻³. 50 % vrijednosti oko medijane kretalo se u rasponu od 489,9–532,1 kg m⁻³.

Požgaj i sur. (1993) odredili su prosječnu vrijednost gustoće apsolutno suhog drva crne johe (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Gustoća je iznosila 494 kg m⁻³ s koeficijentom varijacije 9,4 %. Srednja vrijednost gustoće drva koju je odredio naš tim bila je veća za 13,5 kg m⁻³, određena na 945 testnih uzoraka dok se srednja vrijednost koju su odredili Požgaj i sur. (1993) temelji na 20 uzoraka.

Drvena zaliha od 751 m³ ha⁻¹, kolika je izmjerena na istraživačkoj lokaciji, odnosi se samo na drvo deblje od 7 cm. Kad se uzme i sve sitnije drvo (~5 %) – za listače Krajnc (2005) navodi da u ukupnoj drvenoj zalihi sitno drvo promjera 3–7 cm participira s 3 % – onda se dobije obujam od 790 m³ ha⁻¹. U ovoj zalihi drvo johe, prosječne gustoće 507,5 kg m⁻³ participira s 83 %, što sveukupno iznosi 333 Mg ha⁻¹. Kora, aproksimirane gustoće (s jelom) 662 kg m⁻³ participira sa 17 %, što sveukupno iznosi 89 Mg ha⁻¹. Na temelju koncentracije C i N u drvu i kori izračunali smo da je akumulacija ugljika u drvu 165,9 Mg ha⁻¹, u kori 46,4 Mg ha⁻¹, dok je akumulacija dušika u drvu 0,886 Mg ha⁻¹, a u kori čak 1,012 Mg ha⁻¹ (tab. 2).

Akumulacija ugljika i dušika u listu krošnja određena je na temelju mase odbačenog listinca (4,714 Mg ha⁻¹) i koncentracije C i N u zreloom listu. Tako se pokazalo da je u listu krošnja akumulirano 2,325 Mg ha⁻¹ ugljika i 116,4 kg ha⁻¹ dušika.

Akumulacija ugljika u tlu, do dubine od 85 cm kreće se između 139,8 i 146,1 Mg ha⁻¹. Najviša je u proljeće, najniža u jesen, a srednja je vrijednost 143,5 Mg ha⁻¹ TOC. Akumulacija dušika kreće se između 13,54 i 14,07 Mg ha⁻¹, s prosječnom vrijednošću 13,78 Mg ha⁻¹.

Rasprava Discussion

Snižavanje razine vode temeljnice, pa i općenito promjene vodnog režima najčešći su uzroci opadanja vitalnosti sastojina crne johe (Levanič 1993, Smolej 1995, Pretzell 1997, Baar i sur. 2002). To se ponajprije pripisuje osjetljivosti crne

Tablica 2: Akumulacija ugljika i dušika u sastojini crne johe (*Alnus glutinosa*)

Tablica 2: Accumulation of carbon and nitrogen in the black alder (*Alnus glutinosa*) ecosystem

Biomasa Biomass	C	N
	Mg ha ⁻¹	
Drvo Wood	165.9	0.886
Kora Bark	46.4	1.012
Lišće Leaves	2.325	0.116
Nadzemna biomasa Aboveground biomass	214.625	2.014
Šumska prostirka aritm. sred./god. Forest floor average/year	1.32	0.073
Tlo do 85 cm dubine Soil down to 85 cm	143.5	13.782
A horizont A horizon only	57.287	5.383
Ekosistem ukupno Ecosystem total	359.445	15.796

johe na suhoću staništa (Eschenbach 1995, Hall i Burgess 1990). Osim smanjenja vlažnosti, i dugotrajnija plavljenja mogu također imati za posljedicu opadanje vitalnosti, a tako i visinskog, radijalnog te obujamnog prirasta (McVean 1953, Levanič 1993). Popratne pojave značajnijih promjena vodnog režima u sastojinama crne johe kao što su smanjenje abundancije nodula te udjel mikorize u rizosferi (Dilly i Munch 1996, Dilly i sur. 2000, Middelhoff 2000, Baar i sur. 2002) nesumnjivo participiraju u sinergijskom učinku na stanje vitalnosti takvih sastojina.

Sastojina johe koju smo istraživali vrlo je visoke produktivnosti drvne mase (drvna zaliha $\varnothing > 7$ cm je $751 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), što korespondira i s visokom akumulacijom organskog ugljika ($214,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). Dakako, za ukupnu akumulaciju organskog ugljika u šumskoj biomasi (drvo, kora, list) trebalo bi uzeti i obzir i onu koju ovdje nismo analizirali (grmlje, prizemno rašće i korijen). Prema Vašičeku (1985) to je još dodatnih oko 20 Mg ha^{-1} .

Ukupna akumulacija ugljika u biomasi ($214,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) na istraživanoj plohi značajno premašuje akumulaciju ugljika u tlu ($143,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), iako je čest i suprotan odnos (Klimo, 2009). Pelíšek (1976) tako navodi akumulaciju ugljika u tlu od čak $226,9 \text{ t ha}^{-1}$ u sastojinama južne Moravske, što se pripisuje i aluvijalnom utjecaju, odnosno prisustvu fosilnih organskih horizonata. Tlo istraživane sastojine u Podravini nastalo je sedimentacijom eolskog dravskog pijeska koji je premještan aluvijalnim procesima, a nastanak humusnoakumulativnog horizonta pod izravnim je utjecajem sastojine crne johe. Značajno veći sadržaj ugljika u tlu od one u nadzemnoj biomasi očekivan je neposredno nakon sječe (čista sječa na kraju ophodnje).

Suprotno od ugljika, akumulacija dušika u gornjem sloju tla značajno premašuje akumulaciju dušika u biomasi. To se može pripisati intenzivnoj dekompoziciji organskih ostataka s relativno visokim udjelom dušika u lišću (oko 25 g kg^{-1}) i simbiotskom fiksacijom od strane *Actinobacterium Frankia* s ektomikoriznim gljivama (prema Dittert i sur. 2000 – u J. Laganis 2007) – fiksacija može biti u rasponu od 40 do $45 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$. Prinos dušika kroz listinac u istraživanoj sastojini je oko 115 kg ha^{-1} . Citirajući Moirouda (1991) Claessens i sur. (2010) navode za crnu johu raspon od 30– 130 kg ha^{-1} godišnjeg prinosa dušika putem listinca, što ukazuje na visokoprodukcijske značajke naše istraživane sastojine. Zanimljiv je vrlo značajan rast koncentracije dušika u prostirci od jeseni do proljeća. Kad se promatra promjena koncentracije dušika u prostirci na razini godine (od odbacivanja do odbacivanja lista), ona ima također pozitivan trend. Ovu pojavu (doduše na primjeru iglica običnog bora) Berg i McClaugherty (2007) drže još uvijek nedovoljno objašnjenom, usprkos činjenici da se radi o visokom stupnju korelacije ($R^2 > 0,9$), dakle o svojevrsnoj zakonitosti. U odnosu na druge vrste nizinskih šuma joha relativno kasno odbacuje list. Njegova razgradnja u zimskom razdoblju teče sporije od lista poljskog jasena, a neznatno brže ili podjednako kao list hrasta lužnjaka u poplavnim šumama (Klimo 1985). Intenzitet razgradnje listinca crne johe na istraživanom staništu u Hrvatskoj značajno se povećava u proljetno-ljetnom razdoblju. Dok se jasenov list već do sredine ljeta potpuno razgradi kod hrasta lužnjaka do odbacivanja novog lista razgradi se tek 56–71 % (Klimo 1985). Kod crne johe na istraživanom lokalitetu, do odbacivanja novog lista razgradi se oko 90 % prostirke od početne mase u jesen nakon odbacivanja lista – do gotovo istovjetnog rezultata, u sličnim hidrološkim uvjetima i pri sličnoj pH-vrijednosti, na sjeveru Njemačke, došli su Dilly i Munch (1996). Držimo da se tijekom odbacivanja lista, razgradi i preostalih 10 % prostirke, pa takav proces u potpunosti odražava dinamičku ravnotežu jednog aspekta protoka tvari i energije u sastojini crne johe. Takva nesmetana razgradnja rezultira tvorbom zrelog humusa, koji u uvjetima dobre prozračnosti površinskog dijela tla u ljetno-jesenskom razdoblju mineralizacijom odražava dinamičku ravnotežu organskog kompleksa tla. A- horizont je stoga relativno plitak (prosječno 7 cm), a akumulacija organskog ugljika u njemu je svega $57,3 \text{ Mg ha}^{-1}$. Prisutnost karbonata, osobito u dubljem dijelu tla, održava reakciju tla na slabo kiseloj do slabo alkalnoj razini (sveukupno pH je 5,10–7,82, mjereno u vodi), što uz povremeno plitko plavljenje u proljetnom i jesenskom razdoblju pogoduje biogenosti tla te humifikaciji i mineralizaciji organske tvari (Dilly i Munch 1996).

Postojanost povoljnih ekoloških uvjeta istraživanog staništa vrlo dobro se odražava u ujednačenom radijalnom prirastu. Prosječna širina goda je 1,7 mm, bez trenda značajnijih promjena indeksa širine godova, što upravo ukazuje na relativnu postojanost vodnog režima. Ova postojanost vodnog

režima nesumnjivo najjače uporište ima u slabo izraženoj fluktuaciji razine vode temeljnice te rijetko prisutnoj (gotovo isključivo u izvanvegetacijskom razdoblju) plitkoj poplavnoj vodi, koja nema negativan utjecaj na vitalnost johovih sastojina (Kozłowski 1982, Keeland 1997, Dittert i sur. 2006). Uzrok tako slabo izraženoj (ograničenoj) fluktuaciji razine vode temeljnice može se potražiti u plitkim vodonosnim sedimentima, koji onemogućuju nesmetanu komunikaciju vode temeljnice s rijekom Dravom.

Zaključci Conclusions

1. Tlo istraživane sastojine crne johe u Podravini je močvarno glejno tlo, pjeskovito-glinaste do ilovasto-pjeskovite teksture, plitkog humusno-akumulativnog horizonta (prosječno 7 cm), te slabo kisele (u površinskom dijelu) do slabo alkalne reakcije (na dubini >50 cm);
2. Postojana razina vode temeljnice u izvanvegetacijskom razdoblju povremeno izaziva plitko (do 20–30 cm) plavljenje u sastojini, u vegetacijskom razdoblju ne spušta se dublje od 130 cm;
3. Drvna zaliha od 751 m³ ha⁻¹ ukazuje na visoko produktivno šumsko stanište, a vitalnost i dugoročna stabilnost sastojine dobro se odražava u postojanom indeksu širine godova u posljednjih 80 god;
4. Tijekom godišnjeg ciklusa razgradnje šumske prostirke razgradi se 90–100 % od početne mase nakon odbacivanja lista;
5. Od jeseni do proljeća raste sadržaj ugljika i dušika u A-horizontu, a zatim ponovno opada. Istovremeno, od jeseni do proljeća značajno opada pH- vrijednost, a zatim ponovno raste;
6. Akumulacija ugljika u nadzemnoj biomasi je 214,6 Mg ha⁻¹, a u tlu 143,5 Mg ha⁻¹. S druge strane akumulacija dušika veća je u tlu – u nadzemnoj biomasi je 2 Mg ha⁻¹, a u tlu čak 13,8 Mg ha⁻¹.
7. Ekološka stabilnost i visoka produkcija drvene mase istraživane sastojine odraz je optimalne sinergije lokalnih uvjeta, koji su značajnije izmijenjeni pred ~ 150 god.
8. Usprkos pionirskim obilježjima crne johe, vitalnost i proizvodnost ovih sastojina argument su ekološkoj i gospodarskoj opravdanosti održivog gospodarenja ovim/ovakvim johovim sastojinama.

Zahvala Acknowledgment

Zahvaljujemo se upravitelju šumarije Đurđevac Zlatku Listu, dipl. ing. šum. i revirniku Goranu Švaci, dipl. ing. šum. na pomoći u terenskom dijelu istraživanja.

Literatura References

- Anić, I., S. Matić, M. Oršanić, D. Belčić, 2005: Morfologija i struktura šuma poplavnih područja. U: Vukelić, J. (Ur.): Poplavne šume u Hrvatskoj. HAZU, Hrvatske šume, Grad Zagreb. p.p. 245–262.
- Baar, J., T. Bastiaans, M. A. Van de Coevering, J. G. M. Roelofs, 2002: Ectomycorrhizal root development in wet Alder carr forests in response to desiccation and eutrophication. *Mycorrhiza*, 12(3):147–151.
- Badjun, S., 1977: Prilog proučavanju svojstava kore hrasta, jasena i jele. Bilten ZIDI, Šum. fak. Zagreb, 5(1–2):1–28.
- Berg, B., C. McClaugherty, 2007: Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. 2nd ed., Springer, 338 p.
- Brožek, S., T. Wanic, 2002: Impact of forest litter of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench, *Alnus viridis* (chaix) Lam. et DC, *Abies alba* Mill., and *Fagus sylvatica* L. on chosen soil properties. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 5(1):1–7.
- Claessens, H. i sur., 2010: A review of the characteristics of black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) and their implication for silvicultural practices. *Forestry*, Vol. 83, No. 2, 2010.
- Cook E. R., L. A. Kairiukstis, 1990: Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publisher and International Institute for Applied Systems Analysis, Dordrecht, Boston, London, 394 pp.
- ČSN 49 0108 Drevo. Zisťovanie hustoty (Odreďovanie gustoće).
- Dilly, O., H. Bach, F. Buscot, C. Eschenbach, W. L. Kutsch, U. Middelhoff, K. Pritsch, J. C. Munch, 2000: Characteristics and energetic strategies of the rhizosphere in ecosystems of the Bornhöved Lake district. *Applied Soil Ecology*, 15:201–210.
- Dilly, O., J. C. Munch, 1996: Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(8):1073–1081.
- Dittert, K., J. Wötzel, B. Sattelmacher, 2006: Response of *Alnus glutinosa* to anaerobic conditions – Mechanisms and rate of oxygen flux into the roots. *Plant Biology*, 8(2):212–223.
- Eschenbach, C., 1995: Zur Physiologie und Ekologie der Schwarzerle (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) Dissertation, Universität Kiel, 197 p.
- Glavač, V., 1960: Crna joha u posavskoj i podravskoj Hrvatskoj s ekološkog i šumskouzgojnog gledišta. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 141 str.
- Grissino-Mayer H. D., R. Holmes, H. C. Fritts, 1992: International tree-ring data bank program library. Version 1.1. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- Hall, R. B., D. Burgess, 1990: Evaluation of *Alnus glutinosa* species and hybrids. *Biomass London*, 22(1–4):21–34.
- Holmes R.L., R. K. Adams, H. C. Fritts, 1986: Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin with Procedures Used in the Chronology Development Work Including Users Manuals for Computer programs Cofecha and Arstan. – Chronology Series VI. Laboratory of Tree – Ring Research, University of Arizona, Tucson, AZ, USA, pp. 50–56.

- IUSS Working Group WRB, 2006: World reference base for soil resources, 2nd edition, World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Rome, 128 p.
- Kajba, D., J. Gračan, 2003: EUROGENT Technical guidelines for genetic conservation and use for Black Alder (*Alnus glutinosa*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6 pp.
- Keeland, B. D., R. R. Sharitz, 1997: The effects of water-level fluctuations on weekly tree growth in a southeastern USA swamp. *American Journal of Botany*, Vol 84(1):131–139.
- Klimo, E., 1985: Cycling of mineral nutrients. In M. Penka et al: Floodplain Forest Ecosystem. Water Management Measures. Academia Praha, pp 425–459.
- Klimo, E., 2009: Accumulation and transport processes of carbon and nitrogen in floodplain forest in relation to the production of biomass. Proceedings of the scientific symposium: Forests of pedunculate oak in changed site and management conditions. Croatian Academy of Science and Arts, IUFRO, Zagreb 24–25. 09. 2008., p. 183–192.
- Kozłowski, T. T., 1982: Water supply and tree growth. Part II. Flooding. *Forestry Abstracts*, 43:145–161.
- Krajnc, N., 2005: Ocenjevanje izbranih socialnoekonomskih in okoljskih posledic rabe lesne biomase. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 200 p.
- Kroupová M., 2002: Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. *Journal of Forest Science*. Vol. 48, No. 12, pp. 536–548.
- Laganis, J., 2007: Emergency analysis of black alder (*Alnus glutinosa* L.) Gaertn.) floodplain forest growth. Dissertation. University of Nova Gorica. 175 p.
- Levanič T., 1993: Vpliv melioracij na rastne in prirastne značilnosti cme jelše (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn), ozkolistnega jesena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) in doba (*Quercus robur* L.) v Prekmurju. (Effects of hydromelioration on growth and increment characteristics of black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn), ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) and oak (*Quercus robur* L.) in Prekmurje) – Master of science thesis, Ljubljana, Biotechnical Faculty, Forestry department, 114 pp.
- Mauer, P., 2003: Vývin kořenového systému olše lepkavé (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) a olše zelené (*Alnus viridis* [Chaix] DC) v imisních oblastech (The development of a root system of *Alnus glutinosa* and *Alnus viridis* in air-polluted areas). Internal report, Mendel University, Brno, NAZV No. Al1129, 83 pp. (in Czech).
- McVean, D. N., 1953: Biological flora of the British Isles: *Alnus glutinosa* (L.) Moench. *Journal of Ecology*, 41(2):447–466.
- Middelhoff, U., 2000: Simulationgestützte Analyse der Raumzeitlichen Verteilung der Biomasse in einem Erlenwand unter besonderer Beachtung der Feinwurzelndynamik. Dissertation, University of Kiel, 140 p.
- Pelíšek J., 1976: Dynamics of nutrients in soils of floodplain forests of southern Moravia. *Lesnictví*, 22: 57–74. (in Czech).
- Požgaj, A., D. Chovanec, S. Kurjatko, M. Babiak, 1993: Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 485 pp. ISBN 80-07-00600-1.
- Pretzell, D., E. M. Knor, A. Reif, 1997: Degradation of alder swamp forest in the upper Rhine Valley (Degradation von Erlenbruchwäldern in der Oberrheinebene). *Verhandlungen-Gesellschaft für Ökologie*, 27:435–440 (in German, with English abstract).
- Prpić, B., I. Milković, 2005: Rasprostranjenost poplavnih šuma u prošlosti i danas. In: Poplavne šume u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb 2005, pp. 23–39.
- Rybníček M., P. Čermák, T. Kolář, T. Žid, 2010: Radial Growth and Health Condition of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Stands in Relation to Climate (Silesian Beskids, Czech Republic). *Geochronometria*, 36(1): 9–16
- Smolej, I., 1995: Hydrological condition on permanent research plots. In: Oak Decline in Slovenia. Final report. Ljubljana, Wien, Forestry Institute, Institut für Waldökologie, 213 p.
- Stankić, I, S. Kovač, T. Poršinsky, 2010: Značajke kore podravske crne johe. *Nova mehanizacija šumarstva*, 31(1):27–36.
- Škorić, A., G. Filipovski, M. Ćirić, 1985: Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 72 pp.
- Vašíček F., 1985. Natural conditions of floodplain forests. In: PENKA et al. (eds), Floodplain Forests Ecosystems 1. Prague, Academia: 13–29.
- Vrbek, B., I. Pilaš, 2011: Istraživanje promjena nekih kemijskih i fizikalnih osobina u tlu pod šumom bora i bagrema na području Đurđevačkih pijesaka. *Šumarski list, Zagreb, posebni broj*, 230–238.
- Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet i Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb 2012, p 403.
- Vukelić, J., D. Baričević, Z. List, M. Šango, 2006: Prilog fitocenološkim istraživanjima šuma crne johe (*Alnus glutinosa* Gaertn) u Podravini. *Šum. list*, 130 (11–12):479–492, Zagreb.
- x1, 2006: Posebni rezervat šumske vegetacije "Crni jarki"; Program zaštite šumskih ekoloških sustava, Hrvatske šume d.o.o., Uprava šuma Koprivnica.
- Zalesov, S.V., i sur., 2008: Черноолховые леса Волго-Донского бассейна и ведение хозяйства в них (The forests of black alder in the Volga-Don watershed and forest management in these forests). *Jekaterinburg, 2008, Ural State Forest-Technical Institute*, 231 pp.
- Zaninović, K., M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić i sur., 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

Summary

This research was conducted in a 95-year-old, highly productive stand of black alder growing in the Drava plain in Croatia. The goal was to investigate the main features of carbon-nitrogen accumulation and dynamics in the stand of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), as an indicator of ecosystem stability and sustainability of managing such stands.

Soil physiography was investigated in a permanent sample plot sized 1 ha with growing stock of 751 m³ ha⁻¹. In the course of one season of leaf litter decomposition, the forest floor and soil from the A horizon were sampled on three occasions; the first sampling took place after leaf drop in 2009, the second at the beginning of vegetation (April 2010), and the third before leaf drop (beginning of November 2010). The forest floor mass was determined and so was the carbon and nitrogen content in the forest floor, in the bark, in the physiologically mature leaf and in the soil, as well as the soil pH value. Dendrochronological analysis was performed on black alder wood specimens to determine wood density and carbon and nitrogen content.

Data from piezometers set up within the plot for the period 1997–2000 were used to interpret the water regime.

According to the research, the soil is Haplic Gleysol (Endoarenic), with a relatively shallow A horizon, of sandy-clayey to loamy-sandy texture, of weakly acidic and in the deeper part weakly alkaline reaction. The water regime is characterized by a shallow and stable groundwater level which occasionally causes shallow (up to 20–30 cm) flooding in the out-of-vegetation period, and does not drop below 130 cm in the vegetation period. The forest floor mass ranges from 4.71 Mg ha⁻¹ after leaf drop, over 3.36 Mg ha⁻¹ in the spring, to 0.51 Mg ha⁻¹ in the autumn before renewed leaf drop, which indicates complete decomposition of black alder leaf litter in a yearly cycle. During this period the C:N ratio decreases from 19 to 14.8. Carbon and nitrogen content in the A horizon increases from autumn to spring, but drops again afterwards. Simultaneously, the pH value significantly drops from autumn to spring, but rises again by autumn. In mid-summer, carbon accumulation in the above-ground biomass of the stand is 214.6 Mg ha⁻¹, while in the soil it is 143.5 Mg ha⁻¹ on average. On the other hand, nitrogen accumulation is higher in the soil: while it is 2 Mg ha⁻¹ in the above-ground biomass, it reaches over 14 Mg ha⁻¹ (13.8 on average) in the soil. Overall accumulation of organic carbon in the ecosystem is 359.5 Mg ha⁻¹, and of nitrogen it is 15.8 Mg ha⁻¹.

The research has confirmed that this is an exceptionally vital stand, evidently with excellent ecological conditions for the growth of black alder. The vitality and long-term stability of this stand is best reflected in the stable ring width index in the past 80 years, as confirmed by the very large growing stock amounting to 751 m³ ha⁻¹ for a stand aged 93–98 (above the taxation limit of 7 cm).

KEY WORDS: black alder, forest floor, A- horizon, dendrochronological analysis, carbon accumulation, nitrogen accumulation