

UDK: 630\*524:631.84

Prethodno saopštenje *Preliminary report*

### MOGUĆNOST PRIMENE AZOTOFIKSATORA U ŠUMSKIM EKOSISTEMIMA

Srđan Stojnić<sup>1</sup>, Saša Orlović<sup>1</sup>, Marina Katanić<sup>1</sup>, Verica Vasić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Antona Čehova 13d, 21000 Novi Sad, Republika Srbija

**Izvod:** U radu je dat pregled istraživanja uticaja simbiotske i nesimbiotske azotofiksacije u šumskim i agrošumarskim sistemima. Prva istraživanja mogućnosti primene azotofiksirajućih mikroorganizama u biljnoj proizvodnji vezuju se za poljoprivredne kulture, da bi 1894. godine bio dokumentovan i prvi pokušaj primene azotofiksacije u šumarstvu. Rezultati brojnih istraživanja upućuju na značajnu ulogu azotofiksacije u prirodnim sastojinama, plantažama i agrošumarskim sistemima, gde je dokazano da azot obezbeđen biljkama putem azotofiksacija, osim što pozitivno utiče na bujnost rasta, produktivnost sastojina i formu stabala, istovremeno popravlja i osobine zemljišta.

Istraživanja analizirana u radu su vršena na različitim vrstama drveća i tipovima staništa, što je značajno s obzirom da su i šumski ekosistemi Srbije raznovrsni, kako po vrstama drveća, tako i po stanišnim karakteristikama.

**Ključne reči:** azotofiksacija, prirodne sastojine, plantaža, agrošumarski sistem.

### POSSIBILITIES FOR THE MICROBIOLOGICAL NITROGEN FIXATION IN FOREST ECOSYSTEMS

Srđan Stojnić<sup>1</sup>, Saša Orlović<sup>1</sup>, Marina Katanić<sup>1</sup>, Verica Vasić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Novi Sad Institute of Lowland Forestry and Environment, Antona Čehova 13d, 21 000 Novi Sad, Republic of Serbia

**Abstract:** The paper presents an overview of the researches on the effects of symbiotic and non-symbiotic nitrogen fixation in natural forests and agroforestry systems. The first studies about potential application of nitrogen fixing microorganisms in plant production were related to agriculture, while the first documented attempt of applying of nitrogen fixation in forestry, is relating to 1894. The results of numerous studies indicate to important role of nitrogen fixation in natural stands, plantations and agroforestry systems, where it is proven that nitrogen, provided to plants by nitrogen fixation, besides for having a positive effect on the vigor of growth, stand productivity and form of trees, has positive effect on the soil properties, as well.

The researches analyzed in the paper were performed on different tree species and habitat types, which is significant considering that the forest ecosystems of Serbia are divers both, in tree species and habitat characteristics.

**Key words:** nitrogen fixation, natural stands, plantation, agroforestry system.

## UVOD

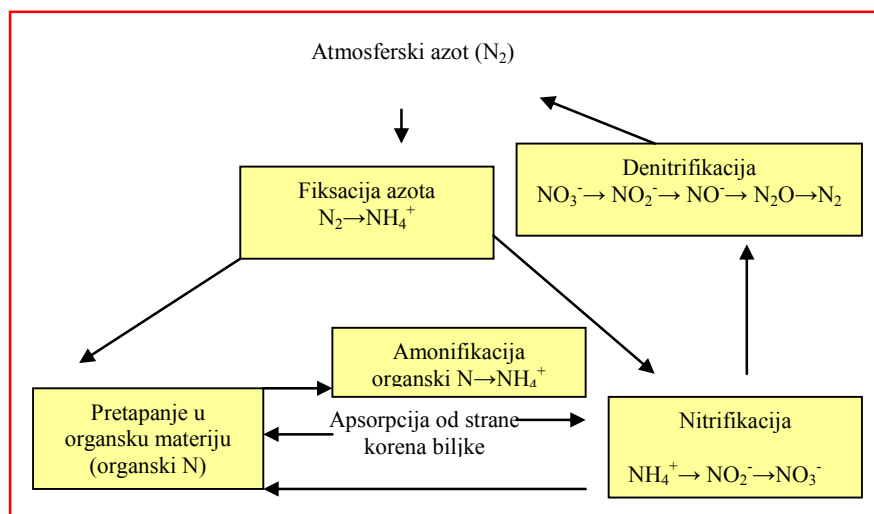
Azot je osnovni element i pokretač rasta biljaka. Njegov sadržaj u suvoj materiji biljke se kreće između 2 i 5 %. Gradivni je element brojnih organskih jedinjenja kao što su: aminokiseline, proteini, nukleinske kiseline, amidi, amini, koenzimi, molekuli hlorofila itd. (Oljača i sar., 2006).

Azot utiče na brojne fiziološke procese i morfološke osobine biljaka. Od svih elemenata mineralne ishrane, rast biljaka i veličina uroda zavisiće najviše od količine raspoloživog azota. Generalno, nedostatak azota se manifestuje kroz smanjeno razviće biljaka, koje se ogleda u umanjenom prirastu, smanjenju količine plodova, umanjenom kvalitetu plodova itd., dok se najviše ispoljava na asimilacionoj površini. Njegov čak i mali nedostatak dovodi do narušavanja korelativnih odnosa nadzemnog dela biljke i korena, utiče na morfologiju korena i prinos i kvalitet semena (Oljača i sar., 2006).

U prirodi se nalazi u obliku molekuskog azota u atmosferi (u čijem sastavu učestvuje sa 78 – 80%), kao i u obliku različitih neorganskih i organskih jedinjenja azota koja podležu neprikidnim procesima transformacije. Od ukupne količine azota, u zemljištu se nalazi svega 1-3 %.

Slika 1. Šematski prikaz kruženja azota u prirodi (Lanford, 2008)

Figure 1. Scheme of nitrogen cycling in nature (Lanford, 2008)



Proces kruženja azota u prirodi se obavlja kroz pet faza (Slika 1):

1. fiksacija azota;
2. inkorporiranje u organsku materiju;
3. amonifikacija (mineralizacija);
4. nitrifikacija;
5. denitrifikacija.

Postoje dva načina prirodnog vezivanja azota – *abiotički* i *biotički* (Tešić, 1961). Abiotička fiksacija azota vezuje se za tri fizička fenomena – grmljavinu, vulkansku aktivnost i povremene velike šumske požare. Svaka od ovih pojava oslobađa amonijum jone u atmosferu, gde se oni rastvaraju u vodenoj pari i padaju na zemlju u vidu padavina. Ovakve padavine ne podmiruju samo potrebe biljaka za vodom, nego utiču i na plodnost zemljišta. Abiotički formirani amonijum joni, koji dospeju do zemlje, imaju dva moguća odredišta. Jedno je da budu apsorbovani direktno od strane korena biljaka i inkorporirani u živu biomasu, a drugo da učestvuju u procesu nitrifikacije.

Biljke azot usvajaju u obliku  $\text{NO}_3^-$  (nitratnog) i  $\text{NH}_4^+$  (amonijum) jona, a određene biljne vrste (*Leguminoseae*) zahvaljujući simbiozi sa kvržičnim bakterijama (azotofiksatorima) mogu da koriste i elementarni azot iz atmosfere (Komljenović i Todorović, 1998).

Biotička fiksacija azota obavlja se uz prisustvo mikroorganizama. Neki od ovih mikroorganizama žive slobodno u zemljištu ili vodenim ekosistemima i oslobađaju svoje produkte- amonijum jone direktno u okruženje. Drugi žive u uskim simbiotskim vezama sa pojedinim biljnim vrstama, pogotovo leguminozama, gde obitavaju u kvržicama (nodulama) na korenu biljaka. Azot koji je fiksiran na ovakav način direktno asimiluje biljka domaćin. Dodatno, neke životinje, uključujući termite i drvotočce, predstavljaju dom za pojedine azotofiksirajuće mikrobe koji žive unutar njihovih tela. U nekim ekosistemima, ovi organizmi mogu biti važni činiooci u dubrenju zemljišta.

Kao i kod abiotičke fiksacije, i u ovom slučaju amonijum joni mogu biti apsorbovani direktno iz zemljišta u koren biljke i ući u lanac ishrane ili prvo u procesu nitrifikacije biti transformisan u nitrate, pa zatim asimilovan od strane biljaka.

Kao rezultat raspadanja mrtve organske materije dolazi do oslobađanja amonijum jona koji mogu biti ponovo apsorbovani od strane korena biljaka ili učestvovati u procesu *nitrifikacije*.

Većina amonijum jona u zemljištu, zahvaljujuću nitrifikacionim bakterijama, biva transformisana u nitritne ( $\text{NO}_2^-$ ) i nitratne jone ( $\text{NO}_3^-$ ). Denitrifikacione bakterije vrše redukciju nitrate do molekuskog azota ( $\text{N}_2$ ), čime se kompletira prirodno kruženje azota.

## **BIOTIČKA AZOTOFIKSACIJA**

Biotička azotofiksacija je proces u kome posebna grupa mikroorganizama obavlja vezivanje atmosferskog azota i njegovo prevođenje u podesna jedinjenja, koja i biljke mogu da koriste (Tešić, 1961).

U zavisnosti da li mikroorganizmi stupaju u simbiotsku vezu sa biljkama, razlikuju se dva tipa mikrobiološke azotofiksacije (**Slika 2**): *simbiotska* i *slobodna* (*asimbiotska*) *azotofiksacija*. Simbiotska azotofiksacija može da bude *leguminozna*

i *neleguminozna*, u zavisnosti da li mikroorganizmi obrazuju mutualističke zajednice sa leguminoznim ili neleguminoznim biljkama. Što se tiče slobodne azotofiksacije, tu se prema sadržaju kiseoniku iz vazduha u datim sredinama mogu razlikovati dva tipa fiksacije: *aerobna slobodna azotofiksacija* i *anaerobna slobodna azotofiksacija* (Stanković et al., 2006).

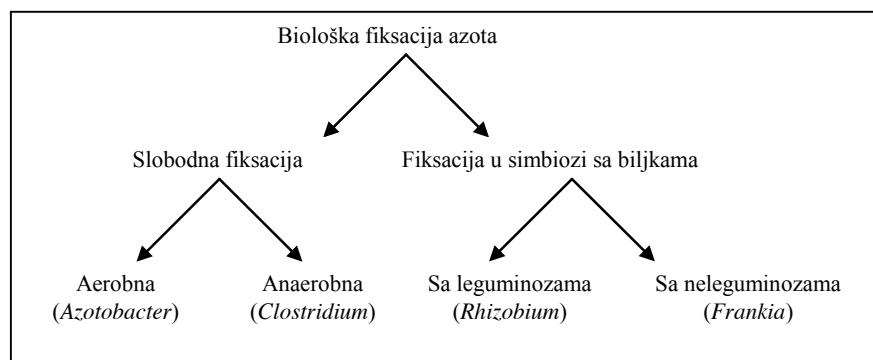
## SIMBIOTSKA AZOTOFIKSACIJA

Simbiotska azotofiksacija predstavlja značajan vid snabdevanja biljaka azotom iz vazduha putem simbiotskih bakterija koje žive na korenu biljaka. One na korenu stvaraju oštećenja (kvržice) u kojima su smeštene bakterije, a koje su sposobne da fiksiraju elementarni azot. Iako je ovo manje rasprostranjeni vid azotofiksacije u prirodi, ovim putem se vezuje oko polovina celokupnog vezanog azota mikrobiološkim putem u prirodi (Tešić, 1961). Simbiotski azotofiksatori formiraju mutualističke zajednice sa višim biljkama u okviru kojih koriste jedinjenja sintetisana u procesu biljne fotosinteza, a sami vrše proces fiksaciju molekuskog azota (Gajin, 2007).

Simbiotski azotofiksatori, prethodno, naseljavaju rizosferu kao obligatni, aerobni saprofiti koji ne mogu da vrše fiksaciju molekuskog azota. Pod određenim uslovima bakterije stupaju u vezu sa korenom biljaka, iniciraju formiranje nodula i razvijaju azotofiksirajuću aktivnost.

Slika 2. Biotička fiksacija azota

Figure 2. Biotic nitrogen fixation



### Simbiotska azotofiksacija sa leguminoznim biljkama

Familija *Leguminosae* ili *Fabaceae* je jedna od najbrojnih familija unutar razdela cvetnica (*Magnoliophyta*) na svetu. Region umerene klime, sa par izuzetaka (*Robinia*, *Gleditsia*, *Cercis*, *Gymnocladus* itd.), naseljavaju isključivo jednogodišnje i višegodišnje zeljaste i neke niže drvenaste leguminozne biljke (Crews, 1999).

Leguminozne biljke godišnje vezuju između 27 – 85 kilograma azota po hektaru u prirodnim ekosistemima, dok se u poljoprivrednim sistemima ta brojka kreće i do nekoliko stotina kilograma po hektaru (Lindemann i Glover, 2003).

Mikroorganizmi koji vrše azotofiksaciju u simbiozi sa leguminoznim biljaka jedini pripadaju grupi *pravih bakterija*. To su asporogeni, aerobni, gramnegativni i jako polimorfni njihovi predstavnici (Tešić, 1961).

Bakterije iz grupe rizobija su sposobne da fiksiraju azot u asocijaciji sa biljkama. Pod uticajem rizobija na korenu leguminoznih biljaka nastaju zadebljanja u obliku kvržica (nodula), zahvaljujući kojima biljke ne samo da uspevaju na lošijim terenima, već popravljaju i samo zemljište, dok u svom sastavu sadrže više azotnih materija (naročito proteina) (Tešić, 1961).

Faze infekcije i razvoja korenovih kvržica (nodula) obuhvataju:

1. Prepoznavanje odgovarajućeg partnera na relaciji biljka-bakterija i pričvršćivanje bakterije na korenove dlačice;
2. Formiranje infekcionih niti i prodiranje bakterija u unutrašnjost korena;
3. Prenos bakterija do glavnog korana preko infekcionih niti;
4. Razmnožavanje bakterija i obrazovanje deformisanih bakterijskih ćelija, bakteroida, unutar biljnih ćelija;
5. Dalje promene biljnih i bakterijskih ćelija i obrazovanje nodula (kvržica) na korenu u kojima se odvija proces azotofiksacije.

#### **Simbiotska azotofiksacija sa neleguminoznim biljkama (aktinorizna azotofiksacija)**

Termin *aktinoriza* se odnosi na simbiotsku vezu između aktinoriznih bakterija iz roda *Frankia* i više od 200 vrsta skrivenosemenica.

*Frankia* je rod azotofiksirajućih, končastih bakterija koje žive u simbiozi sa aktinoriznim biljkama. Kao i u slučaju rizobije i ovde dolazi do formiranja azotofiksirajućih korenskih kvržica. Osim simbiotskih zajednica sa aktinomicetama, ove biljke mogu da grade zajednice i sa drugim mikroorganizmima, kao npr. mikoriznim gljivama. Ova zajednicama omogućava biljkama da dobiju vodu, fosfor i druge mineralne materije iz zemljišta, dok za uzvrat štite gljive od drugih štetnih mikroorganizama (Valdes, 2008). Veoma čest je slučaj da dolazi i do trojne simbioze, gde mikorizne gljive pomažu rast biljaka i nodulaciju u uslovima staništa siromašnih hranljivim materijama (Orfanoudakis et al., 2004).

Aktinorizne biljke se javljaju na zemljištima koja su siromašna azotom, pogotovo peskovitim i močvarnim, omogućavajući ponovno uspostavljanje šumskih biljnih zajednica na degradiranim staništima bilo da se radi o degradaciji nastaloj delovanjem abiotičkih ili biotičkih faktora (čoveka).

Posebno je interesantan rod *Alnus*, s obzirom na zastupljenost ove vrste na teritoriji Srbije. Vrste iz roda *Alnus* se javljaju na širokom spektru staništa: šumama umerene zone, glacijalnim poljima, peščanim poljima, duž vodenih tokova, naslagama pepela, močvarama, sasušenoj lavi itd. De Bell i Radwan (1979), kao još jednu pozitivnu stranu vrsta iz roda *Alnus*, ističu sposobnost da povećaju količinu azota u zemljištu u veoma kratkom periodu, što je posebno značajno u četinarskim sastojinama.

*Frankia* može da inficira biljku domaćina na dva načina: preko korenovih dlačica ili direktnom intercelularnom penetracijom korenovih ćelija epidermisa i korteksa.

## SLOBODNA AZOTOFIKSACIJA

Slobodna (asimbiontska) azotofiksacija je mikrobiološki proces, gde se elementarni azot iz vazduha dovodi u zemljište preko specifičnih bakterija koje ne žive na korenovim dlačicama, nego pored njih (u rizosferi). One se hrane izlučevinama korena i u procesima umnožavanja i odumiranja ostavljaju značajnu količinu azotnih jedinjenja (najviše amonijaka) u zemljištu ili vodi, gde ga mogu koristiti ostali mikroorganizmi ili više biljke (Tešić, 1961).

Bakterije koje vrše slobodnu fiksaciju azota mogu se podeliti u sledeće grupe<sup>1</sup>:

1. obligatne aerobe (npr. *Azotobacter*);
2. obligatne anaerobe (npr. *Clostridium pasteurianum*);
3. fakultativni anaerobi (npr. *Klebsiella*);
4. fotosintetičke bakterije (npr. *Rhodobacter*);
5. mnoge cianobakterije;
6. neke metanogene

Sve ove bakterije, u zavisnosti od toga da li azotofiksaciju vrše u prisustvu kiseonika ili ne, mogu se svrstati u dve grupe: slobodne aerobne azotofiksatore i slobodne anaerobne azotofiksatore.

### Slobodna aerobna azotofiksacija

Slobodna aerobna azotofiksacija se ostvaruje u svim zemljištima gde ne postoji ozbiljnija prepreka za pristup kiseonika iz vazduha. Javlja se uglavnom u poljoprivrednim zemljištima, koja su dobro aerisana usled intenzivne obrade, dok je slabije zastupljen u šumskim zemljištima, pogotovo onima koja imaju kiselu reakciju (Tešić, 1961; Jarak i sar., 2005).

Među slobodne aerobne fiksatore azota spadaju rodovi *Azotobacter* i *Azomonas*, dok se u tropskim kiselim zemljištima nalaze posebni ekotipovi uvršteni u rod *Beijerinckia* (Tešić, 1961).

Slobodni azotofiksatori zahtevaju stalan priliv organskih materija kako bi vršili fiksaciju azota na maksimalnom nivou. Kako se kultivacijom zemljišta naglo troše zemljišne zalihe dostupnih organskih materija, to delom utiče na smanjenu azotofiksaciju u obrađivanim zemljištima (Adams, 1962). Plodnost zemljišta je takođe veoma važan faktor koji utiče na veličinu slobodne azotofiksacije. Za nesmetanu nesimbiontsku azotofiksaciju kalcijum, kalijum i fosfor moraju biti u izobilju. Takođe, bitno je da se i gvožđe, molibden i mangan javljaju u malim količinama.

Iako druge biljke i mikroorganizmi zahtevaju velike zalihe mineralnog azota, kod azotofiksirajućih bakterija je drugačiji slučaj. Zbog činjenice da su ove bakterije "lenje" obilje mineralnog azota bi rezultovalo pojavom da bakterije ne koriste atmosferski azot. Iz tog razloga, za maksimalnu azotofiksaciju atmosferskog azota, potrebno je da zemljište bude siromašnije azotom, ali bogatije drugim hranljivim elementima.

---

<sup>1</sup> Izvor podataka: <http://www.micro.siu.edu/>, decembar 2009. godine.

### Slobodna anaerobna azotofiksacija

*Anaerobni organizmi* ili *anaerobi* su svi organizmi koji ne zahtevaju kiseonik za svoj razvoj i retko se sreću u poljoprivrednim zemljištima, usled obrade i provetravanja gornjih slojeva zemljišta, sem u slučajevima kada ove bakterije imaju svoje aerobne pratioce koji troše troše kiseonik i omogućuju život i rad ovim anaerobnim azotofiksatorima (Tešić, 1961). Veća zastupljenost anaerobnih mikroorganizama je u šumskim zemljištima, pogotovo gde se formiraju različiti tipovi kiselog humusa. Ovo je posebno izraženo u četinarskim šumama gde usled nagomilavanja šumske prostirka i nemogućnosti njenog razlaganja, otežan je pristup kiseoniku iz vazduha i kiselija je reakcija, što omogućava veću zastupljenost anaerobnih azotofiksatora (Tešić, 1961). Posmatrano u odnosu na aerobnu azotofiksaciju, anaerobni mikroorganizmi koji vezuju azot su manje efikasni, ali istovremeno zastupljeniji od aerobnih (Adams, 1962).

Anaerobni mikroorganizmi su široko rasprostranjeni u zemljištu, biljnoj materiji u procesu truljenja, pa čak i organima za varenje kod preživala. U nepovoljnim uslovima mogu da formiraju spore kako bi preživeli u uslovima vrućine i suše (Postgate, 1998). *Fakultativne bakterije* su fiziološka grupa bakterija koje imaju sposobnost da rastu u prisustvu, ili bez prisustva, kiseonika iz vazduha, ali koje mogu da vrše fiksaciju azota samo u anaerobnim uslovima. Dve najveće grupe ovih bakterija pripadaju rodovima *Klebsiella* i *Bacillus*. Rod *Bacillus* je druga velika grupa fakultativnih bakterija koja uključuje diazotrofe. Ovaj rod je karakterističan po svojoj sposobnosti da formira spore i na taj način preživi u uslovima suše i povišene temperature (Postgate, 1998).

*Cianobakterije* (*Cyanobacteria*), poznate i pod imenima plavo-zelene alge, plavo-zelene bakterije i cianofite, su razdeo koji potrebnu energiju obezbeđuje procesom fotosinteze, pri čemu proizvodi kiseonik kao sporedni produkt. Cianobakterije su važna komponenta u pomorskom kruženju azota i važan primarni producent u mnogim okeanskim područjima, ali se takođe sreću i u sredinama različitim od morskih (svežoj vodi, slanim kontinentalnim jezerima itd.).

### PRIMENA AZOTOFIKSATORA U ŠUMSKIM EKOSISTEMIMA

Osnovu za upotrebu mikroorganizama u funkciji mikrobioloških đubriva čini poznavanje optimalnih karakteristika zemljišta neophodnih za razvoj pojedinih vrsta mikroorganizama, kao i uloge i toka mikrobioloških procesa u zemljištu. Poslednjih decenija sve više se koriste biopreparati sa simbiotskim (*Rhizobium/Bradhyrhizobium*) i asimbiotskih azotofiksatorima (bakterije *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Klebsiella planticola* i plavo-zelene alge) kao i njihove smeše sa *Bacillus* spp. (Milošević, 2008).

Količina azota u šumskim ekosistemima varira u širokim granicama. Obično iznosi nekoliko hiljada kilograma po hektaru, u zavisnosti da li se radi o listopadnim ili četinarskom šumama. Mikola et al. (1983), iznose podatke o količini azota u različitim šumskim ekosistemima: 4.480-13.760 kg/ha, koliko je izmereno u listopadnim šumama u Belgiji; 1.905-15.929 kg/ha (Bavarske šume); 1.017-1.673 (Finske borove šume).

Tip zemljišta ima najveći uticaj na brojnost i aktivnost mikroorganizama. Najpovoljniji uslovi za razmnožavanje mikroorganizama su zemljišta neutralne reakcije, dobre strukture, povoljnih vodno-vazdušnih osobina (60-70% poljskog vazdušnog kapaciteta) i sa sadržajem organske materije iznad 2% (Jarak i Govedarica, 2003). Vasić i sar. (2009) su ispitujući mikrobiološku aktivnost zemljišta na površinama za obnovu hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) ustanovili da je najveća brojnost mikroorganizama, bakterija, gljiva i aktinomiceta bila sredinom vegetacionog perioda, kada je najveća količina hranljivih materija i izlučevina korena u zemljištu. Ovo je uočeno na sva tri lokaliteta gde su ogledi bili postavljeni. Međutim, prisustvo azotobaktera je bilo konstatovano samo na jednom lokalitetu i to početkom vegetacionog perioda, što autori objašnjavaju kiselom reakcijom zemljišta na sve tri lokacije.

Sečom stabala i pripremom zemljišta za naredna pošumljavanja, dolazi do redukcije količine azota u šumskim zemljištima (Jurgensen et al., 1991). Mikola et al. (1983) navode dva glavna načina poboljšanja azotne ishrane drveća: (1) aktiviranje dekompozicije zemljišne organske materije i ubrzanja mineralizacije azota i (2) dodavanje azota direktno u zemljište u lako dostupnoj formi (upotreba azotnih đubriva). Prema Jurgensen et al. (1991) najčešći načini kojima se azot vraća u šumska zemljišta su: (1) putem vlažne i suve depozicije, (2) veštačkim đubrenjem, (3) simbiotskom azotofiksacijom i (4) slobodnom azotofiksacijom.

Jurgensen et al. (1991) navode da padavinama može dospeti u zemljište oko 20 kg N/ha/godišnje u zonama pod uticajem gasova iz industrijskih postrojenja, dok u šumskim ekosistemima koji se nalaze u unutrašnjosti, na severozapadu SAD-a, ta količina iznosi 0,2-5 kg N/ha/godišnje.

Primena azotnih đubriva u šumarstvu se vrši kako na zemljištima sa sirovim humusom, tako i na zemljištima sa niskim sadržajem humusa i azota. Glavni problemi primene azotnih đubriva su njihovo često negativno delovanje na ekosistem, kao i visoka cena i kratakotrajn efekat, zbog čega, da bi se postigli zadovoljavajući efekti, moraju često da se primenjuju (Mikola et al., 1983). Isti autori navode primer iz Finske gde se đubrenje vrši u intervalima od 5-9 godina tokom cele ophodnje, pri čemu se svaki put zemljištu dodaje 150 kg N/ha. Tarrant i Trappe (1971) iznose podatak da se na Pacifičkom Severozapanu SAD-a đubrenje azotom vrši sa 225 kg N/ha na svakih 5 godina. Negativni efekti koje izazivaju azotna đubriva su ispiranje nitrata, evaporacija amonijaka i denitrifikacija, koji u pojedinim slučajevima mogu imati alarmantne razmere (Mikola et al., 1983).

Glavna komercijalna svrha upotrebe drvenastih vrsta, koje žive u mutualističkim zajednicama sa azotofiksirajućim bakterijama, je visoka produkcija biomase po jedinici površine, smanjena potreba za primenom azotnih đubriva i povećana plodnost staništa. Da bi se ispunili navedeni ciljevi, primenjuju se dva sistema koji uključuju ove vrste: (1) sistem koji koristi drvenaste vrste, koje žive u zajednici sa azotofiksirajućim mikroorganizmima, kao jedinu ili glavnu komponentu finalne seče (mešoviti zasadi vrsta iz rodova *Alnus* i *Populus* ili zasadi vrsta iz roda *Alnus* i četinarara), (2) sistemi koji koriste biljke koje žive u zajednici sa azotofiksatorima, kao pomoćne vrste koje se uklanjaju pre završnih seča i imaju minorni udeo u konačnom prinosu (Lupina kada se koristi kao pomoćna vrsta u zasadima *Pinus radiata*) (Gordon i Dawson, 1979).



Količina biološki vezanog azota u šumskim ekosistemima varira u zavisnosti od autora i korišćene metode za ispitivanja sadržaja. Fisher i Binkley (2000), navode da se ona kreće od manje od 1 kg/ha godišnje do preko 100 kg/ha godišnje. Prema Silvester (1983) količina biološki vezanog azota u šumskim ekosistemima ide čak i do preko 300 kg/ha godišnje u gustim sastojinama gde se javljaju vrste iz rodova *Alnus*, *Casuarina* i *Acacia*. Aktinorizna simbioza je glavni izvor azota u šumskim ekosistemima, vlažnim zemljištima, poljima i narušenim staništima umerenih i tropskih regiona. Vrste iz roda *Alnus* godišnje vezuju između 12-200 kg N ha<sup>-1</sup> god<sup>-2</sup>, dok vrste iz roda *Hippophae* vezuju 27-179 kg N ha<sup>-1</sup> god<sup>-2</sup> (Zahran, 1999). Istraživanja na vlažnim i visoko produktivnim staništima u zapadnom Oregonu i Vašingtonu, su pokazala da je količine vezanog azota išla do 100 kg/godišnje od strane vrsta iz rodova *Ceanothus* i *Alnus*, koje su osnovane na posećenim ili izgorelim staništima (Jurgensen et al., 1991).

Vrste iz roda *Alnus* imaju značajnu ulogu u mešovitim sastojinama i plantažama sa drugim vrstama drveća, jer osim što pozitivno utiču na ukupnu produktivnost sastojina i formu stabala drugih vrsta, istovremeno popravljaju i osobine zemljišta. Tarrant i Trappe (1971), proučavajući ulogu jove u unapređenju stanja šumskih ekosistema, iznose sledeće zaključke:

- oko 90% azota fiksiranog tokom prve vegetacione sezone biva premešteno, i skladišteno, iz nodula u drvo jove;
- list jove ima mnogo veći sadržaj azota nego listovi većina drugih vrsta;
- količina azota koja se gubi iz lista jova, pre nego što list opadne, je znatno manja nego kod drugih vrsta;
- dekompozicija azotom bogate stelje je značajan mehanizam koji vodi povećanju sadržaja azota u zemljištu;
- oko 60% azota dodatog zemljištu u sastojinama crvene jove (*Alnus rubra* B.) pretpostavlja se da potiče iz korenskih izlučevina ili slobodnih azotofiksatora;
- dekompozicija mrtvog tkiva korena i nodula je značajan izvor bogaćenja zemljišta azotom;
- padavine koje dospevaju do zemlje, u mešovitim šumama crvene jove i četinarima, slivajući se sa kruna i stabala jove, su znatno bogatije azotom, nego što je to slučaj u čistim četinarskim sastojinama.

Ustanovljeno je, takođe, da *Alnus*-i utiču na suzbijanje pojedinih gljivičnih oboljenja (*Phellinus weirii* i *Fomes annosu*) u sastojinama četinarima (Tarrant i Trappe, 1971; Gordon i Dawson, 1979). Značajna je i mogućnost primene roda *Alnus* u agrošumarskim sistemima.

Jason i sar. (1998) su ispitivajući dinamiku ugljenika i azota u čistim sastojinama *Pinus banksiana* L. i mešovitim sastojinama *Pinus banksiana* L. sa *Alnus crispa* (Ait.) Pursh, ustanovili da je sadržaj ugljenika i azota u nadzemnim delovima biomase (stablo, granje i lišće), vegetaciji i zemljištu, bio veći u mešovitim sastojinama, nego u čistim. Godišnji sadržaj azota u šumskoj prostirci je takođe bio značajno veći u mešovitim nego čistim sastojinama. Ovo upućuje na zaključak da je *Alnus crispa* uticao na povećanje sadržaja azota u zemljištu, stavljajući ga na raspolaganje četinarima u većim količinama. Takođe, autori upućuju na zaključak da je upravo veći sadržaj azota u zemljištu uticao na veću zastupljenost ugljenika u nadzemnoj biomasi, kao i na veću vrednost lisnog indeksa (LAI). Istraživanja

Tarrant-a i sar. (1961), kako citiraju Tarrant i Trappe (1971), sprovedeno u mešovitoj plantaži vrsta *Alnus rubra* Bong. i *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, staroj 27 godina, pokazalo je da je jova, osim pozitivnog uticaja na visinu i prečnik duglazije imala pozitivan uticaj i na formu stabala i razvijenost krune. Zapremina u mešovitoj plantaži bila je, više nego, duplo veća u odnosu na zapreminu iz čiste plantaže duglazije.

Ogled postavljen u Italiji, u provinciji Areco, imao je za cilj da se uporedi prirast i forma stabala u čistoj plantaži oraha (*Juglans regia* L.) i mešovitim plantažama oraha sa vrstama *Alnus cordata* L., *Corylus avellana* L., *Eleagnus angustifolia* L. i *Robinia pseudoacacia* L. Merenja su vršena u starostima plantaža od 9, 13 i 16 godina. Rezultati su pokazali da je koncentracija azota u zemljištu i listovima oraha bila najveća u mešovitim plantažama oraha sa *Alnus cordata* L. i *Robinia pseudoacacia* L., ali i da je drvo oraha, ipak, imalo najbolji prirast, pravost i oblik stabla u kombinaciji sa vrstom *Alnus cordata* L. (Tani et al., 2006).

Najveći potencijal za upotrebu roda *Alnus* leži u mogućnosti osnivanja mešovitim zasada kratke ophodnje za proizvodnju vlakana, goriva i proteina. Ovakvi sistemi koriste drvenaste vrste sa brzim rastom u juvenilnoj fazi i mogućnošću da se razmnožavaju iz korena i panjeva koji ostaju na polju nakon seča. Obezbeđivanje vlakana i goriva zadovoljavajućeg kvaliteta, popravljene svojstava zemljišta i zaštita od bolesti su glavna svrha ovih zasada. Osnivaju se sa velikom gustinom biljaka (6.000-20.000 biljaka/ha) i ophodnjom koja traje 5-15 godina (Gordon i Dawson, 1979). Najintenzivnija proučavanja mogućnosti primene roda *Alnus* u mešovitim zasadima, rađena su u kombinaciji sa hibridnim topolama (Tarrant i Trappe, 1971; De Bell i Radwan, 1979; Cote i Camira, 1984).

De Bell i Radwan (1979) su ispitivali rast stabala i sadržaj azota u čistim i mešovitim plantažama vrsta *Populus trichocarpa* Torr. and Gray i *Alnus rubra* Bong. Na osnovu dvogodišnjih praćenja došli su do sledećih rezultata: godišnja produkcija suve materije je bila veća na mešovitim nego čistim oglednim poljima. Grančice topole sa mešovitim oglednih površina su sadržale 18% više azota nego one sa čistih. Zemljište sa mešovitim površina topole i jove i čistih oglednih površina jove su sadržala 9, odnosno 23% više azota nego zemljište iz čistih oglednih polja topole. Procenjeno je da se u gornjem sloju zemljišta (dubine do 15 cm) godišnje veže 32 kg N/ha, u mešovitim plantažama, odnosno 80 kg/ha u čistim plantažama jove.

Slično istraživanje su sproveli Cote i Camira (1984), ispitujući rast, akumulaciju azota i simbiotsku fiksaciju u čistim i mešovitim plantažama hibridnih topola cv. Roxbury (*Populus nigra* L. x *P. trichocarpa* Torr and Gray) i obične jove (*Alnus glutinosa* G.). Rezultati su pokazali da nije bilo signifikantne razlike, među tretmanima, u biomasi nadzemnog dela hibridne topole, dok je jova pokazala značajno povećanje biomase sa povećanjem gustine. Akumulacija azota u stablima bila je u sličnom odnosu kao i biomasa, odnosno opadala je sa povećanjem učešća topole u mešavini. Prinos i sadržaj N po hektaru u nadzemnim delovima biljaka povećavao se sa povećanjem učešća jove u mešavini. Najveća fiksacija azota ostvarena je u čistoj plantaži jove i iznosila je 55 kg N ha<sup>-1</sup> god<sup>-2</sup>.

Teklehaimanot i Mnolotsi (2007) su ispitivali mogućnost primene crvene jove (*Alnus rubra* B.) u silvopastoralnim sistemima. Ogled postavljen u Velikoj Britaniji, starosti 10 godina, imao je 400 stabala po hektaru. Kao kontrola, služila je

plantaža crvene jove sa 2.500 stabala po hektaru. Ispitivanja su pokazala da je u silvapastoralnim sistemima ukupna količina azota u drvetu jove (lišće, koren, drvo) bila 65,55 kg/ha, odnosno da je godišnje vezivano 30,95 kg/ha. Procenjeno je da se godišnje 27,1 kg N/ha vraća zemljištu. Iako su vrednosti, dobijene u silvapastoralnom sistemu bile značajno manje nego one u kontroli, autori su konstatovali da se crvena jova može uspešno koristiti u silvapastoralnim sistemima, zbog svoje sposobnosti da snabdeva zemljište azotom i održava njegovu plodnost.

Od drvenastih, leguminoznih biljaka od najvećeg značaja u Srbiji je bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.). Procena je da sastojine bagrema godišnje vezuju između 30-56 kg N ha<sup>-1</sup> (Van Sambeek et al., 2008). Istražujući uticaj bagrema u sukcesiji šumskih ekosistema, Boring i Swank (1984), su između ostalog pratili i količinu vezanog azota i produkciju biomase u različitim starostima bagrema (4., 17. i 38. godini života). Najveću azotofiksaciju bagrem je ostvario u 17. godini života (75 kg N ha<sup>-1</sup> god<sup>-2</sup>), dok je najmanja bila u 38. godini (33 kg N ha<sup>-1</sup> god<sup>-2</sup>). Količina vezanog azota u 4. godini života je iznosila 48 kg N ha<sup>-1</sup> god<sup>-2</sup>. Produkcija biomase u 4., 17. i 38. godini života iznosila je 33, 174 i 399 t ha<sup>-1</sup>.

Bagrem, kao i druge leguminozne vrste, se koristi u mešovitim zasadima kako bi, zahvaljujući svojoj sposobnosti da putem zajednica sa azotofiksirajućim bakterijama obogaćuje zemljište azotom, utiče na pojačan rast "glavne" vrste. Iako se u literaturi mogu sresti brojni primeri pozitivnog uticaja bagrema na druge vrste u plantažama (Redei, 2002; Redei et al., 2006; Tani et al., 2006), rezultati pojedinih istraživanja su pokazali da to nije uvek pravilo. Dickmann i sar. (1985) su ispitujući, između ostalog i količinu biomase nadzemnog dela stabala, u čistim i mešovitim plantažama platana (*Platanus occidentalis* L.) i bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.), došli do sledećih rezultata: na kraju treće godine produkcija nadzemne biomase u čistoj plantaži bagrema bila je 12,6 mt/ha, dok je u čistoj sastojini platana ona iznosila 11,6 mt/ha. Produkcija biomase u mešovitoj plantaži je iznosila svega 8,9 mt/ha, pri čemu je 2/3 biomase otpadalo na bagrem. Autori su rezultate objasnili pojavom da intenzivnim rastom mlada stabla bagrema ne samo da troše azot koji vežu procesom azotofiksacije, nego i preostali azot iz zemljišta, predstavljajući konkurenciju stablima platana. Kako je ogled pokazao da kombinovanje dve netolerantne vrste sa sličnim prirastom nije uticao na porast biomase, autori kao rešenje predlažu kombinovanje brzorastućih netolerantnih vrsta, sa spororastućim tolerantnim vrstama.

Drvenaste leguminozne biljke imaju značajnu ulogu u agrošumarskim sistemima. Gutteridge i Shelton (1993) kao glavne upotrebne vrednosti ovih biljaka navode:

- uglavnom dug život i male troškovi održavanja;
- obezbeđuju visoko kvalitetnu stočnu hranu za životinje;
- stabilizuju zemljišta na nagibima, štiteći ih od erozije;
- obezbeđuju malč, bogat azotom, za useve;
- mogu se koristiti za pošumljavanja i melioraciju narušenih staništa;
- obezbeđuju drvenu građu i ogrev za domaću i industrijsku upotrebu;
- koriste se za izradu živih ograda na farmama, kao drveće senke za useve itd.;
- obezbeđuju plodove za ljudsku ishranu.

Nesimbionska azotofiksacija je u značajnoj meri povezana sa sadržajem organskih materija u zemljištu, i mnogo je veća u šumskim ostacima i površinskim organskim slojevima, nego u mineralnom delu zemljišta (Jurgensen et al., 1991). Son (2001), rezimirajući istraživanja brojnih autora, koji su se bavili nesimbionskom azotofiksacijom u šumskim ekosistemima umerene zone, iznosi sledeće zaključke:

- iako je količina vezanog azota varirala u širokim granicama  $<0,01-5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-2}$ , prosečno se može uzeti da ta vrednost iznosi između  $2-3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-2}$ ;
- slobodna azotofiksacija u šumskim ekosistemima značajno je varirala u zavisnosti od stanišnih uslova (produktivnosti, sastava šumske stelje i ostalih komponenti ekosistema);
- pri identičnim ekološkim uslovima, nije bilo signifikantne razlike u količini vezanog N između listopadnih i zimzelenih šuma;
- sa povećanjem vlažnosti i temperature dolazilo je do povećanja azotofiksacije;
- azotofiksacija je opadala sa povećanjem starosti ispitivanih sastojina.

Tarrant i Trappe (1971) navode da slobodni azotofiksatori mogu biti dodatni izvor azota u zemljištima pod vrstama iz roda *Alnus*. Navodeći primer istraživanja iz Oregona, pomenuti autori iznose podatak da je populacija bakterija bila značajno veća u zemljištima mešovitih šuma crvene jove (*Alnus rubra* B.) i četinara, nego u čistim četinarskim šumama.

Na kraju bi trebalo spomenuti i istraživanje sprovedeno sa ciljem da se ispita efekat primene *Azotobacter chroococcum* u proizvodnji sadnica bagrema (*Robinia pseudoacacia*), sibirskog bresta (*Ulmus pumila*) i srebrmolisnog javora (*Acer dasycarpum*) (Jarak i sar., 2009). Rezultati istraživanja su ukazali da je upotrebom *Azotobacter chroococcum* moguće za kraće vreme proizvesti kvalitetan sadni materijal, što je od velikog značaja u rasadničarskoj proizvodnji.

Prva istraživanja mogućnosti primene azotofiksatora u šumskim ekosistemima, sprovedena od strane Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu (neobjavljeni podaci), odnosila su se isključivo na fazu obnove šume i primenu slobodnih azotofiksatora. U ogledima postavljenim u poljskim uslovima, na teritorijama Šumskog gazdinstva "Sremska Mitrovica" i Rudarskog basena "Kolubara", osim elemenata rasta, praćeni su i eko-fiziološke parametri (neto fotosinteza, intenzitet transpiracije, koncentracija fotosintetičkih pigmenata u listu biljaka i stomatalna provodljivost) biljaka. Ogledi su osnovani na različitim tipovima zemljišta, sa različitim tipovima sadnog materijala (seme i sadnice), i u njima su bile zastupljene kako autohtone, tako i alohtone vrste drveća: hrast lužnjak (*Quercus robur*), divlja trešnja (*Prunus avium*), sibirski brest (*Ulmus effusa*) i crni orah (*Juglans nigra*).

Prvi rezultati upućuju na skroman uticaj slobodnih azotofiksatora na elemente rasta i fiziološke parametre biljaka ili čak potpuni izostanak efekta.

## ZAKLJUČAK

Brojni korisni efekti primene azotofiksatora ukazuju na njihov veliki potencijal i potrebu za daljim izučavanjem. Upotrebom drvenastih vrsta koje žive u simbiozi sa azotofiksirajućim bakterijama moguće je postići visoku produkcija

biomase po jedinici površine, smanjiti potrebe za primenom azotnih đubriva i povećati plodnost staništa, čime bi se direktno doprinelo održivosti šumskih ekosistema kao i očuvanju životne sredine. U današnje vreme u kome se traga za novim izvorima energije, azotofiksacija u šumarstvu ima izuzetan potencijal koji tek treba da se istraži. Da bi se ispunili navedeni ciljevi, neophodno je odabrati odgovarajuću kombinaciju biljne vrste i azotofiksirajuće bakterije, istovremeno vodeći računa o uslovima staništa.

Pošto su u Srbiji istraživanja vezano za primenu azotofiksacije u šumskim ekosistemima još u začetku, rad je baziran na iskustvima koja su ostvarena u svetu. Akcenat je posebno stavljen na bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.) i vrste iz roda *Alnus*, s obzirom na rasprostranjenost ovih vrsta u umerenom klimatskom pojasu, u kojem se nalazi i Srbija. Potencijal navedenih vrsta leži u njihovoj primeni u mešovitim zasadima sa drugim vrstama drveća, gde, osim što putem mutualističkih zajednica sa azotofiksirajućim bakterijama, obogaćuju zemljište azotom i utiču na prirast "glavne" vrste, istovremeno čine jednu od komponenti u fazi iskorišćavanja šuma.

Osim simbiotske azotofiksacije, pažnju je potrebno posvetiti i nesimbiotskoj azotofiksaciji, s obzirom da i slobodni azotofiksatori mogu biti dodatni izvor azota u zemljištu. Prisustvo ovih bakterija u zemljištu zavisi od stanišnih uslova, vlažnosti i temperature, kao i od starosti sastojina. Zahvaljujući svojoj sposobnosti da vezuju atmosferski azot i stavljaju ga biljkama na raspolaganje bez obrazovanja mutualističkih zajednica, upotreba slobodnih azotofiksatora bi svoje mesto mogla da nađe kod vrsta drveća koje ne grade uzajamne veze sa azotofiksatorima. U tom kontekstu, posebno bi trebalo obratiti pažnju na mogućnosti primene slobodnih azotofiksatora u prirodnim sastojinama, u fazi obnove šuma, kao i u rasadničarskoj proizvodnji šumskog sadnog materijala.

## LITERATURA

- Adams, R. (1962): Nitrogen fixation. University of Illinois at Urbana-Champaign, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences. U.S.A.
- Boring, L.R., Swank, W.T. (1984): The role of black locust (*Robinia pseudoacacia*) in forest succession. *The Journal of Ecology*. Volume 72. p. 749-766.
- Cote, B., Camira, C. (1984): Growth, nitrogen accumulation, and symbiotic dinitrogen fixation in pure and mixed plantings of hybrid poplar and black alder. *Plant and Soil*. Volume 78. p. 209-220.
- Crews, T.E. (1999): The Presence of Nitrogen Fixing Legumes in Terrestrial Communities: Evolutionary vs Ecological Considerations. *Biogeochemistry*, Vol. 46, No. 1/3, New Perspectives on Nitrogen Recycling in the Temperate and Tropical Americas. p. 233-246.
- De Bell, D.S., Radwan, M.A. (1979): Growth and nitrogen relations of coppiced black cottonwood and red alder in pure and mixed plantings. *Botanical Gazette*. Volume 140. p. 97-101.
- Dickmann, D., Steinbeck, K., Skinner, T. (1985). Leaf area and biomass in mixed and pure plantations of sycamore and black locust in the Georgia Piedmont. *Forest Science*. Volume 31, Number 2. p. 509-517.

- Fisher, R., Binkley, D. (2000): Ecology and management of forest soils. Third edition. John Wiley and Sons, Inc.
- Gajin, S., Čomić, Lj., Karaman, M., Simeunović, J. (2007): Ekologija mikroorganizama- skripta za studente biologije i ekologije, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju, Novi Sad.
- Gordon, J., Dawson, J. (1979): Potential Uses of Nitrogen-Fixing Trees and Shrubs in Commercial Forestry. *Botanical Gazette*. Vol 140, Supplement: Symbiotic Nitrogen Fixation in Actinomycete-Nodulated Plants. p. S88-S90.
- Gutteridge, R.C., Shelton, H.M. (1993). The scope and potential of tree legumes in agroforestry. *Agroforestry Systems*. Volume 23. Numbers 2-3. p. 177-194.
- Đurić, S., Jarak, M., Tešić, D. (2007): Uticaj različitih doza herbicida nikosulfurona na morfologiju kolonije i preživljavanje azotobaktera. *Zbornik radova*. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad. Sveska 43. str. 301-309.
- Jarak, M., Govedarica, M. (2003): *Mikrobiologija*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu Poljoprivredni fakultet.
- Jarak, M., Hajnal, T., Đurić, S., Žurkić, J. (2005): Preživljavanje rizobiuma, azotobaktera i aktinomiceta u zemljištima različite kiselosti. *Letopis naučnih radova: Poljoprivredni fakultet Novi Sad*. Godina 29. Broj 1. str. 41-49.
- Jarak, M., Orlović, S., Đurić, S., Đorđević, S. (2009): Efekat primene azotobaktera u proizvodnji sadnica bagrema, bresta i javora. *Letopis naučnih radova*. Godina 33, broj 1. str. 112-117.
- Jason, G., Gower, V., Gower, S. (1998): Carbon and Nitrogen Dynamics of Boreal Jack Pine Stands with and without a Green Alder Understory. *Ecosystems*. Vol 1, No. 4. p. 386-400.
- Jurgensen, M., Tonn, J., Graham, R., Harvey, A., Geier-Hayes, K. (1991): Nitrogen fixation in forest soils of the Inland Northwest. In: Harvey, A. Neuenschwander, L. *Proceedings--management and productivity of western-montane forest soils*. April 10-12, 1990. Boise. U.S.A. p. 101-109.
- Komljenović, I., Todorović, V. (1998): *Opšte ratarstvo (praktikum)*. Banja Luka. Poljoprivredni fakultet.
- Lanford, J. (2008): *Overview of the Nitrogen Cycle (Including Problems Arising from Human Activities)*.
- Lindemann, W.C., Glover, C.R. (2003): *Nitrogen fixation by legumes*, College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State.
- Mikola, P., Uomala, P., Malkonen, E. (1983): Application of biological nitrogen fixation in European silviculture. Gordon, J.C., Wheeler, C.T. *Biological nitrogen fixation in forest ecosystems: foundations and applications*. Netherland. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. p. 279-294.
- Milošević, N. (2008): Mikroorganizmi bioindikator zdravlja/kvaliteta zemljišta. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*. Godina 45. Broj 1. str. 205-215.
- Oljača, R., Krstić, B., Pajević, S. (2006): *Fiziologija biljaka*, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banja Luka.

- Orfanoudakis, M., Papaioannou, A., Barbas, V. (2004). Symbiotic relationship of *Alnus glutinosa* with mycorrhizal fungi and with *Frankia* in relation to the soil properties. In: Proceedings EUROSOIL 2004. September, 04-12. Freiburg, Germany.
- Postgate, J. R. (1982): The fundamentals of nitrogen fixation. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Postgate, J. (1998): Nitrogen fixation. Third edition. Press Syndicate of the Cambridge University. United Kingdom.
- Redei, K. (2002): Stand structure and yield of the mixed white poplar and black locust plantations on sandy ridges between the Danube and Tisza rivers in Hungary. *Journal of Forestry Research*, Volume 13, Number 2. p. 103-106.
- Redei, K., Irina Veperdi, I., Meilby, H. (2006): Stand structure and growth of mixed white poplar (*Populus alba* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in Hungary *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 2. p. 23-32
- Silvester, W. (1983): Analysis of nitrogen fixation. In: Gordon, J.C., Wheeler, C.T. Biological nitrogen fixation in forest ecosystems: foundations and applications. Springer-Verlag New York. p. 173-213.
- Son, Y. (2001): Non-symbiotic nitrogen fixation in forest ecosystems. *Ecological Research*. Volume 16, Issue 2. p. 183-196.
- Stanković, Ž., Petrović, M., Krstić, B., Erić, Ž. (2006): Fiziologija biljaka. Novi Sad. Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju.
- Tani, A., Maltoni, A., Mariotti, B., Buresti, E. (2006). *Juglans regia* L. tree plantations for wood production in mining area of S. Barbara (AR). Evaluation of N-fixing accessory trees effect. *Forest*. Volume 3, Number 4. p. 588-597.
- Tarrant, R., Trappe, J. (1971): The role of *Alnus* in improving the forest environment. *Plant and Soil*. Special Volume 1971. p. 335-348.
- Teklehaimanot, Z., Mmolotsi, R. (2007): Contribution of red alder to soil nitrogen input in a silvopastoral system. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 43, No. 6. p. 843-848.
- Tešić, Ž. (1961): Mikrobiologija šumskog zemljišta. Beograd. Naučna knjiga.
- Valdes, M. (2008): *Frankia* ecology. In: Pawlowski, K., Newton, W. Nitrogen-fixing actinorhizal symbiosis. Springer. p. 49-71.
- Van Sambeek, J.W., Navarrete-Tindall, N.E., Hunt, K.L. (2008). Growth and foliar nitrogen concentrations of interplanted native woody legumes and pecan. In: Jacobs, D., Michler, C., eds. Proceedings, 16th Central Hardwood Forest Conference; April 8-9, 2008. West Lafayette, U.S.A. p. 580-588.
- Vasić, V., Jarak, M., Đurić, S., Galić, Z., Poljaković-Pajnik, L., Drekić, M. (2009): Microbiological activity of soil in regeneration of pedunculate oak forest. Proceedings of International Scientific Conference: "Forestry in Achieving Millennium Goals", 13-15 November 2008, Novi Sad. p. 283-287.
- Zahran, H.H. (1999): Rhizobium- Legume Symbiosis an Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate, *Microbiology and molecular biology reviews*, U.S.A. p. 968-989.
- Southern Illinois University Carbondale, Department of Microbiology: <http://www.micro.siu.edu/>

*Summary*

**POSSIBILITIES FOR THE MICROBIOLOGICAL NITROGEN FIXATION IN FOREST ECOSYSTEMS**

by

*Srdan Stojnić, Saša Orlović, Marina Katanić, Verica Vasić*

*Nitrogen is the most limiting factor in crop production, because only fractions of atmospheric nitrogen are available to plants through the process of microbial nitrogen fixation. Microbial nitrogen fixation is a process in which specific groups of microorganisms bind atmospheric nitrogen and convert it in suitable compounds that plants can use. Plants take up nitrogen in the form of  $\text{NO}_3^-$  (nitrate) and  $\text{NH}_4^+$  (ammonium) ions. Depending on whether the microorganisms, in the process of binding atmospheric nitrogen, form the symbiotic relationship with plants or not, it can be distinguished two types of microbial nitrogen fixation: symbiotic and free (asymbiotic) nitrogen fixation. Symbiotic nitrogen fixation may be leguminous and nonleguminous, depending on whether microorganisms form mutualistic communities with leguminous or nonleguminous plants. Concerning free nitrogen fixation, according to the content of oxygen in a given environment it can be distinguished two types of fixation: aerobic free nitrogen fixation and anaerobic free nitrogen fixation.*

*The biological nitrogen fixation is intensively studied in various countries and it has wide application not only in forest practices, but also in agroforestry and sylvopastoral systems. The paper provides an overview of research on the effects of nitrogen fixation in forest ecosystems, which were conducted in different countries, with the aim to examine possible applications of nitrogen fixation in forest ecosystems of Serbia.*

*The results of numerous studies indicate the important role of leguminous and nonleguminous plants in mixed stands and plantations with other tree species. It is proved that in addition to positive effect on the productivity of stands they could also improve the soil properties. The amount of nitrogen related to forest ecosystems vary in broad range, moving from nearly zero to several hundred  $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-2}$ . Application of nitrogen fixation would be primarily related to forest plantations, which have recently been more present in the structures of forest ecosystems. With application of nitrogen fixation would be increased volume of timber and the qualitative structure of trees, while soil properties could be improved.*