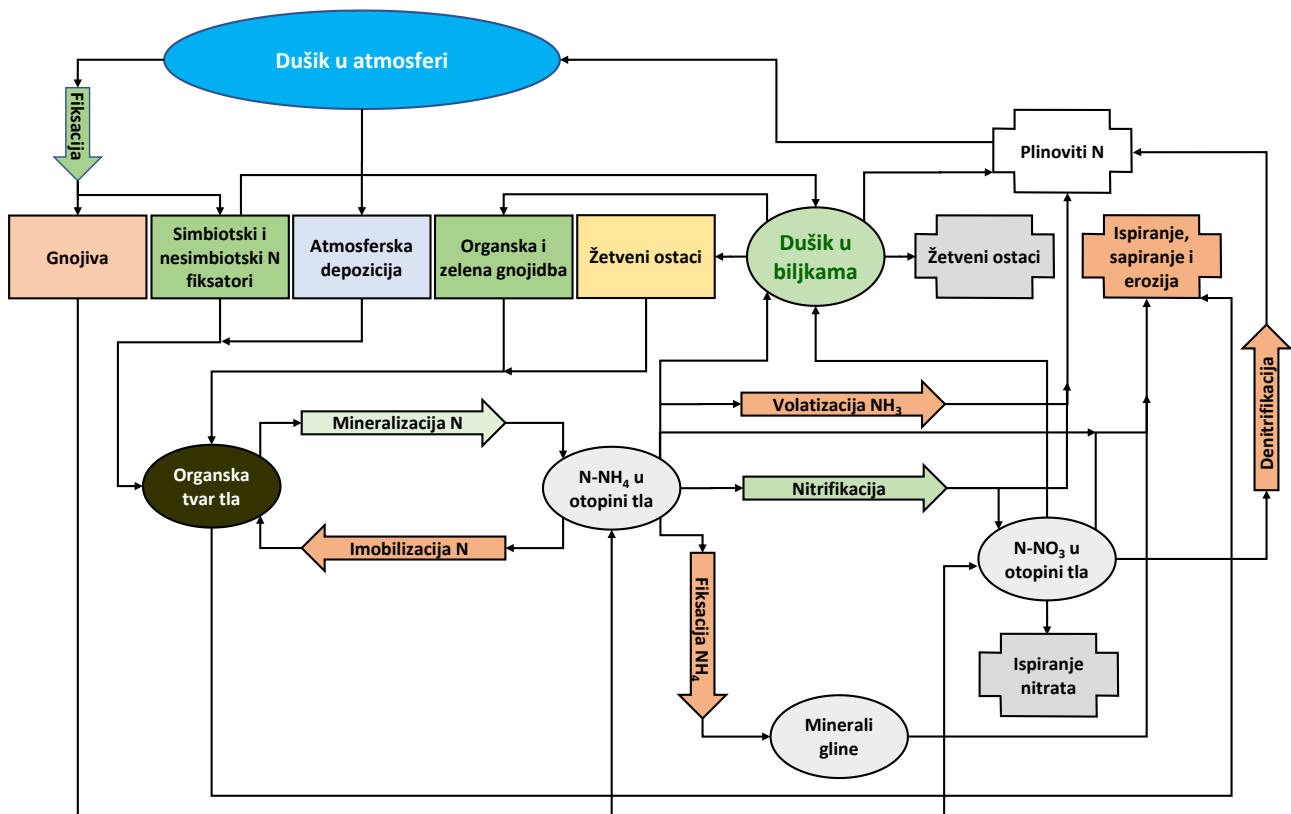


## Kako unaprijediti preporuke N-gnojidbe

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Gnojidba je agrotehnička mjera koja izrazito povećava produktivnost tla i uloženoq rada u poljoprivrednoj proizvodnji pa je poznavanje raspoložive količine hraniva u tlu i potrebe biljaka tijekom vegetacije za neophodnim elementima ishrane temelj svake dobre procjene potrebe u gnojidbi. Budući da tlo sadrži vrlo veliku količinu nepristupačnih hraniva (tzv. rezervna hraniva), a njihova transformacija u raspoloživa koje biljke mogu usvojiti veoma je promjenjiva. Kako transformacija dušika snažno ovisi o vremenskim uvjetima i svojstvima tla, određivanje N-doze, oblika hraniva, vremena i načina primjene niti malo nije jednostavno, a često je i nedovoljno pouzdano pa su pogreške i gubici dušika česti, a njegova učinkovitost smanjena.

Stvarni proizvodni uvjeti najčešće nisu idealni, proizvodne parcele imaju često vrlo različita svojstva, najčešće su nehomogene po jednom ili više svojstava, sezonski vremenski uvjeti često su vrlo promjenjivi, bolesti, štetnike i korove nemoguće je potpuno kontrolirati, ekonomski i tržišni uvjeti često se mijenjaju, a velike su i razlike u znanju proizvođača i njihovoj sklonosti ulaganju i rizicima. Realnost poljoprivredne proizvodnje daleko je od savršenih uvjeta pa je i velik broj različitih modela/metoda za kreiranje gnojidbenih preporuka koje su najčešće primjenjive samo za uže agroekološko područje, slične sociološko-ekonomske i tehničko-tehnološke okolnosti, a prelazak na drugu ili napredniju metodologiju zahtijeva značajne napore, obuku i resurse kako bi se uspostavila dovoljna baza znanja, nove granične vrijednosti i protokoli.



Slika 1. Prikaz N ciklusa na razini parcele

Čak i u RH raspoloživost hraniva utvrđuje se većim brojem različito pouzdanih egzaktnih, statističkih i empirijskih metoda, premda mnoge nisu prošle ozbiljnu provjeru u konkretnim proizvodnim uvjetima, premda laboratorije provode njihovu tzv. međusobnu interkalibraciju (što nipošto ne garantira njihovu pouzdanost). Procjena potrebe biljaka u dušiku predstavlja poseban metodološki izazov jer transformacija organskih N-rezervi tla u mineralne forme koje biljke mogu usvojiti korijenom veoma je složena i promjenjivo u vremenu i dubini tla. Naime, na N-mineralizaciju značajno i nepredvidivo utječu svojstva tla, sastav organske tvari (humusa, žetvenih ostataka, organskog i zelenog gnoja), vremenski uvjeti (vlaga, temperatura, oksidoredukcijski uvjeti u tlu i dr.), prisutnost i aktivnost mikroorganizama koji obavljaju mineralizaciju i gubici

N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> koji nastaju zbog biološke N-fiksacija mikroorganizmima, korovima i uzgajanim biljkama, zbog volatilizacije, denitrifikacije, ispiranja i sapiranja. [To su razlozi zašto trenutni sustavi gnojidbenih preporuka za dušik nisu još dovoljno pouzdani u procjeni N-potrebe na razini pojedine parcele, ili njezinih pojedinih dijelova.](#)

Ipak, potrebno je naglasiti kako svaka metoda, bez obzira na njezinu preciznost, uvodi objektivan pristup u utvrđivanju potreba za gnojidbom preko utvrđivanja intenziteta pojedinih indikatora efektivne plodnosti tla.

Temelj dobre procijene potrebe u gnojidbi dušikom jest utvrditi koliko biljke ukupno zahtijevaju dušika (N<sub>y</sub>), koliko je to u pojedinim fenofazama i koliko, ali i kada će tlo osigurati raspoloživi dušika iz procesa mineralizacije (N<sub>s</sub>), a to je vrijednost specifična za svaku biljnu vrstu (i kultivar), kao i za konkretnu parcelu i/ili njezin dio i može se procijeniti iz razlike prinosa gnojenih i negnojenih biljaka, premda gnojidba utječe, odnosno potiče proces mineralizacije. [Osim pouzdane procijene potrebne doze aktivne tvari jednako je važno i utvrditi ekonomski optimalnu dozu N, P i K \(i svih ostalih inputa\).](#) Naime, ostvariti najveći mogući prinos, a pri tome umanjiti profit i ugroziti okoliš nije prihvatljivo s ekonomskog i ekološkog aspekta.

[Bilanca dušika u tlu zapravo je svojevrsni saldo njegovog ulaza \(inputa\) i izlaza \(gubitka\) i izvrstan je pokazatelj njegovog statusa u tlu.](#) Dušik dopijeva u tlo gnojidbom (mineralnom, organskom i zelenom), mineralizacijom organske tvari tla, [biološkom N-fiksacijom](#) (simbiotski i slobodno živeći N-fiksatori), depozicijom iz atmosfere (suho i mokro taloženje) i vodom za navodnjavanje, dok njegovi gubici uključuju iznošenje merkantilnim prinosom i odnošenje s proizvodne površine prinosa i/ili ukupne nadzemne biomase (npr. za silažu, proizvodnju bioplina, proizvodnju vlakana itd.) ispiranje iz tla (*perkolacijom* do podzemne vode), *denitrifikaciju*, *volatilizaciju*, površinsko otjecanje (*runoff*) i *eroziju* (Slika 1.). [Bilanca dušika](#) odražava se snažno na organsko-anorganske odnose u tlu, odnosno [processe imobilizacije i mineralizacije dušika](#), ali i fosfora te sumpora koji su obavezni sastojak žive tvari, odnosno organske tvari tla. Naime, pri većem intenzitetu mineralizacije organske tvari tla raste raspoloživost dušika (kao i fosfora) što najčešće utječe na povećanje prinosa i uz manji intenzitet gnojidbe, dok se istovremeno smanjuju gubici N iz tla ispiranjem, denitrifikacijom (emisija stakleničkih plinova N<sub>2</sub>O i NO<sub>x</sub>) i volatilizacijom (emisija NH<sub>4</sub>). Pojednostavljeno, ravnoteža dušika može biti pozitivna ili negativna i prikazati se izrazom:

$$Bilanca_N = N_{input} - N_{output} - \Delta N_{ukupni}$$

*N<sub>input</sub>* organska i mineralna gnojidba + depozicija iz atmosfere (suha i mokra) + biološka N-fiksacija + voda za navodnjavanje + N unesen sjetvom

*N<sub>output</sub>* odnošenje prinosom i/ili ukupno iznošenje biomasom + N gubici (ispiranje, volatilizacija, denitrifikacija, površinsko otjecanje, erozija i starenje biljaka)

*ΔN<sub>ukupni</sub>* promjena sadržaja ukupnog dušika u tlu

[Istraživanja u SAD pomoću <sup>15</sup>N pokazala su kako se tek dio dušika usvoji iz gnojiva \(35-75%, a samo 13-45% nalazi se u zrnu kukuruza\) što znači da od prosječno primijenjene doze 168 kg N ha<sup>-1</sup> može biti izgubljeno 40-108 kg N ha<sup>-1</sup> i itekako zagađivati vodu i atmosferu.](#) Varijabilnost svojstava tla često je prilično velika, pa čak i na malim udaljenostima (izvor varijabilnosti ilustrira Slika 1.), pa su optimalne agronomske i ekonomske N-doze varijabilne po vegetacijskim sezonama, ali i dijelovima parcele. To jako komplicira predviđanje N raspoloživosti temeljem mineralizacije organskih rezervi tla i rezidualnog dušika (zaostalog iz prethodne vegetacije), naravno umanjenog za iznos gubitaka.

Procjena ukupne potrebe dušika (N<sub>y</sub>) obično se temelji na nadzemnoj masi uzgajanih biljaka (U) koja ovisno o vrsti, kultivaru, svojstvima tla, vremenskim uvjetima i dr., može biti veoma različita i sadržavati različitu koncentraciju hraniva. [Npr. niža koncentracija biogenih elemenata u većoj biljnoj masi često je posljedica tzv. razrjeđenja organskom masom.](#), dok su veće koncentracije često rezultat luksuzne N-gnojidbe, ali i zbog drugih limitirajućih faktora prinosa. Zbog toga, N-gnojidbene preporuke, koje se oslanjaju na procjenu ukupne potrebe dušika (N<sub>y</sub>) moraju uzeti u obzir uobičajenu (očekivanu) visinu prinosa za konkretno agroekološko područje. [Npr. internetski softverski program sveučilišta Cornell „Adapt-N“ \(integrira 13 modela\) procjenjuje N-potrebu za pojedine parcele, ili dijelove unutar nje, temeljem najvećeg prinosa ostvarenog unazad 5 god.](#), a uzima u obzir dubinu korijenskog sistema, sadržaja aktivne tvari u gnojivu, sadržaju organske tvari u tlu, vremenu primjene ovisno o fenofazi, vremenske uvjete i dr.

U prošlom stoljeću dominirali su [povijesni algoritmi Georgea Stanforda za preporuku N-gnojidbe koji su utemeljeni na očekivanom prinosu](#), međutim, [u posljednjih 25 godina empirijska istraživanja pokazala su kako preporuke N-gnojidbe vezane uz prinos uglavnom nisu korisne, niti pouzdane](#). Stanfordov algoritam za preporuku N-gnojidbe nije bio provjeren s dovoljno pouzdanih istraživanja, niti dovoljnom broju podataka o prinosima, ali su proizvođači bili oduševljeni jednostavnošću i lakoćom utvrđivanja potrebe za N-gnojidbom. Naime, u najosnovnijem obliku N-preporuka je kreirana tako da su poljoprivrednici zamoljeni da procijene koliki će biti prinos zrna kukuruza u bušelimama po akru u idealnim uvjetima uzgoja, a zatim im je savjetovano da primjenjuju dušično gnojivo po konstantnoj stopi 1,2 puta većoj od prinosa zrna. Dakle, ako bi poljoprivrednik procijenio da može postići 10 t/ha kukuruza (148,7 bsh/ac) na parceli nakon soje kao pretkulture ( $N_{\text{credit}} = 20\text{-}30 \text{ lb/ac}$ ), potrebna je N-doza:

$$N_f = 148,7 \times 1,2 - 25 \Rightarrow 153,4 \text{ libri N po akru} \times 1,12085 \Rightarrow 172 \text{ kg N po ha}$$

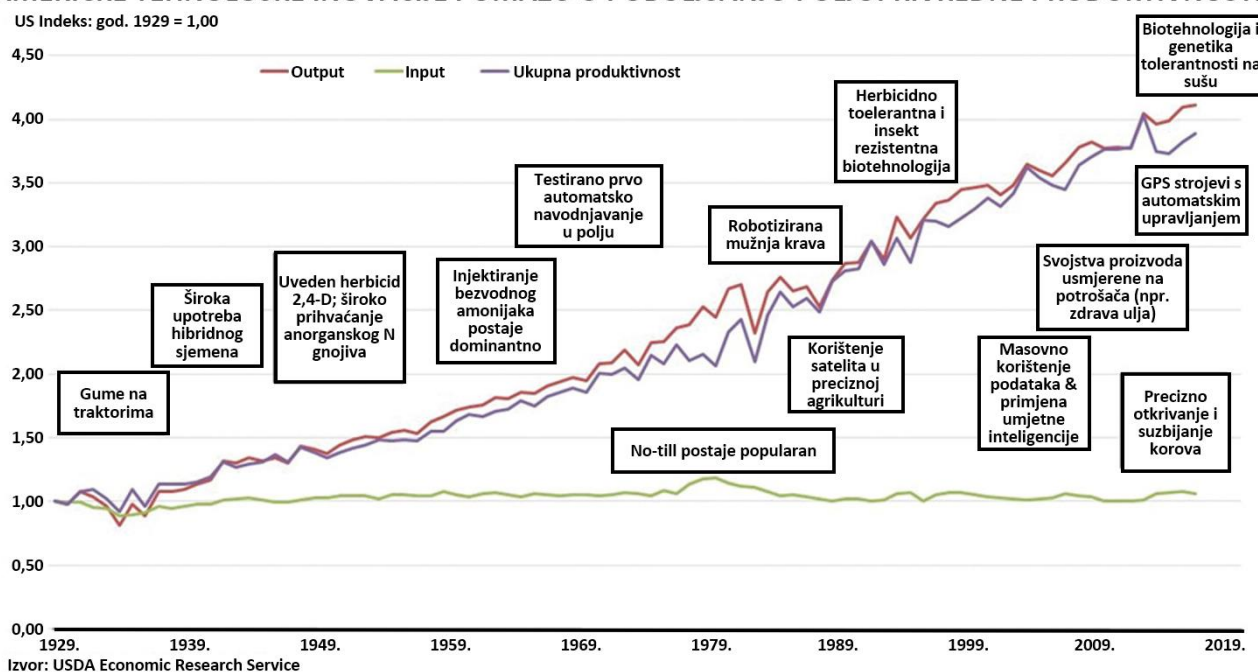
Na žalost, *Stanfordov koncept* utvrđivanja potrebe za dušikom još uvijek se često koristi, premda se u RH, osobito na području ist. Hrvatske, već više od 30 god. za potrebe N-prihrane usjeva često koristi i [N<sub>min</sub> metoda](#). Budući da [rezultati N<sub>min</sub> metode upućuju na trenutnu količinu raspoloživog \(mineralnog\) dušika u tlu, metoda se pokazala kao veoma pouzdana](#). Jedini prigovor toj metodi je sporo uzimanje uzoraka posebnim agrokemijskim sondama (potrebne su tri agrokemijske sonde 0-30, 30-60 i 60-90 cm različitog promjera kako bi se mogao uzeti uzorak iz iste rupe do dubine od 90 cm, npr. za drugu prihranu ozimih žita). [Naravno, danas je moguće postaviti senzore u tlo za mjerenje koncentracije mineralnog dušika \(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i NO<sub>3</sub><sup>-</sup>\) i u potpunosti izbjeći sondiranje u nepovoljnim vremenskim okolnostima \(smrznuto ili suviše vlažno tlo\), a utvrđivanje mineralnog dušika u vodenom ekstraktu tla lako se provodi i izvan agrokemijskih laboratorija, tzv. brzim testovima](#). Zbog dokazane pouzdanost N<sub>min</sub> metode vrlo brzo su napuštene druge, manje pouzdane, spore i/ili skupe metode za utvrđivanje potrebe biljaka za dušikom, kao što su inkubacijske metode, vegetacijske metode u posudama i dr. [Osim toga, vrijeme uzimanja uzoraka tla i proračun potrebe u N-prihrani usjeva prema N<sub>min</sub> metodi ima jasan i definiran protokol, kako za ozime, tako i za jare usjeve](#).

[Recentna istraživanja jasno pokazuju kako organski dušik u obliku monomera \(npr. aminokiseline, amino šećeri, nukleinske kiseline itd.\), biljke mogu usvajati i koristiti za zadovoljenje N-potrebe](#), osobito u sustavima organskog (ekološkog) uzgoja, što dramatično mijenja stav o usvajanju dušika, ali i zahtijeva nova istraživanja radi boljeg razumijevanja ishrane dušikom iz organskih N-rezervi. [Suvremena znanost raspoložuje naprednim analitičkim i informacijskim tehnologijama koje mogu za potrebe proračuna gnojidbe prikupiti i uključiti sve relevantne statičke i dinamičke indikatore biljne produkcije](#), uključujući biljne, zemljišne, klimatske, agrotehničke i dr. aspekte tvorbe prinosa i procijeniti njihov značaj pouzdanije od klasičnih metoda procijene potrebe u gnojidbi.

Budući da su rezultati ispitivanja optimalne N-gnojidbe, slično medicinskim istraživanjima, prepuni kontradiktornih rezultata, gnojidbene preporuke se moraju temeljiti na dokazima brojnih i uspješnim studijama, odnosno analizi meta podataka. [Ideju meta analize koristio je i autor ovog teksta kako bi pouzdano utvrdio korisnost kontrole plodnosti zemljišnih resursa Osječko-baranjske županije](#). Od analize meta podataka može se očekivati napredak i pouzdanija metodologija utvrđivanja potrebe u N-gnojidbi pod uvjetom da se koristi više neovisnih i relevantnih studija s velikim brojem objedinjenih podataka i opažanja. [Naravno, niti jedna gnojidbena preporuka ne može biti apsolutno točna jer mnogi, teško predvidljivi faktori utječu na ishranu biljaka, kao što su to novi kultivari, promjenjivi sezonski raspored i intenzitet padalina, utjecaj prethodnih usjeva, dinamička svojstva tla, vrijeme, oblik i smještaj N i dr.](#) pa njihova interakcija usmjerava razvoj metodologije gnojidbenih preporuka u pravcu veće pouzdanosti preporuka N-gnojidbe. [Zbog toga suvremena istraživanja zaokuplja više različitih strategija koja se lako integriraju u koncept tzv. pametne ili digitalne poljoprivrede \(Smart Farming\)](#).

Premda se američki i europski koncept održive poljoprivredne proizvodnje ne razlikuju suviše, zanimljivo je kako se različiti pristupi odražava na razvoj gnojidbenih preporuka. [Naime, postoji globalni konsenzus o poimanju i postizanju održivosti s ekonomskog, socijalnog i ekološkog, ali uz bitno različit pogled kako ostvariti te ciljeve](#). Razlike su naizgled složenog karaktera, ali u osnovi imaju ključnu razliku: SAD su fokusirane na ishode i tvrde da je znanost, primijenjena kroz tehnologiju i inovacije rješenje složenih ciljeva proizvodnje i

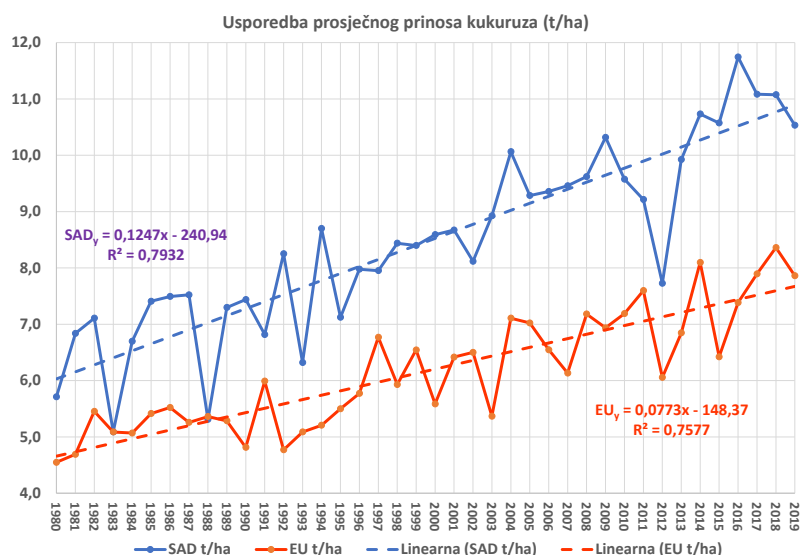
proizvodnih mogućnosti, dok su se mnogi u EU usredotočili na inpute i vjeruju da su prirodni sustavi dovoljni za postizanje proizvodnje, očuvanje prirode i održavanje okoliša. SAD smatra kako je dramatičan porast poljoprivredne proizvodnje od 400 % u posljednjih 100 godina, gotovo bez dodatnih inputa, posljedica **AMERIČKE TEHNOLOŠKE INOVACIJE POMAŽU U POBOLJŠANJU POLJOPRIVREDNE PRODUKTIVNOSTI**



Slika 2. [Povijesni pregled tehnoloških inovacija u SAD i njihov utjecaj na ukupnu više faktorsku produktivnost](#)

uvođenja smjelih inovacija (Slika 2.). Iako se napredak održava desetljećima, porast produktivnosti mora se pojačati kontinuiranim ulaganjima u znanost i brzim usvajanjem novih tehnologija usredotočenih na ciljeve [Agriculture Innovation Agenda](#).

Analizirajući prosječnu visinu prinosa kukuruza u SAD i EU (Slika 3.), ali i druge ekonomske parametre (cijena hrane, uvoz, izvoz i dr.), teško je opovrgnuti prednost američkog koncepta povećanja poljoprivredne proizvodnje. Također, EU strategija ne pruža dokaze da maksimizira očuvanje i biološku raznolikost, a zasigurno će ekonomski naštetiti produkciji hrane. [Stoga SAD smatra da je alternativa ubrzati inovacije i podjednako usredotočenih na produktivnost i održivost oslanjajući se na znanost. Fokus je na uključivanju poljoprivrednika u istraživanja kako bi se otkrili, razvili i prenijeli ili komercijalizirali alati budućnosti kako bi se osiguralo da proizvođači i potrošači napreduju.](#)



Slika 3. Usporedba prosječnog prinosa kukuruza tijekom posljednjih 30 godina u SAD i EU pokazuje dobitak u produktivnosti od učinkovite upotrebe tehnologije (izvor: <http://www.fao.org/faostat>)

Poljoprivredni proizvođači neprestano se suočavaju s tehničkim, ekonomskim, socijalnim, kulturnim i tradicionalnim preprekama, a najmoćnije oružje za rješavanje svih problema je primjenjivo, eksplicitno znanje koje je temelj inovativnosti, kao i brza adaptacija na promjenjive proizvodne uvjete i tržište.

U Osijeku, 30. travnja 2021. god.