



**ŠESTI NAUČNO-STRUČNI
SKUP POLITEHNIKA**

ZBORNİK RADOVA



Beograd, 10. decembar 2021. godine

URBANI FOTO-BIOREAKTOR LIQUID3 - SINERGIJA DIZAJNA I BIOTEHNOLOGIJE

Ivan Spasojević,¹ Univerzitet u Beogradu – Institut za multidisciplinarna istraživanja
Danica Stojiljković,² Univerzitet u Beogradu – Institut za multidisciplinarna istraživanja

Apstrakt. Urbane sredine pokazuju značajno povišen nivo CO₂ i čestičnih zagađivača koji su povezani sa gustom naseljenošću, saobraćajem i brojnim funkcijama grada. U posebno ugroženim mikrosredinama nije moguća primena standardnih načina ozelenjavanja, te su potrebna inovativna rešenja. Jedno takvo rešenje je primena foto-bioreaktorskih sistema sa mikroalgama. Ovo rešenje je zasnovano na eksploataciji visoke efikasnosti mikroalgi u vezivanju CO₂ u odnosu na drveće i travnjake, proizvodnji O₂ i biomase, kao i filtracije vazduha kroz vodeni stub. Međutim, biotehnološka komponenta iako ispunjava uslove za industrijske aplikacije, nije kompatibilna sa urbanom primenom, već zahteva multifunkcionalnost, estetiku i izdržljivost. Na primeru urbanog foto-bioreaktora LIQUID3 ovo je postignuto uklapanjem biotehnološke namene i urbanih funkcija - urbani mobilijar, solarni pinjač i ulična rasveta, savremenim dizajnom, i adekvatnim konstruktivnim rešenjima. Održivost LIQUID3 sistema se postiže kroz pametno korišćenje urbanog prostora i kroz proizvodnju biomase koja se koristi kao fertilizator. Multidisciplinarni pristup u razvoju ovog alternativnog koncepta ozelenjavanja razvijenog i izvedenog u Srbiji, predstavlja osnovu njegove funkcionalnosti i vijabilnosti u urbanom prostoru.

Ključne reči: održivost; bioreaktor; urbana sredina; biomasa; GHG

URBAN PHOTO-BIOREACTOR LIQUID3 - SYNERGY OF DESIGN AND BIOTECHNOLOGY

Abstract. Urban environments show increased levels of CO₂ and particulate matter that are related to population density, intensive traffic, and numerous municipal functions. Some urban microenvironments do not allow traditional greening and require innovative solutions, such as the use of photo-bioreactors with microalgae. This alternative concept of greening exploits high efficiency of microalgae in CO₂ fixation and O₂ and biomass production compared to trees and lawns, as well as the filtration of air through water column. Although biotechnological component of this concept meets the demands of industrial application, it is not per se compatible with the urban application that calls for multifunctionality, aesthetics and robustness. In line with this, urban photo-bioreactor LIQUID3 combines biotechnological application and urban functions – bench, USB solar charger, and nightlight, with contemporary design and construction. Sustainability of LIQUID3 is achieved through smart use of city space and the production of biomass that can be used as biofertilizer. Multidisciplinary approach in the development of alternative concepts of greening that was developed and implemented in Serbia, represents the basis of its functionality and viability in urban space.

Ključne reči: sustainability, bioreactor, urban environment, biomass, GHG

¹ ivan@imsi.rs

² danica@imsi.rs

1. UVOD

Urbani foto-bioreaktor LIQUID3 je od koncepta do prototipa razvijen na Institutu za multidisciplinarna istraživanja, u okviru istoimenog projekta koji su podržali UNDP Srbija u saradnji sa *Global Environmental Facility* i Ministarstvom zaštite životne sredine Republike Srbije preko projekta „Lokalni razvoj otporan na klimatske promene“. Navedeni projekat je identifikovao visoku emisiju i koncentraciju ugljen dioksida i drugih gasova sa efektom staklene bašte (GHG) u urbanim sredinama kao problem koji osim što utiče na zdravlje ljudi i kvalitet života značajno doprinosi klimatskim promenama, centralnom pitanju naše budućnosti [11]. Urbane sredine doprinose sa 70% ukupnoj svetskoj emisiji CO₂ čime značajno doprinose klimatskim promenama. Problem je još izraženiji kada se uzme u obzir da se u narednom periodu očekuje intenzivna urbanizacija sa projekcijom da će do 2050. godine u gradovima živeti šest milijardi ljudi [3]. Važno je napomenuti da Srbija doprinosi sa preko 50% GHG emisije u regionu Zapadnog Balkana. Republika Srbija potpisnica Pariskog sporazuma o klimatskim promenama i s tim u vezi, planira da redukuje emisiju GHG za 80% do 2050 [1]. Cilj „Izazova za inovativna rešenja“ sprovedenog u okviru projekta „Lokalni razvoj otporan na klimatske promene“ je bio da se predlože i razviju inovativne ideje za smanjenje emisije GHG u urbanim sredinama koje će doprineti uspostavljanju sistema pametnog grada, pre svega sa stanovišta pametnijeg korišćenja gradskog zemljišta, uz istovremeno generisanje društvene, ekonomske i ekološke koristi za zajednicu [11].

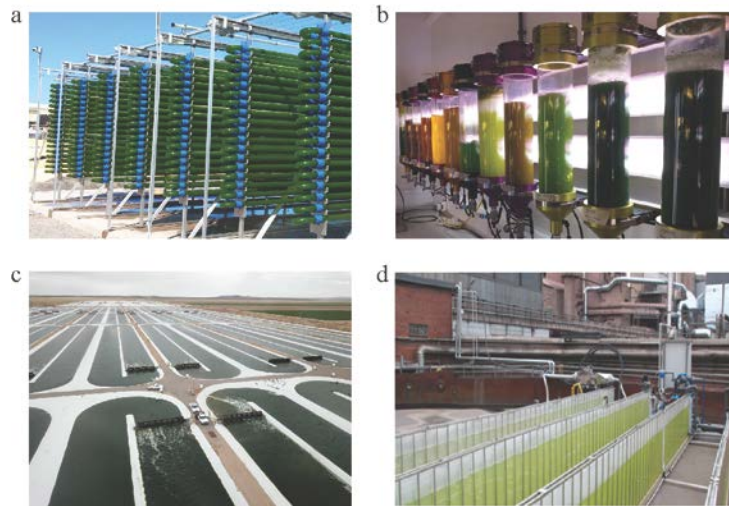
Do inovativne ideje za urbani foto-bioreaktor se došlo se kroz multidisciplinarni pristup, odnosno saradnju istraživača sa ekspertizama u oblasti arhitekture, urbanizma i dizajna i oblasti biotehnologije. Naš cilj je bio da se razvije alternativni koncept ozelenjavanja namenjen urbanim mikrosredinama koje zbog limitiranosti prostora, intenzivnog zagađenja ili nekog drugog faktora nisu pogodne za standardne načine ozelenjavanja odnosno uspostavljanje zelenih površina sa drvećem i/ili travnjacima. Nedavne analize su pokazale da je za ekonomski prosperitet grada i za socijalnu održivost i pravednost bolji ravnomerni raspored ozelenjavanja od velikih parkova [6]. Međutim, upravo najgušće naseljeni delovi grada često pokazuju ograničenja u prostoru, što ih čini senzitivnim iz ugla socijalnog balansa i funkcionalnosti, i u smislu mogućnosti za ozelenjavanje u cilju umanjavanja zagađenosti vazduha, koja je sa druge strane proporcionalna gustini populacije [2]. Ovde treba istaći da je izloženost zagađenom vazduhu u pozitivnoj korelaciji sa učestalošću čitavog niza oboljenja i u negativnoj korelaciji sa kvalitetom života [4]. Sa druge strane, intenzivno zagađenje kako vazduha, tako i zemlje i vode otežava ozelenjavanje jer ima negativan uticaj na urbano drveće i travnjake. Zagađen vazduh ograničava životni vek biljaka i njihovu efikasnost u uklanjanju štetnih jedinjenja, povećava troškove održavanja, i sve zajedno čini standardne oblike ozelenjavanja manje održivim [10].

Koncept urbanog foto-bioreaktora se oslanja na tehnologiju foto-bioreaktora - sistema za uzgoj mikroalgi koje vršeći fotosintezu vezuju CO₂ i proizvode O₂ i biomasu, ali koji je dizajniran tako da bude funkcionalno i estetski kompatibilan sa urbanim sredinama, prilagođen javnoj upotrebi, jednostavan za održavanje, i da zauzima malo prostora. LIQUID3 predstavlja proizvod odnosno prototip implementacije ovog koncepta nastalog kroz razvoj i istraživanje biološke/biotehnoške komponente i dizajna. Ovde ćemo opisati LIQUID3 sistem – biotehnoške principe, koncepte i principe korišćene u dizajnu, funkcije, i benefite.

2. BIOTEHNOLOGIJA SISTEMA

Urbani foto-bioreaktor LIQUID3 se oslanja na visoku fotosintetsku efikasnost mikroalgi u uklanjanju CO₂ i proizvodnji O₂ i biomase. Ove jednoćelijske alge su 10-50 puta efikasnije u fiksaciji ugljenika u odnosu na kopnene biljke, i zaslužne su za oko 50% kiseonika dostupnog u atmosferi [14]. Šta više, koncentracija CO₂ je ključni ograničavajući faktor za rast odnosno proizvodnju biomase u kulturi

mikroalgi, pa one brže rastu pri povećanim koncentracijom CO₂ u vazduhu, što je slučaj u zagađenim urbanim sredinama. Komercijalni uzgoj mikroalgi se vrši u različitim sistemima kao što su foto-bioreaktori sa protokom, *airlift* foto-bioreaktori, *flat panel* foto-bioreaktori, *raceway ponds* (Slika 1), koji su specijalno dizajnirani u cilju proizvodnje bioloških molekula visoke vrednosti, kao što su pigmenti (astaksantin na primer) i omega masne kiseline, zatim biogoriva, biomase i drugih proizvoda [8]. Osim toga uspešno su razvijeni sistemi koji koriste mikroalge u prečišćavanju izduvnih fabričkih gasova. Takav primer je Algoland projekat na *Linnaeus University* u Švedskoj koji je primenio veliki broj *flat panel* foto-bioreaktora u fabrici cementa Cementa u Degerhamnu i postigao nultu emisiju CO₂ (Slika 1d).



Slika 1. Sistemi za uzgoj kultura mikroalgi. a) Foto-bioreaktor; b) *Airlift* foto-bioreaktor; c) *Raceway ponds*; *Flat panel* foto-bioreaktor sa mikroalgama postavljen u fabrici Cementa u Dagerhamnu, Švedska.

Izvori: www.variconacqua.com; www.energy.com; www.lnu.se

Navedeni sistemi su skupi, tehnički kompleksni i/ili inkompatibilni sa primenom u urbanoj sredini (na primer, zbog veličine ili mehaničkih karakteristika). U pogledu samog sistema za uzgoj mikroalgi mi smo tražili rešenje koje će biti jednostavno (za izradu i održavanje), robustno, pouzdano, bezbedno, i cenovno konkurentno, uz adekvatnu efikasnost u smislu velikog protoka vazduha kroz vodeni stub i dovoljne osunčanosti, kako bi se mikroalgama obezbedilo što bolje snabdevanje sa CO₂ i svetlosnom energijom za fotosintezu. Rešenje smo našli u kombinaciji *airlift* (vazduh se upumpava sa dna foto-bioreaktora što omogućava najduži put vazduha kroz vodeni stub i mešanje kulture) i *flat panel* (tehnički jednostavan sistem sa dobrom osvetljenošću) foto-bioreaktora napravljenog od laminiranog stakla. Kod izbora vrste mikroalgi koja je adekvata za primenu u urbanoj sredini, vodili smo se sledećim karakteristikama koje smo i testirali: (i) da je otporna na visoko zagađenje vazduha; (ii) da je efikasna u uklanjanju CO₂; (iii) da naseljava lokalne vode (jezera, reke); (iv) da je izdržljiva u smislu otpornosti na niske i visoke dnevne i godišnje temperature; (v) da nije podložna infekcijama koje bi mogle dovesti do urušavanja kulture; (vi) da je izdržljiva u smislu varijabilnog intenziteta sunčeve svetlosti; (vii) da može da raste u česmenskoj vodi; i (viii) da je jeftina za održavanje, u smislu da neophodni medijum nije skup i da se biofilmovi koje formira na staklu mogu lako ukloniti prilikom održavanja foto-bioreaktora. LIQUID3 foto-bioreaktor održava kulturu mikroalgi zapremine oko 600 L. Poređenjem kapaciteta za vezivanje CO₂ i produkciju O₂ kultura mikroalgi (g CO₂ odnosno g O₂ po L na dan) [7], sa kapacitetima drveća (g CO₂ odnosno g O₂ po drvetu na dan) ili travnjaka (g CO₂ odnosno g O₂ po m²) u urbanim sredinama [9, 15], efekat LIQUID3 je ekvivalentan jednom odraslom drvetu (od oko 20 godina) ili travnjaku površine 200 m². Ovde valja istaći da se LIQUID3 može

postaviti za jedan dan i ima stopu od oko 2 m². Održavanje sistema se vrši jednom mesečno i traje oko 90 minuta. Sastoji se u odstranjivanju 90% vode i biomase i nalivanju sveže česemske vode i solidnog medijuma za datu kulturu mikroalgi (kombinacija mikro- i makroelemenata niske cene). Biomasa se može koristiti kao biofertilizator za javne parkove ili cvetne zasade, čime se smanjuje i primena veštačkih đubriva [13]. Uz pametno korišćenje gradskog zemljišta i pružanje usluga, proizvodnja biomase je osnova održivosti primene LIQUID3 sistema.

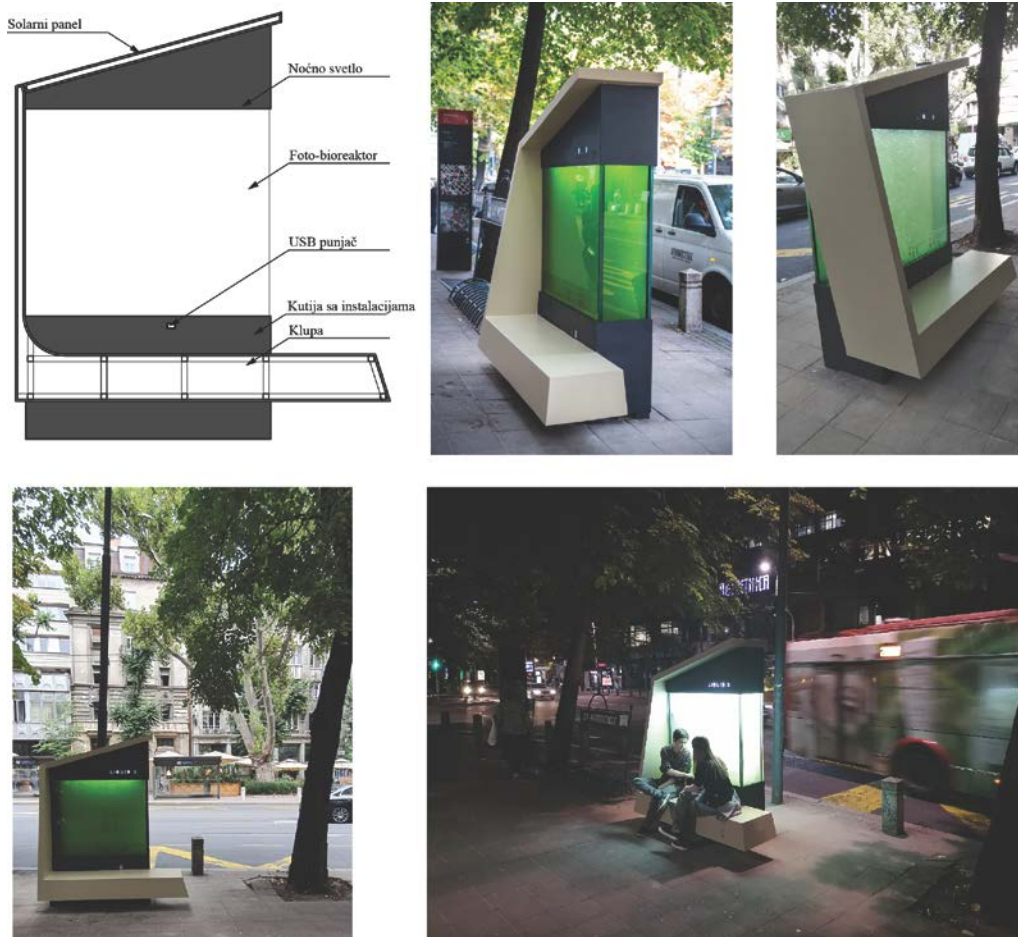
3. DIZAJN SISTEMA

Prilikom istraživanja dizajna urbanog foto-bioreaktora LIQUID3 koji će se estetski i funkcionalno uklopiti u urbanu sredinu vodili smo se postulatima urbanog dizajna. Ciljevi urbanog dizajna su da urbane sredine budu pravične, lepe, dinamične i održive [12]. Dizajn urbanog prostora, odnosno njegovih komponenta kao što je urbani mobilijar, ne sme biti prenatravan, već dinamičan i zanimljiv, jer je interakcija javnog života sa dizajnom od centralnog značaja, a ne dizajn sam po sebi.¹⁵ S tim u vezi, LIQUID3 predstavlja instalaciju koja svakodnevno ili kroz posebne socijalne događaje promoviše vrednosti i značaj zaštite životne sredine, održivosti, borbe protiv klimatskih promena, i borbe za kvalitetniji urbani život. LIQUID3 time promoviše komunikaciju među ljudima, pre svega onu prikrivenu (tkz *covert communication*), koja je posebno značajna, a koja se oslanja na posmatranje reakcija drugih i prepoznavanje zajedničkih interesovanja i vrednosnih uzusa, i koja olakšava povezivanje i direktnu komunikaciju [5]. Osim što prečišćava vazduh i proizvodi kiseonik, LIQUID3 predstavlja multifunkcionalni urbani mobilijar – klupu, noćno svetlo, i punjač. Sa tim u vezi, prilikom istraživanja dizajna uzete su u obzir uloge koje klupe i noćna svetla imaju u urbanoj sredini odnosno zajednici. Urbane klupe se i danas posmatraju kroz romantičnu vizuru susreta i kontemplacije kakva im je data u književnosti i kinematografiji. Izgled ima uticaj na odluku da li će neko sedeti, dok kvalitet klupe pokazuje značajnu pozitivnu korelaciju sa dužinom korišćenja [16]. Klupa treba da pruži po mogućnosti ne samo fizički, već i psihološki i socijalni komfor. Zato je posebna pažnja posvećena ovoj komponenti dizajna, njenoj morfologiji, poziciji, povezanosti sa ostatkom strukture, boji i kvalitetu izrade. Osvetljenje ima moć da promeni naše iskustvo urbane sredine. Kako je LIQUID3 predviđen za upotrebu u gusto naseljenim urbanim mikrosredinama sa intenzivnim ako ne i hektičnim noćnim aktivnostima, predvideli smo da postavljanjem svetla iznad zelene kulture mikroalgi u foto-bioreaktoru indukujemo relaksirajući efekat.

Dizajn urbanog foto-bioreaktora LIQUID3 je izveden i u okvirima određenih tehničkih i logističkih zahteva: (i) Konstrukcija mora vršiti funkciju urbanog mobilijara koji uključuje klupu, solarni punjač za telefon i noćno svetlo; (ii) Konstrukcija mora da bude jednostavna i mora podržati statičku pouzdanost i upotrebu bezbednost, i ne sme da kompromituje funkcionalnost; (iii) Sistem mora da koristi i solarnu energiju kako bi se povećala energetska neutralnost; (iv) Konstrukcija mora da sadrži postolje za foto-bioreaktor u okviru koga će se sakriti instalacije (pumpa za vazduh, akumulator za solarni sistem), klupu za tri korisnika, i kosi krov na koji će biti postavljen solarni panel i led rasveta (iznad foto-bioreaktora); (v) Unutrašnjost foto-bioreaktora mora biti dostupna u meri koja omogućava nesmetano i efikasno održavanje; (vi) Bočna strana foto-bioreaktora na koju će se postaviti instalacije (dovod vazduha, *stream* pumpa za mešanje algi, grejač za spečavanje smrzanja u toku zimskih meseci) mora biti sakrivena; (vii) Definisani dizajn mora biti tehnički izvodljiv i cenovno konkurentan sa drugim sistemima koji pokrivaju sličan spektar usluga odnosno funkcija u smislu urbanog ekološki-kompatibilnog mobilijara (npr. pametne klupe); (viii) Definisani dizajn treba da se u potpunosti izvede u saradnji sa domaćim podizvođačima.

Slika 2 prikazuje shemu rešenja za urbani foto-bioreaktor LIQUID3 sa označenim funkcijama odnosno komponentama, kao i fotografije prototipa koji je u septembru 2021. godine postavljen u Makedonskoj

ulici u Beogradu ispred zgrade opštine Stari Grad. Na fotografijama se može uočiti da se LIQUID3 dobro uklopio u urbani ambijent. Krov sa konzolnom klupom formira slovo C čime je obezbeđena konstruktivna stabilnost i sakrivenost instalacija. Ova konstrukcija zajedno sa foto-bioreaktorom koji ima vitku vertikalnu osu, zaklanja korisnika od ulice i formira zeleni kutak u kome je moguć odmor ili razgovor, posebno u večernjim časovima. Kombinacija boja ističe klupu i „poziva“ prolaznike da sednu, i uklapa se sa okolnim zgradama i drvećem. Korisnici su brzo prihvatili novinu i počeli da koriste ponuđene funkcije. Postavljanje prototipa je privuklo i veliku pažnju domaćih i stranih medija, gde je realizovano oko deset televizijskih priloga, i veći broj tekstova u štampanim i elektronskim novinama.



Slika 2. Shematski prikaz i fotografije LIQUID3 sistema

4. ZAKLJUČAK

Urbani foto-bioreaktor LIQUID3 ostvaruje čitav niz benefita po životnu sredinu, društvo i ekonomiju. Ovaj sistem predstavlja alternativni koncept ozelenjavanja koji omogućava smanjenje nivoa GHG u ranjivim urbanim mikrosredinama, istovremeno povećavajući svest o značaju zaštite životne sredine. LIQUID3 čini da životna sredina ne bude nešto apstraktno i udaljeno od urbanih zona, već ukazuje da naša urbana okolina jeste integralni element životne sredine i da time jeste jedan važan front u borbi sa zagađenjem i klimatskim promenama. LIQUID3 svojim dizajnom formira urbano mesto okupljanja, novu komponentu urbanog prostora koja promoviše interakcije među ljudima. Svoju održivost zasniva na pametnom korišćenju gradskog zemljišta, pružanju usluga, i proizvodnji biofertilizatora. Ovi benefiti ne bi mogli da budu ostvareni bez simbioze funkcije sa dizajnom. Urbana sredina ne prihvata

ogoljenu funkciju, već ona mora biti uokvirena dizajnom koji će biti adekvatan za korišćenje u urbanom tkivu. Za kraj valja napomenuti da razvoj ovog koncepta u Srbiji otvara put i ka drugim upotrebama mikroalgi, pre svega u proizvodnji biogoriva i prečišćavanju otpadnih voda, i posebno, ističe značaj multidisciplinarnog pristupa u implementaciji inovacija.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane UNDP Srbija (br. projekta 00094603/07/2020) i Ministarstva prosvete nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ugovor br. 451-03-9/2021-14/200053)

LITERATURA

1. Berishaj, V.: *Western Balkans Greenhouse Gas Emission Reduction Targets 2030. The Path to Achieving Climate Neutrality by 2050*. CAN Europe, Brussels (2021).
2. Borck, R, Schrauth, P.: Population density and urban air quality. *Regional Science and Urban Economics* 86 (2021) 103596.
3. C40 Network. Dostupno na: https://www.c40.org/why_cities (Pristup: 10.10.2021)
4. Calderón-Garcidueñas, L., Villarreal-Ríos, R.: Living close to heavy traffic roads, air pollution, and dementia. *Lancet* 389 (2017) 675-677.
5. Cooper Marcus, C, Francis, C.: *People Places: Design Guidelines for Urban Open Space*. John Wiley and Sons, New York (1997).
6. Du, M., Zhang, X.: Urban greening: A new paradox of economic or social sustainability? *Land Use Policy* 92 (2020) 104487.
7. Moheimani, N.R., McHenry, M.P., de Boer, K., Bahri, P.A.: *Biomass and Biofuels from Microalgae*. Springer, Heidelberg (2015).
8. Norsker, N.H., Barbosa, M.J., Vermuë, M.H., Wijffels, R.H.: Microalgal production--a close look at the economics. *Biotechnology Advances* 29 (2011) 24-27.
9. Nowak, D.J., Hoehn, R., Crane, D.E.: Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry* 33 (2007) 220-226.
10. Paoletti, E., Karnosky, D.F., Percy, K.E.: Urban trees and air pollution. *Forestry Serving Urbanised Societies* 14 (2004): 129-154.
11. UNDP-GEF projekat. Dostupno na: <https://www.klimatskepromene.rs/lokalni-razvoj-otporan-na-klimatske-promene/> (Pristup: 10.10.2021)
12. Vargas-Hernández, J.G., Zdunek-Wielgołaska, J.: Urban green infrastructure as a tool for controlling the resilience of urban sprawl. *Environment, Development and Sustainability* 23 (2021) 1335-1354.
13. Vegaalga projekat Mađarska. Dostupno na: <https://vegaalga.eu/en/page/show/technology> (Pristup: 10.10.2021)
14. Wang, B., Li, Y., Wu, N., Lan, C.Q.: CO2 bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology* 79 (2008) 707-718.
15. Wang, F., Prominsi, M.: *Urbanization and Locality*. Springer, Heidelberg (2016).
16. Whyte, W.H. *The Life of Plazas in Urban Design Reader*. Architectural, Oxford (2007).