

Usporedba količine pohranjenog CO₂ u starim i mladim stablima lipe
Comparison of the amount of stored CO₂ within old and young linden trees
Arijana Babić, 3.d, Dorotea Hodak, 3.b, Nina Rajnović, 3.b
Ines Baškarad, Borna Louvar
Gimnazija Petra Preradovića Virovitica

Sažetak

U virovitičkom Gradskom parku, koji se nalazi u samome centru Virovitice, u razdoblju od 2017. do 2019. provedena je obnova i rekonstrukcija parka i Dvorca Pejačević u okviru Integriranog razvojnog projekta „5 do 12 za Dvorac“. Uz pomoć EU fondova, u tom su razdoblju posađena nova stabla, grmlje i ukrasno raslinje, no isto tako srušen je i velik broj biljnih vrsta zbog njihove starosti, opasnosti od urušavanja, truljenja i drugih razloga. Naša je GLOBE skupina u šestomjesečnom istraživanju pratila rast stabala lipe, koja su dominantna vrsta u parku, te vršila mjerenja opsega i visine lipa. Uspoređivali smo prirast biomase i količinu apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci kod starih i mladih, novoposađenih stabala lipe. Nakon izračuna i usporedbe podataka zaključili smo da je tijekom šest mjeseci postotni prirast pohranjenog CO₂ veći kod mladih nego kod starih lipa. Ista ukupna biomasa starih i mladih stabala lipe ne apsorbira jednaku količinu CO₂ tijekom šest mjeseci. Određena biomasa mladih stabala apsorbirat će 7,5 puta više CO₂ od te iste biomase starih stabala. Revitalizacija parka uključuje pomlađivanje biljne populacije te ima pozitivne i negativne strane. Iako se revitalizacijom smanjuje ukupna biomasa, količina apsorbiranog CO₂ smanjuje se u znatno manjoj mjeri.

Summary

In the Virovitica City Park, located in the very center of Virovitica, during the period from 2017 to 2019, the park and the Pejačević Castle were renovated and reconstructed as part of the Integrated Development Project "5 do 12 za Dvorac". With the help of EU funds, new trees, shrubs and ornamental plants were planted in that period, but a large number of plant species were also demolished due to their age, risk of collapse, rotting and other reasons. In a six-month study, our GLOBE group monitored the growth of linden trees, which are the dominant species in the park, and measured the circumference and height of linden trees. We compared the growth of biomass and the amount of CO₂ absorbed during six months in the old trees and the young, newly planted linden trees. After calculating and comparing the data, we concluded that over six months, the percentage increase in stored CO₂ is greater in young than in old linden trees. The same total biomass of old and young linden trees does not absorb the same amount of CO₂ during six months. A certain biomass of young trees will absorb 7,5 times more CO₂ than the same biomass of old trees. The revitalization of the park includes the rejuvenation of the plant population and has both positive and negative aspects. Although revitalization reduces the total biomass, the amount of absorbed CO₂ decreases to a much lesser extent.

Uvod

Naša gimnazija ima pogled na Gradski park koji se nalazi u samome centru Virovitice. Stari park oko Dvorca Pejačević u Virovitici nastao je početkom 19. stoljeća, a iz tog razdoblja potječu i mnogobrojne biljne vrste kao što su platane, vodeni čempresi, javori, jaseni, hrastovi te *Ginkgo biloba* kao posebna vrsta koju znamo i kao živi fosil pa je vrlo značajna za specifičnost parka. Park je zaštićen kao spomenik kulture od 1962. i kao spomenik parkovne arhitekture od 1967. godine. Posljednja studija iz 1996. godine pokazala je da su mnoga od 75 vrsta stabala i grmova stari ili bolesni primjerci i da ih je potrebno ukloniti iz parka te posaditi nove vrste. Tijekom 2017. godine, zbog dotrajalosti i općenito lošeg stanja parka, grad Virovitica započeo je obnovu i rekonstrukciju Gradskog parka i

Dvorca Pejačević u okviru Integriranog razvojnog projekta „5 do 12 za Dvorac“. Uz pomoć EU fondova, u sljedeće 2 godine dvorac je obnovljen zajedno sa svojim muzejom u unutrašnjosti, a Gradskom parku vraćen je perivojni izgled te su posađena nova stabla, grmlje i ukrasno raslinje.

Tijekom projekta srušen je velik broj stabala zbog razloga kao što su starost, opasnost od urušavanja i pucanja grana, bolesti i truljenje drveta. Mnoga stabla srušena su kako ne bi sklanjala pogled na dvorac. Reprezentativni uzorci stabala koja su zdrava i stara oko 200 godina, imaju svoju vrijednost, ne ometaju provedbu projekta i ne narušavaju vizure dvorca nisu srušeni.

U sklopu projekta posađeno je oko 30 biljnih vrsta, odnosno 160 novih stabala, 20 vrsta grmlja i 310 metara živice te mnoge ukrasne biljke. Uređene su šetnice u parku i ispred Gimnazije Petra Preradovića Virovitica.

Uz brojne vrste stabala i biljaka kao što su kesten, hrast, smreka, brijest, šumska tisa i dr., naš park krasi i stabla lipe koja su u parku najbrojnija i dominantna vrsta, a naša je GLOBE skupina u razdoblju od šest mjeseci pratila njihov napredak i razvoj te vršila mjerenja opsega i visine lipa. [1] Lipe (*Tilia cordata*) su listopadna stabla koja rastu u visinu do 40 metara i imaju široku i pravilnu krošnju (slika 1.). Imaju srčolike listove koji se u jesen osuše, ali na stablu ostaju do kraja zime, mirisni cvjetovi su dvospolni i žuti. Lako se rasprostranjuju vjetrom, a nakon cvatnje razvija se oraščić koji ostaje na stablu i zimi. Lipe često rastu u listopadnim šumama, ali u našem parku su posađene kao pojedinačna stabla, odnosno drvodred. Također su tijekom obnove parka prva posađena stabla bile upravo mlade lipe.



Slika 1. Sitnolisna lipa (*Tilia cordata* L.)

Globalna emisija ugljikovog dioksida trenutno je jedan od najvećih svjetskih problema, a biljke ugljikov dioksid trebaju za fotosintezu. Fotosinteza je metabolički put u kojem se svjetlosna energija, najčešće dobivena od Sunca, pretvara u kemijsku energiju koja se pohranjuje u obliku kemijskih veza u organskim spojevima. [2] Biljke fotosintezom stvaraju ugljikohidrate, odnosno glukozu, iz ugljikovog dioksida i vode s pomoću svjetlosne energije i pigmenta klorofila, a istodobno izlučuju kisik neophodan za život na Zemlji. Važnost fotosinteze upravo je u tome što je njezin produkt kisik koji je neophodan za život aerobnih organizama kojima pripada i čovjek. Istodobno biljke procesom fotosinteze smanjuju razinu ugljikovog dioksida u atmosferi. Prisutnost CO₂ u atmosferi je poželjna jer omogućava zagrijavanje Zemlje i zadržavanje topline na njoj, ali velike količine CO₂ u atmosferi uzrokuju efekt staklenika zbog kojeg se Zemlja prekomjerno zagrijava. [3] Sunčeva toplina i svjetlost kroz atmosferu dolaze na Zemlju i zagrijavaju je, a dio te topline vraća se u svemir. Do problema dolazi jer višak topline u atmosferi apsorbiraju molekule ugljikovog dioksida, vodene pare, metana i ostalih stakleničkih plinova te se ta toplina vraća natrag na Zemlju zbog čega temperatura na Zemlji sve više raste. Zbog povećanog stvaranja ugljikova

dioksida industrijskim procesima, izgaranjem fosilnih goriva i uništavanjem šuma posljednjih se godina efekt staklenika pojačava. U fosilna goriva ubrajamo naftu, ugljen i zemni plin, koji su neobnovljivi izvori energije i njihova je količina na Zemlji ograničena. Ona nastaju prirodnim putem, odnosno raspadanjem uginulih organizama i trenutno su osnovni izvor energije na Zemlji. Koriste se najviše u industriji, u tvornicama i pogonima te kao gorivo u prijevoznim sredstvima (slika 2.) Energija iz fosilnih goriva oslobađa se izgaranjem, a tijekom tog izgaranja također se oslobađaju otrovni i štetni staklenički plinovi, kao što su ugljikov monoksid, ugljikov dioksid, sumporov dioksid, metan, vodena para, freoni itd. Ti plinovi se zadržavaju u atmosferi i pridonose efektu staklenika i samom globalnom zatopljenju. Kako bi zaustavili ili usporili proces globalnog zatopljenja, treba poduzeti mjere kao što su manja uporaba fosilnih goriva, plastike i neobnovljivih izvora energije te korištenje obnovljivih izvora energije kao što su voda, vjetar i sunčeva energija. Također bi trebali saditi više stabala koja apsorbiraju CO₂. Važno je nakon sječe stabala posaditi nova stabla jer će ona apsorbirati ugljikov dioksid, čime će se smanjiti njegova emisija u atmosferi.

Tijekom našeg šestomjesečnog istraživanja mjerili smo visinu i opseg stabala lipe. Iz tih podataka izračunali smo biomasu i prirast biomase starih i mladih stabala lipe. Prema dosadašnjim istraživanjima mlada stabla imaju brži rast i veći prirast biomase u odnosu na svoju ukupnu masu. Prema tome, u odnosu na masu stabla, količina apsorbiranog CO₂ bit će veća kod mladih stabala u usporedbi sa starijim stablima u istom vremenskom periodu. Ovim istraživanjem željeli smo ukazati na veći doprinos mlađih stabala u količini pohranjenog CO₂ i izračunati koliko je mladih stabala potrebno da u istom vremenskom periodu apsorbira jednaku količinu CO₂ kao jedno staro stablo.



Slika 2. Oslobađanje stakleničkih plinova izgaranjem fosilnih goriva

Istraživačka pitanja

- ☐ Postoji li mjerljivi prirast biomase starih i mladih stabala lipe tijekom šest mjeseci?
- ☐ Koja stabla, mlada ili stara, pohranjuju veću količinu CO₂ tijekom šest mjeseci?
- ☐ Postoji li i kolika je razlika u postotnom prirastu pohranjenog CO₂ kod starih i mladih stabla lipe tijekom šest mjeseci?

Hipoteze

- ☐ I stara i mlada stabla lipe imat će mjerljivi prirast biomase nakon šest mjeseci.
- ☐ Stara stabla lipe pohranit će veću količinu CO₂ tijekom šest mjeseci.

- Mlada stabla lipe imat će veći postotni prirast pohranjenog CO₂ tijekom šest mjeseci.

Metode istraživanja

U našem parku postoje lipe koje su zasađene mnogo prije revitalizacije Gradskog parka i one koje su posađene u sklopu revitalizacije parka. Stare lipe su mnogo veće od mladih pa smo u istraživanju željeli usporediti brzinu rasta starih i novoposađenih lipa. Za istraživanje smo odabrali 10 starih, velikih stabala lipe i 10 mladih, novoposađenih stabala lipe. Istraživanje smo započeli u prosincu 2021. godine. Odabrali smo jedinice lipa kojima smo izmjerili visinu i promjer. Slika 3. prikazuje satelitsku snimku Gradskog parka u Virovitici. Na slici su oznakama m_x i s_x označene jedinice stabala lipe koje smo koristili u istraživanju.



Slika 3. Satelitska snimka revitaliziranog Gradskog parka u Virovitici s oznakama mladih (m_x) i starih (s_x) stabala lipe

Za mjerenje visine lipa koristili smo klinometar, pomoću kojeg smo izmjerili kut elevacije. [4] To je kut pod kojim smo sa svog položaja, koji je udaljen 10 metara od stabla, u razini očiju vidjeli vrh stabla lipe. Visinu stabla smo zatim izračunali pomoću sljedeće jednadžbe:

$$v = \tan \alpha \cdot d + h \quad (1)$$

v – visina stabla [m]

α – kut elevacije

d – udaljenost od stabla [m]

h – visina promatrača [cm]

Opseg svakog stabla lipe mjerili smo na visini 1,5 m od tla pomoću krojačkog metra. [5] Na temelju podataka o opsegu stabla izračunali smo promjer za svako stablo. Vrijednost visine stabla i promjera koristili smo za izračun biomase. Promjer i biomasu svakog pojedinog stabla lipe izračunali smo prema sljedećim jednadžbama:

$$p = \frac{o}{\pi} \quad (2)$$

p – promjer [cm]

O – opseg [cm]

$$GW = a \cdot d \cdot h \quad (3)$$

$a = 0,0346$ (ako je $d > 28$ cm)

$a = 0,0577$ (ako je $d < 28$ cm)

GW – zelena biomasa stabla (eng. - green weight) [kg]

d – promjer drveta [cm]

h – visina drveta [m]

Na temelju izračunatih vrijednosti biomase stabla svakoj jedinci lipe izračunali smo suhu masu prema sljedećoj formuli: [6]

$$DW = \frac{GW}{2} \quad (4)$$

DW – suha masa drveta [kg]

Iz podataka o suhoj masi drveta, prema sljedećoj formuli izračunali smo količinu pohranjenog ugljika:

$$C = \frac{DW}{2} \quad (5)$$

C – količina pohranjenog ugljika [kg]

Zatim smo količinu pohranjenog ugljika u drvetu preračunali u količinu apsorbiranog CO₂ u cjelokupnom životu svakog stabla lipe. [7] To smo napravili prema sljedećoj jednadžbi:

$$aps\ CO_2 = C \cdot 3,67 \quad (6)$$

aps CO₂ - apsorbirani CO₂ u cjelokupnom životu biljke [kg]

3,67 je konstanta (K) koju dobijemo prema sljedećem izračunu:

$$K = \frac{Mr(CO_2)}{Ar(C)} = \frac{12+2 \cdot 16}{12} = 3,67 \quad (7)$$

Prikaz i analiza podataka

Izmjerene i izračunate podatke za svako stablo lipe upisali smo u tablice. U prvom stupcu tablica navedene su oznake lipa. Položaj pojedine lipe u Gradskom parku vidljiv je na slici 1. U tablicama smo lipe poredali prema porastu biomase. Tablica 1. prikazuje podatke o visini, opsegu, promjeru i biomasi starih lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021. i 6. mjesecu 2022. Tablica 2. prikazuje podatke o visini, opsegu, promjeru i biomasi mladih lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021. i 6. mjesecu 2022.

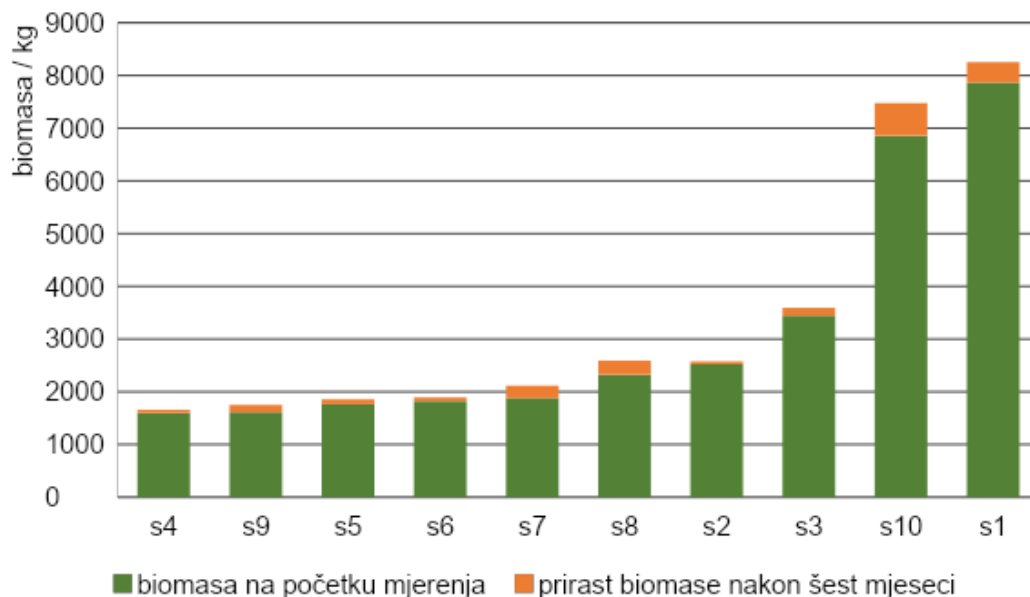
Tablica 1. Vrijednosti visine, opsega, promjera i biomase starih lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021. i u 6. mjesecu 2022.

Mjerenja provedena u 12. mjesecu 2021.					Mjerenja provedena u 6. mjesecu 2022.			
Broj lipe	Visina / m	Opseg / cm	Promjer/cm	Biomasa/kg	Visina / m	Opseg / cm	Promjer/cm	Biomasa/kg
s4	23,3	140	45	1597	24,1	140,3	45	1658
s9	27,5	129,5	41	1612	29,4	130,5	41	1750
s5	23,3	147,1	47	1763	24,3	147,8	47	1856
s6	24,1	147	47	1821	24,9	147,4	47	1891
s7	22,3	155,2	49	1878	24,7	156,5	50	2115
s8	23,3	169	54	2327	25,9	169,1	54	2589
s2	24,1	173	55	2522	24,6	173	55	2574
s3	31,4	177,2	56	3447	32,5	177,8	57	3592
s10	38,3	226,3	72	6857	41,5	227	72	7476
s1	27,5	286	91	7864	28,6	287,3	91	8253

Tablica 2. Vrijednosti visine, opsega, promjera i biomase mladih (novoposađenih) lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021. i u 6. mjesecu 2022.

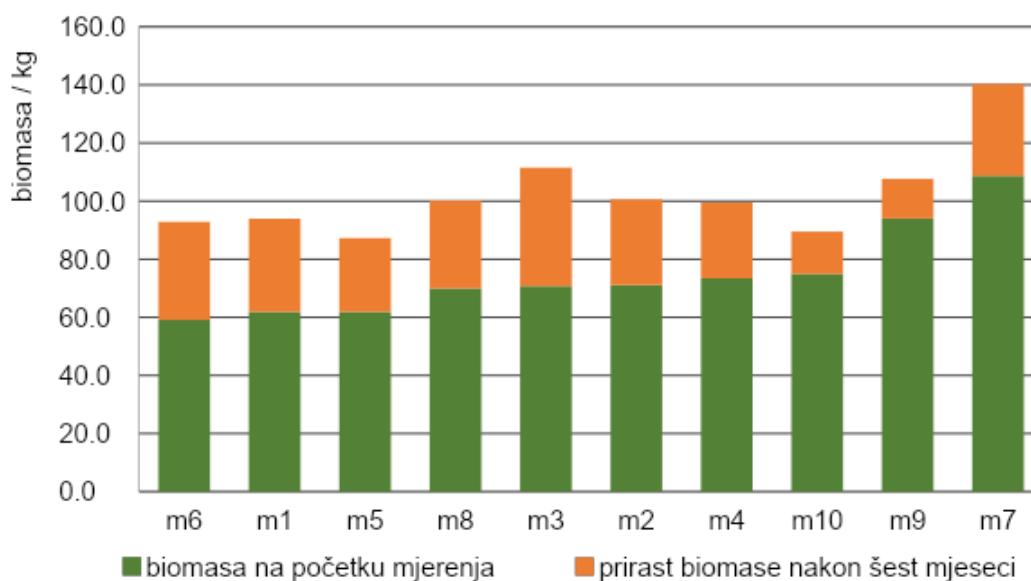
Mjerenja provedena u 12. mjesecu 2021.					Mjerenja provedena u 6. mjesecu 2022.			
Broj lipe	Visina / m	Opseg / cm	Promjer/cm	Biomasa/kg	Visina / cm	Opseg / cm	Promjer/cm	Biomasa/kg
m6	5,7	42	13,4	59,0	7,3	46,7	14,8	92,8
m1	5,7	43	13,7	61,9	7,8	45,6	14,5	94,0
m5	5,5	43,8	13,9	62,0	6,8	46,9	14,9	87,2
m8	5,4	47	14,9	70,1	7,3	48,5	15,4	100,1
m3	5,7	46	14,6	70,8	7,5	50,5	16,1	111,5
m2	5,6	46,5	14,8	71,1	7,0	49,5	15,7	100,6
m4	6,0	46	14,6	73,4	6,8	50,1	15,9	99,5
m10	5,1	50	15,9	74,9	5,7	51,9	16,5	89,5
m9	5,7	53	16,8	94,0	6,0	55,7	17,7	107,7
m7	5,5	58	18,4	108,7	6,8	59,5	18,9	140,4

Nakon što smo izračunali biomase stabala lipe u 12. mjesecu 2021. i 6. mjesecu 2022. izračunali smo razliku u biomasi. Prirast biomase nakon šest mjeseci izračunali smo tako da smo od konačne vrijednosti biomase (6. mjesec 2022.) oduzeli početnu biomasu (12. mjesec 2021.). Podatke za stare lipe prikazali smo grafički slikom 4., a podatke za mlade lipe grafički slikom 5. Zeleni stupići u grafu na slici 4 prikazuju biomase starih lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021., a narančasti stupići prirast biomase lipa nakon šest mjeseci. Cijeli stupići prikazuju biomase pojedinih lipa u 6. mjesecu 2022.



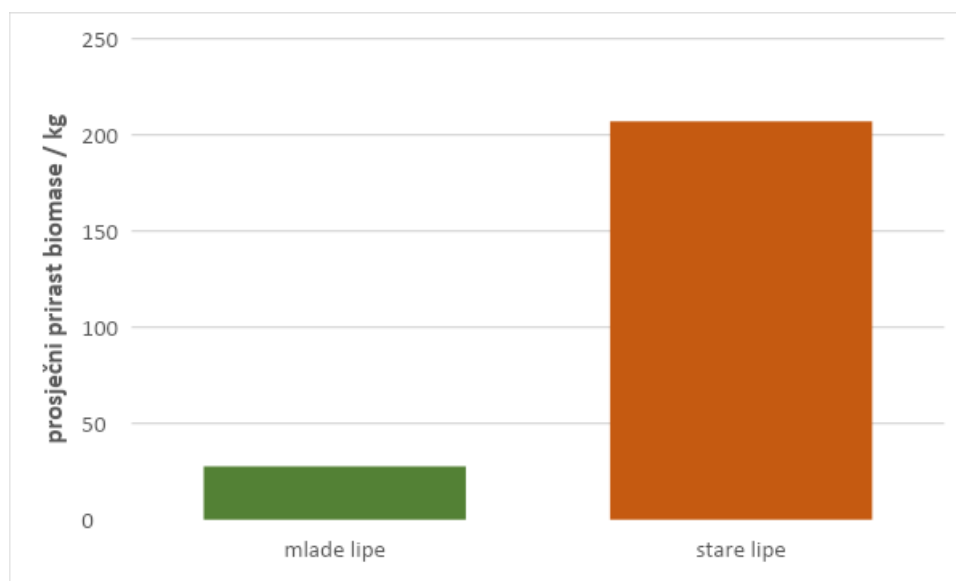
Slika 4. Prikaz prirasta biomase starih lipa nakon šest mjeseci

Zeleni stupići u grafu na slici 5 prikazuju biomase mladih lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021., a narančasti stupići prirast biomase lipa nakon šest mjeseci. Cijeli stupići prikazuju biomase pojedinih lipa u 6. mjesecu 2022.



Slika 5. Prikaz prirasta biomase mladih lipa nakon šest mjeseci

Izračunali smo srednju vrijednost prirasta starih i mladih lipa tijekom šest mjeseci i prikazali ih grafički slikom 6. Zelena boja na grafu prikazuje prosječni prirast biomase mladih lipa nakon šest mjeseci, a narančasta prosječni prirast biomase starih lipa nakon šest mjeseci.



Slika 6. Prosječan prirast biomase, u kilogramima, starih i mladih lipa nakon šest mjeseci

Nakon što smo usporedili biomase i priraste biomasa tijekom šest mjeseci, izračunali smo suhu masu drveta, količinu pohranjenog ugljika i apsorbirani CO_2 tijekom života drveta. Podatci za sve navedene vrijednosti starih lipa prikazani su u tablicama 3 i 4, a vrijednosti za mlade lipe prikazane su u tablicama 5 i 6.

Tablica 3. Vrijednosti biomase, suhe mase drveta, količine pohranjenog ugljika i apsorbiranog CO₂ tijekom života stabala starih lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021.

Mjerenja provedena u 12. mjesecu 2021.				
Broj lipe	Biomasa/kg	Suha masa drveta/kg	Količina pohranjenog ugljika/kg	Apsorbirani CO ₂ /kg
s4	1597	798	399	1465
s9	1612	806	403	1479
s5	1763	881	441	1617
s6	1821	910	455	1670
s7	1878	939	469	1723
s8	2327	1163	582	2135
s2	2522	1261	630	2314
s3	3447	1723	862	3163
s10	6857	3429	1714	6291
s1	7864	3932	1966	7215

Tablica 4. Vrijednosti biomase, suhe mase drveta, količine pohranjenog ugljika i apsorbiranog CO₂ tijekom života stabala starih lipa izmjerene u 6. mjesecu 2022.

Mjerenja provedena u 6. mjesecu 2022.				
Broj lipe	Biomasa/kg	Suha masa drveta/kg	Količina pohranjenog ugljika/kg	Apsorbirani CO ₂ /kg
s4	1658	829	415	1522
s9	1750	875	438	1606
s5	1856	928	464	1703
s6	1891	946	473	1735
s7	2115	1057	529	1940
s8	2589	1295	647	2376
s2	2574	1287	643	2362
s3	3592	1796	898	3296
s10	7476	3738	1869	6859
s1	8253	4127	2063	7572

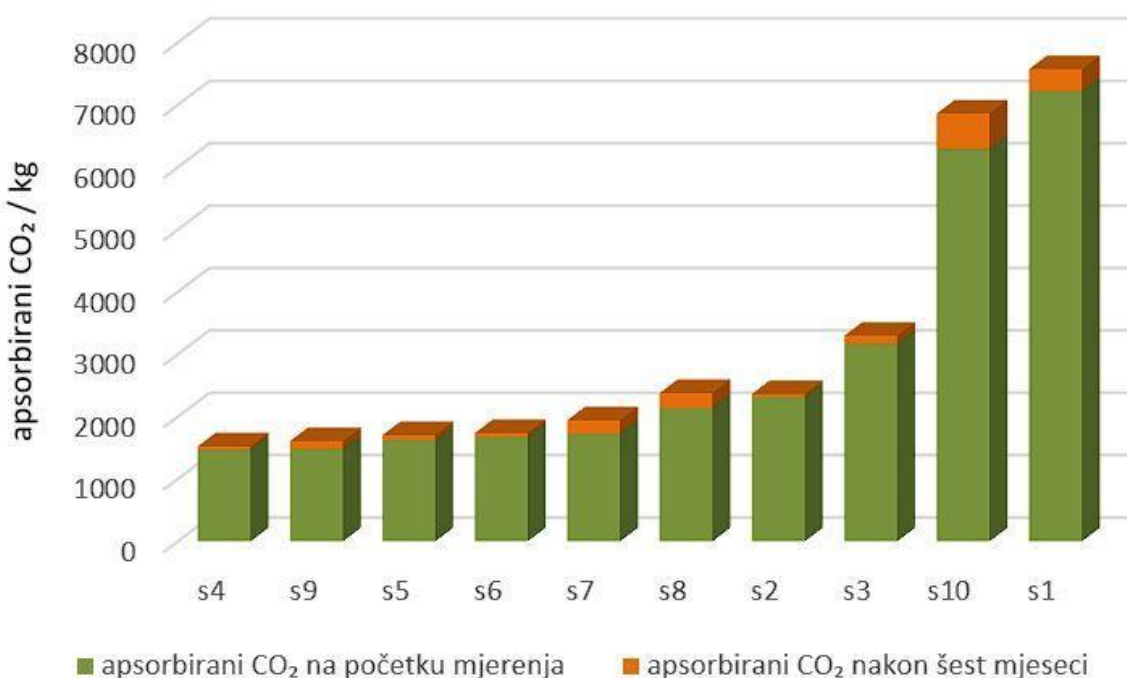
Tablica 5. Vrijednosti biomase, suhe mase drveta, količine pohranjenog ugljika i apsorbiranog CO₂ tijekom života stabala mladih (novoposađenih) lipa izmjerene u 12. mjesecu 2021.

Mjerenja provedena u 12. mjesecu 2021.				
Broj lipe	Biomasa/kg	Suha masa drveta/kg	Količina pohranjenog ugljika/kg	Apsorbirani CO ₂ /kg
m6	59.0	29.5	14.8	54.2
m1	61.9	30.9	15.5	56.8
m5	62.0	31.0	15.5	56.9
m8	70.1	35.0	17.5	64.3
m3	70.8	35.4	17.7	65.0
m2	71.1	35.5	17.8	65.2
m4	73.4	36.7	18.4	67.3
m10	74.9	37.5	18.7	68.7
m9	94.0	47.0	23.5	86.2
m7	108.7	54.3	27.2	99.7

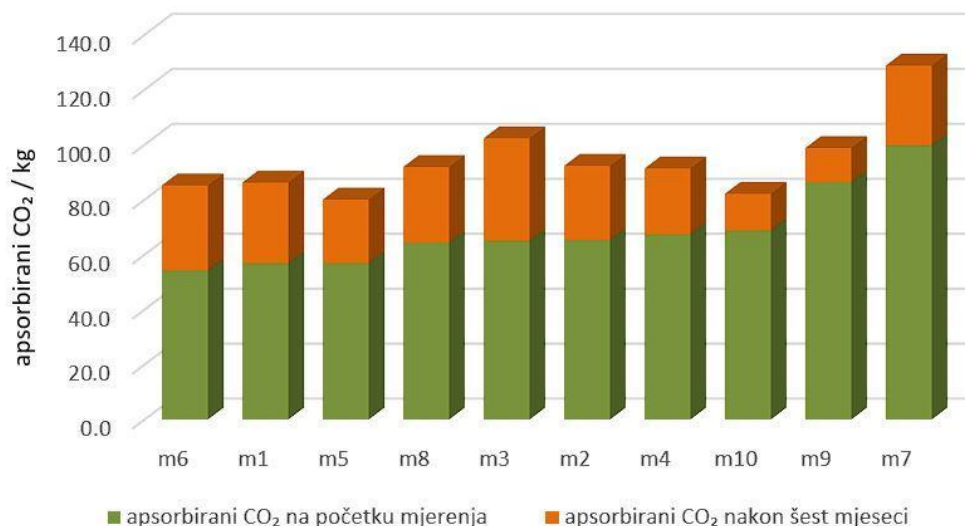
Tablica 6. Vrijednosti biomase, suhe mase drveta, količine pohranjenog ugljika i apsorbiranog CO₂ tijekom života stabala mladih (novoposađenih) lipa izmjerene u 6. mjesecu 2022.

Mjerenja provedena u 6. mjesecu 2022.				
Broj lipe	Biomasa/kg	Suha masa drveta/kg	Količina pohranjenog ugljika/kg	Apsorbirani CO ₂ /kg
m6	92.8	46.4	23.2	85.2
m1	94.0	47.0	23.5	86.2
m5	87.2	43.6	21.8	80.0
m8	100.1	50.1	25.0	91.9
m3	111.5	55.8	27.9	102.3
m2	100.6	50.3	25.1	92.3
m4	99.5	49.8	24.9	91.3
m10	89.5	44.8	22.4	82.1
m9	107.7	53.8	26.9	98.8
m7	140.4	70.2	35.1	128.8

Nakon svrstavanja podataka u tablice, odlučili smo količinu apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci prikazati grafički slikom 7. za stare lipe i slikom 8. za mlade lipe. Na slikama zelena boja prikazuje količinu CO₂ koja je apsorbirana u drvetu na početku mjerenja, a narančasta prirast apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci.



Slika 7. Prikaz prirasta apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci kod starih lipa

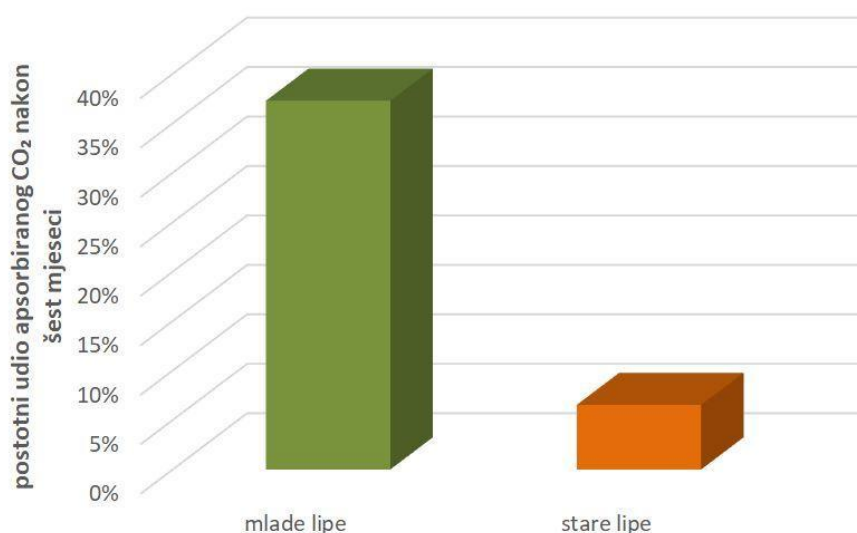


Slika 8. Prikaz prirasta apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci kod mladih lipa

Kako bismo izračunali postotni prirast apsorbiranog CO₂, prvo smo trebali oduzeti prosječnu početnu količinu CO₂ od prosječne konačne količine CO₂ kako bismo dobili prosječni prirast nakon šest mjeseci. Zatim smo taj broj podijelili s prosječnom početnom količinom apsorbiranog CO₂ te dobili vrijednost prosječnog postotnog prirasta za stare i za mlade lipa.

$$\%(aps\ CO_2) = \frac{aps\ CO_{2(konačni)} - aps\ CO_{2(početni)}}{aps\ CO_{2(početni)}} \quad (8)$$

Nakon izračuna, podatke o prosječnom postotnom prirastu apsorbiranog CO₂ u prirastu biomase kod mladih i starih lipa prikazali smo grafički slikom 9.



Slika 9. Prikaz postotnog prirasta apsorbiranog CO₂ nakon šest mjeseci kod mladih i starih lipa

Na slici zelena boja prikazuje postotni prirast količine apsorbiranog CO₂ kod mladih, a narančasta boja kod starih lipa.

Rasprava

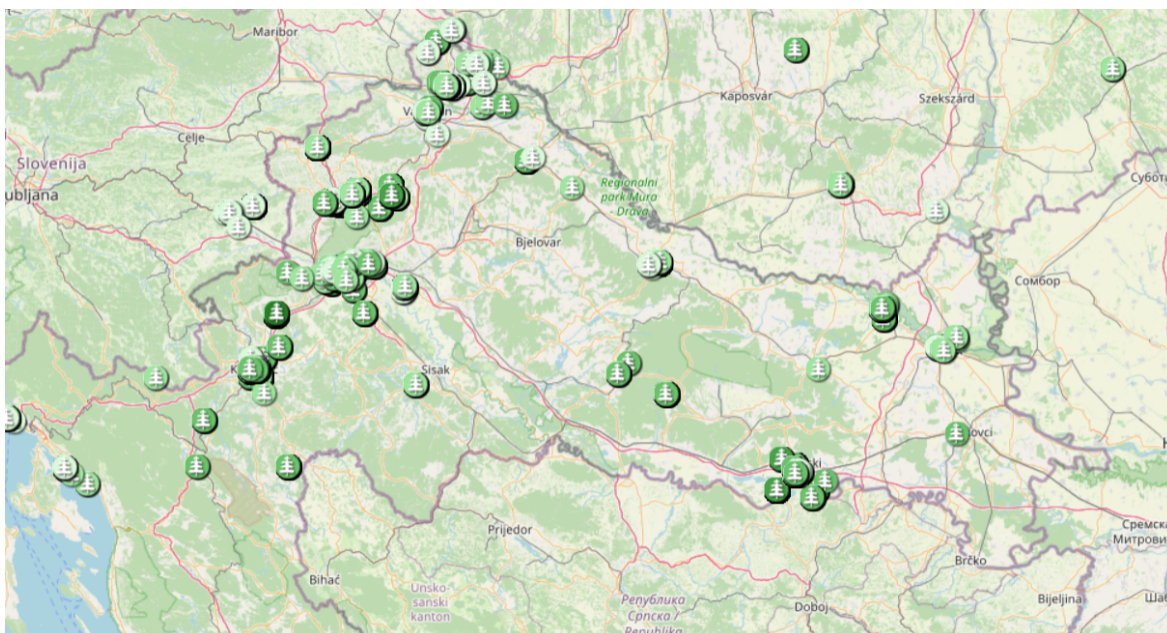
Gradski park u Virovitici nalazi se u samom središtu grada i okružen je glavnim gradskim prometnicama. Dvorac koji se nalazi u središnjem dijelu parka okružen je velikim kanalom koji je za vrijeme grofova Pejačević bio ispunjen vodom. Lipe u našem parku nalaze se upravo između gradske prometnice i kanala. Baš iz tog razloga bilo je teško precizno odrediti udaljenost od stabla lipe tijekom mjerenja kuta elevacije. Taj problem pokušali smo riješiti upotrebom mobilnih aplikacija za mjerenje udaljenosti koje se nisu pokazale najtočnijima. Poteškoću mjerenja udaljenosti riješili smo uz pomoć aplikacije Google Earth.

Istraživanje smo započeli u 6. mjesecu 2021. tijekom kojeg su mjerenja provodili učenici prijašnje ekodružine. Sljedeće nastavne godine došlo je do promjene učenika u ekodružini. Mjerenja u 12. mjesecu 2021. pokazala su smanjenje visine većine stabala lipa što smo protumačili kao pogrešku u mjerenju. Iz tog razloga podatke iz 6. mjeseca 2021. nismo koristili u istraživanju, a u 6. mjesecu 2022. mjerenja su proveli isti učenici koji su to radili šest mjeseci ranije. Na taj način nam ljudski faktor nije predstavljao ograničenja i promatrali smo ga kao kontrolnu varijablu.

Opseg drveta mjerili smo na visini od 1,5 m jer smo koristili starije GLOBE protokole za biometriju koji još nisu bili korigirani. Sada znamo da se prsni promjer mjeri na visini od 1,35 m i na toj visini ćemo opseg mjeriti u budućnosti. S obzirom da smo tijekom cijelog istraživanja bili dosljedni u mjerenju opsega drveta na 1,5 m, odstupanja u rezultatima ne bi trebala biti značajna.

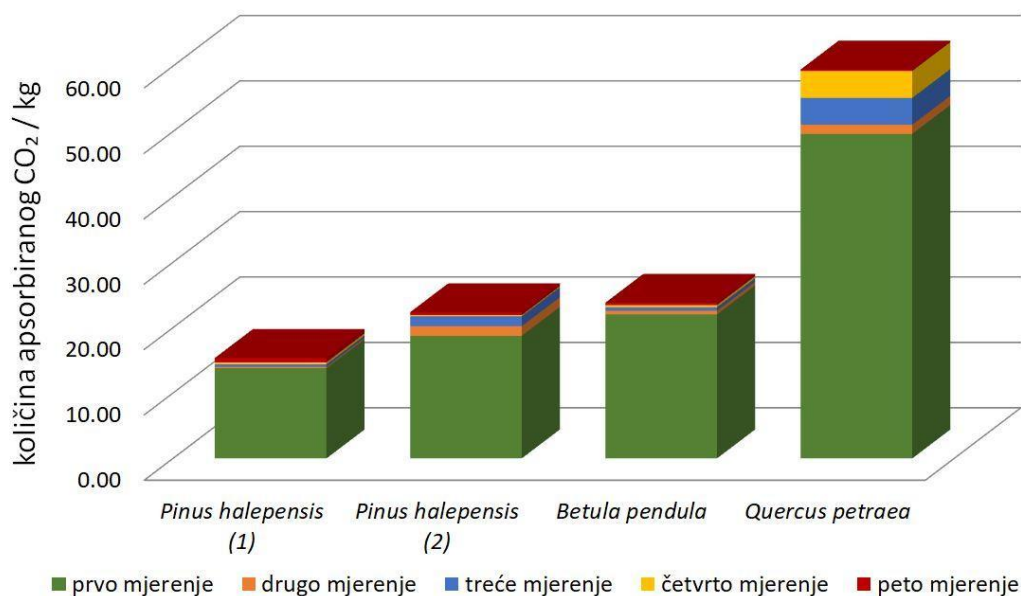
Biomasu i količinu pohranjenog ugljika određivali smo na temelju GLOBE protokola koji u izračunu uključuje samo podatke o visini i opsegu stabla. Da bi dobili preciznije podatke, u obzir bi trebalo uzeti i varijable veličine krošnje drveta i biomase korijena koja su sigurno veće za starija stabla. Ne postoji metoda koja bi u svom izračunu imala uvrštenu biomasu i krošnje i korijena pa podatci koje smo dobili u istraživanju

Naša mjerenja usporedili smo s mjerenjima ostalih škola u Hrvatskoj koje smo pronašli u GLOBE bazi. Iako bismo najbolje zaključke mogli dobiti uspoređivanjem podataka za istu vrstu stabla, za lipe nismo pronašli dovoljno podataka koji bi nam bili korisni pri uspoređivanju apsorbiranog CO₂ tijekom određenog vremenskog perioda. Podatci koje smo izdvojili odnose se na stabla breze (*Betula pendula*), alepskog bora (*Pinus halepensis*) i hrasta kitnjaka (*Quercus petraea*). Slika 10. prikazuje upisane biometrijske podatke u GLOBE bazi podataka u vrijeme kad smo pisali istraživački rad. Iako se čini da podataka ima puno, većina mjerenja je jednokratna te ne prati promjene visine i opsega stabala tijekom određenog vremenskog perioda. Iz tog razloga velik broj podataka nije bio prikladan za usporedbu s podacima našeg istraživanja.



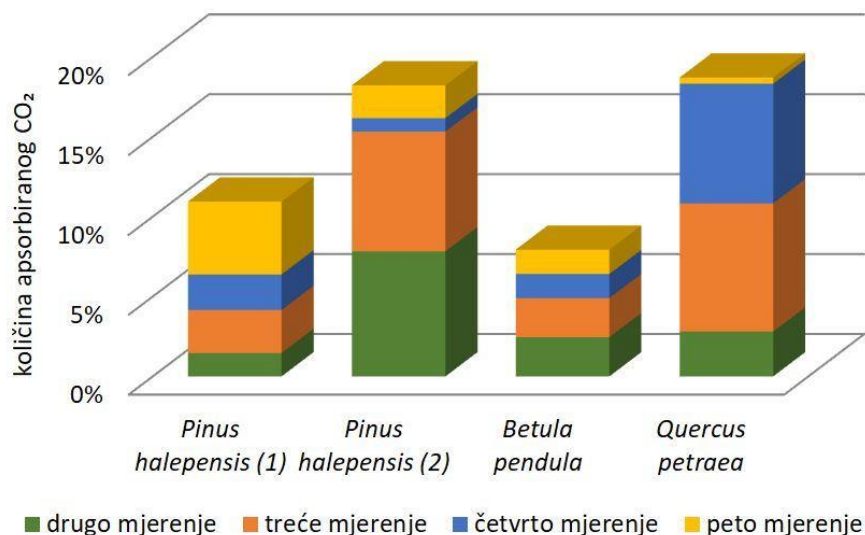
Slika 10. Prikaz postaja u GLOBE bazi podataka na kojima je mjerena visina i promjer stabla na nadmorskim visinama od 0 do 200 m.

Iz GLOBE baze izvukli smo podatke o visini i opsegu stabala četiri različite škole koje su više puta tijekom određenog vremenskog perioda provodile biometrijska mjerenja na istom stablu. Iz upisanih podataka o visini i opsegu stabala izračunali smo količinu apsorbiranog CO₂. Dobivene podatke prikazali smo grafički (slika 11.). Stabla su u grafu poredana prema porastu biomase. Zelena boja prikazuje prvotnu izračunatu količinu apsorbiranog CO₂. Svaki sljedeći dio grafa prikazuje prirast količine apsorbiranog CO₂ nakon šest mjeseci.



Slika 11. Prikaz prirasta količine apsorbiranog CO₂

Iz podataka o količini apsorbiranog CO₂ izračunali smo postotnu promjenu količine apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci za svako stablo i podatke prikazali grafički (slika 12.).



Slika 12. Prikaz postotnog povećanja količine apsorbiranog CO₂

Iz podataka koje smo dobili o stablima iz GLOBE baze podataka možemo primijetiti da su podatci vrlo raznoliki i iz njih je vrlo teško iščitati pravilnosti. Ako uspoređujemo stabla međusobno, ne postoji pravilnost između porasta biomase i količina apsorbiranog CO₂. Neusklađenost podataka možemo pripisati činjenici da su podatke mjerili i upisivali učenici iz različitih škola pa su se njima mogli dogoditi isti problemi s mjerenjem koje smo i mi imali (učenici različitih visina s neprecizno mjerenim koracima od stabla). Osim toga radi se o tri različite vrste biljaka kod kojih se rast međusobno razlikuje.

Prema već poznatim podacima, stablo koje ima veću biomasu, imat će manji postotni prirast biomase. Mlađe stablo imat će veći postotni prirast. Ista pravilnost vrijedi i za količinu apsorbiranog CO₂, što je u skladu i s rezultatima našeg istraživanja.

Iz podataka koje smo prikupili tijekom šest mjeseci za stara i mlada stabala lipe možemo pratiti prirast količine apsorbiranog CO₂.

Iz grafa podataka dobivenih iz GLOBE baze možemo iščitati da stabla alepskog bora ne prate navedene pravilnosti.

Nakon uspoređivanja stabala ostalih škola s našim lipama primijetili smo da se u podacima za stabla *Pinus halepensis* (1.) i *Betula pendula* može uočiti određena pravilnost koja je u skladu s našim zaključcima. Stablo vrste *Pinus halepensis* imalo je manju biomasu i veće postotne priraste biomase i količine apsorbiranog CO₂ u odnosu na stablo vrste *Betula pendula*, koje je imalo veću početnu biomasu, ali manje postotne priraste biomase i količine apsorbiranog CO₂.

Potaknuti razmišljanjem o procesu revitalizacije našeg Gradskog parka, željeli smo izračunati koliko mladih stabala lipa može zamijeniti jedno staro stablo u količini apsorbiranog CO₂ tijekom šest mjeseci. Najprije smo izračunali da jedna stara lipa teži isto koliko i trideset i tri mlade lipe.

$$N = \frac{\text{biomasa (stare lipe)}}{\text{biomasa (mlade lipe)}} = \frac{3376 \text{ kg}}{102,3 \text{ kg}} = 33$$

Prema dolje navedenom izračunu došli smo do podatka da je potrebno 7,5 mladih stabala lipe kako bi ona apsorbirala približnu količinu CO₂ u razdoblju od šest mjeseci kao i jedna stara lipa.

$$\overline{\text{aps CO}_2(\text{stare lipe})} = \overline{\text{aps CO}_2(6. \text{ mj})} - \overline{\text{aps CO}_2(12. \text{ mj})} = 190 \text{ kg}$$

$$\overline{aps\ CO_2(male\ lipe)} = \overline{aps\ CO_2(6.\ mj)} - \overline{aps\ CO_2(12.\ mj)} = 25,5\ kg$$

$$N = \frac{\overline{aps\ CO_2(stare\ lipe)}}{\overline{aps\ CO_2(mlade\ lipe)}} = \frac{190\ kg}{25,5\ kg} = 7,45$$

Kad bi kao primjer (na temelju naših izračuna) srušili jednu staru lipu, morali bismo posaditi 33 mlade lipe koje će imati jednaku ukupnu biomasu kao posječena lipa. Ako to usporedimo s količinom CO₂ kroz šest mjeseci, sve mlade lipe apsorbirat će puno veću količinu CO₂ od jedne stare lipe. Prema našem istraživanju, dovoljno je posaditi osam mladih lipa kako bismo nadoknadili šestomjesečnu količinu CO₂ koju će vezati jedno staro stablo lipe. Na temelju toga možemo izvesti zaključak da mlada stabla u kraćem vremenu apsorbiraju veću količinu CO₂ pa rastu brže od starih stabala.

Zaključci do kojih smo došli u istraživanju su sljedeći:

- Tijekom šest mjeseci došlo je do mjerljivog prirasta biomase kod starih i mladih lipa.
- Stara stabla, koja imaju veću biomasu, pohranjuju veću količinu CO₂ tijekom šest mjeseci od mladih stabala koja imaju manju biomasu.
- Tijekom šest mjeseci postotni prirast pohranjenog CO₂ je veći kod mladih lipa u usporedbi sa starim lipama.
- Ista ukupna biomasa starih i mladih stabala lipe ne apsorbira jednaku količinu CO₂ tijekom šest mjeseci. Određena biomasa mladih stabala apsorbirat će 7,5 puta više CO₂ od te iste biomase starih stabala.
- Revitalizacija parka uključuje pomlađivanje biljne populacije. Iako se revitalizacijom smanjuje ukupna biomasa, količina apsorbiranog CO₂ smanjuje se u znatno manjoj mjeri.

Hipoteze koje smo na početku istraživanja postavili u potpunosti smo potvrdili.

Literatura

[1] Petra Crnogaj, Ivano Emerik Farkaš, Luka Farkaš – Virovitički Mali Park – naša mala zelena oaza . Istraživački projekt GLOBE 2022. OŠ Ivane Brlić-Mažuranić, Virovitica

[2] Pevalek-Kozina B. 2003., Fiziologija bilja, Profil-Klett, Zagreb

[3] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63000> (pristupljeno 17.10.2022.)

[4] protokol za visinu stabala:
<https://www.globe.gov/documents/10157/36350278/biometrija.pdf/e8f7be51-c383-4d8e-b4a2-b077c72e8630> (pristupljeno 23. 10. 2021.)

[5] ispravak za prsni promjer:
<https://www.globe.gov/documents/10157/36350278/biometrija-ispravak.pdf/5802c814-c6d2-409a-86f9-f6935479b95b> (pristupljeno 23. 10. 2021.)

[6] upute za izračunavanje količine suhe mase drveta i pohranjenog ugljika:
<https://museum.wales/media/52595/measuring-carbon-in-trees.pdf> (pristupljeno 14. 9. 2022.)

[7] Petra Brčić, Katarina Dragun, Deni Antolić (2022): Količina ugljikovog dioksida koju stablo lovora može pohraniti. Istraživački projekt GLOBE 2022. Srednja škola Braća Radić, Kaštel Štafilić – Nehaj.