

МОДЕЛОВАЊЕ КЛИЈАВОСТИ СЕМЕНА ГОРСКОГ ЈАВОРА (*Acer pseudoplatanus* L.) ИЗ УРБАНЕ СРЕДИНЕ, ПОМОЋУ СТЕПЕНА УРБАНИЗАЦИЈЕ И ТЕЖИНЕ СЕМЕНА

САША КОСТИЋ¹
ЈЕЛЕНА ЧУКАНОВИЋ¹
МИРЈАНА ЉУБОЈЕВИЋ¹
ЉИЉАНА НИКОЛИЋ²

Извод: У овом раду анализирано је моделовање клијавости семена на основу тежине семена и степена урбанизације, помоћу различитих регресионих модела. Двогодишњи резултати истраживања на огледима спроведеним на 25 *half-sib* линија горског јавора и његовог црвенолисног култивара из урбаног окружења у полуконтролисаним условима, указују да је на основу параметара изграђеног простора могуће моделовати клијавост семена, помоћу нелинеарних регресионих модела. Нелинеарни регресиони модел *Cubic* препознат је као најоптималнији, а највиша прецизност модела констатована је код регресионог пара степен урбанизације и клијавост семена, због чега је он издвојен као најоптималнији, са средње јаким коефицијентом детерминације од 0,678. Просечна клијавост семена износила је 90.16%, енергија клијања преко 50%, код 6 од 25 матичних стабала није констатовано плодношеће у другој години истраживања.

Кључне речи: моделовања, клијавост, семе, горски јавор, *Acer pseudoplatanus*, урбано окружење, урбана шума

MODELING OF SEED GERMINATION OF SYCAMORE MAPLE (*Acer pseudoplatanus* L.) FROM THE URBAN ENVIRONMENT USING THE DEGREE OF URBANITY AND THE SEED WEIGHT AS PREDICTOR VARIABLES

Abstract: This paper tests the modeling of seed germination based on the seed weight and the degree of urbanity using different regression models. On the basis of two-year results which included 25 *half-sib* lines of sycamore maple and its red-leaf cultivar from the urban environment tested in semi-controlled environment, it can be concluded that it is possible to model seed germination by the parameters of built-up areas, using non-linear regression models from this study. The non-linear regression model (*Cubic*) was recognized as the most appropriate one and the regression relationship between the degree of urbanity and the seed germination can be recommended as the most reliable relationship with moderate correlation strength of adjusted coefficient of determination of 0.678. The average seed germination amounted to 90.16%, while the seed germination energy exceeded 50% and the fruiting wasn't noted in 6 out of 25 trees in the second year.

Keywords: modeling, germination, seed, sycamore maple, *Acer pseudoplatanus*, urban environment, urban forestry

- 1 Саша Костић, мајстер инж. њезажне архитектуре, докторанд; др Јелена Чукановић, доцент; др Мирјана Љубојевић, доцент, Универзитет у Новом Саду Пољопривредни факултет, Нови Сад, Дейарман за воћарство, виноградарство, хортикултуру и њезажну архитектуру
- 2 др Љиљана Николић, ред. проф., Универзитет у Новом Саду Пољопривредни факултет, Нови Сад, Дейарман за Рајарство и ивтарство

1. УВОД

Горски јавор (*Acer pseudoplatanus* L.) најраспрострањенија је врста из рода јавора у европским шумама (Hein, S. *et al.*, 2018; Поповић, В. *et al.*, 2017), а такође је честа врста у урбаним подручјима са умерено континенталном климом (Vukićević, E., 1987). Према многим ауторима (Hein, S. *et al.*, 2008; Šijačić Nikolić, M. *et al.*, 2011; Kostić, S. *et al.*, 2017/a), ова врста окарактерисана је као високо варијабилна. За разлику од природних састојина, где преовладавају различите форме са зеленом бојом листа, у урбаним срединама подједнако је заступљен и црвенолисни култивар горског јавора (*Acer pseudoplatanus* 'Atropurpureum' Späth.) односно група његових прелазних форми, примарно из естетских разлога (Vukićević, E., 1987; Kostić, S. *et al.*, 2017/a; Михајловић, М. *et al.*, 2018).

Услед деловања различитих врста и интензитета спољашњих фактора, дендрофлора урбаних подручја значајно се разликује од природне. Многе студије указују на то да урбана морфологија, која обухвата уличну геометрију, проценат попличаног простора, волумене изграђених структура, односе висине и ширине уличног профила и друго, значајно утиче на фенотипске карактеристике стабала (Peper, P. *et al.*, 2014; Troxel, V. *et al.*, 2013). Промене урбане морфологије рефлектују се на микроклиматске услове станишта, загађење ваздуха (Tan, P.H. *et al.*, 2013), земљишта (Marcotullio, P.J. *et al.*, 2008), отежавање усвајања воде и нарушавања земљишта, стварање топлотних острва и потпуну промену микроклиме (Arnfield, A.J., 2003) што значајно утиче на карактеристике дрвећа (Peper, P. *et al.*, 2014, Кнежевић, М. *et al.*, 2018), а посебно на врсте које су високо осетљиве на утицај околине, попут горског јавора (Ferris, R., 1991). С обзиром на то да су климатске промене значајно интензивирани у 21. веку (Nonić, D. *et al.*, 2017) и да оне најинтензивније погађају високо урбанизована подручја (Emilsson, T. *et al.*, 2017), неопходно је константно вршити одабир и селекцију сортимената дендрофлоре који ће се моћи прилагодити новонасталим микроклиматским условима (Крстић, М., Кеџман, М., 2013; Вукин, М., 2017). Према Yang, J. (2009), горски јавор је препознат као потенцијална врста за примену у будућности, због чега је маркиран као значајна врста за примену у високо урбанизованим подручјима.

Горски јавор има рекалцитрантно двоструко дормантно семе без ендосперма, због чега га је неопходно страгификовати методом хладне и влажне страгификације (Исајев, В.Б., Манчић А.Ј., 2001; Grbić, M., 2003). Истраживање Carón, M.M. *et al.* (2015) указује да је температура и учесталост заливања, као и локалитет узорковања у дирекној вези са процентом клијавости горског јавора. Аутори Šijačić-Nikolić, M. *et al.* (2011), у свом истраживању *half-sib* потомства горског јавора из секундарних популација Београда констатовали су да популација има висок генетски потенцијал и пластичност према еколошким параметрима. Наведено је у сагласности са резултатима Kostić, S. *et al.* (2017/a) које су тестирали генотипске карактеристике плодова горског јавора из секундарне популације Но-

вог Сада, где је констатована висока унутар-популациона варијабилност и врста окарактерисана као погодна за даља истраживања.

Карактеризација матичних стабала је први корак у селекционерском раду (Тусовић, А., 1973). Испитивање потенцијала матичних биљака према виталности семена, односно клијавости, често представља саставни део селекционерског рада и важан фактор у даљој селекцији. С обзиром на то да је степен урбанизације изузетно значајан фактор током селекције високо вредних стабала из урбаних подручја, од изузетног је значаја познавање карактера међузависности степена урбанизације и клијавости.

Моделовање клијавости је била тема многих студија, у оквиру којих су тестирани различити дводимензионални и тродимензионални модели засновани на линеарном или многим нелинеарним предикционим моделима, као и великим бројем комбинација са углавном абиотичким факторима, са акцентом на температуру и влажност ваздуха (Alvarado, V., Bradford, K.J., 2002; Hardegree, S.P., Winstal, A.H., 2006), као и на биохемијским и физиолошким процесима (Ni, B.J., Bradford, K.J., 1992; Conrad, M., 1992). Међутим, иако су детаљно разрађени, резултати из наведених студија имају примену само на природним популацијама, јер због различитог одговора биљке на услове станишта, употреба предикционих модела на урбаној популацији није довољно прецизна.

Циљ овог рада је било испитивање клијавости и динамике клијања 25 линија полусродника (*half-sib* линија) горског јавора (*A. pseudoplatanus*) и црвенолисног култивара горског јавора (*A. pseudoplatanus 'Aropurpureum'*) из урбаних подручја Новог Сада. У циљу проучавања односа између урбане средине и способности стабала да произведу витално семе, урађено је истраживање међузависности између степена урбанизације, клијавости семена и тежине семена, помоћу линеарног и три нелинеарна регресиона модела.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Предмет истраживања у овом раду је клијавост и динамика клијања семена горског јавора (*A. pseudoplatanus*) и његовог црвенолисног култивара (*A. pseudoplatanus 'Aropurpureum'*) у полуконтролисаним условима, као и проучавање утицаја степена урбанизације и тежине семена на клијање. Узорак обухвата 25 *half-sib* линија, од којих је сејано 300 семена од сваке, распоређених у три блока, током две узастопне године (2017. и 2018. године). Стабла су селектована из секундарних популација града Новог Сада (Република Србија), равномерно распоређена на простору улица у две месне заједнице (МЗ Нови Сад и МЗ Петроварадин).

Стабла са ознаком П1-П4 се налазе у Катастарској општини (КО) Подбара (Улица Стевана Милованова); стабла П5-П8 се налазе у МЗ Петроварадин (Рељковићева улица); стабла Б1-Б4 се налазе у КО Банатић (улица Омладинских покрета), стабла Б5-Б8 се налазе на КО Роткварија (стабло Б5-Булевар Ослобођења, Б6-Б8 Улица Берислава Берића) (стабла Б1-Б8 су просторно блиска и због чега су представљена као један локалитет), стабла НН1-НН9 се налазе на КО Ново насеље (НН1-НН4 су из улице Браће Дроњак, а ста-

бла НН5-НН9 из улице Бате Бркића). Стабла са ознакама П3, П4, П7, Б3, Б8, НН1, НН6 и НН8 детерминисана су као типски облик, док су преостала стабла означена као црвенолисни култивар горског јавора.

Семе је сакупљано у јесен предходне године (2016. и 2017. године за сетву 2017. и 2018. године), затим је стратификовано у песку, методом хладне и влажне стратификације у трајању од четири месеца, у хладњачи на температури од 1 до 5°C, према ауторима Исајев, В.Б., Манчић, А.Ј. (2001). Након вађења из стратификата семе је сејано у контејнере за расад, који су распоређени према случајном блок систему у три блока (3×100). Коришћен супстрат за сетву у обе године је фино гранулисан, минерално контролисан и рН неутралан супстрат, под комерцијалним називом „Supstrat 1“ (произвођач: Klasmann). Оглед је спроведен у полуконтролисаним условима у пластенику, заливан према потреби и није додатно прихрањиван, а након сетве је третиран (заливен) фунгицидом са активном материјом *propramocarb fosetilat*, под комерцијалним називом Previcur (произвођач: Bayer). Осматрања процента клијавости су вршена 7, 14, 21. и 28. дана. У раду је вредност исклијалих семена 7. дана означена као енергија клијања, а 28. дана као максималан број исклијалог семена.

Степен урбанизације је израчунат према методологији Brans, K.I. *et al.* (2017), а представља однос изграђене према неизграђеној површини унутар уличног профила. Према горе наведеној методологији, степен урбанизације на локалитетима варира од 43% до 67%, односно на тестираним улицама износи: 62% (улица Стевана Милованова КО Подбара; МЗ Нови Сад), 43% (улица Рељковићева; МЗ Петроварадин), 48% (улица Омладинских покрета, КО Банатић; МЗ Нови Сад), 58% (Булевар ослобођења; КО Роткварија; МЗ Нови Сад), 67% (улица Берислава Берића; КО Роткварија; МЗ Нови Сад), 43% (улица Браће Дроњак; КО Ново насеље; МЗ Нови Сад) и 47% (улица Бате Бркића; КО Ново насеље; МЗ Нови Сад). Тежина семена је мерена након брања. Мерење тежине семена је вршено помоћу три ваздушно сува узорка од по 50 семена за свако стабло, посебно за 2017. и 2018. годину, на основу кога је израчуната просечна вредност и изведена просечна маса једног семена за обе године, која је коришћена у даљој интерпретацији резултата (табела 1).

Клима анализираниг подручја је умерено континентална, са сушним и топлим летима (Kottek, M. *et al.*, 2006). На основу десетогодишњих метеоролошких осматрања, просечна температура износи 11,2°C са рангом просечних месечних вредности од 22,1°C и укупном количином падавина од 603,1 mm (РХМЗ). Просечна надморска висина се креће у распону од 76,5 до 83 м.н.в. Земљиште се може окарактерисати као урбисол, које је компактно, загађено, са нарушеном структуром услед антропогених активности (McCammon, T.A. *et al.*, 2009).

Статистичка обрада података урађена је помоћу програмских пакета Statistica 12. (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA), 2013 и SPSS Statistics 23. (IBM, Statgraphics Centurion XVI.I), 2015. Подаци су тумачени према Hadživuković, S. (1989). Коришћене су дескриптивне (средња вредност, стандардна девијација, варијанса, ранг) и инференцијалне статистичке

технике (анализа варијансе и регресиона анализа), за ниво значајности (p) $<0,05$ и $p <0,001$. Регресиона анализа је тумачена помоћу резултата анализе варијансе, Фишеровог теста (Ф теста), коефицијената регресионог модела, стандардизованог коефицијента детерминације (r^2) и стандардизованих резидуала линеарног регресионог модела.

Табела 1. Просечне вредности тежине једног семена за обе године изражене у грамима, а груписане по генотипу

Table 1 Average values of weight of one seed, for both tested year, expressed in gram, with genotype as grouping variable

Стабло Tree	Просечна тежина 1. семена Average weight of one seed	Стабло Tree	Просечна тежина 1. семена Average weight of one seed
П1	0,15	Б8	0,14
П3	0,13	НН1	0,11
П4	0,14	НН2	0,17
П5	0,13	НН3	0,16
П6	0,16	НН5	0,17
П7	0,33	НН6	0,16
П8	0,11	НН7	0,18
Б2	0,13	НН8	0,13
Б3	0,12	НН9	0,25
Б5	0,15	/	/

У циљу проучавања зависности параметара клијавости семена, коришћени су различити модели регресионе анализе, и то линеарни регресиони модел, према методи најмањих квадрата (*OLS*) конструисана према једначини 1 и три модела нелинеарне регресионе анализе, и то: 1.) Квадратни регресиони модел – *Quadratic* (једначина 2); 2) Кубични регресиони модел – *Cubic* (једначина 3) и 3) Модел једноставне потенцијске регресије – *Power* (једначина 4), а тумачени су помоћу Ф теста, p , r^2 и коефицијената регресионог модела. Регресиони модели, поред приказа дијаграма растирања са регресионим кривама, приказани су и стандардизовани резидуали за линеарни регресиони модел, са циљем сагледавања карактера међузависности тестираних варијабли.

$$y = a + b \times x \quad (1)$$

$$y = a + b \times x + c \times x^2 \quad (2)$$

$$y = a + b \times x + c \times x^2 + d \times x^3 \quad (3)$$

$$y = a \times x^b \quad (4)$$

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Резултати дескриптивне статистике, укупног броја исклијалог семена 28. дана након сетве, груписани према таксономији и годинама, као и за сваки генотип посебно за обе године, су приказани у табели 2 и графикону 1. Резултати указују да је просечна клијавост за 2017. и 2018. годину изузетно висока (90,16%), што је у сагласности са подацима Исајев В.В., Манчић А.Ј. (2001) док су ранији резултати за клијавост, били нижи и кретали су се 50-60% (Стилиновић, С., 1985). Истраживања клијавости горског јавора у пољским и лабораторијским условима била су предмет бројних истраживања (Pinfield, N.J. *et al.*, 1989, Stejskalova, J. *et al.*, 2014; Kostić, S. *et al.*, 2017/b). У наведеним истраживањима клијавост варира у распону 45-50% (Pinfield, N.J. *et al.*, 1989) до 97% (Stejskalova, J. *et al.*, 2014).

Груписано према таксонима у 2017. години виша клијавост 28. дана је забележена код црвенолисног култивара, док је наредне 2018. године виша клијавост забележена код типског облика, док се на основу збирног резултат за обе године може констатовати виша вредност клијавости код типског облика (табела 2). Забележена одступања груписана према генотипу и годинама нису статистички значајна, а добијени резултати су у складу са истраживањем Kostić, S. *et al.* (2017b) који су испитивали клијавост горског јавора и његовог култивара из секундарних популација у лабораторијским условима.

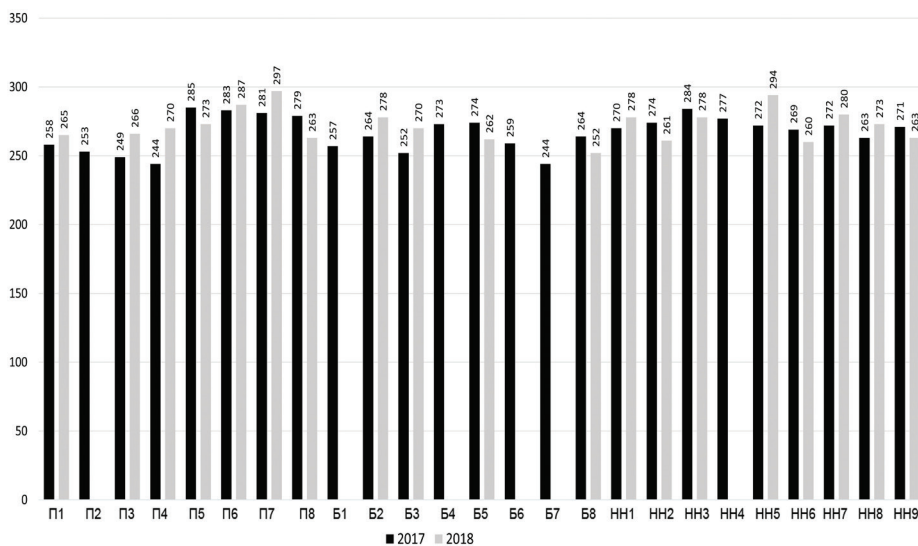
На графикону 1 представљен је укупан број исклијалог семена након 28. дана, посебно за свако анализирано стабло током 2017. и 2018. године. Код 6 од 25 селектованих стабала током друге године (2018.) није установљено присуство плода. Код преосталих 19 матичних стабала виша клијавост током 2018. године је уочена код 11 стабала (П1; П3; П4; П6; П7, Б2; Б3; НН1; НН5; НН7; НН8 и НН9).

Табела 2. Процент клијавости семена, након 28. дана, груписано према годинама и таксонима

Table 2 Percentage of seed germination after 28th day, with year and taxon as grouping variable

Таксон Taxon	Година 2017. Year 2017		Година 2018. Year 2018		Просек Average	
	Ср. вредност Mean value	Стд. дев. Stand. dev.	Ср. вредност Mean value	Таксон Taxon	Ср. вредност Mean value	Стд. дев. Stand. dev.
AP*	88,86	5,00	91,86	3,81	90,36	3,89
APA*	90,01	3,26	90,03	4,03	90,04	2,94
Просек Average	89,61	3,94	90,70	3,95	90,16	3,22

*Легенда / Legend: AP - *Acer pseudoplatanus*; APA - *Acer pseudoplatanus* 'Atropurpureum'

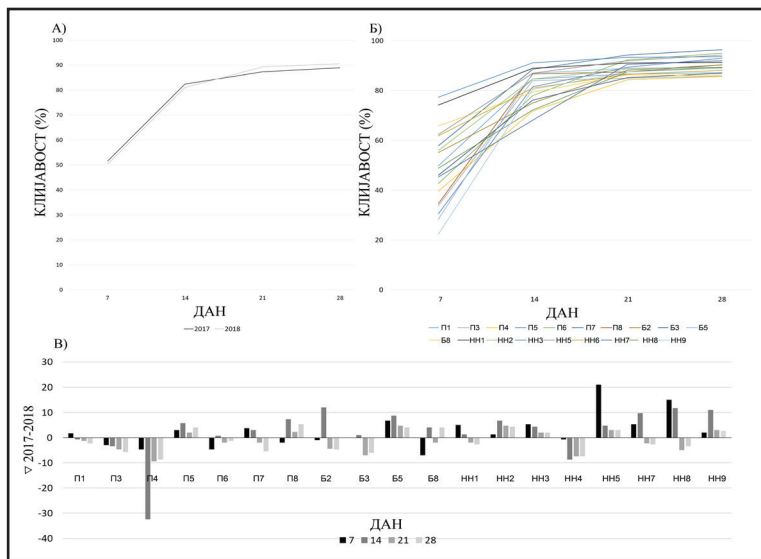


Графикон 1. Укупан број исклијалог семена 28. дана, груписано по генотипу, посебно за 2017. (црно) и 2018. (сиво) годину

Figure 1 The total number of germinated seeds on day 28th, grouped by the genotype, separately for 2017 (black) and 2018 (grey)

Динамика клијања је представљена на графикону 2-А) и 2-Б). На графикону 2-А) може се уочити да током обе године није дошло до значајне разлике у динамици клијања семена. Током 2018. године енергија клијања (осматрање након 7. дана) је незнатно нижа, док на крају осматрања (28. дана) у просеку има више исклијалог семена у поређењу са 2017. годином. На графикону 2-Б) је приказана просечна вредност динамике клијања након 7, 14, 21. и 28. дана од сетве за обе године за свако стабло посебно. На основу резулта може се закључити да је параметар енергије клијања варијабилнији у односу на проценат исклијалих семенки 28. дана након сетве. Енергија клијања се креће у распону 20-80%, док се проценат исклијалог семена након 28. дана креће у распону 80-100% (графикон 2-Б)).

На графикону 2-В). представљен је ранг вредности клијавости семена између 2017. и 2018. године. Значајнија одступања, која се могу окарактерисати као екстремне вредности могу се констатовати код стабала са ознаком П4, НН6, НН7, НН8 и НН9. Резултати на графикону 2-В) указују да просторно блиска стабла из истог микроклимата имају исту тенденцију промене клијавости током година, односно може се уочити да стабла из КО Подбара (стабла П1-П5) имају нижу клијавост 2017. године, а стабла из КО Ново насеље (НН1-НН9) вишу клијавост, док код преостале две просторне целине није уочена оваква закономерност. Наведене промене могу бити последица специфичних фактора урбане средине, попут урбане морфологије и уличне геометрије, али детаљнија тумачења излазе из оквира дизајна овог експеримента.

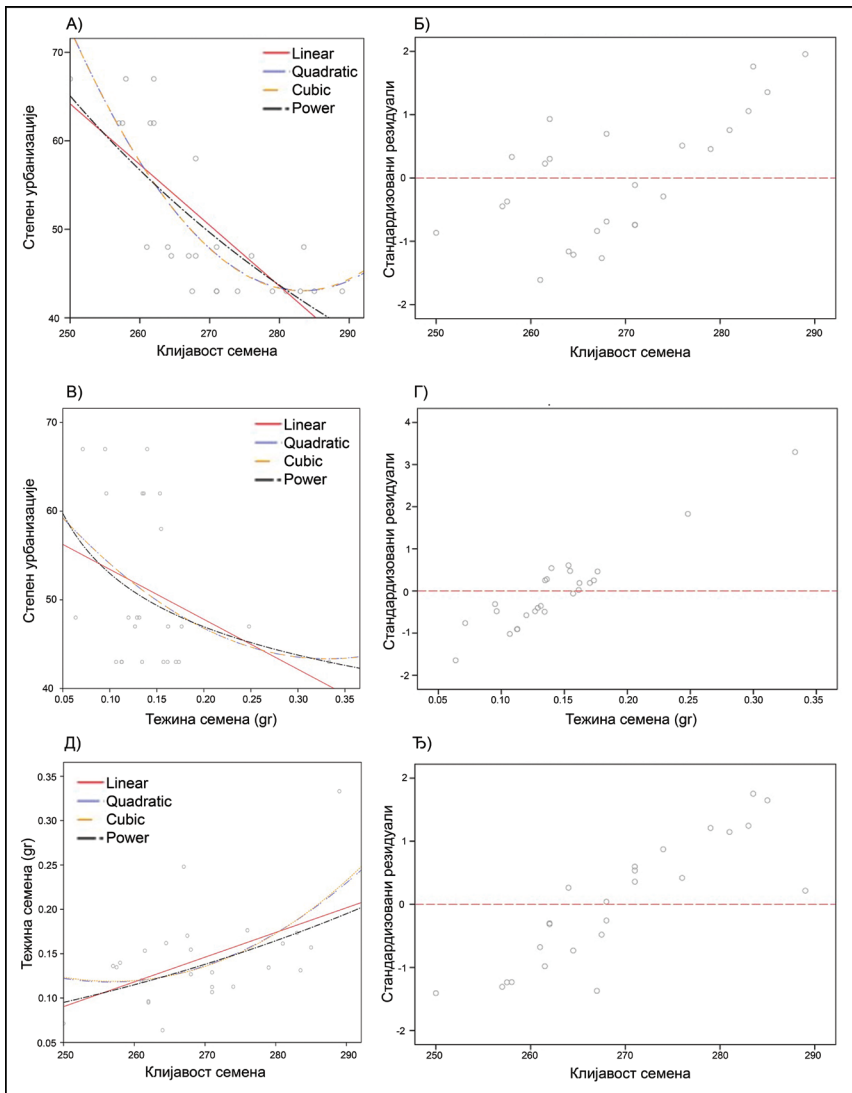


Графикон 2 А). Динамика клијања након 7, 14, 21. и 28. дана за 2017. и 2018. годину; **Б)** Динамика клијања након 7, 14, 21. и 28. дана груписано према генотипу, конструисано на основу просека за 2017. и 2018. годину и **В)** Разлика динамике клијања 2017. и 2018. године.
Figure 2 А) Seed germination dynamics after 7, 14, 21 and 28 days separately for 2017 and 2018
Б) Seed germination dynamics after 7, 14, 21 and 28 days grouped by the genotype, constructed according to the mean values for 2017 and 2018 and **В)** Differences in the dynamics of seed germination between 2017 and 2018.

Табела 3. Резултати различитих регресионих модела за три тестирана односа **1)** Клијавост семена/степен урбанизације; **2)** Тежина семена/степен урбанизације и **3)** Клијавост семена/тежина семена.
Table 3 Results of regression models tested on three regression relationships **1)** Seed germination/Degree of urbanity; **2)** Seed weight/Degree of urbanity and **3)** Seed germination/Seed weight.

Регресиони однос Regression relationship		Регресиони модел Regression model				Коефицијенти регресионог модела Regression coefficient			
<i>x</i>	<i>y</i>	Модел Model	<i>r</i> ²	Ф тест	<i>p</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Клијавост семена Seed germination	Степен урбанизације Degree of urbanization	Linear	0,577	31,34	0,00**	235,75	-0,69	/	/
		Quadratic	0,677	23,04	0,00**	2170,83	-15,01	0,03	/
		Cubic	0,678	23,15	0,00**	1538,82	-7,92	0,00	3,294E-5
		Power	0,595	33,75	0,00**	17766074895,84	-3,52	/	/
Тежина семена Seed weight	Степен урбанизације Degree of urbanization	Linear	0,115	2,98	0,01**	59,07	-56,34	/	/
		Quadratic	0,128	1,62	0,22 ^{NS}	65,40	-133,33	201,58	/
		Cubic	0,128	1,03	0,40 ^{NS}	65,46	-134,54	208,93	-12,90
		Power	0,125	3,27	0,08 ^{NS}	35,51	-0,17	/	/
Клијавост семена Seed germination	Тежина семена Seed weight	Linear	0,263	8,20	0,01**	-0,61	0,003	/	/
		Quadratic	0,302	4,75	0,02*	6,66	-0,05	9,939 E-5	/
		Cubic	0,306	4,86	0,02*	2,24	0,00	-9,624 E-5	2,496 E-7
		Power	0,273	8,63	0,01**	2,338 E-13	4,84	/	/

Легенда/Legend: * -Вредност је високо статистички значајна ($p < 0,01$) / A value with a high statistical significance ($p < 0,01$); **Вредност је статистички значајна ($p < 0,05$) / The value is statistically significant ($p < 0,05$); ^{NS}- Вредност није статистички значајна ($p < 0,05$) / The value isn't statistically significant ($p < 0,05$)



Графикон 3. Графички приказ регресионе анализе четири тестирана модела (једначине 1-4) за три тестирана регресиона пара **А)** Степен урбанизације/клијавост семена; **Б)** Степен урбанизације/тежина семена и **Г)** Тежина семена/клијавост семена и стандардизованих резидуала линеарног регресионог модела (једначина 1) за **Б)** Степен урбанизације/клијавост семена; **Ф)** Степен урбанизације/тежина семена и **Љ)** Тежина семена/клијавост семена

Figure 3 Graphical presentation of the regression analysis of the four tested models (equations 1 – 4) for the three tested regression pairs **A)** Degree of urbanization/Seed germination; **B)** Degree of urbanization/Seed weight and **Г)** Seed weight/Seed germination and standardized residuals of the linear regression model (equation 1) for **Б)** Degree of urbanization/Seed germination; **Ф)** Degree of urbanization/Seed weight and **Љ)** Seed weight/Seed germination

Резултати засновани на конструкцији четири регресиона модела између тестираних варијабли (клијавост семена, степен урбанизације и тежина семена) указују да постоји разлика између тестираних регресионих модела и између тестираних парова (клијавост семена/степен урбанизације; тежина семена/степен урбанизације и клијавост семена/тежина семена). На основу резултата коригованог коефицијента детерминације (r^2), код сва три тестирана регресиона пара, установљено је да је линеарни регресиони модел најнеповољнији. Од преостала три тестирана нелинеарна регресиона модела, модел *Cubic* је препознат као најповољнији, а након њега *Quadratic* регресиони модел, који има незначајно ниже вредности r^2 , док трећи тестирани нелинеарни регресиони модел *Power*, који има значајно ниже вредности r^2 од претходна два, а више од линеарног регресионог модела. На основу расподеле стандардизованих резидуала линеарног регресионог модела може се сагледати карактер одступања података. Код сва три дијаграма растурања стандардизованих резидуала (графикон 3-Б, -Ф, -Ђ) може се констатовати да одступања од линеарног регресионог модела нису уједначена, тачније да је већа девијација података констатована код крајњих вредности, са јасно израженим трендом раста од нижих ка вишим вредностима (лево ка десно), што је у сагласности са нашим резултатима, да су нелинеарни регресиони модели подобнији за овај тип моделовања. Такође, већина новијих студија у својим предикционим моделима користе различите нелинеарне моделе са честим трансформацијама података (Alvarado, V., Bradford, K.J., 2002; Hardegree, S.P., Winstral, A.H., 2006) и добијају знатно прецизније моделе, него студије у којима је кориштен линеарни тип регресионог модела (Ni, B.J., Bradford, K.J., 1992).

Кориговани коефицијент детерминације (r^2) код односа клијавост семена/степен урбанизације варира од 0,101, од 0,577 (*Linear*) до 0,678 (*Cubic*), затим ранг регресионог пара тежина семена/степен урбанизације износи 0,013 и креће се у распону од 0,115 (*Linear*) до 0,128 (*Cubic* и *Quadratic*) и регресиони пар клијавост семена/тежина семена варира у рангу од 0,043 и то од 0,263 (*Linear*) до 0,306 (*Cubic*). Највише варирање између примене различитих регресионих модела се може констатовати код регресионог пара клијавост семена/степен урбанизације, код кога је констатована највиша вредност r^2 , односно препознат је као најпоузданији регресиони пар између три тестиране варијабле (тежина семена, клијавост семена и степен урбанизације).

Резултати Ф теста и p регресионих модела указују да су два од три тестирана односа статистички значајна ($p < 0,01$ и $p < 0,05$) и то односи клијавост семена/степен урбанизације и клијавост семена/тежина семена. Код трећег односа (тежина семена/степен урбанизације), три од четири тестирана регресиона модела нису показала статистичку значајност ($p < 0,05$), због чега се овај регресиони однос не може окарактерисати као поуздан за даљу примену. Изражен утицај степена урбанизације на клијавост семена, односно слаб утицај на тежину семена, се код горског јавора може објаснити типом семена, односно његовом физиологијом. Семе горског јавора је рекалцираног типа (Исајев. В.В., Манчић. А.Ј., 2001), што значи да након дехидратације губи способност клијања. С обзиром на то да се са повећањем

степен урбанизације појављује и нагло интензивира ефекат топлотних острва у граду (Gillner, S. *et al.*, 2015), то проузрокује екстремно високе температуре, које изазивају дехидратацију семена и губитак клијавости. Са друге стране, семе горског јавора је фазу интензивног раста плода завршило почетком лета (Buniševac, T., 1962), када је било у оптималним условима раста и негативни ефекти урбане средине нису утицали на његов оптимални пораст, а тиме и на тежину.

Коефицијент b дефинише карактер међузависности, односно дефинише правац и нагиб регресионог модела. На основу добијених резултата можемо констатовати да степен урбанизације негативно утиче на клијавост семена и знатно ниже на тежину семена, док тежина семена позитивно утиче на клијавост. Добијени трендови у овом раду, да тежина семена позитивно утиче на клијавост семена су у сагласности са многим судијама које су констатовале исти тренд и то код горског јавора (*Acer pseudoplatanus*) (Kostić, S. *et al.*, 2017/b), *Quercus semiserrata* Roxb. (Khanand, M.L., Shankar, U., 2001), оскоруше (*Sorbus domestica* L.) (Drvodelić, D. *et al.*, 2018) и многих других, а резултати указују да постоји позитивна корелација између тежине семена и квалитета сејанаца (Поповић, В. *et al.*, 2018). Резултати Kostić, S. *et al.* (2017/b), који су проучавали клијавост семена горског јавора у лабораторијским условима, указали су да стабла са улица имају знатно нижу клијавост наспрам стабала из парка, што је у сагласности са резултатима овог рада.

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу резултата истраживања 25 *half-sib* линија горског јавора и његовог црвенолисног култивара из урбаног окружења на подручју Новог Сада може се констатовати да је клијавост семена тестираних стабала са простора градских улица изузетно висока (90,16%). На основу двогодишњих резултата може се констатовати да одступања на годишњем нивоу нису значајна, са појавом исте тенденције код просторно блиских стабала. Динамика клијања је најинтензивнија током прве недеље након сетве, а затим се постепено смањује, односно најслабија је између 21. и 28. дана. Добијени резултати указују на утицај урбане средине (изражено кроз параметар степен урбанизације) на клијавост семена горског јавора. Резултати међузависности тестираних фактора, њихове клијавости, тежине семена и степена урбанизације, указују да је однос клијавост семена/степен урбанизације најпоузданији, затим је тестирани однос клијавост семана/тежина семена знатно слабији, док однос тежина семена/степен урбанизације није поуздан. На основу изнесеног може се закључити да изграђени простор утиче на клијавост, али не утиче на тежину семена горског јавора.

Резултати у овој студији указују да је могуће на основу параметара изграђеног простора моделовати клијавост семена горског јавора. Међутим, како би се избегле грубе грешке моделовања и оно било што је могуће прецизније, потребно је спровести детаљнија истраживања међузависности других параметара и клијавости семена. Она могу обухватати велики број

мерљивих параметара, попут уличне геометрије (оријентације улице, висине, ширине и односа висине и ширине уличног профила, поплочане површине, волумена изграђених структура, намене простора и др.), микроклиматских услова (температуре, влажности ваздуха и радијације) као и других специфичних фактора као што су тип земљишта, фреквентност и типови саобраћаја, загађеност земљишта и ваздуха као и многих других параметара који могу утицати на перформансе дрвеће. Познавање интеракција са наведеним параметрима би допринело конструисању предикционог модела са високим степеном тачности.

Примена моделовања може да скрати време и оствари финансијске уштеде током селекционерског рада. Резултати истраживања могу бити од значаја за селекцију стабала јавора из урбаних средина. С обзиром на то да током мапирања и селекције полазног материјала, стабла расту на локалитетима са различитим степеном урбанизације, њихово сирово поређење клијавости у тестовима потомства неће пружити прецизан одговор да ли матично стабло провизводи семе високе клијавости, већ је потребно узети у обзир и урбане услове у коме је стабло расло и тек након тога закључити да ли стабло има вишу или нижу клијавосту у односу на урбано окружење у коме је расло и тестирану популацију, а то је могуће спровести методолошком описаном у овој студији. Тумачено кроз кориштене регресионе моделе, потенцијално вредна стабла (стабла са високим процентом клијавости наспрам степена урбанизације) најлакше се могу сагледати кроз приказ резидуала регресионог модела.

ЛИТЕРАТУРА

- Alvarado, V., Bradford, K.J. (2002): A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ* 25, 1061-1069.
- Arnfield, A.J. (2003): Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int J Climatol* 23 (1), 1-26.
- Brans, K.I., Jansen, M., Vanoverbeke, J., Tüzün, N., Stoks, R., De Meester, L. (2017): The heat is on: Genetic adaptation to urbanization mediated by thermal tolerance and body size. *Global Change Biol* 23, 5218-5227.
- Bunuševac, T. (1962): Rezultati istraživanja fenoloških i drugih pojava na dendroflori zelenih površina Novog Beograda u 1960. godini. Knjiga II, Glasnik Muzeja šumarstva i lova, Beograd.
- Caróna, M.M., Frennea, P.De, Chabrierieb, O., Cousinsc, S.A.O., Backerd, L.De, Decocqb, G., Diekmanne, M., Heinkenf, T., Kolbe, A., Naafg, T., Pluec, J., Selvih, F., Strimbecki, G.R., Wulfg, M., Verheyena, K. (2015): Impacts of warming and changes in precipitation frequency on theregeneration of two *Acer* species. *Flora* 214, 24-33.
- Conrad, M. (1992): The seed germination model of enzyme catalysis. *Biosystems* 27 (4), 223-233.
- Drvodelić, D., Oršanić, M., Vuković, M., Jatoi, M.A., Jemrić, T.(2018): Correlation of Fruit Size with Morphophysiological Properties and Germination Rate of the Seeds of Service Tree (*Sorbus domestica* L.). *SEEFOR* 9 (1): 47-54.
- Emilsson, T., Ode Sang, Å. (2017): Impacts of Climate Change on Urban Areas and Na-

- ture-Based Solutions for Adaptation. In: Kabisch N., Korn H., Stadler J., Bonn A. (eds) Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions. Springer, Cham.
- Ferris, R. (1991): A study of stomatal patterns in *Plantago lanceolata* L. *Acer pseudoplatanus* L. *Sesleria caerulea* L. in relation to environmental parameters. Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses online: <http://etheses.dur.ac.uk/6176/>
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., Rolloff, A. (2015): Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Lands Urban Plann* 143, 33-42.
- Grbić, M. (2003): Seed dormancy and germination: Mechanisms, classifications and practices. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 87, 25-49.
- Hadživuković, S. (1989): Statistika, Privredni pregled, Beograd. (In Serbian)
- Hardegree, S.P., Winstral, A.H. (2006): Predicting germination response to temperature. II. Three-dimensional regression, statistical gridding and iterative-probit optimization using measured and interpolated-subpopulation data. *Ann of Bot* 98, 403-410.
- Hein, S., Collet, Ц., Ammer, Ch., Le Goff, N., Skovsgaard, J.P., Savill, P. (2009): A review of growth and stand dynamics of *Acer pseudoplatanus* L. in Europe: implications for silviculture. *Forestry: Int J For Res* 82 (4), 361-385.
- Исајев, В.Б., Манчић А.Ј. (2001): Шумско семенарство. Шумарски факултет, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Универзитет у Бања Луци, Бања Лука, Београд. (In Serbian)
- Khan, M.L., Shankar, U. (2001): Effect of seed weight, light regime and substratum microsite on germination and seedling growth of *Quercus semiserrata* Roxb. *Tropical Ecol* 42 (1), 117-125.
- Кнежевић, М., Кошанин, О., Перовић, М., Љубичић, Ј. (2018): Еколошко-флористичке карактеристике парк-шуме у оквиру споменика природе „Топчидерски парк“. Шумарство 1-2. УШИТС, Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. Београд. Стр. 129-142.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006): World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15, 259-263.
- Kostić, S., Čukanović, J., Ljubojević, M., Mladenović, E., Mrđan, C., Svilokos, N. (2017a): Morphometric characteristics of Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) fruits in Novi Sad urban populations. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 116, 69-98.
- Kostić, S., Čukanović, J., Ljubojević, M., Mladenović, E., Mrđan, S., Svilokos, N. (2017b): Germination and relations between seed quality characteristics for *Acer pseudoplatanus* and *Acer pseudoplatanus* '*Atropurpureum*'. *Contemporary Agriculture* 66 (1-2), 51-55.
- Крстић, М., Кеџман, М. (2013): Састојинско стање и узгојне потребе у култури кедре у зпд „Бањичка шума“ у Београду. Шумарство 1-2. УШИТС, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд. Стр. 9-19. Београд.
- Marcotullio, P.J., Braimoh, A.K., Onishi, T. (2008): The Impact of Urbanization on Soils. In: Braimoh A.K., Vlek P.L.G. (eds) *Land Use and Soil Resources*. Springer, Dordrecht.
- McCammon, T.A., Marquart-Pyatt, S.T., Copp, K.L. (2009): Water-conserving landscapes: An evaluation of homeowner preference. *J Extension* 47, 1-10.
- Михаиловић, М., Оцокољић, М., Ставретић, Н. (2018): Дендрофлора Ибарског кеја у Краљево. Шумарство 1-2. УШИТС, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд. Београд. Стр. 223-238. Београд.
- Ni, B.R., Bradford, K.J. (1992): Quantitative Models Characterizing Seed Germination Responses to Abscisic Acid and Osmoticum. *Plant physiol* 98, 1057-1068.

- Nonić, D., Stanišić, M., Nedeljković, J., Ranković, N. (2017): Cooperation in the climate change mitigation in forestry and nature protection at different levels of governance. *Bulletin of the Faculty of Forestry* (116), 99-140.
- Stilinović, S. (1985): *Semenarstvo šumskog i ukrasnog drveća i žbunja*. Univerzitet u Beogradu, Beograd. (In Serbian)
- Pinfield, N.J., Stutchbury, P.A., Bazaid, S.A., Gwarazimba, V.еe. (1989): Abscisic acid and the regulation of embryo dormancy in the genus *Acer*. *Tree Physiol* 6, 79-85.
- Поповић, В., Ракоњац, Љ., Лучић, А. (2017): Показатељи квалитета двогодишњих садница горског јавора (*Acer pseudoplatanus* L.). Шумарство 1-2. УШИТС, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд. Београд. Стр. 43-52.
- Поповић, В., Лучић, А., Ракоњац, Љ. (2018): Утицај крупноће жира на морфолошке особине једногодишњих садница храста лужњака (*Quercus robur* L.) у расаднику. Шумарство 1-2. УШИТС, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд. Београд. Стр. 91-98.
- Peper, P., Alzate, C., McNeil, J., Hashemi, J. (2014): Allometric equations for urban ash trees (*Fraxinus* spp.) in Oakville, Southern Ontario, Canada. *Urban For Urban Green* 13, 175-183.
- РХМЗ - Републички хидрометеоролошки завод, доступно на: <http://www.hidmet.gov.rs/>
- Šijačić Nikolić, M., Osockoljić, M., Vilotić, D., Milovanović, J. (2011): The genetic potential of mother trees as a basis for *Acer pseudoplatanus* 'Atropurpureum' plant production. *Arch Biol Sci* 63 (1), 145-150.
- Stejskalová, J., Kupka, I., Nováková, O. (2014): Influence of sycamore seed stratification length on their germination capacity, *Journal of Forest Science* 60 (5), 212-217.
- Tan, P.-H., Chou, C., Charles, C., Chou, K. (2013): Impact of urbanization on the air pollution "holiday effect" in Taiwan. *Atmosph Environ* 70, 361-375.
- Troxel, B., Piana, M., Ashton, M.S., Murphy-Dunning, C. (2013): Relationships between bole and crown size for young urban trees in the north eastern USA. *Urban For Urban Green* 12, 144-153.
- Tucović, A. (1973): *Genetika sa oplemenjivanjem biljaka*. Građevinska knjiga, Beograd. (In Serbian)
- Vukićević, E. (1987): *Dekoratивna dendrologija, Naučna knjiga*, Beograd. (In Serbian)
- Вукин, М. (2017): Оцена квалитета вештачки подигнуте састојине белог јасена у заштићеном подручју Липовичка шума – дуги рт. Шумарство 3-4. УШИТС, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд. Београд. Стр. 85-102.
- Yang, J. (2009): Assessing the Impact of Climate Change on Urban Tree Species Selection: A Case Study in Philadelphia. *J For* 107 (7), 364-372.

MODELING OF SEED GERMINATION OF SYCAMORE MAPLE (*Acer pseudoplatanus* L.)
FROM THE URBAN ENVIRONMENT USING THE DEGREE OF URBANITY AND THE SEED
WEIGHT AS PREDICTOR VARIABLES

Saša Kostić
Jelena Čukanović
Mirjana Ljubojević
Ljiljana Nikolić

Summary

Climate has been changing rapidly in the 21st century and highly urbanized areas can be particularly vulnerable to these changes. Therefore the selection of woody species and their adaptation to the changing urban environment will be of great importance for the sustainable urban forestry management in the upcoming period. The characterization of high-value mother trees is the first step in the selection of populations or species. Seed vitality can be one of the factors in the selection process. During the selection of highly valuable mother trees from urban areas, specific factors of built-up areas (such as the degree of urbanization) must be respected. The knowledge of their interactions could be important information in the process of the urban tree population selection. Four regression models (*Linear*, *Quadratic*, *Cubic* and *Power*) were tested in this paper. They were constructed using the following three factors 1) Seed germination, 2) Seed weight and 3) Degree of urbanization. The research included 25 *half-sib* lines of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) and its red-leaf cultivar (*A. pseudoplatanus* 'Atropurpureum' Späth.) from Novi Sad streets in two study years (2017 and 2018). The seeds were first stratified by the cold moist method and then sowed into containers where they were observed. The experiment was set according to the random block system design (3x100 seeds) into three blocks and the seeds were grown in semi-controlled conditions. Seed germination dynamics were recorded every 7 days for four weeks.

The average seed germination was very high in 2017 and 2018 (90.16%) (Tab. 2; Fig. 1) and there were no significant differences between the years. The energy of seed germination ranged from 20% to 80% (Fig. 2). The results of the modeling of seed germination, constructed by four regression models, point to significant deviations between the tested regression models and relationships. According to the coefficient of determination (r^2), the linear regression model is the most unfavourable for our data distribution. Moreover, the *Cubic* model fits best to our data and relationships. Seed germination vs. Degree of urbanization had the strongest interactions, with moderate correlation strength of r^2 0.678 (Tab. 3). Hence, it can be concluded that urban area has significant effects on seed germination, but it does not affect the weight of sycamore maple seed.

The results presented in this paper indicate that it is possible to model seed germination using specific parameters of urban areas, but the knowledge of tree responses to highly urbanized surroundings (especially to urban site-specific factors) must be researched more deeply in order to be applied properly in seed germination modeling. The ecological modeling can save both time and money during the selection process. The results of this study can be important for the selection of trees from urban areas with different urban specific factors. This paper shows how regression analyses can be used and their results interpreted in the process of the selection of trees from urban areas. Using this and similar models in the selection process can make the selectors' decision-making more correct and objective.

