

Viera Paganová
Marek Hus

Metodika pre zavádzanie odolných druhov drevín v rámci stabilizačných opatrení v krajine

Nitra 2023



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020

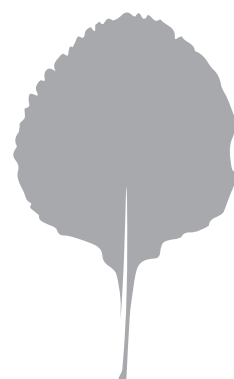


SPU·FZKI
Fakulta záhradníctva
a krajinného
inžinierstva



SPU·VC ABT
Výskumné centrum
AgroBioTech

DOI: <https://doi.org/10.15414/2023.9788055226132>



Názov: Metodika pre zavádzanie odolných druhov drevín
v rámci stabilizačných opatrení v krajine

Autori: prof. Ing. Viera Paganová, PhD. (FZKI SPU v Nitre)
Ing. Marek Hus, PhD. (FZKI SPU v Nitre)

Recenzenti: prof. Ing. Dušan Húska, PhD.
doc. Ing. Ivan Lukáčik, CSc.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra v rámci projektu Trvalo udržateľné inteligentné farmárske systémy zohľadňujúce budúce výzvy 313011W112, spolufinancovaného Európskym fondom regionálneho rozvoja.

Pripomienky a námety k tomuto dokumentu môžete zasielať na adresu: viera.paganova@uniag.sk

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre
dňa 26.06.2023 ako účelovú publikáciu.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



SPU·VC ABT
Výskumné centrum
AgroBioTech



SPU·FZKI
Fakulta záhradníctva
a krajinného
inžinierstva

Toto dielo je publikované pod licenciou Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0
International Public License (CC BY-NC-ND 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.
Prvé vydanie.

ISBN 978-80-552-2613-2

DOI: <https://doi.org/10.15414/2023.9788055226132>

Obsah

Úvod	4
1 Teoretické východiská a súčasný stav riešenej problematiky	4
1.1 Vplyv sucha na dreviny a význam identifikácie prispôsobivých druhov.....	4
1.2 Diverzita stromovej vegetácie v poľnohospodárskej krajine	5
1.3 Diverzita stromovej vegetácie v urbanizovanej krajine	7
2 Ciele výskumu.....	9
3 Výstupy výskumu adaptability a modelov rastu autochtónnych druhov drevín	9
4 Návrh postupov pre zavádzanie odolných druhov do krajiny	10
Zoznam literatúry	15

Úvod

Dreviny a ich porasty v krajine majú vplyv na úpravu mikroklimy, kolobeh vody a formovanie biotopov pre živočíšne druhy. Sú považované za stabilizujúce prvky v poľnohospodárskej aj urbánnej krajine. V podmienkach klimatickej zmeny sú dreviny podobne ako ostatné rastliny vystavené suchu a meteorologickým extrémom, ktoré redukujú ich populačnú hustotu, možnosti obnovy širšieho spektra druhov a tým aj ich diverzitu v krajine. V projekte SMARTFARM 313011W112 sme sa v rámci výskumnej aktivity „Systémy hospodárenia zachovávajúce biodiverzitu a zmiernujúce dopady klimatickej zmeny“ zamerali na hodnotenie adaptability drevín vo vzťahu k nedostatku vody a zasoleniu, s cieľom identifikovať v autochtónnej flóre druhy s vysokým adaptačným potenciálom na zmeny v prostredí a zostaviť rámcovú metodiku pre ich ciele zavádzanie do krajiny v rámci stabilizačných opatrení.

Metodika upravuje prístupy k zavádzaniu odolných, zriedkavých druhov drevín do krajiny, pričom primárnymi cieľmi sú podpora stability drevinových vegetačných prvkov a rozvoj prirodzenej biodiverzity. Charakterizuje postupy pre identifikáciu zdrojov reprodukčného materiálu drevín, vlastnosti sadbového materiálu a kritériá kvality pre sadenice určené na výsadby v krajine. Pri zostavení metodiky sa zohľadnili aktuálne poznatky o diverzite drevín v poľnohospodárskej a urbánnej krajine, ako aj výstupy vlastného experimentálneho výskumu dokumentujúceho význam koreňového systému drevín a životné stratégie, ktoré autochtónne druhy drevín uplatňujú pri prekonávaní nepriaznivých podmienok v pôdnom prostredí.

1 Teoretické východiská a súčasný stav riešenej problematiky

1.1 Vplyv sucha na dreviny a význam identifikácie prispôsobivých druhov

Stúpajúca frekvencia sucha v strednej Európe má nepriaznivý vplyv na život stromov, znižuje biodiverzitu a ekologickú hodnotu ekosystémov. Sucho znižuje produktivitu rastlín (Zhao, 2010) a redukuje možnosti získania zdrojov pre realizáciu ich životného cyklu. Najmä mladé jedince a sadenice stromov s plytkým alebo nevyvinutým koreňovým systémom trpia a často odumierajú v dôsledku sucha (Donovan a kol., 1992; McDowell a kol., 2008; Wang a kol., 2012). V rastlinných spoločenstvách stúpa vplyv druhov s vyššou odolnosťou voči suchu, ktoré si aj pri nedostatku vody zachovávajú vyššiu produktivitu a intenzívnu fotosyntézu. Stromy odolné voči suchu sú schopné preklenúť krátkodobé výkyvy v zásobovaní vodou v dôsledku ich fyziologických a metabolických funkcií. Identifikácia adaptabilných druhov, ktoré sú schopné prežiť v dlhších obdobiach sucha je nevyhnutná pre udržateľnosť produkcie biomasy a environmentálne prínosy drevín v kontexte klimatických zmien.

Štúdium reakcií drevín na extrémne klimatické javy (sucho) môže byť v prírodných podmienkach náročné z dôvodu veľkej druhovej, ontogenetickej a vekovej heterogenity ich

spoločenstiev. Terénne merania ekofyziologických parametrov sa preto kombinujú s údajmi z experimentov uskutočňovaných za regulovaných a kontrolovaných podmienok, kde je možné získať reprodukovateľné údaje a identifikovať limitné hodnoty skúmaných faktorov.

Poznanie fyziologických mechanizmov regulujúcich využívanie a hospodárenie s vodou je dôležité aj pre ekonomickú analýzu schopnosti stromu prežiť/odolať epizódy sucha. Podľa Kunz a kol. (2016) môžeme odolnosť rastlín voči stresu zo sucha kvantifikovať ako pomer medzi ich fyziologickou výkonnosťou počas sucha a za normálnych podmienok bez stresu zo sucha. Gregory a kol. (2000) a Gebrekirstos a kol. (2011) charakterizujú odolnosť (rezistenciu) časovým priebehom troch fyziologických procesov: rýchlosti fotosyntézy (A_n), rýchlosti transpirácie (E) a prieduchovej vodivosti (g_s). Kvantitatívny popis vzťahov medzi fyziologickými procesmi a environmentálnymi faktormi poskytuje základ pre tvorbu ekologických modelov popisujúcich aklimatizačné a adaptačné správanie rastlín (Larcher, 2003). Tieto modely a simulácie zložené z ekofyziologických meraní môžu slúžiť aj na prognózu a plánovanie obnovy prirodzeného ekosystému po narušení.

Očakáva sa, že zmena klímy celosvetovo zvýši počet regiónov náchylných na suchu (Dai, 2013; Huang a kol., 2016), preto je identifikácia a cieľené využívanie prispôsobivých a suchu odolných druhov jednou z ciest pri ich adaptácii na zmeny klímy. Cieľom novej stratégie EÚ pre adaptáciu na zmeny klímy 2021 (Budovanie Európy odolnej proti zmene klímy) je dosiahnutie odolnosti proti zmene klímy do roku 2050. Stratégia sa orientuje na zintenzívnenie adaptačných opatrení v hospodárstve a spoločnosti, ako aj zvýšenie účinnosti adaptačných opatrení s inými oblasťami, napríklad rozvojom biodiverzity. Diverzita druhov a ich populácií je významným faktorom adaptácie a odolnosti ekosystémov voči zmenám v prostredí.

1.2 Diverzita stromovej vegetácie v poľnohospodárskej krajine

Dreviny prítomné v poľnohospodárskej krajine sú výsledkom viacerých procesov: fragmentácie prírodných spoločností, ochrany a obnovy drevín, najmä stromov na pozemkoch aktívne využívaných farmármi, ale aj cielenej výsadby vybraných druhov pre určitú lokalitu. Stromy rastúce na konkrétnej lokalite sú zvyčajne výsledkom viacerých procesov. V celosvetovom meradle súbor stromov (drevín), ktoré sa vyskytujú na poľnohospodárskej pôde, závisí vo veľkej miere od interakcie ekologických a sociálno-ekonomicko-kultúrnych procesov (Ordonez a kol., 2014).

Pri získavaní poľnohospodárskej pôdy po prvotnom odlesnení v krajine obvykle prebieha postupná strata fragmentov pôvodnej a obnovovanej vegetácie aj cieľená výsadba stromov farmármi v súvislosti s uplatňovaním agrolesníckych systémov. Táto postupnosť procesov sa označuje ako krivka zmien stromovej vegetácie. Uplatňuje sa ako rámec na pochopenie činiteľov ovplyvňujúcich diverzitu stromov v poľnohospodárskej krajine a preskúmanie potenciálnych dôsledkov poklesu diverzity stromov na biodiverzitu, ekosystémové služby a živobytie ľudí (Noordwijk a kol., 2011).

Diverzitu stromov a dynamiku jej zmien ovplyvňujú činitele v rôznych štádiách životného cyklu stromov, od ujatia až po reprodukčnú fázu rastu. Faktory ovplyvňujúce diverzitu stromov môžu byť prirodzené alebo antropogénne. Ide o súbor sociálnych,

ekonomických alebo kultúrnych dôvodov pre ktoré človek stromy toleruje, zakladá alebo odstraňuje (Scales a Marsden, 2008). Ako samostatný faktor pôsobí aj dostupnosť sadbového materiálu. Vplyv uvedených faktorov sa mení pozdĺž prechodovej krivky zmien stromovej vegetácie. V počiatočných štádiách závisí typ a početnosť nových stromov, ktoré sa spontánne vytvoria po odlesnení od hustoty, diverzity a životaschopnosti banky semien v pôde. Dopĺňanie prírodnej semennej banky závisí od podstaty prirodzených procesov tvorby a rozširovania reprodukčného materiálu z materských stromov (cudzopelenie, frekvencia semenných úrod), ako aj od aktivity vektorov šírenia semien (hmyz, vtáctvo, cicavce). Prírodnú banku semien negatívne ovplyvňuje proces fragmentácie krajiny kvôli väčšej vzdialenosti medzi kvitnúcimi stromami, ako aj strata biotopov pre vektory šírenia peľu a semien.

V človekom regulovaných procesoch, ako sú kampane na výsadbu stromov, alebo umelá obnova lesa sa prejavuje nízka úspešnosť ujatia sadeníc a vegetatívneho materiálu, dokonca aj odrastených mladých stromov. Podmienky konkrétnej lokality a neovládnutý manažment, môžu pre rastliny vytvárať stresujúce prostredie. Zdrojom stresov sú zmeny v prostredí (aridizácia) aj súbor biotických faktorov, akými sú konkurujúce druhy s inváznym potenciálom, gradácia škodcov a chorôb, voľne žijúca zver alebo pasenie hospodárskych zvierat (Harvey a kol., 2011), ktoré obmedzujú aj úspešnosť prirodzenej obnovy.

Negatívne dopady na diverzitu drevín môže mať cielený manažment hospodárenia spojený s potláčaním konkurencie drevín voči poľnohospodárskym kultúram. Osobitne stromy sú často posudzované ako prekážky pre hospodárenie na pôde. K poškodzovaniu drevín dochádza aj pasením hospodárskych zvierat na nevyhradených plochách. Ak predpisy obmedzujú farmárov v prístupe ku stromom na ich pôde, alebo ak sa ako kritérium pre vymedzenie chránených oblastí používa stromová pokrývka, môže to viesť k cielenému odstraňovaniu mladých stromov, aby sa hospodári vyhli budúcemu manažmentu a právnym problémom (Detlefsen Rivera a kol., 2008).

Diverzita a početnosť stromov sa môžu cielene zvyšovať využívaním zdrojov sadbového materiálu v škôlkach drevín. Sortiment ponúkaných drevín pozostáva z autochtónnych, ale aj nepôvodných druhov generatívneho alebo vegetatívneho pôvodu (vrúbľovance). Genofond stromov je ovplyvnený pravidlami prenosu reprodukčného materiálu (smien a sadeníc) ako aj dodávateľským systémom obchodu s reprodukčným materiálom. Ako uvádza Hudson (2011), celková diverzita môže byť pomerne nízka, ak silne centralizovaní hráči na trhu (agentúry, monopolní obchodníci alebo dodávatelia) dominujú v dodávateľskom reťazci semien a sadbového materiálu.

Nepriaznivý vplyv na diverzitu druhov má výber drevín pre výsadby založený na jednoduchšej štruktúre ponuky, resp. dostupnosti sadbového materiálu. Štandardom pre výsadby sa často stávajú len sadenice určitej kategórie (napríklad alejové stromy), namiesto zohľadnenia kritérií genetickej kvality reprodukčného materiálu (známy pôvod, genetická variabilita). Alejové stromy sú cielene reprodukovanie a pestované tak, aby splnili kritériá uniformity vzhľadu, dynamiky rastu a podobne. Veľký počet jedincov tak reprezentuje pomerne nízky počet genotypov. Pre diverzitu stromov je dôležité získať sadbový materiál lokálnym zberom z kvalifikovaných zdrojov v krajine a orientovať sa prioritne na sadbový materiál generatívneho pôvodu.

Keď sú prirodzené procesy rozširovania a obnovy stromovej zložky nedostatočné, môžu sa uplatniť cielené opatrenia na podporu diverzity stromov v krajinnom priestore

(Wiersum, 1997). Medzi takéto opatrenia patrí: a) ochrana prirodzene obnovených drevín (stromov) na pôde, b) presádzanie prirodzene obnovených drevín generatívneho pôvodu z príľahlých lokalít, c) pestovanie a výsadba sadeníc z plodov a semien získaných lokálnym zberom.

1.3 Diverzita stromovej vegetácie v urbanizovanej krajine

V urbanizovanej krajine je rozmanitosť druhov mestských stromov významným faktorom pre poskytovanie ekologických služieb. Väčšia druhová diverzita zvyčajne poskytuje väčší rozsah služieb v porovnaní s menej rôznorodými populáciami (Jiao a kol., 2021) a väčšia rozmanitosť stromov je spojená so stabilnejším a odolnejším mestským lesom, ktorý je bohatší na faunu a poskytuje širšiu škálu prínosov pre samotných obyvateľov (Cowett a Bassuk, 2017). Na miestnej úrovni má druhová diverzita mestskej populácie stromov priamy vplyv na biodiverzitu, odolnosť, a fungovanie ekosystému (Ma a kol., 2020).

Viacere štúdie dokumentujú pozitíva zvyšovania diverzity stromov, napríklad pre zmiernenie mestských tepelných ostrovov v sídlach (Wang a kol., 2021), zvýšenie pohody chodcov na trasách s bohatosťou rastlín vrátane stromov (Nghiem a kol., 2021), zníženie rozptylu prchavých organických zlúčenín (VOC) v oblastiach s vyššou diverzitou rastlín (Ren a kol., 2017), vyššiu úroveň ochrany pred hrozbami zo strany škodcov a chorôb (Sjöman a Östberg, 2019).

Pozitívny vplyv druhovej rozmanitosti drevín na podporu odolnosti urbánnych ekosystémov je dokumentovaný viacerými výstupmi (Roebuck a kol., 2022). Pre podporu diverzity druhov boli spracované aj určité metodické postupy pre vytváranie druhovo pestrejších a odolnejších zmesí. Napríklad Santamour (1990) navrhol normatívne pravidlo 10% – 20 % – 30 % pre druh – rod – čeľaď ako percentuálnu hranicu, ktorú by žiadny druh, rod alebo čeľaď prítomný v mestskej zeleni nemal prekročiť. Tento model má obmedzenia vyplývajúce z podmienok využívania konkrétnej lokality, jej dostupnosti a priestorovej dispozície. A preto môže byť ťažké dosiahnuť širšie spektrum druhov, ktoré vyhovujú súbehu viacerých kritérií. Úroveň rozmanitosti stromov by mala vychádzať z funkcií zelene v konkrétnej oblasti, resp. spôsobu využívania plôch a smerovať k podpore odolnosti a ekosystémových služieb, nie z kvantitatívnych normatívov pre druhy a rody (Ordonez a kol., 2014; Simons a Hauer, 2014).

V sídlach môže byť náročná aj samotná kvantifikácia diverzity druhov. Vedú sa diskusie o najrobustnejších metódach, pričom medzi najpoužívanejšie parametre patria Shannonov index a Simpsonov index (Rogers a kol., 2015; Cowett a Bassuk, 2017; Ma a kol., 2020; Roswell a kol., 2021; Wang a kol., 2021). Oba indexy merajú bohatosť druhov (počet prítomných druhov) a pomernosť druhov (relatívnu abundanciu každého druhu), ktoré tvoria analyzovanú populáciu. Tieto indexy sa bežne používajú na hodnotenie mestských populácií stromov, zohľadňujú veľkosť populácie, bohatosť a vyrovnanosť druhov (Cowett a Bassuk, 2017; Ma a kol., 2020).

Mestá majú zvyčajne väčšiu druhovú bohatosť (početnosť druhov) v porovnaní s ich vidieckym prostredím (Nielsen a kol., 2015). Je to spôsobené: (i) vysokým výskytom introdukovaných druhov, (ii) sociálno-ekonomickými faktormi, (iii) heterogenitou využívania

pôdy a krajinej pokrývky a (iv) rozmanitosťou environmentálnych faktorov, ako je diverzita pôdy a podnebia. Napriek tomu v populácii mestských stromov obvykle dominuje niekoľko druhov, čo dokumentuje prieskum diverzity v 108 mestách na celom svete: 20 % stromov v mestskej zeleni bolo rovnakého druhu, 26 % bolo z rovnakého rodu a 32 % bolo z rovnakej čeľade Kendal et al. (2014). V lokálnych podmienkach môže byť zastúpenie jednotlivých druhov dokonca vyššie, napríklad *Tilia × europaea* tvorí viac ako 44 % stromov na uliciach a parkoch v Helsinkách (Nielsen a kol., 2015). Dominancia malého počtu druhov sa prejavuje najmä pozdĺž ulíc a iných spevnených plôch.

Štúdia, ktorú prezentuje Stas a kol. (2020) dokumentuje vyššie zastúpenie nepôvodných stromov v husto zastavaných mestských centrách. Hustotu a druhové zloženie stromov tu ovplyvňuje spôsob využívania lokality a forma vlastníctva. V prímestských a vidieckych oblastiach je väčší výskyt autochtónnych druhov. Rozhodujúci vplyv na druhové zloženie stromov a ich pokryvnosť tu má typ pôdy a historické využívanie pôdy. Spôsob využívania plôch v mestskej zeleni sa môže výrazne líšiť podľa lokality, uplatňovaných politík a dostupnosti vhodných miest na pestovanie stromov (Godefroid a Koedam, 2007). Spôsob využívania plôch má významný vplyv na druhovú rozmanitosť stromov, pričom druhová diverzita negatívne koreluje s nepriepustným povrchom v urbanizovaných oblastiach (Yan a kol., 2019). Významným faktorom ovplyvňujúcim druhovú diverzitu drevín vo verejnej zeleni sú aj názory miestnych obyvateľov, to vo všeobecnosti znižuje zoznam druhov, s ktorými sa pracuje. Podľa štúdie, ktorú uskutočnili Plant a Kendal (2018) ceny domov síce stúpajú priamoúmerne so zastúpením dospelých stromov v uličných stromoradiach, ale obyvatelia zvyčajne preferujú nie viac ako šesť taxónov a predovšetkým odrody s výrazným estetickým efektom. V štúdiu druhovej diverzity drevín na sídliskách Kuchkik a kol. (2016) zistili, že stromy väčšieho veku v reprodukčnej fáze ontogenézy, ktoré zabezpečujú najviac ekosystémových služieb zároveň prispievajú k zhoršeniu alergických reakcií u obyvateľov.

Uvedené skutočnosti treba rešpektovať aj pri plánovaní zelenej infraštruktúry s ohľadom na ambiciózne ciele v oblasti výsadby stromov a podpory biodiverzity. V posledných rokoch sa zvyšuje podiel projektov zameraných na výsadby stromov v mestách s cieľom vysadiť pestrú škálu druhov na zlepšenie odolnosti mestských lesov (Doroski et al., 2020). Úspech projektov v podobe očakávaných prínosov novovysadených mestských stromov sa preukázateľne dosahuje len po dôkladnom predbežnom plánovaní (Roman et al., 2018). Projektová príprava by mala obsahovať kvalifikované zhodnotenie aktuálnej úrovne rozmanitosti druhov a ich potenciálnej zraniteľnosti na lokálnej úrovni. Na exponovaných plochách môže byť výsadba a ujetie stromov veľmi náročné, vtedy sa hľadajú alternatívne riešenia napríklad s popínavými druhmi drevín alebo bylín na konštrukciách.

Diverzitu treba rozvíjať nielen jednoduchým zvyšovaním počtu druhov a odrôd pri nových výsadbách, ale najmä posilnením zastúpenia autochtónnej flóry a zvýšením populačnej hustoty druhov, aby výsadby v sídlach pozitívne prispievali k zvyšovaniu prirodzenej odolnosti krajiny a stabilného fungovania ekosystémov.

2 Ciele výskumu

Plánovaným výstupom projektovej aktivity bola identifikácia drevín s vysokým adaptačným potenciálom a modifikácia konvenčných pestovateľských technológií smerom k zvyšovaniu tolerancie mladých rastlín voči nedostatku vody a vysokým teplotám. Zamerali sme sa na druhy autochtónnej flóry, ktoré prirodzene rastú na lokalitách vystavených periódam sucha. Odolávajú nedostatku vody vo vegetačnom období aj termickému stresu. Zároveň tieto dreviny disponujú estetickými charakteristikami – habitus, kvitnutie, jedlé plody a vizuálna dynamika v priebehu roka.

Hodnotila sa odolnosť *Pyrus pyraeaster*, *Sorbus torminalis* a *Tilia cordata* voči extrémnym prejavom sprevádzajúcim zmeny klímy s cieľom identifikovať znaky určujúce ich adaptabilitu na periód sucha a zasolenie pôdneho substrátu.

Hodnotila sa aj fenotypová štruktúra populácie mladých stromov *Pyrus pyraeaster* a *Sorbus domestica*, ktoré môžu zvýšiť biodiverzitu v mestských a krajinných ekosystémoch, s cieľom identifikovať modely a dynamiku rastu študovaných taxónov a zohľadniť tieto charakteristiky pri manažmente starostlivosti v rámci stabilizačných opatrení.

3 Výstupy výskumu adaptability a modelov rastu autochtónnych druhov drevín

Identifikovali sa medzidruhové rozdiely vo fyziologickej výkonnosti semenáčikov *P. pyraeaster* a *S. torminalis*, ktoré sú vystavené nedostatku vody (Paganová a kol., 2020a). Potvrdilo sa, že zisk CO₂ a strata vody transpiráciou sú druhovo závislé a výrazne ovplyvnené vodivosťou prieduchov (g_s). Tento variabilný endogénny faktor vykazoval niekoľkonásobne vyššie hodnoty v listoch *P. pyraeaster* v porovnaní so *Sorbus torminalis* a to pre kontrolné rastliny, aj semenáčky vystavené suchu. V podmienkach nedostatku vody bola stratégia skúmaných drevín založená nielen na schopnosti asimilácie CO₂ a transpirácii vody, ale aj na hmotnostnej bilancii pre konkrétne časové obdobie. Výstupy výskumu preukázali, že *P. pyraeaster* si zachováva pomer distribúcie hmoty medzi podzemnými a nadzemnými orgánmi aj v podmienkach nedostatku vody a pomer hmoty koreňa k hmote nadzemných orgánov (R:S) sa výrazne nezmenil. Pod vplyvom sucha *P. pyraeaster* formuje hrubšie listy (nižšie SLA) a znižuje prieduchovú vodivosť a transpiráciu; okrem toho si udržiava vyššiu rýchlosť fotosyntézy. Semenáčky *S. torminalis* pri nedostatku vody investovali hmotu podzemných orgánov do predlžovacieho rastu koreňa (SRL). Rastliny znížili asimiláciu transpirácie CO₂ a H₂O, aby sa zabránilo škodám spôsobeným suchom.

V reakcii na suchu *S. torminalis* aplikuje stratégiu využitia a spotreby dostupnej vody, avšak v závislosti od trvania sucha sa pri tejto drevine prejavuje výrazný pokles fotosyntézy. *P. pyraeaster* aj pri nedostatku vody zachováva vyrovnaný pomer distribúcie hmoty do orgánov, formuje hrubšie listy a udržiava vyššiu rýchlosť fotosyntézy. Uplatňuje viacero aklimácií na úrovni rastlinných orgánov, ktoré jej umožňujú udržať vyššiu fyziologickú výkonnosť aj pri nedostatku vody v substráte.

Náš predchádzajúci výskum dokumentuje, že *P. pyraeaster* si zachováva vyvážený pomer rozloženia hmoty medzi podzemnými a nadzemným orgánmi aj v podmienkach nedostatku vody (Paganová a kol., 2019, 2020a). Podobný model alokácie hmoty v rastlinných orgánoch táto drevina zachováva aj pri expozícii zasoleniu v pôdnom substráte

(Paganová

a kol., 2022). Sadenice *P. pyraeaster* udržali vyvážený rast a akumuláciu biomasy v koreni, v reakcii na osmotický stres formovali menšie listy, účinne regulovali prieduchovú vodivosť a udržiavali vyrovnané hodnoty relatívneho obsahu vody v listoch (RWC) a vodného potenciálu listových pletív (Ψ_{wl}). Sadenice *T. cordata* regulovali stratu vody (g_s) a udržiavali vyváženú fotosyntézu (A_n) v skorej reakcii na osmotický stres. V dlhšom časovom horizonte pri stúpajúcej úrovni zasolenia však nedokázali efektívne obmedziť príjem soli koreňovým systémom a ióny Na^+ boli transportované do listov (Paganová a kol., 2022). Sadenice sa nedokázali vyrovnáť s iónovým stresom, ktorý dominuje pri vysokej úrovni zasolenia alebo u citlivých druhov, ktorým chýba schopnosť kontrolovať transport Na^+ . Napriek adaptívnym reakciám (regulácia g_s a obmedzenie rastu) sa prejavil významný pokles Ψ_{wl} a A_n u sadeníc *T. cordata* vystavených zasoleniu. Získané poznatky ukazujú slabú toleranciu *T. cordata* voči zasoleniu v juvenilnej fáze rastu.

Štúdia preukázala, že *P. pyraeaster* sa dokáže vyrovnáť so zasolením, blokuje príjem soli na úrovni koreňového systému a v stonke, čím chráni listový aparát pred intoxikáciou a poškodením. Rýchlosť fotosyntézy na jednotku plochy listu (A_n) zostala nezmenená aj pri stúpajúcej úrovni zasolenia počas celého experimentu (Paganová a kol., 2022).

Výskum fenotypovej štruktúry mladých stromov *P. pyraeaster* a *S. domestica* vypestovaných zo semien z pôvodných lokalít na Slovensku identifikoval rôznu dynamiku a modely rastu. Podľa údajov získaných v našej štúdii (Hus a kol., 2021), pre mladé stromy *S. domestica* je charakteristický monopodiálny model rastu s dominantným výškovým prírastkom hlavnej stonky. V populácii sa však prejavila vysoká variabilita výšky a výškového prírastku. Pravdepodobne súvisí s adaptívnym rastom koreňového systému po výsadbe, keď táto drevina investuje predovšetkým do zväčšovania absorpčnej plochy koreňového systému. Predlžovací rast centrálnej stonky sa zintenzívnil po ujatí sadeníc na ploche v treťom roku po výsadbe, kedy ročný výškový prírastok bol vyšší ako priemerná výška stromov. Pri *P. pyraeaster* sa zaznamenal vyrovnaný výškový prírastok, ale približne polovica mladých stromov pomerne skoro prešla na sympodiálny model rozkonárenia, pri ktorom vytvárali terminálu konkurujúce bočné stonky.

Z hľadiska fenotypovej štruktúry mladých stromov z voľného opelenia predstavuje *S. domestica* homogénnejšiu skupinu rastlín ako *P. pyraeaster*. V mestských podmienkach bude *S. domestica* vyžadovať viac pozornosti vo vzťahu k dynamike rastu, zatiaľ čo *P. pyraeaster* bude vyžadovať udržiavanie monopodiálneho modelu rastu s dominantným centrálnym kmeňom výchovným rezom tak dlho, ako je to možné. Je to nevyhnutné kvôli prevencii vzniku rastových defektov. V nasledujúcich rokoch budú podrobnejšie študované zmeny modelov rozkonárenia a podielu jedincov so sympodiálnym modelom rastu. Poznatky zo štúdie, ktorá sa realizuje na dostatočnej vzorke mladých stromov (Hus a kol., 2021) budú implementované do metodiky pre manažment údržby drevín v sídlach a krajine.

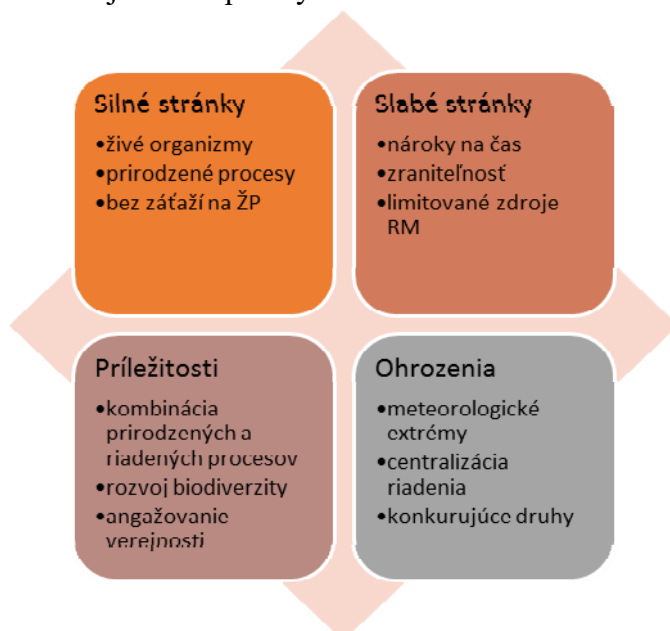
4 Návrh postupov pre zavádzanie odolných druhov do krajiny

Dreviny a ich porasty sa využívajú pre zmiernenie procesov degradácie ekosystémov pod vplyvom sucha, erózie pôdy a ľudských aktivít. Silnou stránkou biotechnických opatrení (Obrázok 1) je skutočnosť, že využívajú vlastnosti dlhovekých trvalých rastlín a prirodzené

procesy ich rastu, regenerácie a reprodukcie pre úpravu mikroklimy, podmienok pôdneho prostredia a vodného režimu lokalít, na ktorých sú tieto postupy aplikované. Biotechnické opatrenia nie sú zdrojom záťaží pre životné prostredie, lebo používané materiály (sadbový materiál a časti rastlín) sú prirodzenou súčasťou bioty a po ukončení funkčnosti a životného cyklu podliehajú prirodzenému rozkladu pod vplyvom poveternostných podmienok a životnej aktivity mikroorganizmov.

Diverzita druhov podporuje odolnosť ekosystémov voči narušeniu a umožňuje dlhodobé poskytovanie ekosystémových služieb pri trendových a epizódnych zmenách v prostredí. Dôležitá je nielen rôznorodosť taxónov, ale aj vnútrodruhovú variabilita, teda diverzita v rámci druhu. Diverzifikácia genotypov a vekovej štruktúry populácií je predpokladom adaptability druhov na zmeny v prostredí. Príležitosti pre rozvoj biodiverzity sú aj v podpore a využívaní prirodzených procesov sukcesie drevinových spoločenstiev na plochách, ktoré nie sú intenzívne využívané (napríklad pre poľnohospodársku výrobu). Veľmi dôležitá je informovanosť a zapojenie verejnosti do projektov biotechnických opatrení v krajine. Najmä koordinácia aktivít rôznych záujmových skupín (farmári, občianske združenia, Slovenská agentúra životného prostredia atď.) v projektoch zavádzania a revitalizácie drevinových vegetačných prvkov do krajiny.

Slabou stránkou biotechnických riešení je časová náročnosť, ktorá súvisí s prípravou a realizáciou projektu, ako aj pozvoľné zvyšovanie funkčnej účinnosti vegetačných prvkov v závislosti od dynamiky rastu a vývinu drevín. Efektivitu a účinnosť biotechnických riešení v súčasnosti limituje dostupnosť reprodukčného materiálu odolných autochtónnych druhov drevín. Hrozby pre mladé rastliny predstavujú pomerne časté epizódy sucha, vlny horúčav, aj dlhodobý trend aridizácie niektorých regiónov SR. Tieto faktory majú negatívny dopad na rast a prežívanie rastlín. Ohrozením sú aj mimoriadne adaptabilné nepôvodné taxóny, ktoré majú invázny charakter a kolonizujú voľné plochy.

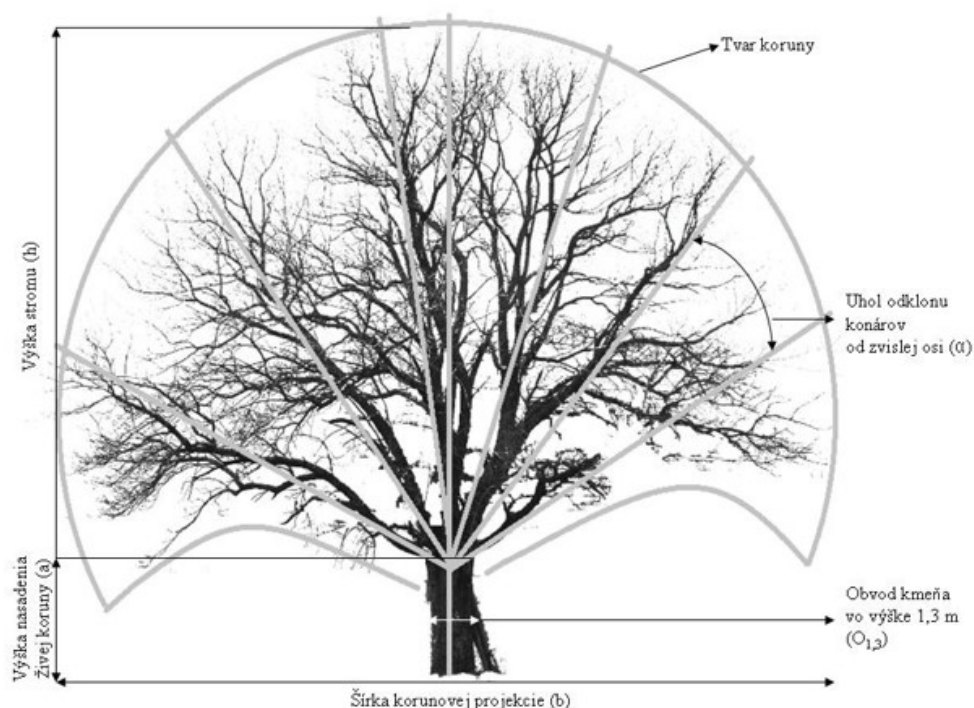


Obrázok 1 SWOT analýza pre biotechnické opatrenia spojené s výsadbou drevín v krajine

Na Slovensku sú dreviny rastúce na poľnohospodárskej pôde predovšetkým zvyškami pôvodnej vegetácie a sukcesie na plochách s útlmom poľnohospodárskych aktivít, čo je dobrým východiskom pre dlhodobú stabilizáciu biotopov. Základnou úlohou je podpora

prírodných procesov, eliminácia konkurujúcich (inváznych druhov) a ochrana voči meteorologickým extrémom a škodám zverou. Na lokalitách kde pôvodná vegetácia chýba, treba pri stabilizačných opatreniach uplatňovať autochtónne druhy, ktoré sa prispôbujú trendovým zmenám v prostredí, predovšetkým dreviny ktoré sú reprezentované populáciami s vyššou početnosťou jedincov. Reprodukčný materiál týchto druhov je k dispozícii v lesných škôlkach u pestovateľov sadbového materiálu lesných drevín. Podmienky zberu lesného reprodukčného materiálu a jeho uvádzania na trh sú regulované legislatívou SR, konkrétne: zákon č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli v znení zákona č. 49/2011 Z. z., a vyhláška č. 118/2013 Z.z. ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 501/2010 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o produkcii lesného reprodukčného materiálu a jeho uvádzaní na trh. Zdroje reprodukčného materiálu lesných drevín podliehajú fenotypovej klasifikácii porastov a semenných zdrojov. Zohľadňuje sa fenotypová hodnota drevín ako komplexné číselné vyjadrenie kvality ich koruny, tvárnosti kmeňa a produkčnej schopnosti porastu.

Medzi druhy odolné voči zmenám v prostredí patria aj dreviny so zriedkavým zastúpením v krajine, ktoré tvoria prímies v lesných spoločenstvách, a to najmä v kontakte s otvorenou krajinou. Tieto dreviny uplatňujú rôzne stratégie pri prekonávaní extrémnych situácií v prostredí, pričom ich nižšia populačná hustota súvisí s vyššími nárokmi na svetlo, rozdielmi v dynamike rastu ale aj v procesoch reprodukcie v porovnaní so základnými drevinami. Viaceré zriedkavé druhy drevín (*Pyrus pyraeaster*, *Sorbus domestica*, *Sorbus torminalis*) a ich adaptačný potenciál sú predmetom experimentálneho výskumu (Paganová a kol., 2019, 2020a, 2022).



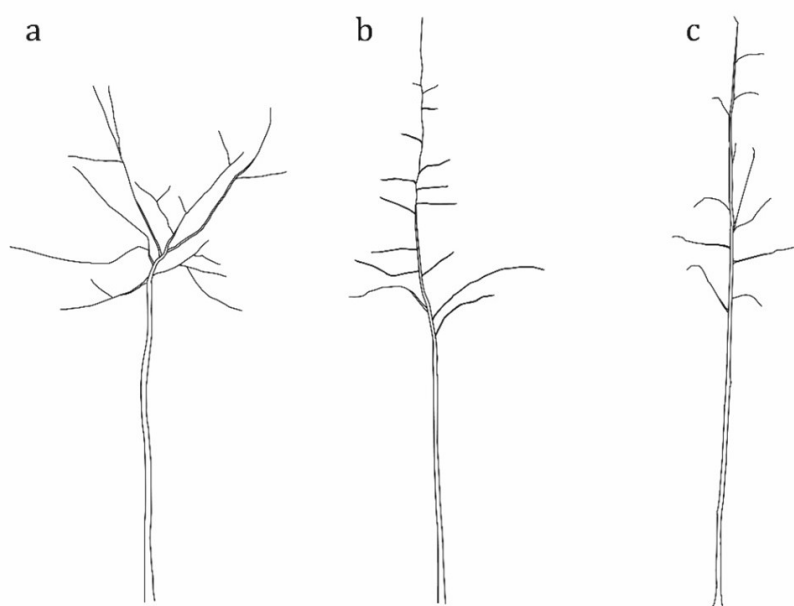
Obrázok 2 Charakteristiky koruny a kmeňa pre kvantifikáciu fenotypovej hodnoty drevín na príklade *Pyrus pyraeaster* L. Burgsd. Pre stabilné spojenie stoniek je optimálne, ak zvierajú uhol v rozpätí 45° – 60°.

Reprodukčný materiál zriedkavých drevín je možné získať priamym zberom plodov na pôvodných lokalitách. Pri výbere zdrojov reprodukčného materiálu (stromov), z ktorých sa uskutoční zber plodov a semien treba zohľadniť fenotypové znaky jedincov. Najmä symetriu a štruktúru koruny (Obrázok 2), prípadne výskyt defektov rastu (preštíhlenie kmeňa, defekty rozkonárenia, hypertrofické útvary atď.) Hoci sa viacero defektov rastu môže úspešne korigovať pri výchove, optimálne je používať ako zdroje reprodukčného materiálu stromy bez rastových defektov, čo je predpokladom ich dobrej fenotypovej hodnoty. Zber plodov a semien treba uskutočniť z viacerých stromov príslušného taxónu, aby sa udržiavala vyššia diverzita génov v potomstve.

Po extrakcii semien z plodov treba semená ošetriť technikami predsejbovej prípravy, kvôli prekonaniu zábran klíčenia studenou stratifikáciou. Pri väčšine autochtónnych druhov listnatých drevín sa odporúča stratifikácia v trvaní 2 - 3 mesiace.

Jednoročné rastliny generatívneho pôvodu (semenáčky) treba pred výsadbou na trvalé stanovište pestovať minimálne 3 roky v regulovaných podmienkach, s možnosťou zavlažovania. Krátke periódy sucha pre sadenice s voľným koreňovým systémom nepredstavujú priame existenčné riziko, ale treba sa vyhnúť dlhodobému deficitu vody, pri ktorom sa môžu rozvinúť závažné fyziologické poruchy. Pre výsadby do krajiny sú vhodné viacročné sadenice (staršie ako 4 roky) s výškou nadzemnej osi minimálne 0,5 m.

Udržanie kvality krytokorenných sadeníc vyžaduje pravidelné presádzanie do obalov s väčším objemom. Presádzanie sadeníc a úprava deformácií koreňa sa vykonávajú aspoň raz vo vegetačnom období. Deformácie koreňa pri krytokorenných sadenicích sú prirodzeným dôsledkom rastu koreňov v obmedzenom priestore. Úprava rezom sa vykonáva na koreňoch ktoré rastú nahor, po obvode nádob, ale aj koreňov prerastajúcich cez otvory na dne obalov. Po úprave koreňov rezom sa sadenice vždy presadia do väčšieho obalu a zavlažia. Podľa objemu redukovaných koreňov treba zvážiť aj proporčnú redukciu asimilačnej plochy sadenice a v prípade potreby uplatniť komparatívny rez sadeníc podľa arboristických štandardov (Paganová a kol., 2015).



Obrázok 3 Modely rastu stromov a) sympodiálny *Pyrus pyraster*, b) monopodiálny *Pyrus pyraster*, c) monopodiálny *Sorbus domestica* podľa (Hus a kol., 2021)

Pri viacročných sadeniciach je dôležité zachovať asimilačnú plochu na bočných stonkách vyrastajúcich hlbšie na kmienku, kvôli podpore rovnomerného hrubnutia kmeňa. Sadenice vysádzané do krajiny musia mať vzpriamenú stonku odolnú voči namáhaniu. Neodporúča sa zakladať korunu mladých stromov už pri pestovaní v škôlke. Stonky tvoriace korunu majú byť dynamicky namáhané na trvalom stanovišti, aby sformovali stabilné spojenie s kmeňom. Okliesnenie kmienkov, resp. skrátenie bočných stoniek sa vykonáva pred výsadbou na trvalé stanovište. Odporúča sa vysádzať pestovateľský tvar hrotiak, alebo sadenice s monopodiálnym modelom rastu, kde dominuje primárna stonka. (Obrázok 3).

Sadenice s voľným koreňovým systémom sa môžu vysádzať len v dormancii, preto je optimálne výsadbu vykonávať na jeseň, po opadnutí listov. Sadenice s koreňovým systémom trvalo obaleným substrátom (krytokorenné) sa môžu vysádzať aj s aktívnymi púčikmi, alebo pred opadaním listov. Pri výsadbe drevín rastúcich mimo lesa sa odporúča dodržať zásady a postupy uvedené v arboristickom štandarde Výsadba stromov a krov (Paganová a kol., 2020b).

Pre zavádzanie odolných druhov do krajiny odporúčame nasledovné zásady:

1. Výsadba stromov do krajiny musí byť vykonávaná podľa vopred vypracovaného projektu. Spontánne výsadby spravidla nemajú dlhodobú udržateľnosť, môžu byť v konflikte so spôsobom využívania pozemkov a vlastníckymi vzťahmi na príslušnej lokalite.
2. Pri projektovej príprave sa určia východiská pre výber druhov a vlastností sadbového materiálu, ako aj postupy úpravy podmienok v prospech drevín, systém vytýčenia a osadenia drevín na ploche, odporúčané techniky výsadby a starostlivosti o dreviny po výsadbe.
3. Podpora biologickej diverzity sa dosiahne výsadbou druhov autochtónnej vegetácie, prioritne sadenicami generatívneho pôvodu z lokálnych zdrojov. Treba obmedziť výsadby „na istotu“ sadbovým materiálom zo záhradných centier, lebo majú v obchodnej stratégii iné priority, než biologickú diverzitu sadbového materiálu.
4. Pri výbere drevín na konkrétnu lokalitu treba zohľadniť potenciálnu prirodzenú vegetáciu. Vyhnúť sa stereotypom a výberu druhov ktoré už niekde „fungujú“, najmä ak nie sú k dispozícii spoľahlivé údaje o zhode v podmienkach prostredia. Treba uprednostniť druhy s vyššou populačnou hustotou, alebo taxóny s potenciálom pre prirodzenú expanziu v krajine vtáctvom, drobnými cicavcami alebo vetrom. Pri nich je vyššia pravdepodobnosť genetickej diverzity.
5. Identifikovať potenciálne zdroje reprodukčného materiálu drevín v krajine, ktorými môžu byť skupiny a populácie drevín rastúce v priľahlom území. Kvalifikovať zdroje reprodukčného materiálu stromov prostredníctvom fenotypových charakteristík. Optimálne sú fenotypy s priebežným centrálnym kmeňom. Pre listnaté dreviny rastúce mimo porastu je vo vyššom veku typický sympodiálny model rastu (Obrázok 2), pri ktorom štruktúru koruny tvorí viacero mohutných konárov. Preto sú dôležitým indikátormi pre výber zdroja reprodukčného materiálu a) dostatočná dĺžka koruny (2/3 výšky stromu), b) topológia stoniek (zvierajú tupé uhly) (Obrázok 2).
6. Reprodukčný materiál drevín je optimálne získať lokálnym zberom z kvalifikovaných zdrojov v krajine, pričom kvalifikácia zdroja je podmienená nielen fenotypovou hodnotou stromov (podľa bodu 5) ale aj primeranou veľkosťou lokálnej populácie. S ohľadom na

dodržanie štandardov kvality je optimálne pestovať sadbový materiál drevín v organizáciách s odbornou spôsobilosťou pre túto činnosť.

7. Pri produkcii sadbového materiálu sa treba orientovať prioritne na sadenice generatívneho pôvodu. Uplatnenie tohto princípu vyžaduje identifikáciu potenciálnych zdrojov reprodukčného materiálu v záujmovom území a zber plodov a semien v krajine z viacerých stromov. Pri výsadbe treba používať kvalitný sadbový materiál zodpovedajúci atribútom morfolologickej a fyziologickej kvality, ktoré sú definované v arboristickom štandarde č. 4 „Výsadba stromov a krov“ (Paganová a kol., 2020b) DOI: <https://doi.org/10.15414/2019.9788055221076>
8. Do programu zavádzania odolných druhov treba angažovať lokálne komunity (občianske združenia) a odbornú verejnosť (správcov zelene, farmárov, lesníkov, krajinných architektov, miestnu samosprávu). V konkrétnom území obvykle pracuje paralelne viacero záujmových skupín, ale často uplatňujú odlišné stratégie. Informovanosť má pozitívny vplyv na podporu projektov zo strany verejnosti a zvyšuje úspešnosť pri praktickom uplatňovaní princípov rozvoja biodiverzity.
9. Na miestnej a regionálnej úrovni pripraviť predpis lokálne relevantných odolných druhov, ktorý by obsahoval zoznam druhov a ich odporúčanú početnosť vo výsadbách. Súčasťou predpisu budú aj pokyny pre zber plodov, extrakciu semien a techniky predsejbovej prípravy pre príslušné taxóny vrátane odporúčania pre pestovateľov sadbového materiálu orientovať sa na produkciu viacročných sadeníc s priebežným centrálnym kmeňom bez založenej koruny.
10. Pri výsadbe a starostlivosti o dreviny rastúce mimo lesa treba dodržať zásady definované v arboristickom štandarde č. 4 Výsadba stromov a krov (Paganová a kol., 2020b) DOI: <https://doi.org/10.15414/2019.9788055221076>

Zoznam literatúry

- Dai, A. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Clim. Chang.* 2013, 3, 52–58.
- Detlefsen Rivera, G., Pomareda C, Ibrahim M, Pezo D.: La legislación forestal debe ser revisada para fomentar y aprovechar el recurso maderable en fincas ganaderas de Centroamérica. Síntesis para Decisores-Policy Brief (PB)(CATIE), 2008.
- Donovan, L.; Ehleringer, J.R. Contrasting water-use patterns among size and life-history classes of a semi-arid shrub. *Funct. Ecol.* 1992, 6, 482–488.
- Doroski, D.A., Ashton, M.S., Duguid, M.C., 2020. The future urban forest – a survey of tree planting programmes in the Northeastern United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 55: 126816.
- Cowett, F., Bassuk, N.L., 2017. Street tree diversity in three northeastern U.S States. *Arboricult. Urban For.* 43 (1), 1–14.
- Gebrekirstos, A.; Van Noordwijk, M.; Neufeldt, H.; Mitlöhner, R. Relationships of stable carbon isotopes, plant water potential and growth: An approach to assess water use efficiency and growth strategies of dry land agroforestry species. *Trees* 2011, 25, 95–102.

- Gregory, P.J.; Simmonds, L.P.; Pilbeam, C.J. Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agron. J.* 2000, 92, 814–820.
- Godefroid, S., Koedam, N., 2007. Urban plant species patterns are highly driven by density and function of built-up areas. *Landsc. Ecol.* 22, 1227–1239.
- Gorelick, R., 2006. Combining richness and abundance into a single diversity index using matrix analogues of Shannon's and Simpson's indices. *Ecography* 29, 525–530.
- Harvey, C. A., Villanueva, C., Esquivel, H., Gómez, R., Ibrahim, M., Lopez, M., ... Sinclair, F. L. (2011). Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1664-1674.
- Huang, Y.; Gerber, S.; Huang, T.; Lichstein, J.W. Evaluating the drought response of CMIP5 models using global gross primary productivity, leaf area, precipitation, and soil moisture data. *Glob. Biogeochem. Cycles* 2016, 30, 1827–1846.
- Hudson, Z. (2010). Monopsony vs. Monopoly: The Analytical Distinctions between Predatory Bidding and Predatory Pricing. *Monopoly: The Analytical Distinctions between Predatory Bidding and Predatory Pricing (January 18, 2010)*.
- Hus, M., Paganová, V., Raček, M. Non-traditional alley tree species for urban conditions. In 4. International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone. 1st ed. ISBN 978-94-62613-29-4. Woody Ornamentals of the Temperate Zone. Leuven : International Society for Horticultural Science, 2021, s. 151-158.
- Jiao, M., Xue, H., Yan, J., Zheng, Z., Wang, J., Zhao, C., Zhang, L., Zhou, W., 2021. Tree abundance, diversity and their driving and indicative factors in Beijing's residential areas. *Ecol. Indic.* 125.
- Kunz, J.; Räder, A.; Bauhus, J. Effects of drought and rewetting on growth and gas exchange of minor European broadleaved tree species. *Forests* 2016, 7, 239.
- Kendal, D., Dobbs, C., Lohr, V.I., 2014. Global patterns of diversity in the urban forest: is there evidence to support the 10/20/30 rule? *Urban For. Urban Green.* 13, 411–417.
- Kuchkik, M., Dudek, W., Blazejczyk, K., Milewski, P., Blazejczyk, A., 2016. Two faces to the greenery on housing estates – mitigating climate but aggravating allergy. A Warsaw case study. *Urban For. Urban Green.* 16, 170–181.
- Larcher, W. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany, 2003.
- Ma, B., Hauer, R.J., Wei, H., Koeser, A.K., Peterson, W., Simons, K., Timilsina, N., Werner, L.P., Xu, C., 2020. An assessment of street tree diversity: findings and implications in the United States. *Urban For. Urban Green.* 56.
- McDowell, N.; Pockman, W.T.; Allen, C.D.; Breshears, D.D.; Cobb, N.; Kolb, T.; Plaut, J.; Sperry, J.; West, A.; Yepez, E.A.; et al. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol.* 2008, 178, 719–739. [CrossRef] [PubMed]
- Noordwijk, M. V., Hoang, M. H., Neufeldt, H., Öborn, I., & Yatic, T. (2011). How trees and people can co-adapt to climate change: reducing vulnerability in multifunctional landscapes. World Agroforestry Centre.
- Nghiem, T.P.L., Wong, K.L., Jeevanandam, L., Chang, C.C., Tan, L.Y.C., Goh, Y., Carrasco, L.R., 2021. Biodiverse urban forests, happy people: experimental evidence linking perceived biodiversity, restoration and emotional wellbeing. *Urban For. Urban Green.* 59.

- Ordonez, J.C., Luedeling, E., Kindt, R., Tata, H.L., Harja, D., Jamnadass, R., van Noordwijk, M., (2014). Constraints and opportunities for tree diversity management along the forest transition curve to achieve multifunctional agriculture. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 6, 54–60.
- Paganová, V., Kollár, J. Raček, M., Fraňo, T., Hudeková, Z., Kolník, M., Trnovský, M., Zelenák, M., Krištof, M., Sklenárová, M., Kolařík, J. *Arboristický štandard. 1.: Rez stromov*, 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2015. 31 s. ISBN 978-80-552-1402-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/2015.9788055213644>
- Paganová, V.; Jureková, Z.; Lichtnerová, H. The nature and way of root adaptation of juvenile woody plants *Sorbus* and *Pyrus* to drought. *Environ. Monit. Assess.* 2019, 191, 714.
- Paganová, V., Hus, M., Jureková, Z. Physiological performance of *Pyrus pyraeaster* L.(Burgsd.) and *Sorbus torminalis* (L.) crantz seedlings under drought treatment. *Plants*, 2020a, 9(11), 1496.
- Paganová, V., Fraňo, T., Hudeková, Z., Huťková, S., Kollár, J., Kolník, M., Krištof, M., Raček, M., Trnovský, M. *Arboristický štandard. 4. Výsadba stromov a krov*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2020b. 25 s. ISBN 978-80-552-2143-4 DOI: <https://doi.org/10.15414/2019.9788055221076>
- Paganová V., Hus, M., Lichtnerová, H. Effect of salt treatment on the growth, water status, and gas exchange of *Pyrus pyraeaster* L. (Burgsd.) and *Tilia cordata* mill. seedlings. In *Horticulturae*. ISSN 2311-7524 online, 2022, vol. 8, iss. 6, art. no.519, [18] s.
- Ren, Y., Ge, Y., Ma, D., Song, X., Shi, Y., Pan, K., Qu, Z., Guo, P., Han, W., Chang, J., 2017. Enhancing plant diversity and mitigating BVOC emissions of urban green spaces through the introduction of ornamental tree species. *Urban For. Urban Green.* 27, 305–313.
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., Doick, K., 2015. Valuing London's Urban Forest: Results of the London i-Tree Eco Project. *Treeconomics*, London.
- Roebuck, A.; Hurley, L.; Slater, D. 2022. Assessing the species diversity and vulnerability of urban tree populations in the London borough of Westminster. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, 74: 127676.
- Roswell, M., Dushoff, J., Winfree, R., 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* 130, 321–338.
- Roman, L.A., Campbell, L.K., Jordan, R.C., 2018. Civic science in urban forestry: an introduction. *Arboric. Urban For.* 44 (2), 41–48.
- Santamour, F.S., 1990. Trees for urban planting: diversity, uniformity, and common sense. in 7th Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance The Morton Arboretum, Lisle.
- Scales, B. R., & Marsden, S. J. (2008). Biodiversity in small-scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. *Environmental conservation*, 35(2), 160-172.
- Simons, K., Hauer, R., 2014. Species diversity is a numbers game and more. *Arborist News* 23 (3), 34–40.
- Stas, M., Aerts, R., Hendrick, M., Dendoncker, N., Dujardin, S., Linard, C., Nawrot, T., Nieuwenhuysse, A.V., Aerts, J.M., Orshoven, J.V., Somers, B., 2020. An evaluation of

- species distribution models to estimate tree diversity at genus level in a heterogeneous urban-rural landscape. *Landsc. Urban Plan.* 198.
- Wang, C.J.; Yang, W.; Wang, C.; Gu, C.; Niu, D.D.; Liu, H.X.; Wang, Y.P.; Guo, J.H. Induction of drought tolerance in cucumber plants by a consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains. *PLoS ONE*. 2012, 7, e52565.
- Wang, X., Dallimer, M., Scott, C.E., Shi, W., Gao, J., 2021. Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. *Sci. Total Environ.* 770.
- Wiersum, K. F. (1997). Indigenous exploitation and management of tropical forest resources: an evolutionary continuum in forest-people interactions. *Agriculture, ecosystems & environment*, 63(1), 1-16.
- Yan, Z., Teng, M., He, W., Liu, A., Li, Y., Wang, P., 2019. Impervious surface area is a key predictor for urban plant diversity in a city undergone rapid urbanization. *Sci. Total Environ.* 650, 335–342.
- Zhao, M.; Running, S.W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 2010, 329, 940–943.