

# Stres dreves

v mestnem okolju



Simon Poljanšek

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

630\*27  
582.091(1-21)

POLJANŠEK, Simon

Stres dreves v mestnem okolju/ Simon Poljanšek.  
- 1. izd. - Ljubljana : Silva Slovenica, 2015

ISBN 978-961-6425-96-4

280881664

Naslov publikacije: **Stres dreves v mestnem okolju**, Avtor teksta in slik: **Simon Poljanšek**

Publikacija izdana s sredstvi

Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport ter Evropskega socialnega sklada.

Izdala Silva Slovenica, založba Gozdarskega inštituta Slovenije, Ljubljana

Priprava za tisk: Reprostudio Etiketa, Tisk: Digitalni tisk Etiketa tiskarna, d.d.

1. izdaja, leto 2015, Naklada: 300 izvodov. Publikacija je brezplačna.





# **STRES DREVES v mestnem okolju**

Simon Poljanšek





## PREDGOVOR

Pomemben element mestnega okolja so tudi drevesa in grmovne vrste. Podobno kot drevesa v naravi rastejo drevesa v mestu pod vplivom različnih okoljskih dejavnikov, dodatno pa vplivajo na njihovo vitalnost in rast dejavniki, značilni le za mestno okolje. Povečini imajo ti dejavniki negativen vpliv na rast dreves. Za ukrepe, ki zmanjšujejo vpliv negativnih dejavnikov oziroma blažijo stres dreves in povečujejo uspehe pri delu z drevjem, se v zadnjih letih zanimajo tako lastniki dreves na zasebnih površinah v mestnem okolju kakor tudi koncesionarji, javna podjetja in občinske službe, katerih naloga je urejanje javnih površin. Vsem je torej skupna skrb za drevesa in zelene mestne površine. Tovrstna skrb za drevesa je pomembna, ker urbani gozdovi in mestno drevje igrajo nezanemarljivo vlogo pri blaženju klimatskih sprememb ter pri ohranjanju človeku prijetnega urbanega okolja. Za mestno okolje niso primerne vse drevesne vrste. Obstajajo sezname oziroma atlasi dreves in njihovih sort-podvrst, primernih za rast v mestnem okolju. V njih najdemo arboristična priporočila za izbor drevesne vrste, navodila in nasvete za sadnjo mladih dreves, obrezovanje, spremljanje vitalnosti in druge napotke ob ravnanju z mestnim drevjem. Predstavljena knjižica poskuša naštet in opisati dejavnike stresa, pojasniti njihovo delovanje na drevesa v mestnem okolju in na kratko razložiti, kako meriti stres dreves. Knjižica je nastala kot rezultat dela v okviru projektne spodbude, imenovane Mladi v gospodarstvu, s katerim sta Evropski socialni sklad in Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport finančno podprla doktorske projekte mladih raziskovalcev.



REPUBLIKA SLOVENIJA  
**MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,  
ZNANOST IN ŠPORT**



*Naložba v vašo prihodnost*

OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski sklad za regionalni razvoj  
Kohezniški sklad  
Evropski socialni sklad

## Kazalo

Predgovor	5
Kazalo	6
Kazalo slik	7
Uvod	8
Urbano gozdarstvo	9
Izbor drevesnih vrst	11
Pozitivne lastnosti dreves	16
Ekonomsko ovrednotenje dreves	17
Stres dreves	18
Merjenje stresa	19
Širine branik	21
Izotopi	23
Vodik (H)	24
Ogljik (C)	24
Kisik (O)	24
Merjenje izotopov	26
Izotopi v listih	26
Izotopi v branikah	27
Mestno okolje in stres dreves	29
Abiotski dejavniki okolja	29
Tla	30
Voda	33
Zrak	33
Svetloba	35
Toplota	36
Biotski dejavniki	37
Vplivi človeške dejavnosti	38
Stres ob presaditvi	38
Poškodbe korenin	40
Poškodbe skorje	42
Poškodbe krošnje	43
Soljenje	44
Zahvala	45
Literatura	46



## KAZALO SLIK

<b>Slika 1:</b> Javorji v waleškem mestu Swansea	11
<b>Slika 2:</b> Sredozemske vrste iglavcev parka v Barceloni	12
<b>Slika 3:</b> Zaradi močnega vetra odlomljena in padajoča veja v newyorškem parku (slika levo) in kasneje zaščiteno območje (slika desno)	13
<b>Slika 4:</b> Izdatno zalivanje novo posajenih limon v španskem mestu Sevilla	14
<b>Slika 5:</b> Odstranjevanje odmrlih dreves pomeni strošek za vzdrževalca oziroma lastnika	17
<b>Slika 6:</b> Prečni prerez lesa iglavca od skorje (levo) prek branik do stržena (desno)	22
<b>Slika 7:</b> Primer letne debelinske rasti lipe, ki je rastle pri bencinski črpalki ob Dunajski cesti v Ljubljani. Drevo je priraščalo skladno z rastnim oziroma starostnim trendom, kar prepoznamo po hitri rasti na začetku, nato pa zmanjševanje te rasti do poseka. Lipa je bila podrtja v poletnem viharju leta 2014.	22
<b>Slika 8:</b> Različni primeri ureditve tal okoli dreves	31
<b>Slika 9:</b> Rast korenin med in po tlakovanih površinah ob drevesu	32
<b>Slika 10:</b> V tujini varujejo drevorede palm namesto s škropljenjem pesticidov z vrečkami pesticidov, ki jih z vbodom obesijo na steblo, rastlina sama pa črpa tekočino.	37
<b>Slika 11:</b> Debla dreves ob saditvi lahko zaščitimo, ko dovolj zrastejo, zaščitno odstranimo.	39
<b>Slika 12:</b> Pred sončno pripeko in izsušitvijo s povojem zaščitena korenina drevesa na delovišču ob robu parka v Baslu, Švica	41
<b>Slika 13:</b> Poškodba skorje zaradi neprevidnega parkiranja	42
<b>Slika 14:</b> Obglavljeno drevo z adventivnimi poganjki	43

## UVOD

Pred sto leti sta v mestnem okolju živela dva, ob koncu tisočletja pa štirje od desetih prebivalcev Zemlje. V letu 2010 je prvič več ljudi živelo v mestih kot na podeželju. Po podatkih svetovne zdravstvene organizacije je trend povečevanja števila mestnih prebivalcev 60 milijonov na leto, zato bo do leta 2030 šest od desetih Zemljanov živelo v mestu (Organization W. H., 2010). Mesta se zato širijo na ruralna območja, hkrati pa znotraj centra urbanih površin naraščajo zahteve ljudi po naravnem, zdravem in zelenem mestnem okolju. K temu navorja tudi permakultura, torej sistem, ki poskuša v urbanem okolju, s posne-manjem vzorcev iz narave, ustvariti trajnostni življenjski prostor. Znano je, da bolj kot strogo urbano sprošča stres naravno okolje (Ulrich R. S. in sod., 1991). Med urban prostor, urejen z drevesi, štejemo privatne vrtove in dvorišča, pokopališča, parke, različne zelene pasove ob mestni infrastrukturi itd. To so večje ali manjše zelene površine v mestih ali zunaj strogega mestnega obroča, kjer človek načrtno sadi in vzgaja več vrst rastlin, od zeli do dreves. Tovrstne ureditve so znane že iz zgodovine. Eno izmed čudes starega sveta so viseči vrtovi Babilona. Ti v osnovi sicer naj ne bi bili viseči, ampak naj bi rastlinje rastle na sistemu takratnih teras v več nadstropjih. Na terasah se drevesa verjetno niso zasadila sama, ampak sta bila tako njihov izbor kot rast načrtovana. Podobno je sedaj, ko za določeno lokacijo v mestnem okolju načrtno izberejo drevesno vrsto, drevesa pa pripeljejo iz drevesnice. Pa so s strani človeka izbrana drevesna vrsta, lokacija in čas saditve najboljša izbira za drevo? Ali bodo drevesa uspevala v specifičnem okolju goste poselitve? Drevo mora v takem okolju rasti in kljubovati številnim negativnim dejavnikom, hkrati pa zagotavljati vse tiste funkcije, zaradi katerih smo to drevo izbrali. Te funkcije so ekološke (drevesa čistijo zrak, upočasnjujejo odtokanje padavinske vode), socialne (dajejo senco, so prijetna za pogled) in morebiti celo prehrabne funkcije (sadna in medonosna drevesa). Vse to lahko zagotavljajo le zdrava in vitalna drevesa, težje drevesa v stresu. S preučevanjem dejavnikov stresa, ki negativno vplivajo na drevesa in poznavanje odziva dreves, lahko z novo pridobljenim znanjem pomagamo razumeti delovanje in potrebe dreves v mestnem okolju ter s tem ohraniti posamezna drevesa ter se izogniti nepotrebnim stroškov sadnje novih zaradi prehitrega odmrtja predhodnih dreves oz. višjim stroškom vzdrževanja še rastočih dreves.

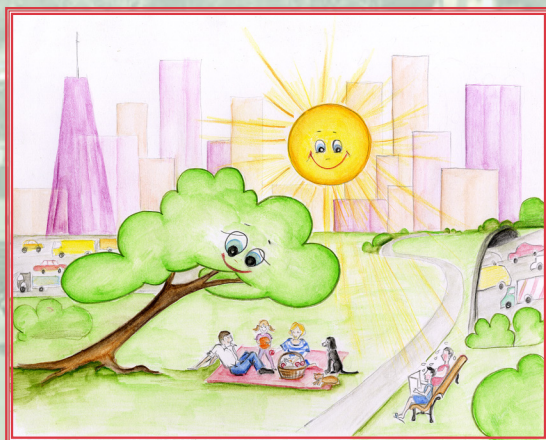




## URBANO GOZDARSTVO

Veliko potreb in želja mestnih prebivalcev je povezanih z zelenimi površinami mesta. Prebivalci si želijo površine za rekreacijo in sprostitev, hkrati pa morajo biti te površine estetsko privlačne. Predvsem v poletni vročini so z drevesi bogate zelene površine primeren kraj za preživljanje prostega časa. Zelene površine, kot so zelenice, drevoredi in parki, imajo poleti nižjo temperaturo ter višjo zračno vlažnost kot ulice, ki jih obdajajo (Whitlow T. H. in Bassuk N. L., 1988). Hkrati se pojavlja tudi čustvena navezanost na prostor, kjer uporabnik prostora doživlja notranji mir. Kot odgovor na vedno več zahtev ljudi po urejenem, zdravem urbanem gozdu se iz gozdarstva, krajinske arhitekture in upravljanja prostora počasi rojeva urbano gozdarstvo oziroma upravljanje z mestnim in primestnim gozdom in drevjem v mestu. Gozdarstvo je panoga, ki nadzira, spremlja in skrbi za ekološko, socialno in proizvodno funkcijo gozdov. Medtem ko je v večini gozdov poudarek na ekološki in proizvodni funkciji, prevladuje v urbanih gozdovih socialna funkcija. Slovenskim razmeram najbližja definicija urbanega gozda pravi, da zajema urban gozd gozdne površine, parke in druge gozdne vire, kjer so bolj kot funkcija pridobivanja lesa poudarjene socialne funkcije, lastnik pa je občina (Konijnendijk C. C., 2003). V nekaterih državah je urbano gozdarstvo že zelo razvito, kot na primer v nemškem zelenem mestu Freiburg, kjer 40 % površine mesta pokriva gozd. Medtem pa v drugih mestih, kot na primer v Beogradu z 12 % gozdne površine, urbanega gozdarstva še ni (Gudurić I. in sod., 2011). Je pa urbano gozdarstvo na primer dobro zastopano na fakulteti v Sarajevu, kjer imajo študentje na izbiro več z urbanim drevjem povezanih predmetov.

Z namenom zagotavljanja zelenega urbanega prostora čim večjemu številu deležnikov enakomerno po mestu velja priporočilo, da oddaljenost od kraja bivanja do zelenih drevesnih površin ne presega 1 km dolžine oziroma 15 min hoje. V Ljubljani na primer kar tri četrtine urbanih površin najdemo na razdalji, ki je krajša od 700 m do gozda, te razdalje pa so še manjše, če poleg gozda upoštevamo tudi parke in druge zelene površine z drevjem (Hladnik D. in Pirnat J., 2011). Mestna občina Ljubljana se, podobno kot Slovenija z gozdnatostjo, lahko pohvali z visokim, 56-odstotnim deležem zelenih površin, v njej pa prevladujejo zaplate gozdnih površin z majhno globino notranjega okolja, izjema sta le hriba Rožnik in Golovec. Več kot dve tretjini urbanih gozdnih površin Ljubljanskega območja pokrivajo prvotni gozdovi. To so gozdovi, ki oblikujejo vez med prebivalci in naravnim gozdnim ekosistemom (Hladnik D. in Pirnat J., 2011). Za primerjavo, Madrid na eni strani ima 5 %, Bratislava na drugi pa 60 %, medtem ko je evropsko povprečje 30 % zelenih površin v mestu (Konijnendijk C. C., 2003). Eden izmed razlogov za take razlike med mesti je med drugim tudi v strošku osnovanja in vzdrževanja zelenih površin. V območjih z majhno količino padavin, kamor spada Madrid, je v poletnih sušnih obdobjih težje oskrbovati mestno drevje kot v območjih z zmernim podnebjem, kjer pade zadostna količina padavin za rast več drevesnih vrst. Strošek vzdrževanja je zato v mestih zmernege pasu manjši, saj drevesa potrebno vodo pridobijo iz padavin in razpoložljive podtalnice. Za tovrstna območja sta značilna tudi naravna zasaditev in pomlajevanje mestnih dreves, kar dodatno zmanjša stroške vzpostavitve in oskrbe večjih površin mestnega drevja z veliko globino notranjega okolja.





## NAČRTOVANJE IN SADNJA DREVES

Drevesa v urbanem prostoru se širijo z naravnim pomlajevanjem, umetno vzpostavitvijo oziroma s saditvijo dreves in kombinacijo obojega. Raznolikost drevesnih vrst in delež naravno osnovanih dreves v mestih v svetovnem merilu sta odvisna od tega, ali mesto leži na travniščih oziroma v pasu savane, kjer je delež posajenih dreves večji, ali pa je locirano v zmernem pasu, kjer je delež sajenih dreves manjši (Nowak D. J., 2012). Na splošno vpliva na delež umetno osnovanih dreves tudi gostota poselitve. Brez umetnih nasadov in upravljanja se vrstna zastopanost v urbanem drevju bliža pionirskim in invazivnim drevesnih vrstam. Ker so te vrste v povprečju manjše rasti in dosegajo manjše starosti, je za doseg estetsko bolj privlačnih večjih, starejših dreves potrebno posredovanje človeka na področju upravljanja, oskrbovanja in vzdrževanja (Nowak D. J., 2012). Drevesa sadimo tudi tam, kjer želimo prav določeno drevesno vrsto, ali pa tam, kjer za naravno pomlajevanje ni možnosti. Sadike morajo biti vitalne, primerne velikosti in pripravljene za transport. Nenazadnje mora biti postopek saditve pravilno opravljen, saditvi pa sledita vzdrževanje in nega drevesa.



**Slika 1:** Javorji v waleškem mestu Swansea



**Slika 2:** Sredozemske vrste iglavcev parka v Barceloni

Ob izboru drevesne vrste je treba poznati in upoštevati primernost prostora v mestnem okolju, nekatere vrste zaradi svojih strupenih plodov niso primerne (Kačič K., 2011). Na izbiro vrste vplivajo lastnosti dreves, kot so najvišja višina drevesa, stabilnost v neurjih, kakšni so njegovi plodovi itd. Nekatere vrste niso primerne zaradi višin, ki jih dosegajo, in morebitne nestabilnosti ob poškodbah korenin ali slabo razvitega koreninskega sistema v zbitih tleh. Druge imajo agresiven koreninski splet, ki privzdiguje tlak ali cestno površino in vdira v starejše kanalizacijske in odtočne cevi. Hrast je na primer stabilno drevo, če ima pravilno razvejen koreninski sistem, ki pa ne prodira pod pločnike (D Amato N. E. in sod., 2002a). Spet nekaterih drugih vrst ni priporočljivo saditi v bližino vrtcev zaradi strupenih plodov, kot na primer tiso, ali zaradi bodic trnate gledičevke (*Gleditsia triacanthos*).





**Slika 3:** Zaradi močnega vetra odlomljena in padajoča veja v newyorškem parku (slika levo) in kasneje zaščiteno območje (slika desno)

Prednost v izboru imajo tudi drevesne vrste, bolj odporne proti napadom škodljivcev in okužbi gliv. Počasnejše širjenje in manj obsežne napade oziroma okužbe dosežemo z izogibanjem monokultur drevesnih vrst, oziroma z načrtovano vrstno pestrostjo urbanega drevja. Dodaten ukrep proti okužbam in napadom je tudi izbira odpornih genotipov drevesnih vrst. V naslednjih 50 do 100 letih se zaradi klimatskih sprememb pričakujejo bolj intenzivni in pogosti napadi oziroma okužbe (IPCC, 2013), dodatno pa bodo drevesa zaradi vročinskih stresov v prihodnosti še bolj izpostavljena različnim napadom žuželk in gliv (Solomon S., 2007).

Pri izboru drevesne vrste gre torej za iskanje najboljše kombinacije rastiščnih zahtev drevesne vrste in ekoloških lastnosti kraja saditve, tal in klime. Za rast v mestnem okolju na določeni zemljepisni širini niso primerne vse drevesne vrste. Ali izbrana drevesna vrsta prenaša nizke zimske temperature in poletne suše? Če je prevladujoči dejavnik sušni stres, potem izbiramo drevesa, ki so odporna proti suši. Vendar so taka drevesa praviloma tudi nižja in manjša, s tem pa je tudi manjši vpliv njihov pozitivnih lastnosti, kot na primer manjša senca, manj filtracije zraka, manj črpanja ogljika iz okolja in manj ustvarjenega kisika. So pa take drevesne vrste nezahtevne in cenejše za vzdrževanje v sušnih obdobjih leta kot vrste, ki potrebujejo večje količine vode ali gnojenje. Zato je v stresnih okoljih, kjer je sušni stres pričakovan, pomembno oceniti, katero drevo ima najboljše razmerje med stroški, torej porabo vode in ustvarjeno rastjo (McCarthy H. R. in sod., 2011). V mestu Los Angeles, ZDA, je večina mestnih dreves osnovana umetno, torej s saditvijo, njihov obstoj pa je podprt z namakanjem.

Brez dodatnega namakanja, ki sicer povzroča velike stroške, preživi le majhno število dreves. Tak način pa po drugi strani omogoči vrstno pestrost dreves. Njihove urbane gozdove zato sestavljajo drevesa iz raznolikih regij, kontinentov in habitatov (Pataki D. E. in sod., 2013).

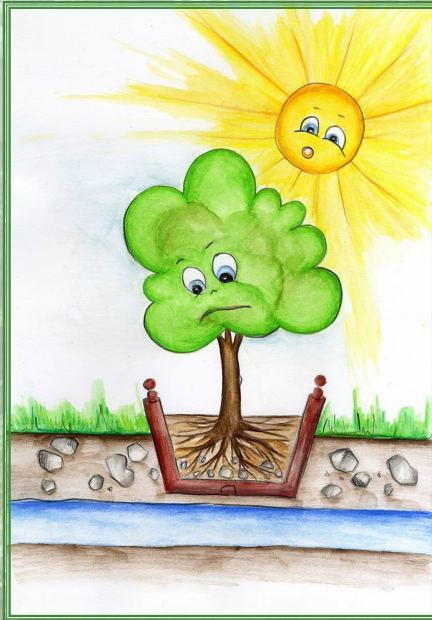


**Slika 4:** Izdatno zalivanje novo posajenih limon v španskem mestu Sevilla

Z razvojem mest se pojavlja potreba po razvoju trajnostnega urbanega gozdarstva s posebnim poudarkom na saditvi uličnih dreves. Sadike dreves zagotavljajo drevesnice z njihovo vzgojo iz semen ali potaknjencev različnih vrst. Ob končni izbiri drevesne vrste in drevesnice je treba sadike pravilno pripraviti na izkop, jih na ustrezen način prepeljati, na mestu saditve pa za sadike predhodno pripraviti tla. Dreves ne sadimo pregloboko, ker se drugače lahko zadušijo. Korenine naj se začno tik pod površjem, sicer doživi koreninski sistem stres in slabše razvija nove korenine (Roppolo D. J. J. in Miller R. W., 2001). Sadikam dreves naj se pripravijo tla z glinenimi kroglicami, torej glinenimi agregati, ki jih dobimo z žganjem gline v rotirajočih se bobnih. Glinene kroglice pospešujejo zračnost in izboljšujejo vodni režim tal. Dodatno se lahko uporabi še rečni prod, ki v tretjem letu po saditvi pospeši rast korenin v vodoravni smeri (Braun S. in Flückiger W., 1998). Za pospeševanje rasti manjših dreves priporočajo zalivanje, dodajanje hranil in manj intenzivno obrezovanje (Nowak D. J. in sod., 1990). O saditvi novih dreves je priporočljivo obvestiti bližnje prebivalce, nanje se lahko tudi naslovi prošnja za pomoč pri zalivanju (Roppolo D. J. J. in Miller R. W., 2001). Velikost sadik naj bo že od začetka omejena, koreninski sistem prav tako.



Z obrezovanjem drevja spreminjamo razmerje med krošnjo in koreninskim sistemom, zato koreninski sistem bolj učinkovito zalaga krošnjo z vodo. To je na primer opazno tudi v naravi, ko jeleni z objedanjem vej manjšajo velikost krošenj, rastlina zato lažje preskrbuje krošnjo, ki je manjša kot pri drevesih brez objedanja (Alstad K. P. in sod., 1999). Z obrezovanjem se drevo prilagodi razmeram ter na podlagi notranjega nadzora rasti uveljavi najboljše razmerje med podzemnim in nadzemnim delom (Čermák J. in sod., 2000).



## POZITIVNE LASTNOSTI DREVES

Zmanjšujejo toplotni učinek mest

Izboljšujejo urbano hidrologijo

Zadržujejo padavinsko vodo

Zmanjšujejo hitrost vetra

Iz zraka odstranjujejo trde delce onesnažil

Nižajo koncentracijo ogljikovega dioksida in višajo  
koncentracijo kisika

Zmanjšujejo hrupnost okolja

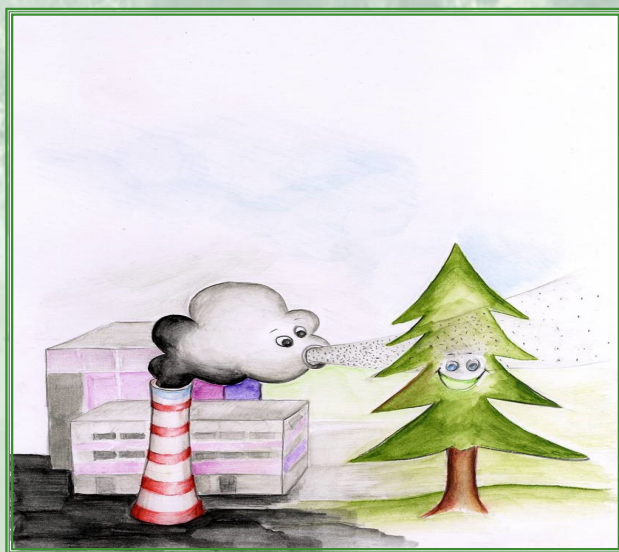
Po odstranitvi dreves se les uporabi za biomaso

Povečujejo biodiverzitetu mestnega okolja

Estetsko izboljšajo okolico

Višajo vrednost stavbnega zemljišča

Pozitivno vplivajo na psihologijo posameznikov





## EKONOMSKO OVREDNOTENJE DREVES

Mnoge lastnosti dreves, njihove pozitivne vplive in funkcije lahko ekonomsko ovrednotimo. Program, kot je STRATUM (Street Tree Resource Analysis Tool for Urban Forest Managers), pomaga oceniti strukturo, funkcijo in dobrine mestnega drevja (McPherson E. G., 2010). Program upošteva pozitivne lastnosti dreves, kakor tudi stroške vzpostavitve in vzdrževanja dreves. Vložek, investiran v drevo v mestnem okolju, se povrne nekajkrat v različnih dobrinah, ki jih drevo omogoča. To so prihranek pri energiji zaradi senčenja stavb v poletnih mesecih in nižanje temperatur zraka okolice, pridobivanje energije iz biomase, zmanjševanje delcev onesnažil v zraku in poraba CO<sub>2</sub>, zmanjševanje oziroma upočasnjevanje odtoka meteornih vod in s tem manjša obremenitev sistema odvodnjavanja ter višanje cen okoljskih nepremičnin zaradi estetske privlačnosti obkrožujočih dreves (Soares A. L. in sod., 2011). Z izgubo drevesa povezani stroški pa so strošek odstranitve odmrlega drevesa, strošek posaditve novega ter izguba pozitivnih lastnosti drevesa za obdobje, ko nova sadika pozitivnih vplivov še ne daje. Odmrtje drevesa v mestnem okolju in s tem prenehanje opravljanja ekoloških, socialnih in estetskih funkcij zato pomeni izgubo za prebivalce, kot tudi ekonomsko škodo za lastnika (ob predpostavki, da je vrednost pridobljenega lesa nižja od stroškov poseka odmrlega in saditve novega drevesa).



**Slika 5:** *Odstranjevanje odmrlih dreves pomeni strošek za vzdrževalca oziroma lastnika*

## STRES DREVES

Tako kot drevesa v naravnem okolju tudi drevesa v mestih ne rastejo vedno v optimalnem, temveč v stalno spreminjajočem se stanju okoljskih dejavnikov. Stres je vsak odmik od optimalnih razmer za rast, oziroma je stres vsak zunanji dejavnik, ki pospešuje neugodne vplive na rastlino in zmanjšuje njene preživitvene možnosti. Opredelimo ga glede na zmanjšanje produkcije biomase in rasti, sposobnosti preživetja ali upočasnitve asimilacijskih procesov. Stresni dejavnik lahko poimenujemo tudi tisti dejavnik, ki povečuje stroške preživetja. Pri stresu so pomembni moč, trajanje, pogostost ter kdaj stres nastane. V času sezonske rasti dreves ima stres večji vpliv kot po zaključku rasti, ko drevo koristi preostanek rastne sezone za proizvodnjo rezervnih snovi. Na stres se rastlina odzove z bojem proti stresu, ali pa svoje delovanje prilagodi novo nastalim življenjskim razmeram in se aklimatizira. To je fiziološki proces postopnega prilagajanja organizma spremenjenim razmeram v okolju. Proces omogoča preživetje oziroma prilagoditev novim razmeram. Vitalnost in priraščanje dreves sta v veliki meri pod vplivom specifičnih stresnih dejavnikov. Eden izmed teh dejavnikov je poletna suša. V odzivu na sušni stres bo rastlina zaradi pomanjkanja vode in preprečitve njene izgube zaprla listne reže. Ob nadaljevanju suše bodo listi oveneli, se zvili in posušili. Oveneli listi imajo manjšo osončeno listno površino, zato se površina rastline v sončni pripeki manj segreva. Pri tem gre za dodaten učinek porabe energije pri izhlapevanju vode, saj se z izhlapevanjem vode iz listnih rež drevo tudi ohlaja. Zaradi njihovih izjemnih velikosti lahko drevesa znotraj debla, vej in korenin hranijo velike količine hranil, energije in vode. Te zaloge uspešno izrabljajo v obdobju suše, drugega stresa ali ko je na primer po poškodbi treba obnoviti krošnjo ali koreninski sistem. V primeru, da je stres prehud za drevo, to začne odmirati, in če se stres še nadaljuje, drevo tudi odmre. V preučevanju vpliva dejavnikov stresa na rast dreves nas zanima, v kolikšni meri so različne dejavnosti ali poškodbe odgovorne za stres drevesa ter kako se drevo nanj odziva. Si drevo po hudi poškodbi opomore, ali pa je to le začetek počasnega nepovratnega procesa odmiranja? Odmrtje drevesa, čeprav se zdi hiter dogodek, je kompleksen in postopen proces z mnogimi faktorji vpliva, zato so tovrstne raziskave zahtevne in obsegajo študije priraščanja iz preteklih let, analize tal in zraka, delovanje listnega aparata, analize poškodb ter ranitev tkiv in še bi lahko naštevali.



## MERJENJE STRESA

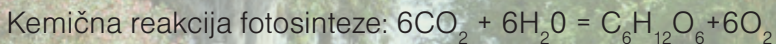
Za poznavanje odziva dreves na stres je potrebno najprej poznavanje delovanja dreves v, če lahko tako poimenujemo, normalnih rastnih razmerah. Tako lahko prepoznamo in primerjamo odmike od normalne rasti. Kljub temu je vpliv preučevanega dejavnika stresa včasih težko izmeriti. To se zgodi v primerih, ko ni kontrolnih dreves, ko je vpliv dejavnika prešibak za merljiv odziv dreves, če se variabilnost preučevanega dejavnika ujema z variabilnostjo drugega vplivnega dejavnika, ali pa skrajna možnost, ko drevo spremembe preučevanega dejavnika ne preživi. Ob preučevanju vpliva izbranega stresnega dejavnika je pomembno, da oblikujemo skupino prizadetih in skupino neprizadetih oziroma kontrolnih dreves. Priraščanje dveh skupin dreves oziroma njuni fiziologiji nato medsebojno primerjamo, razlike pa poskušamo pojasniti z vplivom preučevanega stresnega dejavnika. Primerjava dveh skupin dreves, torej prizadetih in neprizadetih, nam lahko da odgovor na vprašanje, zakaj nekatera drevesa preživijo, druga pa ne. Posamezna drevesa so lahko v stresu že več let, vendar se tega na samem videzu drevesa na začetku ne opazi. Stres povezujemo z manjšo asimilacijo hranilnih snovi in z manjšo rastjo dreves, zato lahko njihov vpliv spremljamo več let. Manjša debelinska rast se zabeleži v širini branik, stres pa je razviden tudi v izotopski sestavi branik ali listov. Na osnovi pregleda vzorcev zadostnega števila dreves in podatkov o dogodkih z vplivom na rast drevesa lahko mestni vzdrževalec sklepa, kateri dogodek, kdaj ter kako močno je vplival na odmrtnje drevesa.

Preden drevo odmre, se v določenih primerih lahko izmeri njegova slabša vitalnost. Drevesa v stresu razporejajo zalogo in hranilne snovi po sistemu drugače kot običajno, zato se na podlagi meritev pretoka omenjenih snovi spremlja odziv dreves. Najboljši čas za oceno splošnega stanja drevesa je tik preden odženejo brsti (Waring R. H., 1987). V tem času so količine ogljikovih hidratov in hranil v vejah, koreninah in debelih dober indikator potencialne rasti v prihodnji rastni sezoni, kakor tudi odziva na morebiten stres. Po hierarhiji dobijo prve zaloge hranil popki, novo nastali listi in nove korenine. Produkti fotosinteze iz tekoče rastne sezone bodo najverjetneje shranjeni v koreninah, krošnji in stebelu, sledita rast v debelino in proizvodnja obrambnih snovi (Waring R. H., 1987). Vrsten red in mesto shranjevanja rezervnih snovi sta v drevesih v stresu drugačna. Manjša rast v debelino glede na listno površino se povezuje z nezmožnostjo drevesa, da akumulira rezervne snovi ali da razvije obrambo.

Že rahel sušni stres zavira rast poganjkov, dlje časa trajajoča suša pa še dodatno zmanjša fotosintezo, količino shranjenih rezerv in sčasoma tudi količino listov v krošnji. Pri pripisovanju posledic stresa posameznemu dejavniku je potrebna previdnost. Simptomi pomanjkanja določenih snovi, izraženi v premeščanju snovi znotraj drevesa, so podobni simptomom prizadetosti zaradi suše. Neravnovesje hranil v drevesu je tudi posledica onesnaženega zraka ali človekovega delovanja. Odziv na pomanjkanje elementov in odziv na sušo sta podobna zato, ker tudi suša upočasni mineralno oskrbo organizma in s tem zmanjša drevesu razpoložljive količino mineralov. Ko drevesa rastejo, potreba po teh elementih narašča, povpraševanje lahko celo presega količino snovi, vrnjenih v tla z odpadom.

---

Drevo ustvari energijo in asimilate za rast in razvoj v procesu fotosinteze. To je fotokemična reakcija, v kateri se s pomočjo klorofila porabljata ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) in voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ), nastajata pa glukoza ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) in kisik ( $\text{O}_2$ ) kot stranski produkt. Kako aktivna bo fotosinteza, je odvisno od količine razpoložljive vode in talnih hranil, kvalitete svetlobe ter stanja in vitalnosti listov kot organov, v katerih fotosinteza poteka. Največkrat je rast omejena s tistim elementom, ki ga najbolj primanjkuje. To podaja Liebigov zakon minimuma.





## ŠIRINE BRANIK

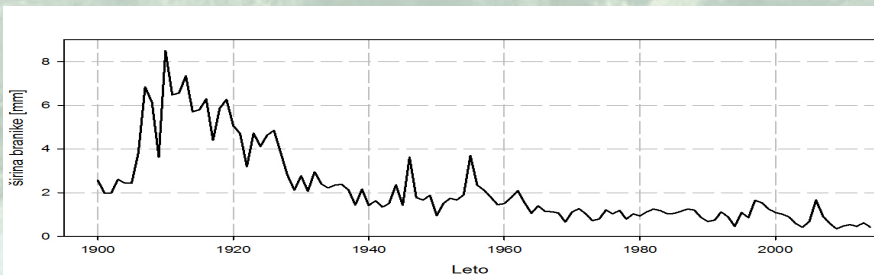
Lesnate rastline zmernega pasu prirastejo vsako leto, navadno po celotni višini rastline, eno novo plast lesa – braniko. Gledano na obseg rastline je to letni debelinski prirastek, v višino pa višinski prirastek. Navidezno mejo med dvema plastema oziroma branikama označuje letnica. Braniko si torej lahko predstavljajmo kot plašč, ki ga drevo vsako leto na novo ustvari pod skorjo na predhodnem, leto starejšem plašču. Z nalaganjem plaščev oziroma branik rastejo rastline v višino in debelino. S štetjem branik na prečnem prerezu debela, ali višinskih prirastkov po celotni višini drevesa, ugotovimo starost drevesa. V izjemnih primerih stresa se lahko zgodi, da drevo tvori braniko v zgornjem delu drevesa, v spodnjem pa ne. Najbolj pogosto branike vzorčimo na prsni višini, to je na višini 1,3 metra nad tlemi. Zaradi povečanega stresa, ki povzroči pomanjkanja energije, se lahko zgodi, da drevo na prsni višini ne prirašča več, medtem ko višje po deblu še prirašča (Helama S. in sod., 2012; Holopainen M. in sod., 2006). Tako lahko ob meritvi vzorcev branik s prsne višine napačno sklepamo, da je drevo odmrlo v letu zadnje branike na prsni višini, čeprav je bilo živo še kakšno sezono več.

Veliko več informacij kot samo starost dreves pa pridobimo z merjenjem širin in drugih lastnosti branik. S temi meritvami preučujemo vpliv klime, dejavnikov ožje in širše okolice ter slučajnih vplivov na rast in delovanje dreves. To področje dela pokriva znanost, imenovana dendrokronologija. Gre za preučevanje starosti in rasti dreves ter uporabo meritev različnih parametrov branik za preučevanje vpliva okoljskih faktorjev na rast in delovanje dreves. Pridobljeni rezultati se uporabljajo za raziskavo vpliva klime v preteklosti in sedanjosti, kvalitete lesa, produktivnosti rastišč, ali na primer vpliva gozdnogospodarskih ukrepov na rast dreves itd. Z meritvami širin branik kot matematično časovno vrsto lahko spremljamo priraščanje skozi čas in odvisnost rasti od dejavnikov kot na primer povprečna poletna temperatura ali količina padavin v mesecih, ki so za rast najpomembnejši.



**Slika 6:** Prečni prerez lesa iglavca od skorje (levo) prek branik do stržena (desno)

V času kambijeve aktivnosti, torej v času nastanka in rasti novih celic branike, bo ob pomanjkanju padavin branika ožja, v sezoni z dovolj vlage pa širša. Pomembna so tako posamezna vroča poletja kot tudi obdobje več nadpovprečno toplih let. Suše predhodnih let in tekmovalnost z drugimi drevesi za svetlobo, prostor in vodo povečujejo ranljivost osebkov. Drevesa, ki lažje premagujejo stres in jih manjša količina padavin manj prizadene, imajo manj značilen odziv na padavine (Helama S.in sod., 2012; Holopainen M.in sod., 2006). Starejša drevesa, ki zaradi več zaporednih suš odmirajo, bodo v primerjavi s preživelimi oziroma manj prizadetimi drevesi izkazovala manjše prirastke in manjšo odzivnost oziroma variabilnost širin branik. Odmirajoča mlajša drevesa pa bodo izkazovala večjo variabilnost širin branik oziroma večjo občutljivost za klimo (Ogle K. in sod., 2000).



**Slika 7:** Primer letne debelinske rasti lipe, ki je rasla pri bencinski črpalki ob Dunajski cesti v Ljubljani. Drevo je priraščalo skladno z rastnim oziroma starostnim trendom, kar prepoznamo po hitri rasti na začetku, nato pa zmanjševanje te rasti do poseka. Lipa je bila podrta v poletnem viharju leta 2014.



## IZOTOPI

Stres dreves opredelimo tudi z merjenjem razmerij med stabilnimi izotopi izbranih kemijskih elementov. Kaj so izotopi? Najmanjši del snovi, ki jih kemijo ne moremo več razdeliti, so atomi. Sestavlja jih atomsko jedro iz protonov in nevtronov, okoli njih pa krožijo elektroni. Atomi, ki imajo enako število protonov, predstavljajo isti element. Ob spremembi števila protonov dobimo drug atom. Če spremenimo število elektronov, se spremeni naboj atoma in dobimo drugačen ion. Če pa spremenimo število nevtronov, dobimo drug izotop. Izotopi so zato atomi istega elementa z različnim številom nevtronov v jedru. Zaradi razlik v številu nevtronov se izotopi med seboj razlikujejo v masnem številu, ki je definirano kot vsota protonov in nevtronov. Zaradi različnega masnega števila se izotopi ne vedejo povsem enako, rastline jih zaradi te razlike med sabo v določenih procesih razlikujejo. Kjer je razlika v atomski masi pomembna in kadar razmere omogočajo, posegajo rastline po lažjih izotopih. V zaostrenih razmerah, ko je rastlina v stresu in nima možnosti razlikovanja, pa rastline uporabijo in vgradijo tudi težje izotope. Razlikovanje oziroma diskriminacija med lažjimi in težjimi izotopi je omogočeno tudi zaradi same energije gibanja izotopov. V kinetičnih reakcijah lažji izotopi reagirajo hitreje, zato se v teh procesih tudi ločijo od težjih izotopov. To obnašanje imenujemo frakcinacija (ang. fractionation), to je ločitev težjih od lažjih izotopov med začetno snovjo in produktom (Dawson T. E. in sod., 2002), do nje pa pride zaradi razlik v fizikalnih lastnostih izotopov. Lažji izotopi tvorijo relativno šibkejše vezi, ki se lažje pretrgajo. Zato so lažji izotopi bolj aktivni in lažje prehajajo med stanji. Tudi kinetično se gibljejo hitreje, zato uspešneje prehajajo na primer skozi listne reže. Do frakcinacij pride v več delih rastlin, to je v listih, med transportom do kambija in v procesu nastajanja celične stene (Gessler A. in sod., 2009). Rezultat izotopske diskriminacije je izotopsko drugačna sestava produkta, kot je izvor izotopov, kakor so tudi različni deleži težjih izotopov v posameznem delu rastline. Kakšen bo delež med izotopi, vgrajenimi v rastlini, je odvisno od okoljskih razmer. Izotopska sestava oziroma razmerje med izotopi zato daje informacijo o fizikalnem, kemičnem in metaboličnem delovanju organizma ali snovnih tokov v okolju.

Izmed mnogih izotopov so v okoljskih študijah rastlin najbolj v uporabi izotopi vodika, kisika in ogljika.

## Vodik (H)

ima 3 izotope. Najpogostejši je izotop z maso 1 enote atomske mase (kar je enako masi 1/12 atoma ogljika), v jedru nima nevtrona in zato njegova masa znaša 1 zaradi protona – to je navadni vodik (ima 99,985-odstotni delež v naravi). Devterij (0,015-odstotni delež v naravi) ima v jedru en nevtron, dva pa tricij, ki pa obstaja le kot umeten izotop. Vodik se uporablja za preučevanje ekologije in hidroloških režimov ter za rekonstrukcije pretekle klime. Razlike med izotopsko sestavo vodika v podtalnici in v padavinski vodi na primer omogočajo preučevanja vira vode za rastline, torej ali rastlina v sušnem obdobju posega po podtalnici ali ne.

## Ogljik (C)

ima dva stabilna izotopa;  $^{12}\text{C}$  ima šest nevtronov in šest protonov,  $^{13}\text{C}$  pa en proton več kot  $^{12}\text{C}$ . 98,89-odstotni delež v naravi ima  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  pa okoli 1,1-odstotni. Razlika v masnem številu omogoča fizikalnim, kemičnim in biološkim procesom, da razlikujejo med njimi, kar vodi v edinstven okoljski signal. Njuno razmerje v rastlini je pod vplivom deleža težjega izotopa  $^{13}\text{C}$  v molekuli ogljikovega dioksida v atmosferi in dejavnikov, ki uravnavajo delovanje rastline. Samo nekateri izmed dejavnikov so na primer odprtost in druge lastnosti listnih rež, encimatski procesi v rastlini ter vlažnost tal, temperatura, osončenost in preskrba s hranili (Saurer M. in sod., 1995).

## Kisik (O)

ima tri naravne stabilne izotope; vsak ima osem protonov, vendar od 8 do 10 nevtronov, kar pomeni mase med 16, 17 in 18. Razlika v masi povzroči, da voda, sestavljena iz atomov vodika in lažjega izotopa kisika, lažje oziroma hitreje izpareva. To pomeni, da so padavine vedno izotopsko lažje kot talna voda, torej reke, morja in oceani. Kakšen delež težjega izotopa bo v zračni vlagi, je odvisno predvsem od toplote okolja. V hladnejšem bo proces izhlapevanja manj intenziven, zato bo imela para večji delež lažjih izotopov. V primeru visokih temperatur in intenzivnega izhlapevanja pa se bo delež težjih izotopov povečal. Obratno je pri ohlajanju in kondenziranju. Najprej se bo utekočinila para težjih izotopov. Izotopska sestava kisika v listu je bolj pod vplivom izotopa kisika molekule vode v kloroplastih kot pa molekule kisika ali ogljikovega dioksida iz zraka. Razmerje med  $^{16}\text{O}$  in  $^{18}\text{O}$  se uporablja v raziskavah okolja.



Variabilnost v izotopski sestavi je pod vplivom genetike in okoljskih vplivov, ki imajo vpliv na izmenjavo plinov med listom in okoljem skozi morfološke in fiziološke lastnosti odzivov rastlin.

Diskriminacija dreves med lažjimi in težjimi izotopi je odvisna od (Dawson T. E. in sod., 2002; Sparks J. in Ehleringer J., 1997; Warren C. R. in Adams M. A., 2000):

- vlažnosti tal,
- zračne vlažnosti,
- osvetljenosti krošnje,
- temperature zraka,
- razpoložljivosti hranil,
- vsebnost soli v tleh,
- atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub>,
- nadmorske višine.

Dalje vplivajo še morfološke značilnosti dreves, kot so:

- hidravlična prevodnost skozi ksilem,
- notranja upornost listov proti CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O,
- velikost listov,
- gostota listnih rež,
- višina krošnje,
- dolžina vej,
- genetika.

Tu pa so še vplivi:

- sosednjih dreves,
- rastišča,
- sestoja,
- dihanja tal itd.

## Merjenje razmerij med izotopi

V okoljskih študijah rastlin merimo najbolj pogosto izotope vodika, ogljika in kisika. Ker imajo izotopi posameznega elementa enake kemijske lastnosti, jih s kemijskimi reakcijami ne moremo razlikovati. Lahko pa jih, zaradi različne mase jedra oziroma zaradi razlik v številu nevtronov, prepoznamo s fizikalnimi postopki. Vzorec za analizo najprej pripravimo v laboratoriju, kjer ga stehtamo v pravih količinah ter kemijsko obdelamo oziroma odstranimo smolo in druge snovi, ki bi zmanjšale jakost preučevanega signala. Vzorec nato homogeniziramo oziroma poenotimo, posušimo in odmerimo. Tako pripravljeni vzorec v gorilni koloni ioniziramo, oziroma vzorec izgori pri visoki temperaturi. Pline, ki pri tem nastanejo, pošljemo v masni spektrometer, kjer se s pomočjo električnega in magnetnega polja izvede ločitev izotopov po masi. Tu posamezne atome pospešimo v gibanje po električnem polju, pri tem pa njihovo pot gibanja usmerimo mimo magneta. Odvisno od mase se smer iona odkloni oziroma zavije iz smeri gibanja. Na koncu poti je poseben film oziroma plošča, na kateri izotopi pustijo svojo sled. Analiza lokacij teh sledi predstavlja izmero razmerij med količino preučevanih izotopov.

### Izotopi v listih

Produkti fotosinteze nastajajo v listih pod vplivom trenutnih okoljskih dejavnikov. Nekaj teh produktov se takoj porabi za celično dihanje ali za rast lista ali poganjka, drugi produkti pa se transportirajo v druge dele rastline. Razmerje med izotopi ogljika ali vodika v produktih fotosinteze, predvsem v vodi topnih ogljikovih hidratov, kaže na vpliv okoljskih dejavnikov v času sinteze teh produktov. Tu gre za časovno dobo nekaj ur, zato je pomembno, da vzorčimo v času, v katerem nas zanima delovanje rastlin. Rezultati analize tako ponaazarjajo bolj ali manj stanje rastline v času vzorčenja. Če nas zanima delovanje rastline v sušnem stresu, vzorčimo poleti, ko je sonce najvišje na obzorju in je temperatura najvišja. Rastlina se na razmere v okolju odziva z odpiranjem ali zapiranjem listnih rež. Povišanje prevodnosti listnih rež pomeni hitrejšo izmenjavo večje količine plinov, ob zadosti količini vode tudi manj omejevanja fotosinteze in zato bolj aktivno rast. Bolj ko bodo listne reže odprte, večja bo preskrba z ogljikovim dioksidom, večja bo asimilacija na enoto listne površine in manjši bo delež težjih izotopov. Do največjega deleža težjih izotopov ogljika v listih pride ob zaprtih listnih režah ali pa v času noči oziroma zgodnjega jutra (Brandes E. in sod., 2006; Gessler A. in sod., 2009). Drevo listne reže zapre



ob pomanjkanju vode za fotosintezo in prevelikih izgub zaradi hlajenja listov. S tem se izogne izgubi vode iz medceličnih prostorov lista. Zaprta listna reža pomeni, da drevo ne more več izbirati med izotopi C, zato porablja tudi težje izotope  $^{13}\text{C}$ . Tako se njihov delež poviša. Dejavniki, ki vplivajo na odprtost listnih rež in stopnjo fotosinteze, so zato tudi tisti dejavniki, ki vplivajo na uspešnost prehajanja težjih izotopov skozi listne reže ter s tem na njihov delež v medceličnem prostoru lista.

Ob preučevanju razmerij med izotopi v listih je treba upoštevati, da so zaradi fizikalnih lastnosti izotopov razmerja med njimi različna že v naravi. Do dodatnih razlik pride med prodiranjem plinov skozi listne reže v notranjost lista, kajti na produkte fotosinteze ima velik vpliv odprtost listnih rež. Odprtost je tisti faktor, ki definira pretok ogljikovega dioksida in kisika med listom in okolico, oziroma omejuje gibanje težjim izotopom, kamor uspešneje vstopajo lažji in hitrejši izotopi  $^{12}\text{C}$ , v obratni smeri iz lista v okolje pa lažji izotopi  $^{16}\text{O}$ . Izotopi kisika se prav tako ločijo v listnih režah, le da v list pridejo kot molekule vode po prevodnem sistemu drevesa (Savard M. M., 2010). Pri črpanju vode s strani korenin ni razlikovanja med izotopi kisika, je pa voda v listu v primerjavi s talno vodo obogatena s težjim izotopom vodika, torej D, in pa s težjim izotopom kisika (McCarroll D. in Loader N. J., 2004).

### Izotopi v branikah

Celuloza je eden izmed glavnih gradnikov celične stene in s tem branik. Kot drugi produkti fotosinteze ima tudi celuloza specifično razmerje izotopov. Razmerje med lažjimi in težjimi izotopi se oblikuje pod vplivom mnogih dejavnikov v času sinteze teh produktov in kasnejšega transporta, sinteze in vgradnje v braniko. Večina produktov se v času rasti vgradi v braniko, predvsem ob koncu rastne sezone pa se nekaj teh produktov shrani kot rezervne snovi. Uskladiščne rezervne snovi se porabijo na začetku naslednje rastne sezone, in sicer že pred ali med olistanjem, saj novi listi še ne zagotavljajo dovolj energije za lastno rast ali delovanje rastline. V braniki je zato rani les, ki nastaja na začetku rastne sezone, pogosto pod vplivom shranjenih asimilatov iz predhodne rastne sezone.

Za raziskave sezonskih dejavnikov rasti se zato uporablja celuloza kasnega lesa, ki je bolj pod vplivom rastne sezone, v kateri je kasni les nastal, kot celuloza celotne branike.

Z merjenjem razmerij med izotopi v braniki lahko ovrednotimo, v kolikšnem stresu je bilo drevo v času sinteze celuloze, oziroma v kakšnih razmerah je branika nastala. S tem ovrednotimo okoljske razmere v času sezonske rasti. Stabilni izotopi v branikah tako kombinirajo dendrokronološke prednosti, kot sta merjenje podatkov na ravni sezone ter uporaba občutljivosti izotopov ogljika in kisika na vremenske in okoljske dejavnike določenega dela rastne sezone. Izotopski signal je opazen predvsem v produktih fotosinteze v listih, kasneje pa vgrajen v braniko, kjer ostane kot arhiv. Vendar pa variabilnosti vrednosti izotopov v braniki ne moremo direktno povezati z natančnimi datumi ali vremenskimi pojavi. Dolgoživost celic in odvisnost rasti od okoljskih dejavnikov kaže na sposobnost branik, da vgradijo okoljsko informacijo nekega daljšega časovnega obdobja. Dokler celice rastejo, oziroma dokler se gradi celična stena iz produktov fotosinteze tekoče sezone, se vgrajuje tudi okoljski signal.

Razmerja med izotopi so odsev stanja okoljskih dejavnikov, ki v času tvorbe produktov fotosinteze vplivajo na delovanje rastline. Rastline se nanje odzivajo z na primer različno stopnjo aktivnosti fotosinteze, odprtostjo listnih rež itd. Vsi ti odzivi dreves vplivajo na diskriminacijo izotopov kisika in ogljika. Ker se drevo odziva na dejavnike okolja, kot je na primer povprečna količina poletnih padavin oziroma zračna vlažnost, bodo ob pomanjkanju vode produkti fotosinteze in kasneje branika vsebovali signal stresa. Če združimo preučevanje širin branik in razmerij med izotopi, bomo v vročih in sušnih letih izmerili ozke branike ter višje vrednosti težjega izotopa  $^{13}\text{C}$ . Vsak faktor, ki vpliva na delovanje listnih rež, vpliva tudi na medcelični pritisk in posredno na izotopsko sestavo organskih produktov fotosinteze. Seveda signal iz listov ni popolnoma enak tistemu iz branik. Na izotope delujejo še druge snovi, kot na primer lignin in sladkorji iz floema, katerih vrednosti se skozi dan spreminjajo (Gessler A. in sod., 2009). Velja tudi opozoriti, da se nekateri izotopi kisika izmenjujejo z izvirno vodo, ki ni obogatena s kisikovimi izotopi v deblu ob nastajanju celuloze. Ta izotop se v procesu nastajanja celuloze s 40-odstotnim deležem meša z vodo iz prevodnih cevi, medtem ko se v primerjavi s sladkorji iz listov delež težkega izotopa C v deblu poveča (Gessler A. in sod., 2009).

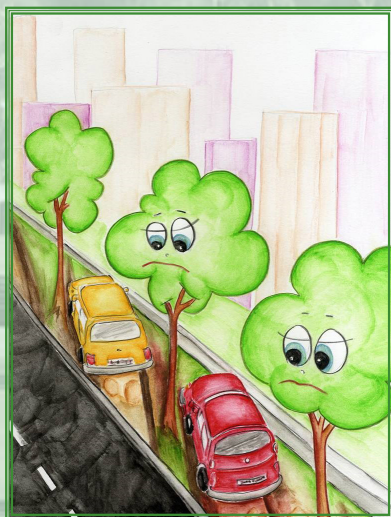


## MESTNO OKOLJE IN STRES DREVES

Podobno kot naravno okolje je tudi mestno okolje preplet različnih vplivov dejavnikov, kot so klima, tla, antropogeni faktorji itd. Od naravnih gozdov se najbolj razlikuje v tem, da v mestnem prostoru med drevesi ni tekmovalnosti, velikost rastnega prostora posameznega drevesa je navadno manjša, vrste so skrbno izbrane in povečini umetno osnovane. Večina dreves raste na ozki podolgovati zelenici med cestiščem in sprehajalno površino, razvoj njihovih krošenj pa je z ene strani omejena zaradi stavb. Predvsem pa se naravno in mestno okolje razlikujeta po vlogi in vplivu ljudi, ki je večji v mestnih kot naravnih gozdovih.

## ABIOTSKI DEJAVNIKI OKOLJA

Raznovrstnost drevesnih vrst v mestnem okolju navadno ni rezultat njihovih sposobnosti za poselitev omenjenega območja, temveč je njihova sestava rezultat načrtovane saditve dreves. Zato je pomembno vprašanje, s kakšnimi stresi se mlade sadike in kasneje odrasla drevesa srečujejo. Pri izboru drevesne vrste in primernosti prostora je treba upoštevati talne značilnosti in klimo, razpoložljivost svetlobe, vode ter hranil in nenazadnje primernost vrst. Dodatno je treba upoštevati še odpornost vrste proti boleznim, obrezovanju in poškodbam. Poleg dejavnikov okolja je zelo pomembna komponenta tudi socialni faktor. Mnoge raziskave so pokazale, da ima socialni status okolja velik vpliv na preživetje sadik dreves. Največ sadik preživi v bolj razvitem in urejenem delu mesta, medtem ko je v socialno manj razvitem, revnejšem delu mesta opaziti več poškodovanih in odmrlih sadik dreves.



## Tla

Tla so eden izmed najbolj pomembnih dejavnikov. So vir hranilnih snovi in vode, hkrati pa dajejo fizično oporo celotnemu nadzemnemu delu. Pomembne so vlažnost tal, zbitost in omejenost prostora v tleh ter onesnaženost tal. Vse naštetje lastnosti so med seboj močno povezane. Od gozdnih tal se mestna tla razlikujejo po marsičem. Med drugim po tem, da v mestnih tleh ni takšnega kroženja snovi in hranil kot v naravnih ekosistemih, predvsem to velja za tla v majhnih rastnih prostorih, celo koritih. Vejice, plodovi in jeseni odpadlo listje se pograbi ali pa ga odnese veter, zato se taka tla dolgoročno izčrpavajo. Drevesa je treba gnojiti, dodajati njim nujne hranilne snovi. V tleh je manj živali, ki bi skrbele za zračnost tal, zato so mestna tla navadno zbita in manj zračna, dostop korenin do nujnih snovi in zraka je zato otežen. Drevesa največkrat odmirajo zaradi kombinacije naštetih dejavnikov, pomembna pa je tudi velikost rastnega prostora.

## Vlažnost tal

Voda je gotovo eden izmed najbolj pomembnih omejujočih dejavnikov pri rasti urbanih dreves (Clark J. R. in Kjellgren R., 1990). Rastline zaradi omejenosti koreninskega sistema, zbitih tal in pokrivnosti tal z umetnimi površinami, ki preprečujejo pronicanje vode v tla, težje dostopajo do talne vode. Drevesa lahko odmrejo zaradi močnega sušnega stresa v vročih in sušnih poletjih, vendar prav tako odmirajo zaradi preveč vlažnih tal. V času padavin se v zbitih tleh zadržuje padavinska voda, ki zaradi zmanjšane propustnosti tal težje pronica do podtalnice. Količina zraka v tleh z večjim deležem vode se zmanjša, koreninam zato primanjkuje zračnosti in odmrejo. Drevo v takem primeru doživlja stres, podoben sušnemu, saj odmrla tanke korenine ne črpajo vode. Drevesa, rastoča v mokrih tleh, so nagnjena k manjši rasti, odmirajo jim veje ali pa je njihova rast manjša v primerjavi z drevesi, rastočimi na bolj suhih tleh (Berrang P. in sod., 1985).





**Slika 8:** *Različni primeri ureditve tal okoli dreves*

## Zbitost tal in omejenost prostora

Drevesa z več prostora imajo tako v tleh kot nad njimi več možnosti za rast in vitalnost, kar povezujemo z večjo zračnostjo tal in bolj učinkovitim črpanjem tako vode kot hranil (Berrang P.in sod., 1985). Značilnost mestnega okolja so plitva, zbita in s težkimi kovinami onesnažena tla ter majhen rastni prostor za korenine. Kjer so tla plitva in zbita, je večja verjetnost, da bodo rastline ob manjši količini padavin hitro v stresu. Tla so lahko zbita zaradi voženj z vozili po zelenih površinah ali odlaganja različnega materiala. Taka tla imajo manjša zračnost, povečajo se verjetnost, intenziteta in dolžina suše. Ob zbitih tleh je včasih rast korenin omejena še z betonskimi ovirami ali preplastitvijo površine tal z betonom ali asfaltom. Pri določenih drevesnih vrstah zato prihaja do privzdigovanja asfaltnih površin, korenine dreves tudi povzročajo razpoke v pločnikih, ceveh in temeljih. Ni znano, da bi drevo tvorilo koreninski sistem pod temeljem hiše, čeprav s posamezno korenino lahko prodre pod temelj (Čermák J.in sod., 2000). Pri vdorih v razpoke različnih sistemov gre za posebne, specifične primere, pri katerem je pomembna tudi dolžina koreninskega sistema, ki ga drevo razvije. Dolžina korenin je odvisna od drevesne vrste in rastnih razmer v zemlji. Ko drevesa dosežejo 25-30 cm premera debla, v polovici primerov pa že pri premeru med 10 in 25 cm, segajo njihove korenine skoraj 2 m od debla, zato lahko v tej razdalji pričakujemo vrivanje korenin pod pločnike, tlakovce in podobno (D Amato N. E.in sod., 2002a), predvsem pa na točkah, kjer se stikata dve betonski plošči pločnika ali kjer je nastala razpoka (D Amato N. E. in sod., 2002b).

Nekatera drevesa s koreninami vdirajo v cevne sisteme (betonske, kjer je sklop vsak meter cevi). Da se temu izognemo, izberemo drevesne vrste, ki so manj nagnjene k vdoru v cevni sistem (Östberg J. in sod., 2012).



**Slika 9:** Rast korenin med in po tlakovanih površinah ob drevesu

## Onesnaženost tal

Drevesa črpajo iz tal mnogo hranil in snovi, med drugimi tudi onesnažila (Bailouet J.-C. in sod., 2007). Nekatere drevesne vrste so pri črpanju določenih snovi iz okolja bolj aktivne, kar s pridom uporabljamo za fitoremediacije onesnaženih površin. Veliko evropskih mest je ohranilo gozdne površine z namenom varovanja vira pitne vode (Konijnendijk C. C., 2003), saj filtrirajo oziroma iz zraka odstranjujejo delce onesnažil. Med onesnaženost lahko štejemo tudi zimsko posipanje cest, pločnikov ter drugih podobnih površin. Pretirano soljenje omenjenih površin povzroča zasoljenost tal. Zaprtje listnih rež je tipično za posledice stresa zaradi soli. Diskriminacija izotopov se poveča s povečanim soljenjem okolja, kar nakazuje zmanjšanje medceličnega pritiska v listih z naraščajočim stresom (Farquhar G. D. in sod., 1989). Sledita manjša rast in več odmiranja vej (Berrang P. in sod., 1985). Vlažna, neodcedna tla so povezana tudi z višjo koncentracijo soli, saj se sol ne izloča iz zemlje, zato se v primeru kombinacije vlažnih tal in obstoječe soli težje loči glavni vzrok za smrt dreves. Še en primer onesnaženja je asfalt, ki poleg zračne neprepustnosti v okolje oddaja tudi strupene snovi asfalta. Drevesa, obdana s pločnikom, morda ne kažejo na spremembe v koreninskem sistemu, vendar so korenine, ki so bile v tleh že pred preplastitvijo ceste, kasneje pod asfaltom verjetno odmrle.



## Voda

Voda je drevesom na voljo kot podtalnica in kot padavinska voda. V primerjavi z gozdnim ekosistemom je potreba po vodi za drevesa v mestih povečana zaradi višjih temperatur, manjše zračne vlažnosti zraka v mestu ter hitrejšega izsuševanja zaradi pogostejših vetrov v mestih. Odzivi rastlin na pomanjkanje vode so številni in različni. Nekatere rastline se trudijo ohraniti tkiva hidrirana in se bojujejo proti suši. Druge se izogibajo vplivu suše s predhodnim dokončanjem sezonskega cikla, čemur sledi faza mirovanja. Nekatere vrste manjšajo vpliv suše z zmanjševanjem listne površine, tudi z vihanjem ali odpadanjem listov, spet druge izraščajo korenine v globino z namenom iskanja razpoložljive vode, ali pa prilagajajo osmotski pritisk oziroma vodni potencial. Glede na porabo vode delimo rastlinske vrste na tiste, ki z vodo varčujejo, in tiste, ki so zgolj njene porabnice. Varčevalke ne črpajo vse razpoložljive vode iz tal, prihranijo jo za čas nujnih razmer. Porabnice pa izčrpajo vso razpoložljivo vodo in jo s tem odzamejo drugim rastlinam. Količine porabljene vode niso zanemarljive. Večje drevo v mestnem okolju lahko v poletnem dnevu za transpiracijo porabi od 65 (drevo v senci) do 140 (osončeno drevo) litrov vode, oziroma 5 do 12 m<sup>3</sup> vode v rastni sezoni (Čermák J. in sod., 2000). Drevo z 2 m premera krošnje potrebuje 3 litre vode vsako uro (Whitlow T. H. in Bassuk N. L., 1988). V času povečane potrebe po vodi se zato zemlja okoli koreninskega sistema osuši, kar povzroči krčenje zemlje in spremembo njenih lastnosti. Drevo dopoldne zaradi transpiracije porablja vodo iz debla, ta zaloga pa se ponovno obnovi popoldne ali ponoči.

## Zrak

Drevesa v mestnem okolju izboljšujejo kakovost zraka s proizvodnjo kisika in z vezavo zračnih onesnažil. Iglasta drevesa so pri filtriranju zraka zaradi večje specifične površine iglic bolj učinkovita kot listavci. Poleg tega so iglavci večinoma zimzeleni in čistijo zrak tudi potem, ko listavci svoje liste že odvržejo, torej pozimi. Zrak v mestih vsebuje visoke koncentracije mnogih plinskih, fizičnih in fotokemičnih onesnažil (NO<sub>x</sub>, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in nekatere organske komponente) (Gregg J. W. in sod., 2003), ozona (O<sub>3</sub>), žveplovih in dušikovih oksidov (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) ter prašnih delcev. Ob kontaminaciji tal ali zraka lahko drevo skupaj z zrakom ali vodo črpa onesnažila v prevodni sistem in ga fiksira v braniko.

Rezultati raziskave sprememb v kemiji branik v sladkornem javorju, na gradientu od urbanega središča do podeželja (Watmough S. A. in sod., 1998), je pokazala, da na listni ravni dalj časa trajajoča izpostavljenost zračnim onesnažilom (ozon, žvepovi oksidi) znižuje prevodnost oziroma zračnost listnih rež ter s tem fotosintezo. Onesnažila vplivajo tudi na zgodnje staranje in prezgodnje odpadanje listov ter na zmanjševanje gostote listnih rež.

Ozon zmanjšuje fotosintezo in posledično tudi akumulacijo biomase. Ozon nastane s sončnim obsevanjem primarnih onesnažil, ki nastajajo v industrijskih delih mest. Od tam pa jih, odvisno od njegove prevladujoče smeri, raznaša veter, zato se najvišje koncentracije ozona navadno pojavljajo v smeri vetra v določeni razdalji od vira onesnaženja. Dodatno prihaja sredi dneva v mestnih središčih do presežnih enournih vrednosti ozona. Ozon je resna grožnja agronomiji in gozdarstvu, predvsem v okolici večjih virov onesnažil. Zmanjša se fiksacija  $\text{CO}_2$ , skrajša dolgoživost listov in spremeni lokacija ogljikovih atomov v rastlini. Kako zelo bo rastlina prizadeta, je odvisno od tega, koliko ozona bo prešlo skozi listne reže. Prizadetost je torej v odvisnosti od nadzora odprtosti listnih rež, ki pa je dalje odvisna od osvetljenosti-radiacije, temperature, vlažnosti zraka in tal. Ozon vpliva na prevodnost skozi listne reže s poškodbami celic listnih rež ali pa direktno z vplivom fiksacije  $\text{CO}_2$ . Večji ko bo stres, višje bodo vrednosti težjega izotopa ogljika. Je pa težko te vrednosti pripisati direktno ozonu, saj se ta pojavlja v kombinaciji z višjimi temperaturami in sušnimi razmerami.

Žvepovi in dušikovi oksidi povzročajo kronične poškodbe, kot so zpad klorofila in zmanjšana sposobnost listov za izmenjavo plinov, ter akutne poškodbe, kot je celična plazmoliza. Ob previsokih koncentracijah  $\text{SO}_2$ , ko torej presežejo določeno kritično vrednost, se fotosinteza zmanjša, odlaganje ogljika se spremeni, poveča se respiracija oziroma poraba energije (Savard M. M., 2010).

Prašni delci so prav tako pomembni kot druga onesnažila. Delci se odlagajo na listno površino in blokirajo sončne žarke ter ovirajo delovanje listnih rež in s tem fotosinteze. Zprašena drevesa največkrat opazimo v bližini gradbišč in neasfaltiranih prometnih površinah.



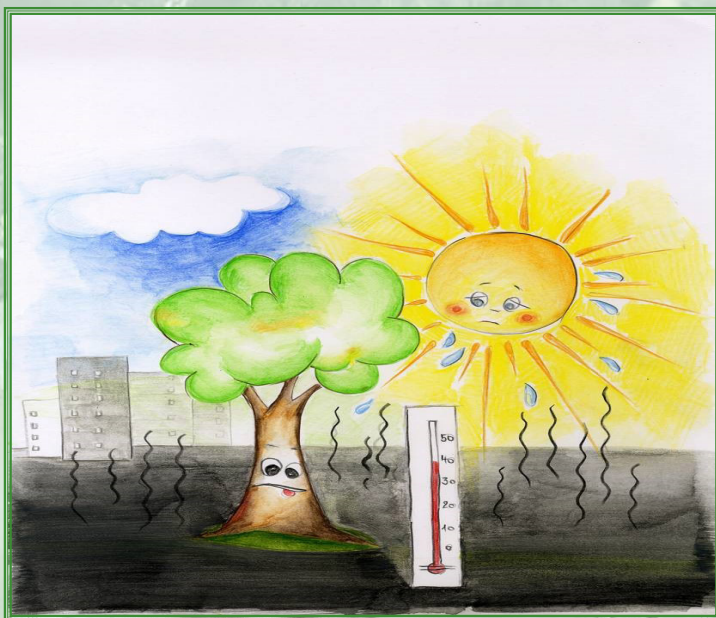
## Svetloba

Svetloba je nujno potrebna za proces fotosinteze. Ni pa vedno koristna oziroma ne deluje vedno pozitivno. Pozimi, na primer, sonce segreje površino skorje debla, ta pa se po sončnem zahodu hitro ohladi in zaradi temperaturne razlike razpoka. Poleti prav tako prihaja do temperaturnih razlik. Med osvetljenim in senčnim delom debla je lahko tudi do 25 °C razlike. V primeru preveč svetlobe in v kombinaciji s toploto pride tudi do ožiga listja, kakor tudi ožiga skorje na južni ali jugo-zahodni strani debla. Temu so najbolj izpostavljena mlada drevesa zaradi tanke skorje, ki ne zmore akumulirati toplote za počasno ohlajanje, prav tako pa tanko lubje ne more delovati kot dober izolator. Ožig skorje zato povzroči odmrtnje kambija. Do odmiranja pride v zimskem in poletnem času ter zaradi različnih vzrokov; poškodb, razpok zaradi gliv, napadov insektov, stresa in temperaturnih razlik. Poškodovana skorja je namreč bolj dovzetna za okužbe z glivami. Drevesa, ki rastejo povečini v senci, kot na primer na severnih straneh večjih in višjih stavb ali večjih kompleksov, imajo manj tovrstnih poškodb.



## Toplota

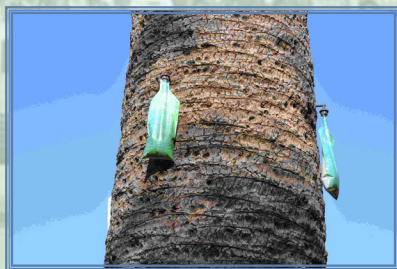
Fotosinteza pomeni za rastlino ustvarjanje energije, poraba te energije pa pomeni dihanje. Za rast je nujno, da je proces fotosinteze dolgotrajnejši in intenzivnejši od dihanja. Fotosinteza ne poteka ponoči, omejena pa je tudi podnevi pri visokih temperaturah. V poletni vročini, ko se temperatura zraka povzpne nad temperaturno kompenzacijsko točko, ko sta procesa fotosinteze in dihanja enako intenzivna, drevo porabi več energije, kot jo ustvari. V izjemno vročem okolju je torej drevo v stresu. Visoka temperatura listov oziroma iglic in majhna razpoložljivost vode lahko vodita v vročinski šok. To se dogaja predvsem poleti, ko krošnja drevesa prevzema neposredno sončno sevanje. Hkrati je v najtoplejšem delu dneva drevo obremenjeno še s toploto tal ter segrevanjem debla in krošnje. Temperatura na površini krošnje je višja, kot je temperatura na senčnih tleh, saj drevje znižuje temperaturo zraka in tal v senci krošnje. Temperatura osončenih tal lahko v globini 7 cm presega tudi 40 °C, v senci pa ta ne preseže 30 °C. Temperatura tal ima tudi močan vpliv na dnevne vrednosti respiracije tal (korenin) (Buchmann N. in sod., 1996). Poleti delujeta asfalt in beton kot hranilnika toplote, ki preprečujeta, da se okolica ponoči shladi. Učinek je poznan kot urbani toplotni efekt.





## BIOTSKI DEJAVNIKI

Vpliv abiotskih dejavnikov se mnogokrat povezuje z biotskimi, torej je vpliv neživih dejavnikov okolja močno povezan z dejavniki živega okolja. Drevesa se bojujejo proti skupnim in posameznim škodljivim vplivom žive ter nežive narave in bolj ko so izpostavljena stresnim dejavnikom nežive narave, težje se branijo pred napadi insektov in okužbami gliv. Za drevo neugodno stanje okoljskih dejavnikov je lahko odlično izhodišče za uspevanje njegovih škodljivcev. Na ugodne razmere za namnožitev insektov namreč pozitivno vplivajo temperatura, dovzetnost urbanega drevja za okužbe ter pomanjkanje plenilcev in parazitoidov. Tako bo na primer v času poletne suše več napadov kaplarjev, saj kaplarjem ustrezajo manjše količine padavin in predvsem višje temperature (Meineke E. K. in sod., 2013). Nekateri organizmi vstopajo v nepoškodovan drevesni sistem, spet drugi izkoristijo oslABLJENO obrambo dreves zaradi primarnih poškodb listja, skorje ali korenin. Pri poškodovanih drevesih so zato okužbe z glivami ali napadi insektov hitrejše in večkrat tudi usodne za drevesa. Za odmrtnje dreves so glive in insekti lahko primarni ali pa sekundarni vzrok. Patogeni organizmi imajo poleg abiotskih dejavnikov, kot je na primer onesnaženje, ključno vlogo v prezgodnjem upadu vitalnosti urbanih gozdov, zato je ob izbiri drevesnih vrst treba upoštevati tudi njihovo odpornost (Barber P. A. in sod., 2013). Okužbe z glivami na listnih površinah vplivajo tudi na asimilacijo CO<sub>2</sub>, zato drevo težje ustvarja hranila in energijo za rast in obrambo (Helama S. in sod., 2012). Nezanemarljiv pa ni niti urin psov. Vsebuje velike količine kalija, ki škoduje rasti drevesu (Berrang P. in sod., 1985), še posebej, če drevo raste v majhnem prostoru s plitkimi tlemi in je tarča stalnega označevanja teritorija s strani množice psov. Organizmi, ki ogrožajo mestna drevesa, so, z izjemo novejših eksotičnih oziroma tujih vnesenih vrst škodljivcev, sicer dobro znani gozdarjem, ki nadzor nad vitalnostjo dreves opravljajo tudi v mestnih gozdovih.



**Slika 10:** V tujini varujejo drevorede palm namesto s škropljenjem pesticidov z vrečkami pesticidov, ki jih z vbodom obesijo na steblo, rastlina sama pa črpa tekočino.

## VPLIVI ČLOVEŠKE DEJAVNOSTI

Drevo torej raste pod vplivom mnogih dejavnikov. Kot že omenjeno, se rast mnogih dreves v urbanem okolju začne s sadiko in pomoči človeka. Od tega trenutka dalje se drevo spopada z raznovrstnimi vplivi človeške dejavnosti, tako pozitivnimi kot negativnimi. Na stres občutljive sadike oziroma nova, mlada drevesa največkrat odmrejo zaradi nezadostne oskrbe z vodo, pomanjkanja hranil, vandalizma, zbitih tal ter mehanskih poškodb. Med mehanske poškodbe štejemo različne poškodbe korenin, stebela in krošnje ter presaditve in obrezovanja.

### Stres ob presaditvi

Skrbnemu izboru drevesne vrste in njenih morebitnih sort (Percival G. C. in sod., 2006) sledi presaditev sadike. Presaditev drevesa zajema izkop sadik iz tal drevesnice, transport na novo lokacijo in posaditev v pripravljeno luknjo. Drevesa se znajdejo v stresni situaciji zaradi obrezovanja krošnje in poškodb korenin ob izkopu, izsuševanja korenin med transportom ter sušnega stresa po posaditvi. Za blaženje stresa dreves, namenjenih presaditvi, je zato pomembna že vzgoja v drevesnici. Kako bodo sadike prenašale sušni stres po presaditvi, je povezano že z njihovo osvetlitvijo v drevesnici in na kakšen sušni stres so drevesa pripravljena. To se stori z ureditvijo razmerja biomas koreninskega sistema in krošnje. Drevo ob izkopu izgubi znaten del korenin, poleg tega se poškodujejo tudi tanke korenine s poudarjeno funkcijo črpanja vode. Zato polno razvite sadike z bogato krošnjo bolj trpijo sušo v zgodnjem obdobju presaditve kot drevesa, kjer se jim je s saditvenim rezom krošnja zmanjšala oziroma primerno obrezala (Fini A. in sod.). Drevo z nezadostno zmanjšano krošnjo porabi več vode, kot jo lahko koreninski sistem priskrbi, zato celice v koreninah izgubljajo vodo. Ko rastlinska celica izgublja vodo, se krči, in ko se krčijo korenine, se odmikajo od delcev tal in izgubljajo stik za črpanje vode. Poleg tega se ob odmiku od delcev tal poškodujejo tudi koreninski laski, ki sicer skrbijo za najučinkovitejše črpanje vode.

Razlike v preživetju novo sajenih sadik so tudi med različnimi velikostmi sadik (Roman L. in sod., 2013), kakor med različnimi izvajalci del. Največ umre manjših sadik, verjetno zaradi podcenjevanja sušnega stresa in premajhnih sadilnih jam. To sta tudi najbolj pogosti napaki izvajalcev. Zaradi saditev v premajhne sadilne jame izvajalci neredko posežejo kar v neprimerno manjšanje



koreninske bale. Posledice so slabša rast in razvoj sadike, težje črpanje hrane in občutljivost na sušo. Napaka je tudi nepravilna priprava substrata, ki vsebuje preveč humusa. Ob njegovem gnitju se v tleh sprošča do večine drevesnih vrst škodljiv metan. Poskrbeti je treba tudi za drevesni kolobar. To je prostor pod drevesom, ki naj bo nezaraščen in očiščen plevelov in trav. Ti namreč s sadiko tekmujejo za vodo (Šiftar A. in sod., 2011).

Večji delež preživelih sadik je tudi zabeležen v primerih, ko drevesa niso posajena v času obletnic, proslav, ceremonij. Te so običajno vezane na lepe, sončne dni, za sadiko pa je zaželeno, da je lepa, skoraj odraslo drevo. To pa pomeni, da bo posajeno v izjemen sušni stres, brez predhodne priprave krošnje oziroma obrezanih vej. Kakovost posajenega drevesa se izkaže z uspešnostjo vraščanja, kar se oceni konec julija. Stres ob presaditvi v povprečju izgine šele 5 let po presaditvi (Koeser A. in sod., 2013), zato je treba novo sajena drevesa v času suše zalivati vsaj dve poletni sezoni, preden se sadika ukorenini in ponovno okrepi poškodovani koreninski sistem. Do takrat se pokažejo vse druge napake pri sajenju, kot npr. napačno pripravljena sadilna luknja, neprimeren substrat, slaba kakovost sadike (Šiftar A. in sod., 2011). Če znakov stresa ni opaziti, pomeni, da si sadika sama zagotavlja dovolj vode za razvito krošnjo, prilagojena pa je tudi že na slabša, bolj zbita in bolj plitka urbana tla. Jelša se, na primer, prilagodi v 2-3 letih (Riikonen A. in sod., 2011).

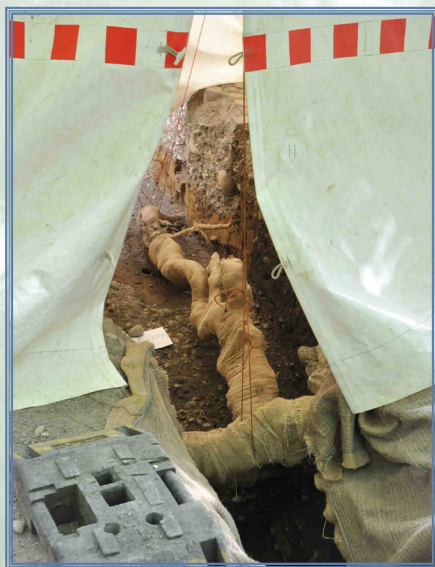


**Slika 11:** Debla manjših dreves lahko zaščitimo. Ko dovolj zrastejo, zaščito odstranimo.

## Poškodbe korenin

Korenine dreves se zaradi svoje rasti v dolžino in debelino sčasoma znajdejo v konfliktnih situacijah z bližnjimi pločniki, vozišči in podobno infrastrukturo (Randrup T. B. in sod., 2001). Ob napačnem načrtovanju kraja saditve, predvsem pa zaradi kasnejših posegov v prostor drevesa, kot je na primer ob kopanju jarkov za infrastrukturo (Jim C. Y., 2003), preplastitvi tal, vožnji z vozili po zelenih površinah in tako dalje, prihaja do mehanskih poškodb korenin. Umrljivost dreves zaradi poškodb korenin se nanaša na dobo 2-10 let po poškodbi. Pri poškodbah korenin gre za okrnjeno funkcijo črpanja vode in hranilnih snovi ter zmanjšanje stabilnosti drevesa. Ob dejavnostih, ki vplivajo na koreninski sistem dreves, pa ne pozabimo tudi na spremembe v vodnem režimu ter zbitosti tal. Gradbena dela ob drevoredih bolj poškodujejo večja odrasla kot mlajša drevesa. Razlog je v tem, da ima večje drevo bolj razvit in razširjen koreninski sistem, zato se ob postavitvi pločnikov in cevovodov poškoduje hitreje kot pa manjši koreninski sistem novo sajenih dreves. Drevesni koreninski sistem se hitro krajša v oddaljenosti 1,5-2 m od debla, zato imajo dela v oddaljenosti 2-3 m od debla manj negativnega vpliva (Koeser A. in sod., 2013). Za določitev razdalje od debla do jarka se kot smernice uporabljajo širina krošnje ter višina in premer drevesa (Watson G. W., 1998). Poškodba posamezne močnejše korenine že zmanjša stabilnost drevesa. Moč, ki jo potrebujemo, da drevo nagnemo za 1 stopinjo iz vertikalnega položaja, se zmanjša za 12 %, če poškodujemo eno korenino (Smiley E. T., 2008). Stabilnost se prav tako zmanjša s kopanjem jarka ob drevesu na razdalji, ki je manjša od 3 premerov stebela. Več ko bo poškodovanih korenin, oziroma intenzivnejše bo kopanje jarkov čez korenine, bolj in dalj časa bo zmanjšano priraščanje. Če je koreninski sistem poškodovan s treh strani, pa lahko drevo že odmre (Watson G. W., 1998). Ob sanaciji poškodb korenin se opravi podobno obrezovanje krošnje kot ob presaditvi. Gre za zmanjšanje stresa z uravnoteženjem velikosti krošnje z velikostjo nepoškodovanega koreninskega sistema. Tako dejanje najbolj pomaga pri največjih poškodbah koreninskega sistema, hkrati pa izboljša rast vejic in vej.





**Slika 12:** *Pred sončno pripeko in izsušitvijo s povojem zaščiteni korenina drevesa na delovišču ob robu parka v Baslu, Švica*



## Poškodbe skorje

Skorja štiti drevo pred glivami ter napadi žuželk in rastno tkivo pred izsušitvijo. Vsaka poškodba skorje kaže na mesto vdora tujega organizma, zato je pomembno, da drevo čim bolj ustrezno zaščitimo. Pogoste poškodbe nastanejo zaradi strojne košnje trave, nepazljivega parkiranja avtomobilov ali celo prometnih nesreč, med tovrstne poškodbe pa štejemo tudi nepravilno nastavljene opore novo sajenih dreves. Ta drevesa previsoko ali prenizko opirajo, ali pa so iz neustreznih materialov, žic, trakov (Šiftar A.in sod., 2011). Med poškodbe štejemo tudi stiskanje debla drevesa oziroma zaraščanje debla v obroč, ki so bili sprva namenjeni zaščititi in privezu. Socialno okolje okoli dreves je prav tako pomembno kot fizikalno okolje. Odmiranje novo sajenih dreves na ulicah se ni razlikovalo med drevesnimi vrstami, je pa odmiranje v tesni povezavi z deležem nezaposlenih, največ odmrlih dreves je v socialno manj razvitem delu mesta (Nowak D. J.in sod., 1990). V povprečju odmre v prvem letu 18 % sadik, do drugega okoli tretjina, v treh letih pa do 40 % sadik. V javnih parkih in ob strnjenih bivališčih je odmrlo do 50 % dreves, medtem ko je ta delež 24 % v okolici enodružinskih hiš. To lahko povežemo s tem, da se nezaposleni iz bolj poseljenih ulic več gibljejo na ulicah, več časa preživijo na prostem, so bolj aktivni na ulici in se verjetno tudi več vozijo z avtomobili ter predajajo vandalskemu početju (Nowak D. J.in sod., 1990). Večja drevesa se lažje uprejo vandalizmu, saj jih je težje poškodovati. Kletke sicer zmanjšajo vandalizem in varujejo manjša drevesa, vendar se ob vetrovnih dnevih drevo s skorjo zadeva in brusi ob kovino. Pomembno pa je tudi, da imajo drevesa v strnjenih poselitvah precej manjši rastni prostor, in čeprav velikost sama ne vpliva na umrljivost, manjši rastni prostor vsekakor vodi v bolj stresno rastno okolje.

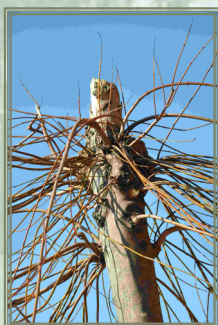


**Slika 13:** Poškodba skorje zaradi neprevidnega parkiranja



## Poškodbe krošnje

Velikost in vitalnost krošnje vplivata na priraščanje v debelino. Ob opazovanju drevesa so poškodbe krošnje in osutost listja največkrat prvo, kar opazimo. Poškodbe krošnje nastanejo zaradi napačnega in preveč agresivnega obrezovanja ali obžagovanja vej in drugih metod drevesne nege, poškodbe še dodatno povzročajo vetrolom, snegolom in žledolom. Povsem neprimerno je tako imenovano obglavljanje dreves, ko s prepoznim obrezovanjem želimo nadoknaditi zamujeno tako, da odrežemo že predebele veje ali celo vrh stebila. Najpogosteje se drevesa obžaguje zaradi estetike, oskrbe poškodb ali stabilizacije oz. razbremenitve krošnje. Z obrezovanjem tudi vzdržujemo obliko debla in krošnje ter določamo ogrodje rastline oz. arhitekturo rasti. Redčenje dveh tretjin krošnje rezultira v manjši radialni in višinski rasti tudi 2 leti po redčenju, kljub temu da obrezovanje poveča fotosintetsko aktivnost ostale krošnje (Maurin V. in DesRochers A., 2013). So pa obrezana drevesa bolj odporna proti suši, saj se listna površina glede na enak koreninski sistem zmanjša. Po tem principu z redčenjem krošnje pripravimo sadike na presaditev. Prepozno poseganje v krošnjo z namenom obrezovanja je napačno. Pravilo je, da se ob enkratnem obrezovanju volumen krošnje ne zmanjša za več kot 15 %. Če to presežemo, govorimo o obglavljanju drevesa. Ko veja preseže premer 10 cm, je obrezovanje lahko usodno; krošnji uniči obliko ter drevo izpostavi boleznim in škodljivcem (Šiftar A.in sod., 2011). Poznana sta bila dva načina obrezovanja, pri katerih se loči ali z obrezovanjem vej odstrani tudi del debla ob veji, tako imenovani ovratnik veje-nabrekli no okoli vej, ali pa se del vej ohrani tako, da štrclj vej še nekoliko štrli čez ravnino debla. Glavna razlika med rezoma je torej ta, da se v prvem primeru zareže tudi v samo deblo, pri drugem pa ne. Seveda je zaradi manj agresivnega obrezovanja in manjših poškodb bolj v uporabi način, pri katerem se poseže le v vejo in nič v deblo.



**Slika 14:** *Obglavljenno drevo z adventivnimi poganjki*

## Soljenje

Odziv dreves na sol v tleh je biotski, a ker so močno presežene koncentracije soli v tleh mestnega okolja predvsem posledica človekovih dejavnosti, je sol umeščena med abiotske dejavnike. Naravno se lahko pojavlja v tleh obmorskih krajev zaradi bližine morja in valov, od koder jo kapljično raznašajo vetrovi. Na sušnih območjih se sol v tleh kopiči tudi zaradi namakanja tal in izhlapevanja vode. Bolj pogosto pa sol vstopa v mestno okolje zaradi pretiranega soljenja cest v zimskem času. Natrij, ki izhaja iz soli (NaCl), v tleh pogosto zamenja kalcij in s tem ruši strukturo tal. Tla postanejo zbita, zmanjšata se raven kisika in aktivnost mikroorganizmov (Townsend A. M., 1980). Sol je nevarna predvsem tam, kjer se zbira odtokla voda s cestnih površin. Natrijevi in kalcijevi ioni, ki s škropljenjem s ceste preidejo na rastlino, predrejo skozi skorjo, liste in popke. Povečana slanost ima več metaboličnih učinkov, najbolj tipičen je zaprtje listnih rež. Ker je koncentracija soli, ki vodo zadržuje, v zemlji velika, je rastlina ne more črpati iz zemlje, zato lahko rastlina vodo celo izgublja. V rastlino že absorbirana sol je nakopičena v medceličnem prostoru, kamor iz celic privlači vodo, kar dodatno izsušuje rastlinske celice in povzroča venenje rastline (Dirr M. A., 1976). Če se soljenje opravlja več let zapored, sledijo rumenenje, rjavenje listov, prezgodnja jesenska obarvanost in odpadanje listov, odmiranje vejic in kasneje vej, zmanjša se rast (Townsend A. M., 1980). Največ poškodb zaradi soli opazimo na strani ob cesti, v smeri vetra od ceste, z oddaljenostjo od ceste pa te poškodbe izginjajo. Drevesa, prizadeta od soli, rastejo slabše tako v debelino kakor v višino, imajo znatno krajše iglice in do 20-krat višjo vsebnost kloridov (Levanič T. in Oven P., 2002). Proizvodna sposobnost rastišča je pri prizadetih drevesih zelo slabo izkoriščena. Rastline z manjšo zimsko odpornostjo so bolj prizadete (Dirr M. A., 1976), poleg tega pa ni nujno, da so vrste enako odporne proti soli v tleh in škropljenju s soljo (na primer ob pluženju cest). Med vrste, odporne proti soljenju, štejemo na primer *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Elaeagnus angustifolia*, *Gleditsia triacanthos Inermis*, *Moms alba*, *Populus alba*, *Quercus alba*, *Quercus rubra*, *Pinus thunbergii*, *Robinia pseudoacacia*, *Tamarix pentandra*, med slabo odporne pa *Acer rubrum*, *Fagus sylvatica*, *Pinus strobus*, *Tsuga canadensis* (Dirr M. A., 1976). Drevesom v stresu zaradi soli pomaga, če jih obrežemo, pognojimo in zalivamo.





## ZAHVALA

Publikacija je nastala v okviru projekta Preučevanje stresa dreves v mestnem okolju. Projekt je bil finančno podprt s strani Evropske unije (EU) - Evropskega socialnega sklada in Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport v okviru razpisa Spodbujanje raziskovalcev na začetku kariere in uresničen v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije in podjetjem Tisa d.o.o. Namen raziskovalnega projekta je bil prepoznati faktorje stresa, ki delujejo na rast dreves v mestnem okolju, analizirati rast dreves, ki so zaradi negativnih dejavnikov mestnega okolja odmrla, in prepoznati glavni dejavnik za odmrtnje drevesa. V kratkem časovnem obdobju financiranja se je nabrala velika količina informacij in rezultatov, še največ pa izkušenj. Avtor se najlepše zahvaljujem podjetju Tisa d.o.o. za pomoč pri zbiranju materiala za analize, Mestni občini Ljubljana za dovoljenje vzorčenja dreves, Ministrstvu za zunanje zadeve za dovoljenje uporabe elektronskih dendrometrov na njihovih drevesih, tehničnim sodelavcem Gozdarskega inštituta ter vodji oddelka za hitri pregled nastale publikacije.

## LITERATURA

- Alstad K. P., Welker J. M., Williams S. A., Trlica M. J. 1999. Carbon and water relations of *Salix monticola* in response to winter browsing and changes in surface water hydrology: an isotopic study using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ . *Oecologia*, 120, 3: 375-385
- Balouet J.-C., Oudijk G., Smith K. T., Petrosi I., Grudd H. in sod. 2007. Applied Dendroecology and Environmental Forensics. Characterizing and Age Dating Environmental Releases: Fundamentals and Case Studies. *Environmental Forensics*, 8, 1-2: 1-17
- Barber P. A., Paap T., Burgess T. I., Dunstan W., Hardy G. E. S. J. 2013. A diverse range of Phytophthora species are associated with dying urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 4: 569-575
- Berrang P., Karnosky D. F., Stanton B. J. 1985. Environmental factors affecting tree health in New York City. *Journal of Arboriculture*, 11, 6: 14
- Brandes E., Kodama N., Whittaker K., Weston C., Renneberg H. in sod. 2006. Short-term variation in the isotopic composition of organic matter allocated from the leaves to the stem of *Pinus sylvestris*: effects of photosynthetic and postphotosynthetic carbon isotope fractionation. *Global Change Biology*, 12, 17
- Braun S., Flückiger W. 1998. Soil amendments for plantings of urban trees. *Soil and Tillage Research*, 49, 3: 201-209
- Buchmann N., Kao W. Y., Ehleringer J. R. 1996. Carbon dioxide concentrations within forest canopies—variation with time, stand structure, and vegetation type. *Global Change Biology*, 2, 5: 421-432
- Clark J. R., Kjelgren R. 1990. Water as a limiting factor in the development of urban trees. *Journal of Arboriculture*, 16, 8: 6
- Čermák J., Hruška J., Martinková M., Prax A. 2000. Urban tree root systems and their survival near houses analyzed using ground penetrating radar and sap flow techniques. *Plant and Soil*, 219, 1-2: 103-116
- D Amato N. E., Sydnor T. D., Hunt R., Bishop B. 2002a. Root growth beneath sidewalks near trees of four genera. *Journal of Arboriculture*, 28, 6: 283-290
- D Amato N. E., Sydnor T. D., Kneen M., Hunt R., Bishop B. 2002b. Which comes first, the root or the crack? *Journal of Arboriculture*, 28, 6: 277-282
- Dawson T. E., Mambelli S., Plamboeck A. H., Templer P. H., Tu K. P. 2002. Stable isotopes in plant ecology. *Annual review of ecology and systematics*, 33, 1: 507-559
- Dirr M. A. 1976. Selection of trees for tolerance to salt injury. *Journal of Arboriculture (USA)*,
- Farquhar G. D., Ehleringer J. R., Hubick K. T. 1989. Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 1: 503-537
- Fini A., Ferrini F., Di Ferdinando M., Brunetti C., Giordano C. in sod. Acclimation to partial shading or full sunlight determines the performance of container-grown *Fraxinus ornus* to subsequent drought stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 0:
- Gessler A., Brandes E., Buchmann N., Helle G., Renneberg H. in sod. 2009. Tracing carbon and oxygen isotope signals from newly assimilated sugars in the leaves to the tree-ring archive. *Plant, Cell & Environment*, 32, 7: 780-795
- Gregg J. W., Jones C. G., Dawson T. E. 2003. Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. *Nature*, 424, 6945: 183-187
- Gudurić I., Tomičević J., Konijnendijk C. C. 2011. A comparative perspective of urban forestry in Belgrade, Serbia and Freiburg, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 4: 335-342
- Helama S., Läänelaid A., Raisio J., Tuomenvirta H. 2012. Mortality of urban pines in Helsinki explored using tree rings and climate records. *Trees*, 26, 2: 353-362
- Hladnik D., Pirnat J. 2011. Urban forestry—Linking naturalness and amenity: The case of Ljubljana, Slovenia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 2: 105-112
- Holopainen M., Leino O., Kämäri H., Talvitie M. 2006. Drought damage in the park forests of the city of Helsinki. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 2: 75-83
- Jacovides C. P., Timblos F., Asimakopoulos D. N., Steven M. D. 1997. Urban aerosol and clear skies spectra for global and diffuse photosynthetically active radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87, 2-3: 91-104
- Jim C. Y. 2003. Protection of urban trees from trenching damage in compact city environments. *Cities*, 20, 2: 87-94
- Kačič K. 2011. Za človeka nevarne lesnate rastline v Ljubljani. Diplomsko delo. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. 50 str.
- Koeser A., Hauer R., Norris K., Krouse R. 2013. Factors influencing long-term street tree survival in Milwaukee, WI, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 4: 562-568
- Konijnendijk C. C. 2003. A decade of urban forestry in Europe. *Forest Policy and Economics*, 5, 2: 173-186
- Levanič T., Oven P. 2002. Prirastne in anatomske značilnosti rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.), izpostavljenega solem za posipanje cestnišč. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 69, 237-258



- Maurin V., DesRochers A. 2013. Physiological and growth responses to pruning season and intensity of hybrid poplar. *Forest Ecology and Management*, 304, 0: 399-406
- McCarroll D., Loader N. J. 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23, 7-8: 771-801
- McCarthy H. R., Pataki D. E., Jenerette G. D. 2011. Plant water-use efficiency as a metric of urban ecosystem services. *Ecological Applications*, 21, 8: 3115-3127
- McPherson E. G. 2010. Selecting reference cities for i-Tree Streets. *Arboriculture & urban forestry*, 36, 5: 230-240
- Meineke E. K., Dunn R. R., Sexton J. O., Frank S. D. 2013. Urban warming drives insect pest abundance on street trees. *PLoS one*, 8, 3: e59687
- Nowak D. J. 2012. Contrasting natural regeneration and tree planting in fourteen North American cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, 4: 374-382
- Nowak D. J., McBride J. R., Beatty R. A. 1990. Newly planted street tree growth and mortality. *Journal of Arboriculture*, 16, 5: 5
- Ogle K., Whitham T. G., Cobb N. S. 2000. Tree-ring variation in pinyon predicts likelihood of death following severe drought. *Ecology*, 81, 11: 3237-3243
- Organization W. H. 2010. *World health statistics 2010*. Waddell T. (ur) Francija, World Health Organization: 177 str.
- Östberg J., Martinsson M., Ståhl Ö., Fransson A.-M. 2012. Risk of root intrusion by tree and shrub species into sewer pipes in Swedish urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, 1: 65-71
- Pataki D. E., McCarthy H. R., Gillespie T., Jenerette G. D., Pincetl S. 2013. A trait-based ecology of the Los Angeles urban forest. *Ecosphere*, 4, 6: art72
- Percival G. C., Keary I. P., Al-Habsi S. 2006. An assessment of the drought tolerance of *Fraxinus* genotypes for urban landscape plantings. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5, 1: 17-27
- Randrup T. B., McPherson E. G., Costello L. R. 2001. A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs, and roads. *Urban Ecosystems*, 5, 3: 209-225
- Riikonen A., Lindén L., Pulkkinen M., Nikinmaa E. 2011. Post-transplant crown allometry and shoot growth of two species of street trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 2: 87-94
- Roman L., Battles J., McBride J. 2013. The balance of planting and mortality in a street tree population. *Urban Ecosystems*, 1-18
- Roppolo D. J. J., Miller R. W. 2001. Factors predisposing urban trees to sunscald. *Journal of Arboriculture*, 27, 5: 8
- Saurer M., Siegenthaler U., Schweingruber F. 1995. The climate-carbon isotope relationship in tree rings and the significance of site conditions. *Tellus B*, 47, 3: 320-330
- Savard M. M. 2010. Tree-ring stable isotopes and historical perspectives on pollution – An overview. *Environmental Pollution*, 158, 6: 2007-2013
- Smiley E. T. 2008. Root pruning and stability of young willow oak. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34, 2: 123
- Soares A. L., Rego F. C., McPherson E. G., Simpson J. R., Peper P. J. in sod. 2011. Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 2: 69-78
- Solomon S. 2007. *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. (ur) Cambridge University Press: str.
- Sparks J., Ehleringer J. 1997. Leaf carbon isotope discrimination and nitrogen content for riparian trees along elevational transects. *Oecologia*, 109, 3: 362-367
- Šiftar A., Maljevac T., Simoneti M., Bavcon J. 2011. *Mestno drevje*. (ur) Ljubljana, Botanični vrt, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani: 207 str.
- Townsend A. M. 1980. Identifying trees with tolerance to soil salts. *Proceedings of the Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA)*, 3, 24-32
- Ulrich R. S., Simons R. F., Losito B. D., Fiorito E., Miles M. A. in sod. 1991. Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of environmental psychology*, 11, 3: 201-230
- Waring R. H. 1987. Characteristics of Trees Predisposed to Die - Stress causes distinctive changes in photosynthate allocation. *BioScience*, 37, 8: 569-574
- Warren C. R., Adams M. A. 2000. Water availability and branch length determine  $\delta^{13}C$  in foliage of *Pinus pinaster*. *Tree Physiol*, 20, 10: 637-643
- Watmough S. A., Hutchinson T. C., Sager E. P. S. 1998. Changes in tree ring chemistry in sugar maple (*Acer saccharum*) along an urban-rural gradient in southern Ontario. *Environmental Pollution*, 101, 3: 381-390
- Watson G. W. 1998. Tree growth after trenching and compensatory crown pruning. *Journal of Arboriculture (USA)*,
- Whitlow T. H., Bassuk N. L. 1988. Ecophysiology of urban trees and their management: The North American experience. *HortScience*, 23, 3: 542-546



