

UDK/UDC: 556.12:630*116(497.4)

Prejeto/Received: 09. 10. 2014

Pregledni znanstveni članek – Review scientific paper

Sprejeto/Accepted: 23. 01. 2015

VPLIV ZNAČILNOSTI DREVESNIH VRST NA PRESTREZANJE PADAVIN THE INFLUENCE OF TREE CHARACTERISTICS ON RAINFALL INTERCEPTION

Katarina Zabret^{1,*}

¹ Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Izvleček

Del padavin, ki pade na drevesne krošnje, ne doseže tal, temveč se zadrži na listih in vejah rastlin ter v pritalni vegetaciji. Ta proces imenujemo prestrežanje padavin in je odvisen od številnih dejavnikov, najbolj pa od meteoroloških parametrov in značilnosti drevesnih vrst. Značilnosti drevesnih vrst, katerih vpliv na prestrežanje padavin se v raziskavah največkrat upošteva, so površina drevesne krošnje, skladiščna zmogljivost krošnje, indeks listne površine in premer debla, redkeje pa se raziskuje še vpliv strukture lubja, višine dreves, naklona listov in tipa njihove površine ter hidrofobnosti listov, vej in debla. Metod za določanje posameznih značilnosti je več, katero uporabimo pa je odvisno predvsem od razpoložljive opreme, zahtevane točnosti meritev in cilja študije. Vpliv posameznih značilnosti drevesnih vrst na prestrežanje je bolj ali manj znan, vendar redkeje poglobljeno raziskan zaradi kompleksnosti izvedbe analize le enega vpliva. Pogoste so meritve prestreženih padavin, v sklopu katerih se, predvsem zaradi potreb različnih modelov, ocenjuje tudi te parametre. Poleg značilnosti drevesnih vrst pa na prestrežanje padavin občutno vplivajo tudi meteorološki parametri, ki jih je prav tako potrebno upoštevati pri celostni analizi prestreženih padavin.

Ključne besede: prestrežanje padavin, značilnosti drevesnih vrst, indeks listne površine LAI, skladiščna zmogljivost krošnje.

Abstract

Part of the gross precipitation that falls above the tree canopy does not reach the ground but is retained on the leaves and branches and on the ground vegetation in the forest. This process is known as rainfall interception and depends on different factors of which the most important are the meteorological factors and tree characteristics. Tree characteristics that influence interception and are often taken into account in research are tree crown size, canopy storage capacity, leaf area index and diameter at breast height, but sometimes also bark structure, tree height, leaf inclination and type of surface and hydrophobicity of leaves, branches and trunks. There are a lot of different methods for the determination of individual characteristics. Which method is used depends mainly on the available equipment, required measurement accuracy and study objectives. The influence of individual tree characteristics on interception is known, but rarely studied in detail due to the complexity of analysis for only one effect. Measurements of rainfall interception are very common and estimates of parameters are also performed due to the needs of different interception models. In addition to

* Stik / Correspondence: katarina.zabret@fgg.uni-lj.si

© Zabret K.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0.](#)

© Zabret K.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – Non Commercial – Share Alike 4.0 Licence.](#)

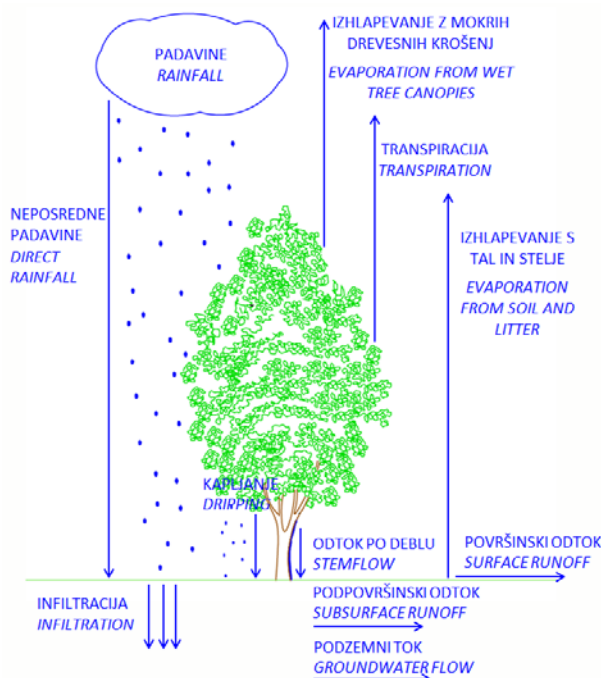
tree characteristics, meteorological conditions also significantly affect interception. Those should also be taken into account in the overall analysis of the interception.

Keywords: rainfall interception, tree characteristics, leaf area index LAI, canopy storage capacity

1. Uvod

Vse padavine, ki padejo nad z vegetacijo poraščenimi tlemi, ne prispevajo k površinskemu odtoku. V grobem jih ločimo na prepuščene padavine, ki dosežejo tla (padejo skozi odprtine med listi in vejami ali kasneje prikapljujejo do tal) in na prestrežene padavine, ki se zadržijo na rastlinah in večinoma izhlapijo nazaj v ozračje. Posebej pa obravnavamo še odtok po deblu, ki je za iglavce po navadi manjši kot za listavce, pri katerih lahko znaša tudi do 20 % padavin na prostem. V obeh primerih je glede na celotno količino prepuščenih padavin navadno zelo majhen, zato ga v številnih študijah, predvsem pri obravnavi iglavcev, zanemarijo (Rutter, 1975; Peck, 2004; Šraj, 2003a; Vilhar, 2010; Vilhar et al., 2012).

Krošnje dreves lahko zadržijo znatne količine padavin; iglavci prestrezajo med 20 in 40 %, listavci pa med 20 in 25 % padavin (Geiger et al., 1995) in posledično vplivajo na odtok. Prestrezanje padavin je tako del hidrološkega kroga (slika 1).



Slika 1: Hidrološki krog

Figure 1: Hydrological cycle

Na prestrezanje padavin vpliva več različnih dejavnikov, najpomembnejši so vegetacijski in meteorološki (Crockford in Richardson, 2000). Padavinski dogodki se glede na intenziteto in trajanje padavin, velikost dežnih kapljic, temperaturo zraka in smer vetra zelo razlikujejo, zato imajo meteorološki parametri velik vpliv na to, koliko padavin ostane na drevesni krošnji in koliko jih doseže tla (Hall in Calder, 1993). To razmerje razporeditve padavin pri prestrezanju je odvisno tudi od značilnosti drevesnih vrst. V literaturi najpogostejše omenjeni parametri, ki lahko vplivajo na količino prestreženih padavin, so površina drevesne krošnje, skladiščna zmogljivost krošnje, indeks listne površine, struktura lubja, višina drevesa, prsni premer debla, naklon listov in omočljivost njihove površine, delež odprtin v drevesni krošnji ter hidrofbnost listov, vej in debla (Wood et al., 1998; Crockford in Richardson, 2000; Fleischbein et al., 2005; Deguchi et al., 2006; Nanko et al., 2006; Šraj et al., 2008; Vilhar, 2010), redkeje pa zasledimo še druge.

Poznavanje značilnosti drevesnih vrst nam lahko pomaga pri razlagi različnih procesov v naravnem okolju, poznati pa jih je potrebno predvsem v primeru modeliranja prestreženih padavin. V tem prispevku želimo predstaviti najpogostejše značilnosti drevesnih vrst, ki jih v zvezi s prestrezanjem padavin obravnavajo avtorji različnih raziskav po celem svetu in najpogostejše metode za njihovo oceno.

2. Metode določanja značilnosti drevesnih vrst

Prestrezanje padavin je tesno povezano z drevesnimi vrstami, saj predstavlja tisti del bruto padavin, ki se zadržijo na rastlinah in kasneje izhlapijo nazaj v ozračje. Količina padavin, zadržanih na rastlinah, je v veliki meri odvisna od značilnosti rastlin, zato je pri analizi prestrezanja potrebno poznati tudi te in jih obravnavati skupaj z izmerjenimi podatki o količini padlih in

prepuščenih padavin (Crockford in Richardson, 2000).

2.1 Skladiščna zmogljivost krošnje

Preglednica 1: Primeri vrednosti skladiščne zmogljivosti krošnje različnih drevesnih vrst

Table 1: Examples of canopy storage capacity values for different tree species

Rastlinska vrsta / Type of vegetation	Skladiščna zmogljivost / Storage capacity [mm]	Vir / Source
Duglazija (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	2,8	Asadian, 2010
Duglazija (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	2,4	Klaassen et al., 1998
Oregonski javor (<i>Acer macrophyllum</i>)	4,2	Asadian, 2010
Navadna smreka (<i>Picea abies</i>)	3,1	Reichle, 1981
Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)	1,17	Andre et al., 2008
Češnje (<i>Prunus sp.</i>)	3,4	Asadian, 2010
Hrasti (<i>Quercus sp.</i>)	3,7	Asadian, 2010
Topoli (<i>Populus sp.</i>)	3,0	Asadian, 2010
	3,0	
	1,0	
	1,3	
	0,3	
Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i>)	1,6	Llorens in Gallart, 2000
	2,7	
	1,5	
	2,0	
	1,2	
	2,3	

Skladiščna zmogljivost krošnje je definirana kot količina vode, ki je zadržana v krošnji po končanem padavinskem dogodku, ko z nje ob odsotnosti vetra preneha kapljati (Klaassen et al., 1998). Vrednost skladiščne zmogljivosti krošnje se giblje med 0,2 mm in 8,3 mm (Holder, 2013; preglednica 1) ter se razlikuje glede na rastlinske vrste in vegetacijsko obdobje. Glede na vegetacijsko obdobje za listavce ločimo maksimalno in minimalno skladiščno zmogljivost. Vrednosti predstavljajo količino vode, ki je lahko

shranjena v krošnji, in ne celotne količine prestreženih padavin (Holder, 2013).

Skladiščna zmogljivost drevesne krošnje je eden izmed glavnih parametrov, ki vplivajo na prestrežanje padavin in ostale ekohidrološke procese, ki so povezani z vegetacijo (Wang et al., 2012).

2.1.1 Metode določanja skladiščne zmogljivosti krošenj

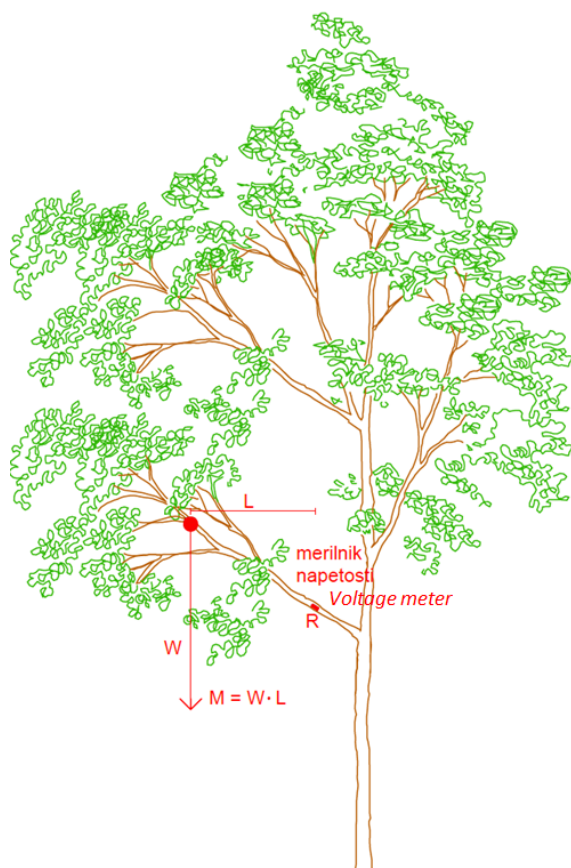
Metod, ki jih lahko uporabimo za določanje skladiščne zmogljivosti krošenj, je veliko, nekatere so neposredne, druge posredne, nekatere zahtevajo moderno opremo in so dokaj drage, medtem ko so druge preprostejše in cenejše.

Metode, s katerimi lahko določimo skladiščno zmogljivost krošnje, so metoda konzolnega upogiba (ang. cantlivere deflection method) (Huang et al., 2005), metoda slabljenja z žarki (ang. ray-attenuation method), metoda umetnega vlaženja (ang. artificial wetting method) (Garcia-Estringana et al., 2010) in metoda potapljanja (ang. immersion method) (Garcia-Estringana et al., 2010; Wang et al., 2012). Skladiščno zmogljivost krošnje lahko določamo tudi z meritvami neto padavin pri posameznem dogodku (Klaassen et al., 1998; Šraj, 2003a; Deguchi et al., 2006), z daljinskim zaznavanjem (Bouten et al., 1996), z metodo večanja obsega (Liu, 1998; Llorens in Gallart, 2000) in z metodo merjenja toka drevesnega soka (Kume et al., 2008).

Metoda konzolnega upogiba temelji na predpostavki, da se s skladiščenjem vode v krošnji masa vej povečuje. Glede na to se kapaciteto prestreženih padavin v krošnji lahko neposredno meri z nameščanjem merilnikov za merjenje napetosti, saj se z večanjem mase veje zaradi zadržanih padavin povečajo tudi napetosti v njej (slika 2). Pri tem se vejo upošteva kot elastično konzolo, pri kateri se teža vode, ujeta na vejicah in listih, odraža kot upogibna napetost v veji (Huang et al., 2005).

Metoda umetnega vlaženja se izvaja v zaprtih prostorih, kjer ni vetra, z nadzorovano temperaturo in vlažnostjo v prostoru. Padavine simuliramo s

škropilnikom, s katerim lahko reguliramo tudi velikost dežnih kapljic in intenziteto škropljenja. Skladiščna zmogljivost krošnje se določi s tehtanjem rastline pred začetkom pršenja in po njem. Določi se v mililitrih (Garcia-Estringana et al., 2010).



Slika 2: Osnovni princip metode konzolnega upogiba za določanje skladiščne zmogljivosti krošenj

Figure 2: The basic principle of cantiliver deflection method for determining canopy storage capacity

Pri metodi potapljanja sveže odrezano rastlino ali drevesno vejo najprej stehtamo, nato pa v celoti potopimo v vodo. Po petih minutah rastlino odstranimo iz posode z vodo. Po eni minuti, ko postane odtekanje vode z rastline zanemarljivo, jo ponovno stehtamo. Razlika v izmerjenih masah je podana kot skladiščna zmogljivost rastline ali drevesne krošnje (Garcia-Estringana et al., 2010).

Zaradi svoje preprostosti in nedestruktivnosti je najpogosteje uporabljena metoda merjenje neto

padavin pri posameznem dogodku. Z razliko med celotno količino padlih padavin in prepuščenih padavin lahko izračunamo, koliko padavin je prestregla krošnja, kar pa še ni enako skladiščni zmogljivosti. Prestrežene padavine (I) so namreč vsota izhlapelih padavin (E_t) in skladiščne zmogljivosti krošnje (C_e) (Klaassen et al., 1998):

$$I = C_e + E_t \quad (1)$$

Evapotranspiracijo in skladiščno zmogljivost v enačbi 1 je težko določiti. Točnih merilnih inštrumentov za merjenje teh dveh vrednosti ni, zato se njuno razmerje lahko določa na podlagi opazovanj, pri čemer je evapotranspiracija pogosto precenjena, skladiščna zmogljivost krošnje pa podcenjena. Lahko pa se uporabijo posredne metode, ki večinoma temeljijo na merjenih vrednostih prepuščenih padavin (Bouten et al., 1991; Bosveld, 1997; Klaassen et al., 1998; Šraj et al., 2008).

Redkeje uporabljeni metodi za določevanje skladiščne zmogljivosti krošnje sta daljinsko zaznavanje in metoda povečevanja obsega (Bouten et al., 1996; Liu, 1998; Llorens and Gallart, 2000). Prva metoda se zaradi visokih stroškov in drage opreme zelo redko uporablja, temelji pa na neprekinjenih meritvah vlažnosti krošnje z gama žarki ali mikrovalovi. Druga metoda je destruktivna. Skladiščna zmogljivost se določi za posamezne dele drevesa (na primer odžagane veje), upošteva se tudi pokazatelje na tleh in okoliški površini, potem pa se vse te podatke prenese na "večje merilo" – celotno rastlino (Kume et al., 2008).

Metoda merjenja toka drevesnega soka za določitev skladiščne zmogljivosti je zelo robustna in cenovno ugodna, vendar dosti bolj kompleksna za izvedbo kot na primer meritve neto padavin (Kume et al., 2008). Glavni parameter, s katerim se kalibrira model velikih listov (ang. big-leaf model, BLM) za prestrezanje padavin in na katerem temelji ocena skladiščne zmogljivosti, je čas sušenja krošnje. Pri meritvah se upošteva, da se ob padavinah evaporacijska energija rastline porabi za izhlapevanje v krošnji zadržanih padavin, zato se zmanjša transpiracija rastline. S transpiracijo pa je povezana hitrost toka drevesnega soka, ki se ob

padavinah zaradi zmanjšane transpiracije upočasnijo. Z dokaj enostavno metodo toplotnih impulzov se neprekinjeno meri tok drevesnega soka, izmerjene vrednosti pa se primerja s tistimi, izmerjenimi na suh, sončen dan, ki se tekom leta skoraj ne spreminjajo (Kume et al., 2006).

2.2 Indeks listne površine

Obstaja več definicij indeksa listne površine (ang. leaf area index – LAI), ki so odvisne predvsem od metode meritve in vrste drevesa, za katerega določamo LAI. Prvo definicijo, ki pravi, da je LAI celotna površina ene strani fotosintetičnega tkiva na enoto površine tal, je podal Watson (1947). Da bi pri določanju lahko upoštevali tudi nepravilne in zavite oblike listov ter iglice so nekateri avtorji predlagali, da se upošteva projekcijo površine lista (Smith et al., 1991), s tem pa se je pojavilo vprašanje, pod katerim kotom narediti projekcijo, saj vertikalna projekcija ne da nujno največje vrednosti. Tako je prišlo do definicije, da je LAI enak največji projekciji površine listov na enoto površine tal (Myneni et al., 1997). Ponovno pa so za liste, ki nimajo povsem ravne površine, predlagali, da se upošteva polovico površine prestrezanja na enoto tal (Lang et al., 1991). Ne glede na različne definicije se najpogosteje uporablja splošna razlaga, da je indeks listne površine enak skupni enostranski površini zelenih listov na enoto površine [m²/m²] (Šraj, 2003a; Šraj, 2003b; Fleischbein et al., 2005).

LAI opisuje količino vse listne površine v krošnji. Vrednosti so globalno zelo raznolike, saj v sušnih območjih lahko padejo pod vrednost 1, medtem ko v najgostejših tropskih gozdovih lahko dosežejo tudi vrednost 9 (LAI – theory and practice, 2014). Vrednosti pa se med seboj lahko razlikujejo tudi zaradi različnih definicij in načinov meritev, ki se za LAI uporabljajo (Jonckheere et al., 2004; preglednica 2).

Indeks listne površine je odvisen predvsem od vrste rastline, stopnje njenega razvoja in sezone merjenja. Je pomemben parameter, ki se uporablja na več različnih področjih, pomembno vlogo pa igra predvsem v raziskavah ekosistema (Jonckheere et al., 2004; Zhao et al., 2012).

Upoštevajo ga pri spremljanju rasti rastlin in sprememb na drevesih glede na sezone, pri študijah odziva rastlin na podnebne spremembe, opazovanju izmenjave ogljika in vode, pomembno vlogo pa ima tudi pri prestrezanju padavin kot delu hidrološkega kroga (Breda, 2003; LAI – theory and practice, 2014).

Preglednica 2: Vrednosti indeksa listne površine za različne drevesne vrste

Table 2: Values of leaf area indexes for different tree species

Rastlinska vrsta / Type of vegetation	LAI	Vir / Source
Navadna breza (<i>Betula pendula</i>)	4,3	Scurlock et al., 2001
Dob (<i>Quercus robur</i>)	4	Scurlock et al., 2001
Navadna smreka (<i>Picea abies</i>)	10,5	Bolstad in Gower, 1990
Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)	4,1	Gratani et al., 2003
Puhasti hrast (<i>Quercus pubescentis</i>)	2,2-2,4	Šraj, 2004
Kraški gaber (<i>Carpinus orientalis croaticus</i>)	0,5-2,3	Šraj, 2004
Ameriški rdeči bor (<i>Pinus resinosa</i>)	1,51	Buttle et al., 2012
	1,56	
	1,08	
Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i>)	15	Scurlock et al., 2001
	7,5	
	6,9	
	4,7	
	11,87	
Balzovec (<i>Ochroma pyramidale</i>)	1,86	Cameron, 2007
Evkaliptus (<i>Eucalyptus globulus</i>)	3,2	Valente et al., 1997

2.2.1 Metode določanja indeksa listne površine

Metod za določanje indeksa listne površine je več, v glavnem pa se delijo na neposredne in posredne metode (Levy et al., 1999; Šraj, 2003b; Šraj, 2004; Fleck et al., 2012). Neposredne metode so bolj natančne, vendar pa zahtevajo veliko časa, zaradi česar niso primerne za večje površine. Pri posrednih metodah pa je indeks listne površine določen na podlagi opazovanj ali z upoštevanjem ostalih parametrov, kar je hitreje, bolj primerno za avtomatizacijo in zato uporabno tudi v večjem

obsegu. Za manjši obseg se priporoča uporaba posrednih metod v kombinaciji z neposrednimi, ki služijo za validacijo (Jonckheere et al., 2004).

Neposredni metodi določanja indeksa listne površine, ki se najpogosteje omenjata in uporabljata v raziskavah, sta dve: zbiranje količine odpadlega listja (nedestruktivna metoda) in sekanje rastlin za določanje celotne listne površine rastline (destruktivna metoda) (Breda, 2003; Šraj, 2003a; Jonckheere et al., 2004; Fleck et al., 2012; LAI – theory and practice, 2014).

Zbiranje odpadlega listja je mogoče za listnata drevesa in poteka celo leto, predvsem pa v obdobju odpadanja listov. Pod drevesi se naključno razporedi posode enakih dimenzij, v katerih se zbira odpadlo listje (slika 3). Indeks listne površine se nato določi glede na maso posušenih listov na enoto površine in pred tem določene specifične površine listov SLA (Šraj, 2003a; Šraj, 2004; Vilhar, 2006).



Slika 3: Zbiranje odpadlega listja pod brezo (foto: Zabret)

Figure 3: Collecting litterfall under a birch tree (*Betula pendula*) (photo: Zabret)

Pri destruktivni neposredni metodi se z raziskovalnega območja pridobi manjše število reprezentativnih rastlin. Nato se za vsak list rastline posebej določi njegova površina in površina tal, ki jih pokriva celotna krošnja rastline. Ta metoda je mogoča predvsem pri manjših rastlinah (poljedelske rastline), za drevesa pa se uporablja pristop, ki se imenuje metoda modela

drevesa. Z drevesa se odstrani le nekaj vej, za liste s teh vej se natančno izmeri površina, ki se jo nato "razširi" na celotno drevo. Odrezane veje služijo kot osnova za izdelavo modela celega drevesa (Jonckheere et al., 2004).

Za določanje indeksa listne površine se pogosteje uporabljajo posredne metode, ki jih je tudi več. Ločimo meritve, ki jih izvajamo s tal, pri katerih po navadi uporabimo več točk meritev in jih delimo v dve skupini, posredne kontaktne (metodi nagnjene točke kvadrata in alometričnih tehnik) in nekontaktne metode, poznamo pa tudi meritve iz zraka ali iz vesolja, ki temeljijo na razliki v spektralnem odboju med vegetacijo in ostalo pokritostjo površja (Breda, 2003; Jonckheere et al., 2004; Šraj, 2004).

Metodo točke kvadrata (ang. point quadrat) je predstavil Wilson (1960). Z dolgo tanko iglo prebadamo krošnjo drevesa z znano nadmorsko višino (kot med iglo in vodoravno ravnino v vertikalni projekciji) in z znanim kotom azimuta (položaj igle s severa ob horizontalni projekciji) ter štejemo število zadetkov ali stikov točke kvadrata z zelenimi elementi krošnje. Tako dobimo kot nagiba, ki določa vpliv strukture krošnje na število zadetkov. Glede na število teh stikov s pomočjo določene enačbe lahko izračunamo LAI. Ta metoda ni primerna za rastline, višje od 1,5 m zaradi potrebne dolžine igle, ki pa jo v tem primeru lahko nadomestimo z laserjem (Jonckheere et al., 2004).

Za določanje LAI v gozdu se lahko uporabi metoda alometričnih tehnik, ki se nanašajo na razmerje med površino lista in med dimenzijo katerega koli drugega olesenelega dela rastline, ki nosi zeleno listno biomaso, na primer obseg debla ali višina drevesa (Ryan et al., 2000; Jonckheere et al., 2004). Priporočene alometrične povezave za določanje listne površine se navezujejo na fiziološko območje aktivne površine beljave, saj naj bi ta odnos ponazarjal teorijo modela cevi, ki ga predstavljajo steblo in veje, ki oskrbujejo liste z vodo. Določanje LAI temelji na ideji, da je fizično na drevesu z določeno površino beljave zaradi hidravličnih omejitev lahko le določena količina listja (Jonckheere et al., 2004).

Optične metode so posredne nekontaktne metode in so največkrat uporabljen način določanja indeksa listne površine, pri katerem gre za različne načine merjenja prehoda svetlobe skozi krošnjo. Razvitih je veliko različnih instrumentov, s katerimi lahko merimo delež ali velikost odprtin v drevesni krošnji, na podlagi česar sledi analiza za določitev LAI. Nekateri izmed teh instrumentov so Digital Plant Canopy Imager CI 100, Accupar, Demon, Licor LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, SunScan Ceptometer, Airborne LiDAR in MVI (Jonckheere et al., 2004; Fleck et al., 2012).

Najpogostejše uporabljena metoda za določanje LAI je posredna nekontaktna metoda hemisferičnega fotografiranja krošnje (Jonckheere et al., 2004) (slika 4). Tehnika preučuje lastnosti krošnje s fotografij, ki so posnete s hemisferičnim objektivom (polkrogelni, t.i. ribje oko) pod krošnjo usmerjene v zenit ali nad krošnjo usmerjene navzdol (Breda, 2003). Prednost tega načina je, da zagotavlja trajen zapis trenutnega stanja, iz katerega lahko specifične informacije o položaju, velikosti, gostoti in razporeditvi odprtin v krošnji pridobimo tudi kasneje, ko nas zanimajo. Posnete fotografije nato analiziramo s pomočjo ustrezne programske opreme in modelov (Hale in Edwards, 2002; Breda, 2003; Jonckheere et al., 2004; Šraj, 2004).



Slika 4: Hemisferična fotografija (foto: Zabret)

Figure 4: Hemispherical photography (photo: Zabret)

2.3 Površina drevesne krošnje

Površina drevesne krošnje (ang. tree crown size) je pomemben parameter v ekohidrologiji, saj je krošnja medij za energijo, maso in dinamiko med gozdnim ekosistemom in atmosfero (Song et al., 2010). Pri prestreženih padavinah površina drevesne krošnje v povezavi s prsnim premerom drevesa vpliva na odtok po deblu. Večja kot je površina krošnje glede na premer debla, večji bo potencialni donos toka vode po deblu. Pri obravnavi prestreženih padavin v gozdu ali nasadu pa lahko s poznavanjem površine drevesne krošnje določimo tudi odprtine med posameznimi drevesnimi krošnjami (Song et al., 2010).

2.3.1 Metode ugotavljanja površine drevesne krošnje

Površino drevesne krošnje lahko ocenimo z meritvami na terenu, z metodami daljinskega zaznavanja ali z obdelavo različnih prostorskih podatkov (Song et al., 2010).

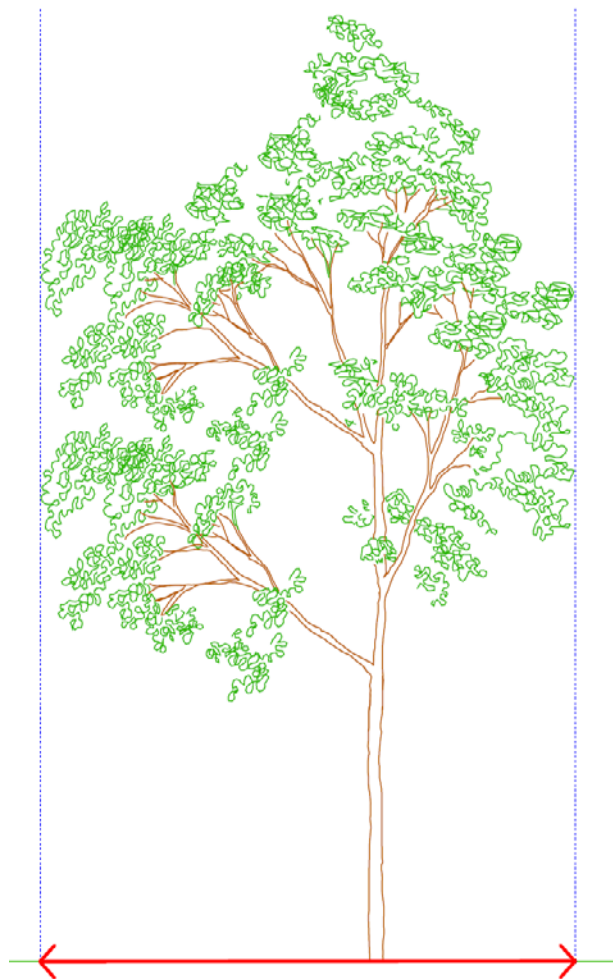
Pri merjenju na terenu po navadi izmerimo premer drevesne krošnje, pri čemer lahko uporabimo različne merilne naprave. Pri meritvah krošnje od tal se najpogostejše uporablja laser. Krošnjo pa se lahko tudi "preslika" na tla s projekcijo vogalov krošnje na podlago z uporabo nihala ali optične prizme, kar omogoča enostavno merjenje z merilnim trakom ali metrom (Brack, 1999) (slika 5).

Če je drevesna krošnja skoraj pravilne, okrogle oblike, je dovolj, da premer izmerimo enkrat, če pa je krošnja nepravilne oblike, ga izmerimo v dveh različnih smereh:

- dolžina najdaljše in najkrajše osi drevesne krošnje,
- dolžina najdaljše osi in dolžina osi, ki je pravokotna nanjo ali
- dolžina katerih koli dveh osi, ki sta med seboj pravokotni.

Iz izmerjenih dolžin z enačbo za aritmetično srednjo vrednost izračunamo povprečen premer drevesne krošnje, ki ga uporabimo za izračun površine (Brack, 1999).

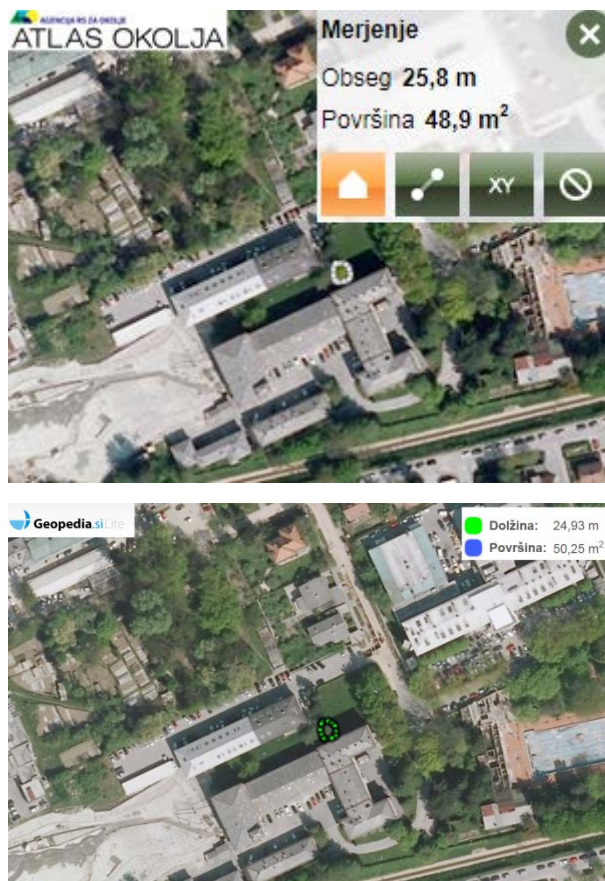
Ocena površine drevesne krošnje na podlagi zračnih posnetkov je mogoča v primeru, ko imamo na voljo slike z dovolj dobro natančnostjo in v ustreznem merilu. Vrednosti, dobljene na ta način, pa pogosto podcenijo dejansko površino drevesne krošnje, kot jo vidimo s tal (slika 6), saj so deli krošnje premajhni glede na natančnost takih slik ali pa jih pokrivajo krošnje bližnjih dreves (Brack, 1999).



Slika 5: Projekcija drevesne krošnje na tla

Figure 5: The projection of the tree canopy to the ground

Površino drevesne krošnje se danes zelo pogosto ocenjuje z uporabo prostorskih podatkov. Obstajajo različni modeli (Brown et al., 2005; Song et al., 2010), s pomočjo katerih lahko z obdelavo predvsem satelitskih posnetkov določimo površino krošnje. Pri tem se najpogosteje uporablja posnetke Lidar, Ikonos in QuickBird (Song et al., 2010).



Slika 6: Ocena površine drevesne krošnje breze na raziskovalni ploskvi na podlagi ortofoto posnetka v Atlasu okolja (48,9 m²) in Geopediji (50,25 m²)

Figure 6: Evaluation of birch tree canopy surface on the research plot based on ortophotos from Atlas okolja (48,9 m²) and Geopedia (50,25 m²)

2.4 Prsni premer drevesa

Prsni premer drevesa (ang. diameter at breast height – DBH) je najpogostejša metoda za posredno določanje dimenzij drevesa, saj obstaja povezava med DBH in površino drevesne krošnje ter višino drevesa (Buba, 2013). Upošteva se tudi pri spremljanju rasti dreves ter pri primerjavi velikosti in lastnosti različnih dreves.

2.4.1 Metode ugotavljanja prsnega premera drevesa

DBH se nanaša na prsni premer drevesa v višini prsi, kar v območju metričnega sistema pomeni na višini 1,30 m od tal (Nature Conservation Practice Note, 2006). V primeru ravnega debla ali takega, ki postopoma prehaja v konico, predpisane višine

ni težko določiti, zato je tudi meritev DBH preprosta. Za merjenje so najbolj priročne čeljusti (kaliper), prikazane na sliki 7, lahko pa uporabimo tudi merilni trak, ki je bolj primeren za velika drevesa. V tem primeru je meritev bolj večkrat ponoviti, da se izognemo manjšim odebeljenim delom debla. Prsni premer drevesa vedno merimo pravokotno na deblo in ne pravokotno na podlago (Nature Conservation Practice Note, 2006).

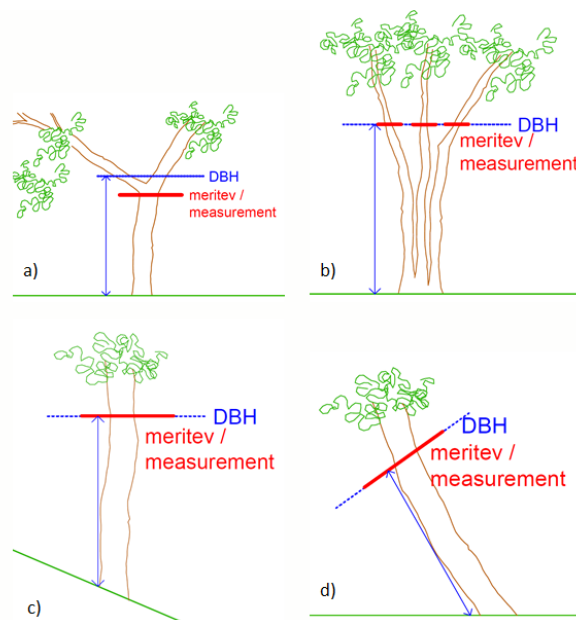


Slika 7: Merjenje prsnega premera drevesa s kaliprom (foto: Šraj)

Figure 7: Measurement of diameter at breast height with caliper (photo: Šraj)

Večkrat pa deblo ni ravno ali pravilne oblike, zato za take primere obstajajo dodatna navodila za merjenje. Če je deblo na prsni višini razcepljeno (slika 8a), njegov premer izmerimo preden pride do razceplitve, če pa je ta čisto pri tleh (slika 8b), izmerimo premer vsakega debla posebej in jih nato seštejemo. Če drevo raste na pobočju (slika 8c), prsno višino odmerimo z zgornje strani debla, če pa je deblo nagnjeno (slika 8d), njegov premer merimo pravokotno nanj in ne pravokotno na tla. V primeru, da je deblo pri tleh močno razširjeno ali

ima nad zemljo zelo razvit koreninski sistem ter da je ta vpliv prisoten še na prsni višini, premer debla izmerimo višje, kjer tega vpliva ni več (Nature Conservation Practice Note, 2006).



Slika 8: Meritve prsnega premera nepravilnega drevesnega debla

Figure 8: Measurements of DBH in case of irregular tree trunk

2.5 Vrsta lubja

Vrsta lubja in njegova debelina se močno razlikujeta med različnimi rastlinskimi vrstami, pa tudi med posameznimi primerki iste vrste. Lastnosti lubja kot so njegova debelina, absorptivnost, skladiščna zmogljivost, tekstura in omočljivost, imajo velik vpliv na odtok po deblu. Gladko in lahko omočljivo lubje dopušča več odtoka po deblu kot debelo in zelo absorptivno, saj se mora deblo pred začetkom odtoka vode po njem namočiti in nasičiti (Crockford in Richardson, 2000; Šraj et al., 2008).

2.5.1 Metode ugotavljanja lastnosti lubja

Vpliv lubja na odtok po deblu je preučeval Voigt (1960). Meritve odtoka po deblu je izvajal tako, da je na določeni višini okrog in okrog debla odstranil vse lubje in v to vrzel pritrdil aluminijast "ovratnik", v katerega se je stekala voda. To vodo je po cevki speljal v zbirno posodo in jo stal po

vsakem dogodku. Odtok po deblu je meril na sedmih drevesih treh vrst – Kanadski čugi (*Tsuga canadensis*), severnoameriškem rdečem boru (*Pinus resinosa*) in ameriški bukvi (*Fagus grandifolia*). Vpliv lastnosti lubja je raziskoval tako, da je 25 cm nad ovratnik za merjenje odtoka po deblu na isti način pritrdil še enega, ki pa je imel luknjice. Vanj je vлил 1 l vode in po 15 minutah izmeril količino vode, ki se je nabrala v spodnjem ovratniku. To je ponovil dvanajstkrat. Raziskava je pokazala kako različne vrste lubja različno vplivajo na odtok po deblu. Bukev ima gladko lubje z relativno nizko skladiščno zmogljivostjo, ki omogoča hiter odziv na odtok vode; po dodanem četrtem litru vode se je ob vsaki ponovitvi do zbirnega mesta stekla skoraj vsa voda. V primeru kanadske čuge z dokaj absorptivnim lubjem je na začetku zelo malo vode priteklo do spodnjega ovratnika, vendar se je ta vrednost ob vsaki ponovitvi povečala in je na koncu znašala 900 ml. Pri severnoameriškem rdečem boru, ki ima zelo grobo in absorptivno lubje z visoko skladiščno zmogljivostjo, pa je vrednost odtekle vode po prav tako počasnem začetku po šesti ponovitvi znašala približno 600 ml od 1 l, v vsaki nadaljnji ponovitvi pa se ni več spreminjala.

Debelina lubja se nanaša na količino lubja okrog drevesa od zunanje površine do kambijskega sloja in jo v prvi vrsti določajo drevesne vrste, starost in velikost drevesa. Debelina lubja se najpogosteje meri z uporabo posebnega merilca za lubje, ki ga vtiskamo v drevo, vse dokler ne dosežemo tršega sloja pod lubjem, nato odčitamo vrednost, ki prikazuje debelino. Debelino lahko izmerimo tudi z odstranitvijo dela lubja z drevesa ali z njegovo porušitvijo (Hood, 2007).

Teksturo drevesnega lubja določimo vizualno. Pri odtoku po deblu po navadi govorimo o gladkem in hrapavem lubju (slika 9).

Za določanje absorptivnosti, skladiščne zmogljivosti in omočljivosti lubja lahko pri poglobljenih raziskavah upoštevamo standardne metode določanja teh lastnosti pri drugih porozihi snoveh, ki večinoma temeljijo na spremljanju sprememb teže z namakanjem v določenih pogojih (Llorens in Gallart, 2000). Pri običajnih

raziskavah, ki lastnosti lubja povezujejo z odtokom po deblu, pa tako podrobnih informacij ne potrebujemo, zato zadostuje subjektivna ocena, ki temelji na vizualnem opažanju (Crockford in Richardson, 2000). Pri zahtevah po večji objektivnosti podatkov pa uporabimo test, kot ga je na primer predstavil Voigt (1960) in je opisan na začetku tega poglavja.



Slika 9: Primer gladkega lubja navadne breze (zgoraj) in hrapavega lubja rdečega bora (spodaj) (foto: Zabret)

Figure 9: Example of smooth birch bark (above) and rough pine bark (below) (photo: Zabret)

2.6 Višina drevesa

Višina drevesa ne vpliva neposredno na prestrezanje padavin, vendar je zelo pomembna lastnost, ki jo avtorji študij, ki se ukvarjajo s prestrezanjem padavin, v opisu lokacije meritve pogosto navajajo. Višina drevesa namreč posredno nakazuje na starost drevesa, prsni premer drevesa in velikost drevesne krošnje. Poleg tega pa

posredno vpliva na čas zakasnitve odtoka po deblu in količino odtoka po deblu (Šraj et al., 2008).

2.6.1 Metode meritve višine dreves

Če je drevo nižje od nas, lahko njegovo višino izmerimo kar z metrom, vendar pa so drevesa običajno višja, zato se te metode poslužujemo predvsem v primeru grmičevja in poljščin. Včasih so si pri merjenju pomagali z različnimi metodami, kot je na primer preračunavanje višine drevesa z upoštevanjem podobnih trikotnikov. Na dolžini roke držimo palico in se postavimo tako, da palica ravno pokrije drevo, izmerimo razdaljo od našega očesa do spodnjega roba palice in do vznožja drevesa, upoštevamo še dolžino palice in iz razmerja podobnih trikotnikov izračunamo višino drevesa (Forestry tools, 2014). Druga podobna metoda temelji na Pitagorovem pravilu, pri kateri s klinometrom izmerimo kot med drevesom in našim stojiščem, izmerimo še razdaljo od stojišča do drevesa in z upoštevanjem pravega kota med višino drevesa in daljico do stojišča izračunamo višino drevesa (Forestry tools, 2014). Danes pa se za ta namen uporabljajo sodobne naprave, kot na primer ultrazvočni hipsometer, ultrazvočni merilec dolžin, laserski merilnik višin in elektronski višinomer (Forestry tools, 2014).

2.7 Naklon listov

Naklon listov pri prestrezanju padavin vpliva na to, ali dežna kapljica ostane na listu in izhlapi, ali zdrsne po listu in pade na tla med kapljanjem, ali pa steče na vejo in prispeva k odtoku po deblu. Predvsem ob močnejših padavinah postane ta podatek zanemarljiv, saj se listje z vetrom in udarjanjem dežnih kapljic premika in spreminja naklon. Naklon listov je pomemben predvsem pri ocenjevanju LAI (Jonckheere et al., 2004; Garcia-Estringana et al., 2010; Holder, 2013). Opišemo ga s tako imenovanim kotom lista, ki je enak kotu med listno površino in horizontalno ravnino.

2.7.1 Metode ugotavljanja naklona listov

Danes se naklon listov določa s posrednimi metodami. Pri tem se lahko na primer uporabi visoko-resolucijski prenosni lidar za skeniranje

(Hosoi et al., 2009), hemisferično fotografiranje (Wagner in Hagemeier, 2006) ali računalniško simulacijo strukture drevesa z uporabo različnih programov, kot je na primer YPLANT (Falster in Westoby, 2003).

Navadno so nakloni posameznih listov na drevesu med seboj dokaj različni, vendar pa so vse vrednosti zelo blizu srednji vrednosti naklona, ki jo privzamemo za celo drevo (Falster in Westoby, 2003).

2.8 Hidrofobnost listov, vej in debla

Hidrofobnost listov je merilo za to, kako se dežne kapljice odbijajo s površine listov (Holder, 2013). Izrazi se s kotom stika med vodno kapljico in listno površino. Večji kontaktni kot pomeni bolj hidrofobno listno površino. Je pomemben dejavnik, ki vpliva na skladiščno zmogljivost krošnje in posledično tudi na količino prestreženih padavin. Drevesa z visoko hidrofobnimi listi imajo navadno nizko skladiščno zmogljivost krošnje (Holder, 2013).

2.8.1 Metode meritve hidrofobnosti listov

Meritve hidrofobnosti listov so zelo zahtevne in lahko potekajo le v nadzorovanih laboratorijskih pogojih. Holder (2012) je meritve hidrofobnosti izvedel na 60 listih dreves, grmov in rož (srebrni javor, ameriška katalpa, gledičija, sončnica, navadni skobotovec, kanadski topol, rdečelistna sliva, gambel hrast, španski bezeg, sibirski brest), ki jih je pritrdil na ploščo iz lesenih letev, da je bilo mogoče videti horizontalen profil listov. Nanje je z mikropipeto nanese kapljico vode v velikosti 10 mikrolitrov. Z merilcem kontaktnega kota (tenziometer/goniometer) je izmeril kot med kapljico vode in vodoravno listno površino.

Hidrofobnost listov je drugačna za protiosno stran, ki je nagnjena proti osi lista (ang. adaxial) in za izvenosno stran, ki je nagnjena stran od listne osi (ang. abaxial) in katere vrednosti so po navadi večje. Holder (2012) je ugotovil, da razlika lahko znaša tudi več kot 40° (preglednica 3). Hidrofobnost lista na protiosni strani se najpogosteje giblje okoli 70°, na izvenosni pa so vrednosti bolj raznolike (Holder, 2012).

Preglednica 3: Hidrofobnost listov glede na nagnjenost osi (Holder, 2012)

Table 3: Leaf hydrophobicity in relation to the inclination of leaf axis (Holder, 2012)

Rastlinska vrsta / Type of vegetation	Hidrofobnost protiosna / hydrophobicity adaxial [°]	Hidrofobnost izvenosna / hydrophobicity abaxial [°]
Srebrni javor (<i>A.saccharinum</i>)	79,90	120,38
Katalpa (<i>C. speciosa</i>)	80,29	98,99
Gledičevka (<i>G.triacanthos</i>)	55,59	61,47
Kanadski topol (<i>P. deltoides</i>)	72,54	80,15
Češnja (<i>Prunus cistena</i>)	77,44	101,28
Gambel hrast (<i>Q. gambeli</i>)	74,40	116,43
Sibirski brest (<i>Ulmus pumila</i>)	34,57	34,66

2.9 Omočljivost listne površine

Omočljivost listne površine lahko podamo s sposobnostjo zadrževanja vodnih kapljic (slika 10). Ta lastnost je pravzaprav merilo, ki nam pove, kako enostavno in hitro vodna kapljica odteče z lista. Določimo jo s kotom, pri katerem vodna kapljica spolzi z lista, ki ga postopoma nagibamo (Holder, 2013).



Slika 10: Zadrževanje vodne kapljice na listu (foto: Zabret)

Figure 10: Retention of water droplet on a leaf (photo: Zabret)

2.9.1 Metode ugotavljanja omočljivosti listne površine

Meritve omočljivosti listne površine so podobne meritvam hidrofobnosti. Holder (2012) je tudi te meritve izvedel na 60 listih, ki so bili pritrjeni na ploščo iz lesenih letev, ki jo je pritrdil na gibljivo ploščad goniometra. Na liste je z mikropipeto nanesel kapljico vode v velikosti 50 mikrolitrov. Ploščad goniometra skupaj z listno površino se je počasi nagibala s korakom 10, pri tem pa je naprava ves čas merila kot med listno površino in vodoravno ravnino. Ko je kapljica z lista spolzela, se je meritev zaustavila, izmerjen kot pa je bil zabeležen kot sposobnost zadrževanja kapljice.

2.10 Delež odprtín v drevesni krošnji

Delež odprtín v drevesni krošnji je tesno povezan z indeksom listne površine, obliko in naklonom listov (Crockford in Richardson, 2000; Šraj, 2003; Jonckheere et al., 2004). Razlika je v tem, da pri določanju LAI govorimo o površini listja v drevesni krošnji, med tem ko delež odprtín določa, koliko je praznega prostora med listjem.

Z deležem odprtín v drevesni krošnji je povezano tudi sončno sevanje v gozdu, ki je eden izmed najpomembnejših ekoloških dejavnikov (Diaci, 1999). Več kot je v drevesni krošnji odprtín, večje je sončno sevanje. Od količine sončnega sevanja sta odvisna uspevanje pritalne vegetacije in naravna regeneracija rastlin (Čater et al., 2013; Vilhar et al., 2014).

Delež odprtín v drevesni krošnji se pri obravnavanju prestreženih padavin upošteva predvsem pri modeliranju (Kucharik et al., 1998; Šraj et al., 2008; de Moraes Frasson in Krajewski, 2011). Vpliva predvsem na količino in prostorsko porazdelitev prepuščenih padavin, ki so sestavljene iz padavin, ki skozi odprtine v krošnji padejo neposredno na tla in iz tistih, ki naknadno prikapljajo z listja. V literaturi ni mogoče zaslediti, da bi ti dve komponenti prepuščenih padavin že kdaj merili ločeno, kar je tudi poglavitni razlog za slabo raziskan vpliv deleža odprtín v drevesni krošnji na prestrežanje.

2.10.1 Metode ugotavljanja deleža odprtin v drevesni krošnji

Določanje deleža odprtin v drevesni krošnji se običajno določa s hemisferičnim fotografiranjem. Park in Cameron (2008) sta krošnjo fotografirala navpično od tal v štirih točkah okrog drevesnega debla, za vsako fotografijo sta analizirala delež odprtin in na koncu izračunala povprečje za celo krošnjo. Podobno so se določanja lotili tudi Dietz in sodelavci (2006), ki so povprečili vrednosti 30 fotografij, posnetih na celotnem raziskovalnem območju, ter Šraj (2003), ki je delež odprtin listopadnega gozda na Dragonji določala s povprečenjem vrednosti desetih hemisferičnih fotografij na vsaki raziskovalni ploskvi. Seveda pa se delež odprtin v krošnji lahko določa tudi drugače. Hölscher s sodelavci (2004) je pod krošnjami opravil 30 meritev z optičnim analizatorjem krošenj, Kucharik in sodelavci (1998) pa so analizirali posnetke, dobljene z posebno napravo, ki omogoča večpasovne slike vegetacije (Kucharik et al., 1997).

2.11 Skladiščna zmogljivost epifitov

Skladiščna zmogljivost epifitov ima v sklopu prepuščanja padavin največji vpliv na odtok po deblu, ki je predvsem pri drevesih z grobim in vpojnim lubjem zanemarljiv v primerjavi s preostalimi prepuščenimi padavinami (Nadkarni et al., 2004). Zato se skladiščno zmogljivost epifitov določa le v primerih, ko je drevesno lubje zelo gladko, ko je odtok po deblu še posebej pomemben ali ko se meritve osredotočajo na odtok po deblu.

Epifit je rastlina, ki ima korenino na drevesnem deblu ali vejah in ne v zemlji. Pri nas govorimo predvsem o dveh vrstah epifitov, o mahovih in lišajih (slika 11). Drevesa, ki imajo debela obraščena z epifiti, lahko uskladiščijo bistveno več vode (Díaz et al., 2010), kar se odraža v večjih skupnih padavinskih izgubah. Raziskava, ki so jo izvedli Hölscher in sodelavci (2004) je pokazala, da se skladiščna zmogljivost ob prisotnosti epifitov lahko zelo poveča in lahko znaša tudi 6 % celotnih padavinskih izgub. Pypker s sodelavci (2004) predlaga, da je v mnogih primerih bolje izražati skladiščno zmogljivost v odvisnosti od epifitov,

kakor od LAI. Tak pristop se kaže kot učinkovit predvsem v starejših gozdovih.



Slika 11: Drevesno deblo, poraslo z epifiti (foto: Zabret)

Figure 11: Tree trunk covered with epiphytes (photo: Zabret)

2.11.1 Metode ugotavljanja skladiščne zmogljivosti epifitov

Skladiščno zmogljivost epifitov se navadno določa v laboratoriju. Pypker in sodelavci (2006) so z dreves odsekali veje, ki so bile več kot 80 % porasle z mahom in lišaji ter jih posušili na zraku, nato pa so jih obesili na vrv, povezano s tehtnico. Veje so škropili z vodo s pomočjo škropilnikov z nastavljivo velikostjo kapljic. Meritev so zaključili, ko se masa veje kljub nadaljnjemu škropljenju ni več povečevala. Potem so z vej odstranili vse epifite in jih 72 ur sušili v peči pri 70 °C. Skladiščno zmogljivost so določili s pomočjo hiperbolične krivulje odvisnosti spremembe mase s časom.

3. Zaključki

Poznavanje vpliva posameznih značilnosti drevesnih vrst na prestrezanje je pomembno, vendar pa se je potrebno zavedati, da so ti parametri za vsako drevo oziroma rastlino in vsako lokacijo različni, zato vplivov, raziskanih v drugih študijah, ne smemo uporabiti brez kritične presoje. Ne glede na to, da v določenih primerih

analiziramo ali upoštevamo vpliv le enega parametra, se moramo ves čas zavedati tudi vpliva vseh ostalih parametrov in njihove vloge na meritve, ki jih izvajamo.

Parametri se zaradi potreb različnih modelov najpogosteje ocenjujejo v sklopu opazovanj in meritev prestreženih padavin. Zasledili smo, da so v večini prispevkov podane vrednosti prsnega premera drevesa, površine drevesne krošnje in višine drevesa. Dokaj pogosto avtorji ocenjujejo tudi indeks listne površine in skladiščno zmogljivost krošnje. Le v redkih prispevkih pa so obravnavane lastnosti lubja in listov.

Ocenjevanje treh najpogosteje navedenih parametrov (prsni premer drevesa, površina drevesne krošnje in višina drevesa) je najbolj preprosto in ne zahteva dragih pripomočkov. Za oceno vsakega izmed njih obstaja več različnih metod, pri katerih lahko izhajamo iz osnovnih zakonov matematike in si pomagamo s poceni in dostopnimi pripomočki, lahko pa uporabimo bolj tehnično dovršene pristope in merilnike. V večini primerov so rezultati, dobljeni z različnimi metodami, med seboj dokaj podobni, le da rezultate z merilniki dobimo veliko hitreje. V člankih je metoda določanja teh treh osnovnih parametrov le redko podana, saj naj ne bi vplivala na rezultat.

Metod za ocenjevanje skladiščne zmogljivosti krošnje in indeksa listne površine je veliko, temeljijo na raznolikih predpostavkah in pristopih, z njimi dobljeni rezultati pa se lahko razlikujejo. Katero metodo uporabimo, je odvisno od števila in lastnosti dreves, ki jih ocenjujemo, zelene natančnosti rezultatov, delovnih pogojev in dostopnih sredstev. Najpogosteje se za oceno skladiščne zmogljivosti krošnje upošteva odvisnost med padlimi in prepuščenimi padavinami, v primerih obravnave ene drevesne vrste pa smo večkrat zasledili tudi uporabo metode potapljanja. Indeks listne površine se najpogosteje določa z uporabo metode hemisferičnega fotografiranja.

Parametre, ki podajajo lastnosti listja in lubja (hidrofobnost in omočljivost listja ter lubja, naklon listov in vrsta lubja) se ocenjuje le v študijah, ki se na te lastnosti osredotočajo, v splošnih analizah

prestrezanja padavin pa jih nismo zasledili. Metod za oceno teh parametrov ni veliko, večinoma so jih uporabili le v eni ali dveh študijah in se še razvijajo.

Vsak izmed naštetih in opisanih parametrov na določen način vpliva na količino prestreženih padavin. Za čim bolj točno določanje vpliva vsakega parametra posebej se v namenskih študijah pogosto osredotočijo le na proučevanje enega ali dveh parametrov, redko pa upoštevajo celotno situacijo. Take študije lahko zaradi osamitve parametrov dajo nepričakovane rezultate (Dietz et al., 2006). Zaradi kompleksnosti izvedbe analize le enega vpliva pa so posamezni parametri redkeje poglobljeno raziskani.

Poleg vegetacijskih parametrov pa na prestrezanje padavin občutno vplivajo tudi meteorološki parametri, kot na primer temperatura zraka, smer in hitrost vetra, velikost dežnih kapljic in vlaga v zraku. Tako je pri analizi prestreženih padavin potrebno upoštevati oba vidika. Potrebno se je zavedati vplivov vseh parametrov, ki pri določenem dogodku lahko vplivajo na količino prepuščenih padavin.

Viri

Andre, F., Jonard, M., Ponette, Q. (2008). Precipitation water storage capacity in a temperate mixed oak–beech canopy, *Hydrological Processes* **22**, 4130–4141.

Asadian, Y. (2010). Rainfall interception in an urban environment. Unpublished Master's degree, University of British Columbia, Faculty of Graduate Studies, 84 p.

Bolstad, P.V., Gower, S.T. (1990). Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stands using a portable radiometer, *Tree Physiology* **7**, 115–124.

Bosveld, F.C. (1997). Derivation of fluxes from profiles over a moderately homogeneous forest. *Boundary Layer Meteorology* **84**, 289–327.

Bouten, W., Swart, P.J.F., de Water, E. (1991). Microwave transmission, a new tool in forest hydrological research. *Journal of Hydrology* **124**, 119–130.

Bouten, W., Schaap, M.G., Aerts, J., Vermetten, A.W.M. (1996). Monitoring and modeling canopy water

- storage amounts in support of atmospheric deposition studies. *Journal of Hydrology* **181**, 305–321.
- Breda, N.J.J. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* **54**, 2403–2417.
- Brack, C. (1999). Tree crown: Forest Measurement and Modelling. <http://fennerschool-associated.anu.edu.au/mensuration/crown.htm> (Pridobljeno 8. 7. 2014.).
- Brown, S., Pearson, T., Slaymaker, D., Ambagis, S., Moore, N., Novelo, D., Sabido, W. (2005). Creating a virtual tropical forest from three dimensional aerial imagery to estimate carbon stocks. *Ecological Applications* **15**, 1083–1095.
- Buba, T. (2013). Relationships between stem diameter at breast height (DBH), tree height, crown length, and crown ratio of *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn in the Nigerian Guinea Savanna. *African Journal of Biotechnology* **12**, 3441–3446.
- Buttle, J.M., Farnsworth, A.G. (2012). Measurement and modeling of canopy water partitioning in a reforested landscape: The Ganaraska Forest, southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology* **466–467**, 103–114.
- Cameron, J.L. (2007): Influence of crown traits and leaf arrangement on rainfall interception, throughfall, and stemflow in five tropical tree species. Unpublished Thesis, University of Winnipeg, Department of Biology, 42 p.
- Crockford, R.H., Richardson, D.P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* **14**, 2903–2920.
- Čater, M., Schmid, I., Kazda, M. (2013). Instantaneous and potential radiation effect on underplanted European beech below Norway spruce canopy, *European Journal of Forest Research* **132**, 23 – 32.
- De Moraes Frasson, R.P., Krajewski, W.F. (2011). Characterization of the drop-size distribution and velocity–diameter relation of the throughfall under the maize canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* **151**, 1244–1251.
- Deguchi, A., Hattori, S., Park, H. (2006). The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model. *Journal of Hydrology* **318**, 80–102.
- Diaci, J. (1999). Meritve sončnega sevanja v gozdu – I. Presoja metod in instrumentov, *Zbornik gozdarstva in lesarstva* **58**, 105-138.
- Díaz, I.A., Sieving, K.E., Peña-Foxon, M.E., Larraín, J., Armesto, J.J. (2010). Epiphyte diversity and biomass loads of canopy emergent trees in Chilean temperate rain forests: A neglected functional component. *Forest Ecology and Management* **259**, 1490–1501.
- Dietz, J., Hölscher, D., Leuschner, C., Hendrayanto. (2006). Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. *Forest Ecology and Management* **237**, 170–178.
- Falster, D.S., Westoby, M. (2003). Leaf size and angle vary widely across species: what consequences for light interception? *New Phytologist* **158**, 509–525.
- Fleck S, Raspe S, Čater M, Schleppi P, Ukonmaanaho L, Greve M, Hertel C, Weis W, Rumpf S (2012) Leaf area measurements. Manual Part XVII. United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, ICP Forests, Hamburg
- Fleischbein, K., Wilcke, W., Goller, R., Boy, J., Valarezo, C., Zech, W., Knoblich, K. (2005). Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. *Hydrological Processes* **19**, 1355–1371.
- Forestry tools. (2014). <http://www.forestrytools.com.au/index.php?id=28> (Pridobljeno 10. 7. 2014.).
- Garcia-Estringana, P., Alonso-Blázquez, N., Alegre, J. (2010). Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediterranean shrubs. *Journal of Hydrology* **389**, 363–372.
- Geiger, R., Aroq, R.H., Todhunter, P. (1995). *The climate near the ground*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden, 528 p.
- Gratani, L., Bombelli, A., Crescente M. F. (2003). Leaf area index (LAI) map of a protected area within the caldera of Vico Lake (Italy), *Plant Biosystems* **137**, 141-147.
- Hale, S.E., Edwards, C. (2002). Comparison of film and digital hemispherical photography across a wide range of canopy densities. *Agricultural and Forest Meteorology* **112**, 51–56.
- Hall, R.L., Calder, I.R. (1993). Drop size modification by forest canopies - measurements using a disdrometer. *Journal of Geophysical Research* **90**, 465–470.

- Holder, C.D. (2012). The relationship between leaf hydrophobicity, water droplet retention, and leaf angle of common species in a semi-arid region of the western United States. *Agricultural and Forest Meteorology* **152**, 11–16.
- Holder, C.D. (2013). Effects of leaf hydrophobicity and water droplet retention on canopy storage capacity. *Ecohydrology* **6**, 483–490.
- Hölscher, D., Köhler, L., van Dijk A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A. (2004). The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology* **292**, 308–322.
- Hood, S. (2007). Bark thickness. http://www.firewords.net/definitions/bark_thickness.htm (Pridobljeno 10. 7. 2014.).
- Hosoi, F., Nakai, Y., Omasa, K. (2009). Estimating the leaf inclination angle distribution of the wheat canopy using a portable scanning lidar. *Journal of Agricultural Meteorology* **65**, 297–302.
- Huang, Y.S., Chen, S.S., Lin, T.P. (2005). Continuous monitoring of water loading of trees and canopy rainfall interception using the strain gauge method. *Journal of Hydrology* **311**, 1–7.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* **121**, 19–35.
- Klaassen, W., Bosveld, F., de Water, E. (1998). Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology* **212–213**, 36–50.
- Kume, T., Kuraji, K., Yoshifuji, N., Morooka, T., Sawano, S., Chong, L., Suzuki, M. (2006). Estimation of canopy drying time after rainfall using sap flow measurements in an emergent tree in a lowland mixed-dipterocarp forest in Sarawak, Malaysia. *Hydrological Processes* **20**, 565–578.
- Kume, T., Manfro, O.J., Kuraji, K., Tanaka, N., Horiuchi, T., Suzuki, M., Kumagai, T. (2008). Estimation of canopy water storage capacity from sap flow measurements in a Bornean tropical rainforest. *Journal of Hydrology* **352**, 288–295.
- Kucharik, C.J., Norman, J.M., Murdock, L.M., Gower, S.T. (1997). Characterizing canopy nonrandomness with a multiband vegetation imager (MVI). *Journal of Geophysical Research* **102**, 29455–29473.
- Kucharik, C.J., Norman, J.M., Gower, S.T. (1998). Measurements of leaf orientation, light distribution and sunlit leaf area in a boreal aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **91**, 127–148.
- LAI-theory and practice. (2014). Decagon devices. Dodatno gradivo pri virtualnem seminarju, izvedenem 19. 2. 2014.
- Lang, A.R.G., McMurtrie, R.E., Benson, M.L., (1991). Validity of surface area indices of *Pinus radiata* estimated from transmittance of the sun's beam. *Agricultural and Forest Meteorology* **57**, 157–170.
- Levy, P.E., Jarvis, P.G. (1999). Direct and indirect measurements of LAI in millet and fallow vegetation in HAPEX-Sahel. *Agricultural and Forest Meteorology* **97**, 199–212.
- Liu, S. (1998). Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. *Journal of Hydrology* **207**, 32–41.
- Llorens, P., Gallart, F. (2000). A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology* **240**, 131–144.
- Myneni, R.B., Nemani, R.R., Running, S.W. (1997). Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **35**, 1380–1393.
- Nadkarni, N.M., Schaefer, D., Matelson, T.J., Solano, R. (2004). Biomass and nutrient pools of canopy and terrestrial components in a primary and a secondary montane cloud forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* **198**, 223–236.
- Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M. (2006). Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution. *Journal of Hydrology* **329**, 422–431.
- Nature Conservation Practice Note. (2006). http://www.afcd.gov.hk/english/conservation/cons_tech/files/common/NCPN_No.02_measurement_of_DBH_ver_2006.pdf (pridobljeno 7. 7. 2014.).
- Park, A., Cameron, J.L. (2008). The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *Forest Ecology and Management* **255**, 1915–1925.
- Peck A K (2004) Hydrometeorologische und mikroklimatische Kennzeichen von Buchenwäldern. Meteorologisches Institut der Universität Freiburg, Freiburg: 187 p.
- Pypker, T.G., Bond, B.J., Unsworth, M.H. (2004). The role of epiphytes in the interception and evaporation of

rainfall in old-growth Douglas-fir forests in the Pacific Northwest. Proceedings of the 26th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Vancouver, American Meteorological Society, 6 p. https://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/techprogram/paper_80040.htm (Pridobljeno 12. 7. 2014.)

Pypker, T.G., Unsworth, M.H., Bond, B.J. (2006). The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest. I. Laboratory measurements of water storage. *Canadian Journal of Forest Research* **36**: 809–818.

Reichle, D. E. (1981). Dynamic Properties of Forest Ecosystems. Cambridge University press, Cambridge, 683 p.

Ryan, M.G., Bond, B.J., Law, B.E., Hubbard, R.M., Woodruff, D., Cienciala, E., Kucera, J. (2000). Transpiration and whole-tree conductance in ponderosa pine trees of different heights. *Oecology* **124**, 553–560.

Rutter, A. J. (1975) The Hydrological Cycle in Vegetation. In: M J L. (eds), Vegetation and Atmosphere, Academic press London, New Yourk, San Francisco Scurlock, J.M.O., Asner, G.P., Gower, S.T. (2001). Worldwide historical estimates of leaf area index, 1932–2000. Poročilo, pripravljeno s strani Oak Ridge National Laboratory za U.S. Department of Energy.

Smith, F.W., Sampson, D.A., Long, J.N. (1991). Comparison of leaf area index estimates from tree allometrics and measured light interception. *Forest Science* **37**, 1682–1688.

Song, C., Dickinson, M.B., Su, L., Zhang, S., Yaussey, D. (2010). Estimating average tree crown size using spatial information from Ikonos and QuickBird images: Across-sensor and across-site comparisons. *Remote sensing of Environment* **14**, 1099–1107.

Šraj, M. (2003a): Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Unpublished Doctoral Thesis, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 142 p.

Šraj, M. (2003b). Določanje indeksa listne površine listnatega gozda na povodju Dragonje – 1. del: Metode in meritve = Estimating leaf area index of the deciduous forest in the Dragonja watershed – Part I: Methods and measuring. *Acta hydrotechnica* **21(35)**, 105–128.

Šraj, M. (2004) Določanje indeksa listne površine listnatega gozda na povodju Dragonje – 2. del: Rezultati in diskusija = Estimating leaf area index of the deciduous forest in the Dragonja watershed – Part II:

Results and discussion. *Acta hydrotechnica* **22(36)**, 1–15.

Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M. (2008). Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology* **148**, 121–134.

Valente, F., David, J.S., Gash, J.H.C. (1997). Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology* **190**, 141–162.

Vilhar, U. (2006): Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem rogu. Unpublished Doctoral Thesis, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 250 p.

Vilhar, U. (2010). Padavinski režim v izbranih vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* **91**, 43–58.

Vilhar U, Kobal M, Simončič P (2012) Kroženje vode v bukovih gozdovih. In: A Bončina (eds), Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana: pp. 103-113

Vilhar, U., Roženberger, d., Simončič, P., Diaci, J. (2014). Variation in irradiance, soil features and regeneration patterns in experimental forest canopy gaps, *Annals of forest science*, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13595-014-0424-y> (Pridobljeno 15. 12. 2014).

Voigt G.K. (1960). Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Science* **6**, 2–10.

Wagner, S., Hagemeyer, M. (2006). Method of segmentation affects leaf inclination angle estimation in hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* **139**, 12–24.

Wang, X., Zhang, Y., Hu, R., Pan, Y., Berndtsson, R. (2012). Canopy storage capacity of xerophytic shrubs in Northwestern China. *Journal of Hydrology* **454–455**, 152–159.

Watson, D.J. (1947). Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* **11**, 41–76

Wilson, J.W. (1960). Inclined point quadrats. *New Phytologist* **59**, 1–8.

Wood, M.K., Jones, T.L., Vera-Cruz, M.T. (1998). Rainfall interception by selected plants in the Chihuahuan Desert. *Journal of range management* **51**, 91–96.

Zhao, D., Xie, D., Zhou, H., Jiang, H., An, S. (2012). Estimation of leaf area index and plant area index of a submerged macrophyte canopy using digital photography. *PloS ONE* **7** (12). <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0051034> (Pridobljeno 10. 7. 2014.).