

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidat:

**Aleš Lah**

# **Meritve in analiza prestreženih padavin**

**Diplomska naloga št.: 2959**

**Mentor:**  
prof. dr. Mitja Brilly

**Somentor:**  
doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 20. 6. 2007

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **ALEŠ LAH** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**MERITVE IN ANALIZA PRESTREŽENIH PADAVIN**«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 22.05.07

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 556.12(043.2)**

**Avtor: Aleš Lah**

**Mentor: prof. dr. Mitja Brilly**

**Somentor: asist. dr. Mojca Šraj**

**Naslov: Meritve in analiza prestreženih padavin**

**Obseg in oprema: 99 str., 4 pregl., 81 sl., 5 en.**

**Ključne besede: prepuščene padavine, odtok po deblu, intenziteta padavin, količina padavin**

### **Izvleček**

Poglavitna naloga te študije je merjenje in analiza prepuščenih padavin in odtoka po deblu ter primerjava posameznih komponent hidrološkega kroga za listavce in iglavce. Večina podobnih študij se usmerja le na meritve v poletnem in zimskem obdobju, naša pa obravnava vsa štiri vegetacijska obdobja in sicer od 2004 do 2006. Meritve prepuščenih padavin in odtoka po deblu so potekale na raziskovalni ploskvi Hidrotehničnega oddelka FGG na Hajdrihovi ulici 28 v Ljubljani in sicer na brezini ter borovi skupini dreves. Prepuščene padavine so se merile z avtomatskimi koriti ter s pomičnimi merilci, ki so služili za kontrolo in primerjavo rezultatov. Na vsaki skupini dreves pod krošnjami smo imeli po dve merilni koriti in dva totalizatorja. Meritve so se beležile avtomatsko na 10 minut oz. so se odčitavale ročno za kontrolo. Odtok po deblu smo merili z merilnimi žlebiči na deblu in ga ročno odčitavali. Padavine so se merile na prostem z ombrografom, za kontrolo pa so služile meritve totalizatorjev. Rezultate študije za posamezna drevesa smo primerjali med seboj in z drugimi sorodnimi študijami. V primeru breze smo izmerili 57 – 70 % prepuščenih padavin, pri boru pa 34 – 49 %, kar je primerljivo z drugimi podobnimi študijami. Pri brezi smo dobili 1,9 – 6,8 %, pri boru pa 0,005 – 0,073 % odtoka po deblu v odvisnosti od padavin. Rezultati so primerljivi z ostalimi podobnimi študijami..

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION****UDC: 556.12(043.2)****Author: Aleš Lah****Supervisor: prof. dr. Mitja Brilly****Assist. Supervisor: assist. dr. Mojca Šraj****Title: Measurement and analysis of intercepted precipitation****Notes: 99 pg., 4 tab., 81 fig., 5 eq.****Key words: troughfall, stemflow, rainfall intensity, amount of rainfall****Abstract**

The main intention of this study is to measure and analyse troughfall precipitation and stemflow. Most of the similar studies take interest in measurements only in high and low growing seasons, but this one concerns with the entire growing season, namely for the period 2004 to 2006, which makes it in some way unique. Measurements of troughfall and stemflow were taking place on research plot of Chair of Hydraulic Engineering on Faculty of Civil and Geodetic Engineering on Hajdrihova 28 in Ljubljana, namely on birch and pine stands. Troughfall was measured with steel gutters and manual gauges, which were used as a comparison and supervision of results. Two steel gutters and two manual gauges were located on each stand. Troughfall was measured automatically with digital recording on every 10 minutes and manually for checking reasons. A rubber collar was fitted around the stem to measure stemflow, data was taken manually. Precipitation were measured on open space with tipping bucket rain gauge and with totalisator for comparison. The results of studies for individual tree types were compared to each other and to other similar studies. We measured 57 – 70 % of troughfall on birch stand and 34 – 49 % on pine stand, which is comparable to other similar studies. In the matter of stemflow we measured 1,9 – 6,8 % of associated precipitation for birch and 0,005 – 0,073 % for pine, which is also comparable to other studies.

## **KAZALO VSEBINE**

<b>1 OSNOVE TEORIJE</b>	<b>1</b>
1.1 Uvod	1
1.2 Splošno o gozdu	1
1.2.1 Hidrološka funkcija gozdov	11
1.3 Gozdni hidrološki krog	12
1.3.1 Splošno	12
1.3.2 Posamezne komponente gozdnega hidrološkega kroga	14
1.3.2.1 Padavine	14
1.3.2.2 Evapotranspiracija	18
1.3.2.3 Prestrežanje in prepuščene padavine (Tf)	21
1.3.2.4 Odtok po deblu (Sf)	23
1.3.3 Vodna bilanca gozdnega hidrološkega kroga	24
<b>2 MERJENJE PRESTREŽENIH PADAVIN IN OPIS METOD</b>	<b>26</b>
2.1 Uvod	26
2.2 O raziskovalni ploskvi	27
2.2.1 Geografske in geološke značilnosti	27
2.2.2 Podnebje	30
2.2.2.1 Padavine	31
2.2.2.2 Temperature	33
2.2.2.3 Sončno obsevanje	34
2.2.2.4 Agrometeorologija in fenologija	35
2.2.3 Raziskovalna ploskev	36
2.3 Metode merjenja in merska oprema	38
<b>3 REZULTATI ŠTUDIJE IN ANALIZE MERITEV</b>	<b>43</b>

<b>3.1 Padavine</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Prestrežene padavine</b>	<b>55</b>
<b>3.2.1 Uvod</b>	<b>55</b>
<b>3.2.2 Primerjava prepuščenih padavin med borom in brezo po obdobjih</b>	<b>55</b>
<b>3.2.2.1 Regresijske analize prepuščenih padavin iz avtomatskih meritev</b>	<b>59</b>
<b>3.2.2.2 Regresijske analize prepuščenih padavin iz totalizatorjev</b>	<b>61</b>
<b>3.2.3 primerjava rezultatov avtomatskih in ročnih meritev</b>	<b>64</b>
<b>3.2.4 odvisnost prepuščenih padavin od jakosti in količine padavin</b>	<b>70</b>
<b>3.2.4.1 Odvisnost prepuščenih padavin od količine padavin</b>	<b>71</b>
<b>3.2.4.2 Odvisnost prepuščenih padavin od intenzitete padavin</b>	<b>77</b>
<b>3.2.5 Primerjava rezultatov študije prestreženih padavin z rezultati podobnih študij</b>	<b>84</b>
<b>3.3 Odtok po deblu</b>	<b>86</b>
<b>3.3.1 Primerjava odтока po deblu med borom in brezo</b>	<b>87</b>
<b>3.3.2 Primerjava med odtokom po deblu in padavinami</b>	<b>89</b>
<b>3.3.3 Primerjava odтока po deblu z intenziteto padavin</b>	<b>98</b>
<b>3.3.4 Primerjava odтока po deblu z drugimi študijami</b>	<b>101</b>
<b>4 ZAKLJUČKI</b>	<b>103</b>

**KAZALO SLIK**

SLIKA 1. PORAZDELITEV GOZDA PO SVETU (UNEP - WCMC, 2000).....	3
SLIKA 2. GOZDNE POVRŠINE SLOVENIJE (VIR: INTERAKTIVNI ATLAS SLOVENIJE, ZRC SAZU)...	6
SLIKA 3. NAVADNA BREZA ( <i>BETULA PENDULA</i> ), DESNO LIST BREZE (BRUS, 2004).....	8
SLIKA 4. CVET NAVADNE BREZE (KOTAR IN BRUS, 1999) .....	8
SLIKA 5. RDEČI BOR ( <i>PINUS SYLVESTRIS</i> ) (BRUS, 2004).....	9
SLIKA 6. LEVO CVET RDEČEGA BORA, DESNO PLOD RDEČEGA BORA (BRUS, 2004).....	9
SLIKA 7. GOZDNI HIDROLOŠKI KROG (ŠRAJ, 2003) .....	14
SLIKA 8. RAZPOREDITEV PADAVIN V SLOVENIJI (VIR: ARSO MOP) .....	18
SLIKA 9. LEGA RAZISKOVALNE PLOSKVE OZ. LJUBLJANE V LJUBLJANSKI KOTLINI (VIR: ARSO- NARAVOVARSTVENI ATLAS SLOVENIJE).....	29
SLIKA 10. KARTA LJUBLJANE TER RABA PROSTORA V LJUBLJANI (PAK, 2002) .....	30
SLIKA 11. POVPREČNE MESEČNE PADAVINE ZA OBDOBJE 1961-1990 (PO PODATKIH ARSO) ....	32
SLIKA 12. POVPREČNO ŠTEVILO DNI V MESECU S SNEŽNO ODEJO OB SEDMIH ZJUTRAJ ZA OBDOBJE 1961-1990, (PO PODATKIH ARSO).....	33
SLIKA 13. POVPREČNE MESEČNE TEMPERATURE ZA OBDOBJE 1961-1990 (PO PODATKIH ARSO) .....	34
SLIKA 14. POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA ZA LJUBLJANO V OBDOBJU 1961-1990 (PO PODATKIH ARSO).....	35
SLIKA 15. NATANČNA LEGA RAZISKOVALNE PLOSKVE (GOOGLE EARTH, 2007) .....	36
SLIKA 16. KONFIGURACIJA RAZISKOVALNE PLOSKVE.....	37
SLIKA 17. POSTAVITEV MERSKE OPREME NA BREZAH.....	40
SLIKA 18. POSTAVITEV MERSKE OPREME NA BORIH.....	40
SLIKA 19. AVTOMATSKI DEŽEMER ONSET RG2-M LEVO IN HELLMANNOV DEŽEMER DESNO .	41
SLIKA 20. LEVO POMIČNI MERILEC PREPUŠČENIH PADAVIN ALI TOTALIZATOR, DESNO KORITO .	42
SLIKA 21. MERJENJE ODTOKA PO DEBLU .....	43
SLIKA 22. HEMISFERIČNE FOTOGRAFIJE KROŠNJE BREZE: LEVO V ZIMSKEM OBDOBJU, DESNO V POLETNEM OBDOBJU .....	44



SLIKA 23. HEMISFERIČNE FOTOGRAFIJE KROŠNJE BREZE: LEVO V SPOMLADANSKEM OBDOBJU, DESNO V JESENSKEM OBDOBJU .....	44
SLIKA 24. HEMISFERIČNE FOTOGRAFIJE KROŠNJE BORA: LEVO V ZIMSKEM OBDOBJU, DESNO V POLETNEM OBDOBJU .....	45
SLIKA 25. HEMISFERIČNE FOTOGRAFIJE KROŠNJE BORA: LEVO V SPOMLADANSKEM OBDOBJU, DESNO V JESENSKEM OBDOBJU .....	45
SLIKA 26. PRIMERJAVA KOLIČINE PADAVIN PO VEGETACIJSKIH OBDOBJIH IZ AVTOMATSKIH PODATKOV .....	46
SLIKA 27. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V ZIMSKEM OBDOBJU .....	47
SLIKA 28. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU RASTI (N = 14) .....	48
SLIKA 29. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU NA VIŠKU .....	49
SLIKA 30. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU ODPADANJA.....	50
SLIKA 31. PRIMERJAVA INTENZITET PADAVIN PO POSAMEZNIH VEGETACIJSKIH OBDOBJIH .....	51
SLIKA 32. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU POZIMI.....	52
SLIKA 33. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU RASTI (N = 10) .....	52
SLIKA 34. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU NA VIŠKU .....	53
SLIKA 35. REGRESIJSKA ANALIZA PADAVIN, MERJENIH AVTOMATSKO IN ROČNO V OBDOBJU NA VIŠKU .....	53
SLIKA 36. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN MED BOROM IN BREZO IZ AVTOMATSKIH PODATKOV PO VEGETACIJSKIH OBDOBJIH.....	56
SLIKA 37. ZADRŽEVANJE SNEGA NA DREVESIH: LEVO BREZI, DESNO BORA .....	57
SLIKA 38. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN MED BOROM IN BREZO IZ TOTALIZATORJEV PO OBDOBJIH .....	58
SLIKA 39. REGRESIJA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI BORA IN BREZE ZA ZIMO IZ AVTOMATSKIH PODATKOV (N = 17).....	59

SLIKA 40. REGRESIJA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI BORA IN BREZE ZA POLETJE IZ AVTOMATSKIH PODATKOV (N = 23) .....	60
SLIKA 41. REGRESIJA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI BORA IN BREZE ZA JESEN IZ AVTOMATSKIH PODATKOV (N = 5) .....	60
SLIKA 42. REGRESIJA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI BORA IN BREZE POZIMI IZ MERITEV S TOTALIZATORJI (N = 5) .....	62
SLIKA 43. REGRESIJA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI BORA IN BREZE SPOMLADI IZ MERITEV S TOTALIZATORJI (N = 4) .....	62
SLIKA 44. REGRESIJA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI BORA IN BREZE POLETI IZ MERITEV S TOTALIZATORJI (N = 18) .....	63
SLIKA 45. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BOR, MERJENIH AVTOMATSKO IN S TOTALIZATORJI.....	65
SLIKA 46. PRIMERJAVA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI MERJENIMI S TOTALIZATORJI IN AVTOMATSKIMI MERITVAMI ZA BOR V OBDOBJU NA VIŠKU (N = 44).....	66
SLIKA 47. PRIMERJAVA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI MERJENIMI S TOTALIZATORJI IN AVTOMATSKIMI MERITVAMI ZA BOR V OBDOBJU ODPADANJA (N = 6).....	66
SLIKA 48. PRIMERJAVA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI MERJENIMI S TOTALIZATORJI IN AVTOMATSKIMI MERITVAMI ZA BOR POZIMI (N = 10).....	67
SLIKA 49. PRIMERJAVA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI MERJENIMI S TOTALIZATORJI IN AVTOMATSKIMI MERITVAMI ZA BOR V OBDOBJU RASTI (N = 3).....	67
SLIKA 50. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BREZO, MERJENIH AVTOMATSKO IN S TOTALIZATORJI.....	68
SLIKA 51. PRIMERJAVA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI MERJENIMI S TOTALIZATORJI IN AVTOMATSKIMI MERITVAMI ZA BREZO POZIMI (N = 7).....	69
SLIKA 52. PRIMERJAVA MED PREPUŠČENIMI PADAVINAMI MERJENIMI S TOTALIZATORJI IN AVTOMATSKIMI MERITVAMI ZA BREZO POLETI (N = 17).....	70
SLIKA 53. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BOR V ZIMSKEM OBDOBJU (N = 32).....	71
SLIKA 54. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU RASTI (N = 9).....	72
SLIKA 55. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU NA VIŠKU (N = 69) .....	73

SLIKA 56. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BOR V JESENSKEM OBDOBJU (N = 5).....	74
SLIKA 57. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BREZO V ZIMSKEM OBDOBJU (N = 23) .....	75
SLIKA 58. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU NA VIŠKU (N = 68).....	76
SLIKA 59. PRIMERJAVA MED KOLIČINO PADAVIN IN KOLIČINO PREPUŠČENIH PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU ODPADANJA (N = 6).....	77
SLIKA 60. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BOR V ZIMSKEM OBDOBJU .....	78
SLIKA 61. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU RASTI (N = 9).....	79
SLIKA 62. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU NA VIŠKU .....	80
SLIKA 63. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU ODPADANJA (N = 5).....	81
SLIKA 64. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BREZO V ZIMSKEM OBDOBJU (N = 20) .....	82
SLIKA 65. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU NA VIŠKU (N = 65).....	83
SLIKA 66. PRIMERJAVA PREPUŠČENIH PADAVIN IN INTENZITETE PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU ODPADANJA LISTJA (N = 7) .....	84
SLIKA 67. PRIMERJAVA POVPREČNEGA ODTOKA PO DEBLU MED BOROM IN BREZO PO OBDOBJIH .....	87
SLIKA 68. PRIMERJAVA POVPREČNEGA ODTOKA PO DEBLU ZA BOR PO POSAMEZNIH VEGETACIJSKIH OBDOBJIH.....	88
SLIKA 69. PRIMERJAVA POVPREČNEGA ODTOKA PO DEBLU ZA BREZO PO POSAMEZNIH VEGETACIJSKIH OBDOBJIH.....	89
SLIKA 70. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU NA VIŠKU RASTI (N = 30) .....	90
SLIKA 71. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU ODPADANJA (N = 7) .....	91

SLIKA 72. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU POZIMI .....	92
SLIKA 73. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BOR V OBDOBJU RASTI .....	93
SLIKA 74. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BOR ZA CELOTNO OBDOBJE .....	94
SLIKA 75. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU NA VIŠKU RASTI (N = 30) .....	95
SLIKA 76. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU ODPADANJA (N = 7) .....	96
SLIKA 77. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU BREZ LISTJA (N = 6) .....	97
SLIKA 78. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN KOLIČINO PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU RASTI (N=4) .....	98
SLIKA 79. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN INTENZITETO PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU NA VIŠKU .....	99
SLIKA 80. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN INTENZITETO PADAVIN ZA BREZO V OBDOBJU BREZ LISTJA .....	100
SLIKA 81. PRIMERJAVA MED ODTOKOM PO DEBLU IN INTENZITETO PADAVIN ZA BOR ZA CELOTNO OBDOBJE .....	101

**KAZALO PREGLEDNIC**

TABELA 1. KARAKTERISTIKE DREVES NA RAZISKOVALNI PLOSKVI .....	38
TABELA 2. PREGLED MERSKE OPREME .....	39
TABELA 3. PRIMERJAVA MERITEV PRESTREŽENIH PADAVIN Z DRUGIMI ŠTUDIAMI (ŠRAJ, 2003) .....	85
TABELA 4. PRIMERJAVA MERITEV ODTOKA PO DEBLU Z DRUGIMI ŠTUDIAMI (ŠRAJ, 2003).....	102

# **1 OSNOVE TEORIJE**

## **1.1 Uvod**

Hidrologija je kot znanost del geofizike. Njene podveje so še meteorologija, geologija, seizmologija itd. Proučuje kroženje vode v hidrosferi in njen odnos do okolja in življa. Njena naloga je predvsem proučevanje kroženja vode v naravi, njenih pojavnih oblik, gibanja in porazdelitve. Ukvarja se predvsem s kroženjem vode na kopnem (Brilly in Šraj, 2005).

»Gozdna hidrologija proučuje kroženje vode na gozdnatem zemljišču. Proučuje poti in načine prehajanja vode iz ozračja skozi gozdne ekosisteme do tal, v tla, podtalnico in površinske vodne tokove pa tudi vračanje vode nazaj v ozračje. Zanimajo jo količinski in kakovostni odnosi med kroženjem vode in gozdom, zlasti še vpliv gozdnega rastlinja na prehajanje padavin v tla, na ustvarjanje vodnih zalog. Spoznanja iz gozdne hidrologije so lahko osnova za gospodarske ukrepe, s katerimi je mogoče krepiti hidrološko funkcijo gozda in dosežati tudi vodnogospodarske cilje.« (Smolej, 1988: str. 187)

## **1.2 Splošno o gozdu**

Gozd je skupnost gosteje raslih rastlin, med katerimi prevladujejo drevesa in ostale olesenele rastline. Predstavlja zatočišče tako mikrobom kot tudi vsem ostalim živalskim vrstam in obsega površino, ki je dovolj velika da si izoblikuje svojo lastno mikroklimo (Chang, 2002).

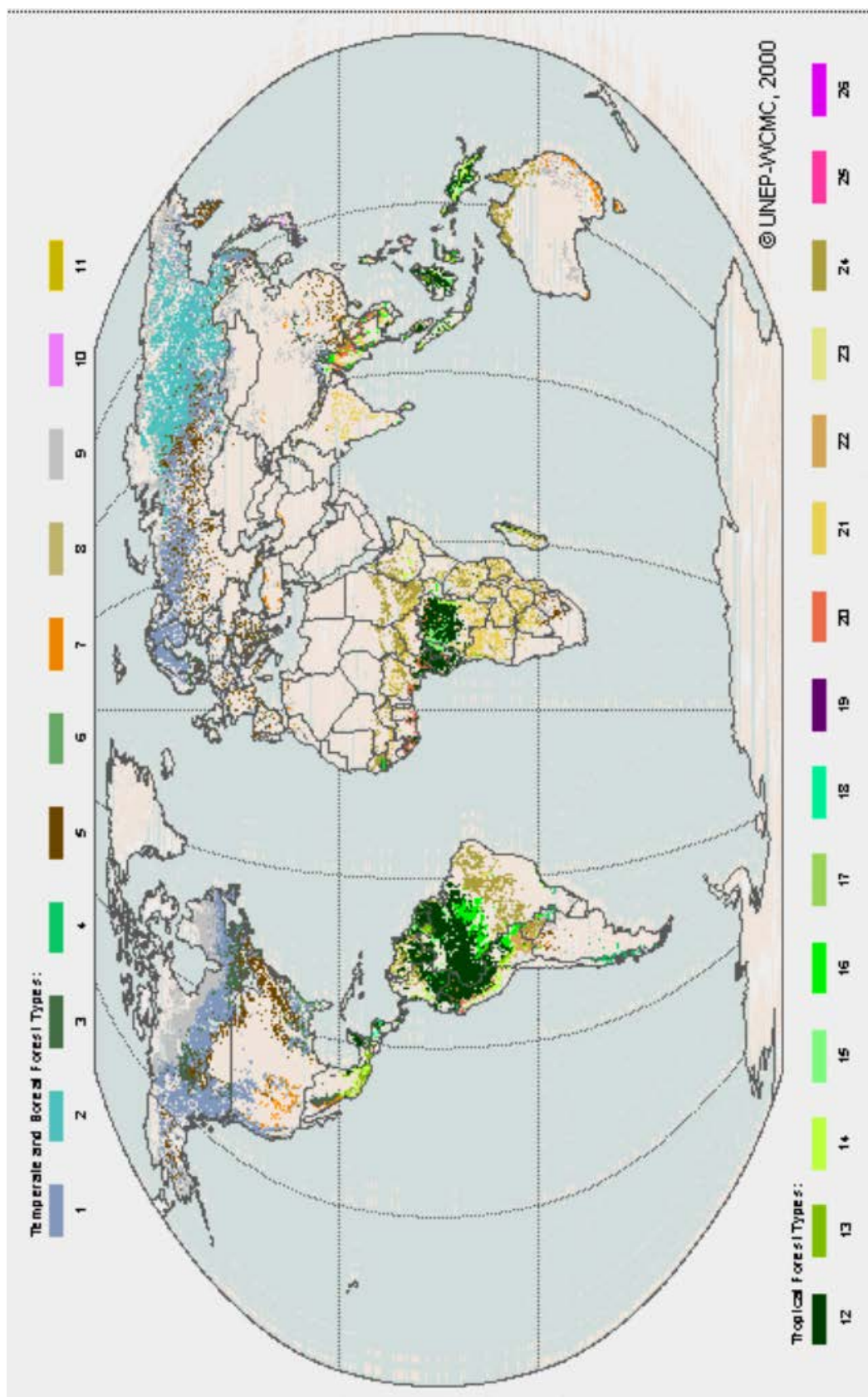
Gozd pa ni sestavljen samo iz velikih dreves, ampak tudi iz manjših rastlin. Krošnje višjih dreves in nižjih rastlin so tako v več nivojih in predstavljajo življenjski prostor številnim živalskim vrstam.

Kot sem že prej omenil ni točno določeno, kako velika mora biti površina pokrita z drevesi, da ji rečemo gozd. Površini, premajhni ali pa preredko poraščeni, da bi imela svojo mikroklimo, pa je verjetno bolj smotrno reči skupina dreves.

Gozdovi zavzemajo približno eno tretjino vsega kopnega na Zemlji. So najbolj značilna in tipična oblika izmed vseh vrst vegetacije in s svojo prisotnostjo veliko močnejše vplivajo na okolje kot pa ostali tipi vegetacije. V povezavi s človekom so gozdovi zmeraj igrali pomembno vlogo pri preživetju, razvoju in obstoju človeške družbe. Vzdrževanje zdravih gozdov zato pomaga vzdrževati in izboljševati kvaliteto okolja, v katerem bivamo.

Na porazdelitev gozdov na Zemlji vplivata v največji meri predvsem temperatura in količina padavin, medtem ko topografija tal vpliva predvsem na vrsto gozda. Na splošno gozd uspeva tam, kjer je letna količina vsaj 380 do 500 mm in je obdobje, s temperaturo nad nič stopinj vsaj 14 do 16 tednov dolgo (Chang, 2002).

Gozdovi uspevajo na vseh celinah, razen Arktiki in Antarktiki. Za njih lahko rečemo, da so v trajnem vzajemnem učinkovanju z ozračjem in tlemi, še posebej pa z različnimi oblikami vode v tleh. Gozdovi namreč igrajo pomembno vlogo pri kroženju vode v naravi in to spoznanje nam da vedeti kako pomembno hidrološko funkcijo imajo (Chang, 2002).



Slika 1. Porazdelitev gozda po svetu (UNEP - WCMC, 2000)



**Legenda:**

- 1 zimzeleni iglasti gozd,
- 2 poletno zeleni iglasti gozd,
- 3 mešani iglasti in listnati gozd,
- 4 zimzeleni listnati gozd,
- 5 poletno zeleni listnati gozd,
- 6 sladkovodni močvirnati gozd,
- 7 suhi gozd (Sclerophyllous),
- 8 umetno spremenjen naravni gozd,
- 9 redko rasla drevesa na strmih pobočjih,
- 10 eksotične neavtohtone rastline,
- 11 nasad avtohtonih rastlin,
- 12 nižinski listnati zimzeleni gozd,
- 13 sredogorski gozdov,
- 14 visokogorski gozd,
- 15 sladkovodni močvirski god,
- 16 delno zimzeleni gozd,
- 17 mešani iglasti in listnati gozd pod 1200 m.n.v.,
- 18 iglasti gozd,
- 19 Mangrove,
- 20 umetno spremenjen naravni gozd,
- 21 listopaden / delno listopaden listnati gozd,
- 22 suhi gozd (Sclerophyllous) pod 1200 m.n.v.,
- 23 bodičasti gozd,
- 24 redko rasla drevesa v savanah,
- 25 eksotične neavtohtone rastline,
- 26 nasad avtohtonih rastlin.

Čeprav so sami odvisni od podnebja in hidrološkega režima, ki ga naseljujejo, moramo vedeti, da tudi sami v veliki meri vplivajo na te naravne pojave, njihov vpliv pa se širi tudi izven njihovega ozemlja (Robič, 1994).

Na svetu obstaja od 60,000 do 70,000 vrst dreves, ki pa se zelo razlikujejo med seboj. Vsem drevesom pa je skupna morfološka sestava, ki sestoji iz treh komponent: iz koreninskega sistema v zemlji, iz krošnje in iz debla, ki povezuje koreninski sistem s krošnjo. Dimenzije in lastnosti morfoloških komponent se zelo razlikujejo med seboj. Tako lahko sekvoja v Severni Ameriki zraste tudi čez 100 metrov v višino, njeno deblo pa ima lahko tudi do šest metrov premera. Spet druga drevesa lahko dočakajo veliko starost; npr. oljke tudi po več tisoč let itd.

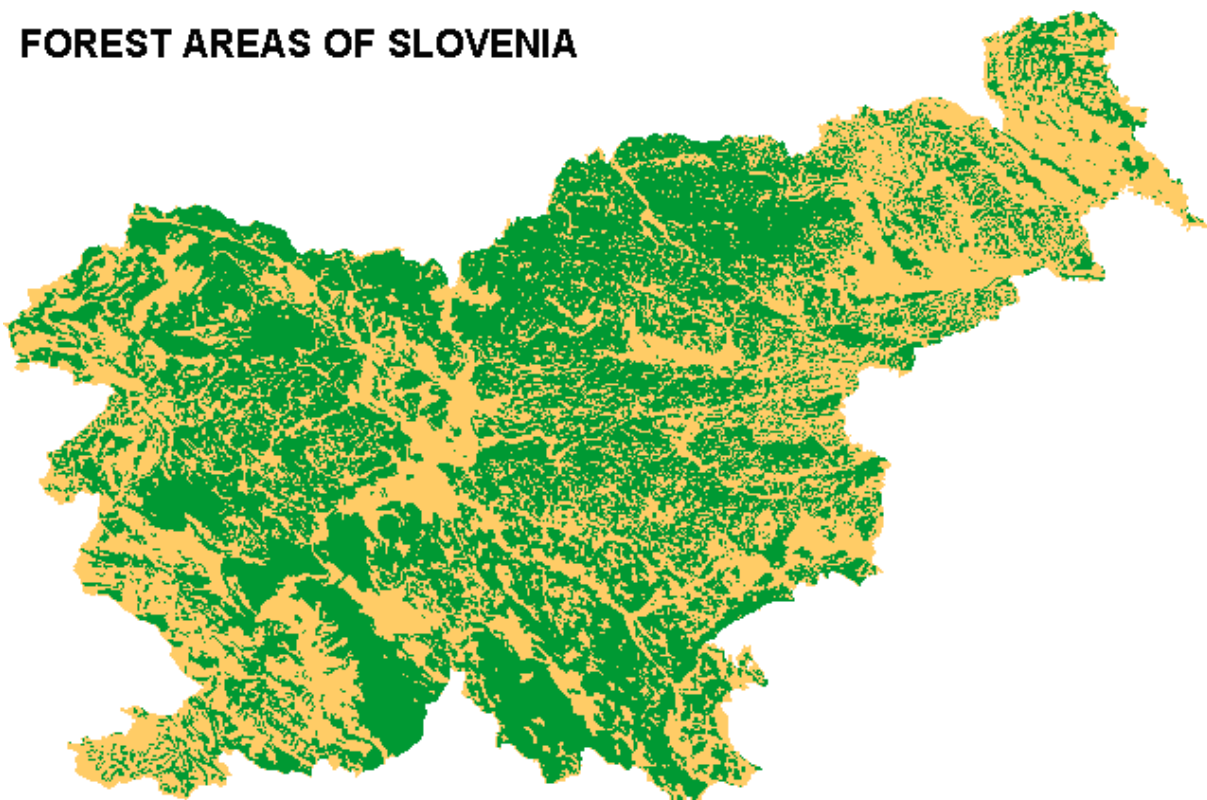
Krošnja verjetno najbolje razlikuje drevesa med seboj. Sestavljena je iz listov, cvetov in plodov, podpirajo pa jo manjše in večje veje. Ob prisotnosti predvsem svetlobe in ogljikovega dioksida se v krošnjah vrši fotosinteza. To je zelo pomemben proces, saj si rastlina z njim izdeluje hrano. V procesu fotosinteze se porablja ogljikov dioksid in to ugodno vpliva na kvaliteto zraka, ki ga porabljajo vse živalske vrste in tudi človek.

Koreninski sistem predstavlja približno 10 % biomase drevesa. Sestavljen je tako iz debelejših, kot tudi iz tanjših korenin in kapilar, ki lahko pri velikem hrastu v dolžino merijo tudi po več sto kilometrov. Kar 70 % koreninskega sistema pa se nahaja v horizontu A. Koreninski sistem pomembno vpliva na lastnosti zemljine, talno hidrologijo in na stabilnost hribin. Z večjimi koreninami namreč stabilizira hribino, z manjšimi pa poveča poroznost tal in s tem poveča zadrževalno kapaciteto tal za vodo. Korenine srkajo ogromne količine vode, ki potem potujejo po deblu navzgor do vej in listov ter skozi listne reže ob procesu transpiracije v atmosfero. Za eno tono na novo zraslega lesa morajo korenine prečrpati okoli 1000 ton vode.

Drevesa imajo običajno po eno deblo, ki pa ima veliko manj funkcij kot pa krošnja in koreninski sistem. Povezuje krošnjo in korenine med seboj in predstavlja oporo sami krošnji. Deblo predstavlja kar okoli 80 % biomase drevesa.

V Sloveniji zavzema gozd približno 57 % celotne površine države kar pomeni, da je prevladujoča sestavina pokrajine. Tako sodi Slovenija po gozdnatosti na četrto mesto v Evropi. Od leta 1875 je gozdnatost pri nas narasla za 21 %. Gozdovi so razporejeni tako, da prevladujejo kar v treh četrtinah slovenskih krajin. Iglastih gozdov je okoli 48 %, listavcev pa 52 %. To je dejansko stanje, potencialno stanje glede na rastiščne razmere pa bi bilo 20 % iglavcev in 80 % listavcev. Razmerje se je spremenilo na račun sajenja smreke (Perko, 2004).

## FOREST AREAS OF SLOVENIA



Slika 2. Gozdne površine Slovenije (vir: interaktivni atlas Slovenije, ZRC SAZU)

Rastlinska sestava gozdov v Sloveniji je odvisna predvsem od geoloških in orografskih razmer. V seriji klimatskih tipov so se tako razvijali različni tipi tal in vegetacije. Predvsem pestri menjavi klime na razmeroma majhnem ozemlju pripisujejo raznoličnost vegetacijske sestave v slovenskih gozdovih. Ta se zakonito spreminja po posameznih fitoklimatskih teritorijih in v okviru njih glede na višjo ali nižjo lego. Vsa nadaljnja pestrost vegetacijske odeje na slovenski zemlji je tesno povezana s posebnimi geološkimi, orografskimi, talnimi ali krajevnimi klimatskimi razmerami, v katerih je potekal razvoj vegetacije že od nekdaj v drugih smereh ali pa so ga zadržale. Poleg dejavnikov naravnega okolja, ki so dali osnovne poteze naši rastlinski odeji, je sedanja podoba v veliki meri odvisna od človekovega uveljavljanja, ki se ne kaže le z izkrčenimi in za poljedelstvo usposobljenimi zemljišči, temveč tudi s spremembo rastlinske sestave in strukture gozdov.

Tako prevladujejo v Primorju in na Krasu združbe črnega gabra in jesenske vilovine, v širši okolici Snežnika prevladujejo gorski gozdovi jelke in bukve, v JVZ Sloveniji prevladujejo nižinski gozdovi gradna in belega gabra, v Prekmurju prevladujejo poplavni gozdovi doba in

belega gabra. Na koroškem in štajerskem koncu prevladujejo združbe gradna in bukve, smreke in jelke ter bukovi gozdovi. V osrednji Sloveniji prevladujejo bukovi gozdovi, nižinski gozdovi gradna in belega gabra. V goratih predelih Julijskih in Kamniških alp prevladujejo gorski bukovi gozdovi, združbe smreke in jelke, ter združbe alpskih vrb in pa rušja (Remic, 1975).

Ker bomo v diplomski nalogi opravljali raziskave na boru in brezi, še nekaj splošnih podatkov o teh dveh vrstah dreves.

Navadna breza (*Betula pendula*) je do 30 m visoko in do 0,6 m debelo listopadno drevo z redko, ozko stožčasto, v večji starosti pa širšo, večkrat nepravilno krošnjo. Skorja na deblu in debelejših vejah je bela. Ker so belo obarvane plasti plutastih celic tanke in slabo raztegljive, z rastjo drevesa pokajo in se krožno luščijo v horizontalnih trakovih, pri večjih starostih pa skorja v spodnjem delu debla razpoka in potemni. Koreninski sistem je plitev, vendar široko in gosto razrasel. Mlade veje so povešene, rdečkastorjave in posute s svetlimi bradavičastimi tvorbami, brsti so jajčasti, zeleno-rjavi do temno-rjavi in 3-4 mm dolgi. Listi navadne breze so enostavni, rombasti, dolgi 4-7 in široki 2-4 cm, po robu dvakrat ostro nažagani in tako kot pecelj, ki je dolg do 3 cm, večinoma goli. Mladi listi in poganjki so nekoliko lepljivi. Skorja je bele barve. Pri večji starosti skorja zlasti v spodnjem delu debla razpoka in počasi izgubi značilno belo barvo. Navadna breza raste po vsej Sloveniji, redkejša je samo v sredozemskem svetu (Brus, 2004).



Slika 3. Navadna breza (*Betula pendula*), desno list breze (Brus, 2004)

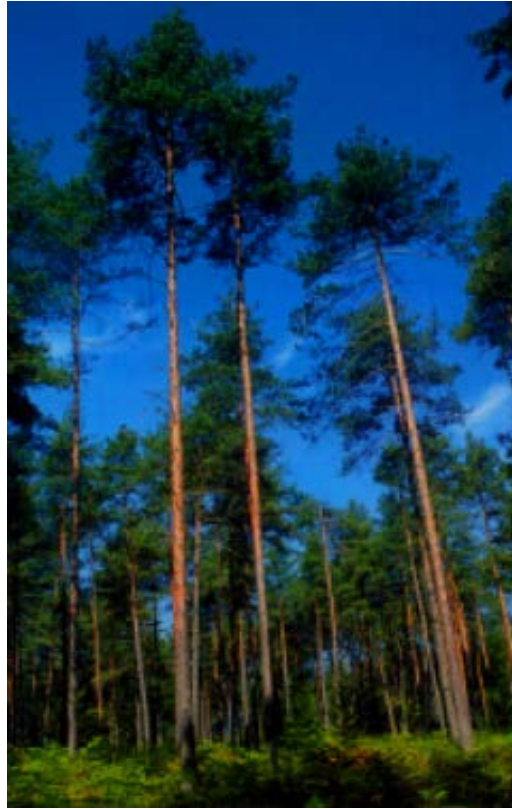


Slika 4. Cvet navadne breze (Kotar in Brus, 1999)

Cvetovi navadne breze so nam pri meritvah povzročali številne preglavice z mašenjem merilnega korita za prestrežene padavine.

Rdeči bor (*Pinus sylvestris*) je do 30 (40) m visoko in do 1 m debelo vednozeleno iglasto drevo s stožčasto, v starosti dežnikasto krošnjo. Razvije globoko glavno in močne stranske korenine, s katerimi se tako trdno učvrsti v podlago, da ga veter prej prelomi, kot izruje. Skorja je na zgornjem delu debla in po debelejših vejah značilno rumenkasto rdeče barve (odtod tudi ime rdeči bor), z nje se luščijo tanki lističi lubja. Starejša drevesa imajo debelo in globoko razbrazdano skorjo. Pri mladih drevesih veje rastejo v izrazitih vejnih vencih, pri starejših drevesih pa lastnost ni več tako izrazita. Poganjki so sivorjavi, brsti podolgovato jajčasti, zašiljeni in večinoma brez smole. Pri borih iglice izraščajo v šopih na zakrnelih kratkih poganjkih; rdeči bor ima v šopku po dve iglici. Iglice so kratke, 4-7 cm dolge in do 2 mm široke, v prečnem prerezu polkrožne, spiralno zvite, zašiljene in razmeroma mehke, niso bodeče, sivkasto-zelene, na drevesu pogosto ostanejo le 2-3 leta, zaradi česar je krošnja redka. Storži so dolgi 3-7 cm in široki 2-3,5 cm. So podolgovato jajčasti in zašiljeni, sivorjavi in niso svetleči.

Rdeči bor je najpogostejši bor v Sloveniji in predstavlja kar 4,9 % skupne lesne zaloge Slovenije. Raztreseno raste po vsej Sloveniji, največ pa ga je na rečnih naplavinah ob Savi in Dravi, v Ljubljanski kotlini, na Goričkem itd. (Brus, 2004).

Slika 5. Rdeči bor (*Pinus sylvestris*) (Brus, 2004)

Slika 6. Levo cvet Rdečega bora, desno plod Rdečega bora (Brus, 2004)

### 1.2.1 Hidrološka funkcija gozdov

Če primerjamo gozd z neporaslim oz. negozdnatim zemljiščem, ugotovimo, da se kroženje vode v teh dveh primerih zelo razlikuje. Najpomembnejša razlika je ta, da zaradi večje stopnje ponikanja padavinske vode nastajajo v gozdnih tleh velike zaloge pitne vode. Iz teh zalog se posledično napajajo površinski in podzemni vodotoki in mnoga zajetja s pitno vodo (Smolej, 1988).

V splošnem naj bi torej gozd ugodno vplival na vodni režim, saj zadržuje ogromne količine vode, blaži klimo in kot navaja Chang (2002) zmanjšuje konice odtokov, povečuje sušne odtoke, in poveča trajanje samega odtoka. Dejansko pa se mnenja znanstvenikov širom sveta zelo razlikujejo.

Robič (1994) v svojem delu povzema tuje znanstvenike in navaja njihove teze. Nekateri se zavzemajo za to, da gozd predvsem izsušuje, to naj bi bilo zaradi večje porabe vode v primerjavi z drugimi rastlinami (npr. travnate rastline, grmičevje...). Drugi pravijo da gozd hkrati izsušuje in vlaži, kajti kljub veliki porabi vode, gozd pritegne tudi veliko padavin in tako se na koncu vse izravna. Naslednja teza govori o nastanku dodatnih padavin nad gozdom, istočasno pa pravi, da gozd ne izhlapeva dosti več vlage kot pa travniške združbe. Obstaja pa tudi teza ki nekako posploši vse ostale in pravi, da ni mogoče enoznačno odgovarjati na vprašanje o hidrološki vlogi gozda.

Robič za naše kraje ugotavlja, da gozd pri nas ugodno vpliva na hidrološki režim, zmanjšuje površinski odtok in povečuje globinskega.

Velik problem v novejši zgodovini pa predstavlja prekomerna in nekontrolirana sečnja gozdov. Človek s tem drastično poseže v naravni ekosistem, prizadene gozdne živali in rastline posredno pa vpliva na vodni režim gozda. Prej naštete ugodne lastnosti gozda, sedaj začnejo zgubljati na veljavi. Povečajo se maksimalni odtoki, voda na svoji poti povzroči škodo, zmanjšajo se sušni odtoki, te pa vplivajo nazaj na ostale ekosisteme v naravi in tudi na človeka (suša...).

Hewlett (1969) opozarja da gozd ne vpliva samo na kvantitativne lastnosti vode, ampak tudi na kvalitativne lastnosti. Gozd namreč izboljšuje kvaliteto vode z zniževanjem erozije in



sedimentacije in od tod, sečnja gozda na goloseke povzroča erozijo in posredno slabša kvaliteto vode zaradi sedimentacije.

Problem golosekov se pojavlja predvsem v gozdovih nižjih zemljepisnih širin npr. v gozdovih Južne Amerike, saj tam prihaja do dostikrat nenadzorovanega in nepremišljenega izsekavanja tropskega deževnega gozda zaradi človekove želje po bogastvu. Goloseki predstavljajo velik problem na površinah, ki so ogrožene z erozijo. Prav na takih površinah pa je potem tudi pogozdovanje golosekov veliko težje (Chang, 2002).

Gozd pa ne vpliva samo na vodo v tleh in na površini, temveč vpliva tudi na same padavine. Tu se ponujata dve vprašanji: ali gozd povečuje padavine in ali jih zmanjšuje? Chang (2002) v svojem delu povzema avtorje kot so Hazen, Brown, Zon, Penman in navaja dve teoriji.

Prva pravi, da gozd povečuje padavine. Ta teza se je razvila iz opažanj, da se nad gozdom, še posebej v gričevnatem svetu, nabirajo meglice in nizka oblačnost. Meteorološki razlogi za to tezo so sledeči: ko se topel zrak giblje čez gozdno površino, se ohladi in kondenzira v padavine. Drugi razlog je ta, da gozdovi povečujejo učinkovito višino hribov pri orografskih padavinah. Tretji razlog pravi, da gozdovi s svojo razgibanostjo tvorijo zračne turbulence in te povzročijo adiabatno ohlajanje in kondenzacijo.

Nasproti tem ugotovitvam stoji druga teza. Ta pravi da na padavine v glavnem vpliva globalno gibanje zračnih mas in topografija terena, ne pa sam gozd. Od tod tudi velike količine padavin ob ekvatorju (nizek zračni tlak), in majhne količine padavin ob polih (visok zračni tlak).

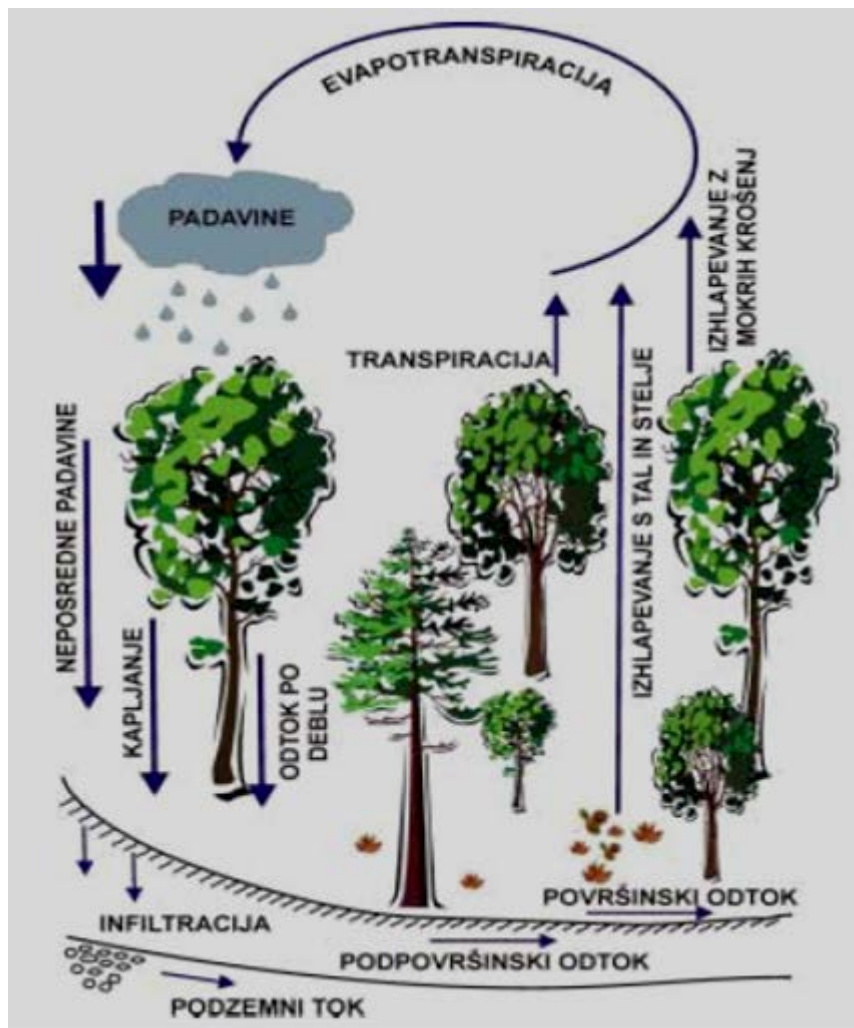
## **1.3 Gozdni hidrološki krog**

### **1.3.1 Splošno**

Vir vode na gozdnatem zemljišču so padavine. Ko padejo na gozd, zadevajo ob drevje ali pa skozi odprtine v krošnjah padejo na gozdna tla. Prvi stik padavin z gozdom so krošnje, ki

padavine prestrežejo. Določen del jih zadržijo in te potem izhlapijo, ostale pa se stekajo po listih, vejicah in vejah ter po deblu na gozdna tla. Podobno se dogaja pri grmovju in travnatih rastlinah. Povsod pa določen del padavin izhlapi, še preden doseže tla. Padavinska voda, ki pade ali priteče na gozdna tla, izhlapeva tudi iz njih, večinoma pa odteka v globino ali pa po površini. Po površini odteče do vodotoka, v globino pa pronica skozi talne plasti in jih vlaži in moči. Če je padavinske vode na površini dovolj, doseže podtalnico in obogati vodne zaloge v tleh, kar se pokaže v boljšem napajanju izvirov, rek in jezer.

Iz tal prehaja voda preko korenin v rastline in nato zaradi transpiracije nazaj v ozračje, kjer se pridruži padavinski vodi, ki je izhlapela s krošenj, pritalnega rastlinja in tal. Oba procesa se združita v evapotranspiracijo, izhlapelo vodo pa imenujemo tudi evapotranspiracijska izguba. Ostala v tleh shranjena voda priteče iz podtalnice v površinski vodotok, nato v jezero ali morje, od koder se končno vrača v ozračje, kjer se ponovno zgosti v padavine (Smolej, 1988).



Slika 7. Gozdni hidrološki krog (Šraj, 2003)

## 1.3.2 Posamezne komponente gozdnega hidrološkega kroga

### 1.3.2.1 Padavine

Med padavine štejemo vso vodo, ki pade na površino zemlje: dež, rosenje, sneg, toča, sodra, ledene iglice ipd. Padavine nastajajo, ko se vlažne tople mase zraka pri gibanju navzgor ohlajajo, kar povzroča kondenzacijo vodnih hlapov. S hlajenjem zračnih mas se zmanjšuje njihova sposobnost absorpcije vlage, tako se s hlajenjem povečuje relativna vlažnost, dokler zrak ne postane popolnoma nasičen z vlago – zrak se ohladi do točke rosišča. V naslednji,

tretji fazi vlaga v zraku prehaja v drobne kapljice vode ali ledu (oblaki). Nadalje se omenjene drobne kapljice med seboj lepijo in povečujejo, dokler ne dosežejo take mase, da se pričnejo pod vplivom gravitacije izločati v različnih oblikah padavin. Tretja faza – nastajanje padavin lahko tudi ne nastopi. Če se oblaki razblinijo, voda vnovič izhlapi ali se sublimira.

Na višino padavin vplivajo različni parametri:

- 1) **Geografka širina** – s povečevanjem geografske širine se padavine zmanjšujejo,
- 2) **Bližina morja** – padavine se z oddaljenostjo od morja zmanjšujejo.
- 3) **Relief** – količina padavin narašča z nadmorsko višino do višine 2500 m. Nad to višino se količina padavin le še zmerno povečuje ali celo zmanjšuje.
- 4) **Gozdovi** - mnenja so še deljenja glede delovanja gozdov. Značilno je delovanje gozda na povečanje horizontalnih padavin oziroma zadrževanje večjih količin vlage, ki se s kondenzacijo izloča iz megle.
- 5) **Večja mesta** – imajo nekoliko višje padavine kot okolica. V mestih so padavine pogostejše, a manjše (Brilly in Šraj, 2005).

Padavine pogosto delimo v tri večje skupine glede na njihov nastanek. Po Changu (2002) so to:

#### 1) Orografske padavine

Nastanejo kadar se vlažne zračne mase dvigujejo ob pobočjih v višine, kjer se ohlajajo in s procesom kondenzacije se formirajo vodne kapljice, ki padejo na zemljo. Te padavine pridobivajo na količini v večjih višinah, vendar pa se to ustavi pri določenih mejah (v Alpah npr. na okoli 2100 m.n.v.) navaja Chang (2002). Pri nas je največ teh padavin v okolici Julijskih in Kamniško-Savinjskih alp in pa na Snežniku.

#### 2) Konvekcijske padavine

Te padavine nastanejo zaradi neenakomernega segrevanja zraka med npr. jezerom in okolico. Vlažne zračne mase se zaradi segrevanja začnejo dvigovati, v višinah se ohlajajo in kondenzirajo se padavine. To so ponavadi opoldanski nalivi v ekvatorjalnem podnebjju, pri nas pa poletne nevihte.

### 3) Ciklonske padavine

Te padavine lahko pokrivajo veliko površino in so lahko dokaj dolgotrajne. Lahko so frontalne ali pa nefrontalne. Nastanejo ko npr. mrzle zračne mase potiskajo naprej tople in obratno. Ko ena fronta ujame drugo, nastanejo padavine.

V gozdu večinoma predstavljata padavine dež in sneg, na nekaterih področjih pa se pojavljajo tudi kondenzacijske ali horizontalne padavine.

**Dež** se od pršenja, ki tudi spada med tekoče padavine, loči glede na velikost vodnih kapelj. Pršenje je namreč enakomerno padanje vodnih kapelj premera med 0,2 in 0,5 mm, pri dežju pa so kaplje večje od 0,5 mm c

**Snegu** pogosto pravimo tudi zapoznele padavine, saj se nabira na tleh in se šele spomladi spremeni v tekočo vodo. V kraji s pretežno snežnimi padavinami, je taljenje snega tudi glavni vir zalog vode od pomladi naprej. Veliko od krajev, kjer so pogostejše snežne padavine je pokritih z gozdom. V teh krajih je akumulacija snega v gozdovih še posebej pomemben vir zalog vode, nanjo pa lahko vpliva tudi človek preko upravljanja z gozdovi. Gosto rasli gozdovi, npr. iglasti prestrežejo največ snega, redkejši gozdovi kot so npr. listopadni gozdovi pa najmanj. V gozdovih akumulirani sneg se obdrži dalj časa kot pa na odprtem in to vpliva na bolj enakomerno porazdelitev odtoka staljenega snega s povodja Chang (2002).

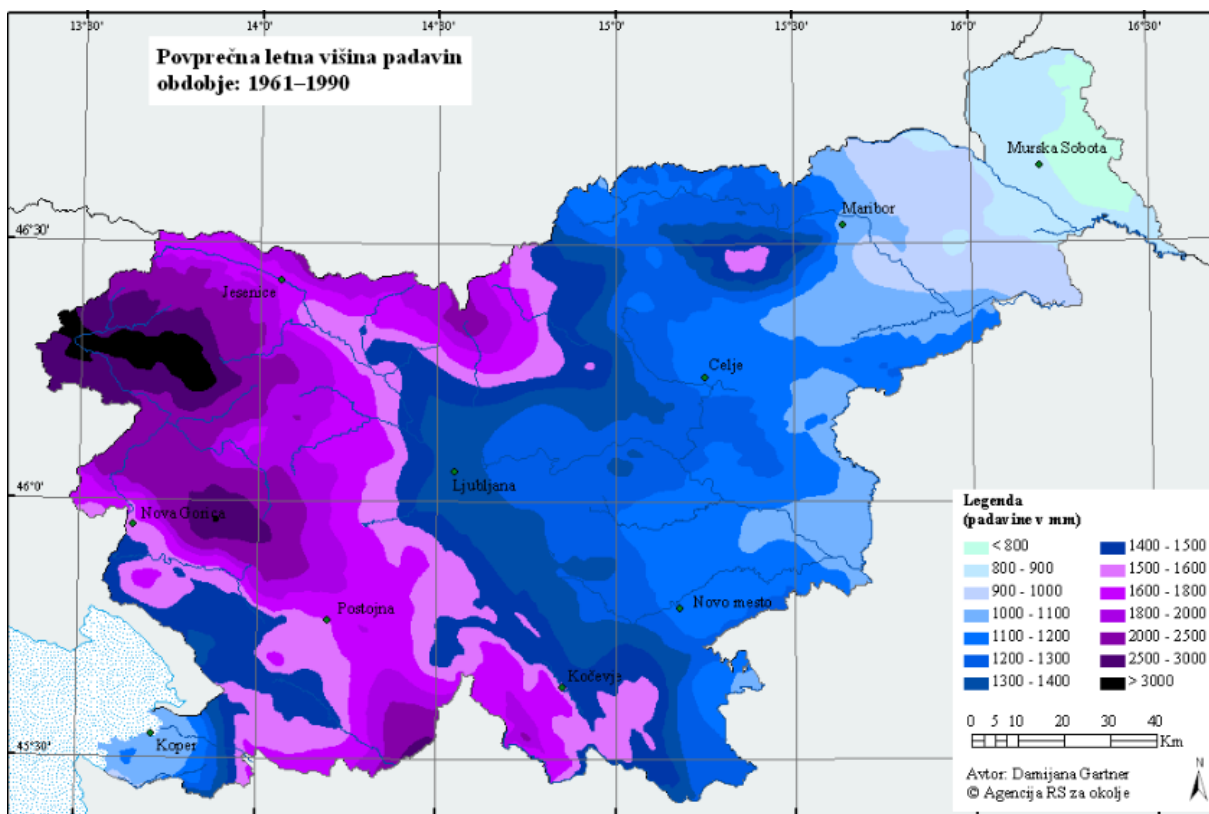
**Kondenzacijske padavine** imenujemo vodne kapljice, ki se s kondenzacijo odlagajo na rastlinje ali druge trde predmete (Smolej, 1988). Delimo jih na dve vrsti in sicer:

- 1) Horizontalne padavine – nastanejo v megli, ko se drobne vodne kapljice odlagajo kot plast vode na rastlinje oz. druge trde predmete,
- 2) Rosa – vodne kapljice, ki se kondenzirajo na predmete blizu tal iz vodne pare iz zraka

Slovenija je med najbolj namočenimi državami na svetu. Na prostorsko in časovno porazdelitev padavin v Sloveniji močno vpliva njena velika klimatska raznolikost. Največ padavin pade tedaj, ko pride nad naše kraje iz Sredozemlja vlažen in relativno toplejši zrak. Zaradi prisilnega dviganja ob alpsko – dinarski gorski pregradi se zrak ohlaja in iz njega se v obliki padavin izloči vsa odvečna vodna para. To je vzrok, da leži maksimum letne vsote

padavin v zahodnih predelih Julijcev in na alpsko dinarski pregradi. Drugi, nekoliko manjši maksimum pa beležimo v Kamniško – Savinjskih alpah. Količina padavin od morja proti severovzhodu pada in v krajih blizu madžarske meje ne doseže niti 900 mm. V najbolj namočenih predelih Slovenije pade povprečno štirikrat več padavin, kot pa v najbolj sušnih. Zahodni Julijci, kjer povprečna letna vsota padavin krepko presega 3000 mm, sodijo med najbolj namočene območja v Evropi.

Porazdelitev padavin preko leta po Sloveniji ni enotna. V zahodni Sloveniji večina padavin pade jeseni, po namočenosti posebej izstopa november, najmanj padavin pa pade februarja. V severovzhodnih predelih Slovenije, ki so že pod vplivom kontinentalnega podnebja, največ padavin pade v poletnih mesecih in sicer predvsem na račun ploh in neviht. Čeprav je v splošnem največji primanjkljaj padavin poleti, pa ravno te velikokrat predstavljajo ujmo. Padejo namreč v obliki ploh in neviht, ki jih velikokrat spremljata toča in močan veter (Cegnar in ostali, 2003).



Slika 8. Razporeditev padavin v Sloveniji (vir: ARSO MOP)

### 1.3.2.2 Evapotranspiracija

»Evapotranspiracija je pojav prehoda tekoče vode s površine tal in rastlin v atmosfero. Pojav je sestavljen iz dveh procesov: izhlapevanja in transpiracije. Oba procesa se pojavljata istočasno in ju je težko ločiti med seboj. Izhlapevanje (evaporacija) je prehod vode iz tekočega agregatnega stanja v plinasto. Transpiracija je fiziološki proces, pri katerem rastlina s koreninskim sistemom črpa vodo iz zemlje, jo uporabi v metaboličnem procesu in jo potem skozi liste spusti v atmosfero. Pod pojmom evapotranspiracija v hidrološkem pomenu razumemo celoten proces prehoda vode s površine Zemlje v atmosfero.» (Brilly in Šraj, 2005: str. 135)

Poznamo dve vrsti evapotranspiracije in sicer:

- 1) Potencialna evapotranspiracija, to je največja količina vode, ki ob danih lastnostih atmosfere in razpoložljivi energiji, lahko preide v atmosfero z neprekinjenega območja, v celoti prekritega z rastlinstvom in dobro oskrbljenega z vodo, ob procesih transpiracije in izhlapevanja, navaja Chang (2002) Thornthwaita in Penmana.
- 2) Dejanska evapotranspiracija pa je količina vode, ki dejansko preide v atmosfero s tal in rastlin ob dani količini vlage v tleh skozi oba procesa (Brilly, Šraj, 2005: 139 str.)

**Izhlapevanje** je fizikalen proces, odvisen od mikroklimatskih razmer izhlapevajoče površine oz. njene energetske bilance. Če ni na razpolago dovolj toplotne energije, izhlapevanje ne more potekati. Izhlapevanje pa je odvisno tudi od nasičenosti zraka z vodnimi hlapi. Ta je ob izhlapevajoči površini največja. V brezvetrju zato voda počasi izhlapeva. Kadar pa se pojavi veter, se nasičenost zraka z vodnimi hlapi zmanjša. Veter zato izhlapevanje pospešuje, še zlasti če dovaja latentno toploto. V gozdu je izhlapevanje tesno odvisno od prestrežanja ali intercepcije. Največ padavin izhlapi iz krošenj, nekaj pa tudi s pritalnega rastlinja in tal. Izhlapevanje s tal je v vodni bilanci sorazmerno majhno in je všteto v celotno evapotranspiracijo. Izhlapevanje iz krošenj je odvisno predvsem od zgradbe same krošnje in lastnosti listov oz. iglic.

**Transpiracija** je torej proces izpuščanja vode skozi liste v atmosfero. V gozdni hidrologiji se transpiracija imenuje tudi primarna poraba vode (Smolej, 1988). Omogoča namreč rast gozdnega rastlinja in s tem obstoj gozdne življenske skupnosti.

Gibanje vode skozi rastlino je izključno pasivno. Vodni tok skozi rastlino povzročajo razlike vodnih tlakov. Gibanje vode po kohezijsko-tenzijski teoriji povzroča površinska napetost na površini izhlapevanja lista. Površinska napetost namreč zniža vodni tlak na mestu izhlapevanja, kar povzroči poteg vode skozi korenine.

Transpiracija se začne s sončnim vzhodom, narašča proti poldnevu in pojenjuje proti večeru. Očitno ima sončno sevanje velik vpliv na transpiracijo, čeprav le-ta nekoliko zaostaja pri



intenziteti za intenziteto sončnega sevanja. Transpiracijo oziroma jakost izhlapevanja vode iz rastlin uravnava sama rastlina in njena okolica. Rastlina uravnava gibanje vode s fiziologijo listne reže. Listna reža odgovarja na spremembo svetlobe, temperature, ogljikovega dioksida, vodni potencial lista in vlažnosti s povečanjem ali zmanjšanjem prevodnosti lista za difuzijo vodne pare skozenj. Zato je neto sevanje, ki ga absorbirajo rastline, najpomembnejši okoljski dejavnik na jakost izhlapevanja (Raspor, 2006).

Za spremljanje vodnega režima v naravi je nujno potrebno poznati količine vode, ki transpirirajo. V starejši literaturi se je uveljavil izraz »transpiracijsko razmerje«, ki pove, koliko vode potrebuje rastlina za produkcijo utežne enote suhe organske snovi. To razmerje je pri različnih vrstah ali sortah različno, pa tudi pri isti vrsti je odvisno od različnih drugih dejavnikov kot so: relativna vlažnost zraka, temperatura, veter, sončna radiacija in količina mineralnih snovi v tleh (Brilly, 2004).

Ker je oddelitev transpiracije od običajnega fizičnega izhlapevanja zaradi tesne povezanosti teh dveh procesov praktično nemogoče, navadno govorimo o skupnem izhlapevanju ali evapotranspiraciji (Robič, 1994).

Splošna formula za evapotranspiracijo se glasi:

$$ET = E_i + E_t + E_s \quad \dots (1)$$

ET... evapotranspiracija v [mm]

$E_i$  ... izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj v [mm]

$E_t$  ... transpiracija v [mm]

$E_s$  ... izhlapevanje s tal in stelje v [mm] (Šraj, 2003).

### 1.3.2.3 Prestrezanje in prepuščene padavine (Tf)

Gozdne krošnje se razprostirajo kvišku in predstavljajo oviro padavinam na poti z neba proti gozdnim tlom. Del padavin neizogibno prestrežejo krošnje, del pa jih pade skozi odprtine v krošnji neposredno na tla. Del padavin, ki jih je prestregla krošnja izhlapi nazaj v ozračje, ostale pa kapljajo z listov in vej na tla oz. odtekajo po deblih proti tlom.

Med nevihto količina vode na krošnji narašča. Ko doseže maksimum, se pojavi odtok z listov, vej, debela proti tlom. Temu maksimumu pravimo skladiščna zmogljivost krošnje (S) (Chang, 2002).

Šraj (2003) v svoji disertaciji navaja podatke, da je skladiščna zmogljivost iglavcev v Evropi okoli 2 mm, listavcev pa 1 mm.

Na skladiščno zmogljivost krošnje vplivajo številni dejavniki, kot so:

- površina krošenj oz. celotna površina listov in vej (večja površina zadrži več padavin),
- hrapavost listne površine (večja hrapavost ima večjo površinsko napetost in zadrži več vode),
- velikosti listov (na večjih listih se prej formirajo kapljice, ki odtečejo na tla, na manjših pa voda že prej izhlapi),
- število, razpored in elastičnost listov (več listov pomeni več listnatih osi, ob katerih se kaplje dobro zadržijo, preveč elastični listi pa se pod težo vode upognejo in ne zadržujejo toliko vode kot manj elastični),
- vrsta in temperatura padavin (manjše kapljice se bolje zadržijo na listih kot pa večje, temperatura pa vpliva na viskoznost vode; nižja temperatura da nižjo viskoznost in zadrževanje se poveča),
- veter (v zatišju je prestrezanje večje, saj veter ne stresa vode z listja)
- vodni deficit listov (nekaj vode lahko list sprejme tudi skozi povrhnjico, in če rastlini vode primanjkuje, jo lahko več prodre skozi povrhnjico) (Smolej, 1988).

Na prestrezanje v splošnem vpliva veliko število faktorjev, od katerih sta najpomembnejša morfologija krošenj in klimatske razmere v njih. Krošnje lahko v ugodnih razmerah prestrežejo tudi do 93 % padavin (Smolej, 1988).

Zelo pomembna je narava samih padavin. Kadar je padavin malo, so večkrat prekinjene ali kratkotrajne, je tudi prestrezanje veliko. Ko pa so padavine dolgotrajne in z veliko intenziteto, pa je prestrezanje majhno. Tudi intenziteta igra veliko vlogo. Pri manjši intenziteti ima voda več časa, da izhlapi nazaj v ozračje, pri veliki intenziteti pa pade več padavin skozi krošnjo (takrat so običajno tudi večje dežne kaplje).

Prestrezanje je odvisno tudi od vrste dreves in starosti gozda. Iglavci v splošnem zadržijo več padavin kot listavci. Mlajši gozdni sestoji pa zadržijo manj kot starejši, zaradi manjše kapacitete krošenj, saj je znano, da se skupna površina krošenj s starostjo gozdnega sestoja večja.

Primer: bukev stara 95 let zadrži poleti 16,4 % padavin, 70 let stara smreka pa kar 32,4 %. Pozimi se razmerje obrne še bolj v prid smreki, saj le-ta ne izgubi iglic, bukev pa jeseni odvrže liste. Takrat znašata odstotka prestreženih padavin 26 % za smreko in 10,4 % za bukev (Smolej, 1988).

Tudi Bryant (2005) v svojem članku navaja podobna razmerja količin prestreženih padavin za iglavce in listavce v SV Mehiki. Dobljeni podatki o količini prestreženih padavin za bor in hrast potrjujejo tezo, da iglavci prestrežejo več padavin, kot listavci. Prestrežene padavine za borov gozd so znašale 19,2 %, za hrastov gozd pa le 13,6 %.

Pri modeliranju prestreženih padavin se pogosto opiramo na indeks listne površine ali angleško LAI (Leaf Area Index). Definiran je kot enostranska projekcija lista horizontalno na tla, kot navaja Nagler in sodelavci v svojem članku leta 2004. LAI je zelo pomemben parameter vegetacije pri modeliranju prestreženih padavin, evapotranspiracije, klimatskih sprememb ipd. Ponavadi je uporabljen za primerjavo razvoja drevesnih krošenj ali strukture krošenj skozi čas v spremenljivih okoljskih pogojih ali pa med različnimi vrstami dreves.

Med vegetacijskim obdobjem listnatih dreves je celotna vegetacijska površina v večjem delu sestavljena iz površin listov, v manjšem pa iz vej, manjših vejic in debel. V obdobju brez listja (pozimi), pa večji delež predstavlja lesnat material. Sezonski potek LAI za listnata drevesa doseže največjo vrednost na višku ravnega obdobja (poleti), LAI pri iglavcih pa je dokaj konstanten skozi celo sezono. Nekatera listnata drevesa obdržijo staro listje do naslednje sezone vegetacijske rasti, medtem ko jih druge vrste popolnoma odvržejo. Čeprav staro listje ne vpliva na proces fotosinteze, pa na drugi strani močno vpliva na prestrezanje padavin. Zaradi tega je v primeru modeliranja prestrezanja padavin v gozdovih potrebno spremljati LAI skozi celo leto (Padežnik, 2004).

Za določitev LAI obstaja več metod. Ločimo jih na posredne in na neposredne. Pri **neposrednih metodah** poznamo:

- zbiranje in določanje količine odpadlega listja,
- sekanje rastlin in določanje celotne listne površine rastline (ta metoda je uničujoča in se ji izogibamo)

Pri **posrednih metodah** obstajajo:

- hemisferično fotografiranje,
- uporaba optičnih inštrumentov,
- uporaba satelitskih posnetkov,
- alometrične metode ipd (Šraj, 2003).

Meritev LAI v to študijo zaradi preobsežnosti nisem vključil, uporabil pa sem hemisferične fotografije pri določanju datumskih mej med vegetacijskimi obdobji.

#### **1.3.2.4 Odtok po deblu (Sf)**

Odtok po deblu je v vodni bilanci listavcev dokaj velik, pri iglavcih sicer drastično manjši, zato ga ne gre zanemariti. Nanj v glavnem vplivajo:

- zgradba krošnje in vejni kot (veje, ki so usmerjene navzgor, vodijo padavine k deblu in povečujejo odtok po deblu),

- hrapavost skorje (po gladkih skorjah je odtok večji, kot po hrapavih),
- sposobnost vpijanja vode (tako zadrževanje vode je še posebej veliko pri starih hrastih, borih in macesnih),
- število debel (če so debla blizu skupaj, so tudi veje zato krajše in voda se hitreje steka do debla),
- količina in vrsta padavin (da se odtok po deblu sploh pojavi, je potrebno veliko padavin, saj se morajo najprej zmočiti listi, veje...).

Odtok po deblu se ne pojavi takoj, ko se začnejo padavine, ampak se morajo najprej zapolniti kapacitete krošnje, vej in debla. Čas zapolnitve omenjenih kapacitet je daljši v obdobju olistanosti, oz. v zrelem obdobju drevesa, ko je krošnja razvejana. V obdobjih brez listja pa se odtok po deblu pojavi že prej. Npr. pri smreki se odtok po deblu pojavi šele pri padavinah večjih od 20 mm, pri bukvi ki ima gladko lubje, pa že mnogo prej. Na splošno je ugotovljeno, da imajo listavci večji odtok po deblu kot pa iglavci. Pri listavcih lahko doseže tudi 15 %, medtem ko je pri iglavcih neznan. Vzrok temu je bolj gladka skorja (Smolej, 1988).

### **1.3.3 Vodna bilanca gozdnega hidrološkega kroga**

Vodna bilanca tal ali zemljišča je nenehno spreminjajoče se ravnotežje med dospelo (P), odteklo (O) in izhlapelo (ET) vodo in shranjenimi zalogami vode v tleh (dZ). Enačba, ki jo ponazarja se glasi:

$$P - ET - O = dZ \quad \dots(2)$$

Za človeka in druge uporabnike je važen predvsem zadnji člen v enačbi, kajti predstavlja namreč zaloge vode v tleh. Talna voda predstavlja izvir vlage za rastlino in omogoča tudi obstoj vodnih ekosistemov. Človek jo lahko zajema neposredno iz vodnih zajetij ali pa kasneje, ko v obliki izvirov priteče na plano. Ta voda torej ostaja po zadovoljitvi vseh potreb primarnih porabnikov (gozdne rastlinske odeje) in je kot presežna količina vode ali kar presežna voda na voljo ostalim članom gozdnega ekosistema in ljudem.

V številkah jo je težko prikazati, saj je namreč močno odvisna od poraslosti zlivnega območja. Pri gozdu je odvisna od njegove zgradbe: mešanosti drevesnih vrst, oblike in prostorske razporeditve dreves (Smolej, 1988).

Enačba vodne bilance gozdnega hidrološkega kroga, če se omejimo na raven prestrezanja in odmislimo površinski ter globinski odtok vode, je sledeča:

$$I_c = P_g - (P_t + P_s) \quad \dots (3)$$

$I_c$  ... izguba prestreženih padavin krošnje [mm]

$P_g$  ... padavine, ki padejo na krošnjo [mm]

$P_t$  ... prepuščene padavine [mm]

$P_s$  ... odtok po deblu [mm]

$I_c$  je količina izhlapele vode od padavin, ki ji je prestregla krošnja.

$P_g$  so padavine, ki padajo na krošnjo.

$P_t$  so padavine, ki padejo skozi odprtine v krošnji, oz. z listov in vej kapljajo na gozdna tla.

$P_s$  je del padavin, ki odteče po deblu na tla (Hewlett, 1969).

Celoten gozdni odtok pa Šraj (2003) v svoji disertaciji navaja takole:

$$P = ET + P_e + \Delta S + \Delta G \quad \dots (4)$$

$P$  ... padavine v [mm]

$ET$  ... evapotranspiracija v [mm]

$P_e$  ... efektivne padavine v [mm]

$\Delta S$  ... sprememba vlažnosti zemljine v [mm]

$\Delta G$  ... sprememba zalog podtalne vode v [mm]

Zadnja dva člena  $\Delta S$  in  $\Delta G$  sta lahko pozitivna (bogatenje) ali pa negativna (izgube). Glede na celotni cikel sta za daljša časovna obdobja povprečno enaka 0. Takrat se enačba za letno vodno bilanco glasi takole:

$$P = ET + Pe \quad [\text{mm}] \quad \dots(5)$$

Komponente odtoka kot so prestrežene padavine, odtok po deblu itd. ponavadi izražamo v odnosu do količine padavin, delamo regresijske premice...

## **2 MERJENJE PRESTREŽENIH PADAVIN IN OPIS METOD**

### **2.1 Uvod**

Namen te diplomske naloge je merjenje prestreženih padavin in študija analize dobljenih rezultatov na opazovalni ploskvi v urbanem okolju Ljubljane. Ploskev se nahaja ob Hidrotehničnem oddelku Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na Hajdrihovi 28 v Ljubljani. Velik del študije predstavljajo primerjave prestreženih padavin in odtoka po deblu med različnimi vrstami dreves, ki se nahajajo na opazovalni ploskvi in pa njihova odvisnost od letnih časov. Ta študija je na nek način edinstvena, saj le malokatera študija opisuje prestrežene padavine skozi celo hidrološko leto. Večina podobnih študij se osredotoči na merjenje gozdnih hidroloških komponent v obdobju na višku rasti ali pa eventuelno v obdobju brez listja. Ta študija pa obravnava prestrežene padavine tudi v obdobju rasti in odpadanja listja.

## **2.2 O raziskovalni ploskvi**

### **2.2.1 Geografske in geološke značilnosti**

Raziskovalna ploskev leži v urbanem območju mesta Ljubljane. Ljubljana leži na jugu Ljubljanske kotline. Širi se na tri naravne enote: obronke predalpskega hribovja, Ljubljansko barje na jugu in na ljubljansko polje, ki zavzema njegov največji severni del.

Iz karbonskih skrilavcev in peščenjakov sestavljeno zahodno hribovito malo razgibano obrobje, sega najgloblje v Ljubljano s 394 m visokim Rožnikom in 429 m visokim Šišenskim hribom. Proti zahodu ju široka vlažna, pretežno z meljem in meljno glino zapolnjena dolina Glinščice in Pržanskega potoka loči od sklenjenega hribovja na robu katerega se širijo vse bolj urbanizirana obmestna naselja Ljubljane. Sklenjen pas skrilavcev je pri Podutiku prodril pomol triadnih apnencev in dolomitov. Z vzhoda zapira Ljubljanska vrata pomol vzhodnega dela predalpskega hribovja s 376 m visokim Grajskim hribom, ki se onstran Grubarjevega kanala nadaljuje v Golovec. V njegove doline in pobočja so se s severa in juga zajedla urbanizaciji močno podvržena obmestna naselja.

Nekoliko bolj nemiren relief se uveljavlja na severnem obrobju, kjer so v površju triadni apnenci in dolomiti, kakor jih vidimo v 669 m visoki Šmarni gori in 676 m visoki Grmadi. Takšni so tudi najvišji deli Rašice ter nižjega Soteškega hriba na katere se je naslonil in v novejšem času tudi razširil severni niz ljubljanskih obmestnih naselij, s Črnučami severno od Save.

Južni del Ljubljane stoji na Barju. Prod najjužneje sega od SV do bližine Mirja in Krakova, kjer se še ne uveljavljajo prava barjanska tla, temveč glinene naplavine Glinščice, Gradaščice in Malega grabna, ki so ta del zasipale s svojimi ilovnato – glinenimi nanosi. Na tej obrežni ravnini so vodotoki oblikovali številne terase, med katerimi je najbolj izrazita viška terasa, kjer je veliko glin.



Predmestna in obmestna naselja z delom Ljubljane pa zasedajo vso okrog 60 km veliko Ljubljansko polje, ki podolžno vleče od Mednega na zahodu do vstopa Save v ozko dolino pod Dolskim na vzhodu. Ta v osnovi ogromna dolina, ki jo je Sava vrezala s pomočjo svojih pritokov, je na debelo zapolnjena z apniškim peskom in prodom, ki ga je nanese Sava in na skrajnem vzhodu še Kamniška Bistrica. Globina predkvartarnega dna polja dosega pri Mednem 10 m, v Vižmarjih 30 m, Hrastju in Jarškem Brodu okrog 70 m in v Klečah okrog 100 m. Le v zatišnih robnih predelih je prod prekrit s finejšim materialom, i so ga manjši potoki prinesli s karbonskega obrobja, podobno kot pretežno kraška Ljubljana.

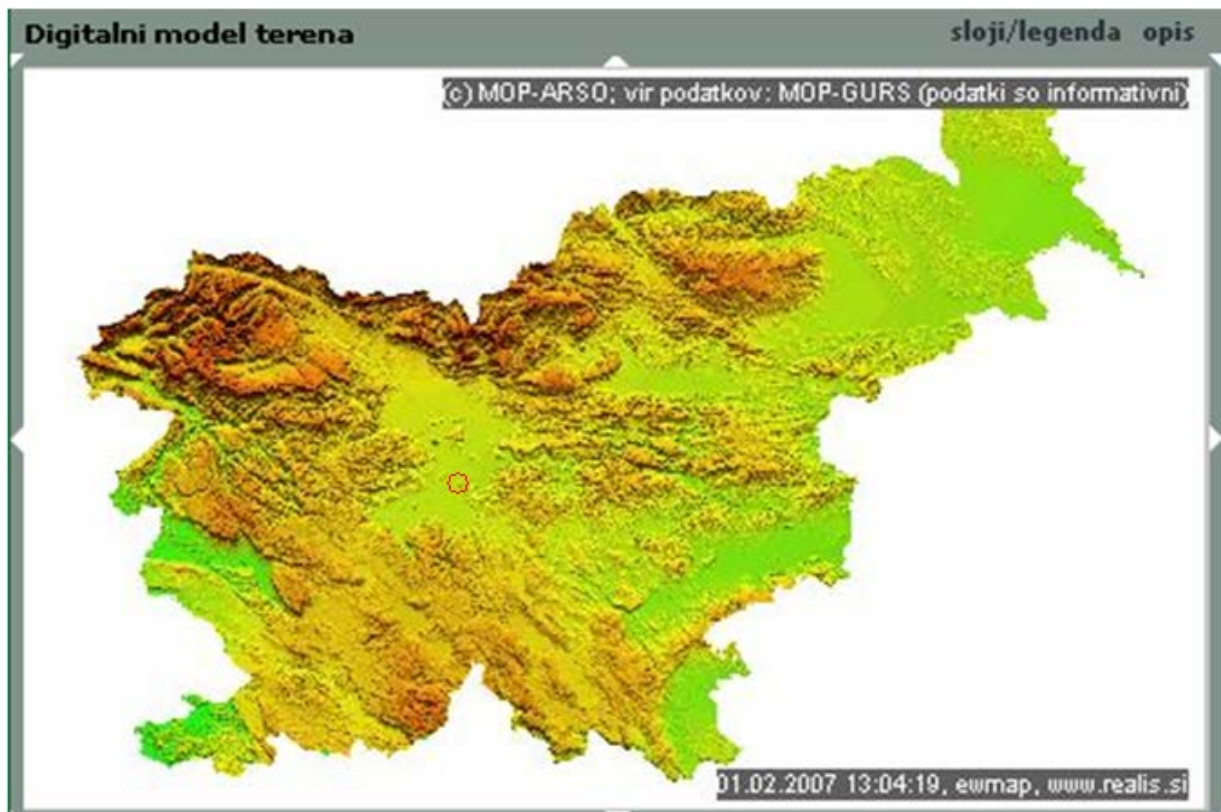
Trdo sprijet konglomerat gleda izpod nizke prodne nasipine le ob ježah nekaterih teras, vanjo pa je svojo strugo vrezala Ljubljana pri Šempetru ter pri Fužinah.

Ogromni savski vršaj je rahlo vzbočen podolgem od Mednega mimo Šentvida in potem nekako med Savo in spodnjo Ljubljano. Sava teče po severni strani vršaja, kjer je po epigenezi zašla še na permo-karbonske škrilavce severnega obrobja pri Mednem na desnem bregu in 1,5 km dolvodno pri Brodu, ter še 400 m dalje, v še znatno večji meri pa med izlivom Gameljščice in železniškim mostom v Črnučah.

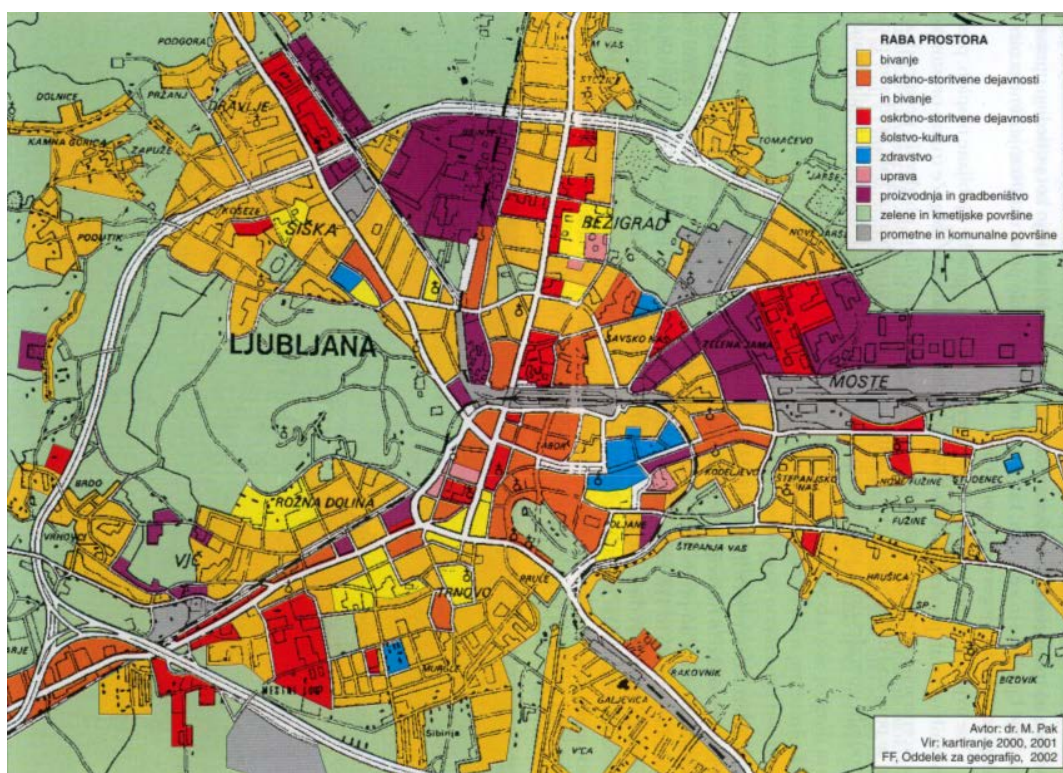
Savo spremlja ne obeh straneh več teras, od tega tri glavne in nekaj stanskih. Najbolj izrazita rečna ravnina, ki se proti vzhodu širi je večinoma prekrita s travo in nepozidana. Pri Vidmu, Dolu in Klečah se te obsežne aluvialne površine imenujejo Roje in Gmajne. Najvišje nad njo se dviga glavna diluvialna terasa, ki predstavlja izrazito kulturno mejo z močno prevlado njivskega sveta. Nad to geomorfološko in kulturno mejo so se nad ježo terase namestile posavske vasi od Vižmarij do Zadobrove. Sicer pa se tako prodni nasip kot same savske terase znižujejo od najvišjih leg pri Šentvidu na 311 m pri Dravljah na 316 m in pri železniški postaji Vižmarje, na 298 m. Nižje terase spremljajo tudi Ljubljano na južnem robu polja, pa tudi Gradaščico, Glinščico in druge potoke. Najbolj izrazita poteka od Studenca, za nekdanjimi vasmi Moste, Selo in Vodmat, ob Šmartinski cesti mimo Tabora, čez Resljevo cesto mimo Hotela Union ter glavne pošte in Vegove ulice proti Mirju. Domala vsi klanci na ljubljanskih ulicah ležijo na ježah te terase.

Sklenjeno in pozidano območje mesta leži na severu predvsem na rodovitnih rjavih tleh na karbonatnih sedimentih, na jugu pa pretežno na oglejenih tleh Ljubljanskega barja. Na preostalem delu ljubljanske kotline pa je razporeditev talnih tipov precej bolj pestra. Pretežen del severnega obrobja in vzhodnega dela Ljubljane prekrivajo rodovitna rjava tla na karbonatnih sedimentih, ki segajo na severu vse do najvišje savske terase, na robu katere so se namestile vasi, danes urbanizirana naselja.

Obsežni pas karbonatnih nanosov ob Savi, ob Ljubljanici, ob Kamniški Bistrici in ob Gameljščici pokrivajo karbonatna obrečna tla. Oglejena tla pa se vlečejo ob širokem pasu v podolju za Šišenskim hribom ob Glinščici in Pržancu. Hribovit svet zahodnega, severnega in vzhodnega obrobja ter Šišenskega hriba in Golovca pa pokrivajo z gozdom porasla rjava tla na silikatni osnovi (Pak in Perko, 1996).



Slika 9. Lega raziskovalne ploskve oz. Ljubljane v Ljubljanski kotlini (vir: ARSO-Naravovarstveni atlas Slovenije)



Slika 10. Karta Ljubljane ter raba prostora v Ljubljani (Pak, 2002)

## 2.2.2 Podnebje

Svetovna meteorološka organizacija (WMO) je definirala mestno klimo kot modificirano klimo, ki se oblikuje zaradi medsebojnega učinka pozidave in njenih vplivov (umetno proizvedena energija, povečano število prašnih delcev in škodljivih snovi v zraku). Specifična mestna klima nastane zaradi visokega deleža pozidanosti, kajti betonske in asfaltne površine imajo bistveno drugačne fizikalne lastnosti kot nepozidane površine (spremenjena energijska bilanca). Značilnosti mestne klime niso prisotne le ob lepem vremenu, kot se pogosto napačno domneva, res pa je, da so ob anticiklonalni vremenski situaciji najizrazitejše. Ena od najbolj zaznavnih posledic gosto pozidanih območij je nastanek toplotnega toka, ko imajo mesta, predvsem ponoči, višje temperature od svoje okolice. Ostale značilnosti mestne klime so še manjša relativna vlažnost zraka, manjša povprečna hitrost vetra in bolj onesnažen zrak.

Ljubljana leži v Ljubljanski kotlini, med Ljubljanskim barjem na jugu in Ljubljanskim poljem na severu, na 300 m nadmorske višine. Ljubljanska kotlina je v tem delu že zelo zožana, zato je lega Ljubljane izrazito kotlinska. Tako ima Ljubljana južnoalpsko klimo z zmernim kontinentalnim značajem.

Kotlinska lega Ljubljane zelo omejuje prezračevanje, zlasti v zimski polovici leta. Pogosto brezvetrje pa pospešuje meglo, tako je za Bežigradom kar 121 meglenih dni na leto. Mestni toplotni otok v Ljubljani je enoceličen. Temperaturna razlika med najvišjimi vrednostmi (v centru mesta) in najnižjimi v okolici (na Barju) znaša od 5 do 7, pozimi pa tudi do 10 stopinj. Zanimivost klime v Ljubljani so tudi pogoste temperaturne inverzije (talne in dvignjene). Zjutraj prevladujejo talne inverzije, čez dan pa zaradi človekovega delovanja najbrž prevladujejo dvignjene inverzije, saj človek z antropogenim vnosom toplote povzroči dvig talne megle. Na pojavljanje inverzije pa vplivajo tudi lokalni vetrovi, ki nastanejo v kotlini.

Analiza ljubljanske mestne klime je odkrila marsikatero posebnost, ki odstopa od drugih srednjeevropskih mest podobne velikosti. Na prvem mestu je potrebno omeniti neprevetrenost kotline in s tem povezano veliko pogostost nastajanja megle in temperaturne inverzije. Posebnost je tudi centripetalni sistem lokalnih vetrov, od katerih so najbolj pomembni jugozahodni vetrovi, ki sodelujejo pri izrivanju jezera hladnega zraka (Gabrovec in Adamič, 2000).

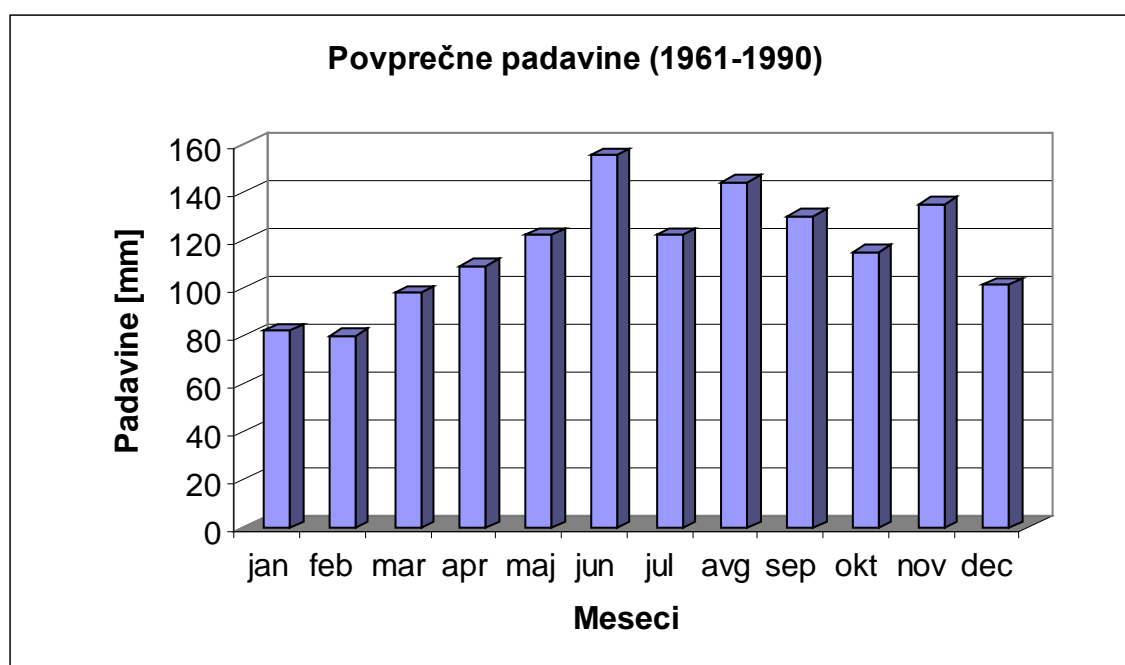
### **2.2.2.1 Padavine**

Ljubljana oz. opazovalna ploskev spada glede na količino mesečnih padavin v območje Karavank ter Ljubljanske in Kočevske kotline. Za ta območja je značilno, da imajo maksimume padavin v mesecih oktober in junij (Brilly in Šraj, 2005)

Po ARSO-vih podatkih za padavine v obdobju 1961-1990 je v Ljubljani poletni maksimum junija, ta je tudi največji, največji jesenski maksimum pa je novembra. Največ padavin pade meseca junija in to je 155 mm, najmanj pa meseca februarja 80 mm. Iz slike 11 je razvidno,

da od krivulje odstopajo meseci junij, avgust in november z nadpovprečno količino padavin. Letna količina padavin v Ljubljani je 1393 milimetrov.

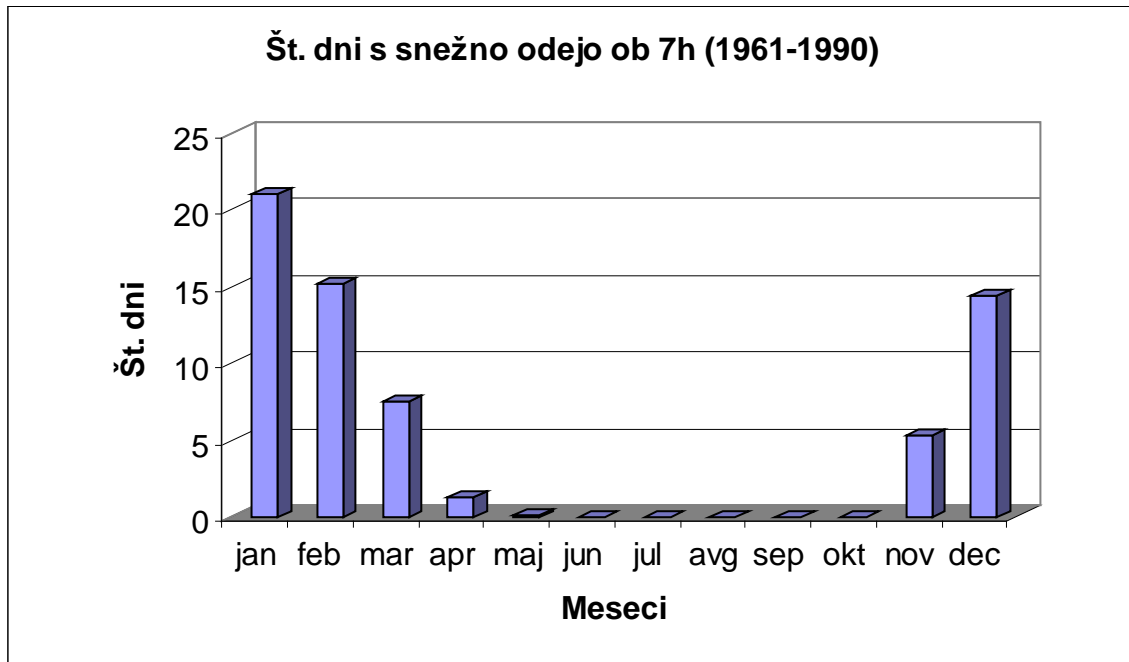
V Ljubljani je po podatkih ARSO v letu 2004 padla kar dobra petina padavin več, kot v dolgoletnem povprečju. Leto 2005 je zaznamovala suha zima in namočeno poletje. Zato poleti ni bilo težav s sušo, v decembru pa so bile obilne snežne padavine. V letu 2006 je v Ljubljani v zimskem obdobju padlo okoli 70 % padavin dolgoletnega povprečja, spomladi približno 30 % več, poleti in jeseni pa tudi do 50 % manj padavin kot pa kaže dolgoletno povprečje (vir: podatki ARSO).



Slika 11. Povprečne mesečne padavine za obdobje 1961-1990 (po podatkih ARSO)

Število dni s snežno odejo ob sedmi uri zjutraj za Ljubljano znaša kar 64,8 dneva. Snežna odeja se pojavlja v mesecih januar, februar, marec, april in pa november ter december.

Začetek sneženja se je precej pomaknil proti zimskim mesecem, višina snežne odeje, ki je v stoletnem obdobju 1851-1950 dosegla debelino 146 cm, dosega v zadnjih desetletjih le še okrog pol metra (Pak in Perko, 1996).



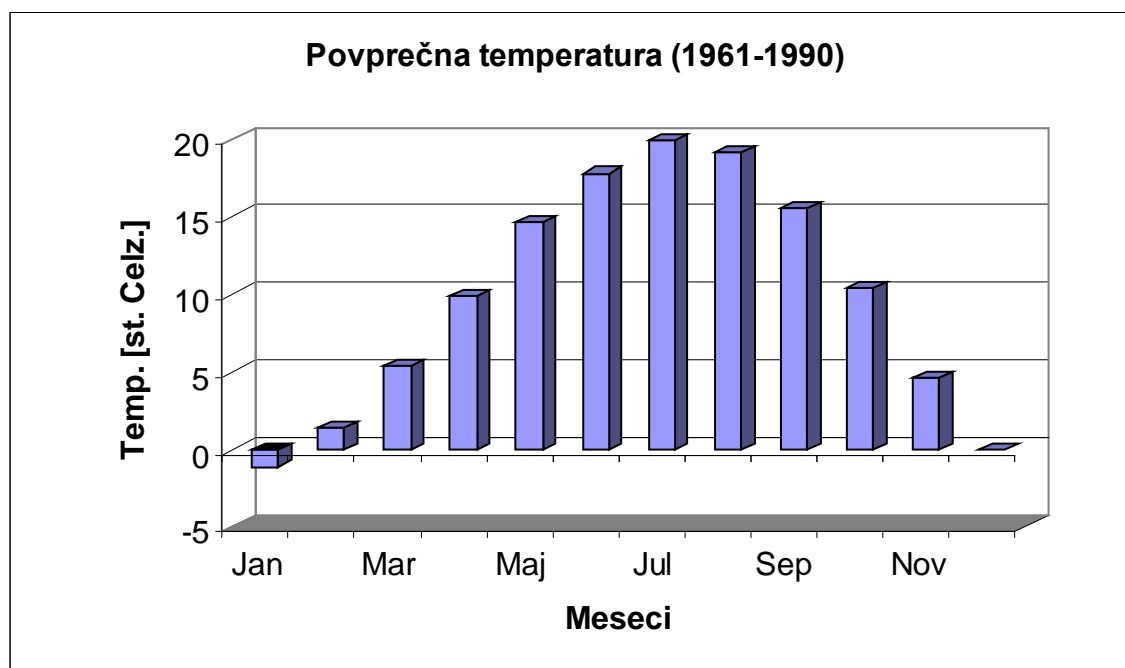
Slika 12. Povprečno število dni v mesecu s snežno odejo ob sedmih zjutraj za obdobje 1961-1990, (po podatkih ARSO)

#### 2.2.2.2 Temperature

Po podatkih ARS-a, znaša povprečna letna temperatura za obdobje 1961-1990 za Ljubljano 9,8 stopinj Celzija. Januar z minus 1,1 stopinjo Celzija velja za najhladnejši mesec. Najtoplejši mesec je julij s povprečno temperaturo 19,9 stopinje.

V starejšem stoletnem obdobju je znašala povprečna letna temperatura 9,3 stopinje, povprečna januarska pa je bila manjša za 1 stopinjo (Pak in Perko, 1996).

Januar in december imata povprečne temperature enake ledišču oziroma pod lediščem, ostali meseci pa imajo povprečne temperature nad ničlo.

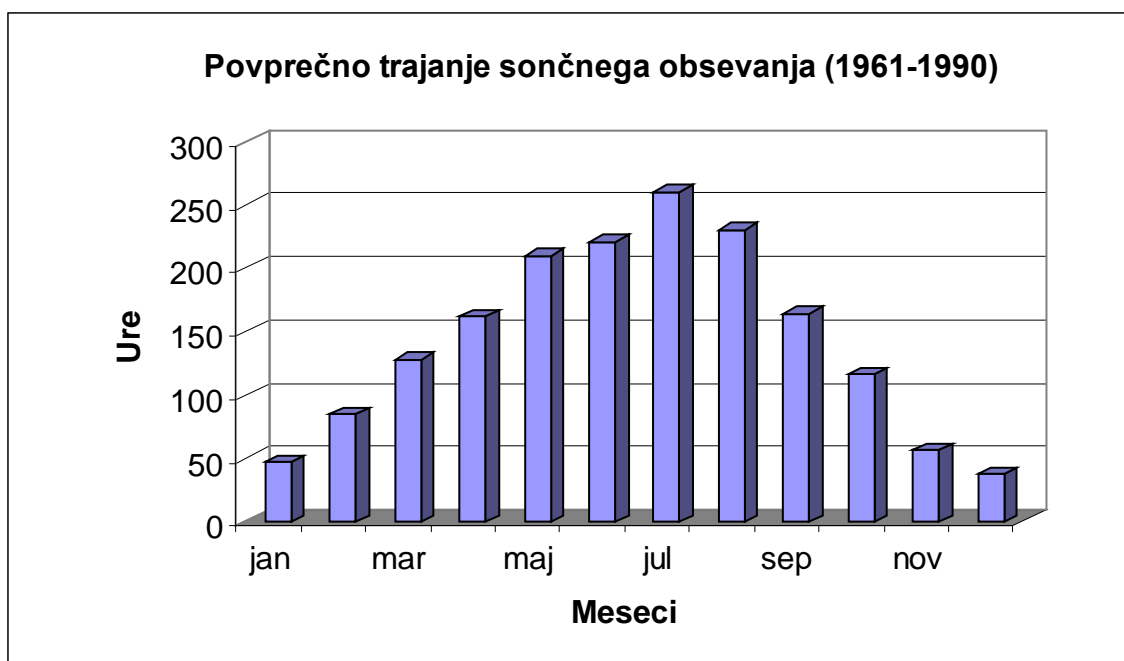


Slika 13. Povprečne mesečne temperature za obdobje 1961-1990 (po podatkih ARSO)

V letu 2004 so bile povprečne temperature zraka pozimi višje od dolgoletnega povprečja, spomladi so bile nekoliko nižje. Poleti in jeseni pa so bile povprečne temperature višje od dolgoletnega povprečja. Leta 2005 sta bila od dolgoletnega povprečja hladnejša le februar in avgust, ostali meseci pa so bili toplejši. V letu 2006 so bile povprečne temperature zraka od dolgoletnega povprečja nižje le v januarju, februarju in marcu, v vseh ostalih mesecih pa so bile višje (vir: podatki ARSO).

### 2.2.2.3 Sončno obsevanje

Največ sončnega sevanja prejme Ljubljana (opazovalna ploskev) v juliju in sicer 260 ur, najmanj pa v decembru in to je 37 ur. Povprečno sije sonce v Ljubljani 143 ur.



Slika 14. Povprečno trajanje sončnega obsevanja za Ljubljano v obdobju 1961-1990 (po podatkih ARSO)

#### 2.2.2.4 Agrometeorologija in fenologija

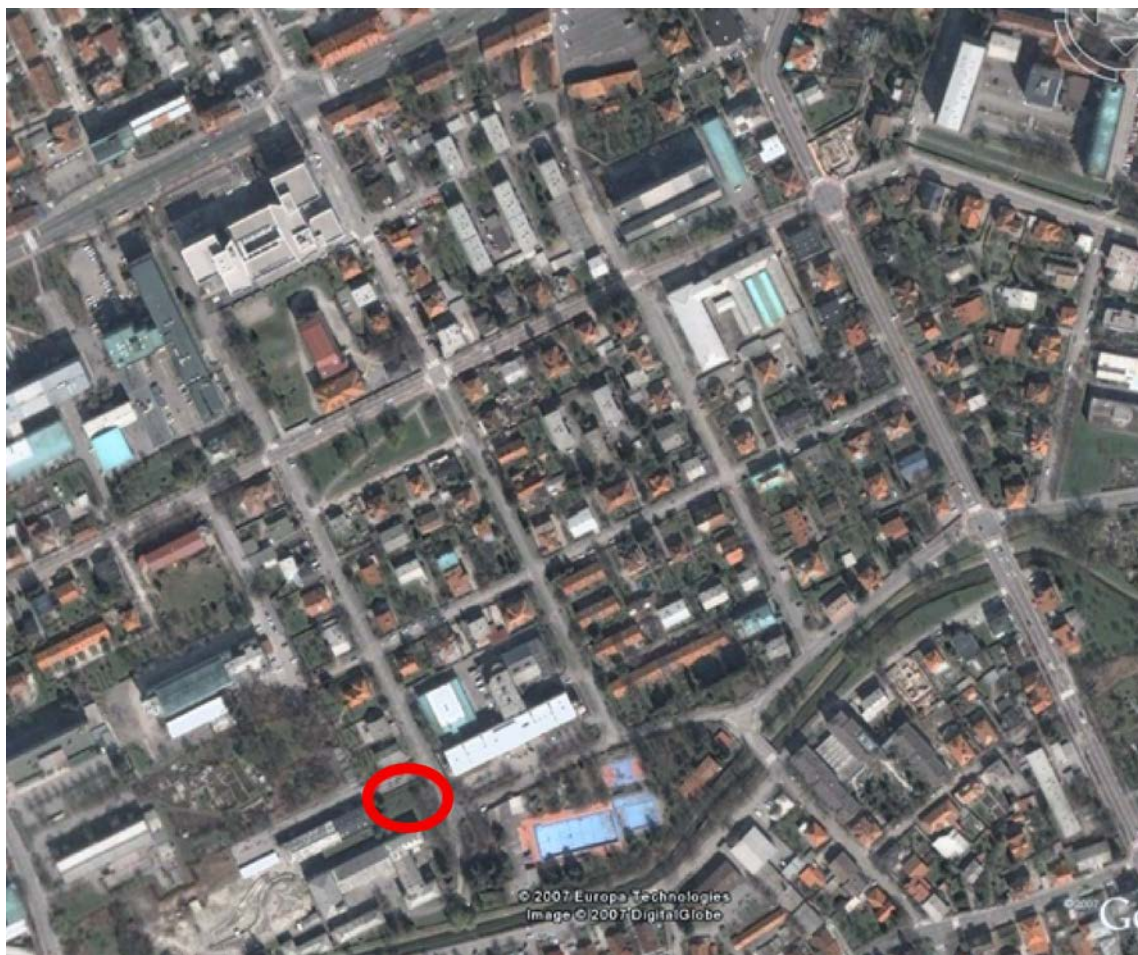
Leto 2004 je zaznamovala dolgotrajna snežna odeja, ki je z nizkimi spomladanskimi temperaturami zraka in pogostimi padavinami vplivala na rastne pogoje. Tako je breza olistala povprečno 2 do 8 dni kasneje kot v preteklih letih. V poletnih mesecih je bilo padavin za bujno rast vegetacije dovolj. V nasprotju s prvo hladnejšo polovico leta so bile povprečne mesečne temperature zraka jesenskih mesecev nad povprečjem. Barva listja se je začela počasi spreminjati šele po ohladitvi med 12. in 20. oktobrom. Tudi rumenenje listavcev v gozdnih sestojih se je začelo izjemno pozno. Osrednji in vzhodni del Slovenije je prvo polovico januarja 2005 zaznamovala več kot 10 dnevna otoplitev. Najvišje dnevne temperature so presegle 10 stopinj Celzija. Sledila je še močna ohladitev v prvih dneh marca. To je privedlo do deset dnevnega zamika cvetenja. Primanjkljaj toplote je vplival na rastne pogoje. Breza se je zato olistala šele 2 do 8 dni kasneje kot v dolgoletnem povprečju. Dovolj vlage in razmeroma pozna slana (19. oktobra) so povzročili pozno rumenenje listavcev, šele v zadnji tretjini oktobra. Leta 2006 je prišlo zaradi vremenskih vplivov do zakasnitve do zakasnitve pomladi. Breza je tako zacvetela 3 dni kasneje kot ponavadi. Junija in julija je po



letu 1950 spet nastopila izrazita kmetijska suša. Topla jesen pa je povzročila zakasnitev rumenenja in odpadanja listja. Navadna breza je po podatkih Agencije RS Slovenije za okolje leta 2005 zacvetela 20. aprila, leta 2006 pa 17. aprila. V obdobju od 1991 – 2000 se je cvetenje breze pričelo 14. aprila (vir: podatki ARSO).

### **2.2.3 Raziskovalna ploskev**

Raziskovalna ploskev leži natančneje na travnati površini ob hidrotehničnem oddelku Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na Hajdrihovi 28 v Ljubljani (slika 15).



Slika 15. Natančna lega raziskovalne ploskve (Google Earth, 2007)

Kot je razvidno s slike 15, je ploskev z južne in jugovzhodne strani neposredno obdana s stavbama fakultete in podjetja IBE, proti severu in zahodu pa je razdalja do sosednjih stavb

kakih 50 metrov. Travnata površina, na kateri leži raziskovalna ploskev, meri približno 600 kvadratnih metrov.

Ploskev je sestavljena iz dveh skupin dreves, kot je razvidno s slike 16. Na levi strani rasteta dve navadni brezi (*Betula pendula*) in eden rdeči bor (*Pinus sylvestris*), na desni pa so trije rdeči bori prav tako vrste *Pinus sylvestris*. Na levi strani se opravljajo meritve samo na omenjenih dveh brezah. Na desni pa se opravljajo meritve samo na dveh borih (desnega izvzamemo iz študije).



Slika 16. Konfiguracija raziskovalne ploskve

Drevesom smo izmerili višino in njihov premer na prsni višini (DBH, na približno 1,35 m). Za račun odtoka po deblu ( $S_f$ ) smo določili tudi površino projekcije krošenj na tla. Pri boru smo jo izračunali kar direktno iz povprečnih meritev najbolj oddaljenih točk krošnje od debla, pri brezi pa smo morali tako dobljeno površino korigirati po naši presoji oblike krošnje. Brezine veje so namreč na koncih obrnjene proti tлом in padavine, ki padejo na ta del ne

doprinesejo k odtoku po deblu, ampak padejo na tla. Pri boru je situacija ravno obratna. Tam so veje na koncih zakrivljene navzgor in zato lahko pri izračunih odtoka po deblu vzamemo celotno projekcijo krošnje na tla.

Tabela 1. Karakteristike dreves na raziskovalni ploskvi

	breza	bor
število dreves	2	2
višina dreves	14 m	12 m
povp. DBH	31 cm	32,2 cm
površina krošnje za Sf	7,1 m <sup>2</sup>	21.4 m <sup>2</sup>
DBH za Sf	32 cm	30 cm

## 2.3 Metode merjenja in merska oprema

Na raziskovalni ploskvi se opravljajo meritve hidroloških količin kot so meritve padavin (P), odtoka po deblu (Sf), ter merjenje prepuščenih padavin (Tf) od 30. 06. 2004 naprej.

Za potrebe te diplomske naloge sem vzel podatke za padavine, prepuščene padavine in odtok po deblu za obdobje od 28. 6. 2004 do 11. 12. 2006. Podatke sem razdelil na štiri vegetacijska obdobja in sicer: obdobje na višku rasti (poletje), obdobje odpadanja (jesen), obdobje brez listja (zima) in pa obdobje rasti (pomlad). Obdobje meritev od 28. 6. 2004 do 11. 12. 2006 je vmes tudi nekajkrat prekinjeno zaradi prestavljanja opreme, zamašitve in zamrzovanja merilnih inštrumentov itd. Vseeno pa imamo na voljo zadostno število podatkov za statistične obdelave.

Merilni inštrumenti, ki so bili uporabljeni pri študiji so tako avtomatski, kakor tudi ročni. Avtomatski merilci delujejo na principu zvrčanja merilne posodice (tipping bucket) in

beleženja števila zvratov. Podatke se potem preko prenosnika shrani na računalnik.

Avtomatske merilce smo uporabili pri merjenju padavin in prepuščenih padavin, za kontrolo pa smo uporabili ročne odčitke. Pri merjenju odtoka po deblu pa smo uporabili samo ročne odčitke, saj je ta del odtoka zelo majhen.

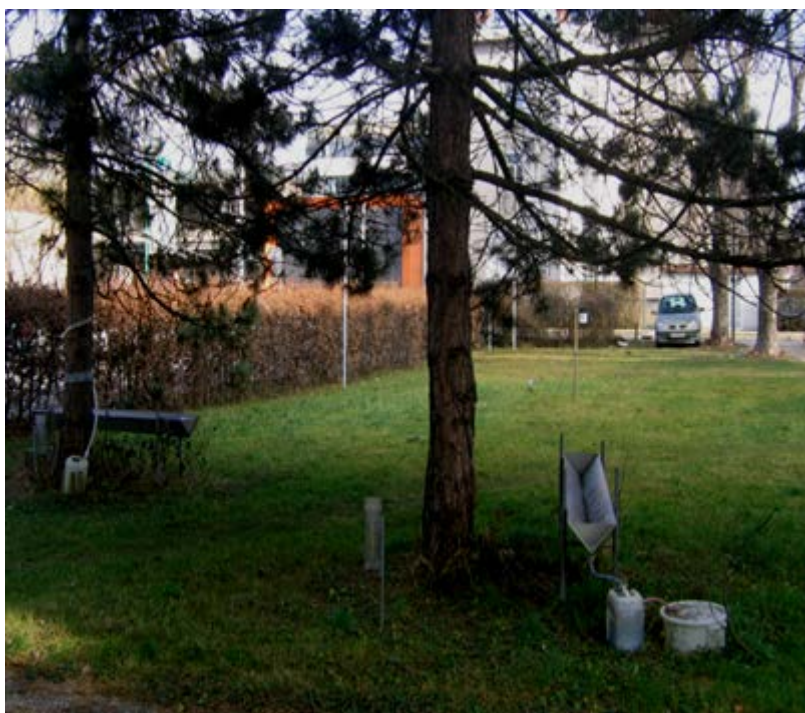
Tabela 2. Pregled merske opreme

Vrsta meritve	Oprema
Padavine na prostem	1 Hellmannov dežemer (UL FGG)
	1 avtomatski dežemer (UL FGG)
Prestrežene padavine	2 koriti+avtomatski merilec (UL FGG)
	2 koriti (ročni odčitki)
	4 totalizatorji
Odtok po deblu	2 gumijasti žlebiči (ročni odčitki)

Natančnejši opis merske opreme sledi pri posameznih komponentah odtoka, razporeditev merske opreme pa je razvidna na slikah 17 in 18.



Slika 17. Postavitev merske opreme na brezah



Slika 18. Postavitev merske opreme na borih

Na raziskovalni ploskvi se je merila količina prepuščenih padavin in pa odtok po deblu. Količina padavin na prostem pa se je merila na travnati površini približno 15 metrov stran od opazovalnih točk (vidno na sliki 19).

### ***1) Merjenje količine padavin na prostem (P)***

Meritve padavin so bile opravljene na dva načina in sicer: z avtomatskim dežemerom vrste ONSET RG2-M in pa z ročnimi odčitki s Hellmannovega dežemera površine 200 cm<sup>2</sup> iz nerjavečega jekla. Na avtomatskem dežemeru so se zapisovali podatki na vsakih deset minut, ročni dežemer pa je služil kot kontrola avtomatskemu merilcu.



Slika 19. Avtomatski dežemer ONSET RG2-M levo in Hellmannov dežemer desno

### ***2) Merjenje prepuščenih padavin (Tf)***

Prepuščene padavine so tisti del padavin, ki pade skozi odprtine v krošnji direktno na tla, oz. se kasneje steka z listov in vej in kaplja na tla. Meritve smo opravili s kombinacijo stalnih merilcev (korita) in pomičnih merilcev oziroma totalizatorjev. Ta kombinacija se je v mnogih študijah izkazala za optimalno. Na vsaki od obeh opazovalnih točk sta postavljeni dve koriti (eno avtomatsko in eno ročno) in pa po dva totalizatorja. Postavitev je razvidna iz slike 20.

Korita so jeklena z 18 stopinjskim vpadnim kotom, površine 7687 cm<sup>2</sup>. Korita, ki so opremljena z avtomatskim merilcem pretoka (UNIDATA 6506 G), imajo vgrajeno 50 ml posodico. To pomeni da en zvrat predstavlja 50 ml. Pri koritih kjer je potrebno ročno odčitavanje, pa se padavine najprej stekajo v posodo volumna 10 l, presežek pa se prelije v posodo večjega volumna, ki se nahaja v tleh. Podatki se zapisujejo na vsakih deset minut. Totalizatorji so valjaste posode iz pleksi stekla zajemne površine 107,5 cm<sup>2</sup>.



Slika 20. Levo pomični merilec prepuščenih padavin ali totalizator, desno korito

## 2) Merjenje odtoka po deblu (Sf)

Odtok po deblu nastane iz padavin, ki padejo na krošnjo in pozneje spolzijo po vejah do debla in po deblu na tla. Ta del odtoka smo merili tako, da smo okoli debla ovili gumijast žleb (pol cevi) in ga speljali v merilno posodo. Merilna posoda je lahko opremljena z avtomatskim merilcem, v našem primeru pa so potrebni ročni odčitki. Žlebič se zatesni na deblo s pomočjo silikonske mase. Odtok po deblu smo merili na po enem drevesu na vsaki od vrste dreves (razvidno iz slike 21). V merilni posodi se torej odčitava količina odtoka v ml, ki se jo potem deli s površino projekcije krošnje drevesa na tla. Pri projekciji se upošteva le del vej, ki je nagnjen proti deblu in tako povzroča odtok.



Slika 21. Merjenje odtoka po deblu

## 3 REZULTATI ŠTUDIJE IN ANALIZE MERITEV

### 3.1 Padavine

Kot sem že omenil v poglavju 2.3, sem uporabljal meritve, pridobljene v obdobju med 28. 6. 2004 in 11. 12. 2006. To obdobje sem razdelil na štiri vegetacijska obdobja in sicer:

- 1) obdobje brez vegetacijskega pokrova oz. zima, ki traja od 1.11. do 16. 4.,
- 2) obdobje rasti vegetacijskega pokrova ali pomlad, ki je med 17. 4. in 14. 5.,
- 3) obdobje na višku rasti ali poletje, ki traja od 15. 5. do 30. 9.,
- 4) obdobje odpadanja vegetacijskega pokrova ali jesen, med 1. 10. in 30. 10.



Delitev je bila narejena na podlagi fenoloških podatkov ARSO in pa hemisferičnih fotografij, ki so bile posnete v tem obdobju na opazovalni ploskvi.



Slika 22. Hemisferične fotografije krošnje breze: levo v zimskem obdobju, desno v poletnem obdobju



Slika 23. Hemisferične fotografije krošnje breze: levo v spomladanskem obdobju, desno v jesenskem obdobju



Slika 24. Hemisferične fotografije krošnje bora: levo v zimskem obdobju, desno v poletnem obdobju



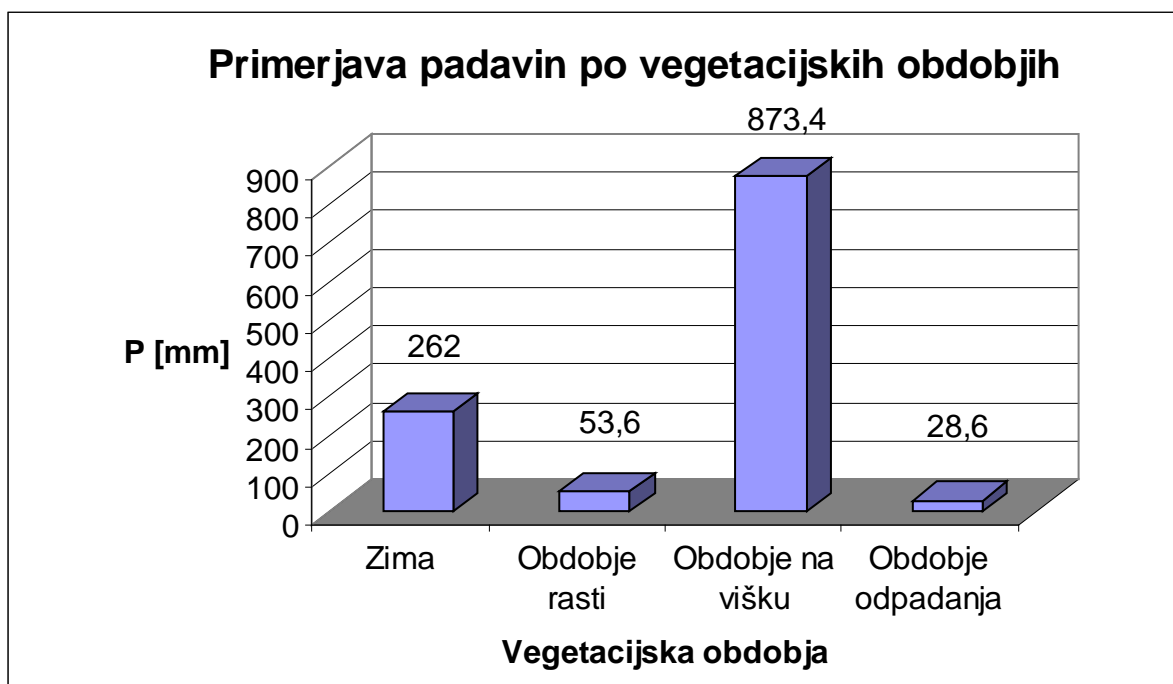
Slika 25. Hemisferične fotografije krošnje bora: levo v spomladanskem obdobju, desno v jesenskem obdobju

Za bor smo predpostavili, da obnavljanje iglic ne vpliva na študijo prestreženih padavin, saj jeseni bor odvrže zanemarljivo malo iglic. To je razvidno tudi na slikah 24 in 25. Bor smo tako obravnavali ločeno po obdobjih le v primerih, ko smo rezultate primerjali z brezo.

Padavine smo merili na dva načina in sicer: avtomatsko (z Onsetovim merilcem padavin na vsakih 10 min.) in ročno, z odčitki iz Hellmannovega dežemera, ki so služili kot kontrola avtomatskih.

Skupna izmerjena količina padavin, ki je padla v tem obdobju je 1217,6 mm, razdeljena pa je na 168 padavinskih dogodkov. Dogodki so med seboj ločeni z obdobjem, v katerem se krošnje posušijo. Teh obdobjav avtorji mnogih študij ponavadi ne navajajo, ker so težko točno določljiva. Zateči se je potrebno k razmisleku in upoštevati meteorološke spremenljivke v času dogodka. V tej študiji sem jemal za suha obdobja pozimi okoli pet ur, poleti pa tudi samo eno uro v določenih primerih. Pri razdeljevanju padavinskih dogodkov sem si pomagal z meteorološkimi podatki, ki so objavljeni na spletnih straneh Agencije za okolje republike Slovenije. Upošteval sem vlago, veter, temperaturo ipd.

V posameznih dogodkih je padlo od 0,2 mm pa do 93,8 mm padavin, povprečno pa je to nanoslo 7,25 mm padavin. Povprečno so dogodki trajali 3,68 ure, kar je dalo povprečno intenziteto 2,7 milimetra padavin na uro.

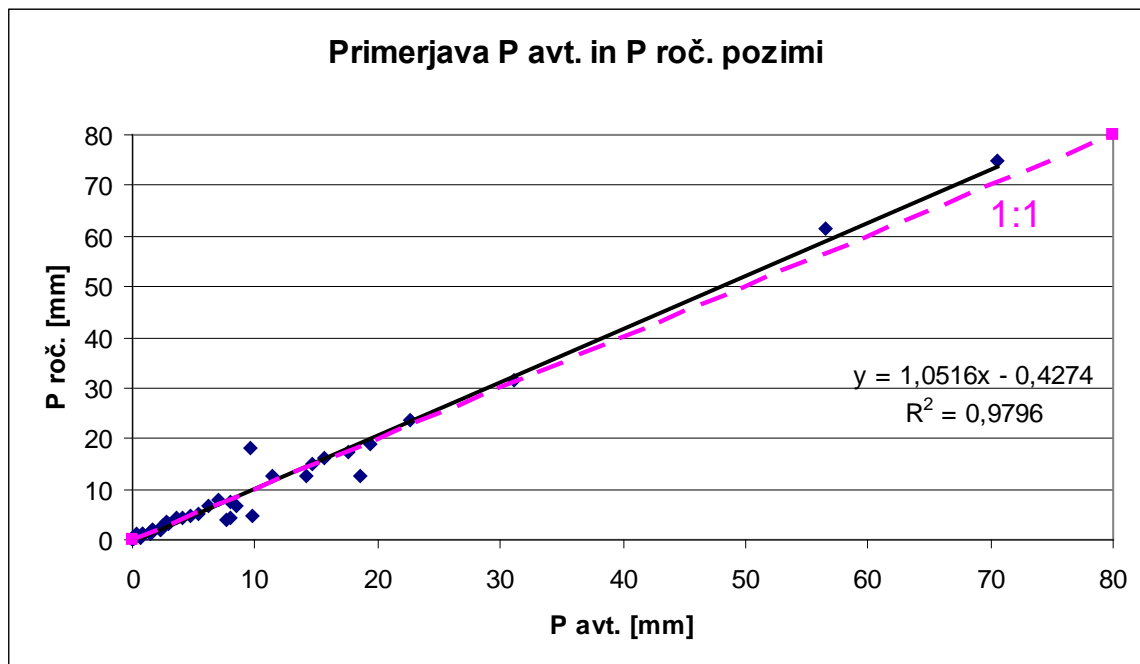


Slika 26. Primerjava količine padavin po vegetacijskih obdobjih iz avtomatskih podatkov

Iz slike 26 je razvidno da največ padavin pade v poletnem obdobju oz. obdobju na višku, najmanj pa v jesenskem obdobju ali obdobju odpadanja. Pozimi pa pade večja količina padavin kot pa v spomladanskem obdobju rasti. To se v splošnem ujema s podatki za tridesetletno povprečje padavin (Klimatski podatki za 30-letno obdobje) na straneh ARSO,

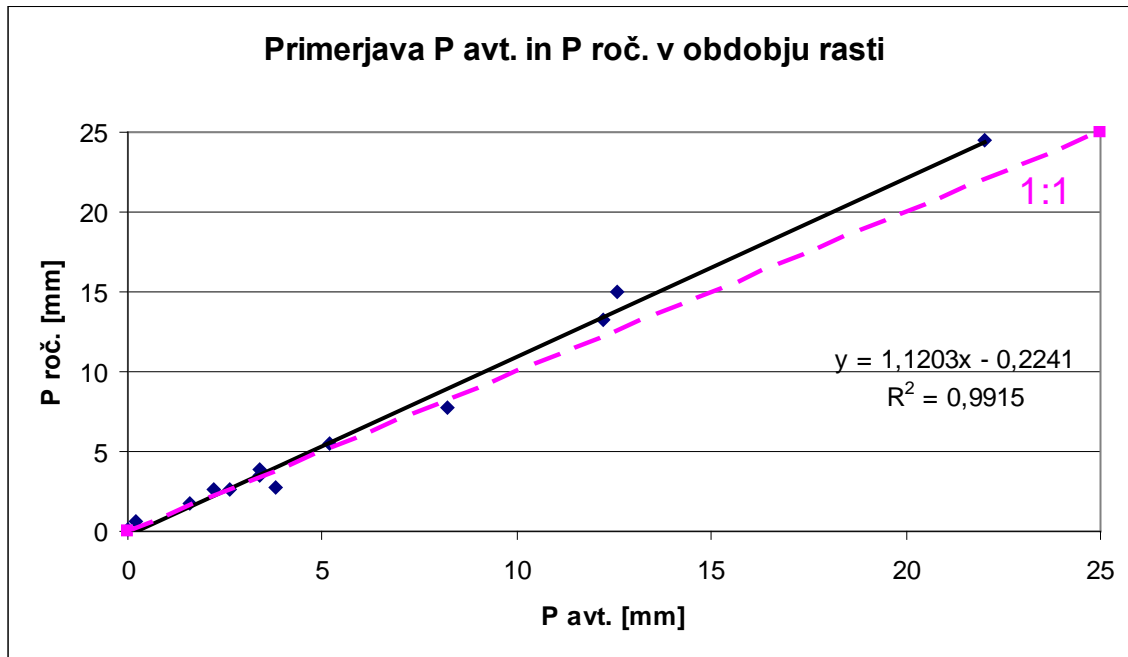
razlika pa se pojavi v jesenskem obdobju. Po podatkih Agencije za okolje iz obdobja 1961-1990 se pojavi še drugi višek padavin in sicer jeseni, v moji študiji pa je v tem obdobju najmanj padavin. Razlog za to pa je pojmovanje obdobj, ki se v mojem primeru kot vegetacijska obdobja ločijo od meteoroloških obdobj. Jesensko obdobje oz. obdobje odpadanja listja v mojem primeru traja le en mesec in sicer od 1.10. do 30.10. Poletno obdobje ali obdobje na višku pa traja relativno dolgo in sicer štiri mesece in pol (od 15.5. do 30.9.).

Za kontrolo padavin, merjenih avtomatsko, smo uporabljali ročne odčitke. Primerjava je razvidna iz sledečih regresij.



Slika 27. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v zimskem obdobju  
(n = 40)

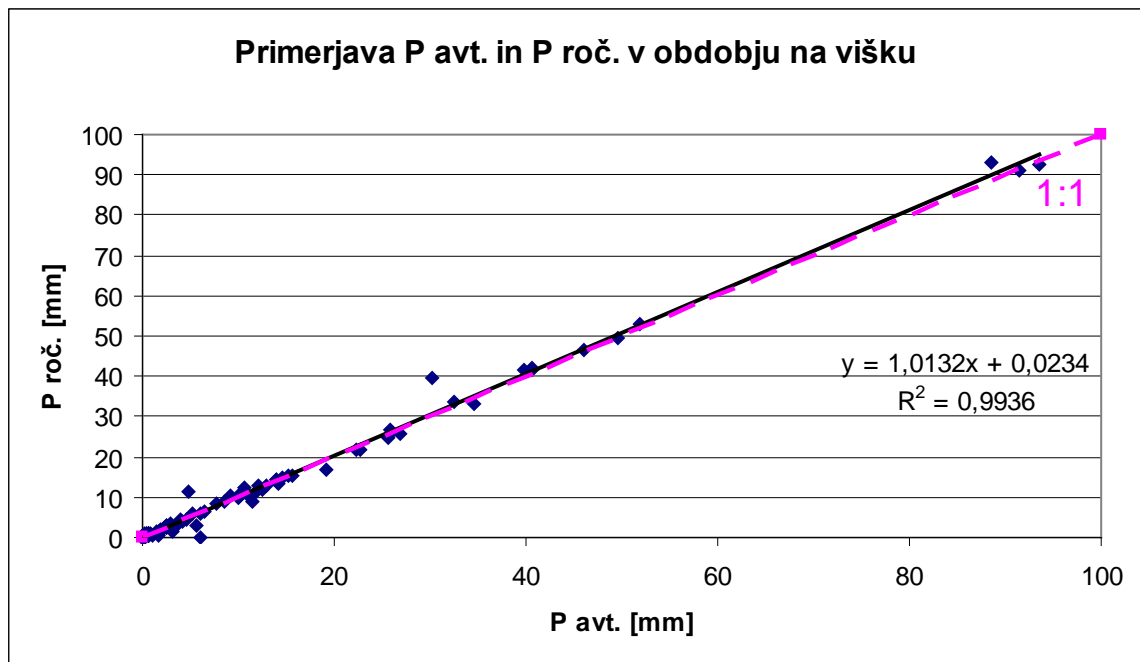
Iz slik 27 je opazno dobro ujemanje med avtomatskimi in ročnimi meritvami padavin v zimskem obdobju. Koeficient  $R^2$  je 0,980.



Slika 28. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju rasti ( $n = 14$ )

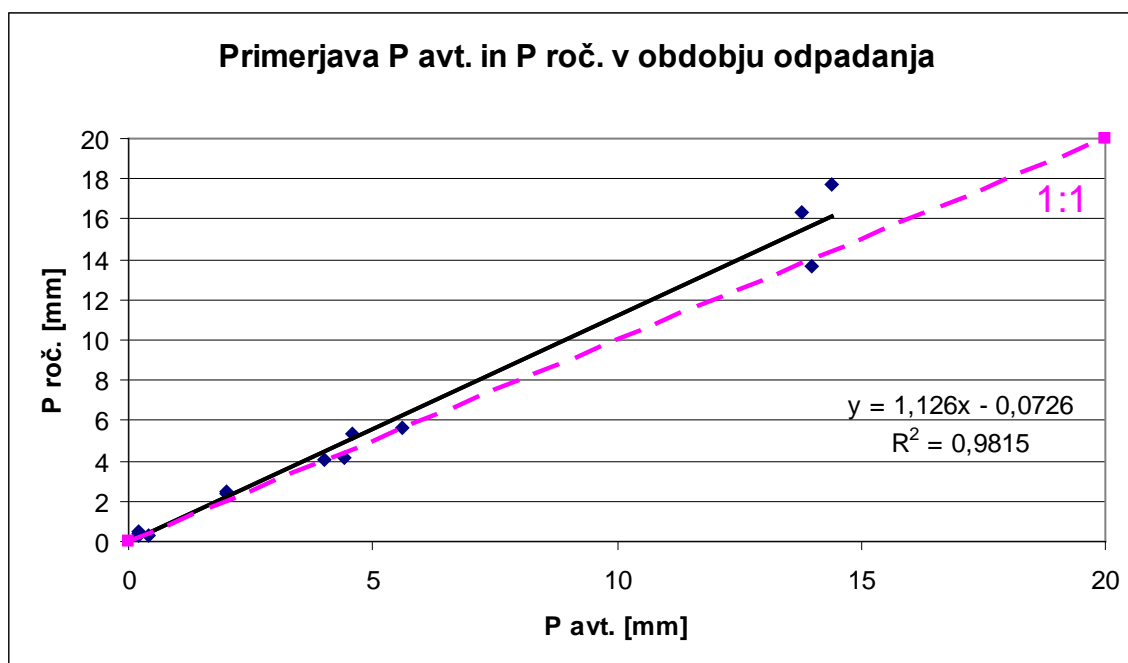
V obdobju rasti opazimo prav tako dobro ujemanje meritev, kot v zimskem obdobju.

Koeficient  $R^2$  je v tem primeru še višji, in sicer 0,992. Res pa je, da je bilo v tem obdobju narejenih manj meritev, kot pa pozimi.



Slika 29. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju na višku  
(n = 96)

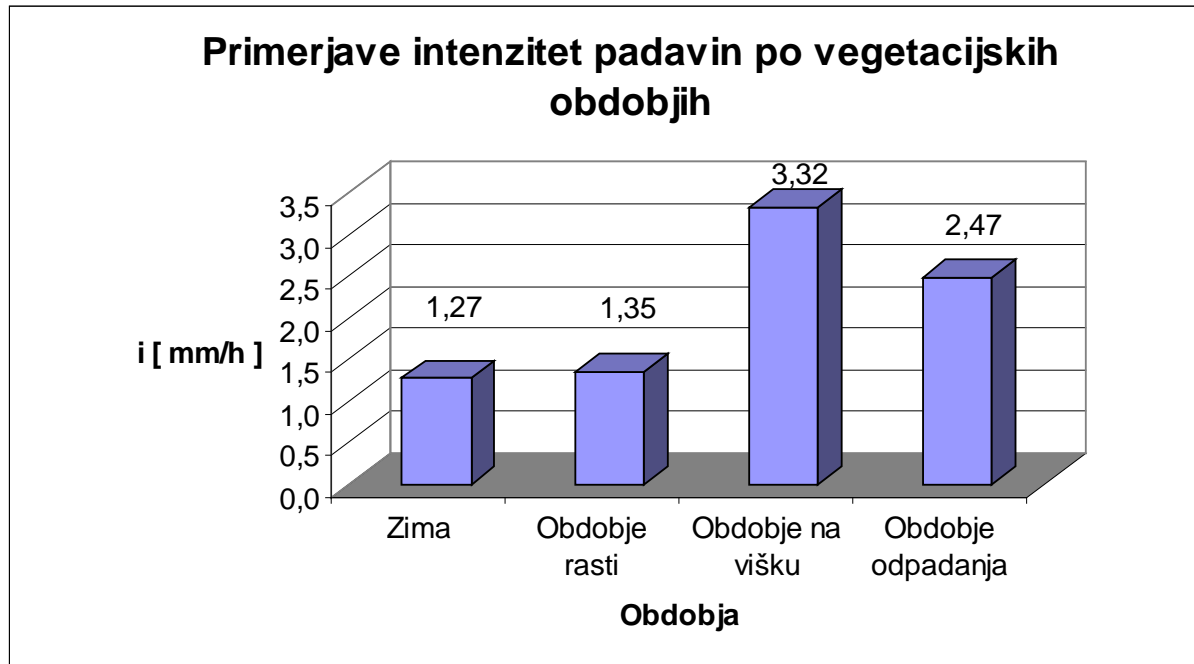
Tudi v obdobju na višku rasti smo dobili dobro ujemanje meritev. V tem primeru koeficient  $R^2$  znaša 0,994.



Slika 30. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju odpadanja  
(n = 13)

V obdobju odpadanja koeficient  $R^2$  znaša 0,982. Čeprav je nižji od koeficientov v ostalih obdobjih, to vseeno pomeni zelo dobro ujemanje. V tem obdobju je bilo prav tako kot v obdobju rasti, narejenih manj meritev kot v obdobju zime in poletja.

Za študijo prepuščenih padavin in pa odtoka po deblu pa so še posebej pomembne intenzitete padavin.

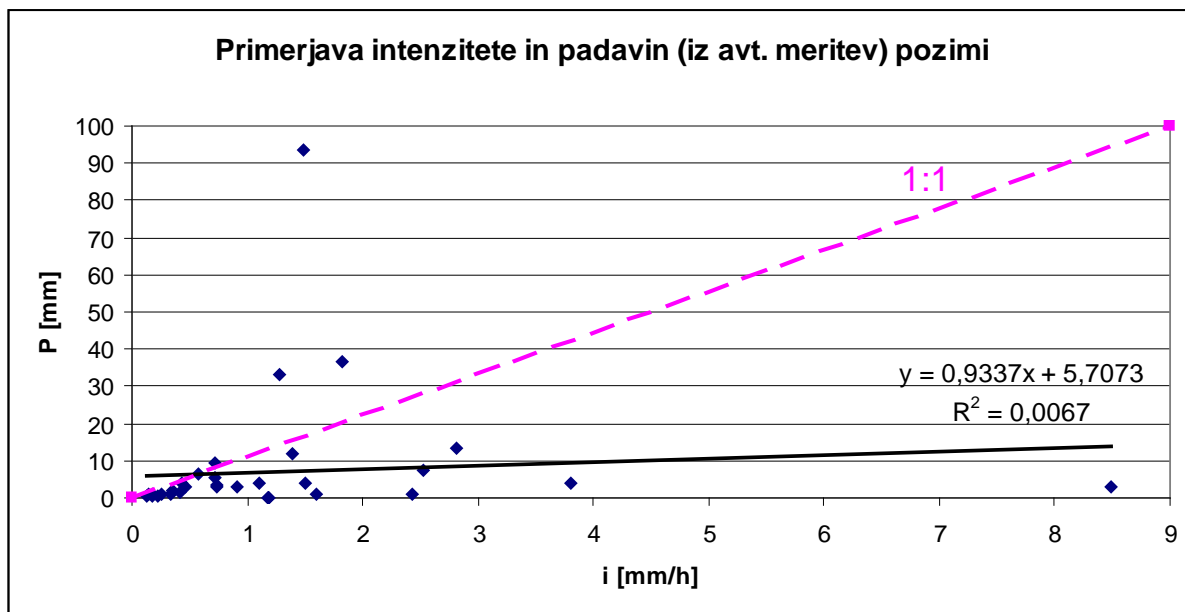


Slika 31. Primerjava intenzitet padavin po posameznih vegetacijskih obdobjih

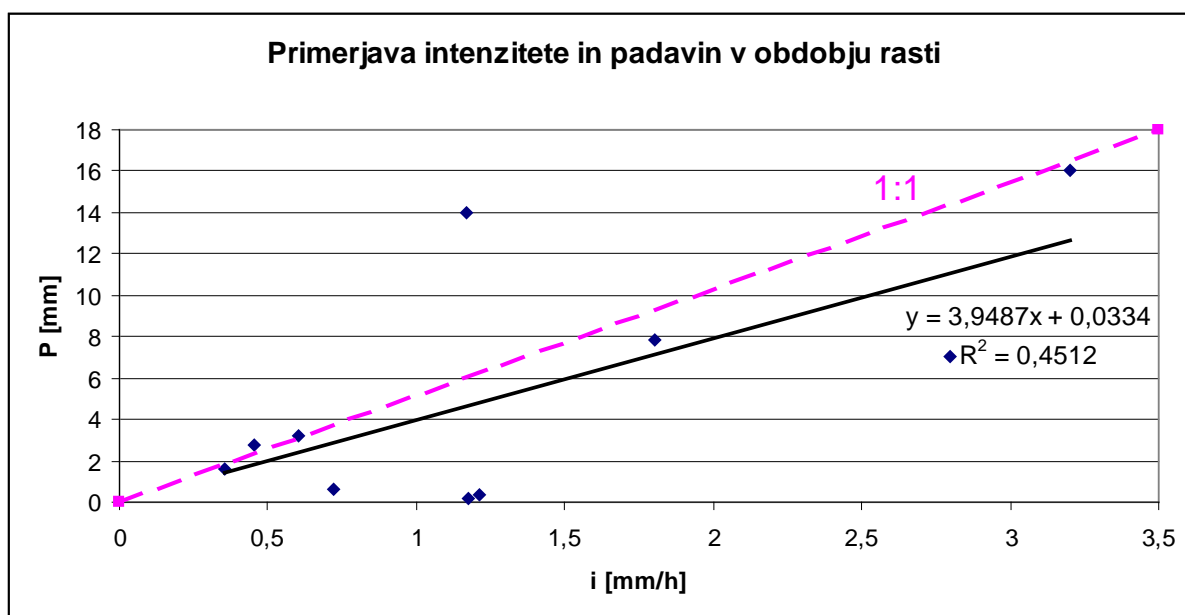
Na sliki 31 lahko vidimo, kakšne so intenzitete padavin po obdobjih. Največje intenzitete padavin so v poletnih mesecih, sledijo jim intenzitete iz jesenskega obdobja, pozimi in spomladi pa so intenzitete občutno manjše. Razlog za največje intenzitete poleti so poletne nevihte.

Za ovrednotenje prestreženih padavin in odtoka padavin po deblu je pomembna tako količina padavin, kakor tudi intenziteta padavin. Med seboj sta omenjeni dve količini povezani s trajanjem padavin. Njuno povezavo pa lahko vidimo na sledečih grafih.

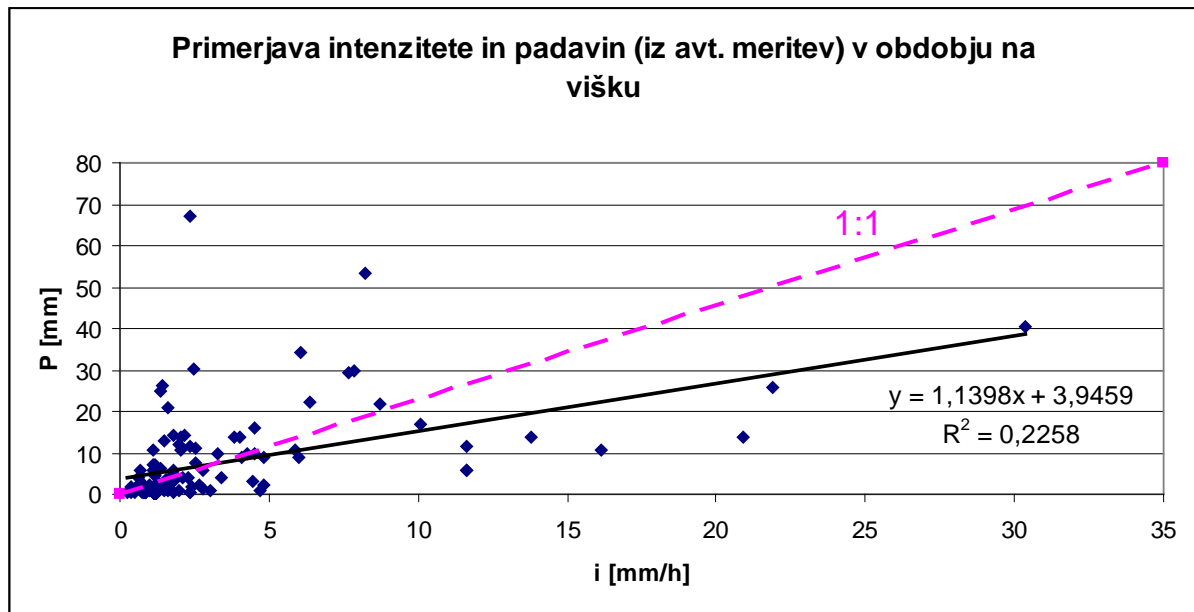




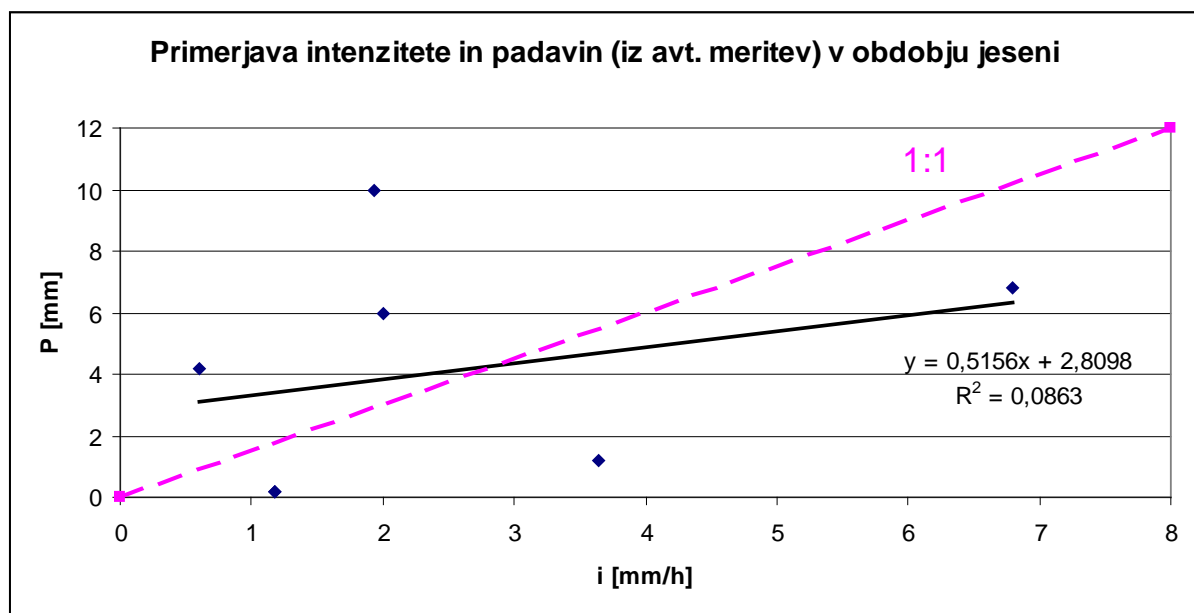
Slika 32. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju pozimi  
(n = 38)



Slika 33. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju rasti (n = 10)



Slika 34. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju na višku  
(n = 113)



Slika 35. Regresijska analiza padavin, merjenih avtomatsko in ročno v obdobju na višku  
(n = 7)

Iz slik 32 do 35 je razvidno, da intenzitete padavin rastejo v primerjavi s količino padavin. Koeficienti  $R^2$  so v vseh obdobjih relativno majhni, saj znašajo le od 0,0067 do 0,451 zato sem naredil še teste linearne regresije (p-value).

S testom linearne regresije ugotavljamo ali obstaja statistično značilna linearna odvisnost med dvema porazdeljenima spremenljivkama. V mojem primeru sta to spremenljivki količina padavin (P) in pa intenziteta padavin (i). V testu se ena spremenljivka imenuje neodvisna spremenljivka, druga pa je odvisna od nje. Za neodvisno spremenljivko pričakujemo, da ima učinek na drugo – odvisno spremenljivko. Za odvisno spremenljivko torej pričakujemo, da se bo spreminjala pod vplivom neodvisne spremenljivke. V tej študiji sem test linearne regresije opravljal s programsko opremo MS Excel. V mojem primeru sem vzel intenziteto za odvisno spremenljivko in jo primerjal s količino padavin.

Kot rezultat testa nam program vrne izpis z vrednostjo p oz. angl. p-value. Velikost vrednosti p nam pove stopnjo statistično značilne povezave med obravnavanima spremenljivkama:

- če  $p < 0,001$ , potem obstaja zelo močna povezava med spremenljivkama,
- če  $p < 0,01$ , potem obstaja močna povezava med spremenljivkama,
- če  $p < 0,05$ , potem obstaja zmerna povezava med spremenljivkama,
- če  $p < 0,10$ , potem obstaja šibka povezava med spremenljivkama,
- če  $p > 0,10$ , potem povezava med spremenljivkama ne obstaja.

Rezultati analize so pokazali, da v obdobju pozimi obstaja statistično močno značilna odvisnost med omenjenima spremenljivkama, saj koeficient p znaša 0,0067. V obdobju rasti koeficient p nakazuje statistično šibko linearno odvisnost med intenziteto in padavinami. V obdobju na višku obstaja med omenjenima spremenljivkama statistično zelo značilna linearna povezava, saj znaša koeficient p 0,00022. V jesenskem obdobju ne obstaja statistično značilna linearna povezava med spremenljivkama P in i, saj znaša p 0,229. S tem smo dokazali odvisnost med količino padavin in intenziteto v obdobju merjenja od 2004 do 2006 oz. še več, dokazali smo, da so imeli padavinski dogodki z večjimi količinami padavin tudi večje intenzitete in obratno v vseh obdobjih, razen v obdobju jeseni.

## **3.2 Prestrežene padavine**

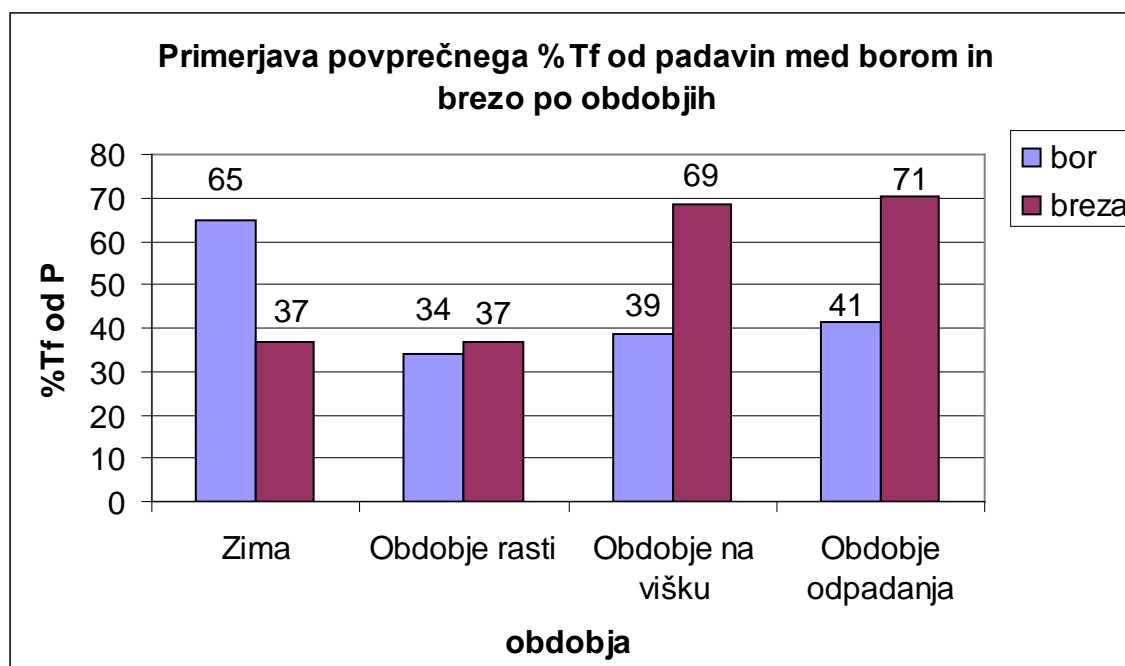
### **3.2.1 Uvod**

Kot sem že omenil v prejšnjem poglavju pri opisu metod merjenja prestreženih padavin, smo opravljali meritve na dveh skupinah dreves in sicer; na borovi ter brezini skupini. Poleg tega so se meritve opravljale tako z nepremičnimi, kot tudi s premičnimi merilci. Stalni merilci so bili avtomatski (korita), za kontrolo pa smo uporabljali tudi ročne odčitke na koritih. Premični merilci pa so nam prav tako služili za kontrolo avtomatskih, čeprav po mnogih študijah veljajo premični merilci za bolj merodajne, seveda če so pravilno postavljeni in če je njihovo število optimalno (Carlyle-Moses, 2004).

Poglaviten del te študije sta primerjava prestreženih padavin med brezo in borom in pa primerjava prestreženih padavin med stalnimi in pomičnimi merilci. Omenjeni primerjavi sem prikazal pretežno z regresijo med posameznimi spremenljivkami pa tudi deloma s stolpčnimi diagrami, ki so služili za bolj splošen pregled.

### **3.2.2 Primerjava prepuščenih padavin med borom in brezo po obdobjih**

Če za začetek pogledamo primerjavo prestreženih padavin med borom in brezo iz avtomatskih meritev ugotovimo, da so rezultati dokaj logični in pričakovani. Do neskladnosti pride le v obdobju brez listja (pozimi).



Slika 36. Primerjava prepuščenih padavin med borom in brezo iz avtomatskih podatkov po vegetacijskih obdobjih

V zimskem obdobju ima bor večji odstotek prepuščenih padavin kot breza, kar ni bilo v mejah naših pričakovanj. Razlog za to je zelo verjetno sneg, ki se kopiči na borovi gosti krošnji in se potem pri višjih dnevni temperaturah tali. Razlog za takšne rezultate pa bi bil lahko tudi zmrzovanje vode v merilnem koritu za prepuščene padavine. Ne izključujemo tudi dejstva, da je morebiti prišlo do napak pri merjenju oz. do okvar na sami merilni napravi. V obdobju rasti smo dobili dokaj pričakovane rezultate, saj ima breza več prepuščenih padavin kot bor. Razlika je sicer majhna, le 3 %, vendar moramo upoštevati dejstvo, da se brezi v tem obdobju že pričinja gostiti krošnja. Razlog je verjetno tudi majhno število meritev pri brezi v tem obdobju. V tem obdobju sem zaradi premajhnega števila istočasnih dogodkov pri boru in brezi vzel vse razpoložljive podatke in iz njih izračunal povprečno vrednost. Pri ostalih obdobjih sem jemal samo dogodke, pri katerih imata bor in breza istočasno opravljene meritve prepuščenih padavin. V poletnem obdobju ima breza za 30 % več prepuščenih padavin kot bor, kar je dokaj pričakovano, saj so brezini listi relativno prožni in se hitro upognejo pod težo kapelj, medtem ko so borove iglice zelo toge in se veliko kasneje udajo teži dežnih kapelj. Tudi v obdobju odpadanja listja smo dobili pričakovane rezultate. Breza ima takrat prav tako

za 30 % večji delež prepuščenih padavin kot bor, kar je tudi logično, saj začne breza takrat že zgubljati rastlinski pokrov.

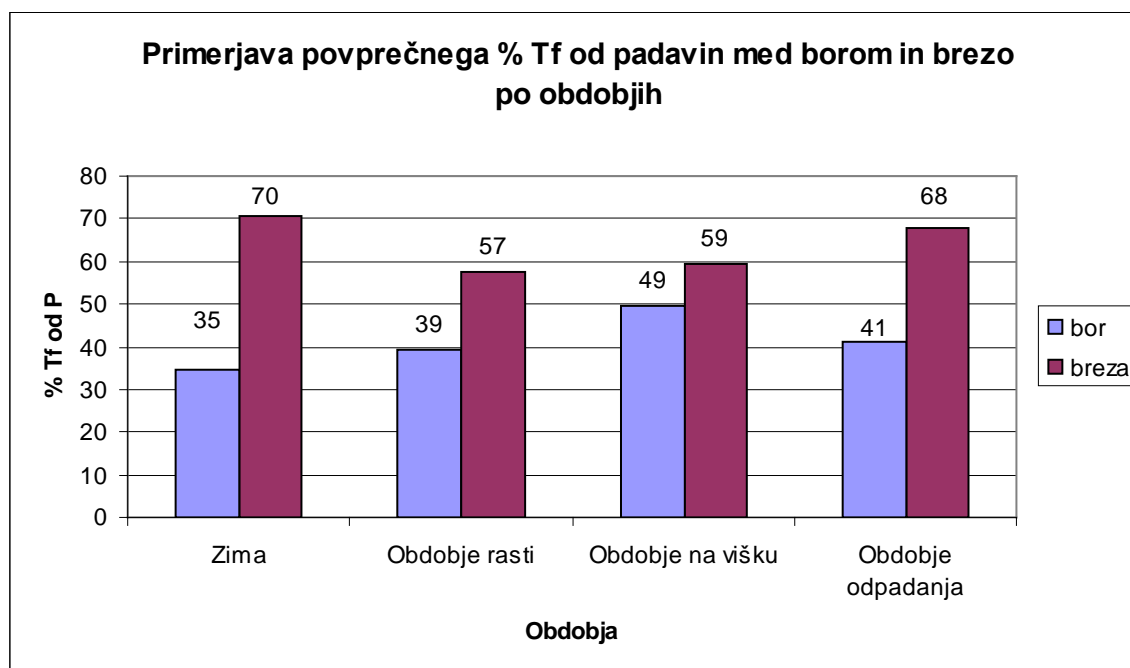


Slika 37. Zadrževanje snega na drevesih: levo brezi, desno bora

Kot je razvidno iz slike 37, se na borih nabere veliko večja količina snega kot na brezah. Velik vodni ekvivalent prestreženih snežnih padavin je splošna značilnost iglavcev. Taljenje snega ob toplejših dnevih pa povzroči večji odtok v merilnem koritu za prepuščene padavine.

Povprečne prepuščene padavine po vegetacijskih obdobjih znašajo za brezo dobrih 53 %, za bor pa okoli 45 %. Maksimalni delež prepuščenih padavin pri brezi znaša 71 %, pri boru pa je največja zimska meritev in sicer meri 65 %. Ta meritev pa, kot sem že omenil ni zanesljiva, zato lahko navedem ostale, ki se gibljejo okoli 40 %.

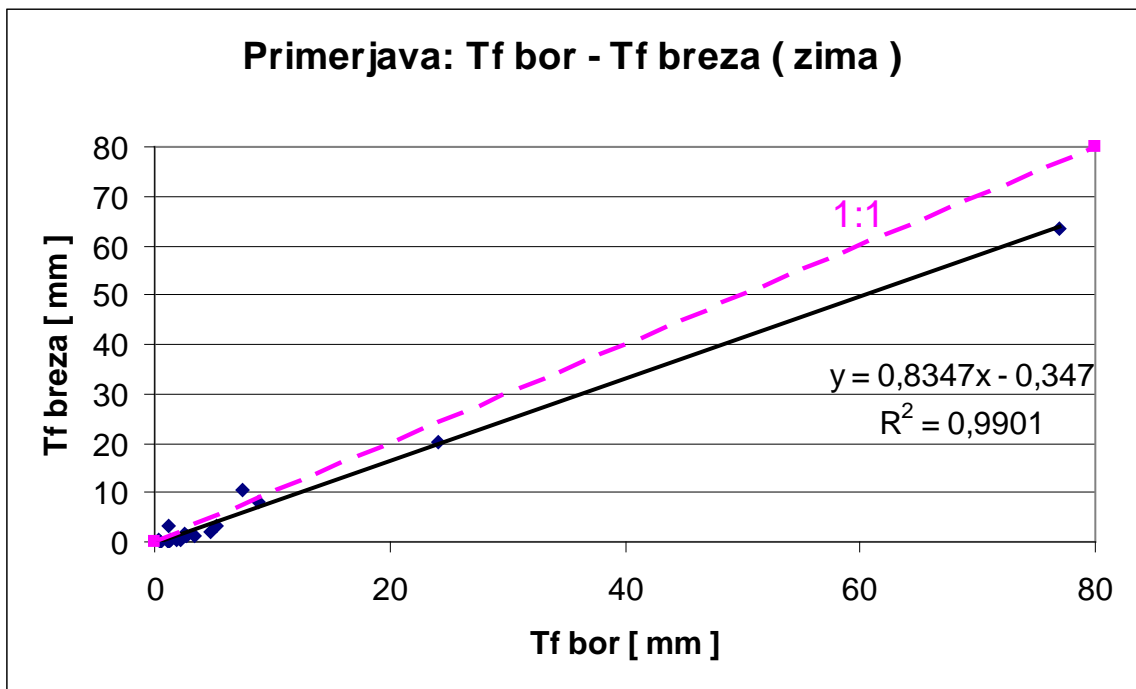
Primerjavo med borom in brezo pa lahko kontroliramo z rezultati premičnih merilcev ali totalizatorjev.



Slika 38. Primerjava prepuščenih padavin med borom in brezo iz totalizatorjev po obdobjih

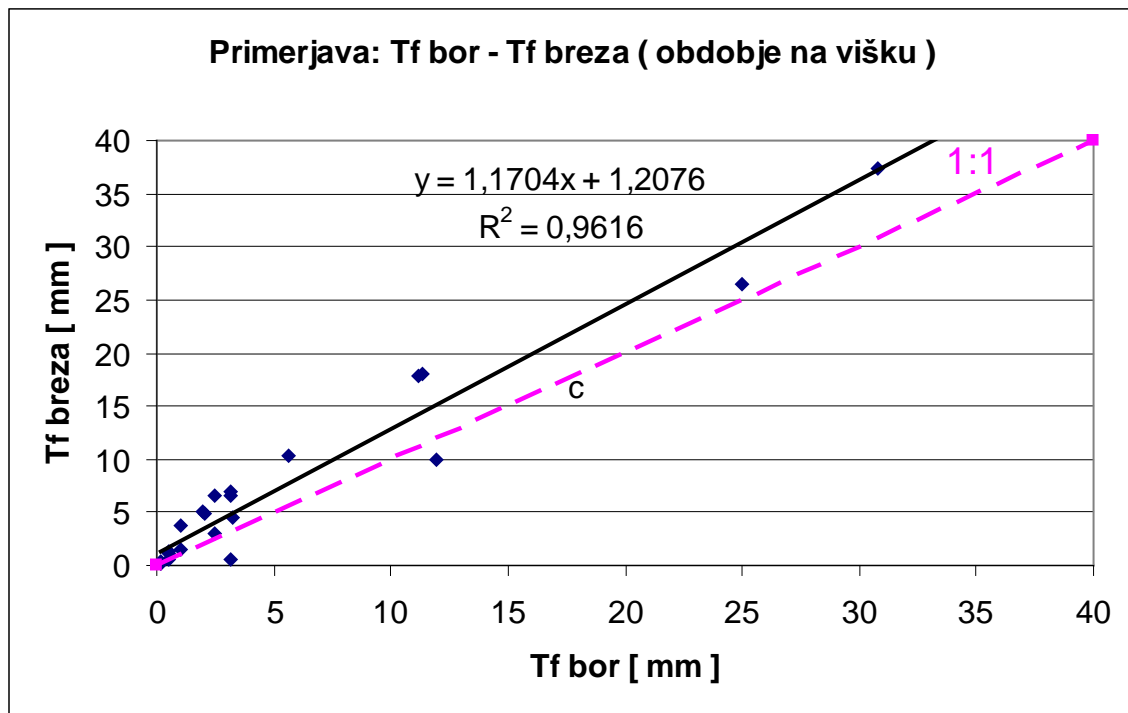
Študija pridobljena s pomočjo meritev iz totalizatorjev daje pričakovane rezultate. Tu vidimo, da ima breza ves čas večji delež Tf, v obdobju zime in jeseni pa je ta razlika še večja. V zimskem obdobju ima v tem primeru breza dvakrat več prepuščenih padavin kot bor, kar je pričakovano, saj breza takrat nima listnatega pokrivala, na borovi krošnji ujeto snežno odejo pa je s totalizatorji veliko težje ujeti, kot s koriti. Spomladi in poleti so razlike manjše, vendar pa vseeno večje kot pa pri študiji z avtomatskimi merilci. Spomladi breza še nima do konca razvite krošnje in od tod kar 18 % večji delež prepuščenih padavin v primerjavi z borom. Poleti je ta razlika manjša in sicer 10 % v korist breze, saj ima takrat breza najbolj gosto raslo krošnjo od vseh vegetacijskih obdobjih. V obdobju odpadanja je ta razlika spet večja in znaša kar 27 % v korist breze, predvsem na račun odpadanja listja pri brezi.

### 3.2.2.1 Regresijske analize prepuščenih padavin iz avtomatskih meritev

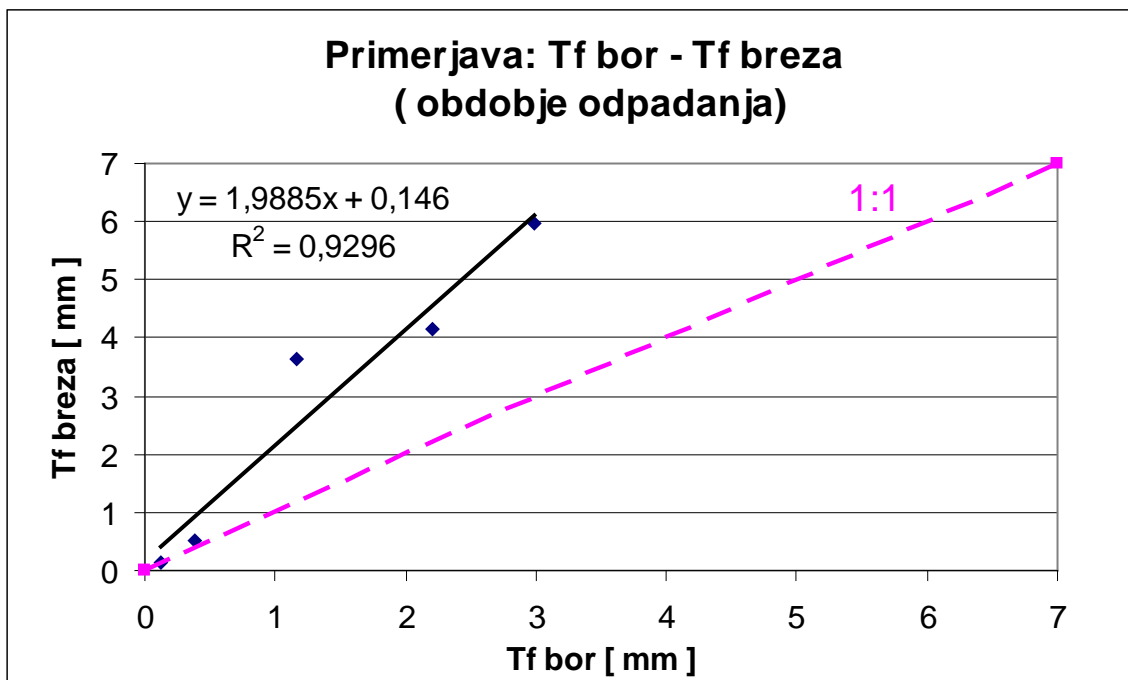


Slika 39. Regresija med prepuščenimi padavinami bora in breze za zimo iz avtomatskih podatkov (n = 17)





Slika 40. Regresija med prepuščenimi padavinami bora in breze za poletje iz avtomatskih podatkov (n = 23)

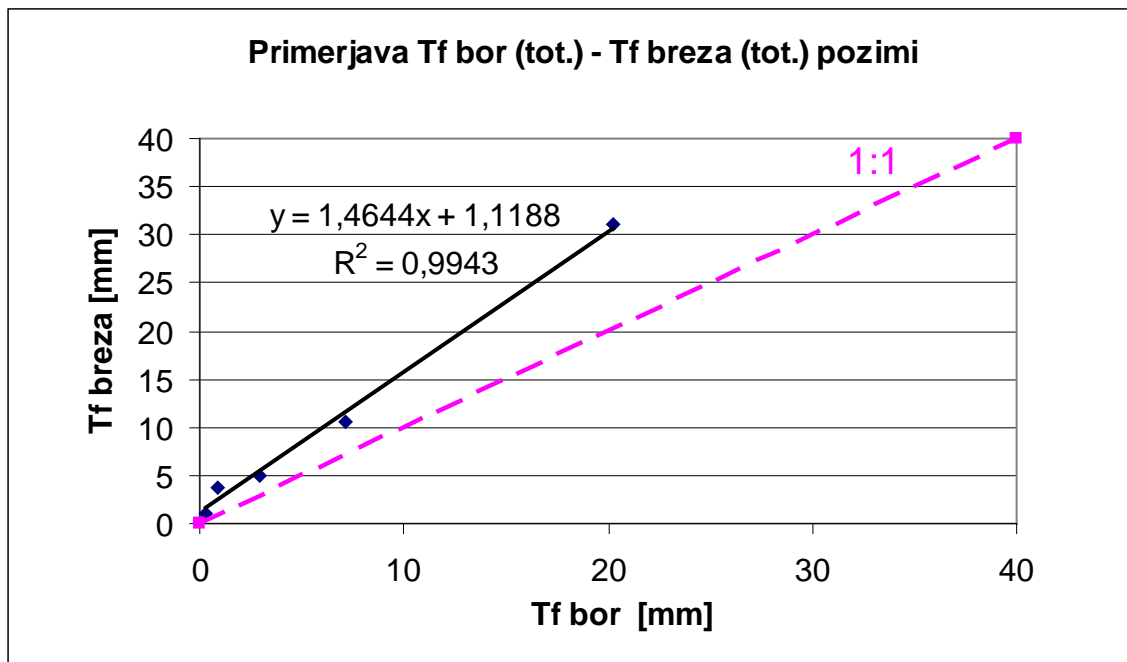


Slika 41. Regresija med prepuščenimi padavinami bora in breze za jesen iz avtomatskih podatkov (n = 5)

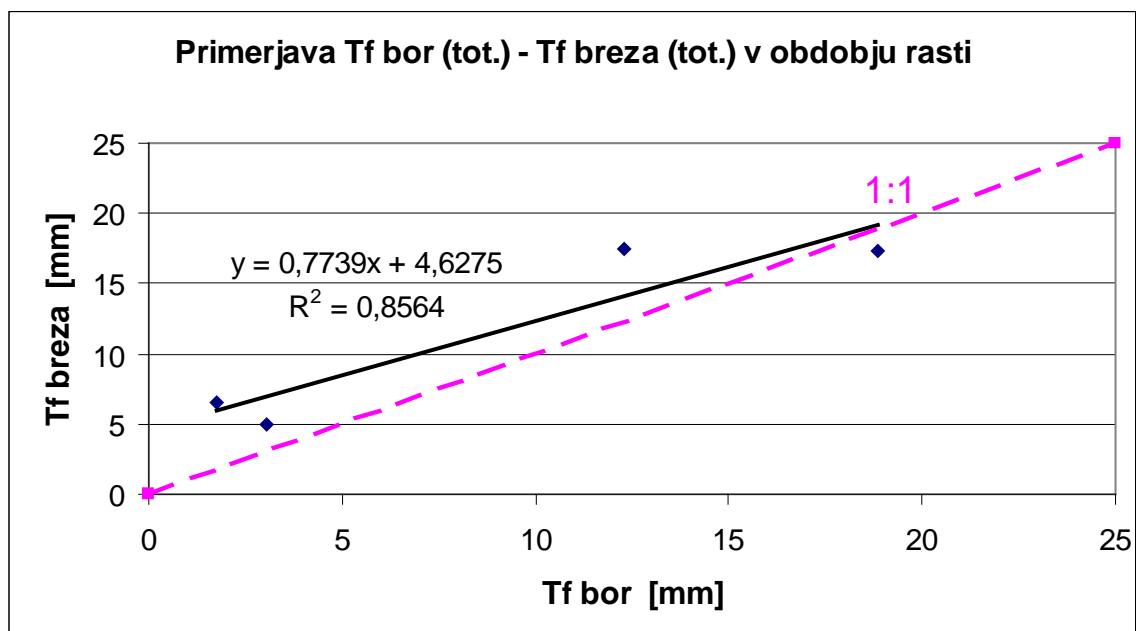
V zimskem obdobju nam regresija pokaže, da ima bor več prepuščenih padavin kot pa breza. To se ne zdi logično, saj je znano da imajo listavci ponavadi večji delež prepuščenih padavin kot pa iglavci. Razlog za to je tudi v tem primeru najbrž nabiranje snega v krošnji bora. Koeficient  $R^2$  je v tem primeru visok in znaša 0,990. Regresije v spomladanskem obdobju ni bilo moč narediti, saj smo imeli na razpolago premalo podatkov. V obdobju na višku dobimo pričakovane rezultate. Breza ima v tem obdobju večji delež prepuščenih padavin, koeficient  $R^2$  pa znaša v tem primeru 0,962. Tudi v obdobju odpadanja ima breza pričakovano več prepuščenih padavin kot bor, saj se ji takrat že prične redčiti krošnja.  $R^2$  v tem obdobju znaša 0,930.

### **3.2.2.2 Regresijske analize prepuščenih padavin iz totalizatorjev**

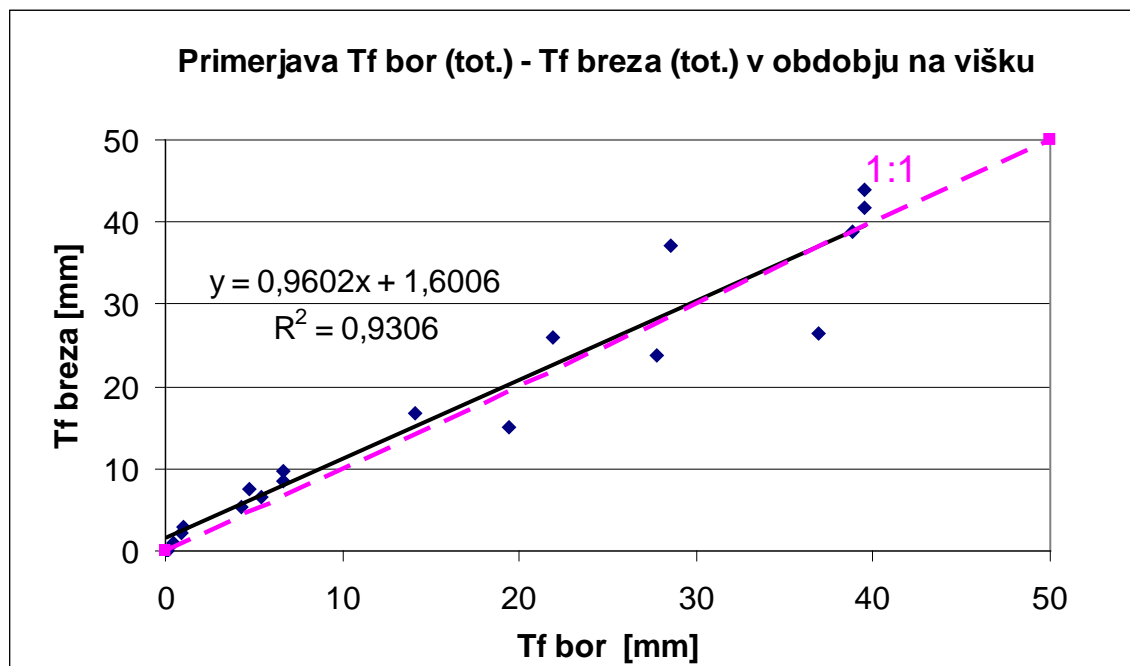
Iz regresijske analize prepuščenih padavin, merjenih s totalizatorji smo dobili sledeče rezultate:



Slika 42. Regresija med prepuščenimi padavinami bora in breze pozimi iz meritev s totalizatorji (n = 5)



Slika 43. Regresija med prepuščenimi padavinami bora in breze spomladi iz meritev s totalizatorji (n = 4)



Slika 44. Regresija med prepuščenimi padavinami bora in breze poleti iz meritev s totalizatorji (n = 18)

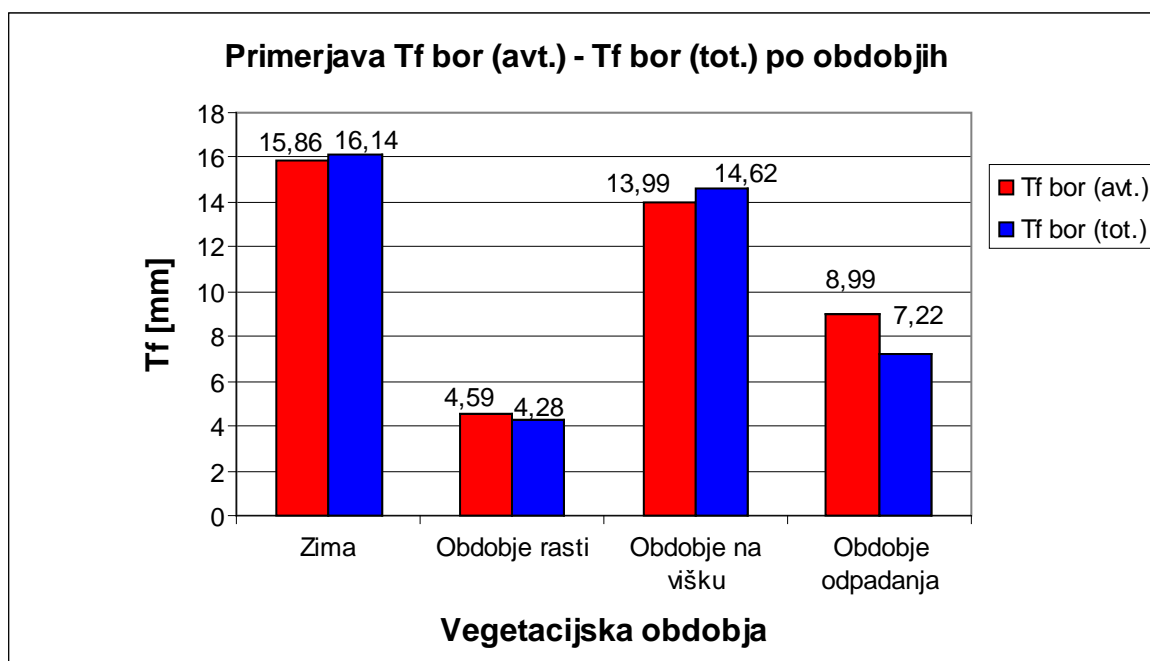
Po regresijskih analizah meritev s totalizatorji dobimo pričakovane rezultate. Za vsa obdobja dobimo zelo visoke koeficiente  $R^2$  (od 0,856 do 0,994). V tem primeru breza prepusti več padavin kot bor v vseh obdobjih, kar je tudi pričakovano. V zimskem obdobju bi bilo sicer za pričakovati še večji delež prepuščenih padavin breze glede na bor, saj je takrat breza brez listja, velja pa upoštevati dejstvo, da je takrat merjenje oteženo zaradi kopičenja snega na boru in nato taljenja, kot sem že omenil poprej. Tudi pri meritvah s totalizatorji so poleti prepuščene padavine pri boru in brezi dokaj izenačene, kar je rezultat velike skladiščne zmogljivosti krošnje, ki jo ima breza poleti. V obdobjih rasti in pa opazimo tudi tukaj, da se brezi povečajo prepuščene padavine glede na bor zaradi manjše gostote listja v njeni krošnji v tem obdobju. Koeficient  $R^2$  v tem obdobju znaša 0,856. V jesenskem obdobju nismo imeli zadostnega števila meritev za regresijsko analizo.

### **3.2.3 Primerjava rezultatov avtomatskih in ročnih meritev**

V tej študiji sem naredil tudi primerjavo meritev prestreženih padavin dobljenih iz stacionarnih korit in pa premičnih merilcev ali totalizatorjev. Čeprav smo pri boru predpostavili da se njegova gostota krošnje med letnimi časi ne spreminja, sem prikazal prepuščene padavine za vsa obdobja prav tako kot pri brezi, zaradi primerjave rezultatov z brezo.

Pri mnogih študijah prestreženih padavin so raziskovalci ugotovili, da dajo premični merilci nekako bolj merodajne rezultate kot pa stacionarni. Izmere s premičnih merilcev so ponavadi nekoliko večje kot pa tiste dobljene na koritih. Temu je tako tudi v mojem primeru, kot je razvidno iz slik 45 do 52.

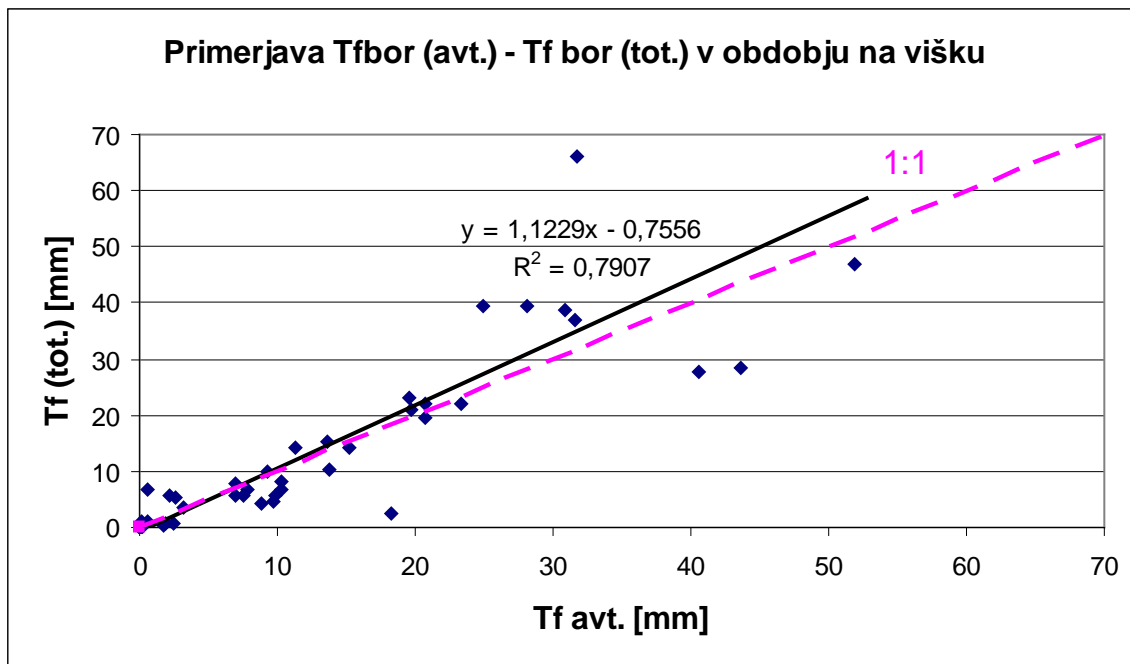
Razlog je v tem, da s premični merilci zajamemo tudi t.i. »drip points«, kjer je  $T_f$  večji od padavin. To so točke na robu krošenj, kjer se ponavadi zbere največja količina prestreženih padavin. Korito pa stoji stalno na istem mestu in tako ne zajame vedno meritev prepuščenih padavin pod celo krošnjo, medtem ko so premični merilci razporejeni pod celo krošnjo. Premične merilce tako tudi naključno prestavljamo pod krošnjo in s tem dobimo še bolj merodajne rezultate.



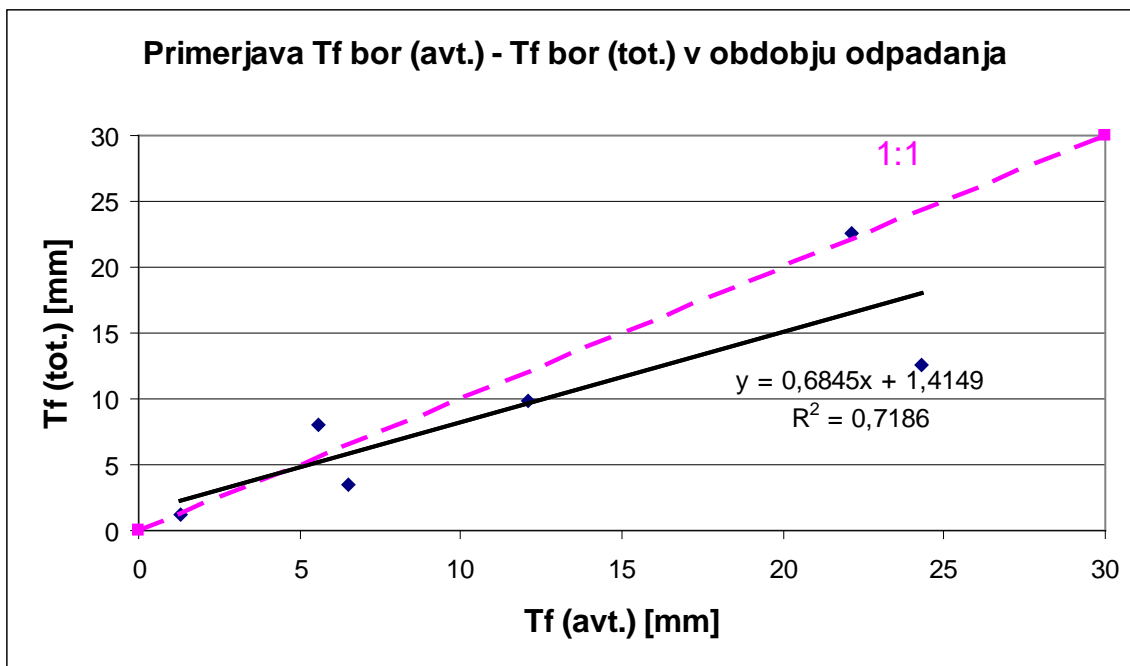
Slika 45. Primerjava prepuščenih padavin za bor, merjenih avtomatsko in s totalizatorji

Iz slike 45 je razvidno, da dajo pri boru meritve s totalizatorji malenkost večje ali enake vrednosti kot avtomatske meritve v vseh obdobjih, razen v obdobju pomladi in jeseni. Takrat imajo malenkost večje vrednosti avtomatskih meritev. Razlog za take rezultate je verjetno v tem, da sta ti dve obdobji veliko krajši od poletja in zime, saj trajata le okrog enega meseca in tako imamo na razpolago mnogo manj meritev za natančnejšo analizo. V ostalih obdobjih so meritve pridobljene s totalizatorji večje od avtomatskih meritev. Stolpčni diagram na sliki 46 sem predstavil v milimetrih, saj nisem imel zadostnega števila istočasnih meritev padavin, ker se padavine odčitavajo le enkrat dnevno v jutranjih urah, prepuščene padavine iz totalizatorjev pa po končanem kapljanju skozi krošnjo.

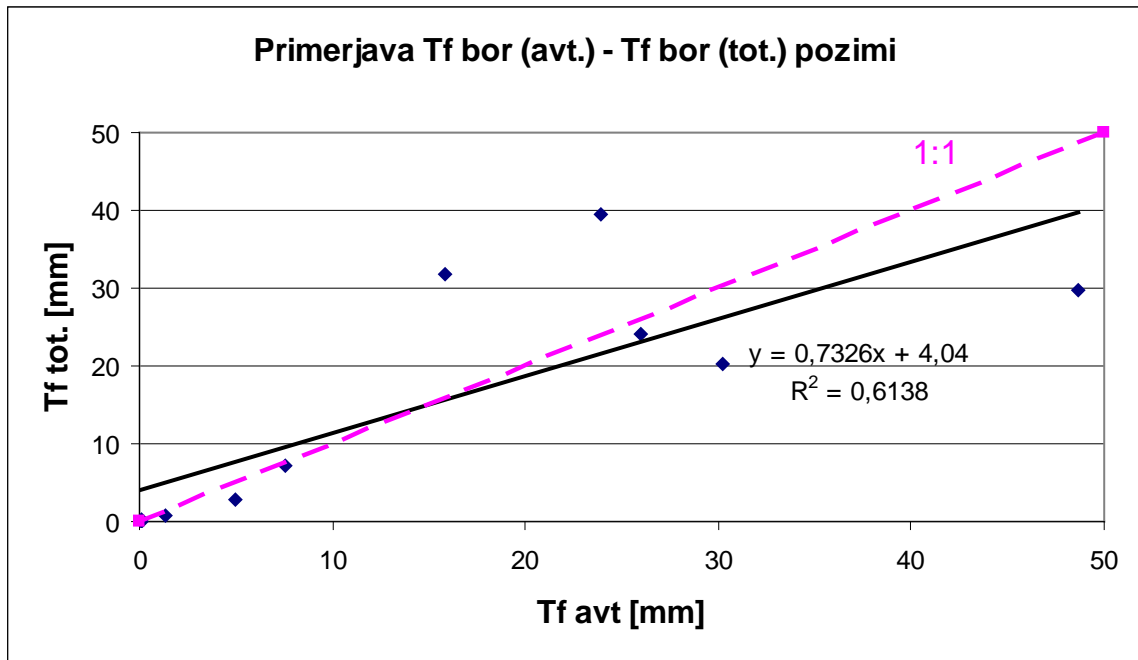
Podobne rezultate nam dajo tudi regresijske analize za bor.



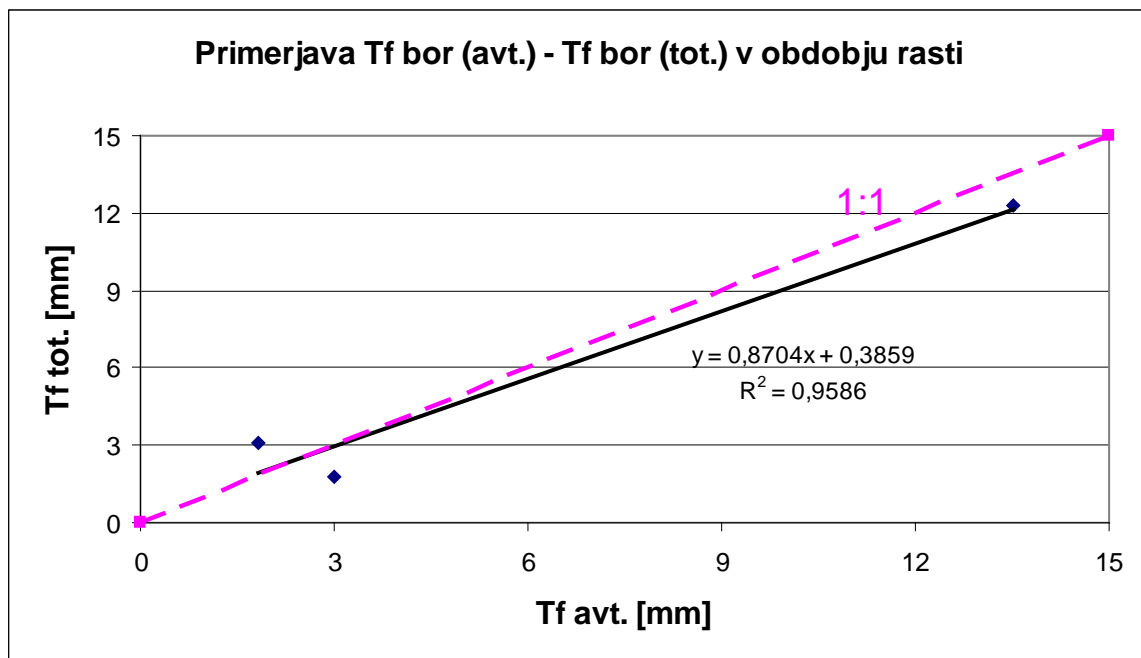
Slika 46. Primerjava med prepuščenimi padavinami merjenimi s totalizatorji in avtomatskimi meritvami za bor v obdobju na višku (n = 44)



Slika 47. Primerjava med prepuščenimi padavinami merjenimi s totalizatorji in avtomatskimi meritvami za bor v obdobju odpadanja (n = 6)



Slika 48. Primerjava med prepuščenimi padavinami merjenimi s totalizatorji in avtomatskimi meritvami za bor pozimi (n = 10)

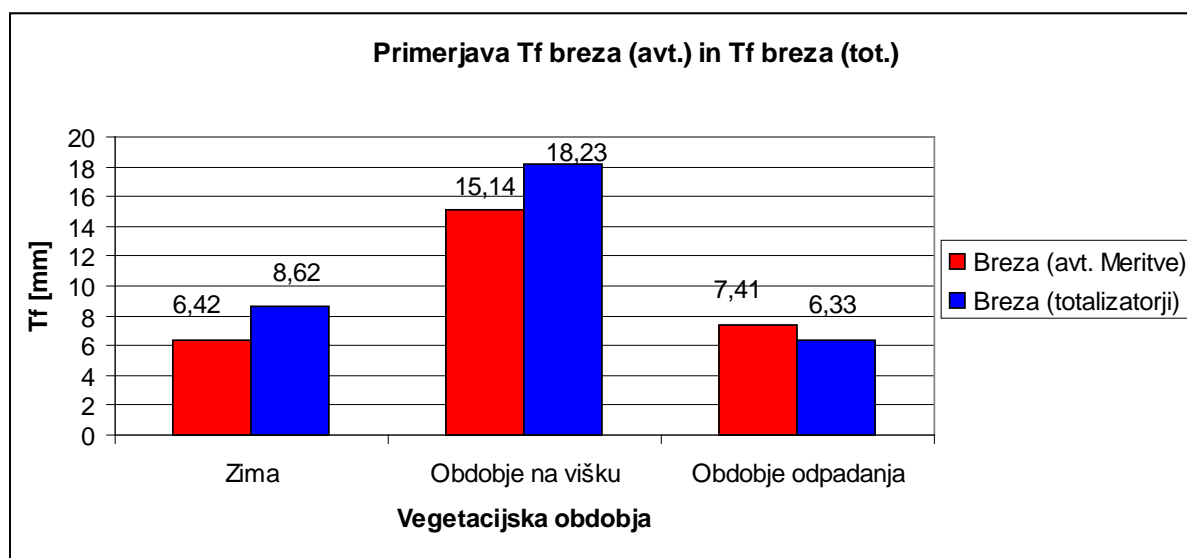


Slika 49. Primerjava med prepuščenimi padavinami merjenimi s totalizatorji in avtomatskimi meritvami za bor v obdobju rasti (n = 3)



Iz regresijske analize za bor v obdobju na višku ugotovimo, da dajo meritve s totalizatorji višje vrednosti prepuščenih padavin kot pa avtomatske meritve. Koeficient  $R^2$  znaša v tem obdobju 0,791. To pa ne velja za obdobje odpadanja listja, kjer smo dobili rahlo višje vrednosti pri avtomatskih meritvah. To ni bilo pričakovano, razlog za to pa je verjetno kratko trajanje jesenskega obdobja.  $R^2$  je v tem primeru znašal 0,719. V zimskem obdobju pa rezultati kažejo na višje vrednosti prepuščenih padavin pri avtomatskih podatkih za dogodke večje od 15 mm. Razlog za take rezultate pa je verjetno v tem, da se nabiranje in taljenje snega na boru bolj pozna pri merjenju s koritom kot pa s totalizatorji, ki imajo mnogo manjšo površino. Koeficient  $R^2$  je v tem obdobju zadovoljiv in znaša 0,614. V obdobju rasti dajo avtomatske meritve višje vrednosti od tistih, pridobljenih s totalizatorji. Razlog je verjetno podoben kot v jesenskem obdobju in sicer kratko trajanje tega obdobja in zato malo meritev za analizo.

Pri brezi smo naredili enako analizo kot pri boru in ugotovili sledeče:

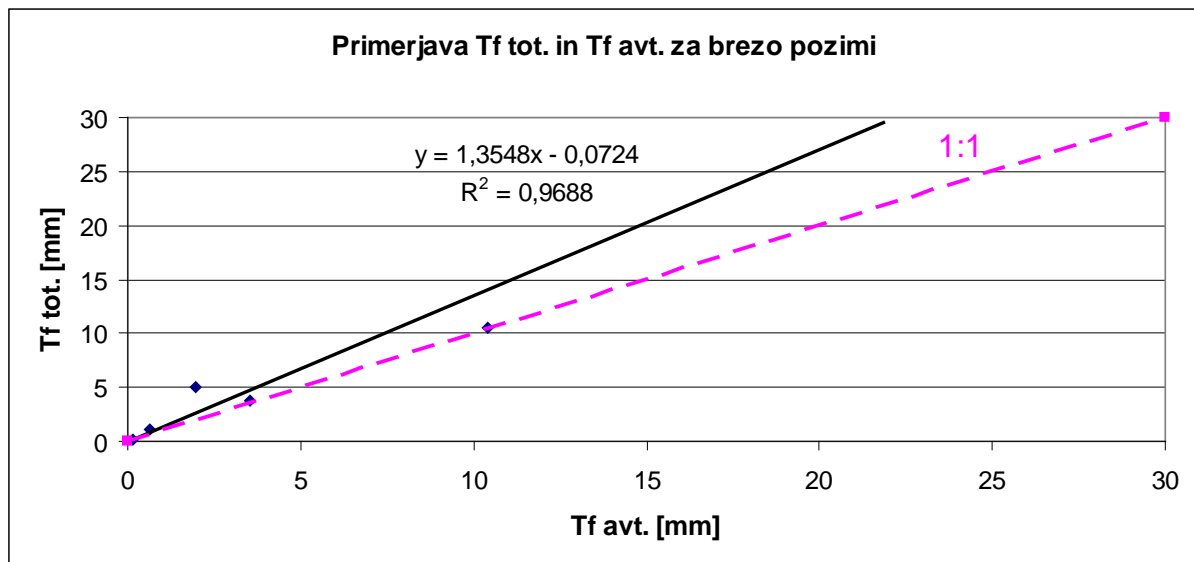


Slika 50. Primerjava prepuščenih padavin za brezo, merjenih avtomatsko in s totalizatorji

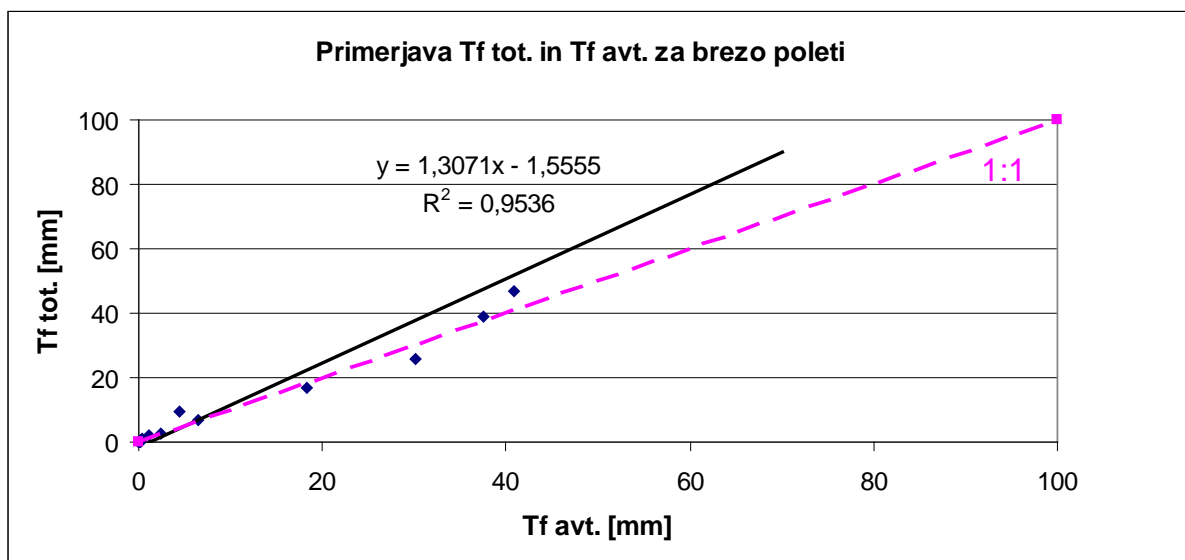
V primeru breze dajo višje vrednosti meritve s totalizatorji pozimi in v obdobju na višku, jeseni pa rahlo nižje vrednosti. To smo tudi pričakovali, glede na rezultate sorodnih študij prestreženih padavin. Povprečno so dale meritve s totalizatorji pozimi okoli 26 % višje

vrednosti kot avtomatske meritve, poleti 17 % višje, jeseni pa 14 % nižje vrednosti. Rezultati v jesenskem obdobju niso bili pričakovani, razlog za to pa je verjetno v kratkotrajnosti tega obdobja. V spomladanskem obdobju nismo imeli na razpolago zadostnega števila istočasnih meritev za analizo. Tudi pri brezi sem moral stolpčni diagram predstaviti v milimetrih, saj prav tako kot pri boru nisem imel na razpolago še istočasnih meritev padavin za predstavitev v odvisnosti od padavin. Na splošno se pri brezi pojavljajo večje razlike med totalizatorji in avtomatskimi meritvami kot pa pri boru, kar je bilo pričakovano, saj je pri listavcih pojav t.i. »drip points« bolj izrazit.

Iz regresijske analize dobimo sledeče.



Slika 51. Primerjava med prepuščenimi padavinami merjenimi s totalizatorji in avtomatskimi meritvami za brezo pozimi (n = 7)



Slika 52. Primerjava med prepuščenimi padavinami merjenimi s totalizatorji in avtomatskimi meritvami za brezo poleti ( $n = 17$ )

Pri brezi dobimo podobne rezultate. Tako pozimi, kot poleti dajo večje vrednosti meritve s totalizatorji. Poleti koeficient  $R^2$  znaša 0,954, pozimi pa 0,969. Koeficienta pri boru v istih obdobjih znašata 0,791 in 0,614. Za obdobje odpadanja in rasti listja ni bilo dovolj podatkov za regresijsko analizo. Razlog za to je tudi dejstvo, da sta ti dve obdobji zelo kratki, le okrog enega meseca.

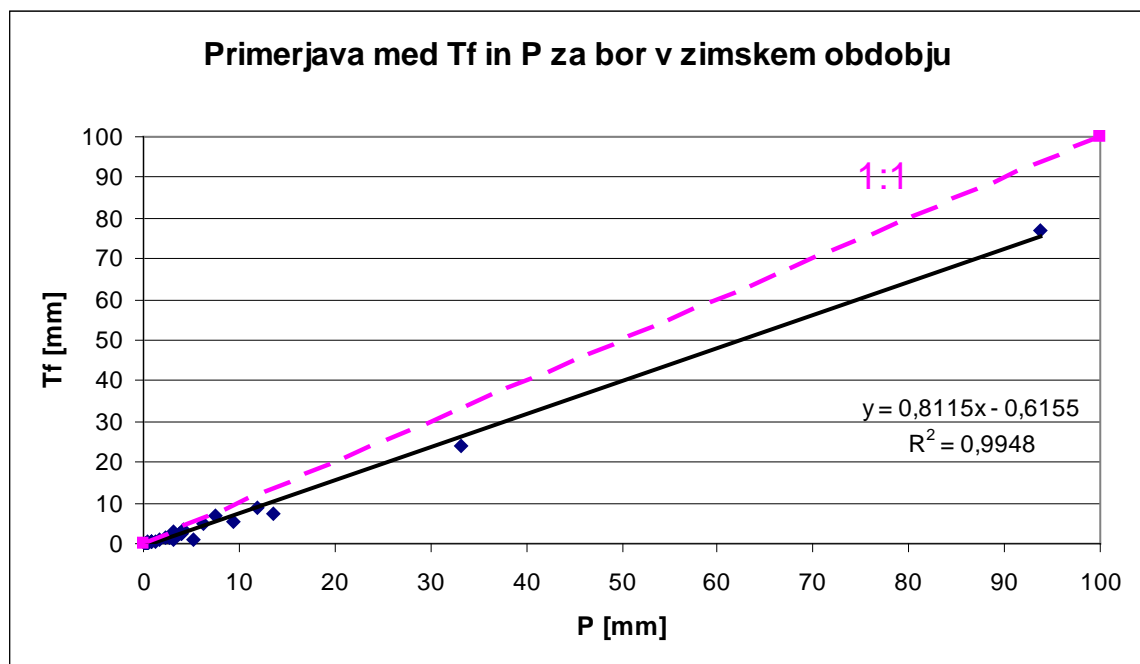
### 3.2.4 Odvisnost prepuščenih padavin od jakosti in količine padavin

Kot sem že omenil v prvem poglavju pri teoriji, je količina prepuščenih padavin odvisna od jakosti in časa trajanja padavin. Z drugimi besedami bi lahko rekli, da je odvisna od količine padavin in intenzitete padavin.

V tej študiji bi rad pokazal tudi povezavo med intenziteto ter količino padavin in pa količino prepuščenih padavin.

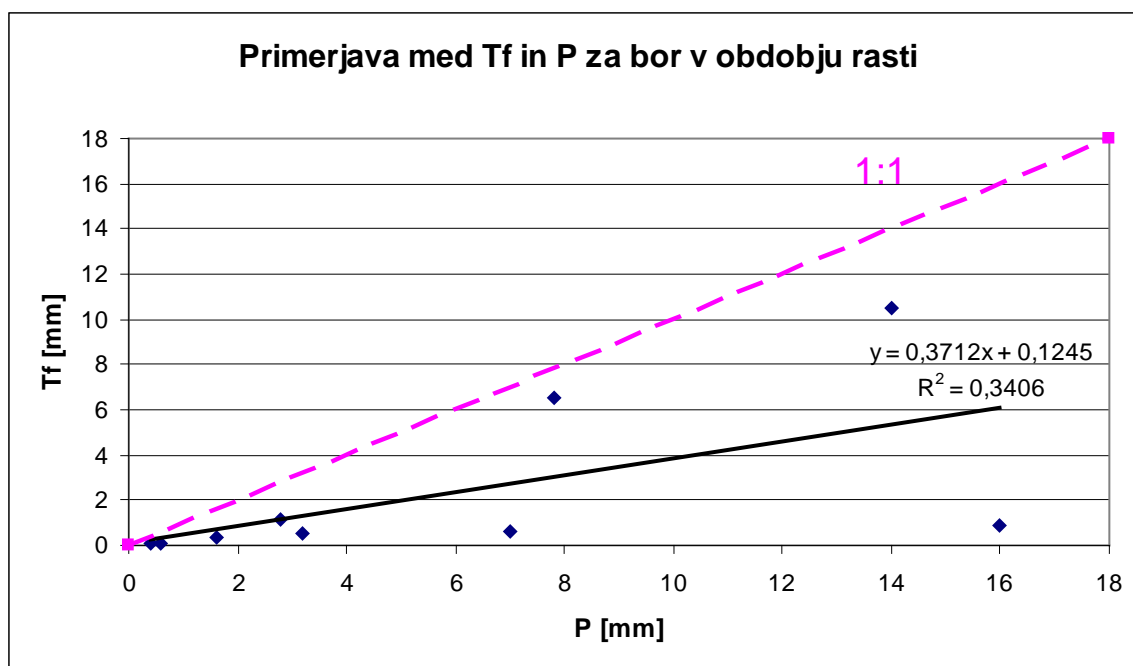
### 3.2.4.1 Odvisnost prepuščenih padavin od količine padavin

V primeru bora dobimo iz regresijskih analiz sledeče rezultate:



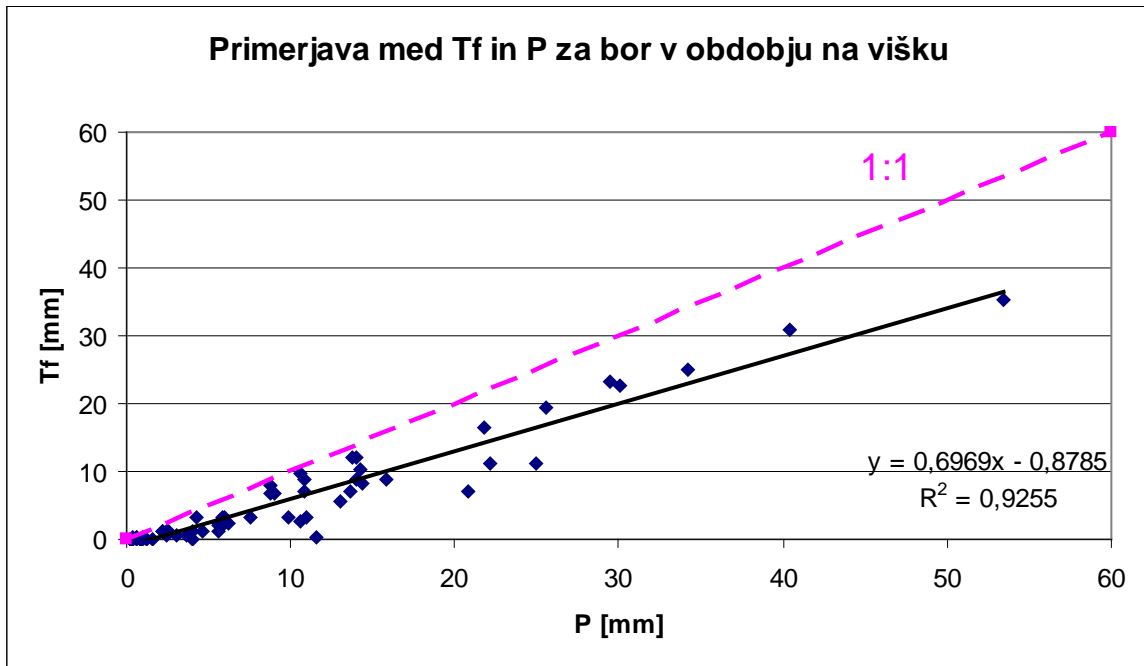
Slika 53. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za bor v zimskem obdobju ( $n = 32$ )

V zimskem obdobju opazimo velik odstotek prepuščenih padavin glede na padavine. Na sliki 53 je opazno naraščanje prepuščenih padavin z naraščanjem samih padavin. To potrjuje tudi visok koeficient  $R^2$ , ki znaša 0,995. Med omenjenima spremenljivkama obstaja tudi statistično zelo značilna linearna odvisnost, kar potrjuje koeficient  $p$ , ki znaša  $7,05 * 10^{-36}$ .



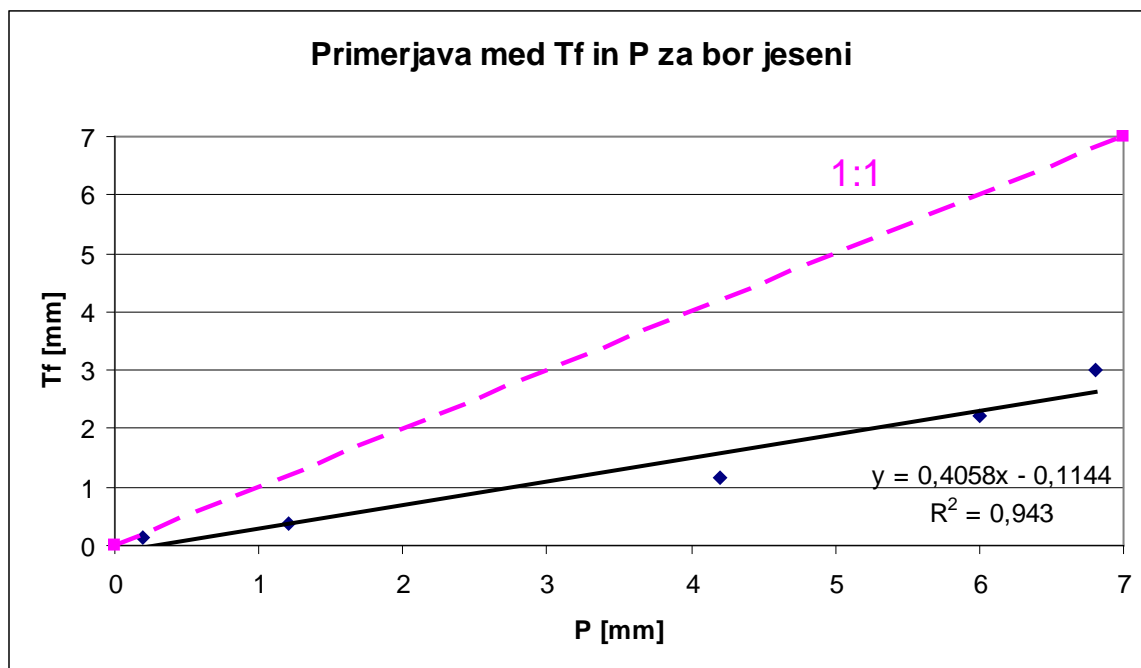
Slika 54. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za bor v obdobju rasti ( $n = 9$ )

Tudi v obdobju rasti je opazno naraščanje Tf v primerjavi s P, vendar pa je koeficient  $R^2$  v tem primeru nižji, saj znaša le 0,341. Koeficient p znaša 0,099, kar pomeni da med spremenljivkama Tf in P obstaja v tem obdobju le statistično šibka linearna soodvisnost.



Slika 55. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za bor v obdobju na višku (n = 69)

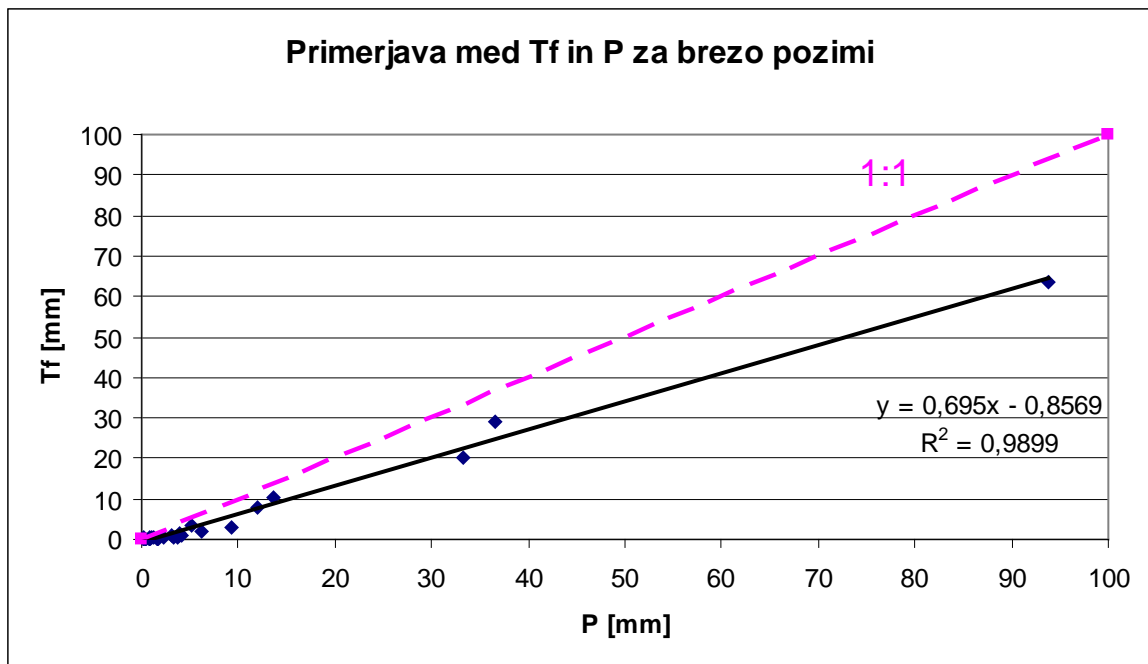
Tudi v obdobju na višku količina Tf narašča z naraščajočimi padavinami (P). Koeficient  $R^2$  v tem obdobju znaša 0,926, veliko statistično linearno odvisnost pa potrjuje tudi koeficient p, saj znaša le  $1,68 * 10^{-39}$ .



Slika 56. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za bor v jesenskem obdobju ( $n = 5$ )

V jesenskem obdobju prav tako opazimo naraščanje Tf v primerjavi s P. Koeficient  $R^2$  je zopet visok in znaša 0,934. Koeficient p znaša 0,0059, kar pomeni statistično močno linearno odvisnost med padavinami in prepuščenimi padavinami.

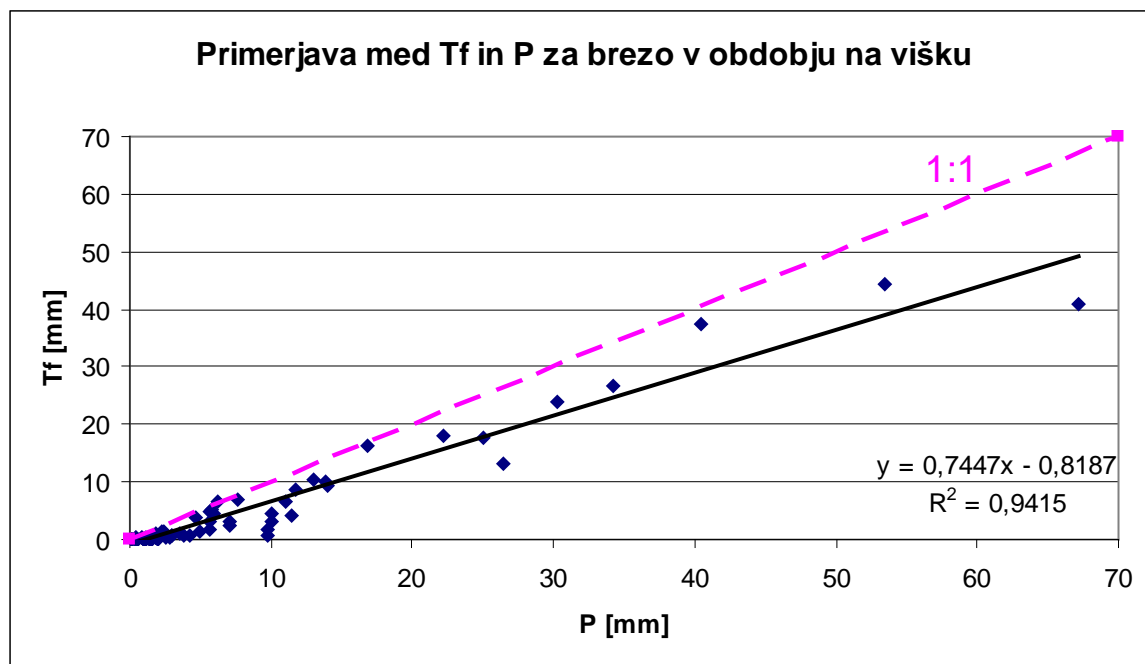
V primeru breze smo ugotovili sledeče:



Slika 57. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za brezo v zimskem obdobju ( $n = 23$ )

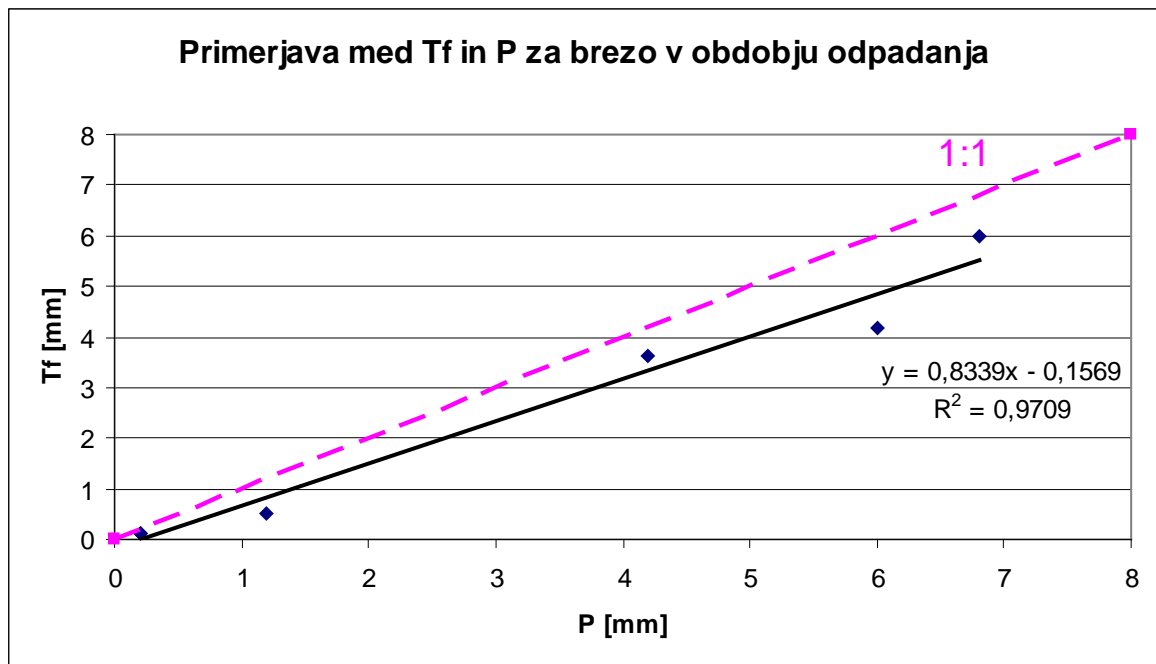
Tudi pri brezi opazimo podobno kot pri boru; Tf narašča z naraščanjem P. Koeficient  $R^2$  v zimskem obdobju meri 0,990. Koeficient p pa znaša  $1,83 * 10^{-22}$ , kar potrjuje statistično zelo značilno linearno odvisnost med Tf in P.





Slika 58. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za brezo v obdobju na višku (n = 68)

V obdobju na višku ugotovimo podobno kot v zimskem obdobju. Koeficient  $R^2$  je visok in znaša 0,942. Močno statistično linearno odvisnost pa dokazuje tudi vrednost koeficienta p, ki znaša  $2,13 * 10^{-42}$ .



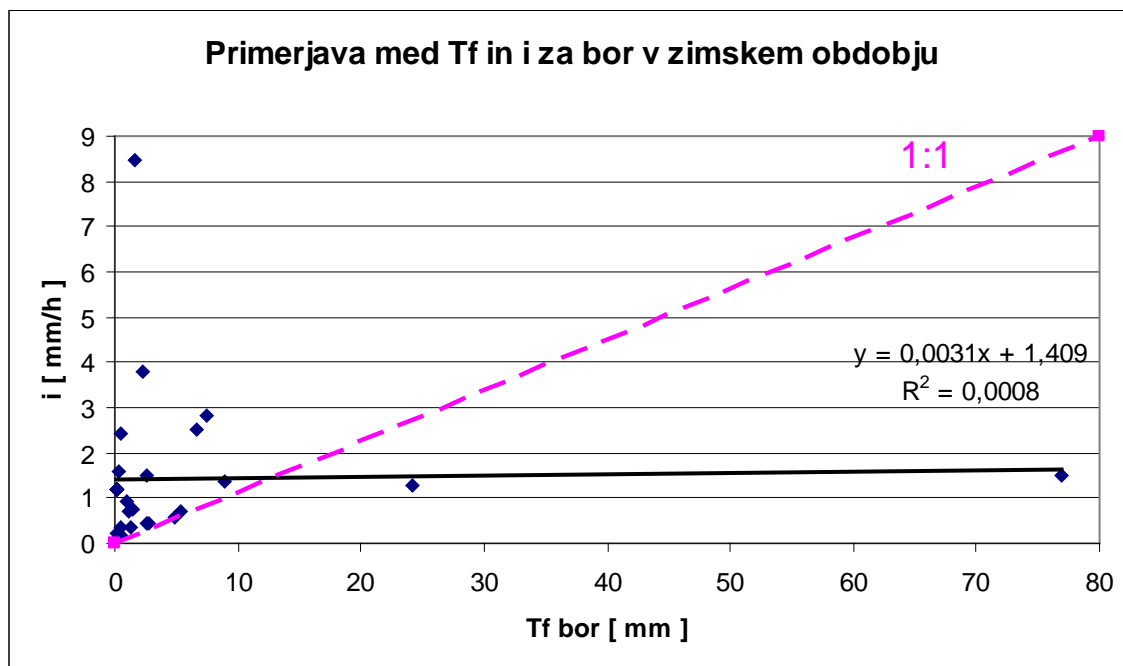
Slika 59. Primerjava med količino padavin in količino prepuščenih padavin za brezo v obdobju odpadanja (n = 6)

Tudi v obdobju odpadanja dobimo naraščanje Tf z naraščanjem P.  $R^2$  je tudi v tem primeru visok in znaša 0,971. Močno statistično značilno linearno odvisnost med padavinami in prepuščenimi padavinami pa dokazuje koeficient p, ki znaša v tem primeru 0,00032.

Z dobljenimi rezultati regresijskih analiz in analiz statistično značilne linearne odvisnosti smo ugotovili tako v primeru bora, kot tudi pri brezi, naraščanje prepuščenih padavin z naraščanjem količine samih padavin. Dobljeni rezultati so v okviru pričakovanih meja.

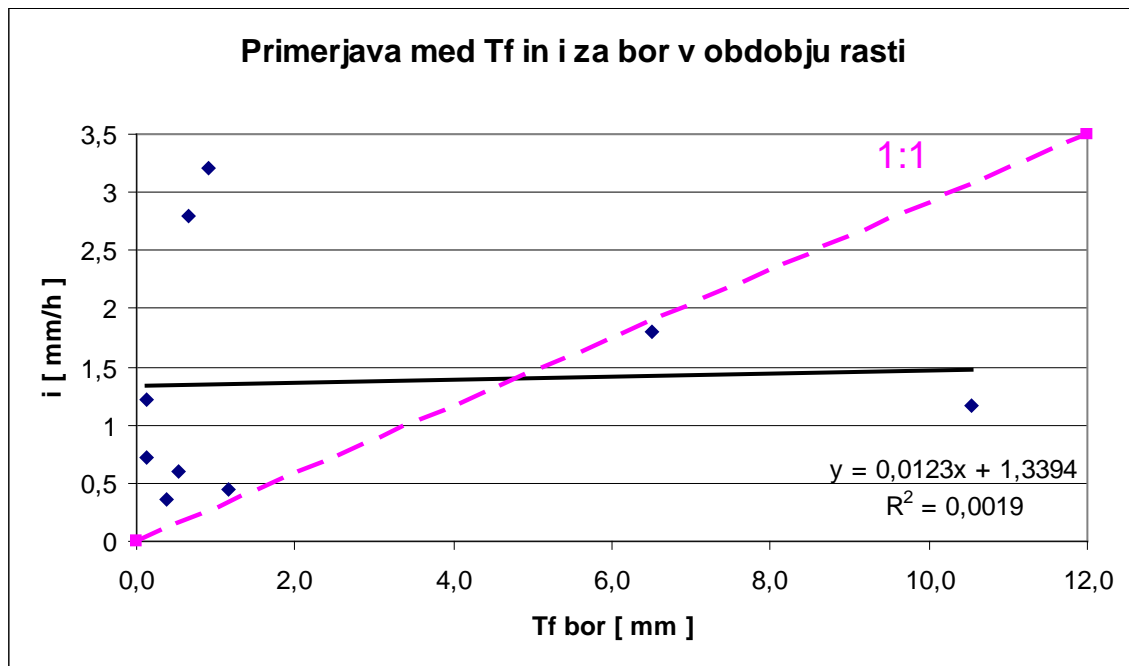
#### 3.2.4.2 Odvisnost prepuščenih padavin od intenzitete padavin

Kot sem navedel že prej, na količino prepuščenih padavin vpliva tudi intenziteta padavin. Pri boru smo dobili sledeče rezultate:



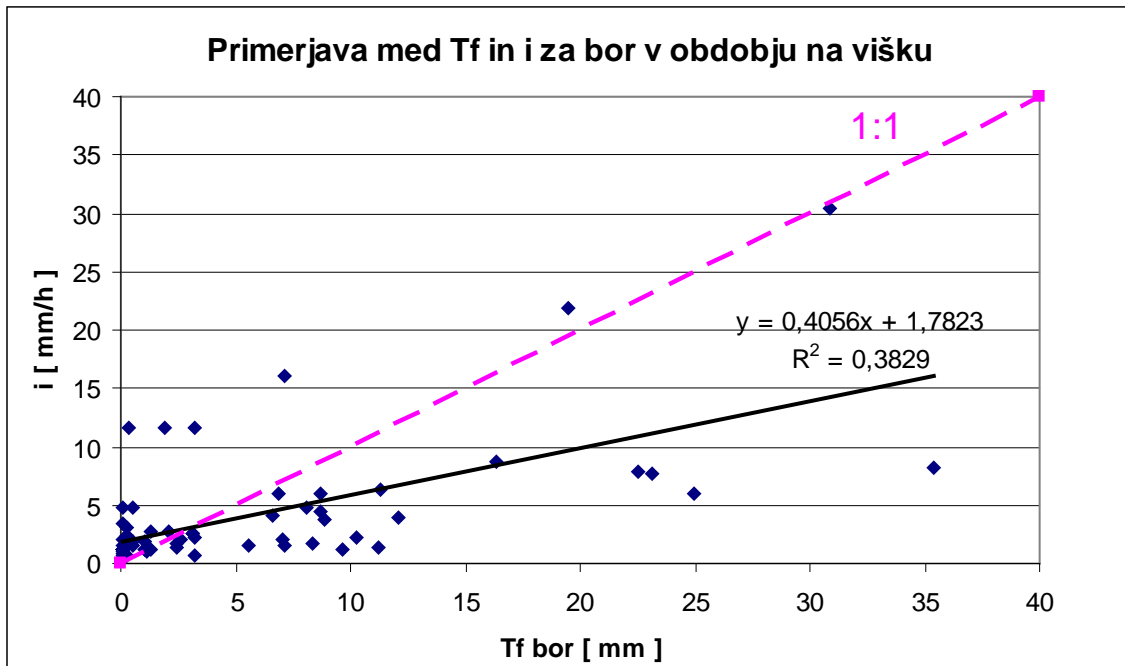
Slika 60. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za bor v zimskem obdobju  
(n = 29)

Kot je razvidno iz slike 60, Tf rahlo raste z naraščajočo intenziteto padavin. Koeficient  $R^2$  je nizek in meri le 0,0008. Vrednost koeficienta p znaša v zimskem obdobju 0,884, kar ne kaže na statistično značilno linearno odvisnost med Tf in i.



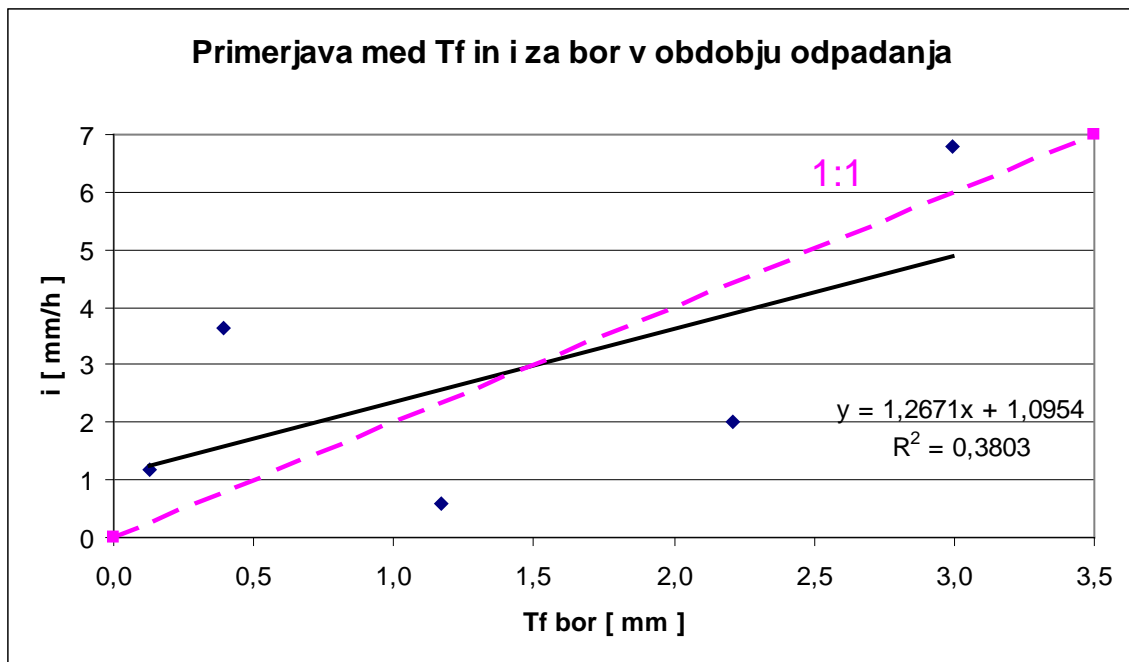
Slika 61. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za bor v obdobju rasti ( $n = 9$ )

Tudi v obdobju rasti dobimo sicer rahlo naraščanje  $T_f$  z naraščanjem  $i$ , vendar pa obstaja le slaba korelacija med  $T_f$  in  $i$  ( $R^2 = 0,0019$ ). Med  $T_f$  in  $i$  tudi ni statistično značilne linearne povezave ( $p = 0,911$ ).



Slika 62. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za bor v obdobju na višku ( $n = 67$ )

V obdobju na višku je opazno izrazitejše naraščanje  $T_f$  z naraščanjem  $i$ . Tudi koeficient  $R^2$  je v tem primeru višji in znaša 0,383. V tem obdobju obstaja tudi statistično zelo značilna linearna povezava med  $T_f$  in  $i$ , saj znaša vrednost  $p$  le  $2,392 \cdot 10^{-8}$ . Razlog za to so bržkone visoke intenzitete poletnih neviht.

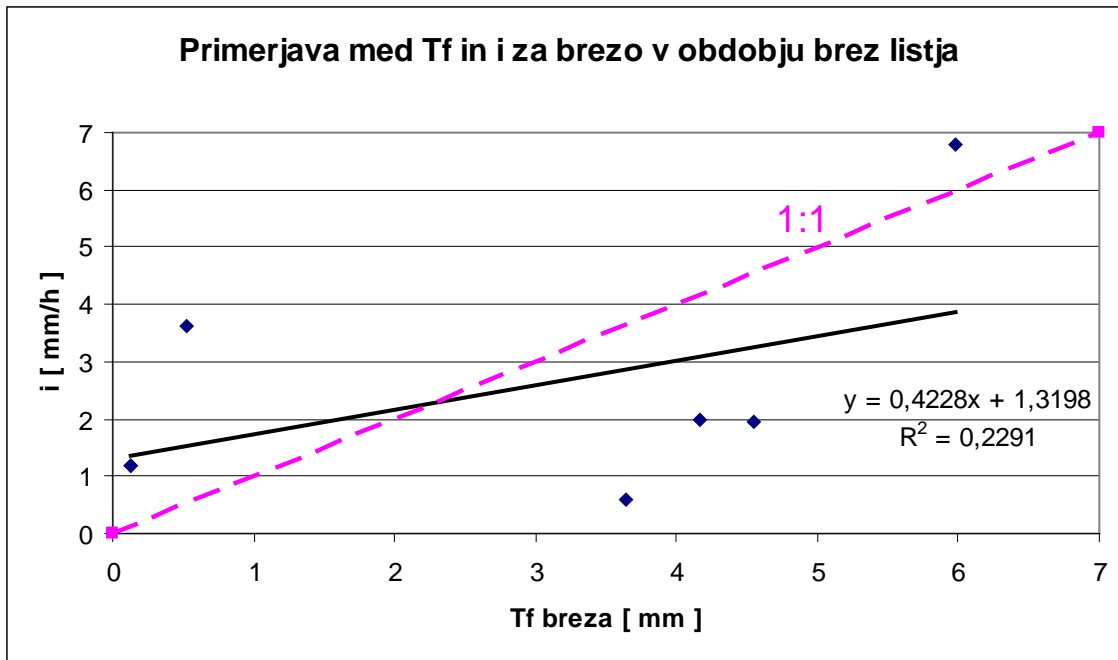


Slika 63. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za bor v obdobju odpadanja  
( $n = 5$ )

V tem obdobju je naraščanje  $T_f$  v primerjavi z naraščanjem  $i$  najbolj izrazito in tudi koeficient  $R^2$  je dokaj visok, znaša namreč 0,380. Vseeno pa ni opaziti statistično značilne linearne povezave med merjenima količinama. Vrednost  $p$  znaša namreč 0,268.

Pri boru smo torej v vseh štirih obdobjih ugotovili naraščanje prepuščenih padavin z naraščanjem intenzitete padavin. Dobljeni rezultati ležijo nekje v pričakovanih mejah, vendar pa smo statistično značilno linearno povezavo med količino prepuščenih padavin in intenziteto padavin lahko dokazali le v obdobju na višku rasti.

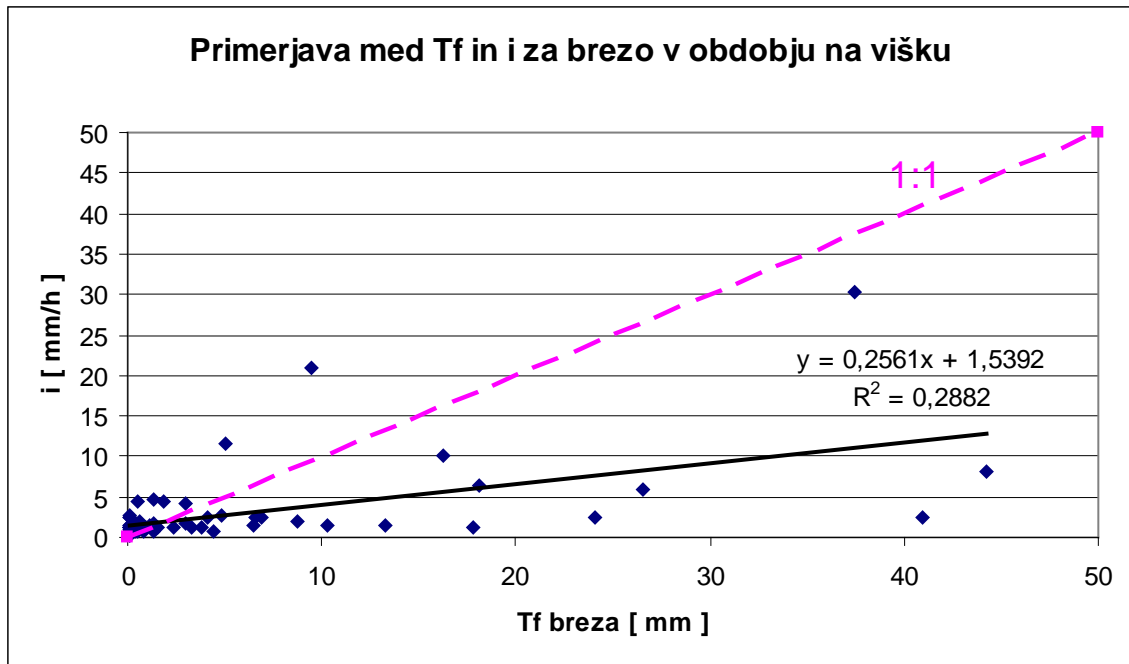
Pri brezi pa je stanje sledeče:



Slika 64. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za brezo v zimskem obdobju

(n = 20)

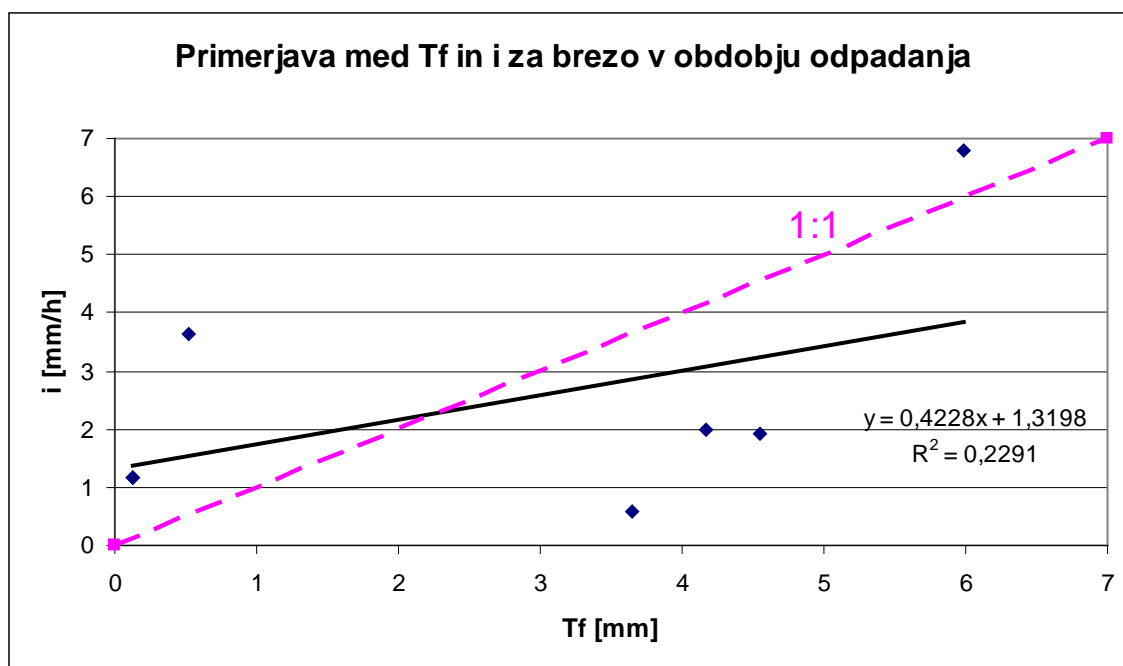
V obdobju, ko breza nima pokrivala je opaziti naraščanje  $T_f$  v odvisnosti od  $i$ . Koeficient  $R^2$  znaša 0,229, ni pa opaziti statistično značilne linearne odvisnosti med  $T_f$  in  $i$ , saj znaša vrednost  $p$  0,463.



Slika 65. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za brezo v obdobju na višku  
( $n = 65$ )

V obdobju na višku dobimo tako kot pri boru statistično močno značilno povezavo med  $T_f$  in  $i$ , vrednost  $p$  znaša  $4,03 \cdot 10^{-6}$ . Tudi v tem primeru je opazno naraščanje  $T_f$  z naraščanje  $i$ . Koeficient  $R^2$  znaša 0,288.





Slika 66. Primerjava prepuščenih padavin in intenzitete padavin za brezo v obdobju odpadanja listja ( $n = 7$ )

V obdobju odpadanja listja je pri brezi opazno naraščanje  $T_f$  v primerjavi z  $i$ , koeficient  $R^2$  znaša 0,229, ni pa opaziti statistično značilne linearne povezave med prepuščenimi padavinami in intenziteto padavin.

V primeru breze smo opazili podobno kot pri boru naraščanje količine prepuščenih padavin z naraščanjem intenzitete padavin. Tudi v tem primeru smo uspeli dokazati statistično značilno linearno odvisnost med  $T_f$  in  $i$  le v obdobju na višku rasti, kar je logično, saj je to takrat še posebej opazno zaradi velikih intenzitet poletnih neviht.

### 3.2.5 Primerjava rezultatov študije prestreženih padavin z rezultati podobnih študij

V tabeli 3 so zbrani rezultati podobnih študij predvsem tujih, pa tudi slovenskih avtorjev, ki jih lahko primerjamo z izsledki naše študije.

Tabela 3. Primerjava meritev prestreženih padavin z drugimi študijami (Šraj, 2003)

Vrsta vegetacije	Tf [%]	Lokacija	Avtor študije
hrastov gozd	57 - 77 (z listjem) 80 - 87 (brez listja)	Nizozemska	Dolman (1987)
listopadni gozd (hrast, javor, gaber)	77 - 82	Nizozemska	Lankreijer in ostali (1993)
listnati zimzeleni gozd (evkaliptus)	88,5	Kanada	Carlyle-Moses, Prie (1999)
mešani zimzeleni gozd	63 - 76	Nova Zelandija	Rowe (1983)
iglasti gozd	77,4 - 82,6 (poletje) 75,8 - 81,7 (zima)	Francija	Loustau in ostali (1992a;b)
iglasti gozd	83,2	Portugalska	(Valente in ostali (1997)
iglasti gozd	67	V Velika Britanija	Gash in Stewart (1977)
iglasti gozd	83,2	JZ Francija	Gash in ostali (1995)
tropski gozd (akacija)	75,4 - 80,9	Indonezija	Bruijnzel in Wiersum (1987)
tropski deževni gozd	81	Indonezija	Dykes (1997)
tropski deževni gozd	45,5	Porto Rico	Schellekens in ostali (1999)
tropski deževni gozd	78 - 79	J Amerika	Jetten (1996)
listnati gozd (rdeči hrast, javor, bukev)	76,5 - 78,5	Kanada	Price, Carlyle-Moses (2003)
listnati gozd (javor, rdeči hrast, bukev)	73,5 - 79,3	Kanada	Carlyle-Moses, Price (1999)
mešani gozd (jesen, beli hrast, cedra, ameriška bukev)	81,9 - 86,5	SV Mehika	Carlyle-Moses in ostali (2004)
listnati gozd (jesen, hrast, gaber)	67,1 - 71,5	JV Slovenija	Šraj, 2003
mešani gozd (bukav, jelka)	79 - 98	JV Slovenija	Vilhar, 2006

V primerjavi z rezultati tujih študij smo v tej študiji dobili v povprečju primerljive vrednosti prepuščenih padavin, oz. so bile nekoliko nižje. Ker so v teh študijah meritve opravljene pretežno s pomočjo totalizatorjev, sem tudi v našem primeru navedel rezultate meritev s pomičnimi merilci ali totalizatorji. V naši študiji smo tako v primeru breze dobili 57 – 70 %

prepuščenih padavin glede na količino padavin, za bor pa 35 – 49 % delež prepuščenih padavin.

V primeru breze najbolj sorodno študijo predstavlja študija listnatega gozda v porečju Dragonje avtorice Šraj leta 2003. V zimskem obdobju se rezultati omenjene študije razlikujejo od naših le za 1,5 %, poleti pa je ta razlika malo večja in znaša dobrih 10 % več v primeru Šraj. Študija nudi dokaj dobro primerjavo tudi zaradi podobne količine padavin v obeh primerih.

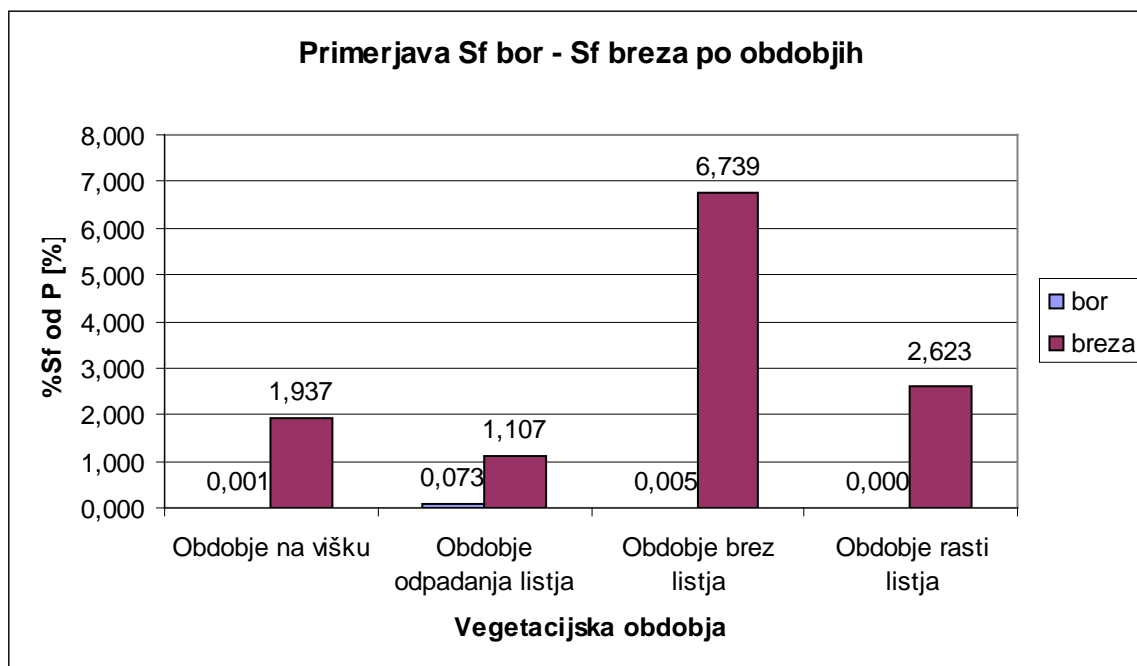
Tudi pri boru dobimo dokaj primerljive rezultate, glede na sorodne študije, oziroma so nekoliko nižji. Seveda pa gre pri različnih študijah za različne vrste iglavcev in tudi klimatske razmere so drugačne.

### **3.3 Odtok po deblu**

Kar se tiče odtoka po deblu, smo se v tej študiji usmerili pretežno na primerjavo med brezo in borom, ter na primerjavo samega odtoka po obdobjih.

Avtorji številnih študij (Vilhar, Šraj) ugotavljajo, da se pri listavcih običajno pojavi večji odtok po deblu kot pa pri iglastih drevesih. Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi mi v tej študiji, le s to razliko, da je v primeru breze izrednotenje meritev potekalo z manj zapleti in sami rezultati so bili bolj pričakovani, kot pa pri boru. Tam sem se namreč pogosto srečeval s problemom izrednotenja meritev, kajti velikokrat se je zgodilo, da je bil odtok po deblu ničelne vrednosti, čeprav so bile padavine dokaj velike.

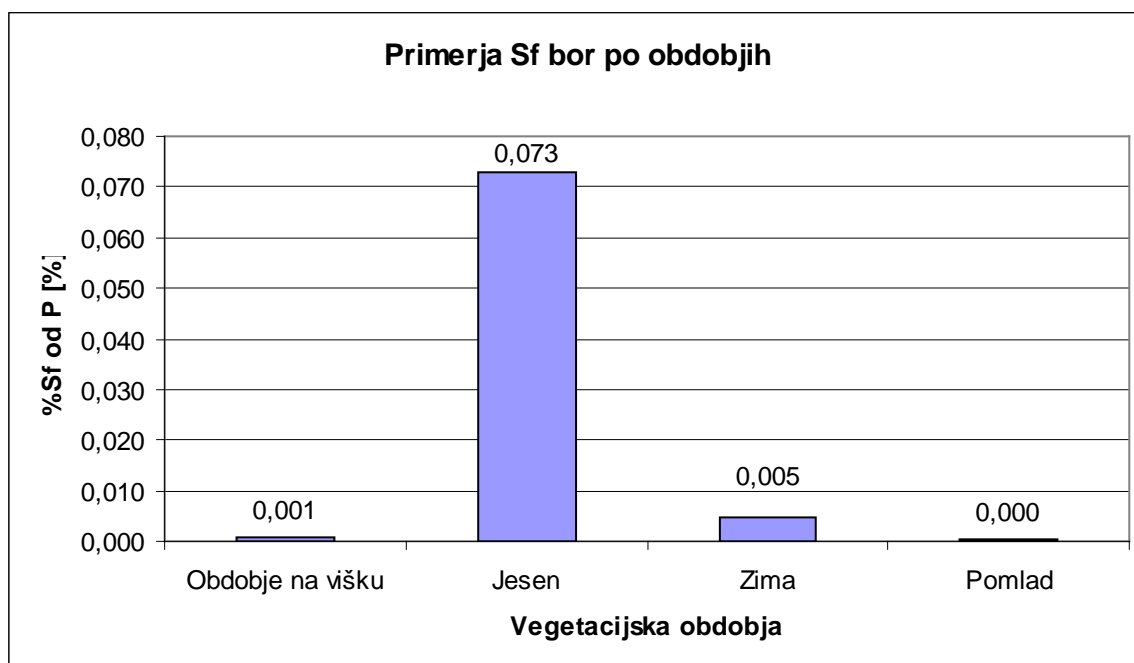
### 3.3.1 Primerjava odtoka po deblu med borom in brezo



Slika 67. Primerjava povprečnega odtoka po deblu med borom in brezo po obdobjih

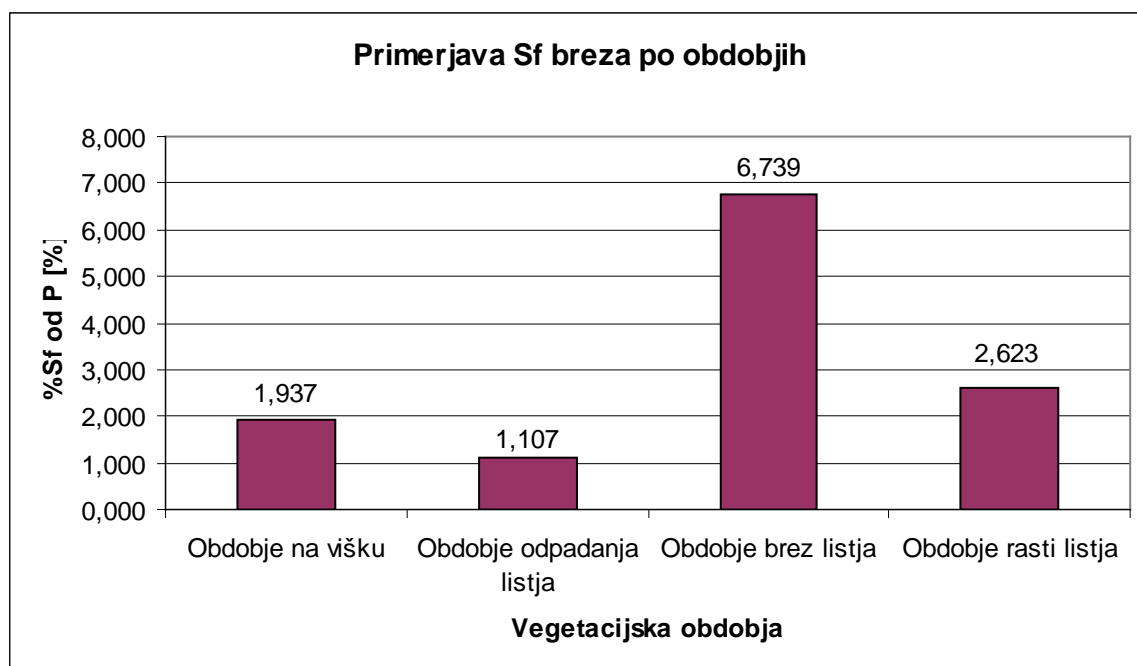
Iz primerjave odtoka po deblu med borom in brezo je razvidno, da ima bor veliko manjši odtok po deblu kot pa breza. Dobljeni rezultati so v pričakovanih mejah. Razlog za tako veliko razliko v Sf med borom in brezo pa je bržkone prav tako velika razlika med skorjama teh dveh dreves. Breza ima, kot sem že omenil pri teoriji, zelo gladko drevesno skorjo medtem ko ima bor zelo hrapavo deblo in nagubano skorjo, s številnimi vdolbinami in žlebiči. Voda, ki odteka po deblu se pri boru nabira v teh žlebičih ter vpija v skorjo in velikokrat že preden doseže merilni žleb izhlapi v ozračje. Zato v številnih primerih, tudi pri dokaj velikih količinah padavin, pri boru sploh ni bilo zabeleženega odtoka po deblu, pri brezi pa je bil istočasno odtok po deblu dokaj velik. Kot je razvidno iz slike 67, je Sf pri boru v primerjavi z brezo opazen le v jesenskem obdobju, v ostalih obdobjih pa ga skoraj ni.

Primerjava odtoka po deblu po posameznih vegetacijskih obdobjih je razvidna iz sledečih grafov.



Slika 68. Primerjava povprečnega odtoka po deblu za bor po posameznih vegetacijskih obdobjih

Največji odtok po deblu se pri boru pojavi jeseni. Meri 0,073 % padavin. Opazen odtok po deblu je še v zimskem obdobju, vendar le 0,005 % količine padavin. V ostalih dveh obdobjih odtok po deblu praktično ni zaznaven. Tako velike razlike Sf med posameznimi obdobji niso bile v pričakovanih mejah. Za pričakovati bi bilo največji odtok po deblu poleti, saj so takrat količine padavin in intenzitete največje, po drugi strani pa je takrat tudi izhlapevanje največje in večina odtoka po deblu izhlapi že preden doseže merilni žlebič.

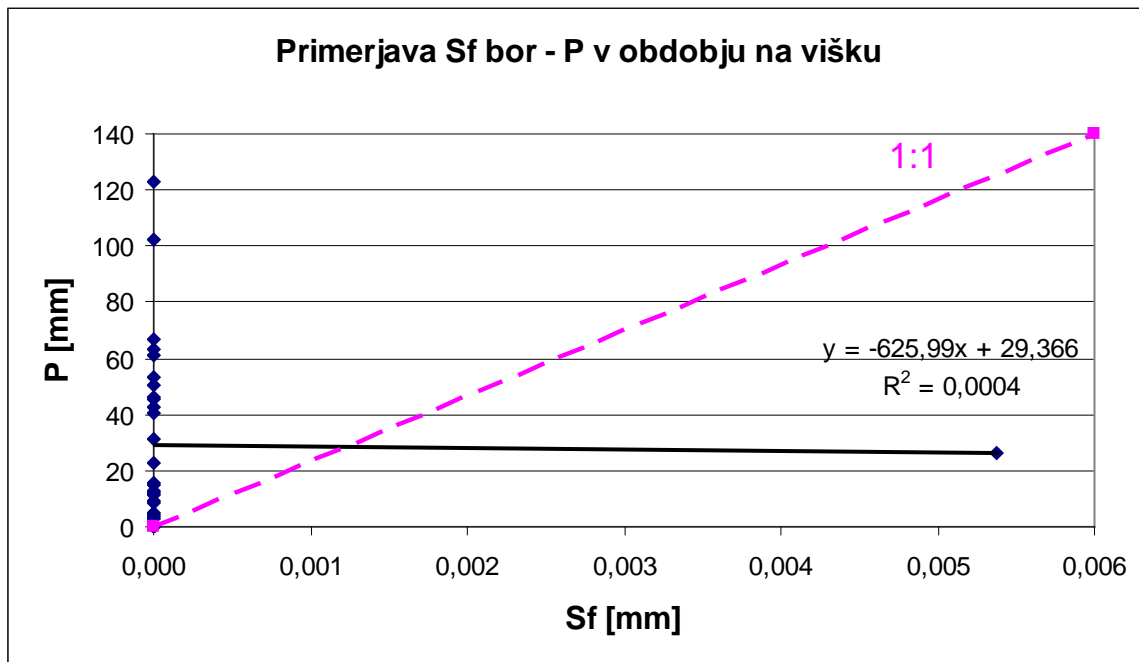


Slika 69. Primerjava povprečnega odtoka po deblu za brezo po posameznih vegetacijskih obdobjih

Največji odtok po deblu se pri brezi pojavi v zimskem obdobju, ko breza nima listnega pokrivala. V tem obdobju sicer ni padla tolikšna količina padavin kot npr. poleti in tudi intenzitete padavin niso bile tako velike. Razlog za tako velik odtok po deblu pa je dejstvo, da breza takrat nima listja in zato velik delež prestreženih padavin odteče po deblu in ne izhlapi v ozračje kot npr. poleti. Zimi sledi po količini Sf pomladno obdobje, ko breza šele razvija svoj listnati pokrov in zato tudi dokaj velik odtok po deblu. Sledi obdobje na višku, ki ima večji Sf kot pa jesensko obdobje, čeprav je breza takrat najbolj košata. Razlog za to pa so poletni nalivi z velikimi količinami in intenzitetami padavin.

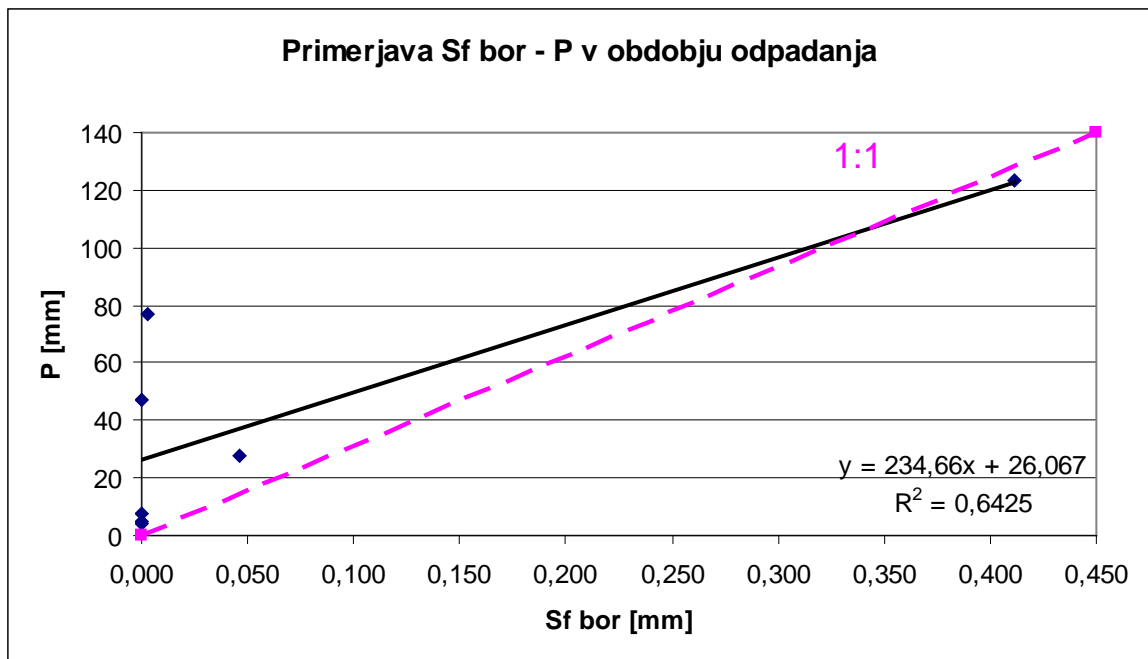
### 3.3.2 Primerjava med odtokom po deblu in padavinami

Kot sem že omenil v poglavju pri teoriji, je odtok po deblu odvisen od količine padavin. Pri boru smo ugotovili sledeče:



Slika 70. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za bor v obdobju na višku rasti ( $n = 30$ )

V poletnem obdobju iz dobljenega grafa ne moremo razbrati kakih logičnih zaključkov, saj premica pada, morala pa bi rasti. Razlog za to pa je v tem, da so vse meritve Sf razen ene, ničelne zaradi hrapave skorje bora in velikega izhlapevanja.

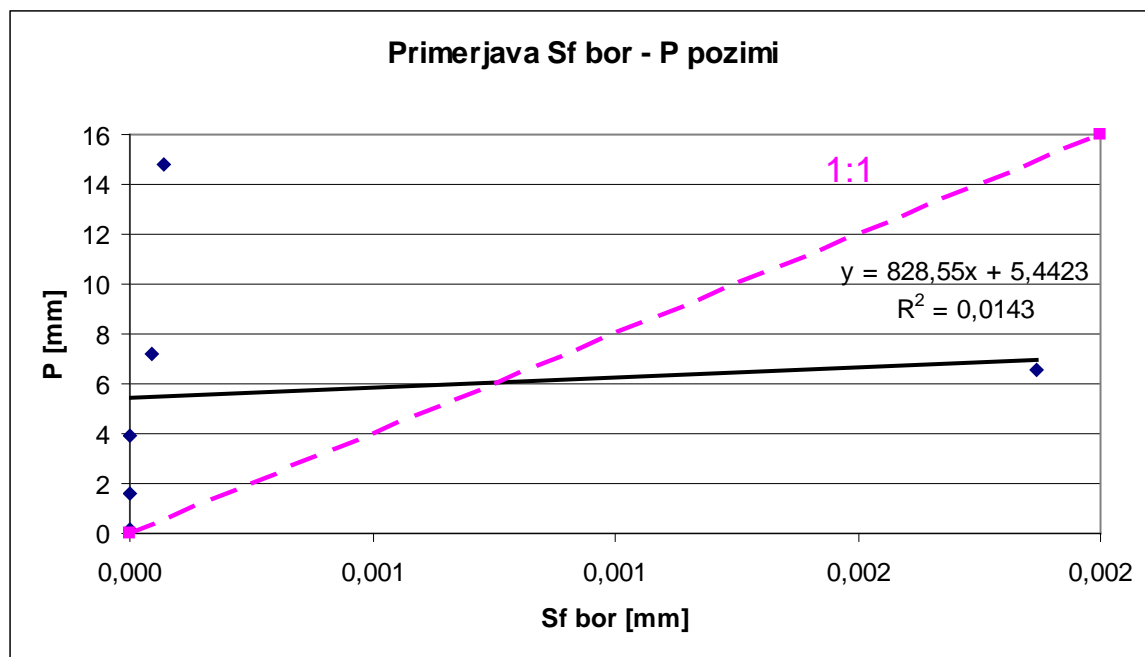


Slika 71. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za bor v obdobju odpadanja

(n = 7)

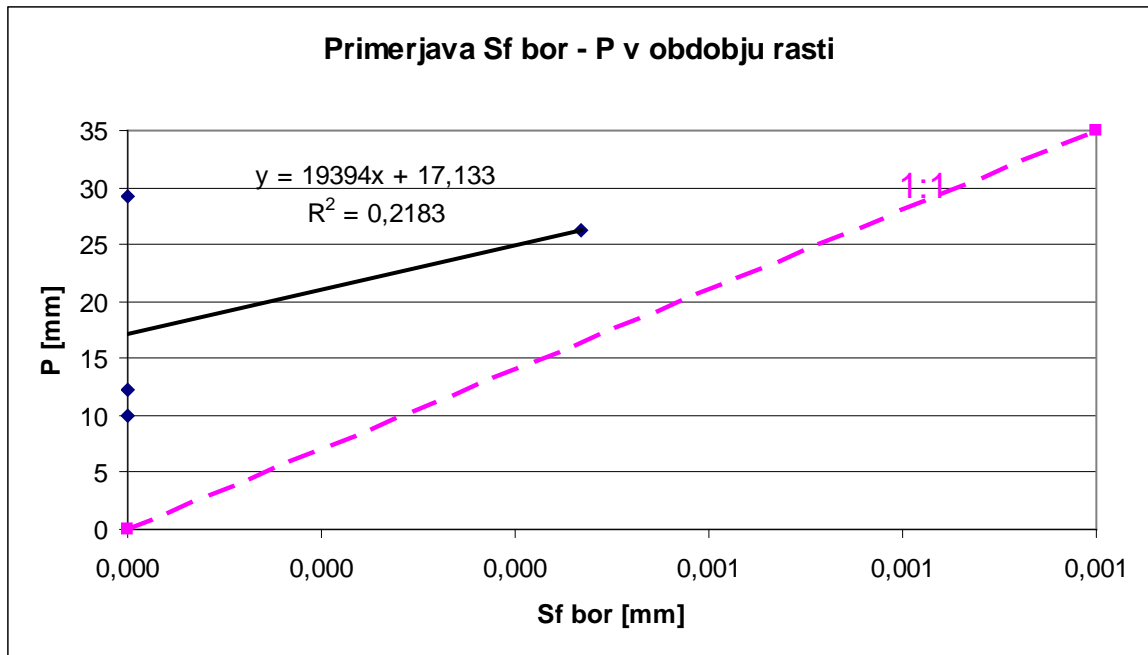
V jesenskem obdobju se pri boru da opaziti naraščanje količine Sf z naraščanjem količine padavin P. Koeficient  $R^2$  je dokaj velik in meri 0,643. Med odtokom po deblu in padavinami pa obstaja tudi zmerna statistično značilna linearne povezava, saj meri koeficient p 0,030.





Slika 72. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za bor v obdobju pozimi  
(n = 6)

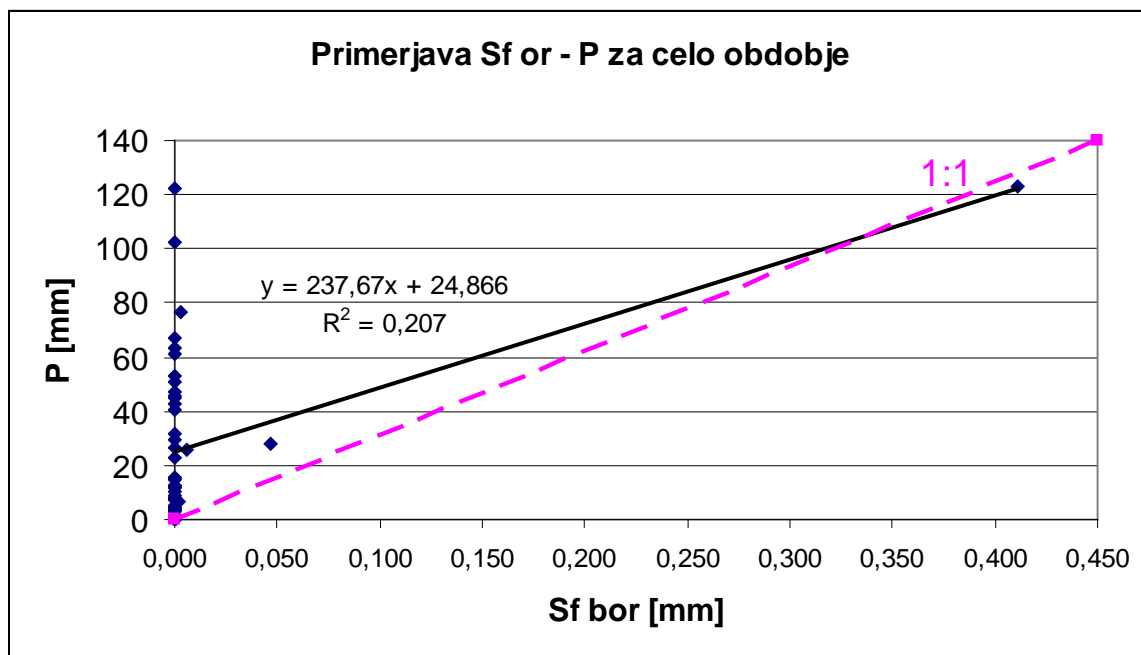
Tudi v zimskem obdobju je moč opaziti naraščanje Sf v primerjavi s padavinami, vendar pa je koeficient  $R^2$  majhen, znaša namreč le 0,014. Tudi test p vrednosti ne kaže na statistično značilno linearno povezavo med Sf in P, saj znaša vrednost p 0,821.



Slika 73. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za bor v obdobju rasti  
(n = 4)

V obdobju rasti dobimo prav tako naraščanje odtoka po deblu z naraščanjem padavin. Koeficient korelacije je sicer malo večji kot v obdobju pozimi in poleti, vendar pa zopet ni vidne statistično značilne linearne povezave med Sf in P, saj znaša koeficient  $p$  0,533.

Ker se boru zanemarljivo malo spreminja skladiščna kapaciteta krošnje, lahko odvisnost med odtokom po deblu in padavinami prikažemo tudi za celotno obdobje.



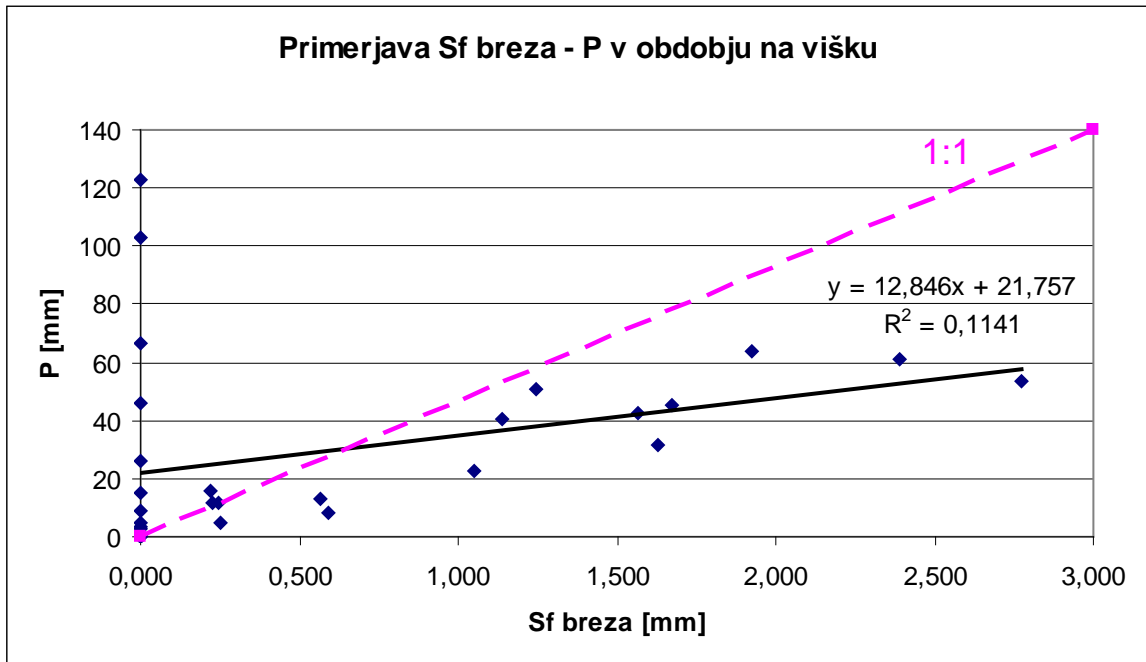
Slika 74. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za bor za celotno obdobje  
( $n = 47$ )

Iz regresije za celotno obdobje ugotovimo močno značilno linearno odvisnost med omenjenima spremenljivkama, saj meri koeficient  $p$  0,0013. Koeficient  $R^2$  meri 0,207.

V primeru bora smo torej v splošnem ugotovili naraščanje odtoka po deblu z naraščanjem padavin v vseh obdobjih, razen poleti. Statistično značilno linearno povezavo med omenjenima količinama pa smo lahko dokazali le v jesenskem obdobju. Pričakoval sem statistično značilne povezave Sf in P tudi v drugih vegetacijskih obdobjih. Razloga za take ugotovitve sta najbrž velika hrapavost borove skorje ter skladiščenje in izhlapevanje vode iz njenih žlebičev, še preden le-ta doseže merilni žleb in pa kratek čas trajanja poletnih neviht. V teh kratkotrajnih nevihtah odtok po deblu le s težavo nastane, saj voda potrebuje določen čas, da priteče do debla.

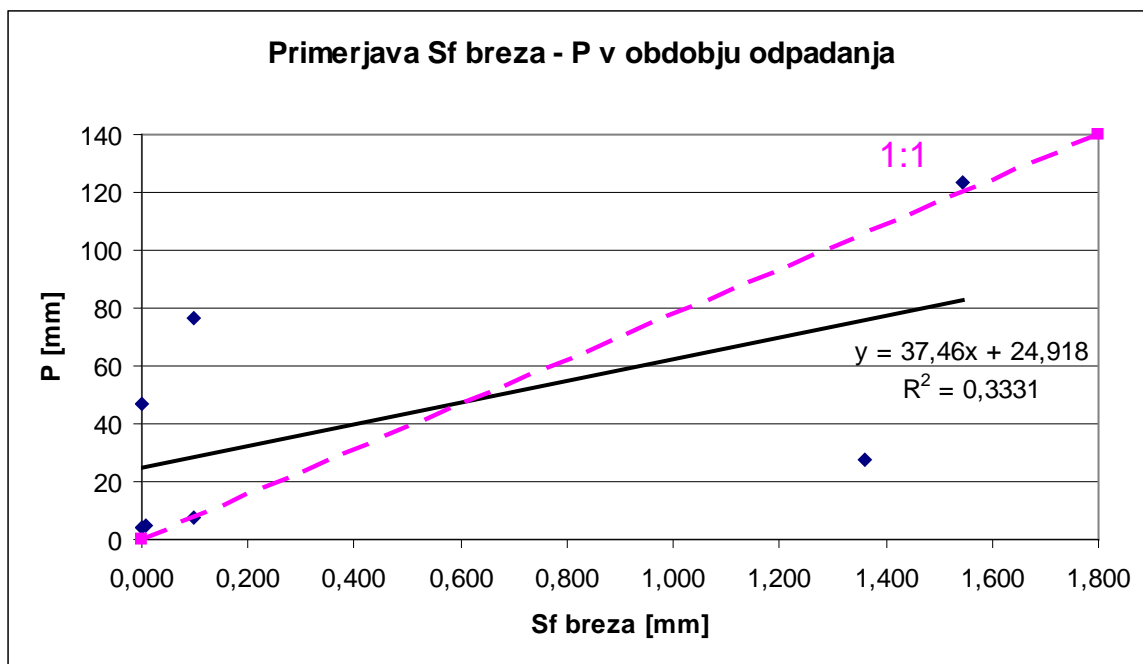
Na splošno je odtok po deblu pri iglavcih majhen oz. manjši kot pri listavcih, kar ugotavljajo tudi avtorji številnih drugih podobnih študij (Smolej, Šraj).

V primeru breze smo dobili sledeče rezultate:



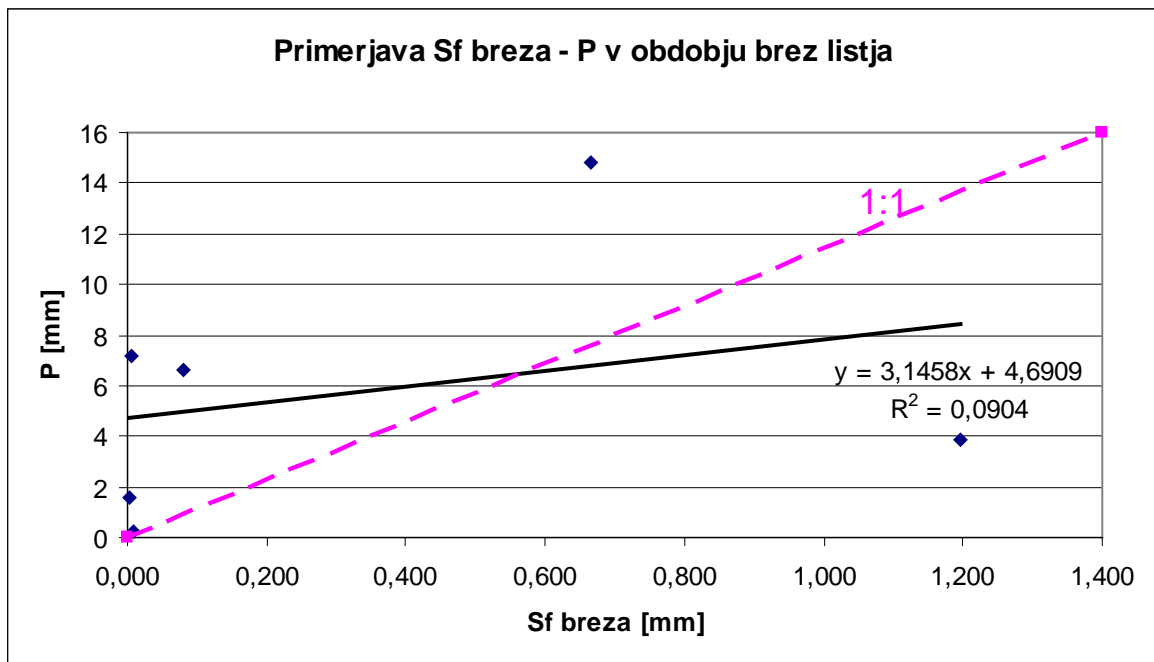
Slika 75. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za brezo v obdobju na višku rasti ( $n = 30$ )

V tem obdobju je pri brezi opazno naraščanje odtoka po deblu v primerjavi s padavinami. Koeficient  $R^2$  je dokaj nizek in meri 0,114. Med Sf in P pa velja šibka statistično značilna linearna povezava, saj meri koeficient  $p$  0,068.



Slika 76. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za brezo v obdobju odpadanja ( $n = 7$ )

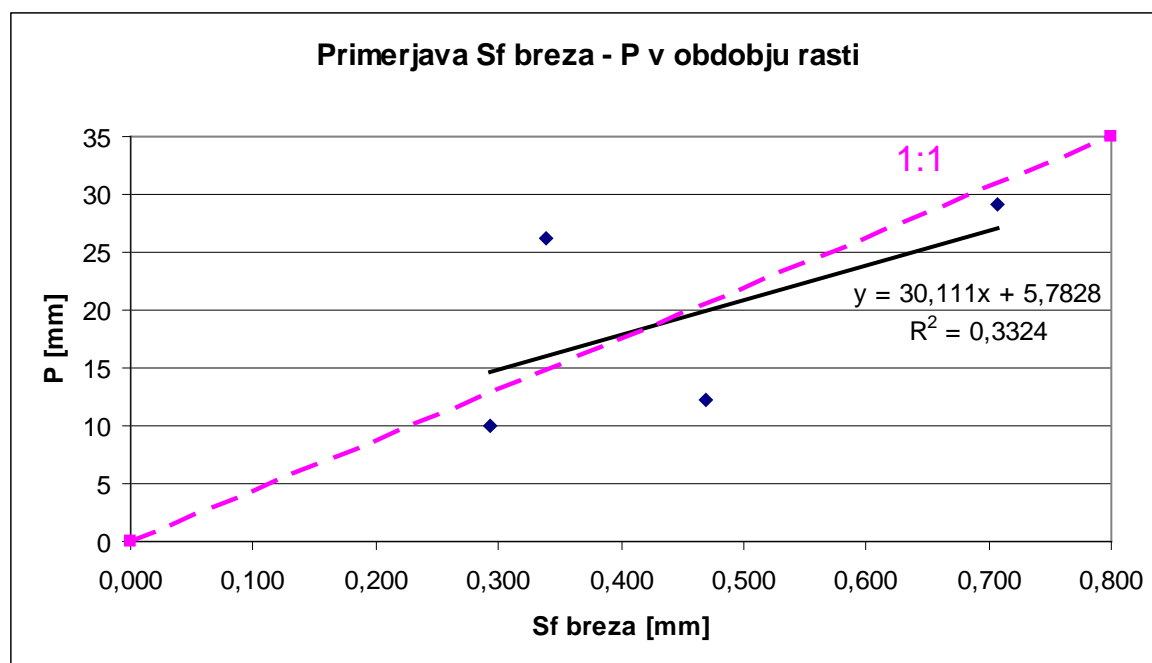
V obdobju odpadanja je prav tako opazno naraščanje Sf z naraščanjem P. Koeficient  $R^2$  je v tem obdobju malo višji kot poleti in meri 0,333, vendar pa med omenjenima spremenljivkama ne obstaja statistično značilne linearne odvisnosti, saj meri koeficient  $p$  0,175.



Slika 77. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za brezo v obdobju brez listja

(n = 6)

Tudi v tem vegetacijskem obdobju opazimo naraščanje odtoka po deblu v primerjavi s padavinami, vendar pa je koeficient  $R^2$  majhen (0,090). Na podlagi testa vrednosti p med Sf in P tudi ni opazne statistično značilne linearne odvisnosti.



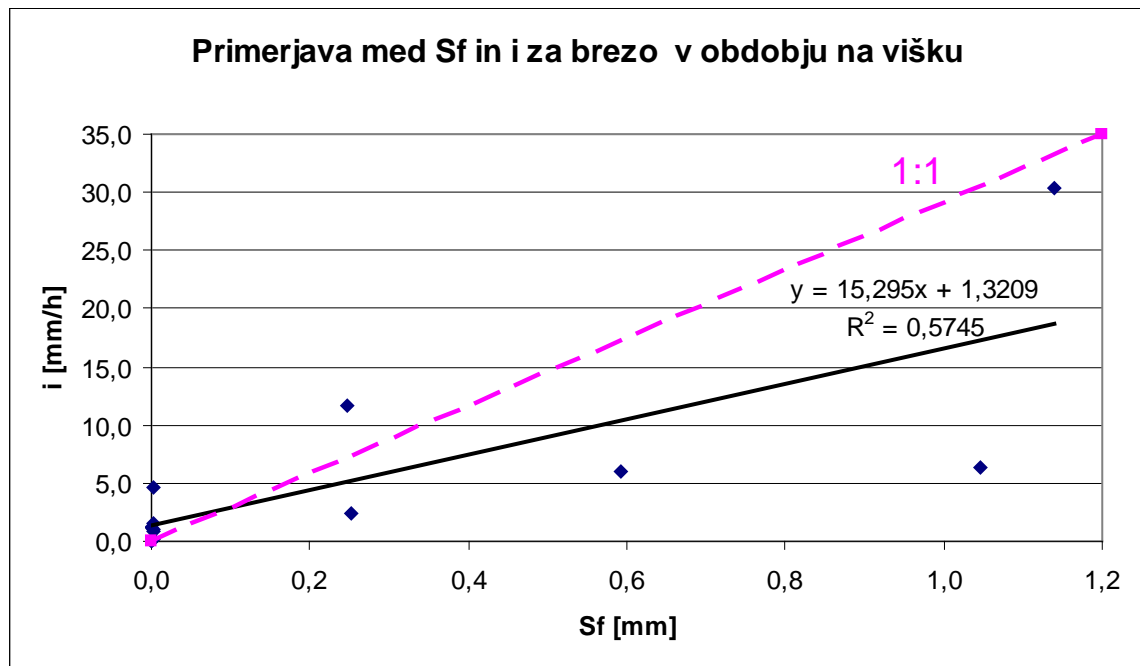
Slika 78. Primerjava med odtokom po deblu in količino padavin za brezo v obdobju rasti  
(n=4)

V obdobju rasti opazimo podobno. Vrednosti odtoka po deblu naraščajo v primerjavi s padavinami, koeficient  $R^2$  je malo višji in meri 0,332, med Sf in P pa zopet ni moč pokazati statistično značilne linearne zveze saj meri vrednost p 0,423.

V primeru breze smo za vsa obdobja ugotovili naraščanje količine odtoka po deblu z naraščanjem količine padavin. Statistično značilno linearno povezavo med Sf in P smo tako kot v primeru bora lahko dokazali le v enem obdobju. V tem primeru je bilo to v poletnem obdobju.

### 3.3.3 Primerjava odtoka po deblu z intenziteto padavin

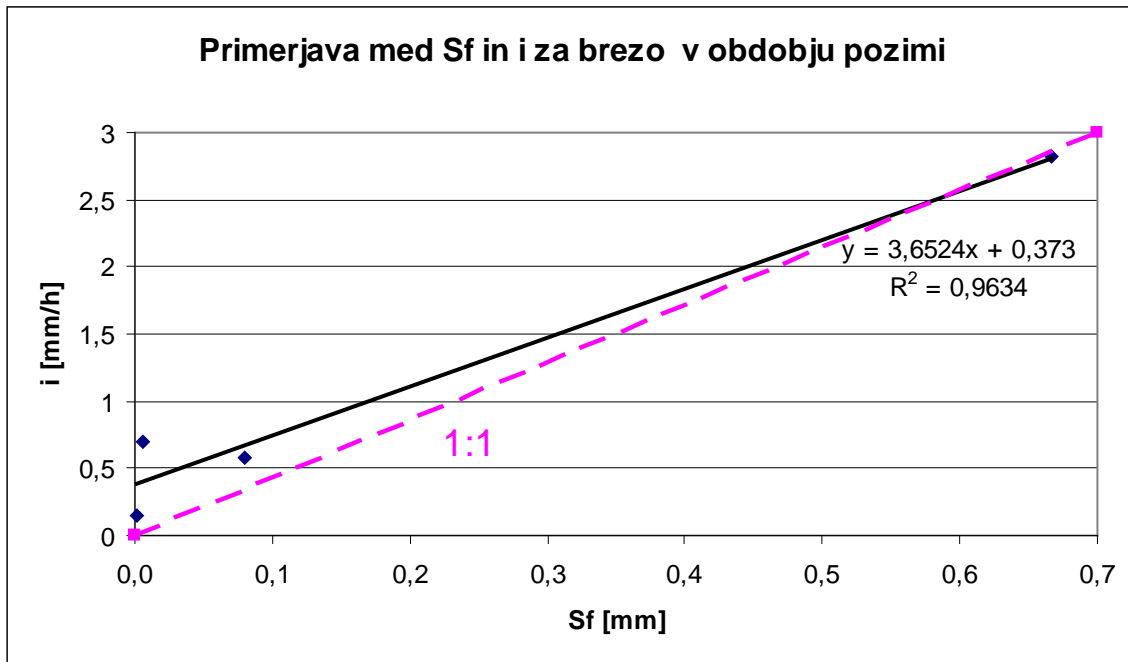
Kot sem navedel že v poglavju pri teoriji in kot so ugotovili že avtorji številnih študij (Šraj, Smolej), odtok po deblu narašča z naraščanjem intenzitete padavin. V tej študiji smo dobili sledeče rezultate:



Slika 79. Primerjava med odtokom po deblu in intenziteto padavin za brezo v obdobju na višku

V primeru breze poleti ugotovimo naraščanje odtoka po deblu v primerjavi z intenziteto padavin. Koeficient  $R^2$  je dokaj visok in sicer meri 0,575. Med Sf in i obstaja tudi močna statistično značilna linearna odvisnost, saj meri koeficient p 0,0043.



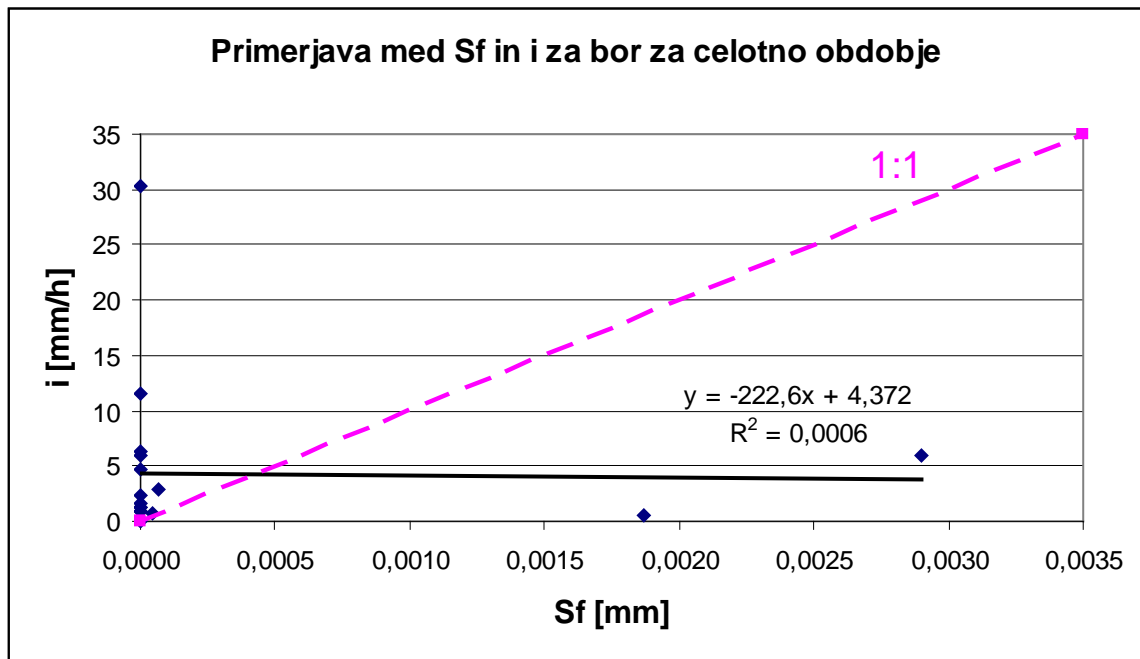


Slika 80. Primerjava med odtokom po deblu in intenziteto padavin za brezo v obdobju brez listja

Tudi v zimskem obdobju pri brezi opazimo naraščanje odtoka po deblu v primerjavi z intenziteto padavin. Koeficient  $R^2$  je visok in meri 0,963. Koeficient p pa označuje zmerno statistično značilno linearno povezavo med Sf in i, saj meri 0,018.

Za ostali dve obdobji pri brezi nisem imel na razpolago dovolj podatkov za regresijsko analizo, saj sem pri regresiji med Sf in i jemal samo slučaje, kjer je posamezen odčitek odtoka po deblu povzročil le en padavinski dogodek. Pogosto pa je en odčitek Sf povzročilo več padavinskih dogodkov in v tem primeru ne bi bilo moč uporabljati intenzitete padavin pri regresijah.

Pri boru sem dobil sledečo regresijo:



Slika 81. Primerjava med odtokom po deblu in intenziteto padavin za bor za celotno obdobje

V primeru bora nismo mogli dokazati odvisnosti odtoka po deblu od intenzitete, saj je bila večina meritev Sf ničelna, čeprav so bile intenzitete v nekaj primerih dokaj visoke. Razlog za to pa je bržkone hrapavost in nagubanost borovega lubja in že večkrat omenjeni žlebiči v lubju, v katerih se nabira voda in še preden priteče do merilnega žlebiča izhlapi. Za analizo, ločeno po obdobjih, pri boru nismo imeli dovolj meritev.

### 3.3.4 Primerjava odtoka po deblu z drugimi študijami

V primeru odtoka po deblu (Sf) smo za brezo in bor dobili dokaj primerljive vrednosti v primerjavi z drugimi študijami, oz. malo nižje kot pri nekaterih ostalih študijah. Rezultati nekaterih drugih študij so navedeni v tabeli 4.

Tabela 4. Primerjava meritev odtoka po deblu z drugimi študijami (Šraj, 2003)

Vrsta vegetacije	Sf [%]	Lokacija	Avtor
hrastov gozd	0-5	Nizozemska	Dolman (1987)
listopadni gozd (hrast, javor, gaber)	2,3-6,3	Kanada	Carlyle-Moses, Price (1999)
nasadi oljk	2-6	Španija	Gomez in ostali (2001)
evkaliptusov gozd	1,8	Portugalska	Valente in ostali (1997)
iglasti gozd	1	JZ Francija	Gash in ostali (1995)
iglasti gozd	1,6	V Velika Britanija	Gash in Stewart (1977)
iglasti gozd	0,4	Portugalska	Valente in ostali (1997)
iglasti gozd	1,3-2,9 (poletje) 3,4-5,7 (zima)	Francija	Loustau in ostali (1992)
tropski gozd (akacija)	6,6-7,9	Indonezija	Bruijnzel in Wiersum (1987)
tropski deževni gozd	2,3	Porto Rico	Schellekens in ostali (1999)
tropski deževni gozd	5	J Amerika	Jetten (1996)
listnati gozd (rdeči hrast, javor, bukev)	2,4 - 5	Kanada	Price, Carlyle- Moses (2003)
listnati gozd (jesen, hrast, gaber)	2,9 - 4,5	Slovenija	Šraj, 2003
mešani gozd (bukev, jelka)	5 - 8	JV Slovenija	Vilhar, 2006
iglasti gozd	0 - 5	JV Slovenija	Vilhar, 2006

V našem primeru smo pri brezi dobili 1,9 – 6,8 %, za bor pa 0,005 – 0,073 % odtoka po deblu. Kot sem že omenil, je odtok po deblu dokaj primerljiv z izsledki drugih navedenih študij, saj le-te navajajo podobne vrednosti. Šraj v svoji študiji navaja Sf v mejah 2,9 – 4,5 %, Carlyle-Moses in Price navajata vrednosti od 2,3 – 6,3 % za listopadni gozd v Kanadi, Gomez

in ostali za nasade oljk v Španiji navajajo 2 – 6 %, Vilhar pa navaja v svoji študiji Sf za iglasti gozd od 0 – 5 %.

Rezultati nekaterih študij odtoka po deblu pri iglavcih, navedeni v zgornji tabeli, so tudi nekoliko višji od naših. Razlog za to pa je bržkone hrapavost skorje rdečega bora, ki je bolj hrapava od npr. skorje jelke, smreke in podobnih iglavcev.

## 4 ZAKLJUČKI

Kot sem navedel že v izvlečku, je bil cilj te študije merjenje in analiza prepuščenih padavin in odtoka po deblu. Pri tem pa je pomembno omeniti to, da smo omenjene komponente merili skozi vsa 4 vegetacijska obdobja. Meritve so potekale v obdobju od 2004 do 2006. V tem obdobju je iz različnih razlogov nekajkrat prišlo do izpada meritev, kar pa ni vplivalo na samo študijo, saj je omenjeno obdobje relativno dolgo. Omeniti je morda potrebno dejstvo, da sta obdobji odpadanja listja in rasti krajši od obdobja na višku rasti in obdobja brez listja, saj trajata le približno po en mesec, medtem ko sta obdobji na višku rasti in brez listja daljši in sicer približno 5 mesecev. To se je poznalo pri analizah prepuščenih padavin in še posebej pri odtoku po deblu, kjer je v nekaj primerih primanjkovalo podatkov za regresijske analize. Dobljeni rezultati so na splošno v pričakovanih mejah, v nekaj primerih pa je prišlo do odstopanja zaradi različnih možnih vzrokov. Tako smo dobili pri prepuščenih padavinah za brezo od 57 – 70 % prepuščenih padavin, merjenih s totalizatorji, za bor pa 35 – 49 %. Te rezultati so dokaj primerljivi z rezultati podobnih študij oz. malo nižji. V primeru odtoka po deblu smo namerili za brezo 1,9 – 6,8 %, za bor pa 0,005 – 0,073 %, kar je primerljivo z sorodnimi študijami oz. malo manj, kot dajo rezultati nekaterih podobnih študij. Razlog za take rezultate je bržkone moč poiskati v borovi skorji, ki je močno hrapava in nagubana v primerjavi z nekaterimi iglavci, kot so smreka, jelka... Močna hrapavost in nagubanost skorje je povzročala zadrževanje in izhlapevanje vode, še preden je pritekla do merilnega žlebiča, kar je dalo ničelne Sf v številnih padavinskih dogodkih.

Problem pri merjenju se je pojavljal tudi pri avtomatskem merjenju prepuščenih padavin, kjer smo dobili v zimskem obdobju več prepuščenih padavin pri boru, kot pa pri brezi. To se ne

zdi logično, razlog pa je verjetno veliko večja skladiščna zmogljivost iglavcev v primeru snežnih padavin. V študiji smo pokazali tudi, da prestrežene padavine in odtok po deblu v večini primerov pri boru in brezi naraščajo z naraščanjem intenzitete in količine padavin, kar je tudi logično in primerljivo tudi s podobnimi študijami.

Za nadaljnje meritve predlagam, da bi bilo potrebno pridobiti večje število meritev predvsem v jesenskem in spomladanskem obdobju, saj jih je v nekaterih primerih primanjkovalo. To bi lahko dosegli s pogostejšim ročnim odčitavanjem odtoka po deblu in prepuščenih padavin iz totalizatorjev. S tem bi dosegli več istočasno izmerjenih meritev iz totalizatorjev in avtomatskega merilnega korita. Verjetno bi bilo potrebno tudi pogostejše čiščenje merilnih korit, še posebno v jesenskem obdobju. V zimskem obdobju pa bi bilo verjetno potrebno bolj natančno spremljanje skladiščenja snega v krošnjah in padanje tega snega v merilna korita.

## 5 VIRI

### 5.1 Uporabljeni viri

ARSO, Fenološki podatki 2005,

[http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno\\_tabele\\_2005.htm](http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno_tabele_2005.htm),  
(10.02.2007)

ARSO, Fenološki podatki-2006,

[http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno\\_tabele\\_2006.htm](http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno_tabele_2006.htm),  
(10.02.2007)

ARSO, Fenološki podatki za obdobje 1991-2000,

[http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno\\_tabele\\_10let.htm](http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno_tabele_10let.htm),  
(10.02.2007)

ARSO, Meteorološki letopis-2004,

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/2004klima.pdf>, (15.02.2007)

ARSO, Meteorološki letopis-2005,

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%c5%a1ki%20letopis/2005klima.pdf>,  
(14.02.2007)

ARSO, Mesečni bilteni-2006,

<http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/bilten2006.htm>, (15.02.2007)

ARSO, Razporeditev padavin v Sloveniji,

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme\\_in\\_podnebje/podnebje/karte/karta4028.html](http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/podnebje/karte/karta4028.html),  
(15.02.2007)

ARSO, Naravovarstveni atlas Slovenije, <http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>,

(11.01.2007)

ARSO, Povprečne mesečne padavine za obdobje 1961-1990,

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme\\_in\\_podnebje/napovedi\\_in\\_podatki/ljubljana.htm](http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/ljubljana.htm) 1,  
(05.02.2007)

ARSO, Povprečno število dni v mesecu s snežno odejo ob sedmih zjutraj za obdobje 1961-1990,

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme\\_in\\_podnebje/napovedi\\_in\\_podatki/ljubljana.html](http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/ljubljana.html),  
(05.02.2007)

ARSO, Povprečne mesečne temperature za obdobje 1961-1990,

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme\\_in\\_podnebje/napovedi\\_in\\_podatki/ljubljana.html](http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/ljubljana.html),  
(05.02.2007)

ARSO, Povprečno trajanje sončnega obsevanja za Ljubljano v obdobju 1961-1990,

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme\\_in\\_podnebje/napovedi\\_in\\_podatki/ljubljana.html](http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/ljubljana.html),  
(05.02.2007)

Brilly, M. 2004. Skripta pri predmetu Melioracije. (neobjavljeno), UL FGG, 35 str.

Brilly, M. in Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. UL FGG. Ljubljana: str. 1-139

Bryant, M. L., Bhat, S., Jacobs, J. M. 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US, *Journal of Hydrology* 312: 95–108

Brus, R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana. Mladinska knjiga: str. 48-151

Carlyle-Moses, D.E., Laureano, Flores, J.S., Price, A.G. 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico, *Journal of Hydrology* 297: 124–135

Chang, M. 2002. *Forest Hidrology: an introduction to water and forests*, CRC Press LLC: str. 124-135

Cegnar, T. et al. 2003. Meritve, spremljanje in prikazi podnebnih razmer v Sloveniji. Ljubljana. Agencija RS za okolje: 17 str.

Gabrovec, M. in Adamič, M., O. 2000. Ljubljana geografija mesta. Ljubljana. Lubljansko geografsko društvo in Založba ZRC, ZRC SAZU: Str. 103-131

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Ljubljana, Forest areas of Slovenia,  
<http://www.zrc-sazu.si/moa/images/sgozd.gif>, (10.03.2007)

Global Distribution of Current Forests, 2000, [http://www.unep-wcmc.org/forest/global\\_map.htm](http://www.unep-wcmc.org/forest/global_map.htm) (13.04.2007)

Google Earth, računalniški program, dostopen na spletu: <http://earth.google.com/>

Hewlett, D.J. (1969). *Principles of Forest Hidrology*. Georgia, University of Georgia Press Athens: 2 str.

- Nagler, L.P. et al. 2004. Leaf area index and normalized difference vegetation index as predictors of canopy characteristics and light interception by riparian species on the Lower Colorado River, *Agricultural and Forest Meteorology* 125 : 1–17
- Padežnik, M. 2004. Določanje indeksa listne površine za določanje prestreženih padavin. Seminarska naloga. Univerza v Ljubljani, FGG: str. 11-12
- Pak, M. in Perko, D. 1996. Regionalnogeografska monografija Slovenije 3. del. Ljubljanska kotlina. Ljubljana, Geografski inštitut znanstvenoraziskovalnega centra SAZU: str. 70-72
- Perko, F. 2004. Gozd in gozdarstvo Slovenije. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije v sodelovanju z Ministrstvom za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS in Zavodom za gozdove: 4 str.
- Pak, M. 2002. Geografija Ljubljane. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani: 136 str.
- Raspor, K. 2006. Gozdni hidrološki krog s poudarkom na transpiraciji. Seminarska naloga. Univerza v Ljubljani, FGG: str. 69-99
- Remic, C. 1975. Gozdovi na Slovenskem. Ljubljana. Založba Borec v sodelovanju s poslovnim združenjem gozdnogospodarskih organizacij v Ljubljani: str. 26-200
- Robič, D. (1994). Hidrološka vloga gozdnega zastora in odprta vprašanja pri ugotavljanju vodne bilance gozdov. Zbornik seminarja Gozd in voda, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: str. 61 – 71.
- Smolej, I. (1988). Gozdna hidrologija. V: Rejic, M., Smolej, I. Sladkovodni ekosistemi, varstvo voda in gozdna hidrologija. IL BF VTOZD za gozdarstvo. Ljubljana: str. 187 – 225
- Šraj, M. 2003. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani. FGG: str. 3-4
- Vilhar, U. 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem Rogu. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: str. 71-82



## 5.2 Ostali viri

- Anzhi, W. et al. 2005. A semi-theoretical model of canopy rainfall interception for *Pinus Koraiensis* Nakai, *Ecological Modelling* 184: 355–361
- Asdak, C., Jarvis, P.G., Gardingen, P.V. 1998. Evaporation of intercepted precipitation based on an energy balance in unlogged and logged forest areas of central Kalimantan, Indonesia, *Agricultural and Forest Meteorology* 92: 173-180
- Carlyle-Moses, D.E., Price, A.G. 1999. An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand, *Journal of Hydrology* 214: 103–110
- Carreiras, João M.B., Pereira, José M.C., Pereira, João S. 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing, *Forest Ecology and Management* 223: 45–53
- Davie, T. J. A., Durocher, M. G. 1997. A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within deciduous canopy. II. Model parameterisation and testing. *Hydrological Processes*, 11: 1525-1540
- De Coninck, H. L. et al. 2003. Rainfall interception, and its modeling, in Pine and Eucalypt stands in Portugal. V: EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #11088
- 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
- Dekker, S. C., Bouten, W.; Vrugt, J. A. 2003. Identification of rainfall interception model parameters from throughfall and canopy storage measurements. V: EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #1541
- Fleischbein, K. et al. 2005. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. *Hydrological Processes*, 19: 1355-1371
- Holder, Curtis D. 2003. Fog precipitation in the Sierra de las Minas Biosphere Reserve, Guatemala. *Hydrological Processes*, 17: 2001-2010
- Holwerda, F., Scatena, F.N., Bruijnzeel, L.A. 2006. Throughfall in a Puerto Rican lower

- montane rain forest: A comparison of sampling strategies, *Journal of Hydrology* 327: 592–602
- 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
- Iroumé, A., Huber, A. 2002. Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile. *Hydrological Processes*, 16: 2347-2361
- Jetten, V. G. 1996. Interception of Tropical Rain Forest: Performance of a Canopy Water Balance Model. *Hydrological Processes*, 10: 671-685
- Keim, R. F. et al. 2004. A stochastic model of throughfall for extreme events. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8: 23-34
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., Weiler, M. 2006. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity, *Advances in Water Resources* 29: 974–986
- Klaassen, Wim. 2001. Evaporation from rain-wetted forest in relation to canopy wetness, canopy cover, and net radiation. *Water Resources Research*, 37: 3227-3236
- Levia, Delphis F., Bollinger, William C., Hrabik, Robert A. 2005. Evaporation of intercepted precipitation from fruit litter of *Liquidambar styraciflua* L. (sweetgum) in a clearing as a function of meteorological conditions, *International Journal of Biometeorology*, 49: 325-331
- Kotar, M. in Brus, R. 1999. Naše drevesne vrste. Slovenska matica v Ljubljani.
- Iida, S., Tanaka, T., Sugita, M. 2005. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak, *Journal of Hydrology* 315: 154–166
- Liu, Shuguang. 2001. Evaluation of the Liu model for predicting rainfall interception in forests world-wide. *Hydrological Processes*, 15: 2341-2360
- Lundberg, A., Halldin, S. 2001. Snow interception evaporation. Review of measurement techniques, processes, and models. *Theoretical and Applied Climatology*, 70: 117-133
- Murakami, S. 2006. A proposal for a new forest canopy interception mechanism: Splash droplet evaporation, *Journal of Hydrology* 319: 72–82
- Ogrin, D. 2002. Vreme in podnebje v Sloveniji. Univerza v Ljubljani, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete.
- Ott, B., Uhlenbrook, S., Leibundgut, Ch. 2003. Distributed modelling of evapotranspiration

and interception in a mountainous catchment and consequence for the water balance and hydrological variability. EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #403

Price, A.G., Carlyle-Moses, D.E. 2003. Measurement and modelling of growing-season canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest

stand, southern Ontario, Canada, *Agricultural and Forest Meteorology* 119: 69–85

Pypker, G.T. et al. 2005. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest, *Agricultural and Forest Meteorology* 130: 113–129

Slatton, K. C., Kampa, K., Lee, H. 2004. Estimating Leaf Area Index in Forests Using Airborne Laser Swath Mapping Data. American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, abstract #H13C-0445

Teskea, M. E., Thistle, H. W. 2004. A library of forest canopy structure for use in interception modeling, *Forest Ecology and Management* 198: 341–350

Vose, James M., et al. 1995. Vertical leaf area distribution, light transmittance, and application of the Beer-Lambert Law in four mature hardwood stands in the southern Appalachians, *Can. J. For. Res.* 25: 1036-1043

Wallace, J. , McJannet, D. 2006. On interception modelling of a lowland coastal rainforest in northern Queensland, Australia, *Journal of Hydrology* 329: 477– 488

Xiao, Qingfu. Et al. 2000. A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research*, 105: 29173-29188