

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



UNIVERZITETNI PODIPLOMSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VARSTVO OKOLJA

DOKTORSKI ŠTUDIJ

Kandidat:

SAŠO PETAN, univ. dipl. inž. grad.

**MERITVE IN PROSTORSKO MODELIRANJE EROZIVNOSTI
PADAVIN KOT PARAMETRA EROZIJE TAL**

Doktorska disertacija štev.: 210

**MEASUREMENTS AND SPATIAL MODELLING OF
RAINFALL EROSIVITY AS A SOIL EROSION FACTOR**

Doctoral thesis No.: 210

Soglasje k temi doktorske disertacije je dala Komisija za doktorski študij na 11. redni seji 11. septembra 2008. Za mentorja je bil imenovan prof. dr. Matjaž Mikoš, za somentorja pa prof. dr. Jože Rakovec, UL FMF.

Ljubljana, 15. november 2010

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Komisijo za oceno ustreznosti teme doktorske disertacije v sestavi

- prof. dr. Matjaž Mikoš,
- prof. dr. Mitja Brilly,
- prof. dr. Jože Rakovec, UL FMF,
- izr. prof. dr. Boris Kompare,
- izr. prof. dr. Marina Pintar, UL BF,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 18. redni seji
dne 28. maja 2008.

Komisijo za oceno doktorske disertacije v sestavi

- prof. dr. Mitja Brilly,
- prof. dr. Boris Kompare,
- prof. dr. Marina Pintar, UL BF,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 13. redni seji
dne 29. septembra 2010.

Komisijo za zagovor doktorske disertacije v sestavi

- prof. dr. Goran Turk, predsednik
- prof. dr. Matjaž Mikoš, mentor
- prof. dr. Jože Rakovec, UL FMF, somentor
- prof. dr. Mitja Brilly,
- prof. dr. Boris Kompare,
- prof. dr. Marina Pintar, UL BF,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 14. redni seji
dne 3. novembra 2010.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **SAŠO PETAN** izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom:
**»MERITVE IN PROSTORSKO MODELIRANJE EROZIVNOSTI PADAVIN KOT
PARAMETRA EROZIJE TAL«.**

Ljubljana, 15. 11. 2010

.....
(podpis)

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 551.3.053:556.12:556.535/537(043.3)

Avtor: Sašo Petan

Mentor: prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor: prof. dr. Jože Rakovec

Naslov: Meritve in prostorsko modeliranje erozivnosti padavin kot parametra erozije tal

Obseg in oprema: 205 str., 39 pregl., 92 sl., 45 en., 9 pril.

Ključne besede: erozija tal, erozivnost padavin, intenzivnost padavin, porazdelitev padavinskih delcev, kinetična energija padavin, sproščanje tal, karta erozivnosti padavin, Slovenija.

Izvleček

Erozija tal ogroža ekološke funkcije tal in vodnih ekosistemov. Danes, v času spreminjajočih se podnebnih dejavnikov in povečanih gospodarskih pritiskov na rabo zemljišč, je izrednega pomena zgodnje prepoznavanje ogroženih območij na podlagi kvantifikacije erozijskih dejavnikov. Doktorska disertacija obravnava erozivnost padavin kot podnebne dejavnika erozije tal, ki je opredeljena v okvirih široko uporabljene metodologije za napovedovanje izgube tal (R)USLE. Račun erozivnosti padavin praviloma temelji na regresijskih povezavah, ki so izpeljane za posamezna podnebna območja. V podporo ocenjevanju erozivnosti padavin smo na podlagi opravljenih meritev intenzitete padavin in porazdelitve padavinskih delcev izpeljali eksponentne regresijske povezave med kinetično energijo in intenziteto padavin, ki so veljavne za submediteransko, subalpsko in zmerno celinsko podnebno območje Slovenije. Rezultate izpeljanih regresijskih povezav smo primerjali z rezultati drugih avtorjev in jih tako umestili v svetovne in regionalne (mediteranske) okvirje. Nadalje smo z meritvami površinskega odtoka in sproščanja tal z eksperimentalnih ploskev, ki so bile postavljene na tleh z različno pokrovnostjo, določili pomen maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja, ki so ob kinetični energiji padavin opredeljene kot odločilne pri procesu spiranja tal. Iz predhodno izpeljanih regresijskih povezav za račun kinetične energije padavin in podatkov o merjenih intenzitetah padavin na pluviografskih postajah Agencije Republike Slovenije za okolje smo določili erozivnost padavin za 31 lokacij v Sloveniji, ki so bile porazdeljene med tri omenjena podnebna območja, in časovno oz. sezonsko porazdelitev erozivnosti padavin. Na koncu smo ob pomoči orodij za prostorsko interpolacijo izdelali preliminarno karto prostorske porazdelitve erozivnosti padavin v Sloveniji.

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 551.3.053:556.12:556.535/537(043.3)
Author: Sašo Petan
Supervisor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Co-supervisor: prof. dr. Jože Rakovec
Title: Measurements and spatial modelling of rainfall erosivity as a soil erosion factor
Notes: 205 p., 39 tab., 92 fig., 45 eq., 9 ann.
Key words: soil erosion, rainfall erosivity, rainfall intensity, raindrop-size distribution, rainfall kinetic energy, soil loss, rainfall erosivity map, Slovenia.

Abstract

Soil erosion threatens the ecological functions of soil and water ecosystems. Today, in the time of changing climate factors and increased economic pressures on land use, the early identification of the endangered areas on the basis of erosion factor quantification is of extraordinary importance. The doctoral dissertation deals with rainfall erosivity as the climate factor of soil erosion, which is defined in the widely used (R)USLE procedure for soil loss prediction. As a rule, the rainfall erosivity calculation is based on empirical relationships which are derived for individual climate regions. On the basis of performed rainfall intensity and raindrop size distribution measurements, we derived exponential relationships between the rainfall kinetic energy and the rainfall intensity for the submediterranean, subalpine and moderate continental climate regions of Slovenia, to assist the rainfall erosivity assessment. We compared the results of the derived relationships with those of the relationships proposed by other authors, which enabled us to examine the derived relationships within global and regional (Mediterranean) contexts. Furthermore, we performed surface runoff and soil loss measurements on experimental plots that were set up on different land use locations, to determine the significance of maximum rainfall intensities of different duration, declared as crucial for soil loss estimation along with the rainfall kinetic energy. From the previously derived relationships for rainfall kinetic energy calculation and the rainfall intensity data obtained from the pluviographic network of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia we determined the rainfall erosivity factor and also its seasonal distribution for 31 locations in Slovenia distributed across the three climate regions of Slovenia. Finally, using spatial interpolation techniques we created a preliminary map of spatial distribution of rainfall erosivity in Slovenia.

ZAHVALA

Za številne napotke pri izdelavi doktorske disertacije se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju prof. dr. Jožetu Rakovcu, prof. dr. Mitji Brillyju, mag. Mojci Dolinar in dr. Simonu Rusjanu.

Za neizmerno pomoč pri zasnovi, postavitvi in vzdrževanju merilnih sistemov se zahvaljujem mag. Andreju Vidmarju. Za pomoč pri pridobivanju in analizi podatkov se zahvaljujem Renatu Babiču, dr. Simonu Rusjanu, Toniju Čotarju, mag. Matjažu Glavanu, dr. Matiji Zornu, mag. Anji Horvat, Maji Koprivšek, Mojci Vilfan in Nini Vareško.

Zahvaljujem se Agenciji Republike Slovenije za okolje za omogočeno postavitev merilnih naprav na meteoroloških postajah Bovec in Ilirska Bistrica in posredovanje padavinskih podatkov iz njihove merilne mreže.

Za lektorski pregled besedila se zahvaljujem Mojci Vilfan.

Zahvaljujem se vsem bližnjim za vsestransko podporo v času mojega študija.

Moj doktorski študij je finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Splošni pregled	1
1.2	Hipoteza	4
1.3	Cilji	5
1.4	Metodološka izhodišča	6
1.5	Erozija tal v Sloveniji	8
2	TEORETIČNE OSNOVE	11
2.1	Erozija tal	11
2.2	Dejavniki površinske erozije tal	13
2.2.1	Podnebne oz. hidrološke značilnosti	13
2.2.2	Oblikovanost površja	14
2.2.3	Fizikalne lastnosti tal	14
2.2.4	Pokrovnost tal	15
2.2.5	Človekove dejavnosti	15
2.3	Mehanizmi padavinske erozije tal	16
2.3.1	Pljuskovna in medžlebična erozija	18
2.3.2	Žlebična erozija	19
2.4	Modeliranje padavinske erozije tal	20
2.4.1	Enačba USLE	20
2.4.2	Gavrilovičeva enačba	21
2.4.3	Prostorsko distribuirani modeli	22
2.5	Erozivnost padavin in odtoka	24
2.6	Padavine	27
2.6.1	Nastanek padavin	27
2.6.1.1	Rast ledenih kristalov na račun podhlajenih kapljic	27
2.6.1.2	Koalescenca – zlivanje kapljic	28
2.6.2	Vrste padavin	29

2.6.2.1	Delitev glede na izvor padavin	29
2.6.2.2	Delitev glede na opazovanja pri tleh	29
2.7	Porazdelitev padavinskih delcev po velikosti	30
2.7.1	Meritve porazdelitve padavinskih delcev	30
2.7.2	Parametrizacija porazdelitve padavinskih delcev po velikosti	31
2.8	Kinetična energija padavin	33
2.8.1	Račun kinetične energije padavin iz porazdelitve padavinskih delcev	34
2.8.2	Račun kinetične energije padavin s pomočjo empiričnih enačb	35
2.9	Prostorska porazdelitev erozivnosti padavin	37
3	METODE	39
3.1	Uvod	39
3.2	Podnebje Slovenije	40
3.2.1	Opredelitev podnebja	40
3.2.2	Podnebni tipi Slovenije	40
3.2.3	Značilnosti padavin v Sloveniji	41
3.2.3.1	Prostorska porazdelitev padavin	41
3.2.3.2	Časovna porazdelitev padavin	42
3.2.3.3	Trendi padavin	44
3.2.3.4	Intenzivnost padavin	44
3.2.3.5	Sneg	46
3.3	Opis merilnih mest	47
3.3.1	Slovenska Istra	48
3.3.2	Brkini	53
3.3.3	Ljubljana	56
3.3.4	Bovec	60
3.4	Merske metode	63
3.4.1	Meritve intenzitete padavin	63
3.4.1.1	Onset RG2-M	63
3.4.1.2	OTT Pluvio	64
3.4.1.3	Pluviografi iz opazovalne mreže ARSO	66
3.4.2	Meritve porazdelitve padavinskih delcev	67

3.4.3	Meritve sproščanja tal	70
3.5	Modeliranje erozivnosti padavin	74
3.5.1	Metodologija (R)USLE in erozivnost padavin	74
3.5.2	Modeliranje kinetične energije padavin	75
3.5.3	Prostorsko modeliranje erozivnosti padavin	80
3.5.3.1	Prvi približek karte erozivnosti padavin	82
3.5.3.2	Interpolacija kriging	83
3.5.3.3	Korekcije karte erozivnosti padavin	84
4	REZULTATI MERITEV	86
4.1	Uvod	86
4.2	Višina in intenzitete padavin	87
4.2.1	Bovec	87
4.2.2	Ilirska Bistrica in Kozjane	90
4.2.3	Ljubljana	93
4.2.4	Marezige	97
4.3	Porazdelitev padavinskih delcev	101
4.3.1	Bovec	101
4.3.2	Ilirska Bistrica	104
4.3.3	Kozjane	105
4.3.4	Ljubljana	106
4.4	Sproščanje tal	109
5	MODELIRANJE EROZIVNOSTI PADAVIN	117
5.1	Uvod	117
5.2	Analiza porazdelitve padavinskih delcev	118
5.2.1	Bovec	118
5.2.1.1	Analiza erozivnih dogodkov	118
5.2.1.2	Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin	120
5.2.1.3	Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev	121
5.2.1.4	Erozivnost padavin	123
5.2.2	Ilirska Bistrica – Koseze	126

5.2.2.1	Analiza erozivnih dogodkov	126
5.2.2.2	Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin	127
5.2.2.3	Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev	128
5.2.2.4	Erozivnost padavin	129
5.2.3	Kozjane	132
5.2.3.1	Analiza erozivnih dogodkov	132
5.2.3.2	Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin	133
5.2.3.3	Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev	134
5.2.3.4	Erozivnost padavin	136
5.2.4	Ljubljana	138
5.2.4.1	Analiza erozivnih dogodkov	138
5.2.4.2	Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin	139
5.2.4.3	Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev	141
5.2.4.4	Erozivnost padavin	142
5.2.5	Razprava in zaključki	144
5.3	Analiza sproščanja tal	150
5.3.1	Analiza erozivnih dogodkov	150
5.3.2	Korelacija količine sproščenih tal z erozivnostjo padavin	152
6	PROSTORSKA SPREMENLJIVOST EROZIVNOSTI PADAVIN V SLOVENIJI	159
6.1	Uvod	159
6.2	Priprava podatkov za izdelavo karte erozivnosti padavin	160
6.2.1	Določitev erozivnih dogodkov iz padavinskih podatkov ARSO	160
6.2.2	Račun erozivnosti padavin na merilnih mestih ARSO	163
6.2.3	Mesečni deleži erozivnosti padavin na merilnih mestih ARSO	166
6.3	Izdelava karte erozivnosti padavin Slovenije	171
6.3.1	Prvi približek karte erozivnosti padavin in njene korekcije	171
6.3.2	Preliminarna karta erozivnosti padavin Slovenije	175
6.3.3	Pomanjkljivosti in možne izboljšave karte erozivnosti padavin Slovenije	178
7	ZAKLJUČKI	181

7.1	Zaključki meritev	181
7.2	Izpeljane enačbe za račun kinetične energije padavin	182
7.3	Erozivnost padavin kot funkcija maksimalnih intenzitet različnega trajanja	183
7.4	Karta erozivnosti padavin Slovenije	184
7.5	Usmeritve za nadaljnje delo	184
8	POVZETEK	186
9	SUMMARY	189

VIRI

NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.1: Povprečno specifično sproščanje zemljin v t/ha po kategorijah rabe tal v Sloveniji (Komac in Zorn, 2005).....	10
Preglednica 3.1: Povprečje in ekstremne vrednosti letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Slovenski Istri za obdobji 1951–1980 in 1987–2009.....	51
Preglednica 3.2: Število dni na padavinskih postajah v Slovenski Istri z izmerjeno višino padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm v obdobju 1987–2009.	52
Preglednica 3.3: Povprečje (1), minimum (2) in maksimum (3) letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Brkinih in okolici za različna obdobja.	54
Preglednica 3.4: Število dni na padavinskih postajah v Brkinih in okolici z izmerjeno vsoto padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm.	56
Preglednica 3.5: Povprečje (1), minimum (2) in maksimum (3) letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Ljubljani in okolici za različna obdobja.	57
Preglednica 3.6: Število dni na padavinskih postajah v Ljubljani in okolici z izmerjeno vsoto padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm.	59
Preglednica 3.7: Povprečje (1), minimum (2) in maksimum (3) letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Bovcu in okolici za različna obdobja.	60
Preglednica 3.8: Število dni na padavinskih postajah v Bovcu in okolici z izmerjeno vsoto padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm.	62
Preglednica 3.8: Povzetek karakteristik optičnih disdrometrov (Thies Clima, 2006; OTT, 2008b).	68
Preglednica 3.9: Funkcijske odvisnosti med specifično kinetično energijo e_A [$\text{J m}^{-2} \text{h}^{-1}$] in intenziteto padavin I [mm h^{-1}], kot so navedene v Salles in sod. (2002).	80
Preglednica 4.1: Časovni okvir opravljenih meritev po merilnih mestih.	86
Preglednica 4.2: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu v Bovcu.	102
Preglednica 4.3: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu v Ilirski Bistrici.	104
Preglednica 4.4: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu na Kozjanah.	105
Preglednica 4.5: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu na Hajdrihovi v Ljubljani.	107
Preglednica 4.6: Pregled opravljenih meritev sproščanja tal na erozijskih ploskvah v Marezigah.	110
Preglednica 4.7: Sezonske vsote in letno povprečje sproščenih tal v merilnem obdobju (1. 8. 2006–13. 8. 2008) na erozijskih ploskvah v Marezigah.	111
Preglednica 4.8, levo: Sezonska in letno povprečje sproščenih tal na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo, glede na dvoletne meritve na erozijskih ploskvah v Marezigah.	112
Preglednica 4.9: Povprečna gostota in hidravlična prevodnost tal na različnih globinah talnih profilov v Marezigah (Glavan, 2010; priloge A).	112
Preglednica 4.10: Primerjava letnih povprečij sproščenih tal na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo glede na rezultate enoletnih meritev Zorna (2007) in dvoletnih meritev Petana (2010) na erozijskih ploskvah v Marezigah.	112
Preglednica 5.1: Nash-Sutcliffovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (Pluvio) v Bovcu.	122

Preglednica 5.2: Nash-Sutcliffovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (Pluvio) v Ilirski Bistrici.	129
Preglednica 5.3: Nash-Sutcliffovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (RG2-M) na Kozjanah.	135
Preglednica 5.4: Nash-Sutcliffovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (RG2-M) v Ljubljani.	141
Preglednica 5.5: Vrednosti parametrov izpeljanih eksponentnih enačb za račun specifične kinetične energije padavin e_B za merilna mesta Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana.	145
Preglednica 5.6: Medsebojna razmerja med vsotami višine padavin P , kinetične energije E in erozivnosti padavin R po vseh obravnavanih erozivnih dogodkih, ki so bila izračunana glede na meritve DSD (dsd) in meritve dežemerov (rg) na merilnih mestih Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana.	149
Preglednica 5.7: Izmerjeni erozivni dogodki v času opravljanja meritev sproščanja tal pri Marezigah in njihove lastnosti. Odvzeti vzorce sproščenih tal, h katerim pripadajo posamezni erozivni dogodki, so označeni v stolpcu "vzorec M".	151
Preglednica 5.8: Vsota produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja (I_5 do I_{60}) in kinetične energije E erozivnih dogodkov, ki pripadajo k posameznim odvzetim vzorcem sproščenih tal (M1 do M44), in izmerjena povprečna količina sproščenih tal A_M na neporaščenih tleh.	154
Preglednica 5.9: Mesečne normirane vsote produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja (I_5 do I_{60}) in kinetične energije E erozivnih dogodkov in mesečne količine sproščenih tal na golih tleh.	156
Preglednica 5.10: Trimesečne normirane vsote produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja (I_5 do I_{60}) in kinetične energije E erozivnih dogodkov ter trimesečne količine sproščenih tal A_s na golih tleh.	156
Preglednica 6.1: Opis podatkovnega niza merjenih intenzitet padavin na posameznih merilnih postajah ARSO v obdobju med 1. 1. 1999 in 31. 12. 2008, število erozivnih dogodkov in ekstremne vrednosti merjenih veličin znotraj erozivnih dogodkov (P – višina padavin; I_{30} – maksimalna 30-minutna intenziteta padavin; t – trajanje erozivnega dogodka).	161
Preglednica 6.2: Povprečna letna kinetična energija padavin E_Y , erozivnost padavin R , najvišja vrednost erozivnosti padavin R_{ed} posameznega erozivnega dogodka in njegov delež pri erozivnosti padavin R na posameznih merilnih postajah ARSO v obdobju med 1. 1. 1999 in 31. 12. 2008.	164
Preglednica 6.3: Mesečni deleži erozivnosti padavin R na merilnih postajah ARSO.	167
Preglednica 6.4: Parametri MLR za račun prvega približka erozivnosti padavin R_{pp} na podlagi izhodiščnih vrednosti erozivnosti padavin R na 31 merilnih mestih ARSO.	171
Preglednica 6.5: Dejanska erozivnost padavin R , njen prvi približek R_{pp} po MLR in pripravljena razmerja oz. ostanki d_{pp} (za interpolacijo kriging) na 31 merilnih mestih ARSO.	172

Preglednica 6.6: Parametri ponovljene MLR za račun prvega približka erozivnosti padavin R_{pp} na podlagi izhodiščnih vrednosti erozivnosti padavin R na 44 merilnih mestih ARSO. .	173
Preglednica 6.7: Dejanska erozivnost padavin R , njen prvi približek R_{pp} po ponovljeni MLR in pripravljena razmerja oz. ostanki d_{pp} (za interpolacijo kriging) na 44 merilnih mestih ARSO.	174
Preglednica 6.8: Porazdelitev razredov dejavnika R glede na preliminarno karto erozivnosti padavin.	176

INDEX OF TABLES

Table 1.1: Average specific soil loss in t/ha for different land use categories in Slovenia (Komac & Zorn, 2005).....	10
Table 3.1: Average and extreme annual precipitation (in mm) on the measurement points in Slovenska Istra for the 1951–1980 and 1987–2009 periods.	51
Table 3.2: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Slovenska Istra for the 1987–2009 period.....	52
Table 3.3: Average (1), minimum (2) and maximum (3) annual precipitation (in mm) on the measurement points in Brkini and its surroundings for various periods.....	54
Table 3.4: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Brkini and its surroundings.....	56
Table 3.5: Average (1), minimum (2) and maximum (3) annual precipitation (in mm) on the measurement points in Ljubljana and its surroundings for various periods.....	57
Table 3.6: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Ljubljana and its surroundings.....	59
Table 3.7: Average (1), minimum (2) and maximum (3) annual precipitation (in mm) on the measurement points in Bovec and its surroundings for various periods.....	60
Table 3.8: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Bovec and its surroundings.....	62
Table 3.8: Specification summary of the optical disdrometers (Thies Clima, 2006; OTT, 2008b).....	68
Table 3.9: Relationships between time-specific kinetic energy e_A [$J\ m^{-2}\ h^{-1}$] and rainfall intensity I [$mm\ h^{-1}$] as given in Salles et al. (2002).	80
Table 4.1: Time schedule of the measurements performed on the measuring locations.....	86
Table 4.2: Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Bovec measuring point.....	102
Table 4.3: Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Ilirska Bistrica measuring point.....	104
Table 4.4: Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Kozjane measuring point.....	105
Table 4.5: Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Ljubljana Hajdrihova measuring point.....	107
Table 4.6: Soil loss measurements performed on the erosion plots in Marezige.	110
Table 4.7: Seasonal and annual average soil loss in the measuring period (1. 8. 2006–13. 8. 2008) on the erosion plots in Marezige.....	111
Table 4.8, left: Seasonal and annual average soil from the areas with different land cover as measured on the erosion plots in Marezige.	112
Table 4.9: Average soil density and soil hydraulic conductivity in different depths of the soil profiles in Marezige (Glavan, 2010; annex A).	112
Table 4.10: Comparison of average annual soil loss from the areas with different land cover as measured on the Marezige erosion plots by Zorn (2007) in the 1-year period and by Petan (2010) in the 2-year period.	112
Table 5.1: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different KE–I relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and those measured with the weighing rain gauge (Pluvio) in Bovec.	122

Table 5.2: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different KE–I relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and those measured with the weighing rain gauge (Pluvio) in Ilirska Bistrica.	129
Table 5.3: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different KE–I relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and measured with the tipping bucket rain gauge (RG2-M) in Kozjane.....	135
Table 5.4: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different KE–I relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and measured with the tipping bucket rain gauge (RG2-M) in Ljubljana.....	141
Table 5.5: Parameter values of the derived exponential equations for the specific kinetic energy e_B calculation at the measuring points of Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana.....	145
Table 5.6: Relationships between rainfall height P, kinetic energy E and rainfall erosivity R sums of all erosive events calculated according to the DSD measurements (dsd) and the raingauge measurements (rg) performed at the measuring points of Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana.	149
Table 5.7: Erosive events recorded during the soil loss measuring period at Marežige and their characteristics. The contribution of the erosive events to particular soil loss sample is denoted in the "vzorec M" column.....	151
Table 5.8: Sum of maximal rainfall intensities of various duration (I_5 to I_{60}) and the rainfall kinetic energy E products of the erosive events that belong to the particular soil loss samples (M1 to M44), and the average soil loss A_M as measured on bare soil.	154
Table 5.9: Monthly normalised sums of maximal rainfall intensities of various duration (I_5 to I_{60}) and the rainfall kinetic energy E products of the erosive events, and monthly soil loss A_j on bare soil.	156
Table 5.10: Seasonal normalised sums of maximal rainfall intensities of various duration (I_5 to I_{60}) and the rainfall kinetic energy E products of the erosive events, and seasonal soil loss A_s on bare soil.....	156
Table 6.1: Description of the measured rainfall intensities data set on the ARSO measurement stations in the period between 1 January 1999 and 31 December 2008, the number of erosive events and the extreme values of the erosive event quantities (P – rainfall height; I_{30} – maximal 30-minute rainfall intensity; t – erosive event duration).	161
Table 6.2: Average annual rainfall kinetic energy E_Y , rainfall erosivity R, maximal rainfall erosivity R_{ed} of the particular erosive event and its portion in the rainfall erosivity R at the ARSO measuring stations in the period between 1 January 1999 and 31 December 2008...	164
Table 6.3: Monthly portions of rainfall erosivity R on the ARSO measuring stations.....	167
Table 6.4: Parameters of the MLR for calculating the first approximation of rainfall erosivity R_{pp} on the basis of the rainfall erosivity values R at 31 ARSO measuring stations.....	171
Table 6.5: Actual rainfall erosivity R, its first approximation R_{pp} after MLR and the prepared ratios or residuals d_{pp} (for the kriging interpolation) on 31 ARSO measuring stations.....	172
Table 6.6: Parameters of the repeated MLR for calculating the first approximation of rainfall erosivity R_{pp} on the basis of rainfall erosivity values R at 44 ARSO measuring stations.	173

Table 6.7: Actual rainfall erosivity R, its first aproximation R_{pp} after the repeated MLR and the prepared ratios or residuals d_{pp} (for the kriging interpolation) on 44 ARSO measuring stations..... 174

Table 6.8: Distribution of the R factor classes according to the preliminary rainfall erosivity map..... 176

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Vrste erozije tal na pobočju (UNEP, 1994).....	17
Slika 2.2: Časovni potek pljuska dežne kaplje (Hillel, 1998).....	19
Slika 3.1: Povprečna letna višina padavin za referenčno obdobje 1961–1990 (www.arso.gov.si).....	42
Slika 3.2: Mesečni deleži letne višine padavin na izbranih meteoroloških postajah za obdobje 1961–1990.....	43
Slika 3.3: Jakost nalivov z 2-letno povratno dobo različnega trajanja (podatki povzeti po ARSO, 2006).....	45
Slika 3.4: Povprečno letno število dni s padavinami nad 50 mm za obdobje 1961–1990 (www.arso.gov.si).....	45
Slika 3.5: 12-urne padavine s 100-letno povratno dobo za obdobje 1961–1990 (www.arso.gov.si).....	46
Slika 3.6: Povprečno število dni s snežno odejo za obdobje 1961/62–1990/1991 (www.arso.gov.si).....	46
Slika 3.7: Lokacije meritev sproščanja tal in porazdelitve padavinskih delcev.....	47
Slika 3.8: Padavinska karta Slovenske Istre glede na podatke iz obdobja 1958–1987 (Ogrin, 1995).....	50
Slika 3.9: Mesečni deleži letne višine padavin na merilnih postajah v Slovenski Istri za obdobji 1958–1987 in 1987–2009.....	51
Slika 3.10: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Slovenski Istri za obdobji 1951–1980 in 1987–2009.....	52
Slika 3.11: Maksimum dnevnih padavin na merilnih postajah v Slovenski Istri in njihove statistike.....	52
Slika 3.12: Mesečni deleži letne vsote padavin na merilnih postajah v Brkinih in okolici.....	55
Slika 3.13: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Brkinih in okolici.....	55
Slika 3.14: Maksimum dnevnih padavin na merilnih postajah v Brkinih in okolici ter njihove statistike.....	56
Slika 3.15: Mesečni deleži letne vsote padavin na merilnih postajah v Ljubljani in okolici.....	58
Slika 3.16: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Ljubljani in okolici.....	58
Slika 3.17: Maksimum dnevnih padavin na merilnih postajah v Ljubljani in okolici ter njihove statistike.....	59
Slika 3.18: Mesečni deleži letne vsote padavin na merilnih postajah v Bovcu in okolici.....	61
Slika 3.19: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Bovcu in okolici.....	62
Slika 3.20: Maksimum dnevnih padavin na merilnih postajah v Bovcu in okolici ter njihove statistike.....	62
Slika 3.21: Dežemer RG2-M in njegovi sestavni deli (foto: Sašo Petan).....	64
Slika 3.22: Dežemer OTT Pluvio na meteorološki postaji Bovec (foto: Sašo Petan).....	65
Slika 3.23: Zgradba pluviografa tipa Ruski P-2 (povzeto po HZB, 1976).....	66
Slika 3.24: Levo – disdrometer Thies Clima LPM300 in dežemer Onset RG2-M na Kozjanah in desno – disdrometer OTT Parsivel v Bovcu (foto: Sašo Petan).....	67
Slika 3.25: Princip delovanja disdrometra (prirejeno po Löffler-Mang in Joss, 2000).....	69
Slika 3.26: Prikaz postavitve erozijskih ploskev na pobočju južno od vasi Marezige na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo in različnim naklonom (foto: www.geopedia.si).....	71

Slika 3.27: Erozijski ploskvi EP1 in EP2 ter dežemer RG2-M ob postavitvi na mladem oljčniku marca 2005 (levo, foto: Matija Zorn) in ob koncu meritev avgusta 2008 (desno, foto: Sašo Petan).	71
Slika 3.28: Erozijske ploskve EP1, EP2, EP3 in EP4 (od leve proti desni) decembra 2007 (zgoraj) in avgusta 2008 (spodaj) (foto: Sašo Petan).	72
Slika 3.29: Lokacija disdrometrov in pluviografskih postaj iz opazovalne mreže ARSO (31 točk), ki so bile uporabljene pri izdelavi karte erozivnosti padavin, in njihova porazdelitev glede na podnebna območja.	81
Slika 3.30: Princip iskanja najvišje točke v bližini pluviografskih postaj pri računu spremenljivke ΔZ	83
Slika 4.1: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Žaga in na merilnem mestu Bovec za koledarski leti 2008 in 2009.	88
Slika 4.2: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Žaga in na merilnem mestu Bovec v letih 2008 in 2009.	89
Slika 4.3: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja za merilno mesto Bovec od januarja 2008 do julija 2009.	89
Slika 4.4: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Podgrad in na merilnih mestih Ilirska Bistrica – Koseze in Kozjane za koledarski leti 2008 in 2009.	91
Slika 4.5: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Podgrad in na merilnih mestih Ilirska Bistrica – Koseze in Kozjane v letih 2008 in 2009.	92
Slika 4.6: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja na merilnih mestih Ilirska Bistrica – Koseze in Kozjane od januarja 2008 do julija 2009.	92
Slika 4.7: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad in na merilnem mestu v Ljubljana Hajdrihova za koledarska leta 2007, 2008 in 2009.	95
Slika 4.8: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad in na merilnem mestu v Ljubljana Hajdrihova za od leta 2007 do 2009.	96
Slika 4.9: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja za meteorološko postajo Ljubljana Bežigrad in na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova od oktobra 2007 do julija 2009.	96
Slika 4.10: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Portorož – Letališče in na merilnem mestu v Marezigah za koledarska leta 2006, 2007 in 2008.	99
Slika 4.11: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Portorož – Letališče in na merilnem mestu v Marezigah za koledarska leta 2006, 2007 in 2008.	100
Slika 4.12: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja za meteorološko postajo Portorož – Letališče in na merilnem mestu v Marezigah za koledarska leta 2006, 2007 in 2008.	100
Slika 4.13: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot sta jih v Bovcu merila dežemer (os x) in disdrometer (os y).	103
Slika 4.14: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot sta jih v Ilirski Bistrici merila dežemer (os x) in disdrometer (os y).	105
Slika 4.15: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot sta jih na Kozjanah merila dežemer (os x) in disdrometer (os y).	106
Slika 4.16: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot so jih v Ljubljani merili	

dežemera (os x) OTT Pluvio za Bežigradom (zgoraj) in Onset RG2-M na Hajdrihovi (spodaj) ter disdrometer na Hajdrihovi (os y).....	108
Slika 4.17: Primerjava med višino padavin in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin erozivnih dogodkov v Marezigah glede na leto meritev (levo) in letni čas meritev (desno). 109	
Slika 4.18, desno: Deleži sezonskih povprečij glede na letno povprečje sproščenih tal na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo, glede na dvoletne meritve na erozijskih ploskvah v Marezigah.....	112
Slika 4.19: Erozijske ploskve EP5, EP6, EP7 in EP8 (od leve proti desni) in krošnje dreves nad ploskvami: zgoraj – aprila 2008 (foto: Nina Vareško); spodaj – avgusta 2008 (foto: Sašo Petan).....	114
Slika 4.20: Razmerje med višino padavin in merjenim površinskim odtokom v lovilnih posodah na erozijskih ploskvah EP1 do EP8.	116
Slika 5.1: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Bovcu: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.	119
Slika 5.2: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Bovec.	120
Slika 5.3: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Bovcu: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.	123
Slika 5.4: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Bovcu: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo BO-5min (desno).....	124
Slika 5.5: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Bovcu: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo BO-5min (desno).	125
Slika 5.6: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Bovcu: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo BO-5min (desno).	125
Slika 5.7: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: os x – meritve dežemera, os y – račun iz meritev DSD.....	126
Slika 5.8: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Ilirsko Bistrico.	127
Slika 5.9: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.	130
Slika 5.10: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo IB-5min (desno).	131

Slika 5.11: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo IB-5min (desno).	131
Slika 5.12: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo IB-5min (desno).	132
Slika 5.13: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov na Kozjanah: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.....	133
Slika 5.14: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Kozjane.	134
Slika 5.15: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov na Kozjanah: os x – meritve dežemer, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.	136
Slika 5.16: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov na Kozjanah: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo KZ-5min (desno).	137
Slika 5.17: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov na Kozjanah: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo KZ-5min (desno).	137
Slika 5.18: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov na Kozjanah: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo KZ-5min (desno).	138
Slika 5.19: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ljubljani: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.....	139
Slika 5.20: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Ljubljano.	140
Slika 5.21: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ljubljani: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.	142
Slika 5.22: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ljubljani: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo LJ-5min (desno).	143
Slika 5.23: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ljubljani: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo LJ-5min (desno).	143
Slika 5.24: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ljubljani: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo LJ-5min (desno).	144

Slika 5.25: Grafični prikaz izpeljanih eksponentnih enačb za račun specifične kinetične energije padavin e_B za merilna mesta Bovec (BO-5min), Ilirska Bistrica (IB-5min), Kozjane (KZ-5min) in Ljubljana (LJ-5min), skupaj z enačbama avtorjev Brown in Foster (1987) – BF in Wischmeier in Smith (1958) – WS. Diagram spodaj desno prikazuje celoten razpon enačb, ostale tri pa odseke razpona. Premica "linear" ponazarja povezavo med izhodiščem in maksimalnim dosegom enačbe BO-5min.	146
Slika 5.26: Razmerje med kinetično energijo vseh zabeleženih erozivnih dogodkov na obravnavanih merilnih mestih po Brownu in Fosterju (1987) – $E(BF)$ in glede na pripadajočo izpeljano enačbo za račun specifične kinetične energije na posameznem merilnem mestu – $E(rg)$	147
Slika 5.27: Razmerje med višino padavin $P(rg)$ in kinetično energijo $E(rg)$ erozivnih dogodkov, ki so bili zabeleženi s strani dežemerov na merilnih mestih Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana.	147
Slika 5.28: Korelacija med količino sproščenih tal A_M na neporaščenih tleh in normirano vsoto produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja in kinetične energije E erozivnih dogodkov (EI_5 do EI_{60}), ki pripadajo k posameznim odvzetim vzorcem sproščenih tal (M1 do M44, po preglednici 5.8).	155
Slika 5.29: Korelacija med mesečnimi vsotami količine sproščenih tal A_j na golih tleh in normirano vsoto produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja in kinetične energije E erozivnih dogodkov (EI_5 do EI_{60}), ki so nastopili v posameznem mesecu (po preglednici 5.9).	157
Slika 5.30: Korelacija med trimesečnimi vsotami količine sproščenih tal A_s na golih tleh in normirano vsoto produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja in kinetične energije E erozivnih dogodkov (EI_5 do EI_{60}), ki so nastopili v posameznem trimesečju (po preglednici 5.10).	158
Slika 6.1: Spreminjanje maksimalnih (zgoraj) in povprečnih (spodaj) vrednosti višine padavin P , maksimalne 30-minutne intenzitete padavin I_{30} in trajanja t erozivnih dogodkov na merilnih postajah ARSO, razvrščenih od jugozahoda proti severovzhodu.	162
Slika 6.2: Delež erozivnega dogodka z najvišjo erozivnostjo padavin R_{ed} pri povprečni letni erozivnosti padavin R v odvisnosti od nadmorske višine in erozivnosti padavin R na posameznih merilnih postajah ARSO v obdobju med 1. 1. 1999 in 31. 12. 2008.	165
Slika 6.3: Spreminjanje dolgoletnega povprečja višine padavin, erozivnosti padavin R in povprečne letne kinetične energije padavin E_Y na merilnih postajah ARSO, razvrščenih od jugozahoda proti severovzhodu.	165
Slika 6.4: Mesečni deleži erozivnosti padavin R na merilnih postajah ARSO, ki sodijo v subalpsko (zgoraj) oz. zmerno celinsko podnebno območje (spodaj).	168
Slika 6.5: Mesečni deleži erozivnosti padavin R na merilnih postajah ARSO, ki sodijo v submediteransko podnebno območje.	169
Slika 6.6: Povprečna letna erozivnost padavin R v odvisnosti od nadmorske višine merilnih postaj ARSO, ki so razdeljene med podnebna območja Slovenije.	169
Slika 6.7: Lokacija disdrometrov, pluviografskih in dodatnih padavinskih postaj iz opazovalne mreže ARSO (44 točk), ki so bile uporabljene pri izdelavi karte erozivnosti padavin.	173
Slika 6.8: Semivariogram interpolacije navadnega kriginga (modre točke) in izbrani sferični model prostorske odvisnosti (rdeča črta) med znanimi vrednostmi.	175
Slika 6.9: Preliminarna karta erozivnosti padavin in površinskega odtoka (dejavnika R) Slovenije.	177

Slika 6.10: Standardna napaka (zgoraj) in relativna standardna napaka dejavnika R (spodaj), ki izhajata iz uporabljene interpolacije kriging pri izdelavi karte erozivnosti padavin Slovenije. 179

INDEX OF FIGURES

Figure 2.1: Types of soil erosion on an exposed slope (UNEP, 1994).....	17
Figure 2.2: Sequential profile of a raindrop splash pattern (Hillel, 1998).	19
Figure 3.1: Average annual precipitation for the 1961–1990 reference period (www.arso.gov.si).....	42
Figure 3.2: Monthly portions of annual precipitation for some meteorological stations, 1961– 1990.....	43
Figure 3.3: Rainstorm strength with 2-year return period with different duration (according to ARSO, 2006).....	45
Figure 3.4: Average number of days with precipitation over 50 mm in the 1961–1990 period (www.arso.gov.si).....	45
Figure 3.5: 12-hour precipitation with 100-year return period for the 1961–1990 period (www.arso.gov.si).....	46
Figure 3.6: Average number of days with snow cover for the 1961/62–1990/1991 period (www.arso.gov.si).....	46
Figure 3.7: Locations of the soil loss and drop-size distribution measurements.....	47
Figure 3.8: Precipitation map of Slovenska Istra for the 1958–1987 period (Ogrin, 1995). ..	50
Figure 3.9: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Slovenska Istra for the 1958–1987 and 1987–2009 periods.....	51
Figure 3.10: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Slovenska Istra for the 1951–1980 and 1987–2009 periods.....	52
Figure 3.11: Daily precipitation maximum on the measurement points in Slovenska Istra and their statistics.....	52
Figure 3.12: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Brkini and its surroundings.....	55
Figure 3.13: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Brkini and its surroundings.....	55
Figure 3.14: Daily precipitation maximum on the measurement points in Brkini and its surroundings and their statistics.....	56
Figure 3.15: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Ljubljana and its surroundings.....	58
Figure 3.16: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Ljubljana and its surroundings.....	58
Figure 3.17: Daily precipitation maximum on the measurement points in Ljubljana and its surroundings and their statistics.....	59
Figure 3.18: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Bovec and its surroundings.....	61
Figure 3.19: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Bovec and its surroundings.....	62
Figure 3.20: Daily precipitation maximum on the measurement points in Bovec and its surroundings and their statistics.....	62
Figure 3.21: RG2-M raingauge with its components (photo: Sašo Petan).....	64
Figure 3.22: OTT Pluvio raingage on the Bovec meteorological station (photo: Sašo Petan). ..	65
Figure 3.23: Structure of the Ruski P-2 type pluviograph (according to HZB, 1976).....	66
Figure 3.24: Left – Thies Clima LPM300 disdrometer and Onset RG2-M raingauge in Kozjane and right – OTT Parsivel disdrometer in Bovec (photo: Sašo Petan).....	67

Figure 3.25: Operating principle of the disdrometer (according to Löffler-Mang & Joss, 2000).	69
Figure 3.26: Position of the erosion plots placed on the slope south of the Marezige village on soil with various coverage and land use, respectively, and various inclination (photo: www.geopedia.si).	71
Figure 3.27: EP1 and EP2 erosion plots and the RG2-M raingauge at the time of the set-up in the young olive grove (left, photo: Matija Zorn) and at the end of the measurement period (right, photo: Sašo Petan).	71
Figure 3.28: Erosion plots EP1, EP2, EP3 and EP4 (left to right) in December 2007 (above) and in August 2008 (below) (photo: Sašo Petan).	72
Figure 3.29: Location of disdrometers and pluviographs from the observation network of ARSO (31 points) used for the creation of the rainfall erosivity map and their distribution across the climate regions.	81
Figure 3.30: Highest points quest principle in the surroundings of the pluviographic stations while determining the ΔZ variable.	83
Figure 4.1: Monthly precipitation and its annual portion at the Žaga meteorological station and Bovec measuring point for 2008 and 2009, respectively.	88
Figure 4.2: Seasonal precipitation and its annual portion at the Žaga meteorological station and Bovec measuring point for 2008 and 2009, respectively.	89
Figure 4.3: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the Bovec measuring point from January 2008 till July 2009.	89
Figure 4.4: Monthly precipitation and its annual portion at the Podgrad meteorological station and the measuring points of Ilirska Bistrica – Koseze and Kozjane for 2008 and 2009, respectively.	91
Figure 4.5: Seasonal precipitation and its annual portion at the Podgrad meteorological station and the measuring points of Ilirska Bistrica – Koseze and Kozjane for 2008 and 2009, respectively.	92
Figure 4.6: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the measuring points of Ilirska Bistrica – Koseze and Kozjane from January 2008 till July 2009.	92
Figure 4.7: Monthly precipitation and its annual portion at the Ljubljana Bežigrad meteorological station and Ljubljana Hajdrihova measuring point for 2007, 2008 and 2009, respectively.	95
Figure 4.8: Seasonal precipitation and its annual portion at the Ljubljana Bežigrad meteorological station and Ljubljana Hajdrihova measuring point for 2007, 2008 and 2009, respectively.	96
Figure 4.9: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the Ljubljana Bežigrad meteorological station and Ljubljana Hajdrihova measuring point from October 2007 till July 2009.	96
Figure 4.10: Monthly precipitation and its annual portion at the Portorož – Letališče meteorological station and Marezige measuring point for 2006, 2007 and 2008, respectively.	99
Figure 4.11: Seasonal precipitation and its annual portion at the Portorož – Letališče meteorological station and Marezige measuring point for 2006, 2007 and 2008, respectively.	100

Figure 4.12: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the Portorož – Letališče meteorological station and Marezige measuring point for 2006, 2007 and 2008, respectively.	100
Figure 4.13: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured by the raingauge (x axis) and the disdrometer (y axis) in Bovec.	103
Figure 4.14: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured by the raingauge (x axis) and the disdrometer (y axis) in Ilirska Bistrica.	105
Figure 4.15: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured by the raingauge (x axis) and the disdrometer (y axis) in Kozjane.	106
Figure 4.16: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured in Ljubljana by the raingauges (x axis) OTT Pluvio at Bežigrad (above) and RG2-M at Hajdrihova (below), respectively, and the disdrometer (y axis) at Hajdrihova.	108
Figure 4.17: Comparison between the rainfall heights and the maximal 30-minute rainfall intensities of the erosive events as measured in Marezige according to the measurement year (left) and the measurement season (right).	109
Figure 4.18, right: Average seasonal portions of annual soil loss from the areas with different land cover as measured on the erosion plots in Marezige.	112
Figure 4.19: Erosion plots EP5, EP6, EP7 and EP8 (left to right) and the tree canopies above the plots in April 2008 (above, photo: Nina Vareško) and August 2008 (below, photo: Sašo Petan).	114
Figure 4.20: Relationship between the rainfall height and the measured runoff collected in the erosion plot collectors EP1 to EP8.	116
Figure 5.1: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Bovec: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	119
Figure 5.2: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established $KE-I$ relationship for Bovec.	120
Figure 5.3: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Bovec: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	123
Figure 5.4: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the BO-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Bovec.	124
Figure 5.5: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the BO-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Bovec.	125
Figure 5.6: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the BO-5min equation, of the erosive events in Bovec. .	125

Figure 5.7: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Ilirska Bistrica: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	126
Figure 5.8: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established KE–I relationship for Ilirska Bistrica.	127
Figure 5.9: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Ilirska Bistrica: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	130
Figure 5.10: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the IB-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ilirska Bistrica.	131
Figure 5.11: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the IB-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ilirska Bistrica.	131
Figure 5.12: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the IB-5min equation, of the erosive events in Ilirska Bistrica.	132
Figure 5.13: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Kozjane: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	133
Figure 5.14: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established KE–I relationship for Kozjane.	134
Figure 5.15: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Kozjane: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	136
Figure 5.16: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the KZ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Kozjane.	137
Figure 5.17: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the KZ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Kozjane.	137
Figure 5.18: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the KZ-5min equation, of the erosive events in Kozjane.	138
Figure 5.19: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Ljubljana: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	139

Figure 5.20: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(\text{dsd})$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(\text{dsd})$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(\text{dsd})$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established KE–I relationship for Ljubljana.	140
Figure 5.21: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Ljubljana: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.	142
Figure 5.22: Comparison between the raingauge rainfall height $P(\text{rg})$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(\text{dsd})$ according to the DSD measurements (left) and $E(\text{rg})$ according to the raingauge measurement and the LJ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ljubljana.	143
Figure 5.23: Comparison between the raingauge rainfall height $P(\text{rg})$ and the rainfall erosivity: $R(\text{dsd})$ according to the DSD measurements (left) and $R(\text{rg})$ according to the raingauge measurement and the LJ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ljubljana.	143
Figure 5.24: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(\text{rg})$ and: the rainfall kinetic energy $E(\text{rg})$ (left) and the rainfall height $P(\text{rg})$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the LJ-5min equation, of the erosive events in Ljubljana.	144
Figure 5.25: Graphical representation of the derived exponential equations for the specific kinetic energy e_B at the measuring points of Bovec (BO-5min), Ilirska Bistrica (IB-5min), Kozjane (KZ-5min) and Ljubljana (LJ-5min) in line with the equations of Brown & Foster (1987) – BF and Wischmeier & Smith (1958) – WS. The lower right picture shows the whole range of the equations, while the other three pictures show particular sectors of the whole range. The "linear" straight line illustrates the connection between the origin and the maximum point in the BO-5min equation range.	146
Figure 5.26: Relation between the kinetic energy of the observed erosive events on all measuring points according to Brown & Foster (1987) – $E(\text{BF})$ and according to the equation for specific kinetic energy calculation derived for the particular measuring point – $E(\text{rg})$	147
Figure 5.27: Relation between the rainfall height $P(\text{rg})$ and the kinetic energy $E(\text{rg})$ of the erosive events recorded by the raingauges at the measuring points of Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana.	147
Figure 5.28: Correlation between soil loss A_M on bare soil and the normalised sum of the maximal rainfall intensities of various duration and the rainfall kinetic energy E products (EI_5 to EI_{60}) of the erosive events that belong to the particular soil loss samples (M1 to M44, according to Table 5.8).	155
Figure 5.29: Correlation between the monthly sums of the soil loss A_j on bare soil and the normalised sums of the maximal rainfall intensities of various duration and the rainfall kinetic energy products (EI_5 to EI_{60}) of the erosive events that occurred in the particular month (according to Table 5.9).	157
Figure 5.30: Correlation between the seasonal sums of soil loss A_s on bare soil and the normalised sums of the maximal rainfall intensities of various duration and the rainfall kinetic energy products (EI_5 to EI_{60}) of the erosive events that occurred in the particular season (according to Table 5.10).	158
Figure 6.1: Variation of the maximal (above) and average (below) rainfall heights P , maximal 30-minute rainfall intensities I_{30} and erosive event duration t at the ARSO measurement stations, in order from southwest towards northeast.	162

Figure 6.2: Portion of the erosive event with the highest rainfall erosivity R_{ed} in the average annual rainfall erosivity R as a function of the altitude and the rainfall erosivity R at the ARSO measuring stations in the period between 1 January 1999 and 31 December 2008...	165
Figure 6.3: Variation of the longterm average of precipitation, rainfall erosivity R and the average annual kinetic energy E_V at the ARSO measuring stations, in order from southwest towards northeast.	165
Figure 6.4: Monthly portions of rainfall erosivity R on the ARSO measuring stations that belong to the subalpine (above) and moderate continental (below) climate region.	168
Figure 6.5: Monthly portions of rainfall erosivity R on the ARSO measuring stations that belong to the submediterranean climate region.	169
Figure 6.6: Average annual rainfall erosivity R as a function of the ARSO measuring stations altitude distributed among the climate regions of Slovenia.	169
Figure 6.7: Location of the disdrometers, pluviographs and additional precipitation stations from the observational network of ARSO (44 points) used for the creation of the rainfall erosivity map.	173
Figure 6.8: Semivariogram of the ordinary kriging interpolation (blue points) and the chosen spherical model of the spatial dependence (red line) between the known values.	175
Figure 6.9: Preliminary rainfall–runoff erosivity (R factor) map of Slovenia.	177
Figure 6.10: Standard error (above) and the relative standard error (below) of the R factor originating from the kriging interpolation involved in the creation of the rainfall erosivity map of Slovenia.	179

OKRAJŠAVE

AGNPS	Agricultural Non-Point Source pollution model
AGNPS-UM	verzija AGNPS, kjer je USLE nadomeščen z USLE-M
AnnAGNPS	Annualized Agricultural Non-Point Source pollution model
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CLC	CORINE Land Cover
DMR	Digitalni model reliefa
DSD	Porazdelitev padavinskih delcev po velikosti (drop-size distribution)
EP1 do EP8	Erozijske ploskve 1 do 8
EUROSEM	European Soil Erosion Model
GIS	Geografski informacijski sistem
IDW	Inverse Distance Weighting
IR	Infrared
ISO	International Organization for Standardization
KSH	Katedra za splošno hidrotehniko
LISEM	Limburg Soil Erosion Model
LPM	Laser Precipitation Monitor
MFI	Modified Fournier Index
MLR	Multiple Linear Regression
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation
PVC	Polyvinyl chloride
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
UNEP	United Nations Environmental Programme
USLE	Universal Soil Loss Equation
USLE-M	verzija USLE
WATEM	Water Erosion Model
WEPP	Water Erosion Prediction Project
WMO	World Meteorological Organisation
USLE	Universal Soil Loss Equation

SIMBOLI

a	parameter eksponentne enačbe za račun e_B
$a_0, a_1 \dots a_9$	parametri multiple linearne regresije
a_j	koeficient pri enačbi za račun mesečne erozivnosti padavin R_j
A	povprečna letna izguba tal po metodologiji (R)USLE
A_j	mesečna vsota sproščenih tal
A_M	izmerjena količina sproščenih tal v vzorcu M
A_s	trimesečna oz. sezonska vsota sproščenih tal
b	parameter eksponentne enačbe za račun e_B
b_j	eksponent pri enačbi za račun mesečne erozivnosti padavin R_j
C	dejavnik pokrovnosti tal pri metodologiji (R)USLE
d_{pp}	razmerje med dejansko erozivnostjo padavin R in njenim prvim približkom R_{pp}
$days_{10}$	število dni v mesecu s padavinami v višini 10 mm ali več
D	premer padavinskih delcev
D_0	mediana premera padavinskih delcev
$D_{a,i}$	spodnja meja premera padavinskih delcev znotraj razreda i
$D_{b,i}$	zgornja meja premera padavinskih delcev znotraj razreda i
D_i	premer padavinskih delcev znotraj razreda i
Δt	dolžina časovnega intervala meritev k
ΔZ	višinska razlika med nadmorsko višino obravnavane točke in najvišje točke v smeri proti severovzhodu, ki se nahaja v krožnem izseku širine 60° in radija r_1, r_2, r_3 oz. r_4
e	specifična kinetična energija padavin
e_A	specifična kinetična energija padavin na površinsko in časovno enoto oz. ploskovna gostota moči
e_B	specifična kinetična energija padavin na enoto površine in višine padavin oz. količnik med ploskovno gostoto moči in intenziteto padavin
e_{max}	zgornja meja specifične kinetične energije padavin e_B
e_{min}	spodnja meja specifične kinetične energije padavin e_B
ed	indeks erozivnih dogodkov v obravnavanem obdobju s trajanjem N let
E	kinetična energija padavin znotraj posameznega erozivnega dogodka
$E(rg)$	kinetična energija padavin znotraj posameznega erozivnega dogodka glede na meritve dežemera
$E_2(dsd)$	kinetična energija padavin znotraj posameznega erozivnega dogodka glede na meritve porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
E_k	kinetična energija dežne kaplje
E_Y	povprečna letna kinetična energija padavin
F	merilna površina disdrometra
F_W	površina povodja pri Gavrilovičevi enačbi
γ	vrednost semivariograma pri kriging prostorski interpolaciji, mera za nepodobnost
$\Gamma(x)$	popolna gama funkcija
h	razdalja med točkami pri kriging prostorski interpolaciji
i	indeks razredov padavinskih delcev po velikosti in hitrosti padanja
I	intenziteta padavin
$I(dsd)$	intenziteta padavin izračunana iz merjene porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
$I(dt)$	merjena intenziteta padavin s strani disdrometra

$I(rg)$	merjena intenziteta padavin s strani dežemera
$I(rg, onset)$	merjena intenziteta padavin s strani dežemera s prekucnikom
$I(rg, pluvio)$	merjena intenziteta padavin s strani tehtalnega dežemera
I_5	maksimalna 5-minutna intenziteta padavin
I_{10}	maksimalna 10-minutna intenziteta padavin
I_{15}	maksimalna 15-minutna intenziteta padavin
I_{20}	maksimalna 20-minutna intenziteta padavin
I_{30}	maksimalna 30-minutna intenziteta padavin
$I_{30}(dsd)$	maksimalna 30-minutna intenziteta padavin izračunana iz merjene porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
$I_{30}(dt)$	maksimalna 30-minutna intenziteta padavin glede na meritve disdrometra
$I_{30}(rg)$	maksimalna 30-minutna intenziteta padavin glede na meritve dežemera
$I_{30}(rg, onset)$	maksimalna 30-minutna intenziteta padavin glede na meritve dežemera s prekucnikom
$I_{30}(rg, pluvio)$	maksimalna 30-minutna intenziteta padavin glede na meritve tehtalnega dežemera
I_{60}	maksimalna 60-minutna intenziteta padavin
I_x	maksimalna x -minutna intenziteta padavin
j	indeks mesecev v letu
k	število meritev oz. mnogokratnik intervala Δt v času erozivnega dogodka s trajanjem t
k_{EP}	količnik med $E(rg)$ in $P(rg)$
k_x	razmerje med ΣEI_x in ΣEI_{30}
K	dejavnik erodibilnosti tal pri metodologiji (R)USLE
K_T	temperaturni koeficient pri Gavrilovičevi enačbi
K_Z	erozijski koeficient pri Gavrilovičevi enačbi
KE	specifična kinetična energija padavin (v smislu e_A)
$KE(dsd)$	specifična kinetična energija padavin glede na meritve porazdelitve padavinskih delcev
$KE(rg)$	specifična kinetična energija padavin glede na meritve dežemera
$KE_1(dsd)$	specifična kinetična energija padavin glede na meritve porazdelitve padavinskih delcev po velikosti in hitrosti padanja
$KE_2(dsd)$	specifična kinetična energija padavin glede na meritve porazdelitve padavinskih delcev po velikosti in končno hitrost padavinskih delcev po Atlasu in sod. (1973)
L	dejavnik dolžine pobočja pri metodologiji (R)USLE
Λ	parameter (naklon) pri parametrizaciji porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
m	oblikovni parameter pri gama parametrizaciji porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
m_k	masa dežne kaplje
M	oznaka analiziranih vzorcev sproščenih tal
M_n	n -ti moment porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
MFI	modificiran Fournierjev indeks
n	red momenta porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
n_i	število dežnih kapelj s premerom v mejah razreda padavinskih delcev i
N	število let
$N(D)$	koncentracija padavinskih delcev s premerom D v enotnem volumnu
$N(D_i)$	koncentracija dežnih kapelj s premerom v mejah razreda padavinskih delcev i v enotnem volumnu
N_0	parameter (odsek) pri parametrizaciji porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
N_{eff}	Nash-Sutcliffeov koeficient modelske učinkovitosti
P_i	mesečna vsota padavin
P	dejavnik zaščitnih ukrepov pri metodologiji (R)USLE

P	višina padavin erozivnega dogodka
$P(dsd)$	višina padavin erozivnega dogodka izračunana iz merjene porazdelitve padavinskih delcev po velikosti
$P(dt)$	višina padavin erozivnega dogodka glede na meritve disdrometra
$P(rg)$	višina padavin erozivnega dogodka glede na meritve dežemera
$P(rg,onset)$	višina padavin erozivnega dogodka glede na meritve dežemera s prekucnikom
$P(rg,pluvio)$	višina padavin erozivnega dogodka glede na meritve tehtalnega dežemera
P_d	dnevna višina padavin
$P_{d,max}$	maksimalna višina dnevnih padavin pri prirejeni Gavrilovičevi enačbi
P_k	višina padavin v časovnem intervalu meritev k
P_Y	srednja višina letnih padavin pri Gavrilovičevi enačbi
π	Ludolfovo število
r_1	radij krožnega izseka (500 m)
r_2	radij krožnega izseka (1000 m)
r_3	radij krožnega izseka (2000 m)
r_4	radij krožnega izseka (4000 m)
$rain_{10}$	mesečna vsota padavin za dneve s padavinami v višini 10 mm ali več
R	letno povprečje erozivnosti padavin, dejavnik padavin in odtoka pri metodologiji (R)USLE
$R(dsd)$	erozivnost padavin posameznega erozivnega dogodka glede na meritve porazdelitve padavinskih delcev
$R(rg)$	erozivnost padavin posameznega erozivnega dogodka glede na meritve dežemera
R_{ed}	erozivnost padavin posameznih erozivnih dogodkov znotraj 10-letnih nizov pluviografskih podatkov ARSO
R_j	mesečna vrednost erozivnosti padavin
R_{pp}	prvi približek erozivnosti padavin na podlagi multiple linearne regresije
ρ	gostota vode
t	trajanje erozivnega dogodka
S	dejavnik naklona pobočja pri metodologiji (R)USLE
$v(D)$	hitrost padanja dežnih kapelj s premerom D
$v_{a,i}$	spodnja meja hitrosti padavinskih delcev znotraj razreda i
$v_{b,i}$	zgornja meja hitrosti padavinskih delcev znotraj razreda i
v_i	hitrost padanja padavinskih delcev znotraj razreda i
v_k	hitrost padanja dežne kaplje
v_t	končna hitrost padanja dežnih kapelj
$v_t(D_i)$	končna hitrost padavinskih delcev znotraj razreda i
W	srednje letno sproščanje zemljin s povodja po Gavriloviču
x	indeks, ki časovno (št. minut) opredeljuje spremenljivki I_x in k_x [5, 10, 15, 20, 30, 60]
X	Gauss-Krugerjeve koordinate geografske dolžine
y_o	opazovana oz. merjena vrednost poljubne spremenljivke
$\bar{y}_o$	povprečje opazovanih oz. merjenih vrednosti poljubne spremenljivke
y_p	napovedana oz. modelirana vrednost poljubne spremenljivke
Y	Gauss-Krugerjeve koordinate geografske širine
Z	nadmorska višina

SLOVAR MANJ ZNANIH IZRAZOV

Biosfera	Del tal, ozračja in vode, kjer se pojavljajo živi organizmi.
Disdrometer	Instrument za merjenje porazdelitve padavinskih delcev po velikosti (in hitrosti padanja).
Erodibilnost tal	Podvrženost talnih delcev sproščanju in premeščanju pod vplivom naravnih dinamičnih sil.
Erozivnost padavin	Podnebni dejavnik erozije tal – sposobnost padavin in površinskega odtoka padavin, da sproščajo talne delce od matičnih tal.
Hidrosfera	Del Zemeljskega površja, ki ga pokriva voda.
Kinetična energija padavin	Kinetična energija, ki se sprosti ob trku padavinskih delcev s tlemi.
Kriging	Skupina geostatističnih orodij za interpolacijo oz. določanje vrednosti slučajnostne spremenljivke na območju, ki se nahaja v bližini točk z znanimi vrednostmi.
Litosfera	Zunanja kamninska plast Zemlje, Zemeljska skorja.
Padavinska erozija tal	Površinsko spiranje in odplavljanje tal.
Pedogeneza	Nastanek in razvoj tal.
Pedosfera	Vrhnja plast Zemlje, kjer se nahajajo tla in odvijajo tlotvorni procesi.
Pluviograf	Dežemer z napravo za zapisovanje časa in količine dežnih padavin, ombrograf.
Pospešena erozija tal	Erozija tal, ki se pod vplivom človekovih posegov in dejavnosti v okolju odvija hitreje kot bi se sicer odvijala zgolj pod vplivom naravnih in geoloških sil.
Površinski odtok	Del padavin, ki teče po zemeljskem površju.
Spiranje tal	Odnašanje sproščenih talnih delcev pod vplivom površinsko odtekajoče padavinske vode.
Sproščanje tal	Ločevanje talnih delcev od matičnih tal.

1 UVOD

1.1 SPLOŠNI PREGLED

Tla so zelo pomemben naravni vir, saj vsa kopenska bitja iz tal pridobivamo življenjsko potrebne snovi in energijo. Med najbolj pomembne ekološke funkcije tal spadajo: pridelava hrane za ljudi in živali; sposobnost filtriranja, zadrževanja in transformiranja snovi, ki krožijo v biosferi; in vloga biološkega habitata za žive organizme (Blum in sod., 2006). Ekološke funkcije tal ogrožajo delovanje naravnih sil in človekove dejavnosti, saj pod njihovim vplivom prihaja do pojava mehanske degradacije oz. erozije tal. Gravitacija, veter in padavine so gonilne sile, ki vplivajo na energijsko bilanco erozijskih procesov (Morgan, 2005).

Talni delci, ki se nahajajo na zemeljskem površju, so podvrženi nenehnemu vplivu naravnih sil. Kadar so te sile dovolj velike, da spravijo talne delce v gibanje, govorimo o površinski eroziji tal. Pri tem so bistveni trije procesi: sproščanje oz. ločevanje od matičnih tal, premeščanje in odlaganje na manjše oz. večje razdalje od izhodišča. V naravni krajini z gostim vegetacijskim pokrovom, kot so gozdovi ali travniki, so tla pred erozijo dobro zaščitena. Človek s svojimi dejavnostmi spreminja naravno krajino že tisočletja, od razvoja kmetijstva in prvih visokih civilizacij naprej. Na obdelovalnih površinah vegetacijo praviloma odstranimo, pridelke pospravimo, površine pa ostanejo gole in izpostavljene naravnim silam. Naravni erozijski procesi se tako pričnejo pospešeno odvijati zaradi kmetijskih in tudi drugih človekovih dejavnosti, kot so gradbeništvo, rudarstvo, turizem itn. Govorimo o antropogeni eroziji, ki neposredno vpliva na poslabšanje fizikalnih, kemičnih in bioloških lastnosti tal. Škodljive posledice pospešene erozije tal se poznajo tudi na nekmetijskih površinah oz. ekosistemih. Erozijski nanos s kmetijskih površin vsebuje velike količine hranil in pesticidov. Dotok teh snovi v vodotoke, jezera in morja vpliva na kakovost voda in lahko povzroči porušitev biološkega ravnovesja z nepredvidljivimi posledicami.

Neposredno spremljanje procesov površinske erozije je po navadi predmet znanstvenih raziskav in ne uveljavljenih sistemov monitoringa okoljskih dejavnikov, kjer se površinska erozija ocenjuje le posredno. Poznavanje podnebnih oz. hidroloških razmer, oblikovanosti

površja, fizikalnih lastnosti tal, pokrovnosti tal in človeških dejavnikov (Mikoš in Zupanc, 2000) predstavljajo osnovo za razumevanje erozijskih procesov. Eden najbolj pomembnih dejavnikov erozije tal je erozivnost padavin in površinskega odtoka (Mannaerts in Gabriels, 2000) in tudi glavnino erozije tal v Evropi povzroča voda (UNEP, 2002). Zato je padavinska erozija oz. pojav površinskega spiranja in odplavljanja tal osrednji predmet naše raziskave.

Večino raziskav v okviru te doktorske disertacije smo izvedli na območjih submediteranskega podnebja Slovenije, ki spada k širši sredozemski regiji, kjer je erozija tal najbolj resna grožnja za degradacijo zemeljskega površja (Kosmas in sod., 2002). Sredozemsko okolje ima sezonsko zelo kontrastno podnebje, z izrazito vlažnim in izrazito suhim obdobjem, nizkimi višinami letnih padavin in nerednimi, a hkrati pogostimi deževnimi dogodki ekstremnih intenzitet. Takšne podnebne značilnosti naredijo sredozemsko okolje nevarno, redko porasla tla slabih lastnosti pa ranljivo s stališča erozije tal (López Vicente in sod., 2008). Hill (1993) pripisuje odgovornost za eno najvišjih letnih stopenj izgube tal v Evropi pogostemu sovpadanju sušnih obdobj in močnih deževij oz. neviht v poletnem času. Posledično imamo v Sredozemlju tudi največji delež močno degradiranih površin v Evropi (Kisić in sod., 2005). To je tudi eden glavnih razlogov, da so raziskave v okviru te doktorske disertacije umeščene v slovensko sredozemsko okolje. Poleg tega je bilo v bližnji preteklosti na teh območjih izvedenih precej hidroloških raziskav, ki so erozijske procese obravnavale v manjši ali večji meri (Globevnik, 2001; Petkovšek, 2002; Šraj, 2003; Zorn, 2007; Rusjan, 2008).

Erozivnost padavin in površinskega odtoka je podnebni dejavnik, ki je najbolj natančno opredeljen v okviru široko uporabljene metodologije za izračun sproščanja tal USLE oz. RUSLE. Univerzalno enačbo izgube tal USLE (Universal Soil Loss Equation) sta razvila in podrobno opisala Wischmeier in Smith (1965, 1978) na podlagi dolgoletnih raziskav v ZDA. Osnovna ideja je bila razviti enostavno metodo za napovedovanje najbolj verjetnega povprečja letne izgube tal za potrebe gospodarjenja s kmetijskimi zemljišči. Renard in sod. (1997) so metodologijo USLE nekoliko osvežili in ji nadelo ime RUSLE (Revised USLE). Erozivnost padavin in površinskega odtoka je po (R)USLE odvisna od kinetične energije padavinskih dogodkov in pripadajoče maksimalne 30-minutne intenzitete padavin. Meritve kinetične energije padavin so glede na razširjenost meritev intenzitete padavin zelo redke (Mikoš in sod., 2006; Diodato in Bellocchi, 2007), saj šele novejša tehnologija omogočajo

cenovno dostopnejše merilne instrumente. Zato se kinetična energija padavin v praksi večinoma določa s pomočjo empiričnih enačb različnih oblik (logaritmične, potenčne, eksponentne, polinomske), ki podajajo odvisnost kinetične energije od intenzitete padavin in veljajo za specifično (podnebno) območje in interval intenzitet padavin. Ravno tukaj je veliko možnosti za izboljšavo obstoječih in razvoj novih empiričnih enačb na podlagi meritev kinetične energije padavin. Vpliv sezonskosti oz. različnih tipov padavin na njihovo erozivnost je tudi razmeroma slabo raziskan, saj v določenem obdobju leta prevladujejo stratiformne padavine, v drugem pa konvektivne padavine.

Kljub na splošno dobremu vedenju o erozijskih procesih, globalna pestrost topografije, rabe zemljišč in vrst tal ter podnebja zahteva lokalno usmerjene raziskave o dejavnikih, stopnjah in posledicah erozije tal in tudi o nadzornih in zaščitnih ukrepih ter strateških pristopih pri spopadanju z erozijo tal (Boardman in Poesen, 2006), ki bi služile kot podpora pri gospodarjenju okolja. V prihodnosti se tudi pričakuje, da bo napovedano globalno segrevanje povečalo težave zaradi erozije tal preko sprememb atmosferskih pogojev in rabe zemljišč (Nearing in sod., 2004), saj je stopnja erozije tal zelo občutljiva na podnebne značilnosti in rabo zemljišč (Licciardello in sod., 2009). Zato ima pravilna ocena površinskih erozijskih procesov izjemen pomen za preprečevanje in blaženje degradacij okolja.

1.2 HIPOTEZA

Prva hipoteza, ki jo preverja pričujoča doktorska disertacija je ta, da je pri modeliranju erozivnosti padavin in površinskega odtoka za različna podnebna območja Slovenije treba poleg različnih statističnih povezav med intenziteto in kinetično energijo padavin upoštevati tudi vpliv sezone.

Druga delovna hipoteza doktorske disertacije je ta, da je površinsko spiranje tal na sredozemskem območju Slovenije, kjer se nahaja naše eksperimentalno območje, v najboljši zvezi s kombinacijo kinetične energije erozivnega padavinskega dogodka in maksimalno intenziteto padavin za časovni interval, ki je drugačen od 30 minut, kot se uporablja pri standardni metodologiji (R)USLE (Wischmeier in Smith, 1978; Renard in sod., 1997).

1.3 CILJI

Pri računu erozivnosti padavin in površinskega odtoka za oceno stopnje erozije tal se v svetu uporabljajo različne, bolj ali manj uveljavljene empirične enačbe, ki povezujejo intenziteto in kinetično energijo padavin. Te povezave za slovenske razmere niso preverjene, saj v Sloveniji ni sistematičnih meritev kinetične energije padavin. Zato sta bila prva dva cilja doktorske disertacije povezana z izboljšavo regresijskih povezav, ki se uporabljajo pri oceni stopnje erozije tal na območju Slovenije, in sicer:

- izpeljati regresijske povezave med intenziteto in kinetično energijo padavin, ki bodo veljale na različnih podnebnih območjih Slovenije, in pri tem upoštevati morebiten vpliv sezonskosti na povezavo med obema spremenljivkama,
- ugotoviti zvezo med površinskim spiranjem tal in kombinacijami kinetične energije erozivnih dogodkov z maksimalnimi intenzitetami padavin različnih časovnih intervalov na podlagi lastnih meritev.

Glede na raznolikost podnebja in heterogenost porazdelitve padavin v Sloveniji je za kakovostno določitev prostorske spremenljivosti erozivnosti padavin nujno treba opraviti meritve porazdelitve padavinskih delcev v več točkah. V ta namen smo tovrstne meritve opravljali na območjih treh podnebnih tipov Slovenije. Končni cilj doktorske disertacije je bil izdelati preliminarno karto erozivnosti padavin in površinskega odtoka za območje Slovenije, ki predstavlja izhodišče za določitev podnebnega dejavnika pri modeliranju erozije tal. Izdelana karta je preliminarne, ker jo je z dodatnimi meritvami oz. raziskavami zagotovo mogoče izboljšati. Pri tem smo poleg podatkov iz lastnih meritev upoštevali tudi podatke o intenzitetah padavin, ki jih zbira Agencija Republike Slovenije za okolje (v nadaljnjem besedilu: ARSO) na merilnih mestih po Sloveniji.

1.4 METODOLOŠKA IZHODIŠČA

Doktorska disertacija je razdeljena na dva temeljna vsebinska sklopa. V prvem, teoretičnem delu doktorske disertacije obravnavamo erozijske procese s poudarkom na hidroloških dejavnikih kot gonilnimi silami erozijskih procesov. Osredotočili smo se na mehanizme sproščanja tal, nastanek in vrste padavin ter porazdelitev padavinskih delcev, kinetično energijo in erozivnost padavin. Zanimale so nas metodologije njihovega raziskovanja in modeliranja (Agassi in Bradford, 1999; Steiner in Smith, 2000; Chaplot in Le Bissonnais, 2003; Fox, 2004; Do Khac in sod., 2004; Rose in sod., 2007; Brawn in Upton, 2008).

Izkušnje, ki so bile pridobljene s hidrološkimi raziskavami v Slovenski Istri (Globevnik, 2001; Petkovšek, 2002; Globevnik in sod., 2003; Šraj, 2003; Petkovšek 2004; Staut, 2004; Zorn, 2007), kakor tudi tuje izkušnje pri meritvah in modeliranju erozijskih procesov iz podobnih raziskav (Uson in Ramos, 2001; Fistikoglu in Harmancioglu, 2003; Lee, 2004; Diodato, 2005; Abu Hammad in sod., 2005; Onori in sod., 2006; Neave in Rayburg, 2007) smo s pridom uporabili v drugem delu doktorske disertacije, kjer smo podali rezultate in spoznanja, pridobljene na podlagi lastnih meritev in njihovih analiz.

Meritve velikostne in hitrostne porazdelitve padavinskih delcev smo opravili v treh podnebnih območjih Slovenije s štirimi optičnimi disdrometri. Na podlagi teh meritev smo razvili nove regresijske povezave med intenziteto in kinetično energijo padavin ter preverili njihovo primernost glede na obstoječe regresijske povezave za sredozemska in ostala območja po svetu (Wischmeier in Smith, 1958; Uplinger, 1981; Brown in Foster, 1987; Salles in sod., 2002; van Dijk in sod., 2002; Brodie in Rosewell, 2007). Pri analizi kinetične energije in erozivnosti padavin smo skušali upoštevati tudi vpliv sezonskosti.

Na širšem območju eksperimentalnega povodja Dragonja smo spremljali intenzitete padavin, v povirnem delu povodja pa površinski odtok in spiranje tal z erozijskih ploskev velikosti 1 m^2 , ki so nameščeni na tleh z različno rabo oz. pokrovnostjo. Tako smo preverili primernost različnih kombinacij kinetične energije padavinskih dogodkov in maksimalnih intenzitet padavin za časovne intervale različne od 30 minut, kot je praksa pri oceni površinskega spiranja tal v okviru standardne metodologije (R)USLE (Wischmeier in Smith, 1978; Renard

in sod., 1997). Pri računu kinetične energije erozivnih dogodkov smo uporabili regresijske povezave, ki smo jih predhodno izpeljali na podlagi meritev porazdelitve padavinskih delcev.

Izdelava karte erozivnosti padavin za območje Slovenije je temeljila na prostorski interpolaciji izračunanih točkovnih vrednosti erozivnosti padavin, pri čemer smo izhajali iz izkušenj domačih in tujih raziskovalcev pri kartiranju s pomočjo GIS orodij (Mannaerts in Gabriels, 2000; da Silva, 2004; Irvem in sod., 2007; Shamshad in sod., 2008; Angulo-Martínez in sod., 2009). Izhodiščne vrednosti za prostorsko interpolacijo erozivnosti padavin smo pripravili iz pluviografskih podatkov o intenziteti padavin na meteoroloških postajah ARSO in izpeljanih regresijskih povezav med kinetično energijo in intenziteto padavin. Na robovih obravnavanega območja smo erozivnost ocenili iz podatkov o dnevni višini padavin na meteoroloških postajah ARSO.

1.5 EROZIJA TAL V SLOVENIJI

V strokovnih krogih pri nas se poleg izraza erozija tal uporablja tudi izraz erozija prsti. Prst je vrhnja plast tal, nekaj 10 centimetrov debela plast litosfere, za katero je značilna rodovitnost (Zorn in Komac, 2005). Strokovnjaki ločijo tudi med izrazoma denudacija in erozija. Denudacija je razgaljenje površja kot posledica preperevanja in odnašanje materiala (Zorn in Komac, 2005) in učinkuje ploskovno, erozija pa naj bi učinkovala zgolj linijsko z dolbenjem, razjedanjem in odnašanjem. Zaradi doslednosti smo v nadaljevanju uporabljali splošnejši izraz erozija tal, saj pojem erozija zaobjema tudi ploskovno erozijo oz. denudacijo, pojem tla pa zaobjema prst, čeprav je v večini navedenih raziskav šlo za erozijo vrhnje plasti tal oz. prsti.

Erozija tal v Sloveniji je v preteklosti imela večji pomen kot ga ima danes. Delež obdelovalnih kmetijskih površin je bil pred stotimi leti enkrat večji kot danes, ko znaša 8,6 % ter se skupaj s skandinavskimi državami uvrščamo na samo dno evropske lestvice (Area by land use, 2009). Delež gozda v Sloveniji pa se je v zadnjem stoletju povečal za polovico, na 66 % v letu 2005 (Površina ozemlja in pokrovnost tal, določena planimetrično, 2005, 2009). Po mnenju Vrišerja (1953) so zaradi erozije tal pri nas najbolj ogrožena območja, ki jih sestavljajo mladi in slabo sprijeti lapornati in peščeni sedimenti v panonskih gričevjih in fliš v Slovenski Istri. Repe (2002) poudarja, da za potrebe obsežnejših analiz v Sloveniji primanjkujejo kakovostni in natančni podatki o eroziji tal oz. so ti nedostopni. To pomanjkanje podatkov je posledica majhnega zavedanja o procesih erozije v preteklosti in razdrobljenosti obdelovalnih zemljišč (Zorn in Komac, 2005).

Veliko avtorjev je v preteklosti izdelalo ocene sproščanja zemljin za območje Slovenije (Rainer in Pintar, 1972; Zemljič, 1972; Rainer in Zemljič, 1975; Kolbezen, 1979; Lazarevič, 1981; Horvat, 1987; Horvat, 2002). Povzetek teh ocen (Zorn in Komac, 2005) je ta, da se vsako leto na območju Slovenije v povprečju sprost med 4 in 6 mio. m³ zemljin oz. med 3,1 in 4,6 t/ha. Tako Mikoš in Zupanc (2005) za povprečno letno erozijsko sproščanje zemljin v Sloveniji navajata vrednost 250 m³/km², kar ustreza znižanju površja za 0,25 mm/leto. Specifično sproščanje se v povodjih ugotavlja glede na delež odloženega gradiva v vodotokih. Približno polovico sproščenih količin tal se odplavlja in premešča vzdolž vodotokov (Mikoš,

1995). Zemljič in sod. (1970) navajajo, da se v Posočju letno odloži približno 15,2 t/ha gradiva, v Posavju 6,3 t/ha, v Podravju 5,6 t/ha, v Pokolpju 2,6 t/ha, v Slovenski Istri pa 6,4 t/ha.

Dolgotrajnejše meritve erozije tal v Sloveniji so se izvajale le na enem kraju, na merilnem polju v Smastu pri Kobaridu, leta 1989 pa so bile te opuščene. Tam izmerjene količine sproščenih tal so v letnem povprečju znašale 6,3 kg/ha v mešanem gozdu na tleh z naklonom 29°, na travniku 39 kg/ha, na krompirjevi njivi 3,5 t/ha, na zorani njivi pa 22,4 t/ha (Horvat in Zemljič, 1998). Mikoš in Zupanc (2005) navajata, da lahko v enem letu zaradi erozijskih pojavov izgubimo tudi 5 do 10 mm plodnih tal, v izjemnih primerih tudi več.

V Sloveniji se je dolgo časa uporabljala Gavrilovičeva enačba (Gavrilović, 1970) za oceno povprečnih letnih količin sproščenih in odplavljenih zemljin. Enačba je zasnovana empirično na podlagi podatkov z območja nekdanje Jugoslavije in severne Afrike. Zato je primerna za uporabo na območju Sredozemlja. Paulič (1971) je tako ocenil količine sproščanja in odplavljanja za celotno Slovenijo, pozneje pa so za območje Slovenije priredili posebno različico Gavrilovičeve enačbe (Pintar in sod., 1986). Konec devetdesetih let prejšnjega stoletja se je razširila uporaba ravno tako empirične enačbe (R)USLE (Wischmeier in Smith, 1965; Renard in sod., 1997), ki je bila skupaj z Gavrilovičevo enačbo uporabljena v erozijskem modelu na povodju Rokave (Petkovšek, 2002).

Komac in Zorn (2005) sta izdelala pregled vseh rezultatov meritev in modeliranj erozije tal v Sloveniji. Na podlagi zbranih rezultatov in podatkov o rabi tal v Sloveniji sta opravila še analizo sproščanja zemljin in erozijskega zniževanja površja po kategorijah rabe tal. Glede na njuno analizo v preglednica 1.1 podajamo povprečno specifično sproščanje zemljin po kategorijah rabe tal v Sloveniji.

Preglednica 1.1: Povprečno specifično sproščanje zemljin v t/ha po kategorijah rabe tal v Sloveniji (Komac in Zorn, 2005).

Table 1.1: Average specific soil loss in t/ha for different land use categories in Slovenia (Komac & Zorn, 2005).

specifično sproščanje zemljin [t/ha]							
njive	neporasla in visokogorska območja	travinje	vinogradi	gozd in površine v zaraščanju	sadovnjaki	hmeljišča	povprečje
22	69	5,4	28	0,43	30	4,6	4,5

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 EROZIJA TAL

Tla so vrhnji del zemeljske skorje oz. litosfere, ki jo imenujemo pedosfera. Njihova najpomembnejša lastnost je rodovitnost oz. sposobnost preskrbeti rastline z mineralnimi snovmi, vodo in kisikom (Lobnik, 2005). Tla nastajajo na stiku litosfere z atmosfero, hidrosfero in biosfero skozi dinamične procese pedogeneze: dodajanje, izguba, premeščanje in transformacija mineralnih in organskih snovi. Nastanek in razvoj tal je zapleten prostorsko-časovni pojav, v katerem ob omenjenih skupinah procesov sodelujejo tudi naslednji tlotvorni dejavniki (Prus, 2005): matična podlaga, podnebje, relief, živi organizmi in čas. Med pedogenetske procese, ki so odgovorni za izgubo snovi, sodi tudi erozija. Ta je kot taka naraven pojav, ki nenehno skrbi za spreminjanje zemeljskega površja kot posledica delovanja eksogenih geoloških sil (Horvat, 2002).

Erozija tal je mehanska degradacija tal, ki nastane zaradi delovanja naravnih sil in je mnogokrat podkrepljena s človekovimi dejavnostmi (Mikoš in Zupanc, 2000). Talni delci se pod vplivom zunanjih sil sproščajo od svoje mase, premeščajo na manjše ali večje razdalje do odložišča ter tako izgubljajo svojo prvotno oz. naravno vlogo. Najbolj pogosta dejavnika, ki sta odgovorna za naravni proces erozije tal brez človekovega vpliva, sta voda in veter. Pri tem ne smemo pozabiti dinamične sile snega in ledu kakor tudi ne na dinamično silo težnosti pri eroziji tal (Sukhanovski in sod., 2001). V primeru, ko je težnost prevladujoča gonilna sila erozije, govorimo o premiku velikih mas zemljine (plazovi, usadi) ali kamnin (podori, odlomi) in ne več o odnašanju talnih delcev. Takšna naravna oz. geološka erozija (Mikoš in Zupanc, 2000) je v naravnem ravnovesju, saj je njena stopnja praviloma enaka stopnji nastajanja oz. obnavljanja tal. To ravnovesje je v sodobnem času nemalokrat porušeno, saj se zaradi človekovih dejavnosti sprožijo degradacijski procesi, ki pospešijo spremembe fizikalnih, kemičnih in bioloških lastnosti tal ter naravne pokrovnosti tal. V naravni krajini prevladuje gost rastlinski pokrov (gozdovi, travniki), ki ščiti tla pred erozijo. Ob človekovih posegih v krajini – kmetijstvo, gradbeništvo, rudarstvo, turizem, rekreacija ipd. – in posledičnem odstranjevanju vegetacije preide naravno odnašanje tal v napredujoče. Govorimo

o antropogeni oz. pospešeni eroziji tal, ki neposredno ogroža ekološke funkcije tal, posredno pa ruši biološko ravnovesje ekosistemov z nepredvidljivimi posledicami: erozijski nanosi s kmetijskih površin in gradbišč vsebujejo hranila, pesticide in druge nevarne snovi, čigar prihod v vodna telesa vpliva na kakovost voda (Kisić in sod., 2005).

Kot omenjeno na začetku poglavja, delimo površinsko erozijo tal glede na izvor gonilne sile v tri skupine: vodna, vetrna in težnostna erozija. Snežno in ledeniško erozijo bi lahko šteli v posebno skupino vodne erozije, saj nastopi zaradi plazenja snega in polzenja ledu pod vplivom težnosti. Vodno erozijo, ki je dominanten erozijski proces v Evropi in še bolj v Sredozemlju (Kisić in sod., 2005), pa lahko razdelimo v tri skupine:

- padavinska erozija (padavine in površinski odtok),
- rečna erozija dna (globinska erozija) in brežin (bočna erozija) in
- morska (jezerska) abrazija.

V hidrotehnični praksi se ob pojmu rečna erozija pogosto uporablja tudi pojem hudourniška erozija (Mikoš, 2000), ki označuje erozijo na hudourniških območjih in v strmih hudourniških strugah ter je kombinacija vodne, snežne in težnostne erozije. Med mešane oblike erozije se uvršča tudi kraška erozija, ki je kombinacija vodne erozije in kemijskega preperevanja na kraškem svetu (Mikoš, 2000).

Vodna erozija tal je predmet naše raziskave v širšem kontekstu, v ožjem pa je to padavinska erozija tal. Zato se bomo v naslednjih podpoglavjih nekoliko podrobneje seznanili z dejavniki, procesi in modeliranjem padavinske erozije tal.

2.2 DEJAVNIKI POVRŠINSKE EROZIJE TAL

Iz poglavja 2.1 lahko zaključimo, da so erozijski pojavi v prostoru odvisni od naravnih danosti in človekovega gospodarjenja s prostorom oz. dejavnosti, ki jih ta izvaja v prostoru. Tako je pri ovrednotenju erozijskih pojavov in analizi njihove dinamike primarnega pomena dobro poznavanje naravnih danosti, ki jih lahko razdelimo v štiri skupine (Mikoš in Zupanc, 2000), in sicer: podnebne oz. hidrološke značilnosti, oblikovanost površja, fizikalne lastnosti tal in pokrovnost tal.

2.2.1 Podnebne oz. hidrološke značilnosti

Najpomembnejši podnebni dejavnik pri vodni eroziji tal so padavine (Mikoš, 1995), predvsem razporeditev padavinskih ekstremov v prostoru in času. V splošnem velja, da so za stopnjo erozijskih procesov odločilne ekstremne vrednosti parametrov naravnih danosti in manj njihova povprečja. Tako med hidrološke značilnosti uvrščamo višino in intenziteto padavin ter posledični površinski odtok. Sposobnost padavin in površinskega odtoka, da sproščajo in odnašajo padavinske delce, imenujemo erozivnost, za katero so odločilne intenziteta in trajanje padavin ter posledična kinetična energija padavin (Hudson, 1995). Pri analizi erozijskih pojavov ne smemo zanemariti mikroklimatskih značilnosti obravnavanega območja. To so predvsem osončenost, temperatura in vlažnost zraka, jakost in prevladujoča smer vetra, od katerih sta odvisna predvsem vlažnost tal in razvoj vegetacijskega pokrova, ki ščiti tla pred erozijskim delovanjem padavin in površinskega odtoka.

V novejšem času se kot erozijski dejavnik pojavljajo tudi podnebne spremembe, ki vplivajo tako na erozivnost padavin kot tudi na fizikalne lastnosti oz. erodibilnost tal. Daljša sušna obdobja, ki močno izsušijo tla in zmanjšajo njihovo infiltracijsko sposobnost, in intenzivnejša deževja nedvomno vplivajo na količino sproščenega gradiva.

2.2.2 Oblikovanost površja

Dejavnike oblikovanosti površja delimo v dve skupini. To so topografski dejavniki, med katere uvrščamo naklon, dolžino in orientacijo pobočja, in morfološki dejavniki, pri čemer je predvsem pomembna oblika pobočja oz. vbočenost ali izbočenost površja. Najpomembnejši dejavnik pri vodni eroziji je naklon površja (Mikoš in Zupanc, 2000). Ta močno vpliva na erozivnost površinskega odtoka, saj se z večanjem naklona pobočja večja tudi turbulenca površinskega odtoka: njegova sposobnost po sproščanju in premeščanju talnih delcev pri velikih naklonih tako narašča hitreje od naraščanja površinskega odtoka. Oblika pobočja lahko nadalje omili (vbočenost) oz. poveča (izbočenost) erozivno sposobnost površinskega odtoka, saj v interakciji z dolžino pobočja neposredno vpliva na kritično dolžino, pri kateri se površinski odtok začne koncentrirati v curke in potočke in se posledično začnejo tvoriti erozijski žlebiči. Cilj preventivnih protierozijskih ukrepov je ravno vplivati na dolžino pobočij in jih ohranjati krajše od kritične dolžine. Kot že omenjeno pri podnebnih dejavnikih, orientacija površja oz. osončenost lege v veliki meri določa mikroklimatske razmere na pobočju, te pa ustvarjajo rastiščne pogoje za vegetacijo, ki posredno pomeni naravno protierozijsko zaščito.

2.2.3 Fizikalne lastnosti tal

Fizikalne lastnosti tal določajo odpor oz. podvrženost talnih delcev sproščanju in premeščanju pod vplivom naravnih dinamičnih sil. To podvrženost imenujemo erodibilnost tal in je najpomembnejša lastnost tal pri erozijskih procesih (Mikoš in Zupanc, 2000). Erodibilnost tal je odvisna od naslednjih fizikalnih lastnosti tal: teksture, strukture, deleža organskih snovi, stabilnosti talnih delcev, infiltracijske sposobnosti in nasičenosti z vodo. Tla z visokim deležem meljastih delcev so zelo erodibilna. Erozijsko bolj odporna so peščena tla, saj imajo veliko infiltracijsko sposobnost, kar posledično pomeni relativno majhen površinski odtok. Peščeni delci nudijo tudi večjo zaščito proti udarcem dežnih kapelj in tako zmanjšujejo erodibilnost tal. Podobno je tudi pri tleh s prevladujočim deležem glinastih delcev ali visoko vsebnostjo organskih (humusnih) snovi, saj ti vežejo talne delce v stabilne strukturne agregate, ki se bolje upirajo pljuskanju vodnih kapelj. Nasičenost tal z vodo, na katero posredno vplivajo tudi oblikovnost površja in podnebne značilnosti, je odločilna za količino

padavin, ki površinsko odteče, saj zapolnjenost talnih por z vodo zmanjšuje infiltracijsko sposobnost tal.

2.2.4 Pokrovnost tal

Rastlinski pokrov omogoča (delno) zaščito tal pred škodljivim delovanjem padavin in površinskega odtoka. Razlikujemo t. i. zračni in prizemni rastlinski pokrov (Mikoš in Zupanc, 2000). Zračni pokrov (krošnje dreves, listje višje rastočih kulturnih rastlin ipd.) zniža kinetično energijo dežnih kapelj še preden te dosežejo tla, vendar ta ne varuje tal pred erozivnostjo površinskega odtoka. Prizemni rastlinski pokrov (travinje, gosti posevki ipd.) pa neposredno vpliva na zmanjšanje površinskega odtoka in tako ščiti tla. Ta ima tudi pozitivne učinke na fizikalne lastnosti tal, saj poveča infiltracijsko sposobnost in utrdi vrhno plast tal. Med prizemne pokrove poleg rastlin štejemo tudi kamenje, pesek in druge zaščitne materiale, kot so odmrlo listje, lubje ipd. Stopnja zaščite tal je v veliki meri odvisna od vrste rastlin, ki v naravni in kulturni krajini tvorijo rastlinski pokrov, njihove medvrstne razdalje in kolobarja.

2.2.5 Človekove dejavnosti

Kot peti dejavnik erozije tal se naravnim danostim pridružujejo človekovi posegi v obliki gospodarskih ukrepov, ki vplivajo na naravne erozijske dejavnike in tudi na rodovitnost tal. Tako Kisić in sod. (2005) izpostavljajo zbijanje tal zaradi intenzivne kmetijske pridelave kot zelo problematično, saj zbijanje tal povzroča spremembo fizikalnih lastnosti tal, pri čemer se zaradi manjše infiltracijske sposobnosti tal povečuje površinski odtok vode in posledično tudi erozija tal. Sprememba fizikalne lastnosti kot posledica zbijanja tal vpliva tudi na rodovitnost oz. izpad pridelkov (Mrhar, 1995). Gospodarjenje s tlemi, ki se najpogosteje odvija na kmetijskih površinah, se odraža skozi vrsto rabe tal, vrsto obdelave tal, lego obdelovalnih površin, smer obdelave in možnosti zaščite pred erozijo (Mikoš in Zupanc, 2000). Mikoš in Zupanc (2000) poudarjata, da je treba posebno skrb posvetiti kmetijskim površinam z zelo rodovitnimi tlemi in tudi tistim, na katerih človek gospodari že od davne preteklosti, saj so tam antropogeno pospešeni erozijski procesi prisotni že dalj časa.

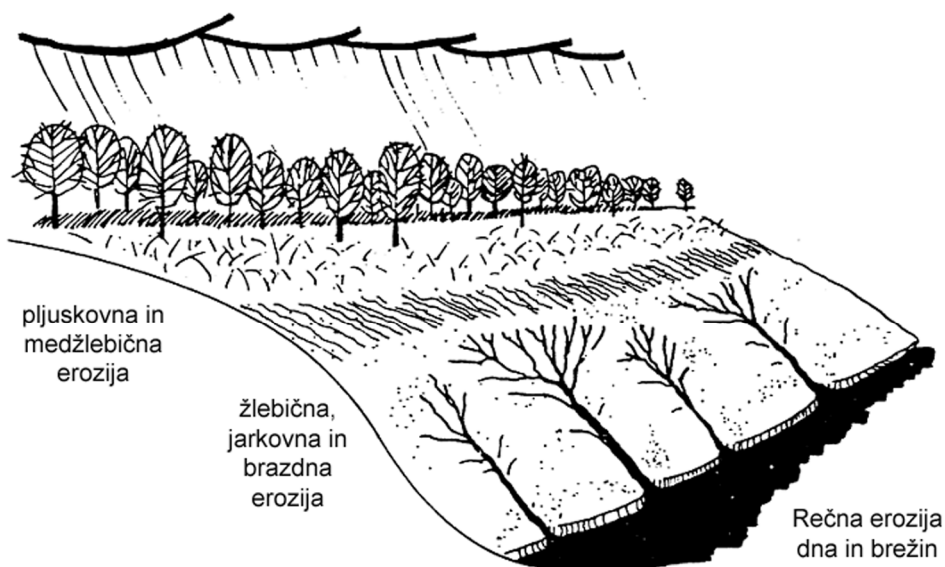
2.3 MEHANIZMI PADAVINSKE EROZIJE TAL

Padavinska erozija je najpogostejši pojav na kmetijskih površinah. Do sproščanja talnih delcev pride zaradi trkov dežnih kapelj z veliko kinetično energijo ob nezaščitena tla. Temu sledi spiranje, odnašanje oz. premeščanje sproščenih talnih delcev zaradi erozijske sile površinsko odtekajoče padavinske vode. Ta se počasi koncentrira v manjše oblike vodnega toka (curki in potočki) in tako z lahkoto erodira tla. Do začetka koncentracije vodnega toka se erozija odvija predvsem površinsko, od takrat naprej pa tudi globinsko. Za konec se talni delci ob izgubi gibalne količine odložijo na prvo primerno površino ali pa končajo v vodotokih med plavinami.

Z namenom vrednotenja erozije tal in načrtovanja protierozijskih ukrepov pred škodljivim delovanjem vode je nujno razlikovati oblike vodne erozije na kmetijskih tleh (Mikoš in Zupanc, 2000). V splošnem razlikujemo naslednje oblike vodne oz. padavinske erozije na kmetijskih tleh (slika 2.1):

- pljuskovna erozija: posledice udarcev posameznih vodnih kapelj ali močnega dežnega curka,
- medžlebična erozija: posledice pljuskanja vodnih kapelj in plitvega površinskega odtoka, ki se še ne združuje v žlebiče,
- žlebična erozija: posledice koncentracije površinsko odtekajoče padavinske vode v obliki curkov ali majhnih potočkov v žlebičih,
- brazdna erozija: sproščanje in odnašanje talnih delcev zaradi stekanja manjših potočkov, ki povzročajo žlebično erozijo, in
- jarkovna erozija: posledice stopnjevanja koncentracije vodnih tokov oz. nenadzorovane žlebične ali brazdne erozije.

Pljuskovno, žlebično in medžlebično erozijo uvrščamo v površinsko erozijo, saj je površinsko odtekajoča padavinska voda še premalo skoncentrirana, da bi povzročala globinsko oz. brazdno in jarkovno erozijo. Pri globinski eroziji so tla razjedena tako globoko, da površino tal ne moremo izravnati z običajnimi obdelovalnimi orodji, kot lahko storimo pri površinski eroziji.



Slika 2.1: Vrste erozije tal na pobočju (UNEP, 1994).

Figure 2.1: Types of soil erosion on an exposed slope (UNEP, 1994).

Površinska erozija se najpogosteje pojavlja na položnejših kmetijskih površinah. Zato sta medžlebična in žlebična erozija kakor tudi odlaganje talnih delcev predmet številnih raziskav v svetu (Mikoš in Zupanc, 2000). Sproščanje talnih delcev pri površinski eroziji praviloma nastopi ob nezadostni kapaciteti pronicanja padavinske vode v tla, ki je lahko posledica dveh mehanizmov, in sicer:

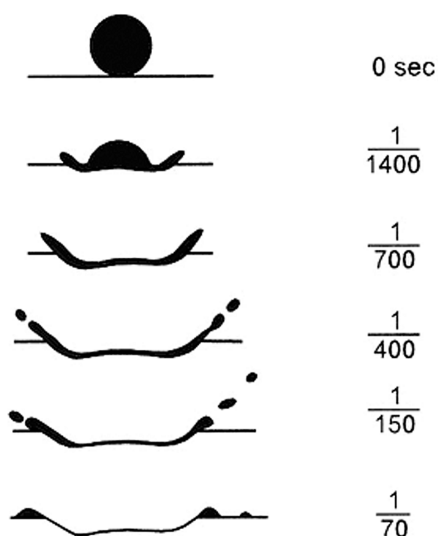
- zablatenja površine tal ob kratkotrajnih nalivih z višjo intenziteto padavin (nad 10 mm/h) in posledične prekinitve navpičnih por, ki povezujejo notranje horizonte s površino tal. Tako je pronicanje padavinske vode v tla zmanjšano oz. preprečeno kljub visoki naravni infiltracijski zmogljivosti tal, saj zrak ostaja ujet v talnih porah in jih voda s težavo zapolnjuje. Talni delci se tako sprostijo in pomešajo s padavinsko vodo v kalno mešanico, ki odteka po površini,
- delne nasičenosti tal z vodo zaradi nedavnih obilnih padavin in posledično zmanjšane infiltracijske zmogljivosti tal, pri čemer le majhen delež padavin ponikne, večinski pa površinsko odteka in spira ter odnaša padavinske delce.

Padavine in njihova erozivnost, ki je osrednji predmet naše raziskave, neposredno prožijo dinamične procese površinske erozije tal. Zato so v nadaljevanju podrobneje opisani posamezni procesi sproščanja in premeščanja tal ob različnih fazah površinske erozije tal.

2.3.1 Pljuskovna in medžlebična erozija

Pljuskovna erozija kot posledica udarcev dežnih kapelj ob tla (slika 2.2) in medžlebična erozija kot posledica plitvega nekoncentriranega površinskega odtoka padavin se pojavljata na istem prostoru (slika 2.1). V tem prostoru prevladuje pljuskovna erozija, ki je predvsem odvisna od intenzitete dežja, kinetične energije dežnih kapelj in deleža glinastih delcev v tleh (Petkovšek, 2000). Pljuskovna in medžlebična erozija povzročata izgubo enakomerne tanke plasti vrhnjih tal. Ta proces se odvija relativno počasi in zato so posledice slabo vidne oz. spregledane, dokler se ne razgalijo spodnje plasti tal (Gunn, 1996).

Pljuski dežnih kapelj razvežejo agregate zemljin, sproščajo talne delce in utrjujejo površino tal. Ward in Trimble (2004) navajata zgodnje študije, po katerih se zelo velika količina talnih delcev ob pljuskah sprosti in premešča po zraku, kar se večini delcev ponovi večkrat. Tako se lahko talni delci premaknejo za več kot 50 cm v višino in tudi do 150 cm v dolžino na nagnjenih površinah. Večina premeščanja poteka pod vplivom površinskega toka, ki se tvori iz površinskega filma vode na površini tal, kadar intenziteta padavin preseže stopnjo infiltracije. Površinski tok je običajno tanek (2–3 mm) in nastale strižne sile niso zadostne za spiranje talnih delcev (Petkovšek, 2000). Kljub temu pa se zaradi udarcev dežnih kapelj poveča turbulenca površinskega toka, ki je tako zmožen premeščanja talnih delcev. V splošnem tanka plast vode na površini tal deluje kot blažilec za pljuske dežnih kapelj in tako zmanjšuje erozijo, a le pri višjih globinah vode. Hahn in sod. (1994) navajajo, da se erozija povečuje do globine vode, ki je enaka $1/6$ do 1 premera dežne kaplje, nato pa se zmanjšuje. Pljuski dežnih kapelj na golih tleh povzročajo tudi zablatenje površin in posledično povečanje površinskega odtoka ter erozije, o čemer smo govorili v uvodu tega poglavja.



Slika 2.2: Časovni potek pljuska dežne kaplje (Hillel, 1998).

Figure 2.2: Sequential profile of a raindrop splash pattern (Hillel, 1998).

2.3.2 Žlebična erozija

Žlebična erozija je sproščanje in transport talnih delcev kot posledica koncentriranega površinskega odtoka (Ward in Trimble, 2004). Tako površinski odtok ustvarja privilegirane poti za transport sedimentov, ki hitreje odtekajo v žlebičih. Ti sledijo lokalnim vdolbinam na pobočju in dosegajo globine do 30 cm (Gunn, 1996). Kot taki se lahko odstranijo z običajnimi obdelovalnimi praksami.

Žlebična erozija, ki je pogosto pojmovana kot vmesna stopnja med površinsko in globinsko erozijo, prevladuje na daljših in strmejših pobočjih, medžlebična erozija pa na krajših in položnejših pobočjih. Žlebiči so pomemben element v procesu odtoka vode in plavin iz povodja (Petkovšek, 2000). Njihovo število oz. gostota je odvisna od naklona in dolžine pobočja, površinskega odtoka, teksture in erodibilnosti tal ter prisotnosti oz. odsotnosti deževij (Meyer in Monke, 1965). Ward in Trimble (2004) izpostavljata tudi infiltracijsko sposobnost tal. Na zelo erodibilnih tleh erozijo omejuje premestitvena zmogljivost, sproščenih talnih delcev je več, kot jih je površinski tok zmožen premeščati, zato so žlebiči vzdolž pobočja enake velikosti in imajo veliko gostoto (Ellison in Ellison, 1947). Na manj erodibilnih tleh pa je erozija omejena zaradi sproščanja, zato imajo žlebiči spremenljivo velikost in manjšo gostoto.

2.4 MODELIRANJE PADAVINSKE EROZIJE TAL

Meritve površinske erozije tal in odplavljanja zemljin so relativno redke in tudi omejene na manjša območja. Temeljne zaključke in vrednotenje erozijskih procesov pa je mogoče pridobiti šele na podlagi dolgotrajnih meritev, ki naj bi se v te namene izvajale vsaj 15 let (Kisić in sod., 2005). Tako se je ob začetku intenzivnega kmetijstva pojavila nuja po razvoju modelov erozije tal. Pri tem sta pionirsko delo opravila Wischmeier in Smith (1965, 1978), ki sta razvila in podrobno opisala univerzalno enačbo izgube tal USLE (Universal Soil Loss Equation) na podlagi dolgoletnih raziskav, ki so večinoma potekale po 2. svetovni vojni v ZDA. Osnovna ideja je bila razviti enostavno metodo za napovedovanje najbolj verjetnega povprečja letne izgube tal za potrebe gospodarjenja s kmetijskimi zemljišči. Pri tem sta bila postavljena dva bistvena pogoja (Wischmeier in Smith, 1978). Prvi je bil ta, da je možno vse dejavnike pridobiti na podlagi meteoroloških, hidroloških, pedoloških in ostalih podatkov iz erozijskih raziskav na posameznih lokacijah ter jih tudi numerično ovrednotiti. Drugi pogoj je bil, da je metoda geografsko neodvisna oz. univerzalna.

2.4.1 Enačba USLE

Osnovna enačba USLE za vrednotenje povprečne letne izgube tal A [t ha^{-1}] je zastavljena kot produkt šestih dejavnikov:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.1)$$

Posamezne oznake dejavnikov pri enačbi 2.1 pomenijo:

R ... dejavnik padavin in odtoka [$\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$],

K ... dejavnik erodibilnosti tal glede na standardne razmere [$\text{t MJ}^{-1} \text{ h mm}^{-1}$],

L ... dejavnik dolžine pobočja oz. razmerje med izgubo tal pri dejanski in standardni dolžini [-],

S ... dejavnik naklona pobočja oz. razmerje med izgubo tal pri dejanskem in standardnem naklonu [-],

C ... dejavnik pokrovnosti tal oz. razmerje med izgubo tal pri dejanski in standardni pokrovnosti [-],

P ... dejavnik zaščitnih (kmetijskih) ukrepov oz. razmerje med izgubo tal pri dejanski in standardni obdelavi oz. zaščiti zemljišča [-].

Dejavnike lahko razdelimo na aktivne dejavnike (R , L in S), ki povzemajo hidrološke oz. podnebne in topografske lastnosti obravnavanega območja, in reaktivne dejavnike (K , C , P), ki kvantificirajo erodibilnost, pokrovnost in zaščitne ukrepe tal. Podrobnejši opis metode USLE se nahaja v poglavju 3.5.1.

Metoda je doživela kar nekaj dopolnitev in izpeljank, ki so omogočile uporabo metode za vrednotenje izgube tal tudi za krajša časovna obdobja. Tako Fournierjev indeks (Arnoldus, 1980) omogoča račun mesečnih vrednosti izgube tal, Modified USLE oz. MUSLE (Williams, 1975; Williams in Berndt, 1977) pa vrednotenje izgube tal ob posameznih erozivnih dogodkih oz. nalivih. Pomembno dopolnitev osnovne metode USLE so opravili Renard in sod. (1997), ki so korigirali enačbe za račun podnebnega dejavnika R in topografskih dejavnikov L in S . Od takrat je metoda znana tudi pod imenom RUSLE (Revised USLE).

2.4.2 Gavrilovičeva enačba

Za slovenski prostor je pomembna tudi enačba, ki jo je za račun srednjega letnega sproščanja zemljin W [m³] na sredozemskem območju predlagal Gavrilović (1970):

$$W = 3,14 \cdot P_Y \cdot K_T \cdot K_Z^{1,5} \cdot F_W \quad (2.2)$$

kjer so P_Y srednje letne padavine [mm], K_T je temperaturni koeficient [-], odvisen od srednje letne temperature, K_Z je erozijski koeficient [-], F_W pa površina povodja [km²]. Pintar in sod. (1986) so Gavrilovičovo enačbo priredili za Slovenijo. Opustili so temperaturni koeficient, srednje letne padavine pa zamenjali z maksimalno višino dnevnih padavin $P_{d,max}$ [mm] in zapisali naslednjo enačbo:

$$W = 20 \cdot P_{d,\max} \cdot K_Z^{1,5} \cdot F_W \quad (2.3)$$

2.4.3 Prostorsko distribuirani modeli

V zadnjih tridesetih letih je bilo razvitih veliko matematičnih modelov z namenom prostorskega napovedovanja izgube tal in odplavljanja zemljin s povodij. V splošnem lahko prostorsko distribuirane modele erozije tal razdelimo v dve skupini: empirični modeli in procesno orientirani modeli (Bhattarai in Dutta, 2008).

V prvo skupino sodijo modeli, ki temeljijo na meritvah na manjšem merilu in ekstrapolaciji rezultatov na večje merilo (Kinnell, 2008), kot na primer modeli RUSLE2 (Foster, 2005), WATEM (van Oost in sod., 2000), AnnAGNPS (Bingner in Theurer, 2001) ali AGNPS-UM (Kinnell, 2005). Vsi omenjeni modeli napovedujejo izgubo tal v daljšem časovnem obdobju in upoštevajo tako sproščanje kot odlaganje oz. depozicijo tal, razen modela AGNPS-UM, ki napoveduje izgubo tal ob posameznih erozivnih dogodkih in ne upošteva odlaganja tal.

Omenjeni modeli imajo skupno izhodišče: vsi temeljijo na prirejeni različici empirične enačbe (R)USLE (Wischmeier in Smith, 1978, Renard in sod., 1997). Relativna enostavnost in dostopnost parametrov sta poglavitna razloga za široko sprejetost metodologije (R)USLE, kljub velikima pomanjkljivostma ob njeni uporabi na ravni povodij:

- (R)USLE upošteva le sproščanje tal, ne pa tudi odplavljanje in odlaganje zemljin (Renard in sod., 1997) in
- račun topografskih parametrov je zapleten (Hickey, 2000), še posebej pri kompleksni topografiji (van Oost in sod., 2000).

Drugo skupino tvorijo modeli, ki temeljijo na fizikalnih načelih. EUROSEM (Morgan in sod., 1998), EROSION-3D (Schmidt, 1999), LISEM (De Roo in sod., 1996), WEPP (Flanagan in Nearing, 1995) in SWAT (Neitsch in sod., 2005) so tisti procesno orientirani modeli, ki se stalno razvijajo in nadgrajujejo. Model SWAT vsebuje tudi združene parametre (semi-lumped model), saj njegov modul za erozijo tal temelji na modificirani enačbi USLE – MUSLE (Williams in Berndt, 1977). Prvi trije navedeni modeli napovedujejo izgubo tal ob

posameznih erozivnih dogodkih na majhnih povodjih, medtem ko sta zadnja dva modela primerna za dolgoročne in kratkoročne (dnevne) napovedi na velikih povodjih. Procesno orientirani modeli so v splošnem podatkovno in računsko zahtevni zaradi njihovega fizikalnega ozadja, kar omejuje njihovo širšo rabo pri gospodarjenju s povodji, so pa zato zelo uporabni pri podrobnih oz. laboratorijskih raziskavah kot orodje za pridobivanje novih vedenj o erozijskih procesih (Kirkby, 1998).

2.5 EROZIVNOST PADAVIN IN ODTOKA

Erozivnost padavin in odtoka je sposobnost padavin in posledičnega površinskega odtoka padavin, da "trgajo" oz. sproščajo talne delce od matičnih tal, kar je predpogoj za erodiranje oz. odnašanje talnih delcev. Imenujemo jo tudi podnebni oz. hidrološki dejavnik erozije tal. Erozivnost padavin in odtoka je odločilen dejavnik za erozijske procese (Mannaerts in Gabriels, 2000). Izhodiščna opredelitev erozivnosti padavin in odtoka je bila postavljena v okviru metodologije USLE (Wischmeier in Smith, 1965), kjer jo poznamo kot dejavnik R . V svetovni literaturi se je kot krajši naziv za dejavnik R prijel tudi izraz erozivnost padavin. Kljub temu, da je pri zadnjem izrazu izpuščena beseda odtok, se po navadi pri navedbi izraza erozivnost padavin misli na erozivnost, ki je posledica tako padavin kot površinskega odtoka. V enakem smislu bomo v nadaljevanju besedila uporabljali krajši naziv – erozivnost padavin. Lahko bi bili še bolj natančni in uporabljali izraz erozivnost dežja, saj je erozivna sposobnost med vsemi vrstami padavin pripisana le dežju, a smo se odločili za uporabo bolj splošnega izraza, kar je tudi dosedanja praksa v Sloveniji.

Erozivnost padavin je odvisna od treh značilnosti padavin:

- intenzivnosti padavin, ki pomeni količino padavin v enoti časa [mm/h],
- energije padavin, ki pomeni kinetično energijo vseh dežnih kapelj in je odvisna od porazdelitve velikosti dežnih kapelj po velikosti in njihove hitrosti padanja, in
- trajanja padavin oz. naliva.

Energija padavin neposredno vpliva na sproščanje talnih delcev s površine tal. Količina padavin kot značilnost posameznega padavinskega dogodka, ki je dejansko izpeljanka iz dveh osnovnih značilnosti padavin – intenzivnosti in trajanja padavin, se v metodologiji (R)USLE uporablja kot kriterij za določanje erozivnih dogodkov. Tako med erozivne dogodke štejemo vse deževne dogodke, pri katerih se je v šestih urah akumuliralo vsaj 12 mm padavin oz. v 15 minutah vsaj 6 mm padavin (Wischmeier in Smith, 1978).

V okviru metodologije (R)USLE je erozivnost padavin R [$\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$] opredeljena kot letno povprečje vsote produktov kinetične energije padavin E in maksimalne 30-minutne

intenzitete padavin I_{30} erozivnih dogodkov ed , ki so nastopili v daljšem časovnem obdobju trajanja N let (Renard in sod., 1997):

$$R = \frac{\sum_{ed} E \cdot I_{30}}{N} \quad (2.4)$$

Kinetična energija padavin je lahko merjena, kar je načeloma zelo redko, lahko pa se izračuna iz intenzivnosti padavin, o čemer bo tekla beseda v poglavju 2.8. Za račun erozivnosti padavin torej potrebujemo merjene podatke o intenzivnosti padavin s časovno ločljivostjo krajšo od 30 minut, zaželeni pa so vsaj 15-minutni podatki (Agnese in sod., 2006). Tovrstni podatki se po navadi beležijo v precej manj točkah kot dnevne višine padavin, v Sloveniji je 37 merilnih mest z registracijo 5-minutnih padavin in 188 merilnih mest, kjer se beleži dnevna višina padavin (Goršak in Mikoš, 2008). Zato je veliko avtorjev poskušalo izdelati oceno erozivnosti padavin na podlagi dnevnih ali mesečnih višin padavin, nekateri pa so pri računih upoštevali tudi podatke o temperaturi zraka.

Arnoldus (1980) je kot dober približek letne erozivnosti R predlagal modificiran Fournierjev indeks – MFI , ki se izračuna iz mesečnih padavinskih podatkov p_j in srednje letne višine padavin P_Y :

$$MFI = \sum_{j=1}^{12} \frac{p_j^2}{P_Y} \quad (2.5)$$

Med avtorji, ki so skušali oceniti porazdelitev erozivnosti padavin skozi leto sta tudi Petkovšek in Mikoš (2004). Uporabila sta enačbo za račun mesečne erozivnosti padavin R_j na podlagi dnevnih višin padavin P_d :

$$R_j = a_j \cdot \sum_j P_d^{b_j} \quad (2.6)$$

in iz merjenih podatkov (v Portorožu) izpeljala mesečne vrednosti koeficientov a_j in b_j . Koeficient a_j je odvisen od srednje mesečne temperature in je zato spremenljivka časa in prostora (Richardson in sod., 1983). Brown in Foster (1987) sta pokazala, da je koeficient b_j pri teoretični porazdelitvi padavinskih delcev enak 2, v splošnem pa ta zajema vrednosti med 1,5 in 2,5 (Bagarello in D'Asaro, 1994; Bhuyan in sod., 2002).

Loureiro in Coutinho (2001) sta predlagala nekoliko enostavnejšo enačbo za račun mesečnih erozivnosti padavin R_j na jugu Portugalske:

$$R_j = 7,05 \cdot rain_{10} - 88,92 \cdot days_{10} \quad (2.7)$$

Pri tem je $rain_{10}$ [mm] mesečna vsota padavin za dneve s padavinami v višini 10 mm ali več, $days_{10}$ [-] pa število dni v mesecu s padavinami v višini 10 mm ali več.

2.6 PADAVINE

2.6.1 Nastanek padavin

Padavine nastajajo v oblakih. Oblaki so množica delcev, ki nastajajo ob dviganju zraka z utekočinjanjem – kondenzacijo ali depozicijo vodne pare na kondenzacijskih jedrih aerosola (npr. Rakovec in Vrhovec, 2000). Oblačni delci imajo tipičen premer 10 μm in v mirnem ozračju počasi padajo s hitrostjo okoli 1 cm/s. Zračni tokovi premikajo oblake in oblačne delce tako v vertikalni kot v horizontalni smeri. Padavine se začnejo, kadar delci v oblakih zrastejo do velikosti padavinskih kapelj oz. padavinskih snežnih kristalov (Rakovec in Vrhovec, 2000). Tedaj je hitrost padanja kapelj večja od hitrosti vzgornika oz. dvigajočega se zraka in zato se izločajo iz oblakov.

Pri nastanku padavin sta bistvena dva mehanizma: rast ledenih kristalov na račun podhlajenih kapljic in koalescenca oz. zlivanje kapljic. V nadaljevanju bosta oba mehanizma povzeta po navedbah Rakovca in Vrhovca (2000).

2.6.1.1 Rast ledenih kristalov na račun podhlajenih kapljic

Rast ledenih kristalov na račun podhlajenih kapljic je bistveni vzrok za nastanek padavin v relativno hladnih oblakih (npr. Rakovec in Vrhovec, 2000). V vertikalno razsežnih oblakih zmernih širin (kumulusi, kumulonimbusi, nimbostratusi) se v različnih višinah nahajajo različni oblačni delci: na vrhu oblaka so ledeni kristali, v sredini podhlajene kapljice, spodaj – pri bazi oblaka – pa nepodhlajene kapljice. Pri temperaturah pod lediščem je lahko voda podhlajena ali zmrznjena, nasičeni parni tlak nad podhlajeno vodo pa večji od nasičenega parnega tlaka nad ledom pri enaki temperaturi. Če se ledeni kristal pojavi v območju oblaka, kjer prevladujejo podhlajene kapljice, bo okoliški zrak za ledeni kristal prenasičen in na kristalu se bo začela deponirati vodna para. Kristal se bo rahlo ogrel zaradi sproščanja latentne toplote, ki bo defundirala v okolico, iz okolice pa bo na kristal z difuzijo pritekala vodna para. Parni tlak okolice se bo znižal zaradi depozicije vodne pare na ledeni kristal in posledično bo novi parni tlak za podhlajene kapljice nenasičen. Podhlajene kapljice bodo tako začele izhlapevati, vodna para pa se bo deponirala na ledenem kristalu, ki bo tako pridobival na

velikosti. Zaradi večanja ledenega kristala bo ta hitreje padal kot okoliške kapljice in tako se bo sčasoma preselil v nižje plasti oblaka.

V zmernih geografskih širinah v višjih delih oblaka vedno sneži. Kakšne padavine bodo prispele do tal, pa je odvisno od temperaturnih in vlažnostnih okoliščin.

2.6.1.2 Koalescenca – zlivanje kapljic

Pogoj za pojav koalescence je prisotnost različno velikih delcev v oblaku. Takšno stanje se lahko vzpostavi ob rasti ledenih kristalov na račun podhlajenih kapljic ali zaradi prisotnosti različno velikih kondenzacijskih jeder. V zelo topli tropski troposferi nastajajo kapljice različnih velikosti tudi zaradi vpliva ukrivljenosti površine kapljic na spremembe nasičenega parnega tlaka. Nad majhnimi kapljicami je nasičeni parni tlak višji od tistega nad večjimi kapljicami zaradi vpliva površinske napetosti ob velikih ukrivljenostih pri majhnih kapljicah. Zato je ob prisotnosti različno velikih kapljic v oblaku nasičeni parni tlak v okolici majhnih kapljic za nekoliko večje kapljice že prenasičen. Tako se na velikih kapljicah začne izločati vodna para iz zraka in te začnejo rasti. Ker je posledično manj vlage v zraku, postane okolica za majhne kapljice nenasičena in te začnejo izhlapevati – zmanjšujejo se. Na ta način se večja delež večjih kapljic oz. spreminja porazdelitev kapljic po velikosti. Ta proces je razmeroma počasen, saj so razlike v nasičenem parnem tlaku majhne.

V takšnem okolju lahko pride do zlivanja kapljic, saj imajo večje kapljice višjo hitrost padanja od majhnih kapljic. Večje kapljice tako dohitevajo manjše, se zaletavajo vanje in skupaj zlijejo v še večje kapljice oz. kaplje. Z naraščanjem velikosti kapelj raste tudi upor zraka na kaplje ob njihovem padanju: te se ploščijo oz. pridobivajo diskasto obliko. Z nadaljnjim porastom mase se kaplje horizontalno že tako sploščijo, da se kmalu razletijo na manjše kaplje, ki so še vedno velike v primerjavi z oblačnimi kapljicami. Vsaka od teh novih kapelj nadaljuje z rastjo zaradi zlivanja z manjšimi: na ta način se hitro množijo velike – padavinske kaplje. Za nastanek tovrstnih padavin mora biti oblak dovolj vodnat in vertikalno razsežen, da kapljice pri zlivanju lahko dovolj narastejo.

2.6.2 Vrste padavin

2.6.2.1 Delitev glede na izvor padavin

V splošnem padavine delimo na stratiformne in konvektivne (Houze, 1993). Stratiformne padavine padajo iz oblakov tipa nimbostratus, medtem ko konvektivne padavine iz oblakov tipa kumulunimbus in kumululus. Pri tej delitvi igra ključno vlogo gibanje zračnih mas. V stratiformnih oz. konvektivnih oblakih je vertikalna hitrost zraka manjša oz. višja od končne hitrosti padanja ledenih kristalov in snega, ki se giblje od 1 do 3 m/s (Tokay in Short, 1996). Močni dvigi zračnih mas v konvektivnih oblakih povzročajo hitro kondenzacijo vodne pare in posledično visoko koncentracijo tekoče vode v oblaku. Tako je koalescenca dominanten proces rasti padavinskih delcev v konvektivnih oblakih (Houze, 1997) in čas, ki je potreben za rast padavinskih delcev v konvektivnih oblakih, je veliko krajši kot v stratiformnih (Tokay in sod., 1999). Ob enem pa močna dvigovanja zračnih mas omogočajo daljše zadrževanje padavinskih delcev v oblaku, kar še dodatno poveča možnost za rast padavinskih delcev (Houze, 1997). Dejstvo, da so stratiformni oblaki horizontalno bolj enakomerni od konvektivnih (Tokay in Short, 1996), se s pridom izkorišča pri določevanju tipa padavin z metodami daljinskega zaznavanja, npr. z meteorološkim radarjem (Gamache in Houze, 1982), še posebej ob oslavljeni konvekciji, kjer padavine pridobivajo na stratiformnem značaju (Houze, 1997).

2.6.2.2 Delitev glede na opazovanja pri tleh

Na podlagi opazovanj ločimo tekoče in trdne padavine. S stališča padavinske erozije tal, ki je predmet naše raziskave, so pomembne tekoče padavine, ki jih glede na velikost prevladujočih padavinskih kapelj delimo v dve skupini. Prva oblika tekočih padavin je pršenje, kjer prevladujejo kapljice s premeri med 0,2 mm in 0,5 mm. Pogosto prši iz oblakov tipa stratus oz. nimbostratus. Druga oblika tekočih padavin je dež, kjer prevladujejo debelejšje kapljice s premeri nad 0,5 mm. Dež iz oblakov tipa nimbostratus je običajno enakomeren (stratiformne padavine), iz oblakov tipov kumululus in kumulunimbus (konvektivne padavine) pa bolj neenakomeren in pada v obliki nalivov (Rakovec in Vrhovec, 2000). Pršenje in dež se razlikujeta tudi po intenzitetah padavin: intenzitete pršenja, ki ga tvorijo drobne kapljice, so večinoma nižje od intenzitet dežja, ki je sestavljen iz debelejših kapljic.

2.7 PORAZDELITEV PADAVINSKIH DELCEV PO VELIKOSTI

Informacije o porazdelitvi padavinskih delcev po velikosti (angl. drop size distribution, v nadaljevanju krajše DSD) so zelo koristne pri ocenjevanju kinetične energije padavin in napovedovanju erozije tal (Lu in sod., 2008). Tako kot padavine tudi DSD zelo variira v času in prostoru. DSD je bistvena lastnost padavin (Caracciolo in sod., 2006), in sicer iz dveh razlogov. Prvič, oblika DSD razkriva fizikalno ozadje procesov nastanka padavin in drugič, DSD je bistvenega pomena pri določevanju večine parametrov ob daljinskem zaznavanju padavin z meteorološkim radarjem. Zato je veliko raziskovalcev v preteklosti delovalo na področju razvoja metod za merjenje DSD in matematičnega opisa oz. parametrizaciji DSD.

2.7.1 Meritve porazdelitve padavinskih delcev

Meritve DSD so zasnovane na različnih fizikalnih principih. Prvotne meritve so temeljile na tehniki, ki je za pridobivanje informacij o velikosti oz. premeru padavinskih delcev izrabljala trke padavinskih delcev ob tla. Metodo filtrskega papirja (angl. filter-paper) je vpeljal Wiener leta 1895 in izboljšal Blanchard leta 1953 (Sempere Torres in sod., 1992), Bentley pa je leta 1904 opravil meritve DSD s t. i. metodo prašnih kroglic (angl. flour pellet). Joss in Waldvogel sta leta 1967 vpeljala t. i. trkalni (angl. impact) disdrometer, prvi elektronski instrument za merjenje DSD, ki je bil sposoben na podlagi elektromehanskega principa določiti velikost padavinskih delcev iz merjene vertikalne sile ob trkih z instrumentom (Löffler-Mang in Joss, 2000).

Druga skupina instrumentov temelji na fotografski tehniki. Takšen instrument je na primer pluviospektrometer (Frank in sod., 1994) ali 2D video disdrometer (Schönhuber in sod., 1994), ki je poleg premera padavinskega delca sposoben meriti tudi hitrost njegovega padanja.

Tretja skupina instrumentov je bila ravno tako razvita v novejšem času. Njihova merilna metoda temelji na pridobivanju informacij ob svetlobnem sipanju (angl. optical scattering). Takšni instrumenti so npr. vertikalno usmerjeni mikrovalovni radar (angl. vertically pointing

micro rain radar) (Peters *in sod.*, 2002), optični disdrometer z lasersko diodo (Löffler-Mang in Joss, 2000) ali X-band radar (Prodi, 2000). Med njimi le zadnji ne omogoča merjenja hitrosti padajočih hidrometeorov.

2.7.2 Parametrizacija porazdelitve padavinskih delcev po velikosti

Eksponentna DSD (Marshall in Palmer, 1948) je bila dolgo časa razširjena kot edina analitična parametrizacija DSD:

$$N(D) = N_0 \cdot \exp(-\Lambda D) \quad (2.8)$$

pri čemer je $N(D)$ [$\text{mm}^{-1} \text{ m}^{-3}$] koncentracija oz. število padavinskih delcev s premerom D [mm] v enotnem volumnu, N_0 [$\text{mm}^{-1} \text{ m}^{-3}$] in Λ [mm^{-1}] pa sta parametra porazdelitve: odsek (angl. intercept) in naklon (angl. slope) eksponentne porazdelitve na semilogaritmični skali. Marshall in Palmer (1948) sta za dež predlagala konstantno vrednost parametra N_0 , in sicer $8000 \text{ mm}^{-1} \text{ m}^{-3}$, medtem ko za parameter Λ enačbo $\Lambda = 4,1 \cdot I^{-0,21}$ kot funkcijo intenzitete padavin I [mm h^{-1}] oz. $\Lambda = 3,67 / D_0$ kot funkcijo mediane premera padavinskih delcev D_0 [mm] (angl. median volume diameter). Waldvogel (1974) je enačbo posplošil s tem, da je tudi parametru N_0 pripisal spremenljivost. Poznejše raziskave Gunna in Marshalla ter Jossa in Gorija (Caracciolo *in sod.*, 2006) so pokazale, da eksponentna parametrizacija DSD v splošnem podcenjuje koncentracijo zelo drobnih in tudi zelo velikih padavinskih delcev. Zato je Ulbrich (1983) vpeljal triparametrsko gama parametrizacijo DSD:

$$N(D) = N_0 \cdot D^m \cdot \exp(-\Lambda D) \quad (2.9)$$

pri čemer je m [-] oblikovni parameter. Pomen ostalih dveh parametrov je sedaj nekoliko spremenjen: $\Lambda = (3,67+m) / D_0$ [mm^{-1}] in N_0 [$\text{mm}^{-1-m} \text{ m}^{-3}$]. Gama parametrizacija DSD se je ob drugih predlaganih parametrizacijah (npr. log-normalna, Feingold in Levin, 1986) nekako najboljše uveljavila, saj gama parametrizacija v posebnem primeru vključuje tudi eksponentno parametrizacijo ($m = 0$). Tako lahko parameter m razumemo kot odstopanje od eksponentne parametrizacije oz. ukrivljenost: negativne oz. pozitivne vrednosti m pomenijo konkavnost oz.

konveksnost DSD v semilogaritmičnem prostoru (Tokay in sod., 2001). Eksperimentalni poskusi in teoretične izpeljave so pokazale, da je triparametrna parametrizacija DSD primerna za uporabo v hidrologiji (Ashkar in sod., 1988) in opis sprememb DSD, ki se običajno pojavljajo v atmosferi (Caracciolo in sod., 2006).

Caracciolo in sod. (2006) so za račun treh parametrov gama parametrizacije predlagali metodo momentov DSD, saj ti predstavljajo večino integralnih parametrov DSD pri radarski meteorologiji (vsebnost tekoče vode, intenziteta padavin in radarska odbojnost). Moment porazdelitve n -tega reda je definiran kot:

$$M_n = \int_0^{\infty} N(D)(D)^n dD \quad \text{oz.} \quad (2.10)$$

$$M_n = N_0 \cdot \Gamma(n + m + 1) / \Lambda^{n+m+1} \quad (2.11)$$

za gama DSD. Pri tem Γ pomeni popolno gama funkcijo, D je premer padavinskih delcev v mm, parameter N_0 ima enoto mm^{-m-4} , $N(D)$ mm^{-4} , n -ti moment M_n pa mm^{n-3} . Tako se račun parametrov gama parametrizacije DSD izvede na podlagi momentov četrtega, petega oz. šestega reda, ki so fizikalno povezani z intenziteto padavin, kinetično energijo oz. radarsko odbojnostjo (Caracciolo in sod., 2006):

$$\Lambda = M_4 M_5 / (M_4 M_6 - M_5^2) \quad (2.12)$$

$$m = (\Lambda M_6 / M_5) - 6 \quad (2.13)$$

$$N_0 = M_5 \Lambda^{m+6} / \Gamma(m + 6) \quad (2.14)$$

Podoben izračun gama parametrov sta predlagala tudi Tokay in Short (1996) ob uporabi momentov tretjega, četrtega in šestega reda. Poznavanje gama parametrov je izrednega pomena za razlikovanje med padavinami stratiformnega in konvektivnega značaja. Na podlagi vrednosti teh parametrov so avtorji predlagali številne algoritme za ločevanje padavin različnega značaja in zaključke prevedli v vrednosti intenzitete padavin in radarske odbojnosti (Caracciolo in sod., 2006; Tokay in sod., 1999; Tokay in Short, 1996; Waldvogel, 1974).

2.8 KINETIČNA ENERGIJA PADAVIN

Količina tal, ki se sprostí od matične podlage v času padavinskega dogodka, je funkcija kinetične energije padavin (Fox, 2004), ki odraža lastnosti padavinskih delcev: maso, velikost, obliko in končno hitrost padanja (Sempere Torres in sod., 1992). Zato je kinetična energija sprejeta kot indikator sposobnosti padavin, da povzročajo erozijo tal, oz. kot indikator erozivnosti padavin. Kinetična energija je odvisna od porazdelitve padavinskih delcev, saj so padavine sestavljene iz padavinskih delcev oz. hidrometeorjev različnih velikosti. Veliki padavinski delci imajo večjo maso in končno hitrost padanja kot jo imajo manjši padavinski delci. Tako je za izenačitev erozijskega učinka nekaj velikih padavinskih delcev oz. kapelj potrebno neprimerno večje število drobnih padavinskih delcev oz. kapljic.

Izračuni erozije tal, ki so npr. uporabljeni v modelih WEPP (Flanagan in Nearing, 1995) ali (R)USLE (Wischmeier in Smith, 1978; Renard in sod., 1997), praviloma temeljijo na meritvah oz. parametrizaciji DSD iz 40. let prejšnjega stoletja (Laws in Parsons, 1943; Marshal in Palmer, 1948), saj so bile meritve DSD do pred kratkim prava redkost (Sempere Torres in sod., 1992). Razvoj novih metod za merjenje DSD (poglavje 2.7.1) je omogočil neposredne meritve kinetične energije padavin, a so tudi te razmeroma redke (Mikoš in sod., 2006), saj zahtevajo visoko razvite in drage instrumente (Fornis in sod., 2005). Tako se račun kinetične energije padavin praviloma opravi s pomočjo empiričnih enačb na podlagi merjenih intenzitet padavin, ki so razmeroma široko dostopne. Empirične povezave med specifično kinetično energijo in intenzivnostjo padavin ($KE-I$ funkcijske odvisnosti), ki so predlagane s strani mnogih avtorjev, v glavnem temeljijo na meritvah DSD, ki so bile opravljene na določeni lokaciji s specifičnimi podnebnimi značilnostmi in so veljavne na omejenem območju intenzitet padavin (Petan in sod., 2010). Upravičenost tovrstnih empiričnih povezav izhaja iz dejstev, da se mediana padavinskih delcev večja s porastom intenzitete padavin (Wischmeier in Smith, 1958), končna hitrost padanja padavinskih delcev pa raste z večanjem njihove velikosti (Gunn in Kinzer, 1949).

2.8.1 Račun kinetične energije padavin iz porazdelitve padavinskih delcev

Za račun kinetične energije E_k posamezne dežne kaplje sta potrebni dve njeni značilnosti: masa m_k in hitrost padanja v_k . Ob predpostavki krogelne oblike padajoče kaplje premera D in znani gostoti vode ρ lahko določimo njeno kinetično energijo iz naslednje enačbe:

$$E_k = \frac{1}{2} m_k v_k^2 = \frac{\pi \rho}{12} D^3 v_k^2 \quad (2.15)$$

Hitrost padanja dežnih kapelj lahko izmerimo ali pa jo povzamemo po regresijskih enačbah (Salles in sod., 2002), ki povezujejo končno hitrost padanja v_t [m/s] s premerom dežnih kapelj D [mm] in so veljavne za različne velikosti dežnih kapelj. Gunn in Kinzer (1949) sta na podlagi laboratorijskih meritev podala tabelo s končnimi hitrostmi padanja kapelj v odvisnosti od njihovega premera, ki je mnogim avtorjem služila kot izhodišče za izpeljavo regresijskih enačb. V praksi sta se najboljše uveljavili enačbi Ulbricha (1983) in Atlasa in sod. (1973):

$$v_t = 3,78 D^{0,67} \quad \text{in} \quad (2.16)$$

$$v_t = 9,65 - 10,3 \cdot \exp(-0,6D) \quad (2.17)$$

v uporabi pa so tudi druge enačbe (npr. Beard, 1976; Uplinger, 1981). Premer padajočih kapelj D lahko ravno tako pridobimo iz meritev ali parametrizacije DSD. Ob znani koncentraciji dežnih kapelj $N(D)$ [m⁻³ mm⁻¹] s premerom D [mm] lahko izračunamo specifično kinetično energijo padavin oz. množice dežnih kapelj na površinsko in časovno enoto e_A [J m⁻² h⁻¹] (Fox, 2004):

$$e_A = 3\pi\rho \cdot 10^{-7} \int N(D) D^3 [v(D)]^3 dD \quad (2.18)$$

pri čemer je $v(D)$ [m/s] hitrost padanja dežnih kapelj s premerom D . Z integracijo enačbe 2.18 po času trajanja posameznega erozivnega dogodka t dobimo kinetično energijo erozivnega dogodka E , ki je potrebna za račun erozivnosti padavin (enačba 2.4). Specifična kinetična energija padavin je lahko podana tudi kot energija na površinsko enoto in enoto količine

padavin e_B [$\text{J m}^{-2} \text{mm}^{-1}$]. Povezava med obema oblikama specifične kinetične energije je intenziteta padavin I [mm h^{-1}]:

$$e_A = e_B \cdot I \quad (2.19)$$

$$I = 6\pi \cdot 10^{-4} \int N(D) D^3 v(D) dD \quad (2.20)$$

2.8.2 Račun kinetične energije padavin s pomočjo empiričnih enačb

V primeru, da nimamo možnosti opravljati meritev DSD, lahko specifično kinetično energijo padavin ocenimo s pomočjo katere od množice predlaganih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so veljavne za specifično lokacijo in omejeno območje intenzitet padavin. Wischmeier in Smith (1958) sta prva predlagala enačbo za račun specifične kinetične energije e_B [$\text{J m}^{-2} \text{mm}^{-1}$] v odvisnosti od intenzitete padavin I [mm h^{-1}], ki je logaritemske oblike in je bila sprejeta za uporabo v okviru metodologije USLE (Wischmeier in Smith, 1965):

$$e_B = 11,87 + 8,73 \cdot \log_{10} I \quad (2.21)$$

Njuno delo je bilo navdih za mnoge poznejše raziskave na tem področju in mnogi avtorji so tako predlagali $KE-I$ funkcijske odvisnosti enake (Zanchi in Torri, 1980; Brandt, 1989), linearne (Sempere Torres in sod., 1992; Usón in Ramos, 2001), polinomske (Carter in sod., 1974), eksponentne (Rosewell, 1986; Brown in Foster, 1987; Coutinho in Tomás, 1995; Cerro in sod., 1997; Jayawardena in Rezaur, 2000; van Dijk in sod., 2002) ali potenčne (Uijlenhoet in Stricker, 1999; Steiner in Smith, 2000; Brodie in Rosewell, 2007) oblike. Večina teh enačb je razvidna iz preglednice 3.9 v poglavju 3.5.2.

Wischmeier in Smith (1978) sta pozneje predlagala konstantno vrednost za specifično kinetično energijo $e_B = 28,3 \text{ J m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ pri intenzitetah padavin višjih od 76 mm/h, saj so drugi avtorji opozarjali na fenomen zgornje meje kinetične energije kljub naraščanju intenzitete padavin (Hudson, 1963; Baruah, 1973; Carter in sod., 1974). Tako se je med vsemi oblikami $KE-I$ funkcijske odvisnosti kot superiorna oblika uveljavila triparametrna eksponentna enačba, ki jo je predlagal Kinnell (1980):

$$e_B = e_{\max} \cdot [1 - a \cdot \exp(-bI)] \quad (2.22)$$

saj edino ta oblika enačbe vsebuje tako zgornjo mejno vrednost ($e_{\max}$) pri visokih I kakor tudi spodnjo ($e_{\min} = e_{\max} \cdot [1 - a]$) pri nizkih I . Kljub temu, da $e_{\min}$ ne opisuje realnega stanja, je vpliv nizkih intenzitet na skupno kinetično energijo E erozivnega dogodka neprimerno manjši kot vpliv visokih intenzitet (van Dijk in sod., 2002), saj je pri računu E treba za vsak časovni interval množiti e_B z intenziteto padavin I .

2.9 PROSTORSKA PORAZDELITEV EROZIVNOSTI PADAVIN

Erozivnost padavin je najpomembnejši naravni dejavnik erozije tal, na katerega, če izvajamo nekontrolirani učinek podnebnih sprememb, človek skorajda ne more vplivati. Razvoj parametričnih modelov erozije tal je navdahnili mnoge avtorje k raziskovanju prostorske spremenljivosti dejavnikov erozije tal. Ob sočasnem razvoju geografskih informacijskih sistemov (GIS) in generalizaciji metod prostorske interpolacije so karte okoljskih parametrov in med njimi tudi karte dejavnikov erozije tal vse bolj pogoste. Karte prostorske porazdelitve erozijskih dejavnikov imajo neprecenljivo vrednost pri načrtovanju gospodarjenja s tlemi, saj omogočajo zgodnje prepoznavanje tistih območij, kjer so protierozijski ukrepi najnujnejši (Angulo-Martínez in sod., 2009). Orodja GIS se pogosto uporabljajo za kartiranje oz. interpolacijo dejavnikov enačbe RUSLE (Desmet in Govers, 1996; Fu in sod., 2005; Lim in sod., 2005; López-Vicente in sod., 2008). Za prostorsko interpolacijo znanih (merjenih, preračunanih oz. modeliranih) točkovnih vrednosti okoljskih parametrov so na voljo številne metode. Osrednji cilj nekaterih sodobnih raziskav (npr. Goovaerts, 1999; Beguería in Vicente-Serrano, 2006; Men in sod., 2008) je iskanje interpolacijske metode, ki daje najboljše napovedi erozivnosti padavin oz. se te kar najbolj prilagajajo dejanskim vrednostim interpoliranih parametrov.

Angulo-Martínez in sod. (2009) delijo prostorske interpolacijske metode na štiri skupine: globalne, lokalne, geostatistične in mešane. Med globalne metode sodi multipla regresija najmanjših kvadratov, ki temelji na iskanju empiričnih povezav med okoljskimi spremenljivkami, ki jih želimo interpolirati, in ostalimi prostorskimi spremenljivkami. Pri globalnih metodah so lokalne variacije zaznane kot šum, saj izdelava karte temelji na splošni strukturi spremenljivk v vseh obravnavanih točkah (Burrough in McDonnell, 1998). Po drugi strani pa lokalne metode pri interpolaciji upoštevajo zgolj vrednosti v bližnjih točkah, kjer so znane vrednosti spremenljivke, ki jo interpoliramo. Zato so lokalne metode močno odvisne od prostorske gostote in enakomernosti mreže znanih vrednosti spremenljivke. Ena najbolj znanih lokalnih metod je metoda inverznih razdalj (angl. inverse distant weighting – IDW), kjer so vrednosti v poljubni točki bolj podobne bližnjim kot pa oddaljenim točkam oz. so v obratnem sorazmerju z razdaljo do točk z znanimi vrednostmi. Glavna predpostavka geostatističnih oz. t. i. kriging metod je ta, da so zvezne okoljske spremenljivke preveč

iregularne, da bi bile modelirane z zveznimi matematičnimi funkcijami, in da je njihovo prostorsko spremenljivost mogoče bolje napovedati z verjetnostnimi ploskvami. Pri kriging interpolaciji se okoljska spremenljivka imenuje regionalizirana spremenljivka, ki je sestavljena iz odklonske (angl. drift) in naključne (angl. random), prostorsko korelirane komponente (Burrough in McDonnell, 1998). Glede na način, kako je modelirana odklonska komponenta regionalne spremenljivke, so predlagane različne metode kriging interpolacije. Med pogostejše uporabljenimi sodijo metode enostavnega (angl. simple), navadnega (angl. ordinary), univerzalnega (angl. universal) kriginga in t. i. ko-kriginga (angl. co-kriging). Mešane ali hibridne metode pa temeljijo na kombinaciji regresijskih in lokalnih oz. kriging interpolacijskih metod, ki tako izrabljajo sposobnost regresije, da ciljno spremenljivko postavi v razmerje z drugimi prostorskimi spremenljivkami, in tudi prostorske avtokorelacije, ki na lokalni ravni deluje na večino prostorskih spremenljivk (Hengl in sod., 2004). Tako so predlagane različne kombinacije interpolacijskih metod, med katerimi po uporabi izstopa kombinacija regresije in navadnega kriginga (Angulo-Martínez in sod., 2009). Zadnja stopnja prostorskega modeliranja je ocena standardne napake napovedi prostorske spremenljivke, čigar račun je nekoliko bolj zapleten, saj je tudi ta prostorsko spremenljiva (Goovaerts, 2001).

3 METODE

3.1 UVOD

V tem poglavju se najprej osredotočamo na podnebne značilnosti Slovenije s poudarkom na padavinah kot izhodišču za izbor merilnih mest, saj smo želeli z meritvami pokriti različna podnebna območja Slovenije. Po opisu merilnih mest sledi opis metod in uporabljenih instrumentov pri meritvah intenzitete padavin, porazdelitve padavinskih delcev in sproščanja tal. Nadalje se podrobneje ustavimo pri erozivnosti padavin in površinskega odtoka, in sicer pri njenem izhodišču oz. metodologiji (R)USLE za račun sproščanja tal, njenem izračunu s poudarkom na kinetični energiji padavin in pri njenem prostorskem modeliranju oz. interpolaciji.

3.2 PODNEBJE SLOVENIJE

3.2.1 Opredelitev podnebja

Splet meteoroloških pojavov in vrednosti meteoroloških elementov v določenem času in prostoru imenujemo vreme. Meteorološki elementi, ki se najbolj pogosto uporabljajo za opis vremena, so: temperatura, padavine, veter, zračni tlak, vlažnost, oblačnost in sončno obsevanje. Značilnosti vremena nad nekim geografskim območjem v daljšem časovnem obdobju pa opredeljujejo klimo oz. podnebje istega geografskega območja (Rakovec in Vrhovec, 2000). Podnebne značilnosti so torej povprečja meteoroloških elementov in njihova variabilnost ter ekstremi, pogostost tipičnih vremenskih stanj in odstopanj od povprečij ter morebitna sezonskost meteoroloških elementov v časovnem obdobju nekaj desetletij. Po priporočilu Svetovne meteorološke organizacije (v nadaljevanju besedila: WMO) se za prikaz podnebnih razmer uporablja 30-letno obdobje.

3.2.2 Podnebni tipi Slovenije

O podnebjju običajno govorimo v okviru biosfere oz. sistema zrak (atmosfera)–voda (hidrosfera)–tla (litosfera). Od tod izhajajo tudi dejavniki, ki opredeljujejo podnebne spremenljivke. To so: fizikalne in kemijske lastnosti ozračja, sončno obsevanje, lastnosti tal, zračni in morski tokovi ter relief.

Najpomembnejši dejavniki, ki določajo podnebje v Sloveniji, so: geografska lega, razgibanost reliefa, usmerjenost gorskih grebenov in bližina morja (ARSO, 2006). Posledica tega je velika pestrost slovenskega podnebja, ki se kaže v razlikah med podnebnimi spremenljivkami in njihovi dnevni, sezonski in večletni spremenljivosti. V Sloveniji tako prevladujejo trije podnebni tipi, in sicer:

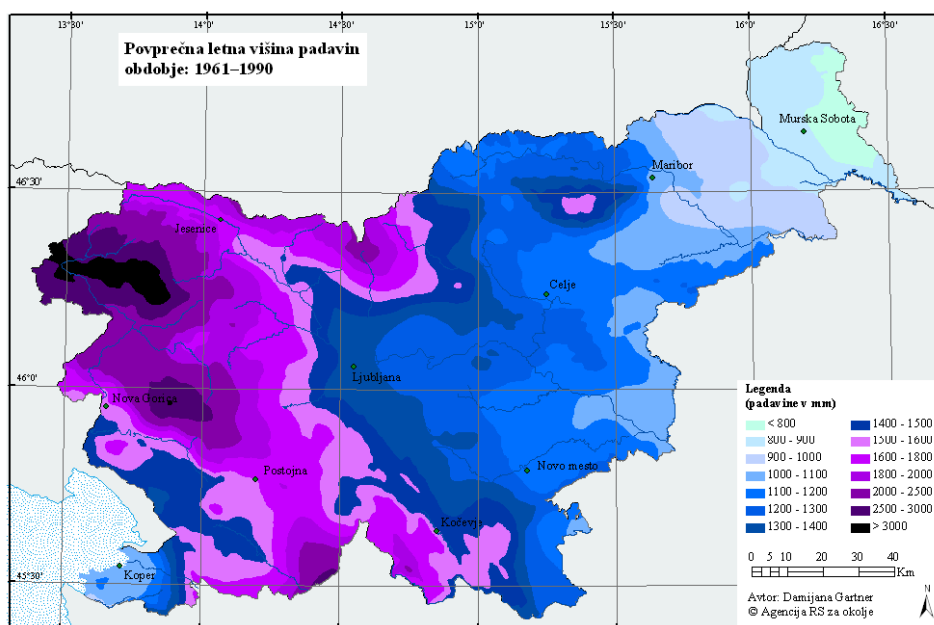
- zmerno celinsko oz. subpanonsko podnebje v vzhodni Sloveniji,
- subalpsko podnebje v nižjih legah oz. alpsko podnebje v višjih legah osrednje Slovenije,
- submediteransko podnebje zahodno od Alpsko-Dinarske gorske pregrade.

3.2.3 Značilnosti padavin v Sloveniji

S stališča erozivnosti padavin in odtoka so padavine najpomembnejša podnebna spremenljivka. K letni bilanci erozivnosti padavin največ prispevajo zelo intenzivne padavine kratkega trajanja (plohe in nevihte) in močne padavine nekoliko daljšega trajanja (prehodi front). Zato se bomo tukaj osredotočili predvsem na prostorsko in časovno porazdelitev padavin v Sloveniji in njihovo intenzivnost v zadnjem referenčnem obdobju, tj. med letoma 1961 in 1990, ter na trende padavin, ki se v luči podnebnih sprememb izpostavljajo v zadnjih letih. Na kratko bomo omenili tudi snežne padavine, saj so te, kot smo že ugotovili, precej nepomembne za erozivnost padavin in jih je zato treba pri računu izvzeti.

3.2.3.1 Prostorska porazdelitev padavin

Razgibanost reliefa v Sloveniji močno vpliva na prostorsko porazdelitev padavin. Sloveniji največ padavin prinašajo vlažne in relativno tople zračne mase, ki se preko države pomikajo z jugozahodnimi vetrovi in tako pravokotno trčijo na orografsko pregrado, kjer se zračne mase dvigajo in posledično ohlajajo. Zato je Alpsko-Dinarsko pregrada deležna precejšnjih padavin, ki na najvišjih legah presežejo 3000 mm letno. Količina padavin se proti morju zmanjšuje in doseže minimum v Slovenski Istri, kjer v povprečju pade približno 1000 mm letno. Vzhodno od gorske pregrade se količina padavin postopoma zmanjšuje in znaša na Ljubljanskem polju približno 1400 mm, v Celjski kotlini 1150 mm, na Dravskem polju 1000 mm, na skrajnem vzhodu države, v Pomurju, pa tudi pod 800 mm letno. Vse omenjene vrednosti izhajajo iz padavinske karte Slovenije za zadnje referenčno obdobje (slika 3.1).

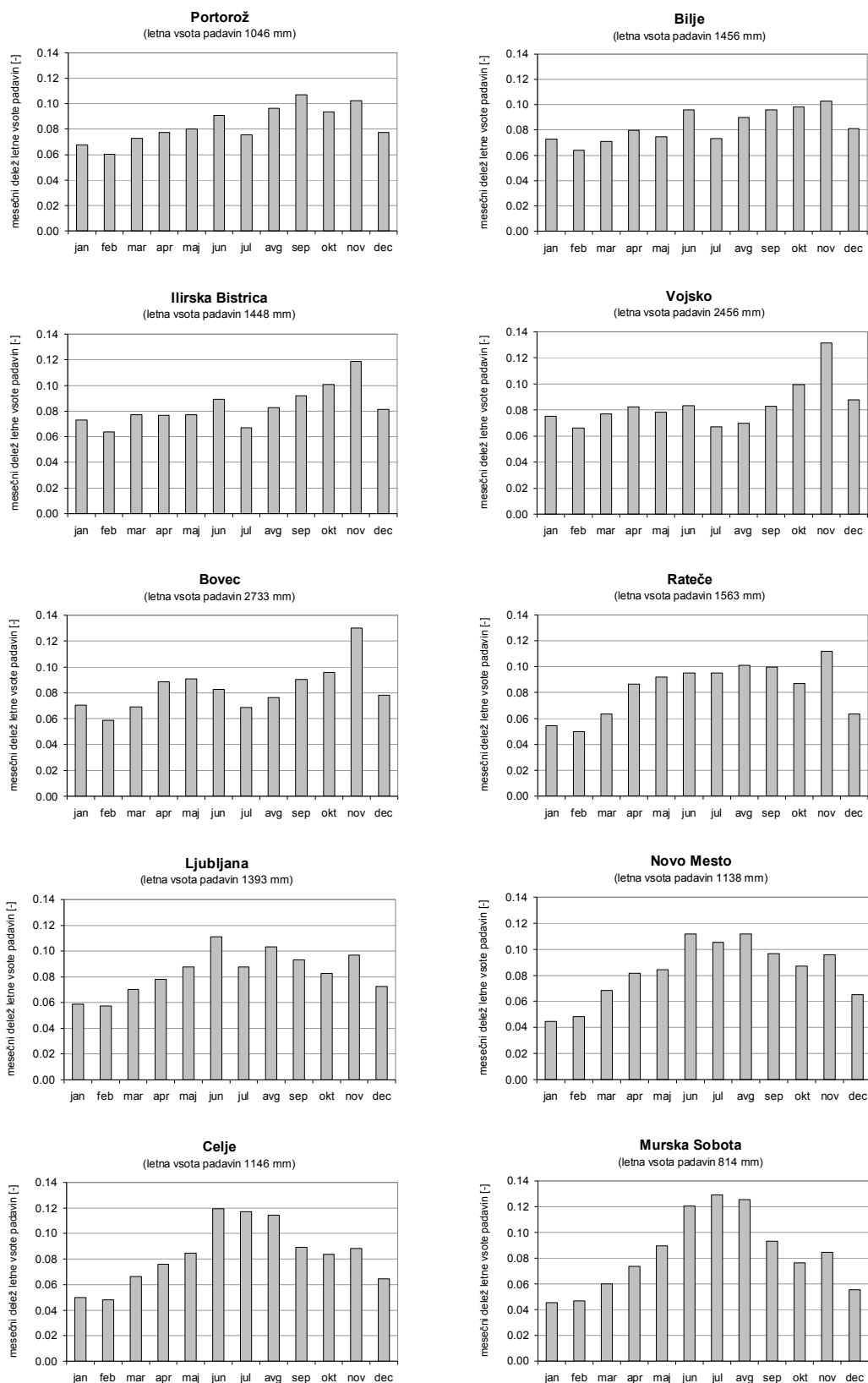


Slika 3.1: Povprečna letna višina padavin za referenčno obdobje 1961–1990 (www.arso.gov.si).

Figure 3.1: Average annual precipitation for the 1961–1990 reference period (www.arso.gov.si).

3.2.3.2 Časovna porazdelitev padavin

V Sloveniji so padavine relativno dobro porazdeljene preko celega leta, kljub temu pa je mogoče opaziti nekaj razlik med meseci oz. sezonskih vzorcev (slika 3.2) v odvisnosti od bližine morja in Alpsko-Dinarske pregrade oz. prevladujočega podnebne tipa. Na zahodu države je največ padavin izmerjenih v jesenskih mesecih ob prehodih sredozemskih ciklonov s frontami. Opazimo, da čim bližje smo gorski pregradi, tem bolj izrazita je ta jesenska konica (slika 3.2, Ilirska Bistrica, Vojsko, Bovec). Vzhodno od gorske pregrade se jesenska konica zmanjšuje z oddaljenostjo od morja oz. z večanjem vpliva celinskega podnebja: povečuje se delež padavin v poletnem času kot posledica neviht in ploh, ravno tako pa se proti vzhodu zmanjšuje delež padavin v zimskih mesecih. Tako imamo na skrajnem vzhodu države izrazit zimski minimum in izrazit poletni maksimum padavin (slika 3.2, Novo Mesto, Celje, Murska Sobota).



Slika 3.2: Mesečni deleži letne višine padavin na izbranih meteoroloških postajah za obdobje 1961–1990.
Figure 3.2: Monthly portions of annual precipitation for some meteorological stations, 1961–1990.

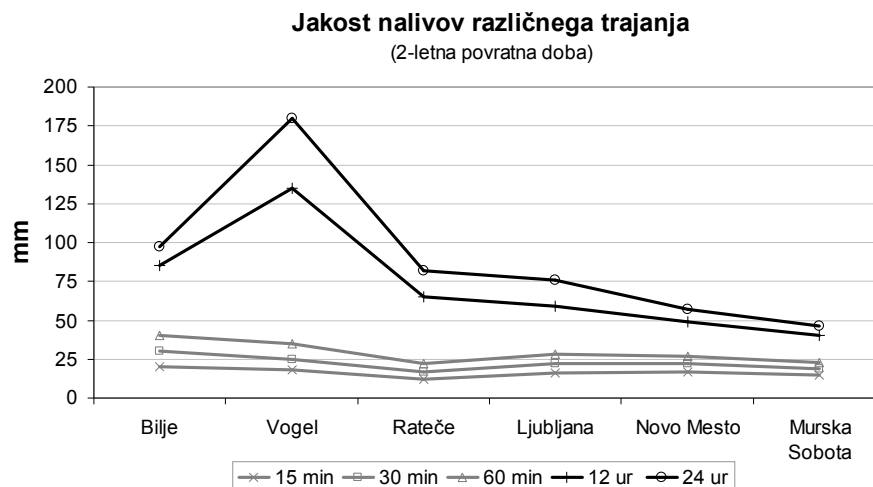
3.2.3.3 Trendi padavin

ARSO ugotavlja (ARSO, 2006), da na območju Slovenije obstajajo enotni prostorski vzorci statistično značilnih trendov glede na merjene količine padavin na meteoroloških postajah v obdobju 1971–2005, in sicer na ravni sezon. Jeseni se količina padavin povečuje po vsej državi z izjemo Bele Krajine, Koroške in okolice Brežic, kjer spremembe niso statistično značilne. Pozimi se količina padavin zmanjšuje v zahodni Sloveniji, na Koroškem in Pohorju, medtem ko na vzhodu države ni sprememb. Trend zmanjševanja padavin se po vsej državi, razen na severovzhodu, nadaljuje tudi spomladi. Nekoliko drugače je poleti, ko sprememb ni opaziti zgolj v višjih legah Alp, drugje pa se količina padavin zmanjšuje. Na letni ravni je slika statistično značilnih trendov količine padavin prostorsko precej nejasna. Tako lahko zaključimo, da so trendi padavin trenutno opazni zgolj kot časovna prerazporeditev padavin med sezonami: jesenski višek se povečuje, v preostalem delu leta pa se količina padavin zmanjšuje.

3.2.3.4 Intenzivnost padavin

Plohe in nevihte so v Sloveniji nekaj običajnega: so lokalnega značaja in trajajo od nekaj minut pa do ure. Pas neviht poteka iz Furlanije preko hribovitega dela Slovenije in sega na Štajersko (Rakovec in Vrhovec, 2000). Na posameznih merilnih postajah se letno zabeleži tudi do 50 nevihtnih dni. Njihova jakost se v slovenskem prostoru le malo spreminja, nekoliko močnejše kratkotrajne nalive pa lahko pričakujemo v mediteranskem pasu (slika 3.3, krivulje 15-, 30- in 60-minutnih nalivov).

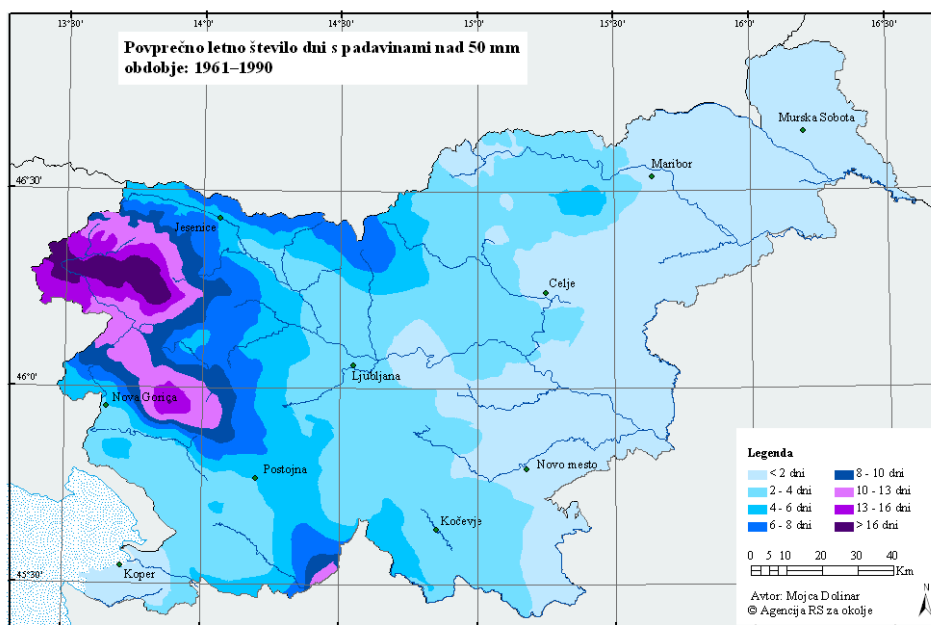
Padavine z močnimi nalivi daljšega trajanja (12 do 24 ur) se pojavijo ob prehodih front. Tako lahko nekajurni nalivi prispevajo precejšen delež celoletne povprečne količine padavin, tudi več kot 10 %. Jakost tovrstnih nalivov se precej spreminja v prostoru (slika 3.3, krivulji za 12- in 24-urne nalive). Razmerja med jakostjo nalivov so po prostoru nekako podobno razporejena kot razmerja dolgoletnega povprečja količine padavin: v Julijskih Alpah (Vogel) je jakost dolgotrajnejših nalivov oz. letne količine padavin približno 3-krat večja od tiste v Pomurju (Murska Sobota). Tudi v tem primeru je mediteranski pas (Bilje) izjema, saj lahko tam pričakujemo za približno tretjino višje jakosti nalivov kot na območjih brez mediteranskega vpliva in enako količino letnih padavin (Ljubljana).



Slika 3.3: Jakost nalivov z 2-letno povratno dobo različnega trajanja (podatki povzeti po ARSO, 2006).

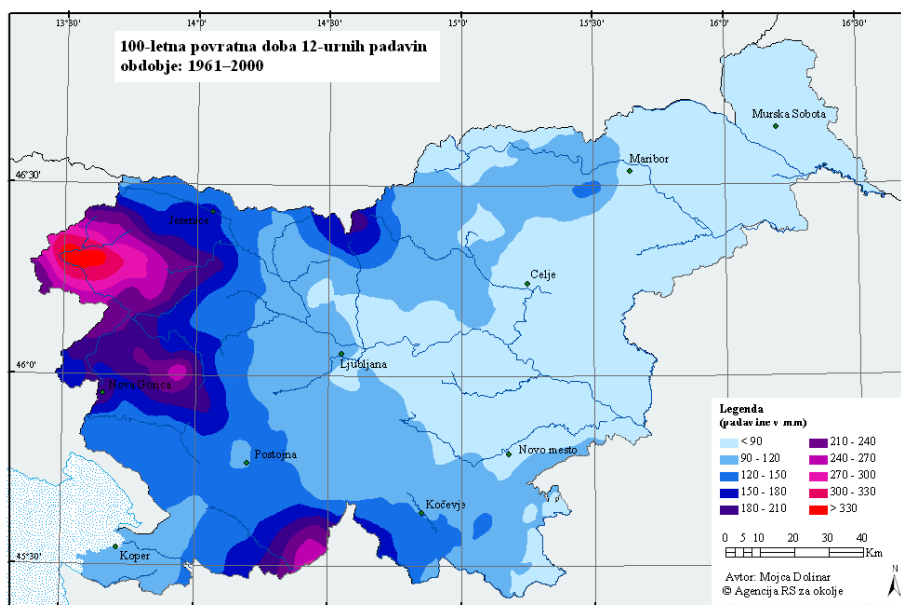
Figure 3.3: Rainstorm strength with 2-year return period with different duration (according to ARSO, 2006).

Sliko o pogostosti in jakosti močnih nalivov daljšega trajanja si lahko ustvarimo tudi iz naslednjih dveh kart (sliki 3.4 in 3.5), kjer je prikazana prostorska porazdelitev povprečnega letnega števila dni s padavinami nad 50 mm in 12-urnih padavin s 100-letno povratno dobo.



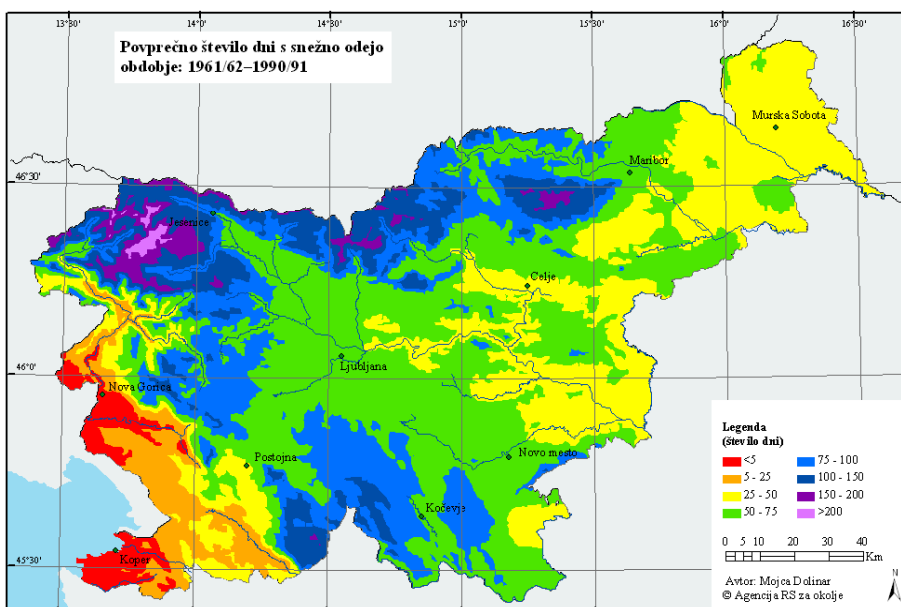
Slika 3.4: Povprečno letno število dni s padavinami nad 50 mm za obdobje 1961–1990 (www.arso.gov.si).

Figure 3.4: Average number of days with precipitation over 50 mm in the 1961–1990 period (www.arso.gov.si).



Slika 3.5: 12-urne padavine s 100-letno povratno dobo za obdobje 1961–1990 (www.arso.gov.si).

Figure 3.5: 12-hour precipitation with 100-year return period for the 1961–1990 period (www.arso.gov.si).



Slika 3.6: Povprečno število dni s snežno odejo za obdobje 1961/62–1990/1991 (www.arso.gov.si).

Figure 3.6: Average number of days with snow cover for the 1961/62–1990/1991 period (www.arso.gov.si).

3.2.3.5 Sneg

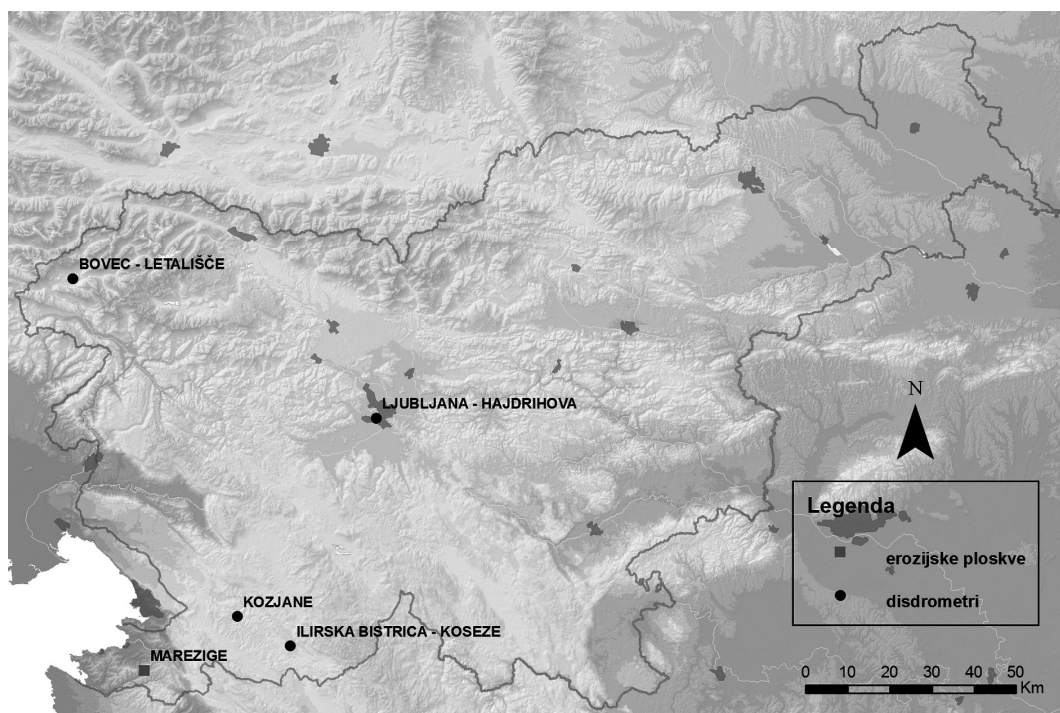
Sneg je običajen pojav v zimskem času na celotnem območju Slovenije, razen v predelih ob morju. V višjih gorskih predelih je snežna odeja prisotna skozi celo leto, najmanj je je seveda v poletnem času. Prisotnost snežne odeje v Sloveniji se vidi na sliki 3.6, kjer je prikazana porazdelitev števila dni s snežno odejo po Sloveniji.

3.3 OPIS MERILNIH MEST

Pri raziskovalnem delu smo v osnovi opravljali dve vrsti meritev:

- meritve sproščanja tal na erozijskih ploskvah in
- meritve porazdelitve padavinskih delcev z optičnimi disdrometri.

Te so bile podkrepljene še z meritvami intenzitete padavin, ki smo jih bodisi izvajali sami bodisi smo podatke o intenziteti padavin pridobili s strani ARSO. Meritve sproščanja tal so se odvijale v Slovenski Istri, na merilnem mestu Marezige, medtem ko smo meritve porazdelitve padavinskih delcev opravili na naslednjih lokacijah: v Brkinih na dveh merilnih mestih (Kozjane in Ilirska Bistrica – Koseze), v Ljubljani in Bovcu.



Slika 3.7: Lokacije meritev sproščanja tal in porazdelitve padavinskih delcev.

Figure 3.7: Locations of the soil loss and drop-size distribution measurements.

Pri opisu podnebnih razmer na merilnih mestih smo si pomagali tudi s padavinskimi podatki, ki so javno dostopni v spletnem arhivu meteoroloških podatkov ARSO. Splošno sliko o količini padavin in njihovi porazdelitvi smo si ustvarili iz letnih in mesečnih višin padavin. Iz podatkov o mesečnih in dnevniških maksimumih ter številu dni z vsoto padavin, ki ni manjša od 10 mm oz. 20 mm, si lahko ustvarimo grobo oceno o številu erozivnih dogodkov in velikosti

ekstremnih padavin na obravnavanem območju, ki prispevajo največji delež k bilanci erozivnosti padavin.

3.3.1 Slovenska Istra

Marezige se nahajajo v Slovenski Istri približno 10 km jugovzhodno od Koprškega zaliva. Meritve sproščanja tal so se odvijale na južnem pobočju gričevja, ki spada k povodju reke Dragonje oz. podpovodju reke Rokave. Meritve v Marezigah so se odvijale v okviru raziskav, ki že dalj časa potekajo na eksperimentalnem povodju reke Dragonje. V času trajanja meritev sproščanja tal je na eksperimentalnem povodju potekalo še spremljanje intenzitete padavin (na šestih lokacijah) in vodostaja reke Dragonje v spodnjem toku.

Globevnik (2001) povzema **geološke in pedološke lastnosti** povodja Dragonje po Stepančič in sod. (1984). Eocenski flišni sedimenti, za katere je značilno menjavanje laporjev in peščenjakov z manjšimi vložki breč, numilitnih apnencev in apnenčastih skladov, tvorijo geološko podlago skoraj celotni površini povodja Dragonje. Tip tal na flišu je odvisen od načina menjavanja laporja in peščenjaka in od krovne plasti, ki je lahko peščenjak ali lapor. Tam, kjer so plasti laporja debelejšje od plasti peščenjakov ali kjer laporji prevladujejo v krovni plasti, so tla močno podvržena preperevanju. Ker so laporji glinaste teksture, so takšna tla erozijsko zelo neodporna. V procesu pedogeneze flišne podlage v Slovenski Istri so se zaporedno izoblikovale naslednje vrste tal: regosol, karbonatna rendzina, evtrična rjava tla in izprana, mestoma psevdoglejna tla. Na pobočjih so zaradi kmetijske rabe nastala antropogena, rigolana tla na flišu, ki so na celotnem povodju Dragonje druga najbolj zastopana tla (9 % delež) in jih najdemo predvsem na zapuščenih in večinoma zaraščenih terasah. Tla, ki prevladuje na povodju Dragonje, so karbonatna rendzina na flišu in so prisotna v 67 % deležu.

V Marezigah je bilo na nadmorski višini 175 m postavljenih osem erozijskih ploskev za merjenje sproščanja tal. Od tega sta bili dve ploskvi postavljeni na neporaščenih tleh v mladem oljčniku, dve na travniku v zaraščanju in štiri v gozdu. Tla, na katerih so bile postavljene erozijske ploskve, se glede na Pedološko karto Slovenije (2005) uvrščajo med rigolana tla na flišu. Za takšna tla je značilno, da so razširjena na lapornatem flišu do

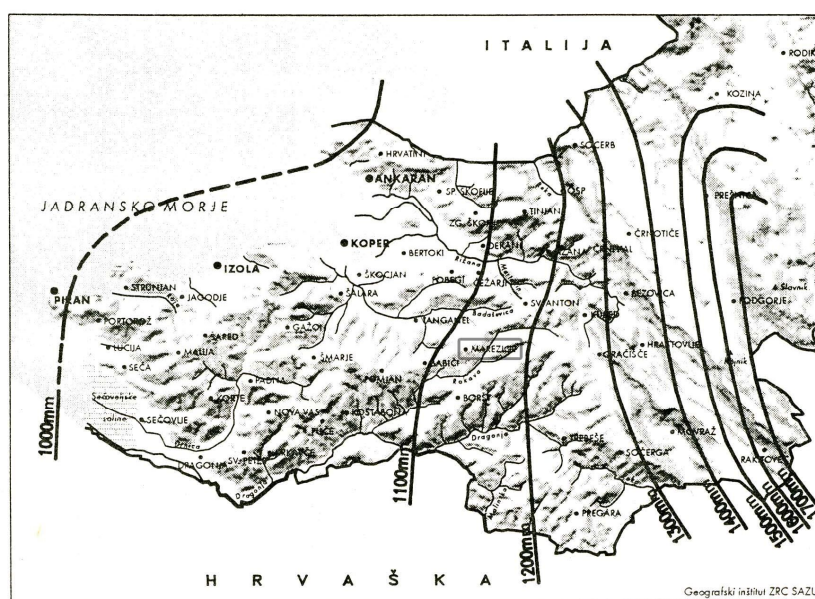
nadmorske višine 200 m in so do 80 cm globoka, sestavljena iz temno sivorjave ilovnate gline grudičaste strukture in drobljive konsistence. Zaradi velikega deleža gline so tla teksturno težka, a vseeno dobro prepustna za vodo.

Po drugi svetovni vojni se je vpliv izseljevanja prebivalstva iz Slovenske Istre odrazil v intenzivnem zaraščanju površin z gozdom zaradi opuščanja kmetijskih in travniških površin. Globevnik (2001) navaja, da je delež gozda in površin v zaraščanju leta 1948 znašal 29 %. Glede na CLC 2006 **pokrovnost tal** v Sloveniji (MOP-ARSO, 2007) je delež tovrstnih površin (gozdne in deloma ohranjene naravne površine) na povodju Dragonje prevladujoč in znaša 63 %. Zato so bile erozijske ploskve nameščene tudi na travniku v zaraščanju (večinoma z robidovjem, akacijami in listavci) in v mešanem gozdu.

Podnebje obalnih in notranjih predelov Slovenske Istre se v domači strokovni literaturi pogosto omenja kot submediteransko oz. omiljeno sredozemsko podnebje (Ogrin, 1995), saj se od tipično mediteranskega podnebja razlikuje v padavinskem režimu. Za mediteransko podnebje sta značilna izrazito sušno poletje in izrazito mokra zima, v Slovenski Istri pa so padavine bolj ali manj enakomerno porazdeljene skozi celo leto. Temperaturne značilnosti submediteranskega podnebja (po Ogrinu, 1995) so: povprečne letne temperature nad 10 °C, povprečne januarske med 0 in 4 °C in julijske med 19 in 22 °C. Glede na padavinsko karto Slovenske Istre (slika 3.8), ki jo je izdelal Ogrin (1995) glede na podatke iz obdobja 1958–1987, prejmejo obalni predeli povodja Dragonje v povprečju okrog 1000 mm padavin letno. Proti notranjosti povodja količina padavin narašča in na vzhodnem robu doseže 1300 mm. Na območju Marezig je v povprečju pričakovati 1150 mm padavin letno. Iz slike 3.9 je razvidno, da primarni padavinski maksimum nastopi jeseni, sekundarni pa na prehodu med pomladjo in poletjem. Tudi padavinska minimuma sta dva: primarni pozimi in sekundarni poleti. Minimalne letne vsote padavin v povodju dosežejo približno 30 % nižje vrednosti od povprečnih, medtem ko maksimalne približno 40 % višje vrednosti od povprečnih. V Slovenski Istri so snežne padavine precej redke in se snežna odeja obdrži v povprečju do 5 dni na leto (slika 3.6).

Ob primerjavi padavinskih podatkov, ki jih navaja Ogrin (1995) za obdobji 1951–1980 oz. 1958–1987, z novejšimi podatki (obdobje 1987–2009), ki so dostopni v spletnem arhivu

meteoroloških podatkov ARSO, lahko ugotovimo, da se je povprečna letna količina padavin v Slovenski Istri nekoliko zmanjšala (preglednica 3.1) in da so pri deležih mesečnih padavin opazne sezonske spremembe (slika 3.9). Letno povprečje padavin na obalnih padavinskih postajah (Portorož Letališče, Seča, Strunjan) se je okvirno zmanjšalo za 10 % in tako ne presega 1000 mm. Podobno zmanjšanje je opaziti v notranjosti Slovenske Istre, saj je povprečje padavin v Movražu v novjšem obdobju občutno manjše od povprečja v Kubežu v zgodnejšem obdobju, kljub temu, da je glede na padavinsko karto (slika 3.8) v Movražu pričakovati več padavin kot v Kubežu. Primerjava mesečnih deležev padavin med obema obdobjema (slika 3.9) kaže na očitno povečanje jesenskega in zmanjšanje zimskega deleža padavin, poletne padavine pa nastopijo bolj zgodaj, saj se je delež junijskih padavin povečal na račun julijskih. Podobne trende je ugotovil tudi ARSO (2006) pri analizi podnebnih razmer med letoma 1971 in 2005: na vseh padavinskih postajah v Slovenski Istri je opazno statistično značilno zmanjšanje količine padavin na letni osnovi kakor tudi v vseh letnih časih, razen jeseni, ko je prisoten statistično značilen trend povišanja padavin.



Slika 3.8: Padavinska karta Slovenske Istre glede na podatke iz obdobja 1958–1987 (Ogrin, 1995).

Figure 3.8: Precipitation map of Slovenska Istra for the 1958–1987 period (Ogrin, 1995).

Konice maksimumov mesečnih padavin (slika 3.10) nastopijo ob koncu poletja ali jeseni, ko konica lahko preseže 300 mm. V enakem obdobju nastopi tudi večina letnih maksimumov dnevnih padavin (slika 3.11). Vsakoletna konica dnevnih padavin se na vseh padavinskih

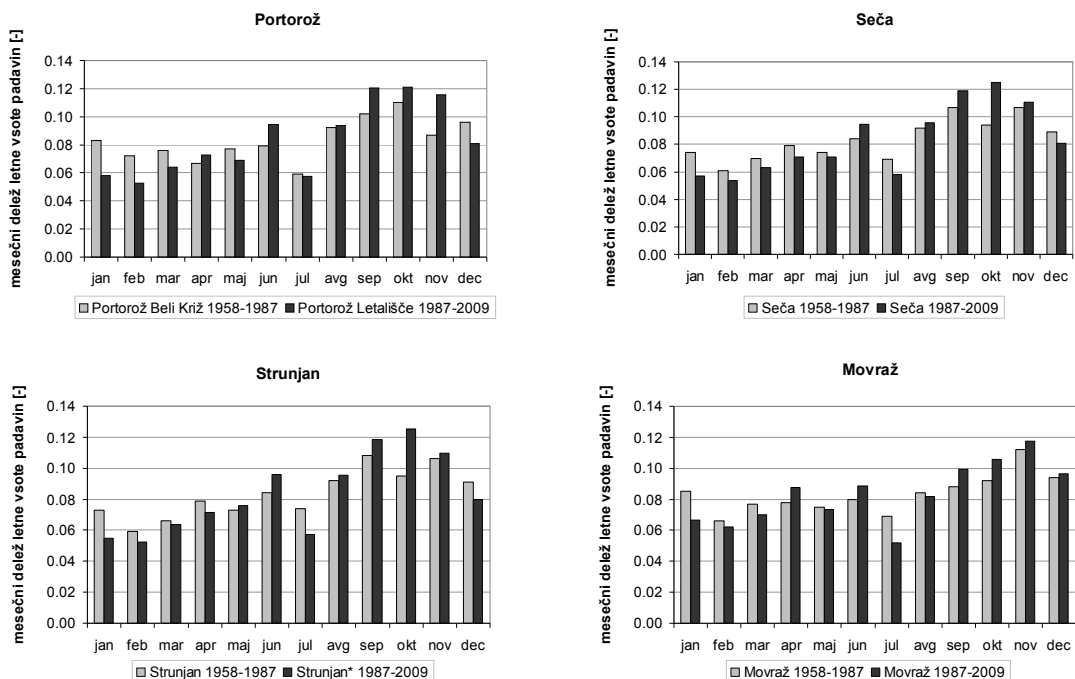
postajah giblje okrog 40 mm, medtem ko je povprečje letnih konic za obravnavano obdobje nekoliko nad 60 mm. Izjemni dogodki presegajo 100 mm, najvišja vrednost dnevnih padavin v Slovenski Istri pa je bila zabeležena 28. 9. 1978, in sicer 156,6 mm v Strunjanu. Ob obali lahko pričakujemo v povprečju 30 oz. 13 dni s količino padavin višjo ali enako 10 mm oz. 20 mm (preglednica 3.2), v notranjosti Slovenske Istre (Movraž) pa so te vrednosti nekoliko višje, v povprečju 41 oz. 20 dni.

Preglednica 3.1: Povprečje in ekstremne vrednosti letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Slovenski Istri za obdobji 1951–1980 in 1987–2009.

Table 3.1: Average and extreme annual precipitation (in mm) on the measurement points in Slovenska Istra for the 1951–1980 and 1987–2009 periods.

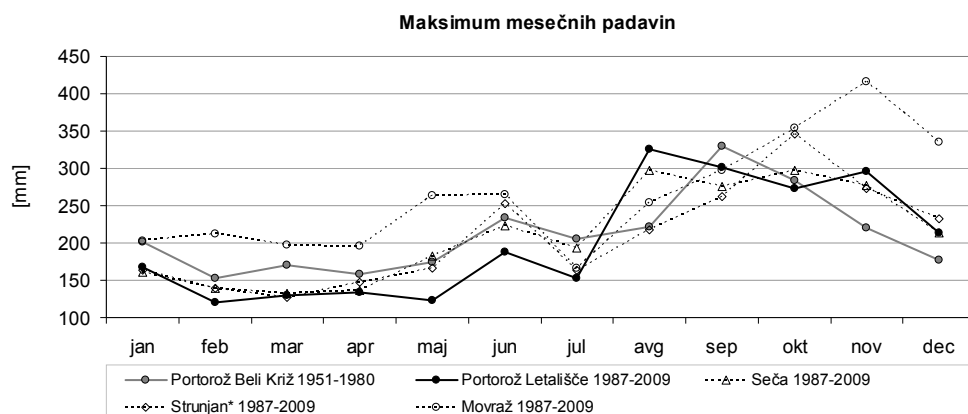
postaja	m.n.v.	obdobje	povprečje	standardna deviacija	minimum	maksimum	leto minimuma	leto maksimuma
Portorož Beli Križ	92	1951-1980	1051	169	769	1386	1957	1963
Kubed	262	1951-1980	1303	234	900	1948	1956	1960
Portorož Letališče	2	1987-2009	934	126	753	1204	2007	2002
Seča	2	1987-2009	932	130	718	1249	1999	1995
Strunjan*	2 (30)	1987-2009	909	134	707	1223	1988	1995
Movraž	208	1987-2009	1224	142	994	1610	2003	1995

*od leta 2004 postaja Strunjan obratuje na spremenjeni lokaciji



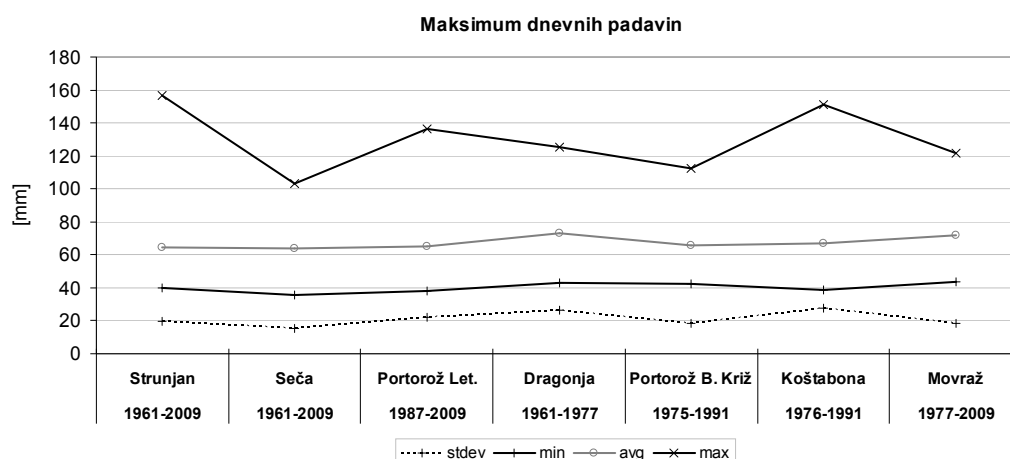
Slika 3.9: Mesečni deleži letne višine padavin na merilnih postajah v Slovenski Istri za obdobji 1958–1987 in 1987–2009.

Figure 3.9: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Slovenska Istra for the 1958–1987 and 1987–2009 periods.



Slika 3.10: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Slovenski Istri za obdobji 1951–1980 in 1987–2009.

Figure 3.10: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Slovenska Istra for the 1951–1980 and 1987–2009 periods.



Slika 3.11: Maksimum dnevnih padavin na merilnih postajah v Slovenski Istri in njihove statistike.

Figure 3.11: Daily precipitation maximum on the measurement points in Slovenska Istra and their statistics.

Preglednica 3.2: Število dni na padavinskih postajah v Slovenski Istri z izmerjeno višino padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm v obdobju 1987–2009.

Table 3.2: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Slovenska Istra for the 1987–2009 period.

postaja	m.n.v.	št. dni z vsoto padavin ≥ 10 mm				št. dni z vsoto padavin ≥ 20 mm			
		povprečje	standardna deviacija	min.	maks.	povprečje	standardna deviacija	min.	maks.
Portorož Letališče	2	29.4	7.0	13	40	12.8	3.8	6	21
Seča	2	30.4	5.5	22	45	13.6	2.6	7	20
Strunjan*	2 (30)	30.3	6.9	20	45	12.5	2.8	7	16
Movraž	208	41.3	8.1	28	65	20.2	2.9	15	27

*od leta 2004 postaja Strunjan obratuje na spremenjeni lokaciji

3.3.2 Brkini

Brkini se nahajajo v jugozahodni Sloveniji, približno 20 km vzhodno od Tržaškega zaliva in 30 km severozahodno od Reškega zaliva. Meritve porazdelitve padavinskih delcev v Brkinih so se odvijale na dveh lokacijah:

- na južnem pobočju vasice Kozjane, v osrčju Brkinov na nadmorski višini 600 metrov,
- na meteorološki postaji Ilirska Bistrica – Koseze, ki deluje pod okriljem ARSO, na vzhodnem robu Brkinov, 414 metrov nad morjem.

Poglavitna podnebna značilnost Brkinov je ta, da gre za območje, kjer se mešajo mediteranski in celinski podnebni vplivi. Ta podnebna prehodnost se kaže v spremenljivosti podnebnih (predvsem temperaturnih in vetrovnih) razmer (Šebenik, 1996) na kratkih razdaljah, tudi zaradi heterogene izoblikovanosti površja (Uljan, 2000). V nižje ležečih predelih širšega območja Brkinov prevladujejo mediteranski vplivi, v višje ležečih predeli pa celinski vplivi. Po Ogrinu (1993) se ta neizrazit prehod nahaja na nadmorski višini okrog 500 metrov. Povprečna letna temperatura zraka v Ilirski Bistrici znaša 9,6 °C, srednja januarska temperatura 0,8 °C in srednja julijska 18,7 °C (Klimatografija Slovenije, 1995). V višjih predelih Brkinov (nad 500 m n. m.) so te temperature nekoliko nižje: povprečna letna temperatura zraka se giblje med 8 in 9 °C, srednja januarska temperatura znaša okrog 0 °C, srednje julijska pa med 17 in 18 °C (Uljan, 2000). Glede na padavinsko karto Slovenije (slika 3.1) osrednji del Brkinov prejme okrog 1500 mm padavin, s tem da ta količina pada oz. raste proti Tržaškemu zalivu oz. Snežniški planoti. V nižjih predelih Brkinov se snežna odeja v povprečju zadrži do 20 dni letno, v višjih pa do 30 dni, s tem da so v zadnjih letih obdobja s snežno odejo vse krajša (Rusjan, 2008).

V spletnem arhivu meteoroloških podatkov ARSO smo izbrali 6 postaj za prikaz padavinskih razmer na širšem območju Brkinov (preglednica 3.3). V Podgradu, ki se nahaja na vznožju južnih pobočij Brkinov, je povprečna letna količina padavin v zadnjem klimatološkem obdobju 1961–1990 znašala 1594 mm. Padavinska postaja Tatre, ki je z delovanjem prenehala leta 1983, je merilnemu mestu Kozjane najbližja izmed vseh postaj. Rusjan (2008) po KSH (2006) navaja, da dolgoletno povprečje padavin (za obdobje 1930–1983 s prekinitvami) na Tatrah znaša 1447 mm, izmerjeni maksimum letnih padavin je 2428 mm, minimum pa

846 mm. Klimatološka postaja v Ilirski Bistrici je delovala med letoma 1974 in 1999 in jo danes nadomešča avtomatska postaja v bližnji vasi Koseze, ki je tudi eno od naših merilnih mest. Povprečje letnih padavin v Ilirski Bistrici za celotno obdobje meritev (1974–1999) znaša 1356 mm, najnižja oz. najvišja izmerjena letna količina padavin pa znaša 948 oz. 1805 mm.

Preglednica 3.3: Povprečje (1), minimum (2) in maksimum (3) letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Brkinih in okolici za različna obdobja.

Table 3.3: Average (1), minimum (2) and maximum (3) annual precipitation (in mm) on the measurement points in Brkini and its surroundings for various periods.

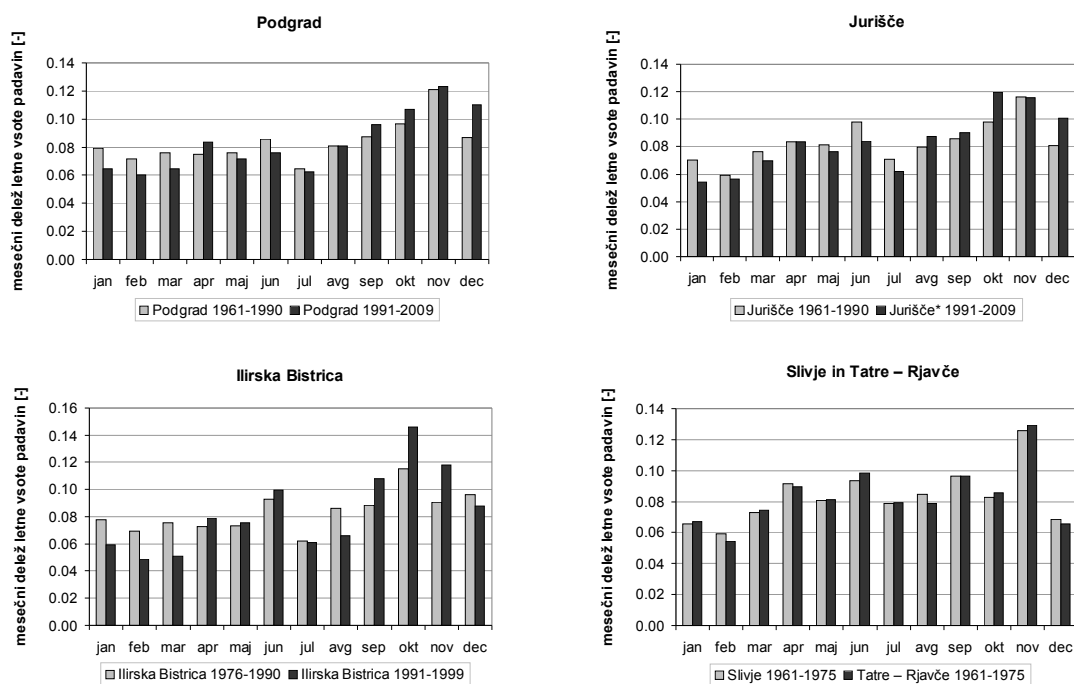
obdobje		1961–1975			1976–1990			1991–1999			2000–2009		
postaja	m.n.v.	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Podgrad	560	1619	1096	2128	1569	1115	1978	1469	1287	1874	1420	1030	1691
Jurišče*	703	1657	1302	2211	1573	1145	2038	1522	1334	1861	1438	1121	1701
Matavun	426	1482	985	1956	1420	1052	1735	-	-	-	-	-	-
Ilirska Bistrica	424	-	-	-	1363	948	1805	1316	1173	1525	-	-	-
Slivje	588	1611	1224	1895	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tatre – Rjavče	744	1598	1186	2371	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* postaja ni delovala med letoma 1996 in 1997

Dolgoletni padavinski podatki na postajah v Brkinih (preglednica 3.3) kažejo podoben trend kot v Slovenski Istri. Po letu 1990 je opazno 10 % zmanjšanje letnih količin padavin glede na zadnje klimatološko obdobje 1961–1990, ki ga lahko pripišemo predvsem manjšim količinam padavin v prvem četrtletju, ko nastopi letni nižek padavin (slika 3.12). Zaradi tega je tudi delež jesenskega viška padavin povečan, pri katerem se v absolutnem smislu dejansko ne poznajo bistvene spremembe (postaji Podgrad in Jurišče). Še največje sezonske spremembe so opazne na postaji Ilirska Bistrica, nizki in tudi viški se nižajo oz. višajo v absolutnem smislu, a so nizi padavinskih podatkov na tej merilni postaji bistveno krajši. Pri analizi podnebnih razmer med letoma 1971 in 2005 ARSO (2006) ugotavlja statistično značilno zmanjšanje letnih in tudi sezonskih padavin na območju Brkinov, v enakem smislu kot v Slovenski Istri.

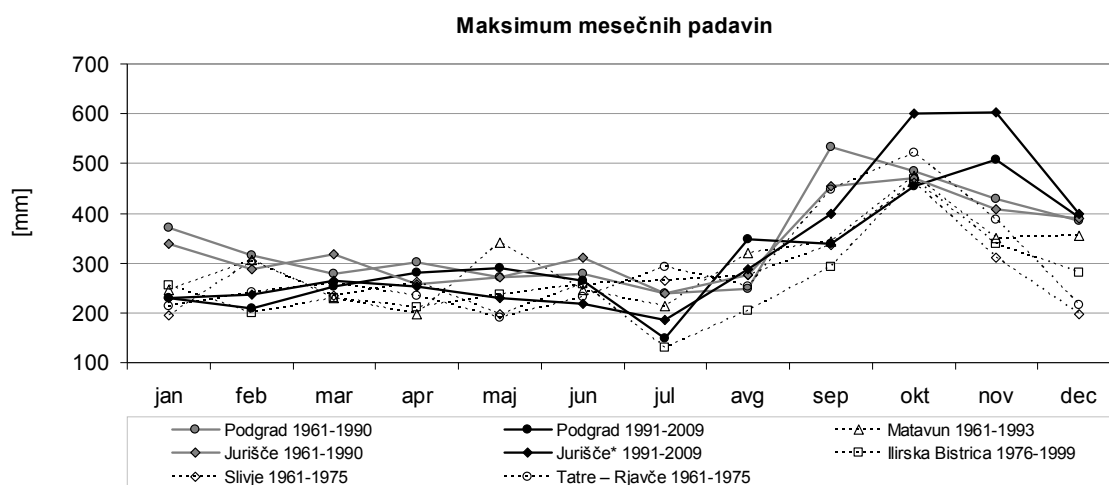
Konice maksimumov mesečnih padavin v Brkinih (slika 3.13) nastopijo jeseni, in sicer oktobra. Izmerjene konice v tem obdobju se gibljejo med 450 in 600 mm. Takrat praviloma nastopijo tudi konice dnevnih padavin: vsakoletna konica dnevnih padavin se v Brkinih in okolici giblje okrog 50 mm, povprečje letnih konic med 75 in 90 mm, izjemni dogodki pa presegajo 120 mm (slika 3.14). Najvišja vrednost dnevnih padavin v Brkinih je bila zabeležena 18. 11. 1975 na postaji v Podgradu, in sicer 208,5 mm. Na širšem območju

Brkinov lahko v povprečju pričakujemo 50 oz. 25 dni s količino padavin višjo ali enako 10 mm oz. 20 mm (preglednica 3.4). Izjema je le Ilirska Bistrica, kjer so te vrednosti nižje za dobrih 10 %.



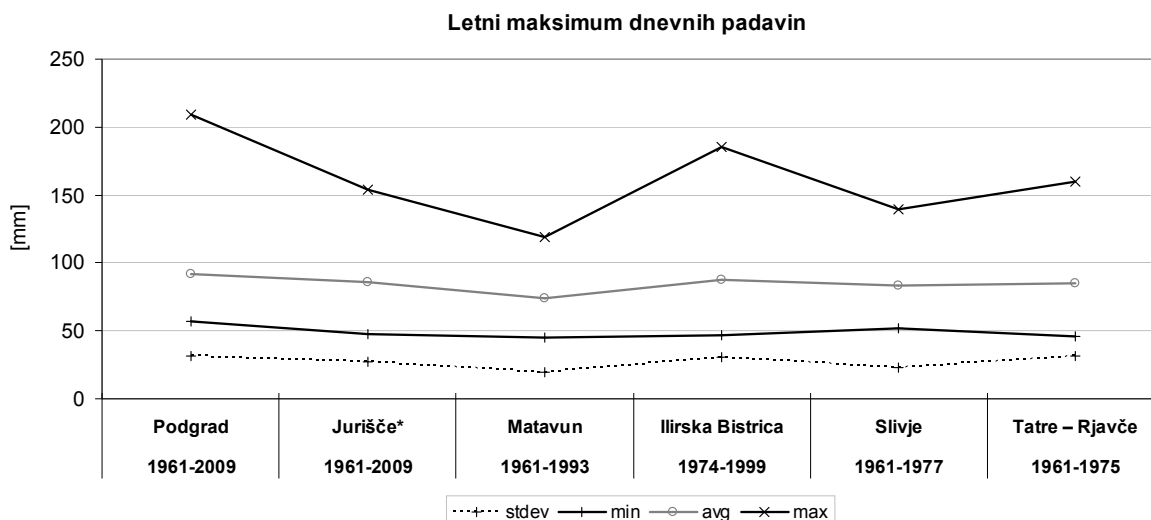
Slika 3.12: Mesečni deleži letne vsote padavin na merilnih postajah v Brkinih in okolici.

Figure 3.12: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Brkini and its surroundings.



Slika 3.13. Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Brkinih in okolici.

Figure 3.13. Monthly precipitation maximum on the measurement points in Brkini and its surroundings.



Slika 3.14: Maksimum dnevni padavin na merilnih postajah v Brkinih in okolici ter njihove statistike.

Figure 3.14: Daily precipitation maximum on the measurement points in Brkini and its surroundings and their statistics.

Preglednica 3.4: Število dni na padavinskih postajah v Brkinih in okolici z izmerjeno vsoto padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm.

Table 3.4: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Brkini and its surroundings.

postaja	m.n.v.	obdobje	št. dni z vsoto padavin ≥ 10 mm				št. dni z vsoto padavin ≥ 20 mm			
			povprečje	stand. deviacija	min.	maks.	povprečje	stand. deviacija	min.	maks.
Podgrad	560	1961-2009	50.2	7.5	34	64	25.3	4.8	12	35
Jurišče*	703	1961-2009	50.3	6.9	33	65	25.3	5.4	15	39
Matavun	426	1961-1993	48.9	7.5	29	64	24.6	5.7	14	40
Ilirska Bistrica	424	1976-1999	43.7	5.5	33	58	21.4	4.5	13	29
Slivje	588	1961-1975	52.2	8.4	37	67	26.7	6.3	17	42
Tatre – Rjavče	744	1961-1975	51.8	8.9	36	66	27.4	5.6	20	37

* postaja ni delovala med letoma 1996 in 1997

3.3.3 Ljubljana

Ljubljana se nahaja v osrednji Sloveniji in leži v kotlini, ki meji s Kamniško-Savinjskimi Alpami na severu, s predalpskim hribovjem na zahodu in vzhodu ter z Dinarskim, Krmsko-Mokrskim hribovjem na jugu. Severni del mestnega območja Ljubljane leži na Ljubljanskem polju, medtem ko njen južni del že sega na Ljubljansko barje. Referenčna meteorološka postaja za širše območje Ljubljane, Ljubljana Bežigrad, se nahaja na severnem delu mesta na nadmorski višini 299 m in deluje že od leta 1948. Meritve porazdelitve padavinskih delcev so

potekale na južnem delu Ljubljane na Viču (292 m n. m.), merilec pa je bil postavljen na strehi stavbe na Hajdrihovi 28.

Za širše območje Ljubljane je značilno zmerno celinsko podnebje. Glede na meritve, opravljene na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad v zadnjem klimatološkem obdobju (1961–1990), znaša povprečna letna temperatura 9,8 °C, srednja januarska –1,1 °C in srednja julijska 19,9 °C (Klimatografija Slovenije, 1995). Povprečna letna količina padavin v istem obdobju je znašala skoraj 1400 mm, z viškom padavin na prehodu pomlad–poletje in nizkom v zimskih mesecih. Najvišja letna vsota padavin v Ljubljani je bila izmerjena leta 1965, in sicer 1847 mm, najnižja pa leta 2003, zgolj 1107 mm (preglednica 3.5). V Ljubljani so med letoma 1961 in 1990 v povprečju našteali 65 dni s snežno odejo, po letu 1990 pa se to število v povprečju zmanjšuje.

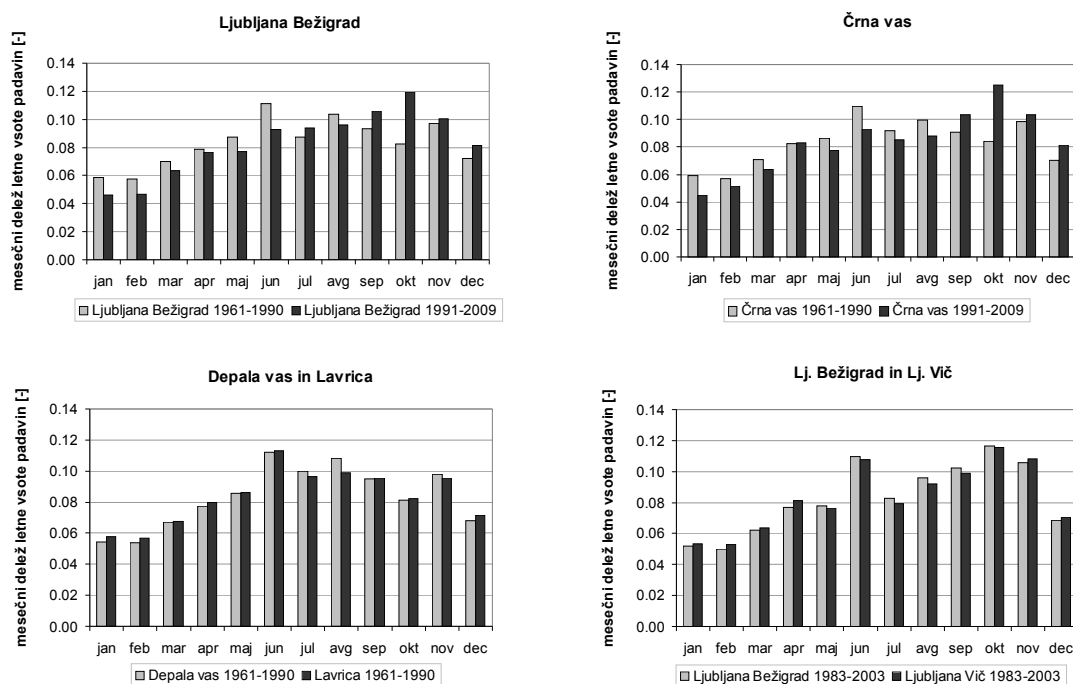
Preglednica 3.5: Povprečje (1), minimum (2) in maksimum (3) letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Ljubljani in okolici za različna obdobja.

Table 3.5: Average (1), minimum (2) and maximum (3) annual precipitation (in mm) on the measurement points in Ljubljana and its surroundings for various periods.

obdobje		1961–1990			1991–2009			1983–2003		
postaja	m.n.v.	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Ljubljana Bežigrad	299	1394	1107	1847	1345	1091	1696	1330	1091	1611
Črna vas	288	1340	968	1790	1405	1010	1749	1405	1010	1673
Depala vas	298	1354	1047	1725	-	-	-	-	-	-
Lavrica	293	1328	938	1837	-	-	-	-	-	-
Ljubljana Vič	298	-	-	-	-	-	-	1314	1117	1648

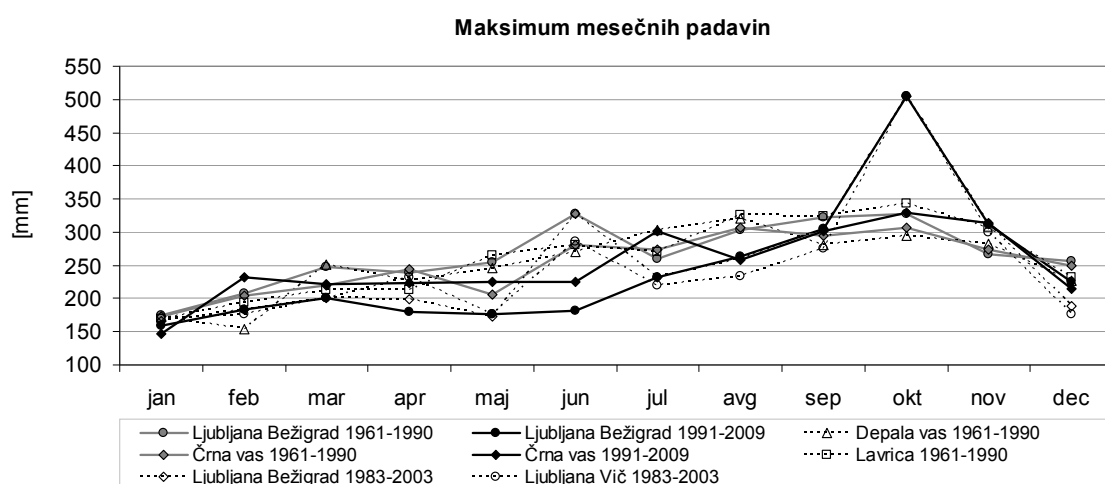
V spletnem arhivu meteoroloških podatkov ARSO smo poiskali padavinske podatke za pet postaj na širšem območje Ljubljane (preglednica 3.5) in ugotovili, da se je letno povprečje padavin v zadnjem času nekoliko zmanjšalo (4 %) v samem mestu (postaja Ljubljana Bežigrad), v enaki meri pa povečalo na južnem robu kotline (postaja Črna vas). Za omenjeni postaji je bolj značilna prerazporeditev padavin, saj je opazen izrazit porast padavin v jesenskem obdobju na račun deležev padavin v preostalih letnih obdobjih (slika 3.15). Tako spremenjena porazdelitev mesečnih padavin spominja na tiste iz submediteranskega podnebja, s to razliko, da na Ljubljanskem območju ni izrazitega julijskega nižka padavin. Konice maksimumov mesečnih padavin na širšem ljubljanskem območju se praviloma gibljejo med 150 in 350 mm, višek pa dosežejo oktobra (slika 3.16). Tako je bil oktober leta 1992

ekstremno deževen mesec, ko sta postaji na Viču in Bežigradu namerili nekaj več kot 500 mm padavin (za postajo Črna vas ni podatka).



Slika 3.15: Mesečni deleži letne vsote padavin na merilnih postajah v Ljubljani in okolici.

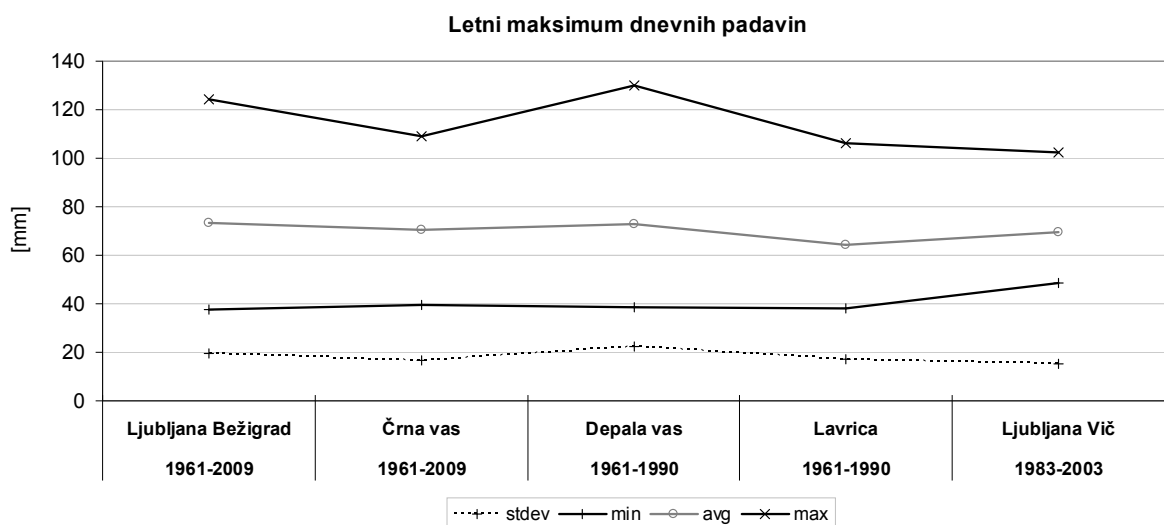
Figure 3.15: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Ljubljana and its surroundings.



Slika 3.16: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Ljubljani in okolici.

Figure 3.16: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Ljubljana and its surroundings.

Velika večina (80 %) letnih konic dnevnih padavin nastopi v poletnih ali jesenskih mesecih. Vsakoletna konica dnevnih padavin na širšem ljubljanskem območju znaša okrog 40 mm, povprečje letnih konic pa med 65 in 75 mm (slika 3.17). Izredni dnevni dogodki presegajo 100 mm padavin. Tako je bila najvišja dnevna vsota padavin zabeležena 11. 7. 1972 v Depali vasi, in sicer 130,2 mm. Na širšem ljubljanskem območju je v povprečju zabeleženih približno 45 oz. 22 dni s količino padavin višjo ali enako 10 mm oz. 20 mm (preglednica 3.6).



Slika 3.17: Maksimum dnevnih padavin na merilnih postajah v Ljubljani in okolici ter njihove statistike.

Figure 3.17: Daily precipitation maximum on the measurement points in Ljubljana and its surroundings and their statistics.

Preglednica 3.6: Število dni na padavinskih postajah v Ljubljani in okolici z izmerjeno vsoto padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm.

Table 3.6: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Ljubljana and its surroundings.

postaja	m.n.v.	obdobje	št. dni z vsoto padavin ≥ 10 mm				št. dni z vsoto padavin ≥ 20 mm			
			povprečje	stand. deviacija	min.	maks.	povprečje	stand. deviacija	min.	maks.
Ljubljana Bežigrad	299	1961-2009	45.1	6.2	34	60	22.4	4.5	12	32
Črna vas	288	1961-2009	44.1	6.7	29	59	21.9	5.2	9	31
Depala vas	298	1961-1990	44.9	6.8	32	58	22.2	5.6	12	34
Lavrica	293	1961-1991	45.7	8.3	31	69	21.3	4.8	12	30
Ljubljana Vič	298	1983-2003	42.6	4.5	36	51	21.6	3.5	17	29

3.3.4 Bovec

Bovška kotlina se nahaja v zahodni Sloveniji in je z vseh strani obdana z visokimi gorami. Je skrajni severni del zgornje Soške doline, po kateri prodira mediteranski podnebni vpliv, ki se poleti odraža v relativno visokih temperaturah, a količina padavin in snežna odeja pozimi povesta, da gre za hribovit svet Julijskih Alp (Rakovec in Vrhovec, 2000). Merilec porazdelitve padavinskih delcev je bil postavljen na avtomatski postaji Bovec – Letališče (439 m n. m.), ki se nahaja v osrčju kotline in je del mreže meteoroloških postaj ARSO.

V zadnjem klimatološkem obdobju (1961–1990) so bila v Bovcu zabeležena naslednja temperaturna povprečja: 9,1 °C, –0,7 °C oz. 18,7 °C za letno, januarsko oz. julijsko temperaturo (Klimatografija Slovenije, 1995). Bovec sodi med najbolj namočene kraje v Sloveniji, saj je glede na razpoložljive podatke v spletnem arhivu ARSO med letoma 1963 in 1992 v povprečju prejel 2770 mm padavin. Med letoma 1961 in 1990 je bilo v Bovcu in okolici za pričakovati vsaj 2000 mm padavin, v izjemno vlažnih letih pa celo preko 4000 mm (preglednica 3.7). Primarni višek padavin je nastopil v jesenskih mesecih oz. sekundarni spomladi, primarni nižek pa v začetku leta oz. sekundarni poleti (slika 3.18). Povprečno število dni s snežno odejo v Bovcu je približno znašalo 63.

Preglednica 3.7: Povprečje (1), minimum (2) in maksimum (3) letnih padavin (v mm) na merilnih postajah v Bovcu in okolici za različna obdobja.

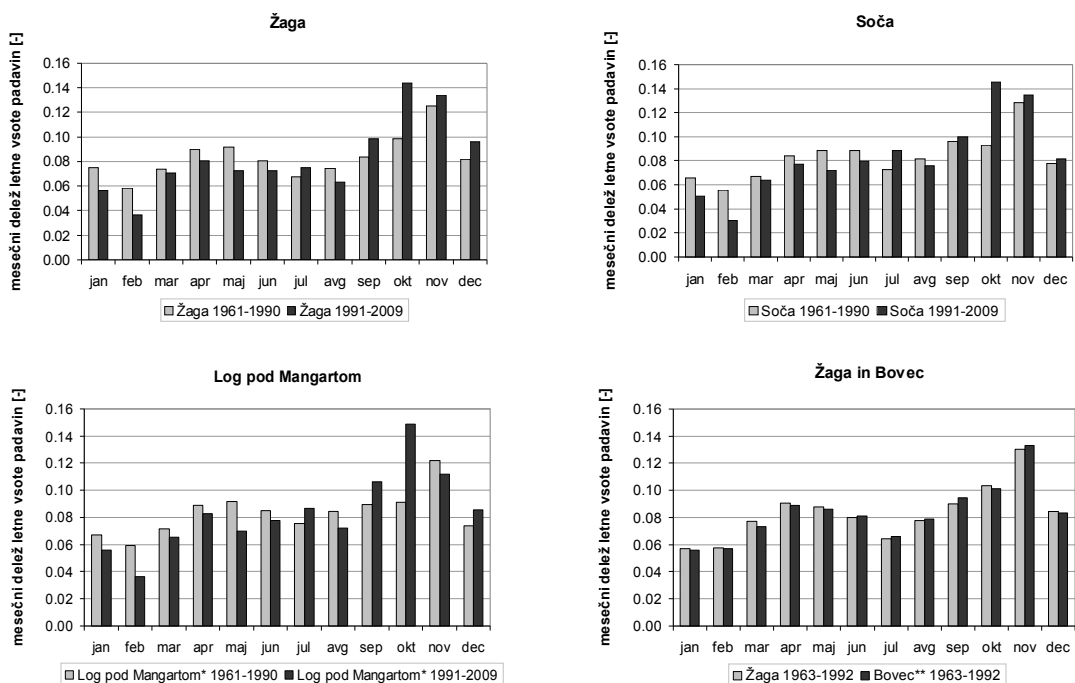
Table 3.7: Average (1), minimum (2) and maximum (3) annual precipitation (in mm) on the measurement points in Bovec and its surroundings for various periods.

obdobje		1961–1990			1991–2009			1963–1992		
postaja	m.n.v.	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Žaga	353	3020	2208	4042	2895	1828	4028	3059	2208	4042
Soča	487	2353	2014	3197	2529	1665	3759	2384	1748	3197
Log pod Mangartom*	650	2439	2009	3312	2293	1442	3307	2445	1932	3312
Lepena	480	3035	2503	4124	-	-	-	-	-	-
Bovec**	425	-	-	-	-	-	-	2770	2036	3619

* postaja ni delovala leta 2000; ** postaja ni delovala v letih 1978, 1988 in 1990

Po letu 1990 se spodnja meja letne vsote padavin znižuje, opazna pa je tudi prerazporeditev padavin preko leta. Sekundarni višek in nižek se nekako izenačujeta med seboj, primarni višek in nižek pa se poglobljata vsak v svojo smer. Iz dosegljivih podatkov o letni vsoti padavin enoznačnih časovnih sprememb ni mogoče razbrati. Ravno tako študija ARSO (2006) pri letni vsoti padavin za padavinske postaje na Bovškem ni pokazala statistično značilnih

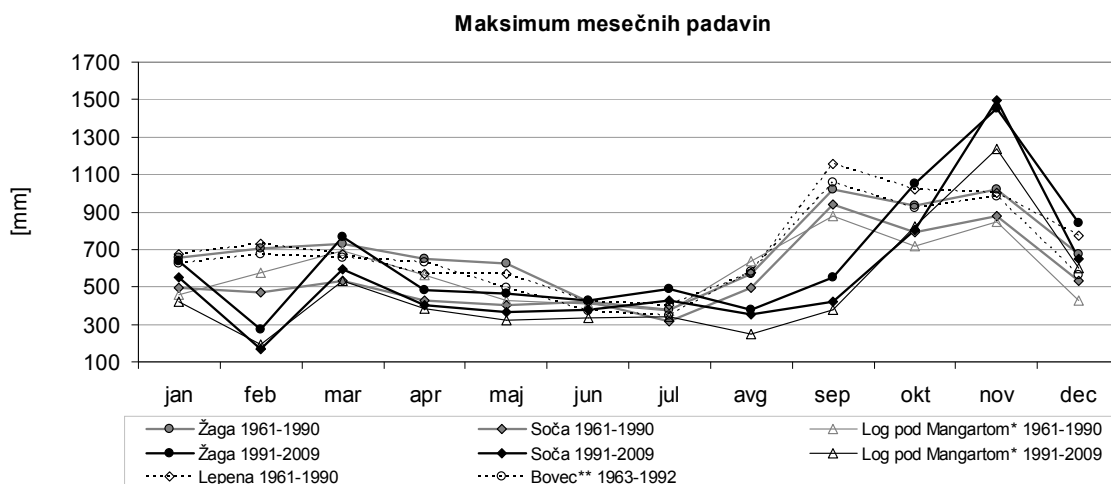
trendov, značilni so le trendi jesenskega porasta in pomladnega ter zimskega zmanjševanja količine padavin.



Slika 3.18: Mesečni deleži letne vsote padavin na merilnih postajah v Bovcu in okolici.

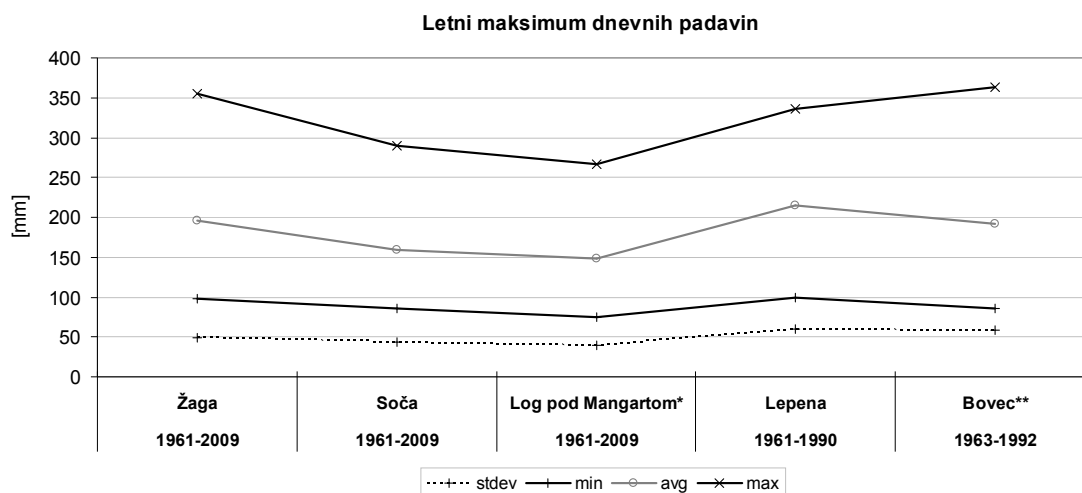
Figure 3.18: Monthly portions of annual precipitation on the measurement points in Bovec and its surroundings.

Konice maksimumov mesečnih padavin na Bovškem dosežejo najvišje vrednosti v jesenskih mesecih, ko lahko izjemoma pričakujemo tudi čez 1000 mm mesečnih padavin (slika 3.19). Daleč najbolj deževen mesec je bil november leta 2000, ko je mesečna vsota padavin na postajah v Žagi in Soči presegla 1450 mm. V povprečju lahko pričakujemo okrog 60 oz. 40 dni na leto s količino padavin višjo ali enako 10 mm oz. 20 mm (preglednica 3.8). Večina letnih konic dnevnih padavin nastopi v jesenskih mesecih. Vsakoletna konica dnevnih padavin na Bovškem se giblje med 75 in 100 mm, povprečje letnih konic pa nekje med 150 in 200 mm (slika 3.20). Na tem območju je bila najvišja dnevna vsota padavin zabeležena 14. 11. 1969 v Bovcu, in sicer 362,7 mm. To je tudi najvišja 24-urna višina padavin izmerjena v slovenskem prostoru. Bovec ima v lasti še padavinske rekorde za najvišjo 6-, 12- in 48-urno vsoto padavin (ARSO, 2007). Ravno tako sta slovenska rekorda mesečna vsota padavin izmerjena v Soči novembra 2000 (1494 mm) in dolgoletno povprečje letne količine padavin v Žagi (3020 mm).



Slika 3.19: Maksimum mesečnih padavin na merilnih postajah v Bovcu in okolici.

Figure 3.19: Monthly precipitation maximum on the measurement points in Bovec and its surroundings.



Slika 3.20: Maksimum dnevni padavin na merilnih postajah v Bovcu in okolici ter njihove statistike.

Figure 3.20: Daily precipitation maximum on the measurement points in Bovec and its surroundings and their statistics.

Preglednica 3.8: Število dni na padavinskih postajah v Bovcu in okolici z izmerjeno vsoto padavin večjo ali enako 10 mm oz. 20 mm.

Table 3.8: Number of days with daily precipitation of at least 10 mm and 20 mm, respectively, on the measurement points in Bovec and its surroundings.

postaja	m.n.v.	obdobje	št. dni z vsoto padavin ≥ 10 mm				št. dni z vsoto padavin ≥ 20 mm			
			povprečje	stand. deviacija	min.	maks.	povprečje	stand. deviacija	min.	maks.
Žaga	353	1961-2009	64.7	8.0	47	86	43.0	7.5	27	63
Soča	487	1961-2009	60.4	8.1	43	79	36.7	6.5	21	52
Log pod Mang.*	650	1961-2009	59.5	8.9	42	81	36.4	6.2	25	54
Lepena	480	1961-1990	64.2	8.2	47	87	43.2	6.8	30	58
Bovec**	425	1963-1992	59.8	11.5	19	78	38.5	8.2	11	49

* postaja ni delovala leta 2000; ** postaja ni delovala v letih 1978, 1988 in 1990

3.4 MERSKE METODE

3.4.1 Meritve intenzitete padavin

Pri raziskovalnem delu smo spremljali intenzitete padavin s pomočjo avtomatskega dežemera s prekucnikom Onset RG2-M kot podporo meritvam sproščanja tal v Marezigah in tudi meritvam porazdelitve padavinskih delcev na Kozjanah in v Ljubljani. Na ostalih dveh merilnih mestih (Ilirska Bistrica – Koseze in Bovec), kjer smo spremljali porazdelitev padavinskih delcev, smo kot kontrolne meritve uporabili intenzitete padavin, ki jih je meril ARSO s pomočjo avtomatskega senzorja OTT Pluvio, čigar merilna metoda temelji na principu tehtanja. Pri izdelavi karte erozivnosti padavin smo uporabili 10-letne nize 5-minutnih padavin iz 31 pluviografskih postaj, ki sodijo v opazovalno mrežo ARSO. Na teh postajah so bodisi nameščeni registratorji padavin oz. pluviografi tipa Ruski P-2, ki prevladujejo z 80 % deležem, bodisi pluviografi tipa Lambrecht 1509.

3.4.1.1 Onset RG2-M

Dežemer Onset RG2-M je razmeroma enostaven instrument za merjenje intenzitete padavin. Sestavljen je iz treh bistvenih elementov (slika 3.21):

- lovilne posode,
- prekucnega mehanizma in
- elektronskega zapisovalnika podatkov (data logger).

Zbirni del lovilne posode ima površino 186 cm² in je izdelan iz črnega aluminijastega obroča z ostrimi robovi. Spodnji del zbirnika je v obliki lijaka, ki usmerja vodo v prekucni mehanizem. Dežemer je pred postavitvijo umerjen po navodilih proizvajalca s konstantnim pretokom 20 mm/h tako, da vsak prekuc mehanizma predstavlja 0,2 mm padavin. Preprosto elektronsko vezje dejansko le zapiše redno število in čas vsakega prekuca. Podatkovni zapisovalnik ima omejeno kapaciteto in tako lahko zapiše največ 8000 prekucev oz. izmeri do 1600 mm padavin. Podatkovno datoteko iz podatkovnega zapisovalnika prenesemo na računalnik preko serijske povezave (RS232) in s pomočjo uporabe proizvajalčeve aplikacije BoxCar Pro 4.3. Pri tem se izvede tudi ponovni zagon podatkovnega zapisovalnika, ki je tako pripravljen za vnovične meritve. Zaradi fizikalne narave instrumenta je merilno območje intenzitete padavin omejeno navzgor na 127 mm/h, saj vsak prekuc, ki je sestavljen iz faz

polnjenja prekucnika in njegovega zvrčanja, zahteva določen čas. Glede na proizvajalčeva navodila je instrument sposoben korektno zabeležiti do 10 prekucev v minuti in ima natančnost merjene intenzitete padavin $\pm 1,0\%$ na območju do 20 mm/h (Onset, 2005). Delovna temperatura dežemera je med 0 in 50 °C.



Slika 3.21: Dežemer RG2-M in njegovi sestavni deli (foto: Sašo Petan).

Figure 3.21: RG2-M rain gauge with its components (photo: Sašo Petan).

3.4.1.2 OTT Pluvio

ARSO v zadnjem času na avtomatskih meteoroloških postajah namešča avtomatske senzorje za merjenje padavin tipa OTT Pluvio (slika 3.22). Ti senzorji dejansko nudijo le dodatno podporo pri merjenju padavin, saj imajo možnost sprotnega sporočanja intenzitete in količine padavin preko telekomunikacijskih vodov, in iz uporabe ne izpodrivajo klasičnih registratorjev padavin (pluviografov).

Instrument OTT Pluvio izrablja princip tehtanja pri merjenju količine in intenzitete padavin. Sestavljajo ga tehtalni sistem, na katerem je postavljeno zbiralno vedro visoke kapacitete (približno 30 litrov), na vrhu pa se nahaja lovilna posoda padavin s površino 200 cm² (OTT, 2008a). Instrument izvaja tehtanje zbiralnega vedra vsakih 6 sekund z natančnostjo 0,01 mm in tako ugotavlja intenziteto padavin iz razlike trenutne in predhodne vsebine v zbiralnem

vedru. Tehtalni sistem je opremljen tudi s temperaturnim senzorjem za potrebe temperaturne kompenzacije. Umerjanje instrumenta je opravljeno v proizvajalčevem laboratoriju.



Slika 3.22: Dežemer OTT Pluvio na meteorološki postaji Bovec (foto: Sašo Petan).

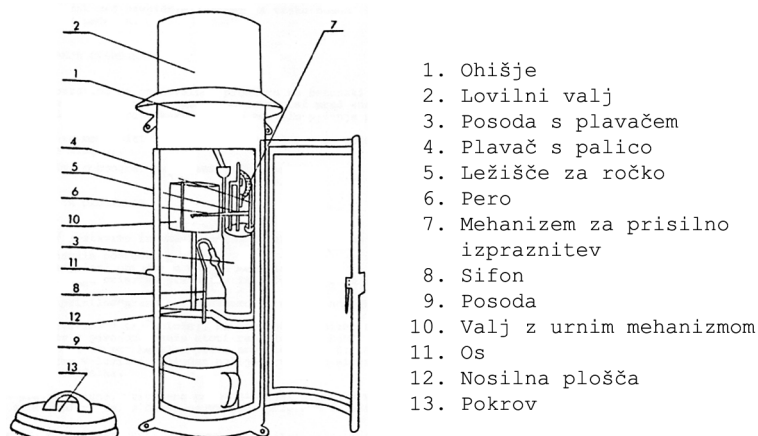
Figure 3.22: OTT Pluvio rain gauge on the Bovec meteorological station (photo: Sašo Petan).

OTT Pluvio ima kapaciteto spomina za največ 1500 mm padavin. Zato je v sklopu rednega vzdrževanja instrumenta priporočeno tudi praznjenje zbiralnega vedra pri 80 % napolnjenosti. Instrument lahko povežemo s podatkovnim zapisovalnikom oz. komunikacijskim vmesnikom preko priključkov, ki podpirata protokola SDI-12 in RS-485. Tako lahko sporoča merjene vrednosti na dva načina: vsako minuto (način "real time") ali 5 minut po padavinskem dogodku (način "non-real time").

OTT Pluvio je zelo zanesljiv instrument, saj je bil uporabljen tudi kot referenčni merilec pri terenski raziskavi dežemerov, ki jo je izvedla WMO (Vuerich in sod., 2009). Na testu je pokazal izjemno natančnost tako v laboratoriju kot na terenu. Povprečna relativna napaka instrumenta je bila manjša od $\pm 0,5\%$, skoraj vse 5-minutne meritve pa znotraj 5 % intervala zaupanja glede na referenčno meritev.

3.4.1.3 Pluviografi iz opazovalne mreže ARSO

Pluviograf tipa Ruski P-2 je prevladujoči registrator padavin v opazovalni mreži ARSO (slika 3.23). Instrument ne potrebuje električnega napajanja, saj gre za mehanski instrument, ki se krmili preko navijalnih vzmeti, ki jih je treba enkrat na teden naviti. Instrument omogoča merjenje padavin kakršnekoli intenzitete pri temperaturah med 0 in 45 °C.



Slika 3.23: Zgradba pluviografa tipa Ruski P-2 (povzeto po HZB, 1976).

Figure 3.23: Structure of the Ruski P-2 type pluviograph (according to HZB, 1976).

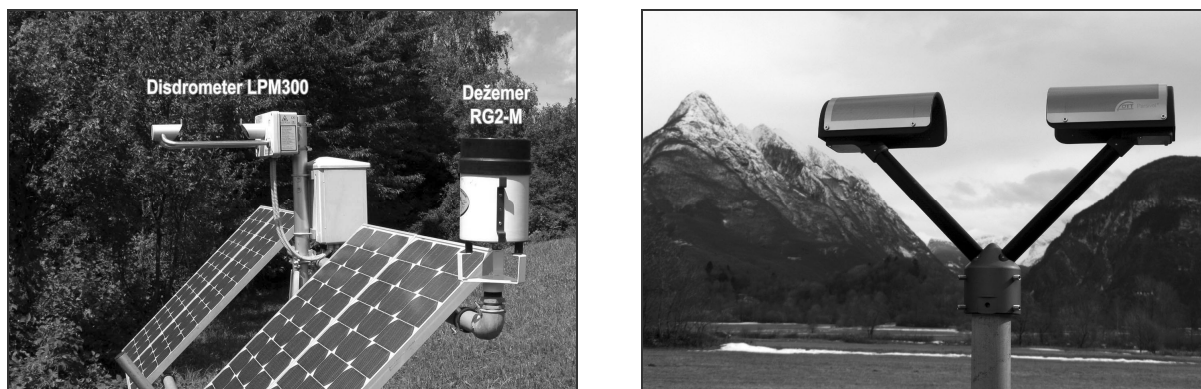
Ob dežju se voda zbira v lovilnem valju z merilno površino 500 cm². Zbrana voda priteka v posodo s plavcem, ki preko ročke krmili pero in ta izrisuje krivuljo na trak. Trak je nameščen na vrtečem se valju z urnim mehanizmom. Najmanjši razmik med vodoravnimi črtami na traku pomeni 0,1 mm padavin, med navpičnimi pa 10 minut, debelina črte peresa na traku pa znaša 0,3 mm. Kadar se posoda s plavcem napolni (500 cm³) je pero v skrajni legi (razdelek 100 ± 0,5 na diagramu) in ravno tako tudi plavač, ki v tem položaju pritisne na podporni vijak in ta premakne vzvod iz zareze na robu drsnega kolesa. Pri tem se sproži utež, ki pritisne na palico plavača. Plavač se potopi in tako iztisne vodo skozi sifon, ki nato posrka vodo iz posode. Tako plavač zasede izhodiščni položaj, ravno tako tudi pero in celotni mehanizem za praznjenje posode. Postopek praznjenja posode s plavcem traja največ 20 sekund (HZB, 1976).

Podobno sestavo, delovanje in značilnosti kot pluviograf tipa Ruski P-2 ima pluviograf Lambrecht 1509. Njegova merilna površina znaša 200 cm² in lahko meri intenzitete padavin do 130 mm/h. Primeren je za merjenje padavin v bolj odročnih krajih, saj brez vzdrževanja

lahko deluje do 31 dni. Lambrecht 1509, opremljen z grelcem, lahko deluje v okolju s temperaturami med $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Lambrecht, 2003).

3.4.2 Meritve porazdelitve padavinskih delcev

Za meritve porazdelitve padavinskih delcev ("drop-size distribution" oz. meritve DSD) smo uporabili optične disdrometre dveh proizvajalcev. Na Kozjanah smo namestili disdrometer LPM300 proizvajalca Thies Clima, na ostalih treh merilnih mestih, v Ljubljani, Bovcu in Ilirski Bistrici – Koseze, pa disdrometer OTT Parsivel (slika 3.24). Oba optična disdrometra sta zelo podobne sestave in delujeta na enakem principu, imata pa nekoliko različno konstrukcijsko izvedbo in relativno različne karakteristike (preglednica 3.8).



Slika 3.24: Levo – disdrometer Thies Clima LPM300 in dežemer Onset RG2-M na Kozjanah in desno – disdrometer OTT Parsivel v Bovcu (foto: Sašo Petan).

Figure 3.24: Left – Thies Clima LPM300 disdrometer and Onset RG2-M raingauge in Kozjane and right – OTT Parsivel disdrometer in Bovec (photo: Sašo Petan).

Optični disdrometer je v splošnem sestavljen iz naslednjih elementov:

- oddajne glave,
- sprejemne glave,
- elektronskega vezja s komunikacijskimi vrati.

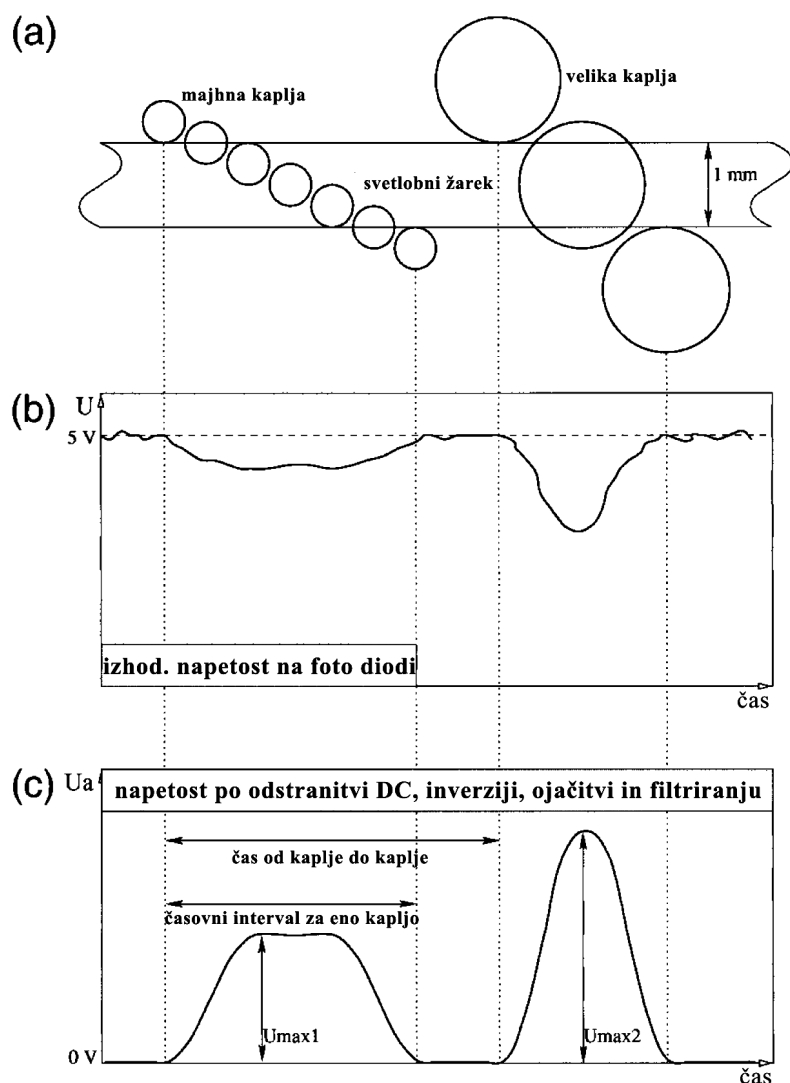
Bistveni element v oddajni glavi je IR laserska dioda, ki oddaja svetlobni žarek, ki je usmerjen proti sprejemni glavi, kjer se nahaja fotodioda. Žarek se pred izhodom iz oddajne glave oblikuje tako, da ima ta znane dimenzije (širina in višina). Dolžina svetlobnega žarka je odvisna od konstrukcijske izvedbe oz. razdalje med oddajno in sprejemno glavo. Merilna površina je tako opredeljena kot produkt neto dolžine in širine svetlobnega žarka.

Preglednica 3.8: Povzetek karakteristik optičnih disdrometrov (Thies Clima, 2006; OTT, 2008b).

Table 3.8: Specification summary of the optical disdrometers (Thies Clima, 2006; OTT, 2008b).

tip	laserska dioda	merilna površina [cm ²]	število velikostnih in hitrostnih razredov	resolucija [mm/h]	območje delovanja [mm/h]	točnost merjene intenzitete
LPM300	785 nm 0,5 mW	45,6	22 (0,16...7> mm) 20 (0,2...20 m/s)	0,005	do 250	≤15% (0,5–20 mm/h)
Parsivel	650 nm 3 mW	54	32 (0,2...25 mm) 32 (0,2...20 m/s)	0,001	do 1200	± 5% (dež) ±20% (sneg, toča)

Ob prehodu padavinskega delca skozi svetlobni žarek pride do zatemnitve na fotodiodi in posledično zmanjšanja izhodne napetosti (slika 3.25). Nato je ta signal podvržen analizi s strani programja, ki je naloženo v elektronskem vezju instrumenta. Iz amplitude oslavljenega signala je instrument sposoben ugotoviti velikost padavinskega delca, iz časa trajanja oslavljenega signala pa hitrost padanja delca (Löffler-Mang in Joss, 2000). Algoritem instrumenta, ki vsebuje tovarniške kalibracijske parametre, izračuna ekvivalenten premer padavinskega delca krogelne oblike oz. premer ekvivolumetrične krogle in ne dejanske širine padavinskega delca (Thies Clima, 2006). Tako se nadaljnji izračuni precej poenostavijo. Algoritem opravi tudi korekcijo za napačno zaznane oz. slučajnostne delce v svetlobnem žarku (OTT, 2008b). Vsi veljavni padavinski delci, ki jih je instrument zaznal v izbranem časovnem koraku (praviloma 1 minuta), se nato razvrstijo v velikostne in hitrostne razrede (preglednica 3.8). Iz porazdelitve padavinskih delcev instrument prepozna vrsto padavin, izračuna intenziteto padavin in radarsko odbojnost. Vse podatke instrument sestavi v podatkovni telegram, ki ga po preteku časovnega koraka samodejno pošlje na izhode instrumenta (SDI-12 in RS-485/422). Podatke o porazdelitvi padavinskih delcev lahko pridobimo le na izhodu RS-485/422, na katerega priklopimo osebni računalnik z naloženo programsko opremo proizvajalca oz. dlančnik, ki je sposoben komunicirati z instrumentom preko terminalskega programa in tudi shranjevati prejete podatkovne telegrame. Podatkov je relativno veliko, saj v enem mesecu zasedejo približno 100 MB spomina pri pošiljanju podatkovnih telegramov na 1-minutni osnovi. Nekoliko naprednejša programska oprema disdrometra Parsivel je omogočala shranjevanje le tistih podatkovnih telegramov, ki so vsebovali več kot nič padavinskih delcev, in je tako varčevala na podatkovnem prostoru.



Slika 3.25: Princip delovanja disdrometra (prirejeno po Löffler-Mang in Joss, 2000).

Figure 3.25: Operating principle of the disdrometer (according to Löffler-Mang & Joss, 2000).

Oba disdrometra sta bila tudi predmet že omenjene terenske raziskave dežemerov pod okriljem WMO (Vuerich in sod., 2009). Raziskava je pokazala, da so merjene vrednosti intenzitete padavin precenjene in le malo razpršene s strani obeh instrumentov. Primerljiv odziv so pripisali enakemu principu delovanja optičnih disdrometrov, kljub različnim postopkom tovarniške kalibracije. Disdrometer LPM300 je podvržen preciznemu merjenju svetlobnega žarka in prostorninskemu umerjanju z enakomernimi kapljicami premera 3 mm na avtomatski kalibracijski mizi (Lanzinger in sod., 2006), medtem ko je postopek umerjanja disdrometra Parsivel opravljen na kalibracijski mizi z rotacijskim diskom, ki z visoko natančnostjo generira referenčne delce premera 0,5, 1,0, 2,0 in 4,0 mm pri različnih hitrostih

ter tako simulira intenziteto padavin do velikosti 1800 mm/h (Nemeth in Löffler-Mang, 2006). Proizvajalca v tehničnih navodilih ne omenjata točnosti disdrometrov pri merjenju hitrosti padavinskih delcev, vendar Löffler-Mang in Joss (2000) navajata, da je točnost merjene hitrosti padavinskih delcev pri instrumentu OTT Parsivel 25 % oz. 5 % za delce s premerom 0,3 mm oz. 5 mm.

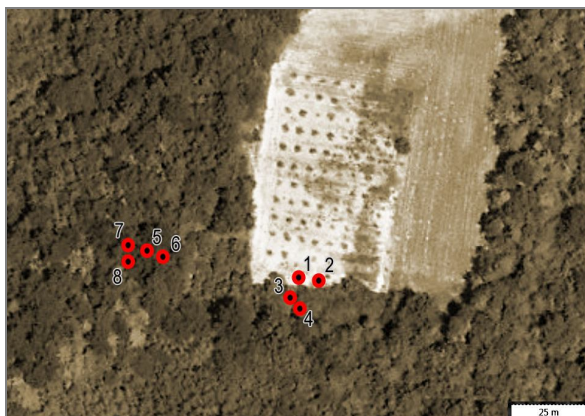
3.4.3 Meritve sproščanja tal

Meritve sproščanja tal so potekale na pobočju, ki se dviga nad desnim bregom reke Rokave in se nahaja južno od vasi Marezige v Slovenski Istri. Osem erozijskih ploskev velikosti 1 m² je bilo postavljenih marca 2005 (Zorn, 2007) na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo (slika 3.26). Dve erozijski ploskvi sta bili postavljeni na neporaščenih tleh v mladem oljčniku (EP1 in EP2, slika 3.27), dve na travniku v zaraščanju (EP3 in EP4) in štiri v mešanem gozdu (EP5 do EP8). Meritve sproščanja tal v gozdu so se odvijale na tleh z dvema različnima naklonoma.

Erozijske ploskve je postavil Matija Zorn, ki je tudi izvajal meritve v prvem letu obratovanja erozijskih ploskev za potrebe svoje doktorske disertacije (Zorn, 2007). Izvajanje meritev za pričujoče raziskovalno delo je avgusta 2006 prevzel Sašo Petan. Pri odločitvi o velikosti erozijskih ploskev sta največjo težo imela dva faktorja: razpoložljiva sredstva, tako fizična kot gmotna, in mednarodna primerljivost (Zorn, 2007). Ploskve primerljivih velikosti so pri raziskavah erozije tal v mediteranskem prostoru že bile uporabljene (Usón in Ramos, 2001; Dunjó in sod., 2004; Boix-Fayos in sod., 2007).

Poesen in sod. (1994) uvrščajo erozijske ploskve velikosti 1 m² med majhne do srednje velike ploskve. Pri tako velikih ploskvah še ne prihaja do koncentracije površinskega odtoka in posledične tvorbe žlebičev. Tako se sproščajo tla le zaradi pljuskovne in medžlebične erozije. Večanje dolžine erozijskih ploskev omogoča tvorbo erozijskih žlebičev in posledično sproščanje višjih količin tal na površinsko enoto. Parsons in sod. (2006) so ugotovili najvišjo količino erodiranega materiala na ploskvah dolžine 7 m. Pri nadaljnjem večanju dolžine erozijskih ploskev prihaja do odlaganja že sproščenega materiala znotraj ploskev in

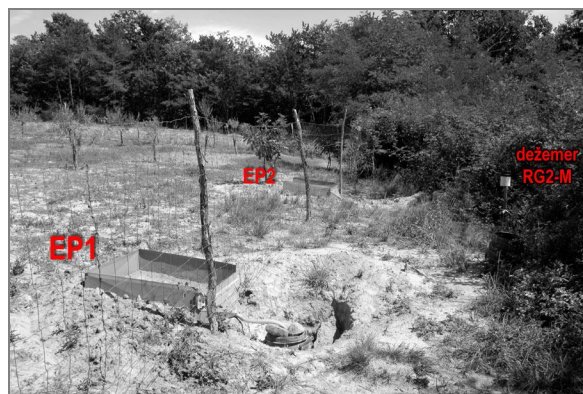
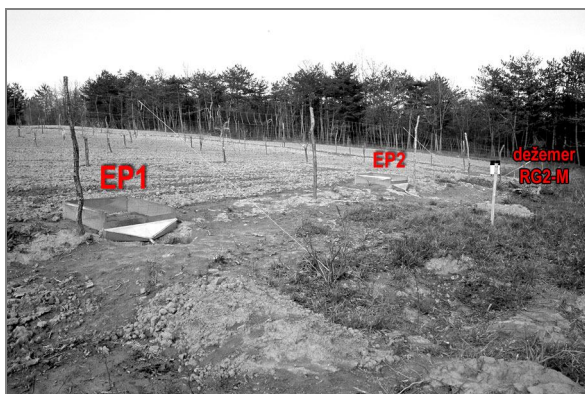
posledično manjših relativnih izdatkov tal. Tako se dejansko iz erozijskih ploskev sperejo le tla, ki so v bližini iztoka (Rejman in sod., 1999).



erozijska ploskev	raba	pokrovnost	naklon [°]
1 in 2	mladi oljčnik	neporaščeno	5,5
3 in 4	travnik	v zaraščanju	9,4
5 in 6	mešani gozd	odpadlo in posušeno listje in iglice	7,8
7 in 8	mešani gozd	odpadlo in posušeno listje in iglice	21,4

Slika 3.26: Prikaz postavitve erozijskih ploskev na pobočju južno od vasi Marežige na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo in različnim naklonom (foto: www.geopedia.si).

Figure 3.26: Position of the erosion plots placed on the slope south of the Marežige village on soil with various coverage and land use, respectively, and various inclination (photo: www.geopedia.si).



Slika 3.27: Erozijski ploskvi EP1 in EP2 ter dežemer RG2-M ob postavitvi na mladem oljčniku marca 2005 (levo, foto: Matija Zorn) in ob koncu meritev avgusta 2008 (desno, foto: Sašo Petan).

Figure 3.27: EP1 and EP2 erosion plots and the RG2-M rain gauge at the time of the set-up in the young olive grove (left, photo: Matija Zorn) and at the end of the measurement period (right, photo: Sašo Petan).

Erozijske ploskve so bile omejene z med seboj privijačenimi pločevinastimi elementi. Zgoraj, levo in desno so bile do globine 10 cm v tla vkopane plošče dimenzij 100 × 30 cm, spodaj pa se je nahajal lijak širine 100 cm, na katerega je bila nataknjena PVC-cev, ki je dovajala suspenz površinskega odtoka s spranimi talnimi delci v plastične lovilne posode s prostornino 30 litrov (slika 3.28). Pozneje so bile lovilne posode na EP1 in EP2 podvojene.



Slika 3.28: Erozijske ploskve EP1, EP2, EP3 in EP4 (od leve proti desni) decembra 2007 (zgoraj) in avgusta 2008 (spodaj) (foto: Sašo Petan).

Figure 3.28: Erosion plots EP1, EP2, EP3 and EP4 (left to right) in December 2007 (above) and in August 2008 (below) (photo: Sašo Petan).

Vzorčevanje suspenza površinskega odtoka s spranimi talnimi delci smo načeloma izvajali po vsakem erozivnem dogodku, če so to omogočale okoliščine. Najprej smo določili prostornino suspenza v vsaki izmed lovilnih posod na 0,1 liter natančno. Nato smo suspenz ročno intenzivno mešali do popolnega premešanja in odvzeli vzorec suspenza (0,5 litrov) za laboratorijsko analizo. Pri erozijskih ploskvah EP1 in EP2 je precejšnja količina spranih talnih delcev končala na stenah lijaka. Ti so bili z metlico usmerjeni proti iztoku lijaka, kjer so bili zbrani v PVC vrečkah v t. i. suhi vzorec. Tega je bilo treba pred tehtanjem izsušiti, če je bilo zadnje deževje nedavno nazaj. Tehtanje suhih vzorcev smo opravili v laboratoriju z natančno elektronsko tehtnico. Na stenah lijakov preostalih erozijskih ploskev (EP3 do EP8) je bilo tudi ob najbolj erozivnih dogodkih relativno malo spranih delcev in bi pometanje teh delcev vnašalo precejšnje napake pri meritvah. Tla, ki so ostala prilepljena na lijakih EP3 do EP8, so bila pogosto preveč mokra za pometanje. Zato so bile te ploskve pometene le nekajkrat, zgolj zaradi bilance spranih tal. Dodatno težavo pri erozijskih ploskvah je predstavljala aktivnost živih organizmov v tleh, še posebej v gozdu, kjer so deževniki na površje zelo pogosto

prinašali talne delce, ki so ob izsušitvi dobili grudičasto obliko in se tako prosto kotalili ter včasih končali v lijaku. Na neporaščenih tleh je bila zaznana aktivnost hroščev in martinčkov, ki so izdelovali podzemne poti in luknje v tleh in tako površinskemu odtoku omogočali teči mimo zbiralnega lijaka erozijske ploskve. Vsa zarast, ki se je prijela na neporaščenih tleh, je bila sproti odstranjena.

Analizo vzorcev suspenza površinskega odtoka s spranimi talnimi delci je redno opravljal laboratorij Katedre za zdravstveno hidrotehniko na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Za določanje koncentracije neraztopljenih snovi v vzorcih je bila uporabljena standardizirana merilna metoda SIST ISO 11923. Vzorci so bili izsušeni v sušilniku pri 105 °C in s tehtanjem je bila določena vsebnost suhe snovi v vzorcih predhodno odmerjenega volumna (100 ml). Na podlagi tako določene koncentracije smo lahko izračunali vsebnost suhe snovi v celotnem suspenzu površinskega odtoka s spranimi talnimi delci, ki se je zbral v lovilni posodi pod posamezni erozijski ploskvi. Ob upoštevanju mase suhega vzorca oz. pometenih talnih delcev na stenah lijaka smo določili še količino sproščenih tal iz erozijskih ploskev v obdobju med predzadnjim in zadnjim vzorčevanjem.

3.5 MODELIRANJE EROZIVNOSTI PADAVIN

3.5.1 Metodologija (R)USLE in erozivnost padavin

Kot že rečeno v poglavju 2.5, je erozivnost padavin podnebni dejavnik, ki je najbolj natančno opredeljen v okviru široko uporabljene metodologije za račun sproščanja tal (R)USLE. Osnovna enačba metodologije je bila zasnovana na podlagi poskusov, ki so bili opravljeni na standardni USLE erozijski ploskvi dolžine 22,1 m (in širine približno 4 m), naklona 9 %, neporaščeni in obdelani z oranjem v smeri padca pobočja. Takšne razmere, ki so pogojene z dimenzijami, naklonom, pokrovnostjo in obdelavo standardne USLE ploskve, v okviru metodologije (R)USLE imenujemo tudi standardne razmere. Enačba pa se glasi:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3.1)$$

Posamezne oznake pri enačbi 3.1 pomenijo:

A ... povprečna letna izguba tal na enoto površine [t/ha],

R ... dejavnik padavin in odtoka [$\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$],

K ... dejavnik erodibilnosti tal glede na standardne razmere [$\text{t MJ}^{-1} \text{ h mm}^{-1}$],

L ... dejavnik dolžine pobočja oz. razmerje med izgubo tal pri dejanski in standardni dolžini [-],

S ... dejavnik naklona pobočja oz. razmerje med izgubo tal pri dejanskem in standardnem naklonu [-],

C ... dejavnik pokrovnosti tal oz. razmerje med izgubo tal pri dejanski in standardni pokrovnosti [-],

P ... dejavnik zaščitnih (kmetijskih) ukrepov oz. razmerje med izgubo tal pri dejanski in standardni obdelavi oz. zaščiti zemljišča [-].

Vrednosti reaktivnih dejavnikov (K , C in P) načeloma razberemo iz predpisanih preglednic oz. grafikonov, aktivne dejavnike (R , L in S) pa praviloma izračunamo iz predpisanih enačb, lahko pa je dejavnik R za širša območja že določen v obliki kart. Pri določenih oblikah zapisa enačbe 3.1 skupni topografski dejavnik LS nadomešča dejavnika L in S .

Tukaj se bomo predvsem osredotočili na dejavnik padavin in odtoka R , ki ga kot aktivni hidrološki dejavnik imenujemo tudi erozivnost padavin (in odtoka) in je predmet pričujočega raziskovalnega dela.

Erozivnost padavin R je definirana kot letno povprečje vsote produktov kinetične energije padavin E in maksimalne 30-minutne intenzitete padavin I_{30} znotraj posameznih erozivnih dogodkov ed , ki so nastopili v daljšem časovnem obdobju trajanja N let (Renard in sod., 1997):

$$R = \frac{\sum_{ed} E \cdot I_{30}}{N} \quad (3.2)$$

Pri tem so enote posameznih spremenljivk naslednje: erozivnost padavin R – MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, kinetična energija padavin E – MJ ha⁻¹, intenziteta padavin I – mm h⁻¹. Tako za račun erozivnosti padavin R potrebujemo padavinske podatke s časovno resolucijo krajšo od 30 minut. V našem primeru smo posedovali 1-minutne disdrometrске podatke in 5-minutne podatke iz pluviografske mreže ARSO. Po metodologiji (R)USLE med erozivne dogodke ed štejemo vse deževne dogodke, pri katerih se je v šestih urah akumuliralo vsaj 12 mm padavin oz. v 15 minutah vsaj 6 mm padavin (Wischmeier in Smith, 1978).

3.5.2 Modeliranje kinetične energije padavin

Kinetično energijo padavin je težko meriti neposredno, zato se po navadi izračuna posredno iz meritev porazdelitve padavinskih delcev. Ker so bile v preteklosti te meritve razmeroma redke in do danes še niso doživele pravega razmaha, saj gre za aparature višjega cenovnega razreda, so se v preteklosti uveljavile empirične enačbe zasnovane na meritvah porazdelitve padavinskih delcev. Te enačbe podajajo specifično kinetično energijo padavin e kot funkcijo merjene intenzitete padavin I . Ker je v splošnem kinetična energija padajoče mase proporcionalna s kvadratom njene hitrosti, je specifična kinetična energija e v neposredni povezavi z intenziteto padavin I .

Specifična kinetična energija padavin e je lahko podana v dveh oblikah: kot ploskovna gostota moči oz. energija na enoto časa in površinsko enoto e_A ali kot energija na površinsko enoto in enoto količine padavin e_B oz. količnik med ploskovno gostoto moči in intenziteto padavin:

$$e_B = \frac{e_A}{I} \quad (3.3)$$

Tako lahko kinetično energijo E posameznega erozivnega dogodka oz. naliva izračunamo kot vsoto produktov specifične kinetične energije e_A in časa Δt intervala meritev intenzitete padavin I ali pa kot vsoto produktov specifične kinetične energije e_B in izmerjene višine padavin P_k v časovnem intervalu Δt . Pri tem je k število meritev oz. mnogokratnik intervala Δt v času erozivnega dogodka s trajanjem t :

$$E = \sum_k e_A \cdot \Delta t = \sum_k e_B \cdot P_k \quad (3.4)$$

Wischmeier in Smith (1958) sta na podlagi meritev, ki sta jih opravila Laws in Parsons leta 1943 v Washingtonu (ZDA), v metodologijo USLE vpeljala naslednjo enačbo za račun specifične kinetične energije padavin e_B [$\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$]:

$$e_B = 0,1187 + 0,0873 \cdot \log_{10} I \quad \text{za } I \leq 76 \text{ mm h}^{-1} \quad (3.5)$$

$$e_B = 0,283 \quad \text{za } I > 76 \text{ mm h}^{-1} \quad (3.6)$$

Pozneje sta Brown in Foster (1987) predlagala enačbo za račun specifične kinetične energije padavin e_B , ki jo priporočajo tudi avtorji metodologije RUSLE (Renard in sod., 1997):

$$e_B = e_{\max} \cdot [1 - a \cdot \exp(-bI)] \quad (3.7)$$

$$e_B = 0,29 \cdot [1 - 0,72 \cdot \exp(-0,05I)] \quad (3.8)$$

Kadar gre I proti zelo visokim vrednostim (oz. neskončnosti) se specifična kinetična energija e_B asimptotično približuje vrednosti $e_{\max}$. Obratno, kadar gre I proti nič, pa e_B dobi končno

pozitivno vrednost. Zato je oblika enačbe 3.7 superiorna analitična oblika za račun specifične kinetične energije (Renard in sod., 1997).

Brown in Foster (1987) sta enačbo 3.8 izpeljala za jug ZDA. Sledilo jima je veliko avtorjev, ki so določili parametre enačbe 3.7 za druga območja oz. podnebna območja po svetu. Tudi eden naših ciljev je, da določimo parametre enačbe 3.7 za podnebna območja Slovenije. Za doseg tega cilja je bilo treba analizirati podatke o porazdelitvi padavinskih delcev iz disdrometrskih meritev.

Najprej smo podatke o porazdelitvi padavinskih delcev (meritve DSD) filtrirali, saj je šlo za 1-minutne podatke iz disdrometrskih meritev s trajanjem vsaj enega leta. Upoštevali smo samo deževne dogodke (brez sneženja), ki so dosegli skupno višino padavin vsaj 6 mm. Pri tem je bila višina padavin izračunana iz 1-minutnih intenzitet padavin $I(dt)$, ki sta jih disdrometra, LPM300 in Parsivel, sporočala v podatkovnih telegramih. V nadaljevanju smo iz obravnave izključili še vse 1-minutne meritve, pri katerih je bila intenziteta padavin $I(dt)$ nižja od $0,1 \text{ mm h}^{-1}$ z namenom izognitvi velikim napakam pri nadaljnjih računih zaradi nezanesljivosti instrumentov pri nizkih intenzitetah padavin.

Za spodnjo mejo višine padavin pri določitvi erozivnih dogodkov smo izbrali 6 mm in ne 12 mm, kot je predpisano v (R)USLE, z namenom, da zaobjamemo tudi tiste deževne dogodke, ki niso med najbolj intenzivnimi (vsaj 6 mm v 15 minutah) v smislu intenzitete padavin, a prispevajo primerljiv delež k bilanci kinetične energije padavin. Tako nam je ostalo tudi precej več meritev oz. točk za nadaljnjo obravnavo.

Pri računu intenzitete padavin $I(dsd)$ in specifične kinetične energije padavin $KE(dsd)$ (v smislu e_A) iz meritev DSD nismo upoštevali zaznanih padavinskih delcev s premerom večjim od 7 mm. To smo storili zato, da smo zmanjšali vpliv merskih napak pri disdrometrih, ki nastopijo ob hkratnem prehodu dveh ali več padavinskih delcev skozi svetlobni žarek oz. merilno površino (glej poglavje 3.4.2, slika 3.25). V takšnih primerih disdrometer zazna en velik padavinski delec in tako meri previsoke vrednosti maksimalnih intenzitet padavin (Lanzinger in sod., 2006). Meja 7 mm pa je bila izbrana zato, ker se v svetovni literaturi za največje dežne kaplje, ki so še zmožne padati, ne da bi se razdelile v več manjših, navajajo

vrednosti med 6 in 8 mm (Mason, 1978; Glickman, 2000; Fujiyoshi *in sod.*, 2008, van Mook, 2002). Na ta način smo izključili tudi morebitna zrna toče.

Intenziteta padavin $I(dsd)$ [mm h⁻¹] je bila izračunana kot vsota volumnov padavinskih delcev iz vseh veljavnih (<7 mm) velikostnih razredov i znotraj porazdelitve padavinskih delcev. Pri tem smo upoštevali simetrično krogelno obliko padavinskih delcev, ki so v časovnem intervalu s trajanjem Δt (1/60 h) prešli skozi merilno površino disdrometra F [mm²]:

$$I(dsd) = \frac{\pi}{6F\Delta t} \cdot \sum_i n_i \cdot \frac{1}{D_{b,i} - D_{a,i}} \cdot \int_{D_{a,i}}^{D_{b,i}} D_i^3 dD \quad (3.9)$$

Pri tem je n_i [-] število zaznanih padavinskih delcev znotraj velikostnega razreda i , D_i [mm] pa premer padavinskega delca znotraj velikostnega razreda i , ki je omejen na intervalu med $D_{a,i}$ do $D_{b,i}$. Specifična kinetična energija $KE(dsd)$ [J m⁻² h⁻¹] je bila za vsak časovni interval s trajanjem Δt izračunana na dva načina. Pri prvem izračunu oz. pri računu $KE_1(dsd)$ je bila upoštevana merjena hitrost padanja padavinskih delcev pri prehodu skozi merilno površino disdrometra F [mm²]:

$$KE_1(dsd) = \frac{\pi\rho}{12 \cdot 10^3 F\Delta t} \cdot \sum_i n_i \cdot \frac{1}{D_{b,i} - D_{a,i}} \cdot \int_{D_{a,i}}^{D_{b,i}} D_i^3 dD \cdot \frac{1}{v_{b,i} - v_{a,i}} \cdot \int_{v_{a,i}}^{v_{b,i}} v_i^2 dv \quad (3.10)$$

V enačbi 3.10 je gostota vode označena kot ρ [kg m⁻³], hitrost padanja padavinskih delcev znotraj razreda i pa kot v_i [m s⁻¹], ki je omejena na intervalu med $v_{a,i}$ do $v_{b,i}$. Pri izračunu specifične kinetične energije $KE_2(dsd)$ pa je bila hitrost v_i v enačbi 3.10 nadomeščena s končno hitrostjo padanja dežnih kapelj v_t [m s⁻¹] po Atlasu in sod. (1973):

$$v_t(D_i) = 9,65 - 10,3 \exp(-0,6D_i) \quad (3.11)$$

Tako izračunane 1-minutne vrednosti za specifično kinetično energijo padavin $KE_1(dsd)$ in $KE_2(dsd)$ so bile korelirane z 1-minutnimi vrednostmi intenzitete padavin $I(dsd)$ za vse štiri, z disdrometri opremljene merilne lokacije. Kot model za izpeljavo $KE-I$ funkcijske odvisnosti

je bila izbrana triparametrna eksponentna zveza (enačba 3.7). Parametri so bili določeni tako, da smo začetne približke parametrov (enačba 3.8) spreminjali toliko časa, dokler ni bila dosežena maksimalna možna vrednost Nash-Sutcliffeovega koeficienta modelske učinkovitosti (Nash in Sutcliffe, 1970):

$$N_{eff} = 1 - \frac{\sum (y_o - y_p)^2}{\sum (y_o - \bar{y}_o)^2} \quad (3.12)$$

Pri tem je y_o opazovana oz. merjena vrednost, y_p je napovedana oz. modelirana vrednost, $\bar{y}_o$ pa povprečje opazovanih oz. merjenih vrednosti. Za vsako izmed merilnih lokacij so bili na enak način določeni tudi parametri za dodatno $KE-I$ funkcijsko odvisnost na podlagi 5-minutnih podatkov za $I(dsd)$ in $KE(dsd)$ (5-minutne vsote 1-minutnih vrednosti, normirane na časovno enoto) z namenom uporabe s 5-minutnimi intenzitetami padavin iz pluviografov ARSO.

Modelsko učinkovitost izpeljanih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti smo preverili na merjenih in modeliranih 1-minutnih in 5-minutnih vrednostih specifične kinetične energije padavin e in tudi na merjenih in modeliranih vrednostih kinetične energije E erozivnih dogodkov (enačba 3.4). Te modelske učinkovitosti so bile primerjane z učinkovitostmi $KE-I$ funkcijskih povezav, ki so v svetovni literaturi predlagane s strani drugih avtorjev in so do sedaj že bile uporabljene pri raziskavah v mediteranskem in širšem prostoru (preglednica 3.9). Pri tem smo iz obravnave izključili tiste funkcijske povezave, ki niso imele zadostnega intervala veljavnosti na območju intenzitet padavin.

Preglednica 3.9: Funkcijske odvisnosti med specifično kinetično energijo e_A [$J m^{-2} h^{-1}$] in intenziteto padavin I [$mm h^{-1}$], kot so navedene v Salles in sod. (2002).

Table 3.9: Relationships between time-specific kinetic energy e_A [$J m^{-2} h^{-1}$] and rainfall intensity I [$mm h^{-1}$] as given in Salles et al. (2002).

referenca	e_A [$J m^{-2} h^{-1}$]	regija	interval veljavnosti I [$mm h^{-1}$]
Usón in Ramos, 2001	$23,4I - 18$	SV Španija	0–20
Sempere Torres in sod., 1992	$34I - 190$	Cévennes, J. Francija	20–100
Coutinho in Tomás, 1995	$35,9I (1 - 0,559e^{-0,034I})$	J. Portugalska	0–120
Cerro in sod., 1997	$38,4I (1 - 0,538e^{-0,029I})$	Barcelona, Španija	ni podatka
Zanchi in Torri, 1980	$I (9,81 + 11,25 \log_{10} I)$	osrednja Italija	ni podatka
Wischmeier in Smith, 1958	$I (11,87 + 8,73 \log_{10} I)$	Washington, ZDA	ni podatka
Brown in Foster, 1987	$29I (1 - 0,72e^{-0,05I})$	jug ZDA	0–250
Rosewell, 1986	$29I (1 - 0,596e^{-0,0404I})$	Gunnedah, JV Avstralija	1–145,9
van Dijk in sod., 2002	$28,3I (1 - 0,52e^{-0,042I})$	ni podatka	ni podatka
McIsaac*, 1990	$28,8I (1 - 0,45e^{-0,033I})$	Panama	1,5–194
Brandt, 1990	$I (8,95 + 8,44 \log_{10} I)$	ZDA	ni podatka

*po van Dijk in sod. (2002)

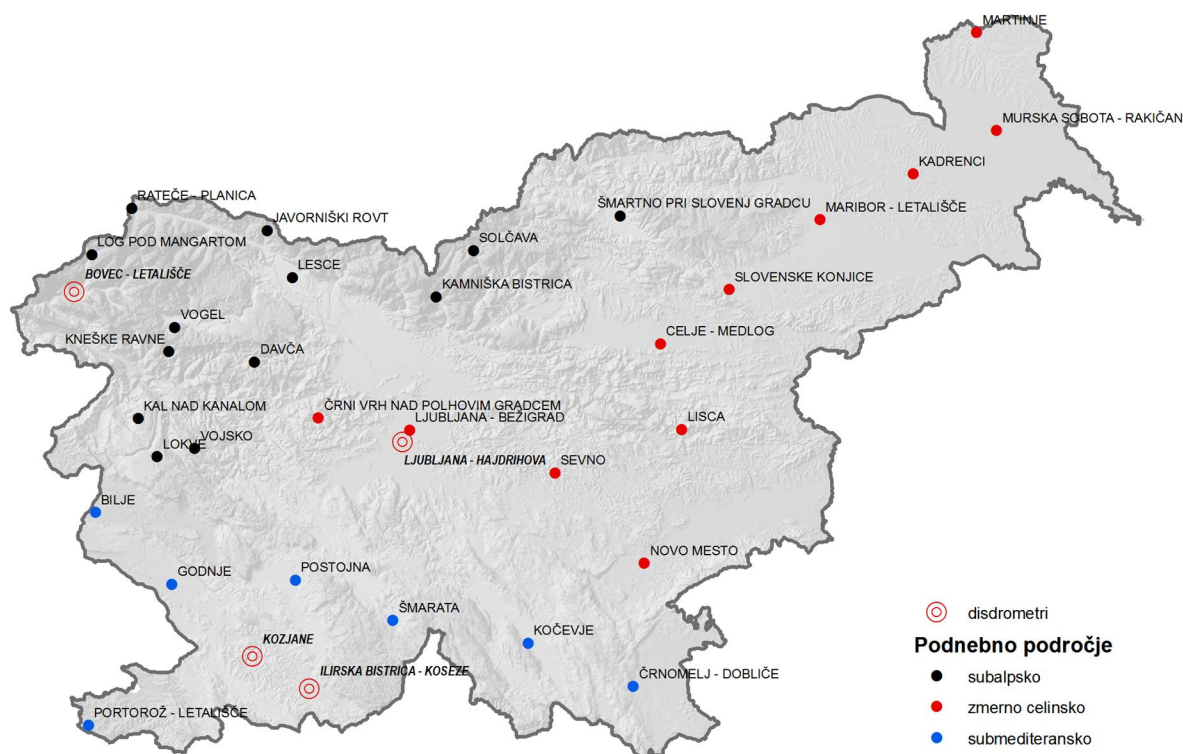
Validacijo $KE-I$ funkcijskih odvisnosti smo znova opravili na podlagi preverjanja modelskih učinkovitosti pri modeliranju kinetične energije E erozivnih dogodkov, potem ko smo s pomočjo izpeljanih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti izračunali specifično kinetično energijo $KE(rg)$ iz merjenih intenzitet padavin $I(rg)$ z dežemeri, ki so istočasno obratovali ob disdrometrih.

3.5.3 Prostorsko modeliranje erozivnosti padavin

Izhodišče pri prostorskem modeliranju erozivnosti padavin so bile 10-letne meritve intenzitete padavin na 31 pluviografskih postajah znotraj opazovalne mreže ARSO (slika 3.29). Na podlagi merjenih 5-minutnih intenzitet padavin so bili najprej določeni erozivni dogodki podobno kot pri disdrometrskih meritvah: predpisano spodnjo mejo 12 mm za višino padavin znotraj erozivnega dogodka po metodologiji (R)USLE smo znižali na 6 mm z namenom zaobjeti predvsem tiste deževne dogodke, ki kljub temu, da niso med najbolj intenzivnimi (vsaj 6 mm v 15 minutah) v smislu intenzitete padavin, prispevajo primerljiv delež k bilanci

kinetične energije padavin. Iz obravnave smo izločili sneženje in tako upoštevali le deževne dogodke.

Pluviografske postaje smo razdelili v tri podnebne skupine glede na geografski položaj postaje (slika 3.29) in jim nato pripisali ustrezno enačbo za račun kinetične energije padavin oz. $KE-I$ funkcijsko odvisnost (glej poglavje 3.5.2), ki smo jo na podlagi disdrometriških meritev izpeljali za vsako od treh podnebnih področij (submediteransko, subalpsko oz. zmerno celinsko) v Sloveniji. Sledil je račun kinetične energije posameznih dogodkov E in povprečne letne erozivnosti padavin R (enačbi 3.4 in 3.2) na podlagi 10-letnih meritev ARSO. Manjkajoči prispevek k bilanci erozivnosti padavin R tistih erozivnih dogodkov, ki so na posameznih postajah ostali nezabeleženi zaradi izpada merilnih instrumentov, smo nadomestili s koreliranimi vrednostmi prispevkov $E \cdot I_{30}$ (glej enačbo 3.2) glede na najprimernejšo postajo v neposredni bližini.



Slika 3.29: Lokacija disdrometrov in pluviografskih postaj iz opazovalne mreže ARSO (31 točk), ki so bile uporabljene pri izdelavi karte erozivnosti padavin, in njihova porazdelitev glede na podnebna območja.

Figure 3.29: Location of disdrometers and pluviographs from the observation network of ARSO (31 points) used for the creation of the rainfall erosivity map and their distribution across the climate regions.

Tako smo za posamezne postaje dobili končne vrednosti erozivnosti padavin R , ki smo jih kot atribut pripisali prostorskim vektorskim točkovnim podatkom, ki predstavljajo geografski položaj obravnavanih pluviografskih postaj ARSO. Sledila je prostorska interpolacija podatkov o povprečju letne erozivnosti padavin R , ki smo jo izvedli v enakem smislu, kot se izvaja prostorska interpolacija dolgoletnega povprečja višine padavin na ARSO (Dolinar, 2009), saj gre za enako fizikalno ozadje oz. izhodišče (intenziteta padavin). Izvedli smo interpolacijo mešanega tipa, ki je kombinacija globalne (regresijske) interpolacijske metodo in geostatistične metode navadnega kriginga. Pri postopku izdelave karte erozivnosti padavin so bili bistveni trije koraki:

- izdelava prvega približka karte erozivnosti padavin s pomočjo multiple linearne regresije (MLR),
- kriging interpolacija na t. i. ostankih MLR in
- korekcije karte erozivnosti padavin na robovih.

3.5.3.1 Prvi približek karte erozivnosti padavin

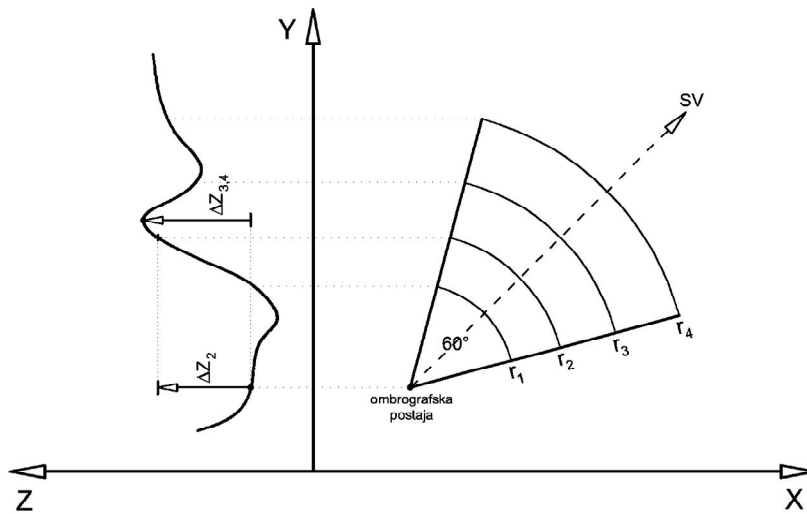
Povprečje letne erozivnost padavin R smo želeli zapisati kot funkcijo geografskega položaja. V ta namen smo uporabili multiplo linearno regresijo (MLR) na predhodno izračunanih vrednostih za dejavnik R na 31 pluviografskih postajah in spremenljivkah, ki smo jih pripravili iz geodetskih Gauss-Krugerjevih koordinat postaj (X in Y) in njihove nadmorske višine (Z):

$$R = f(X, Y, X^2, Y^2, Z, \Delta Z, XY, XZ, YZ) \quad (3.13)$$

Pri tem spremenljivka ΔZ pomeni višinsko razliko med nadmorsko višino pluviografske postaje in najvišje točke v smeri proti severovzhodu, ki se nahaja v krožnem izseku širine 60° in radija r_1, r_2, r_3 oz. r_4 (slika 3.30). Za radije r_1 do r_4 smo izbrali vrednosti 500, 1000, 2000 in 4000 m. Tako smo imeli 4 različice spremenljivko ΔZ . V postopku MLR smo s poizkušanjem ugotovili, pri kateri različici ΔZ so rezultati regresijskega modela najboljši in tudi katere od ostalih spremenljivk lahko izločimo oz. imajo zanemarljivo težo pri regresiji. Tako smo ugotovili najboljšo kombinacijo spremenljivk glede na statistike MLR in dobili njene končne parametre a_0 do a_9 .

Spremenljivke za račun dejavnika R smo pripravili s pomočjo izdelanega algoritma oz. skripte v programu Matlab iz 100-metrskega digitalnega modela reliefa (DMR) za celotno območje Slovenije. Tako smo iz ugotovljenih parametrov MLR (a_0 do a_9) izračunali prvi približek karte erozivnosti padavin R_{pp} s 100-metrsko resolucijo:

$$R_{pp} = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4Y^2 + a_5Z + a_6\Delta Z + a_7XY + a_8XZ + a_9YZ \quad (3.14)$$



Slika 3.30: Princip iskanja najvišje točke v bližini pluviografskih postaj pri računu spremenljivke ΔZ .

Figure 3.30: Highest points quest principle in the surroundings of the pluviographic stations while determining the ΔZ variable.

3.5.3.2 Interpolacija kriging

Interpolacijo kriging smo izvedli na podatkih, ki smo jih pripravili iz dejanske erozivnosti padavin R in prvega približka karte erozivnosti padavin R_{pp} . V 31 točkah (pluviografske postaje ARSO) smo izračunali razmerja d_{pp} med dejansko erozivnostjo padavin R in njenim prvim približkom R_{pp} , ki smo ga izračunali na podlagi MLR v predhodnem koraku:

$$d_{pp} = \frac{R}{R_{pp}} \quad (3.15)$$

Na ta način smo izločili trende iz podatkov o erozivnosti padavin R v prostorskem smislu, ki so nezaželeni pri interpolaciji kriging, in tako dejansko opravili interpolacijo razmerij oz. t. i. ostankih d_{pp} .

Geostatistično modeliranje temelji na izbiri modela, ki podaja prostorsko odvisnost med znanimi oz. izhodiščnimi vrednostmi za interpolacijo. Izbira modela se opravi na podlagi semivariograma, ki je mera za povprečno nepodobnost γ med znanimi vrednostmi v odvisnosti od vektorjev razdalje h med točkami z znanimi vrednostmi (Goovaerts, 1999). Vrednosti semivariograma γ se izračunajo za vsak par točk z znanimi vrednostmi kot polovica kvadrata razlike med znanimi vrednostma. Tako smo na podlagi semivariograma pri navadnem krigingu izbrali sferičen model prostorske odvisnosti med znanimi vrednostmi d_{pp} brez upoštevanja anizotropije, pri čemer smo predhodno izvedli logaritmično transformacijo znanih vrednosti d_{pp} . Celoten postopek smo izvedli z geostatističnim modulom v programskem okolju ArcGIS. Rezultat kriging interpolacije je karta razmerij d_{pp} s 100-metrsko resolucijo za celotno območje Slovenije. Nato smo karti R_{pp} in d_{pp} oz. posamezne vrednosti znotraj rastrske mreže kart (ASCII matriki) medsebojno zmnožili in tako, kot sledi iz enačbe 3.15, dobili karto erozivnosti padavin R , ki pa seveda ni bila dokončna, saj je bilo interpolirane vrednosti na robovih obravnavanega območja oz. robovih poligona slovenske meje treba preveriti in jih po potrebi korigirati.

3.5.3.3 Korekcije karte erozivnosti padavin

Do nepričakovanih vrednosti na robovih obravnavanega območja je prišlo, ker nismo imeli podatkov o intenzitetah padavin onstran slovenskih meja in posledično nismo mogli izračunati erozivnosti padavin R na merilnih mestih v sosednjih deželah. Na problematičnih mestih smo si pomagali tako, da smo ocenili erozivnost padavin R v dodatnih točkah oz. na padavinskih postajah ARSO v bližini slovenske meje, kjer se odčituje le višina dnevnih padavin. Vrednosti dejavnika R smo ocenili na 13 padavinskih postajah s poenostavljeno korelacijo glede na letno povprečje višine padavin. Večina teh postaj se nahaja ob jugovzhodni, vzhodni in severovzhodni meji Slovenije. Na robovih severovzhodne meje Slovenije, kjer prevladuje nezahtevni relief (ravnice Prekmurja), smo dejavniku R pripisali najbolj verjetne vrednosti v osmih točkah, pri čemer smo izhajali iz znanih vrednosti

dejavnika R v neposredni bližini. Tako smo povečali nabor točk z znanimi vrednostmi dejavnika R in znova opravili postopek MLR in kriging interpolacije. Navadno kriging interpolacijo smo ponovili nekajkrat, da smo dosegli zadovoljive rezultate za karto erozivnosti padavin oz. dejavnika R .

4 REZULTATI MERITEV

4.1 UVOD

Časovni okvir meritev, ki so bile v sklopu raziskave za pričujočo doktorsko disertacijo opravljene na petih merilnih mestih, je podan v preglednici 4.1. Kot je razvidno iz preglednice, so bile meritve intenzitete padavin opravljene bodisi z naše strani (KSH – Katedra za splošno hidrotehniko) bodisi s strani ARSO. V nadaljevanju bomo rezultate meritev podali v treh sklopih glede na vrsto meritev, znotraj vsakega sklopa pa po merilnih mestih. V prvem sklopu, pri višini in intenzitetah padavin, bomo padavinske razmere v merilnem obdobju skušali umestiti v dolgoletno povprečje padavinskih razmer tudi v sezonskem smislu. Pri tem smo sezone razdelili na hidrološka trimesečja:

- zima – meseci januar, februar in marec,
- pomlad – meseci april, maj in junij,
- poletje – meseci julij, avgust in september in
- jesen – meseci oktober, november in december.

Preglednica 4.1: Časovni okvir opravljenih meritev po merilnih mestih.

Table 4.1: Time schedule of the measurements performed on the measuring locations.

merilno mesto	intenziteta padavin	meritve DSD	sproščanje tal	izvedba meritev intenzitete padavin
Bovec	od 1. 1. 2008 do 15. 7. 2009	od 27. 3. 2008 do 15. 7. 2009	-	ARSO
Ilirska Bistrica	od 1. 1. 2008 do 14. 7. 2009	od 1. 7. 2008 do 14. 7. 2009	-	ARSO
Kozjane	od 1. 1. 2008 do 31. 12. 2009	od 1. 7. 2008 do 14. 7. 2009	-	KSH
Ljubljana	od 1. 10. 2007 do 9. 7. 2009	od 5. 12. 2007 do 9. 7. 2009	-	KSH, ARSO
Marezige	od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2008	-	od 1. 8. 2006 do 13. 8. 2008	KSH

4.2 VIŠINA IN INTENZITETE PADAVIN

4.2.1 Bovec

Dežemer OTT Pluvio je meril višino in intenziteto padavin na merilnem mestu Bovec Letališče kot podpora meritvam porazdelitve padavinskih delcev na isti lokaciji. V merilnem obdobju so meritve izpadle v skupnem trajanju 100 ur (0,7 % merilnega obdobja). Prekinitev so bile večinoma kratkega trajanja, največ nekaj ur, tri pa so bile nekoliko daljše:

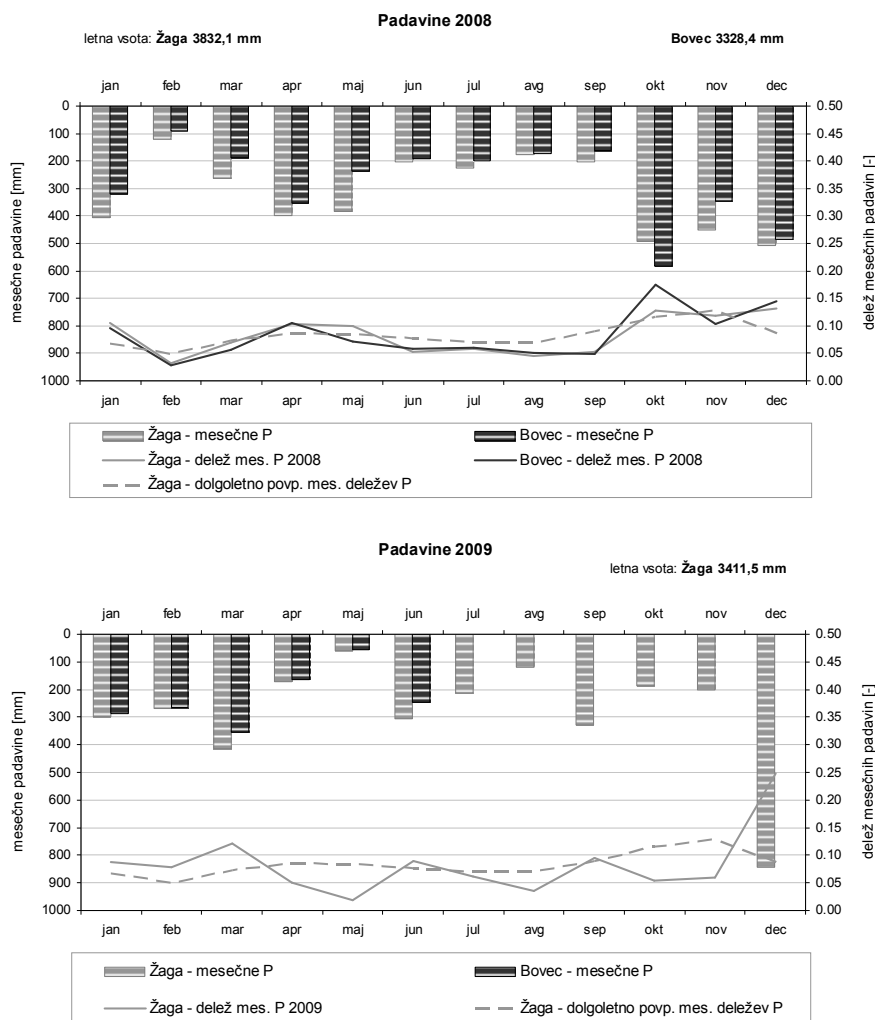
- 44-urna prekinitev s pričetkom 29. 3. 2008 ob 12. uri,
- 19-urna prekinitev s pričetkom 1. 5. 2008 ob 19. uri in
- 21-urna prekinitev s pričetkom 24. 3. 2009 ob 14. uri.

Skupna količina padavin v letu 2008 je znašala 3328,4 mm, v naslednjem letu pa do konca merilnega obdobja (15. 7. 2009) pa 1370,7 mm. Za pomoč pri oceni padavinskih razmer v merilnem obdobju smo uporabili podatke iz arhiva meteoroloških podatkov ARSO za sosednjo meteorološko postajo Žaga (sliki 4.1 in 4.2). Glede na izmerjeno višino padavin na postaji Žaga sta bili leti 2008 in 2009 nadpovprečno mokri, saj sta bili izmerjeni letni višini padavin 3832,1 mm in 3411,5 mm, dolgoletno povprečje višine padavin pa znaša 2971,2 mm.

Tako ugotavljamo, da je bila porazdelitev deležev padavin v letu 2008 precej podobna tipični porazdelitvi deležev padavin na meteorološki postaji Žaga, ki je bila izračunana na podlagi dolgoletnih nizov mesečnih padavin (1961–2009). V letu 2008 je opazen izostanek deleža padavin od pozne pomladi do zgodnje jeseni in presežek padavin oktobra in decembra (slika 4.1, zgoraj). Poletni izostanek in jesenski višek padavin v letu 2008 (slika 4.2) sta popolnoma skladna z opazovanimi trendi padavin na tem območju (ARSO, 2006).

Porazdelitev deležev padavin v letu 2009 je bila precej bolj razgibana glede na povprečno. Pri pogledu na sezonske padavine (slika 4.2) opazimo presežek zimskih in primanjkljaj pomladnih padavin, medtem ko sta poletna in jesenska višina padavin dokaj skladna z dolgoletnim povprečjem. Zimski presežek padavin je popolnoma atipičen glede na opazovane trende (ARSO, 2006). Pogled na sliko 4.1 (spodaj) pa nam razkrije posebnost v jesenskem času, ko je bil precejšen izostanek padavin v prvih dveh mesecih nadomeščen in celo presežen

z decembrskimi padavinami. Na meteorološki postaji Žaga je bil to daleč najbolj namočen december (843,5 mm) od leta 1961 naprej.

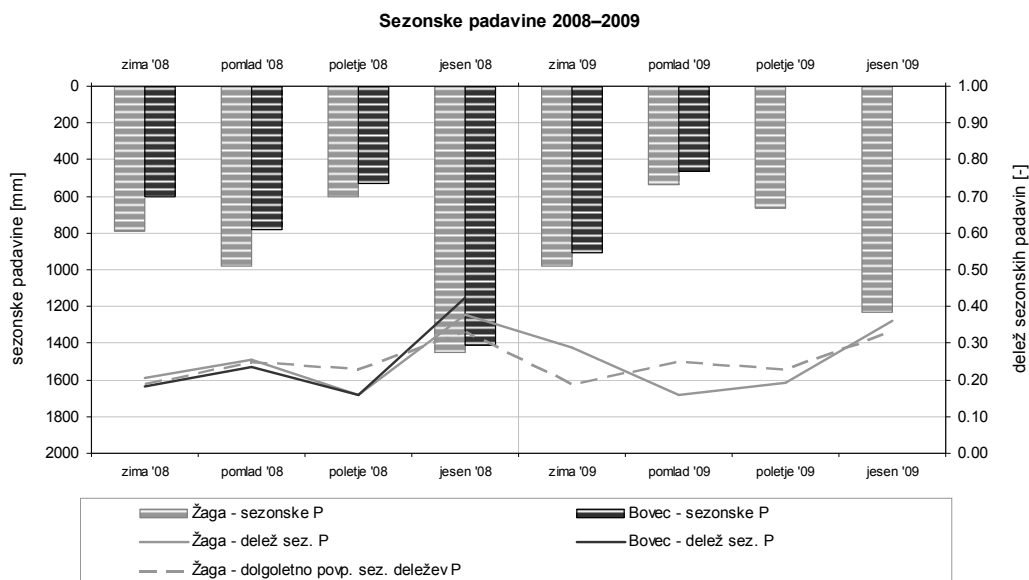


Slika 4.1: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Žaga in na merilnem mestu Bovec za koledarski leti 2008 in 2009.

Figure 4.1: Monthly precipitation and its annual portion at the Žaga meteorological station and Bovec measuring point for 2008 and 2009, respectively.

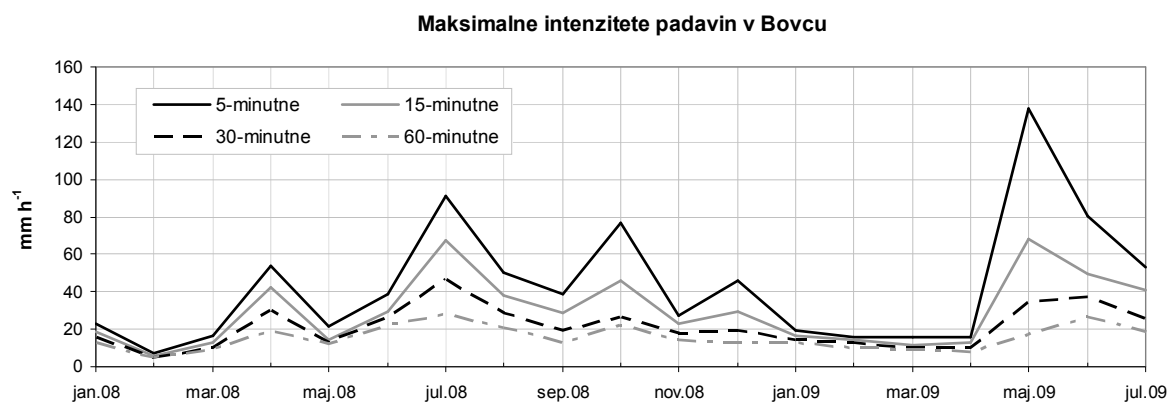
Najbolj intenzivne padavine kratkega trajanja na merilnem mestu v Bovcu so nastopile maja 2009 (slika 4.3), v mesecu z najvišjim izostankom padavin v merilnem obdobju (slika 4.1, spodaj). Takrat sta bili zabeleženi najvišja 5- in 15-minutna intenziteta padavin, ki sta znašali 138,0 mm/h in 68,4 mm/h (slika 4.3). Najvišja 30- in 60-minutna intenziteta padavin pa sta nastopili julija 2008, ko sta ti dosegli vrednost 46,6 mm/h oz. 27,7 mm/h. V splošnem so

najvišje intenzitete padavin nastopile pozno pomladi in v poletnih mesecih, najnižje pa pozimi.



Slika 4.2: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Žaga in na merilnem mestu Bovec v letih 2008 in 2009.

Figure 4.2: Seasonal precipitation and its annual portion at the Žaga meteorological station and Bovec measuring point for 2008 and 2009, respectively.



Slika 4.3: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja za merilno mesto Bovec od januarja 2008 do julija 2009.

Figure 4.3: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the Bovec measuring point from January 2008 till July 2009.

4.2.2 Ilirska Bistrica in Kozjane

Dežemer OTT Pluvio je meril višino in intenziteto padavin na merilnem mestu Ilirska Bistrica – Koseze kot podpora meritvam porazdelitve padavinskih delcev na isti lokaciji. V merilnem obdobju so meritve izpadle v skupnem trajanju 43 ur (0,3 % merilnega obdobja). Prekinitve so bile večinoma kratkega trajanja, nekaj deset minut, tri pa so bile nekoliko daljše:

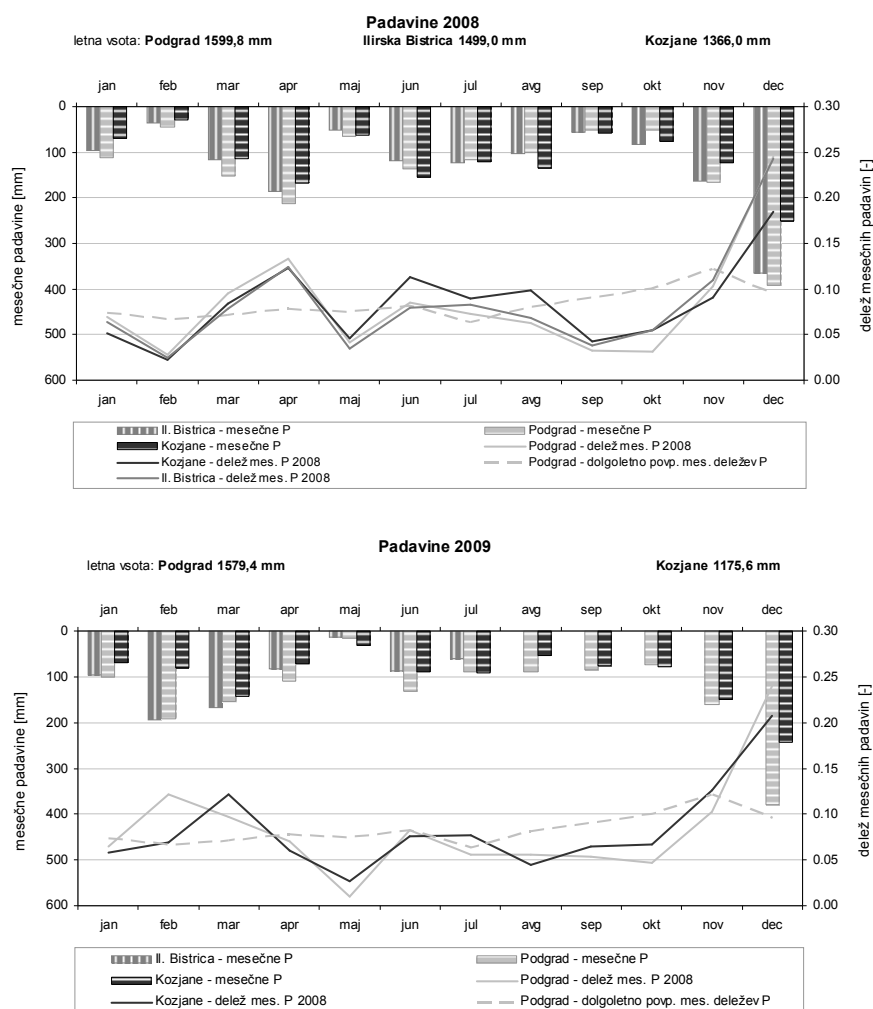
- 10-urna prekinitve s pričetkom 12. 4. 2008 ob 2. uri,
- 9-urna prekinitve s pričetkom 30. 4. 2008 ob 21. uri in
- prekinitve v skupnem trajanju 19 ur, ki se je s presledki odvijala 30. 1., 31. 1. in 1. 2. 2009.

Na merilnem mestu Kozjane, ravno tako v podporo meritvam porazdelitve padavinskih delcev, je meritve višine in intenzitete padavin opravljal dežemer Onset RG2-M. V obdobju meritev je prišlo do dveh daljših izpadov zaradi napake na podatkovnem zapisovalniku, in sicer od 8. 6. do 16. 7. 2008 in od 12. 8. do 9. 9. 2008 (skupaj 11 % merilnega obdobja). V tem času smo lahko nadomestili le urne višine padavin iz avtomatske meteorološke postaje, ki je ravno tako postavljena na Kozjanah.

Za pomoč pri oceni padavinskih razmer v merilnem obdobju smo uporabili podatke iz arhiva meteoroloških podatkov ARSO za bližnjo meteorološko postajo Podgrad pri Ilirski Bistrici. Skupna količina padavin v letu 2008 je v Ilirski Bistrici znašala 1499,0 mm, na Kozjanah pa 1366,0 mm. V letu 2009 je bilo na Kozjanah izmerjenih 1175,6 mm, do konca merilnega obdobja (15. 7. 2009) pa 696,3 mm v Ilirski Bistrici. Glede na izmerjeno višino padavin na postaji Podgrad je bilo območje Brkinov v letih 2008 in 2009 za odtenek bolj namočeno glede na povprečje: letni višini padavin sta znašali 1599,8 mm (2008) in 1579,4 mm (2009), dolgoletno povprečje višine padavin v Podgradu pa znaša 1535,8 mm (1961–2009). Treba je opomniti še, da dežemer RG2-M ni bil opremljen z grelcem za meritve v zimskih razmerah, od tod tudi nekoliko nižje vrednosti letnih višin padavin v Kozjanah. To je razvidno tudi iz slik 4.4 in 4.5, saj je v mesecih s snežnimi padavinami (november, december, januar in februar) občuten primanjkljaj izmerjenih padavin na Kozjanah glede na ostali dve postaji.

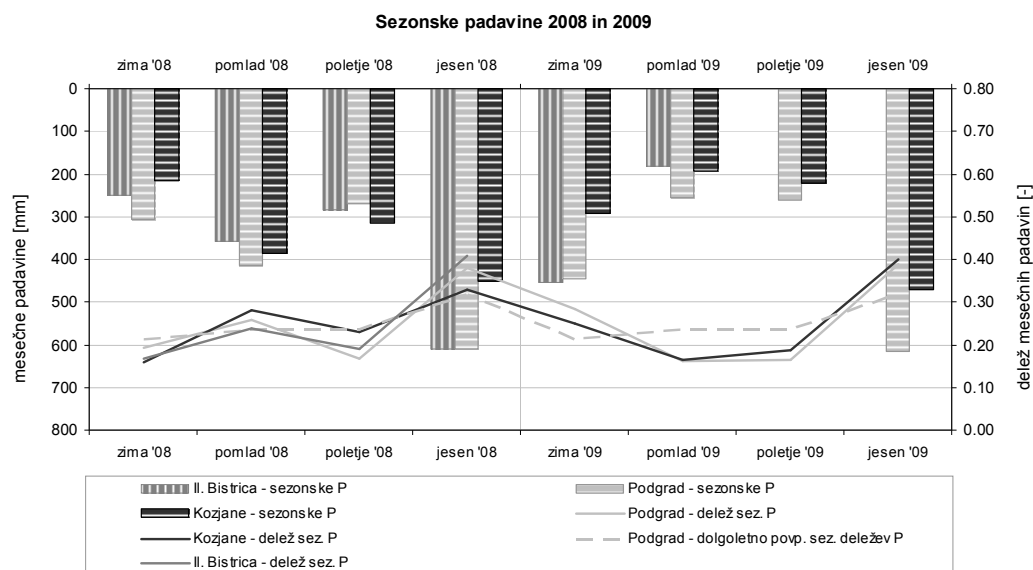
Porazdelitev deležev padavin na območju Brkinov je bila v letih 2008 in 2009 precej drugačna, tako na mesečni kot sezonski osnovi, od tipične porazdelitve deležev padavin na

meteorološki postaji Podgrad, ki je bila izračunana iz dolgoletnega niza mesečnih padavin (1961–2009). V letu 2008 je opazen izostanek deleža padavin pozimi in rahel porast deleža padavin spomladi, v letu 2009 pa ravno obratno: zimski porast kakor tudi pomladni izostanek sta precej bolj izrazita (sliki 4.4 in 4.5). V obeh letih je opazen precejšen primanjkljaj padavin v mesecu maju. Porazdelitev deležev padavin v drugi polovici leta 2008 je zelo podobna tisti v letu 2009: od sredine poletja do sredine jeseni je opazen precejšen primanjkljaj deležev padavin, december pa je nadpovprečno izdaten v padavinah. Glede na višino padavin v mesecu decembru sta leti 2008 in 2009 na prvem in tretjem mestu od leta 1961 pa do danes. Poletni izostanek in jesenski višek padavin (slika 4.5) sta popolnoma skladna z opazovanimi trendi padavin na tem območju (ARSO, 2006).



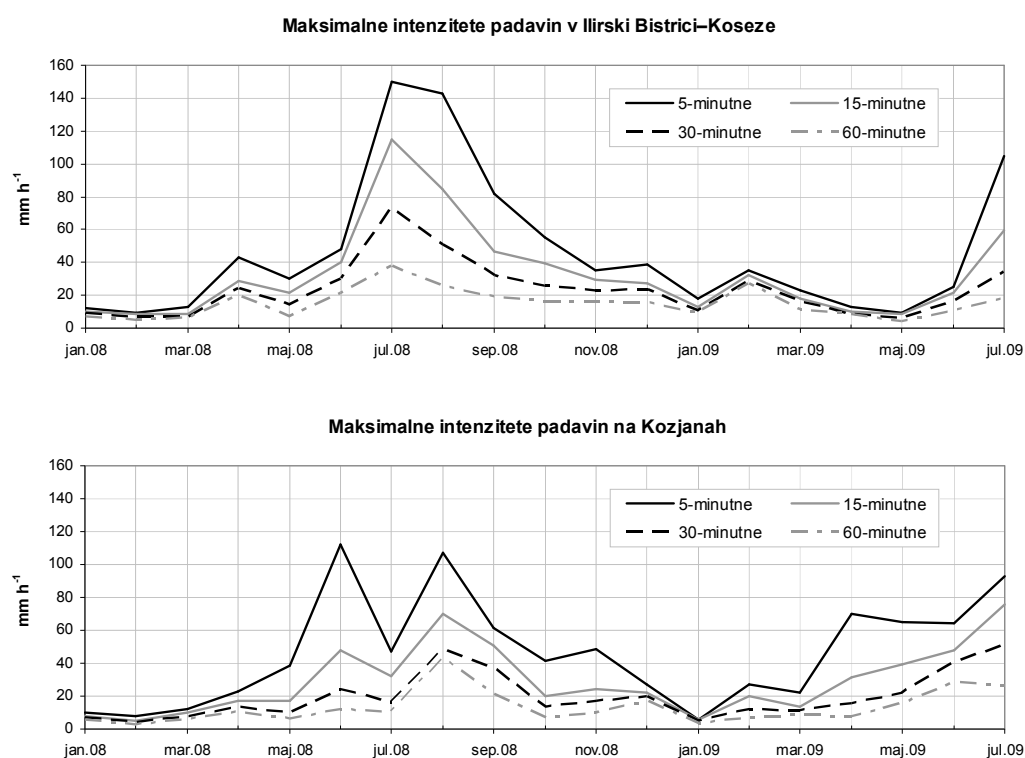
Slika 4.4: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Podgrad in na merilnih mestih Ilirska Bistrica – Koseze in Kozjane za koledarski leti 2008 in 2009.

Figure 4.4: Monthly precipitation and its annual portion at the Podgrad meteorological station and the measuring points of Ilirska Bistrica – Koseze and Kozjane for 2008 and 2009, respectively.



Slika 4.5: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Podgrad in na merilnih mestih Ilirska Bistrica – Koseze in Kozjane v letih 2008 in 2009.

Figure 4.5: Seasonal precipitation and its annual portion at the Podgrad meteorological station and the measuring points of Ilirska Bistrica – Koseze and Kozjane for 2008 and 2009, respectively.



Slika 4.6: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja na merilnih mestih Ilirska Bistrica – Koseze in Kozjane od januarja 2008 do julija 2009.

Figure 4.6: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the measuring points of Ilirska Bistrica – Koseze and Kozjane from January 2008 till July 2009.

Najbolj intenzivne padavine na merilnem mestu v Ilirski Bistrici so nastopile julija 2008, ko so bile zabeležene naslednje najvišje vrednosti: 150,0 mm/h, 114,8 mm/h, 73,2 mm/h in 38,2 mm/h za 5-, 15-, 30- in 60-minutno intenziteto padavin (slika 4.6, zgoraj). V splošnem so najvišje intenzitete padavin nastopile v poletnih mesecih, najnižje pa pozimi. Kot rečeno, smo bili na merilnem mestu Kozjane prikrajšani za podatke o intenzitetah padavin (izpada dežemera) ravno v obdobju najbolj intenzivnih padavin v juniju in juliju 2008. Tako je grafični prikaz intenzitet padavin na sliki 4.6 (spodaj) za ta dva meseca pomanjkljiv, saj je najvišja izmerjena urna količina padavin na bližnji avtomatski postaji (20,2 mm, 18. 6. 2008) višja od prikazanih 60-minutnih intenzitet na sliki. Izpad dežemera v drugi polovici avgusta 2008 ne pokvari slike maksimalnih intenzitet, saj so te nastopile na začetku meseca. Kakorkoli že, najvišjo 5-minutno intenziteto padavin je dežemer zabeležil v začetku junija 2008 v vrednosti 111,9 mm/h, najvišjo 15-, 30- oz. 60-minutno intenziteto pa avgusta 2008, in sicer 70,3 mm/h, 48,6 mm/h oz. 42,9 mm/h.

4.2.3 Ljubljana

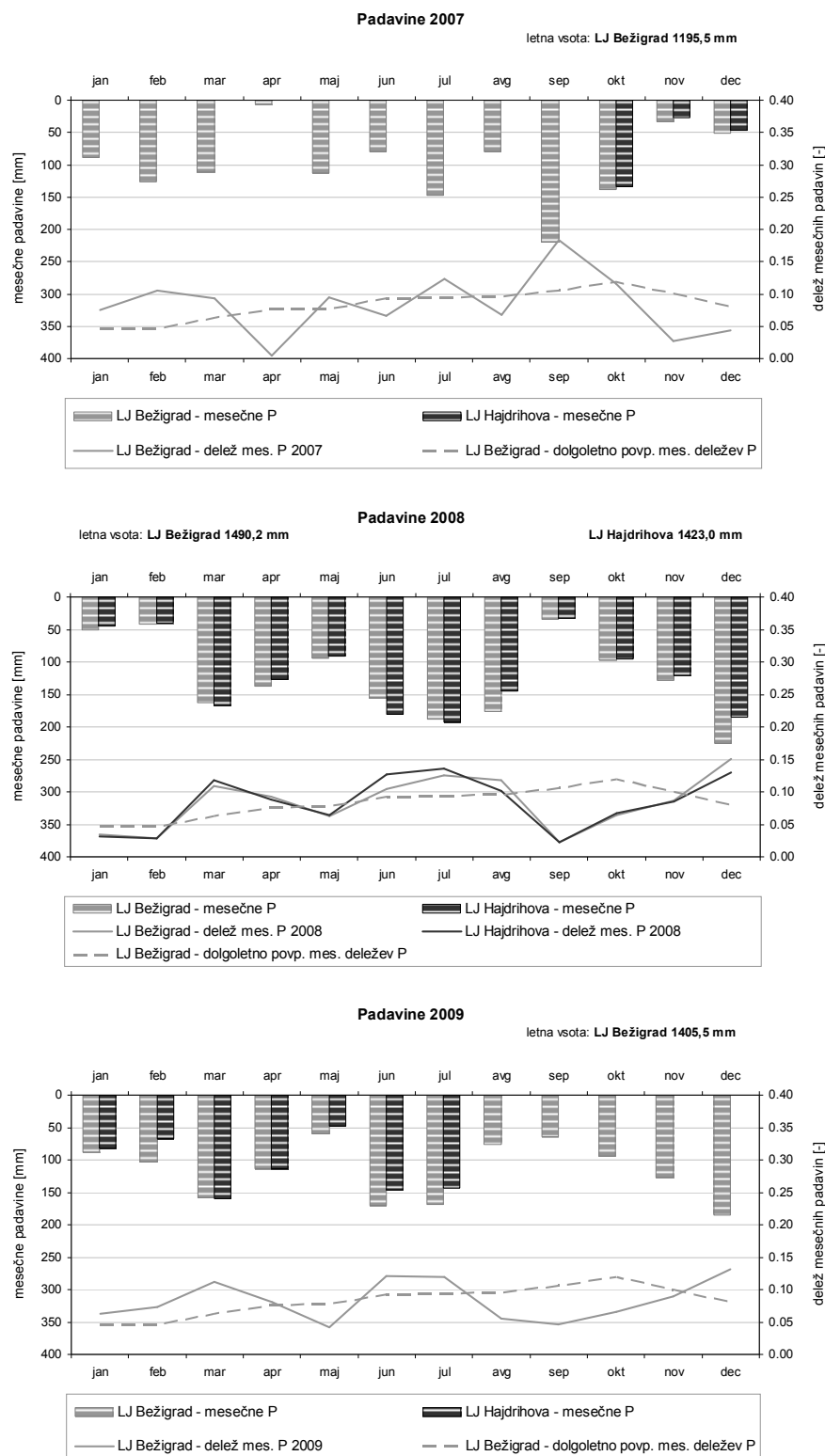
Dežemer Onset RG2-M je meril višino in intenziteto padavin na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova kot podpora meritvam porazdelitve padavinskih delcev na isti lokaciji. V merilnem obdobju ni prišlo do izpada meritev, je pa prišlo do napačnih meritev zaradi zamašitve lijaka s ptičjimi iztrebki v obdobjih med 5. 6. in 1. 7. 2008 ter med 16. 6. in 9. 7. 2009 (skupaj 7 % merilnega obdobja). V tem času smo lahko meritve nadomestili le z mesečnimi vrednostmi padavin, ki so bile izmerjene s Hellmannovim dežemerom na isti lokaciji. V podporo so nam služile tudi merjene intenzitete padavin na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad (dežemer OTT Pluvio). V merilnem obdobju je ta dežemer izpadel iz delovanja v skupnem trajanju 65 ur (0,7 % obdobja meritev). Prekinitve so bile večinoma kratkega trajanja, nekaj deset minut, dve pa sta bili daljši:

- 46-urna prekinitvev s pričetkom 9. 1. 2009 ob 10. uri in
- prekinitvev v skupnem trajanju 12 ur, ki se je s presledki odvijala 30. 1., 31. 1., 1. 2. in 2. 2. 2009.

Za pomoč pri oceni padavinskih razmer v merilnem obdobju smo uporabili podatke iz arhiva meteoroloških podatkov ARSO za meteorološko postajo Ljubljana Bežigrad. Skupna višina izmerjenih padavin na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova v zadnjem trimesečju leta 2007 je znašala 208 mm, v letu 2008 je 1423 mm in v letu 2009 do konca merilnega obdobja (9. 7. 2009) pa 760 mm. Glede na dolgoletno povprečje višine padavin na postaji Ljubljana Bežigrad, ki za obdobje 1961–2009 znaša 1374,9 mm, je bilo leto 2007 s 1186,5 mm razmeroma suho, predvsem zaradi primanjkljaja padavin v aprilu in ob koncu leta. Naslednji dve leti, 2008 in 2009, pa sta bili nadpovprečno mokri, saj je bilo za Bežigradom izmerjenih 1490,2 mm oz. 1405,5 mm padavin.

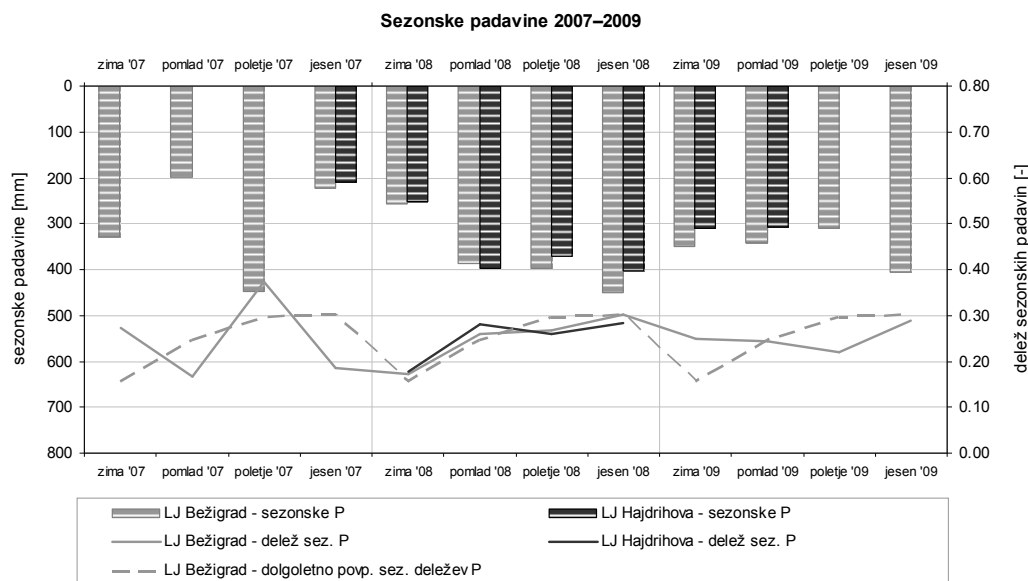
Kot že omenjeno, je bil jesenski delež padavin v letu 2007 na ljubljanskem območju krepko pod povprečjem. Porazdelitev deležev padavin v letih 2008 in 2009 je bila precej drugačna od tipične porazdelitve deležev padavin (sliki 4.7 in 4.8). V letu 2008 je opazen rahel porast deleža padavin pozimi in spomladi ter rahel upad jesenskega in zimskega deleža padavin, predvsem kot posledica septembrskega in oktobrskega izostanka padavin. V letu 2009 je bila zima precej namočena, poletni primanjkljaj padavin pa se je podaljšal do sredine jeseni. Glede na padavinske trende (ARSO, 2006) je pričakovani višek padavin v jesenskem času v letu 2009 nastopil komaj decembra, enako kot leta 2008.

Najbolj intenzivne padavine na ljubljanskem območju nastopijo v mesecih na prehodu med pomladjo in poletjem. V merilnem obdobju sta bili najvišja 5- in 15-minutna intenziteta padavin zabeleženi julija 2008 in sta na postaji Ljubljana Bežigrad znašali 146,4 mm/h in 83,2 mm/h (slika 4.9, zgoraj), na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova pa 143,3 mm/h in 65,2 mm/h (slika 4.9, spodaj). Najvišja 30- in 60-minutna intenziteta padavin na postaji Ljubljana Bežigrad sta nastopili julija 2009, ko sta ti dosegli vrednosti 52,4 mm/h in 27,8 mm/h, na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova pa 34,7 mm/h julija 2008 in 22,1 mm/h avgusta 2008.



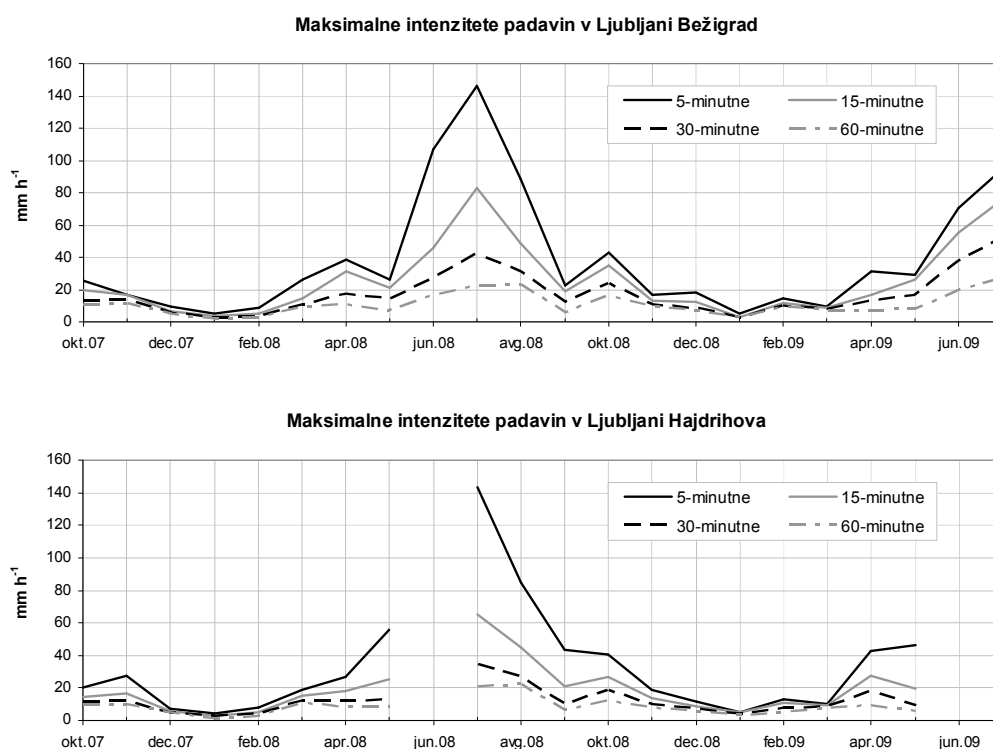
Slika 4.7: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad in na merilnem mestu v Ljubljana Hajdrihova za koledarska leta 2007, 2008 in 2009.

Figure 4.7: Monthly precipitation and its annual portion at the Ljubljana Bežigrad meteorological station and Ljubljana Hajdrihova measuring point for 2007, 2008 and 2009, respectively.



Slika 4.8: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad in na merilnem mestu v Ljubljana Hajdrihova za od leta 2007 do 2009.

Figure 4.8: Seasonal precipitation and its annual portion at the Ljubljana Bežigrad meteorological station and Ljubljana Hajdrihova measuring point for 2007, 2008 and 2009, respectively.



Slika 4.9: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja za meteorološko postajo Ljubljana Bežigrad in na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova od oktobra 2007 do julija 2009.

Figure 4.9: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the Ljubljana Bežigrad meteorological station and Ljubljana Hajdrihova measuring point from October 2007 till July 2009.

4.2.4 Marezige

Dežemer Onset RG2-M je meril višino in intenziteto padavin na merilnem mestu Marezige kot podpora meritvam sproščanja tal na isti lokaciji. Dežemer je v celotnem merilnem obdobju deloval brezhibno. V podporo so nam služile tudi merjene intenzitete padavin na bližnji meteorološki postaji Portorož – Letališče (dežemer OTT Pluvio). Ta dežemer je v merilnem obdobju pravilno deloval 91 % časa. Za daljši čas je izpadel med 1. 3. 2006 in 1. 4. 2006, potem je pa bilo še šest nekajurnih izpadov v skupnem trajanju 52 ur:

- pet 7-urnih prekinitev 1. 7., 31. 7., 1. 8. 2006, 1. 2. in 1. 12. 2007 s pričetkom ob polnoči in
- 17-urna prekinitev 19. 7. 2006 s pričetkom ob 7. uri.

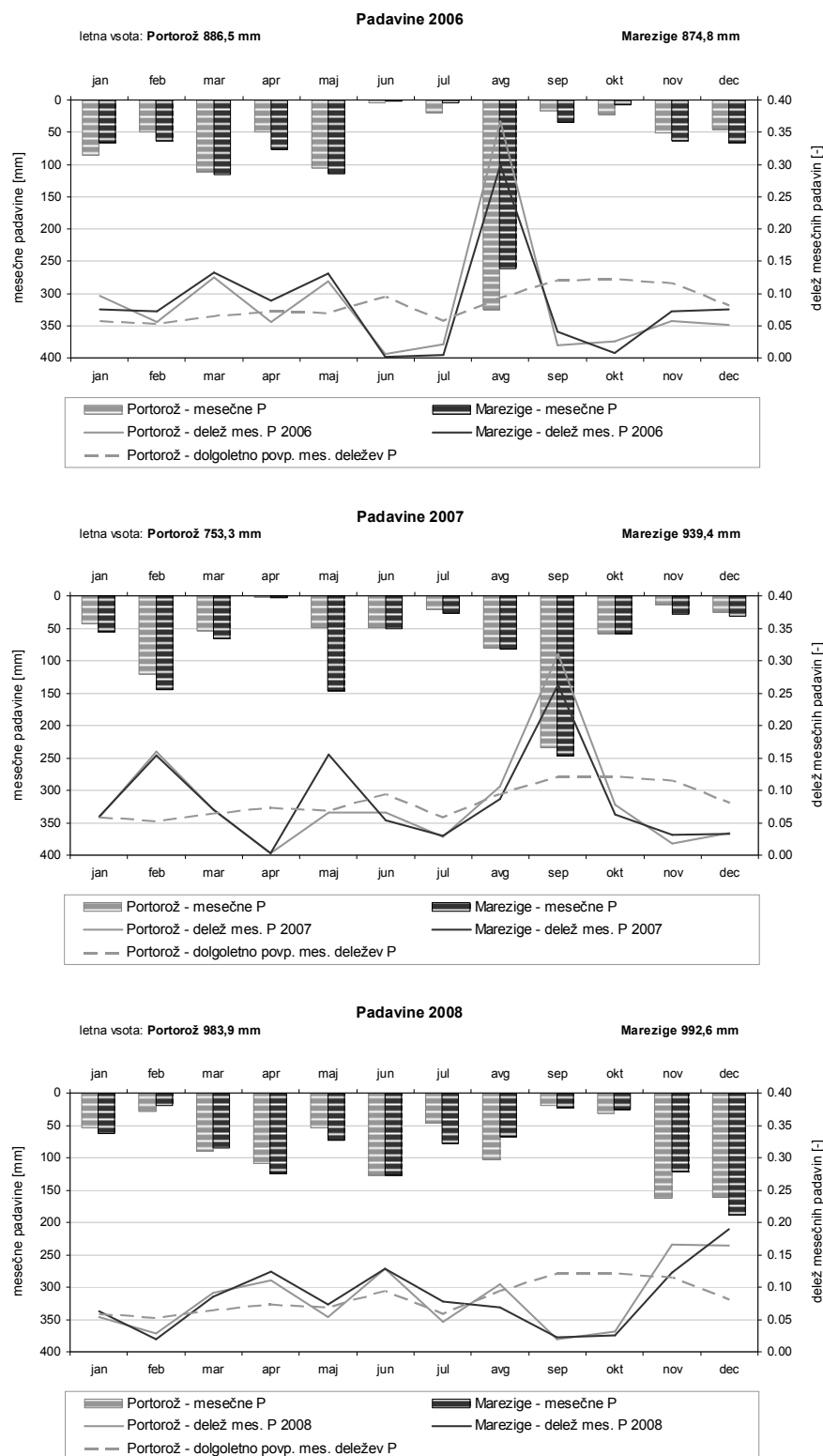
Padavinske razmere v merilnem obdobju smo ocenili s podatki iz arhiva meteoroloških podatkov ARSO za meteorološko postajo Portorož – Letališče. Glede na dolgoletno povprečje višine padavin v Portorožu (1987–2009), ki znaša 933,7 mm, so bile padavine v letu 2006 s 886,5 mm nekoliko manj izdatne, v letu 2007 pa s 753,3 mm precej manj izdatne kot v povprečnem letu. Leta 2009 je padlo nadpovprečno veliko padavin, in sicer 983,9 mm. Skupne količine padavin v Marezigah, izmerjene v letih 2006, 2007 in 2008, so znašale 874,8 mm, 939,4 mm in 992,6 mm. Glede na padavinsko karto Slovenske Istre (slika 3.8) za obdobje 1958–1987 bi takšne višine letnih padavin v Marezigah pomenile od 15 do 30 % primanjkljaj padavin.

Porazdelitev mesečnih in sezonskih deležev padavin v merilnem obdobju je precej drugačna od tipične porazdelitvi deležev padavin na meteorološki postaji Portorož – Letališče (sliki 4.10 in 4.11), ki je bila izračunana na podlagi dolgoletnih nizov mesečnih padavin (1987–2009). Leto 2006 je bilo do meseca maja nadpovprečno namočeno, preostanek del leta pa izjemno suh z izjemo avgusta, ki je bil rekorden po višini padavin po letu 1987, predvsem zaradi močnih nalivov. V smislu rekordov je bil izjemen tudi mesec junij 2006, ki je bil praktično brez padavin (slika 4.10, zgoraj). Podobne razmere so vladale v naslednjem letu, s to razliko, da je bil v letu 2007 izjemno namočen september, rekordno suh pa april (slika 4.10, sredina). Tako so bile padavinske razmere v letih 2006 in 2007 v sezonskem smislu precej podobne: višek padavin pozimi in poleti, izrazit izostanek padavin jeseni, pomladni izostanek

leta 2007 pa je bil nekoliko bolj izrazit od tistega leta 2006 (slika 4.11). Tudi leto 2008 je bilo relativno netipično in drugačno od predhodnih dveh: zima in jesen sta bila sezonsko povprečna, pomlad namočena, poletje pa suho. Podroben pogled mesečnih padavin pokaže izjemno suh prehod med poletjem in jesenjo (september in oktober) in rekordno namočen december (slika 4.10, spodaj).

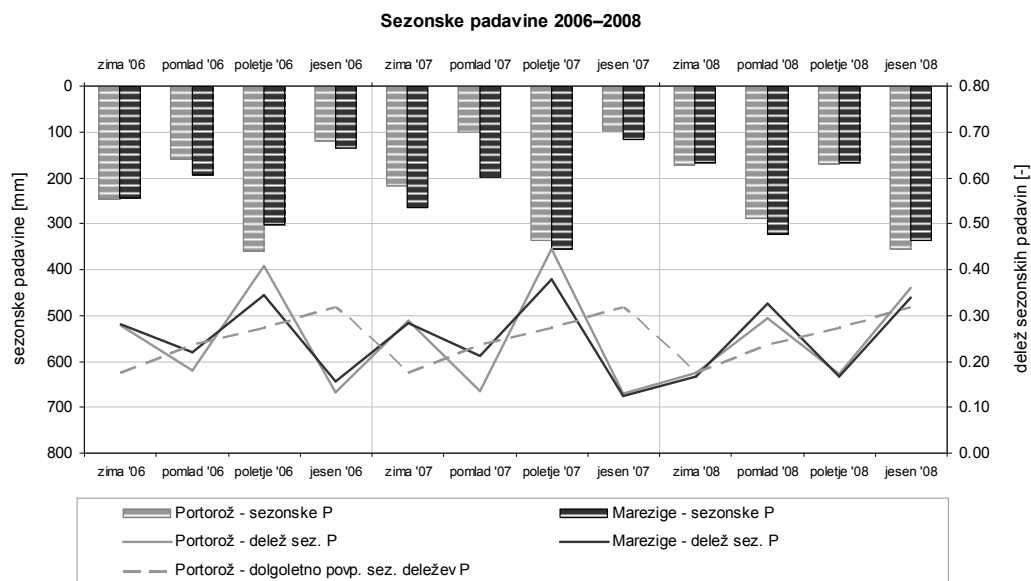
Meseca avgust 2006 in september 2007 sta bila v smislu merjenih intenzitet padavin ravno tako izjemna. V Portorožu so bile avgusta 2006 izmerjene najvišje vrednosti 5-, 15-, 30- in 60-minutne intenzitete padavin v merilnem obdobju, in sicer 214,8 mm/h, 137,2 mm/h, 122,0 mm/h in 71,4 mm/h, septembra 2007 pa so bile te vrednosti nekoliko nižje, 169,2 mm/h, 109,6 mm/h, 60,4 mm/h in 30,5 mm/h (slika 4.12, zgoraj). V Marezigah so vrednosti 5-, 15-, 30- in 60-minutne intenzitete padavin avgusta 2006 dosegle nižje vrednosti kot v Portorožu: 132,4 mm/h, 90,5 mm/h, 50,7 mm/h in 40,5 mm/h. Najvišja 5-minutna intenziteta padavin v merilnem obdobju je bila v Marezigah izmerjena julija 2008, in sicer 138,2 mm/h, najvišja 30-minutna intenziteta pa maja 2007 – 61,3 mm/h (slika 4.12, spodaj).

Slika 4.12 kaže tudi na omejenost dežemera RG2-M, ki je bil nameščen v Marezigah. Najvišje tri vrednosti maksimalnih mesečnih 5-minutnih intenzitet padavin se v Marezigah gibljejo med 120 in 140 mm/h, medtem ko se te vrednosti v Portorožu precej bolj narazen, med 110 in 215 mm/h. Možno je, da je to stanje realno, saj sta merilni mesti vsaj 15 km narazen, a vendar obstaja sum, tudi glede na specifikacije dežemera RG2-M (zgornja meja merilnega območja dežemera znaša 127 mm/h, poglavje 3.4.1.1), da so maksimalne intenzitete padavin nepravilno zabeležene s strani dežemera.



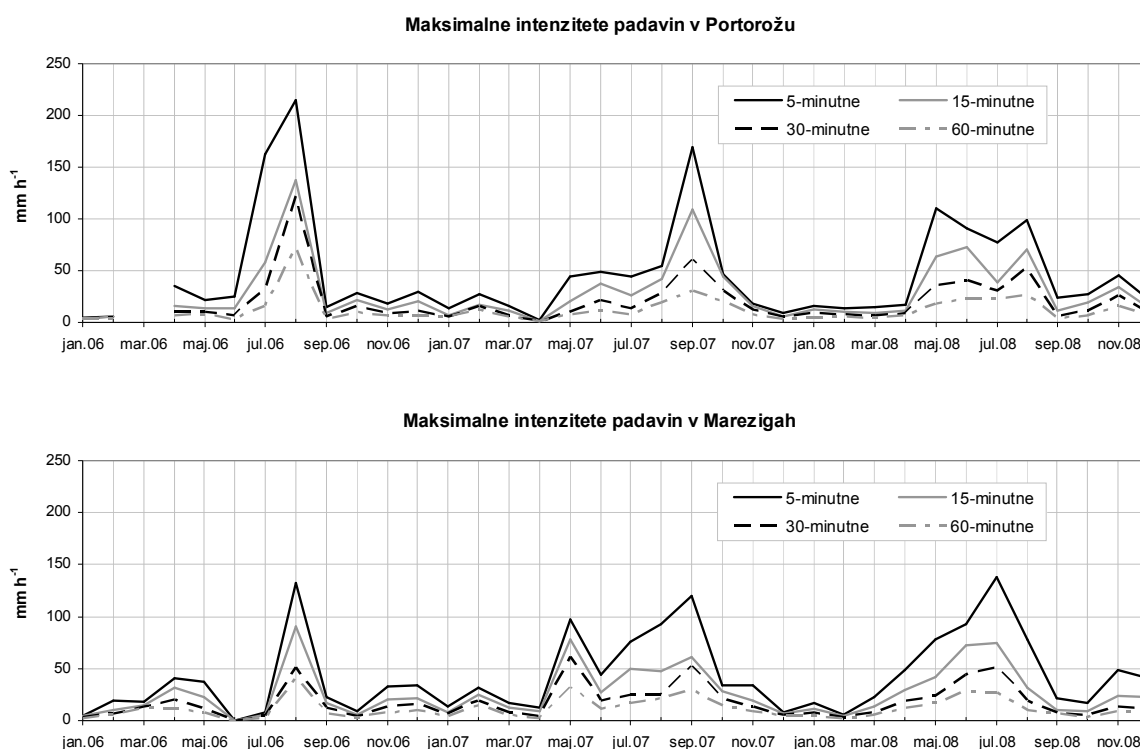
Slika 4.10: Mesečne padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Portorož – Letališče in na merilnem mestu v Marezigah za koledarska leta 2006, 2007 in 2008.

Figure 4.10: Monthly precipitation and its annual portion at the Portorož – Letališče meteorological station and Marezige measuring point for 2006, 2007 and 2008, respectively.



Slika 4.11: Sezonske padavine in njihov letni delež na meteorološki postaji Portorož – Letališče in na merilnem mestu v Marezigah za koledarska leta 2006, 2007 in 2008.

Figure 4.11: Seasonal precipitation and its annual portion at the Portorož – Letališče meteorological station and Marezige measuring point for 2006, 2007 and 2008, respectively.



Slika 4.12: Mesečne vrednosti maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja za meteorološko postajo Portorož – Letališče in na merilnem mestu v Marezigah za koledarska leta 2006, 2007 in 2008.

Figure 4.12: Monthly values of maximal rainfall intensities with various duration at the Portorož – Letališče meteorological station and Marezige measuring point for 2006, 2007 and 2008, respectively.

4.3 PORAZDELITEV PADAVINSKIH DELCEV

V tem poglavju so predstavljeni rezultati meritev intenzitete padavin disdrometrov, ki so dejansko merili porazdelitev padavinskih delcev. Analiza porazdelitve padavinskih delcev je prikazana v poglavju 5.2. Predstavili smo višino padavin in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin v času erozivnih dogodkov, ki so jih izmerili disdrometri, v primerjavi z istimi spremenljivkami, merjenimi s strani dežemerov na istih merilnih mestih. Primerjali smo ravno te podatke zato, ker je višina padavin osnovni parameter za določanje erozivnih dogodkov, maksimalna 30-minutna intenziteta padavin pa eden od dveh parametrov pri računu erozivnosti padavin.

Podatkovni telegram, ki ga disdrometer vsako minuto pošilja sistemu za zapisovanje podatkov, vsebuje tudi podatek o intenziteti padavin, ki ga disdrometer izračuna na podlagi merjene porazdelitvi padavinskih delcev. V algoritmu za račun intenzitete padavin so vgrajeni kalibracijski parametri, ki temeljijo na statistični analizi porazdelitve padavinskih delcev (Nemeth, 2009). Intenziteta padavin, vsebovana v podatkovnem telegramu, je bila uporabljena za določitev erozivnih dogodkov. Vsakemu erozivnemu dogodku je bilo pripisano vrstno število. Pozneje smo določene erozivne dogodke izločili iz obravnave zaradi različnih razlogov (sneženje, napačne meritve ipd.), zato je število obravnavanih erozivnih dogodkov manjše od rednega števila zadnjega obravnavanega dogodka.

4.3.1 Bovec

Meritve porazdelitve padavinskih delcev v Bovcu so potekale med 27. 3. 2008 in 15. 7. 2009. V tem času je, glede na merjene intenzitete padavin s strani disdrometra, nastopilo 86 erozivnih dogodkov, ki so bili sestavljeni iz 45 537 minutnih podatkovnih telegramov in imeli skupno višino padavin 3829,7 mm. V tej skupini niso upoštevani dogodki, pri katerih je bilo zaznano sneženje, a bi jih glede na količino padavin lahko šteli med erozivne. V merilnem obdobju so se zgodili trije izpadi delovanja naprav znotraj sistema za merjenje porazdelitve padavinskih delcev (preglednica 4.2) in je tako ostalo nezabeleženih 12 erozivnih dogodkov glede na meritve dežemera.

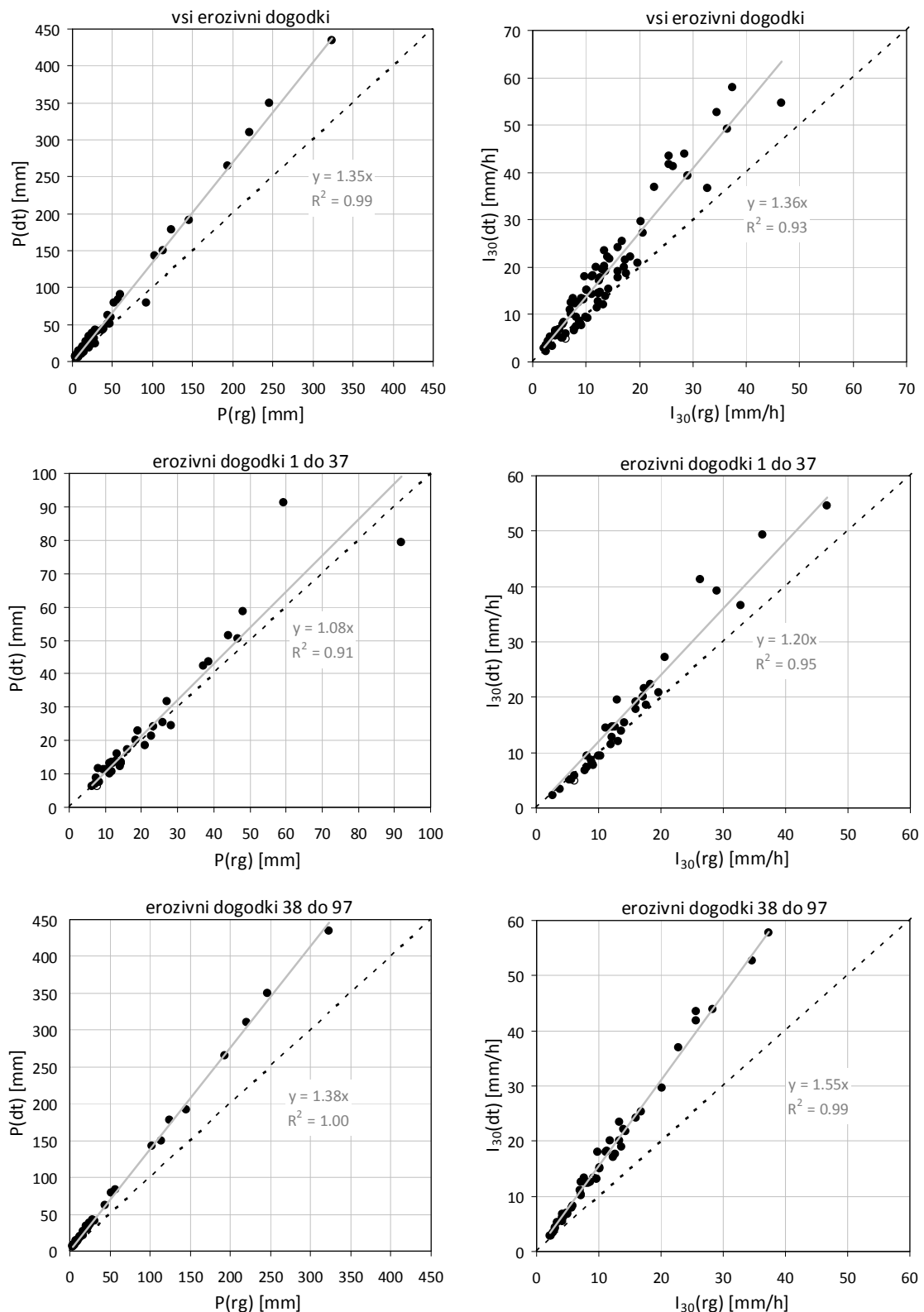
Preglednica 4.2: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu v Bovcu.

Table 4.2: *Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Bovec measuring point.*

obdobje izpada	vzrok izpada	število izpuščenih erozivnih dogodkov, vsota padavin in maks. 5-min. intenziteta padavin v obdobju na dežemeru
3. 4. 2008–8. 5. 2008	izpad zapisovalnika podatkov	8 erozivnih dogodkov, 376,4 mm, 54,0 mm/h
31. 5. 2008–17. 6. 2008	izpad napajanja	4 erozivni dogodki, 169,8 mm, 38,4 mm/h
8. 1. 2009–13. 1. 2009	izpad zapisovalnika podatkov	brez padavin

Primerjava med meritvami intenzitete padavin disdrometra $I(dt)$ in dežemera $I(rg)$ kaže na nenavaden odziv enega od instrumentov od določenega trenutka naprej, in sicer 28. 10. 2008. Tistega dne se je dejansko začel najbolj izdaten erozivni dogodek v merilnem obdobju, ki je trajal 41 ur. Tako smo erozivne dogodke razdelili v dve skupini (pred in po omenjenem datumu) in primerjali njihovo višino P in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin I_{30} (slika 4.13). Tako je bila do erozivnega dogodka št. 37 višina padavin $P(dt)$ erozivnih dogodkov oz. maksimalna 30-minutna intenziteta padavin $I_{30}(dt)$ po disdrometru v povprečju 8 % oz. 20 % višja od tiste po dežemeru (slika 4.13, sredina). Od tega dogodka naprej pa se ti deleži povečajo, in sicer na 38 % oz. 55 % (slika 4.13, spodaj). Pri tem je opazno, da se je tudi raztros vrednosti nekoliko zmanjšal. Skupna višina padavin obravnavanih erozivnih dogodkov glede na meritve dežemera je znašala 2914,7 mm oz. 26 % manj, kot je nameril disdrometer. Do dogodka 37 je ta delež znašal le 7 %, po dogodku 37 pa se je dvignil na 29 %.

Želeli smo ugotoviti morebiten vzrok tega nenavadnega odziva. V ta namen smo od ARSO pridobili tudi dnevne podatke o padavinah v merilnem obdobju iz bližnjih postaj Žaga in Soča. Iz teh podatkov smo lahko ugotovili le to, da je slika padavin na tem območju zelo nehomogena in da so ob izdatnih deževjih že nekajkilometerske razdalje prevelike za iskanje podobnosti med višinami padavin v različnih točkah. Glede na enake primerjave na ostalih merilnih mestih, ki sledijo v nadaljevanju, smo lahko ta nenavaden odziv z večjo verjetnostjo pripisali sistematični napaki disdrometra in ne dežemera. Ne glede na to smo pri analizi porazdelitve padavinskih delcev in izpeljavi enačb za račun kinetične energije padavin upoštevali podatke iz vseh erozivnih dogodkih.



Slika 4.13: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot sta jih v Bovcu merila dežemer (os x) in disdrometer (os y).

Figure 4.13: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured by the raingauge (x axis) and the disdrometer (y axis) in Bovec.

4.3.2 Ilirska Bistrica

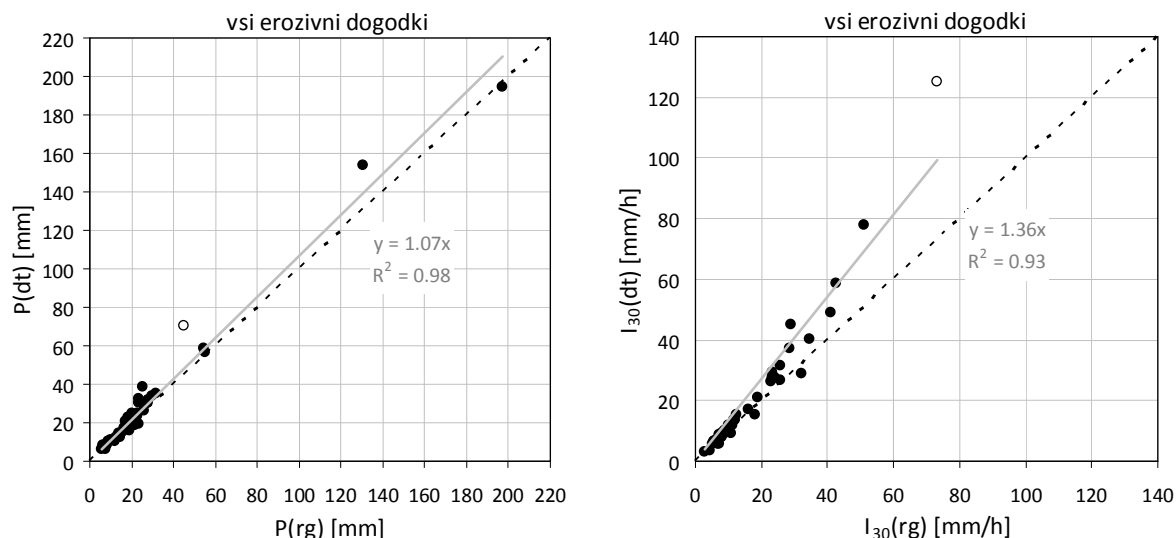
Meritve porazdelitve padavinskih delcev v Ilirski Bistrici so potekale med 1. 7. 2008 in 14. 7. 2009. V tem času je, glede na merjene intenzitete padavin s strani disdrometra, nastopilo 41 erozivnih dogodkov, ki so bili sestavljeni iz 17 819 minutnih podatkovnih telegramov in imeli skupno vsoto padavin v višini 1197,3 mm. V tej skupini niso upoštevani dogodki, pri katerih je bilo zaznано sneženje, a bi jih glede na količino padavin lahko šteli med erozivne. V merilnem obdobju so se zgodili trije izpadi delovanja naprav znotraj sistema za merjenje porazdelitve padavinskih delcev (preglednica 4.3). Tako je glede na meritve dežemera v merilnem obdobju ostal nezabeležen le en erozivni dogodek.

Preglednica 4.3: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu v Ilirski Bistrici.

Table 4.3: *Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Ilirska Bistrica measuring point.*

obdobje izpada	vzrok izpada	število izpuščenih erozivnih dogodkov, vsota padavin in maks. 5-min. intenziteta padavin v obdobju na dežemeru
17. 11. 2008–9. 12. 2008	izpad napajanja	1 eroziven dogodek, 23,9 mm, 12,0 mm/h
28. 12. 2008–26. 1. 2009	izpad zapisovalnika podatkov	brez erozivnih dogodkov, 14,3 mm, 7,2 mm/h
15. 2. 2009–26. 2. 2009	izpad zapisovalnika podatkov	brez padavin

Primerjava med meritvami intenzitete padavin disdrometra $I(dt)$ in dežemera $I(rg)$ v Ilirski Bistrici kaže, da je bila višina padavin erozivnih dogodkov $P(dt)$ oz. maksimalna 30-minutna intenziteta padavin $I_{30}(dt)$ po disdrometru v povprečju 7 % oz. 36 % višja od tiste po dežemeru (slika 4.14). Če bi iz obravnave izločili erozivni dogodek z najvišjo zabeleženo 30-minutno intenziteto padavin (točka brez črne podlage na sliki 4.14) in hkrati najvišjo relativno razliko med z disdrometrom oz. dežemerom merjenimi vrednostmi, bi se ti deleži znižali na 6 % oz. 24 %, kar je veliko bolj podobno stanju do erozivnega dogodka 37 v Bovcu. Od tod izhaja tudi verjetnost, da se je po dogodku 37 v Bovcu bistveno povečala sistematična napaka pri računu intenzitete padavin s strani disdrometra. Skupna višina padavin obravnavanih erozivnih dogodkov je glede na meritve dežemera znašala 1091,6 mm oz. 9 % manj, kot je nameril disdrometer.



Slika 4.14: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot sta jih v Ilirski Bistrici merila dežemer (os x) in disdrometer (os y).

Figure 4.14: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured by the raingauge (x axis) and the disdrometer (y axis) in Ilirska Bistrica.

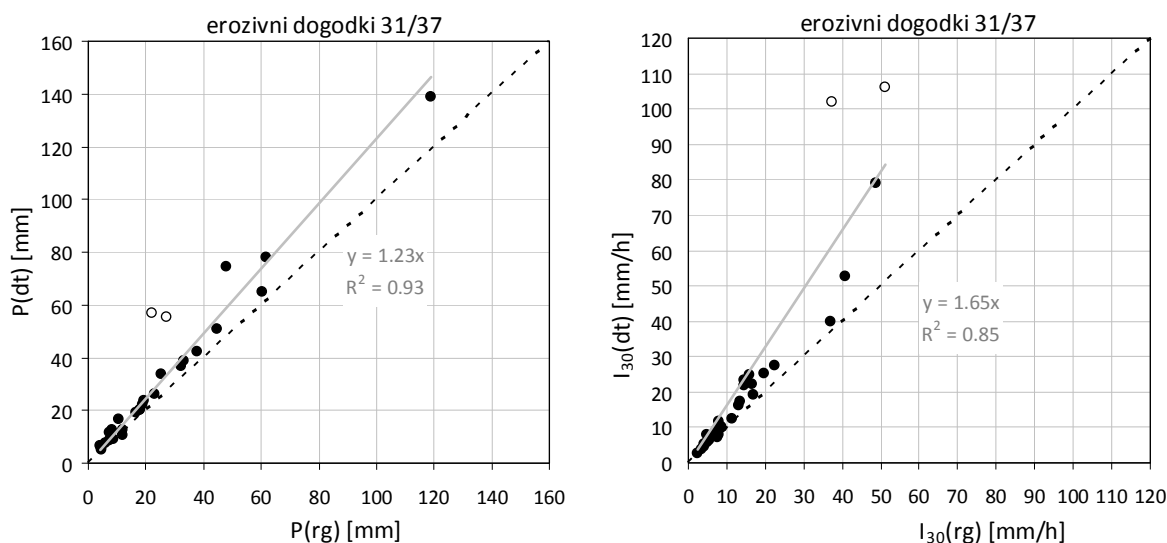
4.3.3 Kozjane

Meritve porazdelitve padavinskih delcev na Kozjanah so potekale v enakem obdobju kot v Ilirski Bistrici, in sicer med 1. 7. 2008 in 14. 7. 2009. V tem času je, glede na merjene intenzitete padavin s strani disdrometra, nastopilo 37 erozivnih dogodkov s skupnim trajanjem 19 053 minut in skupno vsoto padavin 1055,7 mm. V tej skupini niso upoštevani dogodki, pri katerih je bilo zaznano sneženje, a bi jih glede na količino padavin lahko šteli med erozivne. V merilnem obdobju sta se zgodila dva izpada delovanja naprav znotraj sistema za merjenje porazdelitve padavinskih delcev (preglednica 4.3). Tako je glede na meritve dežemera v merilnem obdobju ostalo nezabeleženih 5 erozivnih dogodkov.

Preglednica 4.4: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu na Kozjanah.

Table 4.4: Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Kozjane measuring point.

obdobje izpada	vzrok izpada	število izpuščenih erozivnih dogodkov, vsota padavin in maks. 5-min. intenziteta padavin v obdobju na dežemeru
17. 12. 2008–26. 1. 2009	izpad zapisovalnika podatkov	3 erozivni dogodki, 75,4 mm, 6,0 mm/h
6. 2. 2009–26. 2. 2009	izpad zapisovalnika podatkov	2 erozivna dogodka, 36,0 mm, 17,4 mm/h



Slika 4.15: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot sta jih na Kozjanah merila dežemer (os x) in disdrometer (os y).
Figure 4.15: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured by the raingauge (x axis) and the disdrometer (y axis) in Kozjane.

Primerjavo med meritvami intenzitete padavin disdrometra $I(dt)$ in dežemera $I(rg)$ na Kozjanah lahko opravimo na 31 erozivnih dogodkih, saj je bilo zaradi izpadov delovanja dežemera poleti 2008 izpuščenih pet dogodkov in še eden zaradi popolnoma napačnih meritev dežemera. Tako je skupna višina padavin v okviru 31 erozivnih dogodkov, kot sta jo izmerila disdrometer oz. dežemer, enaka 931 mm oz. 731 mm. Višina padavin erozivnih dogodkov $P(dt)$ oz. maksimalna 30-minutna intenziteta padavin $I_{30}(dt)$ po disdrometru je bila v povprečju 23 % oz. 65 % višja od tiste po dežemeru (slika 4.15). Če bi iz obravnave izločili erozivna dogodka z najvišjima zabeleženima 30-minutnima intenzitetama padavin (točki brez črne podlage na sliki 4.15) in hkrati najvišjima relativnima razlikama med z disdrometrom oz. dežemerom merjenimi vrednostmi, bi se ti deleži znižali na 19 % oz. 35 %, kar je precej bližje stanju v Ilirski Bistrici. Naj še enkrat omenimo, da je na Kozjanah obratoval disdrometer drugačne konstrukcijske zasnove in tudi drugega proizvajalca od tistega v Ilirski Bistrici.

4.3.4 Ljubljana

Meritve porazdelitve padavinskih delcev so v Ljubljani potekale na Hajdrihovi med 5. 12. 2007 in 9. 7. 2009. V tem času je, glede na merjene intenzitete padavin s strani disdrometra, nastopilo 90 erozivnih dogodkov, ki so bili sestavljeni iz 37 853 minutnih

podatkovnih telegramov. V tej skupini niso upoštevani dogodki, pri katerih je bilo zaznano sneženje, a bi jih glede na količino padavin lahko šteli med erozivne. V merilnem obdobju sta se zgodila dva izpada delovanja naprav znotraj sistema za merjenje porazdelitve padavinskih delcev (preglednica 4.5). Tako so glede na meritve dežemerov ostale nezabeležene porazdelitve padavinskih delcev 8 erozivnih dogodkov.

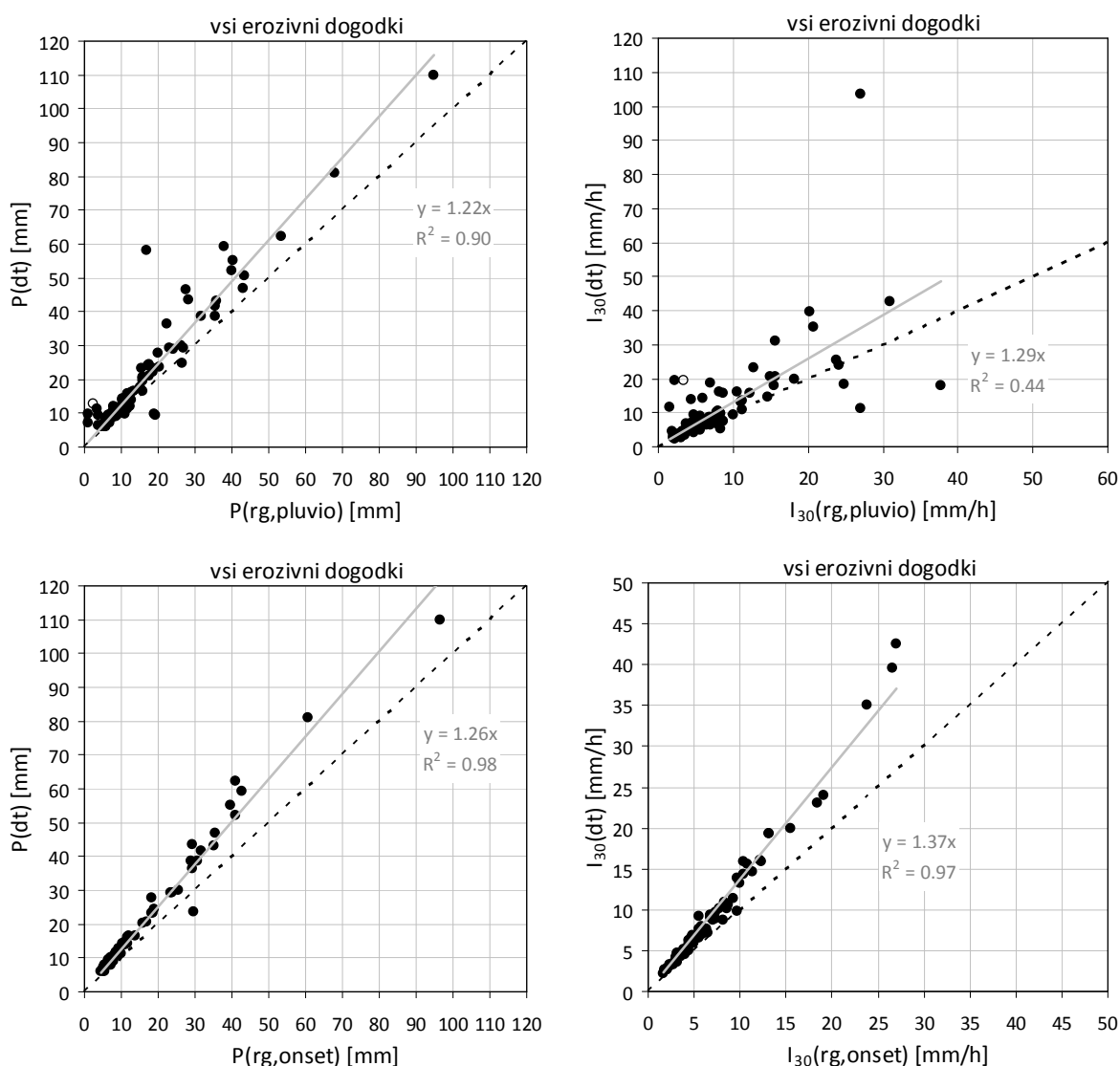
Preglednica 4.5: Obdobja brez zabeleženih podatkov o porazdelitvi padavinskih delcev znotraj merilnega obdobja na merilnem mestu na Hajdrihovi v Ljubljani.

Table 4.5: *Periods without drop-size distribution record during the measuring period at the Ljubljana Hajdrihova measuring point.*

obdobje izpada	vzrok izpada	število izpuščenih erozivnih dogodkov, vsota padavin in maks. 5-min. intenziteta padavin v obdobju na dežemeru
4. 7. 2008–15. 7. 2008	izpad zapisovalnika podatkov	6 erozivnih dogodkov, 94,9 mm, 146,6 mm/h
3. 7. 2009–7. 7. 2009	izpad komunikacije	2 erozivna dogodka, 36,9 mm, 94,8 mm/h

Primerjavo med meritvami intenzitete padavin disdrometra $I(dt)$ in dežemera $I(rg, onset)$ na Hajdrihovi lahko opravimo na 70 erozivnih dogodkih zaradi izpadov delovanja dežemera poleti 2008 in 2009. Dežemer OTT Pluvio za Bežigradom je ujel vseh 90 erozivnih dogodkih, katere je zabeležil disdrometer. Skupna višina padavin vseh erozivnih dogodkov, kot sta jo namerila disdrometer oz. dežemer za Bežigradom, znaša 1851,8 mm oz. 1466,2 mm. Višina padavin erozivnih dogodkov $P(dt)$ oz. maksimalna 30-minutna intenziteta padavin $I_{30}(dt)$ po disdrometru je bila v povprečju 22 % oz. 29 % višja od tiste po dežemeru za Bežigradom (slika 4.16, zgoraj). Iz slike je tudi razvidno, da je primerjava med disdrometrom in dežemerom za Bežigradom problematična pri nalivih izrazito lokalnega značaja kljub relativno majhni oddaljenosti instrumentov (3 km zračne razdalje), saj je ob primerjavi maksimalnih 30-minutnih intenzitet padavin $I_{30}(dt)$ in $I_{30}(rg, pluvio)$ razpršenost neprimerno večja kot na ostalih merilnih mestih (slika 4.16, zgoraj desno). Tako je med vsemi erozivnimi dogodki 9 takih (1. kategorija), ki se glede na meritve dežemera za Bežigradom ne morejo uvrstiti med erozivne, 14 takih (2. kategorija), kjer se izmerjena višina padavin $P(dt)$ na disdrometru razlikuje od tiste na dežemeru $P(rg, pluvio)$ za več kot 50 %, in 22 takih (3. kategorija), kjer se maksimalna 30-minutna intenziteta padavin $I_{30}(dt)$ po disdrometru razlikuje od tiste po dežemeru $I(rg, pluvio)$ za več kot 50 %. Te številke so neprimerno manjše ob primerjavi z dežemerom na Hajdrihovi: tukaj je dogodkov iz 1. kategorije šest, iz 2. in 3.

pa le dva od primerljivih 70 erozivnih dogodkih. Skupna višina padavin primerljivih erozivnih dogodkov, kot sta jo namerila disdrometer oz. dežemer na Hajdrihovi, znaša 1435,1 mm oz. 1123,2 mm. Višina padavin erozivnih dogodkov $P(dt)$ oz. maksimalna 30-minutna intenziteta padavin $I_{30}(dt)$ po disdrometru je bila v povprečju 26 % oz. 37 % višja od tiste po dežemeru na Hajdrihovi (slika 4.16, spodaj). Te vrednosti so tudi primerljive s korigiranimi vrednostmi na Kozjanah, kjer v primerjavi nastopa dežemer enakega tipa (Onset RG2-M).

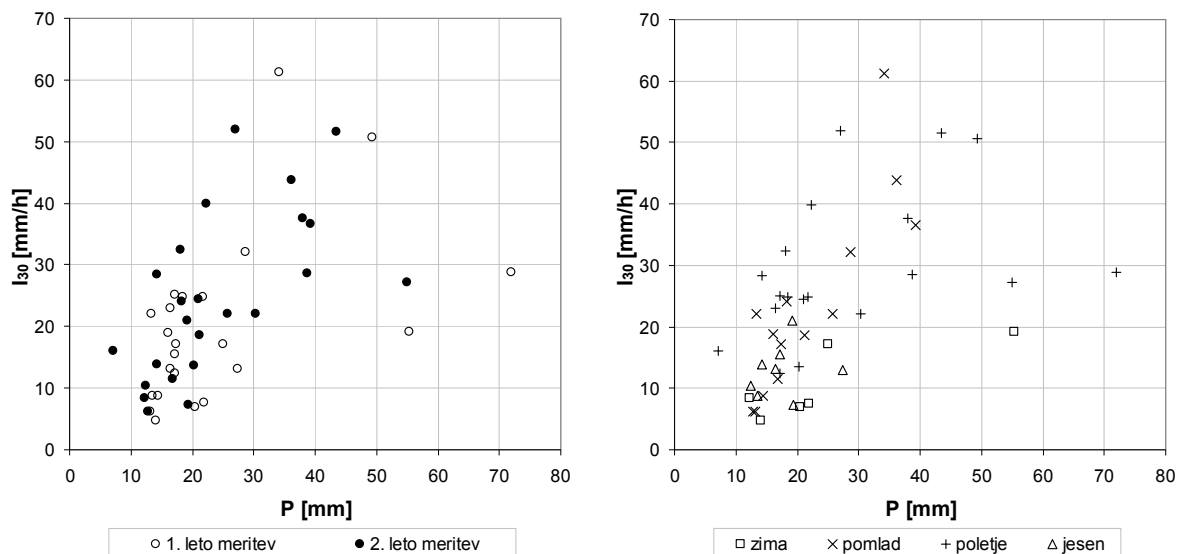


Slika 4.16: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-minutnimi intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov, kot so jih v Ljubljani merili dežemera (os x) OTT Pluvio za Bežigradom (zgoraj) in Onset RG2-M na Hajdrihovi (spodaj) ter disdrometer na Hajdrihovi (os y).

Figure 4.16: Comparison between the rainfall heights (left) and the maximal 30-minute rainfall intensities (right) of the erosive events as measured in Ljubljana by the raingauges (x axis) OTT Pluvio at Bežigrad (above) and RG2-M at Hajdrihova (below), respectively, and the disdrometer (y axis) at Hajdrihova.

4.4 SPROŠČANJE TAL

Meritve sproščanja tal v Marezigah smo izvajali dve leti brez prekinitev: erozijske ploskve so bile pripravljene za prvo meritev 1. 8. 2006, zadnje, 44. vzorčenje pa je bilo opravljeno 13. 8. 2008. V tem času je nastopilo 47 erozivnih dogodkov, 23 v prvem letu meritev (do 1. 8. 2007) in 24 v drugem letu meritev (do 9. 8. 2008). Skupna višina padavin vseh erozivnih dogodkov v 1. letu meritev znaša 561,0 mm od 926,4 mm, v 2. letu meritev pa 583,0 mm od 1034,4 mm. Razmerje med višino padavin P in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin I_{30} posameznih erozivnih dogodkov je prikazano na sliki 4.17. Pri tem so prvi trije meseci v koledarskem letu šteti kot zimski meseci, naslednji trije kot pomladni meseci in tako naprej. Največ, 19 erozivnih dogodkov je nastopilo v poletnem času, ko so dogodki v povprečju tudi najbolj izdatni in najbolj intenzivni. Po izdatnosti in intenzivnosti sledijo pomladni erozivni dogodki, katerih je bilo skupaj 14 in med katerimi je tudi erozivni dogodek z najvišjo izmerjeno 30-minutno intenziteto padavin (slika 4.17).



Slika 4.17: Primerjava med višino padavin in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin erozivnih dogodkov v Marezigah glede na leto meritev (levo) in letni čas meritev (desno).

Figure 4.17: Comparison between the rainfall heights and the maximal 30-minute rainfall intensities of the erosive events as measured in Marezige according to the measurement year (left) and the measurement season (right).

Preglednica 4.6: Pregled opravljenih meritev sproščanja tal na erozijskih ploskvah v Marezigah.

Table 4.6: Soil loss measurements performed on the erosion plots in Marezige.

vzorec	dan	količina sproščenih tal na erozijskih ploskvah A_M [g m ⁻²]								P [mm]	I_{30} [mm/h]	število erozivnih dogodkov
		EP1	EP2	EP3	EP4	EP5*	EP6*	EP7*	EP8*			
M1	07.08.2006	2257.7	1915.4	12.1	15.6	12.5	26.7	7.0	4.1	98.8	28.8	2
M2	15.08.2006	1163.5	1152.5	1.5	1.3	6.3	14.2	4.4	2.1	69.8	24.8	1
M3	26.08.2006	2104.7	2845.8	51.4	42.4	7.4	10.3	5.5	1.0	63.6	50.7	1
M4	04.09.2006	547.7	505.7	9.0	7.4	4.2	6.8	2.9	0.8	29.8	23.0	1
M5	14.09.2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
M6	21.09.2006	166.6	112.1	2.2	0.3	1.6	1.3	0.4	0.8	35.0	12.4	1
M7	06.10.2006	0.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0
M8	26.10.2006	18.1	14.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	6.4	4.9	0
M9	21.11.2006	19.9	18.2	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.7	27.6	8.9	1
M10	27.11.2006	40.1	34.4	0.3	0.3	0.4	1.7	0.9	0.9	35.0	13.1	1
M11	12.12.2006	428.7	303.2	0.3	1.6	0.5	0.6	0.5	0.4	45.8	15.5	2
M12	21.12.2006	54.1	41.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	20.6	3.9	0
M13	05.01.2007	2.9	2.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.3	0.5	25.0	4.7	1
M14	08.02.2007	2.0	1.5	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.2	72.8	7.6	1
M15	20.02.2007	551.4	327.9	1.2	1.0	0.9	1.7	2.7	1.4	70.2	19.2	1
M16	27.02.2007	173.1	120.7	1.2	1.0	0.6	0.9	0.6	0.7	32.2	17.2	1
M17	09.03.2007	87.0	60.0	0.7	0.6	0.3	0.7	0.6	0.3	25.4	7.5	0
M18	22.03.2007	126.0	85.4	0.9	0.4	0.5	0.7	0.1	0.4	33.8	6.9	1
M19	03.04.2007	0.0	0.2	1.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	3.3	0
M20	11.05.2007	1034.1	1094.7	1.8	0.3	4.9	3.2	1.0	0.1	63.8	32.2	3
M21	30.05.2007	1246.9	1449.3	9.7	1.7	3.9	7.0	1.9	7.9	85.4	61.3	3
M22	07.06.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.4	0
M23	21.06.2007	431.0	444.5	1.9	0.7	1.1	1.8	0.6	0.5	30.0	18.9	1
M24	03.07.2007	1032.8	1110.6	0.8	3.3	1.1	1.1	0.4	0.3	31.6	25.1	1
M25	03.08.2007	310.2	204.5	1.0	0.8	0.5	0.9	0.2	0.1	14.0	10.9	0
M26	15.08.2007	143.8	130.7	1.4	0.5	0.4	0.6	0.4	0.3	20.4	16.1	1
M27	27.08.2007	329.7	259.1	0.1	0.1	0.8	0.9	0.1	0.1	34.8	8.0	0
M28	05.09.2007	1058.8	1109.4	1.8	1.4	2.0	5.8	5.3	6.2	63.2	28.5	2
M29	04.10.2007	2871.5	3096.3	86.1	2.3	24.9	24.8	13.8	4.2	207.0	51.6	5
M30	11.10.2007	312.2	287.0	0.2	0.4	1.3	0.4	0.6	0.5	19.4	21.0	1
M31	31.10.2007	179.8	165.4	0.3	0.2	0.6	0.9	0.2	0.6	38.4	7.2	1
M32	29.11.2007	192.2	219.8	0.9	0.9	0.5	0.7	0.6	0.8	28.4	13.9	2
M33	11.12.2007	36.0	30.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	25.6	5.8	0
M34	21.01.2008	119.3	99.3	1.2	0.8	1.0	0.7	0.8	0.9	58.4	7.6	0
M35	11.02.2008	24.9	21.0	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	28.2	3.5	0
M36	21.03.2008	38.9	34.9	1.1	0.6	0.4	0.4	1.3	0.7	36.4	8.5	1
M37	01.04.2008	62.6	37.5	1.2	1.3	0.6	0.7	0.7	1.1	48.6	6.2	0
M38	25.04.2008	347.9	333.0	2.9	0.5	1.6	1.3	1.1	1.3	109.0	18.7	2
M39	15.05.2008	60.8	54.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	17.6	9.8	0
M40	10.06.2008	1286.2	1308.7	5.9	4.9	3.2	5.1	3.3	4.4	121.8	43.8	3
M41	19.06.2008	1053.2	945.8	0.4	0.4	4.2	7.5	1.7	1.6	74.8	36.6	2
M42	16.07.2008	2676.7	1674.6	0.3	0.5	1.8	5.6	0.3	0.3	64.0	51.9	3
M43	31.07.2008	163.2	48.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	17.1	0
M44	13.08.2008	260.2	284.6	0.1	0.1	0.3	0.6	0.4	0.3	20.4	13.6	1
vsote		23017.0	21984.7	203.6	96.2	92.6	138.6	61.7	47.6	1960.4		47

* količine sproščenih tal ne vsebujejo suhih vzorcev

Preglednica 4.6 vsebuje podatke o vseh vzorčenjih sproščanja tal na erozijskih ploskvah v Marezigah. Naj ponovimo, da je bila količina sproščenih tal A_M pri enem vzorčenju izračunana kot vsota t. i. mokrega vzorca in suhega vzorca oz. kot vsota količine sproščenih tal znotraj suspenza vode in tal v lovilni posodi in talnih delcev, ki so bili pometeni na lijaku posamezne erozijske ploskve. Erozijski ploskvi EP1 in EP2, na golih tleh v mladem oljčniku, sta bili pometeni ob vsakem vzorčenju, ploskvi EP3 in EP4, na travniku v zaraščanju, pa nikoli, saj so bili lijaki ob vsakem vzorčenju praktično popolnoma čisti. Kot že omenjeno v 3. poglavju, je bilo pometanje lijakov erozijskih ploskev EP5 do EP8 oz. tistih, ki so bili nameščeni v gozdu, težavno zaradi vlažnosti talnih delcev in aktivnosti živih organizmov v tleh. Zato so bile te ploskve v merilnem obdobju pometene le štirikrat in te količine niso upoštevane pri količinah sproščenih tal posameznih vzorčenj v preglednici 4.6. Te količine smo upoštevali pri letnem povprečju sproščenih tal A na posameznih erozijskih ploskvah v preglednici 4.7 in tudi v preglednici 4.8, kjer je bila skupna količina suhih vzorcev na ploskvah EP5 do EP8 porazdeljena po sezonah glede na sezonske deleže sproščenih tal iz mokrih vzorcev (preglednica 4.7).

Preglednica 4.7: Sezonske vsote in letno povprečje sproščenih tal v merilnem obdobju (1. 8. 2006–13. 8. 2008) na erozijskih ploskvah v Marezigah.

Table 4.7: Seasonal and annual average soil loss in the measuring period (1. 8. 2006–13. 8. 2008) on the erosion plots in Marežige.

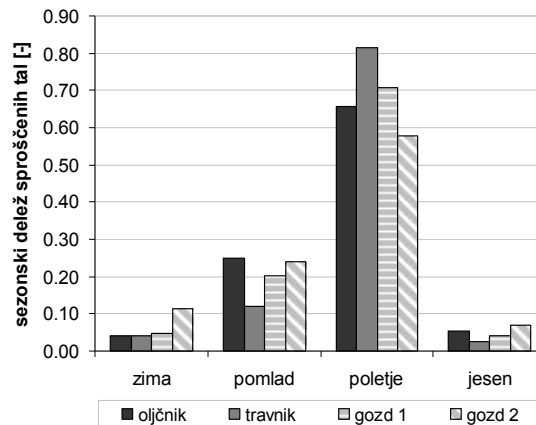
sezona	količina sproščenih tal na erozijskih ploskvah [g m ⁻²]								P [mm]	število vzorčevanj	število erozivnih dogodkov
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	EP8			
zima*	1125.5	753.2	7.3	5.4	4.8	6.5	6.9	5.4	382.4	9	6
pomlad*	5522.7	5667.8	25.3	10.6	19.7	26.9	10.4	17.3	563.8	10	14
poletje*	15087.3	14449.4	167.9	75.9	64.0	99.7	40.9	20.6	766.2	15	19
jesen*	1281.4	1114.2	3.1	4.3	4.1	5.5	3.6	4.4	248.0	10	8
skupaj*	23017.0	21984.7	203.6	96.2	92.6	138.6	61.7	47.6	1960.4	44	47
količina štirih suhih vzorcev (EP5 do EP8)					389.0	666.0	242.3	125.3			
skupaj	23017.0	21984.7	203.6	96.2	481.6	804.6	304.0	172.9			
letno povprečje	11508.5	10992.4	101.8	48.1	240.8	402.3	152.0	86.5			

*količine sproščenih tal ne vsebujejo suhih vzorcev pri erozijskih ploskvah EP5 do EP8

Preglednica 4.8, levo: Sezonska in letno povprečje sproščenih tal na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo, glede na dvoletne meritve na erozijskih ploskvah v Marezigah.

Table 4.8, left: Seasonal and annual average soil from the areas with different land cover as measured on the erosion plots in Marezige.

sezona	letno povprečje sproščenih tal [g m ⁻²]			
	oljčnik, gola tla	travnik, v zaraščanju	gozd 1, blag naklon	gozd 2, oster naklon
zima	469.7	3.2	15.7	13.4
pomlad	2797.6	9.0	64.7	28.5
poletje	7384.2	61.0	227.9	69.1
jesen	598.9	1.9	13.3	8.4
skupaj	11250.4	75.0	321.6	119.4



Slika 4.18, desno: Deleži sezonskih povprečij glede na letno povprečje sproščenih tal na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo, glede na dvoletne meritve na erozijskih ploskvah v Marezigah.

Figure 4.18, right: Average seasonal portions of annual soil loss from the areas with different land cover as measured on the erosion plots in Marezige.

Preglednica 4.9: Povprečna gostota in hidravlična prevodnost tal na različnih globinah talnih profilov v Marezigah (Glavan, 2010; priloge A).

Table 4.9: Average soil density and soil hydraulic conductivity in different depths of the soil profiles in Marezige (Glavan, 2010; annex A).

talni profil		Oljčnik			Gozd	
		25	50	84	20	50
globina odvzema	[cm]					
gostota tal	[g cm ⁻³]	1.32	1.44	1.52	1.40	1.40
hidravlična prevodnost	[m dan ⁻¹]	47.40	9.88	0.30	1.82	0.27
komentar		Srednja prepustnost s posamičnimi območji nizke prepustnosti	Nizka prepustnost	Zelo nizka prepustnost do posameznih območij praktične neprepustnosti	Nizka prepustnost	Zelo nizka prepustnost

Preglednica 4.10: Primerjava letnih povprečij sproščenih tal na tleh z različno pokrovnostjo oz. rabo glede na rezultate enoletnih meritev Zorna (2007) in dvoletnih meritev Petana (2010) na erozijskih ploskvah v Marezigah.

Table 4.10: Comparison of average annual soil loss from the areas with different land cover as measured on the Marezige erosion plots by Zorn (2007) in the 1-year period and by Petan (2010) in the 2-year period.

meritve	letno povprečje sproščenih tal [g m ⁻²]				letno povprečje sproščenih tal [mm]			
	oljčnik, gola tla	travnik, v zaraščanju	gozd 1, blag naklon	gozd 2, oster naklon	oljčnik, gola tla	travnik, v zaraščanju	gozd 1, blag naklon	gozd 2, oster naklon
28.4.2005–26.4.2006, Zorn (2007)	9013.4	168.2	391.2	414.9	8.5	0.16	0.37	0.39
1.8.2006–13.8.2008, Petan (2010)	11250.4	75.0	321.6	119.4	8.5	0.05	0.23	0.09

Količine sproščenih tal v preglednici 4.8 so izračunane kot povprečje količin iz dveh erozijskih ploskev glede na rabo oz. pokrovnost tal. Največji delež sproščenih tal povzročijo poletni erozivni dogodki (slika 4.18), katerih je največ in so tudi najbolj intenzivni, kot že omenjeno na začetku poglavja. Ti deleži se gibljejo nekje med 60 % in 80 % glede na rabo oz. pokrovnost tal. V pomladnem času se ti deleži gibljejo med 10 % in 25 %, medtem ko so v zimskem in jesenskem času praviloma okrog 5 %. Lahko bi rekli, da je povprečni delež sproščenih tal na erozijskih ploskvah EP7 in EP8 v gozdu z ostrim naklonom v primerjavi z ostalimi erozijskimi ploskvami pričakovano najvišji v zimskem obdobju, saj je takrat zaščitni vpliv krošenj dreves v gozdu najmanjši, in največji poleti, ko je razvitost krošenj najvišja. Vendar bi težko trdili enako za ostali dve erozijski ploskvi v gozdu, EP5 in EP6, saj je njun vzorec deležev na sliki 4.18 drugačen. Na sliki 4.19 so prikazane erozijske ploskve EP5 do EP8 in razvitost vegetacije oz. krošenj dreves nad erozijskimi ploskvami v dveh različnih letnih obdobjih. Prva slika prikazuje obdobje tik pred pomladno ozelenitvijo (1. 4. 2008), druga pa obdobje najvišje razvitosti vegetacije v poletnem času (13. 8. 2008).

Po dveletnih meritvah je povprečna količina sproščenih tal iz erozijskih ploskev na golih tleh v oljčniku znašala 11,25 kg, na travniku v zaraščanju le 0,075 kg, v gozdu pa med 0,12 kg in 0,32 kg (preglednica 4.8). Nekoliko mimo pričakovanj je dejstvo, da je bilo manj sproščenih tal v gozdu z ostrim naklonom kot v gozdu z blagim naklonom. Rezultati analiza vzorcev iz dveh talnih profilov (Glavan, 2010; priloge A), ki smo jih pod vodstvom Matjaža Glavana s sodelavci z Biotehniške fakultete izdelali 1. 7. 2009 na oljčniku in v gozdu, je pokazala, da je gostota tal v oljčniku na globini 25 cm enaka $1,32 \text{ g cm}^{-3}$, v gozdu pa $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ (preglednica 4.9). Iz tega sledi, da se je s površja v oljčniku v povprečju sprostilo 8,5 mm, na travniku za 0,05 mm, v gozdu pa med 0,09 mm in 0,23 mm na leto (preglednica 4.10). Te vrednosti so podobne tistim, ki jih navaja Zorn (2007) na podlagi meritev na istih erozijskih ploskvah v obdobju med 28. 4. 2005 in 26. 4. 2006. Pri tem je treba omeniti, da je Zorn (2007) privzel nižjo vrednost za gostoto tal, in sicer $1,056 \text{ g cm}^{-3}$.

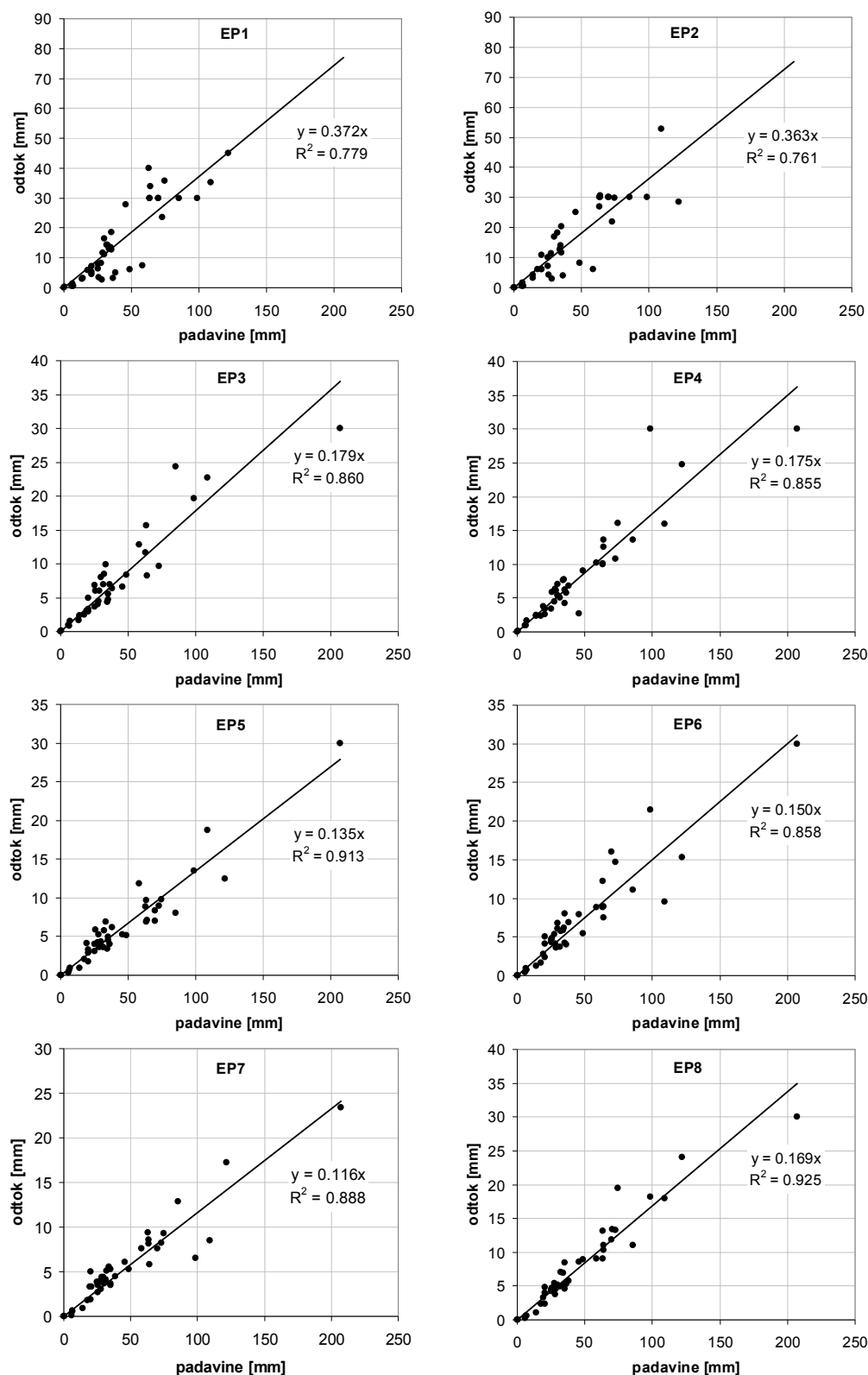


Slika 4.19: Erozijske ploskve EP5, EP6, EP7 in EP8 (od leve proti desni) in krošnje dreves nad ploskvami: zgoraj – aprila 2008 (foto: Nina Vareško); spodaj – avgusta 2008 (foto: Sašo Petan).

Figure 4.19: Erosion plots EP5, EP6, EP7 and EP8 (left to right) and the tree canopies above the plots in April 2008 (above, photo: Nina Vareško) and August 2008 (below, photo: Sašo Petan).

Po izsledkih Glavana (2010), so tla v oljčniku v višjih talnih horizontih nekoliko manj zbita in precej bolj prepustna kot v nižjih, medtem ko se gostota tal po talnih horizontih v gozdu ne spreminja, hidravlična prevodnost pa je precej nizka (preglednica 4.9). Hidravlična prevodnost na globini 25 cm v oljčniku je približno 5-krat oz. 150-krat višja kot na globini 50 cm oz. 84 cm, in 30-krat višja od tiste na globini 20 cm v gozdu. Te razlike pri gostoti in hidravlični prevodnosti tal so razumljive glede na to, da so bila tla v oljčniku tik pred postavitvijo erozijskih ploskev spomladi 2005 preorana.

Iz razmerja med površinskim odtokom z erozijskih ploskev, ki se je ujel v lovilnih posodah, in izmerjeni višini padavin v obdobju med vzorčenji lahko izračunamo odtočni količnik iz obravnavanih površin. Točke na sliki 4.20 prikazujejo ta razmerja iz vzorčenj na erozijskih ploskvah v dveletnem obdobju meritev. Povprečje odtočnih količnikov iz dveh erozijskih ploskev na neporaščenih tleh v oljčniku znaša 0,36, na travniku pa za polovico manj – 0,18. Odtočni količnik, ki je bil izračunan kot povprečje odtočnih količnikov iz vseh štirih erozijskih ploskev v gozdu, je še nekoliko nižji in znaša 0,14.



Slika 4.20: Razmerje med višino padavin in merjenim površinskim odtokom v lovilnih posodah na erozijskih ploskvah EP1 do EP8.

Figure 4.20: Relationship between the rainfall height and the measured runoff collected in the erosion plot collectors EP1 to EP8.

5 MODELIRANJE EROZIVNOSTI PADAVIN

5.1 UVOD

V tem poglavju podajamo izsledke analize rezultatov meritev, s čimer smo izpolnili prva dva cilja doktorske disertacije (poglavje 1.3). Na podlagi analize porazdelitve padavinskih delcev smo izpeljali enačbe za račun kinetične energije padavin iz 5-minutnih intenzitet padavin za vsako merilno mesto posebej. V nadaljevanju ugotavljamo, ali je maksimalna 30-minutna intenziteta padavin v kombinaciji s kinetično energijo padavin najboljši podnebni kazalec za količino sproščenih tal, ki smo jo merili na erozijskih ploskvah v Marezigah.

Analizo porazdelitve padavinskih delcev smo opravili po enakem postopku za vsa štiri merilna mesta. Zato bo sam potek analize sledljivo opisan le pri prvem merilnem mestu, pri naslednjih treh pa bo le nakazan, saj je podroben opis poteka analize podan v poglavju 3.5.2.

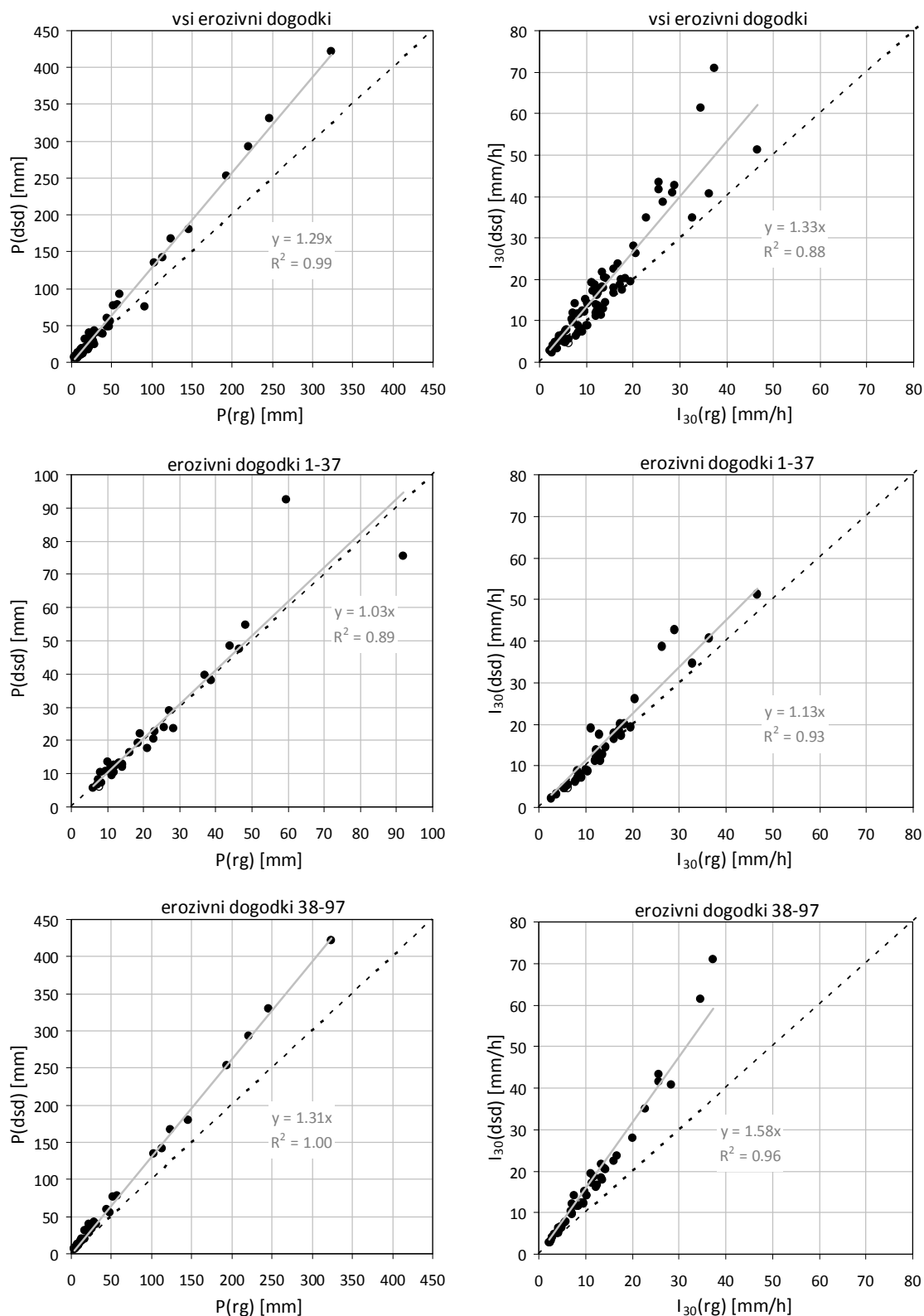
5.2 ANALIZA PORAZDELITVE PADAVINSKIH DELCEV

5.2.1 Bovec

5.2.1.1 Analiza erozivnih dogodkov

Pri analizi porazdelitve padavinskih delcev smo lahko upoštevali podatke iz vseh 86 erozivnih dogodkov v Bovcu, zabeleženih s strani disdrometra. Po opravljenem računu intenzitete padavin $I(dsd)$ iz porazdelitve padavinskih delcev (enačba 3.9, poglavje 3.5.2) smo primerjali vrednosti za višino padavin $P(dsd)$ in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin $I_{30}(dsd)$ s tistimi, ki jih je izmeril dežemer, $P(rg)$ in $I_{30}(rg)$. Primerjavo smo opravili na enak način kot v poglavju 4.3.1 s to razliko, da smo takrat upoštevali vrednosti $P(dt)$ in $I(dt)$ glede na merjene intenzitete disdrometra. Tudi sedaj smo erozivne dogodke razdelili v dve skupini zaradi nenavadnega odziva enega od instrumentov. Tako je slika 5.1 primerljiva s sliko 4.13. V splošnem so izračunane intenzitete $I(dsd)$ nižje od merjenih intenzitet s strani disdrometra $I(dt)$ in tako bližje realnim vrednostim, ki jih je meril dežemer $I(rg)$. Ta razlika izhaja iz dejstva, da disdrometer opravi račun intenzitete padavin $I(dt)$ na podlagi algoritma z vgrajenimi kalibracijskimi parametri, ki temeljijo na statistični analizi porazdelitve padavinskih delcev (Nemeth, 2009), kot je že bilo omenjeno v uvodu poglavja 4.3.

Skupna vsota padavin vseh erozivnih dogodkov na podlagi izračunane $I(dsd)$ je tako nižja za približno 5 % od tiste na podlagi merjene $I(dt)$, in znaša 3650,8 mm. Ta vrednost je še vedno previsoka glede na merjeno višino padavin s strani dežemera, ki znaša 2914,7 mm. Iz slike 5.1 (zgoraj) lahko ugotovimo, da je vsak erozivni dogodek glede na intenzitete $I(dsd)$ imel v povprečju 29 % in 33 % višji vrednosti za skupno višino padavin in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin od tistih vrednosti po $I(rg)$. Ne glede na nenavadne rezultate primerjave po erozivnem dogodku 37 (slika 5.1, v sredini in spodaj), smo pri izpeljavi enačb za račun kinetične energije padavin upoštevali porazdelitve padavinskih delcev iz vseh erozivnih dogodkov.

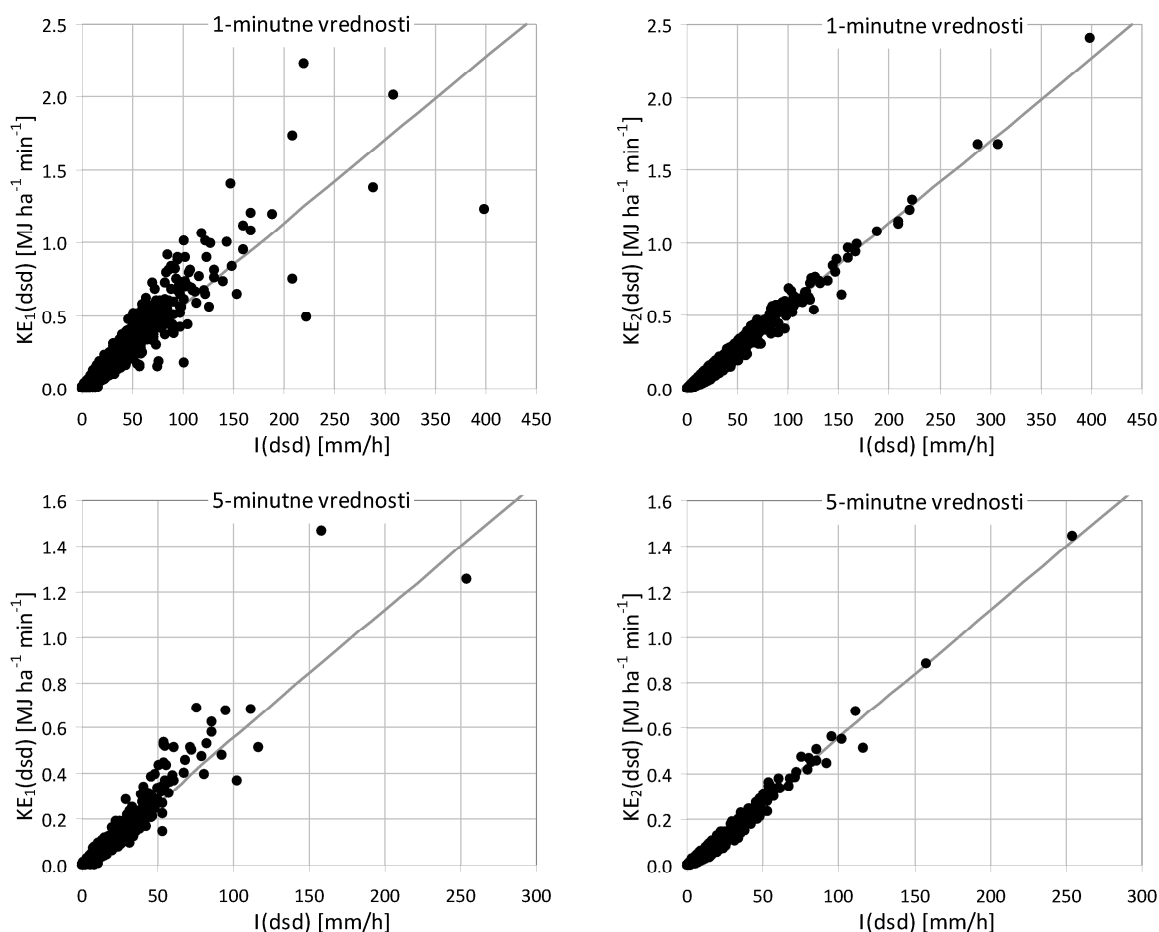


Slika 5.1: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Bovcu: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.

Figure 5.1: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Bovec: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

5.2.1.2 Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin

Po opravljenem računu specifične kinetične energije padavin $KE_1(dsd)$ in $KE_2(dsd)$ iz porazdelitve padavinskih delcev (enačbi 3.10 in 3.11, poglavje 3.5.2) smo se lahko lotili izpeljave triparametrne $KE-I$ funkcijskih odvisnosti. Izpeljavo smo opravili za 1- in 5-minutne vrednosti spremenljivk (slika 5.2). Zaradi neprimerno večje razpršenosti specifične kinetične energije $KE_1(dsd)$ je bila za nadaljnjo obravnavo upoštevana manj razpršena $KE_2(dsd)$. Slednja je rezultirala tudi nižjo kinetično energijo E posameznih erozivnih dogodkov, v povprečju 10 %.



Slika 5.2: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Bovec.

Figure 5.2: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established $KE-I$ relationship for Bovec.

Končno obliko $KE-I$ funkcijskih odvisnosti smo dobili potem, ko smo z izbiranjem velikosti parametrov funkcijske odvisnosti dosegli najvišji možen Nash-Sutcliffov koeficient modelske učinkovitosti (enačba 3.12, poglavje 3.5.2). Tako se $KE-I$ funkcijska odvisnost za račun specifične kinetične energije padavin iz 1-minutnih intenzitet padavin v Bovcu glasi:

$$e_B = 0,341 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,040I)] \quad (5.1)$$

iz 5-minutnih intenzitet padavin pa:

$$e_B = 0,336 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,047I)] \quad (5.2)$$

pri čemer ima e_B enoto MJ ha mm⁻¹, I pa mm h⁻¹. 1-minutna $KE-I$ funkcijska odvisnost (BO-1min) je veljavna na območju intenzitet padavin med 0,1 in 399 mm/h, medtem ko 5-minutna (BO-5min) na območju med 0,1 in 254 mm/h.

5.2.1.3 Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev

Modelsko učinkovitost izpeljanih enačb, $KE-I$ funkcijskih odvisnosti BO-1min in BO-5min, smo primerjali z učinkovitostmi enačb, ki so priporočene v svetovni literaturi in predstavljene v preglednici 3.9 (poglavje 3.5.2). Vse enačbe smo aplicirali na izračunane 1-minutne in 5-minutne intenzitete padavin $I(dsd)$ ter na merjene intenzitete $I(rg)$ s strani dežemera. Tako izračunano specifično kinetično energijo e_B smo primerjali s $KE_2(dsd)$ po disdrometru. Račun Nash-Sutcliffovih koeficientov modelske učinkovitosti smo opravili tudi na vsotah kinetične energije E posameznih erozivnih dogodkov, ki smo jih primerjali z referenčnimi vrednostmi $E_2(dsd)$. Rezultati te primerjave so prikazani v preglednici 5.1.

Štiri enačbe tujih avtorjev so pri aplikaciji na intenzitetah $I(dsd)$ imele zelo primerljiv odziv z odzivom izpeljanih enačb BO-1min in BO-5min. To so enačbe naslednjih avtorjev: Uson in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), Zanchi in Torry (1980), Wischmeier in Smith (1958) ter Coutinho in Tomas (1995). Njihova napoved vsote E vseh erozivnih dogodkov je bila v intervalu ± 5 % od referenčne vsote $E_2(dsd)$ z izjemo zadnje, ki je to vsoto napovedala nekoliko previsoko, a še vedno zadovoljivo.

Preglednica 5.1: Nash-Sutcliffeovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (Pluvio) v Bovcu.

Table 5.1: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different $KE-I$ relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and those measured with the weighing rain gauge (Pluvio) in Bovec.

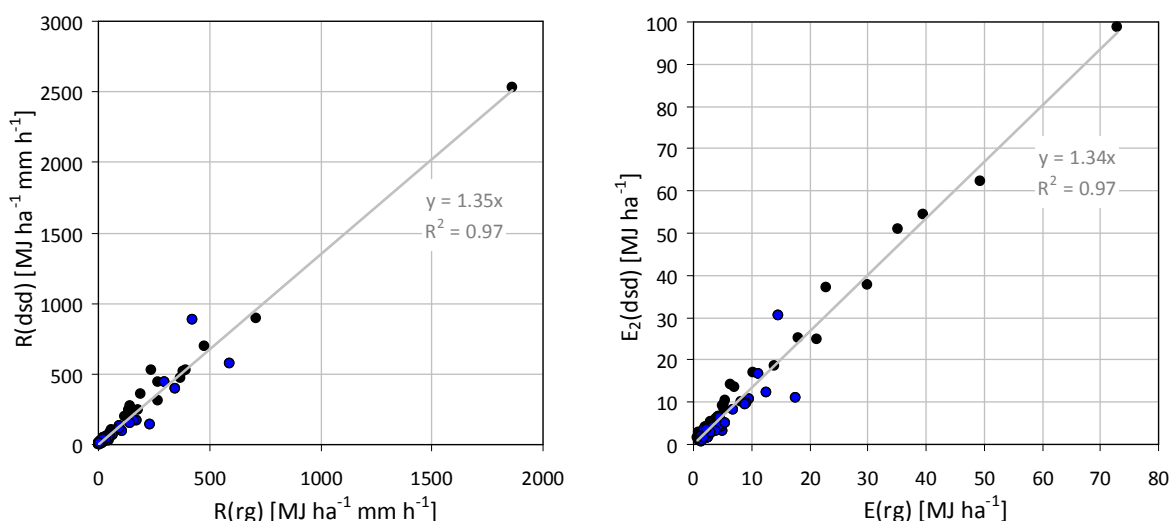
Koeficient modelske učinkovitosti (Nash in Sutcliffe, 1970)	Meritve DSD (Parsivel)					Intenzitete po dežemeru (Pluvio)		
	1-min. vrednosti e	5-min. vrednosti e	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha^{-1}]	odmik od referenčne vrednosti	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha^{-1}]	odmik od referenčne vrednosti
BO-1 min (2009)	0.978	0.976	0.990	794.8	0.6%	0.878	581.1	-26.5%
BO-5min (2009)	0.978	0.977	0.986	810.7	2.6%	0.887	595.4	-24.6%
Uson in Ramos (2001) + Sempere Torres in sod. (1992)	0.976	0.974	0.988	795.4	0.7%	0.892	595.8	-24.6%
Coutinho in Tomas (1995)	0.976	0.975	0.980	842.6	6.6%	0.906	623.4	-21.1%
Cerro in sod. (1997)	0.966	0.966	0.958	894.7	13.2%	0.932	665.4	-15.8%
Zanchi in Torry (1980)	0.974	0.972	0.989	775.7	-1.8%	0.872	572.5	-27.5%
Wischmeier in Smith (1958)	0.965	0.962	0.989	757.3	-4.2%	0.865	568.4	-28.1%
Brown in Foster (1987)	0.952	0.946	0.954	639.2	-19.1%	0.731	456.4	-42.2%
Rosewell (1986)	0.953	0.948	0.973	679.9	-13.9%	0.784	499.0	-36.8%
van Dijk in sod. (2002)	0.952	0.949	0.984	715.4	-9.5%	0.824	533.7	-32.5%
McIsaac (1990)	0.954	0.951	0.988	746.1	-5.6%	0.853	564.0	-28.6%
Brandt (1990)	0.927	0.918	0.955	640.0	-19.0%	0.762	475.9	-39.8%
referenčna vsota $E_2(dsd)$				790.1			790.1	

Precej bolj nas je zanimal učinek primerljivih enačb pri njihovi aplikaciji na merjenih intenzitetah $I(rg)$. Tukaj je po učinkovitosti izstopala enačba avtorjev Cerro in sod. (1995), ki je tako kot vse ostale enačbe napovedala nižjo vsoto E vseh erozivnih dogodkov od referenčne vsote $E_2(dsd)$, vendar je bilo odstopanje pri njej najmanjše, in sicer 15 %. Tak odziv enačb je razumljiv, saj je, kot že omenjeno, disdrometer nameril precej večjo skupno višino padavin vseh erozivnih dogodkov od dežemera (slika 5.1). Glede na ugotovitve v poglavju 4.3.1 in reference dežemera Pluvio, ki so opisane pri opisu merilnih instrumentov, je precej večja verjetnost netočnih meritev intenzitete padavin na strani disdrometra. Tako lahko sklepamo, da je referenčna vsota $E_2(dsd)$ dejansko precenjena. S tega stališča ocenjujemo učinkovitost tukaj izpeljanih enačb in zgoraj že omenjenih štirih primerljivih enačb kot zelo

dobro, saj so enačbe napovedale 21 % do 28 % manjšo vsoto E vseh erozivnih dogodkov od precejšene referenčne vsote $E_2(dsd)$. Ti deleži odstopanja so enakega ranga kot delež odstopanja skupne višine padavin vseh erozivnih dogodkov, ki je "izostal" pri dežemeru glede na meritve DSD. Podrobnejša razprava o tem bo tekla v zaključkih tega poglavja. Naj omenimo še to, da so napovedi enačbe avtorjev Brown in Foster (1987), ki je priporočena pri metodi RUSLE (Renard in sod., 1997), imele najslabšo učinkovitost in tudi okrog 20 % nižjo napovedano vrednost za skupno vsoto E erozivnih dogodkov od napovedi najbolj učinkovitih enačb.

5.2.1.4 Erozivnost padavin

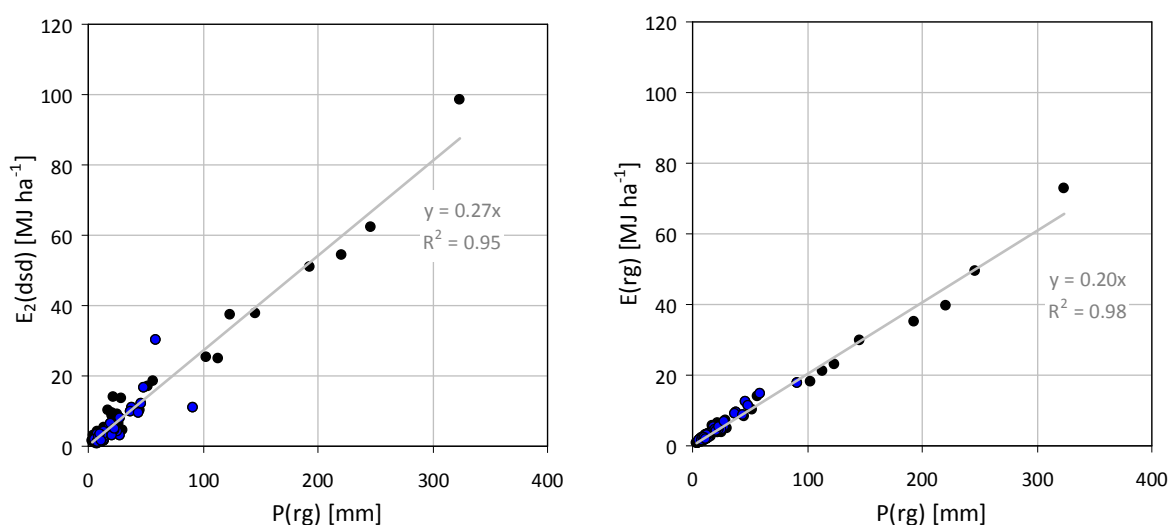
Erozivnost posameznih erozivnih dogodkov $R(dsd)$ je bila glede na kinetično energijo $E_2(dsd)$ taistih dogodkov v povprečju 35 % višja od erozivnosti $R(rg)$, pri kateri smo upoštevali $E(rg)$, kinetično energijo erozivnih dogodkov, izračunano na podlagi meritev intenzitet padavin dežemera in izpeljane enačbe BO-5min. Pri računu ene in druge erozivnosti smo upoštevali maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$, ki jih je v okviru posameznih dogodkov meril dežemer. Iz slike 5.3 je razvidno, da je v povprečju $E_2(dsd)$ višja od $E(rg)$ praktično v enakem deležu, kot je $R(dsd)$ v povprečju višja od $R(rg)$.



Slika 5.3: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Bovcu: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.

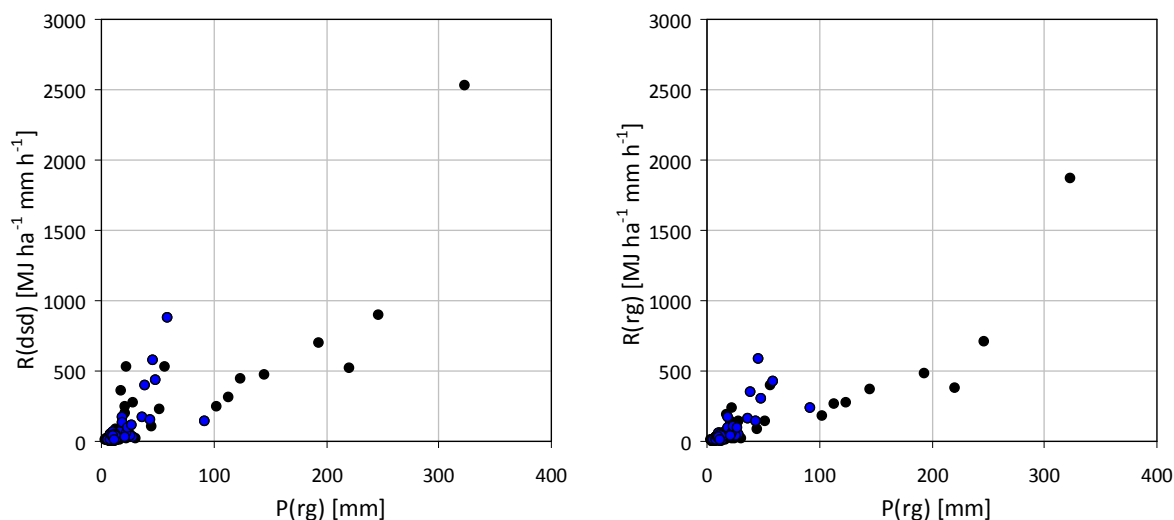
Figure 5.3: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Bovec: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

Vsota erozivnosti padavin znotraj vseh obravnavanih dogodkov znaša po $R(dsd)$ oz. $R(rg)$ 13 438 oz. 9914 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. Vsi erozivni dogodki s pripadajočimi veličinami, ki so bile izračune glede na opravljene meritve v Bovcu in izpeljane enačbe, so podani v prilogi B1. Pri medsebojni korelaciji teh veličin nam je največ pozornosti vzbudila primerjava med višinami padavin P in kinetičnimi energijami E pripadajočih erozivnih dogodkov (slika 5.4). Izrazita linearna odvisnost med temi veličinami niti ne preseneča, če problematiko računa specifične kinetične energije e_B kot funkcijo intenzitete padavin I nekoliko poenostavimo: namesto triparametrne eksponentne enačbe privzemimo linearno odvisnost na celotnem območju intenzitet padavin, tako kot so to storili Sempere Torres in sod. (1992) in tudi Uson in Ramos (2001) in, kot lahko sklepamo iz slike 5.2, integrirajmo jo po času trajanja erozivnega dogodka in dobili bomo linearno zvezo med kinetično energijo E erozivnega dogodka in pripadajočo višino padavin P .



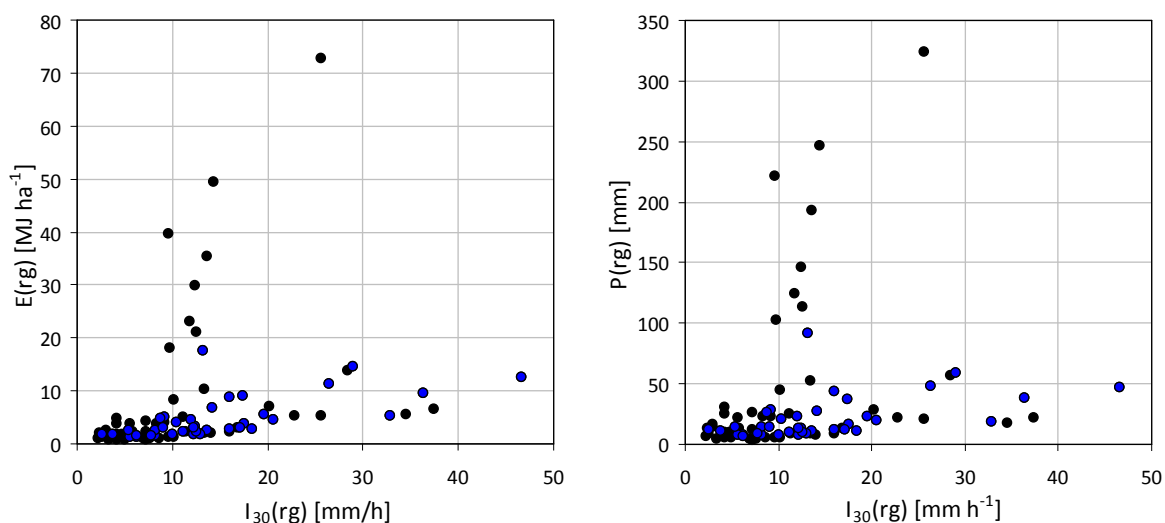
Slika 5.4: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Bovcu: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo BO-5min (desno).

Figure 5.4: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the BO-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Bovec.



Slika 5.5: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Bovcu: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo BO-5min (desno).

Figure 5.5: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the BO-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Bovec.



Slika 5.6: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Bovcu: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo BO-5min (desno).

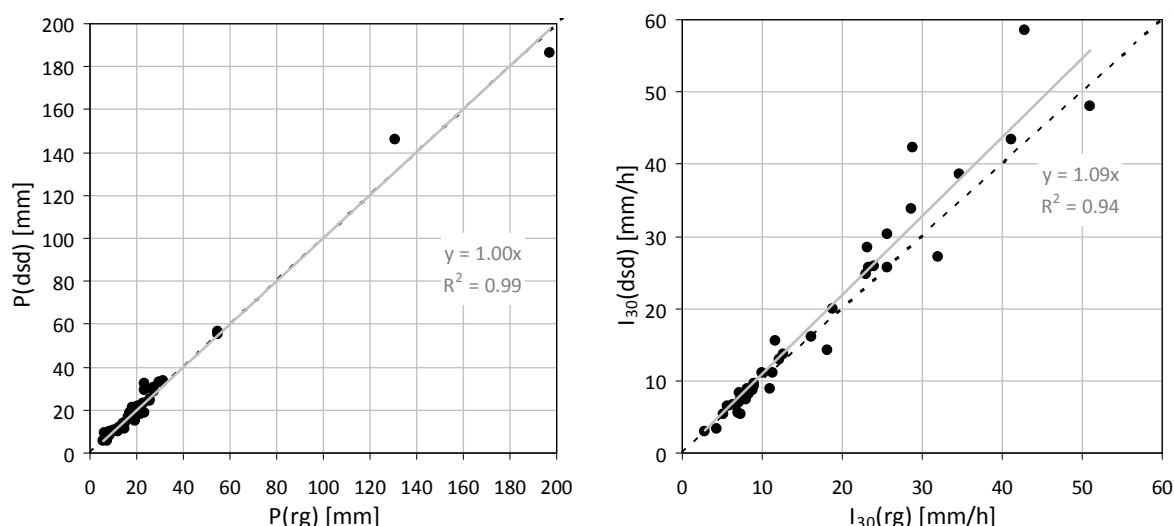
Figure 5.6: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the BO-5min equation, of the erosive events in Bovec.

O linearni soodvisnosti pa nikakor ne moremo govoriti ob primerjavi erozivnosti R in višin padavin P erozivnih dogodkov (sliki 5.5), saj je maksimalna 30-minutna intenziteta padavin I_{30} znotraj erozivnega dogodka, ki je vezni člen med kinetično energijo E in erozivnostjo padavin R , neodvisna tako od P kot od E , kot je tudi razvidno iz slike 5.6.

5.2.2 Ilirska Bistrica – Koseze

5.2.2.1 Analiza erozivnih dogodkov

Analizo porazdelitve padavinskih delcev smo izvedli na 40 od 41 predhodno zabeleženih erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici, saj je ob neurju 13. 7. 2008 prišlo do velikih odstopanj pri meritvah disdrometra in dežemera zaradi pojava toče. Izmerjene višine padavin $P(dsd)$ erozivnih dogodkov po meritvah DSD se skoraj popolno ujemajo z meritvami dežemera $P(rg)$, medtem ko primerjava maksimalnih 30-minutnih intenzitet padavin I_{30} kaže, da imajo te po meritvah DSD v povprečju 9 % višje vrednosti od tistih po dežemeru (slika 5.7). Ne glede na ta odklon ugotavljamo, da je bila tovarniška kalibracija na optičnem disdrometru Parsivel izvedena izjemno, saj je razlika pri skupni vsoti padavin vseh erozivnih dogodkov le +1,5 % v korist disdrometra.

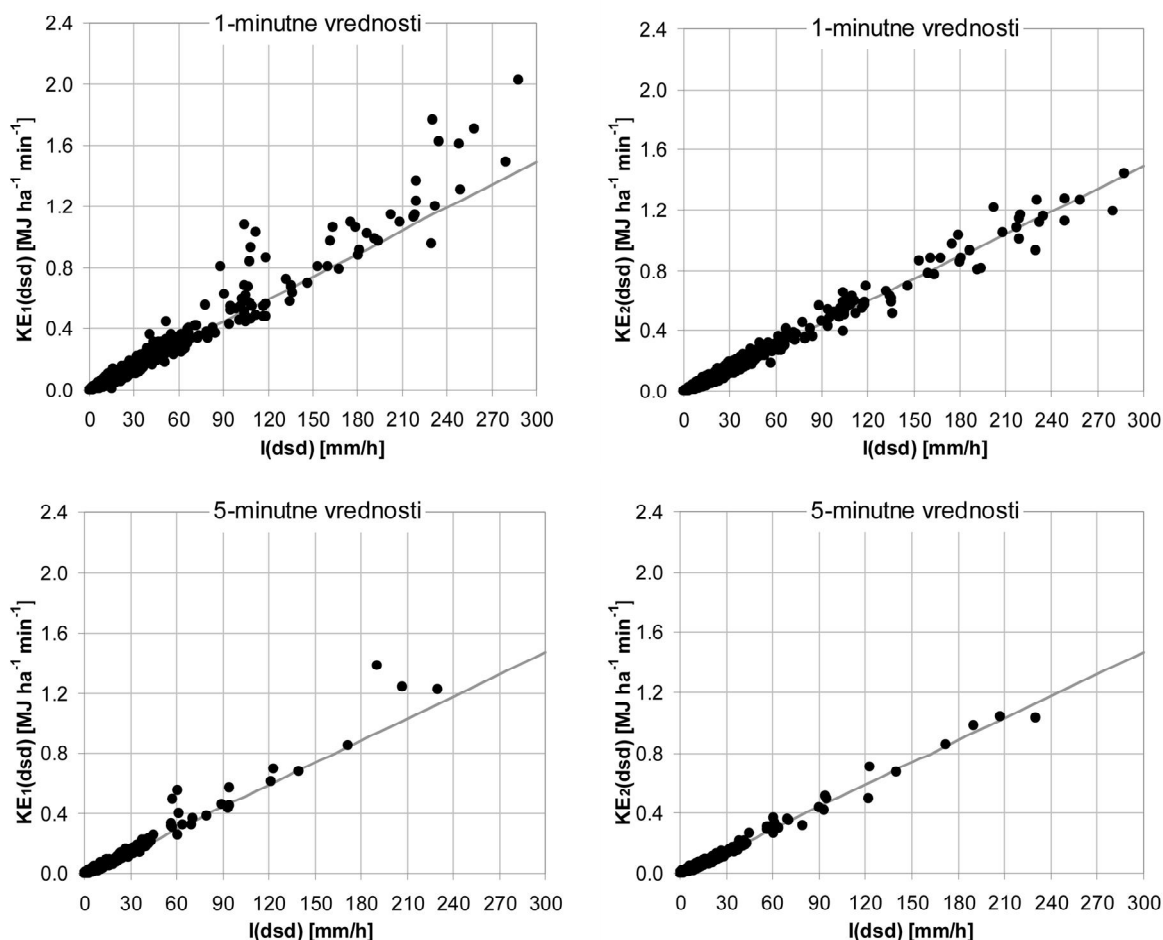


Slika 5.7: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: os x – meritve dežemera, os y – račun iz meritev DSD.

Figure 5.7: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Ilirska Bistrica: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

5.2.2.2 Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin

Podobno kot pri analizi meritev DSD, opravljenih v Bovcu, smo pri izpeljavi triparametrsk $KE-I$ funkcijske odvisnosti za Ilirsko Bistrico upoštevali specifično kinetično energijo $KE_2(dsd)$ in ne $KE_1(dsd)$, saj je slednja imela višjo razpršenost (slika 5.8) in tudi 6 % višjo napoved vsote kinetične energije E vseh erozivnih dogodkov.



Slika 5.8: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Ilirsko Bistrico.

Figure 5.8: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established $KE-I$ relationship for Ilirska Bistrica.

$KE-I$ funkcijski odvisnosti za račun specifične kinetične energije padavin v Ilirski Bistrici se ob najvišjem možnem Nash-Sutcliffovem koeficientu modelske učinkovitosti glasita:

$$e_B = 0,298 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,071I)] \quad (5.3)$$

pri uporabi 1-minutnih intenzitet padavin oz.:

$$e_B = 0,294 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,085I)] \quad (5.4)$$

pri uporabi 5-minutnih intenzitet padavin. Ob tem ima e_B enoto MJ ha mm⁻¹, I pa mm h⁻¹. 1-minutna $KE-I$ funkcijska odvisnost (IB-1min) je veljavna na območju intenzitet padavin med 0,1 in 280 mm/h, medtem ko 5-minutna (IB-5min) na območju med 0,1 in 172 mm/h.

5.2.2.3 Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev

Kot je razvidno iz preglednice 5.2, so imele štiri enačbe tujih avtorjev pri aplikaciji na intenzitetah $I(dsd)$ zelo primerljiv odziv z odzivom izpeljanih enačb IB-1min in IB-5min in tudi njihove vsote E vseh erozivnih dogodkov so bile v intervalu $\pm 2,5$ % od referenčne vsote $E_2(dsd)$. To so enačbe sledečih avtorjev: Uson in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), Zanchi in Torry (1980), Wischmeier in Smith (1958) ter McIsaac (2000).

Zelo dobremu učinku vseh omenjenih enačb pri aplikaciji na merjenih intenzitetah $I(rg)$ se je pridružila tudi enačba avtorjev Coutinho in Tomas (1995). Odstopanje teh enačb pri napovedih vsote E vseh erozivnih dogodkov se gibljejo v intervalu med +4 in -7 % od referenčne vsote $E_2(dsd)$. Kot najbolj realne napovedi vsote E vseh erozivnih dogodkov ocenjujemo napovedi enačbe IB-5min ob aplikaciji na $I(rg)$, pri čemer so napovedi enačbe avtorjev Uson in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992) praktično enakovredne. Tako je referenčna vsota $E_2(dsd)$ precenjena za le približno 2 %. Naj omenimo še to, da so tudi tukaj imele napovedi enačbe avtorjev Brown in Foster (1987) približno 20 % nižjo vrednost za skupno vsoto E erozivnih dogodkov od napovedi najbolj učinkovitih enačb ob najslabši učinkovitosti.

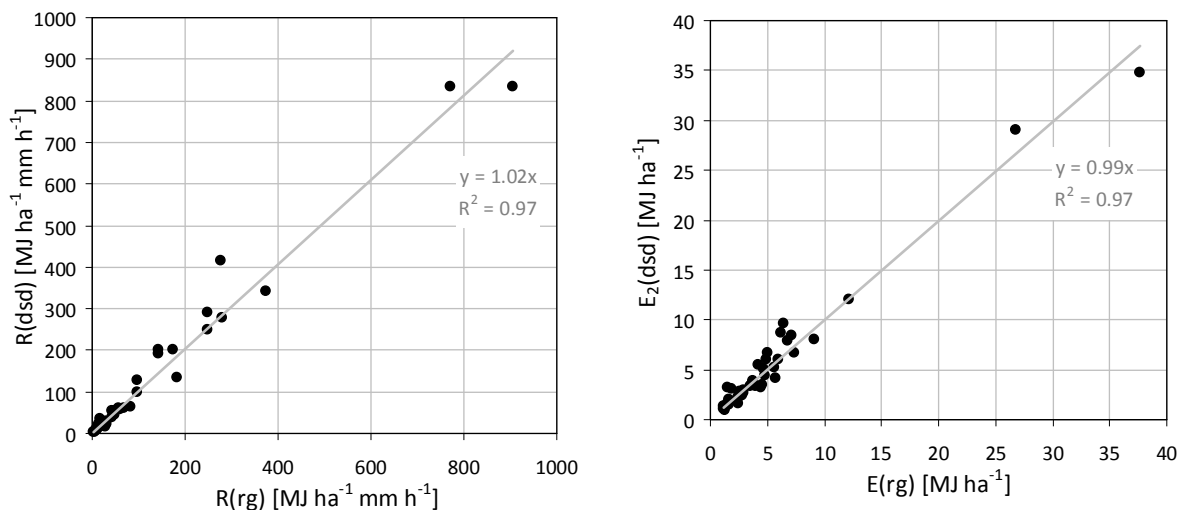
Preglednica 5.2: Nash-Sutcliffovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (Pluvio) v Ilirski Bistrici.

Table 5.2: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different $KE-I$ relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and those measured with the weighing rain gauge (Pluvio) in Ilirska Bistrica.

Koeficient modelske učinkovitosti (Nash in Sutcliffe, 1970)	Meritve DSD (Parsivel)					Intenzitete po dežemeru (Pluvio)		
	1-min. vrednosti e	5-min. vrednosti e	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha^{-1}]	odmik od referenčne vrednosti	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha^{-1}]	odmik od referenčne vrednosti
IB-1min (2009)	0.985	0.987	0.993	223.9	0.1%	0.972	213.6	-4.5%
IB-5min (2009)	0.985	0.988	0.990	228.0	1.9%	0.970	218.3	-2.4%
Uson in Ramos (2001) + Sempere Torres in sod. (1992)	0.975	0.976	0.989	228.8	2.3%	0.968	220.6	-1.4%
Coutinho in Tomas (1995)	0.952	0.951	0.970	246.6	10.2%	0.965	233.0	4.2%
Cerro in sod. (1997)	0.919	0.919	0.929	262.9	17.5%	0.937	248.7	11.2%
Zanchi in Torry (1980)	0.954	0.959	0.994	222.9	-0.3%	0.970	211.5	-5.4%
Wischmeier in Smith (1958)	0.977	0.979	0.993	218.2	-2.4%	0.964	208.7	-6.7%
Brown in Foster (1987)	0.980	0.979	0.939	184.2	-17.7%	0.891	171.9	-23.1%
Rosewell (1986)	0.980	0.980	0.975	197.9	-11.5%	0.936	186.7	-16.5%
van Dijk in sod. (2002)	0.980	0.981	0.988	208.0	-7.0%	0.956	197.9	-11.5%
McIsaac (1990)	0.981	0.982	0.990	218.1	-2.5%	0.962	208.5	-6.8%
Brandt (1990)	0.968	0.966	0.949	184.1	-17.7%	0.907	175.3	-21.6%
referenčna $KE_2(\text{dsd})$				223.7			223.7	

5.2.2.4 Erozivnost padavin

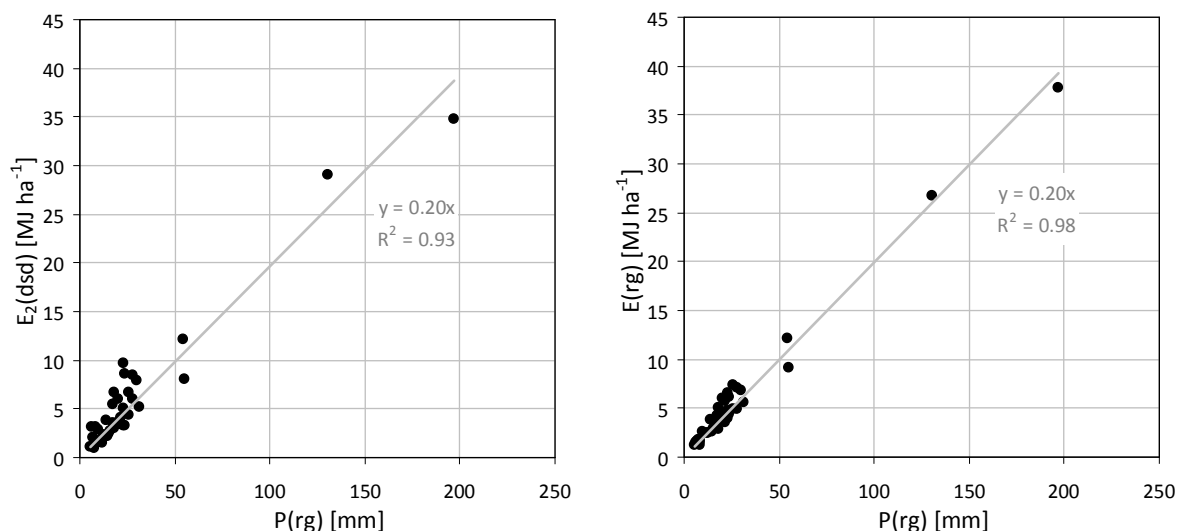
Erozivnost posameznih erozivnih dogodkov $R(\text{dsd})$ glede na kinetično energijo $E_2(\text{dsd})$ taistih dogodkov je bila v povprečju zgolj 2 % višja od erozivnosti $R(\text{rg})$, pri kateri smo upoštevali $E(\text{rg})$ po IB-5min in $I(\text{rg})$. Pri računu ene in druge erozivnosti smo upoštevali maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(\text{rg})$. Vsoti erozivnosti padavin znotraj vseh obravnavanih dogodkov po $R(\text{dsd})$ in $R(\text{rg})$ se bistveno ne razlikujeta: znašata 4964 in 4732 $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$. Podobno velja tudi za kinetično energijo, saj se $E_2(\text{dsd})$ in $E(\text{rg})$ v povprečju praktično ne razlikujeta (slika 5.9).



Slika 5.9: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.
Figure 5.9: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Ilirska Bistrica: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

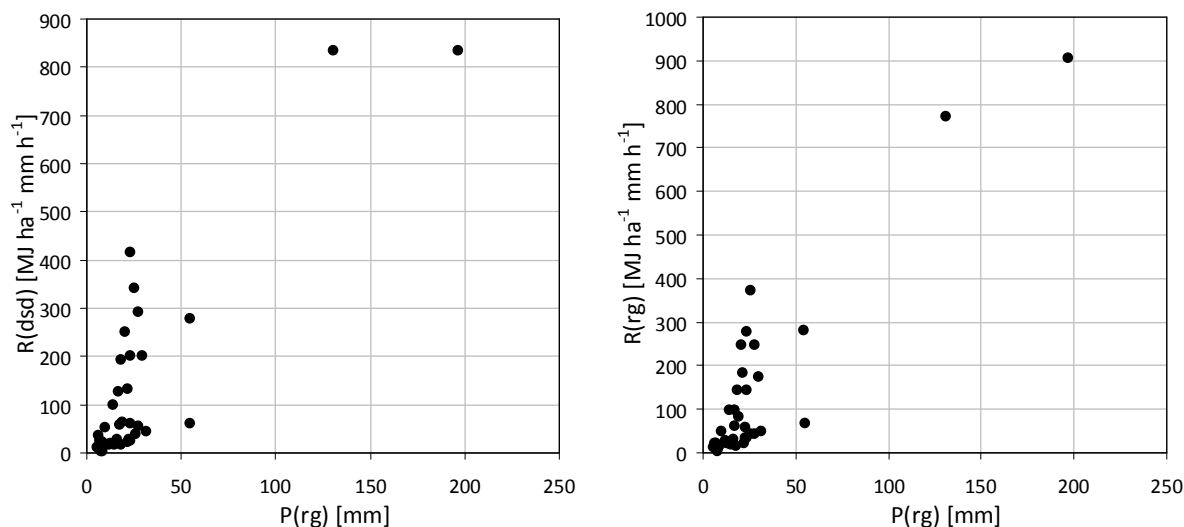
Vsi erozivni dogodki s pripadajočimi veličinami, ki so bile izračunane glede na opravljene meritve v Ilirski Bistrici in izpeljane enačbe, so podani v prilogi B2. Pri medsebojni korelaciji teh veličin smo znova in pričakovano dobili izrazito linearno zvezo med višinami padavin P in kinetičnimi energijami E pripadajočih erozivnih dogodkov (slika 5.10). Zanimivo je tudi dejstvo, da količnik k_{EP} v linearni zvezi $E(rg) = k_{EP} \cdot P(rg)$ po rezultatih meritev v Ilirski Bistrici znaša enako kot isti količnik k_{EP} pri linearni zvezi, ki velja v Bovcu (slika 5.4), in sicer 0,20.

Sliki 5.11 in 5.12 kažeta razmerja med veličinami P , I_{30} , E in R , ki so primerljiva s tistimi, ki so se vzpostavila v Bovcu (sliki 5.5 in 5.6). Mogoče to ni očitno na prvi pogled, vendar če upoštevamo, da je abscisna os pri teh razmerjih v Ilirski Bistrici nekajkrat krajša in zato tolikokrat bolj raztegnjena od osi v Bovcu, lahko te vzorce hitro prepoznamo.



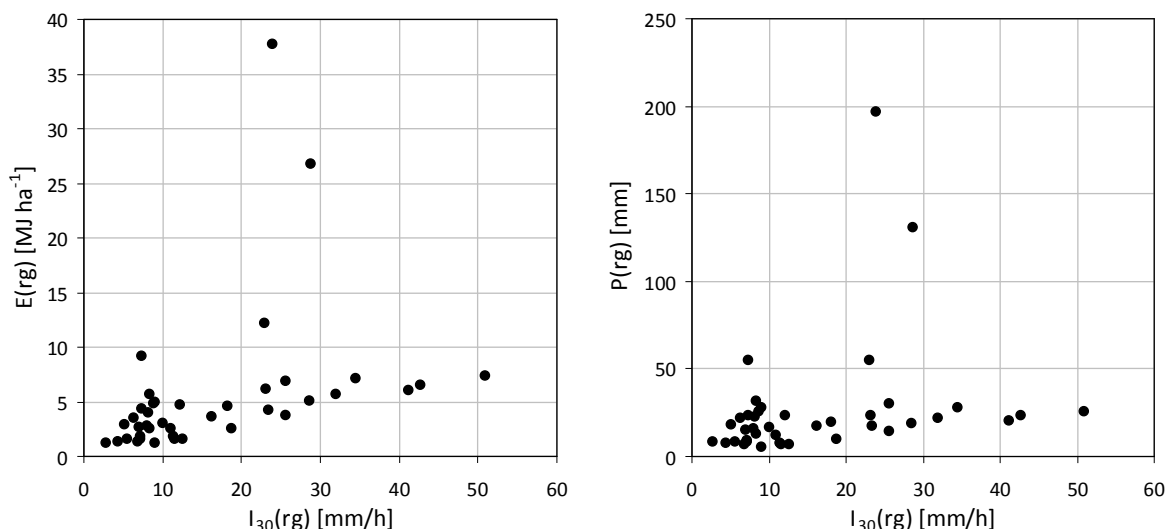
Slika 5.10: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo IB-5min (desno).

Figure 5.10: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the IB-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ilirska Bistrica.



Slika 5.11: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo IB-5min (desno).

Figure 5.11: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the IB-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ilirska Bistrica.



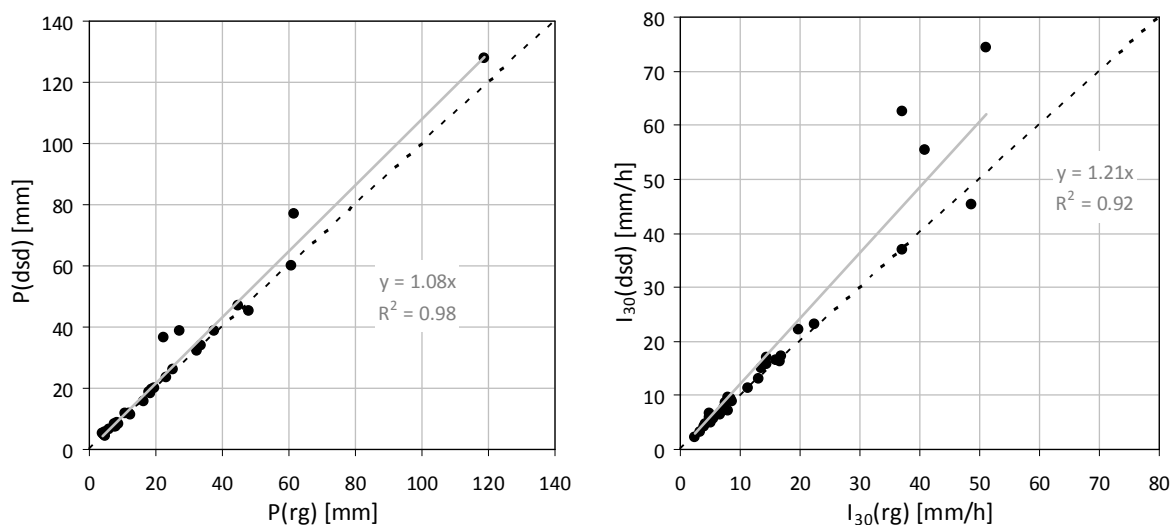
Slika 5.12: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ilirski Bistrici: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo IB-5min (desno).

Figure 5.12: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the IB-5min equation, of the erosive events in Ilirska Bistrica.

5.2.3 Kozjane

5.2.3.1 Analiza erozivnih dogodkov

Analizo porazdelitve padavinskih delcev v okviru erozivnih dogodkov na Kozjanah smo izvedli na 31 od 37 dogodkih zaradi izpadov dežemera, ki so bili podrobneje opisani v poglavju 4.3.3. Izračunane višine padavin $P(dsd)$ erozivnih dogodkov po meritvah DSD so sedaj bistveno bližje meritvam dežemera $P(rg)$. Ob upoštevanju merjenih vrednosti disdrometra $P(dt)$ (slika 4.15) je disdrometer v povprečju nameril 23 % več padavin po erozivnem dogodku od dežemera. Sedaj se je ta odklon znižal na 8 % (slika 5.13, levo). Primerjava, ki smo jo v enakem smislu opravili na maksimalnih 30-minutnih intenzitetah padavin I_{30} , ravno tako kaže izboljšanje, a je povprečni odklon po erozivnem dogodku še vedno relativno velik, in sicer 21 % (slika 5.13, desno). Zato bomo pri poznejšem računu erozivnosti padavin upoštevali $I_{30}(rg)$ in ne $I_{30}(dsd)$, enako kot smo že storili pri računu erozivnosti padavin v Bovcu in Ilirski Bistrici. To bomo storili kljub ugotovitvi (poglavje 4.3.3), da dežemer RG2-M, zaradi lastne konstrukcijske zasnove, ni bil zmožen slediti visokim intenzitetam padavin pri dveh najintenzivnejših erozivnih dogodkih, ko so minutne vrednosti intenzitete padavin presegle 120 mm/h in je tako beležil nižje vrednosti od realnih.



Slika 5.13: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov na Kozjanah: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.

Figure 5.13: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Kozjane: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

5.2.3.2 Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin

Podobno kot pri analizi meritev DSD, opravljenih na predhodnih dveh merilnih lokacijah, smo pri izpeljavi triparametrne $KE-I$ funkcijske odvisnosti na Kozjanah upoštevali specifično kinetično energijo $KE_2(dsd)$ in ne $KE_1(dsd)$, saj je slednja imela precej višjo razpršenost (slika 5.14) in 9 % nižjo napoved vsote kinetične energije E vseh erozivnih dogodkov.

$KE-I$ funkcijski odvisnosti za račun specifične kinetične energije padavin na Kozjanah se ob najvišjem možnem Nash-Sutcliffovem koeficientu modelske učinkovitosti glasita:

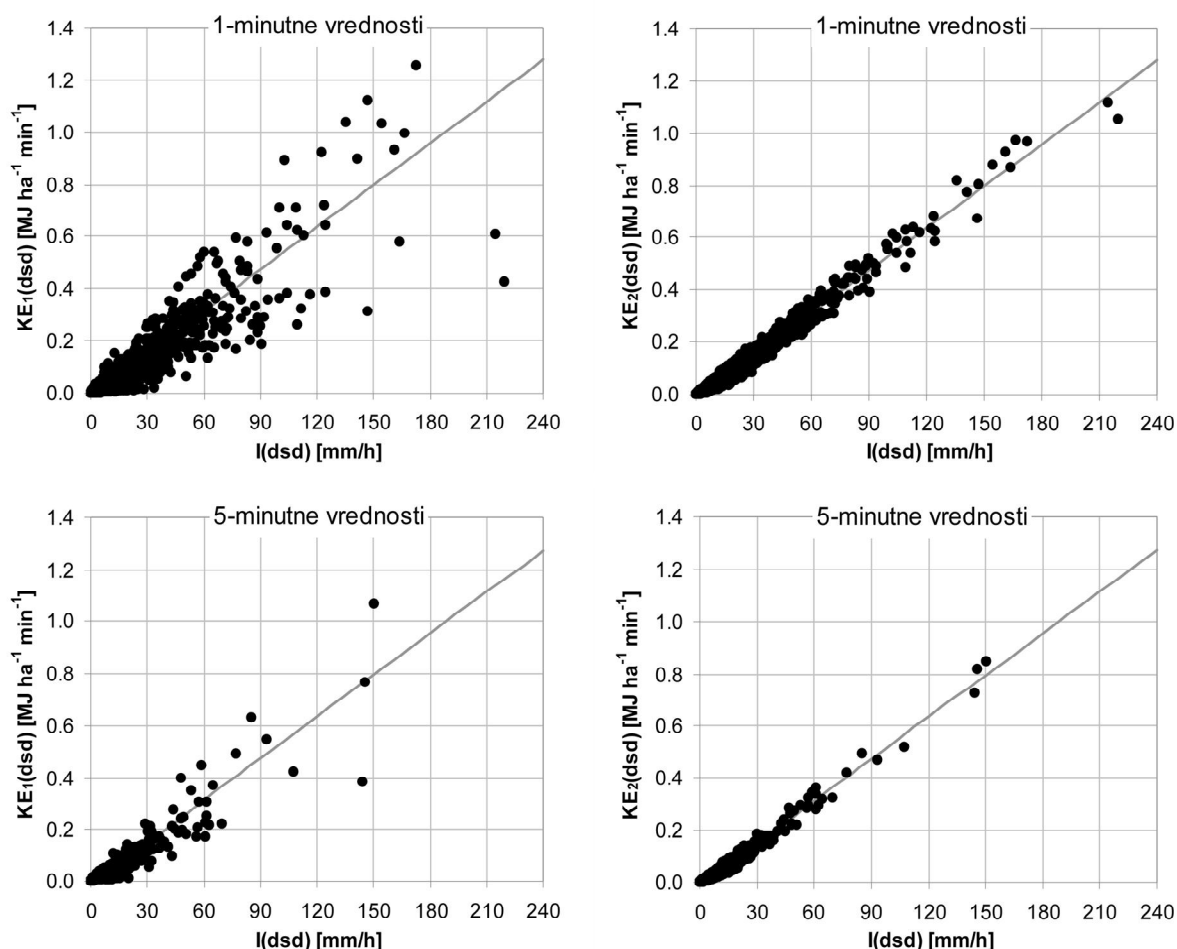
$$e_B = 0,319 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,055I)] \quad (5.5)$$

pri uporabi 1-minutnih intenzitet padavin oz.:

$$e_B = 0,318 \cdot [1 - 0,56 \cdot \exp(-0,056I)] \quad (5.6)$$

pri uporabi 5-minutnih intenzitet padavin. Ob tem ima e_B enoto MJ ha mm^{-1} , I pa mm h^{-1} .

1-minutna $KE-I$ funkcijska odvisnost ($KZ-1min$) je veljavna na območju intenzitet padavin med 0,1 in 220 mm/h, medtem ko 5-minutna ($KZ-5min$) na območju med 0,1 in 150 mm/h.



Slika 5.14: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Kozjane.

Figure 5.14: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established $KE-I$ relationship for Kozjane.

5.2.3.3 Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev

Razlika med referenčno vsoto kinetične energije $E_2(dsd)$ vseh erozivnih dogodkov in vsotami E po različnih enačbah ob aplikaciji na $I(rg)$ (preglednica 5.3) temelji na razlikah pri zgolj dveh erozivnih dogodkih, tistih, ki sta bila, kot že omenjeno, nekorektno zabeležena s strani dežemera RG2-M. Zato smo učinkovitost enačb tujih avtorjev ocenjevali glede na njihove

napovedi ob aplikaciji na podatke DSD. Pri tem se je najbolj izkazala enačba avtorjev Uson in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), z boljšo učinkovitostjo in napovedjo skupne vsote E od izpeljanih enačb KZ-1min in KZ-5min. Predstavam teh treh enačb so primerljivo sledile predstave enačb avtorjev Zanchi in Torry (1980), izpeljanih enačb za Ilirsko Bistrico IB-1min in IB-5min ter enačba avtorjev Wischmeier in Smith (1958). Napovedi vsote E vseh erozivnih dogodkov vseh zgoraj omenjenih enačb so bile v intervalu $\pm 5\%$ od referenčne vsote $E_2(dsd)$. Pri aplikaciji enačb na merjenih intenzitetah $I(rg)$ je očitno izstopala enačba avtorjev Coutinho in Tomas (1995), tako po učinkovitosti kot po napovedi vsote E vseh erozivnih dogodkov.

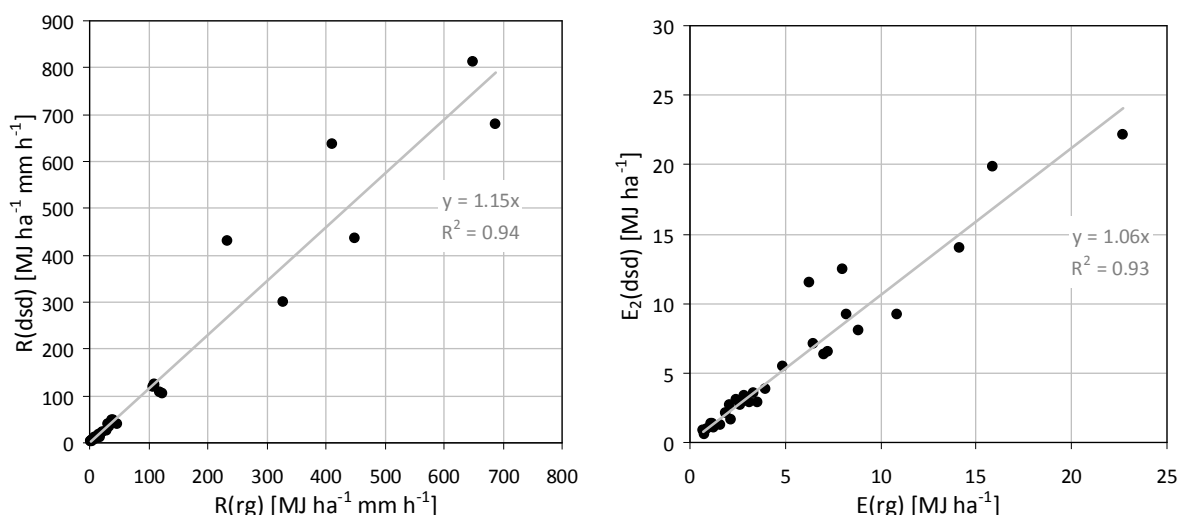
Preglednica 5.3: Nash-Sutcliffovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (RG2-M) na Kozjanah.

Table 5.3: *Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different $KE-I$ relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and measured with the tipping bucket rain gauge (RG2-M) in Kozjane.*

Koeficient modelske učinkovitosti (Nash in Sutcliffe, 1970)	Podatki DSD (LPM300)					Intenzitete (RG2-M)		
	1-min. vrednosti e	5-min. vrednosti e	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha ⁻¹]	odmik od referenčne vrednosti	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha ⁻¹]	odmik od referenčne vrednosti
KZ-1min (2009)	0.983	0.984	0.987	175.3	2.0%	0.921	155.4	-9.6%
KZ-5min (2009)	0.983	0.984	0.977	180.3	4.9%	0.922	160.4	-6.7%
Uson in Ramos (2001) + Sempere Torres in sod. (1992)	0.983	0.984	0.991	172.1	0.2%	0.918	150.3	-12.5%
Coutinho in Tomas (1995)	0.975	0.977	0.963	189.0	10.0%	0.929	167.7	-2.4%
Cerro in sod. (1997)	0.960	0.964	0.917	201.2	17.1%	0.919	178.8	4.0%
Zanchi in Torry (1980)	0.979	0.982	0.993	168.6	-1.9%	0.909	147.1	-14.4%
Wischmeier in Smith (1958)	0.975	0.975	0.983	164.4	-4.3%	0.886	145.0	-15.6%
Brown in Foster (1987)	0.969	0.966	0.945	142.5	-17.1%	0.809	124.8	-27.4%
Rosewell (1986)	0.968	0.967	0.969	152.0	-11.6%	0.849	134.5	-21.7%
van Dijk in sod. (2002)	0.967	0.966	0.973	158.7	-7.6%	0.867	141.4	-17.7%
McIsaac (1990)	0.968	0.968	0.969	165.8	-3.5%	0.874	148.5	-13.6%
Brandt (1990)	0.942	0.939	0.925	139.0	-19.1%	0.781	121.9	-29.1%
IB-5min (2009)	0.979	0.980	0.982	172.9	0.6%	0.911	153.8	-10.5%
IB-1min (2009)	0.980	0.981	0.986	170.5	-0.8%	0.909	151.4	-11.9%
referenčna $KE_2(dsd)$				171.8			171.8	

5.2.3.4 Erozivnost padavin

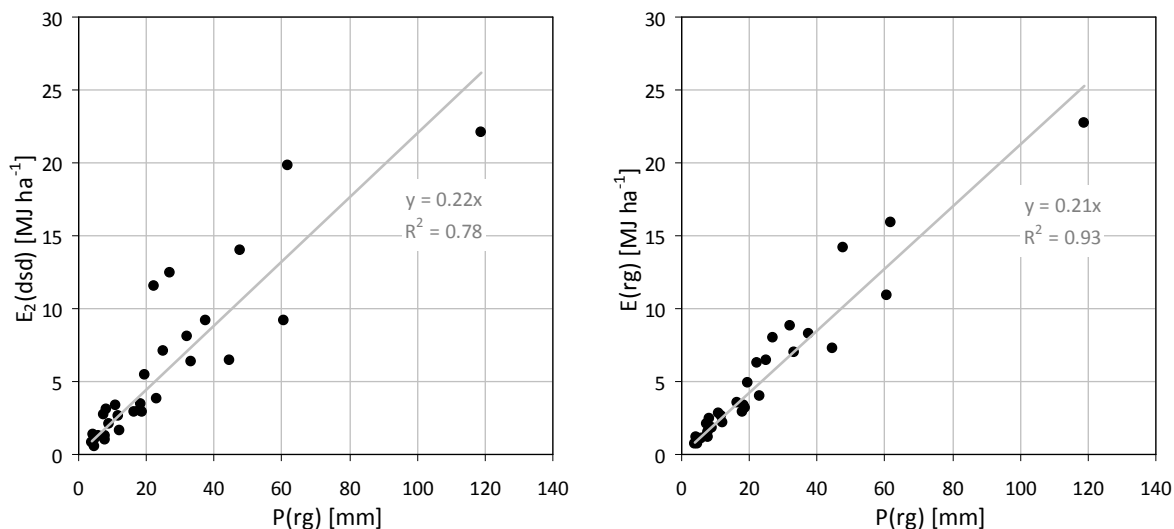
Erozivnost posameznih erozivnih dogodkov $R(dsd)$ glede na kinetično energijo $E_2(dsd)$ taistih dogodkov je bila v povprečju zgolj 15 % višja od erozivnosti $R(rg)$ (slika 5.15, desno), pri kateri smo upoštevali $E(rg)$ po KZ-5min in $I(rg)$. Pri računu ene in druge erozivnosti smo upoštevali maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$. Vsoti erozivnosti padavin znotraj vseh obravnavanih dogodkov po $R(dsd)$ in $R(rg)$ se razlikujeta v enaki meri, saj znašata 4252 in 3705 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. Podobno velja tudi za kinetično energijo, saj se $E_2(dsd)$ in $E(rg)$ v povprečju razlikujeta za 6 % (slika 5.15, levo) kakor tudi njuni vsoti po erozijskih dogodkih.



Slika 5.15: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov na Kozjanah: os x – meritve dežemer, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.

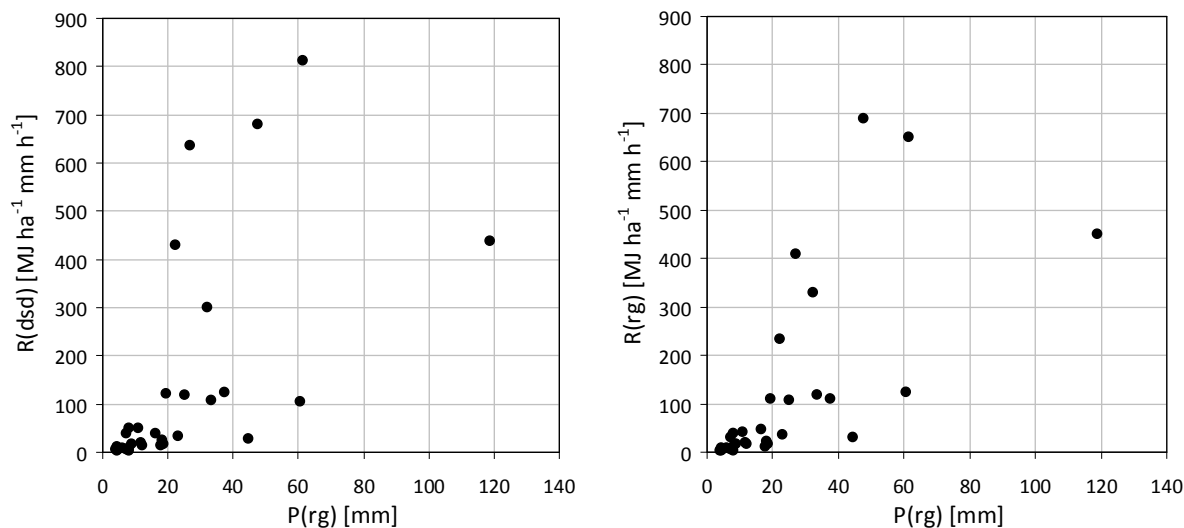
Figure 5.15: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Kozjane: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

Vsi erozivni dogodki s pripadajočimi veličinami, ki so bile izračunane glede na opravljene meritve na Kozjanah in izpeljane enačbe, so podani v prilogi B3. Pri medsebojni korelaciji teh veličin smo znova dobili linearno zvezo med višinami padavin P in kinetičnimi energijami E pripadajočih erozivnih dogodkov (slika 5.16), ki pa ni tako izrazita kot v predhodnih dveh primerih, vsaj ne v primeru $E_2(dsd)$. Količnik k_{EP} v linearni zvezi $E(rg) = k_{EP} \cdot P(rg)$ po rezultatih meritev na Kozjanah znaša 0,21 in se tako le malo razlikuje od količnika k_{EP} v predhodnih dveh primerih, ko je ta znašal 0,20.



Slika 5.16: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov na Kozjanah: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo KZ-5min (desno).

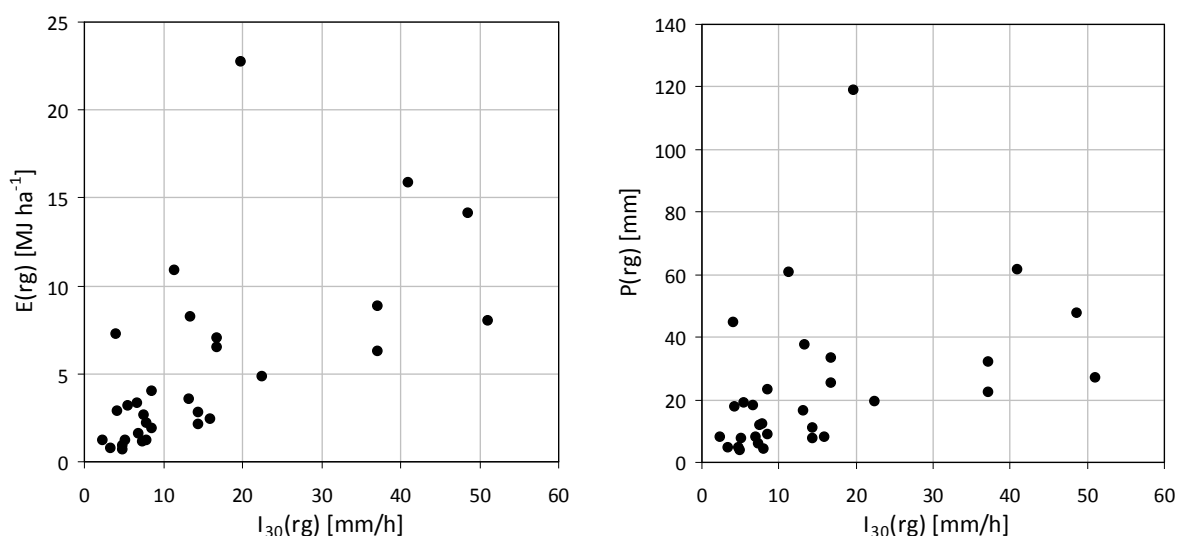
Figure 5.16: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the KZ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Kozjane.



Slika 5.17: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov na Kozjanah: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo KZ-5min (desno).

Figure 5.17: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the KZ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Kozjane.

Razmerja med veličinami P , I_{30} , E in R , ki so se vzpostavila na Kozjanah, so prikazana na slikah 5.17 in 5.18. Iz njih lahko izvlečemo enake sklepe kot v predhodnih dveh primerih, da sta erozivnost R in višina padavin P erozivnih dogodkov v nelinearni zvezi, ki ni enoznačna, in da je maksimalna 30-minutna intenziteta padavin I_{30} znotraj erozivnega dogodka neodvisna tako od P kot od E .



Slika 5.18: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov na Kozjanah: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo KZ-5min (desno).

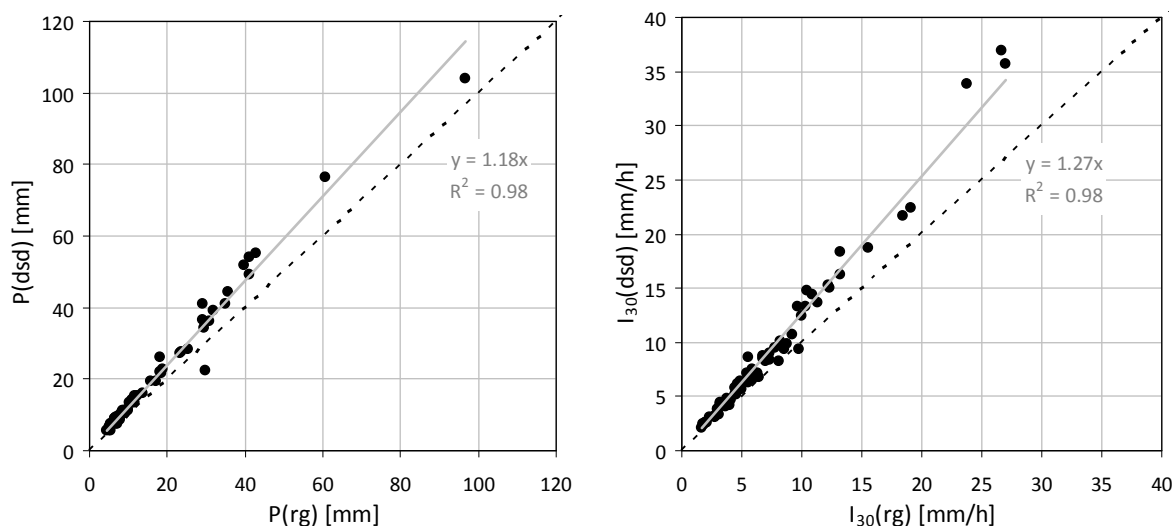
Figure 5.18: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the KZ-5min equation, of the erosive events in Kozjane.

5.2.4 Ljubljana

5.2.4.1 Analiza erozivnih dogodkov

Analizo porazdelitve padavinskih delcev v okviru erozivnih dogodkov v Ljubljani smo izvedli na 70 od 90 dogodkov glede na korektne meritve dežemera na Hajdrihovi (glej poglavje 4.2.3). Izračunane višine padavin erozivnih dogodkov po meritvah DSD $P(dsd)$ so v povprečju višje za 18 % od meritev dežemera $P(rg)$ (slika 5.19, levo), kar je nekoliko bolje glede na merjene vrednosti disdrometra $P(dt)$ (slika 4.16), ko je ta odklon znašal 26 %. Istosmiselna primerjava na maksimalnih 30-minutnih intenzitetah padavin I_{30} ravno tako kaže izboljšanje, a je povprečni odklon po erozivnem dogodku še vedno relativno velik, in sicer 27 % (slika 5.19, desno). Pri poznejšem računu erozivnosti padavin bomo upoštevali $I_{30}(rg)$ in

ne $I_{30}(dsd)$ iz razlogov, ki smo jih že navedli pri analizi erozivnih dogodkov na Kozjanah, saj je tudi v Ljubljani postavljen dežemer enakega tipa (RG2-M).



Slika 5.19: Primerjava med višinami padavin (levo) in maksimalnimi 30-min. intenzitetami padavin (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ljubljani: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.

Figure 5.19: Comparison between the erosive event rainfall heights (left) and maximal 30-minute rainfall intensities (right) in Ljubljana: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.

5.2.4.2 Izpeljava enačb za račun specifične kinetične energije padavin

Podobno kot pri analizi meritev DSD, opravljenih na predhodnih treh merilnih lokacijah, smo pri izpeljavi triparametrške $KE-I$ funkcijskih odvisnosti v Ljubljani upoštevali specifično kinetično energijo $KE_2(dsd)$ in ne $KE_1(dsd)$, saj je slednja imela precej višjo razpršenost (slika 5.20) in 4 % višjo napoved vsote kinetične energije E vseh erozivnih dogodkov.

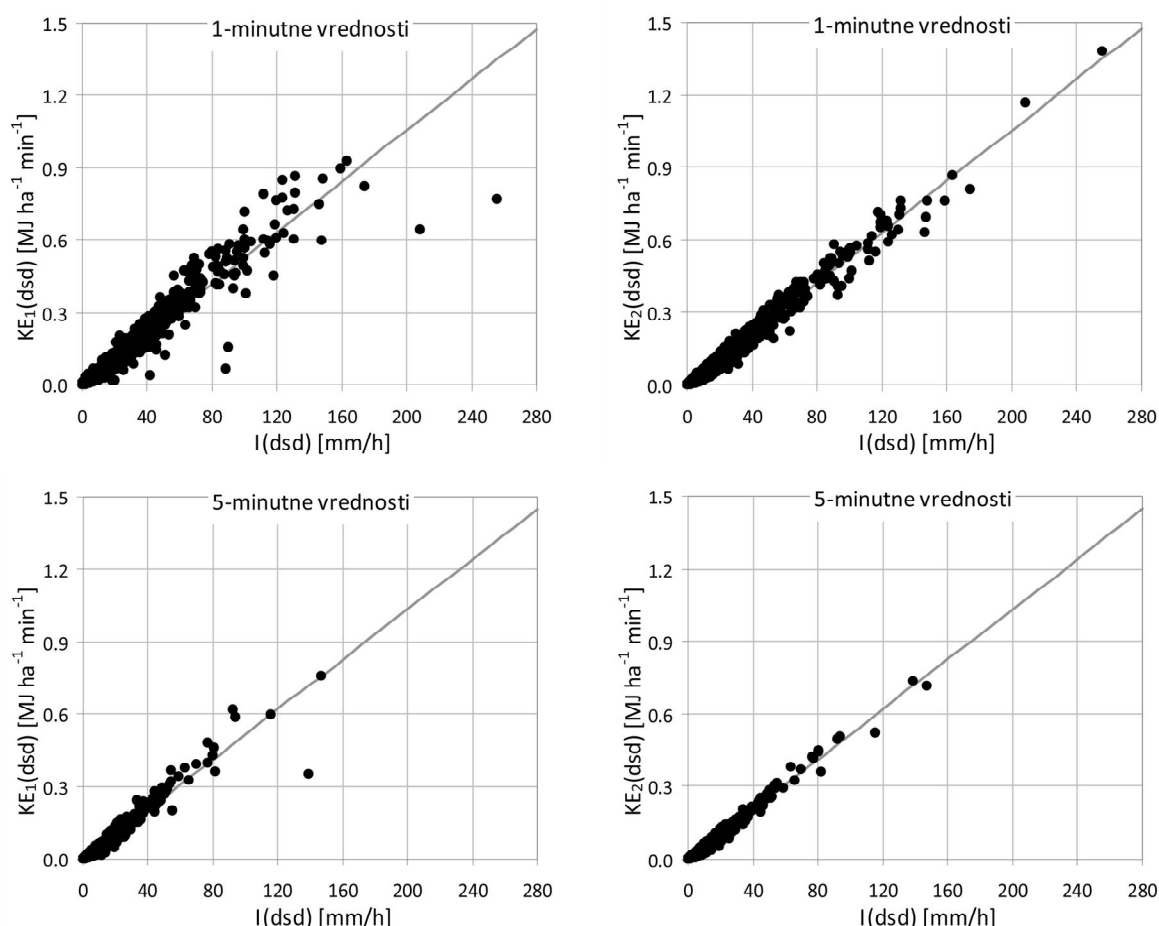
$KE-I$ funkcijski odvisnosti za račun specifične kinetične energije padavin v Ljubljani se ob najvišjem možnem Nash-Sutcliffovem koeficientu modelske učinkovitosti glasita:

$$e_B = 0,316 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,061I)] \quad (5.7)$$

pri uporabi 1-minutnih intenzitet padavin oz.:

$$e_B = 0,310 \cdot [1 - 0,60 \cdot \exp(-0,074I)] \quad (5.8)$$

pri uporabi 5-minutnih intenzitet padavin. Ob tem ima e_B enoto MJ ha mm^{-1} , I pa mm h^{-1} . 1-minutna $KE-I$ funkcijska odvisnost (LJ-1min) je veljavna na območju intenzitet padavin med 0,1 in 255 mm/h, medtem ko 5-minutna (LJ-5min) na območju med 0,1 in 147 mm/h.



Slika 5.20: Korelacija med izračunanimi intenzitetami padavin $I(dsd)$ in specifično kinetično energijo padavin: $KE_1(dsd)$, račun z upoštevanjem merjene hitrosti padanja padavinskih delcev – levo; $KE_2(dsd)$, račun z upoštevanjem končne hitrosti padanja dežnih kapelj po Atlas in sod. (1973) – desno. Sivi črti predstavljata izpeljani $KE-I$ funkcijski odvisnosti za Ljubljano.

Figure 5.20: Correlation between the calculated rainfall intensities $I(dsd)$ and the specific rainfall kinetic energy: $KE_1(dsd)$, calculated using the measured raindrop fall velocities – left; $KE_2(dsd)$, calculated using the raindrop terminal velocities by Atlas et al. (1973) – right. The grey lines represent the established $KE-I$ relationship for Ljubljana.

5.2.4.3 Primerjava izpeljanih enačb z enačbami drugih avtorjev

Kot je razvidno iz preglednice 5.4, so imele štiri enačbe tujih avtorjev pri aplikaciji na intenzitetah $I(dsd)$ zelo primerljiv odziv z odzivom izpeljanih enačb LJ-1min in LJ-5min in tudi njihove vsote E vseh erozivnih dogodkov so bile v intervalu $\pm 5\%$ od referenčne vsote $E_2(dsd)$. To so bile iste enačbe kot v primeru Ilirske Bistrice: Uson in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), Zanchi in Torry (1980), Wischmeier in Smith (1958) ter McIsaac (2000).

Preglednica 5.4: Nash-Sutcliffeovi koeficienti modelske učinkovitosti glede na napovedi različnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki so bili aplicirani na izračunanih intenzitetah padavin iz meritev DSD in na merjenih intenzitetah padavin s strani dežemera (RG2-M) v Ljubljani.

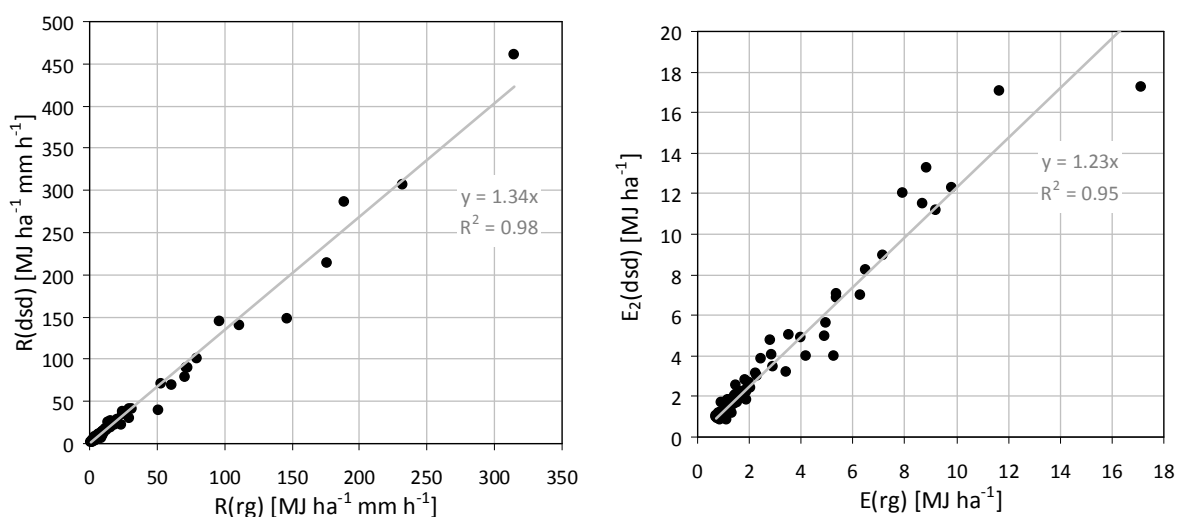
Table 5.4: Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of the kinetic energy estimations according to different $KE-I$ relationships, which were applied on the rainfall intensity data calculated from the measured DSD and measured with the tipping bucket rain gauge (RG2-M) in Ljubljana.

Koeficient modelske učinkovitosti (Nash in Sutcliffe, 1970)	Podatki DSD (Parsivel)					Intenzitete (RG2-M)		
	1-min. vrednosti e	5-min. vrednosti e	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha ⁻¹]	odmik od referenčne vrednosti	E erozivnih dogodkov	vsota E eroz. dog. [MJ ha ⁻¹]	odmik od referenčne vrednosti
LJ-1min (2009)	0.975	0.975	0.989	263.5	1.0%	0.873	204.9	-21.5%
LJ-5min (2009)	0.974	0.976	0.986	268.6	2.9%	0.882	208.8	-20.0%
Uson in Ramos (2001) + Sempere Torres in sod. (1992)	0.974	0.974	0.989	257.1	-1.5%	0.852	195.3	-25.2%
Coutinho in Tomas (1995)	0.969	0.971	0.974	283.1	8.5%	0.906	222.1	-14.9%
Cerro in sod. (1997)	0.957	0.962	0.936	303.9	16.5%	0.926	239.4	-8.3%
Zanchi in Torry (1980)	0.972	0.972	0.989	248.7	-4.7%	0.834	190.3	-27.1%
Wischmeier in Smith (1958)	0.964	0.962	0.980	250.4	-4.0%	0.829	194.6	-25.4%
Brown in Foster (1987)	0.951	0.942	0.902	201.0	-23.0%	0.667	153.4	-41.2%
Rosewell (1986)	0.955	0.949	0.952	224.7	-13.9%	0.756	175.2	-32.9%
van Dijk in sod. (2002)	0.956	0.954	0.969	241.4	-7.5%	0.804	190.0	-27.2%
McIsaac (1990)	0.958	0.955	0.970	257.8	-1.2%	0.837	204.7	-21.6%
Brandt (1990)	0.925	0.917	0.912	208.0	-20.3%	0.685	160.3	-38.6%
referenčna $KE_2(dsd)$				261.0			261.0	

Enačba avtorjev Cerro in sod. (1997) odstopa po učinkovitosti pri aplikaciji na merjenih intenzitetah $I(rg)$. Napovedi vsote E prej izpostavljenih enačb se ob nekoliko skromnejših učinkovitosti gibljejo v intervalu med -20 in -25 % od referenčne vsote $E_2(dsd)$. Glede na to, da primerjava na sliki 5.19 ne kaže izrazitih nepravilnosti v razmerju med merjenimi spremenljivkami, kot najbolj realne napovedi vsote E vseh erozivnih dogodkov ocenjujemo napovedi enačbe LJ-5min ob aplikaciji na $I(rg)$. Tako je referenčna vsota $E_2(dsd)$ precenjena za približno 20 %, kar je enako odklonu vsote višine padavin vseh erozivnih dogodkov $P(dsd)$ od $P(rg)$.

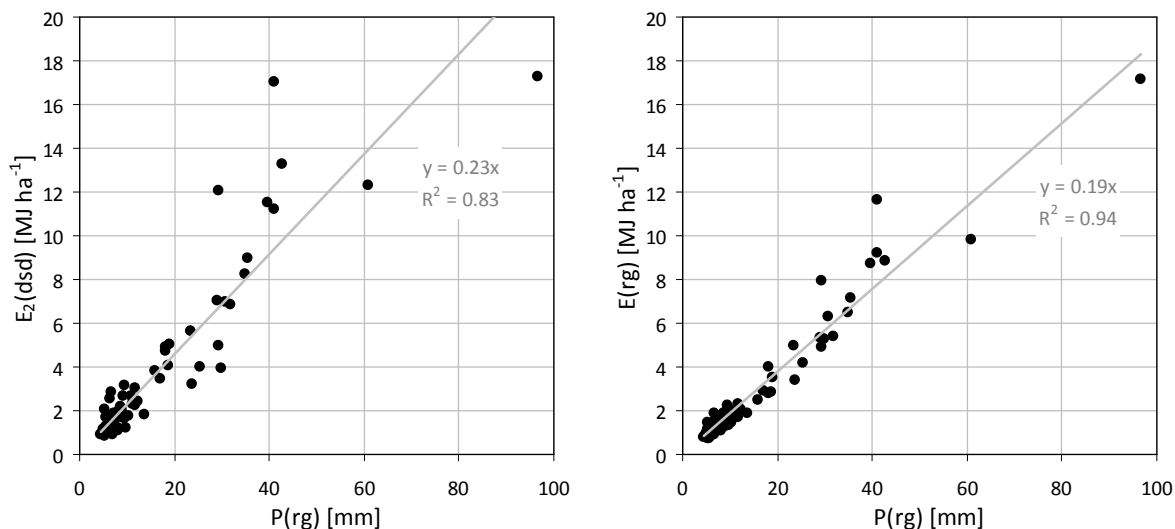
5.2.4.4 Erozivnost padavin

Erozivnost posameznih erozivnih dogodkov $R(dsd)$ glede na kinetično energijo $E_2(dsd)$ taistih dogodkov je bila v povprečju kar 34 % višja od erozivnosti $R(rg)$ (slika 5.21, desno), pri kateri smo upoštevali $E(rg)$ po LJ-5min in $I(rg)$. Pri računu ene in druge erozivnosti smo upoštevali maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$. Vsoti erozivnosti padavin znotraj vseh obravnavanih dogodkov po $R(dsd)$ in $R(rg)$ se razlikujeta v podobni meri (29 %), saj znašata 2946 in 2280 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. Podobno velja tudi za kinetično energijo, saj se $E_2(dsd)$ in $E(rg)$ v povprečju razlikujeta za 23 % (slika 5.21, levo), njuni vsoti po vseh erozijskih dogodkih pa nekoliko manj, kot že omenjeno 20 %.



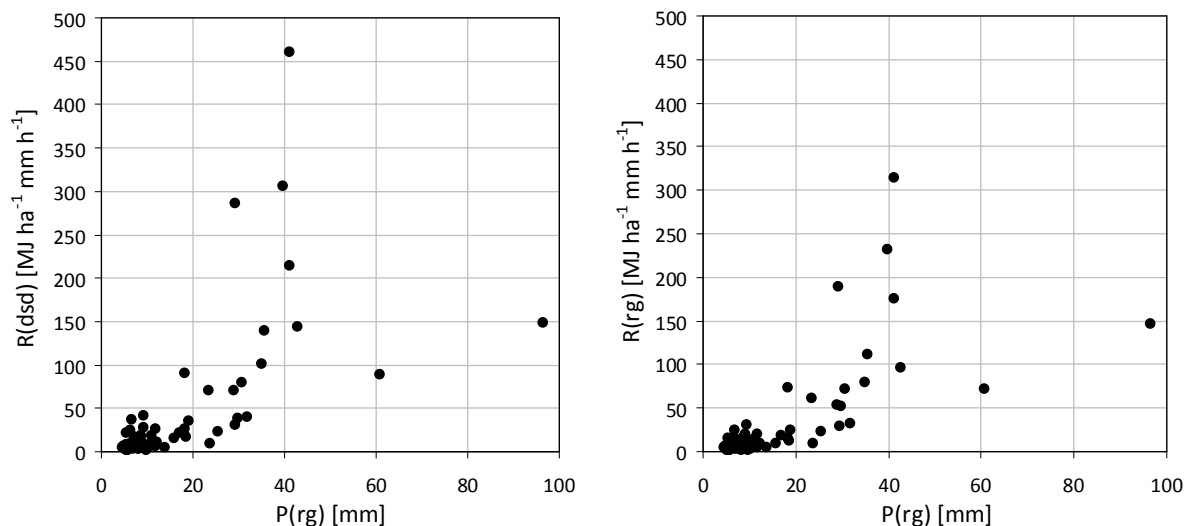
Slika 5.21: Primerjava erozivnosti padavin R (levo) in vsote kinetične energije padavin E (desno) znotraj erozivnih dogodkov v Ljubljani: os x – meritve dežemera, os y – račun iz porazdelitve padavinskih delcev.

Figure 5.21: Comparison of the erosive event rainfall erosivities R (left) and total rainfall kinetic energy E (right) in Ljubljana: x axis – raingauge measurements, y axis – calculated from the drop-size distribution.



Slika 5.22: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ljubljani: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in kinetične energije padavin $E_2(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $E(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo LJ-5min (desno).

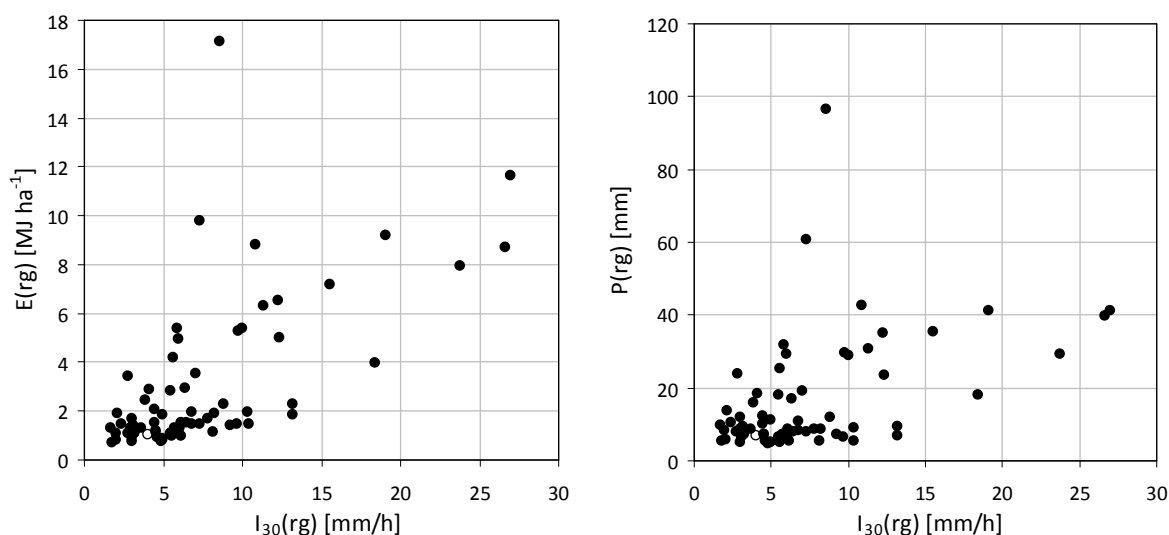
Figure 5.22: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall kinetic energy: $E_2(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $E(rg)$ according to the raingauge measurement and the LJ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ljubljana.



Slika 5.23: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ljubljani: višine padavin $P(rg)$ po dežemeru in erozivnost padavin $R(dsd)$ glede na meritve DSD (levo) oz. $R(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo LJ-5min (desno).

Figure 5.23: Comparison between the raingauge rainfall height $P(rg)$ and the rainfall erosivity: $R(dsd)$ according to the DSD measurements (left) and $R(rg)$ according to the raingauge measurement and the LJ-5min equation (right), respectively, of the erosive events in Ljubljana.

Vsi erozivni dogodki s pripadajočimi veličinami, ki so bile izračune glede na opravljene meritve v Ljubljani in izpeljane enačbe, so podani v prilogi B4. Pri medsebojni korelaciji teh veličin smo znova dobili linearno zvezo med višinami padavin P in kinetičnimi energijami E pripadajočih erozivnih dogodkov (slika 5.22), ki je manj izrazita pri $E_2(dsd)$, tako kot je bil primer na Kozjanah. Količnik k_{EP} v linearni zvezi $E(rg) = k_{EP} \cdot P(rg)$ po rezultatih meritev v Ljubljani znaša 0,19, kar je skladno s predhodnimi tremi merilnimi mesti. Razmerja med veličinami P , I_{30} , E in R , ki so se vzpostavila na Ljubljani, so prikazana na slikah 5.23 in 5.24. Tudi iz njih lahko izvlečemo enake sklepe, kot smo jih v predhodnih treh primerih.



Slika 5.24: Primerjava med veličinami erozivnih dogodkov v Ljubljani: maksimalne 30-minutne intenzitete padavin $I_{30}(rg)$ po dežemeru in kinetične energije $E(rg)$ (levo) oz. višine padavin $P(rg)$ glede na meritve dežemera in enačbo LJ-5min (desno).

Figure 5.24: Comparison between the raingauge 30-minute rainfall intensities $I_{30}(rg)$ and: the rainfall kinetic energy $E(rg)$ (left) and the rainfall height $P(rg)$ (right), respectively, according to the raingauge measurement and the LJ-5min equation, of the erosive events in Ljubljana.

5.2.5 Razprava in zaključki

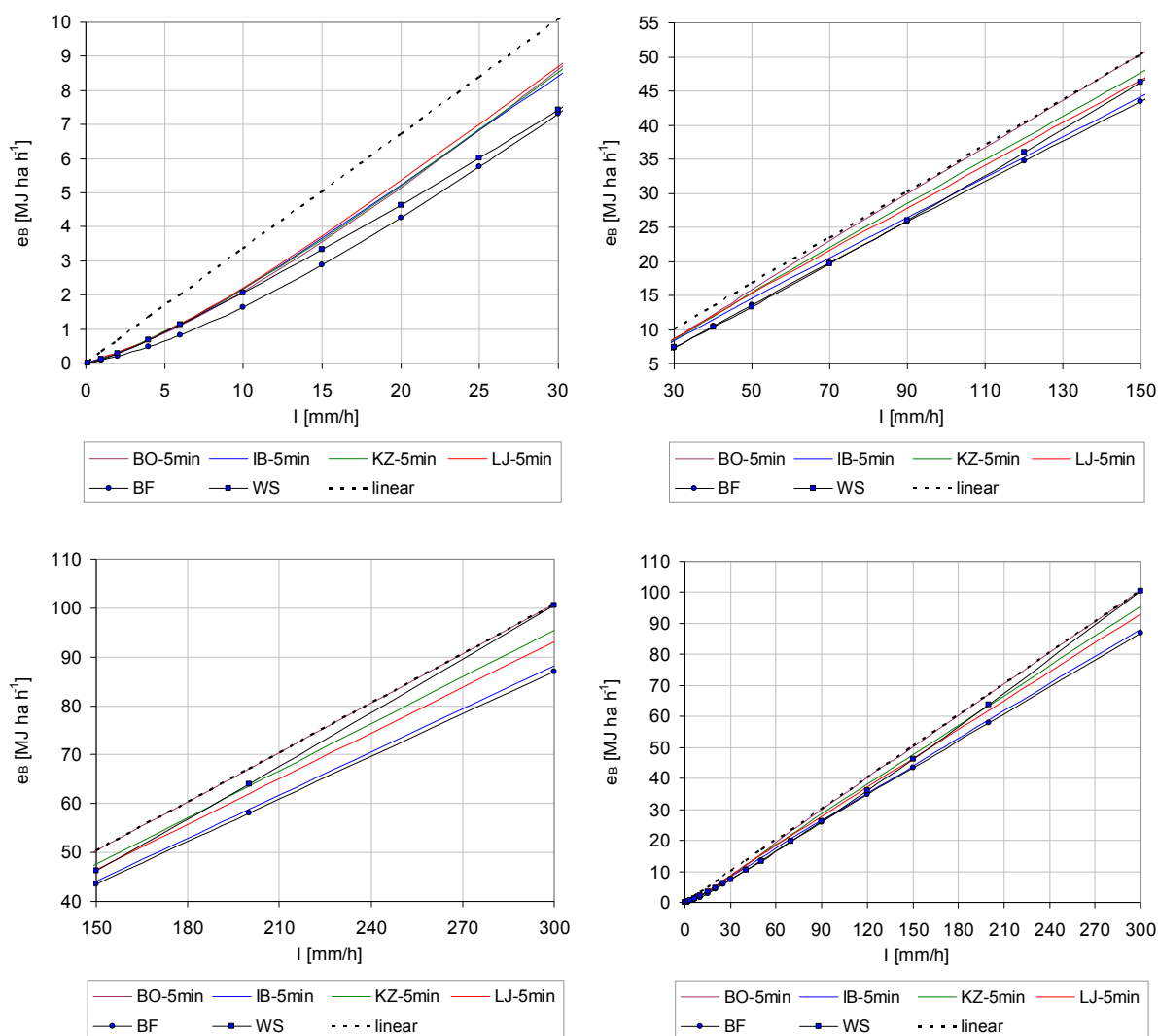
Na podlagi meritev porazdelitve padavinskih delcev (meritve DSD) in meritev intenzitete padavin na štirih merilnih mestih (Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana) in treh podnebnih območjih (subalpsko, submediteransko in zmerno celinsko) smo izpeljali triparametrsko $KE-I$ funkcijske odvisnosti za račun specifične kinetične energije padavin iz merjenih intenzitet padavin. Za vsako merilno mesto smo izpeljali dve $KE-I$ funkcijski odvisnosti: za uporabo z 1-minutnimi intenzitetami padavin (časovni korak pri meritvah

DSD) in 5-minutnimi intenzitetami padavin (časovni korak pri meritvah intenzitete padavin v okviru meteorološke mreže ARSO). Izpeljane $KE-I$ funkcijske odvisnosti oz. parametri enačb so prikazani v preglednici 5.5, grafično pa so izrisani na sliki 5.25, v celoti (diagram spodaj desno) in tudi odsekoma (ostali trije diagrami). Za primerjavo sta v diagramih izrisani tudi enačbi avtorjev Wischmeier in Smith (1958) in Brown in Foster (1987), prva je priporočena pri računu erozivnosti padavin pri starejši metodologiji USLE, druga pa pri novejši RUSLE. Iz slike je razvidno, da je enačba Browna in Fosterja neprimerna za uporabo pri računu erozivnosti padavin v Sloveniji, saj podcenjuje specifično kinetično energijo padavin e_B . Slednje smo ugotovili tudi ob primerjavi izpeljanih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti z enačbami drugih avtorjev ob njihovi aplikaciji na merjenih intenzitetah padavin na vsakem od merilnih mest. Slika 5.26 kaže, da enačba Browna in Fosterja (1987) v povprečju podceni kinetično energijo E posameznih erozivnih dogodkov za približno 23 %. Zgoraj omenjena primerjava je izpostavila tri enačbe drugih avtorjev, ki so imele zelo primerljivo učinkovitost pri napovedovanju kinetične energije E erozivnih dogodkov z učinkovitostjo izpeljanih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti na vseh štirih merilnih mestih. To so enačbe naslednjih avtorjev (glej preglednico 3.9): Usón in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), Zanchi in Torry (1980) ter Wischmeier in Smith (1958).

Preglednica 5.5: Vrednosti parametrov izpeljanih eksponentnih enačb za račun specifične kinetične energije padavin e_B za merilna mesta Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana.

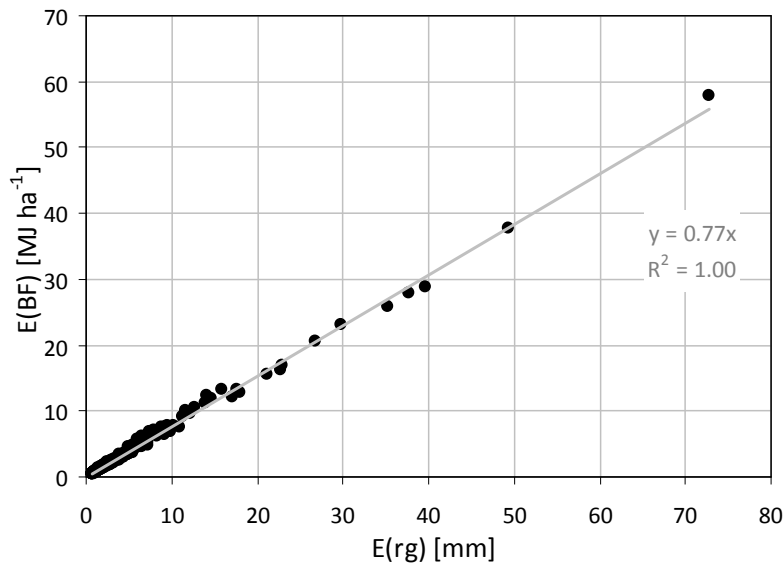
Table 5.5: Parameter values of the derived exponential equations for the specific kinetic energy e_B calculation at the measuring points of Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana.

merilno mesto	Parametri enačbe $e_B = e_{\max} \cdot [1 - a \cdot \exp(-bI)]$			1-min. intenzitete padavin			5-min. intenzitete padavin		
	$e_{\max}$	a	b	$e_{\max}$	a	b	$e_{\max}$	a	b
Bovec	0,341	0,60	0,040	0,336	0,60	0,047	0,336	0,60	0,047
Ilirska Bistrica	0,298	0,60	0,071	0,294	0,60	0,085	0,294	0,60	0,085
Kozjane	0,319	0,60	0,055	0,318	0,56	0,056	0,318	0,56	0,056
Ljubljana	0,316	0,60	0,061	0,310	0,60	0,074	0,310	0,60	0,074



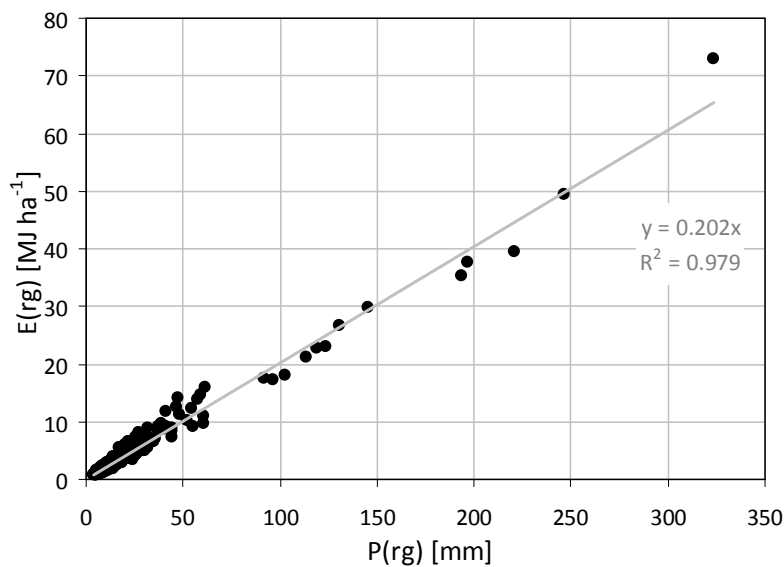
Slika 5.25: Grafični prikaz izpeljanih eksponentnih enačb za račun specifične kinetične energije padavin e_B za merilna mesta Bovec (BO-5min), Ilirska Bistrica (IB-5min), Kozjane (KZ-5min) in Ljubljana (LJ-5min), skupaj z enačbama avtorjev Brown in Foster (1987) – BF in Wischmeier in Smith (1958) – WS. Diagram spodaj desno prikazuje celoten razpon enačb, ostale tri pa odseke razpona. Premica "linear" ponazarja povezavo med izhodiščem in maksimalnim dosegom enačbe BO-5min.

Figure 5.25: Graphical representation of the derived exponential equations for the specific kinetic energy e_B at the measuring points of Bovec (BO-5min), Ilirska Bistrica (IB-5min), Kozjane (KZ-5min) and Ljubljana (LJ-5min) in line with the equations of Brown & Foster (1987) – BF and Wischmeier & Smith (1958) – WS. The lower right picture shows the whole range of the equations, while the other three pictures show particular sectors of the whole range. The "linear" straight line illustrates the connection between the origin and the maximum point in the BO-5min equation range.



Slika 5.26: Razmerje med kinetično energijo vseh zabeleženih erozivnih dogodkov na obravnavanih merilnih mestih po Brownu in Fosterju (1987) – $E(BF)$ in glede na pripadajočo izpeljano enačbo za račun specifične kinetične energije na posameznem merilnem mestu – $E(rg)$.

Figure 5.26: Relation between the kinetic energy of the observed erosive events on all measuring points according to Brown & Foster (1987) – $E(BF)$ and according to the equation for specific kinetic energy calculation derived for the particular measuring point – $E(rg)$.



Slika 5.27: Razmerje med višino padavin $P(rg)$ in kinetično energijo $E(rg)$ erozivnih dogodkov, ki so bili zabeleženi s strani dežemerov na merilnih mestih Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana.

Figure 5.27: Relation between the rainfall height $P(rg)$ and the kinetic energy $E(rg)$ of the erosive events recorded by the raingauges at the measuring points of Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana.

K enačbam na sliki 5.25 smo za primerjavo dodali tudi premico, ki povezuje izhodišče z maksimalnim dosegom enačbe BO-5min, saj ob rahli poenostavitvi $KE-I$ funkcijskih odvisnosti dobimo praktično linearno odvisnost specifične kinetične energije padavin e_B od intenzitete padavin I . Ob taki predpostavki bi se račun kinetične energije erozivnih padavinskih dogodkov E močno poenostavil, saj ob integraciji linearne odvisnosti $e_B = f(I)$ po času dobimo linearno odvisnost E od skupne višine padavin P erozivnega dogodka. Izrazito linearno odvisnost $E = f(P)$ so pokazale tudi meritve na vsakem od merilnih mest (slike 5.4, 5.10, 5.16 in 5.22). Pri tem se koeficient k_{EP} linearne odvisnosti $E = f(P)$ praktično ne spreminja po različnih merilnih mestih in znaša 0,20 v primeru, ko smo kinetično energijo erozivnih dogodkov E izračunali na podlagi merjenih intenzitet padavin I in izpeljanih enačb za račun e_B . Slika 5.27 prikazuje točno ta primer za vsa štiri merilna mesta hkrati.

Na tem mestu naj omenimo tudi to, da so disdrometri zelo občutljivi instrumenti in naklonjeni netočnim meritvam, sploh pri visokih intenzitetah padavin, zaradi samega merilnega principa (glej poglavje 3.4.2). V našem primeru smo uporabili tri disdrometre enega proizvajalca (OTT) in četrtega drugega proizvajalca (Thies Clima). Kljub njihovi tovarniški kalibraciji je bil vsak disdrometer zgodba zase, kar se tiče točnosti meritev, kar je razvidno tudi iz preglednice 5.6. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Lanzinger *s sod.* (2006), ki je na isti lokaciji postavil tri identične disdrometre (Thies Clima) in izmerjeno višino padavin primerjal z meritvami referenčnega dežemera. V povprečju so posamezni disdrometri namerili višje vsote padavin, in sicer 5, 15 oz. 20 % več.

Iz preglednice 5.6 je razvidno, da so v našem primeru trije disdrometri proizvajalca OTT namerili 1, 20 oz. 25 % višjo skupno vsoto padavin od dežemera na isti lokaciji znotraj obravnavanih erozivnih dogodkih. Pri četrtem disdrometru (Thies Clima) pa je ta delež znašal 8 %. Glede na pridobljene rezultate ocenjujemo meritve v Ilirski Bistrici za zelo uspešne, tiste na Kozjanah pa za nameček manj uspešne od tistih v Ilirski Bistrici. Meritve na ostalih dveh merilnih mestih ocenjujemo precej slabše, sploh tiste v Bovcu, kjer je bil odziv instrumenta od določenega trenutka naprej neprimerno slabši kot prej (več o tem v poglavju 5.2.1.1). Sumimo, da je v zadnjih dveh primerih šlo za slabšo tovarniško kalibracijo disdrometrov oz. za izgubo kalibracijskih parametrov pri disdrometru v Bovcu.

Preglednica 5.6: Medsebojna razmerja med vsotami višine padavin P , kinetične energije E in erozivnosti padavin R po vseh obravnavanih erozivnih dogodkih, ki so bila izračunana glede na meritve DSD (dsd) in meritve dežemerov (rg) na merilnih mestih Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana.

Table 5.6: Relationships between rainfall height P , kinetic energy E and rainfall erosivity R sums of all erosive events calculated according to the DSD measurements (dsd) and the raingauge measurements (rg) performed at the measuring points of Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana.

merilno mesto	$\Sigma P(\text{dsd})$ [mm]	$\Sigma P(\text{rg})$	$\frac{\Sigma P(\text{dsd})}{\Sigma P(\text{rg})}$ [-]	$\Sigma E_2(\text{dsd})$ [MJ ha ⁻¹]	$\Sigma E(\text{rg})$	$\frac{\Sigma E_2(\text{dsd})}{\Sigma E(\text{rg})}$ [-]	$\Sigma R(\text{dsd})$ [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	$\Sigma R(\text{rg})$	$\frac{\Sigma R(\text{dsd})}{\Sigma R(\text{rg})}$ [-]
Bovec	3651	2915	1,25	790	595	1,33	13438	9914	1,36
Ilirska Bistrica	1062	1046	1,01	224	218	1,02	4964	4732	1,05
Kozjane	789	731	1,08	172	160	1,07	4252	3705	1,15
Ljubljana	1350	1123	1,20	261	209	1,25	2946	2280	1,29

5.3 ANALIZA SPROŠČANJA TAL

Analizo sproščanja tal smo izvedli zgolj na meritvah, ki smo jih opravili na golih tleh v mladem oljčniku, saj smo se tako izognili časovnemu vplivu na dejavnik pokrovnosti tal C (enačba 3.1) zaradi sezonskih sprememb vegetacije (slika 4.19), ki ni predmet naše raziskave. S časovne perspektive smo analizo sproščanja tal opravili na stopnji posameznih vzorcev, na mesečnih in trimesečnih vsotah. Pri tem se zavedamo, da je naš dveletni niz meritev prekratek za izpeljavo trdnih zaključkov, a je kljub temu dragocen in primeren za izpeljavo nekaj ugotovitev ter postavlja izhodišče za nadaljnje delo. Zaradi dejstva, da je metodologija (R)USLE po definiciji namenjena za račun dolgoletnega povprečja izgube tal, smo k naši analizi pristopili podobno kot pri metodah, ki so namenjene računu izgube tal znotraj posameznih erozivnih dogodkov in izhajajo iz metodologije (R)USLE, kot sta USLE-M (Kinneil, 2005) in MUSLE (Jackson in sod., 1986). Pri analizi nas je predvsem zanimalo, ali je maksimalna 30-minutna intenziteta padavin v kombinaciji s kinetično energijo padavin najboljši podnebni kazalec za količino sproščenih tal, ki smo jo merili na erozijskih ploskvah v Marezigah.

5.3.1 Analiza erozivnih dogodkov

Kot je že omenjeno v poglavju 4.4, je v času opravljanja meritev sproščanja tal na erozijskih ploskvah v Marezigah (44 vzorcev) nastopilo 47 erozivnih dogodkov. Njihovo kinetično energijo padavin E oz. erozivnost padavin R (produkt EI_{30}) smo izračunali ob uporabi izpeljane enačbe za račun specifične kinetične energije padavin IB-1min (enačba 5.3). Ta je bila privzeta zaradi njenih izjemno dobrih rezultatov in tudi dejstva, da je približno 80 % vseh prekucev dežemera RG2-M znotraj erozivnih dogodkov v Marezigah nastopilo prej kot v 75 sekundah po zadnjem zabeleženem prekucu. Kinetična energija E in erozivnost padavin R posameznih dogodkov sta prikazani v preglednici 5.7. Njuni letni povprečji v dveletnem obdobju opravljanja meritev sproščanja tal (od 1. 8. 2006 do 13. 8. 2008) znašata $133,7 \text{ MJ ha}^{-1}$ oz $3809 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$. Ob tem je letno povprečje sproščenih tal A na golih tleh v mladem oljčniku znašalo $112,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Preglednica 5.7: Izmerjeni erozivni dogodki v času opravljanja meritev sproščanja tal pri Marezigah in njihove lastnosti. Odvzeti vzorce sproščenih tal, h katerim pripadajo posamezni erozivni dogodki, so označeni v stolpcu "vzorec M".

Table 5.7: *Erosive events recorded during the soil loss measuring period at Marezige and their characteristics. The contribution of the erosive events to particular soil loss sample is denoted in the "vzorec M" column.*

erozivni dogodek	čas začetka	trajanje [d hh:mm]	vzorec M	P [mm]	I ₅ [mm h ⁻¹]	I ₁₀ [mm h ⁻¹]	I ₁₅ [mm h ⁻¹]	I ₂₀ [mm h ⁻¹]	I ₃₀ [mm h ⁻¹]	I ₆₀ [mm h ⁻¹]	E [MJ ha ⁻¹]	EI ₃₀ [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
1	03.08.2006 12:02	0 06:16	1	18.4	115.4	71.3	49.0	37.1	24.8	12.6	5.09	126.4
2	04.08.2006 06:00	0 13:38	1	72.0	45.4	40.0	37.3	34.2	28.8	21.2	16.80	483.9
3	14.08.2006 10:26	0 01:54	2	21.8	65.6	42.2	36.0	31.6	24.8	13.3	5.84	144.8
4	25.08.2006 00:56	0 07:52	3	49.4	132.4	105.6	90.5	72.5	50.7	40.5	13.87	703.2
5	26.08.2006 16:12	0 01:23	4	16.4	102.8	60.4	42.7	33.4	23.0	15.1	4.23	97.1
6	15.09.2006 10:21	0 06:23	6	17.2	22.5	19.4	17.3	14.9	12.4	7.2	3.55	44.1
7	20.11.2006 06:57	0 04:55	9	13.6	11.3	10.8	10.0	9.3	8.7	6.9	2.44	21.2
8	22.11.2006 04:20	0 11:33	10	27.4	27.1	23.6	20.0	16.6	13.1	8.5	5.03	65.7
9	09.12.2006 06:05	0 07:07	11	16.4	26.2	16.5	14.5	16.1	13.2	7.7	3.17	41.8
10	09.12.2006 19:25	0 10:53	11	17.2	33.9	26.3	21.9	18.7	15.5	10.4	3.96	61.4
11	02.01.2007 04:40	0 06:10	13	14.0	7.3	5.9	5.3	4.9	4.7	4.6	2.26	10.6
12	06.02.2007 17:39	0 08:32	14	22.0	12.0	10.7	9.8	8.7	7.6	6.2	3.73	28.3
13	12.02.2007 18:49	0 10:32	15	55.4	26.2	24.5	22.6	21.1	19.2	14.5	11.05	212.3
14	25.02.2007 18:21	0 08:16	16	25.0	32.2	26.5	24.6	21.7	17.2	11.0	4.71	81.0
15	19.03.2007 15:39	0 10:06	18	20.4	8.9	8.6	8.4	7.8	6.9	6.0	3.26	22.6
16	03.05.2007 13:02	0 02:03	20	28.6	63.3	54.0	44.7	43.6	32.2	27.2	7.78	250.1
17	04.05.2007 10:41	0 07:06	20	14.4	12.1	10.5	9.9	9.5	8.8	7.5	2.51	21.9
18	05.05.2007 13:06	0 07:19	20	13.4	43.5	32.9	25.4	22.3	22.1	12.2	3.36	74.3
19	27.05.2007 17:17	0 04:17	21	34.2	97.0	87.7	77.9	79.8	61.3	31.8	9.62	589.7
20	28.05.2007 18:08	0 04:30	21	13.2	11.3	9.2	7.7	6.9	6.3	4.4	2.21	13.9
21	29.05.2007 06:41	0 10:45	21	17.4	27.5	24.0	20.5	17.8	17.2	13.2	3.91	67.3
22	07.06.2007 16:06	0 04:38	23	16.0	38.8	30.0	27.1	23.7	18.9	11.1	3.68	69.4
23	02.07.2007 22:02	0 01:01	24	17.2	75.8	71.6	49.5	37.3	25.1	17.1	4.89	122.5
24	09.08.2007 12:22	0 00:18	26	7.2	31.1	26.9	25.0	21.9	16.1	8.4	1.93	31.1
25	30.08.2007 15:00	0 00:49	28	21.0	92.6	67.2	48.0	36.0	24.4	21.0	5.99	146.2
26	04.09.2007 02:11	0 08:50	28	38.8	53.3	46.5	44.0	38.7	28.5	16.3	8.31	237.0
27	11.09.2007 01:01	0 06:09	29	22.2	91.4	67.8	58.1	51.7	39.9	21.4	6.06	241.7
28	17.09.2007 08:44	0 07:26	29	38.0	82.3	71.3	55.1	48.7	37.6	20.7	10.45	393.2
29	18.09.2007 19:39	0 01:31	29	43.4	120.2	85.9	60.6	47.3	51.6	29.2	12.49	644.9
30	26.09.2007 17:41	0 07:00	29	30.4	46.0	35.7	30.6	27.7	22.1	14.0	6.18	136.7
31	27.09.2007 16:08	0 19:00	29	55.0	79.2	67.4	49.9	39.7	27.2	14.4	11.42	310.9
32	06.10.2007 08:00	0 08:01	30	19.2	34.4	31.8	28.8	25.9	21.0	14.2	4.38	92.0
33	18.10.2007 14:44	0 06:40	31	19.4	10.2	9.6	8.9	8.2	7.2	6.6	3.27	23.6
34	09.11.2007 08:14	0 04:43	32	12.4	18.3	15.0	12.4	11.7	10.5	5.9	2.69	28.2
35	24.11.2007 21:00	0 05:25	32	14.2	33.8	21.3	19.3	16.9	13.9	8.9	3.15	43.7
36	04.03.2008 10:03	0 05:11	36	12.2	22.2	18.8	13.7	10.9	8.5	5.4	2.23	18.9
37	08.04.2008 07:19	0 08:09	38	21.2	49.0	36.8	29.2	23.6	18.7	12.8	4.44	83.0
38	22.04.2008 09:57	0 06:30	38	12.8	13.7	11.3	9.8	8.2	6.3	4.1	2.07	13.0
39	22.05.2008 19:49	0 03:03	40	25.8	47.8	40.7	35.7	30.9	22.1	17.4	6.15	135.7
40	23.05.2008 13:22	0 01:15	40	18.2	78.4	55.5	41.6	31.6	24.1	16.6	4.69	113.1
41	07.06.2008 12:46	0 07:07	40	36.2	84.0	81.2	71.9	57.3	43.8	28.7	9.43	413.2
42	13.06.2008 12:10	0 05:46	41	16.8	21.5	17.4	16.0	14.5	11.6	7.5	3.10	35.9
43	17.06.2008 22:14	0 07:42	41	39.2	93.0	77.6	60.6	50.2	36.6	18.9	10.22	373.9
44	05.07.2008 02:55	0 00:40	42	27.0	138.2	102.6	74.4	62.9	51.9	27.0	7.72	400.7
45	07.07.2008 18:42	0 00:17	42	14.2	131.6	84.1	56.6	42.6	28.4	14.2	4.19	119.1
46	13.07.2008 23:34	0 04:09	42	18.0	70.5	66.1	53.5	44.4	32.4	16.4	4.95	160.4
47	08.08.2008 19:08	0 06:37	44	20.2	42.4	28.9	24.8	19.8	13.6	7.2	5.01	68.1

Dogodek z najvišjo erozivnostjo padavin v merilnem obdobju je nastopil 25. 8. 2006 (preglednica 5.7, erozivni dogodek št. 4). Z 18 % deležem povprečne letne erozivnosti padavin je povzročil sproščanje tal v količini $2,475 \text{ kg/m}^2$ (vzorec M3, preglednica 5.8) oz. 22 % letnega povprečja. Kot izjemnega izpostavljamo tudi erozivni dogodek št. 29, sicer z 8 % nižjo erozivnostjo padavin kot pri dogodku št. 4, a je imel 80 % krajše trajanje. Žal je ta erozivni dogodek nastopil v skupini petih erozivnih dogodkov, ki so bili odgovorni za erozijski nanos vzorca M29, pri čemer je prišlo do prevrnitve lovilnih posod zaradi dviga podtalne vode in odtekanja suspenza površinskega odtoka s spranimi talnimi delci iz lovilnih posod. Ocenili smo, da je ta vzorec nepopoln oz. da je neznan delež sproščenih tal stekel mimo lovilnih posod. Zato smo vzorec M29 izločili iz nadaljnje obravnave, saj so sodelujoči erozivni dogodki imeli skupno erozivnost padavin $1727 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$, količina sproščenih tal pa je znašala $2,984 \text{ kg/m}^2$ oz. približno 40 % manj od pričakovane glede na spodnji levi diagram na sliki 5.28.

5.3.2 Korelacija količine sproščenih tal z erozivnostjo padavin

Pri korelaciji količine sproščenih tal z erozivnostjo padavin bomo zaradi relativno kratkega niza meritev obravnavali vzorčene, mesečne in trimesečne vrednosti teh količin in ne njihova letna povprečja, ki sodijo k enačbi (R)USLE. Zato bomo za izhodišče privzeli nekaj predpostavk, da bomo še vedno lahko ostali v okvirih (R)USLE, podobno kot pri izvedenkah USLE-M in MUSLE (omenjeni v uvodu tega poglavja), saj dejavniki, ki nastopajo v enačbi (R)USLE, niso primerni za uporabo s količinami krajše časovne ločljivosti od letne. To se je pokazalo tudi pri naših meritvah, kjer je bilo kar 10 vzorcev takih, kjer smo izmerili pozitiven erozijski nanos ob izostanku erozivnega dogodka (preglednica 5.8). Dokler se nahajamo na topografsko homogenem območju, kot je primer naših meritev sproščanja tal na erozijskih ploskvah na golih tleh v mladem oljčniku, lahko v enačbi (R)USLE, $A = RKLSCP$ (enačba 3.1), predpostavimo, da sta dejavnika L in S konstanti, ki se tudi s časom ne spreminjata. Enako velja tudi za dejavnika pokrovnosti C in zaščitnih ukrepov P , saj smo na erozijski ploskvi na golih tleh vzdrževali neporaščena in neobdelana tla. Erodibilnost tal oz. dejavnik K pa je spremenljivka časa oz. ima svojo sezonsko variabilnost, saj se spreminja z vsebnostjo vode v tleh, preperelostjo tal oz. temperaturo in aktivnostjo živih organizmov v tleh.

Ob želji, da pri raziskavi uporabimo podnebni dejavnik R , ki je opredeljen drugače, kot je dejansko po (R)USLE, oz. kot produkt kinetične energije padavin E in maksimalne intenzitete padavin I_x drugačnega trajanja od 30 minut (I_{30}), moramo upoštevati ustrezen količnik, s katerim bomo normirali spremenjeni dejavnik R , saj je erodibilnost tal oz. dejavnik K opredeljen kot količina sproščenih tal na enoto erozivnosti padavin oz. dejavnika R . Zato smo za vsako različico spremenjenega dejavnika R (EI_5 do EI_{60}) izračunali ustrezen količnik k_x iz vsote spremenjenega in dejanskega R po dveletnih meritvah ($\Sigma EI_x / \Sigma EI_{30}$), kot že omenjeno, ob neupoštevanju vzorca M29 (preglednica 5.8).

Po normiranju spremenjene erozivnosti EI_x posameznih erozivnih dogodkov smo izračunali njihovo vsoto po posameznih vzorcih M in tudi njihove mesečne ter trimesečne vsote (preglednici 5.9 in 5.10). Rezultate smo korelirali z ustreznimi količinami sproščenih tal za vse tri časovne ločljivosti (A_M , A_j in A_s) in jih tudi grafično prikazali (slike 5.28 do 5.30). Iz primerjave ugotavljamo, da se v vseh treh primerih dejanskim količinam sproščenih tal najboljše prilegajo normirane vrednosti erozivnosti padavin, ki je izražena kot EI_5 , saj sta ob tem dosežena korelacijski koeficient in Nash-Sutcliffeov koeficient modelske učinkovitosti višja kot v ostalih primerih, so pa te razlike majhne. To izhaja iz dejstva, da je EI_5 bolj spremenljiva od EI_{30} , kar velja tudi za I_5 , saj lahko ta v času 30 minut ob enakem I_{30} doseže različne maksimalne vrednosti.

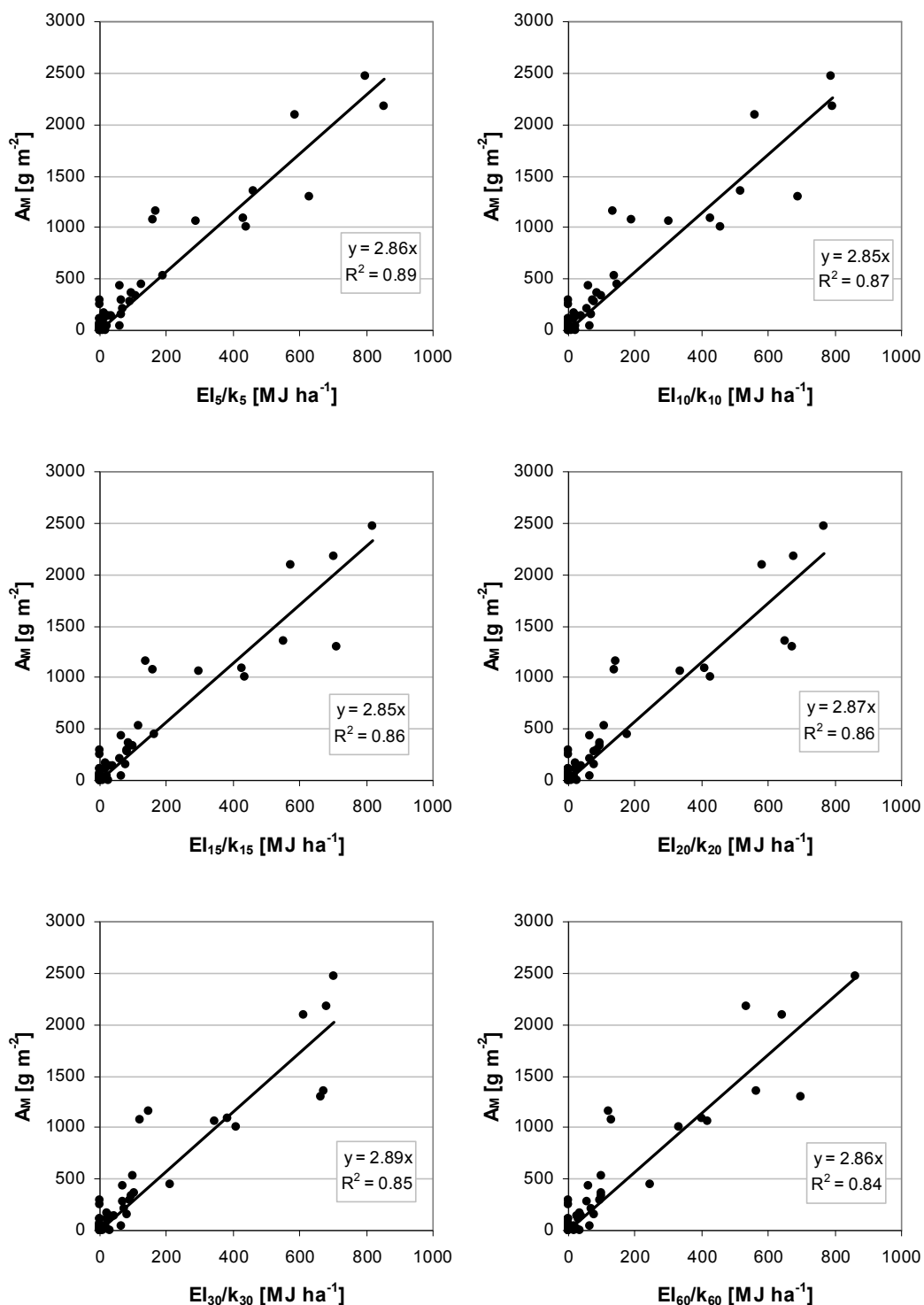
Ta pojav je viden ob primerjavi mesečnih vrednosti (normiranih) erozivnosti padavin in sproščenih tal (preglednica 5.9). Trije meseci (december 2006, junij 2007 in oktober 2007) imajo ob razmeroma podobnih vsotah dejanske erozivnosti padavin EI_{30} (103,2, 122,5 in 115,6 MJ/ha) različne količine sproščenih tal A_j (414, 1072 in 472 gr). Pri tem je normirana erozivnost padavin EI_5 (94,1, 160,7 in 79,7 MJ/ha) precej bolj razgibana in tako bolje sledi spremembam količine sproščenih tal A_j . Podobno lahko ugotovimo ob primerjavi posameznih trimesečnih vsot (preglednica 5.10). Izkaže se, da so boljše predstave normiranega EI_5 od dejanskega EI_{30} predvsem posledica boljših napovedi pri nizki erozivnosti padavin oz. količini sproščenih tal in ne tudi pri visokih, ki so bistvene. Za boljše ugotovitve oz. potrditev teh domnev bi zagotovo potrebovali daljši niz meritev.

Preglednica 5.8: Vsota produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja (I_5 do I_{60}) in kinetične energije E erozivnih dogodkov, ki pripadajo k posameznim odvzetim vzorcem sproščenih tal (M1 do M44), in izmerjena povprečna količina sproščenih tal A_M na neporaščenih tleh.

Table 5.8: Sum of maximal rainfall intensities of various duration (I_5 to I_{60}) and the rainfall kinetic energy E products of the erosive events that belong to the particular soil loss samples (M1 to M44), and the average soil loss A_M as measured on bare soil.

vzorec M	datum vzorčenja	El ₅ [MJ ha ⁻¹]	El ₁₀ [MJ ha ⁻¹]	El ₁₅ [MJ ha ⁻¹]	El ₂₀ [MJ ha ⁻¹]	El ₃₀ [MJ ha ⁻¹]	El ₆₀ [MJ ha ⁻¹]	A _M [g m ⁻²]
1	07.08.2006	1349.4	1034.1	876.6	762.8	610.2	419.1	2086.5
2	15.08.2006	383.1	246.6	210.3	184.4	144.8	77.4	1158.0
3	26.08.2006	1836.3	1464.6	1254.7	1004.8	703.2	561.1	2475.3
4	04.09.2006	434.9	255.4	180.5	141.1	97.1	63.7	526.7
5	14.09.2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	21.09.2006	79.8	68.9	61.2	52.8	44.1	25.5	139.4
7	06.10.2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
8	26.10.2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2
9	21.11.2006	27.4	26.4	24.3	22.7	21.2	16.7	19.1
10	27.11.2006	136.1	118.5	100.4	83.3	65.7	42.6	37.3
11	12.12.2006	217.1	156.4	132.4	125.1	103.2	65.4	365.9
12	21.12.2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.8
13	05.01.2007	16.6	13.2	11.9	11.1	10.6	10.4	2.7
14	08.02.2007	44.7	39.8	36.6	32.6	28.3	23.1	1.8
15	20.02.2007	289.4	270.3	249.4	232.6	212.3	159.8	439.7
16	27.02.2007	151.5	124.8	115.7	102.3	81.0	51.7	146.9
17	09.03.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.5
18	22.03.2007	29.0	28.0	27.4	25.4	22.6	19.4	105.7
19	03.04.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
20	11.05.2007	668.5	556.8	457.7	437.8	346.3	271.5	1064.4
21	30.05.2007	1065.8	957.7	846.1	852.7	670.9	367.3	1348.1
22	07.06.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	21.06.2007	142.7	110.4	99.5	87.1	69.4	40.7	437.8
24	03.07.2007	370.7	349.8	241.9	182.4	122.5	83.8	1071.7
25	03.08.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	257.4
26	15.08.2007	60.0	51.8	48.3	42.2	31.1	16.2	137.3
27	27.08.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	294.4
28	05.09.2007	997.4	788.7	653.3	537.3	383.2	261.1	1084.1
29	04.10.2007	4104.7	3219.8	2442.9	2036.6	1727.3	963.0	2983.9
30	11.10.2007	150.7	139.0	126.1	113.2	92.0	62.2	299.6
31	31.10.2007	33.1	31.4	29.2	26.7	23.6	21.6	172.6
32	29.11.2007	155.7	107.4	94.1	84.5	71.9	43.6	206.0
33	11.12.2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
34	21.01.2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.3
35	11.02.2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.9
36	21.03.2008	49.7	41.9	30.5	24.4	18.9	12.1	36.9
37	01.04.2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0
38	25.04.2008	246.3	186.8	149.8	121.9	96.0	65.5	340.5
39	15.05.2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5
40	10.06.2008	1453.7	1276.7	1092.2	878.7	662.0	454.8	1297.5
41	19.06.2008	1017.0	847.4	668.9	557.9	409.7	216.4	999.5
42	16.07.2008	1967.7	1472.3	1076.5	884.3	680.2	349.2	2175.6
43	31.07.2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.7
44	13.08.2008	212.1	144.5	124.0	99.3	68.1	35.9	272.4
ΣEl _x		13586	10910	9020	7712	5890	3838	
ΣEl _x /ΣEl ₃₀		2.31	1.85	1.53	1.31	1.00	0.65	

Korelacija po vzorcih M



Slika 5.28: Korelacija med količino sproščenih tal A_M na neporaščenih tleh in normirano vsoto produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja in kinetične energije E erozivnih dogodkov (EI_5 do EI_{60}), ki pripadajo k posameznim odvzetim vzorcem sproščenih tal (M1 do M44, po preglednici 5.8).

Figure 5.28: Correlation between soil loss A_M on bare soil and the normalised sum of the maximal rainfall intensities of various duration and the rainfall kinetic energy E products (EI_5 to EI_{60}) of the erosive events that belong to the particular soil loss samples (M1 to M44, according to Table 5.8).

Preglednica 5.9: Mesečne normirane vsote produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja (I_5 do I_{60}) in kinetične energije E erozivnih dogodkov in mesečne količine sproščenih tal na golih tleh.

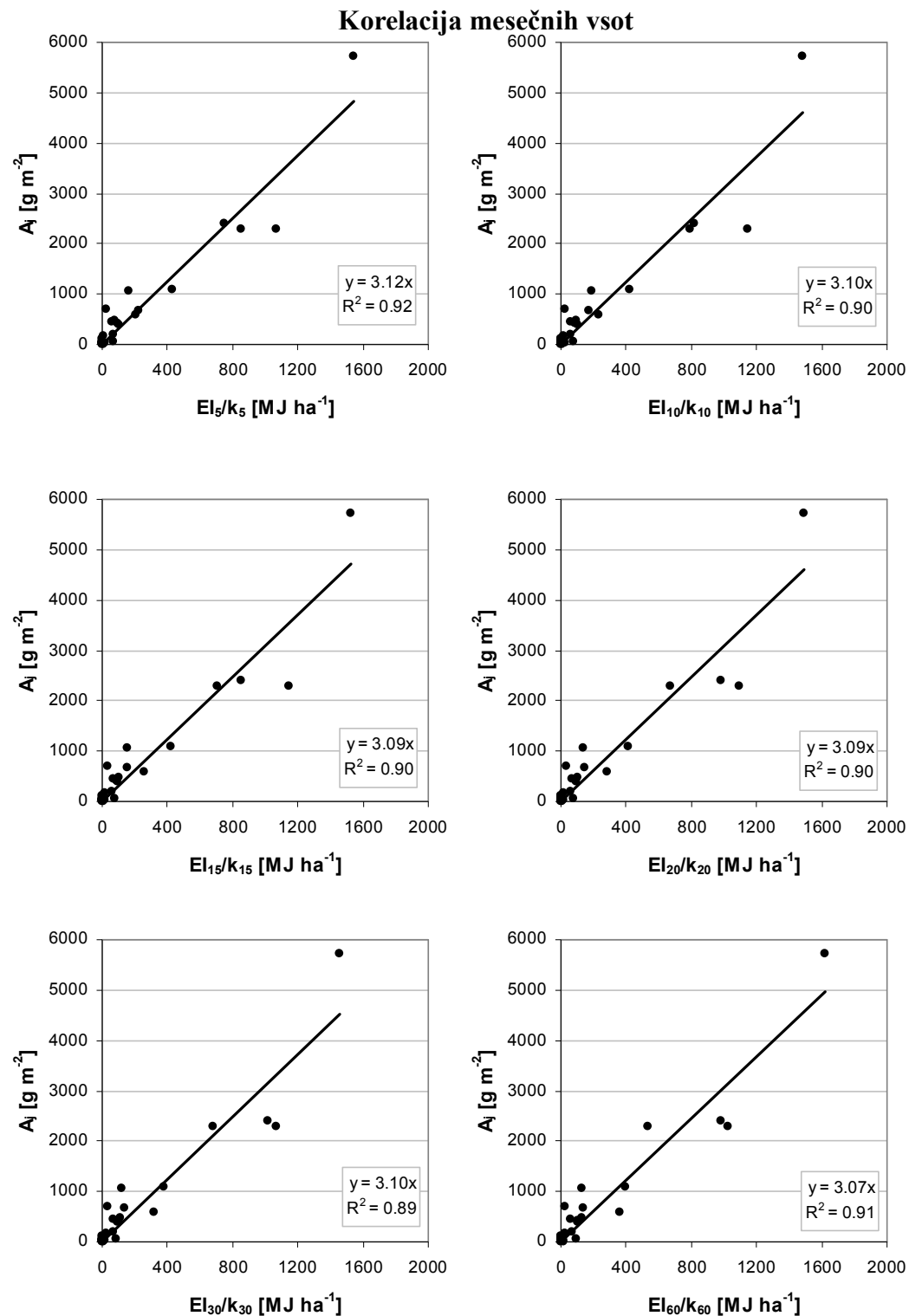
Table 5.9: Monthly normalised sums of maximal rainfall intensities of various duration (I_5 to I_{60}) and the rainfall kinetic energy E products of the erosive events, and monthly soil loss A_j on bare soil.

mesec	El_5/k_5 [MJ ha ⁻¹]	El_{10}/k_{10} [MJ ha ⁻¹]	El_{15}/k_{15} [MJ ha ⁻¹]	El_{20}/k_{20} [MJ ha ⁻¹]	El_{30}/k_{30} [MJ ha ⁻¹]	El_{60}/k_{60} [MJ ha ⁻¹]	A_j [g m ⁻²]
avg.06	1547.2	1482.2	1529.2	1491.0	1458.2	1623.2	5719.9
sep.06	223.1	175.1	157.9	148.1	141.3	137.0	666.0
okt.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5
nov.06	70.9	78.2	81.5	81.0	86.9	91.0	56.3
dec.06	94.1	84.4	86.5	95.5	103.2	100.4	413.7
jan.07	7.2	7.1	7.7	8.5	10.6	15.9	2.7
feb.07	210.5	234.8	262.3	280.8	321.6	360.1	588.4
mar.07	12.6	15.1	17.9	19.4	22.6	29.8	179.2
apr.07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
maj.07	751.9	817.7	851.5	985.7	1017.3	980.4	2412.5
jun.07	61.9	59.6	65.0	66.5	69.4	62.5	437.8
jul.07	160.7	188.8	157.9	139.3	122.5	128.6	1071.7
avg.07	26.0	28.0	31.5	32.3	31.1	24.9	689.0
sep.07	432.4	425.8	426.6	410.4	383.2	400.7	1084.1
okt.07	79.7	92.0	101.4	106.9	115.6	128.6	472.2
nov.07	67.5	58.0	61.4	64.5	71.9	67.0	206.0
dec.07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
jan.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.3
feb.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.9
mar.08	21.5	22.6	19.9	18.6	18.9	18.5	36.9
apr.08	106.8	100.9	97.8	93.1	96.0	100.6	390.5
maj.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5
jun.08	1071.2	1146.8	1150.1	1097.2	1071.7	1030.1	2296.9
jul.08	853.1	794.9	703.0	675.4	680.2	535.9	2281.4

Preglednica 5.10: Trimesečne normirane vsote produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja (I_5 do I_{60}) in kinetične energije E erozivnih dogodkov ter trimesečne količine sproščenih tal A_s na golih tleh.

Table 5.10: Seasonal normalised sums of maximal rainfall intensities of various duration (I_5 to I_{60}) and the rainfall kinetic energy E products of the erosive events, and seasonal soil loss A_s on bare soil.

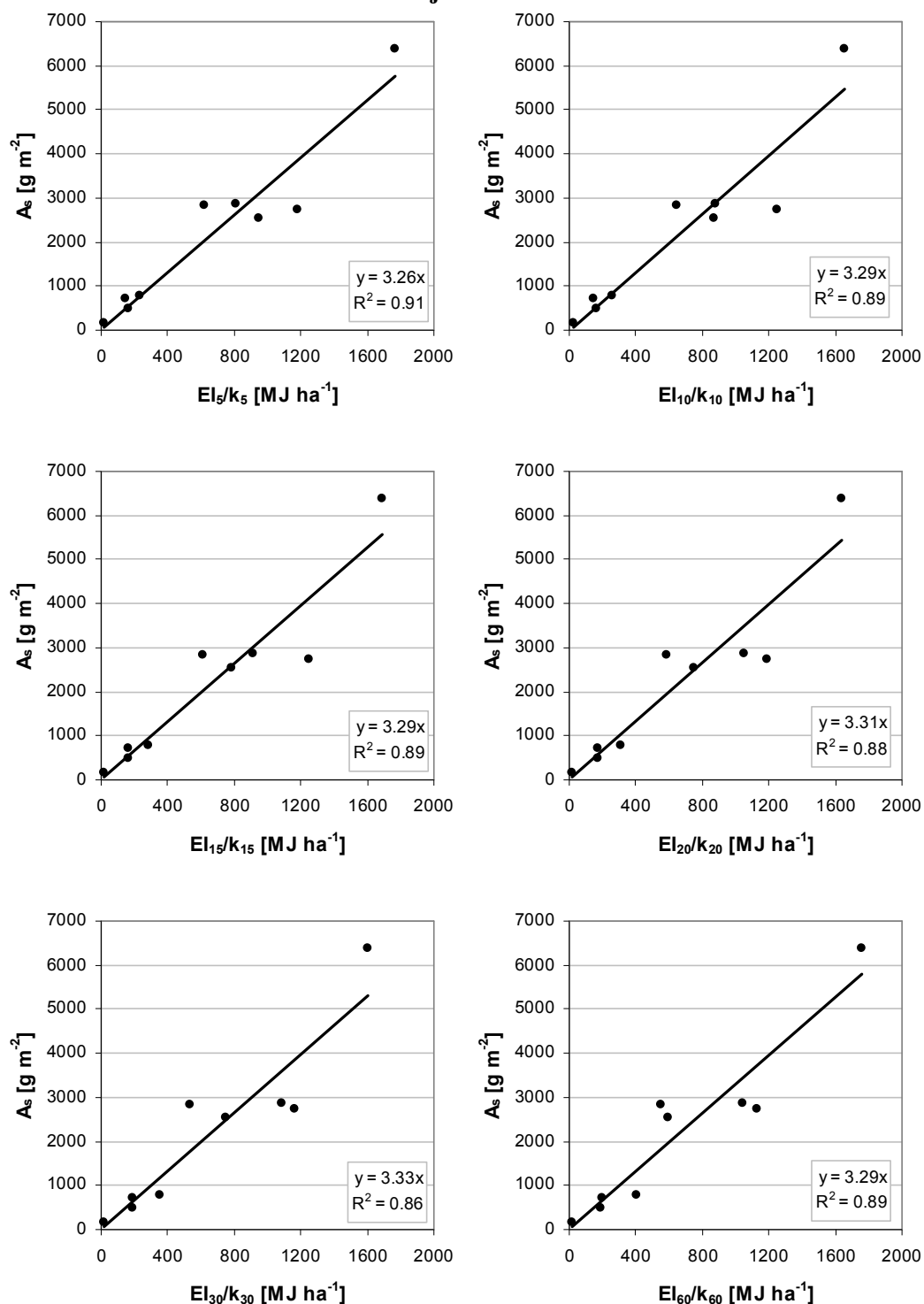
trimesečje	El_5/k_5 [MJ ha ⁻¹]	El_{10}/k_{10} [MJ ha ⁻¹]	El_{15}/k_{15} [MJ ha ⁻¹]	El_{20}/k_{20} [MJ ha ⁻¹]	El_{30}/k_{30} [MJ ha ⁻¹]	El_{60}/k_{60} [MJ ha ⁻¹]	A_s [g m ⁻²]
jul.06-sep.06	1770.3	1657.2	1687.0	1639.1	1599.4	1760.1	6385.9
okt.06-dec.06	165.0	162.7	167.9	176.5	190.1	191.5	486.6
jan.07-mar.07	230.3	257.0	287.9	308.6	354.8	405.8	770.2
apr.07-jun.07	813.7	877.3	916.4	1052.2	1086.6	1042.9	2850.4
jul.07-sep.07	619.1	642.7	616.1	582.0	536.8	554.1	2844.8
okt.07-dec.07	147.2	150.0	162.9	171.4	187.5	195.6	711.2
jan.08-mar.08	21.5	22.6	19.9	18.6	18.9	18.5	169.2
apr.08-jun.08	1177.9	1247.7	1247.9	1190.3	1167.7	1130.6	2744.9



Slika 5.29: Korelacija med mesečnimi vsotami količine sproščenih tal A_j na golih tleh in normirano vsoto produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja in kinetične energije E erozivnih dogodkov (EI_5 do EI_{60}), ki so nastopili v posameznem mesecu (po preglednici 5.9).

Figure 5.29: Correlation between the monthly sums of the soil loss A_j on bare soil and the normalised sums of the maximal rainfall intensities of various duration and the rainfall kinetic energy products (EI_5 to EI_{60}) of the erosive events that occurred in the particular month (according to Table 5.9).

Korelacija trimesečnih vsot



Slika 5.30: Korelacija med trimesečnimi vsotami količine sproščenih tal A_s na golih tleh in normirano vsoto produktov maksimalne intenzitete padavin različnega trajanja in kinetične energije E erozivnih dogodkov (EI_5 do EI_{60}), ki so nastopili v posameznem trimesečju (po preglednici 5.10).

Figure 5.30: Correlation between the seasonal sums of soil loss A_s on bare soil and the normalised sums of the maximal rainfall intensities of various duration and the rainfall kinetic energy products (EI_5 to EI_{60}) of the erosive events that occurred in the particular season (according to Table 5.10).

6 PROSTORSKA SPREMENLJIVOST EROZIVNOSTI PADAVIN V SLOVENIJI

6.1 UVOD

V tem poglavju podajamo rezultate tretjega cilja doktorske disertacije (poglavje 1.3), in sicer izdelavo preliminarne karte erozivnosti padavin Slovenije na podlagi padavinskih podatkov, ki jih meri ARSO na pluviografskih postajah znotraj meteorološke opazovalne mreže, in $KE-I$ funkcijskih odvisnosti za različna podnebna območja v Sloveniji, ki smo jih izpeljali na podlagi opravljenih meritev porazdelitve padavinskih delcev (poglavje 5.2). Pristop k izdelavi karte erozivnosti padavin Slovenije je podrobneje opisan v poglavju 3.5.2.

6.2 PRIPRAVA PODATKOV ZA IZDELAVO KARTE EROZIVNOSTI PADAVIN

6.2.1 Določitev erozivnih dogodkov iz padavinskih podatkov ARSO

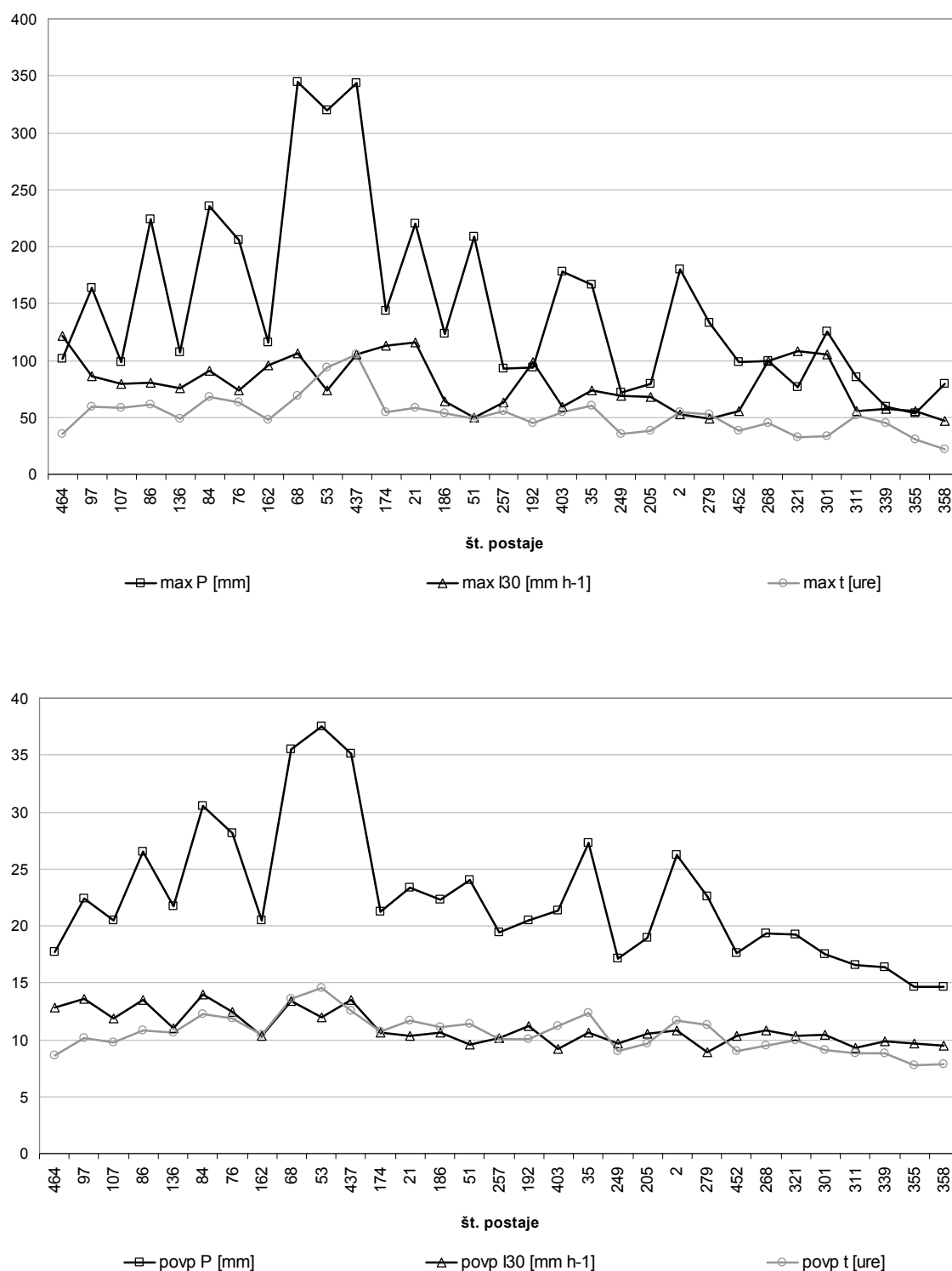
Iz 10-letnega podatkovnega niza (1. 1. 1999–31. 12. 2008) o 5-minutnih intenzitetah padavin na 31 obravnavanih pluviografskih postajah ARSO (slika 3.29) smo najprej določili obdobja izpada delovanja dežemerov in njihovo skupno trajanje. Nato smo iz celotnega niza podatkov izluščili erozivne dogodke in vsakemu določili višino padavin P , trajanje t in maksimalno 30-minutno intenziteto padavin I_{30} . Manjkajočih padavinskih podatkov nismo nadomeščali, smo pa v poznejši fazi manjkajočim erozivnim dogodkom izračunali kinetično energijo E in erozivnost padavin R s pomočjo korelacije iz podatkov na bližnjih obravnavanih postajah. V preglednici 6.1 je prikazan povzetek določitve erozivnih dogodkov za vse obravnavane postaje. Najmanj erozivnih dogodkov je zabeleženih na skrajnem severovzhodu Slovenije, kjer je v povprečju zabeleženih 30 erozivnih dogodkov na leto, največ pa na nižjih predelih južnih obronkov Julijskih Alp, v povprečju skoraj 60 na leto. V preglednici 6.1 so dodane maksimalne zabeležene vrednosti za P , t in I_{30} erozivnih dogodkov na posameznih postajah. Naj omenimo, da te ekstremne vrednosti niso nujno zabeležene znotraj enega samega erozivnega dogodka, temveč lahko gre za tri različne erozivne dogodke.

Če merilna mesta razvrstimo od jugozahoda proti severovzhodu (prevladujoča smer prihajajočih front nad Slovenijo) in zrišemo grafe za maksimalne in povprečne vrednosti P , t in I_{30} (slika 6.1), lahko ugotovimo naslednje, razmeroma šibke trende: maksimalne vrednosti P in t v splošnem naraščajo od jugozahoda proti Alpsko-Dinarski gorski pregradi, nakar se polagoma znižujejo proti severovzhodu Slovenije, ravno tako njihove povprečne vrednosti. Za maksimalne vrednosti I_{30} lahko rečemo, da nimajo trenda, v splošnem pa so povprečne vrednosti I_{30} višje jugozahodno od gorske pregrade.

Preglednica 6.1: Opis podatkovnega niza merjenih intenzitet padavin na posameznih merilnih postajah ARSO v obdobju med 1. 1. 1999 in 31. 12. 2008, število erozivnih dogodkov in ekstremne vrednosti merjenih veličin znotraj erozivnih dogodkov (P – višina padavin; I_{30} – maksimalna 30-minutna intenziteta padavin; t – trajanje erozivnega dogodka).

Table 6.1: Description of the measured rainfall intensities data set on the ARSO measurement stations in the period between 1 January 1999 and 31 December 2008, the number of erosive events and the extreme values of the erosive event quantities (P – rainfall height; I_{30} – maximal 30-minute rainfall intensity; t – erosive event duration).

št.	merilno mesto ARSO	začetek podatkovnega niza	število dni brez meritev	število erozivnih dogodkov	max P [mm]	max I_{30} [mm h ⁻¹]	max t [ure]
97	BILJE	02.01.1999 09:00	6.5	456	164.1	85.8	59.8
268	CELJE	02.01.1999 06:00	16.5	413	99.4	99.6	44.8
186	ČRNI VRH NAD POLH. GRADCEM	01.01.1999 00:00	23.7	468	123.2	64.2	53.6
257	ČRNOMELJ - DOBLIČE	01.01.1999 16:00	46.1	445	92.7	63.6	55.9
21	DAVČA	14.06.1999 00:00	59.7	480	220.1	115.8	58.2
107	GODNJE	02.01.1999 10:00	122.0	430	98.2	79.8	58.4
35	JAVORNIŠKI ROVT	01.01.1999 00:00	69.4	511	166.2	73.6	60.4
339	KADRENCI	09.01.1999 02:00	6.5	339	59.5	57.8	45.4
84	KAL NAD KANALOM	01.01.1999 07:00	14.2	600	235.8	91.0	68.0
2	KAMNIŠKA BISTRICA	01.02.1999 00:00	115.4	555	179.8	53.0	54.7
68	KNEŠKE RAVNE	01.05.1999 00:00	39.0	573	344.3	106.0	68.8
174	KOČEVJE	01.01.1999 23:00	13.5	477	143.7	113.0	54.4
403	LESCE	01.01.1999 00:00	33.7	425	178.2	59.2	54.6
452	LISCA	01.01.1999 23:00	35.4	397	99.0	55.8	38.6
192	LJUBLJANA - BEŽIGRAD	01.01.1999 03:00	8.1	485	93.7	98.6	45.2
53	LOG POD MANGARTOM	18.05.1999 00:00	193.2	461	319.5	74.0	93.8
86	LOKVE	02.01.1999 08:00	33.4	600	224.4	80.0	61.1
311	MARIBOR - LETALIŠČE	01.07.1999 00:00	19.7	341	84.8	55.6	52.0
358	MARTINJE	08.01.1999 18:00	136.1	297	79.7	46.8	22.1
355	MURSKA SOBOTA - RAKIČAN	02.01.1999 18:00	17.5	319	53.9	55.6	30.3
249	NOVO MESTO	01.01.1999 23:00	31.4	424	71.7	69.0	35.6
464	PORTOROŽ - LETALIŠČE	02.01.1999 09:00	47.8	361	101.2	122.0	35.8
136	POSTOJNA	02.01.1999 03:00	44.4	487	106.8	75.4	49.0
51	RATEČE - PLANICA	01.01.1999 00:00	46.4	454	208.9	49.4	48.8
205	SEVNO	14.04.1999 00:00	180.0	391	79.6	68.0	38.7
301	SLOVENSKE KONJICE	02.01.1999 18:00	40.8	438	125.1	105.4	33.3
279	SOLČAVA	02.01.1999 16:00	17.2	499	133.4	48.8	52.2
162	ŠMARATA	01.01.1999 00:00	42.8	449	115.8	95.4	47.8
321	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU	02.01.1999 20:00	5.5	427	76.3	108.2	32.8
437	VOGEL	01.01.1999 00:00	19.7	480	343.8	105.6	104.9
76	VOJSKO	14.05.1999 00:00	87.3	494	205.7	73.8	62.8



Slika 6.1: Spreminjanje maksimalnih (zgoraj) in povprečnih (spodaj) vrednosti višine padavin P , maksimalne 30-minutne intenzitete padavin I_{30} in trajanja t erozivnih dogodkov na merilnih postajah ARSO, razvrščenih od jugozahoda proti severovzhodu.

Figure 6.1: Variation of the maximal (above) and average (below) rainfall heights P , maximal 30-minute rainfall intensities I_{30} and erosive event duration t at the ARSO measurement stations, in order from southwest towards northeast.

6.2.2 Račun erozivnosti padavin na merilnih mestih ARSO

Račun erozivnosti padavin oz. dejavnika R smo opravili po enačbi 3.2 (poglavje 3.5.1). Naj poudarimo, da iz te enačbe oz. metodologije (R)USLE izhaja, da je erozivnost padavin v osnovi opredeljena kot letno povprečje erozivnosti padavin skozi večletno obdobje. Zato bo v nadaljevanju pod pojmom erozivnost padavin R mišljena njena dolgoletna povprečna vrednost, če ne bo drugače specificirano s časovnim opisom.

Račun kinetične energije E posameznih erozivnih dogodkov smo opravili po enačbi 3.4 (poglavje 3.5.2). Pri tem smo za vsako merilno postajo uporabili pripadajočo enačbo za račun specifične kinetične energije padavin (izpeljano na podlagi meritev porazdelitve padavinskih delcev) glede na grobo delitev merilnih postaj po podnebnih območjih, ki smo jo opravili v poglavju 3.5.3 (slika 3.29). Pri tem smo upoštevali izpeljane $KE-I$ funkcijske odvisnosti (glej poglavje 5.2): BO-5min (subalpsko podnebno območje), LJ-5min (zmerno celinsko podnebje) in IB-5min (submediteransko podnebje). $KE-I$ funkcijsko odvisnost (KZ-5min), ki smo jo izpeljali iz meritev porazdelitve padavinskih delcev na Kozjanah, smo izpustili pri računu, saj so bili rezultati meritev v Ilirski Bistrici, ki sodi v isto podnebno območje, izjemno dobri. Pripadajoča enačba za račun specifične kinetične energije padavin za vsake merilno mesto je razvidna iz preglednice 6.2, ki vsebuje tudi povprečne letne vrednosti kinetične energije E_Y in erozivnosti padavin R . Pri teh veličinah je upoštevan tudi prispevek tistih erozivnih dogodkov, ki niso bili izmerjeni zaradi izpadov dežemerov in smo jih naknadno nadomestili s pomočjo korelacije iz podatkov na bližnjih merilnih postajah. V preglednici je dodana tudi najvišja vrednost erozivnosti padavin R_{ed} posameznega erozivnega dogodka, ki je bil zabeležen na posamezni merilni postaji ARSO, in tudi njegov delež pri erozivnosti padavin R , ki je na sliki 6.2 prikazan v odvisnosti od nadmorske višine in erozivnosti padavin R merilnega mesta.

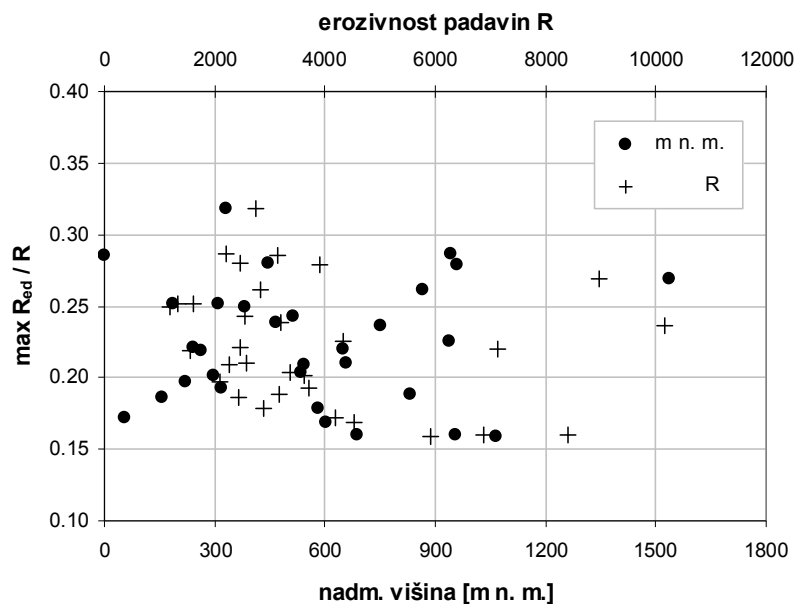
Slika 6.3 prikazuje dolgoletno povprečje višine padavin (1961–1990), erozivnost padavin R in letno povprečje kinetične energije padavin E_Y (obe vrednosti za obdobje 1999–2008) na obravnavanih merilnih mestih, razvrščenih od jugozahoda proti severovzhodu. Vidimo, da kinetična energija E_Y sledi spremembam letnega povprečja padavin, erozivnost padavin pa je nekoliko bolj razgibana. Splošno velja, da vrednosti vseh treh veličin naraščajo od zahoda proti gorski pregradi, za gorsko pregrado občutno padejo in se proti vzhodu polagoma nižajo.

Preglednica 6.2: Povprečna letna kinetična energija padavin E_Y , erozivnost padavin R , najvišja vrednost erozivnosti padavin R_{ed} posameznega erozivnega dogodka in njegov delež pri erozivnosti padavin R na posameznih merilnih postajah ARSO v obdobju med 1. 1. 1999 in 31. 12. 2008.

Table 6.2: Average annual rainfall kinetic energy E_Y , rainfall erosivity R , maximal rainfall erosivity R_{ed} of the particular erosive event and its portion in the rainfall erosivity R at the ARSO measuring stations in the period between 1 January 1999 and 31 December 2008.

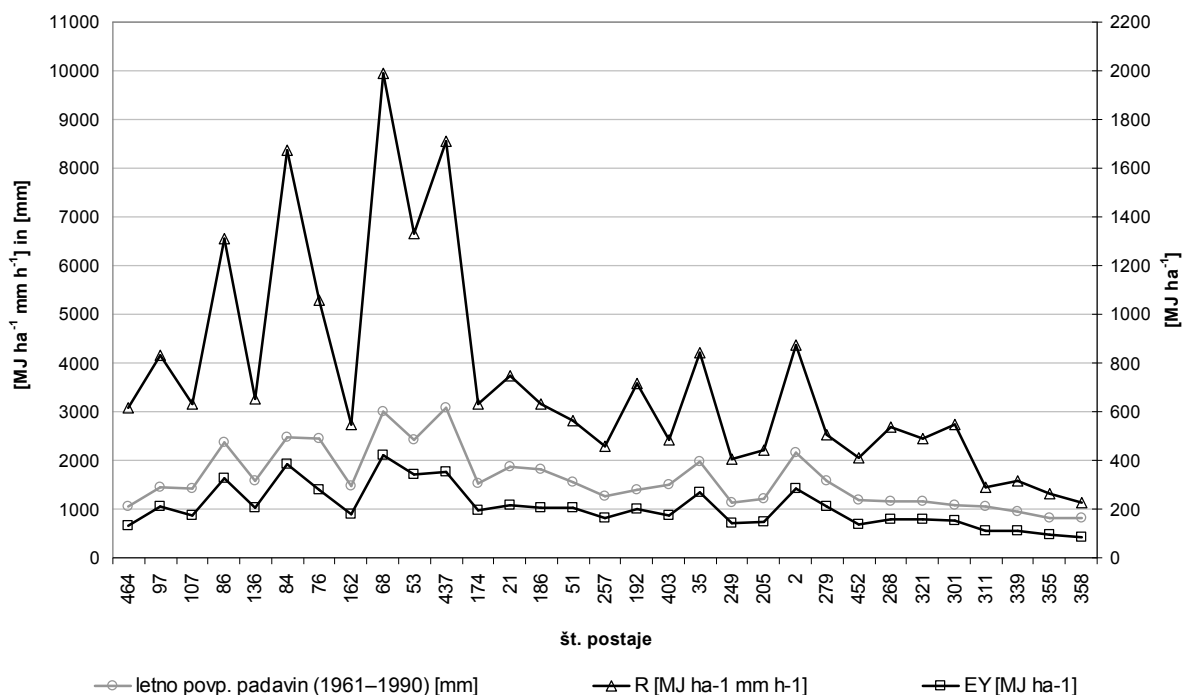
št.	merilno mesto ARSO	E_Y [MJ ha ⁻¹]	R [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	uporabljena KE-I enačba	max R_{ed} [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
97	BILJE*	210.0	4184.5	IB-5min	721.9
268	CELJE	157.5	2455.3	LJ-5min	542.4
186	ČRNI VRH NAD POLH. GRADCEM*	206.4	3170.6	LJ-5min	597.0
257	ČRNOMELJ - DOBLIČE*	173.3	2428.0	IB-5min	452.6
21	DAVČA	234.6	3900.4	BO-5min	1089.8
107	GODNJE	194.4	3714.4	IB-5min	715.3
35	JAVORNIŠKI ROVT	278.6	4330.5	BO-5min	976.8
339	KADRENCI	110.5	1619.8	LJ-5min	406.9
84	KAL NAD KANALOM	385.3	8414.8	BO-5min	1350.7
2	KAMNIŠKA BISTRICA	297.0	4519.3	BO-5min	762.0
68	KNEŠKE RAVNE	443.1	10164.6	BO-5min	2398.2
174	KOČEVJE	196.1	3184.5	IB-5min	759.3
403	LESCE	181.3	2539.6	BO-5min	617.1
452	LISCA	145.0	2199.8	LJ-5min	629.6
192	LJUBLJANA - BEŽIGRAD	199.4	3625.3	LJ-5min	732.0
53	LOG POD MANGARTOM	375.8	7136.0	BO-5min	1570.5
86	LOKVE	342.8	6870.5	BO-5min	1100.0
311	MARIBOR - LETALIŠČE	117.8	1563.7	LJ-5min	343.0
358	MARTINJE	93.1	1196.2	LJ-5min	298.3
355	MURSKA SOBOTA - RAKIČAN	93.7	1327.7	LJ-5min	334.1
249	NOVO MESTO	145.3	2107.4	LJ-5min	416.3
464	PORTOROŽ - LETALIŠČE	136.1	3151.7	IB-5min	898.4
136	POSTOJNA	211.0	3361.3	IB-5min	685.7
51	RATEČE - PLANICA	209.7	2844.2	BO-5min	742.3
205	SEVNO	153.5	2253.5	LJ-5min	470.4
301	SLOVENSKE KONJICE	154.6	2757.6	LJ-5min	878.0
279	SOLČAVA	216.1	2580.7	BO-5min	541.8
162	ŠMARATA	187.8	2882.5	IB-5min	513.4
321	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU*	158.7	2458.1	BO-5min	688.0
437	VOGEL	375.4	8978.9	BO-5min	2414.8
76	VOJSKO	317.1	5920.2	BO-5min	942.1

* vrednosti za E in R sta bili pozneje koregirani



Slika 6.2: Delež erozivnega dogodka z najvišjo erozivnostjo padavin R_{ed} pri povprečni letni erozivnosti padavin R v odvisnosti od nadmorske višine in erozivnosti padavin R na posameznih merilnih postajah ARSO v obdobju med 1. 1. 1999 in 31. 12. 2008.

Figure 6.2: Portion of the erosive event with the highest rainfall erosivity R_{ed} in the average annual rainfall erosivity R as a function of the altitude and the rainfall erosivity R at the ARSO measuring stations in the period between 1 January 1999 and 31 December 2008.



Slika 6.3: Spreminjanje dolgoletnega povprečja višine padavin, erozivnosti padavin R in povprečne letne kinetične energije padavin E_Y na merilnih postajah ARSO, razvrščenih od jugozahoda proti severovzhodu.

Figure 6.3: Variation of the longterm average of precipitation, rainfall erosivity R and the average annual kinetic energy E_Y at the ARSO measuring stations, in order from southwest towards northeast.

6.2.3 Mesečni deleži erozivnosti padavin na merilnih mestih ARSO

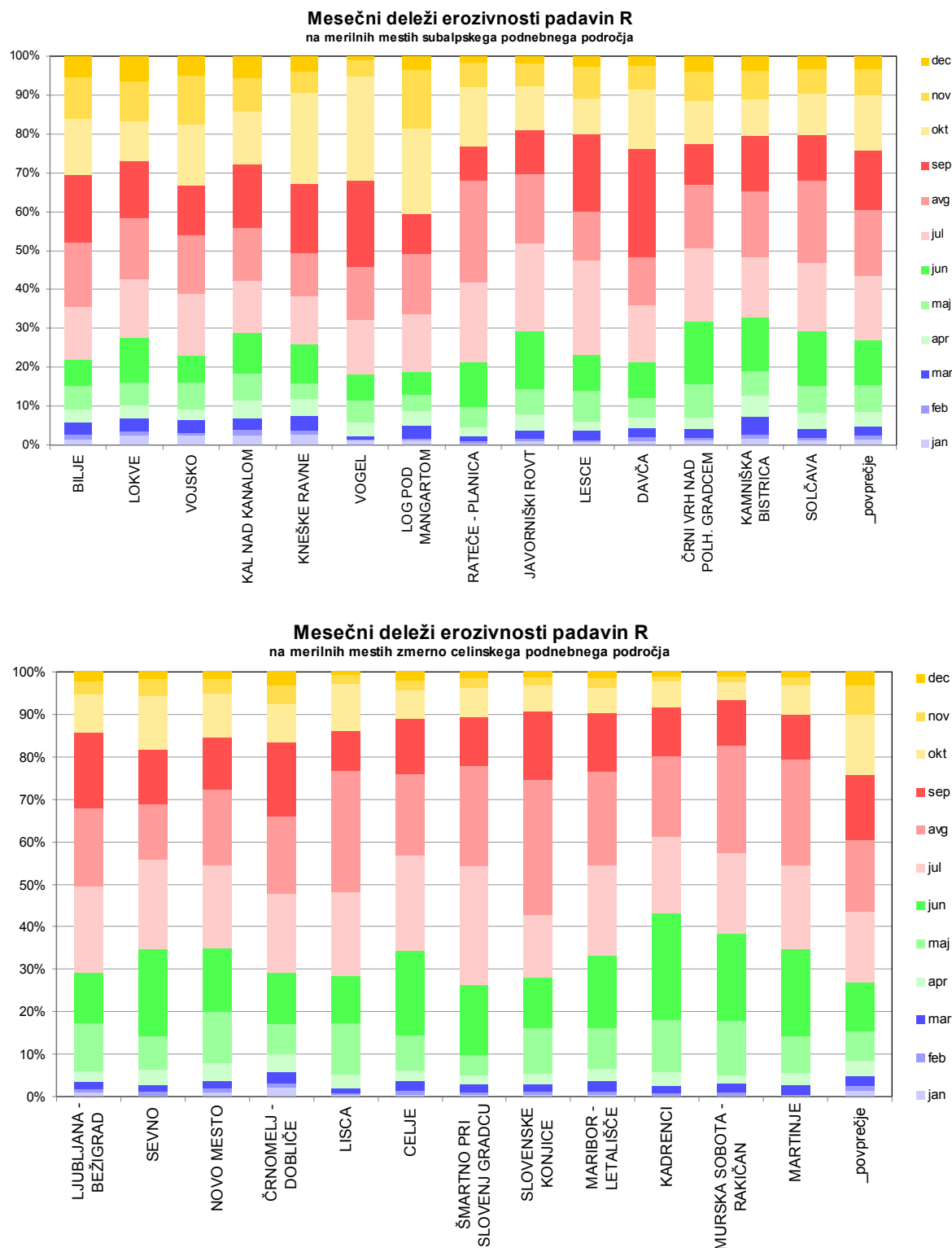
Mesečne deleže erozivnosti padavin smo izračunali iz povprečja mesečnih vsot erozivnosti padavin erozivnih dogodkov, ki so med letoma 1999 in 2008 nastopili v posameznem mesecu. S tem smo želeli dobiti vpogled v sezonskost oz. porazdelitev erozivnosti padavin skozi leto. Naj omenimo, da bi zagotovo potrebovali daljši niz podatkov, da bi se izognili močnim vplivom ekstremnih erozivnih dogodkov na posamezne mesečne deleže erozivnosti padavin, saj ti lahko predstavljajo tudi več kot 30 % povprečne letne erozivnosti padavin (preglednica 6.2). Tako imajo izjemni padavinski dogodki, na primer novembra 2000 v Logu pod Mangartom, avgusta 2005 na Lisci, avgusta 2006 v Portorožu oz. septembra 2007 v Davči, prevladujoč vpliv na mesečne deleže erozivnosti padavin, kar je razvidno iz preglednice 6.3 ter na slikah 6.4 in 6.5. Zadnji stolpec na slikah 6.4 in 6.5 z oznako "_povprečje" pomeni delež vsote mesečnih erozivnosti padavin v vsoti letne erozivnosti padavin na vseh 31 merilnih mestih.

Glede na mesečne deleže erozivnosti padavin R lahko posamezna merilna mesta znotraj istega podnebnege območja razdelimo v skupine. Tako smo merilna mesta subalpskega podnebnege območja (slika 6.4, zgoraj) razdelili na dve skupini glede na skupni delež R ob koncu septembra oz. poletja: pri merilnih mestih jugozahodno od gorske pregrade je ta delež v povprečju nekoliko nižji od deleža pri merilnih mestih, ki ležijo na severovzhodni strani gorske pregrade. Pri prvih se ti deleži gibljejo med 59 in 73 % (povprečje 68 %), pri drugih pa med 76 in 80 % (povprečje 79 %).

Merilna mesta zmerno celinskega podnebnege območja (slika 6.4, spodaj) smo ravno tako razdelili v dve skupini glede na porazdelitev mesečnih deležev R . Ob koncu septembra imajo merilna mesta južno oz. severno od Posavskega hribovja skupen delež R med 81 in 86 % (povprečje 84 %) oz. med 89 in 93 % (povprečje 91 %). Merilna mesta submediteranskega podnebnege območja (slika 6.5) pa tvorijo homogeno skupino glede na skupen delež R ob koncu poletja.

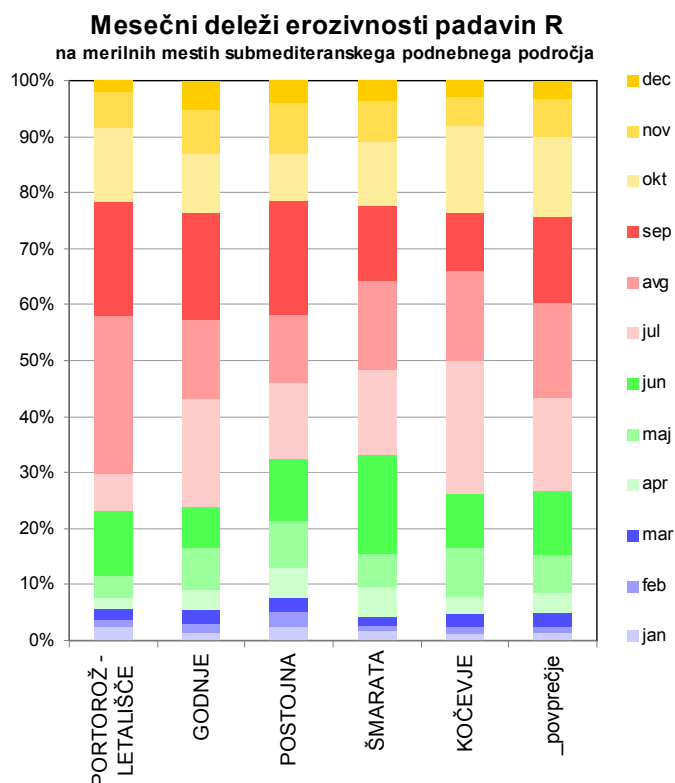
Preglednica 6.3: Mesečni deleži erozivnosti padavin *R* na merilnih postajah ARSO.
Table 6.3: *Monthly portions of rainfall erosivity R on the ARSO measuring stations.*

merilno mesto	podnebno področje	mesečni deleži erozivnosti padavin <i>R</i>											
		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
BILJE	A	1.5	1.2	3.2	3.3	5.9	6.8	13.7	16.5	17.3	14.6	10.8	5.3
LOKVE	A	2.4	1.4	3.2	3.3	6.0	11.4	14.8	16.0	14.6	10.3	10.3	6.4
VOJSKO	A	2.5	0.7	3.3	2.7	7.0	6.9	15.9	15.0	12.7	15.7	12.8	4.9
KAL NAD KANALOM	A	2.6	1.4	2.8	4.7	7.0	10.4	13.4	13.8	16.1	13.8	8.4	5.7
KNEŠKE RAVNE	A	2.6	1.1	3.9	4.4	4.0	10.1	12.4	11.0	17.7	23.6	5.4	3.9
VOGEL	A	1.3	0.2	0.8	3.6	5.5	6.7	14.1	13.7	22.2	26.9	4.0	1.1
LOG POD MANGARTOM	A	1.3	0.5	3.1	3.8	4.3	5.8	14.9	15.4	10.2	22.0	15.1	3.5
RATEČE - PLANICA	A	0.5	0.4	1.3	2.6	4.9	11.5	20.7	26.1	8.7	15.4	6.5	1.4
JAVORNIŠKI ROVT	A	1.0	0.6	2.1	4.0	6.6	14.9	22.6	17.8	11.3	11.5	5.9	1.7
LESCE	A	0.8	0.5	2.4	2.5	7.8	9.2	24.3	12.6	19.7	9.4	8.1	2.6
DAVČA	A	1.0	0.9	2.5	2.6	5.2	9.1	14.6	12.5	27.9	15.2	6.1	2.4
ČRNI VRH NAD POLH. GRADCEM	A	1.3	0.7	2.1	2.9	8.7	16.0	18.8	16.5	10.5	10.9	7.6	4.0
KAMNIŠKA BISTRICA	A	1.8	1.0	4.6	5.4	6.2	13.7	15.7	16.9	14.3	9.5	7.3	3.6
SOLČAVA	A	1.3	0.7	2.2	4.0	7.0	14.2	17.5	21.0	11.6	10.9	6.3	3.2
LJUBLJANA - BEŽIGRAD	B	0.9	0.7	1.8	2.4	11.5	11.9	20.2	18.7	17.8	9.0	2.9	2.2
SEVNO	B	0.2	1.0	1.6	3.7	7.7	20.7	20.9	13.3	12.6	12.9	3.9	1.7
NOVO MESTO	B	0.9	1.1	1.7	4.1	12.2	14.8	19.8	17.8	12.2	10.3	3.3	1.8
ČRNOMELJ - DOBLIČE	B	2.1	1.2	2.5	4.3	7.1	11.8	18.6	18.4	17.3	9.0	4.5	3.2
LISCA	B	0.4	0.5	1.0	3.4	12.1	11.1	19.8	28.6	9.3	11.3	1.9	0.7
CELJE	B	0.6	1.0	2.2	2.5	8.2	20.2	22.1	19.5	12.8	6.7	2.5	1.9
ŠMARTNO PRI SLOVENI GRADCU	B	0.6	0.4	1.9	2.3	4.5	16.7	28.0	23.6	11.3	7.0	2.4	1.4
SLOVENSKE KONJICE	B	0.5	0.7	1.6	2.6	10.7	12.0	14.6	31.8	16.2	6.1	1.9	1.3
MARIBOR - LETALIŠČE	B	0.5	0.9	2.2	2.9	9.6	17.0	21.5	21.9	13.7	6.1	2.3	1.4
KADRENCI	B	0.2	0.6	1.7	3.3	12.2	25.1	18.0	19.0	11.6	6.0	1.2	1.0
MURSKA SOBOTA - RAKIČAN	B	0.3	0.6	2.1	2.2	12.7	20.4	19.2	25.2	10.8	4.1	1.6	0.9
MARTINJE	B	0.2	0.4	2.0	3.1	8.4	20.5	19.9	24.9	10.4	6.9	2.1	1.2
PORTOROŽ - LETALIŠČE	C	2.4	1.3	1.8	2.1	3.9	11.7	6.6	28.5	20.2	13.1	6.5	1.9
GODNJE	C	1.5	1.6	2.3	3.8	7.4	7.3	19.3	14.1	19.1	10.6	7.9	5.1
POSTOJNA	C	2.5	2.7	2.6	5.3	8.5	11.1	13.4	12.1	20.4	8.6	9.1	3.9
ŠMARATA	C	1.7	1.0	1.6	5.2	6.0	17.8	15.0	16.1	13.3	11.5	7.2	3.7
KOČEVJE	C	1.2	1.2	2.2	3.4	8.4	9.7	23.8	16.2	10.1	15.5	5.1	3.1
povprečje		1.5	0.9	2.5	3.6	6.8	11.4	16.6	16.9	15.4	14.1	6.9	3.2



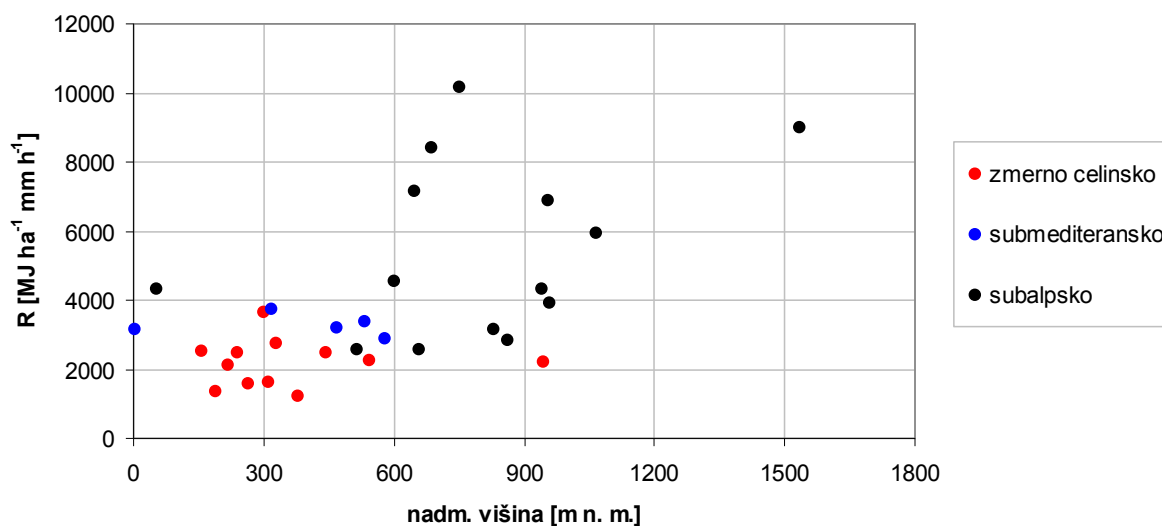
Slika 6.4: Mesečni deleži erozivnosti padavin R na merilnih postajah ARSO, ki sodijo v subalpsko (zgoraj) oz. zmerno celinsko podnebno območje (spodaj).

Figure 6.4: Monthly portions of rainfall erosivity R on the ARSO measuring stations that belong to the subalpine (above) and moderate continental (below) climate region.



Slika 6.5: Mesečni deleži erozivnosti padavin R na merilnih postajah ARSO, ki sodijo v submediteransko podnebno območje.

Figure 6.5: Monthly portions of rainfall erosivity R on the ARSO measuring stations that belong to the submediterranean climate region.



Slika 6.6: Povprečna letna erozivnost padavin R v odvisnosti od nadmorske višine merilnih postaj ARSO, ki so razdeljene med podnebna območja Slovenije.

Figure 6.6: Average annual rainfall erosivity R as a function of the ARSO measuring stations altitude distributed among the climate regions of Slovenia.

Iz porazdelitve mesečnih deležev R in medsebojnih podobnosti oz. razlik le teh med merilnimi postajami (sliki 6.4 in 6.5) smo ugotovili, da so bile določene merilne postaje napačno razvrščene po podnebnih območjih. Tako smo štiri merilna mesta prestavili iz enega v drugo podnebno območje:

- Šmartno pri Slovenj Gradcu iz subalpskega v zmerno celinsko podnebno območje,
- Črni vrh pri Polhovem Gradcu iz zmerno celinskega v subalpsko podnebno območje,
- Črnomelj iz submediteranskega v zmerno celinsko podnebno območje in
- Bilje iz submediteranskega v subalpsko podnebno območje.

Za te štiri postaje smo pred izdelavo karte erozivnosti padavin znova izračunali erozivnost padavin R , pri čemer smo uporabili druge enačbe za račun specifične kinetične energije padavin glede na podnebno območje, v katerega so bile te prestavljene. Tako slika 6.6 prikazuje vrednosti povprečne letne erozivnosti padavin R v odvisnosti od nadmorske višine merilnih mest, ki smo jih razvrstili v skupine glede na pripadajoče podnebno območje.

6.3 IZDELAVA KARTE EROZIVNOSTI PADAVIN SLOVENIJE

6.3.1 Prvi približek karte erozivnosti padavin in njene korekcije

Po končnem računu izhodiščnih vrednosti erozivnosti padavin R na 31 merilnih mestih ARSO smo opravili multiplo linearno regresijo (v nadaljevanju besedila: MLR), kot je opisano v poglavju 3.5.3.1. Najboljše rezultate MLR smo pridobili ob uporabi različice spremenljivke ΔZ , pri kateri smo upoštevali 2000 m kot vrednost za radij r_3 , in izločitvi spremenljivk Y in YZ iz enačbe za račun prvega približka erozivnosti padavin R_{pp} (enačbi 3.13 in 3.14). Povzetek metode MLR s pripadajočimi statistikami je prikazan v prilogi C1. Glede na P-vrednosti posameznih parametrov sklepamo, da imata spremenljivki Z in ΔZ največjo signifikantnost oz. težo pri linearnem modelu. Na podlagi pridobljenih parametrov MLR (preglednica 6.4) smo izračunali prve približke erozivnosti padavin R_{pp} na merilnih mestih ARSO in tudi razmerja oz. ostanke d_{pp} (enačba 3.15), ki so izhodišče za interpolacijo kriging (preglednica 6.5).

Preglednica 6.4: Parametri MLR za račun prvega približka erozivnosti padavin R_{pp} na podlagi izhodiščnih vrednosti erozivnosti padavin R na 31 merilnih mestih ARSO.

Table 6.4: Parameters of the MLR for calculating the first approximation of rainfall erosivity R_{pp} on the basis of the rainfall erosivity values R at 31 ARSO measuring stations.

$$R_{pp} = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4Y^2 + a_5Z + a_6\Delta Z + a_7XY + a_8XZ + a_9YZ$$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
5.078E+04	-2.058E-01	0	2.017E-07	-5.445E-07	2.144E+01	3.230E+00	1.939E-07	-4.329E-05	0

Iz digitalnega modela reliefa (DMR) Slovenije smo pripravili matriko oz. karto R_{pp} za celotno območje Slovenije po enačbi 3.14. Matriko oz. karto koeficientov za množenje s karto R_{pp} smo pridobil s pomočjo kriging interpolacije iz 31 točkovnih vrednosti d_{pp} . Skalarni produkt matrik oz. kart R_{pp} in d_{pp} je dal prvi približek karte erozivnosti padavin R . Tako pridobljena karta erozivnosti padavin R Slovenije ni bila zadovoljiva, saj so bile vrednosti na robovih mimo pričakovanj oz. ponekod celo negativne, sploh ob jugovzhodni in severni meji Slovenije.

Preglednica 6.5: Dejanska erozivnost padavin R , njen prvi približek R_{pp} po MLR in pripravljena razmerja oz. ostanki d_{pp} (za interpolacijo kriging) na 31 merilnih mestih ARSO.

Table 6.5: Actual rainfall erosivity R , its first approximation R_{pp} after MLR and the prepared ratios or residuals d_{pp} (for the kriging interpolation) on 31 ARSO measuring stations.

št.	merilno mesto ARSO	R [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R_{pp} [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	$d_{pp} = R/R_{pp}$
97	BILJE	4322.4	3949.3	1.09
268	CELJE	2455.3	2248.0	1.09
186	ČRNI VRH NAD POLH. GRADCEM	3153.8	4395.1	0.72
257	ČRNOMELJ - DOBLIČE	2496.9	1719.3	1.45
21	DAVČA	3900.4	4756.2	0.82
107	GODNJE	3714.4	4550.3	0.82
35	JAVORNIŠKI ROVT	4330.5	5699.4	0.76
339	KADRENCI	1619.8	1994.7	0.81
84	KAL NAD KANALOM	8414.8	6431.5	1.31
2	KAMNIŠKA BISTRICA	4519.3	5062.9	0.89
68	KNEŠKE RAVNE	10164.6	7399.0	1.37
174	KOČEVJE	3184.5	2238.5	1.42
403	LESCE	2539.6	2620.5	0.97
452	LISCA	2199.8	1877.9	1.17
192	LJUBLJANA - BEŽIGRAD	3625.3	2666.7	1.36
53	LOG POD MANGARTOM	7136.0	5846.6	1.22
86	LOKVE	6870.5	7877.7	0.87
311	MARIBOR - LETALIŠČE	1563.7	1910.8	0.82
358	MARTINJE	1196.2	47.9	24.99
355	MURSKA SOBOTA - RAKIČAN	1327.7	2743.7	0.48
249	NOVO MESTO	2107.4	2508.8	0.84
464	PORTOROŽ - LETALIŠČE	3151.7	3735.0	0.84
136	POSTOJNA	3361.3	4319.5	0.78
51	RATEČE - PLANICA	2844.2	5158.4	0.55
205	SEVNO	2253.5	2824.6	0.80
301	SLOVENSKE KONJICE	2757.6	2180.7	1.26
279	SOLČAVA	2580.7	2732.4	0.94
162	ŠMARATA	2882.5	3245.8	0.89
321	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU	2456.8	1370.8	1.79
437	VOGEL	8978.9	7328.6	1.23
76	VOJSKO	5920.2	6589.9	0.90

O morebitnih težavah smo predhodno sklepali tudi iz vrednosti R_{pp} za merilno mesto Martinje (preglednica 6.5). Zato smo na problematičnih območjih posegli po podatkih iz najbližjih padavinskih postaj, kjer se beležijo le dnevne višine padavin. Na osnovi korelacije letnih višin

padavin iz padavinskih postaj z višinami padavin na najbližjih pluviografskih postajah smo pridobili vrednosti za dejavnik R na 13 dodatnih merilnih mestih. Tako smo lahko ponovili postopek MLR, le da smo ga sedaj opravili na osnovi vrednosti dejavnika R na 44 merilnih mestih ARSO (slika 6.7). Privzeli smo enako kombinacijo spremenljivk kot prvič. Iz povzetka regresijskih statistik (priloga C2) izhaja, da ima spremenljivka ΔZ največjo težo pri linearnem modelu. Parametri MLR so prikazani v preglednici 6.6, nova izhodišča za izdelavo karte erozivnosti R pa v preglednici 6.7.



Slika 6.7: Lokacija disdrometrov, pluviografskih in dodatnih padavinskih postaj iz opazovalne mreže ARSO (44 točk), ki so bile uporabljene pri izdelavi karte erozivnosti padavin.

Figure 6.7: Location of the disdrometers, pluviographs and additional precipitation stations from the observational network of ARSO (44 points) used for the creation of the rainfall erosivity map.

Preglednica 6.6: Parametri ponovljene MLR za račun prvega približka erozivnosti padavin R_{pp} na podlagi izhodiščnih vrednosti erozivnosti padavin R na 44 merilnih mestih ARSO.

Table 6.6: Parameters of the repeated MLR for calculating the first approximation of rainfall erosivity R_{pp} on the basis of rainfall erosivity values R at 44 ARSO measuring stations.

$$R_{pp} = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4Y^2 + a_5Z + a_6\Delta Z + a_7XY + a_8XZ + a_9YZ$$

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
3.652E+04	-1.329E-01	0	1.204E-07	-2.398E-07	1.138E+01	2.420E+00	8.538E-08	-2.099E-05	0

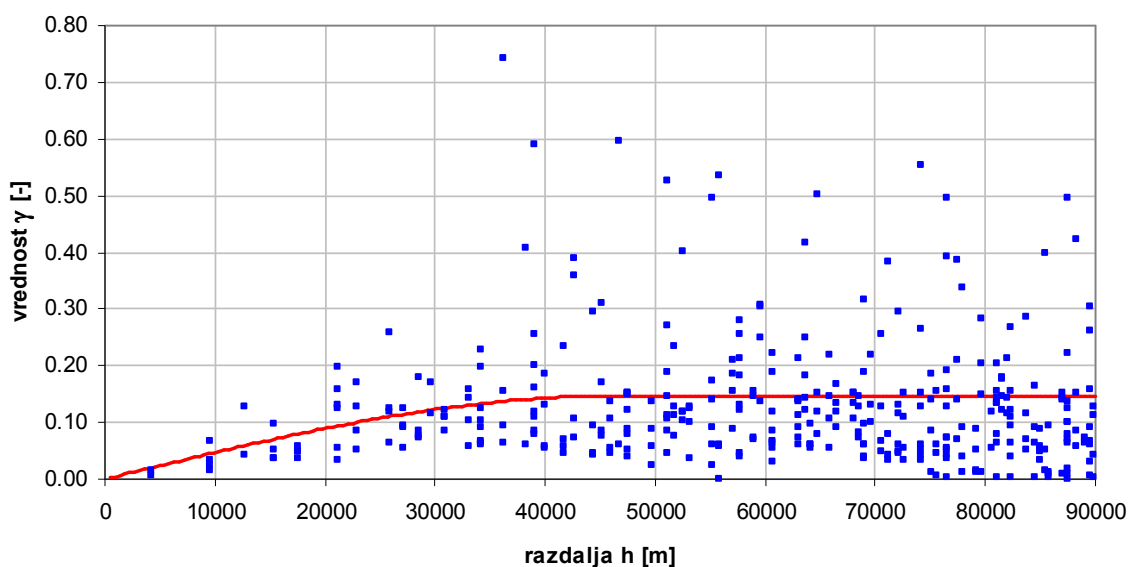
Preglednica 6.7: Dejanska erozivnost padavin R , njen prvi približek R_{pp} po ponovljeni MLR in pripravljena razmerja oz. ostanki d_{pp} (za interpolacijo kriging) na 44 merilnih mestih ARSO.

Table 6.7: Actual rainfall erosivity R , its first approximation R_{pp} after the repeated MLR and the prepared ratios or residuals d_{pp} (for the kriging interpolation) on 44 ARSO measuring stations.

št.	merilno mesto ARSO	R [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R_{pp} [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	$d_{pp} = R/R_{pp}$
97	BILJE	4322.4	5125.9	0.84
268	CELJE	2455.3	5032.4	0.49
186	ČRNI VRH NAD POLH. GRADCEM	3153.8	6264.5	0.50
257	ČRNOMELJ - DOBLIČE	2496.9	6061.4	0.41
21	DAVČA	3900.4	6378.5	0.61
107	GODNJE	3714.4	7056.3	0.53
35	JAVORNIŠKI ROVT	4330.5	6205.3	0.70
339	KADRENCI	1619.8	6150.5	0.26
84	KAL NAD KANALOM	8414.8	7138.7	1.18
2	KAMNIŠKA BISTRICA	4519.3	4250.7	1.06
68	KNEŠKE RAVNE	10164.6	4553.7	2.23
174	KOČEVJE	3184.5	4305.0	0.74
403	LESCE	2539.6	3484.2	0.73
452	LISCA	2199.8	2532.6	0.87
192	LJUBLJANA - BEŽIGRAD	3625.3	4556.9	0.80
53	LOG POD MANGARTOM	7136.0	2853.4	2.50
86	LOKVE	6870.5	2834.4	2.42
311	MARIBOR - LETALIŠČE	1563.7	2088.6	0.75
358	MARTINJE	1196.2	1736.8	0.69
355	MURSKA SOBOTA - RAKIČAN	1327.7	1957.0	0.68
249	NOVO MESTO	2107.4	3528.7	0.60
464	PORTOROŽ - LETALIŠČE	3151.7	1928.8	1.63
136	POSTOJNA	3361.3	1514.1	2.22
51	RATEČE - PLANICA	2844.2	2085.5	1.36
205	SEVNO	2253.5	1445.3	1.56
301	SLOVENSKE KONJICE	2757.6	1564.4	1.76
279	SOLČAVA	2580.7	574.4	4.49
162	ŠMARATA	2882.5	3587.7	0.80
321	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU	2456.8	7101.5	0.35
437	VOGEL	8978.9	2395.7	3.75
76	VOJSKO	5920.2	4249.0	1.39
231	BIZELJSKO	1784.3	2587.4	0.69
320	DRAVOGRAD	1879.9	2363.1	0.80
348	JERUZALEM	1816.3	1907.1	0.95
352	LENDAVA	1176.4	2639.8	0.45
325	LUKANJA	2798.8	2640.6	1.06
322	MISLINJA	2490.5	2577.4	0.97
331	POLIČKI VRH	1502.4	1241.0	1.21
316	REMŠNIK	2333.0	1182.4	1.97
324	RIBNICA NA POHORJU	2614.9	1419.6	1.84
259	SINJI VRH	2706.6	1970.4	1.37
286	STROJNA	1817.2	2033.8	0.89
60	ŽAGA	8845.2	6918.8	1.28
262	ŽETALE	2441.9	2214.2	1.10

6.3.2 Preliminarna karta erozivnosti padavin Slovenije

Pot do zadovoljivega končnega rezultata je vodila skozi nekaj ponovitev navadne kriging interpolacije. Na podatkovni niz smo aplicirali logaritično transformacijo, izbrali smo sferični model prostorske odvisnosti med znanimi vrednostmi na podlagi semivariograma (slika 6.8), pri iskanju sosedov v krogu z radijem 90 km pa smo upoštevali faktor glajenja 0,5. Pri interpolaciji smo dodali še osem točk oz. uteži na skrajnem severovzhodu Slovenije, saj so vrednosti dejavnika R na določenih mestih (predvsem na robovih) še vedno zasedale nižje vrednosti od najnižjih pričakovanih, tako da smo končni rezultat dosegli tudi s pomočjo "ročnih" korekcij. Karta erozivnosti padavin (in površinskega odtoka) je prikazana na sliki 6.9.



Slika 6.8: Semivariogram interpolacije navadnega kriginga (modre točke) in izbrani sferični model prostorske odvisnosti (rdeča črta) med znanimi vrednostmi.

Figure 6.8: Semivariogram of the ordinary kriging interpolation (blue points) and the chosen spherical model of the spatial dependence (red line) between the known values.

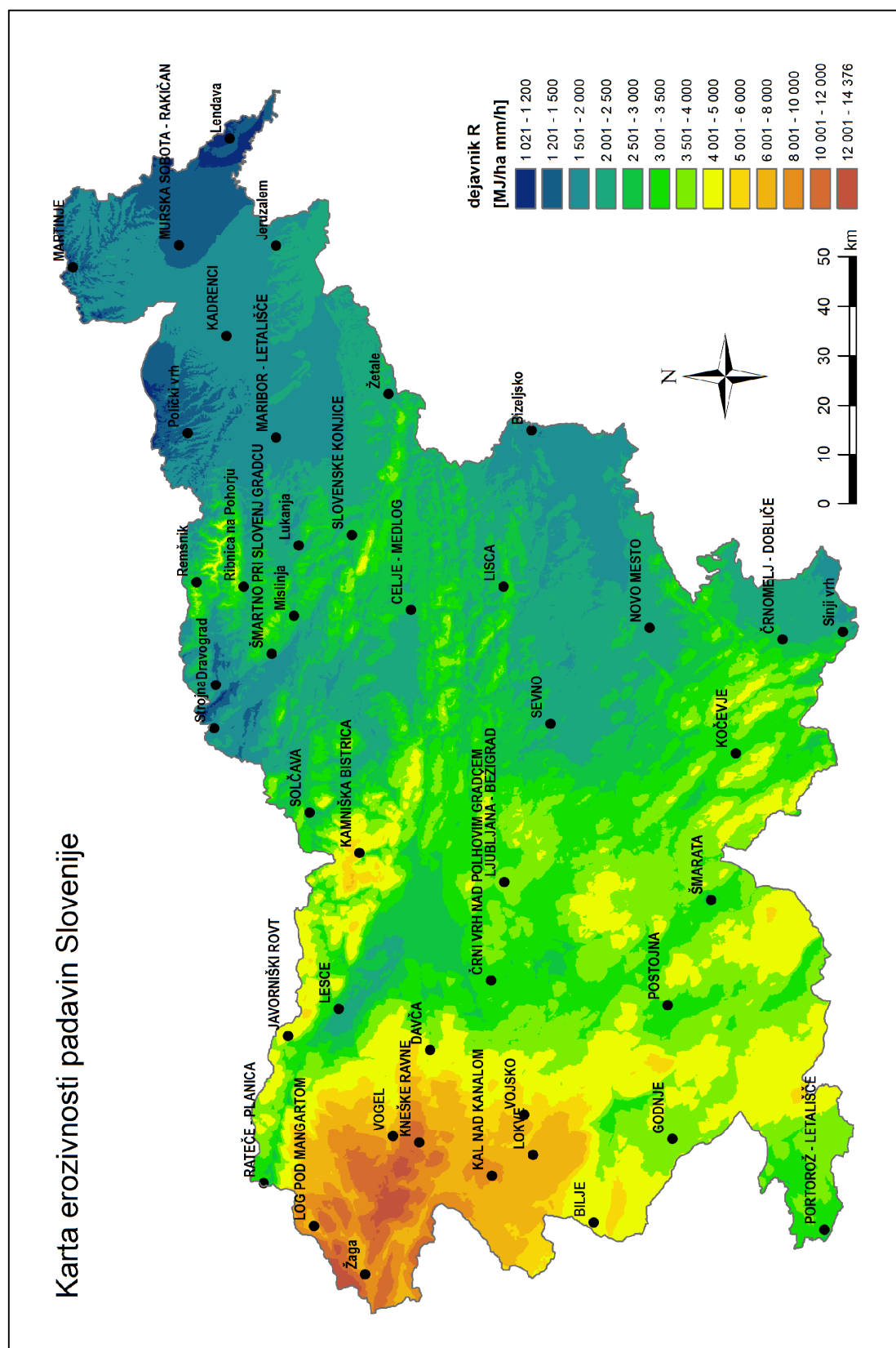
Najnižje vrednosti erozivnosti padavin v Sloveniji najdemo, kot že omenjeno, na skrajnem severovzhodu države, kjer se vrednosti gibljejo med 1000 in 2000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, najvišje pa na najvišjih območjih Julijskih Alp, kjer vrednosti presegajo 10 000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, na določenih območjih (Krnsko pogorje) pa celo 14 000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. Iz karte je razvidno, da v Sloveniji prevladujejo območja z erozivnostjo padavin med 2000 in 4000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ in

tako zasedajo 61 % celotnega območja Slovenije. V preglednici 6.8 so prikazani deleži razredov dejavnika R po površju Slovenije glede na izdelano karto erozivnosti padavin. Srednja vrednost erozivnosti padavin R v Sloveniji znaša $3393 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$.

Preglednica 6.8: Porazdelitev razredov dejavnika R glede na preliminarno karto erozivnosti padavin.

Table 6.8: *Distribution of the R factor classes according to the preliminary rainfall erosivity map.*

razred dejavnika R [$\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$]	delež površja Slovenije [%]
1021 do 1200	0,5
1200 do 1500	3,6
1500 do 2000	13,0
2000 do 2500	16,7
2500 do 3000	14,3
3000 do 3500	15,4
3500 do 4000	14,6
4000 do 5000	11,9
5000 do 6000	2,5
6000 do 8000	4,0
8000 do 10000	2,0
10000 do 12000	1,3
12000 do 14376	0,4



Slika 6.9: Preliminarna karta erozivnosti padavin in površinskega odтока (dejavnika R) Slovenije.
Figure 6.9: Preliminary rainfall-runoff erosivity (R factor) map of Slovenia.

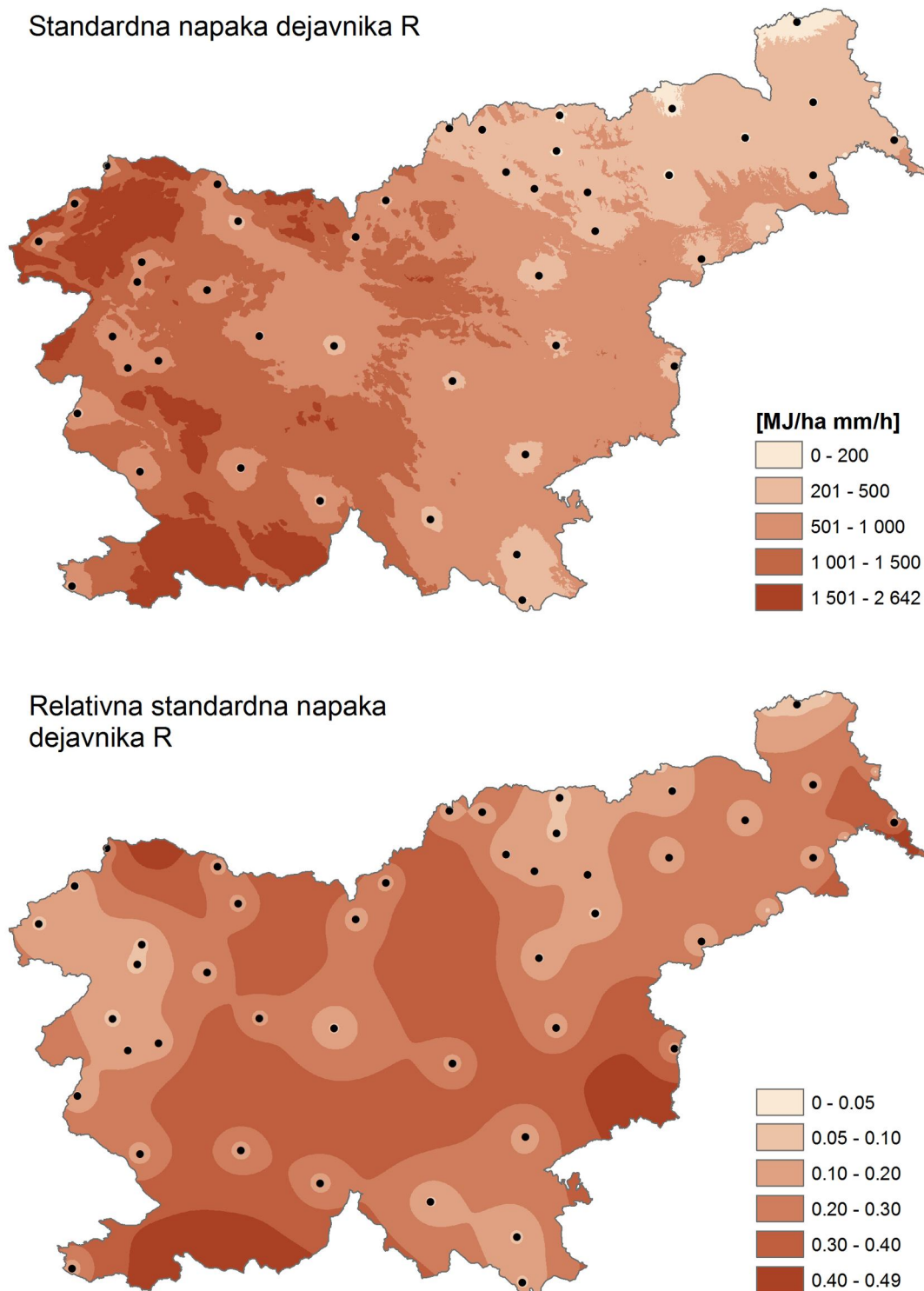
6.3.3 Pomanjkljivosti in možne izboljšave karte erozivnosti padavin Slovenije

Bistvena pomanjkljivost izdelane karte erozivnosti padavin Slovenije je relativno slaba natančnost napovedi dejavnika R (slika 6.10). Ta nenatančnost izhaja iz interpolacije prostorskih podatkov zaradi dveh bistvenih razlogov:

- izhodišče za izdelavo karte dejavnika R je bila relativno redka mreža pluviografskih postaj s podatkovnim nizom vsaj 10 let (1999–2008) in
- pri izdelavi karte R nismo imeli na voljo padavinskih podatkov z visoko časovno resolucijo onstran slovenske meje.

Kot že povedano, smo ti dve pomanjkljivosti zasilno odpravili tako, da smo na najbolj kritičnih območjih mrežo dopolnili s padavinskimi postajami, kjer se beležijo dnevne višine padavin in v teh točkah določili dejavnik R s pomočjo korelacije iz letnih višin padavin, oz. da smo v posameznih točkah ob meji Slovenije privzeli pričakovane vrednosti za dejavnik R .

Iz slike 6.10 je razvidno, da je na območjih, kjer smo zgostili mrežo znanih vrednosti dejavnika R oz. je ta bolj gosta kot drugje, relativna standardna napaka najmanjša. Najbolj problematična območja so tista, kjer ni znanih vrednosti R oz. ni daljšega niza pluviografskih meritev padavin. Ta območja so: širše območje Brkinov in Idrije, Karavanke oz. Jezersko, Koroška, Suha Krajina, Posavje in Pomurje. Podobno ugotavljajo tudi Angulo-Martínez in sod. (2009), ki so testirali številne interpolacijske metode (regresijske, geostatistične, mešane) za izdelavo karte erozivnosti padavin na povodju reke Ebro (Španija). Na približno enako gosti mreži znanih vrednosti dejavnika R kot v našem primeru (Ebro – 112 postaj na 85 000 km², Slovenija – 31 postaj na 20 000 km²) so vse interpolacijske metode pokazale visoko negotovost kot posledico visoke spremenljivosti dejavnika R tako v časovnem kot tudi prostorskem smislu. Pri tem poudarjajo pomen dolgoletnega niza podatkov z gosto prostorsko pokritostjo.



Slika 6.10: Standardna napaka (zgoraj) in relativna standardna napaka dejavnika *R* (spodaj), ki izhajata iz uporabljene interpolacije kriging pri izdelavi karte erozivnosti padavin Slovenije.

Figure 6.10: Standard error (above) and the relative standard error (below) of the *R* factor originating from the kriging interpolation involved in the creation of the rainfall erosivity map of Slovenia.

Tako je zgostitev mreže znanih vrednosti dejavnika R največji potencial za izboljšavo karte erozivnosti padavin oz. zmanjšanje standardne napake interpolacije kriging (slika 6.10, zgoraj). To lahko storimo na več načinov. Dodatne pluviografske meritve bi bile odlična rešitev, če ne bi bila ta časovno zahtevna, saj za oceno dejavnika R potrebujemo dolgoletni niz podatkov. Druga rešitev je veliko hitrejša: lahko uporabimo obstoječe podatke o dnevnih oz. mesečnih višinah padavin, ki se beležijo na gosti mreži padavinskih postajah ARSO, in s pomočjo katere od predlaganih metod, npr. MFI (glej poglavje 2.5), bi lahko ocenili vrednosti dejavnika R .

K izboljšavi karte erozivnosti padavin bi zagotovo prispevale tudi dodatne meritve porazdelitve padavinskih delcev na skrajnem severovzhodu Slovenije, saj je tam erozivnost padavin najnižja. Enako velja tudi za hribovita območja, kjer prihaja do velikih sprememb erozivnosti padavin na majhnih razdaljah (Julijske Alpe, Karavanke, Kamniške Alpe, Pohorje). Na teh območjih bi meritve DSD opravljene v paru na relativno majhni razdalji, a občutni višinski razliki, zagotovo izboljšale napovedi kinetične energije oz. erozivnosti padavin. Pri tem bi bilo nujno uporabiti enaka instrumenta z zelo dobro kalibracijo oz. enakim odzivom, da ne bi prišlo do nekontroliranih napak, o čem je bilo govora v poglavju 5.2.5.

7 ZAKLJUČKI

7.1 ZAKLJUČKI MERITEV

V sklopu raziskave doktorske disertacije smo opravljali tri vrste meritev: meritve intenzitete padavin, porazdelitve padavinskih delcev (DSD) in sproščanja tal. Časovni okvir opravljenih meritev je podan v preglednici 4.1 (poglavje 4.1).

Meritve intenzitete padavin smo opravljali v podporo meritvam DSD in sproščanja tal na petih merilnih mestih z dvema različnima instrumentoma: RG2-M (meritve izvajala KSH) in Pluvio (meritve izvajala ARSO). Oba dežemera sta se ob rednem vzdrževanju izkazala kot zanesljiva. Bistvena ugotovitev je bila, da je dežemer RG2-M le delno uporaben pri raziskavah erozivnosti padavin v Sloveniji, saj ni sposoben zabeležiti najvišjih intenzitet padavin ob ekstremnih nalivih, ko intenzitete presežejo zgornjo mejo merilnega območja dežemera, kar se zgodi vsaj enkrat letno.

Meritve DSD smo opravljali na štirih merilnih mestih, ki spadajo k trem podnebnim območjem Slovenije: submediteransko, subalpsko in zmerno celinsko. Pri tem smo uporabili štiri disdrometre dveh proizvajalcev z enakim merilnim principom: OTT Parsivel in Thies Clima LPM300. Zanesljivost sistema za merjenje DSD je bila predvsem odvisna od enote za zapisovanje podatkov, ki je pri temperaturah okoli ledišča večkrat izpadla. S stališča erozivnosti padavin to ni problematično, saj je delež zimskih padavin pri letni erozivnosti padavin na območju Slovenije v povprečju okrog 5 %. V splošnem so vsi štirje disdrometri merili previsoke intenzitete padavin, kar je bilo glede na izkušnje drugih raziskovalcev pričakovano. Povprečna odstopanja od pričakovanih višin padavin erozivnih dogodkov, ki so bile izmerjene z dežemeri, so bila pri vseh štirih disdrometrih različna: 35 % (Bovec), 7 % (Ilirska Bistrica), 23 % (Kozjane) in 26 % (Ljubljana). Podobna odstopanja so bila zabeležena tudi s strani enega od proizvajalcev ob primerjavi istočasnih meritev s tremi disdrometri enakega tipa in na isti lokaciji (Lanzinger *s sod.*, 2006).

Meritve sproščanja tal v Marezigah smo izvajali dve leti. Erozijske ploskve velikosti 1 m^2 so bile postavljene na tleh z različno pokrovnostjo: na golih tleh v mladem oljčniku, na travniku v zaraščanju in v gozdu. Povprečna letna količina sproščenih tal na neporaščenih tleh v oljčniku z naklonom 5,5 % je znašala 112,5 t/ha, na travniku v zaraščanju pod naklonom 9,4 % 0,75 t/ha, ter 3,2 t/ha oz. 1,2 t/ha v gozdu na tleh z naklonom 7,8 % oz. 21,4 %. Takšne vrednosti specifičnega sproščanja tal so višje od povprečnih vrednosti v Sloveniji (preglednica 1.1), kar je bilo glede na slabo erozijsko odpornost flišnih tal v Slovenski Istri pričakovano. Od tega odstopajo le vrednosti, merjene na travniku, kjer ocenjujemo, da se precejšen delež talnih delcev kmalu po sprostitvi tudi odloži in ne doseže zbirnega lijaka erozijske ploskve, kar je posledica počasnega površinskega odtoka na travniku. Izmerjena količina sproščenih tal na golih tleh je dokaj skladna z vrednostmi, ki jih navaja Zorn (2007) na podlagi opravljenih meritev na istih erozijskih ploskvah, medtem ko vrednosti na travniku in gozdu odstopajo precej več, tudi za nekajkrat (preglednica 4.10). Ocenjujemo, da je poglavitni razlog za takšna odstopanja merilna metoda, ki ne izključuje subjektivnih elementov vzdrževalca erozijskih ploskev, še posebej pri tako nizkih kumulativnih količinah sproščenih tal na travniku in v gozdu (med 48 g/leto in 402 g/leto). Deleži sproščenih tal v poletnem trimesečju so najvišji in v povprečju znašajo 65 % na golih tleh v oljčniku, 81 % na travniku in med 58 % (blag naklon) in 70 % (oster naklon) v gozdu. Povprečni odtočni količniki iz erozijskih ploskev pa so znašali: 0,36 na neporaščenih tleh v oljčniku, 0,18 na travniku in 0,14 v gozdu.

7.2 IZPELJANE ENAČBE ZA RAČUN KINETIČNE ENERGIJE PADAVIN

Triparametrške eksponentne $KE-I$ funkcijske odvisnosti, ki povezujejo kinetično energijo padavin z intenzitetami padavin in služijo kot izhodišče za določanje erozivnosti padavin, smo izpeljali na podlagi meritev DSD. Povzetek parametrov izpeljanih enačb za vsa štiri merilna mesta je podan v preglednici 5.5. V sedmih od osmih primerov (po dve enačbi za vsako merilno mesto – za uporabo z 1- oz. 5-minutnimi intenzitetami padavin) je parameter a enak 0,60, kar nakazuje, da bi morda osnovno enačbo lahko posplošili in parameter a privzeli kot konstanto. Ugotovili smo, da je enačba Browna in Fosterja (1987), ki je pri računu erozivnosti padavin priporočena pri metodologiji RUSLE (Renard in sod., 1997), neprimerna za vsa podnebna območja Slovenije, saj v povprečju podceni kinetično energijo erozivnih dogodkov

za približno 23 %. Primerjava učinkovitosti izpeljanih enačb z učinkovitostmi enačb drugih svetovnih avtorjev je tri enačbe izpostavila kot zelo primerne za uporabo v Sloveniji. To so enačbe naslednjih avtorjev (glej preglednico 3.9): Usón in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), Zanchi in Torry (1980) ter Wischmeier in Smith (1958). Meritve DSD na vseh merilnih mestih so pokazale izrazito linearno odvisnost kinetične energije E erozivnih dogodkov od skupne višine padavin P erozivnega dogodka. Tako bi lahko ob rahli poenostavitvi $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki smo jo privzeli v poglavju 5.2.5, kinetično energijo E erozivnih dogodkov, izraženo v MJ ha^{-1} , izračunali kot 20 % delež skupne višine padavin P erozivnega dogodka, izražene v mm.

7.3 EROZIVNOST PADAVIN KOT FUNKCIJA MAKSIMALNIH INTENZITET RAZLIČNEGA TRAJANJA

Na podlagi meritev intenzitete padavin v Marezigah in izpeljane enačbe za račun specifične kinetične energije padavin v submediteranskem podnebnem območju smo določili erozivnost padavin oz. podnebne dejavnike R , ki so bili opredeljeni drugače kot pri metodologiji (R)USLE: produkt EI_{30} smo zamenjali s produktom $k_x^{-1}EI_x$. Pri tem so I_x pomenile maksimalne intenzitete padavin s 5-, 10-, 15-, 20-, 30- oz. 60-minutnim trajanjem, količnik k_x pa je poskrbel za normiranje oz. medsebojno istosmiselnost drugače opredeljenih dejavnikov R (poglavje 5.3.2). Normirane erozivnosti padavin smo korelirali s količino sproščenih tal na erozijskih ploskvah, ki so bile postavljene na neporaščenih tleh v oljčniku, na treh stopnjah: na stopnji erozivnih dogodkov, na mesečni ter trimesečni stopnji. Ugotovljeno je bilo, da je količina sproščenih tal v najboljši povezavi z normirano erozivnostjo padavin $k_5^{-1}EI_5$ na vseh treh stopnjah kot posledica večje spremenljivosti I_5 v primerjavi z ostalimi maksimalnimi intenzitetami I_x . Pri tem je treba opozoriti, da je to izboljšanje relativno majhno glede na uveljavljeno erozivnost padavin EI_{30} in da je dveletni podatkovni niz prekratek, da bi lahko z visoko gotovostjo potrdili normirano erozivnost padavin $k_5^{-1}EI_5$ kot boljši podnebni dejavnik pri sproščanju tal.

7.4 KARTA EROZIVNOSTI PADAVIN SLOVENIJE

Erozivnost padavin R smo določili za 31 merilnih mest, ki sodijo v pluviografsko padavinsko mrežo ARSO. Pri tem smo merilna mesta razdelili po podnebnih območjih in jim pripisali ustrezno $KE-I$ funkcijskih odvisnost. Dodatno smo ocenili erozivnost padavin v 13 točkah, kjer se beležijo dnevne višine padavin, na podlagi korelacije letnih višin padavin z višinami padavin na najbližjih pluviografskih postajah. Tako smo pri izdelavi karte erozivnosti padavin izhajali iz znanih vrednosti dejavnika R v 44 točkah znotraj Slovenije. Iz karte erozivnosti padavin, pridobljene z mešano interpolacijsko metodo (kombinacija regresije in geostatistične kriging interpolacije), ugotavljamo, da so najnižje vrednosti dejavnika R na skrajnem severovzhodu države, med 1000 in 2000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹, najvišje pa na najvišjih območjih Julijskih Alp, kjer se vrednosti povzpnejo tudi čez 10 000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. V Sloveniji prevladujejo območja z erozivnostjo padavin med 2000 in 4000 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ in tako zasedajo 61 % celotnega območja Slovenije. Srednja vrednost erozivnosti padavin R v Sloveniji znaša 3393 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹. Izdelana karta ima relativno slabo natančnost, ki izhaja iz geostatistične interpolacije, kot posledica nizke gostote mreže znanih vrednosti erozivnosti padavin. K povišanju negotovosti karte erozivnosti padavin je prispevalo tudi dejstvo, da podatkov o erozivnosti padavin onstran slovenske meje nismo posedovali. Zato izdelano karto erozivnosti padavin imenujemo kot preliminarno, saj obstajajo možnosti za izboljšavo njene natančnosti.

7.5 USMERITVE ZA NADALJNJE DELO

Glede na ugotovitve in rezultate opravljenih raziskav vidimo velik potencial v nadaljevanju raziskovalnega dela. Z dodatnimi meritvami porazdelitve padavinskih delcev na vzhodu države bi lahko prišli do dodatnih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, ki bi pripomogle k njihovem morebitnemu poenotenju z veljavnostjo za celotno območje Slovenije oz. splošne poenostavitve računa kinetične energije padavinskih dogodkov. Te meritve bi pripomogle tudi k izboljšavi preliminarne karte erozivnosti padavin, saj bi dodatne meritve v hribovitih območjih, kjer bi jih bilo treba opraviti v paru v točkah z relativno majhno oddaljenostjo, a občutno višinsko razliko, koristile pri prostorskem modeliranju erozivnosti padavin v alpskih

predelih Slovenije. Največji potencial za izboljšavo preliminarne karte erozivnosti padavin je zgostitev mreže znanih vrednosti erozivnosti padavin, pri čemer bi bilo treba uporabiti podatke iz številnih padavinskih postaj ARSO, kjer se beležijo dnevne višine padavin, in oceniti erozivnost padavin s katero od predlaganih metod, kot je na primer metoda modificiranega Fournierjevega indeksa. Nujno bi bilo upoštevati tudi padavinske podatke iz obmejnih pokrajin v sosednjih državah, saj bi to prispevalo k bistveno boljšim napovedim erozivnosti padavin na robovih oz. ob meji Slovenije.

8 POVZETEK

Raziskovalno delo v okviru pričujoče doktorske disertacije je bilo opravljeno v podporo ocenjevanju erozivnosti padavin v Sloveniji in posledično boljši kvantifikaciji erozijskih procesov. Doktorska disertacija obravnava erozivnost padavin kot podnebni dejavnik erozije tal, ki je opredeljena v okvirih široko uporabljene metodologije za napovedovanje izgube tal (R)USLE.

Težišče raziskave so bile meritve in analiza porazdelitve padavinskih delcev, ki smo jih opravljali na štirih merilnih mestih: Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane in Ljubljana. Disdrometri so v merilnem obdobju, ki je na posamezni lokaciji trajalo vsaj eno leto, zabeležili zadostno število erozivnih dogodkov, da smo lahko ob podpori sočasnih meritev intenzivnosti padavin izpeljali triparametrsk eksponentne $KE-I$ funkcijske odvisnosti, ki povezujejo specifično kinetično energijo padavin z njihovo intenziteto. Za vsako merilno mesto sta bili izpeljani po dve enačbi: za uporabo z 1-minutnimi oz. 5-minutnimi intenzitetami padavin. Slednje so običajen podatek, ki se beleži na pluviografskih padavinskih postajah v sklopu merilne mreže Agencije Republike Slovenije za okolje. Le pri eni od izpeljanih enačb je eden od treh parametrov eksponentne enačbe zasedal vrednost drugačno kot 0,60, kar nakazuje, da bi ob dodatnih raziskavah na vzhodu države eksponentno enačbo morda lahko posplošili v dvoparametrsko. Izpeljane enačbe smo primerjali s predlaganimi enačbami svetovnih avtorjev, ki veljajo za specifično podnebno območje oz. regijo ter opredeljeno območje intenzivnosti padavin. Primerjava učinkovitosti je tri enačbe izpostavila kot zelo primerne za uporabo v Sloveniji. To so enačbe avtorjev Usón in Ramos (2001) v kombinaciji s Sempere Torres in sod. (1992), Zanchi in Torry (1980) ter Wischmeier in Smith (1958). Zelo pomembna ugotovitev je, da je enačba Browna in Fosterja (1987), ki je v okviru metodologiji RUSLE (Renard in sod., 1997) priporočena pri računu erozivnosti padavin, neprimerna za vsa podnebna območja Slovenije, saj v povprečju podceni kinetično energijo erozivnih dogodkov za približno 23 %. Meritve DSD na vseh merilnih mestih so pokazale izrazito linearno odvisnost kinetične energije E erozivnih dogodkov od višine padavin P erozivnih dogodkov. Tako bi lahko ob rahli poenostavitvi $KE-I$ funkcijskih odvisnosti kinetično energijo erozivnih

dogodkov, izraženo v MJ ha^{-1} , izračunali kot 20 % delež skupne višine padavin erozivnega dogodka, izražene v mm.

Izpeljane enačbe smo uporabili pri računu erozivnosti padavin v 31 točkah, ki so predstavljale pluviografska merilna mesta ARSO z vsaj 10-letnim nizom podatkov med letoma 1999 in 2008. Točke smo porazdelili v skupine glede na pripadajoče podnebno območje, za katero velja ena od izpeljanih $KE-I$ funkcijskih odvisnosti. Erozivnost padavin smo dodatno ocenili v 13 točkah, ki so predstavljale padavinske postaje ARSO z dnevnim opazovanjem višine padavin, na podlagi korelacije letnih višin padavin z višinami padavin na najbližjih pluviografskih postajah. Tako smo zagotovili izhodišče za izdelavo karte erozivnosti padavin oz. znane vrednosti erozivnosti padavin v 44 točkah znotraj Slovenije. Karto erozivnosti padavin Slovenije smo izdelali z mešano interpolacijsko metodo, pri čemer smo kombinirali multiplo linearno regresijo po spremenljivkah digitalnega modela reliefa s 100-metrsko ločljivosti in geostatistično interpolacijo navadnega kriginga po ostankih. Izdelana karta erozivnosti padavin ima relativno slabo natančnost, ki izhaja iz postopka interpolacije kriging, kot posledica relativno redke mreže znanih vrednosti erozivnosti padavin. K povišanju negotovosti karte erozivnosti padavin je prispevalo tudi dejstvo, da podatkov o erozivnosti padavin onstran slovenske meje nismo posedovali. Zato izdelano karto erozivnosti padavin jemljemo kot preliminarno, saj obstajajo možnosti za njeno izboljšanje, predvsem preko zgostitve mreže znanih vrednosti erozivnosti padavin s točkami, kjer se beležijo dnevne višine padavin. Osnovne ugotovitve iz preliminarne karte erozivnosti padavin Slovenije so:

- najnižje vrednosti erozivnosti padavin najdemo na skrajnem severovzhodu države, med 1000 in $2000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$,
- najvišje vrednosti erozivnosti padavin najdemo na najvišjih območjih Julijskih Alp, kjer se vrednosti povzpnejo tudi čez $10\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$ in izjemoma presežejo $14\,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$,
- srednja vrednost erozivnosti padavin na celotnem območju Slovenije znaša $3393 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$, in
- v Sloveniji prevladujejo območja z erozivnostjo padavin med 2000 in $4000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$ in zasedajo 61 % celotnega območja države.

Z dveletnimi meritvami površinskega odтока in spiranja tal z eksperimentalnih ploskev velikosti 1 m^2 , ki so bile postavljene v okolici Marezig na tleh z različno pokrovnostjo (neporaščena tla v oljčniku, travnik v zaraščanju, gozd), in istočasnimi meritvami intenzitete padavin smo določili pomen maksimalnih intenzitet padavin različnega trajanja pri procesu spiranja tal. Pri tem smo uporabili izpeljano enačbo za račun specifične kinetične energije padavin, veljavno za submediteransko podnebje, in preračunali erozivnost padavin oz. podnebne dejavnike, ki so bili opredeljeni drugače kot pri metodologiji (R)USLE: produkt kinetične energije erozivnega dogodka in maksimalne 30-minutne intenzitete padavin (EI_{30}) smo zamenjali s produktom $k_x^{-1}EI_x$. Pri tem so I_x pomenile maksimalne intenzitete padavin s 5-, 10-, 15-, 20-, 30- oz. 60-minutnim trajanjem, količnik k_x pa konstanto za normiranje drugače opredeljene erozivnosti padavin. Tako normirane erozivnosti padavin smo korelirali z izmerjeno količino sproščenih tal iz erozijskih ploskev na treh stopnjah: na stopnji erozivnih dogodkov, na mesečni ter trimesečni oz. sezonski stopnji. Na vseh treh stopnjah je bila količina sproščenih tal v najboljši povezavi z normirano erozivnostjo padavin $k_5^{-1}EI_5$ kot posledica večje spremenljivosti in zmožnosti I_5 , da sledi spremembam sproščanja tal, v primerjavi z ostalimi maksimalnimi intenzitetami I_x . Izboljšanje glede na uveljavljeno erozivnost padavin EI_{30} je bilo relativno majhno in dveletni podatkovni niz prekratek, da bi lahko z gotovostjo potrdili normirano erozivnost padavin $k_5^{-1}EI_5$ kot boljši podnebni dejavnik pri sproščanju tal. V času meritev (1. 8. 2006–13. 8. 2008) je znašala povprečna letna količina sproščenih tal na neporaščenih tleh v oljčniku z naklonom $5,5^\circ$ $112,5 \text{ t/ha}$, na travniku v zaraščanju pod naklonom $9,4^\circ$ $0,75 \text{ t/ha}$, ter $3,2 \text{ t/ha}$ oz. $1,2 \text{ t/ha}$ na tleh z naklonom $7,8^\circ$ oz. $21,4^\circ$ v gozdu. Takšna sproščanja tal so v Sloveniji nadpovprečna, kar je bilo glede na slabo erozijsko odpornost flišnih tal v Slovenski Istri pričakovano. Deleži sproščenih tal v poletnem trimesečju so bili najvišji in so v povprečju znašali 65 % na neporaščenih tleh v oljčniku, 81 % na travniku in 58 % oz. 70 % v gozdu z blagim oz. ostrim naklonom. Povprečni odtočni količniki iz erozijskih ploskev pa so znašali: 0,36 na neporaščenih tleh v oljčniku, 0,18 na travniku in 0,14 v gozdu.

9 SUMMARY

The research work in the context of this thesis was carried out in support of the rainfall erosivity estimation in Slovenia aiming to improve the quantification of the erosion processes. The doctoral dissertation deals with rainfall erosivity as the climate soil erosion factor which is defined in the framework of the widely used (R)USLE procedure for soil loss estimation.

The central point of the research work is measurements and analyses of raindrop-size distribution. The measurements were performed at four measuring sites: Bovec, Ilirska Bistrica, Kozjane and Ljubljana. The disdrometers recorded a sufficient number of erosive events in the measuring period on each location, where simultaneous rainfall intensity measurements were also performed. In this way we could establish the three-parametric exponential $KE-I$ relationships that relate the rainfall specific kinetic energy and the rainfall intensity. Two exponential $KE-I$ relationships were established for each measuring site, for 1-minute and 5-minute rainfall intensity data, respectively. The latter are recorded at the meteorological stations maintained by the Environmental Agency of the Republic of Slovenia (ARSO), which are equipped with an pluviograph. One of the three parameters in the exponential equation has a value different than 0.60 in one case only. This indicates the possibility to generalise the exponential equation into a two-parametric one if additional measurements are performed in the eastern part of Slovenia. The performances of the established $KE-I$ relationships were compared with those of the $KE-I$ relationships proposed by authors throughout the world, which are valid for specific climate region and rainfall intensity range. The comparison exposed three equations as highly suitable for use in Slovenia. These equations have been proposed by Usón & Ramos (2001) in combination with Sempere Torres *et al.* (1992), Zanchi & Torry (1980) and Wischmeier & Smith (1958). The equation of Brown & Foster (1987), the reference for delivering the rainfall erosivity factor in the widely used RUSLE procedure (Renard *et al.*, 1997) for soil loss estimation, underestimated the erosive events kinetic energy by approximately 23% on average and, consequently, it cannot be considered suitable for rainfall kinetic energy estimation in Slovenia. The DSD measurements showed strong linear dependence of the erosive event kinetic energy E from the cumulative erosive event rainfall P . Thus, considering a small

simplification of the $KE-I$ relationships, the erosive event kinetic energy in MJ ha^{-1} could be expressed as a 20% portion of the cumulative erosive event rainfall in mm.

The established equations were used for the rainfall erosivity calculation in 31 points representing the pluviographic meteorological stations maintained by ARSO with at least a 10-year data set between 1999 and 2008. The points were divided into groups according to the corresponding climate region for which one of the established $KE-I$ relationships is valid. The rainfall erosivity was additionally estimated in 13 points, representing the meteorological stations maintained by ARSO with daily rainfall observations, using correlation between the annual rainfall heights and the annual rainfall heights from the pluviographic stations. Thus, the known rainfall erosivity values at 44 points in Slovenia were the starting point for creation of the rainfall erosivity map. The rainfall erosivity map of Slovenia was created using the mixed interpolation procedure, which is a combination of the multiple linear regression on variables from the 100-metre digital elevation model and the geostatistical interpolation method of ordinary kriging on residuals. Admittedly, the created map has relatively poor accuracy that originates from the kriging interpolation procedure as a consequence of the relatively scarce network of known rainfall erosivity values. The high uncertainty was supported by the fact that we did not possess the data on rainfall erosivity from the regions beyond the Slovenian border. Due to these reasons we regard the created rainfall erosivity map as preliminary, especially since there are possibilities for improving the map through densifying the network of the known rainfall erosivity values by including the points where daily rainfall is observed. The main conclusions from the preliminary rainfall erosivity map of Slovenia are:

- the lowest rainfall erosivity values, between 1000 and $2000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$, are found in the northeastern-most part of Slovenia,
- the highest rainfall erosivity values, greater than $10,000$ and exceptionally over $14,000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$, are found at the highest parts of the Julian Alps,
- the average rainfall erosivity of Slovenia amounts to $3393 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$, and
- areas with rainfall erosivity between 2000 and $4000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$ prevail, covering 61% of the Slovenian territory.

The significance of the maximum rainfall intensities of different duration for the soil erosion process was determined with simultaneous rainfall intensity measurements and surface runoff and soil loss measurements. The measurements were performed for two years using 1-m² experimental plots on soil with different land use (bare soil in an olive grove, overgrown meadow and forest), set up on the slope south of the village of Marezige. The previously established $KE-I$ relationship, valid for the submediterranean climate region, was used for calculating the rainfall erosivity and the climate erosion factors, which were defined differently as in the (R)USLE methodology: the product of the erosive event kinetic energy and its maximum 30-minute rainfall intensity EI_{30} was replaced by the $k_x^{-1}EI_x$ product. Here I_x denotes the maximum rainfall intensities of 5-, 10-, 15-, 20-, 30- oz. 60-minute duration and k_x the quotient for normalising the differently defined rainfall erosivities. The rainfall erosivities were correlated with the measured soil loss from the experimental plots on three levels: on erosive event level, and on monthly and seasonal levels. The soil loss quantity was in best relation with the $k_5^{-1}EI_5$ normalised rainfall erosivity as a consequence of the greater variability and the ability of I_5 to follow the soil loss changes if compared with the other rainfall intensities I_x . This improvement is relatively small if compared with the performance of the well established rainfall erosivity EI_{30} , while the obtained data set is too short to confirm that $k_5^{-1}EI_5$ is the better soil erosion climate factor. The average annual soil loss in the measurement period (1st August 2006–13th August 2008) amounted to 112.5 t/ha on bare soil in the olive grove with a slope of 5.5°, 0.75 t/ha on the overgrown meadow with a slope of 9.4°, 3.2 t/ha in the forest with a slope of 7.8°, and 1.2 t/ha in the forest with a slope of 21.4°. Such specific soil losses are above the Slovenian average and they were expected according to the poor erosion resistance of the flysch soil in Slovenska Istra. The summer soil loss portions were the highest and, on average, they amounted to 65% on bare soil in the olive grove, 81% on the overgrown meadow, and 58% and 70% in the forest with the milder and greater slope, respectively. The average runoff coefficients from the experimental plots amounted to 0.36, 0.18 and 0.14 on bare soil in the olive grove, on the overgrown meadow and in the forest, respectively.

VIRI

Abu Hammad, A., Lundekvam, H., Borresen, T. 2005. Adaptation of RUSLE in the Eastern Part of the Mediterranean region. *Environ. Manage.* 34: 829-841.

Agassi, M., Bradford, J.M. 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil Till. Res.* 49: 277-287.

Agnese, C., Bagarello, V., Corrao, C., D'Agostino, L., D'Asaro, F. 2006. Influence of the rainfall measurement interval on the erosivity determinations in the Mediterranean area. *J. Hydrol.* 329: 39-48.

Angulo-Martínez, M., López-Vicente, M., Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro basin (NE Spain). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13: 1907-1920.

Area by land use. Eurostat yearbook 2009. 2009. Luxembourg, Eurostat, Statistical Office of the European Communities: str. 340.

Arnoldus, H.M.J. 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. V: de Boedt, M., Gabriels, D. (ur.). *Assessment of Erosion*. Chichester, Wiley: str. 127-132.

ARSO. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 27 str.
<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/> (11. 1. 2010).

ARSO. 2007. Slovenski vremenski rekordi. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 5 str.
www.arso.gov.si/vreme/podnebje/ (11. 1. 2010).

ARSO. 2010. Arhiv meteoroloških podatkov. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/> (18. 3. 2010, 19. 3. 2010, 21. 3. 2010).

Ashkar, F., Bobee, B., Leroux, D., Morissette, D. 1988. The generalized method of moments as applied to the generalized gamma distribution. *Stoch. Hydrol. Hydraul.* 2: 161-174.

Atlas, D., Srivastava, R.C., Sekhon, R.S. 1973. Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence. *Rev. Geophys. Space Phys.* 11: 1-35.

Bagarello, V., D'Asaro, F. 1994. Estimating single storm erosion index. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs* 37: 785-791.

Baruah, P.C. 1973. An investigation of drop size distribution of rainfall in Thailand. MSc Thesis no. 528. Bangkok, Asian Institute of Technology.

Beard, K.V. 1976. Terminal velocity and shape of cloud and precipitation drops aloft. *J. Atmos. Sci.* 33: 851-864.

Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M. 2006. Mapping hazard of extreme rainfall by peaks over threshold extreme value analysis and spatial regression techniques. *J. Appl. Meteorol.* 45: 108-124.

Bhattarai, R., Dutta, D. 2008. A comparative analysis of sediment yield simulation by empirical and process-oriented models in Thailand. *Hydrol. Sci. J.* 53: 1253-1269.

Bhuyan, S.J., Marzen, L.J., Koelliker, J.K., Harrington, J.A., Barnes, P.L. 2002. Assessment of runoff and sediment yield using remote sensing, GIS and ANGPS. *J. Soil Water Conserv.* 57: 351-364.

Bingner, R.L., Theurer, F.D. 2001. AnnAGNPS: Estimating sediment yield by particle size for sheet & rill erosion. In: *Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, March 25–29, 2001, Reno, Nevada. Subcommittee on Sedimentation Interagency Advisory Committee on Water Data, Vol. 1: 1-7.

Blum, W.E.H., Warkentin, B.P., Frossard, E. 2006. Soil, human society and the environment. V: Frossard, E., Blum, W.E.H., Warkentin, B.P. (ur.). *Function of Soils for Human Societies and the Environment*, Special Publication 266. London, Geological Society: str. 1-8.

Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Arnau-Rosalén, E., Albaladejo, J., Castillo, V. 2007. Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surf. Proc. Land.* 32: 85-101.

Boardman, J., Poesen, J. 2006. Soil erosion in Europe: Major processes, causes and consequences. V: Boardman, J., Poesen, J. (ur.). *Soil Erosion in Europe*. Chichester, Wiley and Sons, Ltd.: str. 311-346.

Brandt, C.J. 1989. The size distribution of the throughfall drops under vegetation canopies. *Catena* 16: 507-524.

Brawn, D., Upton, G. 2008. Estimation of an atmospheric gamma drop size distribution using disdrometer data. *Atmos. Res.* 87: 66-79.

Brodie, I., Rosewell, C. 2007. Theoretical relationships between rainfall intensity and kinetic energy variants associated with stormwater particle washoff. *J. Hydrol.* 340: 40-47.

Brown, L. C., Foster, G. R. 1987. Storm erosivity using idealised intensity distribution. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs* 30: 379-386.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. 1998. Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press: 352 str.

Caracciolo, C., Prodi, F., Battaglia, A., Porcu, F. 2006. Analysis of the moments and parameters of a gamma DSD to infer precipitation properties: A convective stratiform discrimination algorithm. *Atmos. Res.* 80: 165-186.

Carter, C.E., Greer, J.D., Braud, H.J., Floyd, J.M. 1974. Raindrop characteristics in south central United States. *Trans. ASAE*: 1033-1037.

Cerro, C., Bech, J., Codina, B., Lorente, J. 1998. Modeling rain erosivity using disdrometric techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 731-735.

Chaplot, V.A.M., Le Bissonnais, Y. 2003. Runoff Features for Interrill Erosion at Different Rainfall Intensities, Slope Lengths, and Gradients in an Agricultural Loessial Hillslope. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 844-851.

Coutinho, M.A., Tomás, P.P. 1995. Characterisation of raindrop size distribution at the Vale Formoso Experimental Erosion Center. *Catena* 25: 187-197.

da Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57: 251-259.

De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Ritsema, C.J. 1996. LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. *Hydrol. Process.* 10: 1107-1117.

Desmet, P.J.J., Govers, G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J. Soil Water Conserv.* 51: 427-433.

Diodato, N. 2005. Predicting RUSLE monthly erosivity index from readily available rainfall data in Mediterranean Area. *The Environmentalist* 25: 63-70.

Diodato, N., Bellocchi, G. 2007. Estimating monthly (R)USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *J. Hydrol.* 345: 224-236.

Do Khac, K., Zanghi, F., Tabary, P. 2004. Radar – disdrometer comparison. *ERAD Publication Series* 2: 272-277.

Dolinar, M. 2009. Osebna korespondenca o izdelavi karte erozivnosti padavin. (26. 11. 2009 in 17. 12. 2009)

Dunjó, G., Pardini, G., Gispert, M. 2004. The role of land use-land cover on runoff generation and sediment yield at microplot scale, in a small Mediterranean catchment. *J. Arid Environ.* 57: 239-256.

Ellison, W.D., Ellison, O.T. 1947. Soil erosion studies IV. Soil detachment by surface flow. *Agric. Eng.* 28(9): 402-408.

Fastikoglu, O., Harmancioglu, N.B. 2002. Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion. *Water Resour. Manag.* 16: 447-467.

Feingold, G., Levin, Z. 1986. The lognormal fit to raindrop spectra from frontal convective clouds in Israel. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25: 1346-1363.

Flanagan, D.C., Nearing, M.A. (ur.). 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP): Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory. Indiana, West Lafayette, USDA ARS.

Foster, G.R. 2005. Revised Universal Soil Loss Equation, version 2 (RUSLE2), Science Documentation, draft. Washington, D.C., USDA ARS.

Fornis, R.L., Vermeulen, H.R., Nieuwenhuis, J.D. 2005. Kinetic energy–rainfall intensity relationship for Central Cebu, Philippines, for soil erosion studies. *J. Hydrol.* 300: 20-32.

Fox, N.I. 2004. Technical note: The representation of rainfall drop-size distribution and kinetic energy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 8: 1001-1007.

Frank, G., Härtl, T., Tschiersch, J. 1994. The pluviometer: Classification of falling hydrometeors via digital image processing. *Atmos. Res.* 34: 367-378.

Fu, B.J., Zhao, W.W., Chen, L.D., Zhang, Q.J., Lü, Y.H., Gulinck, H., Poesen, J. 2005. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: A case study in the Loess Plateau of China. *Land Degrad. Dev.* 16: 73-85.

Fujiyoshi, Y., Yamamura, I., Nagumo, N., Nakagawa, K., Muramoto, K., Shimomai, T. 2008. The maximum size of raindrops – can it be a proxy of precipitation climatology? International Conference on Clouds and Precipitation 2008, Cancun, Mexico, July 7–11, 2008.
<http://cabernet.atmosfcu.unam.mx/ICCP-2008/abstracts/> (16. 8. 2010)

Gamache, J.F., Houze, R.A. 1982. Mesoscale air motions associated with a tropical squall line. *Monthly Weather Review* 110: 118-135.

Gavrilović, S. 1970. Savremeni načini proračunavanja bujičnih nanosa i izrada karata erozije V: Proc. Seminar Erosion, Torrents and Sediments (Institute Jaroslav Černi, Belgrade, Yugoslavia). Yugoslavian Committee for International Hydrological Decade, Belgrade, Yugoslavia: str. 85-100.

Glickman, T.S. 2000. Glossary of Meteorology, druga izdaja. Boston, American Meteorological Society.
<http://amsglossary.allenpress.com/glossary/> (16. 6. 2010)

Glavan, M. 2010. Osebna korespondenca po izdelavi talnih profilov v Marezigah in analizi vzorcev.

Globevnik, L. 2001. Celosten pristop k urejanju voda v povodjih. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 167 f.

Globevnik, L., Holjević, D., Petkovšek, G., Rubinić, J. 2003. Applicability of the Gavrilović method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. V: de Boer, D. (ur.). Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques. Wallingford, Oxfordshire, IAHS Publication, 279: str. 224-233.

Goovaerts, P. 1999. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. *Catena* 34: 227-242.

Goovaerts, P. 2001. Geostatistical modeling of uncertainty in soil science. *Geoderma* 103: 3-26.

Goršak, D., Mikoš, M. 2008. Metode določanja erozivnosti dežja. *Geografski vestnik* 80-2: 117-129.

Gunn, R., Kinzer, G.D. 1949. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. *J. Meteor.* 6: 243-248.

Gunn, C. 1996. Landcare Field Guide – an Introduction to Land Degradation. Victoria Landcare Gateway.
<http://www.landcarevic.net.au/resources/publications/books/manual/landcare-field-guide/> (22. 5. 2010).

Hahn, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. San Diego, Academic Press Inc.: 588 str.

Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Stein, A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma* 120: 75-93.

Hickey, R. 2000. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography* 29: 1-8.

Hill, J. 1993. Data collection on Mediterranean soils, erosion, land cover and land use with remote sensing satellites. *Options Méditerranéennes* 1(2): 229-249.

Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. New York, Academic Press: 771 str.

Horvat, A. 1987. Hudourniške vode na Slovenskem. *Ujma*, 1: 35-38.

Horvat, A., Zemljič, M. 1998. Protierozijska vloga gorskega gozda. V: Diaci, J. (ur.). *Gorski gozd, XIX. gozd. štud. dnevi*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: str. 411-424.

Horvat, A. 2002. Erozija. V: Ušeničnik, B. (ur.). *Nesreče in varstvo pred njimi*. Ljubljana, Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo: str. 341-345.

Houze, R.A. 1993. Cloud dynamics. San Diego, Academic Press: 573 str.

Houze, R.A. 1997. Stratiform precipitation in regions of convection: a meteorological paradox? Bulletin of AMS 78: 2179-2196. POENOTITI!!!!

Hudson, N.W. 1963. Raindrop size distribution in high intensity storms. Rhodesian Journal of Agricultural Research 1: 6-11.

Hudson, N.W. 1995. Soil conservation, 3rd edition. London, Batsford Book: 391 str.

HZB. 1976. Navodila za opazovanja in merjenja na glavnih meteoroloških postajah. Beograd, Zvezni hidrometeorološki zavod: 213 str.

Irvem, A., Topalog, F., Uygur, V. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. J. Hydrol. 336: 30-37.

Jackson, W.L., Gerbhardt, K., van Haveren, B.P. 1986. Use of the Modified Universal Soil Loss Equation for average annual sediment yield estimates on small rangeland drainage basins. Oxfordshire, IAHS Publ. 159: 413-422.

Jayawardena, A.W., Rezaur, R.B. 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. Hydrol. Process. 14: 1069-1082.

Kinnell, P.I.A. 1980. Rainfall intensity-kinetic energy relationships for soil loss prediction. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 45:153-155.

Kinnell, P.I.A. 2005. Agricultural Non Point Source Pollution Model using the USLE-M. AGNPS-UM User's Guide. Canberra, University of Canberra: 15 str.
<http://members.ozemail.com.au/~pkinnell/> (13. 1. 2009).

Kinnell, P.I.A. 2008. Sediment delivery from hillslopes and the Universal Soil Loss Equation: some perceptions and misconceptions. Hydrol. Process 22: 3168-3175.

Kirkby, M.J., Abrahart, R., McMahon, M.D., Sao, J., Thornes, J.B. 1998. MEDALUS soil erosion models for global change. Geomorphology 24: 35-49.

Kisić, I., Bašić, F., Butorac, A., Mesić, M., Nestroy, O., Sabolić, M. 2005. Erozijska tla vodom pri različitim načinima obrade. Zagreb, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: 96 str.

Klimatografija Slovenije. 1995. Temperature 1961–90. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Slovenije.

Kolbezen, M. 1979. Transport hribinskega materiala na potokih vzhodnega in jugovzhodnega Pohorja kot posledica erozije tal. Geografski vestnik 51: 73-83.

Komac, B., Zorn, M. 2005. Soil erosion on agricultural land in Slovenia – Measurements of rill erosion in the Besnica valley. *Acta geographica Slovenica* 45/1: 53-86.

Kosmas, C., Danalatos, N.G., López-Bermúdez, F., Romero Díaz, M.A. 2002. The effect of land use on soil erosion and land degradation under Mediterranean Conditions. V: Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B. (ur.). *Mediterranean Desertification: A mosaic of processes and responses*. Chichester, Wiley and Sons, Ltd.: str. 57-70.

KSH. 2006. Hidrološko poročilo za akumulacijo Padež. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, poročilo 4-KSH/d-107/d-106: 44 str.

Lambrecht. 2003. Betriebsanleitung Schreibender Regenmesser (1509). Göttingen, Wilh. Lambrecht GmbH: 8 str.

Lanzinger, E., Theel, M., Windolph, H. 2006. Rainfall amount and intensity measured by the Thies laser precipitation monitor. TECO-2006: WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation Geneva, Switzerland, 4–6 December 2006. WMO, Instruments and observing methods, IOM No. 94.3: 9 str.

Lazarević, R., 1981. Erozija zemljišta u Jugoslaviji. *Geographica Iugoslavica* 3: 7-17.

Laws, J.O., Parsons, D.A. 1943. The relation of raindrop size and intensity. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 24: 452-460.

Lee, S. 2004. Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at Boun, Korea. *Environ. Geol.* 45: 457-465.

Licciardello, F., Govers, G., Cerdan, O., Kirkby, M.J., Vacca, A., Kwaad, F.J.P.M. 2009. Evaluation of the PESERA model in two contrasting environments. *Earth Surf. Process. Landf.* 34: 629-640.

Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K. 2005. GIS-based sediment assessment tool. *Catena* 64: 61-80.

Lobnik, F. 2005. Naravno okolje – Tla. Interno gradivo, študijska literatura pri predmetu Tla in okolje na Univerzitetnem podiplomskem študiju Varstvo okolja, štud. leto 2005/2006.

Löffler-Mang, M., Joss, J. 2000. An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 17: 130-139.

López-Vicente, M., Navas, A., Machín, J. 2008. Identifying erosive periods by using RUSLE factors in mountain fields of the Central Spanish Pyrenees. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12: 523-535.

Lu, J.Y., Su, C.C., Lu, T.F., Maa, M.M. 2008. Number and volume raindrop size distributions in Taiwan. *Hydrol. Process.* 22: 2148-2158.

Mannaerts, C.M., Gabriels, D. 2000. Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil Till. Res.* 55: 207-212.

Marshall, J.S., Palmer, W.M. 1948. The distribution of raindrop with size. *J. Appl. Meteorol.* 12: 339-349.

Mason, B.J. 1978. Physics of a raindrop. *Physics Education* 13: 414-419.

McIsaac, G.F. 1990. Apparent geographic and atmospheric influences on raindrop sizes and rainfall kinetic energy. *J. Soil Water Conserv.* 45: 663-666.

Men, M., Yu, Z., Xu, H. 2008. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province. China. *Front. Agric. China* vol. 2, n. 3: 281-289.

Meyer, L.D., Monke, E.J. 1965. Mechanics of soil erosion by rainfall and overland flow. *Trans. ASAE* 8: 572-580.

Miko, M. 2006. Analiza erozije prsti na poskusnih ploskvah v porečju Dragonje. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 83 f.

Mikoš, M. 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. *Gozdarski vestnik* 53: 342-352.

Mikoš, M. 2000. Izrazje na področju erozijskih pojavov. *Gradbeni vestnik* 49 (5): 102-114.

Mikoš, M., Zupanc, V. 2000. Erozija tal na kmetijskih površinah. *Sodobno kmetijstvo* 33: 419-423.

Mikoš, M., Jošt, D., Petkovšek, G. 2006. Rainfall and runoff erosivity in the alpine climate of north Slovenia. *Hydrol. Sci. J.* 51 (1): 115-126.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf. Process. Landf.* 23: 527-544.

Morgan, R.P.C. 2005. Soil erosion and conservation, tretja izdaja. Oxford, Blackwell Publishing: 303 str.

Mrhar, M. 1995. Racionalna obdelava tal. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 109 str.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.

Nearing, M.A., Pruski, F.F., O'Neal, M.R. 2004. Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *J. Soil Water Conserv.* 59: 43-50.

Neave, M., Rayburg, S. 2007. A field investigation into the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact of surface cover. *Geomorphology* 87: 378-390.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. 2005. Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Theoretical Documentation – version 2005. Blackland Research Center, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Temple, TX, USA.

Nemeth, K., Löffler-Mang, M., 2006. OTT Parsivel – Enhanced precipitation identifier for present weather, drop size distribution and radar reflectivity. TECO-2006—WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation. Geneva, Switzerland, 4–6 December 2006. WMO, Instruments and observing methods, IOM No. 94.P1: 4 str.

Nemeth, K. 2009. Parsivel rainfall intensity algorithm. Message to: Petan, S. 21. marec 2009. Osebna komunikacija.

MOP-ARSO. 2007. CORINE Land Cover 2006. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Geodetska uprava Republike Slovenije, Evropska agencija za okolje, 2007.
<http://gis.arso.gov.si/clc/> (20. 6. 2010).

Ogrin, D. 1993: (Sub)mediteransko podnebje v Sloveniji. *Časopis za kritiko znanosti* 21: 158-159, 25-34.

Ogrin, D. 1995. Podnebje Slovenske Istre. *Knjižnica Annales* 11: 381 str.

Onori, F., De Bonis, P., Grauso, S. 2006. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). *Environ. Geol.* 50: 1129-1140.

Onset. 2005. RG3 and RG3-M Data Logging Rain Gauge User's Manual. Bourne, Onset Computer Corporation: 16str.

OTT. 2008a. Operating instructions, Precipitation Gauge, OTT Pluvio. Kempten, OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG: 51 str.

OTT. 2008b. Operating instruction, Present Weather Sensor Parsivel. Kempten, OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG: 48 str.

Ouyang, D., Bartholic, J. 1997. Predicting sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed. V: *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the National Association of Environmental Professionals Conference*, May 19–23, 1997, Orlando, Florida: str. 659-671.

Parsons, A.J., Brazier, R.E., Wainwright, J., Powell, D.M. 2006. Scale relationship in hillslope runoff and erosion. *Earth Surf. Process. Landf.* 31: 1384-1393.

Paulič, V. 1971. Erozijska tal in hudourniki, diplomsko delo. Ljubljana, samozaložba: 104 f.

Pedološka karta Slovenije 1 : 25.000. 2005. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja.

Petan, S., Rusjan, S., Vidmar, A., Mikoš, M. 2010. The rainfall kinetic energy–intensity relationship for rainfall erosivity estimation in the Mediterranean part of Slovenia. *J. Hydrol.* 391: 314-321.

Peters, G., Fischer, B., Andersson, T. 2002. Rain observation with a vertical looking Micro Rain Radar (MRR). *Boreal Environ. Res.* 7: 353-362.

Petkovšek, G. 2000. Procesno utemeljeno modeliranje erozije tal. *Acta hydrotechnica* 18/28: 41-60.

Petkovšek, G. 2002. Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 205 f.

Petkovšek, G., Mikoš, M. 2004. Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of southwest Slovenia. *Hydrol. Sci. J.* 49: 869-877.

Pintar, J., Mikoš, M. & Verbovšek, V. 1986. Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov. V: Simonović, S. (ur.). Drugi kongres o vodama Jugoslavije, Ljubljana, 27–29. 10. 1986. Beograd, Jugoslovensko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje: str. 800-814.

Poesen, J.W., Torri, D., Bunte, K. 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena* 23: 141-166.

Površina ozemlja in pokrovnost tal, določena planimetrično, 2005. = Surface area and land cover determined planimetrically, 2005. Statistični letopis 2009. 2009. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije: str. 38.

Prodi, F., Tagliavini, A., Medini, R. 2000. Time Variability in Rainfall Events Observed by Pludix. *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol. 25, No. 10–12: 959-969.

Prus, T. 2005. Nastanek in razvoj tal – geneza tal. Interno gradivo, študijska literatura pri predmetu Tla in okolje na Univerzitetnem podiplomskem študiju Varstvo okolja v šolskem letu 2005/2006.

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. 2. popravljena izd. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 329 str.

Rainer, F., Pintar, J. 1972. Ogrožanje tal zaradi erozije, hudournikov in plazov. V: Zelena knjiga o ogroženosti okolja v Sloveniji, Ljubljana, Prirodoslovno društvo Slovenije, Zavod za spomeniško varstvo Socialistične republike Slovenije: 21–25.

Rainer, F., Zemljič, M. 1975. Vpliv gozdov na vodni režim in erozijske procese. V: Gozdovi na Slovenskem. Borec: 97–100.

Rejman, J., Usowicz, B., Debicki, R. 1999. Source of errors in predicting silt soil erodibility with USLE. Polish Journal of Soil Science 32: 13-22.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, DC, USDA ARS. Agricul. Handbook 703: 384 str.

Repe, B. 2002. Ogroženosti slovenskih pokrajin zaradi degradacije prsti. Acta geographica 42: 99-121.

Richardson, C.W., Foster, G.R., Wright, D.A. 1983. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. 26: 153-160.

Rose, C.W., Yu, B., Ghadiri, H., Asadi, H., Parlange, J.Y., Hogarth, W.L., Hussein, J. 2007. Dynamic erosion of soil in steady sheet flow. J. Hydrol. 333: 449-458.

Rosewell, C.J. 1986. Rainfall kinetic energy in eastern Australia. J. Clim. Appl. Meteorol. 25: 1695-1701.

Rusjan, S. 2008. Hidrološke kontrole sproščanja hranil v porečjih. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 206 f.

Salles, C., Poesen, J., Sempere-Tores, D. 2002. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. J. Hydrol. 257: 256-270.

Schmidt, J., Von Werner, M., Michael, A. 1999. Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed, The Netherlands. Catena 37: 449-456.

Schönhuber, M., Urban, H.E., Poiars Baptista, J.P.V., Randeu, W.L., Riedler, W. 1994. Measurements of precipitation characteristics by a new distrometer. Proc. Conf. on Atmospheric Physics and Dynamics in the Analysis and Prognosis of Precipitation Fields. November 15–18, 1994, Rome, Italy.
<http://www.distrometer.at/newReferences.html> (18. 11. 2009).

Sempere-Torres, D., Salles, C., Creutin, J.D., Delrieu, G. 1992. Quantification of soil detachment by raindrop impact : performance of classical formulae of kinetic energy in Mediterranean storms. V: Bogen, J., Walling, D.E., Day, T. (ur). Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins. Oslo, IAHS Publ. 210: 115-124.

- Shamshad, A., Azhari, M.N., Isa, M.H., Wan Hussin, W.M.A., Parida, B.P. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI_{30} index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena* 72: 423-432.
- Staut, M. 2004. Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 135 f
- Steiner, M., Smith, J.A. 2000. Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra. *J. Appl. Meteor.* 39(11): 1923-1940.
- Stepančič, D., Lobnik, F., Prus, T., Ruphert, T. 1984. Tla slovenskega Primorja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za agronomijo: 47 str.
- Sukhanovski, Y.P., Ollesch, G., Khan, K.Y., Meissner, R. 2001. A new index for rainfall erosivity on a physical basis. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165: 51-57.
- Šebenik, I. 1996. Brkini in Ilirskobistriška kotlina. Regionalnogeografska monografija Slovenije, 4. del: Submediteranski svet. Ljubljana, ZRC SAZU, Geografski inštitut: str. 48-68.
- Šraj, M. 2003. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 236 f.
- Thies Clima. 2006. Laser Precipitation Monitor, Instruction for Use 021341/02/06. Göttingen, Adolf Thies GmbH & Co. KG: 56 str.
- Tokay, A., Short, D.A. 1996. Evidence from Tropical Raindrop Spectra of the Origin of Rain from Stratiform versus Convective clouds. *J. Appl. Meteor.* 35: 355-371.
- Tokay, A., Short, D.A., Williams, C.R., Ecklund, W.L., Gage, K.S. 1999. Tropical Rainfall Associated with Convective and Stratiform Clouds: Intercomparison of Disdrometer and Profiler Measurements. *J. Appl. Meteor.* 38: 302-320.
- Uijlenhoet, R., Stricker, J.N.M. 1999. Dependence on rainfall interception on drop size. A comment. *J. Hydrol.* 217: 157-163.
- Ulbrich, C. 1983. Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 22: 1764-1775.
- Uljan, M. 2000: Novejši regionalni razvoj občine Ilirska Bistrica. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 107 f.
- UNEP. 1994. Guidelines for Sediment Control Practises in the Insular Caribbean. Kingston, UNEP Caribbean Environment Programme, CEP Technical Report No. 32: 58 str.

UNEP. 2002. Global Environment Outlook 3. London, Earthscan Publications Ltd: 416 str.

Uplinger, C.W. 1981. A new formula for raindrop terminal velocity. Proceedings of the 20th Conference on Radar Meteorology. Boston, American Meteorological Society: str. 389-391.

Usón, A., Ramos, M.C. 2001. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. *Catena* 43: 293-305.

van Dijk A. I. J. M., Bruijnzeel L. A., Rosewell C. J. 2002. Rainfall intensity–kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *J. Hydrol.* 261: 1-23.

Van Mook, F.J.R. 2002. Driving Rain on Building Envelopes. Doktorska disertacija. Eindhoven, University of Technology, Building Physics Group (FAGO), Eindhoven University Press: 198 str.

van Oost, K., Govers, G., Desmet, P. 2000. Evaluating the effect of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecol.* 15: 577-589.

Vrišer, I. 1953. Erozijski prsti. *Proteus*, 16/4–5: 100–105.

Vuerich, E., Monesi, C., Lanza, L.G., Stagi, L., Lanzinger, E. 2009. WMO Field intercomparison of rainfall intensity gauges. WMO, Instruments and observing methods, Report No. 99. WMO/TD-No. 1504: 286 str.

Waldvogel, A. 1974. The N0 jump of raindrop spectra. *J. Atmos. Sci.* 31: 1067-1078.

Ward, A.D., Trimble, S.W. 2004. Environmental hydrology, druga izdaja. New York, CRC Press: 504 str.

Williams, J.R. 1975. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. Proceedings of the sediment Yield Workshop. Oxford, MS, USDA Sedimentation Laboratory: str 244-252.

Williams, J.R., Berndt, H.D. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Trans. ASAE* 20: 1100-1104.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans Am. Geophys. Union* 39: 285-291.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington, DC, USDA ARS. *Agricul. Handbook* 282: 47 str.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Washington, DC, USDA ARS. *Agricul. Handbook* 537: 57 str.

Zanchi, C., Torri, D. 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. V: De Boodt, M., Gabriels, D. (ur.). *Assessment of Erosion*. Toronto, Wiley: 133-142.

Zemljič, M., Blažič, J., Pirnat, M. 1970. Stanje, problemi in suvremene metode za borbu protiv erozije i bujica. Ljubljana, Biotehnična fakulteta, Inštitut za gozdarstvo in lesno gospodarstvo, Oddelek za erozijo tal.

Zemljič, M. 1972. Erozijski pojavi v Sloveniji. Gozdarski vestnik 30/8: 233-238.

Zorn, M., Komac, B. 2005. Erozija prsti na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji. Ujma 19: 163-174.

Zorn, M. 2007. Recentni geomorfni procesi na rečno-denudacijskem reliefu na primeru porečja Dragonje. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 463 f.

Zorn, M., Petan, S. 2007. Meritve medžlebične erozije na različnih rabah zemljišč v Slovenski Istri. V: Knapič, M. (ur.). Strategija varovanja tal v Sloveniji: zbornik referatov Konference ob svetovnem dnevu tal 5. 12. 2007. Ljubljana, Pedološko društvo Slovenije: str. 51-61.

PRILOGA A: Talni profili v Marezigah

A1 Opis talnih profilov v Marezigah (Glavan, 2010)

MAREZIGE 1

Preglednica 1: Podatki o lokaciji profila in splošnih talnih lastnostih, opisanih na terenu.

Podatki o profilu	
Datum opisa	1/7/2009
Opisovalci	Tomaž Prus
Lokacija	Marezige
Koordinate GK	/
Nadmorska višina (m)	/
Naklon (°)	3-5
Ekspozicija	/
Raba tal	Oljni nasad
Matična podlaga	Eocenski fliš
Ime talnega tipa	Evtrična rjava tla, na eocenskem flišu, antropogena, psevdooglejena, globoka

Preglednica 2: Podatki terenskega opisa morfoloških lastnosti profila.

Številka horizonta	Oznaka horizonta	Globina horizonta	Opis horizonta
H1	P1	0-9	STRUKTURA: drobna, oreščasta, slabo izražena, neobstojna. KONSISTENCA: rahel, sipek. TEKSTURA: MI. BARVA: 10YR6/6.ORGANSKA SNOV: mineralen, po rovih. VLAGA: suh. PREKORENINJENOST: posamezne. SKELET: ni. NOVOTVORBE: ni. PREHOD: jasen.
H2	P2	9-25	STRUKTURA: poliedrična, slabo izražena, srednje do slabo obstojna. KONSISTENCA: zelo zbit. TEKSTURA: MI. BARVA: 7,5YR5/6. ORGANSKA SNOV: slabo humozen do mineralen. VLAGA: suh. PREKORENINJENOST: posamezne. SKELET: ni. NOVOTVORBE: ni. PREHOD: difuzen, nepravilen.
H3	P3	25-48	STRUKTURA: drobno oreškasta do poliedrična, slabo izražena, srednje do slabo obstojna. KONSISTENCA: srednje zbit. TEKSTURA: težja, MI. BARVA: 10YR4/6. ORGANSKA SNOV: slabo humozen do mineralen, po rovih. VLAGA: suh/svež. PREKORENINJENOST: redke. SKELET: ni. NOVOTVORBE: ni. PREHOD: jasen.
H4	P4Bv	48-64	STRUKTURA: drobno oreškasta do poliedrična, slabo izražena, srednje obstojna. KONSISTENCA: gost do zbit. TEKSTURA: MI. BARVA: 10YR3/4. ORGANSKA SNOV: po rovih. VLAGA: suh/svež. PREKORENINJENOST: posamezne. SKELET: ni. NOVOTVORBE: ni. PREHOD: difuzen.
H5	Bv	64-84	STRUKTURA: drobno poliedrična, slabo do srednje izražena, srednje obstojna. KONSISTENCA: gost. TEKSTURA: MI. BARVA: 10YR4/6. ORGANSKA SNOV: mineralen. VLAGA: suh/svež. PREKORENINJENOST: posamezne do neprekoreninjen. SKELET: ni. NOVOTVORBE: malo prevlek Fe in Mn. PREHOD: jasen.
H6	Bg	84-119+	STRUKTURA: poliedrična, slabo do srednje izražena, srednje obstojna. KONSISTENCA: gost, drobljiv. TEKSTURA: MI. BARVA: 10YR7/4, 10YR5/8. ORGANSKA SNOV: mineralen. VLAGA: svež. PREKORENINJENOST: neprekoreninjen. SKELET: ni. NOVOTVORBE: sivo – rjava lisavost, veliko konkcij in prevlek Fe in Mn. PREHOD: jasen.

MAREZIGE 2

Preglednica 3: Podatki o lokaciji profila in splošnih talnih lastnostih, opisanih na terenu.

Podatki o profilu	
Datum opisa	1/7/2009
Opisovalci	Tomaž Prus
Lokacija	Marezige
Koordinate GK	/
Nadmorska višina (m)	/
Naklon (°)	/
Ekspozicija	/
Raba tal	Gozd (Č. bor, jesen, akacija)
Matična podlaga	Eocenski fliš
Ime talnega tipa	Evtrična rjava tla, na eocenskem flišu, psevdooglejena, globoka

Preglednica 4: Podatki terenskega opisa morfoloških lastnosti profila.

Številka horizonta	Oznaka horizonta	Globina horizonta	Opis horizonta
H1	A	0-5	STRUKTURA: orešlasta, srednje izražena, srednje obstojna. KONSISTENCA: zelo trd, zbit, težko drobljiv. TEKSTURA: MI. BARVA: 10YR4/3.ORGANSKA SNOV: slabo humozen. VLAGA: suh. PREKORENINJENOST: redke. SKELET: ni. NOVOTVORBE: ni. PREHOD: jezičast.
H2	Bv1	5-32	STRUKTURA: poliedrična, srednje izražena, slabo do srednje obstojna. KONSISTENCA: srednje trd, drobljiv, zbit. TEKSTURA: MI. BARVA: 10YR6/4. ORGANSKA SNOV: slabo humozen, po rovih. VLAGA: suh. PREKORENINJENOST: redke, srednje goste. SKELET: ni. NOVOTVORBE: ni. PREHOD: difuzen.
H3	Bv2	32-53	STRUKTURA: poliedrična, srednje izražena, slabo do srednje obstojna. KONSISTENCA: srednje trd, drobljiv, zbit. TEKSTURA: težja, MI. BARVA: 7,5YR5/6. ORGANSKA SNOV: mineralen. VLAGA: suh/svež. PREKORENINJENOST: posamezne. SKELET: ni. NOVOTVORBE:ni. PREHOD: jasn.
H4	Bg	53-80	STRUKTURA: drobno poliedrična, srednje izražena, slabo obstojna. KONSISTENCA: zelo zbit. TEKSTURA: težja, MI. BARVA: 10YR5/8, 10YR7/2. ORGANSKA SNOV: mineralen. VLAGA: suh/svež. PREKORENINJENOST: posamezne. SKELET: ni. NOVOTVORBE: veliko prevlek Fe in Mn, veliko konkcij Fe, Mn.. PREHOD: /.

A2

Standardna pedološka analiza vzorcev iz talnih profilov (Glavan, 2010)

Univerza
v Ljubljani

Biotehniška
fakulteta
Oddelek za agronomijo



**Center za pedologijo
in varstvo okolja**
Jamnikarjeva 101
1000 Ljubljana
Tel.: 01 423 11 61
Fax: 01 423 10 88
Družba št.: 94761795
Matična št.: 1626914

Andreja HODNIK
e-mail: andrej.hodnik@bf.uni-lj.si
http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/

Datum: 15. 01. 2010
Določka:

ANALITSKI REZULTATI PRINEŠENIH VZORCEV

naročnik analiz: MR GLAVAN JOŽE
projekt : DOKTORAT PRI DR. PINTAR
naslov : Jamnikarjeva 101, 1000, Ljubljana

SEZNAM VZORCEV	lab.oznaka	globina	pH	CaCl ₂	AL	P ₂ O ₅	K ₂ O	org.	C	CN	N skup.	pesek	melj. grobi	melj. fini	melj. skup.	glin.	tekst. razred
								%	%	%	%	%	%	%	%	%	
1MAREZIGE P2	588/2009/1/1	9- 25 cm	4.6	4.6	0.5	9.9	0.6	0.6	0.3	7.5	0.04	9.2	22.0	37.8	59.8	31.0	MGI
1MAREZIGE P3	589/2009/1/1	25- 48 cm	4.6	4.6	0.3	8.3	1.0	0.6	10.0	10.0	0.06	11.0	23.4	38.4	61.8	27.2	MI-MGI
1MAREZIGE Pubv	590/2009/1/1	48- 64 cm	4.7	4.7	0.4	7.6	0.9	0.5	8.3	8.3	0.06	9.3	25.7	38.9	64.6	26.1	MI-MGI
1MAREZIGE Bv	591/2009/1/1	64- 84 cm	4.6	4.6	0.2	8.3	0.3	0.2	4.0	4.0	0.05	11.4	21.0	37.9	58.9	29.7	MGI
1MAREZIGE Bg	592/2009/1/1	84- 118 cm	4.5	4.5	0.1	11.8	0.2	0.1	2.5	2.5	0.04	8.8	20.3	31.6	51.9	39.3	MGI
2MAREZIGE A	593/2009/1/1	0- 5 cm	4.9	4.9	1.3	21.7	7.4	4.3	17.2	17.2	0.25	13.9	24.5	36.4	60.9	25.2	MI
2MAREZIGE Bv1	594/2009/1/1	5- 32 cm	4.3	4.3	0.2	9.2	2.5	1.4	20.0	20.0	0.07	14.8	21.6	33.7	55.3	29.9	MGI
2MAREZIGE Bv2	595/2009/1/1	32- 53 cm	4.3	4.3	0.2	10.3	0.8	0.5	10.0	10.0	0.05	12.2	17.3	32.4	49.7	38.1	MGI
2MAREZIGE Bg	596/2009/1/1	53- 80 cm	4.5	4.5	0.1	14.9	0.4	0.2	5.0	5.0	0.04	9.7	15.9	26.1	42.0	48.3	MG

Univerza
v Ljubljani

Biotehniška
fakulteta
Oddelek za agronomijo



**Pedološki
laboratorij**

**Center za pedologijo
in varstvo okolja**

SEZNAM	VZORCEV	lab.oznaka	globina	Ca	Mg	K	Na	H	S	T	V	Ca	Mg	K	Na	H
-----	-----	-----	-----	-----	-----	mmol C+ / 100g	Na	vzorca	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
IMAREZIGE P2	588/2009/1/1	9- 25 cm	8.07	1.23	0.17	0.07	8.50	9.5	18.0	52.8	44.8	6.8	0.9	0.4	47.2	
IMAREZIGE P3	589/2009/1/1	25- 48 cm	7.01	1.31	0.16	0.07	8.85	8.6	17.5	49.1	40.1	7.5	0.9	0.4	50.6	
IMAREZIGE PuEv	590/2009/1/1	48- 64 cm	4.74	1.14	0.15	0.07	8.15	6.1	14.3	42.7	33.1	8.0	1.0	0.5	57.0	
IMAREZIGE Bv	591/2009/1/1	64- 84 cm	6.13	1.24	0.18	0.09	8.55	7.6	16.2	46.9	37.8	7.7	1.1	0.6	52.8	
IMAREZIGE Bg	592/2009/1/1	84-118 cm	7.05	2.87	0.34	0.12	10.80	10.4	21.2	49.1	33.3	13.5	1.6	0.6	50.9	
2MAREZIGE A	593/2009/1/1	0- 5 cm	9.45	2.52	0.61	0.15	14.05	12.7	26.8	47.4	35.3	9.4	2.3	0.6	52.4	
2MAREZIGE Bv1	594/2009/1/1	5- 32 cm	9.39	1.41	0.33	0.12	12.70	11.3	24.0	47.1	39.1	5.9	1.4	0.5	52.9	
2MAREZIGE Bv2	595/2009/1/1	32- 53 cm	10.73	2.37	0.45	0.19	13.05	13.7	26.8	51.1	40.0	8.8	1.7	0.7	48.7	
2MAREZIGE Bg	596/2009/1/1	53- 80 cm	9.96	5.11	1.03	0.43	14.30	16.5	30.8	53.6	32.3	16.6	3.3	1.4	46.4	

Vodja laboratorija:

Andreja HODNIK, univ.dipl.ing.kem.
LOBNIK

Predstojnik Centra:

prof.dr.Franc

Dekan Biotehniške fakultete:

Prof.dr.Franc ŠTAMPAR

Center za pedologijo
in varstvo okolja



Pedološki
laboratorij

A3

Gostota in hidravlična prevodnost vzorcev iz talnih profilov (Glavan, 2010)

GOSTOTA TAL

PKE	Št. vzorčne točke	Ime kraja	Raba	Topografija	Globina odzema (cm)	V1			V2			V3			Povp. Teža suhega vzorca (g/cm3)	Gostota tal (g/cm3)	
						Teža vlažnega vzorca +pod (g)	Teža suhega vzorca (g)	Razlika	Teža vlažnega vzorca +pod (g)	Teža suhega vzorca (g)	Razlika	Teža vlažnega vzorca +pod (g)	Teža suhega vzorca (g)	Razlika			
714	1	Marezige	Ojčnik	rahel naklon	25	144.07	144.07	4.4	136.21	136.21	4.4	131.81	130.7	5.32	125.38	132.29	1.32
714	1	Marezige	Ojčnik	rahel naklon	50	148.38	148.38	4.39	143.99	154.96	4.35	150.61	143.05	4.62	138.43	144.34	1.44
714	1	Marezige	Ojčnik	rahel naklon	84	158.98	158.98	5.28	153.70	154.56	4.39	150.17	155.15	4.37	150.78	151.55	1.52
714	2	Marezige	Gozd	rahel naklon	20	138.7	138.7	5.32	133.38	150.19	4.41	145.78	145.08	4.44	139.93	140.62	1.40
714	2	Marezige	Gozd	rahel naklon	50	141.24	141.24	4.37	136.87	147.07	4.36	142.71	145.41	4.33	141.08	140.22	1.40

V kopecky= 100g/cm3

HIDRAVLICNA PREVODNOST										PONOVITVE													
Povodje	Št. vzočne točke	lms kraja	Raba	Topografija	Globina (cm)	Darcy Mestc	Vrsta merilne	Čas (t1)	Čas (t2)	Čas (t)	Tlak t1 (cm)	Tlak t2 (cm)	Razlika v tlaku (dt), mtlcm ³	Volumen vode (dV) mtlcm ³	Dožina vzoča (L)	a Presak čevi (cm2)	A Površina vzoča (cm2)	K Prevodnost (cm/min)	K Prevodnost (cm/h)	K Prevodnost (mm/h)	K	m/dan	
Dragonja	1	Mareziga	Ojlnik	Pobočje rahlo	25	1	stalni	10:00:00	10:30:37	0:00:37	0.62	3.30	5.75	2.45	40.0	5.10	19.63	19.63	6.8781	412.68	4126.87	99.045	99.045
	1					1		11:00:00	11:30:37	0:00:37	0.62	3.30	5.75	2.45	40.0	5.10	19.63	19.63	6.8781	412.68	4126.87	99.045	99.045
	1					1		12:00:00	12:30:37	0:00:37	0.62	3.30	5.75	2.45	40.0	5.10	19.63	19.63	6.8781	412.68	4126.87	99.045	99.045
	2					2	stalni	9:30	9:58	0:28:00	28.0	3.30	6.60	3.30	10.0	5.10	19.63	19.63	0.0281	1.68	16.87	0.405	0.405
	2					2		9:58	10:35	0:36:20	36.3	3.30	6.60	3.30	10.0	5.10	19.63	19.63	0.0217	1.30	13.00	0.312	0.312
	2					2		10:37	11:18	0:41:00	41.0	3.30	6.60	3.30	10.0	5.10	19.63	19.63	0.0192	1.15	11.52	0.277	0.277
	2					2		11:18	12:00	0:41:00	41.0	3.30	6.60	3.30	10.0	5.10	19.63	19.63	0.0192	1.15	11.52	0.277	0.277
	3					3	stalni	10:00:00	10:31:07	0:01:07	1.12	3.40	6.60	3.20	40.0	5.10	19.63	19.63	2.9092	174.48	1744.92	41.878	41.878
	3					3		11:00:00	11:31:05	0:01:05	1.03	3.40	6.60	3.20	40.0	5.10	19.63	19.63	2.9679	179.87	1798.72	43.169	43.169
	3					3		12:00:00	12:31:05	0:01:05	1.03	3.40	6.60	3.20	40.0	5.10	19.63	19.63	2.9679	179.87	1798.72	43.169	43.169
Dragonja	4	Mareziga	Ojlnik	Pobočje rahlo	50	4	stalni	10:00:00	10:32:37	0:02:37	2.62	3.35	6.50	3.15	20.0	5.10	19.63	19.63	0.6304	37.82	378.24	9.078	9.078
	4					4		11:00:00	11:32:35	0:02:35	2.59	3.35	6.50	3.15	20.0	5.10	19.63	19.63	0.6385	38.31	383.13	9.195	9.195
	4					4		12:00:00	12:32:35	0:02:35	2.59	3.35	6.50	3.15	20.0	5.10	19.63	19.63	0.6385	38.31	383.13	9.195	9.195
	4					4		13:00:00	13:32:33	0:02:33	2.55	3.35	6.50	3.15	20.0	5.10	19.63	19.63	0.6468	38.81	388.13	9.315	9.315
	5					5	stalni	9:48	9:53	0:04:50	4.83	3.45	7.00	3.55	20.0	5.10	19.63	19.63	0.3028	18.17	181.70	4.361	4.361
	5					5		9:55	10:00	0:04:50	4.83	3.45	7.00	3.55	20.0	5.10	19.63	19.63	0.3028	18.17	181.70	4.361	4.361
	5					5		13:00	13:04	0:04:43	4.80	3.45	7.00	3.55	20.0	5.10	19.63	19.63	0.3049	18.30	182.96	4.391	4.391
	5					5		14:00	14:04	0:04:47	4.73	3.45	7.00	3.55	20.0	5.10	19.63	19.63	0.3060	18.36	183.50	4.406	4.406
	6					6	stalni	10:00:00	10:31:39	0:01:39	1.65	3.45	6.30	2.85	20.0	5.10	19.63	19.63	1.1060	66.30	662.98	15.972	15.972
	6					6		11:00:00	11:31:38	0:01:38	1.63	3.45	6.30	2.85	20.0	5.10	19.63	19.63	1.1163	66.98	669.78	16.074	16.074
6					6		12:00:00	12:31:38	0:01:38	1.63	3.45	6.30	2.85	20.0	5.10	19.63	19.63	1.1278	67.67	676.55	16.240	16.240	
Dragonja	7	Mareziga	Ojlnik	Pobočje rahlo	84	7	variabilni	10:06	10:35	0:28:30	28.5	55.00	19.6			5.10	0.39	0.39	0.00382	0.21728	2.1728	0.052147	0.052147
	7					7		10:36	11:17	0:41:00	41.0	55.00	16.6			5.10	0.39	0.39	0.00392	0.17535	1.7535	0.042084	0.042084
	7					7		12:00	12:20	0:20:00	20.0	55.00	25.1			5.10	0.39	0.39	0.00392	0.23540	2.3540	0.050496	0.050496
	7					7		15:30	15:50	0:20:00	20.0	55.00	25.1			5.10	0.39	0.39	0.00392	0.23540	2.3540	0.050496	0.050496
	8					8	variabilni	10:00:00	10:32:16	0:02:16	2.27	55.00	20.0			5.10	0.39	0.39	0.0464	2.67845	26.7845	0.642827	0.642827
	8					8		11:00:00	11:32:13	0:02:13	2.22	55.00	20.0			5.10	0.39	0.39	0.04595	2.73886	27.3886	0.657327	0.657327
	8					8		12:00:00	12:32:11	0:02:11	2.18	55.00	20.0			5.10	0.39	0.39	0.04634	2.78068	27.8068	0.667364	0.667364
	8					8		13:00:00	13:32:04	0:02:04	2.07	55.00	20.0			5.10	0.39	0.39	0.04636	2.93765	29.3765	0.705036	0.705036
	10					10	variabilni	10:00:00	10:34:46	0:04:46	4.3	55.00	35.0			5.10	0.39	0.39	0.00348	0.56908	5.6908	0.136578	0.136578
	10					10		11:00:00	11:35:52	0:05:52	5.9	55.00	25.0			5.10	0.39	0.39	0.01344	0.80658	8.0658	0.193580	0.193580
10					10		12:00:00	12:35:14	0:05:14	5.2	55.00	25.0			5.10	0.39	0.39	0.01507	0.90420	9.0420	0.217008	0.217008	
10					10		13:00:00	13:05:54	0:05:54	5.9	55.00	25.0			5.10	0.39	0.39	0.01337	0.80203	8.0203	0.192486	0.192486	
Srednja																				Srednja			42.85
Dragonja 1/25																				Dragonja 1/25			17.55.27
Dragonja 1/50																				Dragonja 1/50			6.69.79
Dragonja 1/84																				Dragonja 1/84			7.70
Zelo nizka																				Zelo nizka			0.18
Nizka																				Nizka			3.95
Prevednost po tabeli skriple za vaje podlajve 6 tabele 2																				Prevednost po tabeli skriple za vaje podlajve 6 tabele 2			9.045

PRILOGA B: Povzetek zabeleženih erozivnih dogodkov s strani disdrometrov

B1 Erozivni dogodki na merilnem mestu Bovec

dogodek	čas začetka	trajanje [d hh:mm]	P(dsd) [mm]	I ₃₀ (dsd) [mm h ⁻¹]	P(rg) [mm]	I ₃₀ (rg) [mm h ⁻¹]	E ₂ (dsd) [MJ ha ⁻¹]	E(rg) [MJ ha ⁻¹]	R(dsd) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R(rg) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
1	27.03.2008 11:12	0 10:04	10.4	2.2	11.8	2.6	1.15	1.77	3.0	4.6
2	16.05.2008 15:17	0 07:26	23.7	7.4	28.3	9.2	3.00	5.13	27.6	47.2
3	17.05.2008 08:34	0 04:17	6.0	4.7	7.9	6.2	0.65	1.35	4.0	8.4
4	17.05.2008 17:30	0 03:07	7.3	8.7	7.8	8.2	1.46	1.47	12.0	12.0
5	18.05.2008 00:25	0 23:30	75.4	11.3	91.9	13.2	10.95	17.64	144.6	232.8
6	19.05.2008 22:44	0 06:40	11.9	7.0	14.1	8.2	1.54	2.45	12.6	20.1
7	23.05.2008 00:15	0 11:52	23.9	8.2	25.8	8.8	4.22	4.70	37.1	41.4
8	17.06.2008 14:16	0 05:51	10.4	12.9	11.2	13.6	2.32	2.50	31.5	33.9
9	30.06.2008 03:18	0 03:10	6.6	4.8	7.3	5.6	1.37	1.36	7.7	7.6
10	03.07.2008 18:42	0 01:47	8.3	13.9	7.5	12.2	2.47	1.80	30.1	22.0
11	04.07.2008 12:08	0 01:15	10.4	17.6	8.2	13	3.42	1.79	44.4	23.3
12	04.07.2008 20:55	0 02:18	19.0	34.7	18.5	32.8	5.14	5.30	168.5	173.7
13	06.07.2008 18:43	0 06:42	16.3	17.4	16.1	17.6	3.83	3.84	67.5	67.5
14	08.07.2008 06:47	0 09:03	38.2	40.8	38.7	36.4	10.79	9.59	392.9	349.2
15	13.07.2008 05:58	0 02:18	5.7	5.5	6.2	6.2	1.75	1.40	10.9	8.7
16	13.07.2008 12:01	0 01:26	12.4	18.7	12.1	17.2	3.13	3.06	53.8	52.7
17	14.07.2008 00:02	0 03:16	21.9	26.2	19.1	20.6	6.36	4.62	131.1	95.2
18	17.07.2008 20:52	0 07:53	12.5	4.7	14.3	5.4	1.71	2.44	9.2	13.1
19	20.07.2008 19:26	0 04:53	47.6	51.3	46.6	46.6	12.26	12.63	571.4	588.3
20	08.08.2008 04:52	0 01:24	11.9	20.2	11.1	18.4	3.65	2.85	67.2	52.5
21	08.08.2008 08:57	0 03:16	13.1	12.4	13.3	12.4	3.99	3.34	49.5	41.4
22	08.08.2008 22:07	0 03:18	20.4	11.2	22.7	12	4.54	4.61	54.5	55.3
23	13.08.2008 22:42	0 03:30	7.2	8.9	7.9	10	1.25	1.68	12.5	16.8
24	15.08.2008 17:44	0 03:24	12.9	7.8	14.3	9	2.60	2.89	23.4	26.0
25	15.08.2008 23:50	0 02:23	7.2	6.3	8.3	7.8	1.01	1.51	7.9	11.8
26	23.08.2008 11:33	0 08:14	92.5	42.7	59.4	29	30.36	14.61	880.4	423.6
27	24.08.2008 00:40	0 05:45	17.7	8.7	21	10.4	3.14	3.98	32.6	41.4
28	01.09.2008 22:48	0 02:49	12.7	17.9	11.9	16	2.99	2.82	47.9	45.1
29	03.09.2008 13:06	0 01:40	10.5	13.7	9.6	12.6	2.73	2.18	34.4	27.5
30	03.09.2008 23:35	0 03:13	22.7	19.5	23.2	19.6	4.90	5.39	96.1	105.7
31	04.09.2008 22:51	0 08:47	39.7	20.0	37.1	17.4	9.88	9.12	172.0	158.7
32	05.09.2008 16:34	0 01:47	12.9	11.8	12.9	12.2	2.92	2.99	35.7	36.4
33	07.09.2008 16:46	0 06:47	28.9	14.5	27.2	14.2	8.05	6.81	114.3	96.7
34	12.09.2008 16:57	0 02:02	13.4	19.1	10.2	11.2	3.34	2.19	37.4	24.5
35	13.09.2008 13:01	0 05:44	9.5	3.2	11.3	3.8	1.49	1.79	5.7	6.8
36	02.10.2008 13:59	0 12:49	48.6	16.6	44	16	9.45	8.81	151.2	140.9
37	03.10.2008 08:24	0 12:20	54.8	38.7	48.2	26.4	16.60	11.30	438.3	298.4
38	28.10.2008 14:45	1 17:06	421.9	41.6	323.4	25.6	98.65	72.83	2525.5	1864.5
39	30.10.2008 23:06	0 21:55	179.8	16.0	145.7	12.4	37.76	29.86	468.2	370.3
40	01.11.2008 01:14	0 09:21	30.7	12.3	23.1	9.2	6.44	4.02	59.3	37.0
41	04.11.2008 15:36	0 11:28	30.1	11.6	22.4	8.4	5.85	3.85	49.1	32.4
42	06.11.2008 15:28	0 11:16	14.1	5.8	10.2	4.2	2.58	1.64	10.8	6.9
43	08.11.2008 12:05	0 02:53	7.0	6.4	5.1	5	1.49	0.85	7.5	4.2
44	12.11.2008 12:52	1 12:28	167.1	18.6	124	11.8	37.24	22.97	439.4	271.0
49	02.12.2008 18:55	0 03:35	6.6	4.9	4.5	3.4	1.56	0.71	5.3	2.4
51	10.12.2008 07:04	2 05:43	252.7	17.9	193.5	13.6	51.07	35.26	694.6	479.5
53	15.12.2008 07:05	0 22:40	32.9	5.1	24.9	4.2	5.66	3.84	23.8	16.1
54	16.12.2008 12:27	0 16:45	34.4	9.5	26.3	7.2	6.53	4.35	47.0	31.3
57	18.01.2009 13:44	0 08:01	8.2	2.7	6.5	2.2	0.93	0.98	2.1	2.2
58	19.01.2009 18:29	1 14:26	330.2	20.3	246.3	14.4	62.16	49.38	895.2	711.1

dogodek	čas začetka	trajanje	P(dsd)	I ₃₀ (dsd)	P(rg)	I ₃₀ (rg)	E ₂ (dsd)	E(dsd)	R(dsd)	R(rg)
		[d hh:mm]	[mm]	[mm h ⁻¹]	[mm]	[mm h ⁻¹]	[MJ ha ⁻¹]		[MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	
61	06.02.2009 00:24	0 11:44	28.7	7.5	21.9	5.6	4.04	3.70	22.6	20.7
62	06.02.2009 18:20	1 04:55	141.5	16.7	113.5	12.6	24.96	21.16	314.5	266.6
64	03.03.2009 16:26	0 13:36	19.5	3.9	16.7	3	2.92	2.62	8.8	7.9
65	04.03.2009 11:12	1 12:02	134.4	15.2	102.7	9.8	25.13	18.00	246.3	176.4
66	27.03.2009 21:00	2 16:43	292.4	12.4	221	9.6	54.33	39.59	521.5	380.0
67	31.03.2009 23:41	0 06:44	11.4	3.3	8.6	2.6	1.59	1.32	4.1	3.4
68	02.04.2009 07:02	0 13:09	17.3	2.7	13	2.4	2.22	1.96	5.3	4.7
69	15.04.2009 17:37	0 01:11	7.7	11.7	5.5	8.6	1.79	1.08	15.4	9.3
70	16.04.2009 23:44	0 03:14	12.8	11.6	9.3	8	2.54	1.74	20.3	13.9
71	17.04.2009 15:41	0 01:09	8.5	14.1	4.8	7.6	2.94	0.91	22.4	6.9
72	17.04.2009 19:59	0 00:48	7.6	12.2	5.8	9.6	2.34	1.22	22.5	11.7
73	23.04.2009 04:56	0 03:15	10.5	5.9	7.6	4.4	1.79	1.25	7.9	5.5
74	26.04.2009 17:44	0 15:12	39.8	5.6	30.6	4.2	4.53	4.88	19.0	20.5
75	27.04.2009 18:47	0 14:56	18.2	4.1	14	3	2.19	2.11	6.6	6.3
76	29.04.2009 00:02	0 16:34	59.1	14.1	44.6	10.2	10.15	8.31	103.5	84.7
77	22.05.2009 16:35	0 00:23	30.7	61.4	17.3	34.6	10.34	5.54	357.6	191.7
78	27.05.2009 03:47	0 01:03	11.1	18.3	8.5	13.4	3.80	1.98	50.9	26.5
79	27.05.2009 11:12	0 03:44	16.7	9.9	12	7.2	3.25	2.20	23.4	15.9
80	30.05.2009 23:11	0 04:07	8.9	6.4	6.6	5	1.89	1.20	9.4	6.0
81	04.06.2009 11:51	0 00:59	12.5	22.5	8.9	16	3.29	2.14	52.6	34.2
82	05.06.2009 17:28	0 06:02	77.6	40.9	57.2	28.4	18.59	13.88	527.8	394.2
83	06.06.2009 08:41	0 01:08	39.6	71.0	22.1	37.4	14.03	6.41	524.8	239.6
84	06.06.2009 16:11	0 05:23	42.4	28.0	28.6	20.2	13.45	7.08	271.7	143.0
85	07.06.2009 15:10	0 01:45	18.8	23.6	13.4	16.8	5.21	3.05	87.6	51.2
86	07.06.2009 22:09	0 00:51	7.7	14.2	5.5	10.2	1.46	1.21	14.9	12.3
87	09.06.2009 22:31	0 02:13	7.4	6.3	5.1	4.2	1.18	0.87	4.9	3.6
88	10.06.2009 14:18	0 01:13	6.4	10.4	4.4	7	1.72	0.94	12.0	6.6
89	16.06.2009 18:22	0 05:46	19.2	7.8	13.1	5.8	4.09	2.24	23.7	13.0
90	20.06.2009 01:12	0 10:38	76.5	21.7	52.3	13.4	17.01	10.30	227.9	138.0
91	24.06.2009 02:18	0 04:57	13.9	6.4	10.3	4.8	2.77	1.70	13.3	8.1
92	01.07.2009 14:28	0 01:00	12.9	17.2	8.4	11.4	4.06	2.17	46.3	24.7
93	02.07.2009 12:25	0 00:27	6.0	12.0	3.6	7.2	1.45	0.83	10.5	6.0
94	03.07.2009 17:57	0 01:10	11.5	20.5	7.7	14	3.60	1.96	50.5	27.5
95	06.07.2009 10:47	0 02:16	31.2	34.9	21.3	22.8	8.57	5.23	195.5	119.2
96	07.07.2009 10:32	0 08:36	37.3	19.3	25.2	11.2	9.08	5.07	101.6	56.7
97	08.07.2009 00:31	0 02:11	33.2	43.3	20.7	25.6	9.45	5.35	241.9	136.9

B2 Erozivni dogodki na merilnem mestu Ilirska Bistrica – Koseze

dogodek	čas začetka	trajanje [d hh:mm]	P(dsd) [mm]	I ₃₀ (dsd) [mm h ⁻¹]	P(rg) [mm]	I ₃₀ (rg) [mm h ⁻¹]	E ₂ (dsd) [MJ ha ⁻¹]	E(rg) [MJ ha ⁻¹]	R(dsd) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R(rg) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
1	06.07.2008 20:43	0 00:55	10.6	19.9	10.1	18.8	2.81	2.57	52.9	48.4
2	07.07.2008 18:34	0 00:20	21.6	43.4	20.6	41.2	6.05	6.01	249.1	247.5
3	13.07.2008 19:41	0 08:50	68.1	121.2	45.3	73.2	20.01	12.61	1464.9	923.0
4	18.07.2008 08:24	0 02:05	9.7	8.9	11.9	11	1.56	2.48	17.2	27.3
5	21.07.2008 07:10	0 02:40	15.1	14.2	19.3	18.2	3.53	4.55	64.3	82.7
6	08.08.2008 15:24	0 00:35	24.0	48.0	25.6	51	6.71	7.31	342.1	373.0
7	09.08.2008 00:20	0 01:20	32.6	58.6	23.3	42.8	9.70	6.48	415.0	277.4
8	15.08.2008 16:50	0 13:25	18.5	5.4	23.5	7.4	3.23	4.39	23.9	32.5
9	24.08.2008 03:17	0 01:15	20.8	33.8	18.4	28.6	6.70	5.00	191.7	143.1
10	02.09.2008 11:58	0 00:50	13.6	25.6	14.1	25.6	3.83	3.79	98.0	97.1
11	12.09.2008 18:07	0 03:25	17.8	27.2	21.8	32	4.16	5.68	133.1	181.8
12	13.09.2008 14:10	0 03:45	11.5	5.5	14.8	7	2.23	2.59	15.6	18.1
14	17.10.2008 11:15	0 05:50	5.8	3.4	7.7	4.4	0.90	1.31	3.9	5.8
15	28.10.2008 23:06	0 06:15	32.7	30.3	29.8	25.6	7.89	6.84	202.1	175.1
16	29.10.2008 19:35	0 06:05	29.5	28.5	23.4	23.2	8.63	6.15	200.2	142.6
17	30.10.2008 08:12	0 06:50	9.2	6.4	8.1	5.6	1.64	1.56	9.2	8.7
18	01.11.2008 00:33	0 10:55	55.5	24.7	54.6	23	12.09	12.19	278.1	280.4
19	05.11.2008 00:58	0 04:40	11.7	8.1	12.8	8.4	2.28	2.50	19.2	21.0
20	06.11.2008 18:10	0 04:20	14.3	7.3	15.6	8	2.40	2.81	19.2	22.5
21	13.11.2008 12:36	0 06:20	7.9	2.9	8.2	2.8	1.37	1.19	3.8	3.3
22	10.12.2008 06:52	2 02:40	186.5	25.8	196.9	24	34.72	37.71	833.4	905.1
23	16.12.2008 11:41	0 15:15	28.4	9.2	27.6	9	5.97	4.90	53.7	44.1
26	02.02.2009 12:53	1 08:55	146.1	42.3	130.8	28.8	28.98	26.79	834.7	771.5
27	06.02.2009 20:39	0 16:35	22.9	8.9	22.7	8.2	3.33	3.95	27.3	32.3
28	10.02.2009 09:47	0 07:25	16.7	11.2	16.3	10	2.74	2.98	27.4	29.8
29	04.03.2009 15:47	0 11:40	33.8	8.7	31.7	8.4	5.23	5.64	43.9	47.4
30	05.03.2009 13:17	0 13:40	19.1	5.4	18.2	5.2	2.99	2.87	15.5	14.9
33	28.03.2009 21:02	1 00:00	56.4	7.4	55.1	7.4	8.04	9.13	59.5	67.6
34	29.03.2009 23:13	0 04:15	8.0	6.9	8.3	7.2	1.44	1.59	10.4	11.4
35	30.03.2009 11:59	0 02:35	6.7	6.6	7.1	6.8	1.13	1.30	7.7	8.8
36	02.04.2009 03:00	0 12:40	20.9	6.6	21.9	6.4	3.34	3.54	21.4	22.6
37	28.04.2009 23:00	0 09:15	24.9	8.7	25.7	8.8	4.39	4.85	38.7	42.7
38	04.06.2009 03:39	0 07:00	23.2	13.0	23.1	12.2	5.04	4.73	61.5	57.8
39	07.06.2009 01:18	0 01:35	9.3	15.5	6.5	11.6	3.15	1.53	36.6	17.7
40	07.06.2009 08:51	0 03:40	9.9	8.4	8.7	7.2	3.10	1.84	22.3	13.2
41	20.06.2009 08:44	0 03:30	17.5	16.1	17.5	16.2	3.54	3.67	57.4	59.5
42	26.06.2009 12:55	0 00:45	7.0	13.7	6.8	12.6	1.98	1.59	25.0	20.1
43	27.06.2009 12:53	0 01:05	5.8	9.5	5.6	9	1.09	1.19	9.8	10.7
44	06.07.2009 10:10	0 04:35	30.2	38.6	27.6	34.6	8.40	7.15	290.7	247.4
45	07.07.2009 16:45	0 01:30	7.3	11.1	7.4	11.4	1.92	1.81	21.9	20.7
46	08.07.2009 09:24	0 03:45	18.9	25.7	17.2	23.4	5.42	4.19	126.9	98.0

B3 Erozivni dogodki na merilnem mestu Kozjane

dogodek	čas začetka	trajanje [d hh:mm]	P(dsd) [mm]	I ₃₀ (dsd) [mm h ⁻¹]	P(rg) [mm]	I ₃₀ (rg) [mm h ⁻¹]	E ₂ (dsd) [MJ ha ⁻¹]	E(rg) [MJ ha ⁻¹]	R(dsd) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R(rg) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
1	06.07.2008 20:18	0 01:30	7.7	11.1	-	-	1.81	-	-	-
2	07.07.2008 18:30	0 00:36	5.2	10.3	-	-	1.49	-	-	-
3	13.07.2008 22:56	0 05:27	13.4	13.8	-	-	3.62	-	-	-
4	18.07.2008 08:37	0 02:32	15.8	13.0	16.4	13.2	2.92	3.55	38.5	46.8
5	21.07.2008 05:24	0 03:30	25.9	16.2	25.2	16.7	7.11	6.46	119.0	108.1
6	08.08.2008 13:59	0 01:35	45.2	45.3	47.8	48.6	13.97	14.16	679.2	688.5
7	09.08.2008 00:36	0 01:29	36.6	62.4	22.2	37.2	11.54	6.29	429.2	233.9
8	15.08.2008 17:26	0 13:43	32.5	12.5	-	-	6.51	-	-	-
9	24.08.2008 03:24	0 01:23	9.1	10.2	-	-	2.57	-	-	-
10	12.09.2008 17:59	0 04:58	32.2	36.9	32.2	37.1	8.06	8.86	299.2	328.9
11	13.09.2008 13:00	0 06:28	18.1	6.4	18.2	6.7	3.50	3.34	23.5	22.5
12	17.10.2008 02:20	0 14:27	38.8	14.9	37.6	13.5	9.18	8.24	123.5	110.8
13	29.10.2008 02:57	0 02:21	4.4	3.3	4.6	3.4	0.53	0.75	1.8	2.5
14	29.10.2008 19:29	0 06:22	11.8	8.6	11.8	7.6	2.68	2.68	20.4	20.4
15	30.10.2008 08:19	0 04:01	5.5	6.0	4.8	4.9	0.97	0.91	4.7	4.4
16	01.11.2008 01:18	0 11:23	34.1	17.3	33.4	16.8	6.33	7.03	106.3	118.1
17	05.11.2008 01:19	0 02:41	7.5	6.8	8	7.0	1.24	1.58	8.6	11.0
18	06.11.2008 18:52	0 04:40	7.5	5.0	7.4	5.2	1.22	1.24	6.3	6.4
19	13.11.2008 06:06	0 13:17	18.8	4.8	17.8	4.2	3.01	2.87	12.7	12.1
20	10.12.2008 10:38	2 00:52	127.8	22.1	118.8	19.8	22.10	22.72	436.9	449.2
21	16.12.2008 13:24	0 14:22	23.5	8.9	23	8.6	3.84	4.00	33.1	34.5
22	02.02.2009 15:07	1 07:49	83.3	15.9	39.4	12.1	15.70	6.81	189.2	82.0
23	04.03.2009 15:54	1 10:59	46.8	4.3	44.6	4.1	6.49	7.26	26.3	29.4
24	28.03.2009 20:36	1 15:07	60.1	11.2	60.6	11.4	9.16	10.89	104.0	123.6
25	02.04.2009 01:50	0 14:31	19.6	5.6	18.8	5.5	2.92	3.15	16.1	17.4
26	04.04.2009 16:53	0 00:50	5.0	9.7	4.4	8.0	1.36	1.17	10.9	9.3
27	07.04.2009 13:48	0 01:09	8.5	16.6	8.2	16.0	3.08	2.44	49.2	39.1
28	28.04.2009 22:56	0 08:48	11.3	7.1	12.2	7.9	1.60	2.17	12.7	17.2
29	27.05.2009 13:18	0 04:59	19.9	23.2	19.4	22.5	5.44	4.87	122.1	109.4
30	30.05.2009 20:10	0 01:43	5.4	6.5	4	4.9	0.84	0.71	4.1	3.5
31	04.06.2009 03:12	0 06:26	33.0	27.9	2	0.9	8.58	0.32	7.5	0.3
32	20.06.2009 05:54	0 05:44	77.0	55.3	61.6	40.9	19.81	15.88	810.9	649.9
33	23.06.2009 11:03	0 06:34	8.2	2.3	8	2.4	1.04	1.22	2.5	2.9
34	27.06.2009 09:16	0 00:27	8.5	16.9	7.4	14.4	2.70	2.11	38.9	30.4
35	05.07.2009 13:14	0 02:05	38.8	74.3	27	51.2	12.42	8.02	635.7	410.2
36	06.07.2009 11:27	0 02:07	8.3	9.4	8.8	8.5	2.07	1.86	17.6	15.8
37	07.07.2009 13:29	0 04:22	11.9	15.6	10.8	14.4	3.37	2.83	48.5	40.8
38	08.07.2009 10:40	0 01:29	6.3	7.5	6	7.4	1.30	1.11	9.6	8.2

B4 Erozivni dogodki na merilnem mestu Ljubljana Hajdrihova

dogodek	čas začetka	trajanje [d hh:mm]	P(dsd) [mm]	I ₃₀ (dsd) [mm h ⁻¹]	P(rg) [mm]	I ₃₀ (rg) [mm h ⁻¹]	E ₂ (dsd) [MJ ha ⁻¹]	E(rg) [MJ ha ⁻¹]	R(dsd) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R(rg) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
1	07.12.2007 21:46	0 09:17	21.7	4.6	18.6	4.1	4.055	2.9	16.6	11.8
2	09.12.2007 16:32	0 06:54	6.7	2.4	5.6	1.8	1.051	0.7	1.9	1.3
5	04.02.2008 03:17	0 06:36	7.5	4.2	7	4.0	0.913	1.0	3.7	4.2
7	16.03.2008 17:37	0 04:58	27.4	15.0	23.4	12.3	5.648	5.0	69.6	61.4
12	29.03.2008 15:55	0 02:27	5.9	5.7	5	5.0	1.154	0.8	5.7	4.1
14	07.04.2008 03:09	0 02:42	11.1	13.3	9.2	10.4	2.69	1.9	27.9	20.2
15	12.04.2008 06:41	0 01:17	5.8	6.6	5	5.6	1.079	1.0	6.0	5.3
16	12.04.2008 13:51	0 10:33	40.9	15.2	35	12.2	8.241	6.5	100.9	79.6
17	18.04.2008 09:24	0 02:25	6.6	7.1	5.6	6.1	1.243	1.0	7.6	5.9
18	21.04.2008 13:11	0 03:10	13.3	9.8	11.8	8.8	3.014	2.3	26.5	20.3
19	21.04.2008 21:17	0 01:56	5.7	8.2	5.4	8.2	0.853	1.1	7.0	9.3
21	01.05.2008 10:56	0 03:43	11.1	16.3	9.4	13.2	3.128	2.3	41.3	30.0
22	05.05.2008 08:51	0 06:57	11.1	5.1	10	4.4	1.731	1.5	7.7	6.8
23	18.05.2008 13:20	0 03:27	7.8	6.5	6.8	5.7	1.378	1.3	7.9	7.4
24	19.05.2008 01:39	0 02:23	7.9	7.1	6.4	5.5	1.672	1.1	9.2	5.8
25	19.05.2008 21:09	0 07:17	36.1	13.7	30.8	11.3	6.973	6.3	78.9	71.2
26	20.05.2008 09:46	0 02:34	8.6	6.8	8	6.5	1.758	1.5	11.4	10.0
37	18.07.2008 00:56	0 08:43	51.7	36.9	39.8	26.7	11.491	8.7	306.4	232.2
38	20.07.2008 22:06	0 02:01	41.0	33.9	29.2	23.8	12.051	7.9	286.5	188.6
39	22.07.2008 15:49	0 00:41	9.3	18.4	6.8	13.2	2.832	1.9	37.4	24.5
40	26.07.2008 16:44	0 03:55	11.1	7.0	8.6	6.1	2.037	1.5	12.5	9.2
41	05.08.2008 19:44	0 03:20	9.0	10.7	7.2	9.2	1.871	1.4	17.3	13.2
42	08.08.2008 11:14	0 04:51	54.2	35.6	41.2	27.0	17.046	11.6	460.4	314.3
43	08.08.2008 23:06	0 02:37	7.5	6.1	5.6	4.7	1.712	0.9	8.0	4.3
44	14.08.2008 00:56	0 02:27	10.9	10.1	8.6	8.3	2.206	1.9	18.2	15.6
45	15.08.2008 18:20	0 14:07	44.2	18.7	35.6	15.5	8.959	7.2	139.2	111.2
46	23.08.2008 15:56	0 12:58	55.3	14.4	42.8	10.9	13.257	8.8	144.0	95.9
47	05.09.2008 03:15	0 00:21	7.4	14.8	5.4	10.4	2.059	1.5	21.4	15.4
48	08.09.2008 08:27	0 01:28	9.1	13.3	6.4	9.7	2.54	1.5	24.6	14.3
49	12.09.2008 20:39	0 01:51	5.7	6.4	4.6	4.8	0.91	0.8	4.4	3.8
50	13.09.2008 13:42	0 05:54	10.4	3.4	8.8	3.0	1.712	1.3	5.1	3.9
51	03.10.2008 20:54	0 05:39	8.7	6.6	7.2	5.7	1.457	1.2	8.4	6.7
52	17.10.2008 01:08	0 12:58	49.2	22.4	41.2	19.1	11.195	9.2	213.6	175.9
53	28.10.2008 10:45	0 03:33	10.6	9.5	8.8	7.8	2.074	1.7	16.2	13.1
54	29.10.2008 00:48	0 04:37	15.5	5.8	12.2	4.5	2.441	2.0	10.9	9.1
55	29.10.2008 23:27	0 12:35	14.0	8.8	11	6.8	2.689	2.0	18.3	13.5
56	31.10.2008 06:16	0 03:29	10.3	8.5	8.4	6.8	2.024	1.4	13.8	9.9
57	01.11.2008 01:19	0 10:16	36.4	12.4	29	10.0	7.051	5.4	70.4	53.6
58	05.11.2008 01:15	0 05:31	9.5	4.4	7.4	3.2	1.733	1.1	5.6	3.6
59	06.11.2008 04:59	0 03:07	6.5	6.3	5.2	5.0	0.823	0.9	4.1	4.2

dogodek	čas začetka	trajanje [d hh:mm]	P(dsd) [mm]	I ₃₀ (dsd) [mm h ⁻¹]	P(rg) [mm]	I ₃₀ (rg) [mm h ⁻¹]	E ₂ (dsd) [MJ ha ⁻¹]	E(rg) [MJ ha ⁻¹]	R(dsd) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]	R(rg) [MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹]
60	13.11.2008 10:12	0 11:48	13.5	3.1	10.4	2.4	1.783	1.4	4.2	3.4
61	21.11.2008 18:14	0 02:26	9.3	8.3	8	7.3	1.711	1.5	12.5	10.6
64	30.11.2008 04:48	0 10:38	22.2	9.3	29.8	9.7	3.956	5.3	38.5	51.3
65	01.12.2008 00:20	0 12:16	13.3	6.3	11.2	5.0	2.313	1.8	11.5	9.2
66	01.12.2008 20:28	0 17:32	26.0	8.6	18.2	5.5	4.741	2.8	26.1	15.5
67	02.12.2008 18:32	0 06:02	9.1	4.4	7.2	3.2	1.529	1.1	4.9	3.4
68	05.12.2008 02:47	0 15:10	39.3	7.5	31.8	5.9	6.872	5.4	40.3	31.6
69	10.12.2008 11:40	1 12:44	76.6	8.9	60.8	7.3	12.283	9.8	89.4	71.3
70	12.12.2008 03:12	0 06:11	7.5	2.6	5.8	2.0	0.952	0.8	1.9	1.6
71	15.12.2008 12:56	0 11:07	10.4	2.5	8.2	2.0	1.235	1.1	2.5	2.2
72	16.12.2008 17:02	0 11:33	15.1	3.9	11.8	3.0	2.24	1.7	6.8	5.1
73	18.12.2008 07:59	0 06:03	8.8	4.0	6.6	3.1	1.258	0.9	3.8	2.9
77	21.01.2009 07:12	0 20:20	27.7	3.3	23.8	2.8	3.196	3.4	8.9	9.5
81	06.02.2009 21:58	0 06:31	7.6	5.2	7.2	4.5	1.103	1.1	5.0	5.1
82	08.02.2009 03:10	0 12:00	11.5	2.1	9.8	1.7	1.206	1.3	2.0	2.2
83	10.02.2009 10:46	0 06:02	9.0	6.9	7.4	5.9	1.777	1.2	10.6	7.3
85	04.03.2009 12:36	0 14:46	28.5	6.3	25.4	5.6	3.977	4.2	22.3	23.6
86	05.03.2009 06:30	0 12:45	16.2	2.6	13.8	2.1	1.83	1.9	3.9	4.0
87	05.03.2009 22:43	0 06:51	10.3	3.3	9.4	3.1	1.637	1.4	5.1	4.5
88	29.03.2009 03:33	1 09:15	104.1	9.3	96.6	8.6	17.273	17.1	147.9	146.7
89	31.03.2009 15:09	0 09:57	11.1	4.1	8.8	3.7	1.858	1.3	6.8	4.7
90	02.04.2009 05:09	0 17:16	34.4	6.6	29.4	6.0	4.993	4.9	29.9	29.5
91	20.04.2009 16:53	0 07:16	8.4	7.0	7.4	6.0	1.462	1.3	8.8	7.8
92	23.04.2009 05:16	0 06:46	19.4	7.1	17	6.4	3.449	2.9	22.0	18.6
93	23.04.2009 16:09	0 09:02	9.2	3.1	8	2.8	1.062	1.1	2.9	3.0
94	28.04.2009 14:51	0 06:07	6.7	3.9	5.2	3.0	0.978	0.7	3.0	2.2
95	29.04.2009 07:31	0 11:06	22.0	21.6	18.2	18.4	4.903	4.0	90.3	73.2
97	27.05.2009 12:07	0 05:23	22.9	8.2	19	7.0	5.038	3.5	35.4	24.8
98	30.05.2009 18:47	0 10:38	19.2	4.8	15.8	3.8	3.832	2.5	14.7	9.4
99	05.06.2009 18:29	0 02:59	8.2	5.3	7.2	4.5	1.826	1.2	8.2	5.4

PRILOGA C: Povzetek rezultatov postopka multiple linearne regresije (MLR) pri izdelavi
karte erozivnosti padavin Slovenije

C1 MLR na osnovi 31 znanih vrednosti erozivnosti padavin

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics					
Multiple R	0.872721529				
R Square	0.761642868				
Adjusted R Square	0.689099393				
Standard Error	1279.192039				
Observations	31				

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	7	120260376.7	17180053.81	10.49912301	7.11827E-06
Residual	23	37635642.27	1636332.272		
Total	30	157896018.9			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	50780.9883	21426.28295	2.370032563	0.026553009	6457.345268	95104.63133
x	-0.205758667	0.090573644	-2.271727832	0.032772734	-0.393124524	-0.018392811
x2	2.01659E-07	9.49946E-08	2.122850100	0.044745617	5.14799E-09	3.9817E-07
y2	-5.44466E-07	2.10086E-07	-2.591636148	0.016312283	-9.79062E-07	-1.0987E-07
z	21.44012859	7.450357269	2.877731606	0.008499868	6.027890409	36.85236676
dZ_sample	3.229863398	1.138984641	2.835739202	0.009366715	0.873694165	5.586032631
xy	1.93878E-07	8.94497E-08	2.167446467	0.040799808	8.83664E-09	3.78918E-07
xz	-4.3289E-05	1.72497E-05	-2.509546542	0.019577212	-7.89727E-05	-7.60521E-06

C2

MLR na osnovi 44 znanih vrednosti erozivnosti padavin

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.861102633
R Square	0.741497744
Adjusted R Square	0.691233417
Standard Error	1243.539408
Observations	44

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	7	159686096	22812299.43	14.75196788	6.86033E-09
Residual	36	55670049.33	1546390.259		
Total	43	215356145.4			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	3.65234174490E+04	14917.7194	2.44832447	0.019356095	6268.880428	66777.95447
x	-1.32886358508E-01	0.060857998	-2.183547975	0.035594715	-0.256312098	-0.009460619
x2	1.20382985237E-07	6.26903E-08	1.920280636	0.062772112	-6.75885E-09	2.47525E-07
y2	-2.39756024281E-07	1.44321E-07	-1.661272625	0.105344514	-5.32452E-07	5.29399E-08
z	1.13782894829E+01	5.443951032	2.090079322	0.043735761	0.337445131	22.41913384
dZ_sample	2.42030701955E+00	0.840927312	2.878140579	0.006689593	0.714827395	4.125786644
xy	8.53758507896E-08	6.31054E-08	1.352908362	0.184521018	-4.26079E-08	2.1336E-07
xz	-2.09936715778E-05	1.23745E-05	-1.696526371	0.09841813	-4.60903E-05	4.10298E-06