

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidatka:

Vladka Kržič

Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje

Diplomska naloga št.: 2920

Mentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Somentor:
prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 27. 10. 2006

- II Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje.
Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **VLADKA KRŽIČ** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
»UPORABA SODOBNE TEHNOLOGIJE PRI SPREMLJANJU STANJA SNEŽNE ODEJE«.

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

Ljubljana, 12.10.2006

(podpis)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji hidrotehnične smeri:

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 556.12(043.2)
Avtor: Vladka Kržič
Mentor: prof. dr. Mitja Brilly
Somentor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Naslov: Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje
Obseg in oprema: 92 str., 11 pregl., 40 graf., 5 sl.
Ključne besede: sneg, snežna odeja, meritve, evapotranspiracija

Izvleček

Diplomsko delo opisuje lastnosti snežnih padavin in snežne odeje. Opisuje tudi metode merjenja snežnih padavin s pluviometri ter metode opazovanja snežne odeje z metrom, snežno tubo, snežno blazino, radioaktivnimi merilnimi inštrumenti ter letalskimi in satelitskimi slikami. Meritve, pri katerih dobljeni podatki so obdelani v diplomskem delu, so potekale v sklopu projekta AWARE v zimskih sezonah 2004/2005 in 2005/2006. Cilj meritev je bilo določiti povezave med tajanjem snežne odeje in podzemnim odtokom. Po Sloveniji je bilo nameščenih deset parov pluviometrov - eden pluviometer za merjenje snežnih padavin, ki ga imenujemo snegomer in eden za merjenje infiltracije v tla zaradi tavanja snežne odeje. Ob koncu zimskih sezon so bili primerjani podatki parov pluviometrov. Za kontrolo volumna celotnih padavin je bila ponekod nameščena plastična posoda, povezana z odtokom iz snegomera. Za določitev potencialne evapotranspiracije s površine snežne odeje je uporabljena metoda po Thornthwaitu. Iz Agencije Republike Slovenije za Okolje so bili dobljeni izračuni evapotranspiracije po Penman-Monteithovi metodi in nato primerjani s podatki iz pluviometrov.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.12(043.2)
Author: Vladka Kržič
Supervisor: prof.dr. Mitja Brilly
Co-Supervisor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Title: The use of modern technology for monitoring the snow cover
Notes: 92 p., 11 tab., 40 gr., 5 fig.
Key words: snow, snow cover, measurements, evapotranspiration

Abstract

The present work focuses on snowfall and snow cover. It describes methods of snowfall measurement with pluviometer and methods of snow cover monitoring with a meter, snow tube, snow pillow, radioactive gauge, aerial photography and satellite observation. Measurements, processed in the present work are made by the AWARE project in winter seasons of 2004/2005 and 2005/2006. The goal is to determine the relations between snowmelt and groundwater. Ten pairs of pluviometers were set across Slovenia. In a pair, one pluviometer was set as a snowfall gauge and one for measuring the inground infiltration. At the end of winter seasons the data was collected and compared. Plastic containers were attached onto snowfall gauge's drain to control the total volume of precipitation. The Thornthwaite method was used to calculate the potential evapotranspiration. Pluviometer data is also compared with ARSO's calculation of evapotranspiration by Penman-Monteith method.

VI Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje.
Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. M. Brilly in somentorju prof. dr. M. Mikošu. Za pomoč se zahvaljujem tudi zaposlenim v KSH S. Petanu, M. Padežniku in asist.dr. M. Šraj.

Zahvaljujem se tudi svojim staršema, ki sta mi omogočila študij in me cel čas podpirala.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	SNEŽNE PADAVINE	3
2.1	Nastanek snežnih padavin	3
2.2	Kemična sestava snežnih padavin	5
2.3	Klasifikacija snežink	5
2.4	Meritve snežnih padavin	6
2.4.1	Pluviometri	6
2.4.1.1	Postavitev pluviometrov	7
2.4.1.2	Vrste pluviometrov	9
2.4.1.2.1	Ombrometer	9
2.4.1.2.2	Ombrograf	10
2.4.1.3	Napake pri merjenju	11
2.4.1.4	Ukrepi za zmanjševanje napak zaradi vetra	12
2.4.2	Druge metode za merjenje padavin	13
3	SNEŽNA ODEJA	15
3.1	Lastnosti snežne odeje	15
3.1.1	Fizične lastnosti	15
3.1.1.1	Snežna tekstura	15
3.1.1.2	Gostota	15
3.1.1.3	Oblika zrn	16
3.1.1.4	Velikost zrn	17
3.1.1.5	Vsebnost proste vode	18
3.1.1.6	Trdota	18
3.1.1.7	Žilavost	19
3.1.1.8	Višina snežne odeje	19
3.1.1.9	Vodni ekvivalent	19
3.1.1.10	Kvaliteta	20

3.1.1.11	Poroznost	20
3.1.2	Termalne lastnosti	21
3.1.2.1	Temperatura	21
3.1.2.2	Specifična toplota	21
3.1.2.3	Latentna toplota	21
3.1.2.4	Termalna prevodnost	22
3.1.3	Optične lastnosti	22
3.1.3.1	Dielektrična konstanta	22
3.1.3.2	Albedo	23
3.2	Preobrazba snežne odeje	24
3.2.1	Mehanske spremembe	24
3.2.2	Izotermna preobrazba	24
3.2.3	Gradientna preobrazba	25
3.2.4	Preobrazba mokrega snega	26
3.2.5	Nastanek ledenika	26
3.2.6	Tajanje	27
3.2.7	Evaporacija s površine snežne odeje	28
3.3	Meritve snežne odeje	28
3.3.1	Višina snežne odeje	28
3.3.1.1	Meter	28
3.3.1.2	Optični meter	29
3.3.1.3	Pretvorba višine v vodni ekvivalent	30
3.3.2	Vodni ekvivalent snežne odeje	30
3.3.2.1	Snežna blazina	30
3.3.2.2	Snežna tuba	31
3.3.2.3	Radioaktivni merilni inštrumenti	32
3.3.2.4	Naravno sevanje gama žarkov	33
3.3.3	Obseg snežne odeje	34
3.3.3.1	Terensko opazovanje	34
3.3.3.2	Opazovanje z letali	35
3.3.3.3	Opazovanje s sateliti	35

4	MERITVE SNEŽNIH PADAVIN IN SNEŽNE ODEJE V V ZIMSKIH SEZONAH 2004/2005 IN 2005/2006	38
4.1	Opis projekta	38
4.2	Pluviometer	39
4.2.1	Postavitev pluviometrov	40
4.2.1.1	Pluviometer na palici - snegomer	40
4.2.1.2	Pluviometer v tleh	41
4.3	Mreža pluviometrov	43
5	REZULTATI MERITEV SNEŽNIH PADAVIN IN SNEŽNE ODEJE V ZIMSKIH SEZONAH 2004/2005 IN 2005/2006	47
5.1	Akumulacija in ablacija snežne odeje	47
5.1.1	Zimska sezona 2004/2005	47
5.1.1.1	Dolina Koritnice 2004/2005	48
5.1.1.2	Strmec 2004/2005	50
5.1.1.3	Plaz Slano Blato 2004/2005	52
5.1.1.4	Macesnik 2004/2005	54
5.1.1.5	Ljubljana 2004/2005	56
5.1.2	Zimska sezona 2005/2006	57
5.1.1.1	Dolina Koritnice 2005/2006	57
5.1.1.2	Strmec 2005/2006	59
5.1.1.3	Sviščaki 2005/2006	61
5.1.1.4	Snežnik 2005/2006	64
5.1.1.5	Ljubljana 2005/2006	66
5.2	Izračun potencialne evapotranspiracije po Thornthwaitu za zimsko sezono 2004/2005	69
5.2.1	Dolina Koritnice 2004/2005	70
5.2.2	Strmec 2004/2005	72
5.2.3	Ljubljana 2004/2005	72
5.3	Evapotranspiracija po Penman-Monteithu	73
5.3.1	Zimska sezona 2004/2005	74

X Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje.
Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

5.3.1.1	Rateče 29.12.2004-31.03.2005	74
5.3.1.2	Rateče 25.12.2004-08.04.2005	75
5.3.1.3	Ljubljana 2004/2005	76
5.3.2	Zimska sezona 2005/2006	77
5.3.2.1	Rateče 25.11.2005-18.04.2006	77
5.3.2.2	Rateče 24.11.2005-27.03.2006	78
5.3.2.3	Ljubljana 2005/2006	79
5.4	Kontrola volumna izmerjenih padavin za zimsko sezono 2004/2005	80
5.4.1	Dolina Koritnice 2004/2005	81
5.4.2	Plaz Slano Blato 2004/2005	81
5.4.3	Macesnik 2004/2005	82
5.5	Primerjava z meritvami ARSO v Logu pod Mangartom v zimski sezoni 2004/2005	82
5.5.1	Mesečne padavine Log pod Mangartom 2004/2005	83
5.5.2	Dnevne padavine Log pod Mangartom 2004/2005	83
6	ZAKLJUČKI	86
VIRI		90

KAZALO SLIK

Slika 1: Snegomer	40
Slika 2: Postavitev dežemera 1	42
Slika 3: Postavitev dežemera 2	42
Slika 4: Postavitev dežemera 3	43
Slika 5: Mreža dežemerov	46

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mreža dežemerov	45
Preglednica 2: Izračun PET (Rateče - Koritnica 2005)	71
Preglednica 3: Izračun PET (Rateče - Strmec 2005)	72
Preglednica 4: Izračun PET (Ljubljana 2005)	72
Preglednica 5: Kontrola volumna (Dolina Koritnice 2004/2005)	81
Preglednica 6: Kontrola volumna (Slano Blato 2004/2005)	81
Preglednica 7: Kontrola volumna (Macesnik 2004/2005)	82
Preglednica 8: Primerjava mesečnih padavin (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice)	83
Preglednica 9: Primerjava dnevnih padavin (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice)	84
Preglednica 10: Delež odтока v tla	87
Preglednica 11: ET po Penman-Monteithu	88

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Dolina Koritnice 04/05)	48
Grafikon 2: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Dolina Koritnice 04/05)	49
Grafikon 3: Vsotni graf 29.dec. - 31. mar. (Dolina Koritnice 04/05)	50
Grafikon 4: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Strmec 04/05)	51
Grafikon 5: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Strmec 04/05)	51
Grafikon 6: Vsotni graf 25.dec. - 08. apr. (Strmec 04/05)	52
Grafikon 7: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Slano Blato 04/05)	53
Grafikon 8: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Slano Blato 04/05)	53
Grafikon 9: Vsotni graf 22.jan. - 13. feb. (Slano Blato 04/05)	54
Grafikon 10: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Macesnik 04/05)	55
Grafikon 11: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Macesnik 04/05)	55
Grafikon 12: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Ljubljana 04/05)	56
Grafikon 13: Vsotni graf 26.dec. - 31. mar. (Ljubljana 04/05)	57
Grafikon 14: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Dolina Koritnice 05/06)	58
Grafikon 15: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Dolina Koritnice 05/06)	58
Grafikon 16: Vsotni graf 25.nov. - 18. apr. (Dolina Koritnice 05/06)	59
Grafikon 17: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Strmec 05/06)	60
Grafikon 18: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Strmec 05/06)	60
Grafikon 19: Vsotni graf 24.nov. - 27. mar. (Strmec 05/06)	61
Grafikon 20: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Sviščaki 05/06)	62
Grafikon 21: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Sviščaki 05/06)	62
Grafikon 22: Vsotni graf 18.nov. - 31. dec. (Sviščaki 05/06)	63
Grafikon 23: Vsotni graf 29.jan. - 28. apr. (Sviščaki 05/06)	64
Grafikon 24: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Snežnik 05/06)	65
Grafikon 25: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Snežnik 05/06)	65
Grafikon 26: Vsotni graf 25.nov. - 14. maj (Snežnik 05/06)	66
Grafikon 27: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Ljubljana 05/06)	67
Grafikon 28: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Ljubljana 05/06)	67
Grafikon 29: Vsotni graf 25.nov. - 2. dec. (Ljubljana 05/06)	68

Grafikon 30: Vsotni graf 13.dec. - 23. mar. (Ljubljana 05/06)	69
Grafikon 31: Izračun PET (Rateče 2005)	71
Grafikon 32: Izračun PET (Ljubljana 2005)	73
Grafikon 33: ET (Rateče 29.12.2004-31.03.2005)	74
Grafikon 34: ET (Rateče 25.12.2004-08.04.2005)	75
Grafikon 35: ET (Ljubljana 2004/2005)	76
Grafikon 36: Ljubljana + ET 2004/2005	77
Grafikon 37: ET (Rateče 25.11.2005-18.04.2006)	78
Grafikon 38: ET (Rateče 24.11.2005-27.03.2006)	79
Grafikon 39: ET (Ljubljana 2005/2006)	79
Grafikon 40: Ljubljana + ET 2005/2006	80

1 UVOD

Tajanje snežne odeje predvsem v spomladanskih mesecih prispeva k povečanju pretokov v vodotokih. Za gospodarjenje z vodnimi zalogami je priporočljivo vnaprej predvideti, kolikšne količine vode bodo na razpolago v določenem času. V ta namen merimo snežne padavine in spremljamo stanje snežne odeje, torej njeno akumulacijo in ablacijo z namenom določitve vodne zaloge v snežni odeji. Snežne padavine merimo predvsem z različnimi, posebej opremljenimi pluviometri, v uporabi pa so tudi snežne blazine in načini optičnega in daljinskega zaznavanja padavin. Za določanje lastnosti snežne odeje uporabljamo metre, snežne tube, snežne blazine, radioaktivne merilne instrumente ter letalske in satelitske slike. Merimo predvsem višino, vodni ekvivalent, obseg in trajanje snežne odeje. V diplomski nalogi sem opisala lastnosti snežnih padavin in snežne odeje ter metode merjenja le-teh.

Meritve, pri katerih dobljene podatke sem obdelala v diplomski nalogi, so potekale v sklopu projekta AWARE v zimskih sezonah 2004/2005 in 2005/2006. Cilj meritev je določiti povezave med tajanjem snežne odeje in podzemnim odtokom. Namestili smo pare pluviometrov - enega za merjenje snežnih padavin, ki ga imenujemo snegomer in enega za merjenje infiltracije vode v tla zaradi tavanja snežne odeje. Ob koncu zimskih sezon smo primerjali podatke parov pluviometrov. Za kontrolo volumna celotnih padavin smo ponekod namestili plastično posodo in jo povezali z odtokom iz snegomera.

V diplomski nalogi sem obdelala podatke desetih dvojic pluviometrov: za zimsko sezono 2004/2005 postavljenih v dolini Koritnice, v Strmcu, na plazu Slano Blato, v Macesniku in v Ljubljani ter za zimsko sezono 2005/2006 postavljenih v dolini Koritnice, v Strmcu, v Sviščakih, na Snežniku in v Ljubljani. Primerjala sem dobljene podatke dvojic pluviometrov in določila čase akumulacije in tavanja snežne odeje. Glede na povprečne mesečne temperature zraka sem izračunala potencialno evapotranspiracijo po Thornthwaitu za kraja Rateče in Ljubljana za zimsko sezono 2004/2005 ter jo primerjala s podatki iz doline Koritnice, Strmca in Ljubljane. Z ARSO-a sem dobila izračunane dnevne vrednosti evapotranspiracije s površine snežne odeje po Penman-Monteithovi metodi za podatke iz krajev Rateče in Ljubljana za obe zimski sezoni ter izračune primerjala s podatki iz doline

- 2 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

Koritnice, Strmca in Ljubljane v obeh zimskih sezonah. Podatke za padavine iz doline Koritnice v zimski sezoni 2004/2005 sem primerjala s podatki o padavinah, ki so jih izmerili v Agenciji RS za Okolje v kraju Log pod Mangartom.

Ime projekta AWARE je okrajšava za "Available WAter REsource in mountain environment", kar pomeni "Razpoložljive vodne zaloge v goratem okolju". Projekt podpira Evropska komisija - Skupna uprava za vzpodbudo in industrijo. Aware je raziskovalni projekt, katerega cilj je razviti tehnike za opazovanje in napovedovanje vodnih zalog ter določiti porazdelitev le-teh v povodjih, v katerih predstavlja staljen sneg pomemben del letnega vodnega salda. V sklopu projekta se bodo preučili bistveni primeri povodij z različnimi geografskimi lastnostmi. Raziskovalna območja so razporejena na območju Alp na ozemljih Avstrije, Italije, Švice in Slovenije. Zaradi modelarnega pristopa bodo rezultati primerni tudi za preučevanje drugih goratih predelov Evrope. S pomočjo kombinirane uporabe satelitskih in terenskih opazovanj bodo razviti modeli za napoved dinamike snežne odeje in odtoka staljenega snega. Modeli bodo realizirani v geo - service, kjer bodo njihove napovedi dostopne širši javnosti, predvsem pa ciljni skupini - podjetja hidroelektrarn, zveze za namakanje, mestne oskrbe z vodo itd. V Sloveniji pri projektu sodeluje ULFGG, Ljubljana.

2 SNEŽNE PADAVINE

Snežne padavine nastanejo v nekaterih oblakih. Ti oblaki so: Stratusi (St), Nimbostratusi (Ns), Kumulusi cong (Cu cong) in Kumulonimbusi (Cb) (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Za nastanek snežne odeje so potrebne trdne padavine. Sem spadajo: sneg, dež s snegom, zmrznjen dež, babje pšeno, sodra in toča (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Opisala sem nastanek snežnih padavin, lastnosti snežink ter metode merjenja snežnih padavin.

2.1 Nastanek snežnih padavin

Oblaki so sestavljeni iz majhnih oblačnih delcev (radija 10 μ m), nastalih z vtekočinjanjem ali depoziciji vodne pare na kondenzacijskih jedrih aerosola. Za nastanek padavin morajo ti delci zrasti do velikosti snežnih kristalov (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Mehanizem nastanka snežnih kristalov se imenuje proces rasti ledenih kristalov na račun podhlajenih kapljic. Ta proces je prisoten v debelih (vertikalno razsežnih) oblakih zmernih širin (Cu cong, Cb, Ns). Debeli oblaki so sestavljeni iz treh slojev z različnimi oblačnimi delci. Na vrhu oblaka so ledeni oblačni kristali, v sredini podhlajene oblačne kapljice, spodaj pa nepodhlajene kapljice (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Oblačni delci so v termodinamičnem ravnotežju z okoliškim zrakom, okoli njih je nasičen parni tlak. Nasičeni parni tlak je odvisen od temperature in od vrste fazne spremembe. Pri temperaturah pod lediščem je pri isti temperaturi nasičeni parni tlak nad podhlajeno vodo večji od nasičenega parnega tlaka nad ledom. Torej je v oblaku nasičeni parni tlak nad podhlajenimi oblačnimi kapljicami večji od nasičenega parnega tlaka nad ledenimi oblačnimi kristali (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

- 4 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

Za nastanek snežnih padavin mora ledeni kristal zrasti do te mere, da postane njegova hitrost padanja večja od hitrosti padanja kapljic. Rasti pa začne, ko se pojavi v področju oblaka s podhlajenimi oblačnimi kapljicami. Tam je okoliški zrak za ledeni kristal prenasičen. S kristala se začne izločati vodna para, kristal se nekoliko ogreje zaradi sproščanja latentne toplote. Ta toplota odteka v okolico, iz okolice pa na kristal priteka vodna para. Zaradi depozicije vodne pare na ledeni kristal v okolici parni tlak pade in za kapljice je novi parni tlak nenasičen. Podhlajene kapljice za to izhlapevajo, para pa se na kristalu deponira v led. Ledeni kristal torej raste na račun izhlapevanja podhlajenih kapljic. Z depozicijo nastanejo večinoma pravilni heksagonalni kristali, posamezne šesterooglate ploščice in razvejane snežinke (dendriti). Ti kristali nato zaradi svoje velikosti in teže padajo v nižje plasti oblaka (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Snežni kristali med padanjem rastejo tudi zaradi koalescence. To je drugi mehanizem nastajanja padavin. Veliki ledeni kristali padajo hitreje od majhnih, jih dohitevajo in se vanje zaletavajo. Drobni kristali se zatikajo v izrastke velikih, hkrati pa pride še do ivjenja. Nastanejo sneženi kosmi. Ko ledeni kristal pada skozi zrak, napolnjen s podhlajenimi kapljicami, le-te primrzujejo na kristal. Na kristalu se nabira ivje, temperatura kristala pa zaradi zmrzovanja narašča proti ledišču (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

V zmernih geografskih širinah v višjih delih oblaka vedno sneži. Ko snežinka ali snežni kosem pride v toplejše področje oblaka, kjer so temperature nad lediščem, se začne na površini taliti. S tem ohlaja okoliški zrak in pomika višino izoterme 0°C vse nižje. Ali bodo na tla padle padavine v obliki dežja ali snega, je torej predvsem odvisno od temperature zraka. Auer (1974) je z opazovanjem temperatur zraka na površju zemlje in spremljajočih padavin izračunal kritično temperaturo zraka za prehod snega v dež. Ugotovil je, da pri temperaturah pod 0°C ni dežja, pri temperaturah nad 6°C pa ni snežnih padavin. Pri temperaturi $2,5^{\circ}\text{C}$ je možnost za dežne in snežne padavine enaka (Dingman, L.S. 1994).

2.2 Kemična sestava snežnih padavin

Kemične lastnosti snežnih padavin so odvisne od prisotnosti aerosolov v zraku. Že samo za začetek rasti ledenega kristala je potrebno t.i. ledeno jedro. To je mikroskopsko majhen delec ali ion, na katerem preide vodna para v ozračju v trdno stanje. Naravni viri teh jeder so: meteorski prah, glina in mulj, ki ju veter dvigne s površine tal, vulkanski material, produkti gorenja, industrijski produkti ter morska sol.

Ko snežinka pada skozi zrak, se aerosoli še dodatno vgrajujejo nanjo. Posledica tega je kombinacija kemičnih sestavin, kjer najdemo predvsem: bikarbonate, sulfate, kloride, kalcij, natrij, kalij, magnezij, silicij in glino. Delež vsake kemične sestavine v snegu je odvisen od več dejavnikov. Nad in v bližini morja je več slanih delcev, v celinskem delu pa več glinenih delcev. V višjih legah je koncentracija aerosolov v zraku manjša. Poleg tega je suhi klimi več aerosolov kot v vlažni klimi. Industrijska središča in vulkani le lokalno vplivajo na kemično sestavo aerosolov.

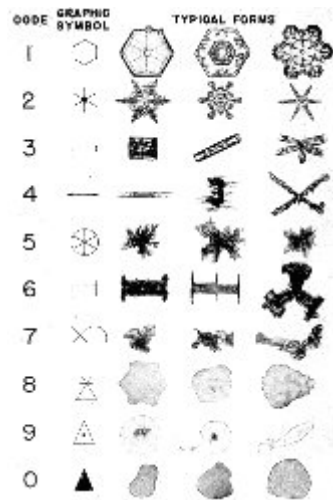
V starejši snežni odeji pa je koncentracija kemičnih delcev še večja kot v svežem snegu. To je posledica padanja aerosolov na snežno odejo (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

2.3 Klasifikacija snežink

Obstaja več različnih shem klasifikacije naravnih snežnih kristalov in ostalih zamrznjenih padavin. Vse vsebujejo osnovni obliki, ploščato in stolpičasto šesterokotno obliko, ločijo pa se v podrobnostih.

Najbolj razširjena je klasifikacija Mednarodne komisije za sneg in led, ki je nastala leta 1951. V tej shemi je sedem glavnih oblik snežnih kristalov: ploščati kristali, zvezdasti kristali, stolpičasti kristali, igličasti kristali, prostorski dendriti, stolpci s krajci in nepravilne oblike. K tem so dodali še tri vrste zamrznjenih padavin: mehka toča, sodra (babje pšeno) in toča.

- 6 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.



Klasifikacija snežnih kristalov (ICSI, 1951)

Poleg te obstajata še dve klasifikaciji. Eno je podal Ukichiro Nagaya, fizik na Univerzi Hokkaido v Sapporu. Z delom je začel v 1930-ih letih. Glavnih sedem morfologij je razdelil na 41 individualnih morfoloških tipov. Naslednjo, najbolj podrobno morfologijo, pa sta leta 1966 izdelala Magono in Lee, ki sta snežne kristale razvrstila v 80 morfoloških razredov (Zupan, J., 2001).

2.4 Meritve snežnih padavin

2.4.1 Pluviometri

Pluviometer je enostavna priprava za merjenje padavin. Na odprtem postavimo posodo in merimo padavine, ki jih v določenem času zajame. Količino ujetih padavin v pretvorimo v vodni stolpec glede na ploščino prereza posode. Prve tovrstne pluviometre so uporabljali že v 4. stoletju pr.n.š. v Indiji, v Evropi pa so se pojavili v 17. stoletju (ASCE, 1996). Točne podatke o padavinah potrebujemo za načrtovanje uporabe vode, hidrološke modele, določanja vodnega ravnovesja, ocene evaporacije itd. Pri snežnih padavinah nas zanima vodni ekvivalent snežnih padavin, torej moramo sneg staliti preden ga izmerimo. To dosežemo z antifrizom, dodanim v vodo ali z gretjem posode.

V uporabi so enostavni pluviometri, imenovani ombrometri, katere je treba redno prazniti in zapisovati količino zajetih padavin. Bolj napredni so ombrografi, ki imajo mehanizme za avtomatsko merjenje padavin. Nekateri merijo težo zapadlih padavin in jo izrisujejo na graf, nekateri pa merijo vnaprej določen majhen volumen zapadlih padavin in beležijo čas, v katerem le-ta zapade (Dingman, L.S., 1994).

Natančno merjenje snežnih padavin je pomembno v področjih, kjer sneg prispeva znaten delež k odtoku. Pluviometri snežnih padavin ne merijo natančno zaradi večjih vplivov, kot so: vrtinci zaradi vetra, kopičenje snega na vrhu posode, izpihovanje snega iz posode, izhlapevanje staljenega snega iz posode. Kopičenju snega v posodi se izognemo z dodanim antifrizom v posodo ali z gretjem posode. Izhlapevanje ustavimo s plastjo olja na površini vode v posodi. Za varovanje pred vetrom uporabljamo razne ščite.

Pluviometri predstavljajo točkovne meritve. Nas zanima prostorska slika padavin, zato točkovne meritve pretvorimo v prostor s pomočjo podatkov mreže pluviometrov. Za pretvorbo uporabljamo razne metode, kot so določanje povprečja, aritmetična sredina, Thiessenovi poligoni, Bethlahmy-jeva metoda dveh osi, itd (Dingman, L.S., 1994).

2.4.1.1 Postavitev pluviometrov

Pluviometer je treba postaviti tako, da dobimo čimbolj natančne in reprezentativne meritve. Prostor postavitve pluviometra naj po lastnostih predstavlja širše območje in naj bo čimbolj zavarovan pred negativnimi zunanjimi vplivi, predvsem pred vetrom.

Višina pluviometra, s katerim merimo snežne padavine, je določena s pričakovano višino snežne odeje. Toda čimvišje je postavljen pluviometer, bolj je izpostavljen vetrovom, ki zmanjšajo učinkovitost lovljenja padavin tudi do 80%. Negativnemu vplivu vetra se najbolj izognemo s postavitvijo pluviometra v tla, kar pa je pri merjenju snežnih padavin praktično neizvedljivo (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Vpliv vetra zelo zmanjšamo s postavitvijo pluviometra v zavetrje. Najboljša je zaščita z naravnim rastjem - drevjem in grmovjem. Višina grmovja naj bo na višini roba pluviometra. Če postavimo pluviometer na jaso v gozdu, moramo upoštevati pravilo da naj bo oddaljenost krošnje od pluviometra vsaj za eno višino drevesa. S tem se izognemo zmanjšanju ujetih padavin zaradi lovljenja na drevesne krošnje (Dingman, L.S., 1994).

Splošno pravilo pravi, da naj bo prostor nad pluviometrom v območju stožca 45° , prazen. Bližnji osamljeni predmeti namreč povzročajo zračne vrtince, ki negativno vplivajo na lovljenje padavin v pluviometer (Dingman, L.S., 1994).

Pluviometer je najbolje postaviti na ravna tla. V goratih predelih pa pogosto ni te možnosti. Pojavljajo se velike napake v meritvah zaradi vetra, ki piha navzgor po pobočju. Te napake se zmanjša z nagnjenim robom pluviometra tako, da je rob vzporeden s tlemi. To lahko dosežemo na dva načina: ali nagnemo celotno posodo, ali pa prirežemo rob pluviometra (ASCE, 1996).

Za vzpostavitev mreže pluviometrov je potrebno določiti gostoto pluviometrov tako, da dobimo reprezentativne meritve. Na ravnem, enoličnem terenu, je mreža lahko redkejša. Na razgibanem terenu pa mora biti bolj gosta. Na ravnih terenih zmernega, sredozemskega in tropskega podnebja naj en pluviometer pokriva območje $600 - 900 \text{ km}^2$. V goratih predelih sredozemskega in tropskega podnebja naj pokriva $100 - 250 \text{ km}^2$, v zelo razgibanih goratih predelih z nerednimi padavinami naj bo mreža zelo gosta, 25 km^2 na pluviometer. V sušnih in polarnih predelih pa je zadostna mreža s $1500 - 10\,000 \text{ km}^2$ na pluviometer (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Izbiri prostora moramo posvetiti veliko pozornosti, saj bo pluviometer tam stal desetletja. Opazovati je treba spremembe okolice in jih upoštevati v morebitni spremembi trenda izmerjenih padavin. Prestavitvi pluviometra se izogibamo, saj se novi podatki nebi ujemali s predhodnimi. Če se prestavitvi ne moremo izogniti, so obvezni popravki z različnimi metodami, na primer s krivuljo dvojne mase (ASCE, 1996).

2.4.1.2 Vrste pluviometrov

2.4.1.2.1 Ombrometer

Ombrometer je enostavna posoda v obliki valja. Pritrdimo jo na palico v višini, ki je višja od pričakovane debeline snežne odeje, da preprečimo dodatno vpihavanje snega v posodo. Če ima v ustju nameščen lijak, le-tega pri merjenju snežnih padavin odstranimo. V uporabi je več dimenzij ombrometrov, ki se razlikujejo glede na višino posode, njen premer in volumen. Narejeni so iz različnih materialov, iz kovine in plastike.

Ujete padavine merimo redno vsak dan ob istem času. Nekatere posode imajo ob strani merilo, iz katerega razberemo količino padavin. Vsebino nato izpraznimo. Če posoda nima merila, lahko padavine izmerimo tako, da vstavimo palico z merilom in odčitamo količino, lahko pa prelijemo vsebino v merilno posodo. Sneg v posodi velikokrat ni stopljen. Stopimo ga lahko tako, da ovijemo posodo s toplo krpo. Lahko pa vlijemo natančno določeno količino tople vode, katero potem odštejemo od končne izmerjene količine. Če se zgodi da je bilo padavin toliko, da sneg gleda iz posode, ga previdno potisnemo v posodo.

Padavine merimo tudi v odročnih gorskih predelih. Tam ni možno vsakodnevno odčitavanje, padavine se lahko odčita tudi samo enkrat letno. Zato se uporabljajo večje posode. Navadno je tudi debelina snežne odeje veliko večja, zato je posodo treba postaviti več metrov visoko nad tlemi. Postavimo jo na stolp. Lahko pa postavimo manjšo posodo na cev, v kateri se nato zbirajo padavine. Ujete snežne padavine je potrebno sproti tajati, da se sneg ne nakopiči v posodi. V posodo nalijemo antifrizo vsaj za tretjino volumna. Uporabljajo se mešanice etilen glikola in metilnega alkohola ali pa kalcijev klorid. Občasno je mešanico treba premešati, saj se antifriz lahko posede na dno. Tajanje lahko dosežemo tudi z gretjem posode na približno 5°C. Evaporacijo vode iz posode preprečimo s plastjo olja, debelega približno 8 mm (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

- 10 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

2.4.1.2.2 Ombrograf

Velikokrat se zgodi da vsakodnevno odčitavanje padavin ni možno, ali pa potrebujemo natančnejše meritve kot samo dnevne. V tem primeru namestimo dežemer, ki sam beleži padavine. Podatki o padavinah se lahko shranjujejo v dežemeru ali pa se sproti pošiljajo z elektronskim signalom. V uporabi sta dve vrsti ombrografov - ombrograf, ki beleži težo padavin ter ombrograf, ki beleži majhne količine volumna padavin.

Pri ombrografu, ki beleži težo ujetih padavin, le-teh ni potrebno staliti. Posoda je postavljena na vzmet, ki se ob dodani teži skrči. Ročica s pisalom zabeleži spremembo teže na vrtljiv boben in s tem izriše vsotni graf teže padavin. Kapaciteta ombrometra je med 300 in 600 mm vodnega ekvivalenta, časovna natančnost pa od 5 minut do nekaj ur. Potrebno je redno menjavanje grafa in praznejnje posode. Mehanski premik vzmeti se lahko pretvori tudi v signal, katerega odčitamo na mestu ali pa ga sprejmemo preko telemetrije. Čeprav ni potrebno, je vseeno priporočljivo tajanje padavin z antifrizom da se izognemo kopičenju snega in nastajanju snežnih mostov (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Vse bolj je v uporabi ombrograf, ki beleži majhne količine volumna padavin. Vsebuje posodico v obliki črke V, ki je po sredini razdeljena v dva dela s prostorninama 0,254 mm. Pritjena je tako, da se prevrne ko je en del poln. S tem se le-ta izprazni, drugi del se postavi v položaj za lovljenje padavin, magnetna naprava pa zabeleži čas prevrnitve. Voda odteče v shranjevalno posodo. Podatki se shranjujejo in jih je potrebno odčitati z računalnikom, lahko pa jih oddajnik sproti pošilja preko signala. Pri merjenju padavin s tem ombrografom se mora sneg staliti. V ta namen je v stene posode vgrajena žica, ki z električno energijo greje posodo in njen mehanizem, navadna temperatura okoli 5°C. Lahko pa posodo opremimo s sifonom in jo do roba sifona napolnimo z antifrizom. Tako se sneg ob stiku z antifrizom stopi, prebitek pa steče preko sifona v posodico. Napakam zaradi izhlapevanja antifriz se izognemo s plastjo olja. Lahko se pojavijo tudi napake zaradi sunkov vetra - posodica se prevrača, vsebina posode pa pljuska skozi sifon (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

2.4.1.3 Napake pri merjenju

Pri merjenju padavin s pluviometri prihaja do manjših in večjih napak. Vse napake pa povzročijo da je količina izmerjenih padavin manjša od dejanske. Ločimo sistemske in naključne napake. Sistemske povzročajo večji delež odstopanja.

Sistemske napake povzročajo veter, evaporacija in močenje dežemera. Pluviometer v vetru predstavlja oviro, zato se nad njim veter pospeši ter ustvarja vrtince. S tem odpihuje snežinke in povzroča največji delež napak - pri nevarovanem pluviometru v gorskih predelih tudi preko 80%. Z večjo hitrostjo vetra in drobnejšimi snežinkami se odstotek napake večja. Evaporacija vode iz dežemera pri snežnih padavinah predstavlja zanemarljiv delež napak, do 4% . Močenje sten pluviometra prispeva do 10% odstopanja od dejanske vrednosti padavin (Singh, P., Singh, V.P., 2001). Kapljice se zaradi adhezije zadržijo na steni pluviometra in nato izhlapijo, ta del padavin je zato izgubljen. Napaka se pojavi tudi pri praznjenju posode, saj kapljice ostanejo na steni. Velikost napake je odvisna od deleža zmočene površine stene, starosti materiala, ter količine in vrste padavin. Barvana in lakirana površina pluviometra zadrži več kapljic kot galvanizirana (ASCE, 1996).

Poleg sistemskih napak se pojavljajo tudi naključne. Oseba, ki odčitava količino padavin, se lahko zmoti. Lahko pride do napake pri snemanju podatkov. Prihaja do okvar pluviometra - puščanje posode, zalitje talne posode, zamašitev odtoka, okvare merilnih in snemalnih mehanizmov. Če se posoda preveč napolni s snegom, ga veter odpihava, nove padavine ne morejo v posodo. Sneg se lepi na stene posode in povzroča mostove, zaradi katerih prihaja do zakasnitve beleženja padavin. Napake v meritvah povzročajo tudi bližnji predmeti, ki povzročajo zračne vrtince. Gretje posode lahko povzroči večje napake, saj pospeši evaporacijo. Poleg tega toplejša posoda ustvari navpični zračni tok, ki dviguje snežinke stran od posode (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Napakam se moramo čimbolj izogniti. V ta namen ščitimo pluviometre pred vetrom s ščiti in ustrezno lokacijo, evaporacijo preprečimo s plastjo olja, kopičenje snega pa z ustreznim antifrizom.

- 12 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

2.4.1.4 Ukrepi za zmanjševanje napak zaradi vetra

Veter povzroča velike napake pri količini ujetih padavin. Učinkovitost pluviometra se zmanjša tudi na 10% pri ekstremnih razmerah, v normalnih pogojih pa se količina ujetih padavin zmanjša tudi za polovico. Sama posoda predstavlja oviro v zračnem toku, pojavijo se zračni vrtinci. Vetru se nad odprtino posode poveča hitrost in še bolj odpihuje snežinke. Večjo hitrost ima, večje napake se pojavljajo. Poleg tega je odpihovanje snežink odvisno tudi od velikosti le-teh; manjše in lažje so, bolj so podvržene toku vetra.

Z ustreznim varovanjem dežemerov napake zmanjšamo. V uporabi so razni ščiti - Alter ščit, Nipher-jev ščit, dvojne ograje, obroč ruševja ali žive meje. Ampak tudi ščiti popolnoma ne zavarujejo pluviometra, zato je še vedno pomembno postaviti pluviometer v zavetrje.

Idealen ščit naj bi zagotavljal več stvari. Tok zraka nad posodo naj bi bil vzporeden z robom posode, preprečil naj bi pospeške vetra nad posodo in naj nebi bil vzrok za kopičenje snega nad posodo.

Najdlje je v uporabi Nipher-jev ščit. Izgleda kakor narobe obrnjena trobenta, pritrjena na posodo dežemera s ploskvijo vzporedno z robom posode. V uporabi so razne izvedbe tega ščita. Poskusi so pokazali, da pri manjših hitrostih vetra z Nipherjevim ščitom pluviometer ujame celo preveč padavin (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Alter ščit je narejen iz kovinskih trakov, obešenih na žico, ki je napeljana okoli pluviometra v višini 125 cm nad robom posode. V primeru močnejšega vetra lahko pride do udarjanja kovinskih trakov ob pluviometer, zato jih je potrebno na spodnjem robu speti z lahko verigo. Tak ščit učinkovito zmanjša turbulenco nad pluviometrom (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Poznamo dve vrsti dvojnih ograj, krožno in nekrožno. Dvojna krožna ograja se imenuje Wyoming ščit. Ograji imata 50% poroznost. Radij notranje ograje je 1.5m, zunanje pa 3m. Notranji deli so postavljeni pod kotom 45°, zunanji pod kotom 30°. Pluviometer je postavljen v center ograj, pod njim in pod ograjami je 1.5m praznega prostora. Zgornji rob notranje ograje je 30 cm, zunanje ograje pa 60 cm nad robom posode. Taka postavitev ograj povzroči

da gre tok vetra pod posodo. Poskusi so pokazali, da so pri tako varovanem pluviometru odstopanja od meritev pluviometra v zavetrju do 10% (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Druga vrsta dvojne ograje je sestavljena oktagonalno okoli pluviometra. Radij notranje ograje je 4m, zunanje pa 12m. Obe sta visoki 1.5m, notranja na višini 1.5m in zunanja na višini 2m. Rob posode je na višini 3m. Taka postavitev ograj je zelo učinkovita pri hitrostih vetra 3 - 6 m/s, dežemer ujame 92 - 99 % padavin. Slaba stran dvojnih ograj je edino to, da zavzamejo veliko prostora in da je postavitev draga (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Pluviometre lahko pred vetrom zaščitimo tudi z naravnim rastjem, katerega pa moramo redno vzdrževati. Če posadimo živo mejo, jo moramo prirezovati v višini roba posode pluviometra in paziti da ni preblizu posode, saj bi lahko povzročila nabiranje snega na površini posode. Zid iz ruševja naredimo v premeru 3 -5 kratne višine roba pluviometer, višina pa naj bo ob pluviometru na njegovi višini, nato pa naj se navzven polagoma spušča (ASCE, 1996).

2.4.2 Druge metode za merjenje padavin

Zaradi nenatančnosti točkovnih meritev padavin z navadnimi pluviometri znanstveniki razvijajo nove metode točkovnih meritev. Ena je optično merjenje padavin. Ta metoda deluje na osnovi infrardečega žarka, ki ga oddaja dioda in sprejema senzor. Padavine motijo potek žarka in glede na to določimo intenziteto padavin (Dingman, L.S., 1994). Druga nova metoda pa temelji na dejstvu, da je frekvenca vibriranja žice odvisna od napetosti v njej. V merilni posodi so tri žice, katere vibrirajo zaradi delovanja elektromagnetnega spodbujevalca. Drugi elektromagnet zazna in beleži frekvenco vibriranja. Žice so pritrjene na zbiralno posodo in njihova napetost je odvisna od teže snega v posodi. Določimo lahko razmerje med vodnim ekvivalentom zapadlega snega in frekvenco vibriranja žice, in to z natančnostjo 0.1 mm (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Poleg točkovnih meritev so v uporabi tudi prostorske meritve. Slonijo na uporabi radarjev in satelitov. Te meritve se bolj posvečajo deževnim kot snežnim padavinam in niso dovolj natančne. Radar je postavljen na tla in pošilja žarke v prostor. Žarki se odbijajo od dežnih

- 14 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

kapljic in snežink glede na njihovo velikost, množino, hitrost padanja, obliko hidrometeorjev ter karakteristik radarja. Določimo lahko prostorsko porazdelitev padavin in njihovo intenziteto. Satelit nam omogoča le pregled nad porazdelitvijo oblakov ter višino njihovih vrhov. Vidni del žarkov pokaže razporeditev oblakov, infrardeč pa višino njihovih vrhov. Ker vemo, da padavine nastajajo v visokih oblakih, lahko napovemo možnost padavin (Dingman, L.S., 1994).

Za merjenje padavin se uporablja tudi snežna blazina, ki je opisana v poglavju 4.2.2.1 Snežna blazina.

3 SNEŽNA ODEJA

3.1 Lastnosti snežne odeje

Sneg je mešanica ledu, vode in zraka. Je zelo porozen, včasih vsebuje tekočo vodo. Opisala sem njegove fizične, termalne in optične lastnosti. Opisala sem vrste preobrazbe snežne odeje ter načine merjenja snežne odeje.

3.1.1 Fizične lastnosti

3.1.1.1 Snežna tekstura

Ledeni kristali in zrna, povezani med sabo, krepijo snežno teksturo. Snežna tekstura pomeni obliko in velikost snežnih zrn ter vezi med njimi. Vizualno klasificiramo sneg kot kristalen sneg, pršič, zrnast sneg, krogličast sneg in mešanico le-teh. Glede na velikost zrn sneg delimo na droben, sreden in grob. Glede na vlažnost ga delimo na suh, vlažen in moker sneg. Specifična teža snega obsega vrednosti od 0,05 do 0,85; navadno je med 0,1 in 0,6.

Sveže zapadel sneg vsebuje kristale - dendrite, iglice in stolpiče. Ti kristali se sčasoma spremenijo - snežna odeja se preobrazi. Sneg se najprej spremeni v ledeniški srevec, nato v ledeniški led. Meja med snegom in ledeniškim srencem ni točno razvidna, med srencem in ledom pa je popolnoma jasna. Srevec postane ledeniški led takrat, ko se med zrn zaprejo zračne pore. To se zgodi pri gostoti 0,80 - 0,85 gm/cc. Ledeniški led je nepropusten za zrak in vodo; zrak je prisoten le v obliki mehurčkov (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.2 Gostota

Gostota r [gm/cc] ali [kg/m³] je bistvena lastnost snega. Definirana je kot masa na enoto volumna. Gostoto snežne odeje dobimo enostavno z odvzemom in tehtanjem vzorca z znanim volumnom. Večji je vzorec, manjša je možnost napake pri tehtanju.

- 16 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

Zaradi sprememb mikro strukture snega s časom se spreminja tudi gostota - sneg je vse gostejši. Proces zgoščevanja pospešujejo močni vetrovi, tople temperature in vmesno tajanje in ponovno zamrzovanje snega. Vrednost gostote lahko uporabimo za izračun vodnega ekvivalenta.

Tipične gostote snega v različnih oblikah (Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 105)

Tip snega	Gostota (kg/m ³)
Divji sneg (nov sneg pri nizkih temperaturah in brezvetrju)	0.01 - 0.03
Nov sneg (sveže zapadel v brezvetrju)	0.05 - 0.07
Vlažen nov sneg	0.10 - 0.20
Ustaljen sneg	0.20 - 0.30
Srež	0.20 - 0.30
Sneg, stlačen zaradi vetra	0.35 - 0.40
Ledeniški srevec	0.40 - 0.65
Zelo moker sneg in ledeniški srevec	0.70 - 0.80
Ledeniški led	0.85 - 0.91

Martinec (1977) je izpeljal približno povezavo med gostoto snega in časom:

$$r_n = r_0 (n+1)^{0.3} \quad (\text{Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 105})$$

kjer sta r_0 začetna gostota svežega snega (navadno 0.1 gm/cc) in r_n gostota snega po n dneh (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.3 Oblika zrn

Ledeni kristali so šesterkotnih oblik. Ko padejo na zemljo, pa se pod vplivom preobrazbe spremenijo in poveča se jim gostota. V snežni odeji najdemo zrna različnih oblik. Oznaka za obliko zrna je črka F . Obliko zrna lahko opišemo glede na naslednje lastnosti:

- Splošni izgled: kompakten, votel, zlomljen, obrušen, delno stopljen, zaobljen in oglat
- Površina zrna: zaobljeni izrastki, ploščat ali podolgovat in zmrznjen
- Vez med zrn: povezana, nepovezana, velikost vezi, v skupini, koordinacijsko število (število vezi na zrno), orientirana struktura in stolpičasta ureditev (Singh, P., Singh, V.P., 2001)

3.1.1.4 Velikost zrn

Za velikost zrna vzamemo njegovo največjo dimenzijo. Navadno jo merimo v mm. Delež snega lahko vsebuje zrna različnih velikosti; v tem primeru jih lahko karakteriziramo ločeno. Oznaka za velikost zrn je črka *E*. Na primer, zrno velikosti 1mm je klasificiran kot *E0.1*.

Tipi zrn snega in njihova velikost (Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 107)

Tip zrna snega	Velikost zrn (mm)
Zelo droben	< 0.2
Droben	0.2 - 0.5
Srednji	0.5 - 1.0
Grob	1.0 - 2.0
Zelo grob	2.0 - 5.0
Izreden	> 5.0

Tipične velikosti zrn snega in ledu (Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 108)

Tip snega	Velikost zrn (mm)
Nov sneg	0.01 - 0.50
Star sneg	0.50 - 3.00
Ledeniški srevec	0.50 - 5.00
Ledeniški led	1.00 - >100

Prehod svežega snega v drobno zrnatega traja približno dva tedna. Rast snežnih zrn velikosti 2 - 3 mm se nadaljuje še en mesec. V tem času se v snežni odeji pojavijo kristali pravilnih oblik, ki ji dajejo grobo zrnato teksturo. V dveh do treh mesecih se izmenjajo tri stopnje kristalizacije (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.5 Vsebnost proste vode

Vsebnost proste vode ali vsebnost tekoče vode je količina vode, ki je v tekočem stanju razpoložljiva v snežni odeji. Predstavlja mokroto snega in je izražena s procenti na volumen. V umirjenem snegu predstavlja vlažnost snega. V snežni odeji jo najdemo v treh oblikah: higroskopska voda, kapilarna voda in gravitacijska voda. Pod prosto vodo spada le tista voda, ki je trajno v snežni odeji - adsorbijska in kapilarna voda. Sem ne spada voda, ki pronica skozi odejo ali je rezultat taljenja snega. Oznaka za vsebnost proste vode je črka Q .

Kapaciteta snežne odeje za vsebnost proste vode je definirana kot največja količina vode v snežni odeji, ki jo proti gravitaciji le-ta zadržuje v sebi. Kapaciteta je odvisna od globine in gostote snežne odeje, od ledenih plasti, velikosti, oblike in medsebojnega prostora kristalov ter nagnjenosti kanalov. Snežna odeja ima ob temperaturi 0°C navadno kapaciteto 2 - 5 % lastne teže.

Vsebnost proste vode merimo s kalorimetričnimi, dielektričnimi in razredčilnimi tehnikami. Kalorimetrična metoda sloni na toploti, ki je potrebna za zamrznitev proste vode ali za stopitev ledenega deleža snega. Z dielektrično metodo določimo vsebnost proste vode s pomočjo dielektričnih lastnosti snega glede na prostornino in gostoto. Pri metodi razredčitve opazujemo zmanjšanje koncentracije vodotopne snovi, ki jo dodamo snegu (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.6 Trdota

Trdota je temeljna količina mehaničnih lastnosti snega. Predstavlja odpornost na vtisk predmeta v sneg in je definirana kot odpornost, ki jo nudi sneg proti vtisku kovinskega

stožca, katerega zabijemo v sneg z znano silo. Trdota snega je podana kot zabijalna odpornost ali kot število zabijalne trdote R . Meritev trdote snega je subjektivna, s to metodo dobimo samo indeks trdote.

Za določanje trdote lahko uporabimo tudi ročni test. Testiramo, kakšen predmet lahko porinemo v sneg (pest, število prstov, svinčnik, noževa konica).

Na trdoto snega vplivajo: geografska lega, čas leta, temperatura snega, gostota snega, tip snega in obdobje nanosa snega. Na trdoto predvsem vplivata temperatura in gostota snega (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.7 Žilavost

Na žilavost vplivajo vrsta pritiska (tlačni, natezni ali strižni), stopnja pritiska, obremenitev in stopnja obremenitve. Žilavost je težje meriti kot trdoto. Poznati moramo tipe žilavosti - duktilen, drobljiv, ter maksimalno žilavost pri nizki stopnji obremenitve. Žilavost je povezana s trdoto, temperaturo snega in velikostjo kristalov (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.8 Višina snežne odeje

Višina snežne odeje je navpična razdalja od tal do površine odeje. Snežna odeja je sestavljena iz večij slojev z različnimi fizikalnimi lastnostmi. Vsako sneženje naredi drugačen sloj, ki je večinoma homogen. Višino posameznega sloja označimo z L in merimo v cm (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.1.9 Vodni ekvivalent

Vodni ekvivalent snega je definiran kot debelina vodne plasti, ki bi jo dobili s tajanjem snega. Navadno ga merimo v mm. Izračunamo ga lahko, če vemo gostoto snežne odeje r in njeno debelino D (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

$$VE = rD$$

(Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 111)

- 20 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

3.1.1.10 Kvaliteta

Kvaliteta snega se nanaša na delež ledu v snežni odeji. Izražena je kot decimalni delež teže ledu glede na težo celotnega snega. Navadno je kvaliteta vrednosti 0.95, med tajanjem pa lahko pade na 0.7. Ta padec je odvisen od hitrosti tajanja, gostote snežne odeje, infiltracijske kapacitete zemlje pod snežno odejo itd. (Singh, P., Singh, V.P., 2001)

3.1.1.11 Poroznost

Poroznost snega F je definirana kot volumsko razmerje por glede na sneg. Računsko je izražena:

$$F = (r_i - r_s) / r_i \quad (\text{Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 111})$$

kjer sta r_i in r_s gostoti ledu in snega v 10^3 kg/m^3 . Če upoštevamo da je $r_i = 0.917 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, lahko enačbo zapišemo tako:

$$F = 1 - 1.09r_s \quad (\text{Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 112})$$

Gostota in poroznost za različne tipe snega (Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 112)

Tip snega	Gostota (10^3 kg/m^3)	Poroznost (%)
Nov sneg	0.01 - 0.30	67 - 99
Star sneg	0.20 - 0.60	35 - 78
Ledeniški srevec	0.40 - 0.84	8 - 56
Ledeniški led	0.84 - 0.917	0 - 8

3.1.2 Termalne lastnosti

3.1.2.1 Temperatura

Temperaturo snega merimo s termometri. Je rezultat toplotnega ravnovesja med površino zemlje in zrakom. Označimo jo s črko T in navadno merimo v $^{\circ}\text{C}$. Temperaturo merimo na več višinah - temperatura zraka na 1.5 m nad snežno odejo, na površini snežne odeje in na tleh. Za podrobnejšo analizo merimo tudi temperaturo snežne odeje na večih višinah. V snežni odeji temperatura najbolj niha v tankih zgornjih plasteh (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.2.2 Specifična toplota

Specifična toplota snega je toplota, ki je potrebna za povečanje temperature enega grama snega za eno stopinjo Celzija. Rahlo nihanje specifične toplote zaradi nečistoč in temperature lahko zanemarimo in privzamemo vrednost $0.5 \text{ cal gm}^{-1}\text{C}^{-1}$ ($2.0934 \text{ kJ kg}^{-1}\text{C}^{-1}$). Specifična toplota suhega snega je ista specifični toploti ledu, saj zrak v porah zelo malo vpliva nanjo. Vpliv soli v ledu na specifično toploto je zelo velik - specifična toplota pri 5% slanosti se poveča več kot petkrat (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.2.3 Latentna toplota

Latentna toplota utekočinjenja je toplota, ki je potrebna za pretvorbo enega grama snega iz trdnega v tekoče stanje brez spremembe temperature. Lahko je enaka ali manjša kot latentna toplota utekočinjenja ledu, odvisno od vsebnosti tekoče vode v snegu. Navadno vzamemo pri 0°C latentno toploto 80 cal/gm (333.5 kJ/kg), pri -10°C je 74.5 cal/gm in pri -20°C 69 cal/gm .

Latentna toplota izhlapevanja vode pri 0°C je 597°C . Če led pri 0°C sublimira (izpareva), predvidevamo da je potrebna latentna toplota vsota latentne toplote utekočinjenja in latentne toplote izhlapevanja. Torej je latentna toplota sublimacije ledu 677 cal/gm . Ta toplota zelo počasi narašča z nižanjem temperature.

Latentni toploti utekočinejnja in sublimacije morskega ledu sta manjši kot pri čistem ledu. To lahko preprosto razložimo - v enoti morskega ledu je manjši delež ledu zaradi vsebnosti slanosti delcev (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.2.4 Termalna prevodnost

Termalna prevodnost k_C je mera za hitrost toplotnega prenosa. Termalna prevodnost snega je zelo odvisna od gostote in zrnate strukture snežne odeje. Če je sneg moker, je odvisna tudi od vsebnosti proste vode. Sneg ima veliko manjšo termalno prevodnost kot voda in led zaradi zračnih por in je zelo dober izolator. Snežna odeja zelo upočasni toplotno izmenjavo med površino zemlje in atmosfero (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.3 Optične lastnosti

3.1.3.1 Dielektrična konstanta

Dielektrično konstanto lahko definiramo na dva načina. Je razmerje med kapaciteto kapacitorja z opazovanim materialom med ploščama in kapaciteto kapacitorja z vakuumom med ploščama. Definiramo jo tudi kot mero odziva materiala na električno polje, na primer elektromagnetni val in je funkcija sevanja in frekvence. Snežna odeja je dielektrični medij in jo lahko opišemo kot zbirko raztresenih delcev, porazdeljenih v dielektričnem mediju ali kot nepretrgan naključni medij z dielektričnim nihanjem. Količina vstopnih mikrovalovov je odvisna od valovne dolžine, velikosti kristalov in nečistoč v snegu in ledu. Sneg je dielektrični medij z majhnimi izgubami. Je mešanica zraka in ledu, vrednost dielektrične konstante snega je vmesna vrednost med konstanto ledu ($\nu = 3.15$) in zraka ($\nu = 1.0$). Določimo jo z enostavno formulo, ki temelji na snežni gostoti:

$$\nu_{\text{sneg}} = 1 + 2r \quad (\text{Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 117})$$

Vsebnost tekoče vode v snežni odeji zelo vpliva na njene dielektrične lastnosti. Dielektrična konstanta mokrega snega je višja kot pri suhem snegu (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.1.3.2 Albedo

Snežna odeja odbija velik del vpadnega sončnega sevanja. Odboj je odvisen od oddaljenosti sonca, valovne dolžine žarkov ter temperature in debeline snežne odeje. Albedo je razmerje med odbitim sevanjem S_r in vpadnim sevanjem S_i , kar izrazimo:

$$a = S_r / S_i \quad (\text{Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 118})$$

Umazan sneg ima nižji albedo, kar pomeni da vsrka več energije kot čist sneg. Nečistoče v snegu imajo večji vpliv na albedo vidne svetlobe kot na albedo infra rdeče svetlobe. V odvisnosti od višine sonca in stanja površine snežne odeje albedo zavzema vrednosti od 0.29 za zelo porozen, umazan sneg z veliko proste vode, do 0.86 za čist, kompakten, suh sneg. Albedo snega je veliko večji od drugih naravnih površin (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Vrednosti albeda različnih naravnih površin (Singh, P., Singh, V.P., 2001, str. 118)

Površina	Albedo
Nov sneg	0.75 - 0.95
Star sneg	0.40 - 0.80
Ledeniški led	0.30 - 0.40
Morski led	0.30 - 0.40
Puščava	0.28 - 0.35
Trava	0.16 - 0.28
Poljščine	0.15 - 0.24
Gozd	0.10 - 0.18
Gola polja	0.12 - 0.25
Zemlja	0.08 - 0.19
Voda	0.04 - 0.13

3.2 Preobrazba snežne odeje

Snežna odeja nastane ko se na tleh naložijo trdne padavine, navadno sneg. Takoj po nastanku se snežna odeja začne spreminjati. Začne se sesedati, snežni kristali se spreminjajo in na koncu se stali. Na te preobrazbe bistveno vplivajo veter, sončno sevanje, tekoče padavine ter temperature v zraku in snežni odeji.

3.2.1 Mehanske spremembe

Prva mehanska sprememba, ki jo doživi snežni kristal, je lom ob trku s tlemi ali snežno odejo. Odlomijo se predvsem krhki izrastki. Takoj zatem se s svojimi izrastki zatakne ob izrastke drugih kristalov - rečemo da se sneg sprijema. Na sprijemanje zelo vpliva veter. Pod vplivom močnega vetra se kristali zlepljajo med sabo zaradi regelacije - zaradi pritiska, ki ga na površini kristala povzroča veter, se le-ta stali, nato pa zamrzne nazaj zaradi nizkih temperatur. Veter erodira snežno odejo in nanaša sneg v zavetrnih legah, nastanejo zameti, klože in opasti. Ti se obnašajo kot krhko togo telo, saj so snežni kristali v njih dobro sprijeti (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Pomembna mehanska sprememba, ki vpliva na gostoto snežne odeje, je stiskanje oz. kompresija. Zaradi lastne teže in teže višjih plasti se snežna odeja stiska, gostota se povečuje. Hitrost stiskanja se poveča s povečanjem teže višjih plasti in z višanjem temperature, ter zmanjša s povečanjem gostote plasti. Po Anderson-u (1976) lahko pričakujemo povečanje gostote 0.002 do 0.05 g / cm³ / d. Kompresija je eden glavnih vzrokov za nastanek ledeniškega ledu (ASCE, 1996).

3.2.2 Izotermna preobrazba

Izotermna preobrazba je prvi proces, ki se pojavi v novo nastali snežni odeji. Pojavita se zrnjenje in srenjenje. Pri temperaturah blizu ledišča potekata hitreje kot pri zelo nizkih temperaturah.

Zrnjenje je pretvorba razvejanega snežnega kristala v kroglico. Proces se začne zaradi termodinamičnega principa da hoče biti prosta energija v kristalu minimalna. Torej mora biti površina kristala čim manjša - krogličasta. Vodna para v snežnem kristalu se pomika od večjega proti nižjemu nasičenemu parnemu tlaku. Na konveksnih oblikah, izrastkih, je višji parni tlak kot na konkavnih oblikah, vdolbinah. Zato vodna para sublimira z izrastkov in se deponira v vdolbinah. Skupna masa ledu v kristalu ostane enaka. Ker kristal po zrnjenju zavzame manj prostora, se snežna odeja poseda in povečuje se ji gostota. Celoten proces se konča v dveh mesecih (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Sočasno z zrnjenjem poteka srenjenje - povezovanje med zrnji. Ob stiku dveh zrn nastane konkavna špranja, v katero se zaradi nižjega nasičenega parnega tlaka začne deponirati vodna para. Med zrnoma nastane leden mostiček. Zrna se povezujejo na vse strani, snežna odeja postaja kompaktna. Nastane srevec. V 48 urah nevarnost za snežne plazove poneha (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.2.3 Gradientna preobrazba

Kot že vemo, je sneg zelo dober toplotni izolator. Tla pod snegom imajo navadno temperaturo blizu ledišča, medtem ko ima površina snega zaradi infrardečega ohlajanja in hladnega vetra temperaturo dosti nižjo. Zaradi temperaturnih razlik se v snežni odeji pojavi vertikalni temperaturni gradient in z njim tudi gradient v nasičenem parnem tlaku v zraku med zrnji. Preobrazba snežne odeje se začne, ko temperaturni gradient doseže vrednost 0.10 - 0.16 °C/cm, ali ko doseže gradient nasičenega parnega tlaka vrednost 5 mb/m. Vodna para difundira iz toplejših spodnjih plasti v hladnejše zgornje. Ker nastane zaradi nižjih temperatur prenasočena, se izloča iz zraka in se deponira v praznih prostorih med zrnji - nastanejo kristali, imenovani srež. Srež je krhek, saj kristali sreža niso povezani med seboj z mostički. Plasti sreža zato predstavljajo nevarnost snežnega plazua (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Kristali sreža najpogosteje nastajajo v nižjih delih snežne odeje, včasih tudi v novozapadli plasti snega na starem snegu. Večji je temperaturni gradient, hitreje nastajajo kristali sreža. Zato so sreženju bolj izpostavljene tenkejšje snežne odeje. Sreženje je odvisno tudi od gostote

snežne odeje. Pri manjši gostoti se bo tvorilo več kristalov sreža, saj je v snegu več zračnega prostora. Sreženje se najpogosteje pojavlja pri gostotah snega med 0.1 in 0.25 gm/cc. Plast sreža pa ima gostoto 0.2 - 0.3 gm/cc. Kristale sreža lahko ločimo v dve skupini - kompaktni kristali in kristali z ogrodjem. Kompaktni kristali nastajajo pri temperaturnem gradientu manjšem od 0.25 °C/cm, kristali z ogrodjem pa pri gradientu večjem od 0.25 °C/cm. Kristali z ogrodjem so večji od kompaktnih (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.2.4 Preobrazba mokrega snega

Vsebnost tekoče vode v snežni odeji spremeni proces preobrazbe snega. Preobrazba se vrši hitreje kot v suhem snegu, rastejo večja zrna, manjša pa izginjajo. Ko v sneg pride deževnica ali voda, ki nastane ob taljenju zgornjih delov snežne odeje, le-ta tali zrna, ki zato postajajo okrogla. Manjša zrna se stalijo hitreje kot večja, zato se poveča povprečna velikost zrn. Zrna se lahko med seboj zlepljajo zaradi regelacije. To se najpogosteje dogaja v zgornjih plasteh, ki so podvržena dnevnu tajanju in ponovnemu zamrzovanju ponoči. Zrna, oblita z vodo, se zlepljajo med seboj tudi zaradi površinske napetosti vode. Moker sneg doseže večjo gostoto kot suh sneg. Hitreje se tudi tvori ledenik, saj staljena voda ponovno zamrzuje v porah in tako iztiska zrak (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.2.5 Nastanek ledenika

Ledenik nastane na območju, kjer je stalna snežna odeja. Sneg se v led spreminja postopoma s tajanjem in ponovnim zamrzovanjem. Zgornje plasti snežne odeje se stalijo, voda pronica navzdol in zaradi ohlajanja zopet zamrzne. S tem zapolni pore med ledenimi kristali in povečuje gostoto snežne odeje. Višje plasti delujejo s svojo težo na nižje plasti in jih s tem še bolj stiskajo.

V redišču ledenika je letna količina trdnih padavin večja od letne količine staljenega snega. Prihaja do akumulacije ledeniškega ledu, pritisk na spodnje plasti narašča in ledenik začne počasi lezti navzdol po pobočju ali v dolino. V nižjih legah se led topi zaradi višjih temperatur (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

3.2.6 Tajanje

Proces tajanja snežne odeje se začne, ko le-ta doseže temperaturo nad 0°C. Potrebno toploto dobi iz dolgo in kratko valovnega sevanja, kondenzacije pare, konvekcije, iz tal in zraka ter iz dežja. Zaradi sončnega sevanja se površina snežne odeje stali, voda pronica v notranjost. Tam zaradi nižjih temperatur zopet zamrzne in s tem sprošča latentno toploto, ki segreva okoliški sneg. Enako vpliva na sneg tudi deževnica, ki pronica skozi snežno odejo. Ob nadaljnjem segrevanju snežne odeje ta doseže svojo kapaciteto zadrževanja vode. Takrat začne voda odtekati iz odeje, če tla niso zamrznjena filtrira v tla, drugače pa odteka po pobočju (Viessman, W., Lewis, G.L. 2003).

Ločimo več vrst tajanj. Dnevno tajanje se pojavlja ob sončnih dnevih, stali se le zgornja plast odeje, ki ponoči zopet zamrzne in tvori trdo ledeno plast osrenico. Tajanje se pojavi tudi zaradi dežja, ki pada na snežno odejo. Če zraven piha še topel veter, se lahko stalijo tudi debelejšje plasti snežne odeje. Spomladansko tajanje pa je kombinacija dnevnega tajanja brez nočnega zamrzovanja, tajanja zaradi dežja in zaradi toplega zraka (Rakovec, J., Vrhovec, T., 2000).

Pretok rek se zaradi tajanja snega spomladi poveča. Zato je pomembno predvideti, kako hitro in koliko snega se bo stopilo. V ta namen je v uporabi več pristopov. Potrebno je spremljati stanje snežne odeje, predvsem vodni ekvivalent, gostoto in debelino snežne odeje ter njeno razširjenost. Za modeliranje snežnega odtoka se uporablja enačba energijskega ravnovesja. Po tej enačbi dobi snežna odeja potrebno energijo za tajanje iz sončnega obsevanja, toplega zraka, latentne toplote (evaporacija, kondenzacija in sublimacija), dežja, tal in sprememb notranje energije snežne odeje. V uporabi so tudi empirične metode. Najpogosteje se uporablja metoda temperaturnega indeksa, saj je v njej najpomembnejša temperatura zraka, ki je najlažje dosegljiva meritev. To je metoda stopinja-dan. V uporabi so tudi posplošene enačbe tajanja snega (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.2.7 Evaporacija s površine snežne odeje

Evaporacija je izhlapevanje vode s površine snežne odeje. Predstavlja znaten delež izgub vodnega ekvivalenta iz snežne odeje. V primerjavi z vodno gladino prihaja pri snežni odeji do večjih vrednosti izhlapele vode. To pripisemo dejstvu, da ima snežna odeja veliko večjo kontaktno površino z zrakom kot gladka vodna površina. Vemo namreč, da je snežna odeja porozna, je mešanica zraka, vode in snega. Za izračun evaporacije je v uporabi več postopkov: Blaney in Criddle, Thornthwaite, Penman, Turc. Najbolj je uporabna metoda po Penmanu, saj je fizikalno pravilno zasnovana in omogoča izračun izhlapevanja samo s podatki opazovanj, ki se izvajajo na standardnih meteoroloških postajah. Metoda po Thornthwaitu je uporabna le za izračun izhlapevanja z vodne površine, odpove tudi pri negativnih temperaturah zraka (Brilly, M., 2000).

3.3 Meritve snežne odeje

Merimo predvsem višino snežne odeje, njen vodni ekvivalent ter obseg in trajanje snežne odeje.

3.3.1 Višina snežne odeje

Višino snežne odeje merimo točkovno. Merimo jo zato, da določimo vsebnost vode v njej - njen vodni ekvivalent. Tega izračunamo posredno s pomočjo informacije o gostoti snežne odeje. Merimo celotno višino snežne odeje, dnevno pa merimo tudi višino novo zapadlega snega.

3.3.1.1 Meter

V tla vstavimo belo palico z merilno skalo, ki označuje oddaljenost od tal. Višino snega lahko odčitavamo terensko ali pa od daleč s pomočjo daljnogleda ali s preletom letala. Za

odčitavanje iz daljave uporabljamo velike palice ali pa palico opremimo s prečkami (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Z merjenjem višine novo zapadlega snega lahko določimo dnevne padavine z večjo natančnostjo kot z dežemeri. Na staro odejo postavimo belo leseno ploščo dimenzij vsaj 40x40 cm. Ko zapade nov sneg, ga odčitamo z vstavitvijo metra na ploščo. Lemmela (1989) je opisal uporabo kovinskega diska premera 35 cm. V centru ima jekleno žico, s pomočjo katere najdemo disk pod snegom (ASCE, 1996).

3.3.1.2 Optični meter

Optični meter je bil razvit za spremljanje višine snežne odeje v odročnih krajih. Dirmhrin in Craw sta leta 1971 razvila optični meter na osnovi fotocelic. Na navpični palici so vertikalno razporejene fotocelice, ki zaznavajo sončno svetlobo. Ko se sneg nakopiči, prekrije fotocelice in le-te ne sprejemajo več svetlobe. Višino odeje določimo iz števila neaktivnih fotocelic. To število se zabeleži na grafičnem rekorderju in odčita kasneje, ali pa se signali pošiljajo preko telemetrije.

Leta 1972 sta Tsuda in Uotsu razvila bi-polarni optični meter. Sestavljen je iz dveh polov, od katerih eden oddaja žarek xenonske luči, drugi pa ta žarek zaznava. Vsak pol je sestavljen iz 5 m visoke votle palice ter kapsule, ki v stanju mirovanja počiva pod zemljo. Palici sta na medsebojni razdalji 3 m. Kapsula, ki oddaja žarek, vsebuje xenonsko cev, usmeritvene leče in odbojno ogledalo. Sprejemna kapsula vsebuje solarno celico premera 30 mm in ojačevalec. Za določitev višine snežne odeje se obe kapsuli hkrati začneta dvigovati. Ko dosežeta površje tik nad snežno odejo, xenonski žarek pride do sprejemne kapsule. Nato se kapsuli spustita nazaj, višina odeje pa se zabeleži. Simultano premikanje kapsul zagotavlja pritrditev obeh na isto verigo, katero poganja motor. Na vrhu sprejemnega pola je pritrjena vsa potrebna elektronika, ki beleži in pošilja podatke do rekorderja in merilca časa na postaji. V uporabi je tudi izboljšan tovrstni optični meter, ki namesto mehanskega skeniranja uporablja elektronsko skeniranje z vrsto fotoelektričnih senzorjev in xenonsko lučjo (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.1.3 Pretvorba višine v vodni ekvivalent

Za hidrološko napoved odtoka potrebujemo oceno o zalogi vode v snežni odeji. Najbolj pogosto merimo višino snežne odeje, zato je le-to potrebno pretvoriti v vodni ekvivalent. Vodni ekvivalent predstavlja višino vodnega stolpca, ki ga dobimo s tajanjem snežne odeje (Seidel, K., Martinec, J. 2004). Izračunamo ga s produktom višine in gostote snežne odeje, kot je opisano v poglavju 4.1.1.9 Vodni ekvivalent. Če nimamo točnih podatkov o gostoti snežne odeje, jo lahko ocenimo glede na starost snežne odeje z enačbo, opisano v poglavju 4.1.1.2 Gostota. V tej enačbi potrebujemo vrednost gostote sveže zapadlega snega. Gostota sveže zapadlega snega ima vrednosti od 0.06 do 0.18 gm/cc. Kot približek navadno vzamemo vrednost 0.1 gm/cc, ki predstavlja 1 cm vodnega stolpca na 10 cm snežne odeje. Ker vrednost gostote eksponentno narašča s časom, se razlike zaradi različnih začetnih gostot s časom manjšajo. Ker nas predvsem zanima gostota snežne odeje tik pred začetkom sezone tavanja, napačna ocena začetne gostote ne predstavlja večjih napak pri napovedi odtoka (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.2 Vodni ekvivalent snežne odeje

3.3.2.1 Snežna blazina

Snežna blazina je uporabna na odročnih območjih, kjer ni mogoče vsakodnevno obiskovanje postaje. Zaznava težo snežne odeje na njej in s tem tudi njen vodni ekvivalent. Je okrogle ali oktagonalne oblike, narejena iz butilne ali neoprenske gume ali pa je kovinska, narejena iz pločevine ali nerjavečega jekla. V uporabi je več različnih velikosti snežnih blazin, od takih s površino 3,7 m² do velikih s površino 11,2 m². Pri večji pričakovani količini zapadlega snega se uporablja večje blazine. Postavimo jo na ravna tla, saj pri postavitvi na nagnjenih tleh prihaja do napak zaradi lezenja snega in toka vode čez blazino. Snežna odeja je napolnjena z antifrizom. Pritisk snega na blazini povzroči, da antifriz steče po cevi do naprave, ki zazna spremembo v pritisku. Naprava je lahko enostaven vodnjak, v katerem naprava grafično označuje nivo tekočine v njem. Uporabimo lahko tudi manometer ali pa transducer pritiska,

ki pritisk pretvori v električni signal. Ta signal se zabeleži na digitalnem rekorderju, lahko pa se ga prek telemetrije pošlje do sprejemne postaje (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Pri uporabi snežne blazine se pojavljata dve vrsti napak. Ena je zaradi spreminjanja gostote antifrizna kot posledica nihanja temperatur. Ta napaka je zelo majhna pri debelih snežnih odejah, saj se temperatura pri tleh skoraj ne spreminja. Do druge napake pride če se v snežni odeji pojavi ledena plast, ki deluje kot most in drži težo snežne odeje nad njo. Blazina v tem primeru ne zazna teže novozapadlega snega. Kljub tem napakam snežna odeja zagotavlja točne podatke, ob pogostih meritvah lahko celo določimo vrednosti padavin pri posameznih nevihtah (ASCE, 1996).

Ponekod je v uporabi univerzalen merilni sklop za merjenje padavin, sestavljen iz snežne blazine in dežemera. Na blazini je ploščad iz steklenih vlaken, ki ima na sredini luknjo za odtok vode. Ta odtok je povezan z dežemerom pod površjem, ki natančno meri zapadel dež ali pa odtok zaradi tajanja snega na ploščadi. Blazina je povezana s transducerjem, s katerim določimo kopičenje in tajanje snežne odeje. Tako lahko s kombinacijo snežne blazine in dežemera točno določimo vrsto padavin in procese v snežni odeji (Dingman, L.S. 1994).

3.3.2.2 Snežna tuba

S snežno tubo določimo debelino snežne odeje in njen vodni ekvivalent, s pomočjo teh podatkov pa izračunamo še gostoto snežne odeje. Snežna tuba je votla cev, narejena iz aluminija, steklenih vlaken ali plastike. Premer ima lahko od 3,8 do 7,6 cm. Pri večjih premerih je natančnost meritev večja, večja je pa tudi nevarnost zdrsa snega pri izvleku tube iz snežne odeje. Na zunanji strani je merilna skala. Na dnu cevi so ostra rezila, ki režejo snežno odejo. K opremi spada še tehtnica na vzmet, s katero stehtamo s snegom napolnjeno tubo. Snežno tubo navpično potisnemo v snežno odejo do tal in odčitamo globino odeje. Nato potisnemo še malo da zajamemo tla in s tem naredimo zamašek, ki prepreči zdrs snega iz tube. Tubo izvlečemo, odstranimo delce tal in tubo stehtamo. Tehtnica ima prirejeno skalo, tako da direktno pokaže vrednost vodnega ekvivalenta. Kasneje iz teh podatkov izračunamo gostoto snežne odeje (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

S snežno tubo merimo lastnosti snežne odeje na točkah v snežni liniji. Snežna linija je vnaprej določena linija opazovalnih točk, na katerih izvajamo meritve in jih primerjamo z odtoki z opazovanega povodja. Na vsaki točki izvedemo več meritev in izračunamo njihovo povprečje. Meritve izvajamo približno na dva tedna. Točke linije skrbno izberemo tako, da bodo meritve predstavljale razmere na povodju. Upoštevamo različno topografijo, vegetacijo, naklon terena, nadmorsko višino, prisojnost ter meteorološke značilnosti. Najboljše je, če je mesto meritev v zavetrju in na rahlo nagnjenem terenu. Označimo ga tako na karti kot na terenu. Snežna linija je lahko večih oblik - ravna črta, lok, lomljena črta, v obliki črke T, L ali X, itd. Ko vzpostavljamo novo snežno linijo, postavimo točke bolj na gosto in po 5 do 10 letih opazovanj izberemo predstavivene točke. V goratih predelih naj bo v liniji 10 točk, na ravnini 5 točk. Snežna linija v goratih predelih naj bo dolžine 120 - 270 m z medtočkovnimi razdaljami 20 - 40 m, na ravninah pa naj bo razdalja med točkami 100 - 500 m (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.2.3 Radioaktivni merilni inštrumenti

Radioaktivni merilni inštrumenti so zasnovani na podlagi dejstva, da se radioaktivno sevanje razredči ko potuje skozi nek medij, v našem primeru skozi snežno odejo. Z merjenjem zmanjšanja intenzitete radiacije lahko določimo vodni ekvivalent snežne odeje. Inštrument podatke sproti pošilja preko telemetrije, zato je uporaben za merjenje v odročnih predelih. S takim načinom merjenja dobimo zelo dobre zvezne informacije o porastu akumulacije snega in njegovem tajanju, izoliramo lahko tudi posamezne nevihte. Ni potrebno vzemanje vzorcev, zato je snežna odeja nedotaknjena in lahko stalno opazujemo isti profil. V uporabi sta vertikalna in horizontalna postavitev inštrumenta.

Pri vertikalni postavitvi vstavimo v tla vir sevanja Co, tla okoli njega zaščitimo s svincem. Nad virom postavimo Geiger Mullerjevo cev, ki zaznava in meri intenziteto sevanja. Postavimo jo nad pričakovano višino snežne odeje. Postavitev lahko tudi obrnemo - Geiger Mullerjevo cev postavimo v tla in nad njo pritrdimo vir sevanja. Taka postavitev je bolj ugodna zaradi dveh razlogov - cev ni izpostavljena tako velikim nihanjem temperature, tla pa niso v nevarnosti onesnaženja zaradi stika z radioaktivno snovjo.

Pri horizontalni postavitvi določamo gostoto snega v vodoravnih profilih. Na razdalji 0,5 m postavimo dve votli palici. V eni je vir sevanja Cs, v drugi pa detektor sevanja. Oba sta pritrjena na palico, ki ju s pomočjo majhnega elektro motorja simultano dviga z začetne točke pod zemljo. Dobimo vrednosti gostote posameznih vodoravnih profilov na medsebojnih višinskih razdaljah 2 cm. Opazimo lahko ledene plasti in večja odstopanja vrednosti gostot, kar je zelo uporabno pri napovedi snežnih plazov. V uporabi so tudi prenosne radioaktivne naprave, ki pa so uporabne za snežne odeje z vodnim ekvivalentom do 100 cm (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.2.4 Naravno sevanje gama žarkov

Zemljino površje oddaja sevanje, ki ga povzročajo naravni izotopi Kalija, Urana in Talija. Zgornjih 20 cm Zemlje oddaja 96% vsega sevanja. Snežna odeja na Zemljini površini zmanjša količino sevanja, ki pride v atmosfero. Večji je vodni ekvivalent snežne odeje, bolj se sevanje zmanjša. Vodni ekvivalent lahko torej določimo s primerjavo sevanja površja brez snežne odeje in sevanja površja, pokritega s snežno odejo. Uporabljamo terenske meritve in meritve z letali.

Pri terenskih meritvah sevanja uporabljamo prenosni detektor, ki meri povprečni vodni ekvivalent na širini 8m. Obvezne so predhodne meritve sevanja, ko še ni bilo snega ali pa pred novo zapadlim snegom. Iz meritev izračunamo povprečno vrednost intenzitete gama sevanja. Ko imamo povprečni vrednosti intenzitete sevanja v času pred snežno odejo in v času snežne odeje, iz tabele odčitamo približno vrednost vodnega ekvivalenta. Tega nato korigiramo s faktorjem, ki upošteva variacije kozmičnega in Zemljinega ozadja. S terenskimi meritvami lahko merimo vodni ekvivalent med 10mm in 300mm. Natančnost meritev je +/- 2mm do +/- 6mm.

Gama sevanje lahko merimo tudi s pomočjo letala. V spodnji del letala vgradimo senzor gama žarkov in rekorder. S preletom opazovalne linije dobimo zvezen zapis sevanja gama žarkov. Opazovalna linija mora biti skrbno izbrana, da ji pilot lahko natančno sledi vsako leto. Vsako odstopanje od linije povzroči napake. Z napravami merimo večji spekter

energijskih nivojev. Tako se izognemo napakam zaradi kozmičnih žarkov in radioaktivnosti atmosfere. Isto natančnost dosežemo, če uporabimo ščit proti kozmičnim žarkom in dva detektorja z različno občutljivostjo. Iz izmerjenih intenzitet sevanja izračunamo vodni ekvivalent snežne odeje. Višina preleta je lahko do 300m, zaželjena pa je čim nižja zaradi zmanjšanja Zemljinega sevanja v atmosferi. Najboljše rezultate dobimo na ravninah, meritve pa lahko izvajamo tudi v razgibanih terenih z višinskimi razlikami do 400m. Natančnost meritev je +/- 10%. Merimo lahko vrednosti vodnega ekvivalenta od 10mm do 100mm. Prednosti meritev z letalskimi preleti so: pokrivajo veliko območje, zmanjšanje gama sevanja ni odvisna od oblike vode in nimamo tveganja radioaktivnega onesnaženja, saj ne uporabljamo radioaktivnih elementov. Napake v meritvah se pojavijo zaradi vlage v zraku, napak v navigaciji letala, vode v zemlji ter nanosov zemlje (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.3 Obseg snežne odeje

Za modeliranje odтока zaradi tajanja snega, vodne bilance in globalne klime potrebujemo poleg podatkov o vodnem ekvivalentu tudi podatke o velikosti površine površja, pokritega s snegom. Za določanje obsega snežne odeje uporabljamo več metod, terenske in daljinske. Z daljinskim opazovanjem (letala, sateliti) hitreje in pogosteje dobimo informacije, ki so tudi bolj kompletne. Pridobivanje podatkov s terenskim opazovanjem je pomembno za kalibracijo in potrditev metod daljinskega opazovanja. Uporaba digitalnih terenskih modelov in digitalnih elevacijskih modelov izboljša hidrološke analize goratih predelov (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.3.1 Terensko opazovanje

Določanje obsega snežne odeje z opazovanjem z razglednih točk zahteva precejšnjo usposobljenost opazovalca. Takšno opazovanje ovirajo naravne ovire, kot so gozdovi in hribovi, ki zakrivajo razgled. Poleg tega je dostop do razglednih točk ponavadi težak in dolgotrajen.

S terenskim fotografiranjem dobimo indeks obsega snežne odeje, iz katerega lahko določimo njen dejanski obseg. Fotografiramo snežno linijo na gorskem pobočju in opazujemo njene premike. Uporabimo teodolit, ki ga pritrdimo na določeno mesto. Na tak način lahko opazujemo majhna, izolirana območja. Natančnost je velikokrat primerljiva fotografiranju iz zraka (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.3.2 Opazovanje z letali

S preletom letala imamo veliko boljšo vidljivost in dobimo obsežnejše informacije. Zasneženo območje preletimo in na karti označujemo snežno linijo. Dobro je, če se linija preleta sklada z opazovalno linijo na terenu, da lahko primerjamo podatke. Preleta ne izvajamo takoj zatem, ko je zapadel nov sneg. Ročno označevanje na karti je veliko cenejše kot fotografiranje območja, podatke lahko uporabimo takoj ko stopimo z letala. Za opazovanje je potrebno ugodno vreme. Težave pri opazovanju povzročajo gozdnati predeli, saj ne vidimo snega pod drevesnimi krošnjami.

Opazovano območje lahko tudi fotografiramo in iz fotografij določimo obseg snežne odeje. Na goličavah in delno gozdnatih območjih lahko določimo tudi višino snežne odeje. V ta namen potrebujemo predhodne fotografije, ko na področju še ni snega. S primerjanjem fotografij lahko določimo povprečno višino snežne odeje. Natančnost je odvisna od merila na fotografijah ter kvalitete fotografij. Pri globokem snegu in dobrih fotografijah je natančnost tudi +/- 10%. Fotografske metode so uporabne na manjših povodjih. Prehod na večja povodja je omejen zaradi več razlogov: dolgotrajna obdelava velikega števila fotografij, visoka cena uporabe letala ter težave pri določanju snega v gozdnatih predelih (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

3.3.3.3 Opazovanje s sateliti

Za opazovanje obsega snežne odeje se uporablja vidni in infrardeči spekter svetlobe. V teh spektrih je viden močan kontrast snežne odeje glede na kopno površino. Uporabljajo se posnetki, narejeni s sateliti: Landsat MSS (0,6 - 0,7 μm), IRS (0,62 - 0,68 μm) ter NOAA-

AVHRR (vidni spekter). Spekter odboja svetlobe s površine snežne odeje je odvisen od velikosti zrn, nečistoč (prah, saje, pelod...), valovne dolžine in višine sonca. Odbojnost vidnega spektra žarkov je v večji meri odvisna od nečistoč - več je nečistoč, manjša je odbojnost. Infrardeči spekter je odvisen od velikosti zrn - večja kot so zrna, manjša je odbojnost. Pri preobrazbi snežne odeje se večajo zrna, torej se odbojnost s staranjem snega manjša. Odbojnost pada tudi z večanjem valovne dolžine, pri 1,4 mm znaša le še nekaj % začetne vrednosti (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

Podatke, dobljene s pomočjo satelitov, obdelujemo na dva načina - z vizualno interpretacijo ter z digitalnimi postopki. Z optičnimi napravami vizualno pregledujemo posnetke, jih večamo ali manjšamo da se skladajo s hidrološko karto. Nato snežno linijo prenesemo na karto. To naredimo ročno ali pa z elektronskim planimetriranjem. Največjo natančnost dosežemo pri povodjih brez gozdnatih površin, kjer snežna linija ni preveč raztresena. Ta metoda je primerna za manjša povodja. Možne so napake zaradi nenatančne ali nepravilne interpretacije posnetkov (Singh, P., Singh, V.P., 2001). Za digitalno obdelavo podatkov potrebujemo računalnik ter možnost prikaza satelitskih podatkov na keranu. Podatke shranjujemo na disk in prenosne medije. Orodje za analizo prepozna pixle in jih razvrsti v tri kategorije: kopno, prehodno ter pokrito s snegom. Pixli v prehodni kategoriji so le delno prekriti s snegom, predpostavi se 50% prekritost. Računalnik prešteje s snegom prekrите pixle in tako določi površino snežne odeje. Rezultate nato integrira v GIS. Digitalni model terena je v veliko pomoč pri pomanjkljivih podatkih. Predpostavi se, da je snežna odeja enaka na območjih z isto nadmorsko višino, isto ekspozicijo in naklonom. Glede na te tri lastnosti se celotvo povodje lahko razdeli na 165 različnih EAS razredov. Če nam torej manjkajo podatki za nek del povodja, predpostavimo da ima enako pokritost s snegom kot nek podoben del povodja, za katerega imamo podatke. Kot dopolnilo k metodi z EAS razredi se uporablja tudi metoda SCU (Snow Cover Units), ki temelji na razdelitvi delov povodja glede na vrsto površja (ledenik, permafrost, goličava, gozd in ostalo) ter glede na klimatske razmere (Seidel, K., Martinec, J. 2004).

Napake pri določanju obsega snežne odeje s satelitskimi posnetki nastajajo zaradi več faktorjev. Oblaki prekrivajo površje povodja ter nanj mečejo senco. Poleg tega je velikokrat

težavno ločevanje zasnežene površine od površine oblakov. Krošnje dreves v gostih gozdovih zakrivajo snežno odejo na tleh, del snega pa ostane na krošnjah. Na strmih goratih terenih se ob nizkem soncu pojavljajo sence, ki otežujejo določanje snežne linije. Zasnežena površina snežne odeje ima namreč enako odbojnost kot kopna površina. Pozno spomladi in v zgodnjem poletju je odbojnost golih skal enaka kot odbojnost snega, kar otežuje ločevanje med njimi. Uporabnost satelitskih posnetkov je tudi odvisna od prostorske resolucije. Za manjša, bolj razgibana povodja je potrebna višja resolucija. Frekvenca preletov satelitov, ki ponujajo visoko resolucijo posnetkov znaša 16 do 22 dni, kar je preveč za natančno določanje kopičenja in tajanja snežne odeje. Ko posnetki z višjo resolucijo zaradi oblačnosti niso uporabni, se za natančnejšo določitev snežne odeje dodatno uporablja posnetke z manjšo resolucijo (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

težavno ločevanje zasnežene površine od površine oblakov. Krošnje dreves v gostih gozdovih zakrivajo snežno odejo na tleh, del snega pa ostane na krošnjah. Na strmih goratih terenih se ob nizkem soncu pojavljajo sence, ki otežujejo določanje snežne linije. Zasenčena površina snežne odeje ima namreč enako odbojnost kot kopna površina. Pozno spomladi in v zgodnjem poletju je odbojnost golih skal enaka kot odbojnost snega, kar otežuje ločevanje med njimi. Uporabnost satelitskih posnetkov je tudi odvisna od prostorske resolucije. Za manjša, bolj razgibana povodja je potrebna višja resolucija. Frekvenca preletov satelitov, ki ponujajo visoko resolucijo posnetkov znaša 16 do 22 dni, kar je preveč za natančno določanje kopičenja in tajanja snežne odeje. Ko posnetki z višjo resolucijo zaradi oblačnosti niso uporabni, se za natančnejšo določitev snežne odeje dodatno uporablja posnetke z manjšo resolucijo (Singh, P., Singh, V.P., 2001).

38 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

4 MERITVE SNEŽNIH PADAVIN IN SNEŽNE ODEJE V V ZIMSKIH SEZONAH 2004/2005 in 2005/2006

4.1 Opis projekta

Za potrebe meritev smo postavili deset dvojic pluviometrov. Postavili smo jih: za zimsko sezono 2004/2005 v dolini Koritnice, v Strmcu, na plazu Slano Blato, na plazu Macesnik in v Ljubljani ter za zimsko sezono 2005/2006 v dolini Koritnice, v Strmcu, v Sviščakih, na Snežniku in v Ljubljani Eden pluviometer je bil postavljen na palici in je bil opremljen za merjenje snežnih padavin. Imenujemo ga tudi snegomer. Drug pluviometer je bil postavljen v vnaprej izkopano luknjo v tleh in je meril odtok vode v tla. Pokrit je bil s snežno odejo, tako da je predvsem meril odtok vode, ki je nastala ob tajanju snežne odeje. Ob koncu zimske sezone, ko se je snežna odeja povsem odtajala, smo odčitali dobljene podatke o padavinah in odtoku v tla ter jih po dvojicah pluviometrov primerjali. Rezultati so prikazani v grafih o akumulaciji in ablaciji snežne odeje.

Z izračunom potencialne evapotranspiracije (PET) po Thornthwaitovi metodi sem izračunala kolikšen delež snežnih padavin izhlapi s površine snežne odeje v zrak. PET sem izračunala s pomočjo podatkov o povprečnih mesečnih temperaturah v letu 2005 za kraja Rateče in Ljubljana, torej za zimsko sezono 2004/2005. PET za Rateče sem upoštevala pri meritvah v dolini Koritnice in Strmcu.

Z Agencije Republike Slovenije za okolje sem dobila izračunane vrednosti evapotranspiracije po metodi Penman-Monteith za postaji v Ljubljani in Ratečah za obe zimski sezoni. Vrednosti evapotranspiracije v Ljubljani sem primerjala s podatki o padavinah in odtoku v tla za Ljubljano 2004/2005 in 2005/2006. Vrednosti evapotranspiracije v Ratečah pa sem primerjala s podatki za Dolino Koritnice in Strmec, oba za zimski sezoni 2004/2005 in 2005/2006.

Trije snegomeri v zimski sezoni 2004/2005 so bili z odtokom povezani s plastičnimi posodami, v katerih so se zadržale celotne padavine. Stehtali smo ujete padavine in jih primerjali z digitalnimi podatki o padavinah.

Podatke o padavinah, dobljenih v dolini Koritnice za zimsko sezono 2004/2005 sem primerjala s podatki o padavinah, ki jih je v Logu pod Mangartom opravila Agencija Republike Slovenije za Okolje (ARSO). Primerjala sem dnevne vrednosti padavin ter mesečne vrednosti padavin.

4.2 Pluviometer

Pri meritvah smo uporabili pluviometer družbe Onset, tip RG2-M. Za zapis podatkov je bil uporabljen zapisovalnik HOBO, za obdelavo dobljenih podatkov pa program BoxCar Pro.

Pluviometer ima obliko valja z višino 254 mm ter zunanjim premerom 165 mm. Sprejemna površina ima premer 154 mm. Ohišje je iz aluminija, prevlečenega z belim emajlom. Kolektor je narejen iz črno-anodiziranega aluminija, ima oster rob in lijak, ki usmerja padavine na merilni mehanizem. Nad lijakom je pritrjena mrežica, ki preprečuje vdor smeti in insektov. Merilni mehanizem je posodica v obliki črke V, katere vsaka polovica sprejme 0,2 mm padavin preden se prevrne in postavi drugo polovico v položaj za sprejemanje padavin. Na posodico je pritrjen magnet, ki pri vsaki prevrnitvi posodice aktivira magnetno stikalo. Zapisovalnik zapiše čas vsake aktivacije magnetnega stikala - čas vsakega dogodka. Voda nato odteče skozi luknjo na dnu ohišja. Ohišje je opremljeno z nogami za pritrditev na tla in z nosilcem za pritrditev na palico.

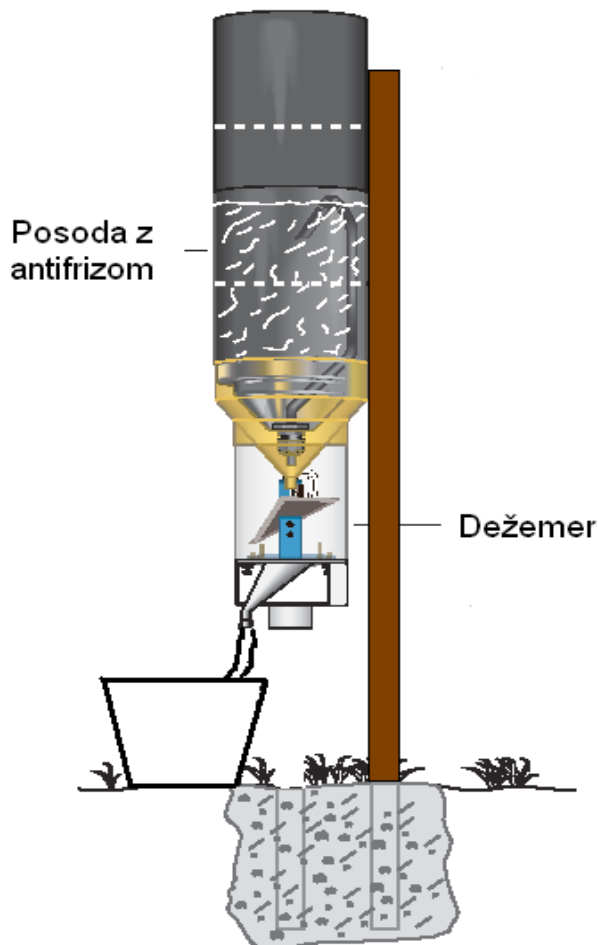
Merilni mehanizem meri z natančnostjo +/- 1,0 % pri intenziteti do 20 mm/h. Zapisovalnik ima kapaciteto 8000 dogodkov. Sistem deluje pri temperaturah 0°C do 50°C. Pravilno zaprta posoda je neprepustna za vodo.

Pluviometer smo uporabili za merjenje snežnih padavin, katere je pred meritvijo potrebno stopiti. V ta namen smo na ohišje namestili snežni adapter, napolnjen z antifrizom.

4.2.1 Postavitev pluviometrov

Na istem mestu opazovanja sta postavljena po dva pluviometra za možnost primerjave dobljenih podatkov. Eden je postavljen na palici nad pričakovano višino snežne odeje za merjenje padavin. Drugi pa je vkopan v zemljo s koto na koti tal za merjenje tajanja snežne odeje.

4.2.1.1 Pluviometer na palici - snegomer



Slika 1: Snegomer

Picture 1: Snow gauge

Snegomer je pritrjen na leseno palico premera 4,5 cm na višini 1m do 1,2 m nad tlemi. Na ohišje je pritrjen snežni adapter CS705 družbe Campbell Scientific. Snežni adapter je sestavljen iz rezervoarja za antifriz višine 35,6 cm, tube za lovljenje padavin višine 25,4 cm ter iz prelivne cevi. Sneg, ki pada v tubo, se v antifrizu raztopi in mešanica skozi prelivno cev steče do merilnega mehanizma. Snežni adapter povzroča zakasnitve pri merjenju padavin tudi do nekaj deset ur. Največje zakasnitve se pojavijo pri lahmem sneženju ob zelo nizkih temperaturah zraka. Uporabili smo navaden antifriz za hlajenje avtomobilskih motorjev, ki vsebuje več kot 25 % glikola. Postavitev je prikazana na Sliki 1: Snegomer.

4.2.1.2 Pluviometer v tleh

Za postavitev pluviometra v tleh smo izkopali luknjo premera 40 cm in globine 75 cm. Na višini 15 cm od dna luknje smo vodoravno postavili leseno desko, na katero smo pritrdili dežemer. Spodnjih 15 cm luknje služi za drenažo. Pluviometer smo zavarovali pred vdorom vode in pritiskom okoliških kamnov tako, da smo ga postavili v plastično cev z notranjim premerom 18,8 cm. Na to cev smo s silikonom pritrdili lijak premera 28,9 cm. Silikon hkrati služi tudi kot tesnilo. Lijak smo pred vdorom smeti zavarovali z narobe obrnjenim plastičnim podstavkom premera 19,5 cm. Rob plastičnega podstavka smo predhodno naluknjali, da lahko voda steče po lijaku. Luknje smo zatesnili s sintetičnim bombažom. Notranjost luknje smo zapolnili s kamenjem za drenažo, površino pa pokrili z zaplatami trave. Proces postavitve je prikazan na Slikah 2 - 4: Postavitev pluviometra 1 - 3.

- 42 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.



Slika 2: Postavitev pluviometra 1

Picture 2: Placing the gauge 1



Slika 3: Postavitev pluviometra 2

Picture 3: Placing the gauge 2



Slika 4: Postavitev pluviometra 3

Picture 4: Placing the gauge 3

4.3 Mreža pluviometrov

Dvojice pluviometrov smo postavili na sedmih lokacijah. V dolini Koritnice, v Strmcu in v Ljubljani v obeh zimskih sezonah, na plazu Slano Blato in v Macesniku v zimski sezoni 2004/2005 ter v Sviščakah in na Snežniku v zimski sezoni 2005/2006. V nadaljevanju je podan natančnejši opis krajev postavitve.

V dolini Koritnice sta pluviometra postavljena približno 5 km od kraja Log pod Mangartom. Sta na nadmorski višini 929 m. Točna lokacija je N 46°25'10" in E 13°39'13". ARSO-v pluviometer je postavljen v kraju Log pod Mangartom na nadmorski višini 650 m. Podatki o padavinah so za obdobji od 13. decembra 2004 do 24. maja 2005 in od 16. novembra 2005 do 8. junija 2006 . Podatki o odtoku v tla so za obdobji od 13. decembra 2004 do 31. marca

2005 in od 28. novembra 2005 do 8. junija 2006. Na snegomer je bila v sezoni 2004/2005 pritrjena posoda za kontrolo volumna ujetih padavin.

V kraju Strmec na Predelu sta bila pluviometra postavljena na nadmorski višini 962 m. Točna lokacija je N 46°25' in E 13°36'38". Snegomer je namesto z antifrizom opremljen z grelcem za tajanje snežnih padavin. Podatki o padavinah so za obdobji od 28. avgusta 2004 do 31. avgusta 2005 in od 24. novembra 2005 do 6. junija 2006. Podatki o odtoku v tla so za obdobji od 13. novembra 2004 do 25. aprila 2005 in od 23. novembra 2005 do 6. aprila 2006.

Plaz Slano Blato se nahaja nad krajem Lokavec v občini Ajdovščina. Kot je že razvidno iz njegovega imena je plaz zemeljski. Plaz nenehno drsi po pobočju, drsenje postane hitrejše ob deževnih dnevih, saj dež razmoči zemljo. Snežna odeja predstavlja dodatno obremenitev na zemljino, tajanje snežne odeje pa še pospešuje plazenje, saj namaka zemljo. Postavili smo dvojico pluviometrov ob zgornjem robu plazu, na lokaciji N 45°55'37" in E 13°51'44" na nadmorski višini 960 m. Snegomer smo opremili s posodo za kontrolo volumna. Podatki o padavinah so za obdobje od 15. decembra 2004 do 4. aprila 2005, podatki o odtoku v tla pa od 15. decembra 2004 do 13. februarja 2005.

Kraj Macesnik se nahaja v Zgornje Savinjski dolini v občini Solčava. Zemeljski plaz Macesnik je dobil ime po kmetiji Macesnik, do katere je bil zaradi plazu prekinjen dostop. Plaz se nahaja na pobočju v dolini med masivom Olševe ter Hudo pečjo, razteza se na višini med 900 in 1300 m. Nevarnost plazenja se poveča ob deževju. Postavili smo dvojico pluviometrov na zgornjem robu plazu na lokaciji N 46°26'30" in E 14°40'33" na nadmorski višini 1280 m. Podatki o padavinah so za obdobje od 3. decembra 2004 do 1. junija 2005. Podatki o odtoku v tla pa so za obdobje od 3. decembra 2004 do 16. aprila 2005. Pritrjena je bila posoda za kontrolo volumna.

Snežno odejo smo opazovali tudi ob Fakulteti za Gradbeništvo in Geodezijo v Ljubljani, Hidrotehnična smer na Hajdrihovi 28 in ob Vodarni Kleče. Padavine smo v obeh sezonah merili ob Fakulteti. V zimski sezoni 2004/2005 je bil postavljen enostaven pluviometer, pri katerem je potrebno redno ročno odčitavanje padavin. Odtok v tla smo v zimski sezoni

2004/2005 merili ob Fakulteti, v zimski sezoni 2005/2006 pa ob Vodarni Kleče. Podatki o padavinah so za obdobji od 15. novembra 2004 do 31. marca 2005 in od 25. novembra 2005 do 26. marca 2006. Podatki o talnem odtoku so za obdobji od 17. novembra 2004 do 30. marca 2005 in od 25. novembra 2005 do 24. marca 2006.

Preglednica 1: Mreža pluviometrov

Table 1: Ombrograf network

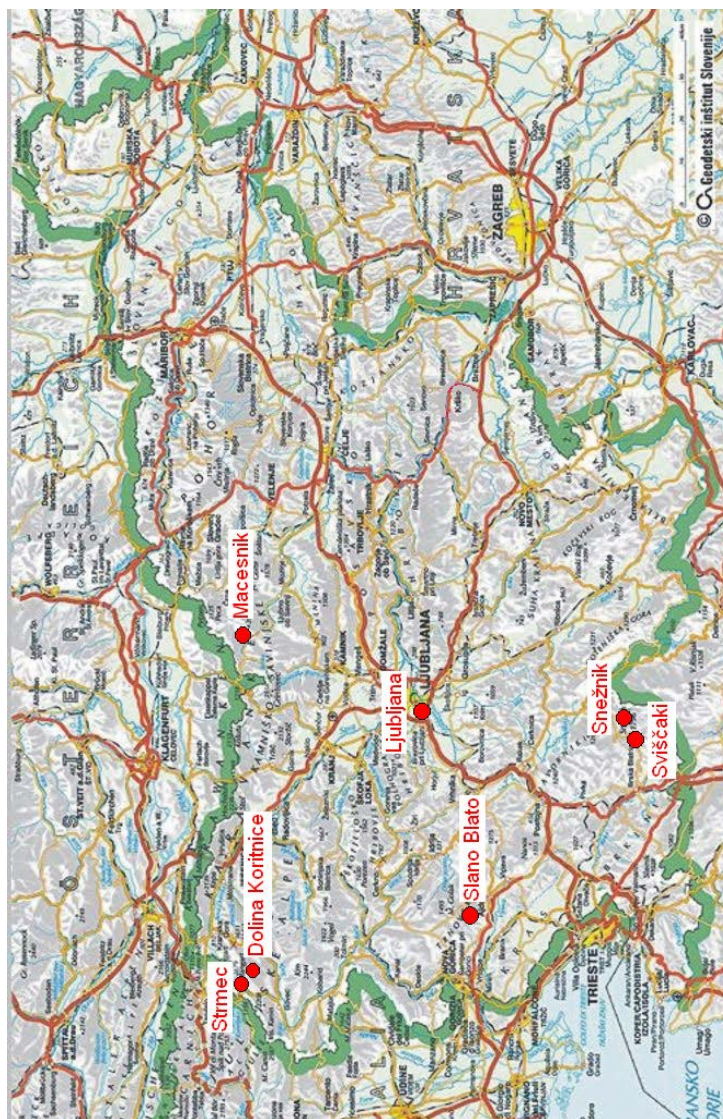
Kraj	Oznaka	Postavitev	Trajanje meritev
Dolina Koritnice	Log_pod_Mangartom-Stovže06	Na palici	13.12.2004 - 24.5.2005
Dolina Koritnice	Log_pod_Mangartom-Stovže06	V tleh	13.12.2004 - 31.3.2005
Strmec	Log_pod_Mangartom-Strmec	Na palici	28.8.2004 - 31.8.2005
Strmec	Log_pod_Mangartom-Strmec	V tleh	13.11.2004 - 25.4.2005
Plaz Slano Blato	Lokavec-Slano_blato01	Na palici	15.12.2004 - 4.4.2005
Plaz Slano Blato	Lokavec-Slano_blato01	V tleh	15.12.2004 - 13.2.2005
Macesnik	Macesnik01	Na palici	3.12.2004 - 1.6.2005
Macesnik	Macesnik01	V tleh	3.12.2004 - 16.4.2005
Ljubljana, Hajdrihova 28	Hajdrihova28	Na palici	15.11.2004 - 31.3.2005
Ljubljana, Hajdrihova 28	Hajdrihova28	V tleh	17.11.2004 - 30.3.2005
Dolina Koritnice	Log_pod_Mangartom-Stovže06	Na palici	16.11.2005 - 8.6.2006
Dolina Koritnice	Log_pod_Mangartom-Stovže06	V tleh	28.11.2005 - 8.6.2006
Strmec	Log_pod_Mangartom-Strmec	Na palici	24.11.2005 - 6.6.2006
Strmec	Log_pod_Mangartom-Strmec	V tleh	23.11.2005 - 6.4.2006
Sviščaki	Sviscaki	Na palici	20.10.2005 - 3.4.2006
Sviščaki	Sviscaki	V tleh	20.10.2005 - 28.4.2006
Snežnik	Sneznik	Na palici	21.10.2005 - 22.5.2006
Snežnik	Sneznik	V tleh	21.10.2005 - 22.5.2006
Ljubljana, Hajdrihova 28	KSH	Na palici	25.11.2005 - 26.4.2006
Ljubljana, Vodarna Kleče	Vodarna Kleče	V tleh	25.11.2005 - 24.3.2006

V zimski sezoni 2005/2006 smo postavili dva para pluviometrov v občini Ilirska Bistrica. En par je bil postavljen v kraju Sviščaki na nadmorski višini 1245 m in točno lokacijo N 45°34'24" in E 14°24'7". Meritve padavin so potekale od 20. oktobra 2005 do 3. aprila 2006,

- 46 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

meritve odtoka v tla pa od 20. oktobra 2005 do 28. aprila 2006. Drugi par pluviometrov je bil postavljen na Snežniku, na višini 1700 m in točni lokaciji N 45°34'43" in E 14°24'45". Podatke o padavinah in o odtoku v tla imamo za obdobje od 21. oktobra 2005 do 22. maja 2006.

V Preglednici 1: Mreža pluviometrov so prikazani kraji postavitve pluviometrov, njihove oznake in trajanje meritev. Na sliki 5: Mreža pluviometrov je prikazana mreža pluviometrov.



Slika 5: Mreža pluviometrov

Picture 5: Ombrograf network

5 REZULTATI MERITEV SNEŽNIH PADAVIN IN SNEŽNE ODEJE V ZIMSKIH SEZONAH 2004/2005 in 2005/2006

5.1 Akumulacija in ablacija snežne odeje

Ob koncu zimske sezone smo iz pluviometrov odčitali digitalne podatke o 10 - minutnih padavinah in 10 - minutnem odtoku v tla. Te 10 - minutne vrednosti sem primerjala med sabo za dvojice pluviometrov. S tako podrobno analizo nisem mogla priti do nobenih zaključkov, saj so pri snegomeru prisotni časovni zamiki tudi do nekaj deset ur. 10 - minutne vrednosti sem zato seštel v dnevne vrednosti količine padavin in odtokov v tla z začetkom ob 10 minut čez polnoč. Nisem upoštevala morebitnih časovnih zamikov, saj ne morem vedeti če so se in kdaj so se zgodili. Te dnevne vrednosti sem nato podala na grafih za isti kraj. Dnevne vrednosti sem tudi sproti seštel in vsote podala na vsotnih grafih za isti kraj.

Na vsotnih grafih je lepo razvidna akumulacija in ablacija snežne odeje. Ko obe krivulji, torej krivulja padavin in krivulja odtoka v tla naraščata, to pomeni da so bile prisotne deževne ali mešane padavine. Ko narašča le krivulja padavin, to pomeni snežne padavine - snežna odeja se akumulira. Ko pa narašča le krivulja odtoka v tla, se snežna odeja taja. Na posameznih grafih sem določila začetek akumulacije snežne odeje in konec njenega tajanja. To časovno obdobje sem prikazala na novem grafu.

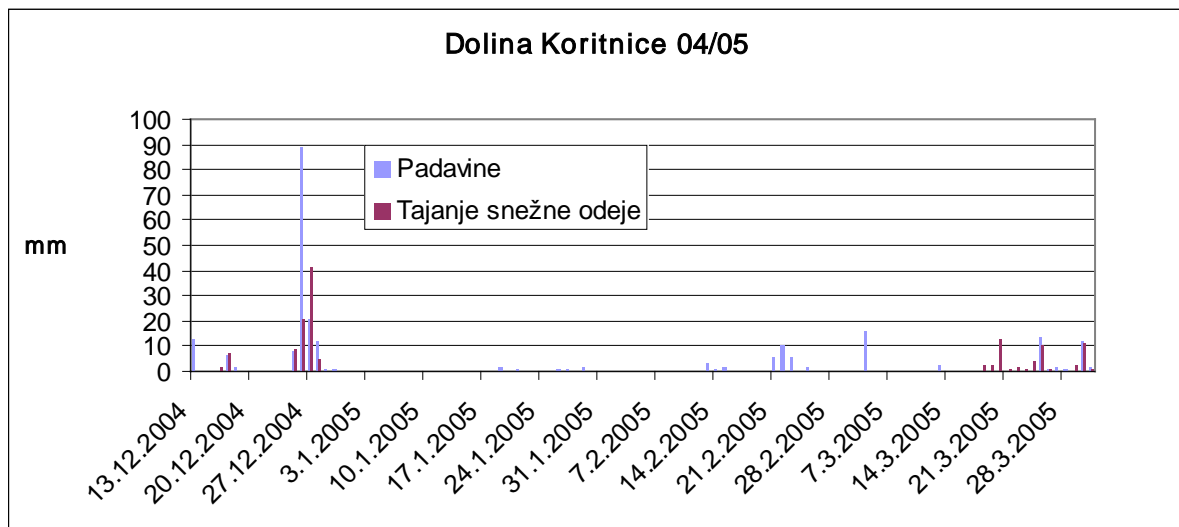
V naslednjih poglavjih so prikazani podatki za dolino Koritnice, Strmec, plaz Slano Blato, Macesnik in Ljubljano v zimski sezoni 2004/2005 ter za dolino Koritnice, Strmec, Sviščake, Snežnik in Ljubljano v zimski sezoni 2005/2006.

5.1.1 Zimska sezona 2004/2005

Prikazani so rezultati meritev v dolini Koritnice, v Strmecu, na plazu Slano Blato, na plazu Macesnik in v Ljubljani.

5.1.1.1 Dolina Koritnice 2004/2005

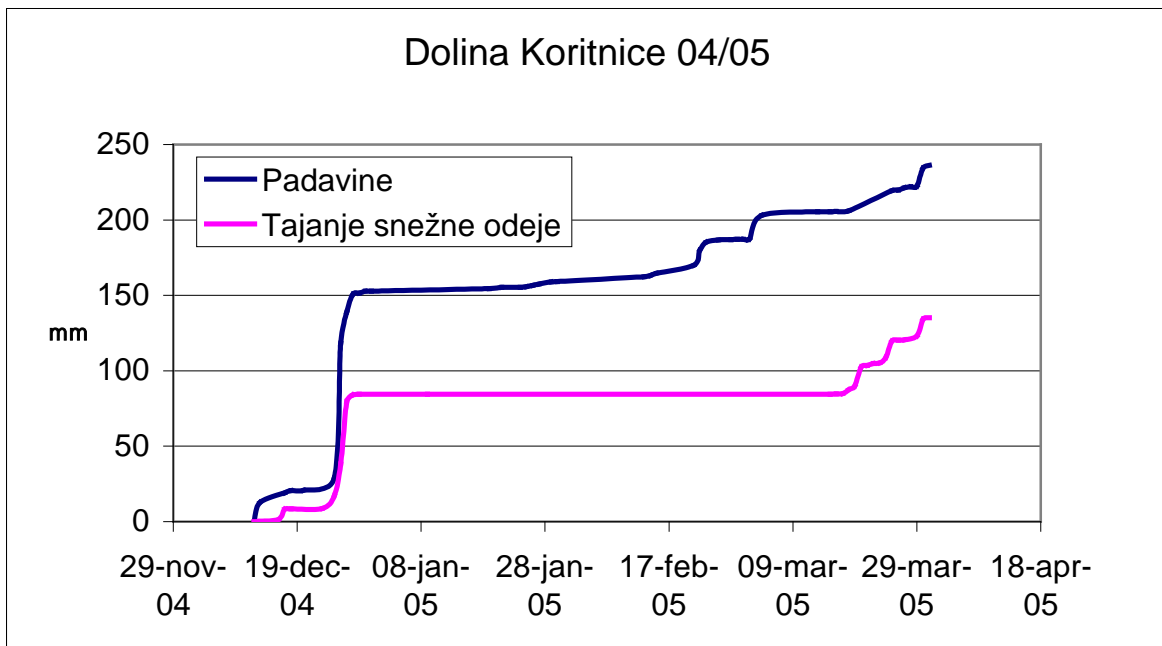
Dobila sem 10 - minutne podatke o padavinah in odtoku v tla zaradi tajanja snežne odeje. Seštela sem jih v dnevne vrednosti. Dnevne vrednosti so prikazane na Grafikonu 1: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Dolina Koritnice 04/05).



Grafikon 1: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Dolina Koritnice 04/05)

Graph 1: Daily values of precipitations and outflow (Dolina Koritnice 04/05)

Nato sem seštela še dnevne količine padavin in jih podala v vsotnem grafu Grafikon 2: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Dolina Koritnice 04/05).

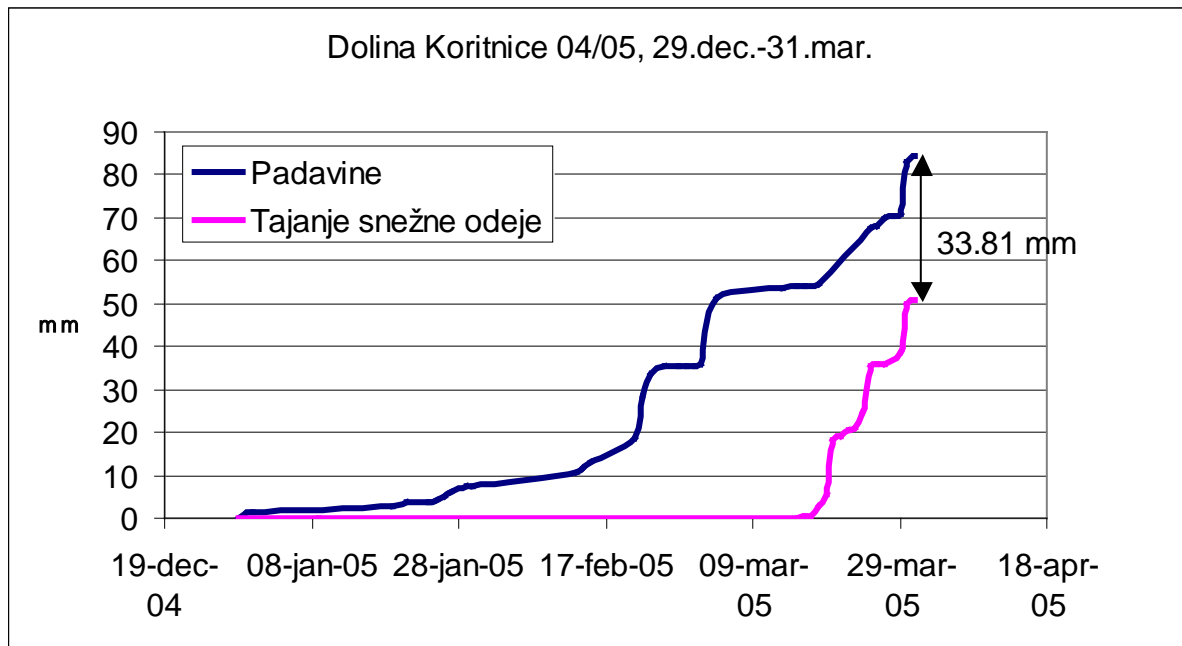


Grafikon 2: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Dolina Koritnice 04/05)

Graph 2: Sum of daily precipitations and outflow (Dolina Koritnice 04/05)

Iz vsotnega grafa se lahko glede na prisotnost padavin predvideva, kdaj so bile padavine deževne ali mešane, kdaj so bile padavine snežne in kdaj se je snežna odeja tajala. Kadar je prisoten le prirastek padavin, so bile padavine predvidoma snežne. Kadar je prisoten prirastek tako padavin kot tajanja snežne odeje, se je lahko dogajalo več stvari: ali so bile padavine deževne ali pa so bile padavine mešane; snežna odeja se je lahko tajala ali pa je predhodno ni bilo. Kadar pa je prisoten le prirastek pri tajanju snežne odeje to pomeni, da se je snežna odeja tajala.

Določila sem datum, od katerega predvidevam da se je snežna odeja začela akumulirati. To je v tem primeru 29. december 2004. Poleg tega sem določila datum, do katerega se je vsa snežna odeja stalila - 31. marec 2005. V tem času, torej v 92 dneh, je bilo 84.61 mm padavin in za 50.8 mm talnega odtoka. V tla je šlo torej 60 % padavin. Primanjkljaj količine vode v snežni odeji je 33.81 mm. Vse to je prikazano na vsotnem grafu Grafikon 3: Vsotni graf 29.dec. - 31. mar. (Dolina Koritnice 04/05).



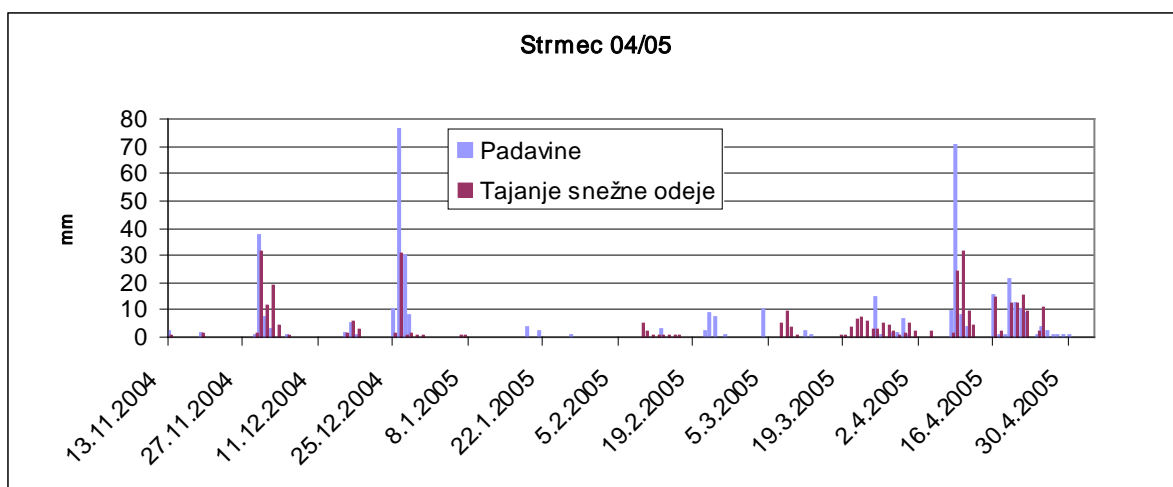
Grafikon 3: Vsotni graf 29.dec. - 31. mar. (Dolina Koritnice 04/05)

Graph 3: Sum graph 29.dec. - 31. mar. (Dolina Koritnice 04/05)

Primanjkljaj lahko pripišem izpihavanju snega zaradi vetra, izhlapevanju snega itd.

5.1.1.2 Strmec 2004/2005

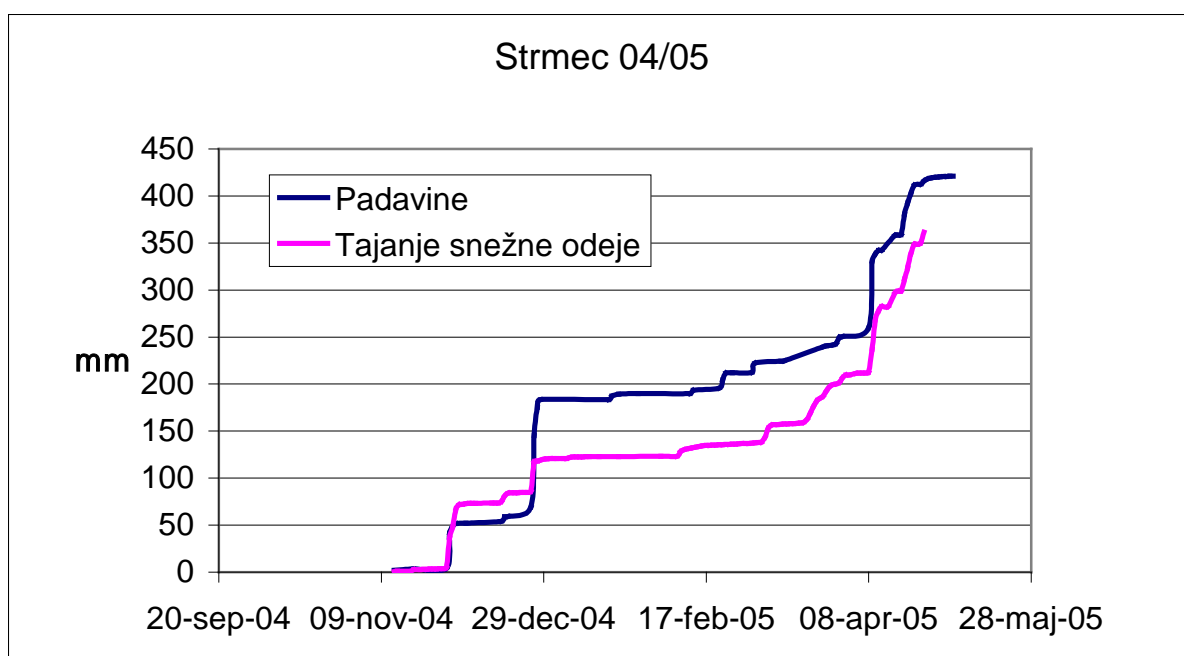
Dobila sem 10 minutne podatke o padavinah in odtoku zaradi tajanja snežne odeje. Seštela sem dnevne vrednosti, kar je prikazano v Grafikonu 4: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Strmec 04/05).



Grafikon 4: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Strmec 04/05)

Graph 4: Daily values of precipitations and outflow (Strmec 04/05)

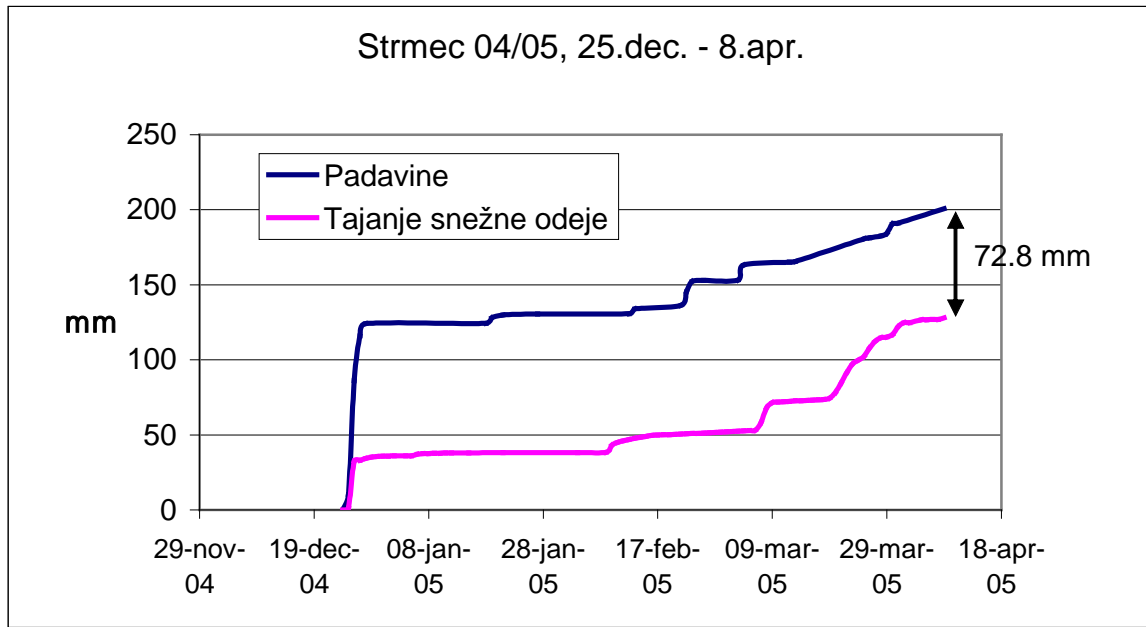
Dnevne vrednosti sem nato seštela in jih podala v Grafikonu 5: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Strmec 04/05).



Grafikon 5: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Strmec 04/05)

Graph 5: Sum of daily precipitations and outflow (Strmec 04/05)

Zopet sem določila datum začetka akumulacije snežne odeje, tokrat je to 25. december 2004 in datum stalitve snežne odeje, 8. april 2005. Rezultat je prikazan v Grafikonu 6: Vsotni graf 25.dec. - 8. apr. (Strmec 04/05)



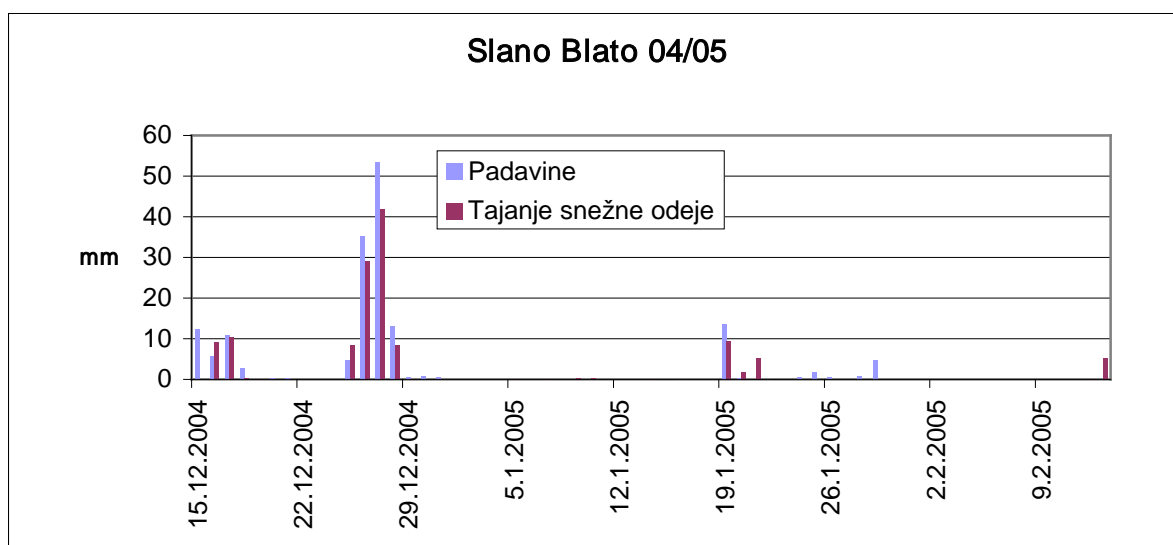
Grafikon 6: Vsotni graf 25.dec. - 8. apr. (Strmec 04/05)

Graph 6: Sum graph 25.dec. - 8. apr. (Strmec 04/05)

V Strmecu je v 104 dneh prišlo do 72.8 mm izgub padavin. Padavin je bilo 200.8 mm, talnega odtoka pa 128.01 mm. V tla je šlo 64 % padavin. Izgube zopet pripišem vetru, izhlapevanju in odtoku zaradi ledenih plošč.

5.1.1.3 Plaz Slano Blato 2004/2005

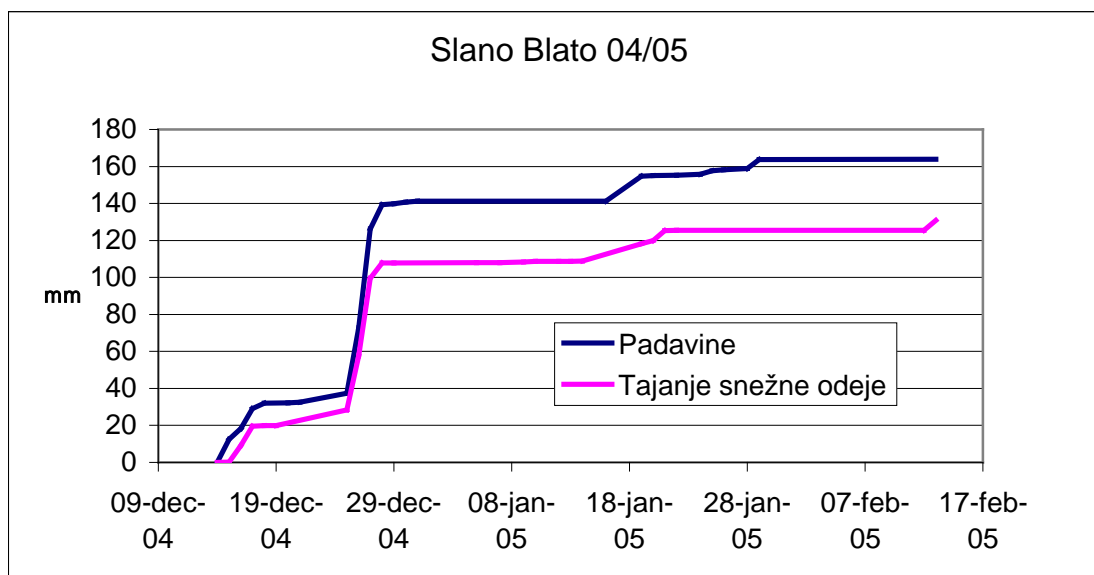
Dobila sem podatke o 10 minutnih padavinah in odtoku v tleh, ki sem jih seštela v dnevne vrednosti. Dnevne vrednosti so prikazane na Grafikonu 7: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Slano Blato 04/05).



Grafikon 7: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Slano Blato 04/05)

Graph 7: Daily values of precipitations and outflow (Slano Blato 04/05)

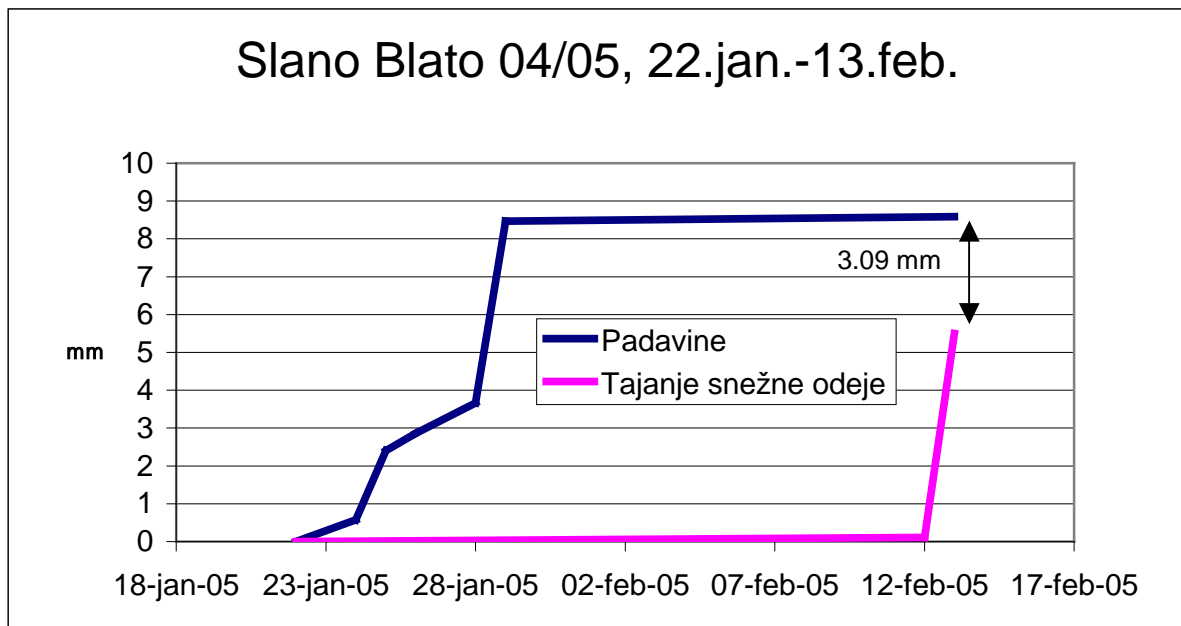
Dnevne vrednosti sem seštela in jih podala v Grafikonu 8: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Slano Blato 04/05).



Grafikon 8: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Slano Blato 04/05)

Graph 8: Sum of daily precipitations and outflow (Slano Blato 04/05)

Iz grafikona se vidi da črti, ki predstavljata padavine in tajanje snežne odeje, potekata zelo vzporedno. Iz tega lahko sklepamo da je bilo bolj malo snežnih padavin in da se snežna odeja ni dolgo zadrževala. To je bilo tudi pričakovano, saj sta dežemera postavljena v obsredozemski pokrajini. Vseeno sem lahko izolirala krajše obdobje, v katerem se je snežna odeja zadržala, od 22. januarja 2005 do 13. februarja 2005. To obdobje sem prikazala na Grafikonu 9: Vsotni graf 22.jan. - 13. feb. (Slano Blato 04/05).



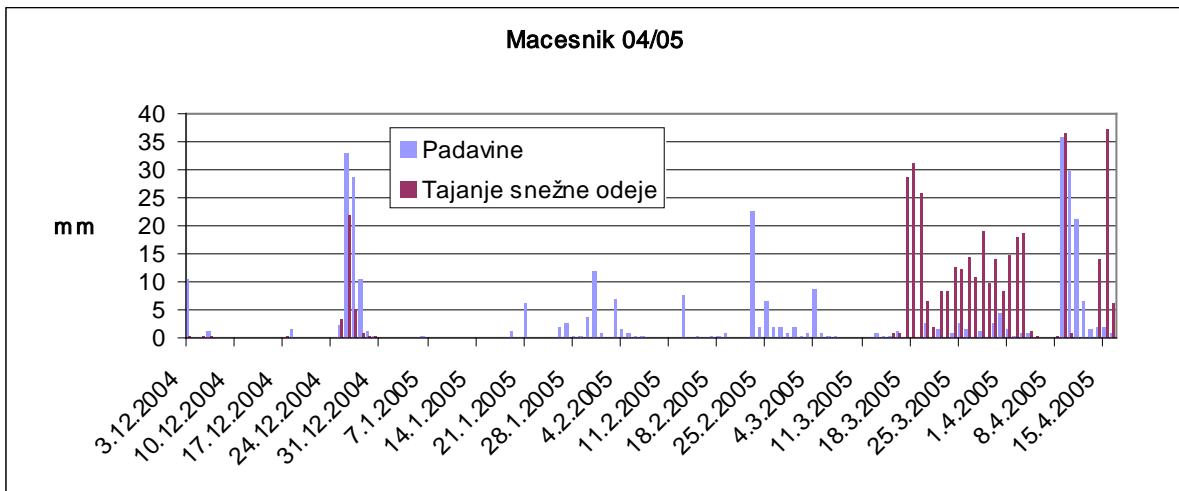
Grafikon 9: Vsotni graf 22.jan. - 13. feb. (Slano Blato 04/05)

Graph 9: Sum graph 22.jan. - 13. feb. (Slano Blato 04/05)

Kot je razvidno iz Grafikona 9, je v 22 dneh prišlo do 3.09 mm izgub v snežni odeji. Padavin je bilo 8.59 mm, odtoka v tla pa 5.5 mm, kar predstavlja 64 % padavin.

5.1.1.4 Macesnik 2004/2005

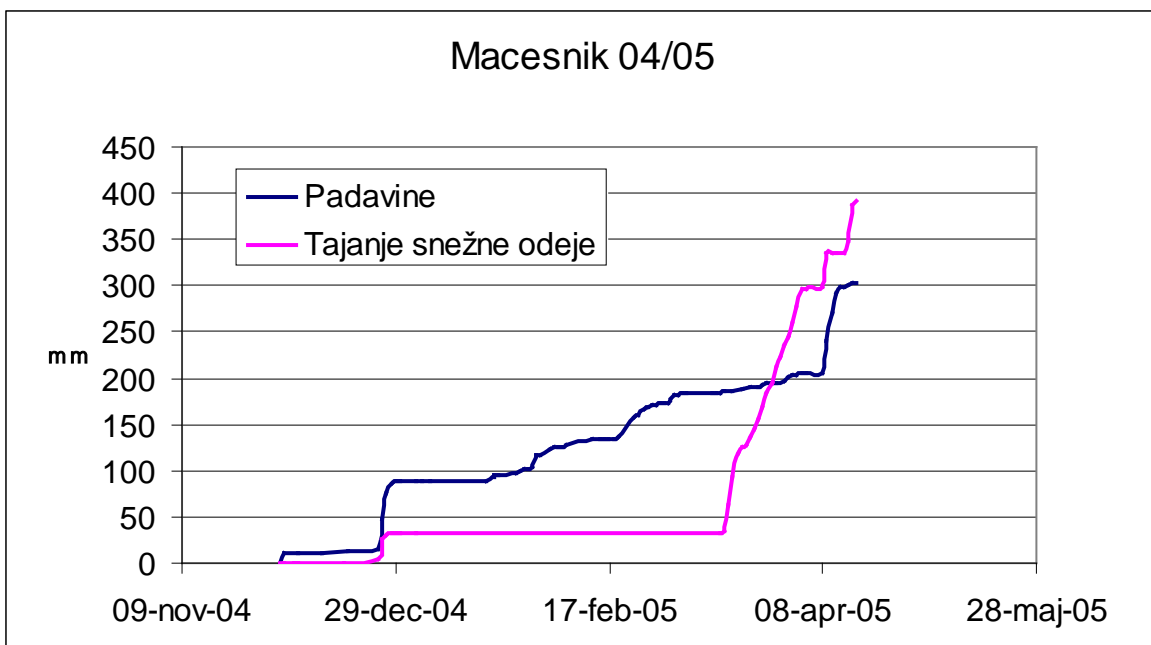
Podatke o 10 minutnih padavinah in odtoku zaradi tajanja snega sem seštela in dnevne vrednosti podala v Grafikonu 10: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Macesnik 04/05).



Grafikon 10: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Macesnik 04/05)

Graph 10: Daily values of precipitations and outflow (Macesnik 04/05)

Seštete dnevne vrednosti sem podala v Grafikonu 11: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Macesnik 04/05).



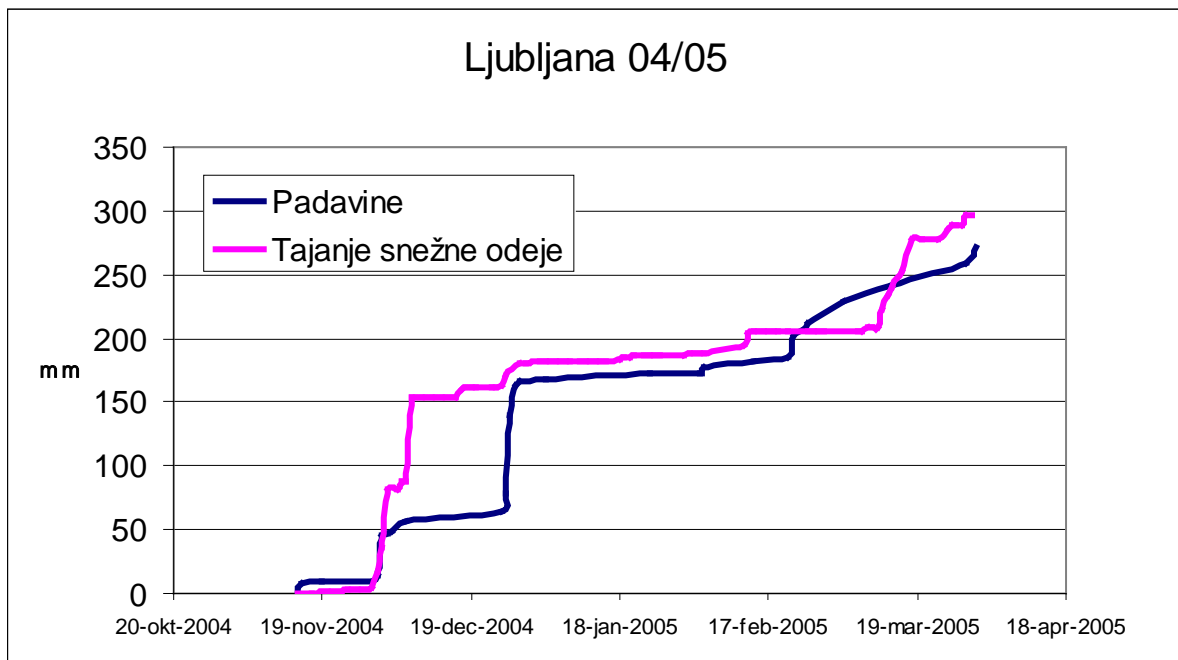
Grafikon 11: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Macesnik 04/05)

Graph 11: Sum of daily precipitations and outflow (Macesnik 04/05)

V grafikonu 11 se vidi da se je snežna odeja akumulirala do 16. marca 2005, nato pa se je začel odtok, ki je daleč presegel izmerjene padavine. Ob odčitavanju podatkov na terenu je bilo vidno da je voda vdrla v dežemer na tleh, tako da to preseganje pripišemo vdoru vode. Iz podatkov ne morem določiti trajanja snežne odeje.

5.1.1.5 Ljubljana 2004/2005

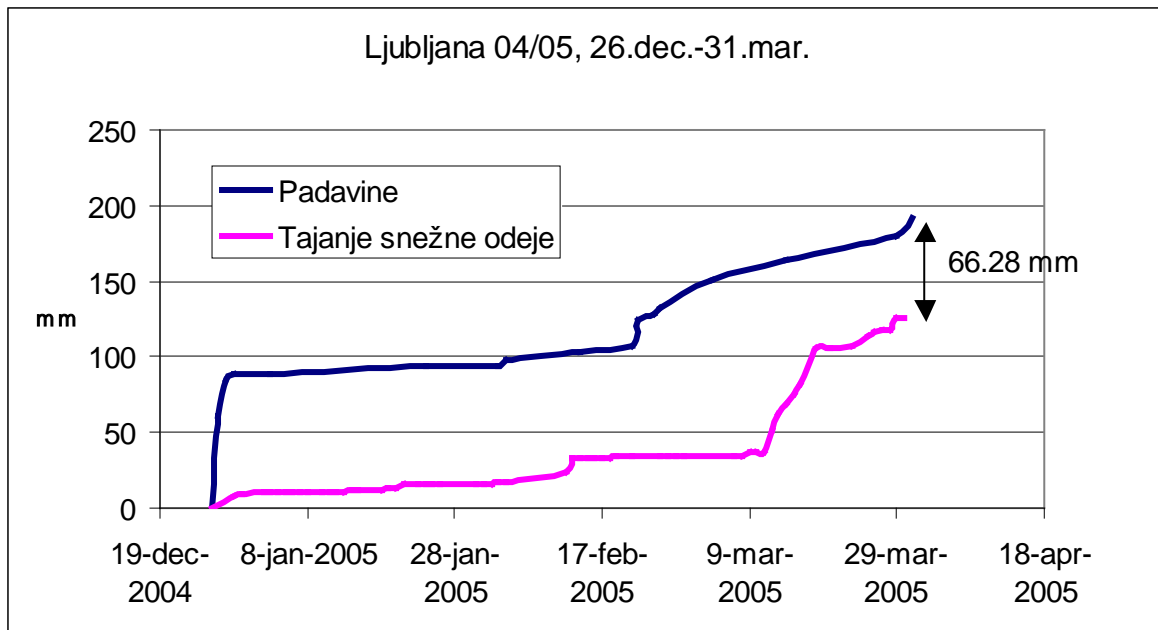
V Grafikonu 12: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Ljubljana 04/05) je prikazan vsotni graf dnevni vrednosti padavin in odtoka v tla.



Grafikon 12: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Ljubljana 04/05)

Graph 12: Sum of daily precipitations and outflow (Ljubljana 04/05)

Določila sem začetek obdobja akumulacije snežne odeje 26. december 2005. V Grafikonu 13: Vsotni graf 26.dec. - 31. mar. (Ljubljana 04/05) je prikazano obdobje akumulacije in ablacije snežne odeje.



Grafikon 13: Vsetni graf 26.dec. - 31. mar. (Ljubljana 04/05)

Graph 13: Sum graph 26.dec. - 31. mar. (Ljubljana 04/05)

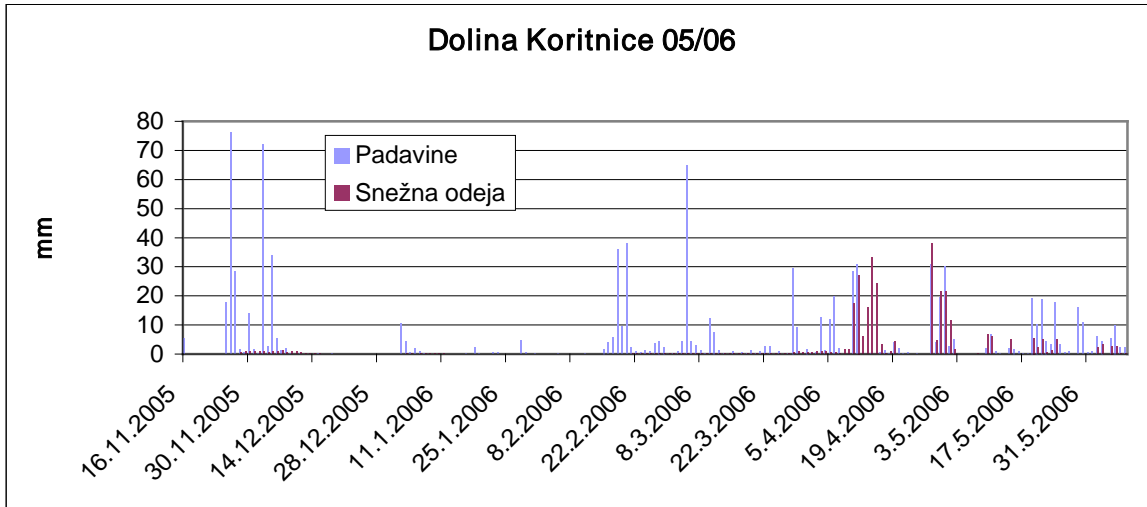
V obdobju 64 dni je prišlo do 66.28 mm izgub vode iz snežne odeje. Padavin je bilo 191.9 mm, odtoka v tla pa 125.62 mm. V tla je prišlo 65.5 % padavin.

5.1.2 Zimska sezona 2005/2006

Prikazani so rezultati meritev v dolini Koritnice, v Strmcu, v Sviščakah, na Snežniku in v Ljubljani.

5.1.1.1 Dolina Koritnice 2005/2006

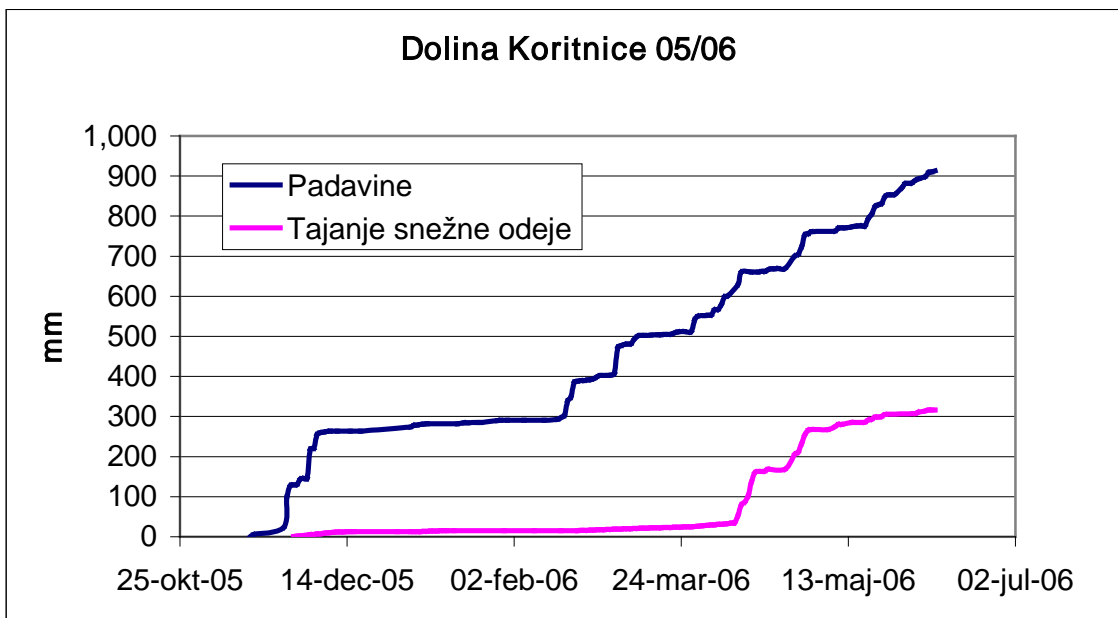
Dobila sem 10 - minutne podatke o padavinah in odtoku v tla zaradi tajanja snežne odeje. Seštela sem jih v dnevne vrednosti. Dnevne vrednosti so prikazane na Grafikonu 14: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Dolina Koritnice 05/06).



Grafikon 14: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Dolina Koritnice 05/06)

Graph 14: Daily values of precipitations and outflow (Dolina Koritnice 05/06)

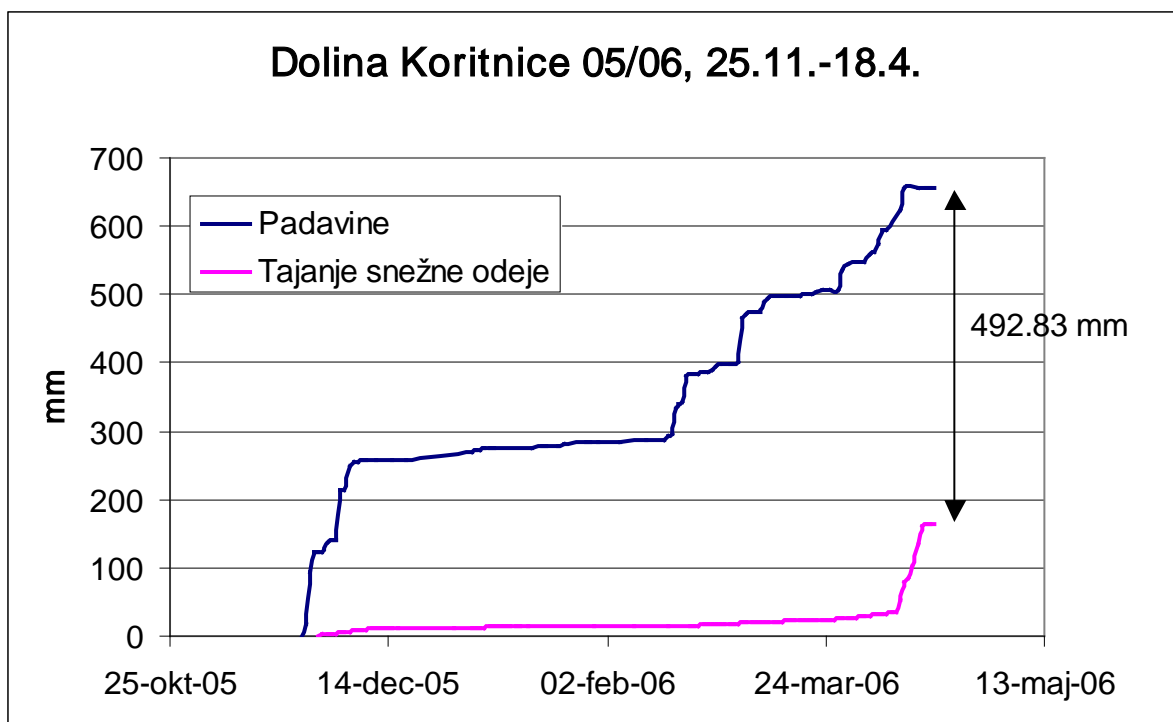
Nato sem seštela še dnevne količine padavin in jih podala v vsotnem grafu Grafikon 15: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Dolina Koritnice 05/06).



Grafikon 15: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Dolina Koritnice 05/06)

Graph 15: Sum of daily precipitations and outflow (Dolina Koritnice 05/06)

Iz grafov sem določila datum začetka akumulacije snežne odeje 25. novembra 2005 in konec tavanja 18. aprila 2006. To obdobje je prikazano na vsotnem grafu Grafikon 16: Vsotni graf 25.nov. - 18. apr. (Dolina Koritnice 05/06). Padavin je bilo 656.94 mm, odtoka v tla pa 164.11 mm. Izgub je torej 492.83 mm, v tla se je infiltriralo 25 % padavin.

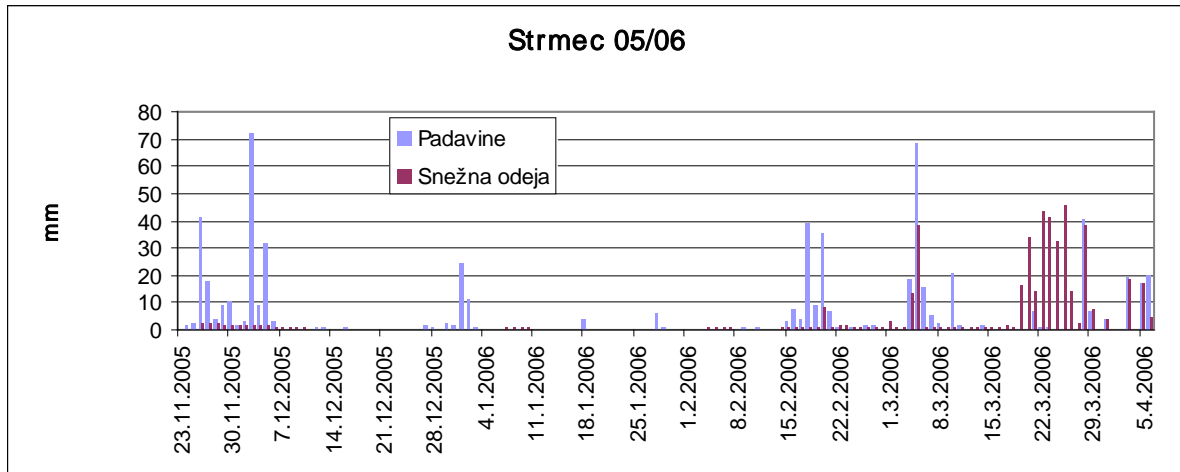


Grafikon 16: Vsotni graf 25.nov. - 18. apr. (Dolina Koritnice 05/06)

Graph 16: Sum graph 25.nov. - 18. apr. (Dolina Koritnice 05/06)

5.1.1.2 Strmec 2005/2006

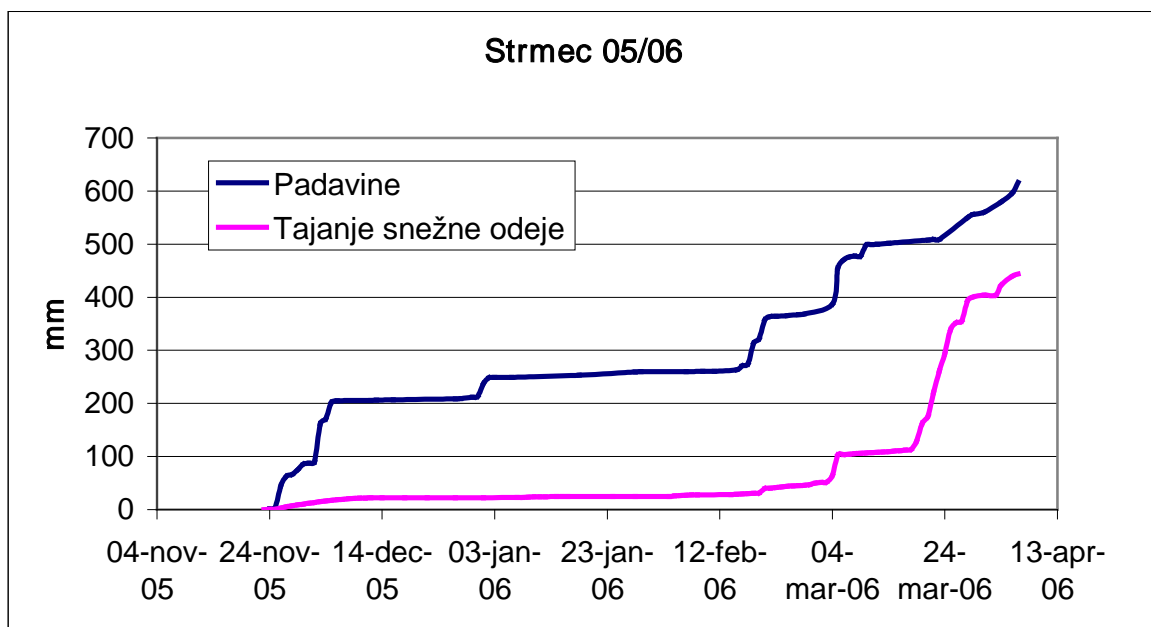
Seštela sem 10 - minutne vrednosti v dnevne vrednosti in jih prikazala na Grafikonu 17: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Strmec 05/06).



Grafikon 17: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Strmec 05/06)

Graph 17: Daily values of precipitations and outflow (Strmec 05/06)

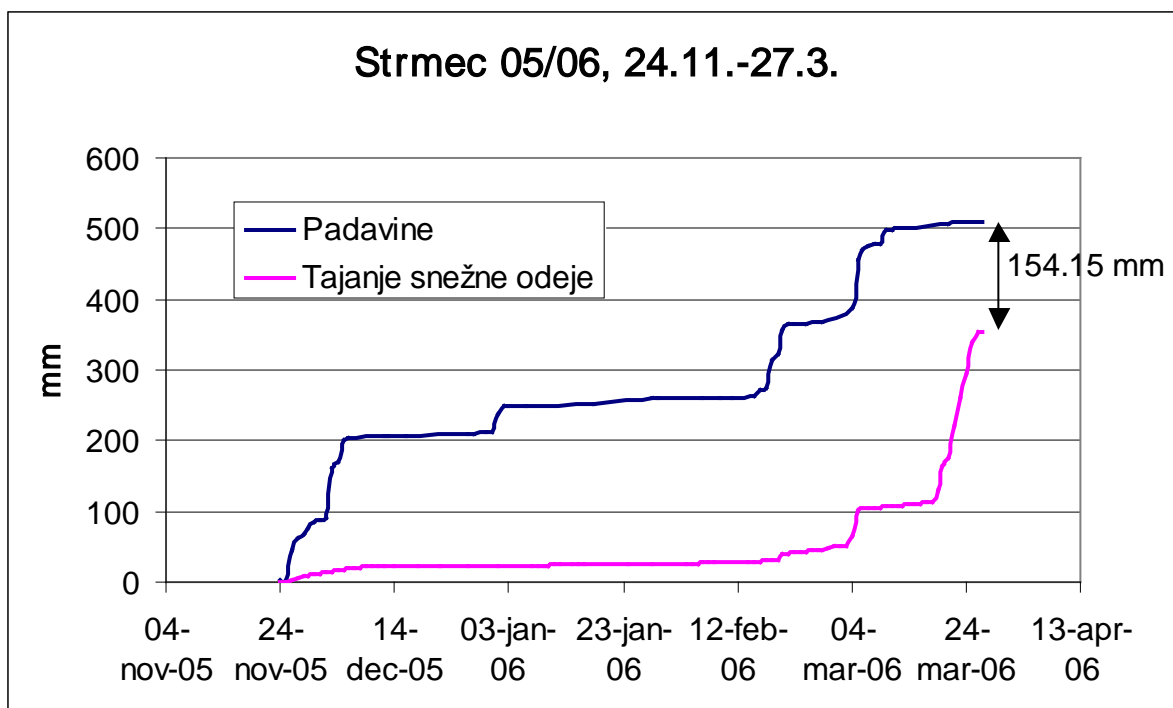
Seštela sem dnevne vrednosti v vsotni graf in ga prikazala na Grafikonu 18: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Strmec 05/06).



Grafikon 18: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Strmec 05/06)

Graph 18: Sum of daily precipitations and outflow (Strmec 05/06)

Določila sem datum začetka akumulacije snežne odeje 24. november 2005 in datum konca tajanja snežne odeje 27. marca 2006. To sem prikazala na vsotnem grafu Grafikon 19: Vsotni graf 24.nov. - 27. mar. (Strmec 05/06). Padavin je bilo 509 mm, odtoka v tla pa 354.85 mm. Izgub je torej 154.15 mm, v tla se je infiltriralo 69.7 % padavin.

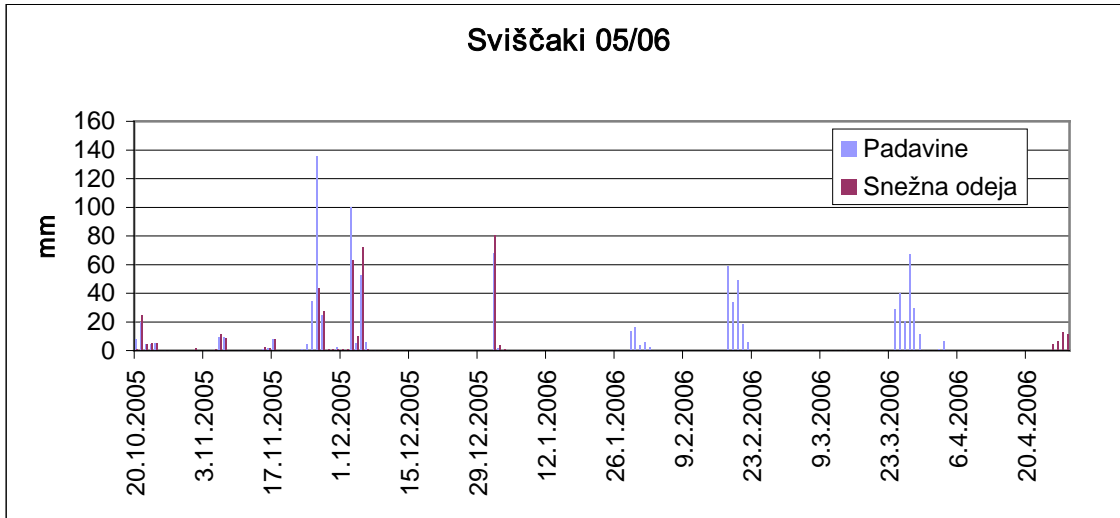


Grafikon 19: Vsotni graf 24.nov. - 27. mar. (Strmec 05/06)

Graph 19: Sum graph 24.nov. - 27. mar. (Strmec 05/06)

5.1.1.3 Sviščaki 2005/2006

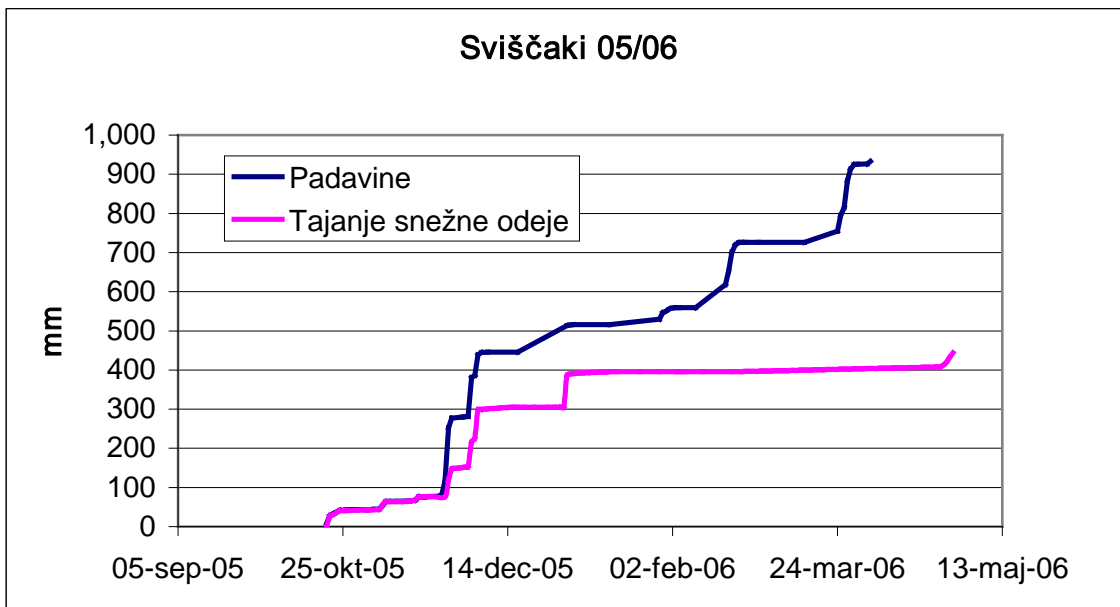
Dnevne količine padavin in odtoka v tla so prikazane v Grafikonu 20: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Sviščaki 05/06).



Grafikon 20: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Sviščaki 05/06)

Graph 20: Daily values of precipitations and outflow (Sviščaki 05/06)

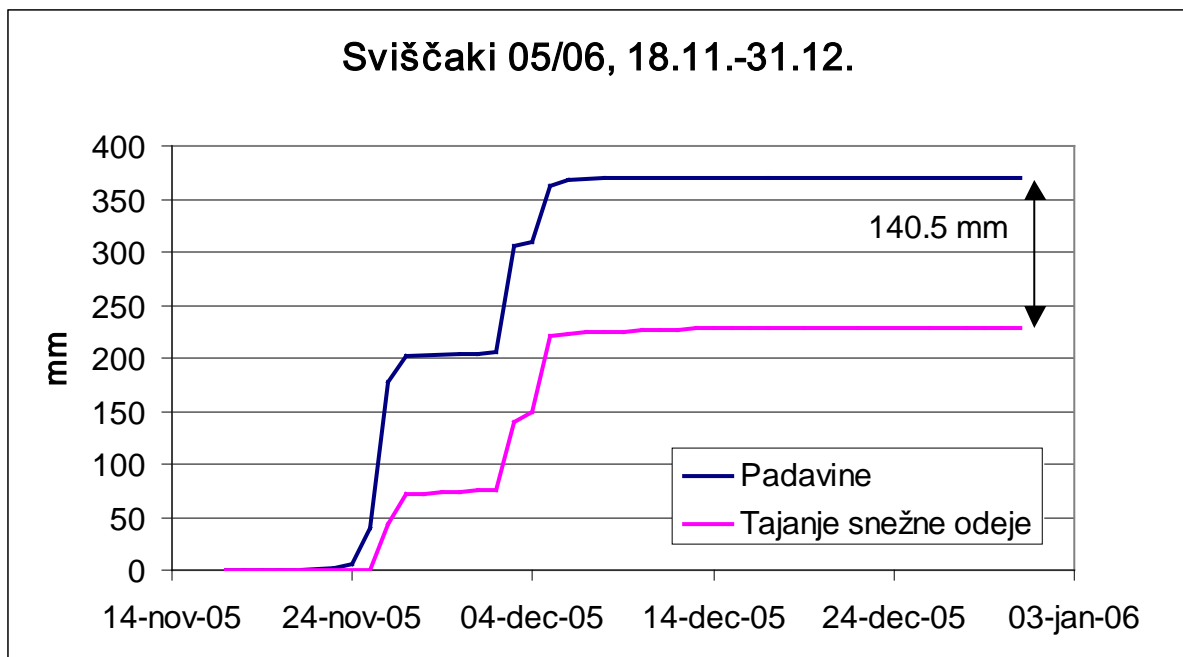
Vsotni graf za celotno zimsko sezono je prikazan na Grafikonu 21: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Sviščaki 05/06).



Grafikon 21: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Sviščaki 05/06)

Graph 21: Sum of daily precipitations and outflow (Sviščaki 05/06)

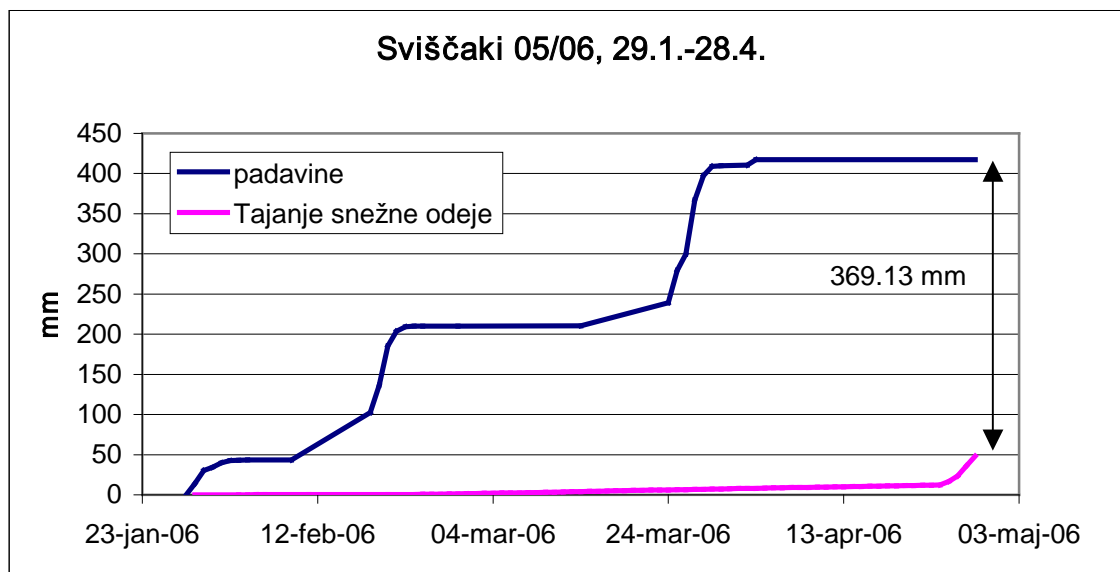
Določila sem dve obdobji akumulacije in ablacije snežne odeje. Prvo obdobje je od 18. novembra 2005 do 31. decembra 2006, drugo pa od 29. januarja 2006 do 28. aprila 2006. Obdobji sta prikazani na grafih Grafikon 22: Vsotni graf 18.nov. - 31. dec. (Sviščaki 05/06) in Grafikon 23: Vsotni graf 29.jan. - 28. apr. (Sviščaki 05/06).



Grafikon 22: Vsotni graf 18.nov. - 31. dec. (Sviščaki 05/06)

Graph 22: Sum graph 18.nov. - 31. dec. (Sviščaki 05/06)

V prvem obdobju je bilo 369.46 mm padavin, odtoka pa 228.96 mm. Izgub je bilo 140.5 mm. V tla je šlo 62 % padavin.



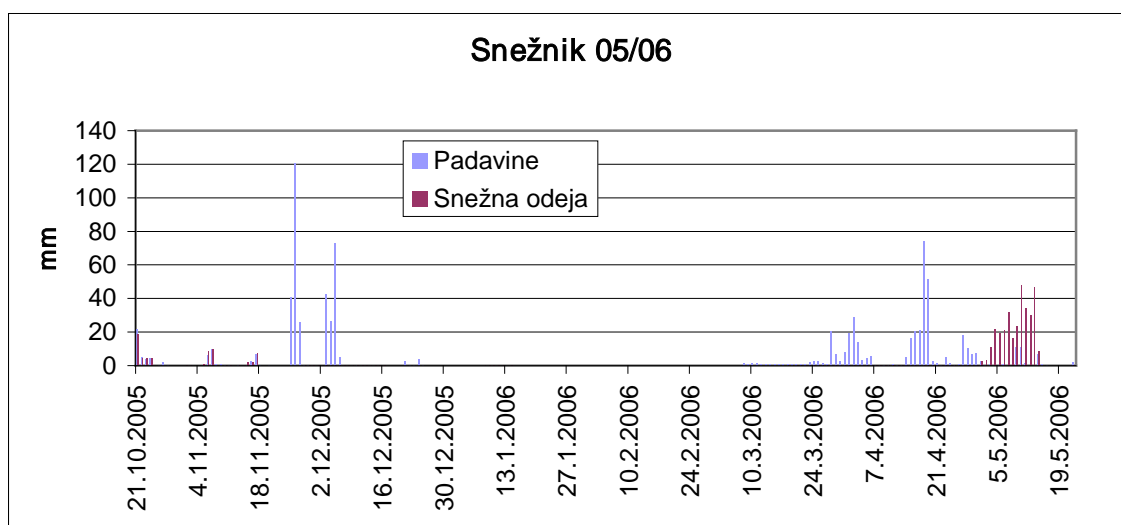
Grafikon 23: Vsotni graf 29.jan. - 28. apr. (Sviščaki 05/06)

Graph 23: Sum graph 29.jan. - 28. apr. (Sviščaki 05/06)

V drugem obdobju je padlo 417.32 mm padavin, v tla je šlo 48.19 mm, torej le 11.5 % padavin. Izgub je bilo 369.13 mm.

5.1.1.4 Snežnik 2005/2006

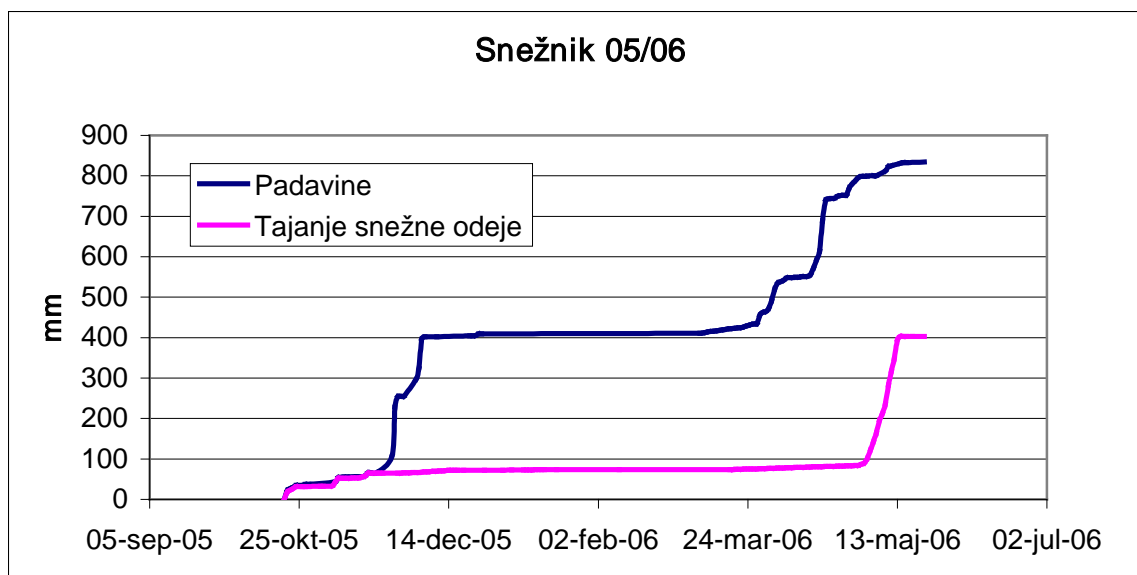
Dnevne količine padavin in odtoka v tla so prikazane v Grafikonu 24: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Snežnik 05/06).



Grafikon 24: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Snežnik 05/06)

Graph 24: Daily values of precipitations and outflow (Snežnik 05/06)

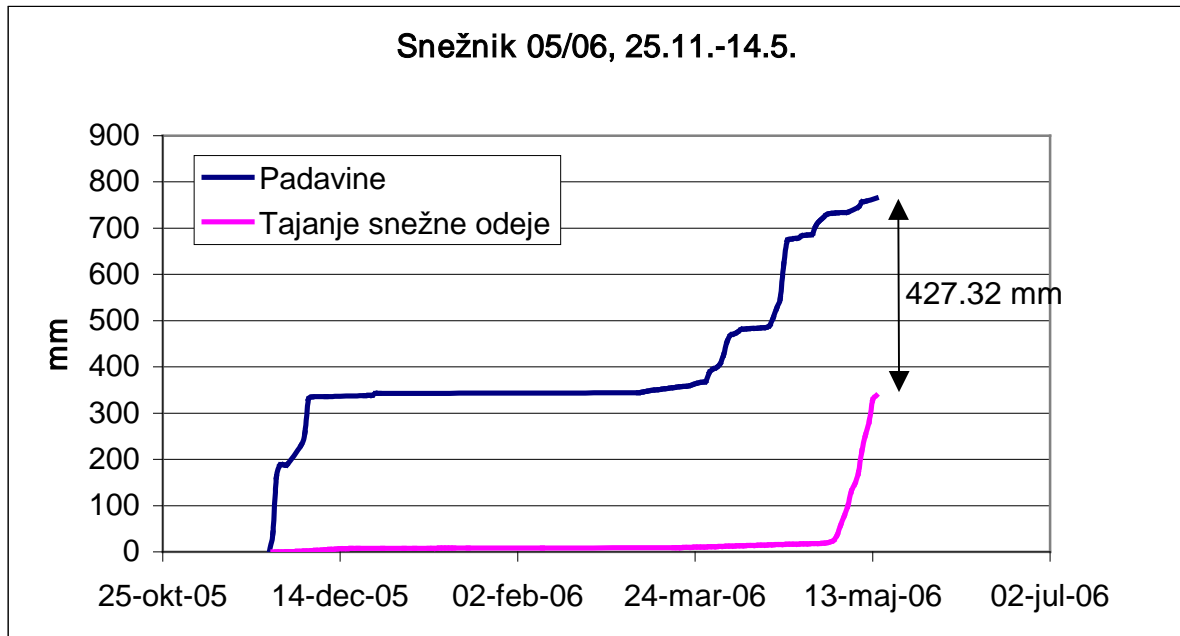
Vsotni graf je prikazan na Grafikonu 25: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Snežnik 05/06).



Grafikon 25: Vsotni graf dnevni padavin in odtoka (Snežnik 05/06)

Graph 25: Sum of daily precipitations and outflow (Snežnik 05/06)

Določila sem začetek akumulacije snežne odeje 25. novembra 2005 in konec tajanja 14. maja 2006. To obdobje sem prikazala na Grafikonu 26: Vsotni graf 25.nov. - 14. maj (Snežnik 05/06).



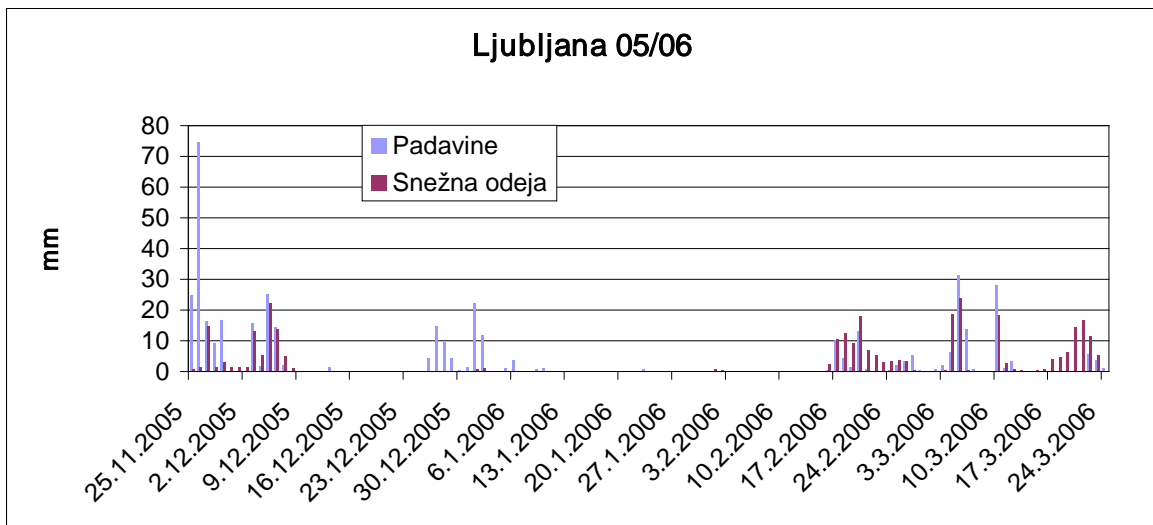
Grafikon 26: Vsotni graf 25.nov. - 14. maj (Snežnik 05/06)

Graph 26: Sum graph 25.nov. - 14. maj (Snežnik 05/06)

V tem obdobju smo izmerili 764.91 mm padavin in 337.59 mm odtoka v tla. V tla je odteklo 44.1 % padavin, izgub je 427.32 mm.

5.1.1.5 Ljubljana 2005/2006

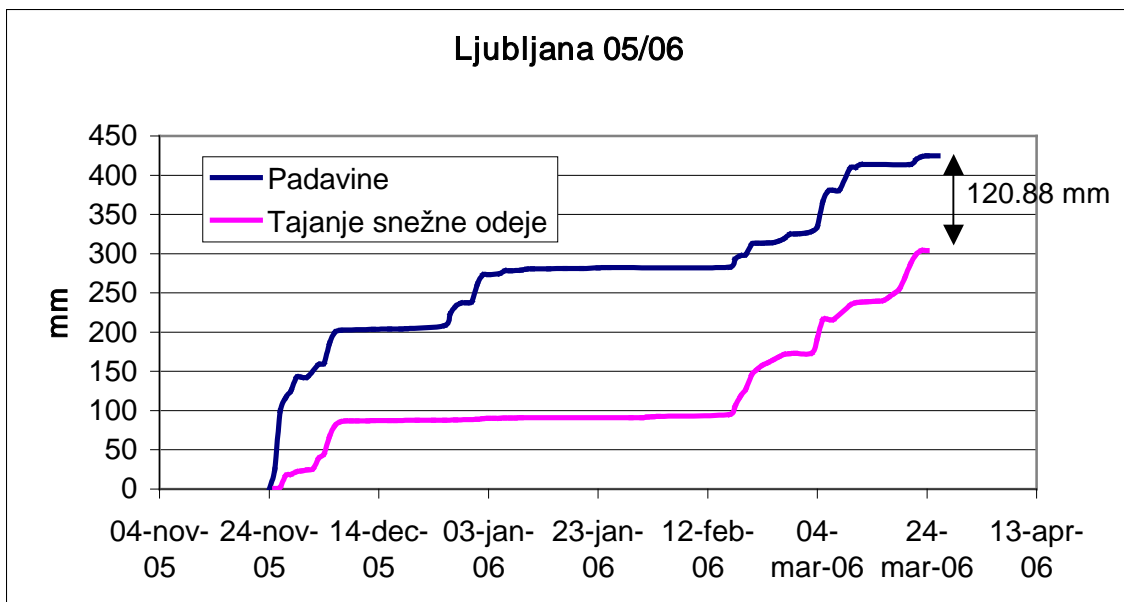
Dnevne količine padavin in odtoka v tla sem prikazala v Grafikonu 27: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Ljubljana 05/06).



Grafikon 27: Dnevne vrednosti padavin in odtoka (Ljubljana 05/06)

Graph 27: Daily values of precipitations and outflow (Ljubljana 05/06)

Seštete dnevne vrednosti sem prikazala na Grafikonu 28: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Ljubljana 05/06).

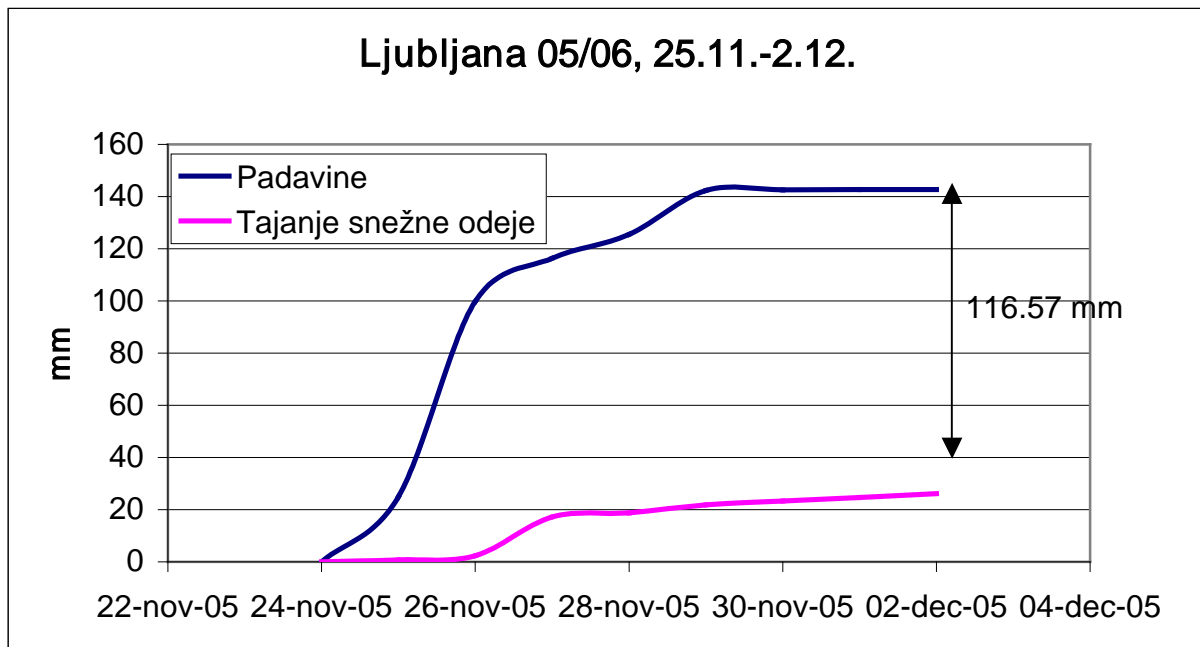


Grafikon 28: Vsotni graf dnevnih padavin in odtoka (Ljubljana 05/06)

Graph 28: Sum of daily precipitations and outflow (Ljubljana 05/06)

Najprej sem določila procent infiltracije v tla za celotno obdobje. Torej - v obdobju od 25. novembra 2005 do 24. marca 2006 je bilo 424.87 mm padavin in 304 mm odtoka v tla, torej 71.5 % odtok v tla. Izgub je bilo 120.88 mm.

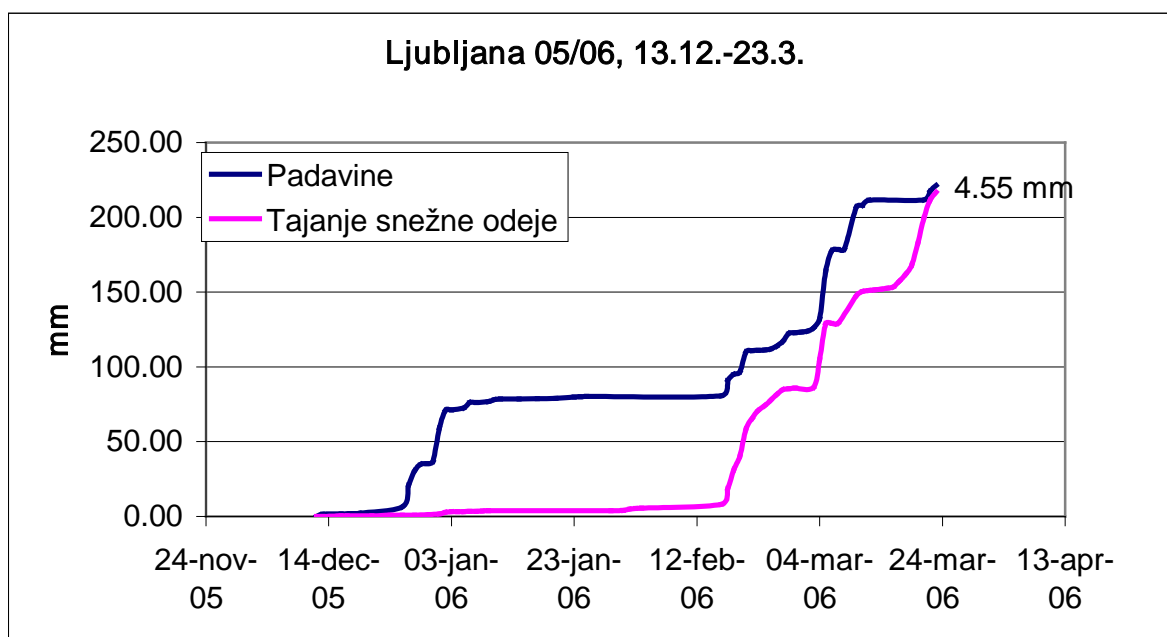
Nato sem določila dve obdobji akumulacije in ablacije snežne odeje. Prvo je od 25. novembra 2005 do 2. decembra 2005, drugo od 13. decembra 2005 do 23. marca 2006. Obdobji sta prikazani na grafih Grafikon 29: Vsotni graf 25.nov. - 2. dec. (Ljubljana 05/06) in Grafikon 30: Vsotni graf 13.dec. - 23. mar. (Ljubljana 05/06).



Grafikon 29: Vsotni graf 25.nov. - 2. dec. (Ljubljana 05/06)

Graph 29: Sum graph 25.nov. - 2. dec. (Ljubljana 05/06)

V prvem obdobju je bilo 142.65 mm padavin in 26.08 mm odtoka v tla, torej 18.3 %. Izgub je bilo 116.57 mm.



Grafikon 30: Vsotni graf 13.dec. - 23. mar. (Ljubljana 05/06)

Graph 30: Sum graph 13.dec. - 23. mar. (Ljubljana 05/06)

V drugem obdobju je bilo 221.42 mm padavin in 216.87 mm odtoka v tla. Po grafu sodeč se je v tla infiltriralo kar 97.9 % padavin. Izgub je bilo 4.55 mm.

5.2 Izračun potencialne evapotranspiracije po Thornthwaitu za zimsko sezono 2004/2005

V vseh zgoraj opisanih primerih (razen pri Macesniku, kjer je prišlo do vdora vode v pluviometer v tleh) je viden primanjkljaj vode na krivulji odtoka v tla. Ta primanjkljaj sem pripisala izhlapevanju vode v zrak s površine snežne odeje, odnašanju snežne odeje zaradi vetra, odtoka staljene vode po morebitnih ledenih ploskvah v notranjosti snežne odeje itd.

Thornthwaitova metoda se uporablja za izračun izhlapevanja vode z vodne površine, a je dovolj točna tudi za izračun izhlapevanja snega s površine snežne odeje. Za izračun sem potrebovala povprečne mesečne temperature zraka T_m v °C za leto 2005. Iz tabele sem za

vsako temperaturo odčitala kalorični mesečni indeks i_m . Mesečne kalorične indekse sem seštel v letni kalorični indeks I. Nato sem uporabila Thornthwaitov nomogram za grafično določitev normirane potencialne evapotranspiracije PET' v mm za vsak mesec posebej. Potencialno evapotranspiracijo PET v mm sem izračunala s pomnožitvijo PET' s korekcijskim faktorjem k , ki je odvisen od geografske širine in meseca, za katerega računamo PET . Nato sem le še seštel PET za mesece, v katerih se je snežna odeja akumulirala in tajala.

Thornthwaitova metoda služi za nadaljni izračun dejanske evapotranspiracije, a za naš primer ta izračun ni potreben, saj se potencialna in dejanska evapotranspiracija razlikujeta le v poletnih mesecih.

Z izračunom potencialne evapotranspiracije (PET) po Thornthwaitovi metodi sem izračunala kolikšen delež snežnih padavin izhlapi s površine snežne odeje v zrak. PET sem izračunala s pomočjo podatkov o povprečnih mesečnih temperaturah v letu 2005 za kraja Rateče in Ljubljana. PET za Rateče sem upoštevala pri meritvah v dolini Koritnice in Strmcu za zimsko sezono 2004/2005. Tudi za Ljubljano sem primerjala le za sezono 2004/2005. Zimske sezone 2005/2006 nisem mogla primerjati z PET , saj bi morala izračunati PET za celotno leto 2006 in bi potrebovala podatke o temperaturah za celotno leto 2006.

V izračunu nisem upoštevala decembra 2004, saj so bile povprečne temperature v Ratečah negativne (-3°C) in je bila PET ničelna. V Ljubljani je bila povprečna mesečna temperatura sicer $1,5^{\circ}\text{C}$, a sem snežno odejo opazovala šele od 26. decembra in lahko PET v teh petih dnevih zanemarim.

Rezultati izračunov so prikazani v naslednjih poglavjih.

5.2.1 Dolina Koritnice 2004/2005

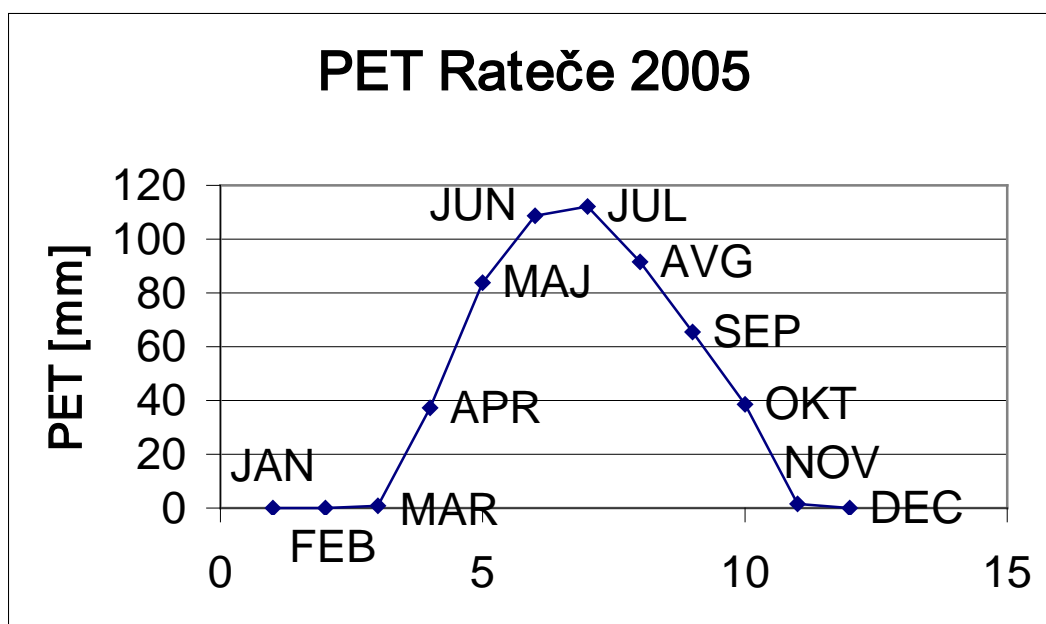
Iz ARSO-vih biltenov sem dobila podatke o povprečnih mesečnih temperaturah zraka za kraj Rateče na nadmorski višini 870 m in točno lokacijo N $46^{\circ}29'43''$ E $13^{\circ}43'05''$. V Preglednici

2: Izračun PET (Rateče - Koritnica 2005) in Grafikonu 31: Izračun PET (Rateče 2005) je prikazan izračun potencialne evapotranspiracije.

Preglednica 2: Izračun PET (Rateče - Koritnica 2005)

Table 2: Calculation of PET (Rateče - Koritnica 2005)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
T_m	-5.6	-4.8	0.4	5.9	12.5	16	16.4	14.4	12.1	7.4	1	-5.7	
i_m	0	0	0.02	1.29	4	5.82	6.04	4.96	3.81	1.81	0.07	0	27.82
PET'	0	0	0.8	33	65	83	85	75	63	41	2	0	
k	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74	
PET	0	0	0.816	37.29	83.85	108.7	112.2	91.5	65.52	38.54	1.58	0	540



Grafikon 31: Izračun PET (Rateče 2005)

Graph 31: Calculation of PET (Rateče 2005)

Zanimala me je PET za mesece januar, februar in marec. Vsota le-teh je 0.816 mm. Vidim lahko torej da v teh zimskih mesecih izhlapevanje s površine snežne odeje prispeva le 2.4 % k primanjkljaju. Ostale izgube pripišem vetru in odtoku staljenega snega po vmesnih zaledenelih površinah v notranjosti snežne odeje.

5.2.2 Strmec 2004/2005

Uporabila sem isti izračun kot za dolino Koritnice, torej izračun PET v kraju Rateče. Za razliko od doline Koritnice sem predvidevala tajanje snežne odeje do konca aprila, zato sem upoštevala tudi PET za mesec april. Izračun je prikazan v Preglednici 3: Izračun PET (Rateče - Strmec 2005)

Preglednica 3: Izračun PET (Rateče - Strmec 2005)

Table 3: Calculation of PET (Rateče - Strmec 2005)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
T_m	-5.6	-4.8	0.4	5.9	12.5	16	16.4	14.4	12.1	7.4	1	-5.7	
i_m	0	0	0.02	1.29	4	5.82	6.04	4.96	3.81	1.81	0.07	0	27.82
PET'	0	0	0.8	33	65	83	85	75	63	41	2	0	
k	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74	
PET	0	0	0.816	37.29	83.85	108.7	112.2	91.5	65.52	38.54	1.58	0	540

Potencialna evapotranspiracija za mesece od januarja do aprila znaša 38.11 mm. Predstavlja 47.5 % vseh izgub v kraju Strmec.

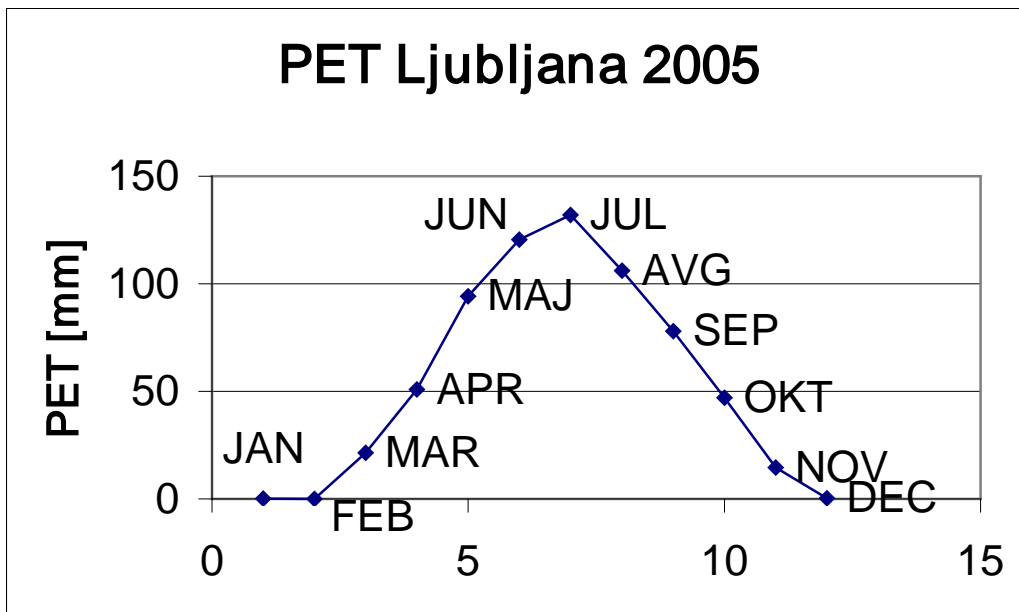
5.2.3 Ljubljana 2004/2005

Za izračun potencialne evapotranspiracije sem uporabila povprečne mesečne temperature zraka, ki jih je ARSO izmeril v Ljubljani. Izračun PET je prikazan v Preglednici 4: Izračun PET (Ljubljana 2005) in Grafikonu 32: Izračun PET (Ljubljana 2005).

Preglednica 4: Izračun PET (Ljubljana 2005)

Table 4: Calculation of PET (Ljubljana 2005)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
T_m	0.1	-0.3	5.7	10.7	16.3	19.5	21.1	18.4	16.4	11.8	5	0.2	
i_m	0.2	0	1.22	3.16	5.98	7.85	8.85	7.19	6.04	3.67	1	0.01	45.17
PET'	0.2	0	21	45	73	92	100	87	75	50	18.4	0.4	
k	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74	
PET	0.158	0	21.42	50.85	94.17	120.5	132	106.1	78	47	14.54	0.296	665.1



Grafikon 32: Izračun PET (Ljubljana 2005)

Graph 32: Calculation of PET (Ljubljana 2005)

Potencialna evapotranspiracija za obdobje od januarja do marca znaša 21.58 mm. To predstavlja 32.5 % vseh izgub.

5.3 Evaporacija po Penman-Monteithu

Izračun evaporacije s površine snežne odeje po metodi Penman-Monteith je dosti bolj natančen kot izračun po metodi Thornthwait. Penman-Monteith-ova metoda je fizikalno pravilno zasnovana in v izračunu upošteva srednje dnevne vrednosti temperatur zraka, srednji dnevni parni pritisk, srednjo hitrost vetra, globalno sevanje sonca in relativno število ur insolacije.

Z Agencije Republike Slovenije za Okolje sem dobila izračunane dnevne vrednosti evapotranspiracije po metodi Penman-Monteith za postaji v Ljubljani in Ratečah za obe zimski sezoni. Vrednosti evapotranspiracije v Ljubljani sem primerjala s podatki o padavinah in odtoku v tla za Ljubljano 2004/2005 in 2005/2006. Vrednosti evapotranspiracije v Ratečah

pa sem primerjala s podatki za Dolino Koritnice in Strmec, oba za zimski sezoni 2004/2005 in 2005/2006.

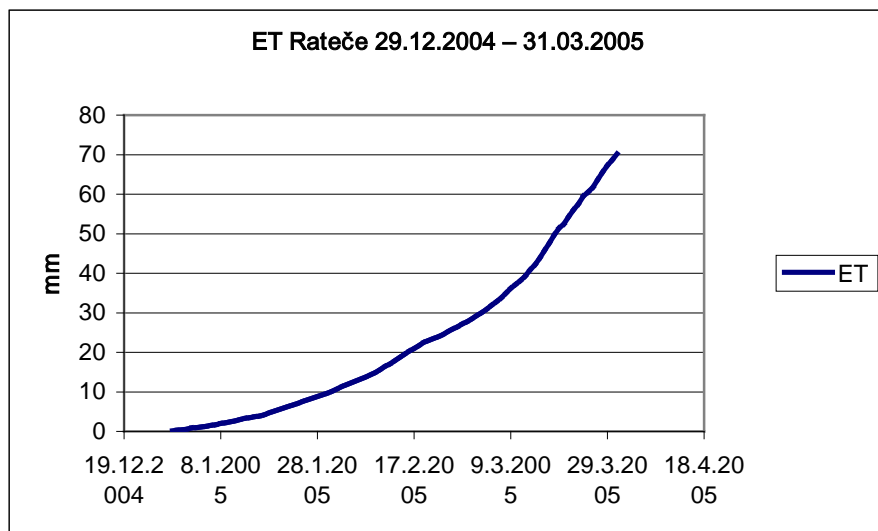
V naslednjih poglavjih so prikazane vrednosti evapotranspiracije (ET) in primerjave z rezultati meritev pluviometrov.

5.3.1 Zimska sezona 2004/2005

Obravnavala sem podatke iz Doline Koritnice, Strmca in Ljubljane v zimski sezoni 2004/2005.

5.3.1.1 Rateče 29.12.2004 – 31.03.2005

Opazovala sem obdobje od 29. decembra 2004 do 31. marca 2005. Vsotni graf evapotranspiracije za kraj Rateče v tem obdobju je prikazan na Grafikonu 33: ET (Rateče 29.12.2004 – 31.03.2005).



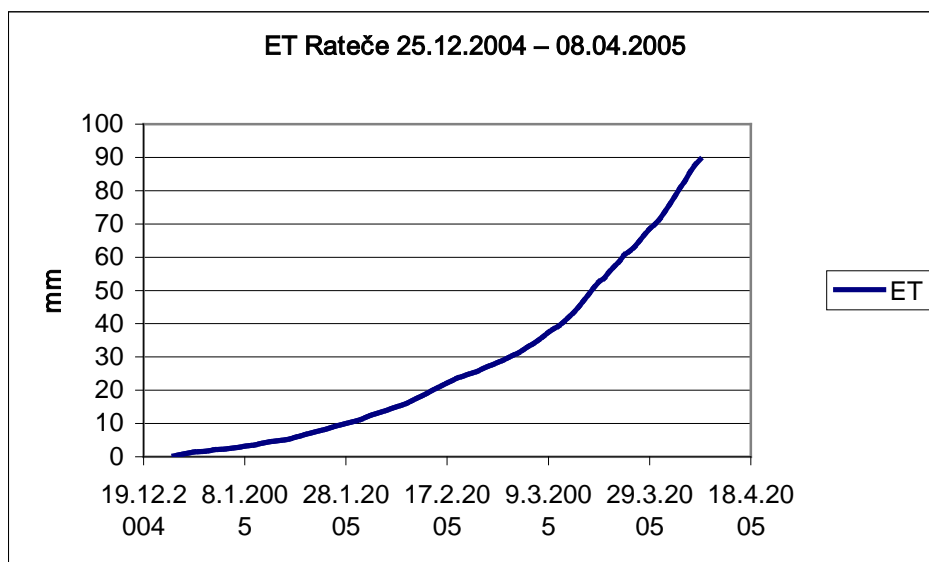
Grafikon 33: ET (Rateče 29.12.2004 – 31.03.2005)

Graph 33: ET (Rateče 29.12.2004 – 31.03.2005)

V obravnavanem obdobju je s površine snežne odeje izhlapelo 70.2 mm vode. Padavin je bilo 85.52 mm, odtoka v tla pa 51.18 mm. Seštela sem količino odtoka v tla v dolini Koritnice in količino izhlapele vode v Ratečah. Seštevek znaša 121.38 mm, kar krepko presega količino padavin.

5.3.1.2 Rateče 25.12.2004 – 08.04.2005

Opazovala sem obdobje od 25. decembra 2004 do 08. aprila 2005. Vsotni graf evapotranspiracije za kraj Rateče v tem obdobju je prikazan na Grafikonu 34: ET (Rateče 25.12.2004 – 08.04.2005)



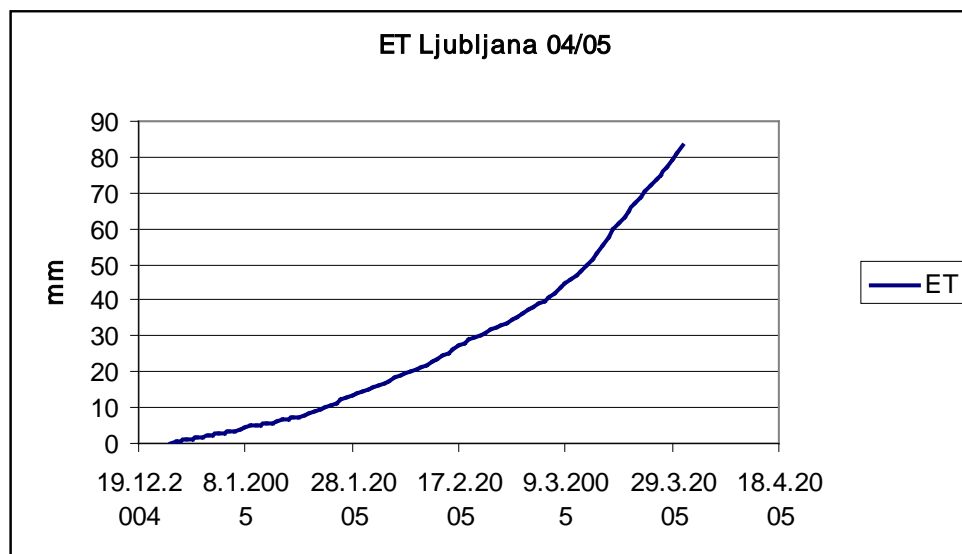
Grafikon 34: ET (Rateče 25.12.2004 – 08.04.2005)

Graph 34: ET (Rateče 25.12.2004 – 08.04.2005)

V obravnavanem obdobju je s površine snežne odeje izhlapelo 89.4 mm vode. Padavin je bilo 200.8 mm, odtoka v tla pa 128.01 mm. Seštela sem količino odtoka v tla v Strmcu in količino izhlapele vode v Ratečah. Seštevek znaša 217.41 mm, kar zopet presega količino padavin v tem obdobju.

5.3.1.3 Ljubljana 2004/2005

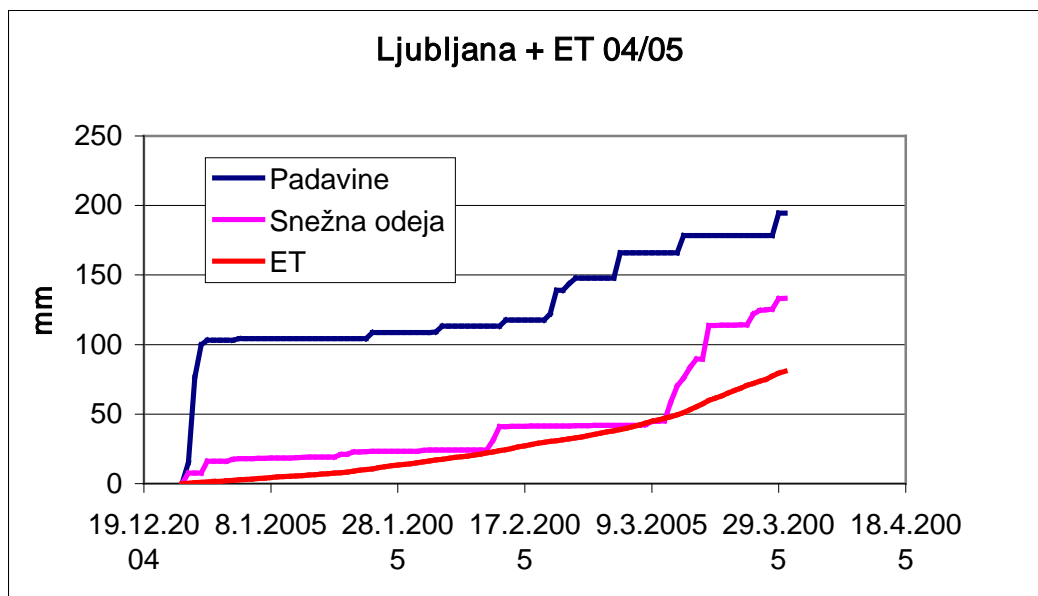
Opazovala sem obdobje od 25. decembra 2004 do 31. marca 2005. Vsotni graf evapotranspiracije za kraj Ljubljana v tem obdobju je prikazan na Grafikonu 35: ET (Ljubljana 2004/2005)



Grafikon 35: ET (Ljubljana 2004/2005)

Graph 35: ET (Ljubljana 2004/2005)

V obravnavanem obdobju je s površine snežne odeje izhlapelo 83.1 mm vode. Padavin je bilo 207 mm, odtoka v tla pa 133.24 mm. Seštela sem količino odtoka v tla in količino izhlapele vode. Seštevek znaša 214.14 mm, kar presega količino padavin v tem obdobju. Rezultat sem prikazala v Grafikonu 36: Ljubljana + ET 2004/2005.



Grafikon 36: Ljubljana + ET 2004/2005

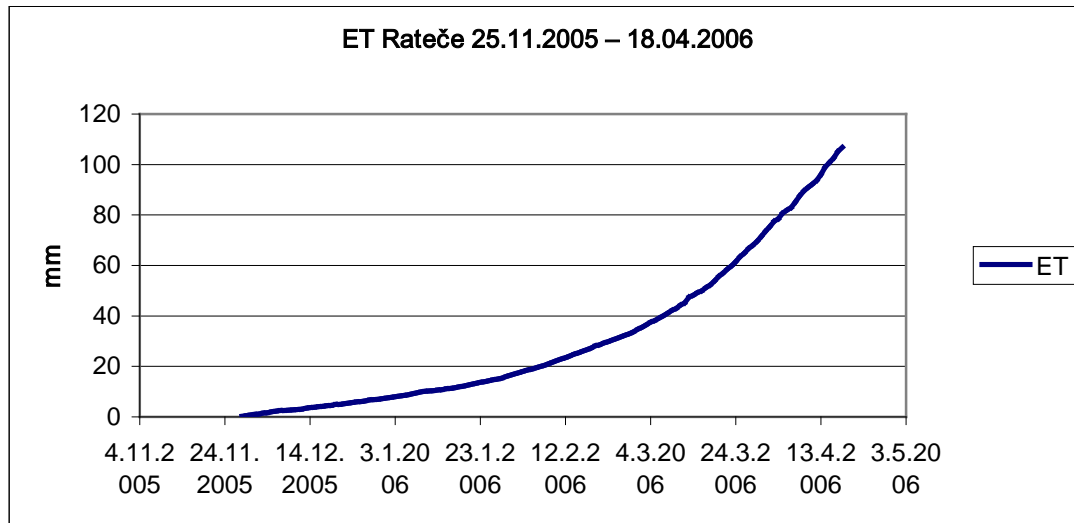
Graph 36: Ljubljana + ET 2004/2005

5.3.2 Zimska sezona 2005/2006

Obravnavala sem podatke iz Doline Koritnice, Strmca in Ljubljane v zimski sezoni 2004/2005.

5.3.2.1 Rateče 25.11.2005 – 18.04.2006

Opazovala sem obdobje od 25. novembra 2005 do 18. aprila 2006. Vsotni graf evapotranspiracije za kraj Rateče v tem obdobju je prikazan na Grafikonu 37: ET (Rateče 25.11.2005 – 18.04.2006)



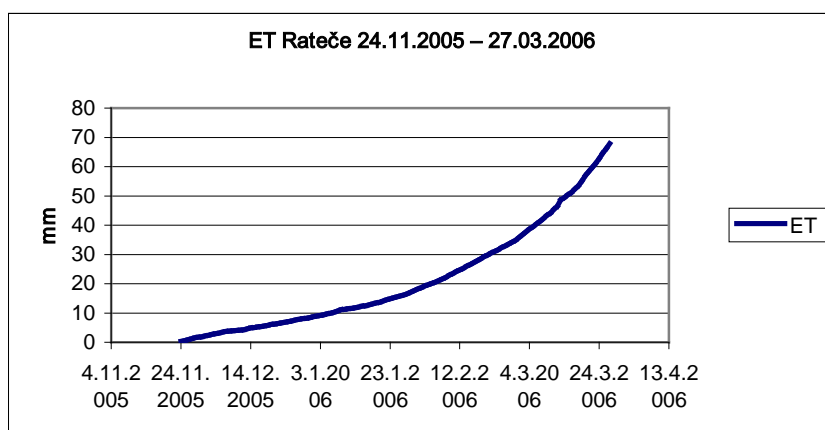
Grafikon 37: ET (Rateče 25.11.2005 – 18.04.2006)

Graph 37: ET (Rateče 25.11.2005 – 18.04.2006)

V obravnavanem obdobju je s površine snežne odeje izhlapelo 106.8 mm vode. Padavin je bilo 656.9 mm, odtoka v tla pa 164.1 mm. Seštela sem količino odtoka v tla v dolini Koritnice in količino izhlapele vode v Ratečah. Seštevek znaša 270.9 mm, kar daleč ne dosega količine padavin v tem obdobju.

5.3.2.2 Rateče 24.11.2005 – 27.03.2006

Opazovala sem obdobje od 24. novembra 2005 do 27. marca 2006. Vsotni graf evapotranspiracije za kraj Rateče v tem obdobju je prikazan na Grafikonu 38: ET (Rateče 24.11.2005 – 27.03.2006)

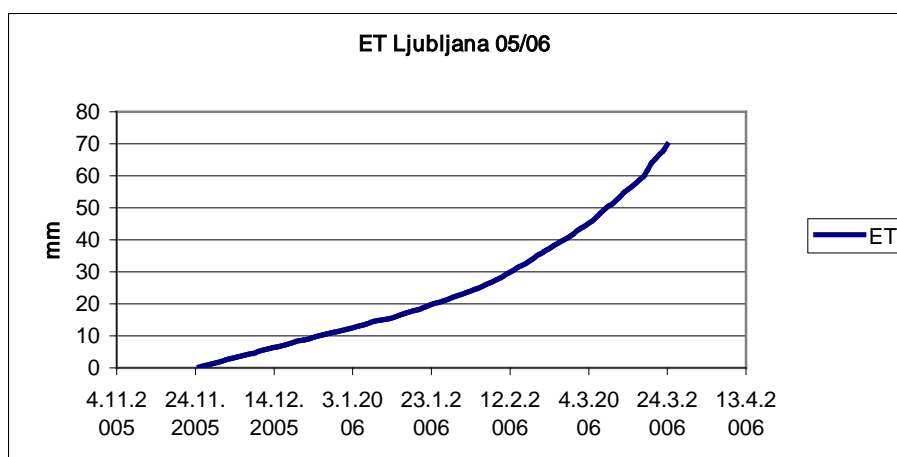


Grafikon 38: ET (Rateče 24.11.2005 – 27.03.2006)

Graph 38: ET (Rateče 24.11.2005 – 27.03.2006)

V obravnavanem obdobju je s površine snežne odeje izhlapelo 67.9 mm vode. Padavin je bilo 509 mm, odtoka v tla pa 354.8 mm. Seštela sem količino odtoka v tla v Strmcu in količino izhlapele vode v Ratečah. Seštevek znaša 422.7 mm, kar ne dosega količine padavin v tem obdobju.

5.3.2.3 Ljubljana 2005/2006

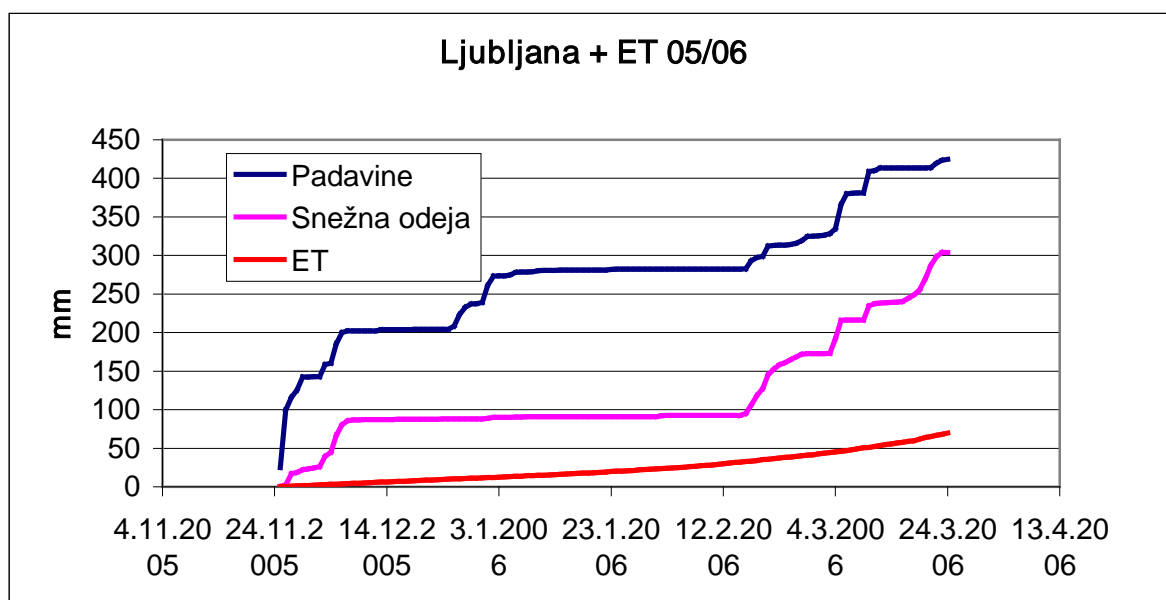


Grafikon 39: ET (Ljubljana 2005/2006)

Graph 39: ET (Ljubljana 2005/2006)

Opazovala sem obdobje od 25. novembra 2005 do 24. marca 2006. Vsotni graf evapotranspiracije za kraj Ljubljana v tem obdobju je prikazan na Grafikonu 39: ET (Ljubljana 2005/2006).

V obravnavanem obdobju je s površine snežne odeje izhlapelo 69.8 mm vode. Padavin je bilo 424.8 mm, odtoka v tla pa 304 mm. Seštela sem količino odtoka v tla in količino izhlapele vode. Seštevek znaša 373.8 mm, kar ne dosega količine padavin v tem obdobju. Rezultat sem prikazala v Grafikonu 40: Ljubljana + ET 2005/2006.



Grafikon 40: Ljubljana + ET 2005/2006

Graph 40: Ljubljana + ET 2005/2006

5.4 Kontrola volumna izmerjenih padavin za zimsko sezono 2004/2005

Snegomeri v dolini Koritnice, na plazu Slano Blato in v Macesniku so imeli v zimski sezoni 2004/2005 na iztok preko plastične cevi pritrjeno plastično posodo. V tej posodi so se zbirale vse ujetе padavine. Ko smo odčitali digitalne podatke, smo stehali tudi posodo z vodo. Težo posode smo odšteli in dobili težo ujetih padavin. Iz digitalnih podatkov smo sešteli volumne

celotnih padavin in jih preračunali glede na notranji premer posode, ki znaša 203.44 mm. Volumen smo preračunali v težo, upoštevali smo da ima 1 l vode težo 1 kg. Primerjali smo izmerjeni teži.

5.4.1 Dolina Koritnice 2004/2005

V Preglednici 5: Kontrola volumna (Dolina Koritnice 2004/2005) so prikazani rezultati primerjave stehtane in digitalno izmerjene količine padavin za dolino Koritnice. Vrednosti se razlikujeta le za 9.3 %, kar potrjuje natančnost meritev.

Preglednica 5: Kontrola volumna (Dolina Koritnice 2004/2005)

Table 5: Volume control (Dolina Koritnice 2004/2005)

Preračunana teža merjenih padavin (kg)	Izmerjena količina (kg)	D
(glede na površino adapterja)	(dejanska) - v posodi	v %
19.8	21.6	9.3

5.4.2 Plaz Slano Blato 2004/2005

Primerjava tež je podana v Preglednici 6: Kontrola volumna (Slano Blato 2004/2005). Zopet se preračunana in izmerjena količina zelo ujemata, razlike je le 2.9 %.

Preglednica 6: Kontrola volumna (Slano Blato 2004/2005)

Table 6: Volume control (Slano Blato 2004/2005)

Preračunana teža merjenih padavin (kg)	Izmerjena količina (kg)	Δ
(glede na površino adapterja)	(dejanska) - v posodi	v %
8.9	9.2	2.9

- 82 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

5.4.3 Macesnik 2004/2005

Pri primerjavi teže padavin, ulovljenih v posodo in izračunane teže digitalno izmerjenih padavin je prišlo do velikega odstopanja. V posodi je bilo ulovljenih 41.3 % več padavin. Očitno mehanizem za zaznavanje padavin ni deloval pravilno. Podatki so zato neuporabni. Primerjava volumnov je prikazana v Preglednici 7: Kontrola volumna (Macesnik 2004/2005).

Preglednica 7: Kontrola volumna (Macesnik 2004/2005)

Table 7: Volume control (Macesnik 2004/2005)

Preračunana teža merjenih padavin (glede na površino adapterja)	Izmerjena količina (kg) (dejanska) - v posodi	Δ v %
16.5	23.3	41.3

5.5 Primerjava z meritvami ARSO v Logu pod Mangartom v zimski sezoni 2004/2005

Agencija RS za Okolje izvaja meritve padavin tudi v Logu pod Mangartom. Njihove podatke sem uporabila za primerjavo naših, dobljenih v dolini Koritnice v zimski sezoni 2004/2005. Najprej sem primerjala mesečne padavine za obdobje december 2004 - maj 2005, nato še dnevne za obdobje 13. december 2004 - 31. marec 2005.

Pričakovano je da bo pluviometer v dolini Koritnice prikazal več padavin kot v Logu pod Mangartom. Ta pričakovanja temeljijo na dejstvu, da je pluviometer v dolini Koritnice postavljen na višje v dolini, veter pa padavine prinaša po dolini navzgor. Pride torej do ombrografskih padavin, kjer se zrak z višanjem ohlaja, manjša se mu zmožnost zadrževanja vlage in zato se pojavijo padavine.

5.5.1 Mesečne padavine Log pod Mangartom 2004/2005

V ARSO-vih biltenih sem dobila obdelane podatke o mesečnih vrednostih padavin v Logu pod Mangartom. V Preglednici 8: Primerjava mesečnih padavin (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice) je prikazana primerjava mesečnih padavin našega snegomera in ARSO-vega. Poudariti moram da za meseca december in maj primerjava ni relevantna, saj imam za naš dežemer podatke le od 13. decembra in do 24. maja; torej za mesec december manjkajo padavine 12 dni, za maj pa 6 dni. Iz tabele lahko vidim, da so meritve zelo podobne, razen za meseca januar in februar. Ker je bilo januarja zelo malo padavin, lahko rečem da so bile meritve vseeno precej točne. Meseca februarja pa je naš snegomer ujel znatno manj padavin kot ARSO-v.

Preglednica 8: Primerjava mesečnih padavin (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice)

Table 8: Comparison of monthly precipitations (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice)

	Naš	ARSO	razlika v %
dec	152.84	145	5.4
jan	6.41	5	28.2
feb	27.82	37	-24.8
mar	49.12	48	2.3
apr	229.21	222	3.2
maj	142.77	135	5.8

5.5.2 Dnevne padavine Log pod Mangartom 2004/2005

Iz Agencije RS za okolje sem dobila neobdelane podatke o 5 minutnih vrednosti padavin za obdobje 16. december 2004 - 31. marec 2005. Podatki so pomanjkljivi, saj njihov pluviometer snežne padavine le zazna in označi s črko S, njihove količine pa ne izmeri. Vseeno sem lahko naredila primerjave za nekaj časovnih obdobj.

V obdobju od 13. - 31. decembra je naš snegomer ujel 20 % več padavin. V obdobju od 24. jan - 15. feb je ujel kar 247.7 % več padavin, v obdobju od 12. - 31. marca pa 42.6 % več padavin. V obdobju od 25. feb. - 2. marca je naš snegomer ujel 1.95 mm padavin, medtem ko ARSO-v ni zaznal nič. V vmesnih obdobjih pa je ARSO-v pluviometer le zaznal snežne

padavine. Vse to je prikazano v Preglednici 9: Primerjava dnevnih padavin (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice).

Preglednica 9: Primerjava dnevnih padavin (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice)

Table 9: Comparison of daily precipitations (Log pod Mangartom - Dolina Koritnice)

Datum	ARSO	Naš dežemer	D % glede na ARSO
13. dec. 04		12.82	
16. dec. 04	2		-100.0
17. dec. 04	5.4	6.30	16.6
18. dec. 04	0.5	1.49	197.7
20. dec. 04		0.23	
25. dec. 04	13.3	8.24	-38.0
26. dec. 04	84.3	89.07	5.7
27. dec. 04	13.6	20.95	54.1
28. dec. 04	8.3	11.56	39.3
29. dec. 04		0.92	
30. dec. 04		1.14	
31. dec. 04		0.11	
18. jan. 05	S		ni primerljivo
19. jan. 05	S	1.60	ni primerljivo
21. jan. 05	S	0.80	ni primerljivo
22. jan. 05	S		ni primerljivo
24. jan. 05		0.11	
25. jan. 05		0.34	
26. jan. 05		0.92	
27. jan. 05		0.92	
29. jan. 05		1.37	
30. jan. 05		0.34	
12. feb. 05	0.1		-100.0
13. feb. 05	2.6	3.09	18.9
14. feb. 05		0.92	
15. feb. 05		1.37	
21. feb. 05	S	5.38	ni primerljivo
22. feb. 05	S	9.96	ni primerljivo
23. feb. 05	S	5.38	ni primerljivo
24. feb. 05	S		ni primerljivo
25. feb. 05		1.49	
27. feb. 05		0.11	
28. feb. 05		0.11	
1. mar. 05		0.11	
2. mar. 05		0.11	

13. dec. 04	-	31. dec. 04	
sum ARSO		127.4	
sum Naš		152.84	
D % glede na ARSO		19.97186 %	
ARSO ne meri količine snežnih padavin			
24. jan. 05	-	15. feb. 05	
sum ARSO		2.7	
sum Naš		9.39	
D % glede na ARSO		247.71037 %	
ARSO ne meri količine snežnih padavin			
ARSO ni zaznal nič			

se nadaljuje...

...nadaljevanje

3. mar. 05	S		ni primerljivo
4. mar. 05	S	15.80	ni primerljivo
10. mar. 05	S		ni primerljivo
11. mar. 05	S		ni primerljivo
12. mar. 05	2.6		-100
13. mar. 05		2.29	
15. mar. 05		0.11	
16. mar. 05		0.23	
18. mar. 05		0.34	
25. mar. 05	12.3	13.28	8.0
26. mar. 05	0.7	0.46	-34.6
27. mar. 05		1.49	
28. mar. 05	0.1	0.69	586.9
29. mar. 05	2.4	0.34	-85.7
30. mar. 05	4.7	12.02	155.8
31. mar. 05	0.4	1.83	358.0

ARSO ne meri količine snežnih padavin	
12. mar. 05	- 31. mar. 05
sum ARSO	23.2
sum Naš	33.09
D % glede na ARSO	42.619009 %

...nadaljevanje

3. mar. 05	S		ni primerljivo
4. mar. 05	S	15.80	ni primerljivo
10. mar. 05	S		ni primerljivo
11. mar. 05	S		ni primerljivo
12. mar. 05	2.6		-100
13. mar. 05		2.29	
15. mar. 05		0.11	
16. mar. 05		0.23	
18. mar. 05		0.34	
25. mar. 05	12.3	13.28	8.0
26. mar. 05	0.7	0.46	-34.6
27. mar. 05		1.49	
28. mar. 05	0.1	0.69	586.9
29. mar. 05	2.4	0.34	-85.7
30. mar. 05	4.7	12.02	155.8
31. mar. 05	0.4	1.83	358.0

ARSO ne meri količine snežnih padavin		
12. mar. 05	-	31. mar. 05
sum ARSO		23.2
sum Naš		33.09
D % glede na ARSO		42.619009 %

6 ZAKLJUČKI

V poglavju "5.1 Akumulacija in ablacija snežne odeje" sem določila obdobja akumulacije in ablacije snežne odeje ter kolikšen delež snežnih padavin infiltrira v tla. V nadaljevanju podajam povzetke, rezultati so prikazani tudi v Preglednici 10: Delež odtoka v tla.

Primerjava podatkov dvojice dežemerov v dolini Koritnice v zimski sezoni 2004/2005 je pokazala 60 % infiltracijo snežnih padavin v tla. Bilo je 84.61 mm padavin in za 50.8 mm infiltracije. V zimski sezoni 2005/2006 je bilo 656.94 mm padavin, odtoka v tla pa 164.11 mm. V tla se je infiltriralo le 25 % padavin.

Za kraj Strmec je primerjava podatkov dvojice dežemerov v zimski sezoni 2004/2005 pokazala 64 % odtok infiltracije padavin v tla. Padavin je bilo 200.8 mm, talnega odtoka pa 128.01 mm. V zimski sezoni 2005/2006 so meritve pokazale 509 mm padavin, infiltracije v tla pa 354.85 mm. V tla se je infiltriralo 69.7 % padavin.

Na plazu Slano Blato v zimski sezoni 2004/2005 je bilo snežnih padavin malo, tudi snežna odeja se je obdržala le kratek čas. Primerjava je pokazala 64 % infiltracijo v tla. Padavin je bilo 8.59 mm, odtoka v tla pa 5.5 mm.

V Macesu je prišlo do zalitja talnega dežemera in zato podatki niso uporabni.

V Ljubljani je primerjava podatkov v zimski sezoni 2004/2005 pokazala 65.5 % infiltracijo snežnih padavin v tla. Padavin je bilo 191.9 mm, odtoka v tla pa 125.62 mm. V zimski sezoni 2005/2006 je bilo 424.87 mm padavin in 304 mm odtoka v tla, torej 71.5 % odtok v tla. Celotno sezono sem glede na grafe razdelila še na dve ločeni obdobji akumulacije in ablacije. V prvem obdobju naj bi bilo le 18.3 % infiltracije v tla, v drugem pa kar 97.9 %. Ta dva rezultata nista realna, zato sklepam da sem napačno presodila obstoj dveh ločenih obdobji.

Podatke iz Sviščakov v zimski sezoni 2005/2006 sem razdelila na dve ločeni obdobji akumulacije in ablacije snežne odeje. V prvem obdobju je bilo 369.46 mm padavin, odtoka

pa 228.96 mm. V tla je šlo 62 % padavin. V drugem obdobju je padlo 417.32 mm padavin, v tla je šlo 48.19 mm, torej le 11.5 % padavin.

Na Snežniku je bilo v zimski sezoni izmerjenih 764.91 mm padavin in 337.59 mm odtoka v tla. V tla je infiltriralo 44.1 % padavin.

Preglednica 10: Delež odtoka v tla

Table 10: Portion of ground inflow

	Padavine [mm]	Tajanje odeje [mm]	Delež odtoka v tla [%]
Dolina Koritnice 04/05	85	51	60.0
Dolina Koritnice 05/06	657	164	25.0
Strmec 04/05	201	128	64.0
Strmec 05/06	509	355	69.7
Slano Blato 04/05	9	6	64.0
Ljubljana 04/05	192	126	65.5
Ljubljana 05/06	425	304	71.6
Sviščaki-1 05/06	369	229	62.0
Sviščaki-2 05/06	417	48	11.5
Snežnik 05/06	765	338	44.1
		Povprečje:	53.7

Iz dobljenih rezultatov sem izračunala povprečno količino snežnih padavin, ki se infiltrirajo v tla – 53.7 %. Deleži padavin, ki po koncu tajanja snežne odeje pridejo v tla, nihajo med vrednostima 11.5 % in 71.6 %. Izgube lahko do neke mere pripišem evapotranspiraciji, ostalo pa je verjetno izpihal veter ali pa je staljen sneg stekel po ledenih ploščah, ki se pojavljajo v notranjosti snežne odeje.

V poglavju "5.2 Izračun potencialne evapotranspiracije po Thornthwaitu za zimsko sezono 2004/2005" sem prikazala izračun PET v krajih Rateče in Ljubljana za leto 2005. Za dolino Koritnice v zimski sezoni 2004/2005 rezultati kažejo 0.816 mm izhlapevanja s površine snežne odeje, kar predstavlja 2.4 % izgub. Za Strmec 2004/2005 kažejo 38.11 mm, kar predstavlja 47.5 % vseh izgub. V Ljubljani 2004/2005 naj bi po izračunih izhlapelo 21.58

mm, kar predstavlja 32.5 % vseh izgub. Ocenjene vrednosti PET so zelo majhne. Treba je poudariti, da je Thornthwaith-ova metoda le približna, saj upošteva povprečne mesečne vrednosti temperatur zraka. Uporabna je za izračun izhlapevanja z gladke vodne površine, za snežno odejo pa podceni izhlapevanje, saj ne upošteva večje kontaktne površine snega z zrakom. Poleg tega metoda ob negativnih temperaturah zraka zanemari izhlapevanje, mi pa smo obravnavali zimske mesece, kjer se negativne temperature seveda pogosto pojavljajo.

V poglavju "5.3 Evapotranspiracija po Penman-Monteithu" sem primerjala podatke iz pluviometrov z dnevnimi vrednostmi ET, ki sem jih dobila z ARSO-a. Rezultati in primerjave so podane v Preglednici 11: ET po Penman-Monteithu.

Preglednica 11: ET po Penman-Monteithu

Table 11: ET by Penman-Monteith

	Padavine [mm]	Infiltracija [mm]	Izgube [mm]	ET [mm]	Delež ET v izgubah
Dolina Koritnice 04/05	84.61	50.8	33.81	70.2	2.08
Dolina Koritnice 05/06	657	164	492.83	106.8	0.22
Strmec 04/05	356.8	276.5	80.30	120.6	1.50
Strmec 05/06	509	355	154.15	67.9	0.44
Ljubljana 04/05	191.9	125.62	66.28	83.1	1.25
Ljubljana 05/06	425	304	120.87	69.8	0.58

Vrednosti ET naj bi predstavljale del vrednosti izgub. V zimski sezoni 2004/2005 prihaja pri vseh obravnavanih primerih do tega, da ET presega izgube. V primerih doline Koritnice in Strmca je preseganje največje. To lahko pripišem dejstvu, da je ET izračunana na kraj Rateče in ne direktno za dolino Koritnice in Strmec. Očitno je v Ratečah prihajalo do večjih izhlapevanj. V Ljubljani je preseganje manjše, verjetno so bile vrednosti padavin podcenjene. V zimski sezoni 2005/2006 pa obratno prihaja do tega, da vrednosti ET ne dosegajo vrednosti izgub. Razlike so zopet večje v dolini Koritnice in v strmecu, saj ET ni izračunana direktno zanj. V Ljubljani pa se vrednost ET dokaj približa vrednosti izgub.

V poglavju "5.4 Kontrola volumna izmerjenih padavin za zimsko sezono 2004/2005" sem primerjala digitalno izmerjeno količino padavin v celotnem času merjenja ter količino padavin, ki so v tem času iztekale v plastično posodo. V dolini Koritnice je digitalen števec izmeril 9.3 % manj padavin kot jih je bilo v posodi, v Strmcu pa 2.9 % manj. Razliko pripišem dejstvu, da ob večjih intenzitetah padavin števec rahlo podceni količino padavin. V Macesu pa je digitalni števec zabeležil 41.3 % premalo padavin, kar kaže na napako pri delovanju mehanizma.

V poglavju "5.5 Primerjava z meritvami ARSO v Logu pod Mangartom v zimski sezoni 2004/2005" sem prikazala primerjavo z meritvami snegomera v dolini Koritnice v zimski sezoni 2004/2005 in meritvami ARSO-vega pluviometra v Logu pod Mangartom. Najprej sem primerjala mesečne količine padavin in videla, da snegomer pokaže nekaj več. Nato sem primerjala neobdelane podatke ARSO-vega pluviometra. Podatki so dokaj pomanjkljivi, saj pluviometer snežne padavine le zazna, izmeri jih pa ne. Vseeno lahko zopet potrdim, da je dežemer v dolini Koritnice izmeril večje količine padavin. Presežki so bili pričakovani, saj je topografija tega območja taka, da gredo oblaki čez Log pod Mangartom in po dolini Koritnice navzgor, tu pa jih zaustavi gorska ovira in pride do padavin.

Pri delu sem razpolagala le z direktnimi podatki o padavinah in odtoku v tla. Vemo, da je učinkovitost lovljenja padavin v dežemer/snegomer odvisna od hitrosti vetra. Veter tudi izpihava površinski sneg na snežni odeji. Zato bi za bolj natančno analizo potrebovala tudi podatke o hitrosti vetra. Poleg tega bi potrebovala podatke o višinah snežne odeje. Na izhlapevanje snega s snežne odeje poleg temperatur vpliva tudi sončna radiacija. Iz zgoraj navedenega je torej jasno, da sem za natančno analizo podatkov o padavinah in tajanju snežne odeje imela premalo dodatnih podatkov - o vetru, višini snežne odeje in sončni radiaciji.

V poglavju "5.4 Kontrola volumna izmerjenih padavin za zimsko sezono 2004/2005" sem primerjala digitalno izmerjeno količino padavin v celotnem času merjenja ter količino padavin, ki so v tem času iztekale v plastično posodo. V dolini Koritnice je digitalen števec izmeril 9.3 % manj padavin kot jih je bilo v posodi, v Strmcu pa 2.9 % manj. Razliko pripišem dejstvu, da ob večjih intenzitetah padavin števec rahlo podceni količino padavin. V Macesu pa je digitalni števec zabeležil 41.3 % premalo padavin, kar kaže na napako pri delovanju mehanizma.

V poglavju "5.5 Primerjava z meritvami ARSO v Logu pod Mangartom v zimski sezoni 2004/2005" sem prikazala primerjavo z meritvami snegomera v dolini Koritnice v zimski sezoni 2004/2005 in meritvami ARSO-vega pluviometra v Logu pod Mangartom. Najprej sem primerjala mesečne količine padavin in videla, da snegomer pokaže nekaj več. Nato sem primerjala neobdelane podatke ARSO-vega pluviometra. Podatki so dokaj pomanjkljivi, saj pluviometer snežne padavine le zazna, izmeri jih pa ne. Vseeno lahko zopet potrdim, da je dežemer v dolini Koritnice izmeril večje količine padavin. Presežki so bili pričakovani, saj je topografija tega območja taka, da gredo oblaki čez Log pod Mangartom in po dolini Koritnice navzgor, tu pa jih zaustavi gorska ovira in pride do padavin.

Pri delu sem razpolagala le z direktnimi podatki o padavinah in odtoku v tla. Vemo, da je učinkovitost lovljenja padavin v dežemer/snegomer odvisna od hitrosti vetra. Veter tudi izpihava površinski sneg na snežni odeji. Zato bi za bolj natančno analizo potrebovala tudi podatke o hitrosti vetra. Poleg tega bi potrebovala podatke o višinah snežne odeje. Na izhlapevanje snega s snežne odeje poleg temperatur vpliva tudi sončna radiacija. Iz zgoraj navedenega je torej jasno, da sem za natančno analizo podatkov o padavinah in tajanju snežne odeje imela premalo dodatnih podatkov - o vetru, višini snežne odeje in sončni radiaciji.

- 90 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

VIRI

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - december 2004

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2004_12.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - januar 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_01.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - februar 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_02.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - marec 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_03.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - april 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_04.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - maj 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_05.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - junij 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_06.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - julij 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_07.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - avgust 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_08.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - september 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_09.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - oktober 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_10.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - november 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_11.pdf (15.9.2006)

ARSO. 2006. Mesečni bilten ARSO - december 2005

http://www.arso.gov.si/o_agenciji/knji~znica/publikacije/bilten_2005_12.pdf (15.9.2006)

ASCE, Task Committee On Hydrology Handbook. 1996. Hydrology Handbook, 2nd edition.
New York, American Society of Civil Engineers, cop.: 784 str.

Berry, F.A. JR. (ur.), Bollay, E. (ur.), Beers, Norman, R. (ur), et al. 1945. Handbook of
Meteorology, first edition, second impression. New York, McGraw-Hill: 1068 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2000. Osnove Hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
gradbeništvo in geodezijo: 232 str.

Campbell Scientific. 2006

<http://www.campbellsci.ca/CampbellScientific/Catalogue/CS705.html> (30.8.2006)

Dingman, L.S. 1994. Physical hydrology. New York [etc.], Macmillan Publishing Company,
Maxwell Macmillan Canada, Maxwell Macmillan International, cop.: 575 str.

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike, 2.
popravljen izdaja. Ljubljana, DMFA Slovenije: 329 str.

Seidel, K., Martinec, J. 2004. Remote sensing in snow hydrology, runoff modelling, effect of
climate change. Berlin, New York, Springer, Chichester, Praxis, cop.: 150 str.

92 Kržič, V. 2006. Uporaba sodobne tehnologije pri spremljanju stanja snežne odeje. Dipl. nal.- UNI, Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.

Singh, P., Singh, V.P. 2001. Snow and glacier hydrology. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers, cop.: 742 str.

Srebrenović, D. 1986. Primijenjena hidrologija. Zagreb, Tehnička knjiga: 509 str.

Štucin, F. Padavine podatki. Message to: Brilly, M. 4.oktober 2006. Osebna komunikacija.

Thornthwait-ova metoda za izračun potencialne evapotranspiracije

[http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/086/mwr-086-04-](http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/086/mwr-086-04-0123.pdf#search=%22thornthwaite%20filetype%3Apdf%22)

[0123.pdf#search=%22thornthwaite%20filetype%3Apdf%22](http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/086/mwr-086-04-0123.pdf#search=%22thornthwaite%20filetype%3Apdf%22) (15.9.2006)

Viessman, W., Lewis, G.L. 2003. Introduction to hydrology, 5th edition. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, cop.: 612 str.

Wallen, C.C. (ur). 1977. Climates of Central and Southern Europe. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier: 248 str.

Zupan, J. 2001. revija kvarkadabra.net, številka 8: 8 str.

http://www.kvarkadabra.net/index.html?fizika/teksti/naj_snezi.htm (26.5.2006)