Hidrološki aspekti pojave snijega u Hrvatskoj

Bonacci, Ognjen; Brleković, Tamara; Tadić, Lidija

Source / Izvornik: **Hrvatske vode, 2012, 20, 117 - 130**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:377578

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 3.0

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Prethodno priopćenje | Preliminary Report | UDK 551.578.4(497.5)
Primljeno (Received): 10.1.2012.; Prihvaćeno (Accepted): 5.9.2012.

HIDROLOŠKI ASPEKTI POJAVE SNIJEGA U HRVATSKOJ

Prof. emer. Ognjen Bonacci, dipl. ing.
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split
obonacci@gradst.hr

Tamara Dadić, mag. ing. aedif.
Građevinski fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku
Crkvena 21, 31000 Osijek

Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku
Crkvena 21, 31000 Osijek

Cilj rada je bio da se karakteristike snijega u Hrvatskoj povežu s hidrološkim procesima. Jedno je poglavlje posvećeno ulozi snijega u hidrologiji. Detaljno su analizirane sljedeće karakteristike snijega: 1.) Broj dana godišnje sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm; 2.) Maksimalna godišnja visina snježnog pokrivača; 3.) Datumi početka i kraja pojave snježnog pokrivača. Analizirani su podatci izmjereni na sljedeće tri stanice (u zagradama su navedena razdoblja obuhvaćena analizom): 1.) Zagreb-Grič (1895./1896.-2009./2010.); 2.) Osijek (1899./1900.-2009./2010.); 3.) Zavižan (1954./1955.-2009./2010.). Analiziran je odnos temperature zraka tijekom hladnog dijela godine i broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm. Definiran je odnos prosječnog broja dana sa snježnim pokrivačem godišnje višim ili jednakim od 1 cm i nadmorske visine u Hrvatskoj. Na osnovi podataka o karakteristikama snijega izmjerenih na 21 stanici u ravničarskom djelu sjeverne Hrvatske u razdoblju 2000.-2009. utvrđeno je da je snježni režim sličan na cijelom ravničarskom području sjeverne Hrvatske. Analize izvršene u ovom radu ukazale su da ne postoji statistički značajno smanjenje niti jedne od ispitivanih karakteristika snijega. Određeni trend snižavanja broja dana godišnje sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm je uočen, ali on nije statistički značajan.

Ključne riječi: trajanje snježnog pokrivača, maksimalna visina snježnog pokrivača, temperatura zraka, hidrologija snijega, Hrvatska

1. UVOD

Uloga snijega u hidrološkim procesima može biti od velikog značaja, prije svega u hladnom razdoblju godine, višim planinskim područjima i višim geografskim širinama. Snijeg predstavlja kritičnu komponentu skladištenja u hidrološkom ciklusu. Ulogom snijega u hidrologiji u svijetu se bavi brojna literatura (npr. Viessman i sur. 1977.; Ward i Robinson 1990.; Singh i Singh 2001.; DeWalle i Rango 2010.; Gutmann i sur. 2012. itd.). Velike vode, a nerijetko i njima izazvane poplave, javljaju se kao posljedica otapanja snijega ili istovremene pojave intenzivnih oborina i otapanja snijega. Neke od najvećih poplava u svijetu, ali i kod nas, pojavile su se kao posljedica istovremenog padanja obilnih oborina i naglog porasta temperatura zraka koje su uzrokovale brzo otapanje snježnog pokrivača na slivu.

Ne smije se zanemariti, iako se o tome nedovoljno vodi računa, da snijeg predstavlja čimbenik koji značajno utječe na okoliš i ekosustave. Svaka njegova promjena, bilo ona izazvana prirodnim ili antropogenim utjecajima, može uzrokovati negativne posljedice na pripadne ekosustave. Nažalost, u našoj zemlji se o snijegu kao značajnom hidrološkom pa i ekološkom parametru ne vodi dovoljno računa, barem ako je suditi po objavljenim radovima. Ovim člankom želi se potaknuti, prije svega hidrologe, da pristupe detaljnijem izučavanju svih vidova pojave snijega na našim prostorima sa ciljem da se ta saznanja i podatci korisno upotrijebe u modeliranju procesa oborina-otjecanje, pouzdanijem planiranju vodnim resursima kao i za potrebe ekohidroloških izučavanja.

U klimatološkim i meteorološkim istraživanjima snijeg je, osobito u posljednjih nekoliko desetljeća, dobio vrlo značajno mjesto (npr. Frei i Robinson 1999.; Hantel i sur. 2000.; Lundberg i Halldin 2001.; Beniston i sur. 2003.; Laternser i Schneebeli 2003.; Bednorz 2004.; Falarz 2004.; Brown i Petkova 2007.; Zaninović i sur. 2008.; Henderson i Leathers 2010.; Pons i sur. 2010.; Gajić-Čapka 2011. itd.). Ta se činjenica može objasniti velikim interesom za izučavanje globalne promjene klime, posebno posljedica tzv. globalnog zagrijavanja na procese vezane sa snijegom.

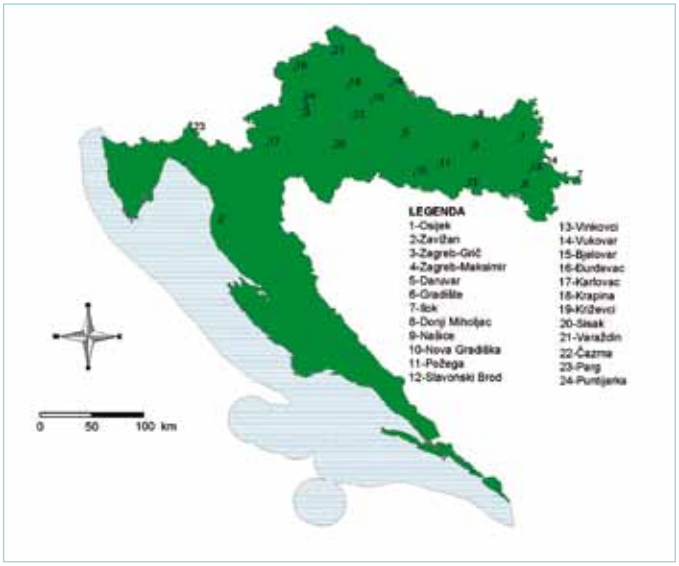
Predviđeno je da ovaj rad bude prvi u nizu od nekoliko radova posvećenih ulozi snijega u hidrologiji s posebnim osvrtom na našu zemlju. U njemu će biti obrađene sljedeće karakteristike snijega: broj dana sa snježnim pokrivačem tijekom hladnog dijela godine, početak i kraj snježnog pokrivača te maksimalna visina snijega.

U tablici 1 date su osnovne karakteristike meteoroloških stanica čiji su podatci korišteni i analizirani u ovom radu. Na slici 1 nalazi se karta na kojoj su ucrtani njihovi položaji. Osnovni cilj ovog rada bio je da se karakteristike

Tablica 1 Osnovna svojstva stanica čiji su podatci o mjerenju snježnog pokrivača korišteni u ovom radu

R. br.	Naziv stanice	H (m n. m.)	Geografska dužina	Geografska širina	Razdoblje obrade
1.	Osijek	89	18°34′	45°30′	1899.-2010.
2.	Zavižan	1594	14°59′	44°49′	1953.-2010.
3.	Zagreb-Grič	157	15°59′	45°49′	1895.-2010.
4.	Zagreb-Maksimir	123	16°02′	45°49′	1949.-2010.
5.	Daruvar	161	17°14′	45°36′	2000.-2009.
6.	Gradište	97	18°42′	45°09′	2000.-2009.
7.	Ilok	133	19°22′	45°13′	2000.-2009.
8.	Donji Miholjac	97	18°10′	45°46′	2000.-2009.
9.	Našice	144	18°06′	45°29′	2000.-2009.
10.	Nova Gradiška	186	17°23′	45°17′	2000.-2009.
11.	Požega	152	17°41′	45°20′	2000.-2009.
12.	Slavonski Brod	88	18°00′	45°10′	2000.-2009.
13.	Vinkovci	85	18°49′	45°17′	2000.-2009.
14.	Vukovar	109	19°01′	45°21′	2000.-2009.
15.	Bjelovar	141	16°51′	45°55′	2000.-2009.
16.	Đurđevac	121	17°04′	46°03′	2000.-2009.
17.	Karlovac	110	15°34′	45°30′	2000.-2009.
18.	Krapina	202	15°53′	46°08′	2000.-2009.
19.	Križevci	155	16°33′	46°02′	2000.-2009.
20.	Sisak	98	16°22′	45°30′	2000.-2009.
21.	Varaždin	167	16°23′	46°18′	2000.-2009.
22.	Čazma	144	16°38′	45°45′	2000.-2009.
23.	Parg	863	14°38′	45°36′	1961.-1991.
24.	Puntijarka	988	15°58′	45°55′	1961.-1991.

snijega u Hrvatskoj povežu s hidrološkim procesima sa ciljem pokušaja da se procijene potencijalne posljedice promjena karakteristika snijega na promjene hidrološkog režima. Stoga je naglasak u analizama stavljen na izučavanje promjena (trendova, skokova itd.) karakteristika snijega tijekom vremena, a posebno u posljednjih dvadesetak godina kada je neosporno došlo do povišenja temperatura zraka u Hrvatskoj (MZOPUG 2009.; Bonacci 2010.). Problem je da su za pouzdane zaključke neophodni dugi i homogeni nizovi opažanja kojih, nažalost, nema mnogo na raspolaganju. Detaljne analize raznih svojstava snijega izvršene su na četiri stanice s dugim vremenskim nizovima mjerenja: Zagreb-Grič, Osijek, Zagreb-Maksimir i Zavižan. Analize podataka na preostalih osamnaest stanica vršene su samo u desetgodišnjem razdoblju 2000.-2009., a cilj im je bio da se ustanovi postoje li značajnije razlike osnovnih parametara snijega na ravničarskom području Hrvatske u posljednjih desetak godina kada bi se trebale najjače osjetiti posljedice klimatskih promjena ili varijacija.



Slika 1 Karta Hrvatske s označenim stanicama za mjerenje snježnog pokrivača čiji su podatci korišteni u ovom radu

2. ULOGA SNIJEGA U HIDROLOGIJI

Snježni pokrivač je važan klimatski, hidrološki i ekološki čimbenik koji utječe na: temperaturu prizemnog sloja zraka, temperaturu tla, vlagu u tlu, otjecanje u slivu (time i na procese snabdijevanja vodom i upravljanja vodnim resursima), lokalne i regionalne energetske procese tijekom zatopljenja i otapanja snijega, a posebno na okoliš i pripadne ekološke sustave.

Dozier (2011.) smatra da nedovoljno poznavanje fizike procesa kao i nepouzdanost i nedovoljna količina mjerenja onemogućavaju neophodno potrebno razumijevanje uloge snijega u složenim hidrološkim i ekološkim, a danas sve više i u suvremenim ekonomskim i socijalnim procesima. On smatra da su u znanosti i praksi upravljanja vodnim resursima snijega neophodni novi fizički zasnovani pristupi koji uzimaju u obzir heterogenost topografije u cilju točnije procjene volumena vode uskladištene u snježnom pokrivaču sliva.

Za hidrologiju je bitno što točnije procijeniti tzv. ekvivalent vode uskladištene u snježnom pokrivaču pojedinog sliva. Zbog toga informacija o visini snježnog pokrivača mora biti nadopunjena i podatkom o gustoći snijega, tj. količini vode u jedinici volumena snijega. Osnovni problem pri tome predstavlja činjenica da je mjerenje snijega mnogo netočnije od mjerenja drugih tekućih vrsta oborina te da je snijeg vrlo nejednoliko raspodijeljen u slivu čak i na istim nadmorskim visinama. Osim toga, mjerenjima snijega u točki (ma koliko ona bila precizna i dugotrajna) ne dobiva se pouzdana informacija o visinama i drugim svojstvima snijega na širem prostoru sliva. Informacije o prostornoj raspodjeli snijega u slivu bitne su za pouzdane procjene količine vode uskladištene u snježnom pokrivaču sliva. Ekspedicijska mjerenja snijega skupa su i traju relativno dugo, a poduzimaju se obično krajem zime kada se očekuje početak masovnog otapanja. Taj način mjerenja obično poduzimaju i financiraju proizvođači hidroenergije sa svrhom pouzdanijeg upravljanja vodnim rezervama uskladištenim u akumulacijama u cilju postizanja maksimalne proizvodnje električne energije.

Od posebnog je značaja utvrditi trendove snježnih parametara tijekom vremena (visine snježnog pokrivača, datume početka i nestanka snježnog pokrivača te njegovo trajanje, količine vode u snijegu, raspodjela u prostoru i po visinama itd.) koji se javljaju u dužem razdoblju vremena. Potrebno je u svakom trenutku preciznije poznavati količine vode u snijegu sa svrhom vršenja pouzdanijih prognoza poplava te omogućavanja optimalnog korištenja te vode za navodnjavanje, proizvodnju hidroenergije, ali i za potrebe održivog razvoja ekosustava. Dozier (2011.) smatra da današnje stanje teorije, kao i postojeći sustavi mjerenja ne zadovoljavaju. U tom smislu Dozier i sur. (2008.; 2009.) daju prijedloge za rješenja zasnovana na holističkom pristupu problematici te na detaljnijim mjerenjima karakteristika snijega u prostoru primjenom novih tehnologija, a posebno daljinskih mjerenja korištenjem satelita. Osnovni problem pouzdanog korištenja snijega u analizama hidrološke bilance leži u činjenici nedovoljno razvijene mreže mjernih stanica (Gutmann i sur. 2012.). Za prevladavanje tog problema predlažu primjenu nove tehnologije mjerenja snijega nazvane GPS „interferometric reflectometry".

Izvori topline neophodni za topljenje snijega mogu se grupirati u sljedeće kategorije: 1.) Toplina sunčeve radijacije; 2.) Latentna toplina isparavanja koja se oslobađa

kondenzacijom, tj. prelaskom vode u vodenu paru; 3.) Prijenos topline iz okoliša (tla, zraka, oborina) koji je u kontaktu sa snijegom. Snježni pokrivač, osim što prima, i emitira toplinu. Interakcija različitih fenomena izmjene topline uzrokom je da je proces otapanja snijega jedan od najsloženijih procesa u području hidrologije.

Iznos otapanja snijega funkcija je izmjene energije između snježnog pokrivača i okoliša. Energetska bilanca izotermalnog snježnog pokrivača na 0° C izražena je sljedećom jednadžbom:

$$H_m = H_r + H_a + H_e + H_p + H_g \quad (1)$$

kod čega je H_m energija koja stoji na raspolaganju za otapanje snijega, H_r neto dugovalna i kratkovalna radijacija, H_a turbulentni dotok topline, H_e dotok latentne topline, H_p dotok topline od oborina, H_g izmjena topline s podlogom. Turbulentni dotok topline i dotok latentne topline moguće je tretirati kao zajednički proces. Relativnu važnost pojedinih komponenti bilance energije teško je precizno odrediti. Ona varira tijekom vremena kako u sezonama tako i tijekom dana kroz 24 sata, a zavisi o vremenskim prilikama. Na primjer, neto radijacija je negativna tijekom noći, dok tijekom sunčanog dana s malo vjetra ona može biti dominantan izvor energije. Turbulentni dotok topline dominantan je tijekom noći i oblačnih dana. Najveći je kad pušu snažni vjetrovi koji nose mnogo vlage. Suhi vjetrovi mogu uzrokovati proces sublimacije snijega. Neke od ovih komponenti mogu biti zanemarene zbog malog utjecaja u odnosu na ostale. To se prije svega odnosi na zadnje dvije komponente navedene u jednadžbi (1).

Postoje mnogobrojni pristupi za proračunavanje procesa topljenja snijega. Neki od njih zasnovani su na jednostavnim i lokalno važećim empirijskim korelacijskim i regresijskim analizama, najčešće visine snijega i temperature zraka. Drugi pak predstavljaju sofisticirane metode koje koriste složene procese fizike koji se odvijaju tijekom procesa topljenja snijega. U tom slučaju neophodno je poznavati, tj. mjeriti brojne klimatske parametre. Osnovni problem za pouzdano računanje procesa otapanja snijega leži u nedostatnim meteorološkim podatcima. Zbog toga se često koriste manje pouzdani empirijski izrazi u kojima kao ključni ili čak i jedini faktor figurira temperatura zraka.

Prosječni iznos otapanja snijega (naziva se i efektivno topljenje), D izražen je u mm na dan, a opisan je sljedećim izrazom:

$$D = T \times K \quad (2)$$

pri čemu je T temperatura zraka u °C, dok K predstavlja konstantu otapanja ili stupanj-dan faktor izražen u mm $^{\circ}C^{-1}$ dan^{-1} čija se najčešća vrijednost kreće u granicama između 0,9 i 5,0, s tim da može doseći i vrijednost od maksimalnih 13,7 mm $^{\circ}C^{-1}$ dan^{-1}. Uočava se da konstanta otapanja K varira u vrlo širokim granicama te da ona zavisi o brojnim lokalnim klimatskim, geomorfološkim i ostalim faktorima (npr.o pokrivenosti područja vegetacijom, topografiji, sastavu površinskog sloja tla itd.). Praksa je pokazala da pouzdano predviđanje otapanja snijega i njegov utjecaj na formiranje hidrograma otjecanja treba zasnivati na terenskim mjerenjima na osnovi kojih se mora odrediti veličina faktora K. Voda iz otopljenog snijega u otvorene vodotoke u najvećoj mjeri ulazi kao podpovršinski dotok, kao dotok podzemne vode ili kao njihova kombinacija. U literaturi postoje brojni izrazi za proračun efektivnog topljenja D (npr. Leavesley i sur. 1983.; Kustos i sur. 1994.; Albert i Krajeski 1998. itd.).

Općenito važi da je trajanje snježnog pokrivača to duže što je nadmorska visina pojedine lokacije viša te što je srednja sezonska (zimska) temperatura zraka niža. Važno je naglasiti značajnu razliku u procesu otapanja snježnog pokrivača u šumama i na otvorenim prostorima. Šumska vegetacija utječe na smanjivanje turbulentnog prijenosa topline, smanjuje direktnu kratkovalnu sunčevu radijaciju, dok je dugovalna radijacija s toplijih krošnji stabala veća. Općenito, iznosi topljenja snijega u šumom pokrivenim područjima manji su od onih na otvorenim prostorima bez vegetacije.

Dok je proces topljenja snijega u točki fizikalni proces koji je izazvan dotokom topline, prihranjivanje vode u otvorenim vodotocima u slivu vodom od otopljenog snijega predstavlja kompleksni hidrološki proces koji zavisi o geomorfološkim, topografskim, hidrogeološkim, pedološkim i vegetacijskim svojstvima sliva.

Pouzdanost i točnost predviđanja otjecanja od topljenja snijega prvenstveno zavisi od poznavanja količine i raspodjele snijega na slivu, a potom i o vremenu u godini kada se snijeg nalazi na njemu. Zbog toga će se u ovom radu analizirati visine snježnog pokrivača i vrijeme njegove pojave (početak i kraj) tijekom godine. Na raspolaganju su nam stajala standardna mjerenja koja obavlja Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske (DHMZ).

3. BROJ DANA SA SNJEŽNIM POKRIVAČEM

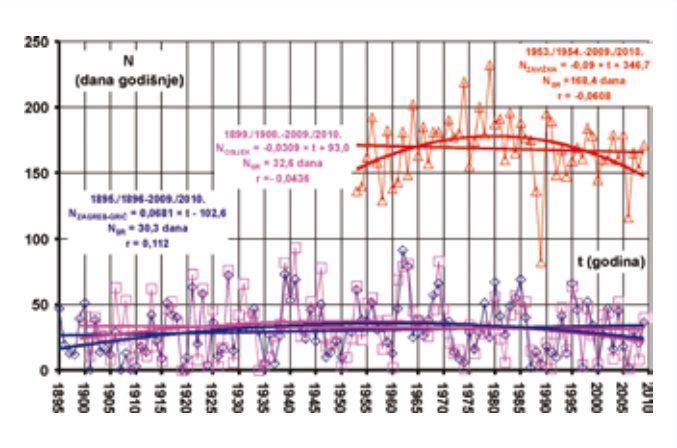
Na slici 2 ucrtani su vremenski nizovi godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opaženi na sljedeće tri meteorološke stanice: 1.) Zagreb-Grič (1895./1896.-2009./2010.); 2.) Osijek (1899./1900.-2009./2010.); 3.) Zavižan (1954./1955.-2009./2010.). Na svakom od analiziranih nizova ucrtani su pravci linearne regresije i polinoma drugog reda te su upisani koeficijenti linearne korelacije i srednje vrijednosti nizova.

Na slici 3 prikazan je odnos godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opažen na stanicama Osijek (na osi ordinate) i Zagreb-Grič (na osi apscise) u razdoblju 1899./1900.-2009./2010., s ucrtanim pravcem regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije. Treba napomenuti da su srednjaci (30,3 dana za Zagreb-Grič i 32,6 dana za Osijek) i maksimumi (91 dan za Zagreb-Grič i 93 dana za Osijek) ovih nizova u analiziranom razdoblju gotovo identični.

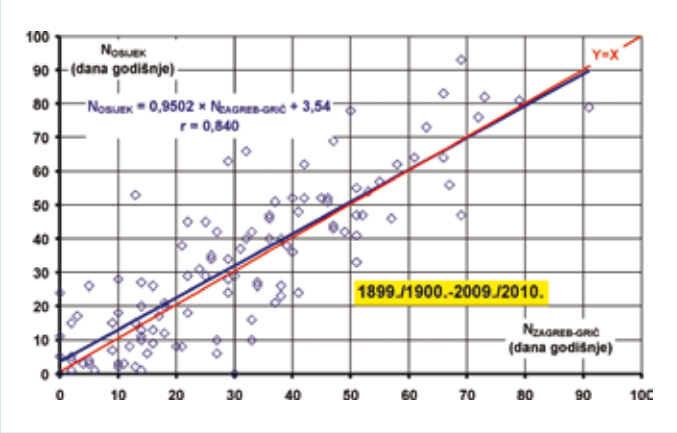
Zanimljivo je navesti da je godišnji broj dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opažen na stanicama Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir u razdoblju 1949./1950.-2009./2010. gotovo identičan. Srednjaci iznose 32,9 dana u Zagreb-Griču i 32,7 u Zagreb-Maksimiru, a koeficijent linearne korelacije ima visoku vrijednost od r=0,980. Zbog toga se u daljnjem radu neće vršiti dodatne analize snježnog pokrivača mjerenog na stanici Zagreb-Maksimir. Ove su stanice udaljene nešto više od 4 km zračne linije. Stanica Zagreb-Grič locirana je u središtu grada, a stanica Zagreb-Maksimir je dugo bila na njegovoj periferiji. Zbog učinka urbanizacije prosječna temperatura zraka na lokaciji Zagreb-Grič oko 1 °C je viša nego na lokaciji Zagreb-Maksimir (Bonacci 2010.), što očito nije bilo dovoljno da utječe na stvaranje razlike u režimu snježnih pokrivača mjerenih na te dvije stanice. Između stanica Zagreb-Grič i Zavižan, te Osijek i Zavižan ne postoji nikakva veza u snježnom režimu, pošto su im koeficijenti linearne korelacije vrlo niski te iznose r=0,157 i r=0,143.

Na slici 4 prikazana su tri vremenska podniza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opažena na stanici Zagreb-Grič u sljedećim podrazdobljima: 1.) 1895./1896.-1938./1939.; 2.) 1939./1940.-1986./1987.; 3.) 1987./1988.-2009./2010. Podnizovi su određeni primjenom metode RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums) (Garbrecht i Fernandez 1994.; Bonacci 2010.). Na slici 4 su ucrtani i pravci regresije za svako od podrazdoblja, a upisane su i prosječne vrijednosti. Uočava se da je u prvom podrazdoblju (1895./1896.-1938./1939.) prosječni broj dana, N_{SR1}, bio gotovo identičan prosječnom broju dana u zadnjem podrazdoblju (1987./1988.-2009./2010.), N_{SR3}, dok je u drugom podrazdoblju (1939./1940.-1986./1987.) prosječni broj dana, N_{SR2}, bio statistički značajno veći (oko 14 dana ili oko 50%). Statistička značajnost razlika među srednjacima različitih podrazdoblja testirana je korištenjem F-testa i t-testa. Nepouzdano je donositi zaključke o razlozima ovakvog ponašanja snježnog pokrivača na stanici Zagreb-Grič, pošto na taj proces mogu utjecati klimatske varijacije i/ili promjene, ali i učinak urbanizacije.

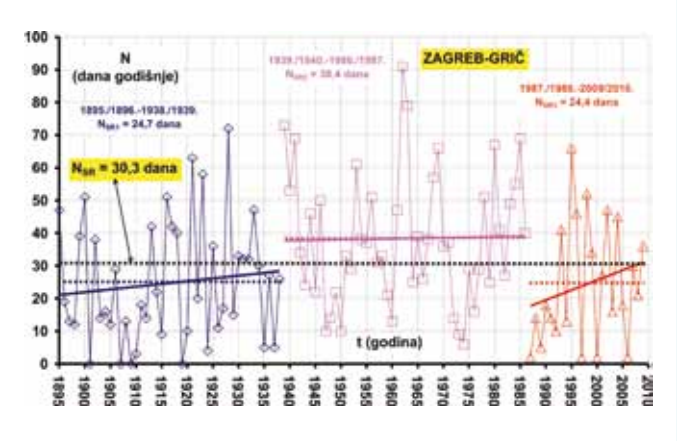
Na slici 5 prikazana su tri vremenska podniza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opažena na stanici Osijek u sljedećim podrazdobljima: 1.) 1899./1900.-1937./1938.; 2.) 1938./1939.-1970./1971.; 3.) 1971./1972.-2009./2010.



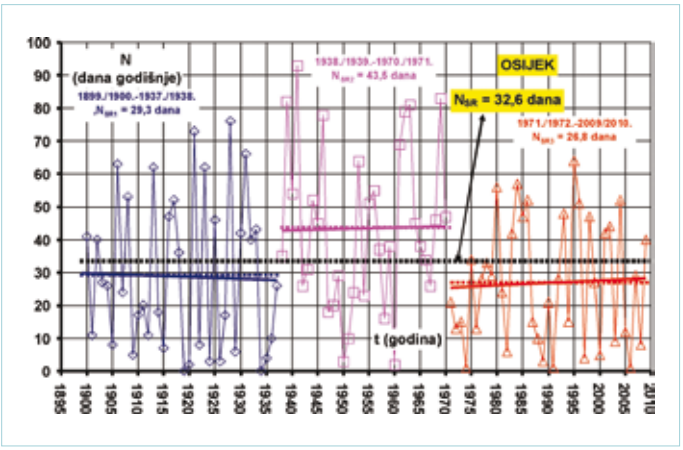
Slika 2 Grafički prikaz tri vremenska niza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opaženih na sljedeće tri meteorološke stanice: 1.) Zagreb-Grič (modra boja) (1895./1896.-2009./2010.); 2.) Osijek (ljubičasta boja) (1899./1900.-2009./2010.); 3.) Zavižan (crvena boja) (1953./1954.-2009./2010.)



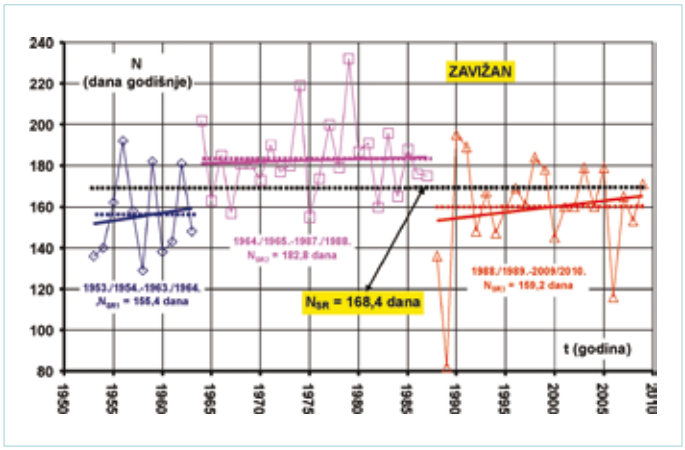
Slika 3 Prikaz odnosa godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opaženih na stanicama Osijek (na osi ordinate) i Zagreb-Grič (na osi apscise) u razdoblju 1899./1900.-2009./2010.



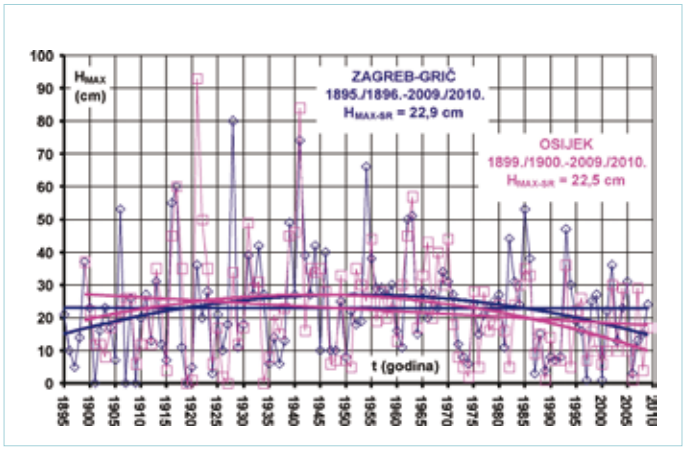
Slika 4 Prikaz tri vremenska podniza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opaženih na stanici Zagreb-Grič u sljedećim podrazdobljima: 1.) 1895./1896.-1938./1939.; 2.) 1939./1940.-1986./1987.; 3.) 1987./1988.-2009./2010.



Slika 5 Prikaz tri vremenska podniza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opaženih na stanici Osijek u sljedećim podrazdobljima: 1.) 1899./1900.-1937./1938.; 2.) 1938./1939.-1970./1971.; 3.) 1971./1972.-2009./2010.



Slika 6 Prikaz tri vremenska podniza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opaženih na stanici Zavižan u sljedećim podrazdobljima: 1.) 1953./1954.-1963./1964.; 2.) 1964./1965.-1987./1988.; 3.) 1989./1990.-2009./2010.



Slika 7 Grafički prikaz vremenskih nizova maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX}, na sljedeće dvije meteorološke stanice: 1.) Zagreb-Grič (1895./1896.-2009./2010.); 2.) Osijek (1899./1900.-2009./2010.)

Određeni su primjenom metode RAPS. Na slici 5 su ucrtani i pravci regresije za svako od podrazdoblja kao i pripadajuće prosječne vrijednosti. U prvom podrazdoblju (1899./1900.-1937./1938.) prosječni broj dana, N_{SR1} bio je vrlo blizak prosječnom broju dana u zadnjem podrazdoblju (1971./1972.-2009./2010.), N_{SR3}, dok je u drugom podrazdoblju (1938./1939.-1970./1971.) prosječni broj dana, N_{SR2}, bio statistički značajno veći (oko 15 dana ili više od 50%). Sličnost, ali ne i identičnost ponašanja s nizom opaženim na stanici Zagreb-Grič je visoka.

Na slici 6 prikazana su tri vremenska podniza godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, opažena na stanici Zavižan u sljedećim podrazdobljima: 1.) 1953./1954.-1963./1964.; 2.) 1965./1966.-1987./1988.; 3.) 1988./1989.-2009./2010. Određeni su primjenom metode RAPS. Na slici 6 su ucrtani i pravci regresije za svako od podrazdoblja, kao i pripadajuće prosječne vrijednosti. U prvom podrazdoblju (1953./1954.-1963./1964.) prosječni broj dana, N_{SR1}, bio je vrlo blizak prosječnom broju dana u zadnjem podrazdoblju (1988./1989.-2009./2010.), N_{SR3}, dok je u drugom podrazdoblju (1965./1966.-1987./1988.) prosječni broj dana, N_{SR2}, bio statistički značajno veći (više od 20 dana).

U sva tri analizirana niza u posljednjih tridesetak (Zagreb-Grič i Zavižan) do četrdesetak (Osijek) godina opažen je nagli statistički značajan pad godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, u odnosu na prethodno (drugo podrazdoblje). Ta se činjenica može dovesti u vezu s procesima globalnog zagrijavanja, ali je neophodno naglasiti da su slične (gotovo identične) niske vrijednosti broja dana, N, bile i u prvom podrazdoblju, prije osamdesetak godina na stanicama Zagreb- Grič i Osijek ili prije pedesetak godina na stanici Zavižan. Prethodno ponašanje analiziranih vremenskih nizova se može jednim dijelom objasniti i prirodnim varijabilitetom klime na izučavanim lokacijama.

4. MAKSIMALNA GODIŠNJA VISINA SNJEŽNOG POKRIVAČA

Na slici 7 ucrtani su vremenski nizovi maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX} (cm), opaženi na sljedeće dvije meteorološke stanice: 1.) Zagreb-Grič (1895./1896.-2009./10.); 2.) Osijek (1899./1900.-2009./2010.). Na svakom od analiziranih nizova ucrtani su pravci linearne regresije i krivulje polinoma drugog reda. Statistički neznačajan trend sniženja primijećen je na stanici Osijek. Na stanici Zagreb-Grič postoji statistički neznačajan trend porasta maksimalne godišnje visine snježnog pokrivača. Sličnost snježnog režima na dvije relativno udaljene stanice s dugim nizom motrenja može se uočiti iz činjenice da su im prosječne maksimalne godišnje visine snježnih pokrivača gotovo identične

Tablica 2 Prosječne vrijednosti maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX-SR}, u podrazdobljima određenim RAPS metodom na tri analizirane stanice

NAZIV STANICE	PODRAZDOBLJA		
	H_{MAX-SR} (cm)		
ZAGREB-GRIČ	1895./1896.-1938./1939.	1939./1940.-1986./1987.	1987./1988.-2009./2010.
	20,7	**27,8**	**17**
OSIJEK	1899./1900.-1937./1938	1938./1939.-1970./1971.	1971./1972.-2009./2010.
	22,5	**30,4**	**15,8**
ZAVIŽAN	1953./1954.-1963./1964.	1964./1965.-1987./1988.	1988./1989.-2009./2010.
	158,4	**201,0**	**149,6**

(22,9 cm i 22,5 cm). Koeficijent linearne korelacije između maksimalnih visina snijega u razdoblju 1899./1900.-2009./2010. iznosi r=0,626, što također svjedoči o sličnosti režima snijega na ove dvije stanice. Najviša opažena visina snijega na stanici Zagreb-Grič iznosila je 80 cm, dok je na stanici Osijek iznosila 93 cm.

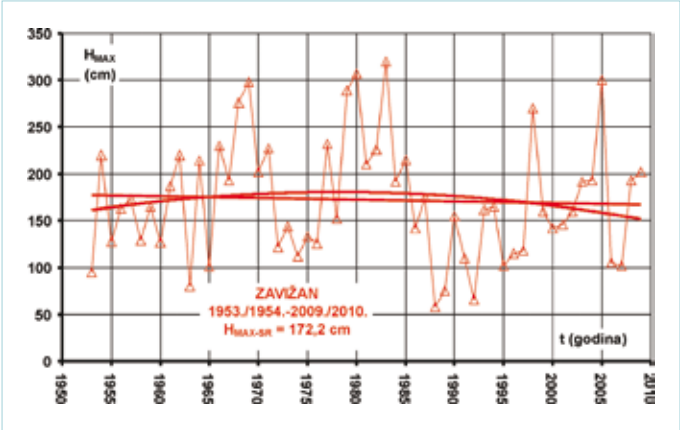
O gotovo identičnom režimu snježnog pokrivača na stanicama Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir svjedoči činjenica da je koeficijent linearne korelacije maksimalnih visina snježnog pokrivača u razdoblju 1949./50.-2009./2010. izrazito visok te iznosi r=0,941. Prosječne vrijednosti u prethodno spomenutom razdoblju iznosile su 21,9 cm (Zagreb-Maksimir) i 22,9 cm (Zagreb-Grič). Maksimalne opažene iznosile su 63 cm (Zagreb-Maksimir) i 66 cm (Zagreb-Grič), a opažene su tijekom 1954./1955.

Na slici 8 ucrtan je vremenski niz maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX}, na meteorološkoj stanici Zavižan u razdoblju 1954./1955.-2009./2010. Moguće je uočiti statistički neznačajan trend opadanja.

Tablica 3 Karakteristične vrijednosti (minimumi, srednjaci i maksimumi) godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, te karakteristične vrijednosti (srednjaci i maksimumi) maksimalne visine snježnog pokrivača, H_{MAX}, opažene u razdoblju od 10 posljednjih godina (2000.-2009.) na 21 stanici u pretežno ravničarskom području sjeverne Hrvatske

R. br.	Naziv stanice	N_{SR} (dana)	N_{MIN} (dana)	N_{MAX} (dana)	H_{MAX-SR} (cm)	$H_{MAX-MAX}$ (cm)
1.	Osijek	22,0	7	54	16,3	***30***
2.	Zagreb-Grič	24,4	7	47	18,1	36
3.	Zagreb-Maksimir	25,0	7	50	18,9	49
4.	Daruvar	28,3	11	64	21,7	42
5.	Gradište	30,8	12	58	20,3	33
6.	Ilok	28,4	12	56	24,3	47
7.	Donji Miholjac	29,3	13	58	***15,7#***	35
8.	Našice	25,3	8	60	22,6	**65***
9.	Nova Gradiška	***19,8#***	8	56	***15,7#***	31
10.	Požega	20,9	11	***45#***	18,7	35
11.	Slavonski Brod	26,5	12	52	18,7	33
12.	Vinkovci	20,3	7	47	19,6	36
13.	Vukovar	23,7	8	55	18,5	38
14.	Bjelovar	25,4	10	63	17,2	47
15.	Đurđevac	28,8	7	58	19,3	39
16.	Karlovac	**39,0***	9	**67***	**28,9***	48
17.	Krapina	29,0	11	55	18,6	41
18.	Križevci	28,1	12	61	18,5	37
19.	Sisak	31,4	9	63	21,8	**65***
20.	Varaždin	33,6	9	61	19,8	35
21.	Čazma	27,6	11	59	19,3	52

*Crveno bold su označene najviše opažene vrijednosti
#Italic bold su označene najniže opažene vrijednosti



Slika 8 Grafički prikaz vremenskog niza maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX}, na meteorološke stanici Zavižan u razdoblju 1954./1955.-2009./2010.

Tablica 4 Odnos datuma i rednog broja dana u godini

DATUM	REDNI BROJ DANA U GODINI
1. IX.	1.
30. IX.	30.
31. X.	61.
30. XI.	91.
31. XII.	122.
31. I.	153.
28. II.	181.
29. II.	***182.***
31.III.	212.
31.III.	***213.***
30. IV.	242.
30. IV.	***243.***
31. V.	273.
31. V.	***274.***
30. VI.	303.
30. VI.	***304.***

Italic bold su označene prestupne godine

Prosječna maksimalna visina snježnog pokrivača iznosi 172,2 cm. Maksimalna visina snježnog pokrivača izmjerena je 1983. godine u iznosu od 320 cm, dok je minimalna izmjerena 1988. godine te je iznosila 58 cm.

Važno je naglasiti da se primjenom RAPS metode na vremenske nizove maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX}, na sve tri analizirane meteorološke stanice dobiju podnizovi u identičnim podrazdobljima kao i kod analiza vremenskih nizova godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, prikazani na slikama 4, 5 i 6. U tablici 2 navedene su prosječne vrijednosti maksimalnih visina snježnog pokrivača, H_{MAX-SR}, u podrazdobljima određenim RAPS metodom na tri analizirane stanice. Uočava se da su u posljednjem podrazdoblju u sva tri slučaja prosječne maksimalne godišnje visine snježnog pokrivača značajno smanjene, što bi se moglo objasniti utjecajem klimatskih promjena ili varijacija.

O velikoj sličnosti režima snježnog pokrivača na pretežno ravničarskom području sjeverne Hrvatske može se reći za referentno klimatsko razdoblje 1961.-1990. u Klimatskom atlasu Hrvatske (Zaninović i dr. 2008.) u kartografskim, grafičkim i tabličnim prikazima, a u ovom radu o tome svjedoče podatci izneseni u tablici 3 za recentno 10-godišnje razdoblje. U njoj se nalaze karakteristične vrijednosti (minimumi, srednjaci i maksimumi) godišnjih brojeva dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, te karakteristične vrijednosti (srednjaci i maksimumi) maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača, H_{MAX}, opaženih u razdoblju od 10 posljednjih godina (2000.-2009.) na 21 stanici u pretežno ravničarskom području sjeverne Hrvatske. Položaji svih stanica su prikazani na slici 1, iz koje je vidljivo da se radi o širokom području, tj. regiji koja obuhvaća površinu između 25.000 i 30.000 km^2. Nadmorska visina stanica varira između 85 i 202 m n. m. Zaključak da je snježni režim sličan na cijelom ravničarskom području sjeverne Hrvatske značajan je za vršenje hidroloških analiza. Na osnovi nekoliko reprezentativnih stanica (između pet i deset), koje će tek trebati izabrati detaljnim analizama te opremiti suvremenom tehnologijom za mjerenje snježnog pokrivača bit će moguće pratiti ne samo snježni režim na tom širokom prostoru, već će biti moguće i osigurati izučavanje uloge snijega na vodne resurse, prije svega podzemnih voda i vlage u tlu u tom području ključnom za poljoprivrednu proizvodnju Hrvatske.

Tablica 5 Karakteristični (najraniji, srednji i najkasniji) datumi početka i kraja pojave snježnog pokrivača

DATUM U GODINI	ZAGREB-GRIČ 1895./1896.-2009./2010.	OSIJEK 1899./1900.-2009./2010.	ZAVIŽAN 1953./1954.-2009./2010.
Najraniji datum početka	15. X.	3. XI.	4. IX.
Srednji datum početka	13. XII.	14. XII.	14. X.
Najkasniji datum početka	27. II.	22. II.	22. XI.
Najraniji datum kraja	16. XII.	21. XI.	23. IV.
Srednji datum kraja	27. II.	27. II.	15. V.
Najkasniji datum kraja	14. IV.	19. IV.	1. VII.

5. POČETAK I KRAJ POJAVE SNJEŽNOG POKRIVAČA

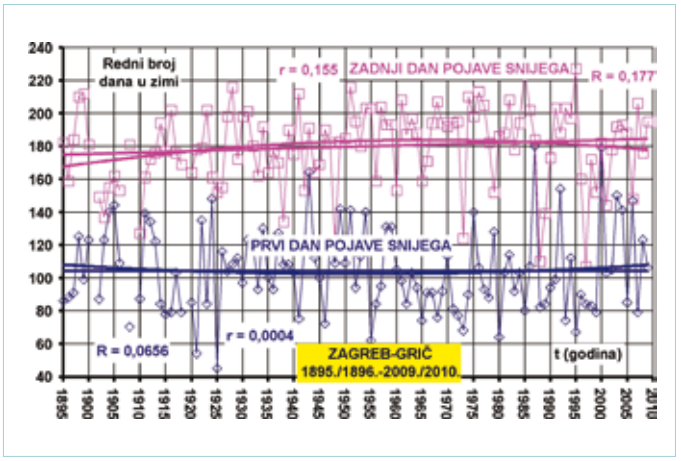
U cijelom razdoblju mjerenja od 1885./1886. do 2009./2010., dakle u ukupno 115 godina na stanici Zagreb-Grič snijega nije bilo tijekom sljedeće četiri godine: 1.) 1901./1902.; 2.) 1907./1908.; 3.) 1909./1910.; 4.) 1919./1920. U cijelom razdoblju mjerenja od 1899./1900. do 2009./2010., dakle u ukupno 111 godina, na stanici Osijek snijega nije bilo tijekom sljedeće dvije godine: 1) 1919./1920.; 2) 1934./1935. Na stanici Zavižan snijeg se pojavio tijekom svih godina u razdoblju opažanja od 1953./1954. do 2009./2010., dakle u 57 godina.

U okviru ovog poglavlja izvršit će se analiza datuma pojave snježnog pokrivača (prvi i posljednji dan) na tri stanice na kojima se raspolaže s dužim i relativno pouzdanim vremenskim nizovima mjerenja. S tom svrhom kao preduvjet omogućavanja numeričke analize u tablici 4 navedeni su odnosi datuma i rednog broja dana u godini. Uočava se da je odbrojavanje razdoblja započelo s 1. rujnom. Tom danu je dodijeljen redni broj 1. Na taj izbor je utjecala činjenica što se prvi snijeg, opažen na stanici Zavižan, pojavio 29. kolovoza 1995. U tablici 5 navedeni su karakteristični (prvi, srednji i posljednji) datumi početka i kraja pojave snježnog pokrivača na tri analizirane stanice.

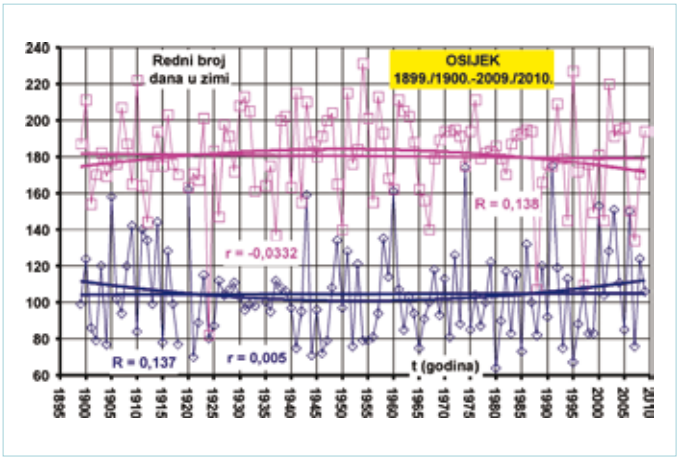
Slika 9 predstavlja grafički prikaz prvog (modra boja) i zadnjeg (ljubičasta boja) dana pojave snježnog pokrivača na stanici Zagreb-Grič u razdoblju 1895./1896.-2009./2010. Na slici su ucrtani pravci linearne regresije i krivulje definirane parabolom drugog reda. Ujedno su upisane i vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r, kao i indeksa nelinearne korelacije, R. Treba naglasiti da trendovi nisu statistički značajni, što bi moglo uputiti na zaključak da na stanici Zagreb-Grič tijekom razdoblja za koje se raspolagalo s mjerenjima nije došlo do promjena režima pojavljivanja i nestajanja snježnog pokrivača.

Slika 10 predstavlja grafički prikaz prvog (modra boja) i zadnjeg (ljubičasta boja) dana pojave snježnog pokrivača na stanici Osijek u razdoblju 1899./1900.-2009./2010. Na slici su ucrtani pravac linearne regresije i regresijski odnos definiran parabolom drugog reda. Ujedno su upisane i vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r, kao i indeksa nelinearne korelacije, R. Treba naglasiti da ni na ovoj stanici trendovi nisu statistički značajni, što bi moglo uputiti na zaključak da niti na njoj tijekom razdoblja za koje se raspolagalo s mjerenjima nije došlo do promjena režima pojavljivanja i nestajanja snježnog pokrivača.

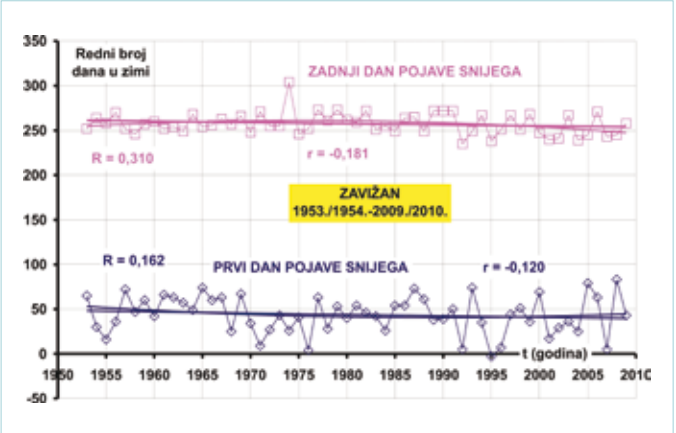
Slika 11 predstavlja grafički prikaz prvog (modra boja) i zadnjeg (ljubičasta boja) dana pojave snježnog pokrivača na stanici Zavižan u razdoblju 1953./1954.-2009./2010. Na slici su ucrtani pravac linearne regresije i regresijski odnos definiran parabolom drugog reda. Ujedno su upisane i vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r, kao i indeksa nelinearne korelacije, R. Zaključci



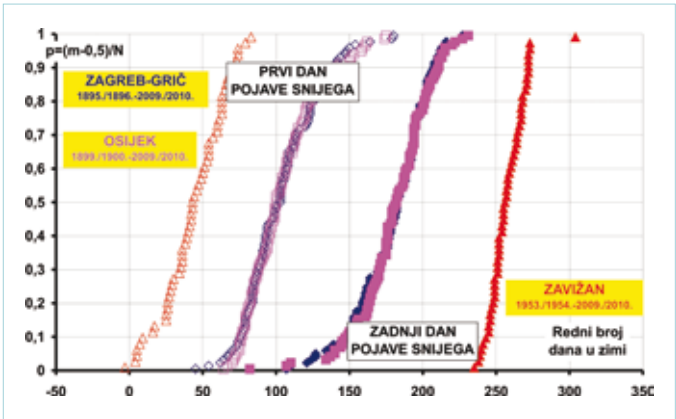
Slika 9 Grafički prikaz prvog (modra boja) i zadnjeg (ljubičasta boja) dana pojave snježnog pokrivača na stanici Zagreb-Grič u razdoblju 1895./1896.-2009./2010.



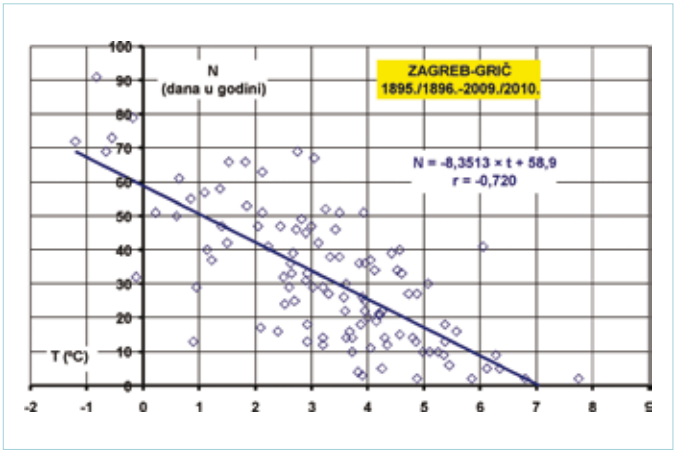
Slika 10 Grafički prikaz prvog (modra boja) i zadnjeg (ljubičasta boja) dana pojave snježnog pokrivača na stanici Osijek u razdoblju 1899./1900.-2009./2010.



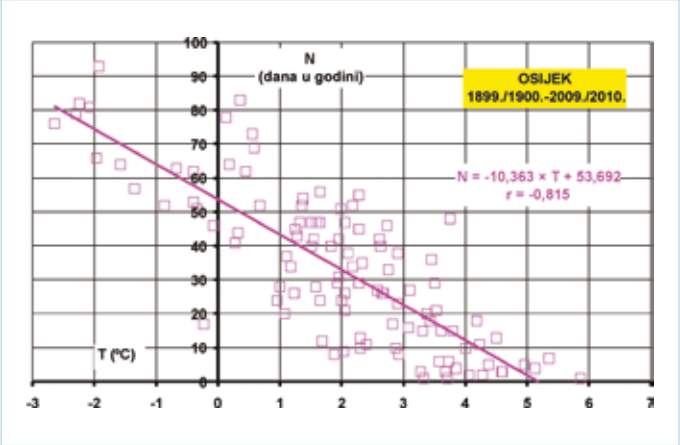
Slika 11 Grafički prikaz prvog (modra boja) i zadnjeg (ljubičasta boja) dana pojave snježnog pokrivača na stanici Zavižan u razdoblju 1953./1954.-2009./2010.



Slika 12 Grafički prikaz šest empirijskih krivulja vjerojatnosti prvog i zadnjeg rednog broja dana pojave snježnog pokrivača na tri analizirane stanice.



Slika 13 Odnos godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i srednje temperature zraka, T, od prosinca do ožujka opaženih na stanici Zagreb-Grič u razdoblju 1895./1896.-2009./2010.



Slika 14 Odnos godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i srednje temperature zraka, T, od prosinca do ožujka opaženih na stanici Osijek u razdoblju 1899./1900.-2009./2010.

koji se mogu izvesti na osnovi analiza podataka stanice Zavižan vrlo su slični onima izvedenim na prethodne dvije stanice. Ipak, treba ukazati na to da je trend zadnjeg dana pojave snježnog pokrivača (modra boja) ukazao da se u posljednjih dvadesetak godina (počevši oko 1992./1993.) snježni pokrivač topi nešto ranije.

Na slici 12 prikazano je šest empirijskih krivulja vjerojatnosti pojave prvog i zadnjeg dana snježnog pokrivača na tri analizirane stanice. Vjerojatnost, p, definirana je sljedećim izrazom za kompromisnu vjerojatnost koji glasi:

$$p = (m - 0{,}5)/N \qquad (3)$$

pri čemu je, m, redni broj u analiziranom vremenskom nizu sortiranom kao niz u porastu, N, ukupan broj podataka niza (za Zagreb-Grič N=111; za Osijek N=109, za Zavižan N=57). Modrom bojom označeni su podatci za Zagreb-Grič, ljubičastom za Osijek, a crvenom za Zavižan. Pune oznake se odnose na zadnji dan, dok se prazne odnose na prvi dan pojave snježnog pokrivača. I iz ove analize moguće je zaključiti o vrlo sličnom režimu pojave snježnog pokrivača na stanicama Zagreb-Grič i Osijek.

6. ODNOS TEMPERATURE ZRAKA I BROJA DANA SA SNJEŽNIM POKRIVAČEM

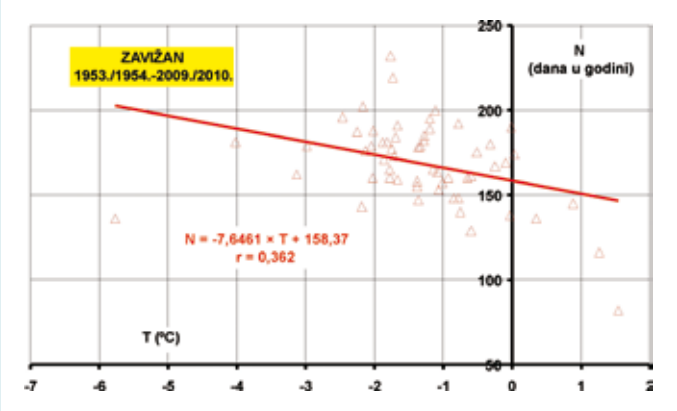
Pojava i zadržavanje snježnog pokrivača na nekoj lokaciji posljedica je brojnih čimbenika o čemu je prethodno bilo govora. Međutim, dominantni faktor koji upravlja ovim procesom ipak predstavlja temperatura zraka. Kako je problematika globalnog zagrijavanja jedna od najaktualnijih u svijetu, smatralo se važnim izučiti postojeće odnose pojave snježnog pokrivača i temperatura zraka. Zbog toga će u ovom poglavlju biti analiziran odnos godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, sa srednjom temperaturom zraka, T, tijekom razdoblja njegove pojave.

Slika 13 daje grafički prikaz odnosa godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i srednje temperature zraka, T, od prosinca do ožujka opaženih na stanici Zagreb-Grič u razdoblju 1895./1896.-2009./2010. Visoka vrijednost koeficijenta linearne korelacije u iznosu od r=-0,720 svjedoči o zavisnosti snježnog režima o srednjoj temperaturi zraka u hladnom dijelu godine (od prosinca do ožujka). Treba napomenuti da je ispitana veza sa srednjom temperaturom zraka, uključujući razdoblje studeni-ožujak, te da se ta veza pokazala slabijom od one koja je prikazana na slici 13.

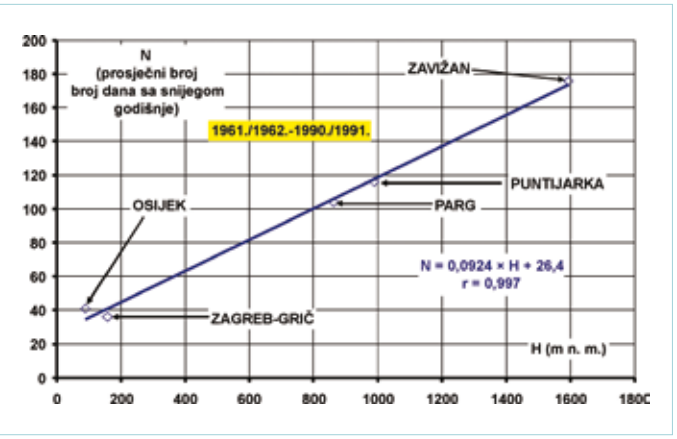
Slika 14 predstavlja grafički prikaz odnosa godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i srednje temperature zraka, T, od prosinca do ožujka opaženih na stanici Osijek u razdoblju 1899./1900.-2009./2010. U ovom je slučaju vrijednost koeficijenta linearne korelacije još viša nego na stanici Zagreb-Grič te iznosi r=-0,815, što također svjedoči o zavisnosti snježnog režima, o srednjoj temperaturi zraka u zimskim mjesecima (od prosinca do ožujka). Treba napomenuti da je i u ovom slučaju ispitana veza sa srednjom temperaturom zraka, uključujući razdoblje studeni-ožujak te da se ta veza pokazala slabijom od one koja je prikazana na slici 14.

Slika 15 predstavlja grafički prikaz odnosa godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i srednje temperature zraka, T, od prosinca do ožujka opaženih na stanici Zavižan u razdoblju 1953./1954.-2009./2010. U ovom je slučaju vrijednost koeficijenta linearne korelacije mnogo niža te iznosi r=-0,362, što svjedoči da na trajanje snježnog pokrivača u ovom slučaju značajno utječu i brojni drugi klimatski čimbenici.

Poznato je da se temperatura zraka snižava s porastom nadmorske visine. Stoga je bilo interesantno ispitati odnos između prosječnog godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i nadmorske visine stanica, H. U tablici 6 upisane su vrijednosti prosječnog broja dana godišnje sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, izmjerenim na pet stanica tijekom razdoblja od sljedećih trideset godina 1961./1962.-1990./1991. Na slici 16 dat je grafički prikaz odnosa prethodno spomenutog godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i nadmorske visine stanice, H. Uočava se vrlo čvrsta veza s koeficijentom linearne korelacije r=0,997. S porastom visine od 100 m raste prosječan broj dana sa snježnim pokrivačem za oko 9 dana godišnje. Podatci o broju dana, N, za stanice Parg, Puntijarka i Zavižan uzeti su iz rada Gajić-Čapka (2011.). Treba napomenuti da su prethodno analizirani odnosi daleko složeniji u pojedinim regijama Hrvatske te se dobiveni odnos ne preporuča koristiti općenito za cijelu Hrvatsku.



Slika 15 Odnos godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i srednje temperature zraka, T, od listopada do ožujka opaženih na stanici Zavižan u razdoblju 1953./1954.-2009./2010.



Slika 16 Odnos prosječnog godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, i nadmorske visine stanice, H, u razdoblju 1961./1962.-1990./1991.

Tablica 6 Prosječni godišnji broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, izmjeren na pet stanica u razdoblju 1961./1962.-1990./1991.

NAZIV STANICE	H (m n. m.)	N (dana)
OSIJEK	89	41
ZAGREB-GRIČ	157	36
PARG	863	104*
PUNTIJARKA	988	116*
ZAVIŽAN	1594	176*

*Podatci preuzeti iz rada Gajić-Čapka (2011.)

7. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Analize izvršene u ovom radu ukazale su da ne postoji statistički značajno smanjenje niti jedne od ispitivanih karakteristika snijega. U članku su analizirane klimatski različite lokacije. Jedna stanica ima planinsku klimu (Zavižan). Dvije se nalaze u kontinentalnom području, od kojih je jedna (Zagreb-Grič) pod snažnim utjecajem učinka urbanizacije, dok je druga smještena u ravničarskom području s kontinentalnom klimom. Određeni trend snižavanja godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem višim ili jednakim od 1 cm, N, je uočen, ali on nije statistički značajan. Štoviše, analize su pokazale da ova karakteristika snježnog pokrivača u posljednjih tridesetak godina ima gotovo identičnu vrijednost s onom u razdoblju do 1939. godine za stanicu Zagreb-Grič i do 1938. za stanicu Osijek te za razdoblje do 1964. godine za stanicu Zavižan. Što se maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača H_{MAX}, tiče, zaključci su identični.

Analize izvršene u radu ukazale su da je režim snježnog pokrivača na ravničarskom području sjeverne Hrvatske vrlo sličan, što na određen način omogućava njegovo jednostavnije regionalno praćenje. Treba naglasiti da se korištenjem Klimatskog atlasa Hrvatske (Zaninović i sur. 2008.) uočilo da i na tom području postoje razlike ovisno o geografskoj širini i nadmorskoj visini, što sigurno ima utjecaja na hidrološki režim, posebice na vodni režim malih slivova u području između Drave i Save. Potreba organiziranja detaljnijeg regionalnog monitoringa na području žitnice Hrvatske od velikog je značaja.

Uloga snijega u Hrvatskoj nije prepoznata niti kao čimbenika vezanog s upravljanjem vodnim resursima (poplavama, opskrbom vodom, kontrolom vlage u tlu, utjecajem na rezerve podzemne vode itd.) niti vezano s poljoprivrednom proizvodnjom, a najmanje kao ekološkog faktora. Takovo stanje treba promijeniti. Želja autora je da ovim radom potaknu druge istraživače da svojim multidisciplinarnim istraživanjima pridonesu rasvjetljavanju ove zapostavljene problematike, ali vrlo važne za našu zemlju. Velik problem za bolje rasvjetljavanje problematike predstavlja činjenica nedovoljnih i nepreciznih mjerenja karakteristika snijega ne samo kod nas nego i općenito, a poseban je problem to što niti teoretski aspekti interdisciplinarne uloge snijega na okoliš nisu dovoljno istraženi.

Zanimljivo je usporediti neke u svjetskoj literaturi objavljene rezultate o trendovima ponašanja snijega na drugim krajevima planete s onima koje smo mi polučili. Laternser i Schneebeli (2003.) su ustanovili da srednja godišnja visina snježnog pokrivača i neprekinuto trajanje snježnog pokrivača tijekom razdoblja 1931.-1999. u Švicarskoj pokazuje trend postepenog porasta do osamdesetih godina dvadesetog stoljeća te da poslije toga nastupa statistički značajan trend snižavanja. Po regijama, kao i na raznim visinama, varijacije su značajne.

Pons i sur. (2010.) su analizirali trendove nizova broja dana sa snježnim pokrivačem mjerene na 33 stanice na sjeveru Španjolske raspodijeljenih na nadmorskim visinama od 60 do 1350 m n. m. Ustanovili su statistički značajan trend smanjenja koji započinje sredinom sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća.

Analizirajući nizove broja dana sa snježnim pokrivačem višim od 1 cm i maksimalnih godišnjih visina snježnog pokrivača došlo se do zaključka da postoji statistički neznačajni trend opadanja. Pri tome je snažnije opadanje primijećeno tek u drugoj polovici stoljeća. Zanimljivo je navesti zaključak da značajni trend porasta zimskih temperatura ne prati isto tako intenzivan pad analiziranih karakteristika snježnog pokrivača. Povećana je i varijabilnost spomenutih karakteristika snježnog pokrivača, ali i temperatura zraka tijekom godine u drugoj polovici dvadesetog stoljeća u odnosu na njegovu prvu polovicu.

LITERATURA

Albert, M. R., Krajeski, G. N. (1998.) A fast physically-based point snow distributed applications. *Hydrological Processes* 12(10-11): 1809-1824.

Bednorz, E. (2004): Snow cover in eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation. *International Journal of Climatology* 24(5): 591-601.

Beniston, M., Keller, F., Goyette, S. (2003.) Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. *Theoretical and Applied Climatology* 74(1-2): 19-31.

Bonacci, O. (2010.) Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj. *Građevinar* 62(9): 781-791.

Brown, R. D., Petkova, N. (2007.): Snow covers variability in Bulgarian mountainous regions, 1931-2000. *International Journal of Climatology* 27(9): 1215-1229.

DeWalle, D. R., Rango A. (2010.) *Principles of Snow Hydrology.* Cambridge University Press, Cambridge.

Dozier, J. R. (2011.) Mountain hydrology, snow color, and the fourth paradigm. *EOS* 92(43): 373-374.

Dozier, J. R., Green, O., Nolin, A. W., Painter, T. H. (2009.) Interpretation of snow properties from imaging spectrometry. *Remote Sensing of Environment* 113: S25-S37.

Dozier, J. R., Painter, T. H., Rittiger, K., Frew, J. E. (2008.) Time-space continuity of daily maps of fractional

snow cover and albedo. *Advances in Water Resources* 31: 1515-1526.

Falarz, M. (2004.): Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century. *International Journal of Climatology* 24(13),: 1713-1727.

Frei, A., Robinson, D. A. (1999.): Northern Hemisphere snow extent: regional variability 1972-1994. *International Journal of Climatology* 19(14): 1535-1560.

Gajić-Čapka, M. (2011.): Snow climate baseline conditions and trends in Croatia relevant to winter tourism. *Theoretical and Applied Climatology* 105(1-2), 181-191.

Garbrecht, J., Fernandez, G. P. (1994.) Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin* 30(2): 297-306.

Gutmann, E. D., Larson, K. M., Williams, M. W., Nievinski, F. G., Zavorotny, V. (2012.) Snow measurement by GPS interferometric reflectometry: an evaluation at Niwot Ridge, Colorado. *Hydrological Processes* (early view - u tisku.)

Hantel, M., Ehrendorfer, M., Haslinger, M. (2000.): Climate sensitivity of snow cover duration in Austria. *International Journal of Climatology* 20(6): 615-640.

Henderson, G. R., Leathers, D. J. (2010.) European snow cover extent variability and associations with atmospheric forcings. *International Journal of Climatology* 30(10): 1440-1451.

Kustos, W. P., Rango, A., Uijlenhoet R. (1994.): A simple energy budget algorithm for the snowmelt runoff model. *Water Resources Research* 30(5):1515-1527.

Laternser, M., Schneebeli, M. (2003.): Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology* 23(7): 733-750.

Leavesley, G. H., Lichty, R. W., Troutman, B. M., Saindon, L. G. (1983.): Precipitation-runoff modelling system: User's manual. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations report 83-4238.

Lundberg A., Halldin, S. (2001.) Snow measurement techniques for land-surface-atmosphere exchange studies in boreal landscapes. *Theoretical and Applied Climatology* 70(1-4): 215-230.

MZOPUG (2009.): Global climate change – Observed climate change in Croatia – Air temperature, in: Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction (MZOPUG), 137–144, http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/4903.php

Pons, M. R., San-Martin, D., Herrera, S., Gutiérrez, J. M. (2010.): Snow trends in Northern Spain: analyses and simulation with statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology* 30(12): 1795-1806.

Singh, P., Singh, W. P. (2001.) *Snow and Glacier Hydrology.* Kluwer Academic, Dordrecht

Viessman, W. Jr., Knapp, J. W., Lewis, G. L., Harbaugh, T. E. (1977.): *Introduction to Hydrology*. Harper & Row, New York

Zaninović K, Gajić-Čapka M, Perčec Tadić M, Vučetić M, Milković J, Bajić A, Cindrić K, Cvitan L, Katušin Z, Kaučić D, Likso T, Lončar E, Lončar Ž, Mihajlović D, Pandžić K, Patarčić M, Srnec L, Vučetić V. (2008) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000. Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod, str. 200

Ward R.C., Robinson, M. (1990.) *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, London

HYDROLOGICAL ASPECTS OF SNOW OCCURRENCE IN CROATIA

Abstract. The aim of this paper was to identify the connection between snow characteristics and hydrological processes in Croatia. One chapter is dedicated to the role of snow in hydrology. The following snow characteristics were analyzed in detail: 1) Number of days per year with snow cover deeper than or equal to 1 cm; 2) maximum annual depth of snow cover; 3) dates of start and end of snow cover occurrence. The analyzed data were measured at the following three stations (periods covered by analysis are in brackets): 1) Zagreb-Grič (1895/1896-2009/2010); 2) Osijek (1899/1900-2009/2010); 3) Zavižan (1954/1955-2009/2010). The relation between air temperature during the cold part of the year and the number of days with snow cover deeper than or equal to 1 cm was analyzed. The relation between annual average number of days with snow cover deeper than or equal to 1 cm and altitude in Croatia was defined. Based snow characteristics data measured at 21 stations in the lowland part of northern Croatia in the period between 2000-2009, it was determined that snow regime is similar in the whole lowland part of northern Croatia. Analyses conducted in this paper showed no statistically significant reduction in any investigated snow characteristic. A trend of reduction in annual days with snow cover deeper than or equal to 1 cm has been observed, but is not statistically significant.

Key words: snow cover, maximum snow cover depth, snow hydrology, Croatia

HYDROLOGISCHE ASPEKTE DER SCHNEEFÄLLE IN KROATIEN

Zusammenfassung. Das Ziel der Untersuchung war die Schneeeigenschaften in Kroatien mit hydrologischen Prozessen zu verbinden. Ein Kapitel ist der Rolle von Schnee in der Hydrologie gewidmet. Die folgenden Schneeeigenschaften sind detailliert analysiert worden: 1) Anzahl von Tagen pro Jahr mit Schneedecke mit einer Höhe von $\geq$ 1cm; 2) maximale jährliche Höhe der Schneedecke; 3) Zeitangaben über Beginn und Ende der Schneebedeckung. Die analysierten Angaben wurden auf drei Stationen gemessen: Zagreb-Grič (im Zeitraum zwischen 1895/1896 und 2009/2010), Osijek (1899/1900-2009/2010) und Zavižan (1954/1955-2009/2010). Das Verhältnis der Lufttemperatur in der kalten Jahreszeit zur Anzahl von Tagen mit Schneedecke mit einer Höhe von $\geq$ 1cm wurde analysiert. Das Verhältnis der durchschnittlichen jährlichen Anzahl von Tagen mit Schneedecke mit einer Höhe von $\geq$ 1cm zur Meereshöhe ist definiert worden. Auf Grund der Angaben über die Schneeeigenschaften, die auf 12 Stationen im Flachland im Norden Kroatiens im Zeitraum 2000-2009 gemessen wurden, konnte festgestellt werden, dass das Schneeregime im ganzen Flachland auf dem Gebiet Nordkroatiens ähnlich ist. Die Analysen zeigten keine statistisch signifikante Verminderung einzelner untersuchten Schneeeigenschaften. Obwohl ein gewisser Trend zur Verminderung von Anzahl der Tage mit Schneedecke mit einer Höhe von $\geq$ 1cm zwar wahrzunehmen ist, ist diese Verminderung nicht statistisch signifikant.

Schlüsselwörter: Dauer der Schneebedeckung, maximale Schneedeckenhöhe, Lufttemperatur, Schneehydrologie, Kroatien