

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Sanja Barković-Parsons

DIPLOMSKI RAD
ANALIZA KIŠNE SJENE OKO SOUTHAMPTONA

Mentor:

Prof. dr. Branko Grisogono

ZAGREB, 2009.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. TEORIJSKE OSNOVE.....	4
2.1. VLAŽNOST ZRAKA.....	4
2.2. FORMIRANJE OBLAKA	6
2.3. FORMIRANJE OBORINE	8
2.3.1. KOLIZIJA-KOALESCENCIJA.....	9
2.3.2. BERGERONOV PROCES.....	10
2.4. METODA ANALIZE VARIJANCE	10
3. USPOREDBA KOLIČINE OBORINE U SOUTHAMPTONU S OKOLICOM	15
3.1. ZAMISAO ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA.....	16
3.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA	18
3.2.1. PROSTORNA RASPODJELA PODATAKA.....	18
3.2.2. VREMENSKA RASPODJELA PODATAKA.....	19
3.2.3. PROBLEMI S PODACIMA.....	20
3.3. OBRADA PODATAKA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	21
3.3.1. ANALIZA VARIJANCE BROJA DANA S OBORINOM.....	21
3.3.2. ANALIZA VARIJANCE PO SEZONAMA I KOLIČINI OBORINA.....	23
3.3.3. DISKUSIJA	26
4. PREGLED RADOVA O UTJECAJU BREŽULJAKA NA OBORINE.....	28
4.1. EMPIRIJSKI RADOVI	30
4.1.1. OROGRAFSKO POJAČANJE PRED-TOPLOFRONTALNIH OBORINA U JUŽNOJ NOVOJ ENGLSKOJ.....	30
4.1.2. POJAČANJE OBORINE PREKO BREŽULJAKSTOG LANCA WAITAKERE (NOVI ZELAND).....	33
4.1.3. OROGRAFSKI UTJECAJ NA OBORINE TIJEKOM ZIME NA POLUOTOKU AVALON (KANADA).....	36
4.1.4. RADARSKI DOKAZ OROGRAFSKOG POJAČANJA MEHANIZMOM JEZGARA I HRANJENJA	41
4.2. TEORIJSKI RADOVI.....	44
4.2.1. MODEL OROGRAFSKOG POJAČANJA SNIJEGA MEHANIZMOM JEZGARA I HRANJENJA	45
4.2.2. UTJECAJ NISKIH BREŽULJAKA NA OBORINE.....	48
4.2.3. UTJECAJ VJETRA I TOPOGRAFIJE NA RASPODJELU OBORINE U ŠVEDSKOJ: STATISTIČKA ANALIZA I MODELIRANJE.....	52
6. ZAKLJUČAK.....	57
7. LITERATURA I BIBLIOGRAFIJA.....	60
PRILOG 1.....	63
PRILOG 2.....	64
PRILOG 3.....	66
PRILOG 4.....	67
PRILOG 5.....	69
PRILOG 6.....	71
PRILOG 7.....	73
PRILOG 8.....	75

1. UVOD

Autorica rada već duže vrijeme živi u Southamptonu u Engleskoj i postala je, kao i većina Engleza, opsjednuta vremenom i vremenskom prognozom. Nakon nekoliko godina života u Southamptonu, primijetila je neke zanimljive karakteristike vremena koje je pripisala mikroklimi tog mjesta. Kako Englezi vole razgovarati o vremenu, tako je i autorica u nekoliko navrata lokalnim ljudima spomenula da joj se čini da u Southamptonu pada relativno malo kiše. Štoviše, ne samo malo, nego i manje od susjednih gradova. Njihova reakcija je uvijek bila potpuno slaganje s tim zapažanjima, a neki su čak spomenuli kako su takve stvari čuli i u školi, iako nisu bili sigurni da li je to bilo osobno mišljenje njihovih učitelja ili generalno prihvaćena teorija. To je autoricu potaknulo da pokuša utvrditi da li ti „lokalni mitovi“ imaju neke osnove u znanosti, ili se jednostavno svima samo tako čini. Tako je nastala ideja o ovom radu.

Teorijska osnova za takvu pretpostavku proističe iz činjenice da Southampton leži praktično na razini mora, a okružen je brežuljcima sa zapada i sjevera. Utjecaji terena na oborine dobro su poznati. Najizraženiji utjecaj imaju visoka brda i planine, gdje nalazimo orografsko stvaranje oborina na navjetrinskoj strani. Utjecaj brežuljaka manje je istražena, ali definitivno zapažena pojava, prvenstveno kod meteorologa koji se bave opisima mikroklima (Smith 1979). Istraživanja utjecaja brežuljaka na oborine provedena su u Norveškoj, Americi, Novom Zelandu i Velikoj Britaniji i, bazirano na rezultatima tih istraživanja, autorica je odlučila provjeriti da li se sličan efekt može utvrditi za Southampton. Istovremeno će se provjeriti postoji li utjecaj otoka Isle of Wight.

Drugo poglavlje obuhvatit će teorijske osnove na kojima se zasniva ovaj rad. Izložiti će se način nastanka oblaka i oborine, kao i statistička metoda analize varijance koja se koristi za obradu podataka.

U trećem poglavlju prvo će se razraditi pojedinosti vezane uz zemljopisni položaj Southamptona i teren njegove okolice. Nakon toga razmotriti će se glavne ideje oko hipoteze istraživanja i prodiskutirati kako je do nje došlo, te ju znanstveno utemeljiti i uobličiti. Definirati će se i objasniti pojmovi korišteni u hipotezi te ukratko izložiti predviđene metode istraživanja. Zatim se obrađuje postupak prikupljanja

podataka: razmatra se kakvi bi podaci bili potrebni te zahtjevi na njihovu prostornu i vremensku raspodjelu. Izložiti će se praktični problemi na koje se naišlo kod prikupljanja podataka i pokazati kako je provedena selekcija podataka i kakvi su podaci na kraju korišteni u istraživanju. Poglavlje završava analizom podataka i tumačenjem dobivenih rezultata.

U četvrtom poglavlju izloženi su odabrani članci koji se bave tematikom pojačanja oborine preko malih brežuljaka mehanizmom jezgara i hranjenja. Za odabir članaka upotrijebljeno je nekoliko kriterija. Pokušao se postići dobar presjek do sada rađenih istraživanja, tako da ti članci dobro predstavljaju sveukupna istraživanja koja su na tu temu rađena, a da se izbjegnu nepotrebna ponavljanja. Težište se pokušalo staviti na novije spoznaje, pa iz tog razloga najranija istraživanja nisu kompletno izložena nego su samo mjestimično spomenuta. Isto tako, naglasak je na mehanizmu jezgara i hranjenja jer je to najznačajniji, ali nipošto jedini mehanizam za pojačanje oborine preko brežuljaka.

Peto poglavlje sastoji se od zaključaka do kojih se u ovom radu došlo. Razmatraju se nedostaci istraživanja oborine u Southamptonu koje je izloženo u trećem poglavlju, poglavito što se tiče nedostatka podataka. Predlažu se metodološka poboljšanja za eventualna buduća istraživanja. Daje se i jedan kratki presjek radova razmatranih u četvrtom poglavlju, prepoznaju se zajednički rezultati i iznose ideje koje bi se iz tih istraživanja mogle primjeniti na situaciju Salisbury-Southampton.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Ovo istraživanje bavi se oborinom, pa će se u ovom poglavlju ukratko razmotriti teorija vezana za vlažnost zraka i nastanak oblaka i oborine te teorija analize varijance koja će biti uporabljena za obradu podataka.

2.1. VLAŽNOST ZRAKA

Zrak je smjesa plinova, a jedan od tih plinova je vodena para. Vodena para dio je hidrološkog ciklusa kruženja vode na Zemlji i u zrak dolazi isparavanjem. To je spontani proces kod svih temperatura, a njegova brzina ovisna je o temperaturi, odnosno brzini gibanja molekula u vodi ili ledu. Zrak ne može sadržavati neograničenu količinu vodene pare i maksimalna količina vlage u zraku ovisi o temperaturi zraka. Tlak vodene pare opisuje vlažnost zraka, i najveći tlak što para može poprimiti pri određenoj temperaturi naziva se zasićeni ili ravnotežni tlak E .

Ravnotežni tlak vodene pare moguće je prikazati Clausius-Clapeyronovom jednačinom koja se zasniva na činjenici da se u procesima isparavanja i kondenzacije mijenja temperatura zbog oslobađanja, odnosno vezanja latentne topline, a ravnotežni tlak mijenja se s temperaturom po relaciji

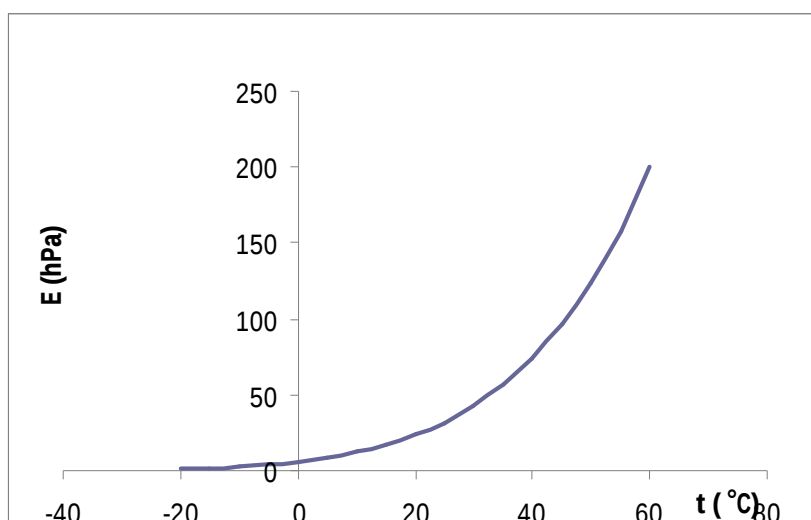
$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)} \quad (1)$$

gdje je p tlak, T temperatura, V_1 volumen vodene pare, V_2 volumen zraka, a L latentna toplina isparavanja.

U praksi se uglavnom koristi Magnus-Tetensova empirijska formula

$$E = c_1 \exp\left(\frac{c_2 t}{c_3 + t}\right) \quad (2)$$

gdje je E ravnotežni tlak vodene pare, t je temperatura zraka u $^{\circ}\text{C}$, $c_1=6.11\text{hPa}$ (ravnotežni tlak vodene pare pri 0°C), c_2 i c_3 konstante ovisne o stanju vodene površine (za vodu $c_2=17.1$, $c_3=234.2^{\circ}\text{C}$ kad je $t>0^{\circ}\text{C}$ i $c_3=245.4^{\circ}\text{C}$ kad je $t<0^{\circ}\text{C}$, za led $c_2=22.4$, $c_3=272.4^{\circ}\text{C}$). Grafički prikaz te ovisnosti vidi se na Slici 1.



Slika 1. Ovisnost ravnotežnog tlaka vodene pare o temperaturi je eksponencijalna.

Apsolutna vlažnost je masa vodene pare u jediničnom volumenu zraka, ali mjera vlažnosti koja se najčešće koristi u meteorologiji je relativna vlažnost. Relativna vlažnost (u) je omjer stvarnog (e) i ravnotežnog (E) tlaka vodene pare izražen u postocima:

$$u = \frac{e}{E} \cdot 100\% \quad (3)$$

Kada relativna vlažnost dostigne 100% dolazi do zasićenja i višak vlage vraća se u tekuće (ili kruto) stanje. Ako je relativna vlažnost blizu 100% (recimo, >90%) hlađenjem (na primjer zbog dizanja zraka) može doći do postizanja temperature rosišta t_R :

$$t_R = \frac{c_3(\ln E - \ln c_1)}{c_2 - (\ln E - \ln c_1)} [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

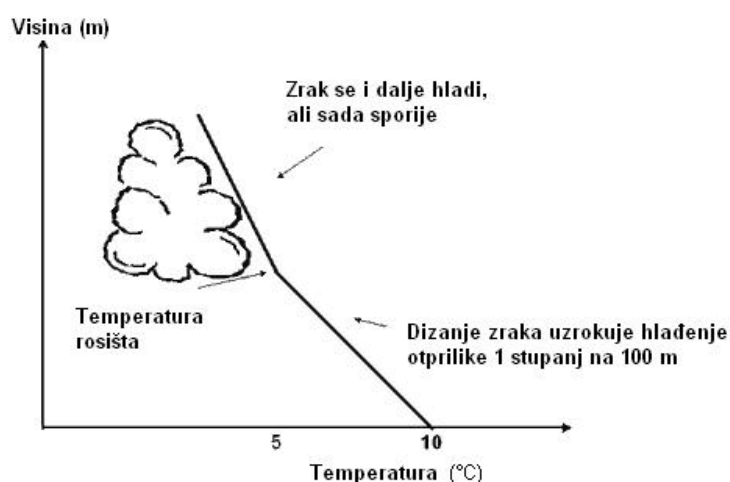
Rosište je temperatura na koju u izobarnom procesu treba ohladiti zrak da bi raspoloživa vodena para postala zasićena i na toj temperaturi nastupa kondenzacija. Takvo hlađenje obično se događa tokom mirnih i vedrih noći ili zimi i zbog toga se rosa ili mraz nađu rano ujutro i kasno popodne i navečer, a ne preko dana. Ako je

temperatura rosišta veća od 0°C nastati će rosa, a ako je manja od 0°C može nastati mraz. Danju do hlađenja može doći zbog dizanja zraka ili advekcije hladnog zraka, tako da je relativna vlažnost dobar pokazatelj mogućnosti stvaranja oblaka i oborine. Isto tako do zasićenja može doći i zbog advekcije vlažnog zraka. U tom slučaju ne promijeni se temperatura nego količina vlage u zraku, pa time i tlak vodene pare. Ako je relativna vlažnost već bila visoka, advekcija vlažnog zraka može uzrokovati zasićenost.

2.2. FORMIRANJE OBLAKA

Vodena para jedan je od plinova u atmosferi i, kao i ostali plinovi, nevidljiva je. Oblak je prostor u atmosferi u kojem je u velikoj mjeri došlo do pretvaranja vodene pare u tekuće ili kruto stanje. Rezultat su kapljice ili kristalići koji su vidljivi i koji u tom prostoru tvore oblak. Ako je do stvaranja oblaka došlo pri tlu, riječ je o magli.

Da bi došlo do stvaranja oblaka moraju biti prisutne jezgre ukapljivanja (ili kondenzacijske jezgre) ili jezgre depozicije (sublimacijske jezgre). To su sitne čestice prašine, soli ili dima koje upijaju vodenu paru i na kojima dolazi do kondenzacije/sublimacije ako je postignuta temperatura rosišta ili ravnotežni tlak vodene pare. Ako se zrak ugrije ili se vlažnost zraka smanji, kapljice/kristalići ispare, jezgre se osuše i oblak se raspline.



Slika 2. Stvaranje oblaka zbog dizanja zraka

(izvor: <http://www.metoffice.gov.uk/education/secondary/teachers/clouds.html>)

Kapljice i kristalići leda koji tako nastanu izuzetno su mali (promjera reda veličine stotinke milimetra) pa ih sila teža teško može privući; utjecaj struja i vjetrova na njih je jači. Poneke kapljice mogu ispasti iz oblaka, ali odmah ispare nakon što napuste područje zasićenosti. Najčešći uzrok nastanku oblaka je dizanje zraka. Za svaki plin vrijedi da pad tlaka uzrokuje njegovu ekspanziju, pa time i hlađenje. Pošto tlak zraka pada s visinom, pada i njegova temperatura; zrak se dizanjem hladi, i to otprilike $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ za svakih 100 m, kao što se vidi na Slici 2. Zasićeni zrak hladi se nešto sporije (otprilike $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m).

Postoji pet glavnih uzroka dizanja zraka:

1. **Orografsko dizanje.** Zrak nailazi na prepreku (planinu) i horizontalno gibanje ga prisiljava na dizanje. Ako je relativna vlažnost visoka, hlađenjem dolazi do zasićenja i stvaranja oblaka na navjetrinskoj strani. Na zavjetrinskoj strani zrak se spušta, grije i relativna vlažnost mu pada ispod 100%. Kapljice isparavaju i oblak nestaje.
2. **Frontalno dizanje.** U slučaju hladne fronte, hladni zrak se giba, nailazi na topli zrak i poput klina podiže topli, lakši zrak. Kod tople fronte, topli zrak se giba i nailazi na hladni koji je gušći i ponaša se kao prepreka. Zbog toga se topli zrak diže preko hladnog, slično kao kod orografskog dizanja. U oba slučaja dizanje toplog zraka može dovesti do stvaranja oblaka jer topli zrak može sadržavati više vodene pare koja se onda zbog hlađenja kondenzira.
3. **Konvekcija.** Sunce grije podlogu koja onda zrači toplinu i grije zrak s kojim je u kontaktu i topli zrak se diže. Konvekcija kao razlog nastajanja oblaka jače je izražena ljeti jer je Sunčevo zračenje tada najjače, uzrokuje brzo dizanje zraka i nastaju oblaci s jakim vertikalnim razvojem.
4. **Konvergencija.** Nekoliko zračnih struja konvergira u isto područje što uzrokuje dizanje. Konvergencija je uzrok formiranja oblaka kod ciklona.
5. **Turbulencija.** Nagle i stohastičke promjene brzine strujanja po visini uzrokuju turbulenciju u zraku što može dovesti do dizanja.

Osim dizanjem, zrak može izgubiti toplinu i radijacijom. Radijacija je najčešći uzrok hlađenja podloge po noći i tijekom hladnog dijela godine. Hlađenje tla uzrokuje hlađenje zraka koji je u direktnom kontaktu s njim i postoji mogućnost postizanja temperature rosišta. Tako nastaje radijacijska magla. Ujutro Sunce ponovo zagrije podlogu i magla se raspline.

Magla i niski, stratusni oblaci, mogu nastati i advekcijom. Topli, vlažni zrak se giba preko hladnije podloge, nastupa hlađenje zraka i kondenzacija.

2.3. FORMIRANJE OBORINE

Formiranje oblaka nije isto što i formiranje oborine i svi oblaci nisu oborinski oblaci. Oborina je bilo koji rezultat kondenzacije/sublimacije koji dođe do površine Zemlje (kiša, snijeg, tuča, susnježica, ledena kiša...), a nastaje iz oblaka ako postoje uvjeti za rast kapljica i kristalića. Glavni uvjet za nastanak oborine je kondenzacija/sublimacija, ali sama kondenzacija/sublimacija nije dovoljna. Dva glavna procesa formiranja oborine su kolizija-koalescencija i Bergeronov proces (proces ledenih kristala).

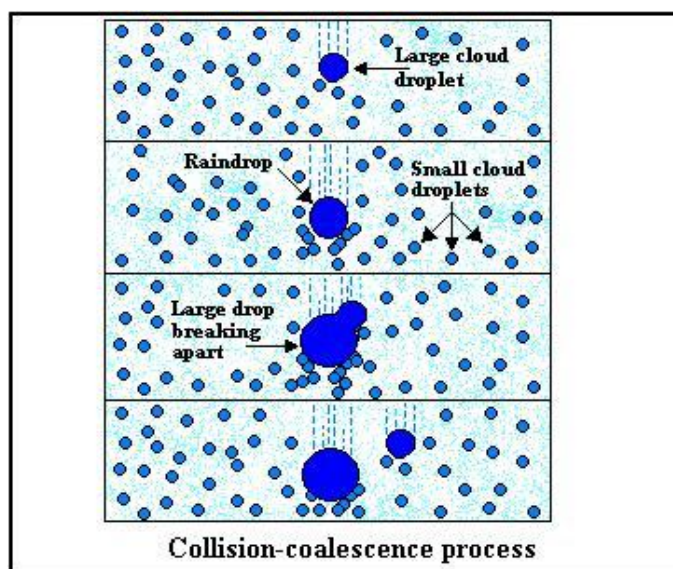
U prethodnom poglavlju već je spomenuto da su za kondenzaciju potrebne kondenzacijske jezgre. Jezgre su promjera svega $0.1\ \mu\text{m}$ do oko $3\text{--}4\ \mu\text{m}$, tako da su i kapljice koje se na njima formiraju promjera svega nekoliko μm . Takve male kapljice (i kristalići) rastu procesom kondenzacije, ali taj proces je dosta spor. Iako kondenzacija nastupa kod relativne vlažnosti 100%, zapravo je potrebna prezasićenost da bi taj proces postigao potrebnu efikasnost. Neke jezgre se kod stvaranja kapljica otapaju (recimo sol), i kod njih je kondenzacija pojačana. Proces rasta je ograničen s nekoliko faktora. Kondenzacija oslobađa latentnu toplinu što uzrokuje zagrijavanje, pa veće kapljice rastu sporije. Isto tako, što ima više kapljica to ima manje vodene pare, što znači da relativna vlažnost pada i proces se usporava.

Oborinske kapljice moraju biti veličine promjera barem $100\ \mu\text{m}$ da bi stigle do tla, i to iz niskih oblaka. Što je baza oblaka viša, to veća treba biti kapljica da bi stigla do tla. Ako su kapljice jako male, prelagane su i ne mogu se sudariti jer ne mogu istisnuti zrak između njih. Zbog toga kapljice na početku jedino rastu kondenzacijom vodene pare na njima. Kad kapljice na taj način dostignu veličinu promjera od

nekoliko desetaka μm , nastupaju drugi procesi koji znatno ubrzavaju, i zapravo omogućavaju nastanak oborine.

2.3.1. KOLIZIJA-KOALESCENCIJA

Procesi kolizije i koalescencije javljaju se u oblacima čija je temperatura iznad ledišta. Zrak u oblaku nije stacionaran, a strujanja uzrokuju gibanje kapljica. Ako su one dovoljno velike, dolazi do njihovog sudaranja. Za najefikasniji rast potrebne su kapljice različitih veličina. Ako se veće kapljice sudare s manjim, onda se s njima slijepe i taj proces zove se koalescencija. (Slika 3) Ako se sudare kapljice podjednake veličine, veća je vjerojatnost da će se prilikom sudara rasprsnuti u stvoriti više malih kapljica, koje su potrebne za veći rast.



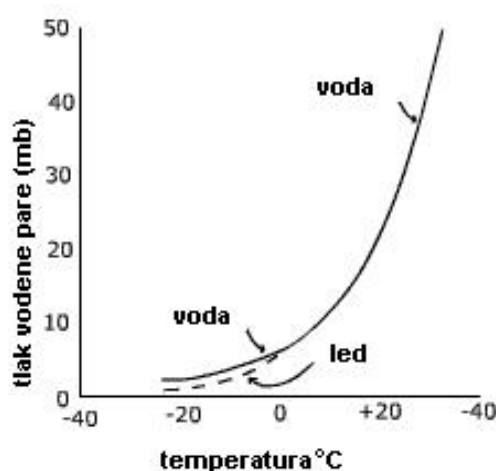
Slika 3. Kolizija i koalescencija – veća kapljica sudara se s manjima, sljepljuje se i raste

(http://www.srh.noaa.gov/ohx/educate/Chapter_5.html)

Ovaj proces rasta kapljica puno je brži od same kondenzacije i može u relativno kratkom vremenu stvoriti oborinske kapljice koje su dovoljno teške da svladaju uzlazne struje i ispadnu iz oblaka. O njihovoj veličini ovisi da li će stići do tla ili će ispariti prije. Oborinske kapljice su veličine promjera između otprilike 0.2 mm i 5 mm. Takve kapljice su dovoljno teške da padnu iz oblaka i stignu do zemlje, a još uvijek dovoljno male da se ne rasprsnu zbog brzine gibanja. Kapljice promjera većeg od oko 5 mm se pri padu i pri sudarima rasprskavaju.

2.3.2. BERGERONOV PROCES

Bergeronov proces ili proces ledenih kristala nastupa kad je temperatura oblaka ispod ledišta. To ne znači da se oblak sastoji samo od ledenih kristala, on je mješavina ledenih kristala i prehladnih kapljica. Naime, na temperaturama do -40°C voda u obliku jako malih kapljica, može postojati u tekućem obliku, i tek na -40°C se sve kapljice smrzavaju. U takvim uvjetima ledeni kristali rastu brže od, i na uštrb, prehladnih kapljica. Ravnotežni tlak vodene pare nad ledom je niži nego nad vodom (Slika 4.) pa je zbog toga moguće da se kapljica isparava, a vodena para koja tako nastane sublimira se na ledenom kristalu.



Slika 4. Usporedba zasićenog tlaka vodene pare nad vodom i nad ledom

(http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/atmospheric_moisture/precipitation.html)

Na taj način prehladne kapljice isparavaju, a ledeni kristalići rastu, formiraju snijeg i, kad su dovoljno teški, padaju prema tlu. Temperatura zraka najčešće raste prema tlu (ukoliko nema prizemnih ili uzdignutih inverzija ili izotermija), a ta temperatura određuje da li će ledeni kristali stići do površine u obliku snijega, susnežice ili kiše. Ako je temperatura pri tlu viša od 3°C , oborina koja je u oblaku počela kao snijeg na tlo će pasti kao kiša.

2.4. METODA ANALIZE VARIJANCE

Za provjeru da li je razlika između dvije grupe podataka statistički značajna uspoređuju se njihove aritmetičke sredine t-testom. Međutim, kad se gledaju više od

dvije grupe podataka treba se upotrijebiti analiza varijance jer se time smanjuje vjerojatnost pogreške (Pavlič, 1971) .

Analiza varijance statistička je metoda analize empirijskih podataka kojom se ispituje da li jedan određen faktor utječe na vrijednosti promatrane slučajne varijable. Ako se želi ispitati utjecaj faktora P na slučajnu varijablu x , izvrši se n_1 mjerenja varijable x pri P_1 , n_2 mjerenja pri P_2 ... i n_k mjerenja pri P_k . Time se dobija ukupno N podataka ($N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$) koji se odnose na slučajnu varijablu x , grupiranih po k uzoraka od kojih se i -ta grupa sastoji od članova x_i , $i = 1, 2, \dots, k$. Svaka od tih grupa ima svoj srednjak

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{i,j} \quad (5)$$

a ukupni srednjak uzorka iznosi

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j x_{ij} \quad (6)$$

x_{ij} su slučajne varijable. Predpostavlja se da su nezavisne te da su raspodjeljene po normanoj raspodjeli s istom varijancom σ^2 . Očekivanje μ_{ij} varijable x_{ij} dato je izrazom

$$\mu_{ij} = a_i + c \quad (7)$$

gdje je c opće očekivanje, a a_i očekivanje zbog utjecaja nekog faktora A . Sve varijable x_{ij} imaju isto očekivanje. Treba utvrditi da li A utječe na varijablu x_{ij} i u tu svrhu postavlja se hipoteza

$$H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_k = 0 \quad (8)$$

koju treba testirati.

Može se pokazati (Pavlič, 1971) da se transformacijom sume kvadrata odstupanja x_{ij} od ukupnog srednjaka uzorka dolazi do jednadžbe:

$$F = \frac{s_i^2}{s_u^2} \quad (9)$$

gdje su s_i^2 i s_u^2 dati izrazima

$$s_i^2 = \frac{1}{k-1} \sum_t \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (10)$$

$$s_u^2 = \frac{1}{N-k} \sum_t \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (11)$$

Pošto sve vrijednosti x_{ij} imaju isto očekivanje μ_{ij} , gdje su svi a_i jednaki, proizlazi da s_u^2 ne ovisi o efektu A jer se svi a_i u izrazu (11) međusobno poništavaju. S druge strane, s_i^2 ovisi o efektu faktora A i veći je što je a_i veći. Time proizlazi da ako hipoteza H_0 nije istinita s_i^2 ima veću vrijednost nego ako je istinita. Iz (9) slijedi da je F veći ako je hipoteza H_0 istinita pa se testiranje hipoteze može provesti F-testom primjenjenim na varijablu F (Pavlić 1971.) Granične vrijednosti F_0 mogu se potražiti u tablicama za stupnjeve slobode $k-1$ za s_i^2 i $N-k$ za s_u^2 . Ako je $F > F_0$ (za odabranu razinu rizika) hipoteza H_0 nije istinita.

Na podacima je prvo trebalo ustvrditi da li se može provesti analiza varijance. Uvjeti za to su da podaci pripadaju normalnoj raspodjeli i da je zadovoljena jednakost varijance. Programski paket *SPSS (Statistical Package for Social Sciences)*, koji se koristi za obradu podataka u ovom radu, provjerava da li podaci pripadaju normalnoj raspodjeli na osnovi dva faktora, *ukošenost* (engl. *skewness*) i *spljoštenost* (engl. *kurtosis*).

Ukošenost je mjera simetričnosti raspodjele i za grupu podataka x_i data je izrazom¹

$$ukošenost = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N-1)s^3} \quad (12)$$

gdje je N ukupni broj podataka, a s standardna devijacija. Normalna raspodjela je simetrična, pa joj je ukošenost nula.

Za isti skup od N podataka standardne devijacije s spljoštenost je dana izrazom¹

¹ <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35b.htm> (3.06.08)

$$spljoštenost = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N-1)s^4} \quad (13)$$

i za normalnu raspodjelu spljoštenost je tri. Ako je spljoštenost manja od tri, kaže se da je raspodjela *pljosnata*, a ako je veća od tri kaže se da je raspodjela *izdužena*. Kao što se i očekivalo, podaci za dane s oborinom na svim promatranim postajama zadovoljavaju te kriterije, što znači da prate normalnu raspodjelu.

Nakon toga proveden je Levene-ov test jednakosti varijance. Unutar nekih granica, varijance moraju biti jednake da bi se mogli uspoređivati srednjaci dvije ili više različitih grupa, odnosno provesti analiza varijance.

Ako se grupa podataka veličine N podjeli u k podgrupa, onda i -ta podgrupa ima veličinu N_i . Svaka podgrupa ima varijancu σ_i i hipoteza Levene-ovog testa je da su one jednake.

$$H_0 = \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_k \quad (14)$$

Levene-ov test definira se izrazom

$$W = \frac{(N-k) \sum_{i=1}^k [N_i(\bar{z}_i - \bar{z})]^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (z_{ij} - \bar{z}_i)^2} \quad (15)$$

gdje je $\bar{z}_i$ srednjak pojedinačnih podgrupa, $\bar{z}$ ukupni srednja uzorka, a z_{ij} dan je izrazom²

$$z_{ij} = |x_{ij} - \bar{x}_i| \quad (16)$$

$\bar{x}_i$ može biti medijan, srednjak ili srednjak s isključenim ekstremima i -te podgrupe. O tome što se za a $\bar{x}_i$ uzme zavisi jakost testa. U većini slučajeva najprikladnije je uzeti medijan.

² <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm> (3.06.08)

Levene-ov test odbacuje hipotezu H_0 ako je $W > F_0$, gdje je F_0 gornja granična vrijednost F-testa sa $k-1$ i $N-k$ stupnjeva slobode. Podaci korišteni u ovom radu zadovoljili su Leveneov kriterij jednakosti varijance što znači da se na njih može primijeniti analiza varijance.

3. USPOREDBA KOLIČINE OBORINE U SOUTHAMPTONU S OKOLICOM

Southampton je grad na južnoj obali Engleske ($50^{\circ}54'$ N, $1^{\circ}23'$ W), u vrhu Solent zaljeva (Prilog 1.). Nalazi se na razini mora. Južno od Southamptona je otok Isle of Wight koji zatvara zaljev Solent i zaklanja ga od direktnog utjecaja kanala LaManche (Slika 5.). Južna obala Isle of Wighta je dosta strma i naglo se spušta prema moru s nadmorske visine od oko 240m, dok je sjeverna obala puno niža. Sjeverno od Southamptona teren je blago brežuljkast i počinje se penjati prema gradu Winchesteru ($51^{\circ} 03'$ N, $1^{\circ} 19'$ W), udaljenom 20-ak kilometara. U području do udaljenosti 30-ak km prema zapadu i jugozapadu nalazi se Nacionalni park New Forest. Iako se to područje zove šuma, zapravo je samo djelomično šuma, a većim dijelom je stepska ravnica čiji se veći dio nalazi na razini mora. Teren je dosta močvaran, naročito na južnom dijelu, jer ima i puno izvora, potoka i malih rječica koji se često izlijevaju iz svojih tokova.



Slika 5. Reljefni prikaz okoline Southamptona

Salisbury ($51^{\circ} 04'$ N, $1^{\circ} 47'$ W), prvi veći grad sjeverozapadno od Southamptona, udaljen je oko 35 kilometara i leži unutar blago brežuljkaste ravnice Salisbury (*Salisbury plane*), a i od Southamptona ga dijeli jedan brežuljkasti pojas širine oko 15km. Jugoistočno od Southamptona se proteže južna obala Engleske prema gradu Portsmouthu ($50^{\circ}49'$ N, $0^{\circ} 58'$ W), koji je udaljen 30-ak km.

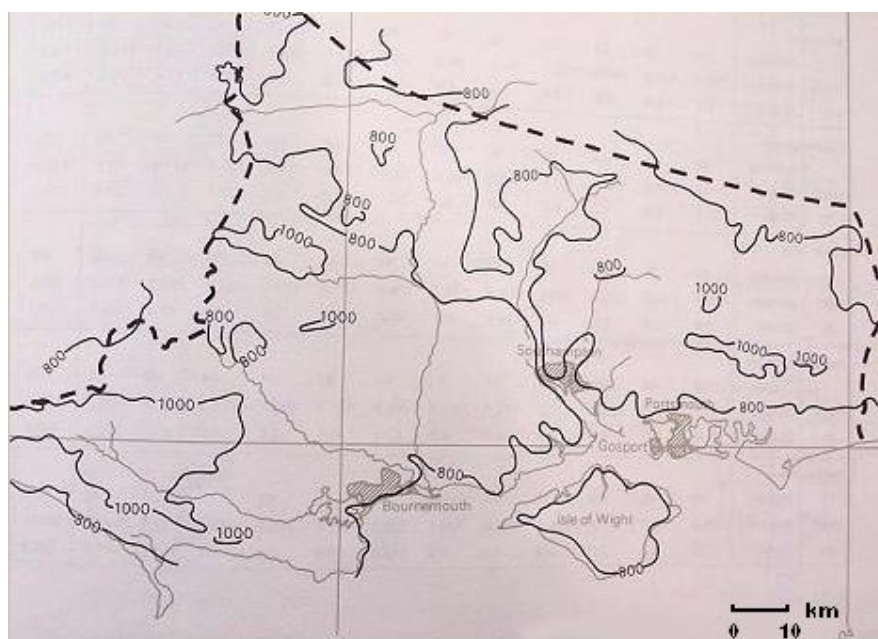
3.1. ZAMISAO ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA

Ideja da se postavi hipoteza ovog rada proizašla je iz široko prihvaćenog stava mnogih stanovnika Southamptona i zaposlenika koji tu dolaze raditi iz okolice, da je Southampton manje „kišovit“ od niza ne jako udaljenih gradova. Taj stav se razvio i kod autorice rada, pretežito iz osobnog zapažanja tijekom više godina, ali i iz kontakata s drugim ljudima koji žive u tom području. Iz promišljanja o tome uobličila se generalna ideja ovog istraživanja, a to je istražiti da li u Southamptonu zaista pada manje kiše nego u njegovoj bližoj okolini.

Originalno zapažanje ljudi ne odnosi se na područje bliže okolice, nego na samo određena mjesta, obično gradove između kojih često putuju. Međutim, bilo bi zanimljivo pogledati da li je Southampton stvarno u kišnoj sjeni i gdje se ona proteže.

U jednom radu o klimi Velike Britanije (Met Office, 1990.) sugerirano je postojanje takve sjene, ne samo za Southampton nego i za Portsmouth, možda zbog utjecaja Isle of Wight. Slika 6 (preuzeta iz navedenog rada) prikazuje srednje mjesečne oborine u Južnoj Engleskoj (iz razdoblja 1941.-1971.), iz koje se može naslutiti postojanje navedene kišne sjene. Autorica je odlučila provjeriti ta zapažanja na znanstveno utemeljen način. To, međutim, zahtijeva razmatranje i precizno definiranje nekoliko pojmova.

Prvo, mora se definirati što to u stručnom smislu znači **manje kiše**. Pošto je ideja nastala iz svakodnevnih zapažanja ljudi, treba precizno definirati što u meteorološkom smislu znači njihova izjava o „manje kiše“. Da li je to manje *količinski* ili manje *često*? Sa stajališta običnog čovjeka, koji svaki dan gleda vremensku prognozu i zanima ga da li treba sa sobom ponijeti kišobran, može li staviti opranu robu vani da se suši i slično, ljude zapravo ne zanima toliko količina, koliko sama činjenica da li kiša pada ili ne pada. Osim u slučaju oluja, zanima ih samo da li je vrijeme suho ili nije. Zbog toga će se u ovom radu kao temeljni kriterij razmatrati *dani s kišom*, a ne *količine kiše*. U meteorologiji su oborinski dani definirani kao dani u kojima je izmjereno najmanje 0.1 mm oborine. Takav kriterij će se primjenjivati u ovom radu. Testirati će se statistička značajnost **broja dana s kišom** na izabranim lokacijama. Znači, razmatrati će se da li u Southamptonu kiša pada statistički značajno manje često nego na drugim lokacijama. Naravno, ne može se gledati samo kiša, nego općenito oborine.



Slika 6. Srednje mjesečne količine oborine u pokrajini Hampshire (1941. – 1971.)

(Met Office, The Climate of Great Britain, Climatological Memorandum 137, Meteorological office, Bracknell, South England, 1990, str. 9.)

Drugo, potrebno je točno utvrditi koje **područje** treba promatrati. Područje „bliže okolice“ treba točnije definirati, a pritom se mora uzeti u obzir kako je navedeno zapažanje o kišovitosti u području uopće nastalo. Većina ljudi iz različitih razloga svakodnevno putuje između spomenutih gradova (Southampton, Winchester, Salisbury, Portsmouth). Zemljopisno su ti gradovi od Southamptona udaljeni od 30 do 40km. Iako otok Isle of Wight prethodno nije bio spomenut, uključen je u ovo razmatranje zbog potpunosti. Bilo bi za očekivati da ima više oborina na Isle of Wight nego u Southamptonu, jer je taj otok južno od Southamptona i zaklanja ga od direktnog utjecaja oceana. Takva zemljopisna situacija čini Southampton izvrsnom prirodnom lukom i bilo bi zanimljivo provjeriti da li se ta zaštićenost odnosi i na oborine. Uključujući Isle of Wight, bliža okolica je u ovom radu definirana kao pojas od 30 do 40km oko Southamptona. Za provjeru hipoteze bilo bi idealno uključiti ne samo spomenute gradove, nego i neke dodatne točke u tom pojasu.

Nakon ovih razmatranja, hipoteza ovog istraživanja postaje:

U Southamptonu se oborine javljaju statistički značajno manje često nego u Salisburyu, Winchesteru, Isle of Wight i Portsmouthu, koji leže u pojasu od 30-ak km oko Southamptona.

U istraživanju će se primijeniti metode prikupljanja podataka, njihove sistematizacije i pripreme za statističku analizu. Temeljem rezultata statističke obrade podataka napraviti će se interpretacija tih rezultata, te potvrditi ili demantirati hipotezu.

Podaci će se prikupiti iz službenih izvora, koji se nalaze u arhivi Meteorološke službe Velike Britanije u Exeteru.

Za statističku obradu i provedbu analize varijance koristit će se računalni program *Statistical Package for Social Sciences* – SPSS (<http://www.spss.com/spss/index.htm>, 12.3.2008).

3.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Svi podaci koji se koriste u ovom radu potječu iz arhive Meteorološkog Zavoda Velike Britanije, koji će se u nastavku skraćeno zvati *Met Office*. Arhiva Met Office-a nalazi se u gradu Exeteru i svi podaci iz arhive su dostupni javnosti. Moguće je pretraživati arhivu preko njihove internetske stranice i onda naručiti podatke, ako su dostupni u elektronskom obliku. Ako nisu, onda se mora ići u Exeter i fotokopirati ili prepisati željene podatke iz arhivskih kartica.

3.2.1. PROSTORNA RASPODJELA PODATAKA

Kod odabira podataka bilo je vrlo važno držati se prostornih granica određenih u hipotezi. Trebalo je prikupiti podatke s meteoroloških postaja koje približno pokrivaju promatrano područje. *Met Office* su u početku ponudili puno podataka koji nažalost nisu spadali u to područje, većina ih je bila predaleko (Bournemouth, Basingstoke, Poole), a neki preblizu (Otterbourne, Eastleigh). Isto tako, izgledalo je da podataka za Southampton uopće nema, što bi naravno onemogućilo ovo istraživanje.

Ispostavilo se da je problem bio s relativno novim podacima. Naime, u arhivi ne postoje podaci za Southampton koji se odnose na razdoblje nakon 2000. godine,

jer je meteorološka postaja tada zatvorena. Zbog toga se istraživanje moralo temeljiti na povijesnim podacima. Na žalost, za sada samo manji dio povijesnih podataka postoji u elektronskom obliku i, kao što se može vidjeti na Slici 7, ne pokrivaju željeno područje.



Slika 7. Meteorološke postaje za koje postoje povijesni podaci u elektronskom obliku

(<http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/stationdata/index.html>)

Isto tako, za neke od tih postaja (kao, na primjer, Southampton) postoje samo godišnje količine i srednjaci, a ne mjesečni podaci. Pretraživanje arhive za određene gradove (Salisbury, Southampton, Portsmouth, Winchester i Shanklin na otoku Isle of Wight) preko internet stranice ukazalo je na nove probleme – vremenski nizovi su jako isprekidani.

3.2.2. VREMENSKA RASPODJELA PODATAKA

Za ovo istraživanje bilo je planirano uzeti niz od barem 15 uzastopnih godina da bi se što vjerodostojnije provjerila hipoteza. Pretraživanje arhive Met Office-a je otkrilo velike rupe u vremenskim nizovima podataka, i na žalost, izuzetno malo podataka nakon 1968. godine. Za Southampton postoje podaci s nekoliko različitih

postaja, koje su radile u različitim vremenskim razdobljima. Primjer pregleda rezultata pretraživanja vremena djelovanja za korištene gradove nalaze se u Prilogu 2.

Poseban problem je bio pronaći podatke za gradove Salisbury, Winchester i Shanklin koji bi se svi preklapali u razdoblju od cijelih 15 godina. To se na kraju pokazalo nemogućim i najveći vremenski presjek, s relativno novim podacima, iznosi samo 5 godina, od 1971. do 1976. Autorica je u nekoliko navrata kontaktirala *Met Office* tražeći novije podatke i duže vremenske nizove koji bi se poklapali. Na žalost, uvijek je dobivala odgovor da su samo već spomenuti podaci u arhivi. Nitko nije ponudio adekvatno objašnjenje što je s ostalim podacima i zašto se do njih ne može doći. Jedno od mogućih objašnjenja je da dok god se grupa podataka koristi u tekućim istraživanjima, oni nisu arhivirani i do njih se ne može preko arhive *Met Office*-a. Dodatno, *Met Office* se relativno nedavno preselio u Exeter i arhiva još nije potpuno sređena. Puno podataka je još smješteno u neraspakiranim kutijama, u što se autorica i osobno uvjerila kad su joj pokazivali arhivu.

3.2.3. PROBLEMI S PODACIMA

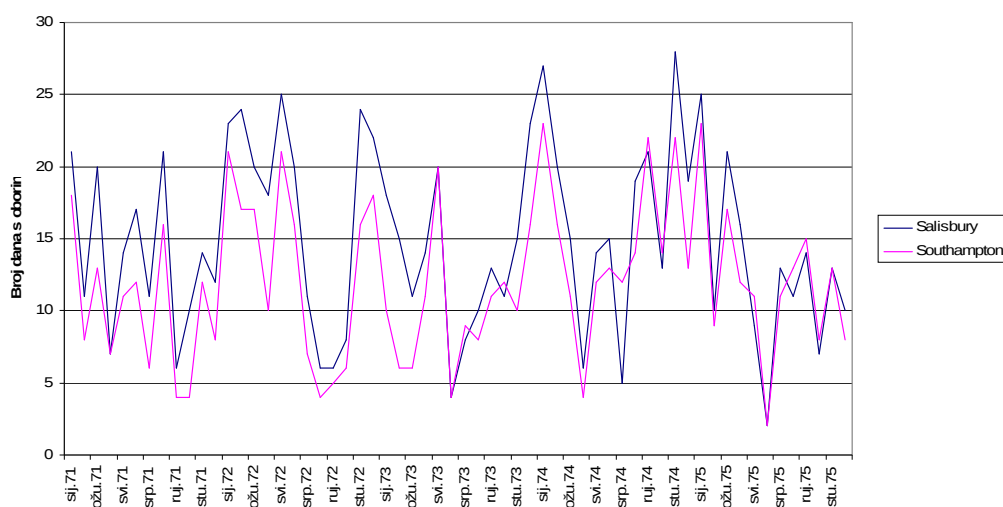
Svi podaci koji su korišteni u ovom istraživanju su arhivirani u obliku meteoroloških kartica i ne postoje u elektronskom obliku. Prilog 3. prikazuje izgled arhivskih kartica – na nekima je količina oborine bilježena u milimetrima, a na drugima u inčima (engl. Inch, 1 inch = 25,4 mm). Neke od kartica su u dosta lošem stanju, izbljebile ili pisane lošim rukopisom, pa je ponekad jako teško pročitati što piše. Neke od kartica su naknadno ispravljane i pitanje je kada i zašto, odnosno, po čemu su se uspoređivale i kontrolirale.

Nadalje, u ranim 70-ima Engleska je počela usvajati metrički sustav mjerenja. Taj prijelaz nije bio trenutni, pa su za ista razdoblja neke kartice još u inčima, dok su druge u milimetrima. To povlači još jedan zanimljivi problem: kod meteoroloških mjerenja računa se da je kiša u tragovima ako je izmjereno manje od 0.1mm. Ako je kartica u inčima, onda je kiša u tragovima ako je palo manje od 0.01inch, a to nije isto kao 0.1mm. (1inch = 25.4mm, znači 0.01inch = 0.25mm). Znači, za jedan dio korištenih podataka kriterij dana s kišom nije isti kao za ostale podatke. Usprkos problemima s vrijednošću tih podataka, autorica je odlučila ipak uzeti te podatke u obzir, jer se radi samo o jednom, manjem dijelu.

3.3. OBRADA PODATAKA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Statistička obrada podataka rađena je programom Statistički paket za društvene znanosti (engl. *Statistical Package for Social Sciences - SPSS*). Iako mu u nazivu stoji da je namijenjen za društvene znanosti, *SPSS* je jak statistički program koji se može koristiti za analizu podataka u mnogim drugim područjima (znanstvena i medicinska istraživanja, business, marketing itd.) i ima puno bolje alate za analizu varijance nego, recimo, tablični kalkulator *Microsoft Excel*. Analiza varijance je statistička metoda korištena u ovom radu za provjeru statističke značajnosti razlike u broju dana s oborinom.

Iz grafičkog prikaza broja dana s oborinom za Southampton i Salisbury (Slika 8) može se uočiti da je broj dana s oborinom za Salisbury konzistentno viši od onog za Southampton, dok je za ostale gradove ta razlika znatno manja (Prilog 5.) Iako se iz odgovarajućih grafičkih prikaza za usporedbu Shanklin-Southampton i Winchester-Southampton vidi da razlike postoje, one nisu u tolikoj mjeri izražene kao za Salisbury. S druge strane, grafički prikaz usporedbe Southampton-Portsmouth jasno pokazuje da se hodovi broja dana s kišom gotovo kompletno poklapaju, pri čemu je broj dana čak nešto manji u Southamptonu. Iz ovih prikaza već se može naslutiti da neće biti značajnih razlika u broju dana s oborinom između Portsmoutha i Southampton.



Slika 8 . Prikaz broja dana s oborinom za Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0m NM) i Salisbury (51° 04' N, 1° 47' W, 70m NM) od 1971. do 1976. Udaljenost je 34 km.

3.3.1. ANALIZA VARIJANCE BROJA DANA S OBORINOM

Tablica 1 prikazuje pregled srednjaka (M), standardnih devijacija (SD) i broja podataka (N) po gradovima za petogodišnje razdoblje siječanj 1971. – prosinac 1975. Ovi podaci izračunati su iz polaznih ulaznih podataka, koji su tablično prikazani u Prilogu 4. Kao i kod grafičkog prikaza ulaznih podataka, iz Tablice 1 može se vidjeti da su srednje vrijednosti za Portsmouth i Southampton gotovo jednake, dok Salisbury ima najveću srednju vrijednost, iako ima i nešto veće rasipanje.

Tablica 1. Osnovne statističke veličine izvedene iz ulaznih (mjesečnih) podataka za razdoblje 1971-1975.; srednjaci M, standardne devijacije SD, broj podataka N

	M	SD	N
Shanklin	13,1905	5,8236	42
Salisbury	14,7667	6,3443	60
Winchester	13,3000	5,7322	60
Portsmouth	11,8000	5,1480	60
Southampton	11,9667	5,3614	60
Ukupno	13,0048	5,6819	282

Analiza varijance provedena na temelju tih podataka pokazuje značajne razlike u broju dana s oborinama između pojedinih gradova, s parametrima statističke razdiobe: $F=2.979$, $p=0.02$ i $df=4$. Pritom oznake su: df - stupnjevi slobode, p - vjerojatnost pogreške, a F - omjer varijance između grupa i srednje vrijednosti varijanci pojedinačnih grupa. Iz statističkih tablica koje se mogu naći u literaturi iz statistike (na primjer Pavlič, 1971) može se vidjeti da postoji značajnost za $F > 2.39$

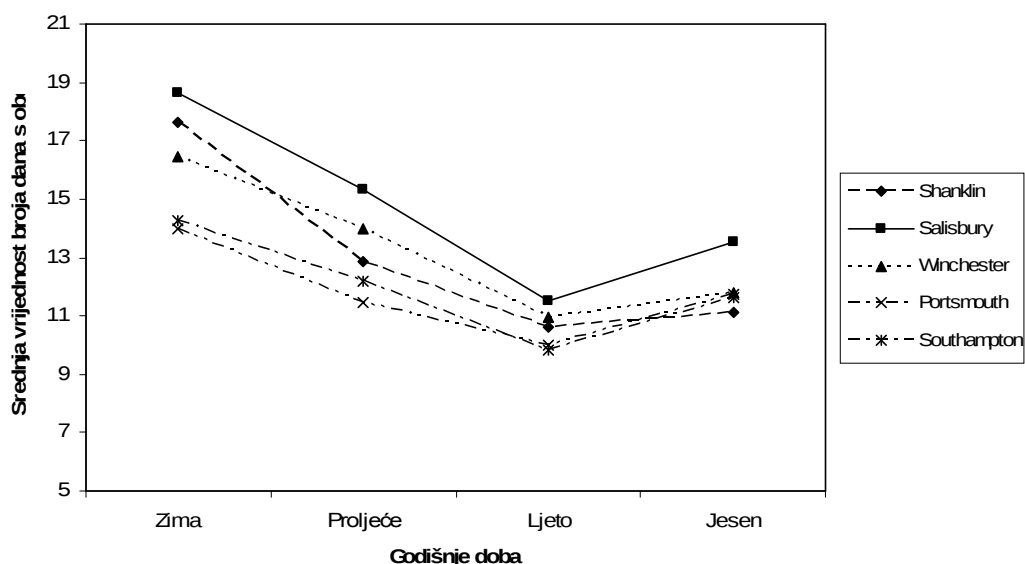
Kako bi se ustanovilo između kojih gradova postoje značajne razlike, treba provesti jedan od *post hoc* testova koji se provode nakon osnovne analize varijance. U ovom slučaju upotrijebila se Bonferronijeva metoda, koju je prikladno upotrijebiti u slučajevima kad se unaprijed odlučilo koje od grupa se želi promatrati. Specifični interes ovog rada su razlike između Southamptona i ostalih gradova, a ne između ostalih gradova međusobno, tako da je na tim podacima prikladno provesti

Bonferroni-jev test. Rezultati tog testa pokazali su da postoji statistički značajna razlika samo između Salisburya i Southamptona ($p=0.044$), a smjer razlika je takav da u Salisburyu ima više dana s oborinom nego u Southamponu ($M_{\text{Salisbury}}=14.8$, $M_{\text{Southampton}}=12$). Winchester, Shanklin i Portsmouth u usporedbi sa Southamptomom nisu pokazali statistički značajne razlike u broju dana s oborinom.

3.3.2. ANALIZA VARIJANCE PO SEZONAMA I KOLIČINI OBORINA

Kako rezultati analize varijance nisu pokazali značajne razlike u broju dana s oborinom za Winchester i Shanklin, nametnulo se pitanje da li možda postoje razlike samo u nekim sezonama. Iako je predominantno strujanje u južnoj Engleskoj sa zapada i jugozapada, postoje sezonske varijacije (Met Office, 1990), i postavlja se pitanje da li će se zbog toga pokazati sezonske razlike u broju dana s oborinom u mjestima južno (Shanklin) i sjeverno (Winchester) od Southamptona.

Nadalje, bilo bi dobro umjesto *dana s oborinom* pogledati što je s *količinom oborina* u svim promatranim gradovima i da li one uopće pokazuju značajne razlike između gradova. Ako se razlike pokažu, biti će zanimljivo sagledati da li one odgovaraju analiziranim razlikama u broju dana s oborinom.



Slika 1. Srednje vrijednosti broja dana s oborinom po sezonama

Za oba gore navedena slučaja: pitanje usporedbe oborina po sezonama i pitanje razlika ako se kao kriterij uzmu količine oborina, bit će provedena analiza varijance na isti način kao što je provedena za prethodni slučaj, u kojem je kriterij razlikovanja bio ukupni broj dana s oborinom.

Za potrebe ove analize podaci o broju dana s oborinom sistematizirani su po sezonama (Prilog 6.) Slika 9 prikazuje srednje vrijednosti broja dana s oborinom po sezonama i vidljivo je da, u skladu s prethodnim rezultatima, Salisbury ima u svim sezonama više dana s oborinom. Za potrebe analize varijance izračunati su srednjaci (M), standardne devijacije (SD) i broj podataka (N) za svaku sezonu (Tablica 2.)

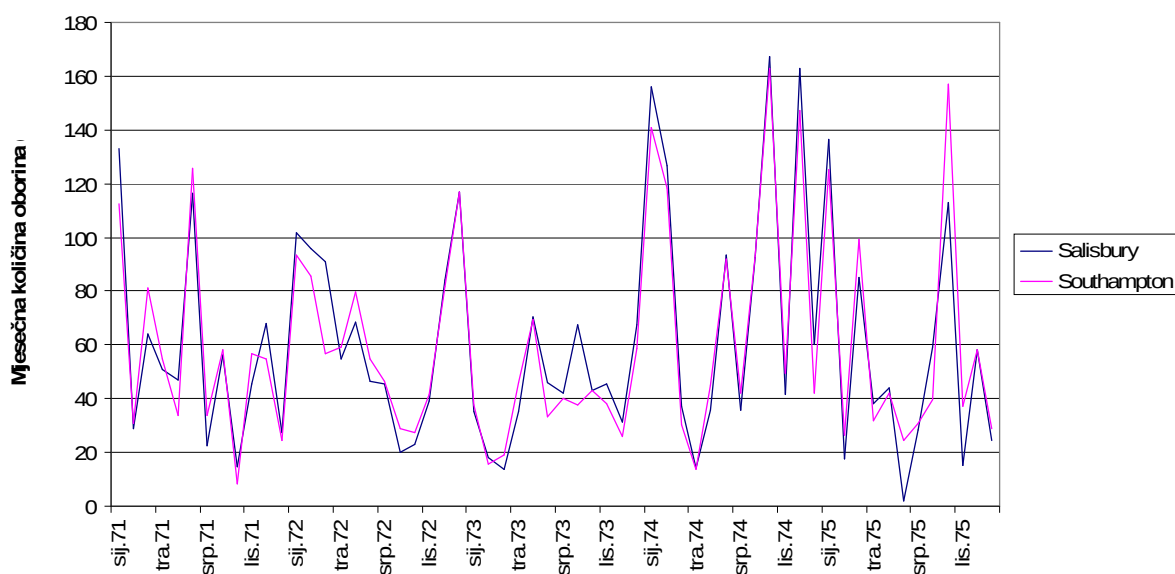
Tablica 2. Srednjak, standardna devijacija i broj podataka po sezonama

		M	SD	N
ZIMA	Shanklin	17,6364	5,9711	11
	Salisbury	18,6667	5,7404	15
	Winchester	16,4667	6,2891	15
	Portsmouth	14,0000	5,5162	15
	Southampton	14,2667	5,8121	15
	Ukupno	16,2073	5,8658	71
PROLJEĆE	Shanklin	12,8333	5,5241	12
	Salisbury	15,3333	5,4729	15
	Winchester	14,0000	4,9281	15
	Portsmouth	11,4667	4,7339	15
	Southampton	12,2000	4,8433	15
	Ukupno	13,1667	5,1004	72
LJETO	Shanklin	10,6000	4,7188	10
	Salisbury	11,5333	5,9626	15
	Winchester	10,9333	4,3991	15
	Portsmouth	10,0000	4,5513	15
	Southampton	9,8000	4,4753	15
	Ukupno	10,5733	4,8214	70
JESEN	Shanklin	11,1111	4,6488	9
	Salisbury	13,5333	6,4572	15
	Winchester	11,8000	5,9666	15
	Portsmouth	11,7333	5,4178	15
	Southampton	11,6000	5,7421	15
	Ukupno	11,9556	5,6465	69

Analiza varijance pokazala je da postoji značajan efekt mjesta ($F=3.26$, $p=0.012$, $df=4$) i godišnjeg doba ($F=13$, $p=0.00$, $df=3$), ali ne i interakcija mjesta i godišnjeg doba ($F=0.294$, $p=0.99$, $df=12$), što znači da se pojedini gradovi ne razlikuju po broju dana s oborinom s obzirom na godišnja doba, odnosno nema sezonski uvjetovanih razlika.

Nalaz prema kojemu se pojedina godišnja doba razlikuju po broju dana s oborinom potpuno je očekivan za umjerenu klimu, dok nalaz da je efekt mjesta značajan potvrđuje i prethodnu analizu. Nakon provedenog Bonferroni-jevog testa ponovo se pokazala značajna razlika između Southamptona i Salisburyja ($p=0.016$).

Koristeći kao kriterij kišovitosti *količinu oborina* umjesto *broj dana s oborinom*, provedena analiza pokazuje nešto drukčiju sliku. Tablica ulaznih podataka za ovu analizu je u Prilogu 6., a grafički prikazi odnosa među svim gradovima nalaze se u Prilogu 7. Slika 10 prikazuje odnos mjesečne količine oborina za Salisbury i Southampton. Može se uočiti da iako su u Salisburyju oborine češće (što je pokazano u prethodnim analizama), ukupna količina oborine po mjesecima izgleda približno jednaka kao u Southamptonu.



Slika 10. Mjesečne količine oborina za Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM) i Salisbury (51° 04' N, 1° 47' W, 70 m NM) od 1971. do 1975. Udaljenost gradova je 34 km

Isti zaključak se može izvesti promatrajući podatke u Tablica 3 koja pokazuje srednjake (M), standardne devijacije (SD) i broj podataka (N) za sve gradove. U ovom slučaju srednje vrijednosti za Southampton, Shanklin i Salisbury su gotovo jednake, dok se za Winchester primjećuje veća količina oborina, ali i veći rasap. Treba provesti analizu varijance da bi se provjerila značajnost te razlike.

Tablica 3. Srednjak (M), standardne devijacije (SD) i broj podataka (N) za mjesečne količine oborina

	M	SD	N
Shanklin	60,5298	37,6608	42
Salisbury	60,3733	40,1389	60
Winchester	66,9500	42,6392	60
Portsmouth	52,6218	37,8439	60
Southampton	59,8383	38,1440	60
Ukupno	60,0627	39,2854	282

Nakon što se utvrdilo da podaci pripadaju normalnoj raspodjeli i da zadovoljavaju uvjet o jednakosti varijance, provedena je analiza varijance koja je pokazala da ne postoje statistički značajne razlike između promatranih gradova ($F=0.994$, $p=0.411$, $df=4$).

3.3.3. DISKUSIJA

Analizom varijance pokazalo se da u Salisburyu ima statistički značajno više dana s oborinom nego u Southamptonu, i to u svim sezonama. Iako se iz ulaznih podataka vidi da Winchester i Shanklin imaju nešto više kišnih dana, ta razlika nije statistički značajna. To se može objasniti činjenicom da je predominantno strujanje u Engleskoj zapadno i jugozapadno, pa oborinski oblaci najčešće dolaze preko Salisburyja u smjeru Southamptona. Salisbury se nalazi na blago brežuljkastom terenu koji se spušta prema Southamptonu. Moguće je da kad su oborinski oblaci advektirani zapadnim strujanjem, oni nailaze na brežuljkasto područje i kiša

započinje. Naravno, treba se uzeti u obzir da je istraživanje provedeno na nizu od samo pet godina i da na osnovu toga nije moguće tvrditi da je hipoteza o manje oborina u Southamptonu potvrđena. Najviše što se može reći je da postoje indikacije da je to tako i da postoji osnova za dalja ispitivanja.

Treba razmisliti o tome zašto bi takva hipoteza uopće mogla biti istinita. Literatura u tom smislu ukazuje na jednu manje istraženu pojavu pojačanja oborine preko brežuljaka koja bi objasnila ne samo to da podaci ukazuju na postojanje značajne razlike između Salisburyja i Southamptona nego i nedostatak takve razlike između Winchestera, odnosno Shanklina, i Southamptona.

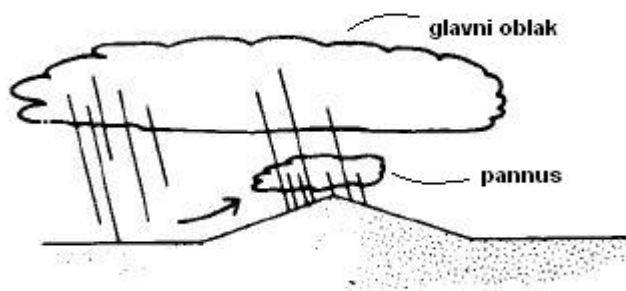
Winchester nije pokazao značajno više oborine i to je u skladu s teorijom o formiranju oborina preko malih brežuljaka. Teren se prema sjeveru diže, ali Winchester se ne nalazi na vrhu brežuljka nego, kod predominantno jugozapadnog i zapadnog strujanja, na navjetrinskoj strani. Neka istraživanja su pokazala da je maksimum oborine na vrhu brežuljka, a ne na navjetrinskoj strani, što bi objasnilo rezultate ovog istraživanja da u Winchesteru ne pada značajno više kiše nego u Southamptonu.

Slično razmatranje može se primijeniti na Shanklin na otoku Isle of Wight. Južna obala otoka gleda prema oceanu i viša je od sjeverne, jer se na južnoj obali proteže lanac brežuljaka s vrhom *St Boniface Down*, koji je najviša točka na otoku (241 m nadmorske visine). U slučaju južnog strujanja vlažni zrak dolazi s oceana, moguće je da *St Boniface Down* uzrokuje početak oborine iznad mora, južno od otoka. Pošto taj vrh ipak nije jako visok, počinje formiranje oborine nad brežuljkom, gdje oborina pada nad samim vrhom, ali ne i na zavjetrinskoj strani, gdje se nalazi Shanklin. Ako oborinski oblak prijeđe vrh i nastavi se gibati prema sjeveru, više nema prepreka na terenu i prelazi Shanklin dalje prema Southamptonu noseći kišu, ali samo u onim slučajevima kad je bilo dovoljno vlage u zraku. Znači, uglavnom se može reći: kad kiša pada u Shanklinu, pada i u Southamptonu.

Da bi se objasnila mogućnost da Salisbury ima više oborine nego Southampton, bilo je potrebno vidjeti što o tome kažu i drugi istraživači. Pretraživanjem literature sa sličnom tematikom došlo se do mogućeg objašnjenja, a neki od reprezentativnih članaka izloženi su u Poglavlju 4.

4. PREGLED RADOVA O UTJECAJU BREŽULJAKA NA OBORINE

Orografsko dizanje jedan je od glavnih razloga za nastanak oblaka, a time i oborine. Utjecaj niskih brežuljaka na prostornu raspodjelu količine oborine dugo je vremena bio manje poznat i slabije objašnjen efekt, naročito zbog otežanih uvjeta promatranja i mjerenja (brdovita područja). Švedski meteorolog Bergeron je 1961. godine uspostavio gustu mrežu kišomjera s namjerom da dobije detaljne podatke o raspodjeli količine oborina na brdovitom terenu. Pokazalo se da je količina oborine nad brežuljcima visine svega 50 m ponegdje čak i dvostruko veća od one u okolici. Daljnja istraživanja pokazala su da je efekt naročito izražen u jesenskim mjesecima, kojima dominiraju slojasti (stratusni) oblaci i Bergeron po prvi put predlaže *model jezgara i hranjenja* (engl. *seeder-feeder*) (Bergeron, 1965).



Slika 11. Utjecaj brežuljaka na oborine

(prema Smith, 1979)

Kad veliki kišni oblak (na primjer frontalnog porijekla) naiđe na brežuljkasto područje, on sa sobom donosi vlažniji zrak. To znači da je i zrak ispod oblaka bliži zasićenju, pa i malo dizanje tog zraka preko brežuljka može imati utjecaj na pojačano formiranje kapljica. Nastaje oblak *pannus*³ koji se sastoji od kapljica koje su premale i prelake da bi same po sebi uzrokovale oborine. Bergeron glavni oblak naziva *seeder*

³ *Pannus* je "dodatni" oblak, ponekad kao cijeli sloj, a ponekad kao rastrgana „krpa“ koji se javlja ispod "glavnog" oblaka. Može biti poseban sloj ili kao dio glavnog oblaka. Najčešće se javlja kod kumulusa, kumulonimbusa, altostratusa i nimbostratusa.

jer kapljice iz njega padaju i ponašaju se kao kondenzacijske jezgre u *pannusu*, kojega Bergeron naziva *feeder*. Znači, glavni oblak *posije* kapljice, koje se onda *hrane* u donjem oblaku, zapravo koristeći visoku relativnu vlažnost u donjem oblaku za rast svojih kapljica. Na taj način dolazi do *ispiranja* vlage iz donjeg oblaka, dolazi do formiranja novih kapljica kao i rasta onih već postojećih. Taj proces znatno pojačava intenzitet i količinu oborine u području ispod *pannusa*, kao što je prikazano na Slici 11. Važno je napomenuti da je to područje obično pri samom vrhu brežuljka, a ne na navjetrinskoj strani, kao što je to slučaj u nekim drugim orografskim procesima. Isto tako, ovaj efekt se pojavljuje samo u stabilnoj atmosferi gdje su oblaci uzrokovani na sinoptičkoj skali, recimo frontalnim dizanjem ili advekcijom zbog dolaska ciklona. Efekta jezgri i hranjenja nema kad glavni oblak nastaje lokalno, konvekcijom.

Nekoliko godina kasnije Browning i Hill u svom istraživanju opisuju faktore koji djeluju na pojačanje oborine preko malih brda u Južnom Walesu u Velikoj Britaniji (Browning i Hill, 1974). Među najvažnijima su relativna vlažnost zraka, nagib navjetrinske strane brda, veličina komponente vjetera okomite na brdo, debljina *pannusa*, količina vode u glavnom oblaku kao i brzina nastajanja kapljica i brzina *ispiranja* vlage iz donjeg oblaka.

Zadnjih 30-ak godina bilo je dosta pokušaja da se detaljno objasni i modelira efekt jezgara i hranjenja, kao i uvjeta pod kojima se taj efekt javlja, jer on može dovesti do značajnog pojačanja u količini i intenzitetu oborine na mjestima gdje se to inače ne bi očekivalo. Dobar, primjenjiv model pridonio bi prognozi hidrološkog stanja i bilo bi lakše predvidjeti potencijalno opasne situacije (poplave, snježne oluje i sl.). Ovdje se analiziraju neki od radova koji se bave gore opisanim problemom, a uvjetno su podijeljeni u dvije grupe: empirijske (proučava se neka konkretna situacija) i teorijske (predlaže se model koji se onda testira na nekoj stvarnoj situaciji).

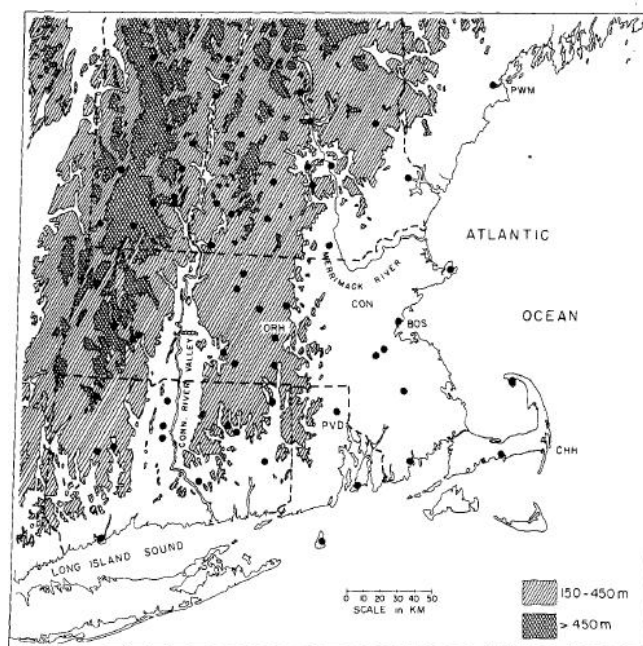
4.1. EMPIRIJSKI RADOVI

Radovi su izloženi kronološkim redom, tako da je istraživanje na kojem se zasniva prvi rad počelo 1980. godine, znači samo par godina nakon što je Browning radio prva istraživanja u Južnom Wales-u. Najnoviji rad je objavljen 2005. godine i vidi se da je pristup puno moderniji i da su dobrim dijelom korišteni radarski podaci, upotpunjeni podacima kišomjera na tlu za kontrolu.

4.1.1. OROGRAFSKO POJAČANJE PRED-TOPLOFRONTALNIH OBORINA U JUŽNOJ NOVOJ ENGLESKOJ (KANADA)

Passarelli i Boehme (1983) u svom radu promatraju raspodjelu pred-toplofrontalnih oborina tijekom zimskih ciklona u Južnoj Novoj Engleskoj (Kanada). Zimske ciklone pred dolaskom tople fronte izabrane su baš zbog stabilnosti zraka i uporne, dugotrajne oborine trajanja 12-24 sata. Pošto je intenzitet tih oborina bio mali (1-2 mm/h), postojala je mogućnost da i slabi orografski efekt znatno promijeni prostornu raspodjelu oborine. Teren Južne Nove Engleske karakteriziran je s dva brežuljkasta lanca u smjeru sjever-jug. Obalna ravnica ograničena je sa zapada nižim brežuljcima, a zapadno od tih brežuljaka nalazi se dolina rijeke Connecticut. Dalje prema zapadu nalazi se drugi, viši lanac brežuljaka, a iza njega dolina rijeke Hudson. Treba još uočiti i dolinu rijeke Merrimack. Za podatke su korištene satne vrijednosti mreže kišomjera, pozicija kojih je označena na Slici 12.

Istraživanje obuhvaća 12 zimskih ciklona koje su odabrane zbog prevladavajućeg istočnog strujanja, kao i širokog područja obuhvaćenog oborinama. Pošto u Novoj Engleskoj obalni frontalni poremećaji uzrokuju jako pojačanje oborine i kontrast temperature, izabrane ciklone su takve da dolaze prije tople fronte. Od svih satnih vrijednosti za količine oborine u tom području uključene su samo one koje se poklapaju s istočnim strujanjem, prema satnim izvještajima o vjetru na četiri postaje. Prosječno trajanje promatranih događaja bilo je 25 sati, ali pošto im trajanje nije uvijek bilo isto podaci za količine oborina normalizirani su tako da je ukupna količina oborine na kišomjeru podijeljena s dužinom trajanja poremećaja.

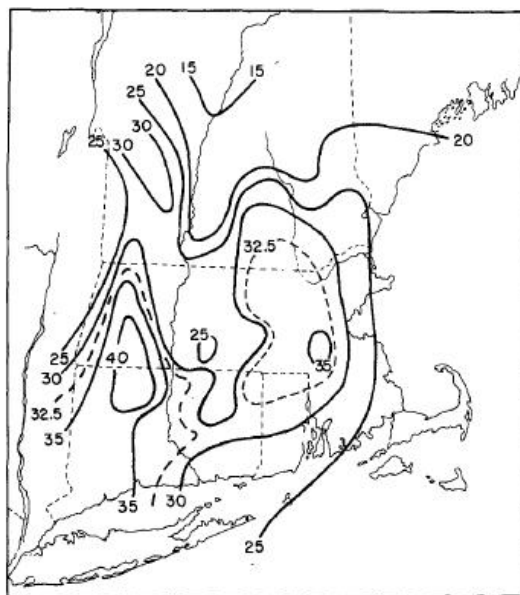


Slika 12. Teren Južne Nove Engleske s označenim položajima kišomjera

(Prema Passarelli i Boehme, 1983)

Analizom pojedinačnih ciklona pokazalo se da svaka ima svoju prostornu distribuciju količine oborine koja nije vezana za topografiju. To je objašnjeno time što svaka pred-toplofrontalna oluja ima neke svoje specifične mezoskalne karakteristike i područja jačih oborina, tako da se zapravo može reći da postoje dvije komponente za svaku oluju: jedna vezana za orografiju i jedna vezana za samu strukturu oluje. Autori su zaključili da će se komponenta vezana za strukturu oluje izgubiti kad se napravi prosjek za sve oluje na svakom pojedinačnom kišomjeru, tako da je dobivena prostorna raspodjela količine oborine vezana samo uz orografiju. U crtavanjem tih prosjeka u kartu mogu se jasno primijetiti područja s pojačanim oborinama (Slika 13).

Promatrajući vertikalni profil Južne Nove Engleske autori primjećuju da je pri vrhu brežuljaka oborina pojačana 20-60%, dok je u dolini rijeke Connecticut (regija između dva lanca brežuljaka) količina oborine praktički jednaka kao i u obalnoj regiji. Autori zaključuju da su brežuljci ti koji pojačavaju količinu oborine, dok doline nemaju značajniji utjecaj.



Slika 13. Izolinije količine oborine (u mm), usrednjene za sve ciklone

(Prema Passarelli i Boehme, 1983)

U članaku se nadalje navode karakteristike zimskih ciklona u tom području, od kojih je najvažnija da je atmosfera jako stabilna ispod frontalne inverzije i stabilna s obzirom na mokro-adijabatsko dizanje iznad inverzije. Takva situacija ne pogoduje nastanku, odnosno razvoju konvektivnih oblaka, što znači da nema pljuskova, grmljavine i slično. Oblaci nastaju orografskim dizanjem, a to će dati jednaku raspodjelu od ciklone do ciklone. Autori dalje kažu da bazirano na njima dostupnim podacima nije moguće niti isključiti niti potvrditi Bergeronov model jezgara i hranjenja, ali da bi taj model svakako objasnio što se događa u promatranom području. Činjenica je da se pojačana oborina vrlo dobro poklapa s terenom, što znači da je pojačanje uzrokovano na manjoj visini. Naime, što god da je uzrok tom pojačanju, kad bi bilo na većoj visini, postojao bi pomak u odnosu na teren zbog utjecaja vjetrova. Isto tako, sam karakter oborine daje neke indikacije o tome kako je ona nastala. Kad bi pojačanje bilo uzrokovano jakom konvekcijom na navjetrinskoj strani, onda bi pojačanje bilo u obliku kratkotrajnih, ali jako intenzivnih pljuskova. S druge strane, ono što se događa je jako ujednačeno pojačanje tokom cijele ciklone što ukazuje na postojanje Bergernovog efekta jezgara i hranjenja. Autori primjećuju da je pojačanje u intenzitetu samo nekih 0.5 mm/h, ali pošto je i sam intenzitet oborine u prosjeku tek

1-2 mm/h taj udio je značajan, naročito iz razloga što su ti poremećaji trajali u prosjeku 25 sati.

Autori postavljaju dva jednostavna modela da bi utvrdili da li je dizanje zraka preko niskih brežuljaka dovoljno da proizvede dodatnih 0.5 mm/h oborine i da li mehanizam jezgara i hranjenja može dovoljno efikasno iskoristiti dodatnu vlagu iz pannusa u tako kratkom vremenu. Njihov model daje dodatnih 0.4 mm/h oborine, što je dobar red veličine, ali sugerira da efikasnost u tom procesu mora biti izuzetno dobra ili da je debljina pannusa veća nego što su oni pretpostavili. Što se tiče efikasnosti procesa ispiranja vlage iz donjeg oblaka, pronašli su da je bolje za snijeg nego za kišu i da je efikasnost bolja za niži teren.

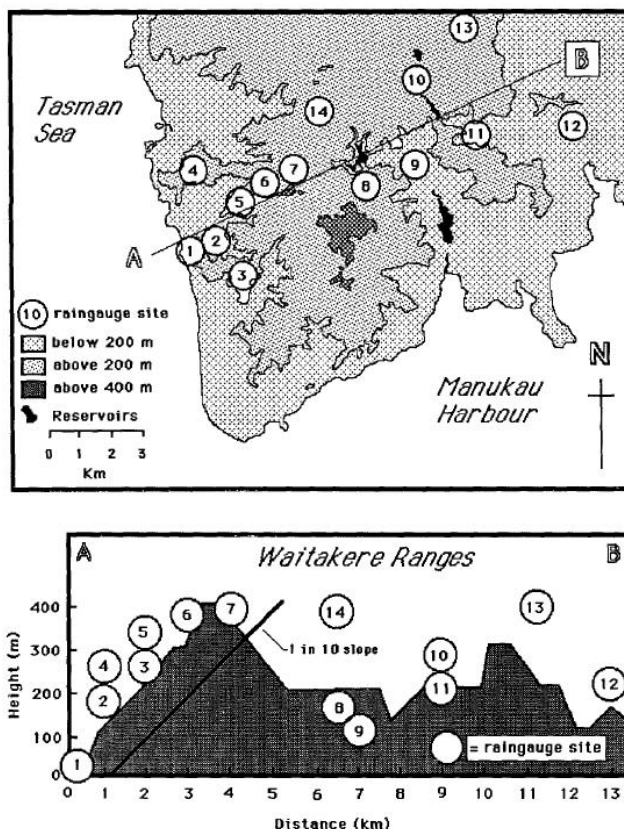
Na kraju zaključuju da je zbog ograničenog broja podataka nemoguće sa sigurnošću utvrditi da je pojačanje količine i intenziteta oborine u promatranom području uzrokovano mehanizmom jezgara i hranjenja, ali da je to svakako model koji najbolje objašnjava promatrane pojave.

4.1.2. POJAČANJE OBORINE PREKO BREŽULJAKSTOG LANCA WAITAKERE (NOVI ZELAND)

Ideja članka Bradely-ja i suradnika (1992) je da detaljnije objasni zavisnost orografskog pojačanja oborine o brzini vjetra u nižim slojevima, kao i o intenzitetu oborine iz glavnog oblaka (engl. *seeding rate*). U vrijeme kad je članak napisan postajalo je opće prihvaćeno generalno objašnjenje pojačanja oborine preko malih brežuljaka, ali do tada provedena promatranja su ukazala na neka neslaganja s teorijom. Ovisnost pojačanja oborine o brzini prizemnog vjetra se u praksi pokazala puno jačom nego što je to teorija predviđala, što ukazuje na to da teorijski modeli nešto nisu uzeli u obzir. S druge strane, teorija je predviđjela jaču ovisnost o intenzitetu oborine iz glavnog oblaka, dok su mjerenja pokazala tek slabu ovisnost.

Područje brežuljkastog lanca Waitakere nalazi se na obali sjevernog otoka Novog Zelanda, zapadno od grada Aucklanda. To područje izabrano je zbog česte pojave niske naoblake i odgovarajućeg profila terena (male promjene u nadmorskoj visini), kao i povoljnog dominantnog strujanja (jugozapadno) koje je okomito na smjer protezanja brežuljaka. Promatrana su četiri odvojena slučaja pojave oborine u tom području, svaki slučaj za sebe, od kojih su prva dva u članku detaljnije izloženi, a

treći i četvrti samo u grubo. Uspostavljena je relativno gusta privremena mreža digitalnih kišomjera koji su registrirali intenzitet oborine u periodima od 512 s (za prva dva slučaja), odnosno 1024 s (za druga dva slučaja). Kišomjeri su međusobno udaljeni između 1 i 3 km, a njihov položaj kao i reljef terena prikazan je na Slici 14.



Slika 14. Karta i vertikalni profil planinskog lanca Waitakere (Novi Zeland) s označenim položajima kišomjera

(Prema Bradely i sur., 1992)

Podaci o oborinama na svakom kišomjeru nisu uspoređivani među slučajevima nego prostorno među sobom, za svaki slučaj posebno. Autori su podatke usporedili na dva različita načina. Prvo su odredili prag intenziteta (0.1, 1, 2.5, 5 i 10 mm/h) i onda su brojali koliko puta je na svakom kišomjeru taj prag nadmašen. Druga metoda se sastoji od određivanja kišomjera s najvećom ukupnom količinom oborine koji je onda uspoređen s ostalima po parovima, za sva vremenska razdoblja. Gradijent pravca linearne regresije, dobiven metodom najmanje sume kvadrata odstupanja, predstavlja mjeru orografskog pojačanja između parova kišomjera. Isto tako izračunati su i koeficijenti korelacije. Ako su koeficijenti korelacije visoki, to ukazuje da razlog za pojačanje nije slučajan.

Prvi promatrani slučaj bila je kiša jakog intenziteta, trajanja 12-ak sati uzrokovana prolaskom hladne fronte povezane s jakom ciklonom 11. prosinca 1984. Korišteno je 6 od 14 mogućih kišomjera, ostali nisu u to vrijeme bili uključeni. Prizemni vjetar nakon nekog je vremena promijenio smjer s istočnog na zapadni, što je uzrokovalo da je većina kišomjera koji su u početku bili na zavjetrinskoj strani brežuljaka, završila na navjetrinskoj strani. Prikupljeni podaci odlično prate promjenu smjera strujanja, što ukazuje na utjecaj brežuljaka na količinu oborine. Visoki koeficijenti korelacije nađeni su između kišomjera broj 14 (koji je imao najveću registriranu ukupnu količinu oborine) i ostalih, što ukazuje na to da je relativni odnos između različitih kišomjera neovisan o intenzitetu oborine, nego da ovisi samo o njihovom položaju. Rezultati pokazuju da je količina oborine na kišomjeru broj 14 čak 65% viša od količine oborine na obali, što ukazuje na znatni utjecaj brežuljaka.

Drugi promatrani slučaj razlikovao se u tome što su promatrani grmljavinski pljuskovi (16. prosinca 1984.) popraćeni jakim sjeverozapadnim strujanjem koji su zapravo nastali stotinjak kilometara dalje, blizu grada Aucklanda. Tamo su uzrokovali jake poplave, tako da je količina vlage u oblacima bila znatno manja pri prolasku preko brežuljaka Waitakere gdje je palo sveukupno manje kiše nego u prvom slučaju. U ovom slučaju nema korelacije između pojedinih kišomjera i autori nisu uspjeli pronaći ovisnost o orografiji, za što su dana dva razloga: 1. strujanje je bilo skoro paralelno sa smjerom pružanja brežuljaka i 2. pljuskovi su uzrokovani snažnom konvekcijom pri čemu veličina oblaka nije bila usporediva sa širinom brežuljaka.

U promatrano područje 21. prosinca 1984. s jugozapada je prodrla fronta okluzije. Strujanje je bilo iz smjera istok-sjeveroistoka i nešto slabije nego u prvom slučaju, tako da se većina kišomjera našla na zavjetrinskoj strani brežuljaka. Prostorna raspodjela pojačanja oborine vrlo je slična onoj zapaženoj u prvom slučaju. Koeficijenti korelacije su ponovno visoki. U ovom slučaju kišomjer broj 10 pokazao je najveću količinu oborine, a usporedba s obalnim područjem pokazuje pojačanje od 69%, što je u skladu s pojačanjem od 65% u prvom slučaju.

Hladna fronta s vrlo blagim istočnim strujanjem karakterizirala je četvrti slučaj 2. siječnja 1985. Iako je količina oborine bila viša nego u prethodnom slučaju, autori nisu našli nikakvu pravilnost s obzirom na položaj. Pojačanja s obzirom na obalnu regiju nije bilo, kao ni povećane korelacije u količini oborine među kišomjerima. Nedostatak orografskog pojačanja pripisuje se izuzetno slabom prizemnom strujanju

koje nije bilo dovoljno za formiranje sloja niskih oblaka potrebnog za orografsko pojačanje.

Autori zaključuju da su svi promatrani slučajevi u skladu s Bergeronovim modelom pojačanja oborine preko malih brežuljaka u uvjetima kada je oborina uzrokovana prolaskom sinoptičkog sustava iznad niskih oblaka nad brežuljcima. Rezultati potvrđuju i prijašnja istraživanja u kojima je nađeno dosta značajno pojačanje, reda veličine 60%. Isto tako, rezultati ukazuju na nedostatak povezanosti pojačanja s intenzitetom oborine, što nije u skladu s teorijskim modelima. Nedostatak pojačanja u drugom slučaju objašnjen je drukčijim porijeklom pa time i karakteristikama oblaka, a u četvrtom slučaju izuzetno slabim prizemnim strujanjem koje nije bilo dovoljno za stvaranje niskih lokalnih oblaka koji su potrebni za mehanizam jezgara i hranjenja. Autori navode da je to zapažanje u skladu sa zapažanjima Hilla (1981) koji je pokazao da je pojačanje ovisno o brzini prizemnog strujanja, što također nije u skladu s teorijskim modelima. Kako je ovo preliminarno istraživanje pokazalo dobre, ali ne dovoljno detaljnje rezultate, autori zaključuju da je slijedeći korak bolje ispitati ovistnosti o brzini prizemnog strujanja i intenzitetu oborine. Predlažu korištenje balonskih sonde za prikupljanje kvalitetnijih podataka o strujanju, kao i pouzdanijih kišomjera, za koje navode da ih je dosta znalo zakazati iz trivijalnih razloga.

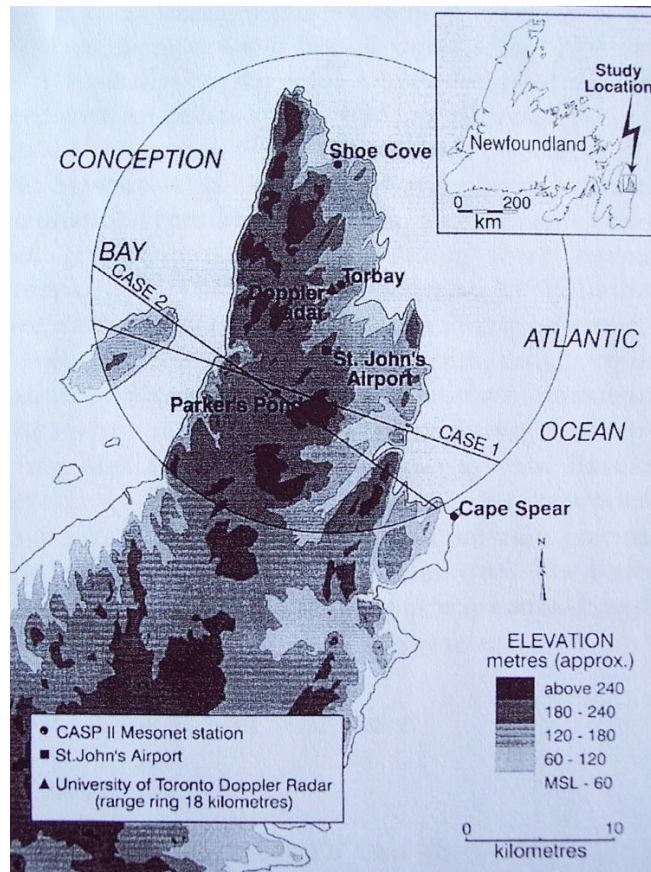
4.1.3. OROGRAFSKI UTJECAJ NA OBORINE TIJEKOM ZIME NA POLUOTOKU AVALON (KANADA)

Kao i mnoga istraživanja do sada i istraživanje Banfielda i suradnika (2000) se koncentrira na zimske oluje jer je po zimi puno manja vjerojatnost da će oblaci biti konvektivnog postanka, što bi za istraživanu pojavu bilo nepogodno. Samo istraživanje provedeno je u sklopu šireg kanadskog programa za istraživanje oluja (Canadian Atlantic Storms Program - CASP II) iz 1992. godine. U članku se kao četiri glavna cilja istraživanja navode: objasniti kako relativno mali brežuljci poluotoka Avalon mogu pojačati količinu oborine tijekom vlažnih zimskih ciklona, pokazati kakvu ulogu u tom procesu igra promjena vrste oborine, predložiti jednostavan model koji bi obuhvatio najvažnije utjecaje i proširiti zaključke na širu obalnu regiju.

Dok se u prva dva izložena istraživanja promatraju samo situacije s kišom, u ovom istraživanju razmatraju se i snijeg i kiša. Autori pokušavaju utvrditi da li postoji pomak maksimuma oborine kad je u pitanju snijeg jer teorija kaže da će za jednaku jakost vjetra, zbog manje gustoće i veće površine snježnih pahuljica u odnosu na kišne kapljice, pahuljice biti nošene dalje te će maksimum biti pomaknut niz vjetar i ne jako oštro definiran. Isto tako, neki modeli koji su već postojali u vrijeme kad je ovo istraživanje provedeno (Chourlarton i Perry, 1986; Grabowski, 1989) ukazuju da je efekt pojačanja oborine veći kad je u pitanju snijeg, naročito kod dužih brežuljaka.

Autori postavljaju i pitanje koje se već pojavilo i u nekim prijašnjim istraživanjima (npr. Bradely i sur., 1992), a tiče se utjecaja intenziteta oborine iz glavnog oblaka na samo pojačanje. Glavni problem pri tome je kako utvrditi intenzitet oborine iz glavnog oblaka na točnoj lokaciji. Prijašnja istraživanja oslanjala su se samo na podatke dobivene kišomjerima, pa Banfield i suradnici odlučuju koristiti vertikalne profile dobivene Doppler radarom.

Poluotok Avalon nalazi se na istočnoj obali Newfoundlanda, sjeverno od Nove Engleske (Kanada). Autori se odlučuju za promatranje zimskih ciklona koje u promatranom području rezultiraju miješanim vrstama oborina. Obično ciklone počinju sa snijegom, koji onda prelazi u ledene kristaliće ili ledenu kišu, a nakon prolaska fronte u kišu. Podaci su na tlu prikupljeni s četiri automatske postaje koje su precizno mjerile intenzitet oborina, temperaturu zraka, relativnu vlažnost, brzinu i smjer strujanja te tlak zraka u intervalima od 2 minute, a kod svake automatske postaje postavljen je i kišomjer za mjerenje ukupne količine oborina. Radarski podaci prikupljeni su Dopplerovim radarom za x-frekvencijsko područje (8.0 do 12.0 GHz) u blizini mjesta Torbay koji je vertikalno skenirao 12 diskretnih prostornih kutova između 3° i 67° svakih 10 minuta. Isto tako, svakih 30 minuta napravljena je vertikalna snimka situacije. Slika 15 prikazuje reljefnu kartu poluotoka s označenim postajama i radarom, kao i dvije točke na kojima će se uspoređivati količina oborine, Parker's Pond i Cape Spear.

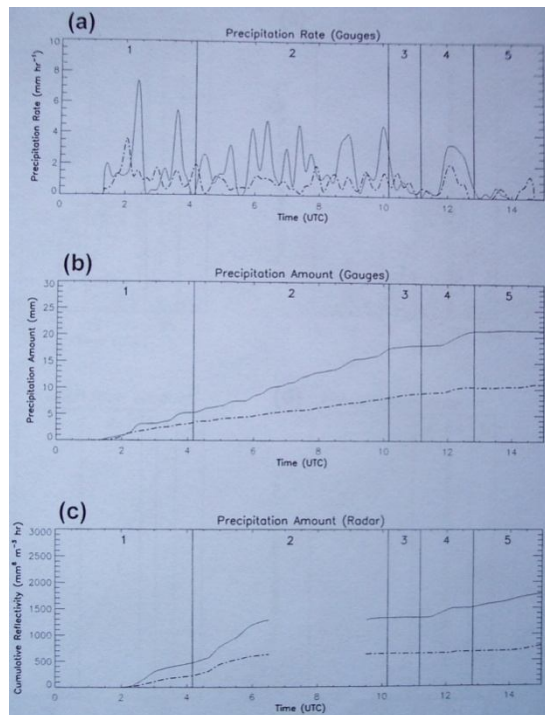


Slika 15. Reljefna karta poluotoka Avalon (Kanada) s označenim položajem kišomjera i radara

(Prema Banfield i sur., 2000)

Za istraživanje su izabrane četiri sinoptičke situacije (u daljnjem tekstu slučajevi 1, 2, 3 i 4) koje su odgovarale već uspostavljenim općenitim uvjetima za pojavu orografskog pojačanja oborine, poglavito zimske ciklone koje donose vlažni oceanski zrak, a dominantno prizemno strujanje je istočno. Iako visina brežuljaka ne prelazi 300m, to je dovoljno da dovede do zasićenja zraka vodenom parom i formiranja niskog slojastog oblaka nad poluotokom. U sva četiri slučaja pojavilo se nekoliko različitih vrsta oborine, ponekad same, a ponekad čak i miješane (u slučaju 1 postoji period od 8 sati u kojem su zapaženi miješani ledeni kristalići i ledena kiša), zbog čega je teško uspostaviti relaciju između radarskog odraza i intenziteta oborine.

U slučaju 1 ukupno trajanje oborina na oba mjesta (Parker's Pond i Cape Spear) je vrlo slično. Zbog velikih vremenskih varijacija u intenzitetu na postajama teško ih je usporediti, ali kumulativni iznosi na kišomjerima kao i radarska mjerenja pokazuju veću količinu oborine Parker's Pondu, što se vidi na Slici 16.

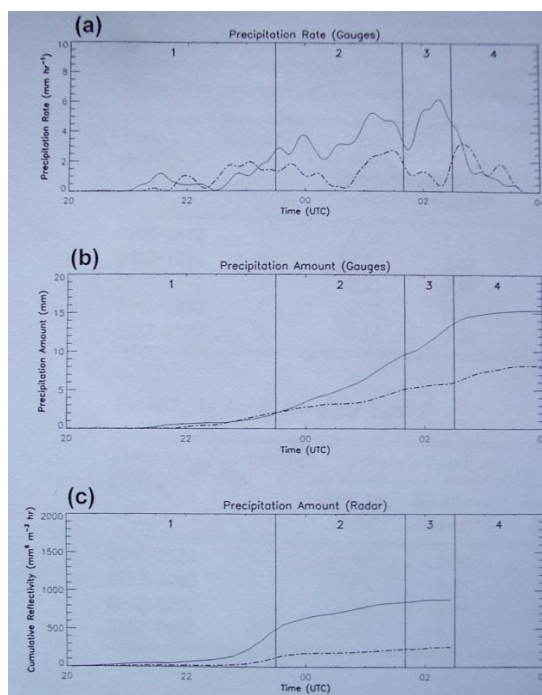


Slika 16. Slučaj 1: Puna linija – Parker's Pond, isprekidana – Cape Spear.
(a) intenzitet oborine, (b) količina oborine, (c) ukupan radarski odraz na 1.5 km visine
 (Prema Banfield i sur., 2000)

Slika 17 prikazuje slučaj 2 u kojem je razlika u intenzitetu oborine na dva promatrana mjesta puno izraženija. Tijekom prvih nekoliko sati na oba mjesta intenzitet je jako slab, nakon kojih se intenzitet pojačava i počinju se pojavljivati razlike između lokacija. Autori ističu konzistenciju prizemnih mjerenja s radarskim. Razlika se pojačava tijekom sljedeća tri sata, dok se topla fronta približava do udaljenosti od 130 km od Aerodroma St. John i prizemno strujanje jača do 25 m/s. Slučajevi 3 i 4 vrlo su slični slučaju 2, gdje na početku skoro pa i nema razlike, a onda se ona naglo javlja i brzo raste.

Prikupljeni rezultati ukazuju na dva značajna faktora koji utječu na pojačanje oborine preko niskih brežuljaka: 1. jakost komponente strujanja okomite na smjer pružanja brežuljaka i 2. udaljenost od nadolazeće tople fronte. U tom smislu autori uspoređuju slučajeve 1 i 2. Promatrajući vremensku raspodjelu različitih vrsta oborina koje su se javile u slučaju 1 kao i vremensku raspodjelu pojačanja zaključuju da u tom slučaju nije došlo do okidanja mehanizma jezgara i hranjenja. Većina pojačanja oborine dogodila se u ranijoj fazi događaja, 7-14 sati prije prolaska tople fronte, tijekom slabog prizemnog strujanja, što nije u skladu s ostalim događajima, kao ni s

teorijom. Autori pretpostavljaju da je u tom slučaju do pojačanja došlo zbog ubrzanog vertikalnog razvoja niskog oblaka nad navjetrinskom stranom brežuljka, a prije dolaska glavnog oblaka. U ostalim slučajevima do pojačanja je došlo samo nekoliko sati (4.5h u slučaju 2) prije prolaska tople fronte. Isto tako, postoji i odlično slaganje pojačanja oborine s brzinom prizemnog vjetra, a radarska slika pokazuje dva odvojena sloja oblaka koji su nužni za pojavu mehanizma jezgara i hranjenja.



Slika 17. Slučaj 2: Puna linija – Parker's Pond, isprekidana – Cape Spear.

(a) intenzitet oborine, (b) količina oborine, (c) ukupan radarski odraz na 1.5 km visine

(Prema Banfield i sur., 2000)

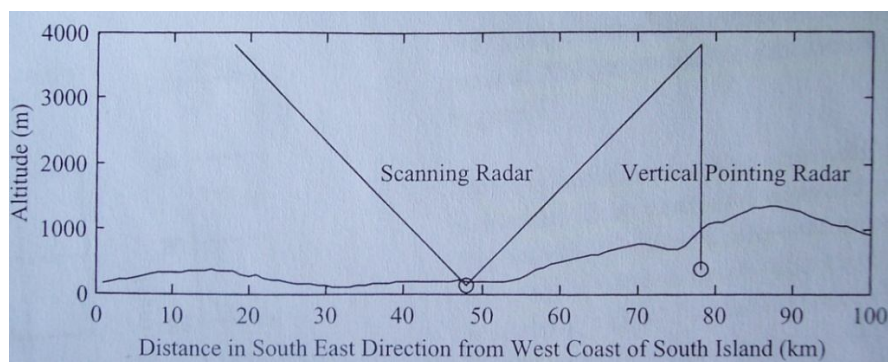
Autori se osvrću i na važnost vrste oborine i primjećuju da se najveće pojačanje javilo upravo pri prelasku iz jedne oborine u drugu, na primjer iz snijega u ledene kristaliće u slučaju 2. Pošto je u svim slučajevima pojačanje počelo malo ranije od promjena vrsti oborina, ne može se zasigurno zaključiti da postoji veza i zahtjeva dalje istraživanje.

U članku se nadalje uspoređuju ovi slučajevi s modelima koje su postavili Choularton i Perry (1986) i Grabowski (1989). Pronađeno je dobro slaganje u slučaju 2 gdje je dominantna vrsta oborine bio snijeg, dok slučaj 3 ukazuje na to da izmjereno pojačanje u stvarnosti može biti znatno jače od predviđenog ako se radi o ledenim kristalićima i jakim prizemnom vjetru.

Na kraju autori zaključuju da je ovo istraživanje pokazalo da se pojačanje oborine može javiti za puno različitih vrsta oborine i da je ono jače izraženo na temperaturama ispod 0°C. Pojava i trajanje pojačanja jako je osjetljivo na interakciju lokalnih uvjeta s pojavama na sinoptičkoj skali, kao na primjer udaljenosti fronte. Samo pojačanje oborine najizraženije je kad je i prizemni vjetar na navjetrinskoj strani brežuljka najjači.

4.1.4 RADARSKI DOKAZ OROGRAFSKOG POJAČANJA MEHANIZMOM JEZGARA I HRANJENJA

Istraživanje Purdy-ja i suradnika (2005) jedno je od prvih koje prvenstveno upotrebljava podatke dobivene radarskim mjerenjima za jasno prikazivanje mehanizma jezgara i hranjenja, a upotpunjeni su i kišomjernim podacima. Promatrali su područje Južnih Alpi, koje se nalazi na zapadnoj obali južnog otoka Novog Zelanda, protežući se u smjeru sjeveroistok-jugozapad. Korištena su dva mobilna radara za x-frekvencijsko područje, jedan skenirajući, a drugi usmjeren vertikalno. Radari su prvo kalibrirani zajedno, a onda premješteni na svoje lokacije, na liniji okomitoj na smjer pružanja Južnih Alpi, kao što je prikazano na Slici 18.



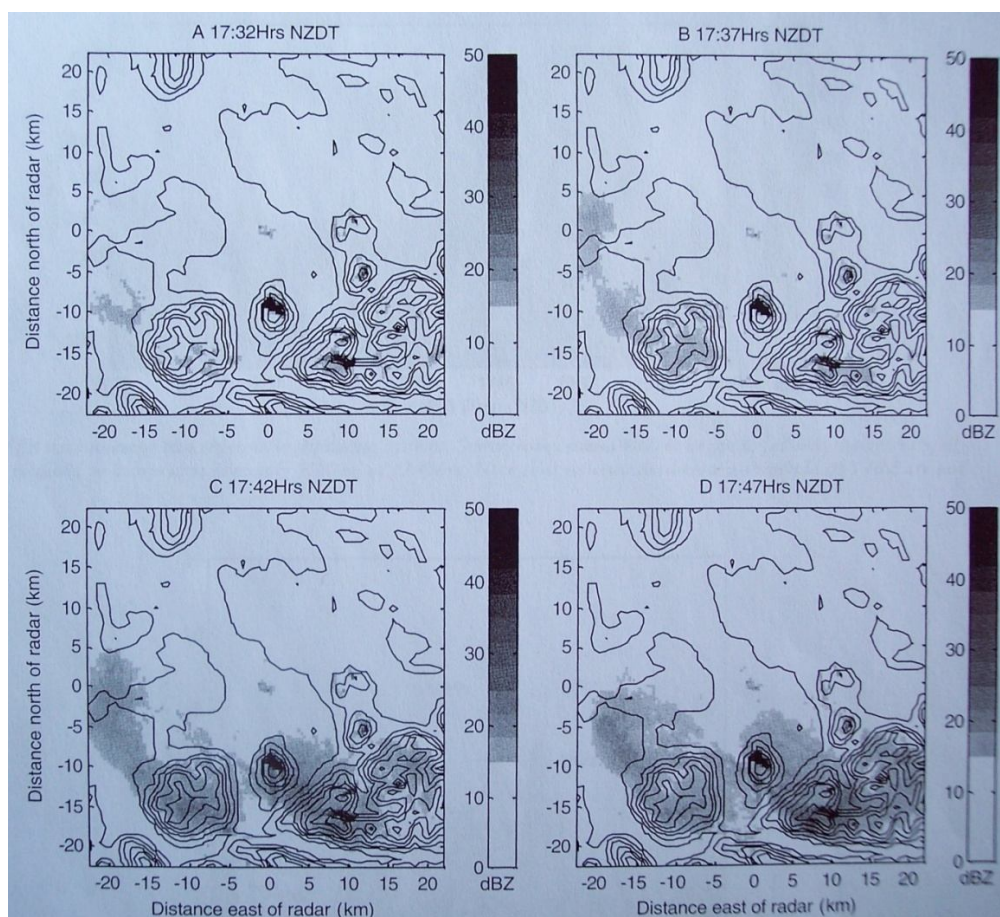
Slika 18. Položaj korištenih radara i smjer zraka u odnosu na teren

(Prema Purdy i sur 2005)

Na oba mjesta također je mjereno i prizemni tlak zraka, korištene su balonske radio-sonde sa standardnom opremom, pored radara postavljeni su i kišomjeri koji su registrirali količinu oborine svakih 5 minuta, dok je profil vjetra dobiven radarom Novozelandske meteorološke službe.

Ciklona koja se istražuje u ovom radu približavala se južnom otoku Novog Zelanda s jugozapada tijekom četiri dana. Strujanje je bilo sjeveroistočno, donoseći

sa sobom topli, vlažni zrak s oceana. U ta četiri dana izmjereno je 392 mm kiše na položaju vertikalnog radara, dok je 30km niz vjetar, na položaju skenirajućeg radara, izmjereno tek 29 mm. Autori zaključuju da je u pitanju jasna situacija orografskog pojačanja oborine i izabiru tu situaciju kao temu njihovog istraživanja.



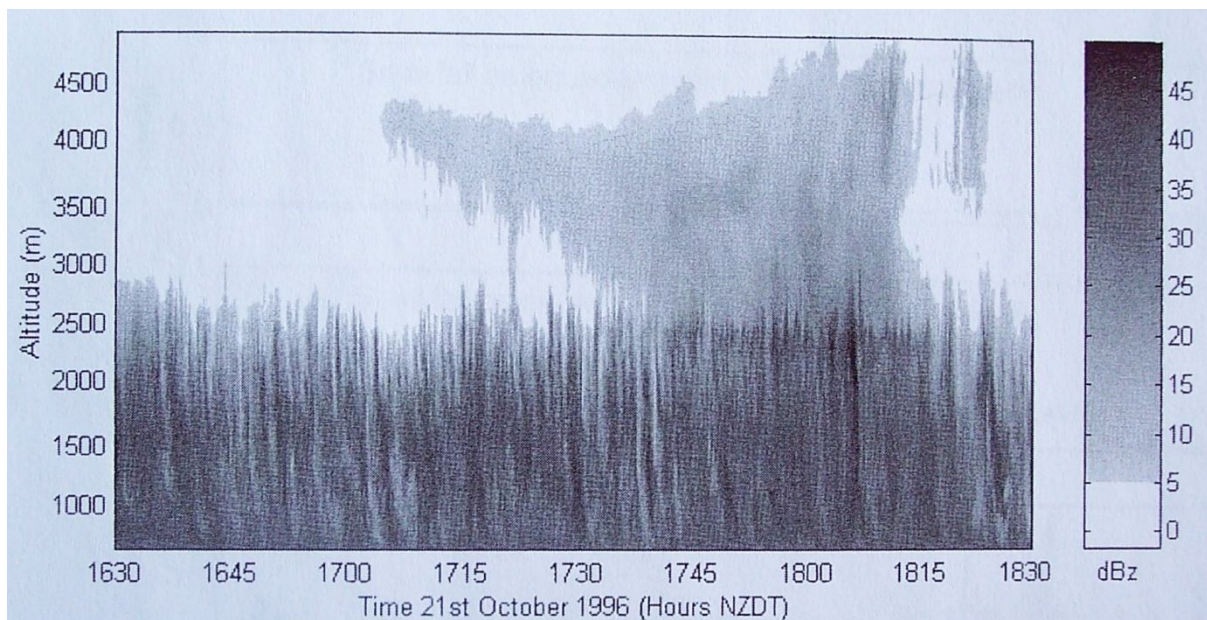
Slika 19. Radarske slike pokazuju neočekivano brz razvoj oborine u promatranom području. Najveće pojačanje dogodilo se između slika (B) i (C). Izohipse su ucrtane svakih 200 m. Skenirajući radar nalazi se u sredini, a položaj vertikalnog nije ucrtan, jer je još 6 km južno od točke 7 km istočno i -22.5 km sjeverno.

(Prema Purdy i sur 2005)

Radarske slike pokazuju toliko brz razvoj događaja (Slika 19) da su u trenutku kad su mjerenja obavljena prvo pomislili da nešto nije u redu sa skenirajućim radarom te je odmah provjeren. Pokazalo se da je radio kako treba i da je jednostavno došlo do iznenadnog, vrlo intenzivnog pojačanja oborine.

Vertikalni radar ključan je za objašnjenje ovog događaja. Slika 20 prikazuje vertikalni presjek razvoja situacije u vremenu. Prvih pola sata, od 16.30 do 17.00 sati (lokalno) postoji samo slaba kiša iz niskog oblaka (visine ispod 3000 m). Od 17.00

nadalje pojavljuje se na većoj visini slabi snijeg, i od 17.45 jasno se vidi mješanje dva odvojena oborinska sustava.



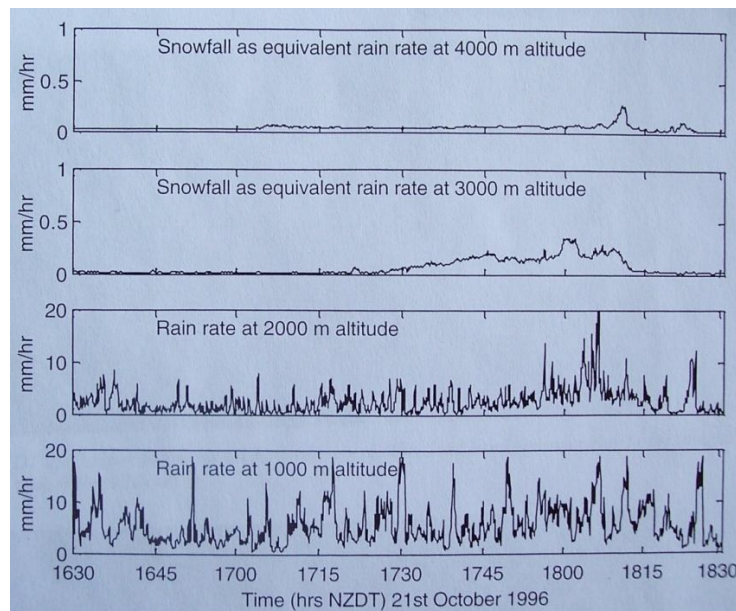
Slika 20. Slika dobijena vertikalnim radarom pokazuje mješanje dva oborinska sistema

(Prema Purdy i sur 2005)

Autori ističu da podaci s vertikalnog radara pokazuju miješanje dva oborinska sustava, ali da se o mehanizmu jezgara i hranjenja može govoriti samo ako je niži oblak orografskog porijekla, dok glavni oblak (u ovom slučaju snježni oblak) mora biti rezultat sinoptičke situacije, a ne lokalnog uzdizanja. U tom slučaju rezultanta količina oborine nije jednostavno suma količina oborine iz pojedinačnih sustava. Ako je količina oborine veća od te sume, to ukazuje na „ispiranje“ vlage iz nižeg oblaka, odnosno iskorištavanje malih kapljica koje se inače ne bi pretvorile u oborinu.

Autori koriste i satelitske snimke za praćenje razvoja i kretanja višeg (snježnog) oblaka, potvrđujući da je on nastao kao posljedica sinoptičke situacije. Nadalje, iz radarskih podataka izračunali su da intenzitet padanja snijega iz gornjeg oblaka, odnosno kiše iz donjeg, na različitim visinama. Intenzitet snijega je vrlo mali, na 4000 m 0.1 mm/h, dok na 3000 m ne dostigne niti 0.5 mm/h. S druge strane, od 17.45 na 2000 m intenzitet kiše pojačava se za cijelih 2 mm/h (Slika 21), što odgovara vremenu kada snijeg počinje padati u niži oblak. Na visini od 1000 m to pojačanje je teže izolirati, što je objašnjeno šumom. Time se pokazuje da povećanje

u intenzitetu nije jednostavno suma intenziteta, nego dolazi do ispiranja vlage iz nižeg oblaka, što je zapravo mehanizam jezgara i hranjenja. Podaci s kišomjera su u slaganju s tim rezultatima, a pokazuju i to da se ovaj efekt pojačanja proteže skroz do tla.



Slika 21. Intenzitet oborine na različitim visinama

(Prema Purdy i sur., 2005)

U zaključku se može reći da je upotreba vertikalnog radara dobar način za direktno promatranje mehanizma jezgara i hranjenja. Iz članka je jasno da je tijekom četiri dana došlo do nekoliko različitih razloga za pojačanje oborine, i da je primijećena pojava samo mali dio ukupne količine oborine koja je tada izmjerena. Članak je zanimljiv jer pokazuje razvoj oborina po vertikali pa se jasno vidi interakcija dva sustava i može se detaljnije proučavati mehanizam ispiranja vlage iz nižeg oblaka.

4.2. TEORIJSKI RADOVI

Kao i empirijski, i teorijski radovi bit će izloženi kronološkim redom. Prva dva modela (Choularton i Perry, 1986; Grabowski, 1989) citirana su u puno kasnijih

teorijskih radova i daju dobru osnovu za modeliranje mehanizma jezgara i hranjenja. Nakon toga bit će prikazan malo drugačiji pristup Johanssona i Chena (2003) koji provode statističku analizu i daju model za interpolaciju količine oborine u područjima koja su slabije dostupna, pa za njih nema puno podataka.

4.2.1. MODEL OROGRAFSKOG POJAČANJA SNIJEGA MEHANIZMOM JEZGARA I HRANJENJA

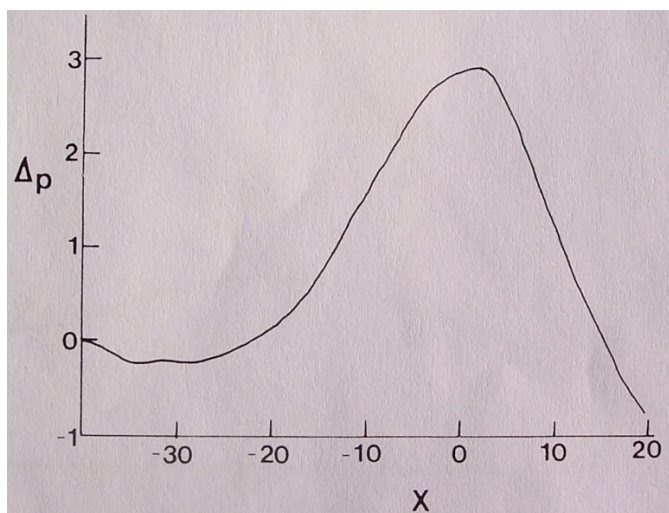
Do 1985. godine (kada su svoje istraživanje provodili Chourlaton i Perry) bilo je nekoliko pokušaja da se uspostavi generalni model pojačanja oborina mehanizmom jezgara i hranjenja, ali su se oni odnosili uglavnom na kišu. Autori u svom radu ukazuju na studiju Browninga (1983) u kojoj je pokazano da postoji vrlo značajno pojačanje količine oborine ako se radi o snijegu, ali do tada nitko taj proces nije modelirao.

Za potrebe modeliranja strujanja zraka, atmosfera je podijeljena u tri sloja različite, ali uniformne stabilnosti. Pri tome je uzeto u obzir da kondenzacija u sloju mijenja stabilnost tog sloja. Autori posebno naglašavaju da u simulacijama koje provode postoji, pod nekim uvjetima, mogućnost pojave blokiranja strujanja uzbrdo, naročito pri snažnom hlađenju zraka uz tlo. Rezultat toga bio bi znatno smanjenje pojačanja oborine zbog nedovoljnog priljeva vlažnog zraka u nižim slojevima. Isto tako, pojava nestabilnosti u prizemnom sloju dovela bi do vertikalnog razvoja nižeg oblaka i povećanja količine vlage u višim slojevima.

Model uzima u obzir da pahuljice različitih vrsta, veličina i mase padaju u niži oblak. Zasićeni tlak vodene pare niži je nad ledom nego nad vodom, pa kad pahuljice upadnu u niži oblak zapravo dolaze u područje prezasićenosti vodene pare s obzirom na led i rastu zbog difuzije. Model uvažava da će u nekim slučajevima u nižem oblaku već postojati i zasićenje vodene pare s obzirom na vodu, tako da će u nižem oblaku biti kapljica koje će uzrokovati rast pahuljica procesom sraščivanja s kapljicama.

Da bi modelirali prolazak pahuljice kroz niži oblak i njen rast, autori postavljaju mrežu koja predstavlja oblak. Vrh mreže prati strujnicu, a dno mreže prati teren (brežuljak), tako da mreža dobro modelira strujanje zraka preko brežuljka. Pahuljica kreće s vrha mreže, gdje upada u područje zasićenosti s obzirom na led i zbog toga

raste, a količina vodene pare u oblaku smanjena je za taj iznos. Pahuljica se pomiče u slijedeći element mreže gdje opet malo naraste, i tako se pahuljica pomiče prateći strujnicu. Ako u bilo kojem trenutku dođe do zasićenja vodene pare nad vodom, model nastavlja rast kapljice procesom ledenih kristala. Ovisno o izračunatoj veličini pahuljice i brzini strujanja, model dozvoljava da se ona pomiče i prema dolje, odnosno da pada prema zemlji. Autori su smanjivali rezoluciju mreže sve do trenutka do kad dodatno smanjenje nije značajno promijenilo rezultate. Zaključuju da je 15 vertikalnih pomaka i $L/20$ horizontalnih (L je dužina brežuljka) optimalna mreža s obzirom na točnost rezultata i brzine kompjutera. Modelirano je nekoliko različitih početnih prizemnih temperatura ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) i dvije različite dimenzije brežuljka: kratki (2 km) i dugi (20 km), u oba slučaja visine 600 m. Pretpostavlja se da je početna zasićenost zraka iznad brežuljka s obzirom na led 95%, a model dozvoljava i isparavanje dokle god nema zasićenosti. Za brzinu strujanja uzima se 20 m/s , a za intenzitet oborine iz glavnog oblaka 1.5 mm/h . To su sve tipične vrijednosti primijećene za frontalne oborine u Velikoj Britaniji.



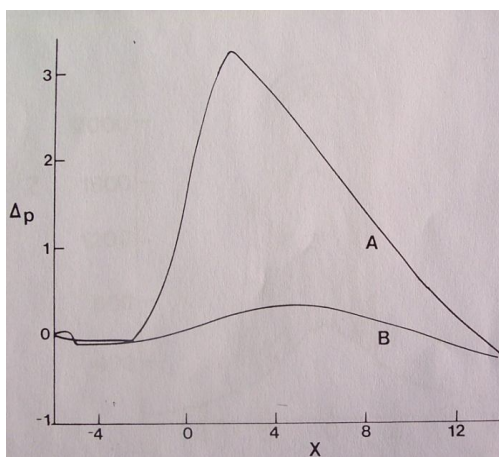
Slika 22. Pojaćanje intenziteta padanja snijega Δp [mm/h] s obzirom na horizontalnu udaljenost X [km] preko brežuljka visine 600 m i dužine $L = 20$ km.

(Prema Choularton i Perry, 1986)

Rezultati se dijele na one za duge brežuljke i one za kratke. Slika 22 prikazuje raspodjelu pojaćanja oborine Δp preko dugog brežuljka. Model daje maksimum pojaćanja oborine nešto malo iza (u smislu smjera strujanja) vrha brežuljka, dok je

maksimum zasićenja vodene pare s obzirom na led malo prije vrha brežuljka. Taj pomak objašnjen je time da je snijeg nošen vjetrom. Pahuljice rastu samo difuzijom jer zasićenje nad vodom nije postignuto. Iza brežuljka zasićenost vrlo brzo opada i orografsko pojačanje nestaje 15-ak kilometara niz vjetar. Za maksimalno pojačanje dobija se 2.8 mm/h, dok je maksimalno pojačanje za kišu u prijašnjim modelima bilo 1.5 mm/h, što se slaže i s promatranjima koja ukazuju na to da se veće pojačanje postiže kada je u pitanju snijeg, nego kiša.

Za kratki brežuljak ($L = 2$ km) rezultati se malo drugačiji, a prikazani su na Slici 23. U slučaju kratkog brežuljka model previđa postizanje zasićenja vodene pare nad vodom, pa pahuljice počinju rasti i procesom sraščivanja. Na Slici 23 prikazane su dvije krivulje koje predstavljaju pojačanje oborine zbog rasta difuzijom (B), odnosno zbog rasta procesom sraščivanja (A). Autori naglašavaju na to da je difuzija u ovom slučaju manje značajan proces i da ne pridonosi u većoj mjeri ukupnom pojačanju oborine. Izračunato je maksimalno pojačanje od 3.2 mm/h što je puno veće nego za kišu pod sličnim uvjetima (1mm/h). To je pripisano puno većoj efikasnosti ispiranja vodene pare iz oblaka velikim pahuljicama. Rep prikazanih krivulja ukazuje i na jako nošenje pahuljica vjetrom, pa se efekt pojačanja donekle proteže i na zavjetrinsku stranu brežuljka.



Slika 23. Pojačanje intenziteta padanja snijega Δp [mm/h] s obzirom na horizontalnu udaljenost X [km] preko brežuljka visine 600 m i dužine $L = 2$ km. Krivulja A predstavlja rast sraščivanjem, a krivulja B rast difuzijom.

(Prema Choularton i Perry, 1986)

Varijacije u brzini vjetra u rasponu od 10m/s do 30m/s pokazala su da za dugački brežuljak veća brzina vjetra daje jače pojačanje oborine, dok razlika u

pojačanju nije primjećena za kratki brežuljak, ali su pahuljice bile nošene dalje, pa je rezultatno pojačanje pri samom vrhu brežuljka malo smanjeno.

Autori nadalje istražuju što se događa ako se poveća debljina nižeg oblaka. Za dugački brežuljak dobija se puno veće pojačanje jer se rast pahuljica događa preko dužeg vertikalnog puta, skoro pa i nema nošenja vjetrom. Za kratki pak brežuljak nema porasta u pojačanju jer se duže vrijeme rasta poništi jačim nošenjem vjetrom. Pojačan intenzitet oborine iz glavnog oblaka ima obratni efekt – za kratki brežuljak jači intenzitet oborine rezultira jače izraženim pojačanjem, dok se to kod dugačkog brežuljka to ne primjećuje. Što se tiče temperature, niža temperatura rezultira smanjenjem pojačanja oborine, jer pri nižoj temperaturi ima manje raspoložive vodene pare.

4.2.2. UTJECAJ NISKIH BREŽULJAKA NA OBORINE

U radu Grabowskog (1989) cilj je bio točnije modeliranje mehanizma jezgara i hranjenja za sve vrste oborina. Autor navodi nekoliko prijašnjih pokušaja modeliranja (od kojih je model Choulatona i Perryja (1986) razmatren i u ovom diplomskom radu) koji se bave samo jednom vrste oborine. Isto tako primjećuje da prijašnji radovi podcjenjuju pojačanje kiše, a precjenjuju pojačanje snijega u odnosu na izmjerene vrijednosti. U svom radu Grabowski stavlja naglasak na detaljnije modeliranje dinamike strujanja s ciljem povećanja točnosti rezultata. Poglavitno u nižim slojevima atmosfere (znači, u donjem oblaku) prijašnji su modeli pretpostavljali ujednačeno strujanje, što svakako nije slučaj u prirodi.

Model uzima u obzir vodu u sva tri agregacijska stanja: (a) vodenu paru, (b) male oblačne kapljice koji imaju zanemarivu brzinu padanja i (c) oborinske kapljice ili kristale koji su dovoljno teški da ispadaju iz oblaka. Prema autoru, koncentracija sitnih kristala je najčešće zanemarivo mala.

Glavna pretpostavka ovog modela je da niski brežuljci ne utječu na dinamiku višeg, oborinskog oblaka za koji se pretpostavlja da je slojasti oblak s vrlo slabom vertikalnom komponentom strujanja pripisanom frontalnom dizanju. Za razliku od prijašnjih modela, ovdje se pretpostavlja da brežuljci utječu na formiranje oborine u glavnom oblaku jer čak i niski brežuljci uzrokuju blago vertikalno dizanje zraka, pa time vlažni zrak dolazi u slojeve gdje postoji frontalno uzdizanje i na taj način se zapravo djelomično pojačava i stvaranje oborine u glavnom oblaku. Da bi se ta

interakcija opisala, horizontalne i vertikalne komponente vjetra rastavljene su na dva djela na slijedeći način:

$$u(x, z) = U(z) + u'(x, z) \quad (17)$$

$$w(x, z) = W(z) + w'(x, z)$$

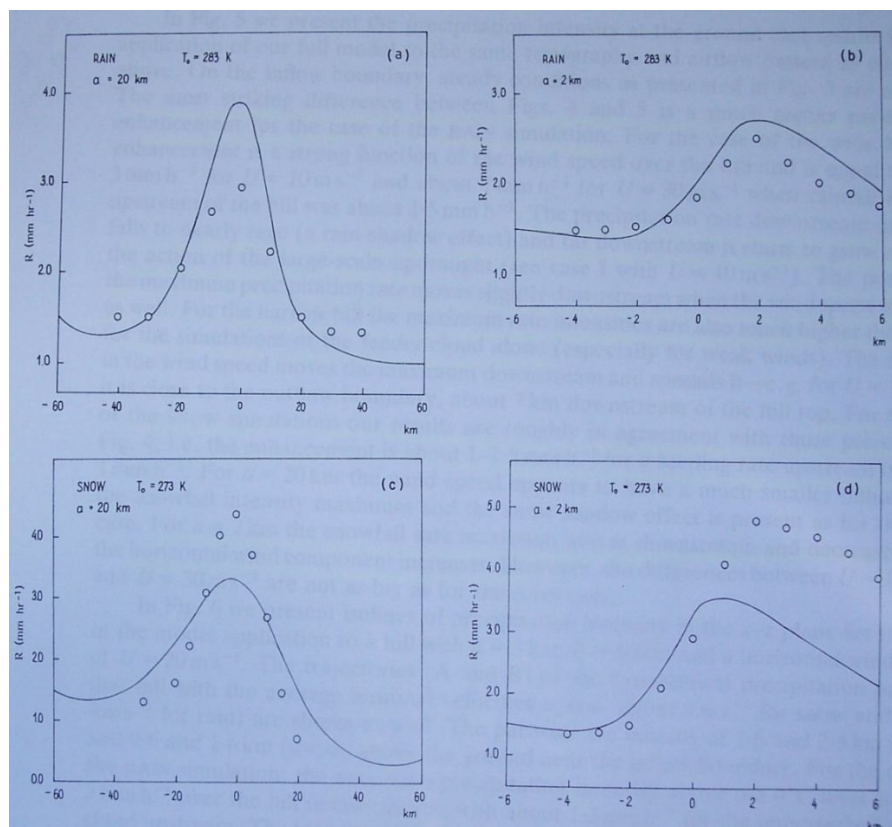
gdje su $u(x, z)$ i $w(x, z)$ ukupna horizontalna, odnosno vertikalna, komponenta vjetra, $U(z)$ horizontalna komponenta vjetra uzrokovana gibanjima na sinoptičkoj skali, $W(z)$ vertikalna komponenta gibanja na sinoptičkoj skali odgovorna za formiranje glavnog oblaka, a $u'(x, z)$ i $w'(x, z)$ perturbacije uzrokovane brežuljcima. Autor je svjestan toga da se time jednadžbama narušava očuvanje mase, ali da je utjecaj na rezultate toliko mali da se može zanemariti. Takvo rastavljanje strujanja na komponente omogućilo je uvođenje koordinatnog sustava s vertikalnom koordinatom koja prati strujnice. Uvodi se dvodimenzionalna funkcija toka $\Psi(x, z)$ i perturbacija toka na maloj skali, dana sa:

$$\rho(U + u) = \frac{-\partial \Psi}{\partial z} \quad (18)$$

$$\rho w' = \frac{-\partial \Psi}{\partial x} \quad (19)$$

Nova vertikalna koordinata $z^* = \Psi(x, z)$ funkcija je toka i prati strujnicu.

Promatrani model razlikuje se od prijašnjih (na primjer Choulaton i Perry, 1986) i po načinu na koji računa samo pojačanje oborine. Prijašnji modeli pretpostavljaju distribuciju veličina kapljica ili kristalića u glavnom oblaku, ali ne uzimaju u obzir njihovu interakciju, tako da računaju rast svake individualne kapljice (odnosno kristalića). U svom modelu autor predviđa postojanje interakcija između oborinskih elemenata i da to utječe na raspodjelu veličina. Zbog toga se prvo provela direktna usporedba ovog modela s prijašnjim, bez modeliranja glavnog oblaka, a s istim početnim uvjetima. Rezultati su ilustrirani na Slici 24.

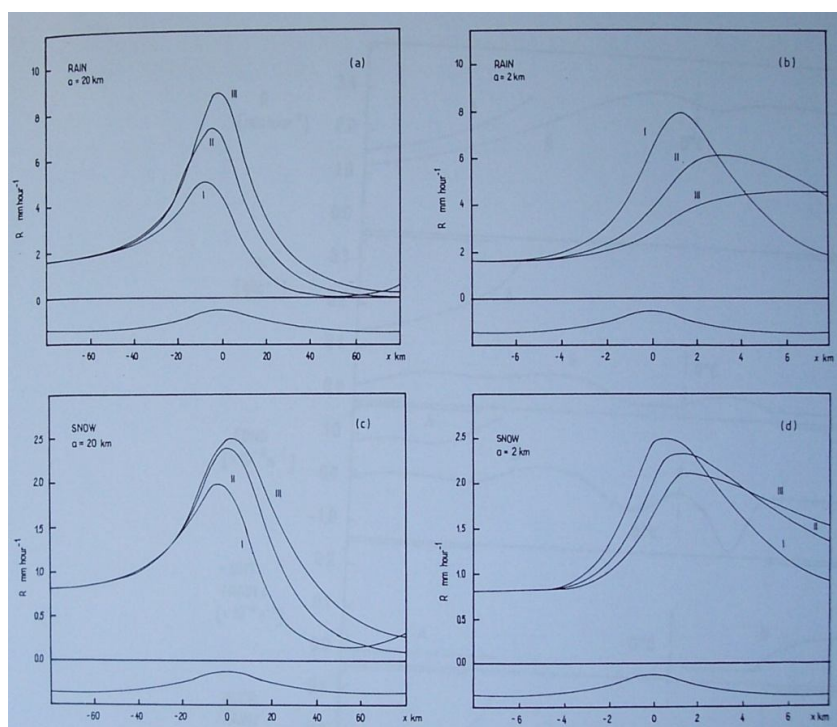


Slika 24. Usporedba pojačanja oborine dana modelom Grabowskog (1989) s prijašnjima, za slučajeve dugog i kratkog brežuljka i obje vrste oborine (kiša i snijeg). Uzeti su isti početni uvjeti, a promatran je samo utjecaj nižeg oblaka. Rezultati prijašnjih modela prikazani su kružićima.

(Prema Grabowski, 1989)

Glavna razlika između kompletnog modela i verzije provedene za usporedbu s ranijim modelima primjećuje se kod pojačanja intenziteta kiše. Za dugačak brežuljak veličina pojačanja jako se mijenja s brzinom strujanja. U zavjetrini intenzitet naglo opada i javlja se kišna sjena. Za veće brzine strujanja maksimum je pomaknut malo u smjeru strujanja, a veća je i širina područja pojačanja. Taj efekt naročito dolazi do izražaja kod kratkog brežuljka gdje je maksimum niži za veće brzine strujanja jer je kiša jako nošena vjetrom. U slučaju snijega nema veće razlike između kompletnog modela i ranije provedenog modela za usporedbu s prijašnjim istraživanjima. Isto kao i u slučaju kiše, primjećuje se efekt nošenja vjetrom koji je ponovo jače izražen za kraći brežuljak. Prema autorima, ovi rezultati pokazuju pojednostavljen slučaj gdje je u pitanju samo jedan brežuljak, generalni oblik krivulja, ovisnost o brzini strujanja i relativni iznosi pojačanja oborine slažu se s mjerenjima vršenim u Južnom Walesu, (Hill, 1981).

Za kišu postoji dosta dobro slaganje ta dva pristupa. U ovom modelu za slučaj dugog brežuljka (20 km) oborina opada jače na zavjetrinskoj strani, jer je uzeto u obzir isparavanje. Maksimum pojačanja nešto je viši, jer ovaj model pretpostavlja veću iskoristivost vlage iz donjeg oblaka. Za slučaj snijega situacija je obratna i ovaj model daje niži maksimum za obje dužine brežuljka što autori pripisuju drukčijem pristupu u računanju rasta oborinskih elemenata. Rezultati za kompletan model koji uzima u obzir i utjecaj brežuljaka na glavni oblak prikazani su na Slici 25.



Slika 25. Raspodjela intenziteta kiše uzrokovane orografskim pojačanjem preko brežuljka visine $h=600$ m, a dužine 20 km u slučaju (a) i (c), odnosno 2 km u slučaju (b) i (d). U slučajevima (a) i (b) radi se o kiši, a u (c) i (d) o snijegu. Linije I, II, i III odgovaraju brzinama vjetra $U=10, 20$ i 30 m/s.

(Prema Grabowski, 1989)

Redistribucija oborina povezana sa složenom topografijom ne uključuje samo rast oborine nad brežuljcima, nego i pojačano isparavanje u dolinama. Ovaj model iskorišten je za istraživanje procesa koji su u to uključeni, s pretpostavkom dvodimenzionalnog vertikalnog presjeka u obliku jednog perioda sinusnog vala kojemu se onda mogla mijenjati amplituda i frekvencija koje predstavljaju visinu brežuljaka i udaljenost njihovih vrhova. Omjer maksimuma i minimuma oborine pokazatelj je utjecaja terena na oborine. Autor u ovom članku ne izlaže kvantitativne

rezultate zbog ograničenosti modela, ali smatra da se mogu iznijeti određeni kvalitativni zaključci.

Omjer maksimuma i minimuma oborine (i za kišu i za snijeg) raste s porastom visine brežuljaka, kao i s njihovom udaljenošću jer se time povećava ukupna raspoloživa količina vlage, a smanjuje se efekt nošenja vjetrom. Povećanje intenziteta oborine iz glavnog oblaka negativno utječe na omjer maksimuma i minimuma. Autor tu ukazuje na slaganje s promatranjima u regiji Uppsala u Švedskoj koja je obavljao Bergeron. Kad je u pitanju snijeg, omjer ovisi i o temperaturi pri tlu, a najveći je kad je temperatura blizu 0 °C. Distribucija veličina pahuljica ima vrlo slabi utjecaj na rezultate. Za kišu pak temperatura nema veći utjecaj, dok se raspored veličina kapljica pokazao značajan. Omjer je tim veći što je više sitnih kapljica.

U članku se na kraju zaključuje da ovaj model predstavlja osnovni mehanizam na koji niski brežuljci utječu na distribuciju oborine. Dinamika sustava je previše pojednostavljena i bilo bi dobro još detaljnije uključiti strukturu glavnog oblaka. Autor ističe dobro slaganje s promatranjima u Južnom Walesu što se tiče ovisnosti pojačanja oborine s brzinom vjetra. Taj efekt je ovdje objašnjen mikrofizikalnim procesima, ali mogli bi se uključiti i dinamički procesi. Za to bi bilo potrebno provesti više istraživanja, skupiti podatke po visini i na temelju toga razviti dinamički model.

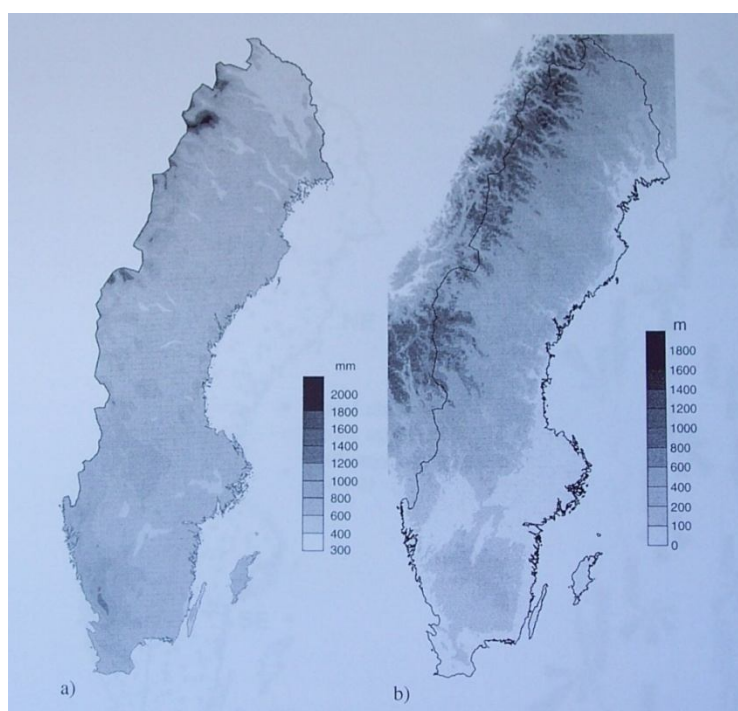
Model pokazuje i da je kombinacija kad snijeg iz glavnog oblaka upada u niži oblak i tu se zbog veće temperature topi, vrlo značajna pri slabo izraženim brežuljcima (visinske razlike < 100 m). Uloga perturbacija strujanja blizu nivoa topljenja vrlo je važna u tom procesu i ovaj model to uzima u obzir.

4.2.3. UTJECAJ VJETRA I TOPOGRAFIJE NA RASPODJELU OBORINE U ŠVEDSKOJ: STATISTIČKA ANALIZA I MODELIRANJE

Članak Johassona i Chena (2003) ima nešto drugačiji pristup modeliranju oborina u područjima s kompliciranim reljefom. U samom početku članka ukazuje se na to da se procjena hidrološkog stanja, kao i hidrološka prognoza najčešće zasniva na promatranjima pa se postavlja problem što učiniti u onim područjima u kojima su promatranja zbog različitih razloga otežana. Tipični primjer je Švedska, koja ima vrlo kompliciran teren zbog kojeg je korištenje radara otežano, a teren je i nepristupačan pa je mreža meteoroloških postaja loša. Isto tako, meteorološke postaje su uglavnom

u dolinama dok su oborine redovno jače pri vrhu brda. Time je jako otežana procjena hidrološkog stanja kao i prognoza poplava. Cilj ovog istraživanja je pronaći statistički model iz kojeg bi se na temelju postojećih podataka o vjetru i reljefu moglo interpolirati podatke o oborini na mjestima gdje su mjerenja otežana i podataka nema.

Autori ističu nekoliko najvažnijih procesa formiranja oborine zbog orografskog utjecaja. Prvo se navodi orografsko uzdizanje i formiranje oborine nad planinama što vrlo detaljno opisuje Smith (1979) u svom radu. Nakon toga spominje se mehanizam jezgara i hranjenja koji je prvi objasnio Bergeron (1968), a kasnije su ga nadopunili i drugi autori (npr. Browning i sur., 1974) posebno ističući ulogu brzine prizemnog vjetra. Smith (1979) opisuje i oborine na zavjetrinskoj strani planine uzrokovane konvektivnim oblacima. Oni nastaju na navjetrinskoj strani zbog grijanja površine i onda, nošeni vjetrom, prelaze na zavjetrinsku stranu planine gdje uzrokuju oborinu za razliku od frontalnih oblaka koji uzrokuju oblake na navjetrinskoj strani. Sve te procese treba uzeti u obzir kod analiziranja raspodjele oborine u brdovitom području.



Slika 26. (a) Srednje godišnje količine oborine u Švedskoj (1961 – 1990) (b) Reljefna karta Švedske

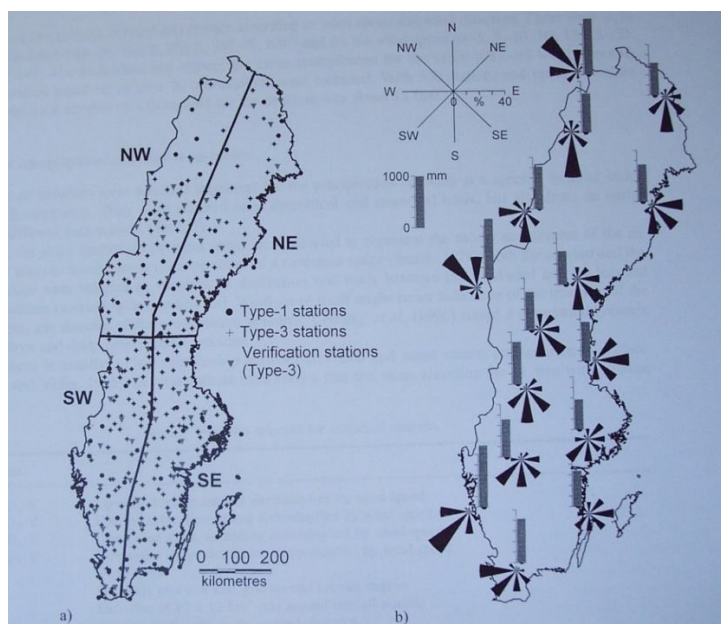
(Prema Johansson i Chen, 2003)

Smjer i brzina vjetra vrlo je važna u svim slučajevima oborine uzrokovane preprekom. I u slučaju planina i u slučaju brežuljaka za adekvatno predviđanje

količine oborine potrebno je znati smjer i brzinu vjetra. U najnižem sloju atmosfere koji obuhvaća prvih 500-1000 m trenje igra važnu ulogu, ali iznad toga taj efekt je zanemariv, pa je geostrofički vjetar vrlo dobra aproksimacija i koristi se u ovom modelu.

Raspodjela oborine u Švedskoj jako je ovisna o topografiji, što se najviše primjećuje kod prolaska ciklona koje se obično kreću u smjeru zapad-istok preko Švedske. Najveće količine oborine javljaju se nad planinskim lancem na zapadu Švedske, kao i na zapadnoj obali (Slika 26).

Ovo istraživanje koristi dnevne količine oborina od 1981. do 1995. godine s 370 kišomjera koje održava Švedski meteorološki i hidrološki institut, a dodatnih 80 postaja korišteno je za verifikaciju modela. Većina od 370 korištenih postaja u ovom radu su postaje tipa 1, na kojima se količina oborine mjeri jednom dnevno; 97 postaja je tipa 3, na kojima su dostupni podaci u trosatnim intervalima, kao i informacija o intenzitetu oborine. Vrsta oborine nije uzeta u obzir, a vjetar je aproksimiran geostrofičkim vjetrom iz 3-satnih vrijednosti tlaka zraka, uz pretpostavku da se izobare ne mijenjaju po visini.

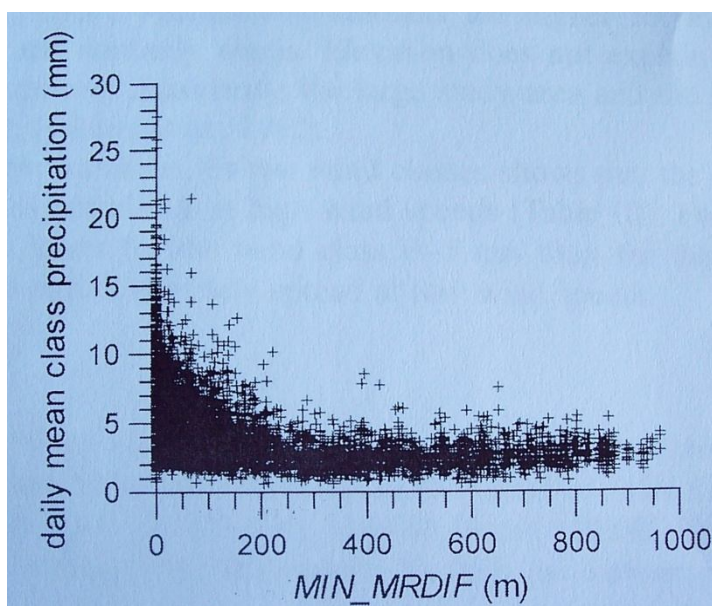


Slika 27. (a) Raspodjela kišomjernih postaja korištenih u istraživanju (b) Oborinske ruže vjetra s godišnjim srednjacima količine oborina.

(Prema Johansson i Chen, 2003)

Autori su uzeli u obzir da tijekom prolaska ciklone smjer i brzina vjetra može biti znatno drugačija od geostrofičkog, pa su podaci s postaja tipa 3 korišteni za procjenu brzine i smjera vjetra. Smjer vjetra uglavnom se razlikovao od geostrofičkog za manje od 90° . U onim slučajevima kad je ta razlika prešla, za vjetar tog dana uzeo se onaj smjer koji prema oborinskoj ruži vjetra za to postaju ima najveću količinu oborine. Raspodjela svih postaja i oborinske ruže vjetrova prikazane su na Slici 27.

Model razmatra puno varijabli koje utječu na oborine, a među najvažnijima su nagib terena i nagib terena pomnožen s brzinom vjetra koji u modelu predstavlja uzdizanje i spuštanje zračne mase. Udaljenost od mora uzeta je kao mjera za vlažnost zraka, ali geostrofički vjetar prati izobare, a one su kod ciklona jako zakrivljene. Zbog toga zračna masa pređe puno duži put nego što bi prešla u ravnoj liniji, pa se i to moralo uzeti u obzir. Isto tako, zračne mase imaju različite karakteristike ovisno o smjeru iz kojeg dolaze. Tako je u Švedskoj južni i istočni vjetar karakteriziran toplim frontama i frontama okluzije, dok je sjeverni i zapadni vjetar povezan s hladnim frontama, što je također uzeto u obzir u modelu.



Slika 28. Dnevni prosjek količine oborine s obzirom na razliku u visini između postaja na navjetrinskoj strani

(Prema Johansson i Chen, 2003)

Prvo su izračunate varijance količine oborine s obzirom na svaku varijablu posebno, da bi se utvrdilo koliki utjecaj one imaju na oborine i među najvažnijima su se pokazali brzina vjetra i položaj postaje (zavjetrinska ili navjetrinska strana), što je bilo i očekivano. Pokazuje se da brežuljci imaju izražen utjecaj na varijancu količine

oborine da se najveće varijacije javljaju unutar 250 m visine (Slika 28). Autori to nazivaju *planinski faktor* (*mountain range factor*).

Iz dobivenih rezultata autori su izdvojili one varijable čiji se utjecaj na varijancu količine oborine pokazao većim od 5%; znači one koje imaju veći utjecaj na prostornu raspodjelu količine oborine. Takvih varijabli ima šest: nagib na navjetrinskoj strani pomnožen s brzinom vjetra, brzina vjetra pomnožena s planinskim faktorom, nagib na zavjetrinskoj strani pomnožen s vjetrom, nagib na navjetrinskoj strani pomnožen s brzinom vjetra i faktorom koji upisuje udaljenost od obale, komponenta vjetra u smjeru meridijana i komponenta vjetra u smjeru paralela. S njima se uspostavlja model stepenaste regresije koji objašnjava 60% varijance količine oborine, što je dosta dobra aproksimacija, ali ukazuje na to da ima i neobjašnjenih faktora.

Ono što je autore iznenadilo su faktori koji opisuju smjer vjetra. To objašnjavaju time što vjetar iz različitih smjerova donosi zračne mase s različitim karakteristikama, pa su tako južni i istočni vjetar više povezani s toplim frontama koje donose vlažni zrak i rasprostranjene oborine. Hladne fronte obično dolaze sa zapada i karakterizirane su pljuskovima.

Autori nadalje dijele podatke po sezonama i ponovo provode model regresije. Važnima se pokazuju isti faktori. Zimi najveći utjecaj na količinu oborine ima južno, dok ljeti najizraženiji utjecaj ima istočno strujanje. Kao zadnja provjera modela, Švedska je podijeljena u četiri dijela, približno jednakih veličina (sjeveroistok, sjeverozapad, jugoistok i jugozapad). Model se ponovo pokazuje stabilnim i daje dobre rezultate i u skladu s mjerenjima. Najmanji utjecaj brzine vjetra na oborine pokazuje se u sjevernim dijelovima, gdje su planine, pa time i razlike u visini između postaja najveće.

Na kraju se u članku zaključuje da se uspostavljena jednadžba linearne regresije može koristiti za interpolaciju količine oborina za potrebe hidroloških proračuna, jer dovoljno dobro predviđa raspodjelu količina, naročito s obzirom na topografiju. Dalja istraživanja bila bi potrebna da se poveća točnost modela jer faktori koji su uključeni u model objašnjavaju samo 60% varijance, što jasno ukazuje da postoje neki nepoznati utjecaji. Na primjer, relativna vlažnost i zraka i stabilnost atmosfere nisu uzeti u obzir u ovom istraživanju, a poznato je da su važni kod formiranja oborina.

6. ZAKLJUČAK

U prvom djelu ovog rada istražuje se mogućnost da u Southamptonu ima više dana s oborinom nego u okolnim gradovima Shanklin, Winchester, Salisbury i Portsmouth. Nizovi podataka, koji su za ovo istraživanje bili dostupni, nisu bili dovoljno dugački i to je glavno ograničenje u egzaktnosti ovog rada. Ovo istraživanje može se shvatiti kao preliminarno istraživanje iz kojeg se može naslutiti da možda postoje razlike u broju dana s oborinom između Salisburyja i Southamptona. Za sada se ne može sa sigurnošću tvrditi da ta razlika postoji bez da se provedu detaljnija istraživanja s dužim vremenskim nizovima podataka, a bilo bi idealno koristiti i novije podatke. Ipak, ovo istraživanje otvorilo je zanimljivo pitanje: Zašto bi uopće postojala razlika u učestalosti ili količini oborine između Salisburyja i Southamptona? Najuočljivija razlika između tih gradova je u terenu. Salisbury se nalazi na brežuljcima, a Southampton na razini mora. Iako ti brežuljci nisu veliki, postavilo se pitanje da li je moguće da oni ipak mogu imati značajan utjecaj na oborine. Da bi odgovorila na to pitanje, autorica je pokušala naći odgovor u literaturi.

Prvo što se u obrađenim radovima može primijetiti je da je u pitanju vrlo lokalni efekt koji je dugo vremena prošao nezamijećen zbog nedovoljne pokrivenosti meteorološkim postajama, naročito na manje pristupačnom terenu. Na primer, još za potrebe istraživanja Bergerona u 60-im godinama prošlog stoljeća morala se u regiji Uppsala u Švedskoj uspostaviti posebna gusta mreža kišomjera (Bergeron, 1965). Sva istraživanja razmatrana u ovom radu koristila su posebno uspostavljene mreže kišomjera (i, u nekim slučajevima, radare) i to bi bio prvi korak u utvrđivanju da li postoji pojačanje oborine na brežuljcima na kojima se nalazi Salisbury.

Isto tako, trebalo bi imati podatke o jačini i smjeru vjetra, jer se u svim istraživanjima pokazalo da postoji vjetar koji igra značajnu ulogu u tim procesima. Nešto slično pokušalo se u ovom diplomskom radu postići sezonskom obradom, jer postoje razlike u smjeru vjetra po sezonama. Sličan pristup autorica je primijetila u nekim od ranijih istraživanja mehanizma jezgara i hranjenja, gdje su se promatrali događaji samo u nekim sezonama, ili u statističkom modelu koji je razvijan za Švedsku (Johansson i Chen, 2003) koji primjećuje razlike po sezonama. Ono što ovdje treba istaknuti je da postoji nekoliko različitih efekata koji igraju ulogu u formiranju i

pojačanju oborine preko brežuljaka te da dinamika sistema ovisi o jako puno faktora. Može se primijetiti da noviji modeli uključuju više faktora jer su dotadašnja istraživanja pokazala da starijima nisu obuhvaćeni svi relevantni faktori. Statistički model Johassona i Chena (2003) u danoj jednadžbi regresije uključuje 6 najznačajnijih faktora, od kojih su mnogi i sami kombinacija više jednostavnih faktora. Ipak, pokazuje se da je time pokriveno samo 60% svih faktora koji utječu na raspodjelu oborine kod kompliciranog reljefa. Autorica primjećuje da Johansson i Chen svoje rezultate povezane sa smjerom vjetrova smatraju iznenađujućima i pokušavaju to objasniti sezonskim razlikama u zračnim masama i slično. Ako se te rezultate razmotri u svjetlu ostalih istraživanja izloženih u ovom radu, moglo bi se reći da oni nisu toliko iznenađujući. Zimske ciklone, koje su u Švedskoj karakterizirane južnim i istočnim vjetrom, povezane su s toplim frontama i frontama okluzije koje pogoduju mehanizmu jezgara i hranjenja, a koji uzrokuje jako lokalno pojačanje oborine.

Izložena istraživanja ukazuju i na to da situacija na sinoptičkoj skali utječe na mehanizam jezgara i hranjenja. Na primjer, do te pojave neće doći kod hladnih fronti i lokalnih pljuskova. Mora postojati veći slojasti oblak sinoptičkog porijekla ispod kojeg se onda zbog orografskog dizanja razvije manji oblak. Tek interakcija ta dva razdvojena sustava uzrokuje pojačanje oborine mehanizmom jezgara i hranjenja.

I model Grabowskog (1989) ukazuje na složenost mehanizma koji dovodi do pojačanja oborine preko brežuljaka. On uzima model Chouartona i Perryja (1986) i u njega dodaje utjecaj brežuljaka na glavni oblak. S obzirom na to da se baza glavnog oblaka obično nalazi na visini od barem 2000 m, a često i više, ne bi se očekivalo da na formiranje oborine u njemu utječe teren koji varira možda 100 m po visini. Grabowski pokazuje da se taj utjecaj ipak treba uzeti u obzir i da su strujnice modificirane orografijom čak i na puno većoj visini nego što se to prije smatralo.

Od empirijskih istraživanja izloženih u ovom diplomskom radu možda su najzanimljiviji oni koji uključuju radarska mjerenja (Banfield i sur., 2000 te Purdy i sur., 2005). Njima se ukazuje na vrlo kompleksnu dinamiku samog nastanka oborine, a razvoj se prati u realnom vremenu. Ova istraživanja možda najjasnije pokazuju da postoji nekoliko mehanizama koji uzrokuju pojačanje oborine preko brežuljaka, a mehanizam jezgara i hranjenja samo je jedan od njih. Za to je najbolji primjer prvi promatrani slučaj u Banfield i sur. (2000). Radarski odraz, kao i mjerenja pri tlu,

pokazuju da je došlo do pojačanja oborine, ali detaljnijom analizom utvrđuje se da se ne radi o istom mehanizmu kao za ostala tri slučaja. Isto tako, Cosma i sur. (2002) ukazuju na postojanje drugačijeg mehanizma utjecaja brežuljaka, gdje se radi o konvergenciji zraka između brežuljaka. Svi spomenuti mehanizmi u novije vrijeme postaju jasniji zahvaljujući boljim metodama i tehnikama mjerenja, kao što su automatski kišomjeri koje je moguće postaviti u gustoj mreži, kao i meteorološki radari. Tako Purdy i sur. (2005) po prvi puta vertikalnim radarom jasno nalaze dva oblaka i pokazuju slaganje u vremenu interakcije ta dva sustava s jakim pojačanjem oborine.

Svi izloženi članci ukazuju na to da mali brežuljci utječu na oborine puno jače nego što bi to bilo za očekivati ako znamo da se radi o visinskim razlikama od svega nekoliko stotina metara. Postoji mogućnost da se takvo pojačanje javlja u slučaju Salisbury i Southampton, jer postoji odgovarajuću smjer strujanja u odnosu na brežuljke. No, kako je istraživanje provedeno u ovom diplomskom radu jako pojednostavljeno, iz njega zapravo ne može ništa zasigurno zaključiti. Za konačni odgovor bila bi potrebna gusta mreža kišomjera, podaci o vjetru i sinoptičkim situacijama. Time bi se moglo utvrditi da li uopće postoji razlika u količini oborine između ta dva grada te da li je ona uzrokovana mehanizmom jezgara i hranjenja.

7. LITERATURA I BIBLIOGRAFIJA

- Banfield, C. E., Hudak, D. R. i Thomson, A. D. (2000): Orographic influences during winter precipitation events on the Avalon Peninsula, Newfoundland. *Journal of Applied Meteorology*, 7, 297-311.
- Bergeron, T. (1965): On the low-level redistribution of atmospheric water caused by orography. *Proceedings of the International Conference on Cloud Physics*, Tokyo, str. 96-100.
- Bradely, S. G., Gray, W. R. i Stow, C. D. (1992): Rainfall enhancement over the Waitakere Ranges of West Auckland, North Island, New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 35: str. 3001-310, The Royal Society of New Zealand.
- Browning, K. A., Hill, F. F., Pardoe, C. W., (1974): Structure and mechanism of precipitation and the effect of orography in a wintertime warm sector, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 100, str. 309-330.
- Choularton, T. W., Perry, S. J. (1986): A model of the orographic enhancement of snowfall by the seeder-feeder mechanism, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 112, str. 335-345.
- Cosma, S., Richard, E., Miniscloux, F. (2002): The role of small-scale orographic features in the spatial distribution of precipitation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 128, str. 75-92.
- Grabowski, W. W. (1989): On the influence of small-scale topography on precipitation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 115, str. 633-650.
- Hill, F. F., Browning, K. A., Bader, A. J. (1981): Radar and raingauge observations of orographic rain over South Wales. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 107, str. 643-670.
- Johansson, B., Chen, D. (2003): The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling, *International Journal of Climatology* vol. 23, str 1523-1535.

- Kozarić, T. (2006): Meteorološki čimbenici ekstremnih oborina na sjevernom Jadranu, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Zagreb.
- Met Office, Fact sheet No. 1 (2007): Clouds, National Meteorological Library and Archive.
- Met Office, Fact sheet No. 3 (2007): Water in the Atmosphere, National Meteorological Library and Archive.
- Met Office, (1990): The Climate of Great Britain, Climatological Memorandum 137, Meteorological office, Bracknell, South England.
- Passarelli, R. E. Jr., Boehme, H. (1983): The Orographic Modulation of Pre-Warm-Front Precipitation in Southern New England, Monthly Weather Review, vol. 111, str. 1062-1070.
- Pavlić, I. (1971): Statistička teorija i primjena, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Penzar, B., Makjanić, B. (1980): Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Purdy, J. C., Austin, G. L., Seed, A. W., Cluckie, I. D. (2005): Radar evidence of orographic enhancement due to the seeder feeder mechanism, Journal of Applied Meteorology 12, str. 199-206.
- Roe, G. H. (2005): Annual Review Earth Planet. Sci. 33:645–71, Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, Seattle.
- Smith, R. B. (1979): The influence of mountains on the atmosphere, Advances in Geophysics Vol. 21, Dept. of Geology and Geophysics, Yale University, New Haven, Connecticut, USA.
- Zelenika, R. (1998): Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela, Treće izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- Žugaj, M., Dumičić, K., Dušak, V. (1999): Temelji znanstvenoistraživačkog rada – metodologija i metodika, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin.

<http://www.spss.com/spss/index.htm> (12.3.2008.)

http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/atmospheric_moisture/outline.html
(22.3.2008.)

<http://www.umanitoba.ca/centres/mchp/concept/dict/Statistics/bonferroni.html> (2.4.2008.)

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162006000100011&script=sci_arttext
(2.4.2008.)

<http://www.metoffice.gov.uk/education/secondary/students/microclimates.html> (2.4.2008.)

<http://www.metoffice.gov.uk/education/secondary/teachers/ukclimate.html#1.7> (2.4.2008.)

<http://www.metoffice.gov.uk/education/secondary/teachers/clouds.html> (2.4.2008.)

http://www.bbc.co.uk/weather/features/understanding/britain_02.shtml (2.4.2008.)

http://www.srh.noaa.gov/ohx/educate/Chapter_5.html (2.4.2008.)

http://vrijeme.hr/biomet.php?id=bio_twh¶m= (2.4.2008.)

http://klima.hr/klima.php?id=klima_elementi¶m=ko (2.4.2008.)

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm> (3.06.08)

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35b.htm> (3.06.08)

Prilog 1.

Karta Velike Britanije



Prilog 2.

Primjer rezultata elektroničkog pretraživanja sadržaja arhive Met Office-a za odabrane gradove (2.2.2007.)

*Napomena: Samo neki od rezultata navedeni su radi ilustracije. **Masnim slovima** su označene arhive iz kojih su u radu korišteni podaci.*

Southampton

ARCHIVE V15.A1-V17.A5 (1998-2000)

Rainfall data for Hedge End, Southampton (station number: 324225)

Met Office

Aug 1998 - Dec 2004 (incomplete)

ARCHIVE V01.A-V05.A (1952-1962)

Rainfall data for Southampton - South Hill Reservoir, Hampshire (station number: 326102, old station number: 693/2)

Meteorological Office

1952 to 7/1968

ARCHIVE V01.A-V05.A (1953-1975)

Rainfall data for Southampton - Bitterne Park, Hampshire (station number: 326140, old station number: 692/5)

Meteorological Office

1953 to 1975

Salisbury

ARCHIVE V01.A-V05.A (1938-1940)

Rainfall data for Salisbury - Bishopstone Rect. (old station number: 1504/9)

Meteorological Office

1938 to 1946

ARCHIVE V01.A-V05.A (1934-1976)

Rainfall data for Salisbury - Folkstone Road (station number: 339296, old station number: 1506/1)

Meteorological Office

1934 to 1976

ARCHIVE V01.A-V05.A (1911-1920) COUNTY

Rainfall data for Salisbury Sewage Works (station number: 339302, old station number: 1508)

Meteorological Office

1911 to 9/1964

Winchester

ARCHIVE V01.A-V05.A (1926-1930) COUNTY

Rainfall data for Winchester - Shawford (old station number: 711)

Meteorological Office

1926 to 1938

ARCHIVE V01.A-V05.A (1913-1920) COUNTY

Rainfall data for Winchester - East Hill, Hampshire (old station number: 721)

Meteorological Office

1913 - 1940 Incomplete

ARCHIVE V01.A-V05.A (1953-1994)

Rainfall data for Winchester - Harestock, Hampshire (station number: 325445, old station number: 724/1)

Meteorological Office

1953 to 1994

Shanklin, Isle of Wight

ARCHIVE V01.A-V05.A (1905-1910) COUNTY

Rainfall data for Shanklin I.O.W. (old station number: 595)

Meteorological Office

1905 to 1940

ARCHIVE V01.A-V05.A (1952-1975)

Rainfall data for Shanklin, Victoria Avenue, Isle of Wight (station number: 333785, old station number: 595/1)

Meteorological Office

1952 to 1975

ARCHIVE V01.A-V05.A (1947-1950)

Rainfall data for Shanklin, Isle of Wight (station number: 333919, old station number: 595/2)

Meteorological Office

1947 to 1960

Portsmouth

ARCHIVE V07.B1-V11.A5 (1974-1980)

Rainfall data for Mainland Pumping Station, Portsmouth (station number: 322433)

Meteorological Office

03/1974 to 1991

ARCHIVE V07.B1-V11.A5 (1967-2004)

Rainfall data for Portsmouth, Eastney Pumping Station (station number: 322487)

Met Office

1967 - Dec 2004 (incomplete)

Prilog 3.

Stn. No. 05-322485 B Metform 1096

METEOROLOGICAL OFFICE

RAINFALL At EASTNEY PORTSMOUTH in the month of February 1972

Date	Inches	Remarks on the Days
1	.23	
2	.18	
3	.38	
4	.03	
5	.53	
6	.04	
7	.05	
8	.07	
9		
10	.90	14
11		32
12		
13	.02	
14		
15	.24	
16	.30	
17	.05	
18	.20	
19		
20		
21		
22	.01	
23		
24		
25	.01	
26		
27		
28		
29	.02	
30		
TOTAL	2.82	Total Number of days with { .01 in. or more 28 17 .04 in or more 12

71.6

Arhivska kartica (količina oborina u inch)

Station Number 18/339942 Month Nov 1971

RAINFALL at SACISBURY

Date	Millimetres	Remarks on the Days
1		
2		
3	0.2	
4	0.2	
5	15.6	
6		
7	3.1	
8	0.3	
9		
10		
11		
12		
13	0.4	
14		
15		
16		
17	0.3	
18	7.3	SNOW
19		
20	16.9	
21		
22	6.2	
23		
24		
25	1.9	
26	0.3	
27	12.0	
28		
29	0.3	
30		
TOTAL	68.0	Time of reading 9 AM B.S.T./G.M.T. Meteorological Office

Arhivska kartica (količina oborina u mm)

Prilog 4.

Broj dana s oborinom (1971.-1976.) za promatrane gradove

Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
siječanj.71	19	21	22	18	18
veljača.71	9	11	11	11	8
ožujak.71	12	20	15	9	13
travanj.71	6	7	10	8	7
svibanj.71	12	14	13	10	11
lipanj.71	14	17	14	15	12
srpanj.71	7	11	10	5	6
kolovoz.71	17	21	17	16	16
rujan.71	5	6	3	6	4
listopad.71	8	10	9	7	4
studenj.71	13	14	10	12	12
prosinac.71	9	12	10	6	8
siječanj.72	22	23	21	21	21
veljača.72	23	24	23	18	17
ožujak.72	18	20	17	12	17
travanj.72	14	18	12	14	10
svibanj.72	23	25	23	21	21
lipanj.72	16	20	15	14	16
srpanj.72	9	11	10	8	7
kolovoz.72	6	6	6	4	4
rujan.72	6	6	5	5	5
listopad.72	8	8	6	7	6
studenj.72	18	24	15	15	16
prosinac.72	24	22	19	17	18
siječanj.73	18	18	12	11	10
veljača.73	11	15	11	6	6
ožujak.73	7	11	7	5	6
travanj.73	15	14	13	9	11
svibanj.73	18	20	20	18	20
lipanj.73	5	4	5	4	4

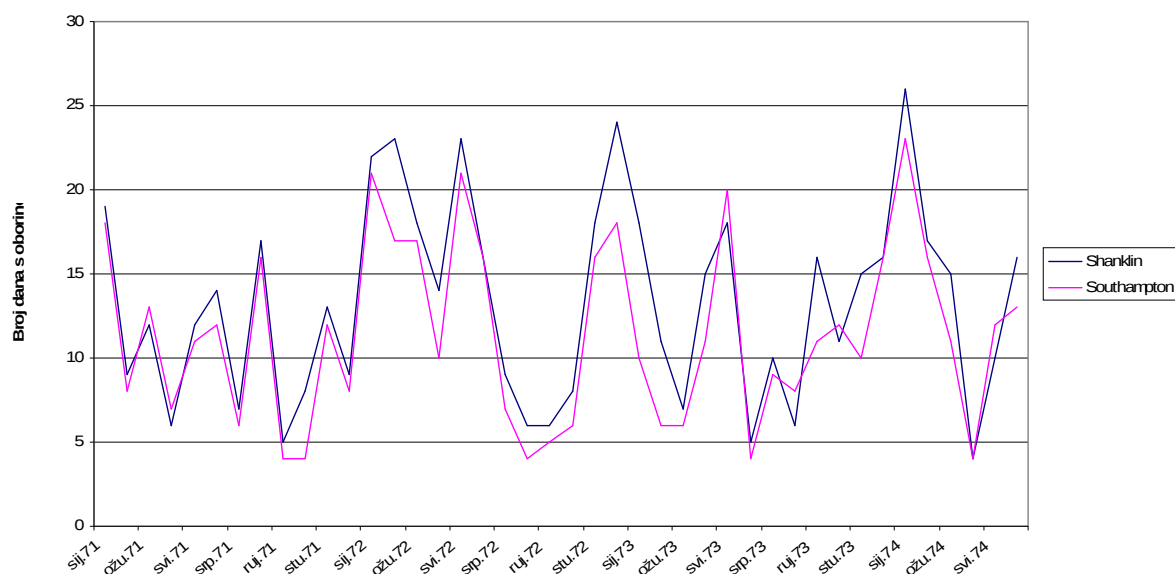
Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
srpanj.73	10	8	9	11	9
kolovoz.73	6	10	9	6	8
rujan.73	16	13	11	10	11
listopad.73	11	11	10	11	12
studenj.73	15	15	11	10	10
prosinac.73	16	23	14	14	16
siječanj.74	26	27	27	20	23
veljača.74	17	20	20	16	16
ožujak.74	15	15	14	10	11
travanj.74	4	6	7	4	4
svibanj.74	10	14	11	11	12
lipanj.74	16	15	15	13	13
srpanj.74	N	5	16	13	12
kolovoz.74	N	19	15	16	14
rujan.74	N	21	21	20	22
listopad.74	N	13	14	13	14
studenj.74	N	28	25	24	22
prosinac.74	N	19	15	15	13
siječanj.75	N	25	25	22	23
veljača.75	N	10	8	8	9
ožujak.75	N	21	22	18	17
travanj.75	N	16	16	13	12
svibanj.75	N	9	10	10	11
lipanj.75	N	2	2	4	2
srpanj.75	N	13	10	9	11
kolovoz.75	N	11	11	12	13
rujan.75	N	14	17	17	15
listopad.75	N	7	7	7	8
studenj.75	N	13	13	12	13
prosinac.75	N	10	9	7	8

Prilog 5.

Grafički prikaz ulaznih podataka po parovima

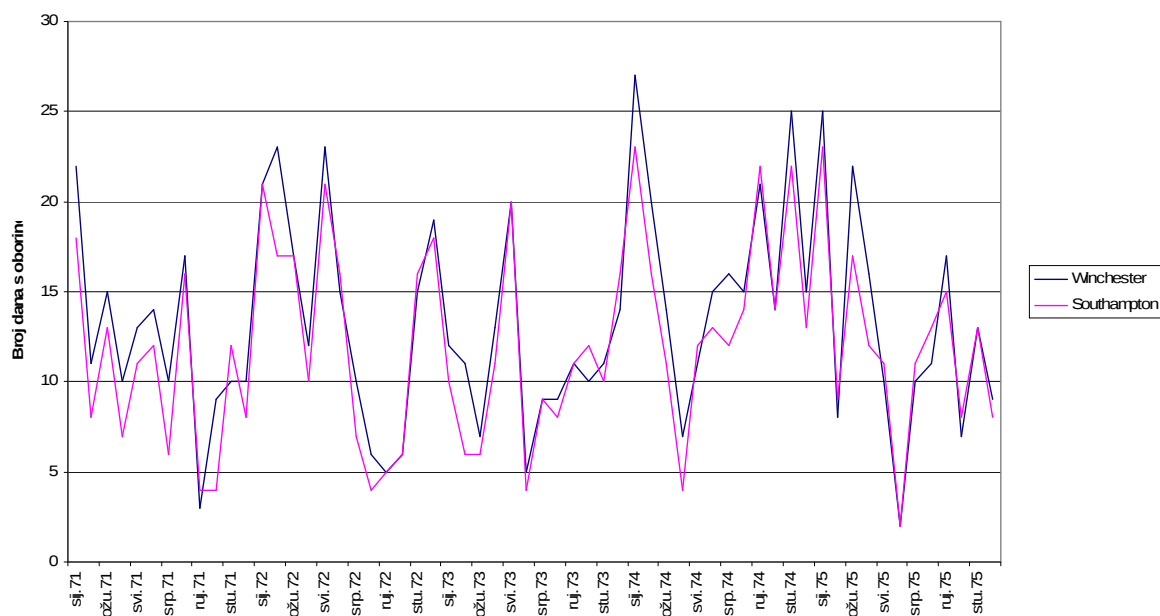
Southampton-Shanklin

Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM), Shanklin (50° 37' N, 1° 10' W, 20m NM),
udaljenost 35 km



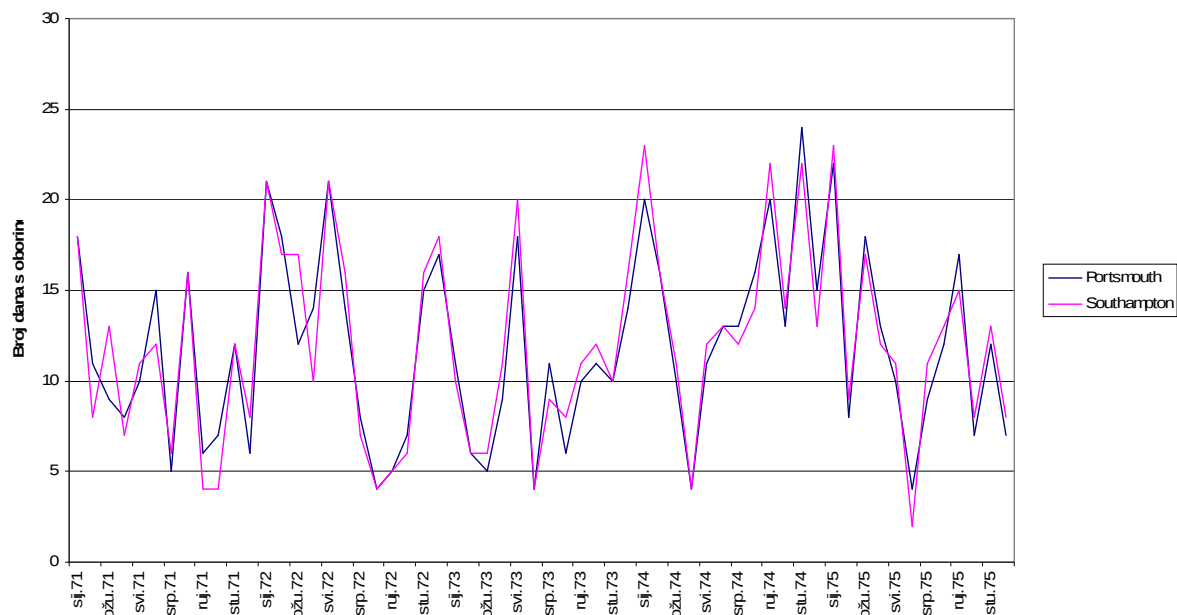
Southampton-Winchester

Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM), Winchester (51° 03' N, 1° 19' W, 60 m NM),
udaljenost 19 km



Southampton-Portsmouth

Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM), Portsmouth (50° 49' N, 0° 58' W, 0 m NM),
udaljenost 30 km



Prilog 6.

Broj dana s oborinom za pojedinačne gradove uređeni po sezonama

ZIMA

Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
siječanj.71	19	21	22	18	18
veljača.71	9	11	11	11	8
prosinac.71	9	12	10	6	8
siječanj.72	22	23	21	21	21
veljača.72	23	24	23	18	17
prosinac.72	24	22	19	17	18
siječanj.73	18	18	12	11	10
veljača.73	11	15	11	6	6
prosinac.73	16	23	14	14	16
siječanj.74	26	27	27	20	23
veljača.74	17	20	20	16	16
prosinac.74	N	19	15	15	13
siječanj.75	N	25	25	22	23
veljača.75	N	10	8	8	9
prosinac.75	N	10	9	7	8

PROLJEĆE

Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
ožujak.71	12	20	15	9	13
travanj.71	6	7	10	8	7
svibanj.71	12	14	13	10	11
ožujak.72	18	20	17	12	17
travanj.72	14	18	12	14	10
svibanj.72	23	25	23	21	21
ožujak.73	7	11	7	5	6
travanj.73	15	14	13	9	11
svibanj.73	18	20	20	18	20
ožujak.74	15	15	14	10	11
travanj.74	4	6	7	4	4
svibanj.74	10	14	11	11	12
ožujak.75	N	21	22	18	17
travanj.75	N	16	16	13	12
svibanj.75	N	9	10	10	11

LJETO

Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
lipanj.71	14	17	14	15	12
srpanj.71	7	11	10	5	6
kolovoz.71	17	21	17	16	16
lipanj.72	16	20	15	14	16
srpanj.72	9	11	10	8	7
kolovoz.72	6	6	6	4	4
lipanj.73	5	4	5	4	4
srpanj.73	10	8	9	11	9
kolovoz.73	6	10	9	6	8
lipanj.74	16	15	15	13	13
srpanj.74	N	5	16	13	12
kolovoz.74	N	19	15	16	14
lipanj.75	N	2	2	4	2
srpanj.75	N	13	10	9	11
kolovoz.75	N	11	11	12	13

JESEN

Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
rujan.71	5	6	3	6	4
listopad.71	8	10	9	7	4
studenj.71	13	14	10	12	12
rujan.72	6	6	5	5	5
listopad.72	8	8	6	7	6
studenj.72	18	24	15	15	16
rujan.73	16	13	11	10	11
listopad.73	11	11	10	11	12
studenj.73	15	15	11	10	10
rujan.74	N	21	21	20	22
listopad.74	N	13	14	13	14
studenj.74	N	28	25	24	22
rujan.75	N	14	17	17	15
listopad.75	N	7	7	7	8
studenj.75	N	13	13	12	13

Prilog 7.

Mjesečna količina oborina po gradovima (u mm)

Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
siječanj.71	113,6	133,2	139,5	128,9	112,4
veljača.71	26,2	29	34,3	17	30,6
ožujak.71	74	64,1	80,7	67,31	81,1
travanj.71	53,7	51,1	60,7	48,5	54,6
svibanj.71	38,8	46,9	38,6	37,6	33,8
lipanj.71	176,2	116,5	120,6	124,5	125,8
srpanj.71	15,5	22,4	22,5	14	33,8
kolovoz.71	75,9	56,2	62,5	56,4	58,4
rujan.71	17	14,8	9,4	8,1	8,4
listopad.71	62	45,3	69,5	32,3	56,9
studenj.71	73,15	68	77,5	60,2	54,7
prosinac.71	20,8	27,4	23,5	16	24,3
siječanj.72	98,8	101,5	103,5	79,8	93,5
veljača.72	108	95,8	89,2	71,6	85,8
ožujak.72	59,5	91,1	85,8	42,4	56,9
travanj.72	78	54,8	66	54,1	59,4
svibanj.72	68,4	68,5	90,4	54,4	79,9
lipanj.72	45,3	46,5	43,6	24,1	54,9
srpanj.72	39	45,5	37,5	32,5	46,3
kolovoz.72	23,2	20,1	47,4	9,1	28,9
rujan.72	27,6	22,8	33,6	24,4	27,5
listopad.72	27,3	39,3	49,2	21,1	41,5
studenj.72	128,1	83,9	104,6	72,1	81,6
prosinac.72	138,4	117	144,1	90,7	116,7
siječanj.73	47,9	35,4	44	34,5	37,7
veljača.73	35,5	18,2	16,9	19,8	15,8
ožujak.73	18,3	13,7	25,6	12,2	19,3
travanj.73	52,5	35,2	48	37,6	46,2
svibanj.73	84,9	70,6	72,2	55,1	69,5
lipanj.73	46,1	46	49,5	43,7	33,5
srpanj.73	43,9	42,1	75,2	33,8	39,9
kolovoz.73	42,2	67,4	49,6	29,7	37,9
rujan.73	57,1	43,1	53,4	60,5	42,8

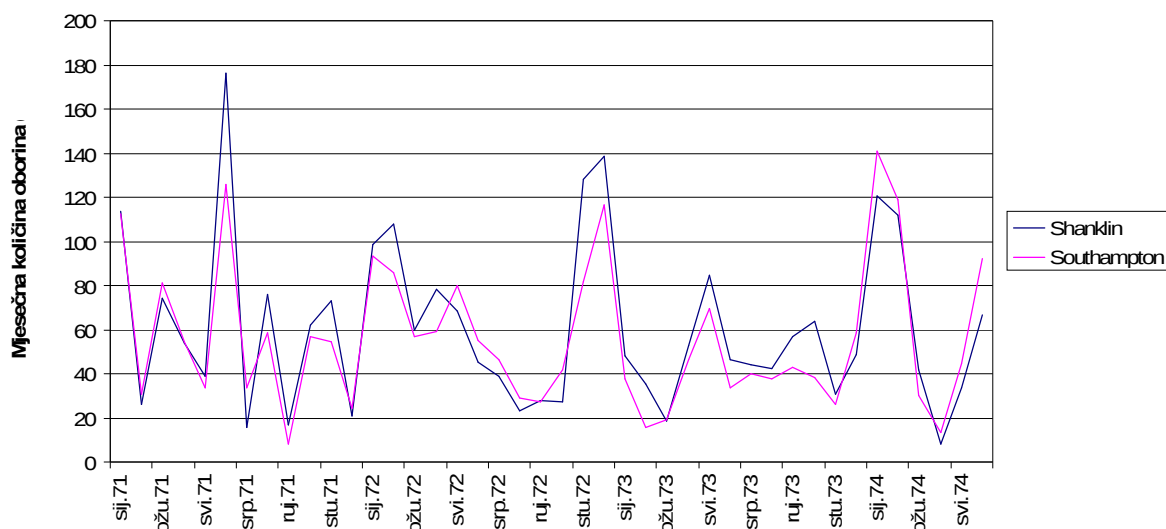
Mjesec	Shanklin	Salisbury	Winchester	Portsmouth	Southampton
listopad.73	63,5	45,3	40,9	63	38,3
studen.73	30,6	31,3	29,4	25,9	25,9
prosinac.73	48,8	67,6	72,7	43,4	58,6
siječanj.74	120,5	156,1	161,8	92,2	141,1
veljača.74	111,7	126,7	141,9	86	118,6
ožujak.74	42	37,1	31,7	18,1	30,1
travanj.74	8,1	14	16,4	4,9	13,6
svibanj.74	33,4	35,7	37,9	34,4	44,9
lipanj.74	66,8	93,6	85	59,5	91,9
srpanj.74	N	35,5	50,4	34,4	42
kolovoz.74	N	92,5	76,4	89	92,7
rujan.74	N	167,5	175,5	168,9	162,7
listopad.74	N	41,7	50,2	46,1	49,5
studen.74	N	162,8	193,1	152,2	147,1
prosinac.74	N	60,3	59,5	50,8	42
siječanj.75	N	136,3	146,8	111,1	125,4
veljača.75	N	17,5	24,2	21,8	26,4
ožujak.75	N	85,2	82,6	99,6	99,1
travanj.75	N	38,1	47,3	55,2	31,6
svibanj.75	N	43,9	43,2	30,1	42,3
lipanj.75	N	1,8	7,5	4,5	24,3
srpanj.75	N	28,3	71,9	18,1	31
kolovoz.75	N	59	39,5	79,3	39,6
rujan.75	N	112,9	132,2	146,6	156,8
listopad.75	N	15,3	31,8	23,4	37,2
studen.75	N	58,4	64,7	57,8	58,4
prosinac.75	N	24,6	33,9	27	28,9

Prilog 8.

Grafički prikaz ulaznih podataka za mjesečnu količinu oborina po parovima

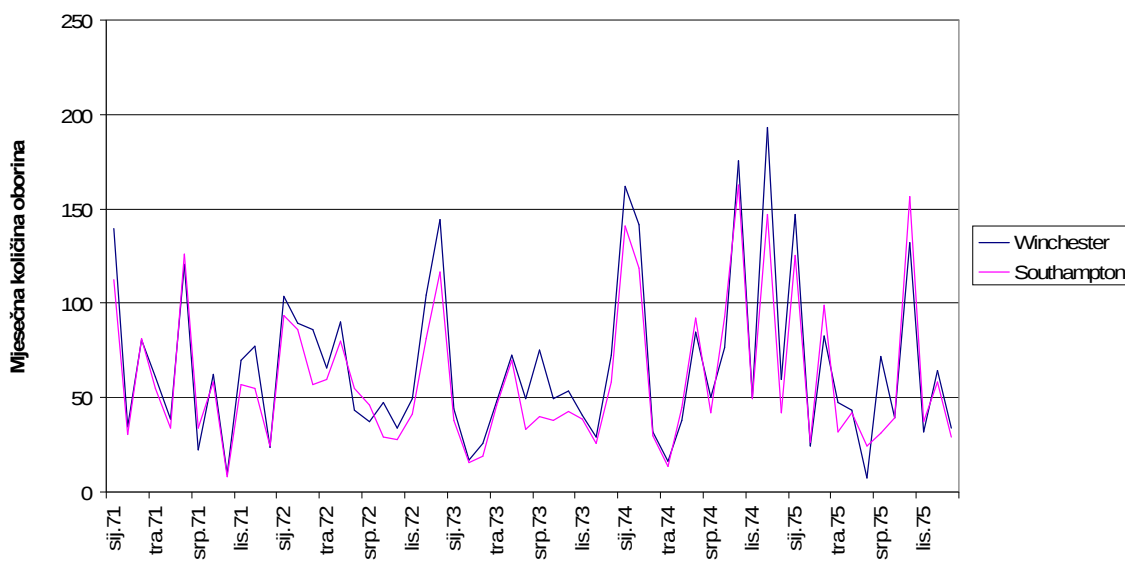
Southampton-Shanklin

Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM), Shanklin (50° 37' N, 1° 10' W, 20m NM), udaljenost 35 km



Southampton-Winchester

Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM), Winchester (51° 03' N, 1° 19' W, 60 m NM), udaljenost 19 km



Southampton-Portsmouth

Southampton (50° 54' N, 1° 23' W, 0 m NM), Portsmouth (50° 49' N, 0° 58' W, 0 m NM),
udaljenost 30 km

