

SISTEMATSKA POGREŠKA U MJERENJU OBORINE

Systematic Error in Point Precipitation Measurements

JANJA MILKOVIĆ

Republički hidrometeorološki zavod SRH Zagreb

Primljeno 18. lipnja 1986, u konačnom obliku 19. rujna 1986.

Sažetak: U ovom radu dan je pregled dosadašnjih akcija i rezultata istraživanja o sistematskoj pogrešci u mjerenju oborine kao i planovi i smjernice daljnjih istraživanja. Mjerenje oborine u točki podložno je sistematskoj pogrešci koja se javlja zbog deformacije polja vjetra oko ruba kišomjera, vlaženja, isprskavanja i nagomilavanja snijega u kišomjer. Sistematska pogreška povezana je sa meteorološkim faktorima i sa osobinama kišomjera. Komponente te pogreške moguće je statistički analizirati i procijeniti, i na taj način eliminirati njezin utjecaj na mjerenje oborine.

Ključne riječi: Količina oborine, korigiranje sistematske pogreške u mjerenju oborine

Abstract: This paper reviews actions and results of research on systematic error in point precipitation measurements that has been carried out and plans for the future. The point measurements are subject to a systematic error due to wind field deformation near the gauge orifice, wetting, evaporation, splashing of raindrops, and blowing of snow. The systematic error is related to meteorological factors as well as gauge performances. The components of this systematic error can be statistically analysed and estimated, and in this way its effect on the accuracy of precipitation measurements could be eliminated.

Key words: precipitation amount, correcting for systematic precipitation error

1. UVOD

Naše znanje o oborini, njezinoj količini i promjenljivosti u prostoru i vremenu, potječe iz mjerenih podataka u pojedinim točkama (meteorološkim stanicama). Količina oborine mjeri se kišomjerom, sa metalnom ili plastičnom kanticom, izdignutim iznad površine zemlje, a tehnika koja se pri tom primjenjuje nije se praktički mijenjala od samih početaka njezinog mjerenja. Donedavno i nije postojala druga mogućnost dobivanja podataka o oborini. Tek odnedavno moguće je te podatke za pojedina područja dobiti pomoću radara i satelita. Ovakvih mjerenja nažalost još uvijek nema dovoljno, i po svemu sudeći bit će nam još dugo nedostupna. Kad takvi podaci za pojedina područja i postoje, obično se moraju verificirati pomoću konvencionalnih mjerenja u pojedinim točkama.

Dakle i nadalje nam ostaje na raspolaganju stari dobri kišomjer, koji se čini tako pouzdan, a mjerenje njime jednostavno i bez problema. No to je tako samo na prvi pogled. Pri svakom mjerenju javljaju se različite vrste pogrešaka koje utječu na rezultat mjerenja, a to je slučaj i kod mjerenja oborine. Koliko se sada zna, utjecaj sistematske pogreške, koji se očituje u tome da kišomjer prikuplja manje oborine nego što stvarno padne na tlo, značajnije utječe na rezultat mjerenja od slučajnih pogrešaka. Veličina sistematske pogreške, odnosno deficit oborine, varira ovisno o tipu kišomjera, stupnju zaštićenosti mjernog mjesta od vjetra, udjelu snijega u ukupnoj količini oborine i ostalim klimatskim uvjetima.

Zbog svih nabrojanih razloga, iznos sistematske pogreške može se kretati od 5 do 15% za tekuće, i 20 do 50% za krute oborine (Sevruk, 1982).

Usprkos veličini sistematske pogreške u mjerenju oborine nema efikasne zaštite protiv utjecaja okoline na ta mjerenja, kao što je na primjer zaštita od vjetra, ne primjenjuje se nikakva općenita i jedinstvena korekcija mjerenih vrijednosti i nema kontrole kišomjera prema nekom standardnom instrumentu.

U većini meteoroloških službi, koje su zadužene za kontrolu i publiciranje meteoroloških podataka, ova pogreška također nije uzeta u obzir. Kad se mjerenje oborine uspoređi sa mjerenjem nekih drugih meteoroloških elemenata (na primjer temperature zraka, koja se mjeri u specijalnom zaklonu, a termometri se redovito kontroliraju, ili sa tlakom zraka, koji se reducira na razinu mora), još je uočljivije zanemarivanje ove pogreške. Istina, postoje propisi o reprezentativnosti mjesta gdje se postavlja kišomjer, kao i o položaju u odnosu na okolne prepreke, no to ne utječe na eliminiranje utjecaja vjetra na ta mjerenja, niti utječe na gubitke zbog vlaženja i isparavanja iz kišomjera. Publicirani podaci sadrže sistematsku pogrešku, a njezina veličina nije nam poznata, i nema čak ni napomene da je ona prisutna.

Pitanje koje se samo po sebi nameće je: zašto se do sada u većini zemalja ne primjenjuju nikakve korekcije oborinskih podataka. Jedan od mogućih razloga može biti činjenica da to pitanje do sada nije riješeno na međunarodnom planu. Nedostajalo je i znanja i uputstava

za rad, kojih bi se članice Svjetske meteorološke organizacije pridržavale. Postoji nada da će ovaj propust uskoro biti ispravljen.

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Oborina je veoma važan meteorološki element, i to ne samo za meteorologe i hidrologe već i za sve druge koji na bilo koji način dolaze u dodir s tim podacima. Iz mnogih studija i članaka objavljenih u posljednjih sto i više godina jasno je da postoji pogreška u mjerenju oborine i da je ona dovoljno velika da može utjecati na sva istraživanja koja koriste te podatke. Problem je davno uočen i učinjeno je mnogo pokušaja da se uklone uzroci koji do pogreške dovode. Na žalost zadovoljavajuće rješenje do danas nije nađeno iako je učinjeno zaista puno. O učinjenom najbolje govori podatak (Hamon, 1972) da postoje publicirane, ili za publiciranje pripremljene bibliografije koje sadrže oko 1600 referenci (danas je taj broj sigurno veći), koje su sve povezane sa metodama i instrumentima za mjerenje oborine.

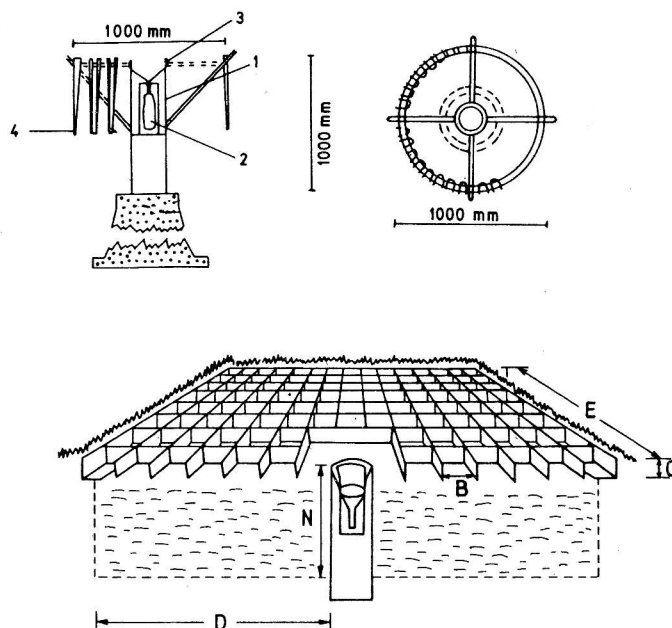
2.1 Povijesni pregled istraživanja

Da postoji pogreška o mjerenju oborine poznato je u Evropi već od 17. stoljeća, od kada datiraju i prvi pokušaji da se ona odstrani iz mjerenja. Ovdje će ukratko i kronološki biti prikazani pokušaji procjene i eliminiranja utjecaja vjetera, vlaženja stijenki kišomjera i isparavanja iz kantice kišomjera na točnost mjerenja oborine od 17. do prve polovice ovog stoljeća.

Začetnik prakse komparacije kišomjera bio je Englez William Heberden (1769), sa svojim poznatim radom o razlici između količine oborine izmjerene na krovu i one u vrtu Westminsterke opatije. On je prvi ukazao na činjenicu da kišomjer čiji se prijemni dio (otvor) nalazi na nekoj visini iznad površine zemlje prikupi manju količinu oborine od kišomjera čiji je otvor bliže površini okolnog tla. Ta činjenica je u početku tumačena na razne načine i postavljene su različite hipoteze o uzrocima te pojave. Prvi koji su ove razlike u mjerenim količinama povezali su utjecajem vjetera bila su također Englezi Howard (1812) i Boase (1822). Doprinos razumijevanju povezanosti između visine otvora kišomjera i brzine vjetera dao je Stavenon (Engleska — 1842) uočivši da se brzina vjetera povećava sa porastom visine otvora kišomjera. Francuz Maille pokazao je 1855. da, uz brzinu vjetera, važnu ulogu ima i veličina kapi oborine.

Važan eksperiment izveo je 1861. u Engleskoj Jevons. On je u veoma jednostavnom tunelu, napravljenom u kućnoj izvedbi, promatrao ponašanje struje dima oko različitih prepreka. Primjenjujući isti pristup, razmišljao je što bi bilo da se umjesto dima tu nalazi struja zraka sa kapljicama kiše. Došao je do zaključka da će manje oborine pasti na vrh prepreke nego drugdje, i da će suvišak biti odvučen na zavjetrinsku stranu prepreke. Ispravnost ovakvog zaključivanja kasnijim su eksperimentima u tunelima kompliciranije izvedbe potvrdili i drugi autori.

Kada je utvrđeno da vjetar utječe na količinu oborine mjerenu kišomjerom, da je njegov utjecaj veći što je kišomjer postavljen na stupiću veće visine, pokušalo se tome doskočiti tako da se prijemni dio (otvor) kišomjera postavi na razinu okolnog tla. Takav tip kišomjera nazvan je ukopani kišomjer (sl. 1) i prvi ga spominje Englez Howard (1812). Opis i crtež napravio je Stevenson (1842), a prvi ga je u praksi instalirao i proveo mjerenja Ward (Engleska — 1864). Symons je u periodu od 1865. do 1875. proveo u Engleskoj paralelna mjerenja ukopanim kišomjerom i standardnim kišomjerima izdignutim iznad površine zemlje. Cilj je bio određivanje najpogodnijeg i najtočnijeg tipa kišomjera za rutinsko mjerenje oborine. Rezultati, veoma interesantni još i danas, publicirani su u "British Rainfall 1864 — 1895". Kao što će se kasnije pokazati, ukopani kišomjer bit će zadovoljavajuća solucija za mjerenje tekućih oborina.



Sl. 1. Kišomjeri — etaloni u prvoj i drugoj međunarodnoj usporedbi kišomjernog pribora. Internacionalni standardni kišomjer (IRPG) i ukopani kišomjer:

1. kišomjer tipa Snowdon	$B \geq 5 \text{ cm}$
2. kantica kišomjera	$C \geq 5 \text{ cm}$
3. lijevak	$D \geq 60 \text{ cm}$
4. Alterov obruč	$E \geq 60 \text{ cm}$
	$N \geq 30 \text{ cm}$

Fig. 1. Reference gauges for the first and the second international comparisons of precipitation gauges. International Reference Precipitation Gauge (IRPS) and pit gauge:

1. Snowdon gauge	$B \geq 5 \text{ cm}$
2. container	$C \geq 5 \text{ cm}$
3. collector	$D \geq 60 \text{ cm}$
4. Alter wind shield	$E \geq 60 \text{ cm}$
	$N \geq 30 \text{ cm}$

Reduciranje utjecaja vjetera na mjerenu količinu oborine pokušalo se ostvariti i postavljanjem svojevrsne zaštite protiv djelovanja vjetera u obliku obruča različite konstrukcije, oblika i dimenzija oko samog otvora kišomjera. Prvi koji je sugerirao upotrebu zaštitnih obruča bio je Henry (1853) u Americi. Predložio je da se obruč postavi nešto niže od samog ruba otvora i da se tako spriječi pojava ulazne struje vjetera. Nipher je 1878. konstruirao

i testirao zaštitni obruč koji je imao oblik preokrenutog stošca sa odrezanim vrhom i bio pričvršćen na kišomjer. Mjerenja u praksi pokazala su da je obruč bolji ako se odreže donji suženi dio koji je omogućavao gomilanje snijega. Modifikacija Nipherovog obruča upotrebljava se i danas u pojedinim zemljama kao standardni oblik zaštite kišomjera od vjetra. Uviđajući neke nedostatke gore spomenutog obruča, Alter je 1937. godine konstruirao drugačiji oblik, sa pomičnim i savitljivim pločicama koje se montiraju na posebni prsten oko gornjeg ruba kišomjera. Originalan, ili ponešto modificiran, i ovaj je obruč još uvijek u upotrebi.

Baveći se problemom mjerenja oborine u SSSR-u, Tretjakov je 1952. godine konstruirao novih tip kišomjera i zaštitnog obruča sa polupomičnim pločicama namještenim također na prstenu oko gornjeg ruba kišomjera (sl. 3). Veoma rano počelo se eksperimentirati i sa zaštitama u obliku ograda (od grmlja, žbunja ili drvenih letvica) različitih oblika i promjera i iste visine kao visina kišomjera. Ideju o korištenju ograda predložio je 1874. godine Buchan, a 1885. prvi je to ostvario Wild u Rusiji.

Vjerojatno prvi koji je pokušao izračunati gubitke zbog vlaženja stijenki kišomjera bio je Garnett 1794. u Engleskoj. Gubitak je određivao računskim putem iz razlika mjerenih količina oborine sa dva različita kišomjera na istom mjestu, i koristeći omjer njihovih vlažnih površina. U Francuskoj je to odredio 1819. Flaugergues. On je gubitak na vlaženje odredio iz razlike u težini vlažnog i suhog kišomjera i korigirao dnevne vrijednosti količina oborine dodajući taj iznos korekcije. Prema njegovim eksperimentalnim rezultatima ti gubici iznosili su 0.15 mm na dan, ili oko 2% mjerene količine oborine. Quetelet (Belgija – 1852) je utvrdio da kišomjer čije su unutrašnje stijenke premazane bojom imaju veće gubitke na vlaženje od neobojenih. U Njemačkoj je procjenu ovih gubitaka raznim metodama pokušao odrediti Beyerlein (1899). Bilo je još pojedinačnih pokušaja da se ovaj problem riješi, no to nije učinjeno sve do šezdesetih godina ovog stoljeća kada je provedena velika akcija u SSSR-u, gdje se sistematski pristupilo rješavanju ovog problema.

Da je isparavanje iz kišomjera izvor pogrešaka u mjerenju oborine, znalo se u Evropi također već od 17. stoljeća. U to doba meteorološka mjerenja providla su se uglavnom u školama, gdje su nastavnici bili motritelji, i tada su se zajedno sa podacima oborine prikupljali i podaci o isparavanju. Znajući da postoji isparavanje iz posude u kojoj se nalazi voda, logično je slijedio zaključak da postoji i isparavanje iz kišomjera. Da bi se spriječilo isparavanje iz posude, oborina je mjerena više puta na dan, čak ponegdje i iza svake kiše, a pokušalo se poboljšati i osobine kišomjera. Naime, u samom početku prijemni dio kišomjera i spremište gdje se slijevala i čuvala oborina nisu bili odvojeni. Zbog toga je 1868. godine Mariotte (Francuska) došao na ideju da ih razdvoji i međusobno poveže sa uskom cijevi. Nešto slično proveo je i Heberden (1769) u Engleskoj. On je upotrijebio bocu

za čuvanje prikupljene oborine, a ona je bila spojena sa prijemnim dijelom kišomjera cijevčicom, koja je sezala do samog dna boce. Istražujući o čemu sve ovisi veličina isparavanja, Thrustans (Engleska – 1867) je ustanovio da gubici na isparavanje zavise o površini otvora kišomjera. Ziegler je, baveći se isparavanjem, u Austriji (1887) konstatirao da dodavanje male količine ulja ili glicerina u kišomjer sprečava isparavanje. Krajem prošlog stoljeća (1890), uspoređujući gubitke zbog isparavanja za 9 različitih tipova kišomjera u Njemačkoj, Hellmann je procijenio da se ti gubici kreću od 0 do 6% od prikupljene količine oborine. Koristeći se podacima paralelnih mjerenja različitim tipovima kišomjera koje je u Engleskoj proveo Symons (1893), Hellmann je procijenio da su gubici za tip kišomjera, koji je kasnije po njemu dobio ime, oko 3% od prikupljene količine oborine.

Kao što se može vidjeti iz ovog kraćeg povijesnog pregleda, postojanje pogreške u mjerenju oborine otkriveno je dosta davno. Istražujući u čemu sve pogreška zavisi, otkriveni su gotovo svi važniji uzroci koji do toga dovode (utjecaj vjetra, vlaženje stijenki kišomjera i isparavanje iz posude kišomjera, visina gornjeg ruba kišomjera od površine tla). Veličina pogrešaka pokušala se procijeniti i eliminirati raznim postupcima (češćim mjerenjem oborine, uvođenjem zaštitnih obruča i ograda protiv utjecaja vjetra, poboljšanjem postojećih i konstrukcijom novih tipova kišomjera).

Karakteristika ovog perioda je da su sva mjerenja i istraživanja bila sporadična i potaknuta interesom pojedinaca bez koordinacije. Svi eksperimenti bili su kratkotrajni, provedeni pod različitim uvjetima i različitim tipovima kišomjera. Kada su i provedena paralelna mjerenja, bilo je to uvijek pomoću raznih tipova kišomjera međusobno, no nikad prema jednom tipu kišomjera – etalonu. Zbog svega ovog ostvareni rezultati bili su teško međusobno usporedivi i tražili su dodatna istraživanja da bi se potvrdila njihova valjanost. Uočeni nedostaci i zamjerke pokušane su riješiti u drugoj, znatno intenzivnijoj fazi istraživanja, od pedesetih godina ovog stoljeća nadalje.

2.2 Pregled organiziranih akcija istraživanja od 1950. do 1985.

Uviđajući da se problem pogreške u mjerenju oborine neće moći riješiti pojedinačnim pokušajima, već samo zajednički organiziranim akcijama, to se u ovih posljednjih tridesetak godina pokušalo i ostvariti. U tom periodu organizirane su i provedene dvije međunarodne usporedbe kišomjernog pribora, provedena su istraživanja u okviru pojedinih zemalja, organiziran je i prvi međunarodni skup koji se bavio isključivo problemom točnosti mjerenja oborine, a u studenom 1986. godine počeo će i nova međunarodna usporedba kišomjernog pribora za mjerenje krutih oborina. Ovdje će ukratko biti prikazani ciljevi i nedostaci poduzetih akcija istraživanja, dok će se o novijim saznanjima, metodama i postupcima procjene sistematske pogreške u mjerenju i postignutim rezulta-

tima govoriti prilikom analize pojedinih komponenata te pogreške.

Ideja da se organizira prva međunarodna usporedba kišomjernog pribora prihvaćena je 1955. godine. Ovu akciju zajednički su organizirale Komisija za instrumente i metode mjerenja (Commission for Instruments and Observing Methods – CIMO) i Međunarodno udruženje za hidrološke znanosti (International Association of Hydrological Sciences – IAHS). Cilj ove akcije bio je dobivanje redukcijskog koeficijenta među različitim tipovima nacionalnih kišomjera, prema međunarodnom standardnom kišomjeru (International Reference Precipitation Gauge – IRPG). Kao međunarodni standard izabran je tada, kao i stotinu godina ranije u engleskim istraživanjima koje je proveo Symons, kišomjer tipa Snowdon (British Meteorological Office Mk 2). Gornji rub kišomjera (otvor) bio je 1 metar iznad tla i bio je opskrbljen Alterovim obručem kao zaštitom od vjetrova (sl. 1).

Danas je veoma teško odgovoriti na pitanje kojim su se razlozima rukovodili organizatori ove akcije kada su birali standardni tip kišomjera. Naime, i kod ovog tipa kišomjera gornji rub nalazi se 1 metar iznad površine zemlje i podložan je utjecaju vjetrova, koji najznačajnije utječe na točnost mjerenja oborine, pa ovaj tip kišomjera upravo zato nije mogao dati stvarne količine oborine. To je analiza podataka paralelnih mjerenja međunarodnim standardnim kišomjerom, pojedinim tipovima nacionalnih kišomjera i ukopanim kišomjerom i potvrdila (Struzer et al, 1966). Vjerojatno je upravo izbor neadekvatnog tipa kišomjera za međunarodni standard bio razlog što prva međunarodna usporedba kišomjernog pribora nije bila naročito uspješna. Prihvaćene metode mjerenja i analize podataka također su bile podvrgnute kritici (Struzer, 1971). No svi ovi kritički prikazi i osvrti dali su rezultate i pojavile su se nove ideje o tipu standardnog kišomjera kao i o načinu mjerenja oborine.

Neuspjeh prve međunarodne usporedbe nije obeshrabrio istraživače u raznim zemljama, već čak naprotiv, izgleda da je to bio poticaj da se započne sa intenzivnijim istraživanjima, no i ovaj put na nacionalnim osnovama, tj. u okvirima pojedinih zemalja. Oslanjajući se na rezultate tih istraživanja korekcija za sistematsku pogrešku uvedena je u SSSR-u, Finskoj, Danskoj, Rumunjskoj, Švedskoj i Švicarskoj.

Jedan od najvažnijih rezultata istraživanja u pojedinim zemljama sa različitim tipovima kišomjera i klimatsko-geografskim karakteristikama, bilo je saznanje da će se morati odvojeno rješavati pitanje mjerenja krutih i tekućih oborina, što je drugom međunarodnom usporedbom pribora za mjerenje tekućih oborina i ostvareno.

Ideja da se organizira druga međunarodna usporedba kišomjera za mjerenje samo tekućih oborina potekla je 1969. godine iz Versaillesa (CIMO – V sjednica). Ovo je konačno bila akcija koja je uspjela zadovoljiti većinu zahtjeva za dobivanje pouzdanih odgovora na mnoga pitanja. Određen je adekvatan etalon – ukopani kišomjer (sl. 1), prema kojem su provedena i komparirana istovremena mjerenja nacionalnim tipovima kišomjera,

kao i jedinstvena metoda mjerenja, prikupljanja i obrade podataka.

Ukopani kišomjer (sl. 1) sastoji se od: kišomjera tipa Snowdon, koji je smješten u iskopanom udubljenju (dužina i širina 120 cm, dubina 30.5 cm), zaštitne mrežice protiv isprskavanja (istih dimenzija kao i udubljenje) i menzure za mjerenje prikupljene oborine. Stijenke udubljenja mogu biti okomite ili nagnute i trebaju biti obložene drvenim letvicama da se spriječi odroñavanje zemlje. Gornji rub kišomjera mora biti u ravni ruba zaštitne mrežice protiv isprskavanja. Ukopani kišomjer dobro je zaštićen od utjecaja vjetrova i, ako se podaci korigiraju zbog gubitaka na vlaženje i isparavanje, daje prihvatljive rezultate. Analiza podataka mjerenja, sa 24 mjerna mjesta i različitim tipovima ukopanih kišomjera i zaštita protiv isprskavanja, pokazala je da su razlike u prikupljenoj količini oborine među njima u prosjeku $\pm 1\%$, ako su gubici na vlaženje bili uračunati, ili $\pm 2\%$, ako ti gubici nisu uvaženi (Sevruk and Hamon, 1984).

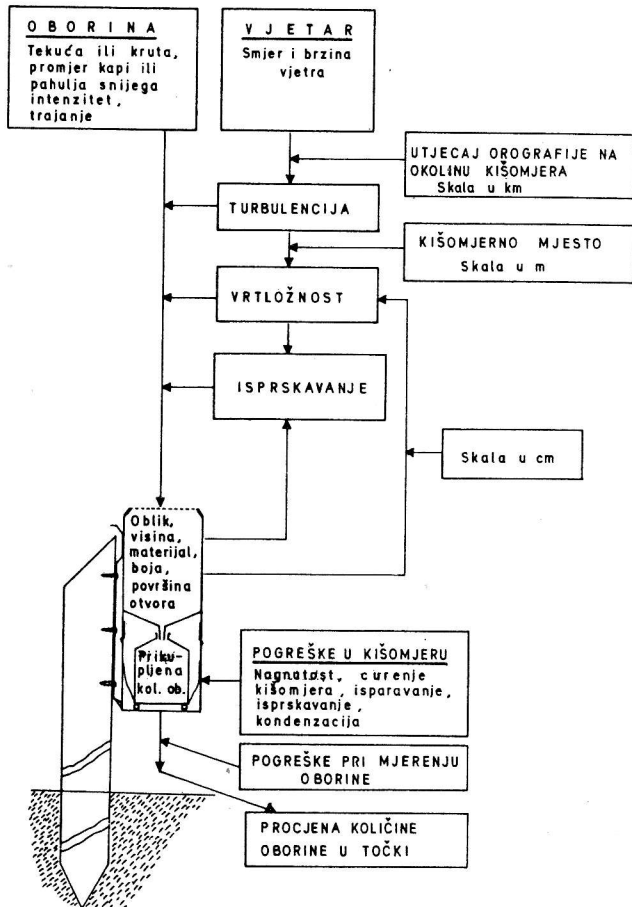
Druga međunarodna usporedba započela je 1972. godine i njezin najintenzivniji dio završen je 1976, no u pojedinim zemljama mjerenja se nastavljaju i dalje. Mjerenja su provedena u 22 države širom svijeta na oko 60 meteoroloških stanica čije su se nadmorske visine kretele od 1 do 1384 metra.

Svi podaci mjerenja prikupljeni tokom ove usporedbe dostavljeni su Svjetskoj meteorološkoj organizaciji, obrađeni su, analizirani i publicirani (Sevruk and Hamon, 1984). Analiza prikupljenih podataka potvrdila je postojanje sistematske pogreške u mjerenju tekuće oborine standardnim kišomjerima čija se prijemna površina (otvor) nalazi na nekoj visini iznad površine zemlje, te mogućnost korigiranja tih vrijednosti. Koristeći se analizama i rezultatima druge međunarodne usporedbe kišomjernog pribora, kao i svim značajnijim rezultatima iz drugih zemalja, predloženi su neki u praksi provjereni i testirani načini provođenja korekcija oborinskih podataka (Sevruk, 1982; Sevruk and Hamon, 1984).

Druga međunarodna usporedba, i postignuti rezultati, pobudila je značajan interes za problem mjerenja oborine. Zbog toga je na VI sjednici Komisije za hidrologiju (WMO Commission for Hydrology) koja djelujeu sklopu SMO, održanoj u Madridu 1980, predloženo da se održi specijalni sastanak posvećen isključivo metodama i rezultatima u korigiranju oborinskih podataka. Sugestija je prihvaćena i takav sastanak održan je u Zurichu (Workshop on the Correction of Precipitation Measurements 1–3 April 1985). To je bio prvi sastanak takve vrste, a prisutna su bila 52 stručnjaka iz 23 zemlje. Na sastanku su razmatrani problemi mjerenja oborine u različitim područjima i sa različitim fizikalno-geografskim specifičnostima. Sumirani su rezultati i iskustva iz dosadašnjih akcija, i napravljen plan daljnjeg istraživanja, da bi se konačno došlo do jedinstvenog postupka u korigiranju oborinskih podataka. Planovi daljnjih istraživanja i preporuke sa sastanka bit će komentirane u kasnijem tekstu.

3. METODE I POSTUPCI PROCJENE SISTEMATSKE POGREŠKE U MJERENJU OBORINE

Količina oborine koja se prikupi u kantici kišomjera općenito je manje od količine koja padne na okolno tlo. Razlozi za to višestruki su. Na slici 2 dan je model koji pokazuje različite utjecaje koji se javljaju kod određivanja količine oborine običnim kišomjerom. Količina oborine koja se prikupi u kišomjeru funkcija je oborine koja pada, okoliša i tipa kišomjera, te ostalih meteoroloških uvjeta na mjestu motrenja.



Sl. 2. Procesi koji sudjeluju kod određivanja količine oborine običnim kišomjerom

Fig. 2. Processes involved in determining precipitation amount with a conventional rain gauge

Zbog svih ranije navedenih utjecaja, i bez obzira na stoljetnu povijest razvoja metoda mjerenja oborine, do danas imamo instrumente koji u značajnoj mjeri daju iskrivljene podatke. To je zbog toga jer se kod mjerenja količine oborine javlja sistematska pogreška. Ona utječe na sva mjerenja i javlja se pri svakom mjerenju, iako nije uvijek ista po iznosu, a nastaje zbog načina na koji se mjeri oborina (prikupljanje i čuvanje u kantici kišomjera do trenutka mjerenja) i položaja kišomjera (on je obično montiran na drvenom stupiću čija visina, a to ujedno znači i visina gornjeg ruba kišomjera, varira od države do države, i kreće se od 30 cm u Engleskoj do 200 cm u SSSR-u). U tabeli 1 dan je pregled najvažnijih komponenata sistematske pogreške, procjena njihove ve-

ličine, meteoroloških uvjeta i osobina kišomjera koje na te komponente utječu (Sevruck, 1982).

Ako u podacima postoji sistematska pogreška potrebno ju je ukloniti, što se postiže dodavanjem izvjesnih korekcija. Opći model prema kojem se određuje korigirana količina oborine (Sevruck, 1982) izgleda ovako:

$$P_K = k P_C = k (P_g + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_5) \pm P_r; \quad (1)$$

P_K je korigirana količina oborine, k je faktor korekcije zbog deformacije polja vjeta, P_C je količina oborine u kišomjeru, P_g je količina oborine izmjerena iz kišomjera, P_1 do P_5 su korekcije za različite komponente sistematske pogreške (pogledati tabelu 1), a P_r je slučajna pogreška.

Veličina faktora korekcije k može se za pojedini tip kišomjera procijeniti paralelnim mjerenjima (prema ukopanom kišomjeru na primjer), a korekcije P_1 do P_5 mogu se odrediti laboratorijskim testovima. Ostali meteorološki podaci potrebni za procjenu mogu se dobiti iz standardnih meteoroloških mjerenja.

Sve komponente sistematske pogreške i njihovi pojedinačni iznosi variraju, ovisno o meteorološkim uvjetima i osobinama pojedinog tipa kišomjera, od veoma malih do sasvim značajnih. To ujedno znači da se ne moraju razmatrati i uvažavati sve komponente za sva klimatska područja, sezone i tipove kišomjera jednako. Važno je dakle istražiti i procijeniti za svako pojedino područje iznose tih komponenti i, ako je njihov utjecaj značajan, eliminirati ih, što je moguće učiniti.

3.1 Gubitak oborine zbog utjecaja vjeta

Svi standardni kišomjeri koji su danas u upotrebi, premda različitih dimenzija i konstrukcija, valjkastog su oblika i montirani na drvenom stupiću. Posljedica ovakvog njihovog položaja je da su prepreka strujanju zraka. Prilikom nailaska struje zraka na kišomjer (prepreku) dolazi do deformacije polja vjeta. Deformacija se sastoji u pojavi uzlazne struje i istovremenog povećanja brzine vjeta neposredno iznad horizontalnog otvora kišomjera, što je potvrđeno eksperimentima u tunelu (Robinson and Rodda, 1969; Green and Helliwell, 1972). Može se smatrati da se na svom putu kaplja (pahulja snijega) kreće zajedno sa vjetrom i istovremeno pada ravnomjernom brzinom, i oba gore spomenuta efekta dovode do toga da kapi (pahulje) nošene strujom vjeta "zaobilaze" otvor kišomjera i padaju na okolno tlo. To je razlog zašto kišomjer prikupi manje oborine no što padne na okolno tlo. Stupanj deformacije trajektorije kapi (pahulje), i u skladu s tim deficit oborine, bit će veći što su kapi manje (pahulje lakše). Odnosno za kišomjerni pribor s određenim aerodinamičnim karakteristikama deficit zbog vjeta zavisi o dva faktora: brzini vjeta i mikrostrukтури oborine. Deficit zbog ovog razloga naziva se gubitak oborine zbog utjecaja vjeta. Da bi se utvrdilo koliki je ovaj gubitak, potrebno je imati kišomjer dobro zaštićen od vjeta. To svojstvo ima ukopani kišomjer (sl. 1), i zbog toga je poslužio kao etalon za procjenu

Tabela 1. Glavne komponente sistematske pogreške u mjerenju oborine i meteorološki faktori i osobine unstrumenta koje utječu na pogrešku

Table 1. Main components of systematic error in precipitation measurement and their meteorological and instrumental factors listed in order of general importance

Simbol	Komponenta pogreške	Veličina	Meteorološki faktori	Osobine instrumenta
k	Gubitak zbog deformacije polja vjetra iznad kišomjera	2–10% 10–50%*	Brzina vjetra na visini ruba kišomjera za vrijeme oborine i struktura oborine	Oblik, površina prijemnog dijela i dubina kantice i lijevka
P ₁ + P ₂	Gubici na vlaženje unutrašnjih stijenki lijevka i kance kada se prazni	2–10%	Učestalost, oblik i količina oborine, vrijeme sušenja kišomjera i učestalost pražnjenja kance	Isto kao i gore, i još k tome materijal, boja i starost lijevka i kance
P ₃	Gubitak zbog isparavanja iz kance kišomjera	0–4%	Oblik oborine, deficit vlage, brzina vjetra na visini ruba kišomjera i interval između prestanka oborine i mjerenja	Površina zjala kišomjera i izolacija kance, boja i tip lijevka
P ₄	Isprskavanje	1–2%	Intenzitet kiše i brzina vjetra	Oblik i dubina lijevka i vrsta kišomjera
P ₅	Gomilanje i izbacivanje snijega		Intenzitet i trajanje snijega, brzina vjetra i stanje snježnog pokrivača	Oblik, površina zjala i dubina lijevka i kance i visina kišomjera iznad zemlje

* Snijeg

ovog gubitka za tekuće oborine. Nedostatak ovog tipa kišomjera je što ne može u te svrhe biti upotrijebljen i za krute oborine.

3.1.1 Gubitak tekuće oborine zbog utjecaja vjetra

Procjenu gubitka tekućih oborina zbog utjecaja vjetra moguće je dobiti iz paralelnih mjerenja standardnim nacionalnim kišomjerom i ukopanim kišomjerom. Mjerenje treba provesti na izabranim lokacijama i u klimatski različitim područjima. Veličina faktora korekcije k dobije se iz omjera količine kiše mjerene ukopanim kišomjerom (P_{gr}) i nacionalnim kišomjerom (P_{gn}), tj.:

$$k = P_{gr} \cdot P_{gn}^{-1} \quad (2)$$

Najopsežnija paralelna mjerenja ukopanim i standardnim kišomjerima provedena je za vrijeme trajanja druge međunarodne usporedbe kišomjernog pribora od 1972. do 1976. godine (Sevruk and Hamon, 1984), no takva mjerenja provedena su i u drugim zemljama: SSSR-u (Struzer et al., 1965; Struzer, 1972, 1978; Bogdanova, 1966, 1971a; Melikišvili, 1966a; Šuvahin, 1866; Gorbunova i Stepanjuk, 1969; Gorbunova, 1972a; 1972b); Engleskoj (Stanhill, 1958; Reynolds, 1964; Robinson and Rodda, 1969; Clarkson, 1971; Crawford, 1972), Kanadi (Goodison and Louie, 1985), Poljskoj (Lenart, 1985), Bugarskoj (Peneva, 1985), Čehoslovačkoj (Buchtle, 1985; Šamaj and Lapin, 1985), Finskoj (Solantie, 1985), DDR-u (Gunter and Richter, 1985).

Sva mjerenja potvrdila su činjenicu da ukopani kišomjer prikupi više oborine nego standardni kišomjeri koji se danas upotrebljavaju u mreži meteoroloških stanica širom svijeta. Brojčani iznos tog suviška zavisi o tipu kišomjera i klimatskih osobina pojedinih područja. Rezultati druge međunarodne usporedbe pokazali su da je razlika u prosjeku bila 3% u korist ukopanog kišomjera, ali je varirala od 0 do 20% od prikupljene količine oborine (Sevruk and Hamon, 1984; De Bruin, 1985). Rezultati istraživanja u pojedinim zemljama također se kreću u navedenim granicama i potvrđuju činjenicu da su gubici veći u područjima sa slabijim intenzitetom kiša od gubitaka u tropskim krajevima sa češćim pljuskovitim kišama, tj. sa jačim intenzitetima.

Ovakva mjerenja omogućila su da se vidi za pojedini tip kišomjera i klimatske uvjete o čemu sve zavisi faktor korekcije k, i da se zatim može procijeniti i za mjesta u kojima takvih mjerenja nema. Analiza podataka potvrdila je da je faktor korekcije k funkcija dvije varijable: brzine vjetra na visini ruba kišomjera za vrijeme padanja kiše i njezine strukture koju određuje veličina kapi kiše. Veličina kapi kiše ne određuje se meteorološkim mjerenjima, ali je povezana sa intenzitetom kiše, i zato k možemo prikazati kao:

$$k = f(u_{hp}, N) \quad (3)$$

ili

$$k = g(u_{hp}, i_p), \quad (4)$$

gdje je u_{hp} brzina vjetra na visini ruba kišomjera za vrijeme padanja kiše, N je parametar strukture kiše, a i_p je intenzitet kiše. Parametar N kao i intenzitet kiše i_p određuju se iz zapisa pluviografa. Struktura kiše karakterizirana je parametrom N , koji je u postocima izražen dio kiše pale s intenzitetom $\leq 0.03 \text{ mm min}^{-1}$. Ovaj parametar definiran je na ovaj način jer su eksperimentalna istraživanja (Bogdanova, 1971a) pokazala da je utjecaj vjetra daleko veći na kiše slabijeg intenziteta ($i_p \leq 0.03 \text{ mm min}^{-1}$, tj. na kapi manjeg promjera) nego na kiše jačeg intenziteta, što je međunarodna usporedba kišomjernog pribora za tekuće oborine i potvrdila.

Dakle, poznavajući oblik veze između faktora korekcije k i (u_{hp} , i_p) i raspolažući podacima o brzini vjetra na visini ruba kišometra za vrijeme padanja kiše i intenzitetom kiše, moguće je odrediti korekciju zbog utjecaja vjetra. U tabeli 2 nalaze se eksperimentalno utvrđeni izrazi za određivanje faktora korekcije k različitih autora.

gdje je u_{HP} brzina vjetra na visini vjetrokaza (ms^{-1}), a C je koeficijent koji se određuje iz izraza:

$$C = (\ln h z_0^{-1}) (\ln H z_0^{-1})^{-1}; \quad (6)$$

h je visina ruba kišomjera iznad zemlje, H je visina vjetrokaza, a z_0 je koeficijent hrapavosti. Dimenzije svih veličina su u metrima.

Ovaj način redukcije vjetra pokazao se zadovoljavajući za stanice koje se nalaze na relativno ravnim terenima, odnosno tamo gdje polje vjetra nije iskrivljeno djelovanjem okoline (Petrov, 1958). iz toga slijedi da je broj stanica za koje ovo vrijedi relativno mali. Istraživanja raznih autora (Wilson, 1954; Brown and Peck, 1962; Fedorova, 1966; Bogdanova, 1966, 1969; Kuznecova, 1966; Merve et al., 1976) pokazala su da razmatrajući utjecaj vjetra na mjerenje oborine, treba voditi računa o stupnju zaštićenosti (ili se može govoriti o stupnju izloženosti) od vjetra mjesta gdje je stanica smještena. Ovo je naročito važno za stanice u kompliciranijim orografskim

Tabela 2. Jednadžbe za procjenu faktora korekcije k za tekuće oborine

Table 2. Equations for the estimation of conversion factor k for liquid precipitation

Jednadžba	Autor	Simboli i značenja
Kišomjer tipa Nipher SSSR $k = 100 \cdot (100 - 0.033 Nu_{hp})^{-1}$	Bogdanova (1966)	N = udio kiše pale sa intenzitetom $\leq 0.03 \text{ mm min}^{-1}$
Kišomjer tipa Tretjakov SSSR $k = 100 \cdot (100 - 0.038 Nu_{hp})^{-1}$	Bogdanova (1966)	u_{hp} = brzina vjetra za vrijeme kiše na visini ruba kišomjera u ms^{-1}
Kišomjer tipa Wild (Bugarska) $k = 100 \cdot [100 - (0.031 N + 1.943) u_{hp}]^{-1}$	Subeva et al (1980)	u_p = brzina vjetra za vrijeme oborine na visini 10 – 12 metara iznad tla (ms^{-1})
Kišomjer tipa Hellmann $k = \exp (-0.001 \ln i_{pd} - 0.0082 u_p i_{pd} - 0.042 u_p + 0.01)$	Allerup (1985)	i_{pd} = dnevni intenzitet kiše (mm h^{-1})

Ni brzina vjetra na visini ruba kišomjera za vrijeme padanja kiše, niti struktura kiše, odnosno intenzitet, ne mjere se redovito na svim stanicama. Da bi se mogli korigirati podaci i tamo gdje takvih mjerenja nema, potrebno ih je procijeniti, naravno sa zadovoljavajućom točnošću, iz standardnih mjerenja koja postoje.

Brzina vjetra određuje se na većini stanica iz terminskih mjerenja (3 do 8 puta na dan), a visina vjetrokaza obično je na 10 do 12 metara iznad tla. Redukcija brzine vjetra sa visine vjetrokaza na visinu ruba kišomjera provodi se primjenom logaritamskog zakona koji ima slijedeći oblik:

$$u_{hp} = C u_{HP}, \quad (5)$$

uvjetima, ili tamo gdje postoje elementi koji mogu utjecati na to da je položaj stanice zaštićen od slobodnog strujanja zraka (šuma, grmlje, građevine ili neka druga prepreka), što sve može dovesti do narušavanja logaritamske promjene vjetra sa visinom. Prvu klasifikaciju stupnja zaštićenosti stanice predložili su Brown i Peck (1962). Ta klasifikacija je subjektivna (ima sedam stupnjeva), i zasniva se na stupnju zaštite koju pružaju predmeti u okolini, kao i uvažavanje šire okoline stanice. Evidentno je da za stupanj zaštićenosti stanice treba izabrati parametre koji se mogu mjeriti (procijeniti objektivno) i koji trebaju biti priloženi dokumentaciji stanice sa ostalim neophodnim podacima.

Prema istraživanjima Fedorove (1966) koeficijent iskrivljenja logaritamskog profila vjetra (m) povezan je sa stupnjem zaštićenosti stanice vezom oblika:

$$m = 1.0 - 0.024\alpha, \quad (7)$$

gdje je α srednja kutna visina prepreka određena iz osam smjerova ruže vjetra oko kišomjera u stupnjevima od 0 do 360. Uvažavajući ova istraživanja jednadžba za redukciju brzine vjetra (5) glasi:

$$u_{hp} = C m u_{Hp}. \quad (8)$$

Koeficijent C definiran je izrazom (6).

U Švedskoj (Dahlström, 1985) zaštićenost stanice određuju iz snimke načinjene kamerom (koja ima leću tipa riblje oko) postavljenom na sam otvor kišomjera, uz uvažavanje terena u široj okolici stanice.

Na stanicama bez pluviografa moguće je parametar N procijeniti i iz drugih veličina sa još uvijek dovoljnom točnošću. Jedan od načina je procjena iz srednjeg mjesečnog intenziteta kiše, tj. iz omjera ukupne mjesečne količine kiše u mm i ukupnog trajanja kiše u tom mjesecu u satima dobivenih iz trajanja pojave kiše. Općenito je pokazano (Bogdanova, 1971a; Sevruc, 1981, 1982) da se mjesečne vrijednosti N povećavaju nelinearno sa smanjenjem intenziteta kiše, ali pokazuju linearnu zavisnost sa logaritmom intenziteta kiše. Ta je veza oblika:

$$N = a - b \ln i_p; \quad (9)$$

a i b su konstante, a i_p je srednji intenzitet kiše (mm h^{-1}).

U tabeli 3 navedene su jednadžbe za procjenu parametra N za tekuće oborine iz mjesečnih vrijednosti drugih meteoroloških elemenata koje su koristili pojedini autori.

Korigiranje dnevnih količina oborina zbog utjecaja vjetra moguće je provesti samo na stanicama gdje postoje kompletna mjerenja svih potrebnih veličina. Korekcije mjesečnih vrijednosti, te za duže periode, moguće je provesti za stanice za koje se iz drugih elemenata potrebne vrijednosti parametara mogu procijeniti. Ako na nekom području postoji veći broj stanica za koje je određena korekcija zbog utjecaja vjetra, moguće je grafički prikazati ovisnost faktora korekcije k o (u_{hp} , N) sistemom krivulja i grafičkim putem odrediti korekcije za sve stanice s tog područja.

Pluviografi, instrumenti koji osim količine bilježe i trajanje, također pokazuju deficit zbog utjecaja vjetra, a uzroci gubitaka isti su kao i za kišomjer. S obzirom na svoju konstrukciju, pluviografi su kompliciraniji od kišomjera, i često se u njihovom održavanju i funkcioniranju javljaju različite teškoće (instrument zapne pri pražnjenju i ne bilježi dalje, prljavština u cijevčicama koja ometa pražnjenje ili sl). No taj tip poteškoća koje dovode do pogreške ne razmatra se ovdje. Ovdje je riječ samo o sistematskoj pogrešci koja se javlja kod svakog pluviografa, čak i onog koji bi radio idealno, a posljedica je toga da pluviograf, kao i kišomjer, prepreka strujanja zraka.

Da bi se procijenili gubici provedena su u SSSR-u (Gorbunova et al., 1968) paralelne mjerenja pluviografom, ukopanim kišomjerom i kišomjerom tipa Tretjakov koji ima zaštitu protiv vjetra, a isto tako i prema ukopanom pluviografu (Bogdanova et al., 1978). Rezultati gore spomenutih autora pokazali su da pluviograf u prosjeku prikupi 7 do 8% manje oborine od kišomjera tipa Tretjakov i do 20% manje u odnosu na ukopani kišomjer. Usporedba rezultata mjerenja standardnog pluviografa (prijemni dio je na 2 m iznad tla) i ukopanog (pri-

Tabela 3. Jednadžbe za procjenu parametra strukture N tekućih oborina iz mjesečnih vrijednosti

Table 3. Equations for the estimation of the parameter N for liquid precipitation structure from monthly values

Jednadžba	Autor	Simboli i značenja
MJESEČNE VRIJEDNOSTI		
$N = 45 - 75 \log i_p$	Bogdanova (1971)	e = srednja mjesečna vlaga zraka
$N = 141 - 131 i_p + 48 i_p^2 - 6 i_p^3$	Sevruc (1981)	i_p = mjesečni intenzitet kiše u mm h^{-1} M = mjesečni broj dana s oborinom
VIŠEGODIŠNJE SREDNJE VRIJEDNOSTI		
$N = 95 - 3.4 t$	Golubev (1979)	N = udio oborine pale sa intezitetom $\leq 0.03 \text{ mm min}^{-1}$
$N = 145 - 53 \log (P_g t M^{-1})$	Sevruc (1981)	P_g = količina oborine mjerena kišomjerom u mm
$i_p = 0.38 + 0.00452 et$	Bogdanova (1975)	t = srednja mjesečna temperatura zraka u $^{\circ}\text{C}$

jemni dio je u razini zemlje) pokazalo je da u prosjeku standardni pluviograf prikupi oko 14% manju količinu kiše, umanjuje trajanje u prosjeku za 8% i intenzitet kiše za oko 5% u odnosu na ukopani pluviograf (Bogdanova et al., 1978).

Komparacija para pluviografa, od kojih je jedan imao zaštitu od vjetera a drugi ne, prema podacima ukopanog kišomjera, provedena je i u Americi (Hamon, 1972). Pluviografi su tipa Belfort (standardni američki pluviografi na principu vage, a visina prijemnog dijela bila je na 10 stopa, tj. oko 3.05 m iznad tla), sa zaštitom protiv vjetera, tipa Alter, sa fiksnim pločicama u zaštitnom obroču. Rezultati usporedbe pokazuju da pluviograf bez zaštite od vjetera, pri brzini vjetera od oko 4.5 ms^{-1} , prikupi oko 15%, a pri brzini vjetera od 8.9 ms^{-1} oko 25% manju količinu od ukopanog kišomjera. Kod pluviografa za zaštitom protiv vjetera navedeni gubici smanjuju se za oko 50%.

Dosad provedena ispitivanja, iako malobrojna, pokazala su da je i pluviograf podložan utjecaju vjetera isto kao i kišomjer, i da zbog toga bilježi deficit oborine. Potrebno je provesti detaljnija ispitivanja i na većem broju mjesta, da bi se pouzdanije moglo odgovoriti koliki su gubici tog tipa instrumenta.

3.1.2 Gubitak krutih oborina zbog utjecaja vjetera

Kao što je izloženo, ukopani kišomjer dobro je zaštićen od utjecaja vjetera i pokazao je da je procjena gubitaka za tekuće oborine moguća, ali taj tip kišomjera na žalost nije pogodan i za krute oborine. Mnogobrojna istraživanja i iskustvo pokazuju da je utjecaj vjetera od presudne važnosti upravo na točnost mjerenja krutih oborina. Kao rješenje nametale su se same po sebi raznovrsne zaštite oko ruba kišomjera koje bi smanjile, ako ne i u potpunosti eliminirale utjecaj vjetera. U tom smjeru kretala su se i istraživanja provedena u posljednjih tridesetak godina u pojedinim zemljama.

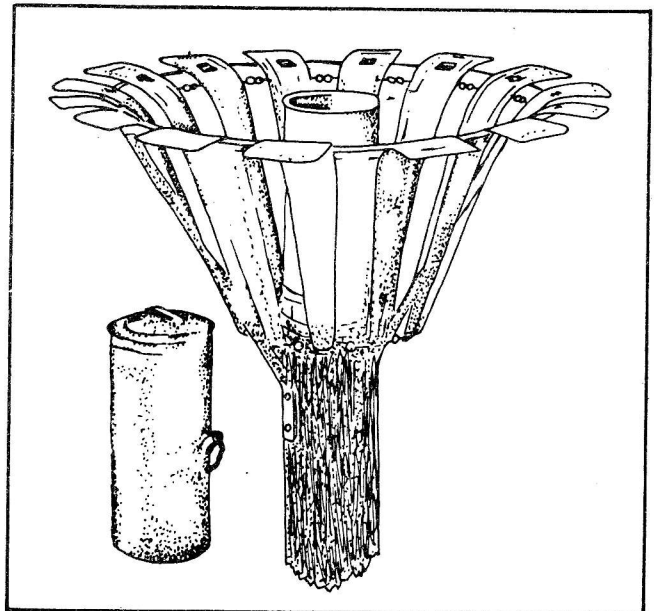
Faktor korekcije K za krute oborine također je funkcija dvije varijable: brzine vjetera na visini ruba kišomjera za vrijeme padanja snijega i strukture snijega. Međutim kao i kod tekućih oborina, ni ovdje ne postoji mjerenje veličine i ostalih karakteristika snježnih pahuljica, pa je kao najpogodniji parametar za karkteriziranje strukture, nakon istraživanja (Bogdanova, 1966), određena temperatura zraka za vrijeme padanja snijega. Dakle za faktor korekcije K za krute oborine vrijedi:

$$K = f(u_{hp}, T_p), \quad (10)$$

gdje je u_{hp} brzina vjetera na visini ruba kišomjera, a T_p je temperatura zraka, obje veličine za vrijeme padanja snijega. Brzina vjetera na visini ruba kišomjera određuje se na isti način i vrijedi sve što je rečeno za tekuće oborine. Principijelno problem je isti kao i za tekuće oborine. Poznavajući oblik veze između faktora korekcije K i (u_{hp}, T_p) i raspolažući podacima vjetera i temperature zraka za vrijeme padanja snijega, moguće je odrediti korekciju zbog utjecaja vjetera. No ovdje postoji drugi problem: do sada nije postojao dovoljno dobro zaštićen

tip kišomjera koji bi poslužio kao etalon za paralelna mjerenja. Prema svemu sudeći i taj problem nakon mnogobrojnih istraživanja na najboljem je putu da se riješi. Da li je to tako pokazat će predstojeća usporedba kišomjera pribora za mjerenje krutih oborina.

Mnogobrojna istraživanja o utjecaju vjetera na mjerenje krutih oborina za kišomjer tipa Tretjakov (površina otvora 200 cm^2 , visina gornjeg ruba iznad tla 2 metra, ima zaštitni obroč protiv vjetera, prikazan je na slici 3) provedena su u SSSR-u (Bogdanova, 1966, 1968a, 1968b, 1971b; Struzer et al., 1965, 1966; Bratislavskij, 1975). Pristup i metode korištene u SSSR-u najjelovitije su prikazane u radu Bogdanove (1966). U svim kasnijim istraživanjima, kako u SSSR-u tako i u drugim zemljama, korišten je isti ili sličan pristup i zbog toga će biti detaljnije izložen.



Sl. 3. Kišomjer tipa Tretjakov

Fig. 3. Tretyakov gauge

Dakle, da bi se odredio utjecaj vjetera na mjerenje krutih oborina, potrebno je raspolagati istovremenim (paralelnim) mjerenjima parova kišomjera od kojih je jedan zaštićen od utjecaja vjetera a drugi nije. U istraživanju Bogdanove (1966) to se pokušalo ostvariti izborom 32 para stanica u različitim klimatskim uvjetima, i to takvih koje su relativno blizu i gdje je bilo moguće postaviti jedan kišomjer na mjesto koje nije bilo zaštićeno od utjecaja vjetera, te tako da je kišomjer bio zaštićen (kišomjer postavljen na čistini u šumi, vrtu ili slično). Eksperiment je trajao od 8 do 10 godina, a mjerena je brzina vjetera na mjestima koja nisu bila zaštićena od utjecaja vjetera i temperatura zraka za vrijeme padanja snijega. Svi podaci ovog eksperimenta, a sadržavali su oko 10000 poludnevničkih količina oborine, bili su grupirani u intervale prema vrijednostima temperature zraka za vrijeme padanja snijega ($T_p \geq 0^\circ$; 0 do -5 ; -5 do -10 ; -10 do -15 ; -15 do 20 ; $T_p < -20^\circ \text{C}$). Unutar svake klase temperature zraka za vrijeme padanja snijega određeno je sedam

podklasa podataka oborine prema mjerenim brzinama vjetra za vrijeme padanja snijega (0 do 2; 2.1 do 4.0; 4.1 do 6.0; 6.1 do 8.0; 8.1 do 10.0; 10.1 do 12.0; 12.1 do 16.0 ms^{-1}) i za svaku tu podgrupu određena je, računskim i grafičkim putem, vrijednost faktora korekcije K, uvažavajući gubitke na vlaženje kišomjera.

Istraživanja su pokazala da pogreška zbog utjecaja vjetra zavisi o brzini vjetra i strukturi oborine, koju dobro karakterizira temperatura zraka za vrijeme padanja snijega. U najvećem broju slučajeva srednja brzina vjetra na visini ruba kišomjera kretala se od 2 do 4 ms^{-1} , a gubici zbog utjecaja vjetra iznosili su od 30 do 60% od mjerene količine oborine, da bi za brzine vjetra od 8 do 10 ms^{-1} i niske temperature zraka od -15 do -20°C dosegli i preko 200%. Bogdanova je (1966, 1968b) zavisnost koeficijenta korekcije K o brzini vjetra i temperaturi zraka za vrijeme padanja snijega prikazala u obliku parametarskih krivulja, $K = f(u_{hp}, T_p)$, dok je Bratislavskij (1975) na temelju tog istog eksperimentalnog materijala odredio analitički izraz za računanje koji glasi:

$$K = 1 + [0.35 - 0.25 \exp(0.045 T_p)] u_{hp}^{1.2}. \quad (11)$$

Istraživanja Bogdanove dala su veliki doprinos proučavanju utjecaja vjetra na mjerenje krutih oborina, no zamjerka se mora uputiti načinu biranja parova stanica. Naime jasno je da je veoma teško naći stanice koje zadovoljavaju uvjete za oba kišomjera, tj. da se u neposrednoj blizini mogu postaviti kišomjeri i na zaštićenom, i na nezaštićenom mjestu. Zbog toga razloga bilo je parova stanica čija je međusobna udaljenost bila i do 30 kilometara.

Teškoće u pronalaženju parova stanica koje bi zadovoljavale sve uvjete, relativno mali broj stanica sa podacima vjetra, kao i teškoće u mjerenju brzine, naročito pri jako niskim temperaturama zraka (zamrzavanje instrumenata), ponukali su istraživače da potraže i druge mogućnosti za određivanje faktora korekcije. Struzer je (1969, 1978) predložio jednu veoma jednostavnu metodu koja to omogućava. Njegova metoda polazi od pretpostavke da omjer (K') količine oborine mjerene sa dva kišomjera različitih aerodinamičnih karakteristika na istom mjestu mora također biti funkcija vjetra i temperature zraka kao i faktor korekcije K. Kao kišomjere različitih aerodinamičnih karakteristika koristio je kišomjere tipa Tretjakov, i to jedan sa standardnom zaštitom i drugi bez te zaštite. Ako je poznata veza između K' i K, a za kišomjer tipa Tretjakov to jest slučaj, dovoljno je mjeriti krute oborine pomoću dva kišomjera, tj. sa zaštitnim obročom i bez njega, i zatim procijeniti K kao funkciju (K', T_p). Sličan pristup ovom primjenio je i Hamon (1972) u svojim istraživanjima u Americi.

Gorbunova je (1972b) eksperimentalnim mjerenjima procijenila faktor korekcije K za kišomjer tipa Hellmann i njegove modifikacije koje se koriste u Poljskoj, Mađarskoj i DDR-u. U istraživanju koristila se metodom koja se bazira na usporedbi mjerenja dva različita tipa kišomjera, ali za jedan tip mora biti poznat faktor korekcije K. Kišomjer za koji je poznat faktor korekcije K bio je kišomjer tipa Tretjakov koji je bio postavljen zajedno sa

kišomjerom tipa Hellmann na 4 stanice tokom četiri godine. Prikupljeni podaci o oborini grupirani su prema temperaturi zraka, i unutar tih intervala prema brzini vjetra, tj. na način kako je to predložila Bogdanova (1966), a vrijednosti faktora korekcije određene su grafičkim putem.

Isti postupak primijenjen je i za kišomjere koji se koriste u Poljskoj, Mađarskoj i DDR-u. Sva tri kišomjera modifikacije su kišomjera tipa Hellmann sa prijemnom površinom od 200 cm^2 , no raznih su boja i materijala, imaju različite dimenzije otvora iz lijevka u kanticu kišomjera i različiti nagib ruba mesinganog prstena koji okružuje otvor kišomjera. Gubici zbog utjecaja vjetra za kišomjer tipa Hellmann bez zaštite od vjetra, kao i njegove modifikacije, prilično su veliki. Za vrijednosti temperature zraka od 0 do -5°C i brzinu vjetra na visini ruba kišomjera od 4 do 6 ms^{-1} poljski tip kišomjera prikupi upola manje oborine od kišomjera tipa Tretjakov. Za područje Mađarske i DDR-a, gdje snijeg najčešće pada pri temperaturi zraka većoj od -5°C , a najčešća brzina vjetra kreće se od 2 do 3 ms^{-1} , prosječni gubici njihovih tipova kišomjera kretali su se od 50 pa do 100% od prikupljene količine oborine.

Sličan pristup koji je predložio Struzer (1969, 1978), primijenjen je i u istraživanjima provedenim u SAD-u (Hamon, 1972). Hamon je za američki standardni pluviograf tipa Belfort odredio analitički model za određivanje količine oborine, nezavisno o brzini vjetra i tipu oborine, iz podataka parova pluviografa gdje je jedan bio bez, a drugi sa zaštitom od vjetra (zaštitni obroč tipa Alter). Njegov analitički model glasi:

$$\ln(U/A) = B \ln(U/S), \quad (12)$$

gdje je A količina oborine koja se određuje, U je količina oborine mjerena nezaštićenim, a S zaštićenim pluviografom. B je kalibracioni koeficijent koji je određen eksperimentalnim putem i za ovaj tip instrumenta iznosi 1.7, što su potvrdila istraživanja i drugih autora (Hanson et al., 1979; Rawls et al., 1975; Goodison, 1978), i može ga se smatrati konstantom. Hamonov model moguće je primijeniti na bilo koji par kišomjera (jedan sa zaštitom od vjetra i drugi bez nje), ali se prije mora odrediti vrijednost kalibracionog koeficijenta B, i za bilo koju visinu otvora kišomjera iznad tla (važno je samo da kišomjeri budu na istoj visini).

U svojim istraživanjima Hamon je procijenio gubitak pluviografa prema količini oborine koju je dobio iz mjerenja sadržaja vode iz novog snijega, mjenog na snježnom jastuku (vrsta daske za snijeg kružnog oblika, promjera 3.66 m, presvučena specijalnom plastikom) smještenom na od vjetra zaštićenom mjestu. Pogreška nezaštićenog pluviografa pri brzini vjetra od oko 4.5 ms^{-1} je od 25 do 60%, a pri brzini od 8.9 ms^{-1} od 45 do 80% od prikupljene količine oborine. Za zaštićeni pluviograf navedeni iznosi smanjuju se za 35 do 50%.

U Kanadi je također provedeno ispitivanje točnosti mjerenja krutih oborina njihovim standardnim priborom

(Jackson, 1960; Sanderson, 1975; Goodison, 1978, 1981). U Kanadi postoji i jedna specifičnost, a to je da se količina oborine od snijega na svim stanicama ne određuje na isti način. Na većem broju stanica oborina od snijega prikuplja se njihovim standardnim kišomjerom za snijeg (Canadian Nipher Shielded Snow Gauge), i nakon otapanja snijega mjeri se oborina menzуром, kao i kod nas. Na manjem broju stanica oborina od snijega procjenjuje se iz sadržaja vode iz novog snijega koji se mjeri na dasci za snijeg. Prema rezultatima njihovih istraživanja, visini novog snijega od 10 inča, odgovara količina oborine od 1 inča. Ovaj način procjene oborine nije zadovoljavajući, zbog nekoliko razloga, na koje je još 1960. godine ukazao Jackson. Pitanje sadržaja vode u snijegu ostaje i dalje otvoreno jer su istraživanja pokazala da sadržaj vode u snijegu ovisi o temperaturi zraka za vrijeme padanja snijega, pa tako omjer koji se upotrebljava u Kanadi može dovesti do pogreške i veće od 20%. Pri ovom načinu procjene oborine dosta toga zavisi i o subjektivnoj procjeni motritelja, a i položaj (izloženost) daske na kojoj se mjeri snijeg može u znatnoj mjeri utjecati na točnost procjene.

Provedena su i paralelna mjerenja (Goodison, 1978) sa tri vrste instrumenata za mjerenje snijega koji se i inače koriste u Kanadi. Mjerenja su provedena na eksperimentalnoj stanici Cold Creek, tridesetak kilometara udaljenoj od Toronta. Testiran je njihov standardni kišomjer za snijeg, američki pluviograf tipa Belfort i također pluviograf tipa Fischer i Porter. Svi instrumenti bili su instalirani sa i bez zaštite od vjetra, u parovima. Kanadski instrumenti opskrbljeni su zaštitom tipa Nipher, a američki pluviograf ima Alterov tip obruča. Količina oborine procijenjena je iz sadržaja vode iz novog snijega, mjerenog na dasci za snijeg na zaštićenom mjestu od utjecaja vjetra, služila je kao "točna količina" oborine, prema kojoj je procijenjen faktor korekcije K zbog utjecaja od vjetra. I ova istraživanja potvrdila su da kišomjeri sa zaštitom, ili na mjestu zaštićenom od utjecaja vjetra, prikupe više oborine od nezaštićenih kišomjera, ili kišomjera koji su izloženi tom utjecaju. Isto tako ukazano je na to da se pažljivo moraju razmatrati i komparirati podaci dobiveni različitim tipovima instrumenata.

Nedugo nakon preporuke Komisije za klimatologiju SMO (Washington, 1953) o potrebi proučavanja djelovanja vjetra na različite vrste oborine započela su krajem 1955. godine i kod nas specijalna mjerenja oborine upotrebom kišomjera različitih konstrukcija (Kirigin, 1959, 1972(a), 1972(b)). Mjerenja su provedena na meteorološkim stanicama Zavižan (1594 m), Puntijarka (988 m) i Bačke Oštarije (924 m). Na posljednjim dvjema stanicama provedena su paralelna mjerenja sa dva tipa kišomjera bez zaštite od vjetra i to kišomjerom tipa Hellmann i brdskim kišomjerom. Na meteorološkoj stanici Zavižan provedena su opsežnija mjerenja i raspolagalo se, kako u kojem razdoblju, sa četiri do sedam različitih tipova instrumenata za mjerenje oborine. Šteta je što je kod ovog niza podataka došlo do prekida homogenosti zbog preuređenja meteorološkog kruga 1964. go-

dine. No ovaj nedostatak ipak je bio koristan jer je potvrdio da premještanje kišomjera za svega nekoliko metara mijenja i odnose u prkupljenoj količini oborine.

Analiza podataka prikupljenih na stanici Zavižan (Kirigin, 1972a) pokazala je da su najveće razlike u prikupljenoj količini oborine bile u hladnom dijelu godine, od studenog do travnja, između zaštićenog i nezaštićenog kišomjera. Deficit brdsog kišomjera bez zaštite od vjetra kretao se od 15.1 do 33.3%, a kišomjer tipa Hellmann od 10 do 29.3%, u odnosu na količinu oborine prikupljenu brskim kišomjerom sa zaštitnim obručem. Podaci mjerenja na stanicama Puntijarka i Baške Oštarije (Kirigin, 1972b) pokazali su da brdski kišomjer u prosjeku prikupi također više oborine nego li kišomjer tipa Hellmann. Rezultati ovih istraživanja naveli su autora na zaključak da se mjerenje oborine kišomjerom tipa Hellmann u planinskim predjelima iznad 900 metara nadmorske visine ne može prihvatiti kao zadovoljavajuće, već da bi u tim područjima oborinu trebalo mjeriti kišomjerom koji bi imao zaštitu od vjetra.

U dosadašnjim istraživanjima i analizi podataka kod nas nije bio razmatran stupanj zaštićenosti stanice, nije se raspolagalo podacima o brzini vjetra (na visini ruba kišomjera pogotovo), niti je u razmatranje uključena temperatura zraka. U budućim istraživanjima to bi svakako trebalo uključiti.

Istraživanja o utjecaju vjetra na mjerenje krutih oborina provedena su u okvirima pojedinih zemalja, gdje je svatko na svoj način i prema mogućnostima pokušao procijeniti taj utjecaj na svoj standardni pribor. Zbog različitih pristupa, tipova instrumenata, trajanja mjerenja i klimatskih uvjeta dobiveni rezultati teško su uporedivi. Upravo zbog toga u studenom mjesecu 1986. godine počeo će nova međunarodna usporedba kišomjernog pribora za mjerenje krutih oborina tokom koje će biti ispitano koje metode procjene faktora korekcije K daju najbolje rezultate i usporedit će se točnost mjerenja standardnog pribora pojedinih zemalja prema međunarodnom etalonu.

3.2. Gubitak zbog vlaženja

Gubitak na vlaženje standardnog kišomjera nastaje zbog vlaženja površine lijevka i unutrašnjih stijenki kanticice kišomjera kao i zbog toga jer dio vode ostaje na stijenkama kanticice nakon prelijevanja prikupljene oborine u menzuru.

Ova vrsta gubitka zavisi o boji, površini i materijalu lijevka i kanticice kišomjera, broju mjerenja oborine na dan, te količini, obliku i čestini padanja oborine (Lazareva, 1966; Melikišvili, 1966, Nečaeв, 1966, 1968; Gorbunova, 1972b; Sevruck, 1974a, 1981, 1982). Gubici se mogu određivati odvojeno za lijevak (P_1) i kanticu (P_2) kišomjera, no poslije se određuje jedinstvena korekcija za vlaženje ($P_1 + P_2$), odnosno određuje se prosječni iznos za pojedini tip kišomjera. Veličina ove korekcije obično se određuje laboratorijskim testovima vlaženja, primjenjujući metodu vlaženja i/ili metodu vaganja.

Ukupni mjesečni gubitak na vlaženje može se odrediti prema izrazu:

$$P_1 + P_2 = a_{1,2} M, \quad (13)$$

gdje je $a_{1,2}$ prosječni gubitak po danu za pojedini tip kišomjera, a M je broj dana sa oborinom u mjesecu.

Veoma opsežna istraživanja o gubicima na vlaženje kišomjernog pribora provedena su šezdesetih godina u SSSR-u (Struzer et al., 1965; Nečaev, 1968; Melikišvili, 1966b; Lazareva, 1966). Određen je prosječni iznos korekcije zbog gubitka na vlaženje, i za njihov kišomjer tipa Tretjakov on iznosi 0.2 mm po svakom mjerenju. Procijenjeni su i gubici za vlaženje lijevka i unutrašnjih stijenci pluviografa (Gorbunova et al., 1968). Prema tim istraživanjima taj gubitak iznosi 0.1 mm za svaku kišu. Utvrdili su da veličina gubitka na vlaženje ne zavisi o količini oborine, a gotovo konstantni iznos gubitka omogućava korigiranje podataka svakog mjerenja dodavanjem korekcije.

Procedura korekcije za vlaženje uključena je u SSSR-u odmah u mjerenje oborine, tako da su podaci publicirani u njihovim godišnjacima već korigirani zbog gubitaka na vlaženje. Korekciju dekadnih, mjesečnih i godišnjih količina oborine provode prema formuli:

$$P = 0.2 \text{ mm} \cdot M, \quad (14)$$

gdje je M broj slučajeva mjerenja oborine u toku promatranog perioda (uključujući i slučajeve sa količinom 0.0 mm). Za svaku pojedinu točku teritorija povećanje broja slučajeva sa oborinom u pravilu je povezano i sa povećanjem količine oborine, i zato je pri računanju korekcije za srednjak iz višegodišnjeg perioda (za dekadu, mjesec ili godinu) zgodno izraziti korekciju u postocima količine oborine, tj. relacijom (Struzer et al., 1965):

$$P = (0.2 \cdot M \cdot X^{-1}) 100\%; \quad (15)$$

a X je količina oborine za period za koji se određuje korekcija.

Srednje vrijednosti korekcija, određivanih za desetgodišnje ili dulje periode, pokazale su se skoro konstantnima za pojedine točke a njihovi iznosi zavisili su od klimatskih uvjeta. Godišnja veličina korekcije mijenja se u SSSR-u od 4% na jugu evropskog dijela do 20% u polarnim krajevima i u centralnom dijelu srednje Azije.

3.3. Gubitak zbog isparavanja

Na većini meteoroloških stanica količina oborine mjeri se jedan ili dva puta na dan. Između mjerenja oborina ostaje u kantici kišomjera i jedan dio oborine ispari. Gubici zbog isparavanja zavise od tipa kišomjera i oborine, deficita vlage u zraku, brzine vjetera na visini ruba kišomjera intervala između prestanka oborine i nezina mjerenja.

Jedan način određivanja gubitka zbog isparavanja je eksperimentalnim putem. Obično se radi tako da se obo-

rina mjeri dva puta na dan standardnim kišomjerom i ti se podaci onda uspoređuju sa podacima specijalnog kišomjera u kojem se isparavanje sprječava na razne načine (upotrebom hermetički zatvorenih posuda za čuvanje oborine ili zaštitom površine oborine specijalnim uljem, ili se oborina mjeri odmah nakon prestanka padanja). U danima bez oborine određuje se isparavanje vode koja se prethodno ulije u kišomjer a pri tom se bilježe podaci temperature i vlage zraka, brzine vjetera pa čak i temperature nalivene vode u kišomjer.

Drugi način je posrednim putem, tj. veličina gubitka zbog isparavanja određuje se računskim putem prema izrazu:

$$P_3 = i_e \tau_e, \quad (16)$$

gdje je i_e intenzitet isparavanja (mm h^{-1}), a τ_e je trajanje isparavanja (u satima), tj. vrijeme koje protekne od prestanka oborine do trenutka mjerenja oborine. Trajanje isparavanja određuje se iz zapisa pluviografa.

Jednu jednostavnu metodu koja daje dobre rezultate o trajanju oborine i isparavanja tokom mjeseca. Prema Sevruku (1984) korekcija gubitaka zbog isparavanja je:

$$P_3 = 0.578 \tau_e \cdot \tau_p^{-1} - 0.205; \quad (17)$$

τ_e je mjesečno trajanje isparavanja iz kanticice kišomjera u satima, a τ_p je mjesečno trajanje oborine također u satima. Prema podacima 12 švicarskih stanica za petogodišnje razdoblje (1965–1970), travanj – rujanj) i za kišomjer tipa Hellmann gore spomenuti autor dobio je da je prosječni gubitak 1% mjesečne količine oborine. Rezultati dobiveni ovom relativno jednostavnom metodom, dobro se slažu s rezultatima dobivenim znatno kompliciranijim metodama, baziranim na dnevnim vrijednostima deficita vlaga u zraku.

Općenito se pokazalo da tipovi kišomjera sa zaštićenim kanticama (Snowdon, Hellmann) pokazuju male ili neznatne gubitke (prosječni dnevni gubici su 0.09 mm) zbog isparavanja (Sevruc, 1974b, 1984), za razliku od kišomjera tipa Tretjakov. U ljetnim mjesecima i u umjerenim širinama isparavanja iz posude kišomjera toga tipa su u prosjeku od 0.040 mm h^{-1} , što može dovesti do gubitka od 0.25 do 0.5 mm u danu s oborinom (Struzer et al., 1965). Prema istom autoru, u južnim dijelovima SSSR-a taj gubitak raste do 0.8 mm u jednom danu, a u pojedinim danima može biti još i veći.

Kod pluviografa, zbog toga jer se oborina čim padne zabilježi na pluviografskoj traci, ovih gubitaka nema.

4. PLANOV I SMJERNICE DALJNJIH ISTRAŽIVANJA

Zadovoljavajuće teorijsko-fizikalno objašnjenje procesa koji uzrokuje da kišomjer prikupi manje oborine zbog utjecaja vjetera još uvijek ne postoji. Zato, ako se želi postupke i metode korigiranja standardizirati i uvesti u redovitu primjenu, najveći prioritet u daljnjim istraživanjima trebat će usmjeriti u tom pravcu. Jedan od po-

kušaja u tom smjeru proveden je u Engleskoj. Folland (1985a) iznosi najnovije rezultate ispitivanja utjecaja i deformacija polja vjetra iznad otvora kišomjera u tunelu. Dobiveni rezultati u skladu su sa turbulentnom teorijom strujanja. Simulirajući srednje stanje, za kapi raznih dimenzija, promatrano je gibanje kroz iskrivljeno polje vjetra. Oslanjajući se na turbulentnu teoriju strujanja izveden je pojednostavljeni model za dvije ulazne varijable (brzinu vjetra i intenzitet kiše) za engleski kišomjer promjera 5 inch-a. Usprkos različitim tipovima kišomjera i stanovitosti nesigurnosti numeričkog modela, njegovo slaganje sa već ispitanim postojećim statističko-empiričkim modelima prilično je zadovoljavajuće. Isti autor (Folland, 1985b) predlaže također da se u praksi upotrebljava novi, bolji oblik kolektora kišomjera, koji ima manje gubitke zbog utjecaja vjetra nego postojeći kišomjeri. Takav kolektor, čunjastog oblika poput ravne šampanjske čaše, ispitan je i kompariran sa postojećim tipovima kišomjera u Wallingfordu, i pokazao se točnijim nego kišomjeri cilindričnog oblika.

Još jedan pristup problemu korigiranja oborinskih podataka daje sve bolje rezultate, a to je izrada modela za pojedine tipove kišomjera. Postoje već razrađeni i testirani modeli za provođenje korekcija oborinskih podataka za različite periode (poludnevni, dnevni, mjesečni itd.), sa različitim ulaznim podacima. Neki modeli su sasvim jednostavni i imaju samo dvije ulazne varijable, a ima i veoma kompleksnih modela koji uvažavaju gotovo sve relevantne meteorološke elemente. Ovo je očevidno jedan od mogućih načina rješavanja ovog problema.

Kao što je već spomenuto, u studenom 1986. na sjevernoj i 1987. godine na južnoj hemisferi počinje internacionalna usporedba mjernog pribora za krute oborine, a organizator je i ovaj puta Svjetska meteorološka organizacija. Podaci prikupljeni u ovoj akciji dat će neophodne nizove podataka potrebne za testiranje različitih postupaka korigiranja za različite klimatske uvjete.

Redovita paralelna mjerenja između nacionalnih kišomjera, ukopanog kišomjera i drugih tipova kišomjera zaštićenih od utjecaja vjetra trebalo bi provesti u svim zemljama. Bez podataka nije moguće na zadovoljavajući način odgovoriti na pitanja koja se postavljaju u vezi s mjerenjem oborine. Do sada je svaka zemlja manje ili više razvijala svoje vlastite metode i postupke korekcija, iako bi trebao postojati isti tip korekcija za isti tip kišomjera.

Paralelna mjerenja oborinskih podataka trebala bi biti kompletirana laboratorijskim testovima kojima bi se ispitale osobine pojedinih tipova kišomjera u tunelu i utjecaj vjetra na njih. Rezultati ovakvih testova trebali bi dati matematičke modele za izvođenje puno točnijih postupaka korigiranja oborinskih podataka. Ako se sve ovo ostvari, bit će to bitan doprinos rješavanju ovog problema.

5. ZAKLJUČAK

Nema sumnje može se zaključiti da je pribor kojim sada mjerimo i bilježimo oborinu zbog načina rada, konstrukcije i postavljanja podložan utjecaju sistematske pogreške. Veličina pogreške zavisi od tipa kišomjera, njegove visine iznad površine zemlje, oblika oborine i klimatskim uvjetima mjesta gdje se oborina mjeri. Postojanje sistematske pogreške zahtijeva uvođenje korekcija, a to je moguće provesti.

Pitanje koje se nameće je: kakva je korist od ovakvog pristupa problematici mjerenja oborine? Cilj mjerenja u meteorologiji je, kao uostalom i drugdje, dobivanje što točnijih podataka, koji kasnije osiguravaju dobru polaznu osnovu za sva daljnja proučavanja i analize. Istraživanja su pokazala da podaci i točnost mjerenja oborine na dosadašnji način ne zadovoljavaju. Uvođenje prikladnijeg pribora za mjerenje u mrežu meteoroloških stanica poboljšalo bi točnost dobivenih podataka, ali bi to iziskivalo i znatna materijalna ulaganja i dodatne probleme a došlo bi i do narušavanja homogenosti postojećih nizova podataka, što se nikako ne može zanemariti. Zbog toga je rješenje tog problema da se na temelju raspoloživih podataka i znanja procijene komponente sistematske pogreške, da se uvažava iznosi ako su značajni, i na taj način poboljša kvaliteta oborinskih podataka.

LITERATURA

- Allerup, P., 1985: Statistical Models and Leading Factors for Correction of Aerodynamic Errors in Precipitation Measurements, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften, No. 23, 205–210.
- Bogdanova, E.G., 1966: Issledovanie vetrovoj pogrešnosti izmerenija osadkov, Trudy GGO 195, 40 – 62.
- Bogdanova, E. G., 1968a: Učet vetrovoj pogrešnosti izmerenija osadkov pri vyčislenii ih srednih mnogoletnih značenij (norm), Trudy GGO 215, 45 – 56.
- Bogdanova, E.G., 1968b: Ocenka nađežnosti harakteristik vetrovoga nedoučeta tverdyh osadkov, Trudy GGO 215, 114 – 124.
- Bogdanova, E. G., 1969: Sposob rasčeta srednih značenija skorsti vetra vo vremja vypadenija osadkov, Trudy GGO 224, 48 – 55.
- Bogdanova, E. G., 1971a: O vozmožnosti učeta vetrovoj pogrešnosti v tekuščih nabljudenijah nad židkimi osadkami, Trudy GGO 260, 3 – 23.
- Bogdanova, E. G., 1971b: Analiz točnosti opredelenija vetrovoj popravki k rezul'tatam izmerenija tverdyh osadkov, Trudy GGO 260, 24 – 34.
- Bogdanova, E. G., 1975: O svjazi intensivnosti židkih osadkov s temperaturoj i vlažnost'ju vozduha, Trudy GGO 341, 73 – 78.
- Bogdanova, E. G., J. G. Gorbunova i J. V. Markov, 1978: Pogrešnosti opredelenija intensivnosti doždej s pomošč'ju standartnogo pljuviografa, Trudy GGO 416, 20 – 35.
- Braslavskij, A. P., L. R. Struzer i K. B. Šegina, 1975: Metodika opredelenija ispravlenyh veličin atmosferyh osadkov pri sročnyh nabljudenijah, Trudy GGO 341, 32 – 50.
- Brown, M. J. i E. L. Peck, 1962: Reliability of Precipitation Measurements as Related to Exposure, J. Appl. Meteor. Vol. 1, 203 – 207.
- Buchtle, J., 1985: Approach to the Precipitation Correction in the Czech Hydrometeorological Institute, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 117 – 124.
- Clarkson, L. S., 1971: On the Performance of Various Types of Rain-Gauge in the Field, Met. Mag. 100, 241 – 255.
- Crawford, S. G., 1972: A Recording Gravimetric Rain-Gauge – Towards an Absolute Reference Instrument, Met. Mag. 101, 368–374.

- Dahlstrom, B., 1985: The Improvement of Point Precipitation Data on an Operational Basis, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 125 – 130.
- De Bruin, H. A. R., 1985: Results of the International Comparison of National Rain Gauge with a Reference Pit Gauge Part A: Basic Stations, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 97 – 100.
- Fedorova, E. A., 1966: Učest stepeni zaščiščennosti stancij pri vučislenii skorosti vetra na urovne ustanovki osadkometra, Trudy GGO 195, 63 – 69.
- Folland, Ch., 1985a: A Simple Numerical Model of the Loss of Rainfall Catch From a Standard 5" Gauge Due to Wind, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 221 – 222.
- Folland, Ch., 1985b: A Simple Numerical Model of the Loss of Rainfall Due to Wind From a Conically-Shaped Collector and a Suggested New Collector Shape, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 223 – 238.
- Goodison, B. E., 1978: Accuracy of Canadian Snow Gauge Measurement, J. Appl. Meteor. Vol 17, 1542 – 1548.
- Goodison, B. E., 1981: Compatibility of Canadian Snowfall and Snow Cover Data, Water Resour. Res. Vol 17, No. 4, 893 – 900.
- Goodison, B. E. i P.Y.T. Louie, 1985: Canadian Methods for Precipitation Measurements and Correction, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 141 – 146.
- Gorbunova, J. G., 1972a: Vozmožnost primenenija doždomera 0–1M b kačestve etalonnogo (nazemnogo) i setovogo pribora, Trudy GGO 280, 64 – 67.
- Gorbunova, J. G., 1972b: O pogrešnostjah izmerenija osadkov osadkometrami Gel'man, Trudy GGO 280, 102 – 127.
- Gorbunova, J. G., V. G. Boženko i N. P. Pavlova, 1968: O sistematičeskijh pogrešnostjah standartnogo pljuviografa, Trudy GGO 215, 125 – 134.
- Gorbunova, J. G. i T. P. Stepanjuk, 1969: Sravnenije pokazanij nazemnyh doždmerov različnyh konstrukcij, Trudy GGO 224, 56 – 59.
- Green, M. J. i P. R. Helliiwell, 1972: The Effect of Wind on the Rainfall Catch, Distribution of Precipitation in Mountainous Areas, Geilo Symposium Norway, WMO No. 326, Vol. 2, 27 – 46.
- Gunter, Th. i D. Richter, 1985: Some Resultes of Investigations on the Correction of Precipitation Measurements in the German Democratic Republic, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 147 – 154.
- Hamon, W. R., 1972: Computing Actual Precipitation, Distribution of Precipitation in Mountainous Areas, Geilo Symposium Norway, WMO No. 326, Vol. 1, 159 – 175.
- Hanson, C. L., Coon, 1979: A Note on the Dual-Gage and Wyoming Shield Precipitation Measurement Systems, Water Resour. Res. Vol. 15, No. 4, 956 – 960.
- Jackson, C. I., 1960: Snowfall measurements in northern Canada, Quart. J. Roy. Meteor. Soc. Vol. 86, 273 – 275.
- Kirigin, B., 1959: Doprinos problemu mjerjenja oborine u planinskim predjelima, Rasprave i prikazi Hidrometeorološkog zavoda NR Hrvatske, br. 4, 41 – 52.
- Kirigin, B., 1972a: A Contribution to the Problem of Precipitation Measurements in Mountainous Areas, Distribution of Precipitation in Mountainous Areas, Geilo Symposium Norway, WMO No. 326, Vol. 2, 1 – 12.
- Kirigin, B., 1972b: O mjerjenju oborine u planinskim predjelima SR Hrvatske, VII savjetovanje klimatologa Jugoslavije – Budva 1969, SHMZ Beograd, 329 – 354.
- Kuznecova, L. P., 1966: Sravnenie skorosti vetra i temperatury vozduha vo vremja vypadenija osadkov s ih srednimi mesjačnymi značenijami, Trudy GGO 195, 70 – 80.
- Lazareva, M. D., 1966: Korrektirovka godvnyh norm osadkov v Uzbekistane popravkami na smačivanie sosudov, Trudy GGO 195, 143 – 148.
- Lenart, W., 1985: Polish Experience for Correction of the Precipitation Values, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 155 – 162.
- Melikišvili, O. E., 1966a: Nekotorye rezul'taty issledovanij pogrešnostej izmerenija osadkov na eksperimental'noj baze v Poti, Trudy GGO 195, 171–182.
- Melikišvili, O. E., 1966b: Rajonirovanije territorii Gruzii dlja korrektirovki mesjačnyh summ i norm popravkami na smačivanie osadkomernykh sosudov, Trudy GGO 195, 138–142.
- Merve, G. E., N. D. Strommen i E. H. Kidder, 1976: Rainfall Variations as Influenced by Wind and Topography, J. Appl. Meteor. 15, 728–732.
- Nečaev, I. N., 1966: Korrektirovka mesjačnyh i godovyh osadkov popravkami na smačivanie osadkomernykh sosudov, Trudy GGO 195, 5–40.
- Peneva, R., 1985: Correction of Monthly and Annual Precipitation Amounts, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 175–178.
- Petrov, V. E., 1958: Privedenie skorostej vetra k dva metra, Meteorologija i Hidrologija No. 11, 28–30.
- Rawls, W. J., D. C. Robertson, J. F. Zuzel i W. R. Hamon, 1975: Precipitation Gage Catches With a Modified Alter and a Rigid Alter Type Windshield, Water Resour. Res. Vol. 11, No. 3, 415–417.
- Reynolds, E. R., 1964: The Accuracy of Rain-Gauges, Met. Mag. 93(1100), 65–70.
- Robinson, A. C. i J. C. Rodda, 1969: Rain, Wind and the Aerodynamic Characteristics of Rain-Gage, Met. Mag. 98(1161), 113–120.
- Sanderson, M., 1975: A Comparison of Canadian and United States Standard Methods of Measuring Precipitation, J. Appl. Meteor. Vol. 14, 1197–1199.
- Sevruck, B., 1974a: Correction for the Wetting Loss of a Hellmann Precipitation Gauge, Hydrol. Sci. Bull. 19(4), 549–559.
- Sevruck, B., 1974b: Evaporation losses from containers of Hellmann precipitation gauges, Hydrol. Sci. Bull. 19(2), 231–236.
- Sevruck, B., 1979: Correction of point precipitation measurement, Trans. Versuchsanstalt fur Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Swiss Fed. Inst. of Technology, ETH Zentrum Zurich, No. 41, 267–279.
- Sevruck, B., 1981: Methodical investigation of systematic error of Hellmann rain gauges in the summer season in Switzerland, Versuchsanstalt fur Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, No. 52, 296 pp.
- Sevruck, B., 1982: Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use, WMO Operational Hydrol. Rep. 21, No. 589, 91 pp.
- Sevruck, B., 1984: Comparison of evaporation losses from standard precipitation gauges, In. Proc. Tecmo/WMO, Sept. 24–28 1984 Noordwijkenhout, The Netherlands, WMO Instruments and Observing Methods Rep. No. 15, 57–61.
- Sevruck, B. i W. R. Hamon, 1984: International Comparison of National Precipitation Gauges with a Reference Pit Gauge, WMO Instruments and Observing Methods Rep. No. 17, 140 pp.
- Solantie, R., 1985: History of Precipitation Corrections in Finland, Internationa Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 197–202.
- Stanhill, G., 1959: Rainfall Measurements at Ground Level, Weather Vol. 13, No. 1, 33–34.
- Struzer, L. R., 1969: Metod izmerenija pravil'nyh veličin tverdyh atmosferynyh osadkov, Trudy GGO 244, 41–47.
- Struzer, L. R. 1971: Analiz vozmožnosti ispo'zovanija rezul'tatov meždunarodnyh sravnenij osadkometrov, Trudy GGO 260, 77–94.
- Struzer, L. R., 1972: O primenenii nazemnyh doždmerov dlja izmerenija količestva židkijh osadkov, Trudy GGO 280, 115–127.
- Struzer, L. R., 1978a: Ustanovka nazemnyh doždmerov na sklone, Trudy GGO 416, 36–42.
- Struzer, L. R., 1978b: Metod izmerenija količestva tverdyh atmosferynyh osadkov dvumaja osadkometrami, Trudy GGO 416, 43–55.
- Struzer, L. R., I. N. Nečaev i J. G. Gorbunova, 1965: Sistematičeskie pogrešnosti izmerenija atmosferynyh osadkov, Meteorologija i Hidrologija No. 10, 50–54.
- Struzer, L. R., V. S. Golubev i J. G. Gorbunova, 1966: Predvaritelnye rezul'taty sravnenija osadkometrov, Meteorologija i Hidrologija No. 11, 53–57.
- Struzer, L. R. i I. N. Nečaev, 1968: O vvedenii popravk na smačivanie stenk vodosbrnog sosuda v izmerenie značenija osadkov, Trudy GGO 215, 57–72.
- Subeva, M. i R. Peneva, 1980: On the error of rainfall measurement by the use the "Wild" rain gauge, Hydrol. Meteorol. Sofia, 29(5), 3–10.
- Šamaj, R. i M. Lapin, 1985: Results from the Study of Methodics for Measuring Precipitation and Systematic Errors of Raingauge in Czechoslovakia, International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurcher Geographische Schriften No. 23, 179–196.
- Šuvahin, E. A., 1966: Ob ošibkah izmerenija židkijh osadkov v uslovijah Kazahstana, Trudy GGO 195, 183–189.

Wilson, W. T., 1954: Analysis of Winter Precipitation Observations in the Cooperative Snow Investigations, *Mon. Wea. Rev.* 82, 183--195.

SUMMARY

It is well known that there is a systematic error in point precipitation measurements. This fact has been known for more than 200 years, at least since Heberden published his famous paper in 1766 in England. Since then, a myriad of papers has been published on this problem (for historical references see Sevruck, 1982).

The first international comparison of precipitation gauges were initiated in 1955 and organized by the WMO. Its objective was to obtain reduction coefficients between various national standard gauges by means of an elevated gauge as a reference (see Fig. 1). Because the systematic error was not fully taken into account, this first international comparison was not successful. Later on, similar comparison took place in some countries at the national level. The main result of these investigation was that it would be necessary to investigate the problem of liquid and solid precipitation separately. This commenced with the second international comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge. Its object was to evaluate wind correction factors, such as k , for rainfall and to correct systematic errors in different parts of the world using the pit gauge (Fig. 1). The comparison confirmed the existence of systematic error in point measurements of liquid precipitation and that it can be statistically analysed and estimated (eq. 1). It was also

confirmed that pit gauges are satisfactorily affected by wind, and if corrected for wetting and evaporation losses they give reliable results. There are practical guides on the method of correcting the systematic error in precipitation measurement, through use of diagrams, formulae and examples from countries where these corrections are used (Sevruck, 1982; Sevruck and Hamon, 1984).

Up to now there has not been a standard reference for solid precipitation but there are some ways for more accurate measurement of snowfall. The major complication involved in the estimation of K for solid and mixed precipitation arises from the fact that the precise measurements of snow upon which the accuracy of K depends, is more difficult than for liquid precipitation.

In general, the wind effect is more obvious on solid precipitation measurements than for liquid, and at the same time there are many problems in its measurement during the snowfall. Therefore some authors (Struzer, 1969, 1978; Hamon, 1972) tried to determine correction factor K independent of wind speed. They formulated a hypothesis that since the wind effect is reduced by the use of a shield, the catches by a shielded and an unshielded gauge could be used to compute actual precipitation if suitable analytical expression could be found for the influence of wind and fall velocity of precipitation on the gauge performance (eq. 12).

The problem of accurate measurement of solid precipitation has not been solved as yet, and therefore the new WMO solid precipitation measurement intercomparison will begin in November, 1986.