

**METODE****POGREŠKI PRI MERITVAH PADAVIN IN METODE  
POPRAVLJANJA MERJENIH PADAVIN**

AVTORICI

**Urška Bajc, dr. Mojca Šraj**

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Jamova 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija  
urska.bajc@gmail.com, mojca.sraj@fgg.uni-lj.si

UDK: 556.12:005.22

COBISS: 1.01

## IZVLEČEK

**Pogreški pri meritvah padavin in metode popravljanja merjenih padavin**

Izmerjene padavine so eden od najpomembnejših podatkov v hidroloških, klimatoloških in geografskih modelih. Pri standardni metodi merjenja z dežemerom, postavljenim nad raven terena, prihaja do sistematičnih napak oziroma tako imenovanih pogreškov, ki so odvisni od meteoroloških in instrumentacijskih dejavnikov. Glavni pogrešek nastane zaradi vetra, ki povzroča turbulentno polje nad odprtino dežemera, sledijo pa pogreški zaradi vlaženja, evaporacije, škropljenja kapljic v dežemer in iz njega ter izpihovanja in zametov snega. Pogrešek zaradi vetra je odvisen od hitrosti vetra in strukture padavin, ki so povezane z intenziteto padavin, temperaturo zraka, relativno vlažnostjo ali obliko padavin. Pogrešek zaradi vlaženja od števila padavinskih dni, pogrešek zaradi evaporacije od saturacijskega deficita in hitrosti vetra, pogrešek zaradi izpihovanja in zametov snega pa so odvisni od hitrosti vetra. Padavine, ki jih izmerimo, so za 10 do 30 % manjše od dejanskih, zato moramo meritve z različnimi metodami ustrezno popraviti. V tem članku so metode podrobno opisane.

## KLJUČNE BESEDE

geografija, padavine, popravki padavin, pogreški meritev, metode popravljanja padavin

## ABSTRACT

**Errors in precipitation measurements and methods of precipitation correction**

Precipitation data are of primary importance for hydrological, climatological and geographical calculations. The standard method of precipitation measurements using rain gauges exposed about ground-level is subject to systematic error. The components of the systematic error are related to the meteorological and instrumental factor. This error is due to wind-field deformation above the gauge rim, to wetting, evaporation, splashing in and out of raindrops and also blowing and drifting of snow. The loss from wind-field deformation above the gauge is related to wind speed and precipitation structure. It can be presented by rainfall intensity, by air temperature or by humidity and the type of precipitation. Loss from wetting is related to the number of precipitation events or precipitation days, while loss from evaporation is a function of the saturation deficit and wind speed. Loss from blowing and drifting snow is related to wind speed. The accuracy of precipitation measurements is about 10–30 % less than real. Precipitation measured by rain gauges should be corrected by using different correction methods which are covered in this article.

## KEY WORDS

geography, precipitation, precipitation correction, measuring errors, methods of precipitation correction

Uredništvo je prispevek prejelo 9. avgusta 2010.

## 1 Uvod

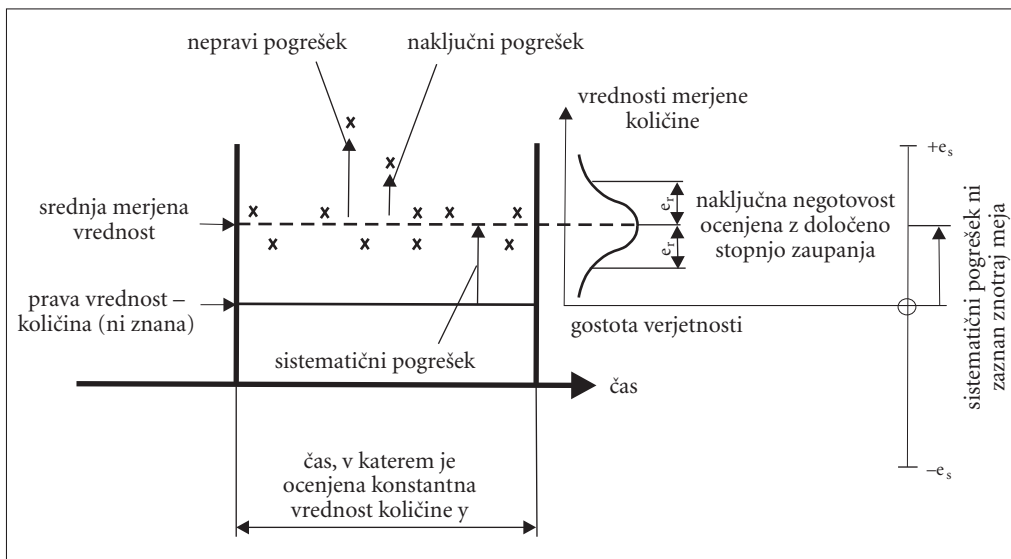
Pri določanju količin vode in pretoka vode v posameznih delih hidrološkega kroga lahko zaradi pomanjkljive merilne tehnike naletimo na mnogo neznank (Brilly in Šraj 2005). V praksi se najpogosteje uporablja podatek o točkovno izmerjeni količini padavin (Frantar 2007). Količina padavin, ki jo izmerimo na merilnem mestu z dežemeri, naj bi bila takšna, kakršno prejmejo naravna tla v okolici. To zahtevo je pogosto težko uresničiti, saj meritve v največji meri moti gibanje zraka v bližnji okolici, zato so ob močnem vetru so odstopanja pri merjenju padavin zelo velika (Sevruc 1987).

Poglavitni vzrok za odstopanja pri meritvah padavin pa ni samo veter, ampak tudi ostali sistematični pogreški. K temu sodita v prvi vrsti vlaženje lijaka in notranjih sten dežemera ter izhlapevanje že zajetih padavin. Sledi pogrešek, ki nastane zaradi škropljenja kapljic v dežemer in iz njega ter, v primeru snežnih padavin, pogreški zaradi izpihovanja in zametov snega nad dežemerom. V ta namen so bile razvite številne metode za korekcijo izmerjenih padavin v posameznih državah. Namen članka je seznanitev z vzroki in velikostjo pogreškov padavin ter pregled različnih metod popravkov merjenih padavin.

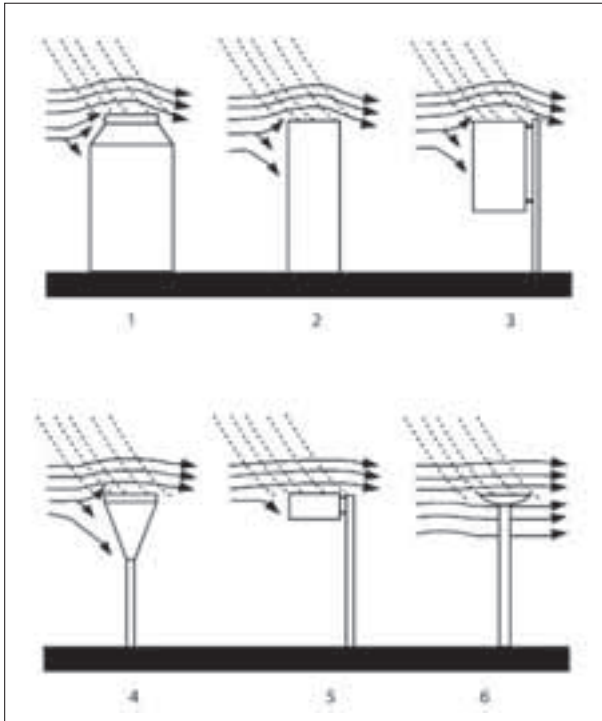
## 2 Vrste in velikost pogreškov

Vsako merjenje, še posebno tisto, ki se izvaja v naravi, je obremenjeno s sistematičnimi in slučajnimi pogreški (slika 1). Medtem ko je sistematične pogreške mogoče definirati, locirati in jih vsaj deloma zmanjšati, pa slučajnih ne moremo oziroma se jim pri meritvah težje izognemo (Allerup in Madsen 1980; Bonacci 1990; Bonacci 1994).

**Slučajni pogrešek** je splošni izraz, ki se uporablja pri vseh vrstah merjenja. Številni pogreški te vrste nastanejo zaradi kombiniranih vplivov merilnega instrumenta, metode merjenja in opazovalca, ki izvaja meritve. Nastanejo lahko na primer zaradi poškodb notranjih sten in zgornjega roba dežemera, izlivanja vode iz dežemera v merilno posodo. Tem pogreškom se lahko vsaj deloma izognemo s pravilno postavitvijo instrumenta, njegovim vzdrževanjem in pravilnim rokoivanjem (Bonacci 1994).



Slika 1: Pogreški meritev (Brilly in Šraj 2005).



Slika 2: Različne oblike standardnih dežemerov (WMO 2008).

Golubev (1986) je pri oceni slučajnih pogreškov razpolagal z večjim številom neodvisnih meritev količine padavin, ki so bile izvedene s podobnimi instrumenti na manjši in enolični podlagi. Poleg tega je meritve opravil v daljšem časovnem obdobju in s tem zagotovil varnost pri oceni pogreškov padavin. Na osnovi številnih meritev je skozi leta ugotovil, da je vrednost slučajnih pogreškov za tekoče in mešane padavine približno 10 % vseh padlih padavin. Navedena vrednost predstavlja red velikosti realnega pogreška.

Za razliko od slučajnih pogreškov pri meritvah padavin imajo **sistematični pogreški** vedno isti predznak. To pomeni, da so padavine, izmerjene v točki, vedno manjše od tistih, ki so realno padle na površino tal (Bonacci 1994). Sistematični pogrešek pri merjenju padavin v točki lahko nastane zaradi (Bonacci 1994; Brilly in Šraj 2005):

- aerodinamičnega efekta (vetra),
- vlaženja notranjih sten posode za zbiranje padavin,
- izhlapevanja akumulirane vode,
- nepopolnega izpraznjenja posode pri odčitavanju,
- škropljenja kapljic v posodo in iz nje,
- izpihavanja in zametov snega,
- uporabe različnih priprav za merjenje (analiza starih podatkov),
- zaščite dežemerov pred delovanjem turbulence,
- nizkega položaja in izpostavljenosti dežemera,
- kota nagiba dežemera glede na podlago.

Za hidrološke izračune so pomembni natančni padavinski podatki. Večina meritev se izvaja s standardnimi dežemeri (slika 2), postavljenimi na predpisano raven, kar je podvrženo precejšnjim sistematičnim pogreškom. Le-ti se gibljejo med 3 in 30 % ali celo več. Ti pogreški v največji meri nasta-

nejo zaradi turbulence vetrnega polja nad odprtino dežemera, vlaženja, izhlapevanja, škropljenja kapljic in izpihavanja snega iz dežemera (Sevruk 1982). Na sliki 2 so predstavljeni različni tipi standardnih dežemerov, kjer prvi dežemer povzroča največjo turbulenco vetrnega polja nad dežemerom in šesti najmanjšo. Temu primerno prvi dežemer izkazuje največji pogrešek izmerjenih padavin in šesti najmanjši.

### 3 Metode popravljanja merjenih padavin

Z namenom, da bi sistematične pogreške zmanjšali, so razvili različne metode za popravljanje izmerjenih padavin. **Splošna enačba** za določanje popravljenih padavin ima naslednjo obliko (Sevruk 1982):

$$P_p = k_v P_Z = k_v (P_M + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \pm \Delta P_4 \pm \Delta P_5) \pm \Delta P_6, \quad (1)$$

kjer je:

- $P_p$  popravljen (korigirana) količina padavin (mm),  
 $k_v$  brezdimenzijski korekcijski koeficient, odvisen od vetrovnega polja nad odprtino dežemera  
 $P_M$  izmerjena količina padavin (mm),  
 $\Delta P_1 - \Delta P_5$  popravki za različne komponente sistematičnih pogreškov (preglednica 1),  
 $\Delta P_6$  slučajni pogreški.

Brezdimenzijski korekcijski koeficient  $k_v$ , kot tudi popravki  $\Delta P_1 - \Delta P_5$ , so določeni eksperimentalno s pomočjo primerjav v naravi ali z laboratorijskimi testi. Potrebni meteorološki dejavniki (preglednica 1) so ocenjeni z uporabo standardnih meteoroloških opazovanj na lokaciji dežemera ali v njegovi bližini (Sevruk 1982).

*Preglednica 1: Komponente sistematičnih pogreškov, njihova velikost in njihovi meteorološki in instrumentacijski dejavniki (Sevruk 1982).*

simbol	vrsta pogreška	velikost pogreška	meteorološki dejavniki	instrumentacijski dejavniki
$k_v$	izgube zaradi turbulence nad odprtino dežemera	2–10 % * 10–50 %	hitrost vetra nad odprtino dežemera in oblika, vrsta padavin	oblika odprtine dežemera, višina roba in zbiralne posode
$\Delta P_1 + \Delta P_2$	izgube zaradi vlaženja notranjih sten dežemera in zbiralne posode med praznjenjem	2–10 % * 15–20 %	pogostost, tip in količina padavin, dolžina časa brez padavin, frekvenca praznjenja posode	enaki kot pri ostalih členih, material, barva in starost naprave
$\Delta P_3$	izgube zaradi izhlapevanja iz dežemera	0–4 %	tip padavin, deficit saturacije zraka, hitrost vetra, položaj dežemera, čas med koncem padavin in meritvijo	površina odprtine, izolacija, barva in starost zbiralne posode, tip lijaka
$\Delta P_4$	škropljenje v in iz posode	1–2 %	intenziteta padavin, hitrost vetra	oblika in globina zbiralne posode, tip dežemera
$\Delta P_5$	izpihavanje in zameti snega	0–1 %	intenziteta in trajanje sneženja, hitrost vetra in stanje snežne odeje	oblika odprtine dežemera, višina roba in zbiralne posode

Ob predpostavki, da v izračunih upoštevamo le sistematične pogreške, komponenta  $\Delta P_6$  odpade. Ravno tako odpadeta komponenti  $\Delta P_4$  in  $\Delta P_5$ . Pogrešek  $\Delta P_4$ , ki nastane zaradi škropljenja kapljic v in iz posode dežemera, je zmanjšan na minimum in se ga upošteva le ob padavinah z višjo intenziteto. Izpihavanje snega, kar označimo z  $\Delta P_3$ , ravno tako odpade. Njegov vpliv se zajame skupaj z aerodinamičnim efektom, torej z brezdimenzijskim koeficientom  $k_v$ . Nadalje  $\Delta P_1 + \Delta P_2$  zapišemo z  $\Delta P_1$ , izhlapevanje  $\Delta P_3$  pa označimo z  $\Delta P_2$  (Bonacci 1994). Ob upoštevanju predhodnih poenostavitev, lahko splošno enačbo zapišemo na naslednji način (Bonacci 1994):

$$P_p = k_v P_Z = k_v (P_M + \Delta P_1 + \Delta P_2), \quad (2)$$

pri tem je:

- $P_p$  popravljena (korigirana) količina padavin (mm),
- $k_v$  brezdimenzijski korekcijski koeficient odvisen od vetrnega polja nad odprtino dežemera,
- $\Delta P_1$  popravek zaradi vlaženja,
- $\Delta P_2$  popravek zaradi evaporacije (izhlapevanja).

Kot smo omenili, so v posameznih državah razvili različne metode za korekcijo padavin. Razlike so posledica topografije, podnebja, specifične teže, merilne tehnike, postopka opazovanja ter namena popravljanja meritev. Slednji se nanaša predvsem na časovno obdobje merjenja padavin, na padavinske modele odtokov ter napovedi vodostaja rek in potokov. Nekatere metode so bile razvite celo za večletna časovna obdobja za celotno celino (Sevruk 1982).

Posamezne komponente sistematičnih pogreškov nihajo zaradi meteoroloških in instrumentacijskih dejavnikov (preglednica 1). Nekatere izmed njih imajo manjši ali večji vpliv, zato tudi ne obravnavamo vseh, saj se razlikujejo glede na vrsto dežemera, letni čas in območje, kjer so bile izvedene meritve. Veter ima daleč največji vpliv na velikost pogreška pri meritvah padavin (Sevruk 1974). Vpliv vetra lahko precej zmanjšamo s ščitniki (sliki 3 in 4) ali postavitvijo dežemera v zaščitno jamo oziroma pod raven terena (Allerup in Madsen 1980; Brilly in Šraj 2005). Izgube zaradi izhlapevanja lahko preprečimo z vazelinskim oljem, ki ga vlijemo v zbiralno posodo. Druga možnost je, da omejimo izhlapevanje, neposredni stik zbrane vode in zraka, ventilacijo in s tem temperaturo znotraj dežemera. Nadalje lahko zmanjšamo tudi komponento vlaženja, in sicer s čim bolj gladkimi notranjimi stenami lijaka in zbiralne posode dežemera. S tem vsaj deloma onemogočimo zadrževanje kapljic in imamo manj izgub ob praznjenju posode dežemera. Tudi škropljenje kapljic v in iz dežemera lahko z reduciramo na račun pravilne oblike roba dežemera. V splošnem se izkaže, da so sistematični pogreški manjši v vlažnem tropskem podnebju in višji v severnih polarnih regijah, kjer imajo velik delež snežnih padavin med letnimi padavinami (Sevruk 1982).



Slika 3: Dežemer z Alterjevim ščitnikom (NCAR 2010).



Slika 4: Dežemer s prirerjenim (NCAR) Nipherjevim ščitnikom (NCAR 2010).

**Metoda Sevruka** je bila razvita leta 1986 na geografskem inštitutu v Zürichu. Je najpopolnejša metoda za popravljanje padavin. Osnovni izraz je:

$$P_p = k \cdot \left[ P_M + 0,15 \cdot N \cdot \left( 2 - \frac{S}{100} \right) \right], \text{ kjer je} \quad (3)$$

$$V + S = 100 \%. \quad (4)$$

Pri tem posamezni členi predstavljajo:

$P_p$  popravljene mesečne padavine (mm),

$k$  brezdimenzijski korekcijski koeficient, odvisen od deleža tekočih padavin in srednje mesečne hitrosti vetra (preglednici 2 in 3) (m/s),

$P_M$  merjene mesečne padavine (mm),

$N$  število dni s padavinami v mesecu,

$V$  delež tekočih padavin,

$S$  delež trdnih padavin.

V primeru, ko padajo tekoče in trdne padavine skupaj, določimo  $k$  iz preglednice 3.

*Preglednica 2: Brezdimenzijski korekcijski koeficient  $k$  za tekoče padavine (Bonacci 1994).*

$V$ (%)	$v$ (m/s)							
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
20	1,010	1,015	1,020	1,025	1,030	1,040	1,045	1,050
30	1,010	1,015	1,020	1,030	1,035	1,045	1,050	1,060
40	1,010	1,015	1,025	1,035	1,040	1,050	1,060	1,070
50	1,010	1,020	1,025	1,040	1,045	1,055	1,065	1,075
60	1,010	1,020	1,030	1,040	1,050	1,060	1,070	1,080
70	1,010	1,020	1,030	1,045	1,055	1,065	1,075	1,085
80	1,010	1,025	1,030	1,045	1,055	1,070	1,080	1,090
90	1,010	1,025	1,035	1,050	1,060	1,080	1,085	1,095
100	1,010	1,025	1,035	1,050	1,060	1,085	1,090	1,100

*Preglednica 3: Brezdimenzijski korekcijski koeficient  $k$  za mešane padavine (Bonacci 1994).*

$S$ (°C)	$v$ (m/s)							
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
5	1,015	1,025	1,035	1,050	1,065	1,080	1,095	1,110
10	1,015	1,030	1,045	1,065	1,085	1,100	1,120	1,145
15	1,020	1,035	1,055	1,080	1,109	1,125	1,150	1,175
20	1,020	1,045	1,065	1,090	1,120	1,150	1,180	1,215
25	1,025	1,050	1,075	1,105	1,140	1,175	1,210	1,250
30	1,025	1,055	1,085	1,120	1,160	1,200	1,240	1,285
35	1,030	1,065	1,095	1,135	1,180	1,220	1,270	1,320
40	1,030	1,070	1,110	1,150	1,195	1,240	1,295	1,350

45	1,030	1,075	1,120	1,165	1,205	1,265	1,320	1,380
50	1,035	1,085	1,130	1,180	1,225	1,290	1,350	1,410
55	1,035	1,090	1,140	1,195	1,245	1,315	1,375	1,440
60	1,040	1,095	1,150	1,205	1,270	1,335	1,400	1,470
65	1,040	1,100	1,160	1,220	1,290	1,360	1,430	1,500
70	1,045	1,110	1,170	1,235	1,310	1,385	1,460	1,530
75	1,045	1,115	1,180	1,250	1,330	1,405	1,480	1,560
80	1,050	1,120	1,190	1,265	1,345	1,425	1,510	1,590
85	1,050	1,130	1,200	1,280	1,365	1,445	1,540	1,620
90	1,055	1,135	1,210	1,295	1,385	1,470	1,570	1,650
95	1,055	1,140	1,220	1,310	1,405	1,495	1,595	1,685
100	1,060	1,145	1,230	1,320	1,420	1,520	1,620	1,720

**Metoda Dahlströma** je bila razvita leta 1986 v meteorološkem inštitutu na Švedskem. Temeljna enačba ima naslednjo obliko:

$$P_p = (1 + k_v) \cdot P_M + N \cdot \Delta P_1 + \sum_{i=1}^N \Delta P_{2i}, \quad (5)$$

pri tem je:

$k_v$  brezdimenzijski korekcijski koeficient zaradi vetra (preglednica 4),

$N$  število dni s padavinami v mesecu,

$\Delta P_1$  pogrešek zaradi vlaženja, ki je odvisen od tipa, konstrukcije in starosti dežemera, v vrednostih od 0,1 do 0,15 mm/dan (mm/dan),

$\Delta P_{2i}$  pogrešek zaradi izhlapevanja v danem dnevu  $i$  (mm/dan).

Pri tej metodi nekatere podatke ocenimo, zato so lahko bolj ali manj točni. Glede na izkušnje skandinavskih raziskovalcev, nosi veter velik delež pogreška v odvisnosti od padanja tekočih ali trdnih padavin (preglednica 4). Merjenje snega ima daleč največje odstopanje, vrednosti pogreška dosegajo celo red velikosti 80 % (Bonacci 1994).

Dahlström predlaga, da se pogrešek zaradi vlaženja  $\Delta P_1$  giblje v vrednostih od 0,1 do 0,15 mm/dan. Ocena je odvisna od tipa, konstrukcije in starosti dežemera. Naslednji člen, ki ga je potrebno upoštevati v enačbi, je pogrešek zaradi izhlapevanja  $\Delta P_2$ . Obstajajo različni izrazi za izračun, vendar so zapleteni, pogrešek pa ne presega 5 %. V ta namen se priporoča enačba za izračun skupnega mesečnega pogreška:

$$\Delta P_2 = N \cdot E, \quad (6)$$

kjer je:

$N$  število dni s padavinami v mesecu,

$E$  povprečna evapotranspiracija (mm/dan).

Povprečna evapotranspiracija ( $E$ ) je odvisna od srednje mesečne temperature ( $T$ ):

$$E = 0,035 \cdot T + 0,125 \quad (7)$$

**Metoda Mendela** je bila razvita leta 1986 v bivši ČSSR in ima dve različici. Splošna enačba se glasi:

$$P_p = P_M + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3. \quad (8)$$

Pri tem je  $\Delta P_1$  pogrešek zaradi vlaženja in je izražen kot:

$$\Delta P_1 = N \cdot 0,2. \quad (9)$$

Preglednica 4: Določanje brezdimenzijskega korekcijskega koeficienta  $k_v$  po metodi Dahlströma (Bonacci 1994).

zaporedna številka	izpostavljenost padavinske postaje	$k_v$	
		tekoče padavine	trdne padavine
1	ekstremno zaščiten postaja (v gozdu)	0,02	0,05
2	srednje zaščiten prostor, najmanj 10 km od morja	0,05	0,1
3	relativno nezaščiten prostor	0,08	0,2
4	relativno nezaščiten prostor blizu morja ali na otoku	0,11	0,4
5	ekstremno nezaščiten prostor na obali ali v planinah	0,14	0,8

Člen  $\Delta P_2$  predstavlja mesečni pogrešek zaradi izhlapevanja in ga izračunamo kot:

$$\Delta P_2 = N \cdot 12 \cdot k_e, \tag{10}$$

kjer je:

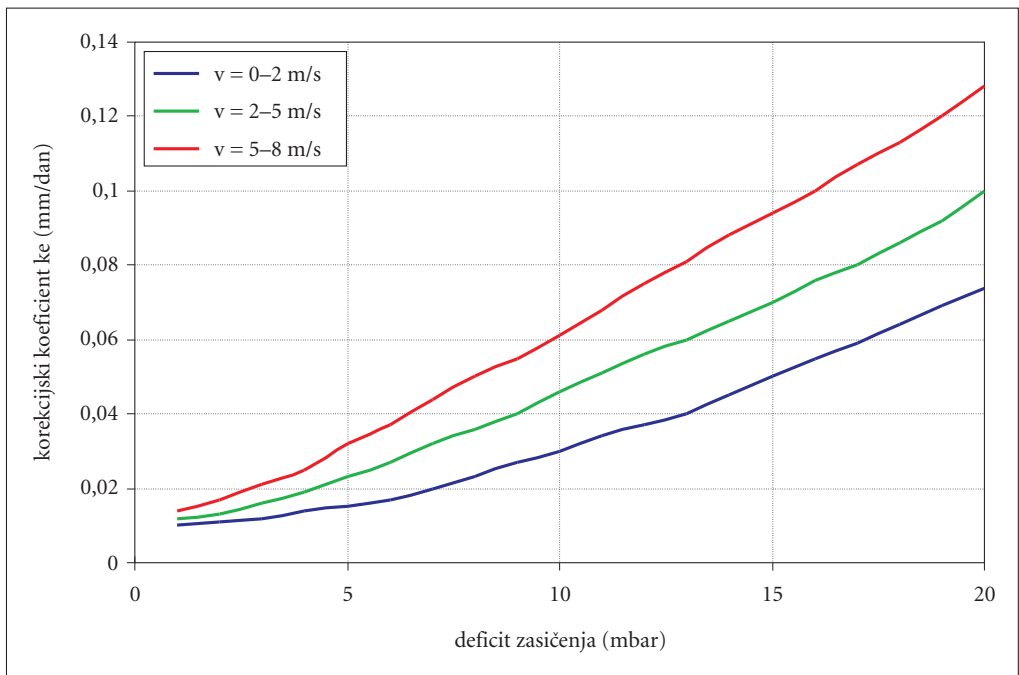
$N$  število dni v mesecu s padavinami,

$k_e$  korekcijski koeficient zaradi izhlapevanja (mm/dan) (slika 5).

Nadalje predstavlja člen  $\Delta P_3$  pogrešek zaradi vpliva vetra in ima dve različici:

1. Prva možnost za izračun upošteva višino odprtine dežemera:

$$\Delta P_3 = P_M \cdot (k_h - 1), \tag{11}$$



Slika 5: Korekcijski koeficient zaradi izhlapevanja (prirejeno po Bonacci 1994).



kjer je:

$k_h$  korekcijski koeficient, odvisen od višine dežemera (slika 6).

Po predpisih naj bi bila višina dežemera 1 m in pripadajoča vrednost za  $k_h = 1,055$ . V večini držav so višine dežemerov višje, zato je treba kontrolirati višino dežemera.

2. Druga možnost popravka upošteva intenziteto padavin, hitrost vetra in temperaturo zraka. Popravek se vrši posebej za tekoče in posebej za trdne padavine. Za popravek tekočih padavin upoštevamo:

$$\Delta P_3 = P_M \cdot (k_v - 1), \quad (12)$$

kjer je:

$k_v$  korekcijski koeficient, odvisen od srednje hitrosti vetra in odstotka padavin z intenziteto  $i < 0,03$  mm/min (slika 7). Slednji element intenzitete  $i < 0,03$  mm/min je težko določiti, zato ga v praksi redko uporabljamo.

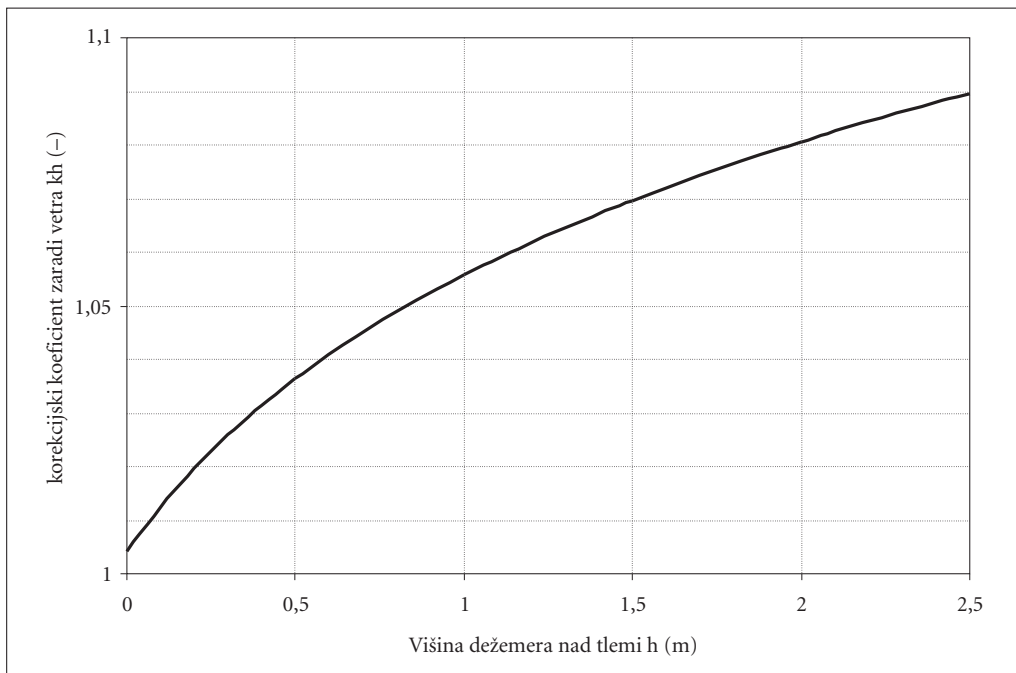
Za trdne padavine, to velja predvsem sneg, velja:

$$\Delta P_3 = P_M \cdot (k_s - 1), \quad (13)$$

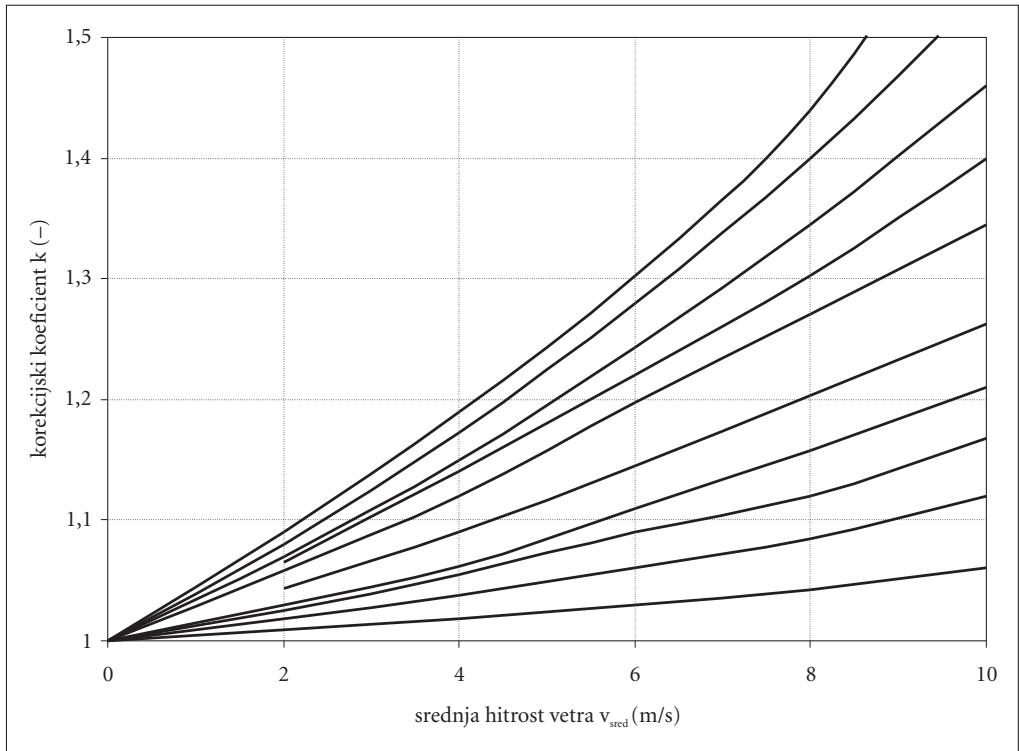
kjer je:

$k_s$  korekcijski koeficient, odvisen od srednje hitrosti vetra in srednje temperature zraka (slika 8).

**Modificirano metodo Peneve** za popravek izmerjenih padavin je leta 1986 na bolgarskem inštitutu za hidrologijo in meteorologijo v Sofiji razvila Elissaveta Lazarova Peneva. Da bi bila metoda kar najbolj primerljiva z ostalimi, je metodo modificirala in zapisala osnovno enačbo kot:



Slika 6: Korekcijski koeficient zaradi vetra, odvisen od višine dežemera (prirejeno po Bonacci 1994).



Slika 7: Korekcijski koeficient, odvisen od srednje hitrosti vetra in odstotka padavin z intenziteto  $i < 0,03 \text{ mm/min}$  (prirejeno po Bonacci 1994).

$$P_p = (k \pm \sigma) \cdot P_M + 0,1 \cdot N \quad (14)$$

kjer je:

- $k$  brezdimenzijski korekcijski koeficient, odvisen od posameznega meseca v letu (preglednica 5),
- $\sigma$  standardna deviacija, ki predstavlja vpliv vetra glede na brezdimenzijski korekcijski koeficient (preglednica 5),
- $N$  število dni v mesecu s padavinami.

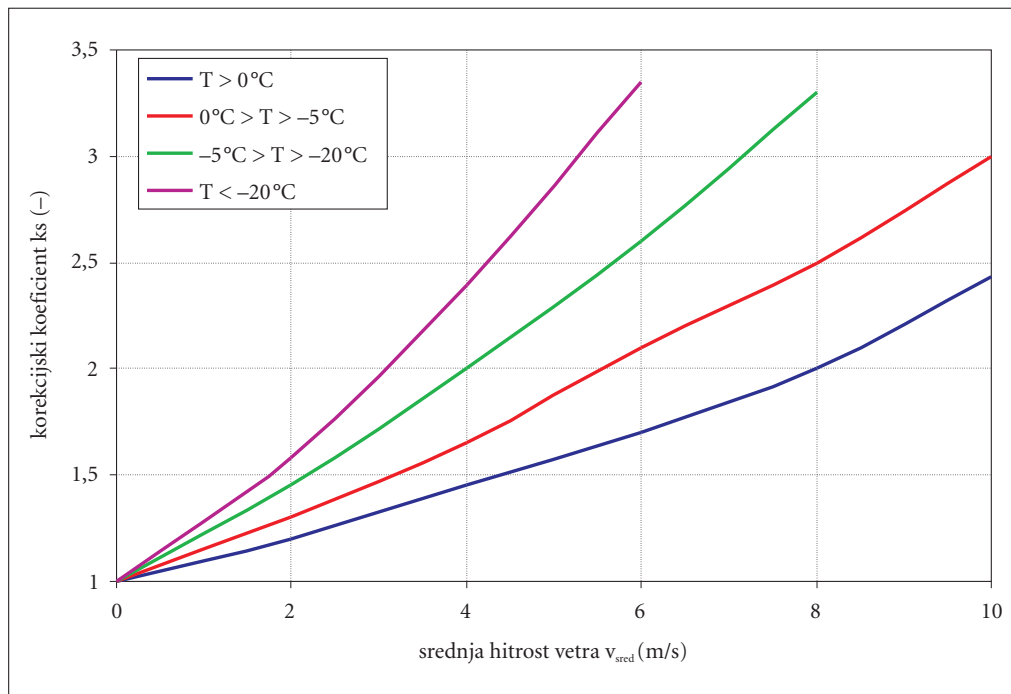
V primeru, da je hitrost vetra v analiziranem mesecu za 20 % večja od najvišje povprečne, se poveča tudi vrednost standardne deviacije, in sicer za 0,02 v obdobju od oktobra do marca ter za 0,01 v obdobju od aprila do septembra.

**Metoda Sevruga in Hamona** je nastala leta 1984 v Švici (Sevrug in Hamon 1984). Zajema glavne sistematične pogreške ter pogreškov, ki nastane zaradi sledi padavin. Sledi padavin označuje posamezna meritev, kjer količina padavin ne preseže vrednosti 0,10 mm/h. Enačba je podobna splošni Sevrugovi enačbi (Yang in sodelavci 1999):

$$P_p = k_v (P_M + \Delta P_w + \Delta P_f) + \Delta P_s, \quad (15)$$

kjer je:

- $k_v$  brezdimenzijski korekcijski koeficient zaradi vpliva vetra (-)



Slika 8: Korekcijski koeficient, odvisen od srednje hitrosti vetra in srednje temperature zraka (prirejeno po Bonacci 1994).

- $P_M$  merjene padavine (mm)  
 $\Delta P_W$  pogrešek zaradi vlaženja (mm)  
 $\Delta P_E$  pogrešek zaradi izhlapevanja (mm)  
 $\Delta P_S$  pogrešek zaradi sledi padavin (mm)

Preglednica 5: Brezdimenzijski korekcijski koeficient  $k$  in standardna deviacija za posamezen mesec po metodi Peneve (Bonacci 1994).

mesec	$k$	$\sigma$
januar	1,13	0,06
februar	1,13	0,06
marec	1,12	0,05
april	1,1	0,03
maj	1,09	0,02
junij	1,06	0,01
julij	1,06	0,01
avgust	1,06	0,01
september	1,09	0,02
oktober	1,11	0,04
november	1,12	0,05
december	1,13	0,06

Izračun koeficienta  $k_v$  ter pogreškov zaradi vlaženja in izhlapevanja je naveden že pri splošni Sevrukovi enačbi. Komponento pogreška  $\Delta P_S$ , ki nastane zaradi sledi padavin, pa lahko dobimo s kvantitativnimi opazovanji. Za Hellmannov dežemer velja, da mora biti sled padavin manjša ali enaka 0,10 mm/h. Po pravilih so vse sledi označene kot nulti dogodek, saj ne prispevajo k mesečnemu seštevku padavin, vendar pa pri posameznih dnevih sled padavin že označimo kot padavinski dan (Yang in sodelavci 1999).

**Metoda dinamičnega korekcijskega modela** – DCM je bila razvita na Norveškem meteorološkem inštitutu leta 1996 (Forland in sodelavci 1996). Razvila sta jo Eirik J. Førland in Inger Hanssen-Bauer na podlagi številnih raziskav, meritev in na osnovi trditev o pogreških, ki sta jih podala že Dahlström in Sevruk. Statistični model sta zasnovala za ugotavljanje velikosti sistematičnih pogreškov za različne dežemere v povodju Baltskega morja. Prednost te metode je v tem, da je količina 12-urnih padavin razčlenjena na urne komponente, nato pa popravljena in sešeta nazaj v 12-urno vrednost. Osnovna enačba metode je (Rubel in Hantel 1999; Michelson 2004):

$$P_p = k \cdot (P_M + \Delta P_W + \Delta P_E) , \quad (16)$$

kjer je:

$k$  korekcijski faktor odvisen od hitrosti vetra v nivoju odprtine dežemera, intenzitete padavin, temperature in koeficientov dežemera (-),

$\Delta P_M$  merjene padavine (mm),

$\Delta P_W$  pogrešek zaradi vlaženja (mm) (preglednica 6),

$\Delta P_E$  pogrešek zaradi izhlapevanja (mm) (preglednica 7).

*Preglednica 6: Konstantne vrednosti pogreška zaradi vlaženja  $\Delta PW$  za posamezni tip dežemera in obliko padavin (mm/12 h) (Michelson 2004).*

oblika padavin	SMHI	H & H-90	Hellmann	Tretyakov
tekoče	0,07	0,13	0,14	0,14
trdne	0,02	0,05	0,10	0,09
mešane	0,06	0,11	0,18	0,14

*Preglednica 7: Dnevni evaporacijski pogreški  $\Delta PE$  za posamezen tip dežemera in glede na mesec padavin (mm/dan) (Michelson 2004).*

mesec	SMHI	H & H-90	Hellmann	Tretyakov
januar	0,02	0,03	0,01	0,03
februar	0,03	0,04	0,02	0,04
marec	0,04	0,06	0,03	0,05
april	0,12	0,20	0,04	0,22
maj	0,10	0,04	0,09	0,13
junij	0,15	0,05	0,15	0,15
julij	0,15	0,05	0,16	0,15
avgust	0,10	0,05	0,08	0,10
september	0,05	0,04	0,02	0,05
oktober	0,03	0,03	0,01	0,03
november	0,03	0,03	0,01	0,03
december	0,02	0,03	0,01	0,03

Korekcijski koeficient  $k$  je različen za tekoče in trdne padavine. Za tekoče padavine tako velja korekcijski koeficient  $k_t$ :

$$k_t = \exp[-0,00101 \cdot \ln(I) - 0,012177 \cdot u_h \cdot \ln(I) + 0,03433 \cdot u_h + 0,007697 + c], \quad (17)$$

kjer je:

- $I$  intenziteta padavin (mm/h),  
 $u_h$  hitrost vetra v nivoju dežemera (m/s),  
 $c$  koeficient dežemera (Preglednica 9).

Za trdne padavine je korekcijski koeficient  $k_s$  enak:

$$k_s = \begin{cases} \exp[\beta_0 + \beta_1 \cdot u_h + \beta_2 \cdot T + \beta_3 \cdot u_h \cdot T] \rightarrow u_h > 1,0 \text{ m/s} \\ 1,0 \rightarrow u_h \leq 1,0 \text{ m/s} \end{cases} \quad (18)$$

kjer je:

- $\beta_i$  koeficienti dežemera (preglednica 8),  
 $u_h$  hitrost vetra v nivoju dežemera (m/s),  
 $T$  temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

V primeru mešanih padavin sledi  $k_m$ , ki je:

$$k_m = \frac{(r_l \cdot k_l + r_s \cdot k_s)}{(r_l + r_s)}, \quad (19)$$

pri čemer je:

- $k_l, k_s$  koeficienta za tekoče in trdne padavine,  
 $r_l, r_s$  količina tekočih in trdnih padavin (mm).

*Preglednica 8: Koeficienti dežemera za tekoče in trdne padavine za različne tipe dežemerov (mm/12 h) (Michelson 2004).*

oblika padavin	SMHI	H & H-90	Hellmann	Tretyakov
tekoče $c$	-0,05	-0,05	0,0	-0,05
trdne $\beta_0$	-0,08871	-0,07556	0,04587	-0,04816
trdne $\beta_1$	0,16146	0,10999	0,23677	0,13383
trdne $\beta_2$	0,011276	0,012214	0,017979	0,009064
trdne $\beta_3$	-0,00877	0,007071	-0,015407	0,005147

Leta 1980 sta Allerup in Madsen analizirala Hellmannov dežemer in zapisala formulo (**metoda Allerupa in Madsena**), ki je v osnovi enaka Sevrukovi, vendar se od nje nekoliko razlikuje (Dulal in sodelavci 2006):

$$P_p = k \cdot (P_M + e_w + e_t), \quad (20)$$

kjer je:

- $k$  brezdimenzijski korekcijski koeficient zaradi vpliva vetra (-) (preglednica 9),  
 $P_M$  merjene padavine (mm),  
 $e_w$  pogrešek zaradi vlaženja (mm),  
 $e_t$  pogrešek zaradi evaporacije (mm).

*Preglednica 9: Brezdimenzijski korekcijski koeficient zaradi vpliva vetra (Sevruk 1982).*

Izpostavljenost dežemera	Vrednost $k$
dobro zaščiten prostor	0,5 k
srednje zaščiten prostor	0,75 k
nezaščiten prostor	1,0 k

V primeru trdnih padavin se vrednost za  $k$  giblje med 1,22 za zaščiten dežemer ter 1,32 za nezaščiten dežemer. Vrednosti veljata pri temperaturah nad 0 °C.

## 4 Sklep

Na rezultate hidroloških modelov vpliva veliko različnih dejavnikov (Šraj in sodelavci 2010), vendar niso vsi ključni. Če se hidrološki sistem oziroma vodni krog začne s padavinami (Šraj in sodelavci 2008; Šraj 2009), je za njegovo razumevanje zelo pomembno poznavanje odstopanj, ki nastanejo že pri merjenju padavin. Kot vemo, lahko zaradi napačnih vhodnih podatkov dobimo bistveno drugačne rezultate od pričakovanih. Temu sledijo netočne predpostavke pri napovedi pretokov, poplav, površinskih odtokov in vremena ter neustrezne hidrološke simulacije in napačno dimenzioniranje hidrotehničnih in ostalih objektov.

Članek zajema kratek pregled pogreškov, njihov vzrok in velikost ter metode, ki se v svetu najpogosteje uporabljajo za korekcijo padavin. Pri tem so poudarjena predvsem sistematična odstopanja oziroma pogreški, ki doprinesejo na letni ravni okrog 10 % vseh padlih padavin (Golubev 1986). Številni avtorji obravnavanih metod, ki so raziskovali glavne vzroke pogreškov padavin, so kot glavni razlog navedli aerodinamični efekt, tj. veter, sledila sta mu evaporacija in izhlapevanje. Ostalih vzrokov povečini niso upoštevali, z izjemo severnih polarnih držav, kjer so dodatno obravnavali snežne meteže in izpihovanje snega iz dežemera. Seveda, obstajajo tudi drugi vzroki za odstopanja padavin, vendar so le-ta zanemarljiva in se jih večina avtorjev ni dotaknila oz. upoštevala v izračunih.

## 5 Viri in literatura

- Allerup, P., Madsen, H. 1980: Accuracy of point precipitation measurements. *Nordic Hydrology* 11. Copenhagen.
- Bonacci, O. 1994: Oborine, glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus. Split.
- Bonacci, O. 1990: The influence of errors in precipitation measurements on the accuracy of the evaporation measurements performed by a class A evaporation pan. *Theoretical and applied climatology* 43. Split
- Brilly, M., Šraj, M. 2005: Osnove hidrologije. Ljubljana.
- Dulal, K. N., Takeuchi, K., Ishidaira, H. 2006: A framework for the analysis of uncertainty in the measurement of precipitation data: a case study for Nepal. *Agricultural Engineering International* 7. Yamanashi.
- Forland, E. J., Allerup, P., Dahlström, B., Elomaa, E., Jonsson, T., Madsen, H., Perälä, J., Rissanen, P., Vedin, H., Vejen, F. 1996: Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data. Oslo.
- Frantar, P. 2007: Geographical overview of water balance of Slovenia 1971–2000 by main river basins. *Acta geographica Slovenica* 47/1. Ljubljana.
- Golubev, V. S. 1986: On the problem of standard condition for precipitation gauge installation. *International Workshop on the Correction of Precipitation Measurements*. Zürich.

- Hsu, S. H., Guo, Y. L. 2005: Effect of wind speed on the measurement of rainfall. *Crop, Environment and Bioinformatics* 2. Taiwan.
- Michelson, D. B. 2004. Systematic correction of precipitation gauge observations using analyzed meteorological variables. *Journal of Hydrology* 290. Amsterdam.
- NCAR 2010. National Center for Atmospheric Research. Marshall field site. Wind Shields. Medmrežje: [http://www.rap.ucar.edu/projects/marshall/Wind\\_Shields.html](http://www.rap.ucar.edu/projects/marshall/Wind_Shields.html) (14. 7. 2010).
- Rubel, F., Hantel, M. 1999. Correction of daily rain gauge measurements in the Baltic sea drainage basin. *Nordic Hydrology* 30. Copenhagen.
- Seibert, J., Morén, A. S. 1999: Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type of gauge. *Agricultural and Forest Meteorology* 98–99. Uppsala.
- Sevruk, B. 1974: Correction for the wetting loss of a Hellmann precipitation gauge. *Hydrological Sciences* 19-4. Zurich.
- Sevruk, B. 1982: Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use. World Meteorological Organization. Geneva.
- Sevruk, B. 1987. Point precipitation measurements: why are they not corrected? *Water for the future: Hydrology in perspective*. IAHS Publication 164. Zurich.
- Sevruk, B., Hamon, W. R. 1984. B. International comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge. *Instruments and Observing Methods Rep.* Geneva.
- Šraj, M. 2009: Prestrežene padavine: Meritve in analiza. *Geografski vestnik* 81-1. Ljubljana.
- Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M. 2008: Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology* 148-1. Amsterdam.
- Šraj, M., Dirnbek, L., Brilly, M. 2010: The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 58-1. Bratislava.
- WMO 2008: Measurement of precipitation. World Meteorological Organization I/8. Geneva. Medmrežje: [http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO\\_Guide/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.html](http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO_Guide/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.html) (14. 7. 2010).
- Yang, D., Goodison B. E., Ishida S., Gunther T. 1999: Bias correction of daily precipitation measurements for Greenland. *Journal of geophysical research*. Canada.
- Zhuhua, R., Mingqin, L. 2007: Errors and correction of precipitation measurements in China. *Advances in atmospheric sciences* 24-3. Beijing.

## 6 Summary: Errors in precipitation measurements and methods of precipitation correction

(translated by the authors)

Many different factors affect the results of hydrological models but not all of them must be taken in consideration when applying the models. Because hydrological system or the water cycle begin with precipitation amount we must be aware of large deviations occurring during precipitation measurements. Incorrect input data can cause significant differences in measurements, followed by inaccurate assumptions in forecasting the water flow, floods, runoff and other weather parameters on one hand, and inadequate hydrological simulations and improper sizing of water structures on the other.

The article covers a brief overview of systematic and statistical measurements errors, their cause and size, and commonly used methods for correction of precipitation amount. The accuracy of measurements is usually about 10 % of annual amount of precipitation. Loss from wind-field deformation above the gauge rim, wetting and evaporation loss are the main reasons for systematic errors covered by many correction methods. Concerning other causes we should also mention influence of blowing and drifting snow on the gauges in polar regions. Certainly, other causes of errors in precipitation measurements also exist, however, they are negligible and are not included in the listed correction methods.

