

Proračun godišnje količine padalina u poriječju Sane primjenom Thiessenovih poligona

Emir Temimović

U članku se razmatra proračun godišnje količine padalina u poriječju Sane (u sjeverozapadnom dijelu Bosne i Hercegovine) primjenom Thiessenovih poligona. Poriječje je općenito humidno područje, a klimatski tip prema Köppenu je Cfb, umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom (klima bukve). Proračun godišnje količine padalina proveden je za standardni period 1961.-1990. i iznosi 1148 mm.

Ključne riječi: poriječje Sane, metoda Thiessenovih poligona, padaline

Estimate of Annual Precipitation Amount in the Sana River Drainage Basin by Use of Thiessen's Polygons

The article considers estimate of annual precipitation amount in the Sana river drainage basin (in the northwest part of Bosnia and Herzegovina) by use of Thiessen's polygons. The drainage basin is basically a humid basin whereas a climatic type towards Köppen is Cfb, moderately warm and moisture climate with warm summer (beech-tree climate). estimate of annual precipitation amount has been carried out for a standard period 1961-1990 and it was 1148 mm.

Key words: the Sana river basin, Thiessen polygons method, precipitation

ISTRAŽIVANO PODRUČJE

Poriječje Sane obuhvaća dijelove zapadne i sjeverozapadne Bosne i Hercegovine. Površina poriječja omeđena površinskom (topografskom, orografskom) razvodnicom iznosi 3739,75 km² (prema vlastitim mjerenjima s karata mjerila 1:50 000 i 1:100 000). Navedeno područje obilježava izrazita tektonska razlomljenost te heterogenost litološkog sastava odnosno česta izmjena vodonepropusnih i vodopropusnih stijena uz mjestimičnu pojavu krške hidrografije, što je utjecalo da se dubinska (hidrogeološka) razvodnica ne podudara s površinskom razvodnicom. Ovo nepodudaranje značajno je za južne i jugozapadne dijelove šire razmatranog područja, gdje su hidrološkim istraživanjima dokazani podzemni pravci otjecanja (ponor-vrelo) (Kanaet, 1959.). U ovom prostoru je izdvojeno zajedničko podzemno sljevno područje Sane i Plive površine 320,75 km², zatim zona sjeverozapadnog dijela Glamočkog polja (174,5 km²) koja se podzemnim vezama odvodnjava prema vrelima Sane i Ribnika te zone Bravskog polja i jugoistočnog dijela Petrovačkog polja (Drinić -

naselje u JI dijelu Petrovačkog polja) (282,25 km²) koje se dokazanim podzemnim vezama (Kanaet, 1959.) odvodnjavaju prema vrelima Sanice, Korčаницe, Dabra i nekim manjim vrelima jugozapadnog dijela poriječja. Prema tome, ukupna površina poriječja Sane iznosi 4 517,25 km² uključivši navedena zajednička podzemna sljevna područja.

Gornje i dijelovi središnjeg poriječja imaju, dakle, neutvrđenu hidrološku razvodnicu (zbog ispucale karbonatne podloge i brojnih rasjednih zona) tako da se ne mogu sa sigurnošću odrediti granice poriječja Sane prema susjednim poriječjima: Vrbasa na istoku, Plive na jugoistoku, Cetine na jugu (odnosno granica prema jadranskom slijevu koja oduvijek predstavlja problem za brojne istraživače ovog prostora), Unca na jugozapadu i Une na zapadu. Prema tome, poriječje Sane pripada crnomorskom slijevu, a na području Glamočkog polja graniči s jadranskim slijevom, odnosno poriječjem Cetine. Zbog nedostatka hidrogeoloških istraživanja, u ovom radu je područje istraživanja određeno površinskom razvodnicom (sl. 1), što znači da se pri eventualnim bilanciranjima vode u poriječju Sane količini vode od procjenjenih godišnjih padalina na površinskom poriječju trebaju dodati sve vode koje u tako određeno poriječje dopijevaju podzemnim putevima.

Iz klimatskog položaja u bosanskom dijelu Dinarida proizilazi da u području poriječja prevladavajuću ulogu imaju kontinentski utjecaji s određenim maritimnim utjecajem s juga. Istraživano područje široko je otvoreno za utjecaj kontinentskog zraka sa sjevera i sjeveroistoka. Zbog velike razvedenosti reljefa postoje brojne i u nekim elementima značajne lokalne klimatske razlike. Međutim, općenito je poriječje Sane humidno područje. Klimatski tip prema Köppenu je Cfb, umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom (klima bukve).

DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

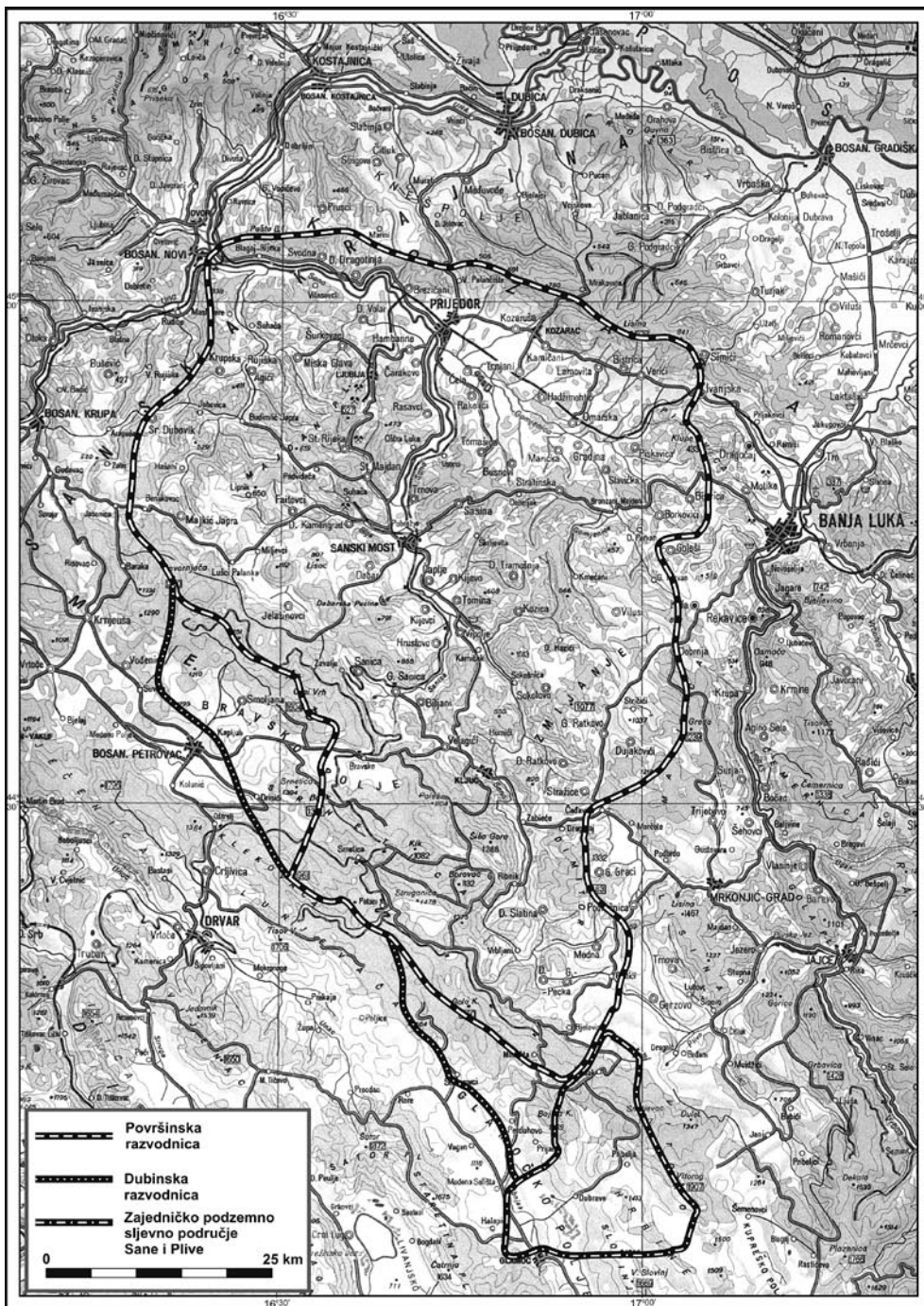
U literaturi se nalazi razmjerno malo sveobuhvatnih znanstveno-istraživačkih radova kojima je područje istraživanja cjelokupno poriječje Sane, napose u geografiji. Hidrogeografski radovi u Bosni i Hercegovini do sada nisu obuhvaćali poriječje Sane. Nešto studioznije i detaljnije poriječje Sane je obrađeno u raznim elaboratima i studijama koje su imale za zadatak odrediti hidroenergetske potencijale rijeke Sane i njezinih pritoka, a kao što su:

- HE Vrhpolje sa HE Čaplje, Elaborat, Energoinvest, Sarajevo, 1999.
- Hidroenergetsko korištenje rijeke Sanice sa pritocima, Elaborat, Energoprojekt, Beograd, 1986.

Proračun godišnje količine padalina primjenom Thiessenovih poligona za poriječje Sane do sada nije objavljen u znanstveno-stručnoj literaturi.

CILJ I METODE RADA

Cilj rada jest proračun prosječne godišnje količine padalina u poriječju Sane. Kao najprimjerenija metoda s obzirom na ulazne podatke, odnosno broj i raspodjelu meteoroloških/kišomjernih stanica odabrana je modificirana metoda Thiessenovih poligona. Podatci za ovaj rad preuzeti su iz Meteorološkog odjela HMZ F BiH. U određivanju granica



Sl. 1. Porječje Sane
 Fig. 1. Sana river drainage basin

Tab. 1. Godišnje padaline u meteorološkim stanicama izabranim za proračun godišnje padaline u poriječju Sane 1961.-1990. (u mm)

GODINA	Bosanski Novi	Bosanska Krupa	Bosanski Petrovac	Brezica	Lušci	Drnica	Gornji Kamengrad	Gornje Brajkovo	Stari Majdan	Ganski Most	Prijedor	Gornji Trbnik	Peći (Ključ)	Ključ	Milinašte	Čadavica	Mrkonjić Grad	Banja Luka	Dragović (Sipovo)
1961	983	1068	1279	741	1508	1037	1010	1112	1052	1144	814	1112	1286	873	1136	728	874	885	965
1962	963	1021	1075	872	1051	1285	1083	1024	833	935	791	1022	1312	1206	1324	1134	958	952	985
1963	890	1229	1118	899	1237	1441	1042	1195	974	943	832	1278	1275	1139	1318	784	1133	1066	1099
1964	1043	1354	1225	948	1295	1502	1068	1511	1099	1039	987	1312	1636	1397	2056	1032	1212	1252	1329
1965	1058	1325	1353	1082	1036	1502	1106	1257	1148	961	999	1112	1398	961	1539	915	1118	1084	961
1966	1254	1183	1390	1063	1361	1554	1214	1342	1218	1042	1009	1240	1334	1271	1655	1089	1193	998	1042
1967	1054	1137	1183	1062	1375	1385	1096	1384	1126	970	1093	1417	1092	1143	1600	937	1221	985	1083
1968	733	979	1034	806	1368	1354	1099	1335	916	940	888	1145	1043	1114	1591	836	1176	1129	1117
1969	1088	1442	1374	1196	1667	1601	1314	1400	1346	1258	1213	1227	1224	1367	1791	1417	1295	1208	1348
1970	968	1370	1134	1060	1309	1386	1081	1170	1114	1050	1107	1270	1123	1275	1648	1492	1161	1062	1181
1971	729	959	780	816	1028	870	826	806	718	776	765	902	731	781	1117	897	867	683	788
1972	1293	1360	991	1153	1552	994	1210	1256	1115	1226	969	1237	1196	999	1265	1374	1164	1169	1120
1973	1035	1149	1143	975	1381	1108	1018	1274	923	1066	879	1092	1094	935	1063	1108	908	1126	957
1974	1122	1366	1178	1020	1538	1421	1322	1491	1226	1203	1084	1607	1376	1305	1487	1512	1394	1213	1619
1975	912	1230	1040	821	1257	1223	1042	1154	1000	993	819	1081	974	901	1091	1266	959	938	793
1976	1115	1452	1386	1099	1628	1676	1327	1521	1186	1061	1127	1001	1146	1059	1809	1062	1069	1024	1006
1977	1094	1297	1142	923	1343	1429	1319	1186	1061	1127	1001	1146	1061	1122	2124	1209	1187	877	1178
1978	925	1158	1154	851	1243	1416	991	1250	846	892	900	1341	971	1122	2124	1209	1187	877	1178
1979	1071	1211	1228	1056	1398	1540	1197	1270	1029	1002	878	1236	1082	1175	1914	1278	1160	979	1054
1980	1190	1372	1371	1076	1595	1500	1247	1453	1137	1139	1006	1263	1259	1300	1647	1432	1164	1280	1116
1981	1163	1215	1210	993	1469	1455	1170	1500	1031	1125	1139	1242	1139	1217	1539	1344	1374	1127	1076
1982	941	1110	1081	892	1377	1364	1111	1284	568	1051	849	1171	1116	1218	1369	1354	974	974	929
1983	827	953	1062	669	1081	1207	866	1038	803	829	584	965	893	806	1181	1104	872	815	715
1984	1218	1333	1265	1026	1572	1396	1243	1266	1064	1109	1003	1423	1324	1144	1557	1218	1041	1252	889
1985	872	1039	965	879	1398	1112	985	1175	885	944	796	1135	997	912	1209	1218	989	936	1025
1986	904	1095	1028	871	1214	1303	1016	1028	952	907	858	1215	1141	1034	1356	1256	1057	1004	979
1987	1066	1188	1214	917	1238	1414	1035	1223	929	1010	1014	1238	1085	976	1416	1218	879	885	884
1988	923	1242	1038	887	1156	1123	949	946	930	880	864	984	1011	935	1183	941	854	924	855
1989	927	1006	1083	1061	1292	1228	1037	1215	941	989	877	1101	1184	1038	1331	1308	913	955	970
1990	922	1014	949	929	1166	1130	910	1076	830	870	738	1016	724	647	1189	960	802	820	730
PROSJEK 1961.-1990	1009	1192	1149	955	1338	1331	1098	1238	1001	1023	927	1194	1143	1080	1486	1160	1075	1028	1032
STD	140	147	146	124	177	193	135	173	166	125	137	150	191	183	304	217	163	149	189
Cv	0.14	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.12	0.14	0.17	0.12	0.15	0.13	0.17	0.17	0.2	0.19	0.15	0.14	0.18

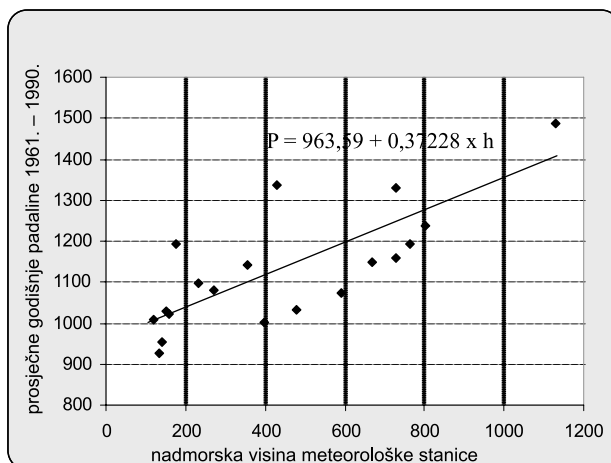
Napomena: Kosim slovima upisane su stanice izvan poriječja Sane

Izvor: FHMZ Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 2005.

istraživanog područja uz kartografske metode nije zanemaren rad na terenu. U određivanju površine poriječja te u granica i površina Thiessenovih poligona korištene su uobičajene kartografske metode, i to na kartografskim podlogama u mjerilu 1 : 50 000.

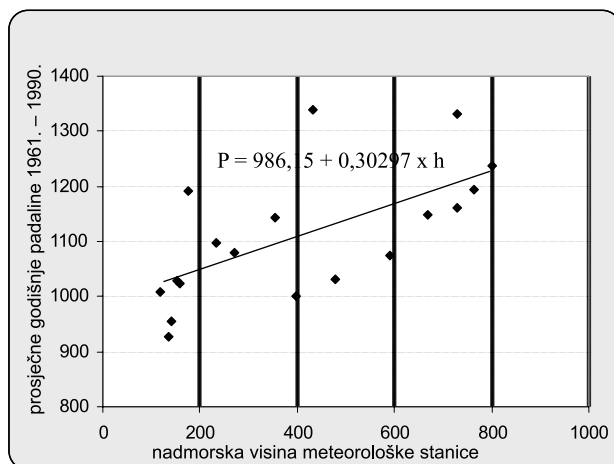
REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 1. je izložen niz godišnjih padalina u poriječju za karakteristično razdoblje 1961.-1990. Korišteni su podaci 19 meteoroloških/kišomjernih stanica od kojih se 12 stanica nalazi unutar poriječja, a 7 stanica izvan poriječja Sane (ali u neposrednoj blizini razvodnice tj. ne dalje od 10 km zračne linije). Iz podataka za godišnje količine padalina razvidno je da prosječne godišnje količine padaline iznose od 927 mm (Prijeđor) do 1486 mm za stanicu Mlinište koja se nalazi na 1130 m.n.v., pa se može ustvrditi da su padaline razmjerno ravnomjerno raspoređene u poriječju. Općenito, opada njihova količina od juga prema sjeveru, iako ih u cijelom poriječju ima dovoljno (nema sušnosti), tj. oko 1150 mm prosječno godišnje u razdoblju 1961.-1990. Iz podataka se uočava da, očekivano, postoji povećanje prosječnih godišnjih količina padalina s porastom nadmorske visine stanice. Ima nekoliko iznimki i nelogičnosti, ali su one vezane, najvjerojatnije, za nepouzdana mjerenja na pojedinim stanicama. Veza padalina i nadmorske visine uočava se putem linearne koleracije. Prema tim rezultatima utvrđen je pravocrtni odnos $P = 963,59 + 0,37228 \times h$. Dakle, u poriječju Sane može se očekivati s porastom visine (h – u metrima) za 100 metara porast godišnje padaline (P – u mm) za 37,2 mm. Na slici 2. se uočava da stanica Mlinište djeluje kao faktor koji odvlači pravac i ujedno povećava pokazatelj koleracije (bez Mliništa $r = 0,64$; s Mliništem $r = 0,76$). Zbog toga je provedena linearna koleracija koja ne uključuje stanicu Mlinište i dobiven je odnos $P = 986,15 + 0,30297 \times h$ (sl. 3). Po ovoj postavci u poriječju, stopa porasta godišnjih padalina iznosi zaokruženo 30 mm na svakih 100 metara.



Sl. 2.: Pravac regresije odnosa nadmorske visine i prosječne godišnje količine padalina za odabrane stanice šire istraživanog područja (uključujući Mlinište)

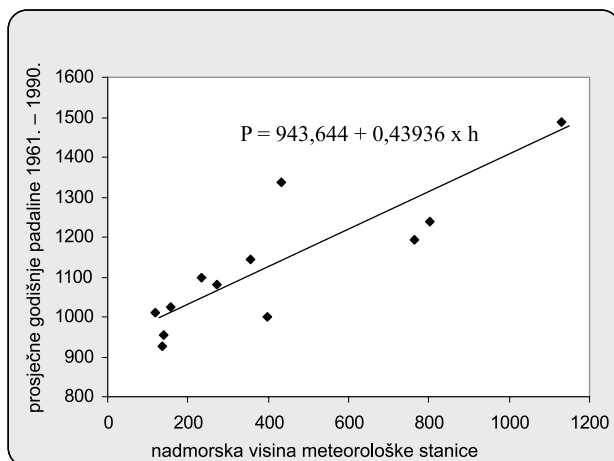
Fig. 2.: Direction of regression in the relation: height above sea-level and average annual precipitation quantity for the chosen stations of wider researched area (including Mlinište) in the period 1961-1990



Sl. 3.: Pravac regresije odnosa nadmorske visine i prosječne godišnje količine padalina za odabrane stanice šire istraživnog područja (isključujući Mlinište)

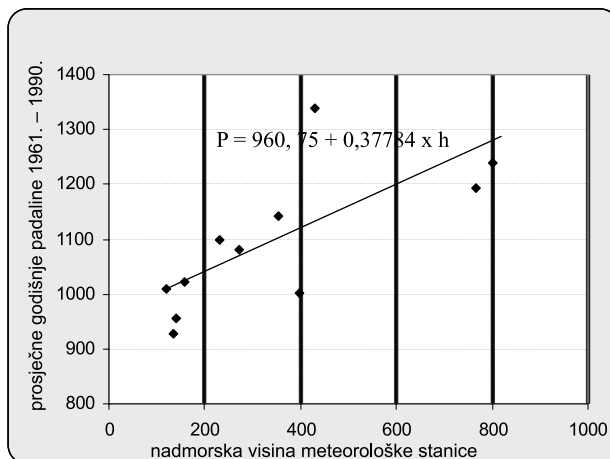
Fig. 3. Direction of regression in the relation: height above sea-level and average annual precipitation quantity for the chosen stations of wider researched area (excluding Mlinište) in the period 1961-1990

Potrebno je napomenuti da su u oba navedena slučaja za proračun stope porasta godišnjih padalina s visinom korišteni podaci i za stanice izvan porječja (Bosanska Krupa, Bosanski Petrovac, Drinić, Čadavica, Mrkonjić Grad, Banja Luka i Dragnić), odnosno sve stanice koje su poslužile i za proračun godišnje količine padalina unutar porječja. Stoga je još provedena linearna koleracija samo za meteorološke stanice koje se nalaze unutar porječja (12 stanica). Utvrđen je pravocrtni odnos $P = 943,644 + 0,43936 \times h$ (sl.4), odnosno, stopa porasta godišnjih padalina iznosi zaokruženo 44 mm za svakih 100 metara.



Sl. 4.: Pravac regresije odnosa nadmorske visine i prosječne godišnje količine padalina za odabrane stanice šire istraživnog područja (isključujući Mlinište)

Fig. 4 Direction of regression in the relation: height above sea-level and average annual precipitation quantity for the chosen stations in the Sana river drainage basin (including Mlinište) in the period 1961-1990



Sl. 5.: Pravac regresije odnosa nadmorske visine i prosječne godišnje količine padalina za odabrane stanice iz poriječja Sane (isključujući Mlinište)

Fig. 5 Direction of regression in the relation: height above sea-level and average annual precipitation quantity for the chosen stations in the Sana river drainage basin (excluding Mlinište) in the period 1961-1990

Ako se opet isključi iz razmatranja stanica Mlinište (zbog nepostojanja stanice u rasponu od 800 do 1100 metara nadmorske visine) stopa je niža i iznosi 37,8 mm za svakih 100 metara, odnosno, tada bi izraz pravca glasio $P = 960,75 + 0,37784 \times h$ (sl. 5).

Zaključno, za poriječje u cjelini, stopu porasta godišnjih padalina s visinom primjenom linearne koleracije potrebo je uzeti s rezervom zbog neravnomjerne raspodjele podataka po cijelom poriječju i po cijelom visinskom rasponu. Uzimati poriječje Sane u cjelinu prilikom razmatranja prosječnog porasta padalina s visinom je otežano i zbog reljefne dinamike u poriječju, budući da se iste stope porasta padalina s visinom ne mogu očekivati u svim dijelovima poriječja. U izračunavanju prosječne godišnje količine padalina u nekom poriječju tri su uobičajena načina (Srebrenović D., 1986.):

1. prosječna vrijednost,
2. postupak Thiessenovih poligona i
3. postupak izohijeta.

Najčešće se koristi postupak Thiessenovih poligona. Kada se primjenjuje ovaj postupak, za svaku se stanicu odredi njezino utjecajno područje (poligon) u poriječju tako da se stranice poligona definiraju kao simetrale spojnice pojedinih stanica. Takvim se postupkom određuju utjecajni poligoni oko svih stanica u poriječju. Koriste se sve stanice koje utječu na proračun (mogu biti i izvan poriječja). Thiessenov postupak se, dakle, zasniva na podjeli poriječja na područja za koje približno vrijede podaci svake od meteoroloških stanica uzetih u proračun.

Metoda Thiessenovih poligona, ima jednu manjkavost, a to je da ovaj postupak ne uzima u obzir izravan utjecaj reljefa, odnosno promjenu količine padalina s visinom. Z. Srebrenović sa suradnicima (1985.) je, da bi izbjegao tu manjkavost, proširio iskaz za proračun godišnje padaline (P) tako da je u proračun uzeo u obzir porast količine padalina s visinom.

Tako je izraz: $P = \sum \frac{F_i}{F} \times H_i$ dopunjen u izraz $P = \sum \frac{F_i}{F} \times H_i + \sum (h_s - h_i) \times \frac{\Delta P}{\Delta h}$,

gdje je P = godišnja padalina u mm

F_i = površina poligona i unutar poriječja

F = površina poriječja

h_s = prosječna visina poriječja

h_i = visina meteorološke / kišomjerne stanice i

$\Delta P/\Delta h$ = stopa porasta količine padalina s visinom u mm/m.

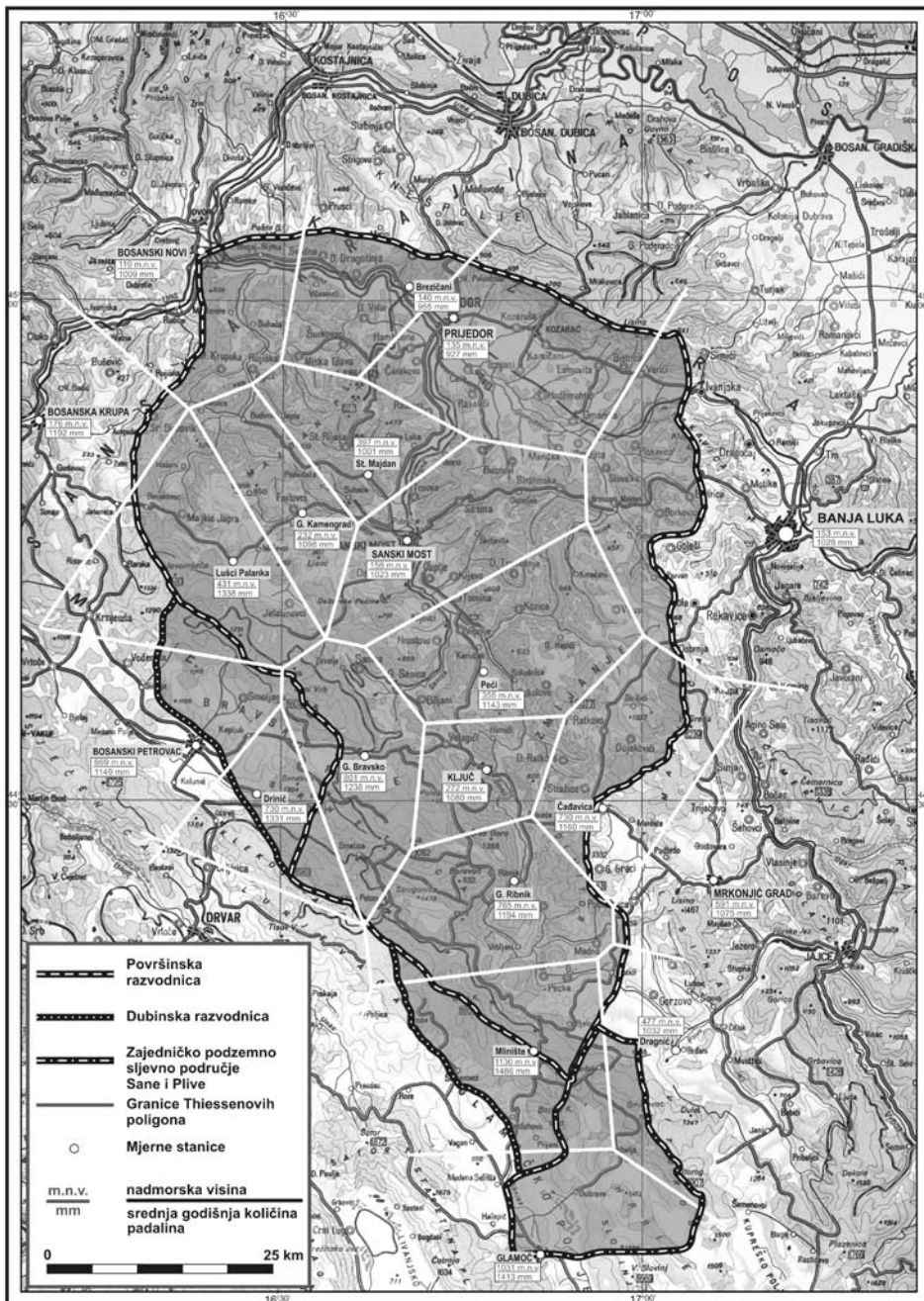
Ovom preinakom Thiessenov postupak dobiva na vrijednosti. U proračun za poriječje Sane je uvršten podatak za stopu porasta od 0,372 mm/m. Time je jače naglašena ovisnost količine padalina o nadmorskoj visini napose za južni, hipsometrijski viši dio poriječja. U nizinskom dijelu poriječja promjene padalina više ovise o drugim pokazateljima nego o promjeni nadmorske visine.

Prikaz Thiessenovih poligona u poriječju Sane (sl. 6.) i tablica 2. prikazuju način proračuna prosječne godišnje padaline u poriječju. Slijedi da je prosječna godišnja količina padalina u poriječju 1148 mm prema prihvaćenom standardnom nizu podataka 1961.-1990.

Tab. 2. Proračun godišnje količine padalina u poriječju Sane

POVRŠINA PORIJEČJA F (km ²)	PROSJEČNA VISINA PORIJEČJA h_s (m.n.v.)	NAZIV STANICE i	POVRŠINA POLIGONA F_i (km ²)	UDIO POLIGONA F_i/F	GODIŠNJA PADALINA STANICE P_i (mm)	VISINA STANICE h_i (m.n.v.)	$(F_i/F) P_i$	$h_s - h_i$	$(F_i/F) * (h_s - h_i) * 0,372$
4.517,3	475	BOSANSKI NOVI	172,2	0,038	1009	119	38,463	356	5,048
		BOSANSKA KRUPA	24,9	0,006	1192	176	6,570	299	0,613
		BOS. PETROVAC	112,7	0,025	1149	669	28,666	-194	-1,800
		BREZIČANI	196,2	0,043	955	140	41,479	335	5,413
		LUŠCI PALANKA	323,7	0,072	1338	431	95,878	44	1,173
		DRINIĆ	130,7	0,029	1331	730	38,510	-255	-2,745
		GLAMOČ	200	0,044	1413	1031	62,559	-556	-9,157
		G. KAMENGRAD	209,9	0,046	1098	232	51,019	243	4,200
		G. BRAVSKO	304,9	0,067	1238	801	83,560	-326	-8,185
		STARI MAJDAN	212,5	0,047	1001	397	47,088	78	1,365
		SANSKI MOST	367,7	0,081	1023	158	83,270	317	9,599
		PRIJEDOR	438,7	0,097	927	135	90,026	340	12,283
		G. RIBNIK	344,5	0,076	1194	765	91,057	-290	-8,227
		PEĆI	398,2	0,088	1143	355	100,755	120	3,935
		KLJUČ	175,2	0,039	1080	272	41,887	203	2,929
		MLINIŠTE	343,9	0,076	1486	1130	113,129	-655	-18,550
		ČADAVICA	209,5	0,046	1160	730	53,798	-255	-4,399
MRKONJIĆ GRAD	3,5	0,001	1075	591	0,833	-116	-0,033		
BANJA LUKA	265	0,059	1028	153	60,306	322	7,027		
DRAGNIĆ	83,4	0,018	1032	477	19,053	-2	-0,014		
PROSJEČNA GODIŠNJA KOLIČINA PADALINA U PORIJEČJU (mm) = 1147,904								+	0,475

Izvor: Prema podacima HMZ BiH izračunao autor



Sl. 6. Proračun godišnje količine padalina u poriječju Sane primjenom Thiessenovih poligona
 Fig. 6 Estimate of annual precipitation quantity in the Sana river drainage basin using Thiessen's polygons

ZAKLJUČAK

Poriječje Sane u sjeverozapadnom dijelu Bosne i Hercegovine je općenito humidno područje, a klimatski tip prema Köppenu je Cfb. Prosječne godišnje količine padalina iznose od 927 mm (Prijedor) do 1486 mm za stanicu Mlinište (1130 m.n.v.). Veza padalina i nadmorske visine uočava se putem linearne korelacije koja je izračunata za sve stanice uključene u proračun godišnje količine padalina i posebno za stanice unutar poriječja. Zbog toga što stanica Mlinište djeluje kao faktor koji odvlači pravac i povećava pokazatelj korelacije provedena je linearna korelacija koja ne uključuje stanicu Mlinište. Prema tome, u poriječju Sane se može očekivati da s porastom visine poriječja za 100 metara godišnje padaline rastu od 30 mm do 44 mm.

U proračun za izračunavanje godišnje količine padalina je uvršten podatak za stopu porasta od 0,372 mm/m. Preinakom Thiessenov postupak dobiva na vrijednosti. Jače je naglašena ovisnost količine padalina o nadmorskoj visini napose za južni, hipsometrijski viši dio poriječja. U nizinskom dijelu poriječja promjene padalina više ovise o drugim pokazateljima nego o promjeni nadmorske visine. Završno, prosječna godišnja količina padalina u poriječju iznosi 1148 mm prema prihvaćenom standardnom nizu podataka 1961.-1990.

LITERATURA I IZVORI

Godišnje padavine u meteorološkim stanicama izabranim za proračun godišnje padavine u poriječju Sane za razdoblje 1961.-1990. (za 19 stanica), HMZ F BiH, Meteorološki odjel, Sarajevo, 2005.

HE Vrhpolje sa HE Čaplje, Elaborat, Energoinvest, Sarajevo, 1999.

Hydroenergetsko korištenje rijeke Sanice sa pritocima, Elaborat, Energoprojekt, Beograd, 1986.

Kanaet, T., 1959.: O nekim problemima hidrografije u slivu rijeke Plive, Geografski pregled, br. 3., 37-62., Sarajevo.

Srebrenović, D., 1986.: Primjenjena hidrologija, Tehnička knjiga, Zagreb

Srebrenović, Z. i suradnici, 1985.: Vodoprivredno rješenje uređenja sliva rijeke Krapine, Elaborat, knj. 1., VRO Zagreb OOUR Prijeht, Zagreb