

RAZPRAVE PAPERS

Letnik 28

2

Vsebina — Contents	Stran
Z. Petkovšek: Klimatski model skupnega vpliva okolja na zbiralnik sončne energije A climatic model of the net influence of the environment on a flat-plate solar energy collector	51
J. Pristov, B. Zupančič, K. Škerjanc, A. Stele: Prikaz izdelave vodne bilance na Savi Dolinki Water budget calculation method for Sava Dolinka river basin	63

**KLIMATSKI MODEL SKUPNEGA VPLIVA OKOLJA NA ZBIRALNIK
SONČNE ENERGIJE**

**A CLIMATIC MODEL OF THE NET INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT
ON A FLAT-PLATE SOLAR ENERGY COLLECTOR**

**Zdravko PETKOVŠEK,
VTOZD Fizika, FNT, Ljubljana**

UDK 551.5:551.58

POVZETEK

Na osnovi mesečnih klimatskih podatkov in tipičnih dnevni razporeditev vplivnih meteoroloških parametrov je s prikazanim modelom mogoče izračunati letno razporeditev in letno vsoto koristne energije, ki jo da standardni zbiralnik v nekem kraju. Model je zgrajen na modelu bilance energijskih tokov in koristne energije zbiralnika in je prirejen za klimatske podatke. Poleg kvaziglobalnega obsevanja upošteva še vpliv temperature zraka, vetra in pojavov, ki močijo zbiralnik. Primeri izračunov so dani za Ljubljano in Koper.

SUMMARY

The model is based on the balance of energy fluxes and the removal of useful energy from a standard flat-plate solar energy collector (Petkovšek and Rakovec 1983), adjusted for climatic data and for calculation of the annual amount of expected useful energy. This also enables an estimation of the usefulness of the application of such a collector in different places or climatic conditions.

Studying the normalised distributions of quasiglobal insolation Q , air temperature T , and useful energy W under dry and low — wind conditions, it was found that the influence of air temperature can be included in the efficiency (η) in a main term including Q . Thereafter practically only wind, and phenomena that wet the collector, diminish its effectiveness or production of useful energy.

Investigations of the wind-term for two climatically rather different places (Ljubljana and Koper) have shown that in different weather conditions wind influences can be very variable. In the climatic approach, however, a linear function of average wind speed is satisfactory, if multiplied by the appropriate weighting factor u_v for the chosen location.

The collector can become wet (due to precipitation, dew, fog etc.) and cooled. Additionally, a thin film of remaining water must evaporate, using some energy. The climatic influences of these phenomena on useful energy loss depend on the real frequency of wetting phenomena and their daytime distributions. It was found that it can be approximated by a parameter (although not simply determined) defined as „wetness duration“ M in a typical day of the month,

Po mnenju Republiškega sekretariata za prosveto in kulturo št. 421-1574 je revija oproščena temeljnega davka od prometa proizvodov.

given in hours. Numerical experiments and comparisons have shown that the weighting factor in this term u_M is rather general (for central Europe).

The rather simple final equation (6) represents the structure of the model, and the results for the places tested, presented in the final table, show many characteristic values.

UVOD

Energijsko-bilančni model zbiralnika sončne energije, ki smo ga izdelali in izpopolnili, ter uporabili za ugotavljanje trenutnega vpliva meteoroloških parametrov na njegov izkoristek (Petkovšek in sod., 1982, 1983 a, b), nam je omogočil izračun dnevne koristne energije pri izbranih pogojih. Pri tem je bilo treba poznati dnevne razporeditve kvaziglobalnega obsevanja (kot glavnega dobavitelja energije), kakor tudi dnevne razporeditve drugih vplivov vremenskih parametrov oz. parametrov okolja (temp. zraka, vetra, oblačnosti in drugih pojavov, ki odvajajo toploto od zbiralnika v okolico in s tem zmanjšujejo njegovo koristno moč).

Pri oceni ekonomske upravičenosti postavitve zbiralnika oziroma ugotovitvi koristi, ki jo lahko da v nekem kraju, moramo poznati poprečne ali tipične letne vrednosti koristne energije izbranega zbiralnika. Zato smo sestavili model, ki na osnovi dosedanjih spoznanj in dodatnih tu prikazanih analiz, omogoča oceno letne razporeditve in letne koristne moči, ki jo lahko da standardni modelski zbiralnik sončne energije v posameznih krajih Slovenije, na preprost način.

Na taki oceni letne vsote dobljene koristne energije je mogoče nato presojati ekonomsko korist standardnega zbiralnika ali pa, kako je treba prilagoditi njegove karakteristike specifičnim klimatskim razmeram, da bi bila korist največja.

Na koncu je podana tudi ocena napake takega določanja koristne energije. Spoznali bomo, da ta ni velika, saj je veliko manjša, kot so fluktuacije odločujočih parametrov od leta do leta. To pa pomeni, da ta klimatski model ustreza.

Za primer sta obravnavana kraja Koper in Ljubljana, kot dva klimatsko dokaj različna, a območno reprezentativna kraja Slovenije. Na osnovi izdelane metode oz. modela, je mogoče izdelati analogne ocene tudi za druge kraje, za klimatsko podobne kraje pa tega niti ni treba, saj so rezultati zanje dovolj podobni.

KLIMATSKI MODEL

Izhajamo iz postavke, da je koristna energija zbiralnika sončne energije v izbranem kraju v tipičnem dnevu nekega meseca določena z dnevno energijo kvaziglobalnega obsevanja (Q), ki pade na ploskev izbranega nagiba in usmerjenosti, toda zmanjšana za faktor izkoristka zbiralnika (η) — glede na njegove lastnosti ter dodatnega zmanjšanja za člene vpliva okolja (ΔW). Tako zapišemo za izbran mesec tipično dnevno koristno energijo, ki jo da zbiralnik.

$$W = Q\eta - \Delta W_T - \Delta W_V - \Delta W_M \quad (1)$$

kjer so poleg že navedenih količin, T temperatura zraka, V hitrost vetra in M padavine in dru-

gi pojavi, ki povzročajo omočenost zbiralnika. Ti trije so namreč glavni parametri vpliva okolja na zmanjšanje koristne energije, ki jo da zbiralnik.

Člene zmanjševanja bomo določili tako, da bo mogoče s čim preprostejšimi podatki o posameznih elementih in pojavih določiti oz. oceniti poprečno dnevno koristno energijo v tipičnem dnevu posameznega meseca in kraja. Razporeditev tako dobljenih mesečnih enot koristne energije, nam da tipično letno razporeditev oz. letni potek koristne energije zbiralnika sončne energije v izbranem kraju. Končno je tipična letna vsota koristne energije preprosto vsota mesečnih vrednosti.

Problem je določitev izkoristka zbiralnika in členov vpliva okolja. Posamezni členi en. (1) namreč niso neodvisni, ampak so med seboj dokaj povezani, saj je npr. od temperature zraka odvisen izkoristek zbiralnika, pa tudi vpliv vetra in padavin nanj, itd. Da bi zadevo primerno poenostavili in opravičili preprostost enačbe (1) moramo posamezne vplive ustrezno presoditi in jim določiti ustrezne utežne faktorje. Videli bomo, da je mogoče en. (1) še poenostaviti.

Celodnevna integracija koristne moči po energijsko-bilančnem modelu za različne klimatske razmere in postavljene odstope od njih je osnova za izračun utežnih faktorjev in klimatskih vrednosti posameznih členov. Omenjen energetsko-bilančni model ni preprost in je podan drugje (Petkovšek in Rakovec 1983). Delamo za standardni zbiralnik, ki je v celotnem tem delu enak: eno steklo, absorber z emisivnostjo 0,9 in delovno temperaturo absorberja 40°C , obrnjen proti jugu in nagnjen za 40° od horizontale.

Iz dosedanjih proučevanj je razvidno, da so daleč najpomembnejši členi energijskih tokov posledica sevanj, medtem ko so kondukcijski in konvekcijski členi znatno manjši. To se pozna seveda tudi v našem klimatskem modelu.

Pri uporabi tega klimatskega modela so potrebne poprečne ali tipične mesečne vrednosti in razporeditve raznih parametrov iz večletnega obdobja. Toda ker vseh takih vrednosti ni oz. je njihova določitev preobsežno delo, so potrebne nadaljne metode poenostavitve. Prek njih določimo ali ocenimo odločilne vrednosti za dva ali štiri preišljeno izbrane mesece, da dobimo vrednosti s katerimi konstruiramo potrebne letne razporeditve. Način dela, izbire, presoje in aproksimacije pa so nadaljnje značilnosti klimatskega modela, ki ga predstavljamo.

Izrazito najpomembnejši člen v energijski bilanci zbiralnika in pri dobavi njegove energije je kvaziglobalno obsevanje (Q — direktno in difuzno obsevanje nagnjene površine). V Q so že upoštevani lokalni vplivi oblačnosti, megle, motnosti ozračja, dodatnega onesnaženja zraka i.d. Q je tu dnevna vsota sončne energije, ki pade na zbiralnik, katero pa potem bolj ali manj uspešno izkoristi v odvisnosti od svojih lastnosti, položaja in od drugih klimatskih parametrov okolja.

Kvaziglobalno obsevanje je že dokaj detaljno proučeno in določeno celo za vsako uro dneva (tipičnega v mesecu) za 30 krajev Slovenije in to celo za tri različne nagibe in razne usmeritve izpostavljene površine (Hočevar in sod. 1982). Podatki spadajo med klimatske vrednosti, računani pa so na osnovi 20-letnih nizov opazovanj in so torej dovolj natančno poznani.

IZKORISTEK ZBIRALNIKA

Koliko energije, ki pade na zbiralnik sončne energije, ta pretvori v koristno toploto in jo shrani v rezervoarju, je odvisno tako od lastnosti zbiralnika, kot tudi od klimatskih razmer izbrane lokacije. Klimatske razmere so nespremenljive, medtem ko lastnosti zbiralnika vsaj v nekaterih mejah so, zato se morajo prilagajati klimatskim razmeram. Nekaj spoznanj o vplivih karakteristik zbiralnika na njegov izkoristek ob različnih vremenskih pogojih, je razvidno iz naših prejšnjih in splošnih raziskav (Meinel 1976, Petkovšek in sod. 1982 b, 1983 a in b). Če lotnejšo sliko o teh vplivih dobimo na osnovi ugotovitev v tem delu, za povsem natančne ugotovitve pa so potrebne kompleksne obdelave klimatskih razmer (npr. z izdelavo specialnih referenčnih let), kar pa terja ogromno dela.

Poudarili smo že, da je najpomembnejši člen pri dobavi in zato izračunu koristne energije Q odvisen tudi od drugih parametrov okolja. Z njim skupaj se pojavlja faktor izkoristka zbiralnika η , ki ni konstanten ampak prav tako odvisen od parametrov okolja (temperature zraka, vetra in raznih pojavov).

Iz presoje enačbe (1) sledi, da je člen vpliva vetra in člen vpliva omočenosti zbiralnika mogoče izključiti, saj so v naravi dejansko razmere ali celo obdobja z brezvetrjem in brez takih pojavov, ki bi zbiralnik omočili. Temperatura okolišnjega zraka pa je v času delovanja zbiralnika vedno nižja od temperature absorberja, kar povzroča neogiben odvod toplote od zbiralnika v okolico in s tem zmanjševanje njegove koristne moči. Izkoristek zbiralnika je torej vedno manjši od ena in temperaturnega vpliva pri tem sploh ni mogoče izločiti.

Da bi ugotovili teži vplivov posameznih parametrov (vrednosti členov enačbe (1)), smo simulirali izračune za oba značilna kraja in za izbrane značilne mesece tako, da smo najprej izločili eksplicitni vpliv vetra in padavin (sta pa v Q implicitno že zajeta). Ker ne moremo izločiti vpliva temperature zraka, lahko le s posebej premišljeno analizo ugotovimo njen vpliv na izkoristek zbiralnika pri realnih razporeditvah kvaziglobalnega obsevanja in temperatur v posameznem kraju. Značilni klimatski letni poteki obeh količin so nam poznani. Poteka Q in W nista paralelna, in ker sta vpliv vetra in omočenosti izločena, pripisujemo različnost potekov Q in W izkoristku in temperaturi zraka. Doprinos teh vplivov pa smo ugotovili prek normiranih vrednosti.

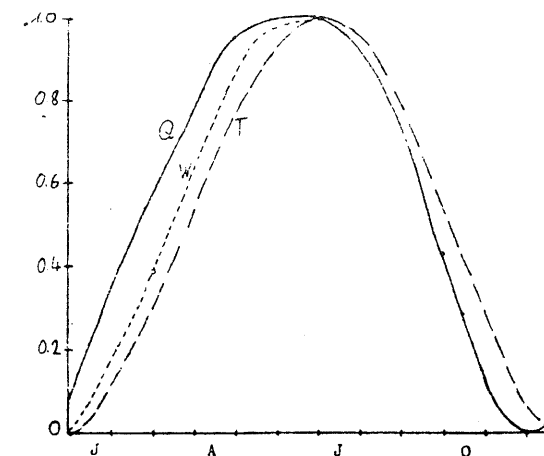
Letne poteke dimenzijsko različnih količin (Q , W in T) lahko primerjamo le, če jih normiramo. Tu smo normirali vrednosti na letni razpon. Normirani poteki za vse tri količine za Ljubljano so prikazani na sliki (1). Na sliki (1) je tudi lepo viden, sicer znan fazni premik temperaturnega poteka v poznejši letni čas — zlasti v pomladni polovici leta. To pa pomeni, da je npr. ob enakem Q marca in oktobra, marca bolj hladno in zato je tedaj znatno nižji izkoristek enake na zbiralnik vpadle sončne energije. Iz teh razlik tudi ugotavljamo vpliv temperature zraka na izkoristek zbiralnika.

Drug način študija vpliva temperature na izkoristek zbiralnika sončne energije je bil, da smo pri računih dnevnih vrednosti izkoristka zbiralnika (po energijsko-bilančnem modelu) poleg izračunov za tipične temperaturne razporeditve, računali tudi za primere, če bi bile razporeditve za 10°C višje ali nižje.

Prek teh analiz smo dobili potek letne srednje dejanske razporeditve izkoristka η . To lahko dokaj dobro aproksimiramo s sinusno razporeditvijo tipa:

$$\eta' = A [1 + \sin(aQ - \Psi)] \quad (2)$$

kjer je A amplituda, a faktor in Ψ fazni premik. Vse tri določimo iz znanih vrednosti oz. mejnih pogojev normirane razporeditve vsakega kraja posebej. Tako so za Koper: $A = 33,0$, $a = 0,557 \text{ m}^2/\text{kWh}$ in $\Psi = 1,57$ ter za Ljubljano: $A = 30,7$, $a = 0,860 \text{ m}^2/\text{kWh}$ in $\Psi = 2,50$.



Slika 1 Normirani letni poteki: kvaziglobalnega obsevanja Q , koristne energije zbiralnika W , in temperature zraka T , za Ljubljano

Fig. 1 Normalised annual distributions of: quasiglobal insolation Q , useful energy of collector W , and air temperature T , for Ljubljana

Kratek račun pokaže, da se v Ljubljani vsoti obeh načinov razlikujeta le za 2 %, v Kopru pa komaj za 1 %, kar je zanemarljivo. To pomeni, da so s to aproksimacijo zajeti tudi temperaturni vplivi in jih ni treba posebej upoštevati. Z enačbo (2) predstavljen izkoristek torej omogoča, da iz enačbe (1) izpustimo drugi — temperaturni člen, ker je vpliv temperature prek Q -ja in z η' že upoštevan. Namesto enačbe (1) velja zdaj preprostejša enačba:

$$W = Q\eta' - \Delta W_v - \Delta W_M \quad (3)$$

Tako smo torej prišli do načina, da preprosto in dobro oziroma dovolj natančno predstavimo glavni in najpomembnejši člen za določanje izkoristka zbiralnika sončne energije na osnovi vrednosti kvaziglobalnega obsevanja za posamezne mesece, ki so znane. Konkretno vrednosti tega člena bodo skupaj z drugimi podane na koncu razprave. Zdaj je potrebno, da določimo še primerne oblike drugih dveh členov, ki predstavljata vpliv vetra in vpliv omočenosti zbiralnika na njegov izkoristek v posameznem kraju.

VPLIV VETRA

Popolnega brezvetrja v naravi ni, saj se zrak zaradi lokalnih reliefnih in urbanih vplivov vedno vsaj nekoliko giblje. Gibanje gotovo velja za dnevni čas, ko zbiralnik deluje. Zato je

kot osnova privzeta hitrost vetra $V = 0,7$ m/s. To po naši presoji še ustreza »brezvetrju« oz. mirnemu vremenu, a kljub temu omogoča izračun turbulentnih tokov oz. pretokov.

Ob popolnem mirovanju zraka bi sicer ne bilo čistega turbulentnega odvoda toplote od zbiralnika v okolišnji zrak, a ob toplejšem zbiralniku bi se razvila termična konvekcija, ki bi učinkovala podobno kot mehanična turbulenca.

S povečanjem hitrosti vetra se v času delovanja toplejšega zbiralnika odvaja več toplote. Zato je tudi ta člen implicitno odvisen od temperature zraka. Če npr. v Kopru prične pihati burja, se zaradi znižanja temperature ob povečani hitrosti vetra, učinek zbiralnika močno zmanjša. Klimatsko pa moramo zadevo obravnavati drugače.

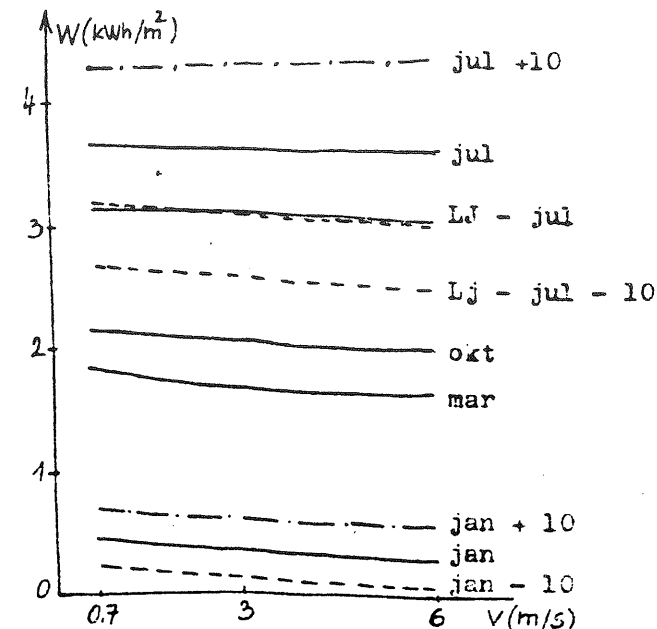
Za oceno klimatskega vpliva vetra vključno s temperaturo tudi tu uporabimo primerjalne izračune po energijsko-bilančnem modelu za izbrane pogoje, uporabimo pa tudi prej izvedeno študijo. Rezultate posebnih izračunov vidimo grafično predstavljene na sliki 2. Iz predstavitve vidimo, da se (razen v primeru nadnormalno visokih temperatur) z večanjem hitrosti vetra, koristna moč zbiralnika zmanjša. Glede na velike razlike hitrosti vetra, so absolutne vrednosti zmanjšanja koristne energije majhne: Pri spremembi vetra od 0,7 m/s na 6,0 m/s so razlike v dnevni koristni energiji komaj med 0,08 in 0,20 kWh/m², in sicer malo več pri nižjih kot pri višjih temperaturah. Ker pa so pri višjih temperaturah absolutne vrednosti koristne energije velike, je poleti vpliv vetra skoraj zanemarljiv, saj dosega komaj 3 % vrednosti prvega člena enačbe (3). Pozimi, ko so izkoristki v splošnem majhni, pa je lahko izkoristek zbiralnika zaradi vetra tudi klimatsko relativno velik. Absolutno vzeto, pa ostane vpliv tega člena majhen.

Naši enačbi (1) ali (3) podajata absolutne vrednosti, in ker so razlike teh glede na veter majhne, je zadeva preprostejša in lahko zavzame ustrezen člen preprosto obliko. Postavimo, da je odbitek koristne energije zbiralnika zaradi vetra sorazmeren hitrosti vetra, kar opravičuje skoraj linearna odvisnost med W in V na sliki 2 (kar je delno posledica postavk energijsko-bilančnega modela). Zato lahko zapišemo člen vpliva vetra v obliki

$$W_v = u_v V \quad (4)$$

kjer je u_v utežni faktor in V klimatska vrednost hitrosti vetra v izbranem kraju in mesecu. Iz slike 2 sledi, da ima utežni faktor vrednost približno: za Koper $u_v = 0,030$ kWh/m³s⁻¹ in za Ljubljano $u_v = 0,026$ kWh/m³s⁻¹.

Letna poteka hitrosti vetra za obravnavana kraja Koper in Ljubljano sta znana (Petkovšek 1983 a) in kažeta dokajšnje razlike v razporeditvi in v vrednostih, čeprav imata obe razporeditvi največje vrednosti spomladi. Glede na zgornje ugotovitve in dokaj netipične oblike razporeditve gotovo ni vredno iskati funkcijskih približkov, saj bi ne bili preprosti. Za prvo oceno vpliva vetra vzamemo zato kar letno poprečni veter. Ta je v Ljubljani 1,0 m/s in je torej le neznatno nad »brezvetrjem«, z njim pa ima ta člen enačbe (3) — računajoč po enačbi (4) vrednost komaj 0,026 kWh/m², kar je poleti zanemarljivo, pozimi pa niti ne. V Kopru je poprečna letna hitrost vetra 2,3 m/s ter ima člen dnevnega zmanjšanja koristne energije zbiralnika vrednost 0,070 kWh/m². Produkt števila dni v letu bi dal vrednost 25,5 kWh/m² kar pa je manj, kot če računamo natančneje po posameznih mesecih, kot smo to naredili za boljši končni prikaz. Pomembnost tega člena smo tudi tako dobro ocenili.



Slika 2 Koristna energija suhega zbiralnika v odvisnosti od hitrosti vetra za razne mesece v Kopru (za Ljubljano julija — Lj), — za tipičen dnevni potek, — — za 10°C povišano in — — — za 10°C znižano temperaturo

Fig. 2 Useful energy of dry collector as a function of wind speed for different months in Koper (Ljubljana July only — Lj), — for typical temperature, — — for 10°C enlarged, and — — — for 10°C decreased temp.

OMOČEN ZBIRALNIK

Padavine omočijo zbiralnik, ga ohladijo in s tem zmanjšajo njegov izkoristek na dva načina: — z neposredno ohlavitvijo stekla na temperaturo padavin in — z izhlapevanjem na steklu preostale vode.

Pri tem je manj pomembna količina in bolj pogostnost padavin, ker, kar je vode več, odteče, na steklu pa ostane ca 0,2 mm debela plast vode, ki mora izhlapati. V času delovanja zbiralnika pa je jakost izhlapevanja navadno zadostna (Matičič 1983, Petkovšek in sod. 1984).

V standardni klimatski obdelavi meteoroloških podatkov imamo navadno le dnevno količino padavin in število padavinskih dni ter redkokje dnevne razporeditve padavin za krajšo dobo. Tu potrebnih podatkov o posameznih trajanjih padavin oz. številu padavin s presledki itd. ni na medijih za računalniško obdelavo. Klasična obdelava pa je zelo zamudna in jo je mogoče izvesti le za nekatera vzorčna leta. Že v prejšnji študiji (Petkovšek in sod. 1983 b) smo uvedli pojem omočenosti zbiralnika in izdelali metodo za njeno določitev. Je pa to še bolj zamudno delo (saj vključuje poleg padavin še druge pojave) ter do izdelave ustreznega referenčnega leta

za te namene, ni pričakovati boljših obdelav. Zato bomo uporabili že obdelane podatke in izdelali metodo za njihovo aplikacijo na ta klimatski model.

Pojavi, ki predvsem povzročajo omogčenost zbiralnika so:

- izpodnebne padavine (pršenje, dež, sneg)
- rosa in slana ter
- megla, katere kapljice se usedajo na zbiralnik.

Tudi vsaka nova snežna odeja in poledica imata na zbiralnik svojevrsten vpliv, ki ga v tej prvi aproksimaciji še ne bomo upoštevali, njun glavni vpliv pa je že zajet pri padavinah.

Pri študiju vpliva zgoraj navedenih pojavov v dnevnem ciklu smo upoštevali začetne jutranje omočenosti (zaradi rose, slane, megle in nočnih padavin) ter pogostnost padavin med dnevom (v času delovanja zbiralnika) npr. plohe. Ker klimatske vrednosti časovne razporeditve teh pojavov niso obdelane in znane, poenostavimo pojem omočenosti, ki je vezan na konkretne ure dneva na t. i. »trajanje omočenosti« v tipičnem dnevu posameznega meseca in kraja. Ta parameter določimo iz prejšnjih študij, v katere sta bila vključena tudi oba tu obravnavana kraja, vpliv tega parametra v klimatskem smislu pa določimo na podoben način, kot pri vetru.

Rosa, megla in padavine se lahko pojavijo isti dan ali celo hkrati (Roach 1974, Petkovšek in sod. 1984), zato njihove vsote včasih presegajo število dni meseca in direktno niso uporabne. Toda z njihovo pomočjo in na osnovi drugih spoznanj, najprej ocenimo število ur (trajanje) omočenosti zbiralnika v tipičnem dnevu posameznega meseca — čeprav je dejansko pozimi v Ljubljani pogosto megla ves dan (Petkovšek 1971). Nato pa na osnovi analiz prejšnje študije, določimo tipično dnevno razporeditev omočenosti zbiralnika v izbranih krajih in mesecih. Tako dobljene dnevne razporeditve omočenosti so podane v tabeli 1. Vrednosti so seveda ocenjene in smiselno prirejene: npr. popoldanska rosa ali megla prviloma ne moreta nastati v času, ko zbiralnik še deluje (zlasti pa ne rosa na njem), in tudi pozno popoldanske padavine na izkoristek zbiralnika skoraj nimajo vpliva.

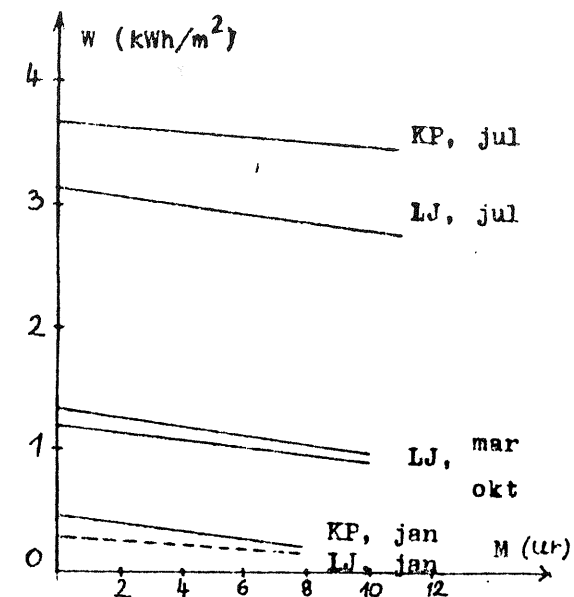
Tabela 1 Tipične dnevne razporeditve omočenosti zbiralnika sončne energije v Kopru in Ljubljani za izbrane mesece (ocena)

Table 1 Typical daily distributions of wetness of collector in Koper and Ljubljana for chosen months (assessment)

Ura	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	12—13	13—14
KOPER										
januar	M	M	M	M				M		
julij	M							M		
LJUBLJANA										
januar	M	M	M	M	M		M	M		
marec	M	M	M					M		
julij	M	M							M	M
oktober	M	M	M	M	M		M	M		

S tako ocenjenimi razporeditvami omočenosti smo računali dnevni izkoristek zbiralnika pri tudi sicer tipičnih pogojih za vsak izbran kraj in mesec. Poleg tega smo računali še za primere,

da bi bil zbiralnik omočen stalno do 14 ure. Rezultati teh izračunov so podani na sliki 3, ki prikazuje koristno energijo v odvisnosti od trajanja omočenosti M. Pri tem smo za trajanje omočenosti v tipičnem dnevu šteli ure, začeni ca. 2 uri pred sončnim vzhodom, ker mnoge ure omočenosti npr. pozimi ponoči, na izkoristek zbiralnika seveda nimajo vpliva in je bilo treba podatke časovno smiselno urediti.



Slika 3 Koristna energija zbiralnika v odvisnosti od trajanja njegove omočenosti v različnih mesecih (Koper — KP, Ljubljana — LJ)

Fig. 3 Useful energy of collector as a function of duration of its wetness in different months (for Koper — KP, and Ljubljana — LJ)

Iz slike 3 je tudi očitno, da je koristna energija najbolj odvisna od letnega časa (Q in T), kar je zajeto v prvem členu na desni enačbe (3). Vpliv same omočenosti, pa dobimo iz nagiba linij, saj je očitno tudi tu (podobno in še bolje kot pri vetru) odvisnost linearna. To linearno zmanjšanje koristne energije v odvisnosti od trajanja omočenosti zbiralnika, je v Kopru in v Ljubljani približno enako in znaša 0,036 kWh na m² in uro omočenosti, kar že predstavlja utežni faktor vpliva omočenosti. Iz te linearne odvisnosti sledi zdaj preprosta določitev zadnjega člena na desni strani enačbe (3), ki je

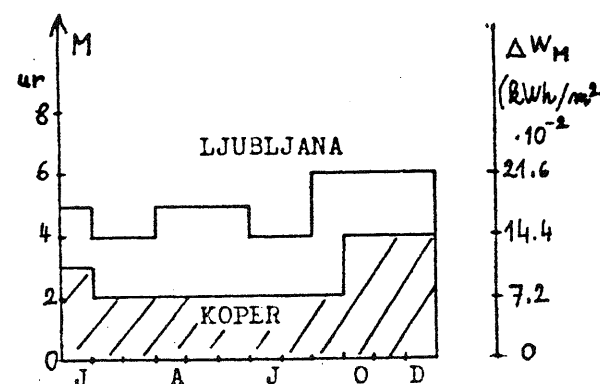
$$W_M = u_M M \quad (5)$$

pri čemer je M trajanje omočenosti v urah v času od ca. 2 uri pred sončnim vzhodom do 14 ure v tipičnem dnevu posameznega meseca; utežni faktor pa je $u_M = 0,036 \text{ kW/m}^2$. Ta je splošen, kajti če velja za tako različna kraja kot sta Ljubljana in Koper, velja dovolj dobro tudi za druge kraje Slovenije. Glavna težava pri oceni člena omočenosti je v tem, da parameter M iz klimatsko obdelanih podatkov o padavinah, slani, rosi, megli itd. ni preprosto določljiv.

Podobno, kot člen vetra, je tudi ta člen enačbe (3) v primerjavi s prvim majhen, saj znaša dnevna vrednost zmanjšanja koristne energije zaradi omočenosti zbiralnika večinoma pod 0,2 kWh/m². Pozimi je lahko vrednost dvakrat tolikšna, kar pomeni pri koristni energiji, ki je tedaj v celoti majhna, relativno veliko. Sicer pa bomo absolutne in relativne vrednosti posameznih členov pregledali in presodili skupaj ob zaključku.

Za ugotovitev celoletnih vrednosti vpliva tega člena moramo poznati letno razporeditev tipične omočenosti (posameznih mesecev). Te seveda nimamo, toda njen dokaj dober približek lahko dobimo za obravnavana kraja na osnovi ustrezne presoje klimatskih razmer (letne razporeditve megle, rose in števila padavinskih dni). Tako ocenjeni letni razporeditvi trajanja omočenosti zbiralnika sta prikazani na sliki 4. To so zares grobe ocene, a več za zdaj ni mogoče storiti (do izdelave zadevnega referenčnega leta). Ker pa je vpliv tega člena sorazmerno majhen, tudi absolutna ocena celotne koristne energije ne bo bistveno trpela.

Ker je zmanjšanje izkoristka zbiralnika zaradi omočenosti sorazmerno parametru M, predstavlja razporeditev na sliki 4 približno tudi letni potek zadnjega člena enačbe (3), vrednosti pa je možno razbrati na desni skali te slike.



Slika 4 Ocenjeni letni razporeditvi parametra „trajanje omočenosti“ M — leva skala in dnevno zmanjšanje koristne energije zaradi omočenosti zbiralnika W_M — desna skala

Fig. 4 Assessed annual distribution of parameter „wetness duration“ M — left scale, and daily decrease of useful energy due to wetness of collector W_M — right scale

KONČNA OBLIKA IN SKLEP

Glede na navedene transformacije zadnjih dveh členov enačbe (3), lahko zdaj z enačbama (4) in (5) zapišemo enačbo za izračun koristne energije zbiralnika sončne energije v tem klimatskem modelu v obliki, ki omogoča neposredne izračune. Ta je zdaj za dnevne vrednosti

$$W = Q\eta' - u_v V - u_M M \quad (6)$$

pri čemer je treba poznati tipične oz. klimatske dnevne vrednosti vplivnih parametrov v posameznih mesecih.

Ker sta zadnja člena na desni zgornje enačbe glede na prvega majhna, lahko v skladu s prejšnjimi ugotovitvami vzamemo faktorja u_v in u_M čez vse leto konstantna — u_M je celo za oba kraja enak.

Mesečne in celoletne vrednosti posameznih členov in koristne energije dobimo z množenjem in seštevanjem. Rezultati tako dobljenih izračunov in letne vsote za oba kraja in izbrane mesece so podani v tabeli 2.

Tabela 2 Mesečne in letne vrednosti koristne energije W in členov enačbe (6) za standardni zbiralnik in tipične klimatske razmere v Kopru in Ljubljani v kWh/m². V oklepajih so relativne vrednosti v % glede na Q.

Table 2 Monthly and annual values of useful energy W and separate terms of eq. (6) for standard collector and typical climatic conditions in Koper and Ljubljana — kWh/m². Relative values regarding Q in % are in parenthesis.

	Q	U _v V	u _M M	W	Q
KOPER					
januar	12,4(20)	2,1(3)	3,4(6)	6,9(11)	61,8
julij	114,7(65)	1,8(1)	2,2(1)	109,5(63)	174,6
na leto	808,1(55)	25,2(2)	36,2(2)	746,6(51)	1458,5
LJUBLJANA					
januar	0	0,5(.5)	5,6(16)	0	36,1
marec	43,4(42)	1,0(1)	4,5(4)	37,9(37)	103,1
julij	96,1(60)	0,9(1)	4,5(3)	90,7(57)	159,4
oktober	37,2(43)	0,6(1)	6,7(8)	29,7(34)	86,1
na leto	604,8(50)	9,5(1)	65,8(5)	529,5(44)	1211,4

Iz table 2 vidimo, da sta druga dva člena enačbe (6) glede na prvega znatno manjša, vendar ne povsem zanemarljiva. V obeh krajih je pozimi ob majhnem kvaziglobalnem obsevanju Q, tudi koristna energija, ki jo da glavni člen majhna, toda tudi poleti ne preseže v Kopru 65 % in v Ljubljani 60 % Q-ja. To je predvsem posledica velike (a realne) emisivnosti absorberja.

Dodatno znižanje koristne energije zaradi vetra je absolutno in relativno večje v Kopru, ki ima več vetra. Obratno pa člen omočenosti zbiralnika mnogo bolj zniža koristno energijo v Ljubljani, kjer so pogostejši pojavi, ki omočijo zbiralnik.

V tipičnem januarskem dnevu (in zato po tem modelu januarja) tak zbiralnik sploh ne da koristne energije. Dejansko je kako leto v izjemno sončnem dnevu lahko tudi nekaj da, vendar kaže izračun, da bi pri zbiralniku z manjšo emisivnostjo absorberja, člen omočenosti pobral kar 16 % kvaziglobalnega obsevanja in za 5,6 kWh/m² zmanjšal koristno energijo, ki bi bila v celoti le nekajkrat večja.

Končni podatki letne vsote koristne energije v tabeli 2 kažejo, da nam dá tak standardni zbi-

ralnik v Kopru na leto ca. 750 kWh/m² koristne energije, v Ljubljani pa le ca. 530 kWh/m², kar je ca. 30 % manj kot v Kopru. V Kopru znaša skupni izkoristek 51 %, v Ljubljani pa le 44 % kvaziglobalnega obsevanja, ki pade na — proti jugu orientirano in za 40° nagnjeno enotno ploskev.

Ker so te vrednosti tako rekoč ekstremne glede na klimatske razmere v Sloveniji, pričakujemo, da je v večini krajev koristna energija, ki jo lahko pričakujemo od takega zbiralnika nekje vmes.

Preprost zmnožek izračunane koristne energije in cene npr. električne energije, nam omogoča oceniti, v kolikem času se investicija zbiralnika v kakem kraju amortizira.

Klimatskih razmer, kot je bilo že rečeno, ni mogoče spreminjati. Z izboljšanjem lastnosti zbiralnika (npr. emisivnostjo absorberja, dvojno zasteklitvijo i.d.) pa bi bilo mogoče dobiti tudi več energije — vendar seveda dokaj pod vrednostjo Q v posameznem kraju in mesecu.

Letni odkloni globalnega obsevanja v 12 letih (1966—77) znašajo npr. v Ljubljani do +11 % in do -16 % od poprečja. ti so torej mnogo večji kot napake izvedenih izračunov po predloženem modelu. To pa pomeni, da je model, kljub svoji preprostosti, dovolj dober in natančen. Večja natančnost je, glede na fluktuacijo Q iz leta v leto, celo nesmiselna.

LITERATURA

- Hočevar A. in sod., 1982, Sončno obsevanje v Sloveniji — Trajanje in energija, Bioteh. fak., VTOZD Agronomija, 96 str.
- Matičič B., 1983, Annual Research Report on Crop-Yield Evapotranspiration, Biot. Faculty, Agric. Eng. Dept., Ljubljana, No. 3
- Meinel A. and Meinel M., 1976, Applied Solar Energy, Addison Pub. Comp., Reading, Mass. 647 str.
- Petkovšek Z., 1971, Celodnevne megle v Ljubljani, Razprave-Pepers, 11, DMS, 31—45
- , 1981, Veter v sloveniji z vidika vpliva na zbiralnik sončne energije, Razprave-Papers, 26/1—2, DMS, 19—34
- Petkovšek Z. in sod., 1982b, Dopolnitev numeričnega modela izkoristka zbiralnika sončne energije glede na okolje — vpliv padavin, Bioteh. fak., VTOZD Agronomija, 17 str.
- Petkovšek Z. in Rakovec J., 1983, The Influence of Meteorological Parameters on Flat-Plate Solar Energy Collector, Archiv Met., Goph, Biokl, Ser. B, 33, 19—30
- Petkovšek Z. in sod., 1983b, Vpliv omočenosti in vetra na zbiralnik sončne energije v raznih krajih Slovenije, Bioteh. fak., VTOZD Agronomija, 30 str.
- , 1984, Klimatski vidiki poselitve Ljubljanske kotline, VTOZD Fizika, FNT, 72 str.
- Roach W. T., 1974, the Physics of Radiation Fog — A Field Study, Quart. Junr., RMS, 102, 313—333
- Stringer E. T., 1972, Techniques of Climatology, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 539 str.

PRIKAZ IZDELAVE VODNE BILANCE NA SAVI DOLINKI

WATER BUDGET CALCULATION METHOD FOR SAVA DOLINKA RIVER BASIN

Janko PRISTOV, Boris ZUPANČIČ, Karel ŠKERJANC, Alenka STELE
Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Ljubljana

551.579

SUMMARY

We calculated the water budget for a relatively small area of 500 km² on the basis of the coordination of three parameters: precipitation, evapotranspiration and runoff. We chose this particular area for two reasons; firstly, a lot of quality measurements were available, and secondly, this area is characterised by varied types of distribution of precipitation and evapotranspiration.

For our starting point, we used three sections within an area without underground runoff. On these sections we coordinated the space distributions of precipitation and evapotranspiration (calculated by Penman's method). We assumed the runoff to be well defined and exactly measured. In this step we changed the map of precipitation and also of evapotranspiration, especially in the highlands, where we had to increase precipitation and reduce evapotranspiration. These results, however displayed a discordancy of parameters in the area of the Radovna river basin, so they had to be adjusted on the highlands of Pokljuka and the Mežaklja watershed. These changes can be justified on the basis of geological factors.

In the lowland parts of this area we had a sufficient number of measurement points to establish the meteorological parameters, but in the highland parts we had to interpolate and extrapolate them. For precipitation in the highlands from 800 m to 1400 m we obtained an increase of about 75 mm/100 m, and above 1400 m, of about 50 mm/100 m. The map of the space distribution of precipitation obtained in this way showed a different picture from analyses that had been performed previously. The main difference is in the amount of precipitation between 1000 m and 1500 m on the Karavanke highland, and in decrease of precipitation from east to west. We also changed the calculated values of precipitation in the same parts of the highlands because of the lime-stone surface and snow cover.

On the basis of these first corrections we made maps of precipitation and evapotranspiration, and then we performed the same process for 22 sections. In these cases, because of underground runoff, we coordinated all three parameters. The final results we obtained in this way are satisfactory.

POVZETEK

Prikazana je metoda izdelave vodne bilance za reliefno zelo razgibano območje, kjer niso povsem določene razvodnice. Zanesljivi so padavinski podatki nekako do nadmorske višine

1000 m. Na osnovi usklajevanja padavin, izhlapevanja in pretokov ter poznavanja meteoroloških procesov nad omenjenim področjem so bile korigirane vodnobilančne razvodnice in izdelane karte padavin, izhlapevanja in odtokov. Te karte se znatno razlikujejo od doslej izdelanih podobnih kart za isto območje.

UVOD

Za izdelavo vodne bilance Slovenije je potrebno izdelati ustrezno metodologijo in jo preizkusiti na manjšem območju. Izbrano je bilo porečje Save Dolinke, kjer se prepletajo zelo različni faktorji, ki vplivajo na posamezne parametre vodne bilance. Za to porečje, kjer je teren zelo razgiban, z različnimi klimatskimi vplivi in heterogeno sestavo tal, obstaja dobra meteorološka in hidrološka dokumentacija za daljše obdobje. Cilj naloge je, da dobimo usklajene karte padavin, odtokov in izhlapevanja. Le tako je možno dobiti na območjih, kjer ni osnovnih podatkov, ustrezno vrednost odnosno razporeditev posameznih parametrov.

Doslej so bile izdelane pri nas le karte padavin, medtem ko je s to vodno bilanco prvič izdelana podrobnejša karta izhlapevanja in odtokov. Odtoki so se doslej določevali le za posamezne merske profile, odnosno so bili ti določeni korelativno ali pa na podlagi specifičnih odtokov. Na osnovi medsebojnega usklajevanja vseh treh parametrov vodne bilance je možno dobiti boljše vpogled v fizikalne zakonitosti posameznih parametrov, kar je možno koristno uporabiti na območjih z znatno manjšim številom merskih točk (visokogorski svet) ali tam, kjer posamezne vrste meritev niso reprezentativne za celotno območje (kraški svet).

V Sloveniji, pa tudi drugod po svetu, ni zadostne mreže merskih točk v visokogorskem svetu. To je precejšen problem pri interpretaciji prostorske porazdelitve nekaterih meteoroloških parametrov, kar velja še posebno za padavine.

Prednost našega izbranega območja je v tem, da imamo v Julijskih Alpah že vrsto let meritve padavin s totalizatorji. Obdelava padavin za celotne Julijske Alpe omogoča izdelati zadovoljivo preliminarno padavinsko karto za predel Save Dolinke, realne absolutne vrednosti padavin v gorskem svetu pa je možno dobiti šele na osnovi vodne bilance. Razni avtorji so pristopili k izdelavi kart z različnimi predpostavkami, nihče pa do sedaj ni upošteval vodne bilance. Šele v zadnjem času je večje število meritev in uporaba računalnikov omogočilo izdelavo vodne bilance, kar bo kvalitetno vplivalo na izdelavo različnih klimatoloških in hidroloških kart za gorsko območje.

Prvi se je sistematično ukvarjal s padavinsko problematiko na Slovenskem F. Seidel (1902). Temeljito študijo na osnovi daljšega niza podatkov je izdelal O. Reya (1930); več padavinskih kart Slovenije je izdelal D. Furlan in sicer za različna razdobja (1940—1960, 1926—1960) ter padavinsko karto za razdobje 1926—1965 v Vodnogospodarskih osnovah (1978). Na Hidrometeorološkem zavodu so bile izdelane različne padavinske karte tudi za razdobje 1956—1975, ki pa niso nikjer objavljene. Poleg teh kart so izdelane padavinske karte Jugoslavije za razdobje 1930—1960 (Atlas klime Jugoslavije).

Do sistematičnejšega usklajevanja med padavinami, pretoki in izhlapevanjem pa do zdaj še ni prišlo. Tudi razvodnja med posameznimi porečji so bila več ali manj določena na osnovi orografije. Zato velikosti površin, ki veljajo za porečje, bistveno ne odstopajo od vrednosti, navedenih že v katastru iz leta 1911.

Na področju izhlapevanja je bilo pri nas malo sistematičnega dela. Pri pregledu smo ugotovili, da je bilo več dela opravljenega pri vrednotenju rezultatov meritev izhlapevanja ter pri primerjavi posameznih inštrumentov, ki jih uporabljamo v naši mreži (Paradiž 1966, Furlan 1974), manj pa pri računanju evapotranspiracije. Omeniti moramo delo Furlana in sodelavcev (1966), v katerem je vrednotena evapotranspiracija na tri načine: z uporabo uteži pri meritvah izhlapevanja (uteži so bile prevzete iz tuje literature), z grobo oceno v okviru vodnobilančne enačbe ter z empirično enačbo avtorja Thornthwaita. Rezultati njegovega dela so pokazali potrebo po nadaljevanju dela s tem, da se z meritvami določi, kakšne so uteži pri meritvah izhlapevanja, oziroma da se preveri tiste, ki jih navajajo tuje raziskave; dalje, da se na posameznih porečjih natančneje določita parametra padavine in odtok ter, da se poizkuša računati evapotranspiracijo še z drugimi parametričnimi enačbami, saj Thornthwaitova metoda upošteva le povprečne mesečne temperature zraka. Otorepec (1969) je v svoji raziskavi uporabila enačbo Penmana in rezultate ocenila kot zelo dobre, vendar je bilo tedaj nadaljevanje tega dela zaradi zamudnega računanja praktično neizvedljivo. V novejšem času je pri računanju evapotranspiracije obsežno delo opravil Matičič (1977). Njegova analiza je rezultat štiriletnih intenzivnih meritev evapotranspiracije z lizimetri ter hkratnih meritev meteoroloških elementov v petih krajih v Jugoslaviji. Na osnovi opravljenih meritev je ocenil osemnajst empiričnih enačb za računanje evapotranspiracije. Enačbe je delil na šest skupin, in sicer na kombinirane, radiacijske, temperaturne, vlažnostne, metode multiple korelacije ter enačbe, ki upoštevajo meritve s posodo »A«. Zaradi relativno kratkega merilnega obdobja kažejo rezultati precejšnje sipanje in dobro ujemanje z meritvami v določenih pogojih ter posameznih časovnih obdobjih.

Največ gradiva o vodni bilanci je zbranega v Vodnogospodarskih osnovah, (1978). Pomanjkljivost tega prikaza vodnogospodarske bilance Slovenije pa je v tem, da med padavinami in odtoki ni nobenega usklajevanja. Za izhlapevanje se enostavno upošteva razlika med padavinami in odtokom, zaradi česar pride prav pri tem parametru do največjih napak.

Razmeroma detajlno študijo vodne bilance za območje Alp je izdelal Baumgartner s sodelavci (1983) za razdobje 1930—1960. Za Slovenijo je imel zelo malo podatkov. Največja pomanjkljivost tega dela je v tem, da za srednjegorski in visokogorski svet ni imel padavinskih podatkov, za izhlapevanje je uporabil metodo, kot za sosednje dežele in so zato ti podatki še najbolj sprejemljivi, nekoliko problematični pa so tudi hidrološki podatki, posebno še zato, ker ni upošteval ustreznih razvodnic. Za Slovenijo je omenjena vodna bilanca (1930—1960) lahko samo prvi približek, za detajlnejšo analizo posameznih manjših vodotokov pa je neuporabna.

VODNA BILANCA IN OSNOVNI PODATKI

Krogotok vode ali vodno bilanco ponazorimo z enačbo

$$P = D + E + (R + B)$$

P je voda, ki v časovnem intervalu pade v obliki padavin ali se na drug način izloči iz atmosfere; D je celoten odtok, tako nadzemni kakor tudi podzemni; E je celotno izhlapevanje iz mrtve in žive prirode (evapotranspiracija); R je v tem času zadržana voda v tleh in B je fizikalno in kemično vezana voda. V našem 30-letnem razdobju lahko privzamemo, da sta R in B na koncu razdobja takšna kot v začetku in zato ta dva člena lahko zanemarimo. Ostane nam ponostavljena enačba vodne bilance

$$P = D + E$$

Naloga naše raziskave je, da poiščemo ploskovni odnos med temi tremi količinami za Zgornjesavsko dolino v razdobju 1951—1980.

Za osnovo smo vzeli 30-letni niz podatkov, kar se normalno uporablja v vseh klimatoloških obdelavah. Zaradi pomanjkanja podatkov v razdobju od 1941 do 1950, pa tudi skromnih podatkov v predvojnem razdobju, smo se odločili za niz 1951—1980, pa čeprav se to razdobje ne pokriva z razdobji, ki jih priporoča Svetovna meteorološka organizacija (1930—1960; 1960—1990). V zadnjem razdobju imamo znatno večje število meteoroloških in hidroloških opazovanj, kot v poprejšnjem razdobju in bodo zato tudi rezultati znatno reprezentativnejši.

Izhodiščni podatki so bile dnevne količine padavin, iz katerih so izračunane mesečne in letne količine in nato 30-letno povprečje. Pri letnih množinah padavin smo upoštevali koledarsko leto. V tridesetletnem razdobju postanejo namreč razlike padavin med koledarskim in hidrološkim letom zanemarljive.

Za povodje Save Dolinke smo upoštevali podatke enajstih padavinskih postaj (Rateče, Kranjska gora, Mojstrana, Kredarica, Planina nad Golico, Jesenice, Javorniški rovt, Moste, Radovna — elektrarna, Srednja Radovna, Mrzli studenec). V obdelavo smo vključili tudi 8 postaj z območja občine Radovljica in 4 postaje s severne strani Karavank (Avstrijska Koroska).

Poleg dnevnih meritev padavin smo za določitev porasta padavin z nadmorsko višino upoštevali tudi rezultate meritev padavin s totalizatorji. V različnem časovnem razdobju je delovalo 10 totalizatorjev na območju Julijskih Alp in 2 v Kamniških Alpah. Časi opazovanj so zelo različni, in sicer od 2 do 27 let.

Na povodju Save Dolinke so delovale v razdobju od leta 1957 do 1980 naslednje vodomerske postaje:

Podkoren od 1958, Gozd Martuljek od 1958 o 1966, Mojstrana od 1972, Jesenice od 1951, Moste do 1953, Blejski most od 1960, Mojstrana I, Mojstrana II od 1972, Javornik od 1952 do 1965, radovna od 1956, Fužine, Sp. Radovna od 1956 do 1966, Podhom 1955.

Na navedeni mreži vodomerskih postaj so opazovali vodostaje, izvajali meritve pretokov in na osnovi pretočnih krivulj določevali dnevne pretoke za posamezna leta. Z limnigrafi so bile opremljene naslednje postaje: Dovje, Jesenice, Blejski most in Podkoren.

Osnovne podatke, ki smo jih uporabili pri računanju izhlapevanja, so predstavljale dolgoletne meritve meteoroloških parametrov: izhlapevanje iz posode »A«, izhlapevanje po »Pischeju«, temperatura zraka, sončno sevanje, hitrost vetra, pritisk vodne pare, snežna odeja.

Postaje, ki smo jih pri računanju upoštevali in ležijo na območju zgornjega toka reke Save ali na obrobju, so: Planina pod Golico, Rateče — Planica, Dom na Komni, Kredarica, Lesce, Jezersko, Bovec, Brnik in Ljubljana. Zaradi manjkajočih posameznih poprečnih mesečnih vrednosti smo obstoječi arhiv s programi za objektivno interpolacijo časovno homogenizirali za obdobje 1951—1980.

OBDELAVA PODATKOV

Vsi izvedeni padavinski podatki so zajeti v računalniški arhiv in nato s korelacijo več postaj reducirani na enotno časovno razdobje. Padavinske postaje so bolj ali manj na reprezentativnih mestih, kjer dejansko predstavljajo stvarne padavine za območja ca. 70 km², nekatere znatno več druge nekoliko manj, odvisno od lege postaje. Ker so meritve vsakodnevne, je možno eventuelne napake korigirati.

Znatno težavnejša je analiza vrednosti padavin, izmerjenih s totalizatorji. Praviloma se te padavine izmerijo samo enkrat, izjemoma dvakrat na leto. Že v tem primeru lahko pride do znatnih napak, če totalizator ni bil pravilno polnjen s sredstvom proti zmrzovanju ali je voda zaradi premajhne količine olja izhlapevala in se zaradi prevelike količine olja sneg v totalizatorju ni mešal s tekočino in se ni stalil. V takšnem primeru pokaže totalizator premalo padavin. Drug še veliko večji problem je merjenje padavin v gorskem svetu ob močnem vetru, še posebno pri snežnih padavinah, ki jih veter sproti odnaša. Totalizatorji so postavljeni na različno izpostavljenih legah in zato vrednosti izmerjenih padavin od kraja do kraja različno odstopajo. Velika večina totalizatorjev kaže odločno premalo padavin.

Na osnovi že obdelanih podatkov o pretokih za posamezne vodomerske postaje so sestavljene tabele srednjih mesečnih in letnih pretokov. Manjkajoče mesečne in letne vrednosti pretokov smo dopolnjevali korelativno na osnovi obstoječih letnih pretokov in simultanih hidrometričnih meritev. Seveda veljajo ti pretoki le za površinski odtok. Iz primerjave specifičnih odtokov smo ugotovili, da prihaja v nekaterih merskih profilih do izgubljanja vode v produ. To so profili: Podkoren, Gozd Martuljek, Mojstrana in Jesenice. Tako je znatnejši pretok v produ vse od izvira do vključno Mojstrane, nekoliko manjši pa na Jesenicah in Blejskem mostu. Do podobnih rezultatov je prišla hidrološka služba na podlagi simultanih meritev pretokov tudi na vmesnih kontrolnih točkah.

Dobljena srednja pretoka za v. p. Podhom na Radovni in v. p. Moste na reki Savi izkazujejo celoten srednji pretok brez izgube v produ.

V končni fazi smo imeli na razpolgo šest prereзов, v katerih je zajet celoten površinski odtok in to: prerez na Pišnici, Mostrana, Dovje, Moste, Blejski most in Podhom.

Za ugotavljanje dejanskega srednjega pretoka (brez izgub v produ) smo za preostale profile na osnovi številnih simultanih meritev vodnih količin izdelali medsebojne korelacije dodatno potrjene z izravnavo srednjega pretoka vzdolž celotne Save Dolinke.

RAČUNANJE IZHLAPEVANJA

Prva faza pri izhlapevanju s poraščene površine za območje zgornjega dela porečja Save je bila časovna in prostorska homogenizacija meteoroloških parametrov glede na obdobje 1951—1980. Pri meritvah izhlapevanja je bila izhodiščna točka postaja Ljubljana, čeprav ne leži na omenjenem območju. Vzrok je v tem, da je to naša postaja, ki ima najdaljši niz meritev ter da so v Ljubljani potekale tudi meritve z lizimetri. S posodo »A« merijo v Ljubljani od leta 1957 dalje. S koeficienti linearne regresije med temi meritvami in vrednostmi po Penmanovi metodi smo ta niz podaljšali do leta 1951. Tako dobljeni rezultati so nam služili kot izhodišče za poenotenje arhiva meritev s posodo »A« v Ratečah ter meritev s Pischejevim evapimetrom na postajah Brnik, Jezersko, Lesce in Rateče za obdobje 1951—1980. Naslednji

korak je bilo testiranje dvanajstih metod, ki uporabljajo različne meteorološke elemente za računanje izhlapevanja. Uporabili smo metode Thornthwaita, Ivanova, Penmana, Jeusen-Haisea, Turea, Makkinka, Oliverya, Van Baurea, Linacrea, Ostromečha, Papadakisa in Cristiansena. Statistična primerjava med temi metodami in meritvami s posodo »A« ter Pischejevim evaporimetrom je pokazala, da so korelacijski koeficienti veliki (vsi nad 0.8), največji pa je bil pri metodi Penmana (0.95). Na osnovi te primerjave in rezultatov, dobljenih v literaturi, smo se odločili, da bomo uporabili metodo Penmana. Osnovna enačba za računanje izhlapevanja iz vodne površine se glasi:

$$E = \frac{Ra + Ea\gamma}{\Delta + \gamma}$$

kjer je
$$\Delta = \frac{de_a}{dT} = \frac{e_s - e_a}{T_s - T_a}$$

e_s, T_s — sta nasičen parni pritisk in temperatura na površini vode

e_a, T_a — nasičen parni pritisk pri temperaturi zraka in temperatura zraka

R_n — sevalna bilanca — razlika med kratkovalovnim sevanjem sonca in dolgovalovnim sevanjem površine

γ — psihrometrična konstanta

$Ea = f(u) \cdot (e_a - e_d)$ kjer je $f(u)$ — funkcija vetra in e_d parni pritisk, merjen v meteorološki hišici

Po tej enačbi smo računali mesečno izhlapevanje iz vodne površine. Naslednji korak je bilo računanje potencialnega izhlapevanja s poraščene površine, kjer smo upoštevali povprečni korekcijski faktor za travnato in gozdno površino, končni korak pa je bil iz potencialnega, to je možnega izhlapevanja, računanje dejanskega izhlapevanja na osnovi padavinskega režima. Pri drugem koraku, to je računanju potencialnega izhlapevanja smo korekcijske faktorje, ki jih predlaga Penman, vzeli kot prvo orientacijo, popravili pa smo jih z rezultati primerjave med enačbo Penmana in štiriletnimi meritvami z lizimetri (Matičič — 1977). Na opisan način smo za vse klimatološke postaje na območju zgornjega porečja Save in obrobju izračunali vrednosti izhlapevanja na posameznih točkah.

PADAVINSKA KARTA SAVE DOLINKE

Padavinsko karto Save Dolinke smo izdelali na osnovi vseh že omenjenih padavinskih podatkov za Zgornjesavsko dolino z okolico. Pri izdelavi smo upoštevali dosedanja spoznanja o razporedbi padavin, enoten porast padavin z višino za Julijske Alpe in drugega za Karavankah. Pri Julijskih Alpah smo privzeli, da padavine z višino nekoliko hitreje naraščajo kot v Karavankah. Vzrok je v tem, da so Karavanke v zaledju Julijskih Alp in je to za jugozahodnik že druga pregrada na poti od morja in da so nižje od prve. Predpostavili smo, da padavinske postaje ne izmerijo več padavin, kot jih dejansko pade. Pokazalo pa se je, da dobijo Karavanke več padavin, kot smo do sedaj mislili. Večje število merskih mest na višini okoli 1000 m, in to na naši in avstrijski strani državne meje, je omogočilo določitev padavin ob gorskih grebenih tudi prek 2500 mm. Za Julijske Alpe smo po prvi varianti dobili le malenkostno večje padavi-

ne kot v Karavankah. Tako visoke padavine v Karavankah (do zdaj so bile naše in avstrijske karte izdelane za manjšo množino padavin) smo dobili na osnovi 30-letnih podatkov na avstrijski strani (npr. Ljubelj, predor 2.380 mm), pa tudi na naši strani gorske pregrade (Javorniški rovt 2.080 mm). Ti podatki so zelo kvalitetni in o njih ni treba dvomiti. Te podatke smo torej vzeli za izhodišče in šele od tam naprej upoštevali vertikalne padavinske gradiente. Ob iskanju metode smo izdelali delovno karto v merilu 1:50.000 in jo nato ustrezno zmanjšali.

KARTA IZHLAPEVANJA

Za karto prostorske porazdelitve izhlapevanja (evapotranspiracijo) smo si pomagali s slikami porazdelitve osnovnih meteoroloških elementov, ki so v enačbi Penmana. To je: temperatura zraka, trajanje sončnega obsevanja, pritisk vodne pare in hitrost vetra. Dodatni problem, ki se pojavi pri prehodu iz točkovne analize k prostorski je površina določenega območja. Pri karti padavin upošteevamo za planimetriranje projekcijo reliefa na horizontalno površino, ker tudi padavine merimo na horizontalno površino. Izhlapevanje pa se vrši iz celotne površine, zato moramo upoštevati površino, ki jo popisuje relief. To pomeni, da moramo dovolj natančno poznati karakteristike razgibanosti reliefa. Problem bi bil najbolj natančno rešljiv, če bi imeli na razpolago računalniško obdelano dovolj gosto mrežo temeljnih točk, vendar smo na tem področju šele na začetku. Problem površin smo rešili na poenostavljen način. Upoštevali smo horizontalno projekcijo reliefa, nato pa pri usklajevanju vseh treh členov vodno-bilančne enačbe na posameznih predelih porečja popravili izhlapevanje s korekcijskim faktorjem, v katerem je zajeto razmerje med dejansko površino reliefa in njegovo horizontalno projekcijo. Karta izhlapevanja je bila izdelana v enakem merilu kot padavinska karta, kar omogoča grafično odštevanje obeh kart.

USKLAJEVANJE PARAMETROV

Izdelane karte padavin in izhlapevanja smo planimetriali in smo na ta način dobili količino padavin za posamezno zaledje bilančnega prereza, kakor tudi količino izhlapele vode. Za te profile smo izračunali tudi povprečen letni pretok.

V tabeli 1 je ovrednotena preliminarna karta padavin in odtokov glede na prvo varianto, kjer so v glavnem upoštewane orografske razvodnice. Že ob pričetku izdelave naloge smo se zavedali, da bo to le prvi približek in da bo potrebno korigirati posamezne parametre, kakor tudi razvodnice.

Rezultati izračunane razlike med P in D (kar naj bi predstavljalo izhlapevanje) v primerjavi z izračunanim izhlapevanjem pokažejo, da je izračunano izhlapevanje v splošnem premajhno oziroma da ga bo potrebno povečati v nižjih predelih in zmanjšati v višjih legah, predvsem v visokogorskem svetu (Triglavske pogorje).

Neskladja se pojavljajo predvsem na porečju: Radovne, kjer predvidevamo, da ni pravilno določena razvodnica; Pišnice, kjer premalo odteče glede na velikost porečja; Belce, kjer je možna korekcija padavin in potoka Javornik, kjer je vprašljiv odtok. Zanimiva je tudi Mojstranska Bistrica, kjer je razlika med padavinami in odtokom odločno premajhna. Na tem področju so nastale napake pri padavinah (premalo), izhlapevanju (preveč). Verjetno obstajajo podzemni tokovi in severozahodnega dela Julijskih Alp. Tu je vsekakor treba upoštevati premajhen odtok Pišnice, kajti verjetno del padavinske vode iz porečja Pišnice odteka v Mojstransko Bistrico.

Tabela 1 Elementi vodne bilance po posameznih prerezih (varianta 1)
Table 1 Elements of water budget for individual sections (variant 1)

POREČJE	BILANČNI PREREZ	PRISPEVNA PLOŠČINA F km ²	PADAVINE P mm	ODTOK D mm	IZHLAPEVANJE E mm	P - D mm	PADAVINE P · 10 ⁶ m ³	ODTOK V PREREZU D · 10 ⁶ m ³	PRETOK Q m ³ /s	PRETOK Q m ³ /s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 = 4 - 6
Sava Dolinka	VP Podkoren	30.1	2152	1571	426	581	64.8	47.3	1.50	1.65
Sava Dolinka	do Pišnice	45.3	2093	1559	433	534	94.8	70.6	2.24	2.38
Pišnica	izliv	37.5	2286	1648	318	638	85.7	61.8	1.96	2.34
Sava Dolinka	s Pišnico	82.8	2180	1599	417	581	180	132	4.20	4.63
Sava Dolinka	do Belce	137	2157	1558	422	599	295	213	6.77	7.62
Belca	izliv	17.3	2109	1439	437	670	36.5	24.9	0.79	0.92
Sava Dolinka	z Belco	154	2152	1545	424	607	332	238	7.56	8.45
Sava Dolinka	do Moj. Bistrice	162	2139	1537	428	602	346	249	7.90	8.79
Moj. Bistrica	izliv	46.9	2328	2110	399	218	109	99.0	3.14	2.87
Sava Dolinka	VP Mojstrana	209	2181	1666	421	515	456	348	11.0	11.7
Sava Dolinka	VP Dovje	220	2174	1650	422	524	478	363	11.5	12.2
Sava Dolinka	VP Jesenice	266	2166	1554	430	612	576	413	13.1	14.6
Sava Dolinka	do Javornika	277	2155	1537	433	618	597	426	13.5	15.1
Javornik	izliv	17.4	2091	1178	449	913	36.4	20.5	0.65	9.05
Sava Dolinka	z Javornikom	294	2151	1516	434	635	633	446	14.2	16.0
Sava Dolinka	VP Mpste	335	2137	1459	438	678	716	489	15.5	18.0
Radovna	VP Sr. Radovna	58.0	2244	1979	425	265	130	115	3.64	3.34
Radovna	VP Fužine	99.5	2214	1921	426	293	220	191	6.06	5.64
Radovna	VP Podhom	147	2155	1640	438	315	318	271	8.60	8.03
Radovna	izliv	152	2142	1625	441	317	326	278	8.80	8.21
Sava Dolinka	z Radovno	487	2139	1623	439	516	1010	766	24.3	25.5
Sava Dolinka	VP Blejski m.	496	2129	1614	441	515	1023	776	24.6	25.7

Sprememba karte razporeditve padavin

Kot prvo korekcijo smo vzeli spremembo padavinske karte. Upoštevali smo padavinsko razporeditev v dolini, ko dobi največ padavin Mojstrana, nato se padavine proti Ratečam zmanjšujejo kljub temu, da nadmorska višina raste. Predvidevamo, da je podobna razporeditev tudi v gorskem svetu, vendar še nekoliko bolj izražena, kar bi ustrezalo tudi odtokom. Privzeli smo, da pade največ padavin v Triglavskem pogorju, od tam dalje v smeri NW padavine stalno naraščajo. To se da razložiti tudi s tem, da so vzhodnejši deli ob jugozahodnih vetrovih neposredno pod vplivom dotoka vlažnega zraka iznad Sredozemskega morja, medtem ko so zahodnejši deli že pod vplivom mešanega zraka, ki doteka tudi prek kopnega. Na ta način bi lahko razložili zakaj padavine proti Ratečam pojemajo.

Nova padavinska karta nam razliko med izračunom izhlapevanja in diferenco med padavinami in odtoki znatno zmanjša (Tab. 2). Najbolj se to pozna v zahodnem delu Karavank. V povodju Belce smo padavine zmanjšali v poprečju kar za 143 mm. Zelo močno smo padavine povečali na povodju Radovne in Mojstranske Bistrice, kjer je bil relativni deficit padavin največji. Skoraj povsod drugod smo padavine nekoliko zmanjšali, največ (kot že omenjeno) na povodju Belce. Kljub omenjenim spremembam so se na celotnem povodju Save Dolinke padavine povečale le za slab odstotek. Tako korigirana porazdelitev padavin je pokazala na boljše ujemanje odtokov s padavinami po posameznih bilančnih prerezih. Povsod so se razlike med izračunanim izhlapevanjem in P - D znatno zmanjšale. Še vedno pa odstopajo razlike pri povodju potoka Javornik.

Sprememba karte izhlapevanja

Na osnovi vodne bilance in raziskav tujih avtorjev, Sauscher (1977), Foehn (1978), smo povečali izhlapevanje v nižjih predelih in zmanjšali v visokogorskem svetu. Takšna sprememba daje boljše rezultate. V visokogorskem svetu smo morda še premalo upoštevali gol skalnat svet, kjer voda takoj odteče, bodisi površinsko ali ponikne v podzemlje, in zato ni vodne zaloge za izhlapevanje. V tem primeru je verjetno izhlapevanje še znatno manjše, torej pod 300 mm. V naši porazdelitvi z višino pridemo do razmeroma zadovoljivih rezultatov.

Po tej korekciji izstopajo še vedno Javornik — potok, kjer odteče odločno premalo vode, prav tako odteče premalo iz povodja Pišnice, medtem ko pa odteče iz povodij Mojstranske Bistrice in Radovne še vedno preveč vode glede na količino padavin. V tem primeru, ko smo padavine močno prilagodili odtokom na posameznih povodjih; (izhlapevanje je možno spreminjati le za celotno območje, ne pa po povodjih), nam ostaneta samo dve možni korekciji, t.j. sprememba razvodnice in korekcija pretokov.

Sprememba razvodnic

Študija vodne bilance Save Dolinke je pokazala, da se orografsko razvodje ne ujema z dejanskim hidrološkim razvodjem, kar velja predvsem za Julijske Alpe, ki jih v glavnem grade zapokani in zakraseli triadni apnenci in dolomiti. Za prikaz neskladnosti smo se naslonili na Veseličev študijo v padavinskem območju Save Dolinke in Save Bohinjke (1977). V njej Veselič razvršča vodonosnike (z vodo prepojena kamenina) glede na zgradbo ozemlja in hidrogeološke karakteristike kamnin, ter na podlagi njih ugotavlja smer odtoka. Tako navaja, da je v Karavankah možen odtok proti Dravi iz območja osrednjega dela Karavanskega grebena.

Tabela 2 Elementi vodne bilance po posameznih prerezih (varianta 2)
Table 2 Elements of water budget for individual sections (variant 2)

POREČJE	BILANČNI PREREZ	PRISPEVNA POVRŠINA F km ²	PADAVINE P mm	ODTOK D mm	IZHLAPEVANJE VANJE E mm	P - D mm	PADAVINE P*10 ⁶ m ³	ODTOK V PREREZU D*10 ⁶ m ³	PRETOK Q m ³ /s	PRETOK Q m ³ /s
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11=4-6
Sava Dolinka	V.P. Podkoren	30.1	2102	1571	507	531	63.3	47.3	150	152
Sava Dolinka	do Pišnice	45.3	2031	1559	525	482	92.0	70.6	224	216
Pišnica	izliv	37.5	2260	1648	480	612	80.7	61.8	196	212
Sava Dolinka	s Pišnico	82.8	2134	1599	505	535	177	132	420	428
Sava Dolinka	do Belce	137	2105	1558	513	547	288	213	677	692
Belca	izliv	17.3	1966	1439	535	527	34.0	24.9	0.79	0.78
Sava Dolinka	z Belco	154	2090	1545	515	545	323	238	756	771
Sava Dolinka	do Moj. Bistrice	162	2077	1537	518	540	337	249	790	801
Moj. Bistrica	izliv	45.6	2489	2171	452	318	114	99.0	314	295
Sava Dolinka	V.P. Mojstrana	208	2168	1677	503	491	450	348	110	110
Sava Dolinka	V.P. Dovje	217	2157	1670	505	487	469	363	115	114
Sava Dolinka	V.P. Jesenice	258	2120	1628	518	492	546	419	133	131
Sava Dolinka	do Javornika	268	2111	1612	521	499	566	432	137	135
Javornik	izliv	17.4	2097	1450	564	647	36.5	25.2	0.84	0.85
Sava Dolinka	z Javornikom	285	2110	1603	524	507	602	457	145	143
Sava Dolinka	H.E. Moste	326	2105	1558	528	547	686	508	161	163
Radovna	V.P. Sr. Radovna	64.5	2414	1780	507	634	156	115	3.64	3.90
Radovna	V.P. Fužine	109	2366	1761	521	605	257	191	6.06	6.34
Radovna	V.P. Podhom	166	2277	1638	545	639	377	271	8.60	9.09
Radovna	izliv	170	2265	1629	547	636	386	278	8.80	9.28
Sava Dolinka	z Radovno	496	2159	1563	534	596	1071	776	24.9	25.6
Sava Dolinka	V.P. Blejski m.	505	2150	1560	537	590	1087	778	25.0	25.8

Na osnovi hidrogeoloških proučevanj je razvidno odstopanje med hidrološkim in površinsko omejenim padavinskim območjem Save Dolinke oziroma njenih pritokov.

Študija vodne bilance je za posamezne ključne prereze pokazala, da so pri razvodnici potrebni določeni popravki. Na Savi Dolinki, v profilu v.p. Dovje velikost ni sporna, kljub morebitnemu manjšemu odtekanju vode proti Soči. Na osnovi primerjave posameznih parametrov vodne bilance na vmesnih prerezih pa so se pokazale nepravilnosti. Izrazitejše odstopanje je pri Pišnici in Mojstranski Bistrici. V tem primeru odteče premalo glede na velikost porečja, v drugem pa preveč vode z ozirom na padavine in izhlapevanje. Pri Bistrici sega dejansko razvodje iz orografskih meja, medtem ko je za Pišnico manjša od orografsko omejenega območja.

Iz dosedanjih hidrogeoloških proučevanj lahko ugotavljamo, da je iz padavinskega območja Save Dolinke, določenega na osnovi orografije, možen manjši odtok v območje Drave, in sicer iz padavinskega območja potoka Jesenica, ne pa iz območja potoka Javornik, saj morajo njegove številne izdatne izvire v višini nad 1030 m napajati višje ležeči vodonosniki.

S povečanjem padavinskega območja Save Dolinke na Pokljuki, se je povečala tudi velikost padavinskega območja na zaključnem profilu Save Dolinke — Blejski most od dosedanje 481 km² na 505 km².

Za razvodnico na Karavankah upoštevamo orografsko mejo, čeprav obstaja domneva, da odteka nekaj vode z južne strani tudi v Dravo.

Določitev podpovršinskega pretoka z uskladitvijo celokupnega odtoka

Za ugotavljanje vodne bilance je potrebno poznavanje celokupnega odtoka. Ker se, kot že omenjeno, vodne množine reke Save Dolinke odteka tudi pod površino, smo podpovršinski odtok skušali določiti na podlagi specifičnega odtoka. Do zdaj delujoče vodomerne postaje od Podkorena do Dovjega so nam izkazovale nenormalno majhen specifični odtok s številnimi anomalijami na celotni črti.

Izdelava padavinske karte je pokazala, da je predel z največjimi padavinami ob Mojstranski Bistrici. To nas je vodilo k prvi korekturo specifičnih odtokov, tokrat z izhodiščem padavinskega območja Mojstranske Bistrice in kot naslednjega Velike Pišnice. Torej z območjema največjih povprečnih padavin na porečju Save Dolinke.

S to spremembo smo na osnovi grafične analize specifičnih odtokov in povprečnih padavin dobili normalen potek specifičnih odtokov, to je upadanje specifičnih odtokov in padavin vzdolž vodotoka. Ker površinski pretoki s to korekturo niso bili spremenjeni, smo tako lahko ugotovili dejanski podpovršinski pretok v posameznih prerezih odnosno celokupen odtok.

S tako usklajenim zgornjim tokom Save Dolinke do vodomerne postaje Dovje smo nadaljevali z analizo specifičnih odtokov od Dovjega proti izlivu. Tu smo ugotovili manjša neskladja, predvsem v velikosti padavinskih predelov, in sicer na severnih pobočjih Mežakle. Nujna je bila korektura velikosti padavinskega področja Mežakle.

Glede na padavine in nakazane neuskajenosti je bilo potrebno korigirati pretočne množine potoka Javornik s tem, da smo te povečali. Upravičenost te korekture je bila tudi v tem, da je vodni režim Javornika umetno vzdrževan in nam tako številnejše meritve niso dajale rezulta-

tov dejanskega naravnega pretoka. Prav tako je bilo potrebno izvesti delno korekturo potoka Završnica.

PRIMERJAVA ELEMENTOV VODNE BILANCE RAZLIČNIH AVTORJEV

Primerjava padavinskih kart

Za primerjavo smo vzeli štiri padavinske karte povprečnih letnih padavin, in sicer:

- iz Atlasa klime Jugoslavije (razdobje 1931—1960) razmerje 1:1 200 000
- iz Der Wasserhaushalt der Alpen (1931—1960) razmerje 1:500 000
- iz Vodnogospoarskih osnov (radobje 1926—1965) razmerje 1:750 000
- in prikaz vodne bilance Save Dolinke (razdobje 1951—1980) razmerje 1:250 000.

Prva prikaza padavinskih kart zajemata isto obdobje, medtem ko druga dva različne, tako da karte med seboj niso neposredno primerljive. Razlike med posameznimi prikazi so tako velike, da temu niso vzrok spremembe padavinskih režimov, temveč različni pristopi in uporaba neenotnega števila osnovnih podatkov. Prvi dve karti sta izdelani samo na podlagi redkih podatkov, brez temeljitejšega poznavanja lokalnih klimatskih razmer, medtem ko so pri izdelavi preostalih dveh kart upoštevane lokalne značilnosti in fizikalna razlaga razporedbe padavin pri posameznih padavinskih situacijah.

Padavinski prikaz v Atlasu klime Jugoslavije upošteva strogo enakomerno večanje padavin z višino. Po dnu doline navzgor padavine ves čas naraščajo in so največje v Ratečah. Zelo veliko padavin prikazuje visokogorski svet Julijskih Alp (prek 3500 mm), medtem ko dobita Radovna pa tudi Pokljuka in Mežakla razmeroma malo padavin. Tudi za Karavanke, predvsem v vzhodnem delu, podaja karta razmeroma malo padavin.

Baumgartner s sodelavci (1983) je izdelal za isto časovno razdobje padavinsko karto za celotne Alpe, vključno Slovenijo. Razmerje te karte je 1:500 000 in je zato znatno bolj pregledna. Pozna pa se, da je bila karta izdelana na osnovi zelo majhnega števila podatkov in da avtorju niso poznane mezoklimatske razmere Julijskih Alp in Karavank. Tehnično je ta karta lepo izdelana, strokovno pa ima zelo velike pomanjkljivosti in ima zato manjšo vrednost, kot padavinska karta Jugoslavije. Tudi pri tej karti je upoštevan enoten porast padavin z višino od tal do najvišjih vrhov. Razmere, ki so bile opazne že v padavinski karti Jugoslavije, se tu še poudarjajo. Padavine v območju Triglava so nad 3400 m. Močno so precenjene padavine v zgornjem delu Savske doline (npr. Rateče nad 2000 mm). Podcenjene pa so padavine na Pokljuki, Mežakliji, pa tudi v Karavankah, predvsem od Golice proti vzhodu. Glede na to, karta za kakršnokoli detajlnejšo analizo odtokov ni uporabna. Avtor zagovarja to pomanjkljivost s tem, da ni imel na razpolago padavinskih podatkov in je padavine ocenjeval na osnovi odtokov. Podatki o pretokih pa lahko tudi zavedejo, če se pri tem ne upoštevajo celokupni pretoki in seveda, če ni na voljo pravih razvodnic. Karto, ki je sicer izdelana po sodobni metodi na osnovi vodne bilance, vendar brez zadovoljivih vhodnih podatkov lahko uporabimo le za grob prikaz, nikakor pa ne za detajlnejše analize.

Za padavinsko karto v »Vodnogospodarskih osnovah« (1978) je značilno, da je zelo posplošena. Že to, da med izohieto 2000 in 2500 mm ni nobene vmesne izohiete pove, da so z njo skušali prikazati le zelo grobo sliko porazdelitve padavin ne pa, da bi bila karta uporabna za podrobnejša proučevanja. Analiza padavin je za nižinske predele izdelana znatno boljše kot v prejšnjih dveh kartah. Upoštevano je stališče, da padavine ne naraščajo vedno z višino, vsaj

enakomerno ne. Verjetno pa so padavine v visokogorskem svetu ocenjene znatno prenizko (Triglav pod 2500 mm). Avtor je namreč poznal povojne meritve v visokogorskem svetu, ni pa upošteval dejstva, da so izmerjene padavine na Kredarici znatno prenizke, zaradi močnih vetrov.

V našem primeru, ko smo analizirali poprečne padavine le za manjše območje, smo uporabili vse razpoložljive podatke. Za nižinski in tudi srednjegorski svet smo imeli razmeroma veliko podatkov v primerjavi z avtorji prejšnjih kart. Razporeditev padavin v visokogorskem svetu smo dobili deloma s totalizatorji, največ pa na osnovi upoštevanja vodne bilance. Porazdelitev padavin se znatno razlikuje od prejšnjih treh prikazov. Podatki kažejo, da je smiselno uporabiti vsak dve različni stopnji porasta padavin z višino: eno od 800 do 1400 m n.v. (sicer 75 mm/100 m) in drugo nad 1400 m (50 mm/100 m). Seveda smo te stopnje uporabili samo tam, kjer ni izmerjenih podatkov, in to le od izmerjenih podatkov navzgor pa tudi navzdol.

Največje količine padavin na povodju Save Dolinke so tako v širšem območju Triglava in na enakih n. višinah proti zahodu pojemajo. V Karavankah so padavine glede na prejšnje prikaze znatno višje od Golice proti vzhodu. Z razliko od padavinske karte v Atlasu klime Jugoslavije in Baumgartnerjeve karte dobi zelo veliko padavin predel v višini od 1000 do 1400 m in celotna dolina Radovne, medtem ko je padavin v Gornjesavski dolini od Mojstrane navzgor postopno vedno manj. V tem primeru se za dno doline analiza ujema z analizo padavin v vodnogospodarskih osnovah, v večjih višinah pa je na tej karti prikazano znatno več padavin.

Primerjava kart izhlapevanja

V Sloveniji so bile doslej poizkusno izdelane karte izhlapevanja le na osnovi posameznih parametrov, predvsem temperature, in še to v zelo grobi izvedbi. Teh kart niso nikoli upoštevali pri izdelavi vodne bilance.

Izhlapevanje je odvisno od znatnega števila meteoroloških parametrov, predvsem od padavin, energijske bilance, vegetacije in sestave tal ter lokalnih pogojev. V naših razmerah je že v dnu doline izhlapevanje mnogo manjše od padavin, da ne govorimo o razmerju v visokogorskem svetu, kjer so padavine večje skoraj za faktor 10. Za območje Gornjesavske doline je izdelana le Baumgartnerjeva karta izhlapevanja in zato lahko primerjamo naše izsledke le s to karto. V Atlasu klime Jugoslavije karte izhlapevanja še ni.

Karta Baumgartnerja s sodelavci je bila izdelana na osnovi enotne metode za celotne Alpe, razdeljena na različna klimatska območja. Za vsak klimatski predel je avtor določil na osnovi različnih parametrov odvisnost izhlapevanja od nadmorske višine in nato izdelal karto, seveda na način, da prehaja ena klimatska cona v drugo. Na ta način je bilo tudi zajeto območje Gornjesavske doline, in se zato na tem območju, ko ni imel zadovoljivih podatkov o padavinah in pretokih, ta karta ne ujema z diferenco omenjenih količin.

Razlika med karto Baumgartnerja in našo karto izhlapevanja je tudi v načinu izdelave, saj je v slednji (Slika 2) upoštevano znatno večje število parametrov, med njimi tudi poraščenost in lega določenega predela. V visokogorskem svetu (nad 1800 m) izkazuje naša karta veliko manjše izhlapevanje v Julijskih Alpah in približno enako v Karavankah.

Primerjava kart odtokov

Za Slovenijo posebej prostorska porazdelitev odtokov še ni bila izdelana, medtem ko je v Baumgartnerjevi karti izdelana za celotne Alpe. Naša karta odtokov (Slika 3) je izdelana tako, da je količina padavin in izhlapevanja usklajena s pretoki za karakteristične prereze, nato pa od karte padavin odšteta karta izhlapevanja. Na ta način dobljene vrednosti predstavljajo prostorsko porazdelitev odtokov.

Ker smo v poprejšnji primerjavi ugotovili, da so bile velike razlike pri razporedbi padavin med posameznimi kartami in znatno manjše razlike pri razporedbi izhlapevanja, lahko prevzame-mo, da je razlika med kartama odtokov podobna razliki pri padavinah, le da so razlike malen-kostno manjše kot pri padavinah. Najbolj odstopajo odtoki v visokogorskem svetu Julijskih Alp, kjer dobimo mi manjše odtoke, prav tako dobimo nekoliko manjše odtoke v dnu zahod-nega dela Gornjesavske doline. Znatno večje odtoke pa dobimo na Pokljuki, Mežakli in v do-lini Radovne. Razlika je tudi v tem, da je naša karta odtokov izdelana mnogo detajlnejše od Baumgartnerjeve karte in da je bilo uporabljeno znatno večje število kvalitetnih vhodnih po-datkov.

ZAKLJUČKI

Metodologija izdelave vodne bilance na osnovi analize posameznega vodnobilančnega para-metra zahteva ureditev vseh osnovnih podatkov v takšno obliko, da so ti med seboj primerljivi. Z medsebojnim ploskovnim seštevanjem ali odštevanjem dveh parametrov dobimo tretji parameter. Tako dobljeni parameter lahko primerjamo z izmerjenim ali pri izhlapevanju izračunanim parametrom in na osnovi razlike, med tema dvema vrednostima iščemo vzroke, ki so do te razlike pripeljali. Na ta način vršimo korekcije posameznih elementov ali pa na osnovi geoloških potrditev korigiramo vodnobilančno razvodnico. Na osnovi takšnih medse-bojnih primerjav, fizikalnih razlag in ob upoštevanju mezoklimatskih in reliefnih razmer do-bimo metodo, ki da boljše karte prikazov vseh treh parametrov.

Na ta način izdelana padavinska karta znatno odstopa od dosedanjih. Temu je vzrok nova metoda usklajevanja ob upoštevanju različnih fizikalnih in meteoroloških procesov, nena-zadnje pa tudi gostejša mreža meritev in opazovanj.

Za vodno bilanco je potrebno izdelati razmeroma detajlno karto izhlapevanja. Za računanje izhlapevanja so potrebni vhodni podatki različnih meteoroloških parametrov in vsaj nekaj osnovnih meritev izhlapevanja. Dokončno sliko izhlapevanja je možno dobiti šele na osnovi medsebojne primerjave členov vodne bilance, ko upoštevamo dodatne uteži za izračun »od-visnosti« izhlapevanja od nadmorske višine. Tako je možno prikazati izhlapevanje za širša območja ob upoštevanju lokalnih karakteristik. Čim več osnovnih prerezov na vodotoku uporabljamo, tem bolj detajlna je lahko tudi karta izhlapevanja.

Glavni cilj izdelave vodne bilance je karta odtokov. To je možno dobiti le na osnovi diference med karto padavin in karto izhlapevanja. Na ta način je možno površinsko prikazati odtoke na osnovi razmeroma redke mreže dobrih podatkov o pretoku celokupne vodne množine. Se-veda so osnovni podatki reprezentativnih prerezov pogoj za uskladitev vseh treh parametrov vodne bilance.

Na osnovi karte odtokov je možno dobiti celokupni odtok (površinski in podpovršinski) za katerikoli prerez, če poznamo velikost padavinskega zaledja. Tako dobljeni odtoki so eden iz-med osnovnih parametrov, ki omogočajo objektivnejše določevanje pretokov na vodotokih, kjer imamo malo merskih podatkov ali nič. Na kraškem območju lahko karta odtokov veliko pripomore k razreševanju padavinskih zaledij posameznih vodotokov in podzemnih tokov. Same zveze pa moramo naknadno potrditi oziroma določiti z drugimi metodami.

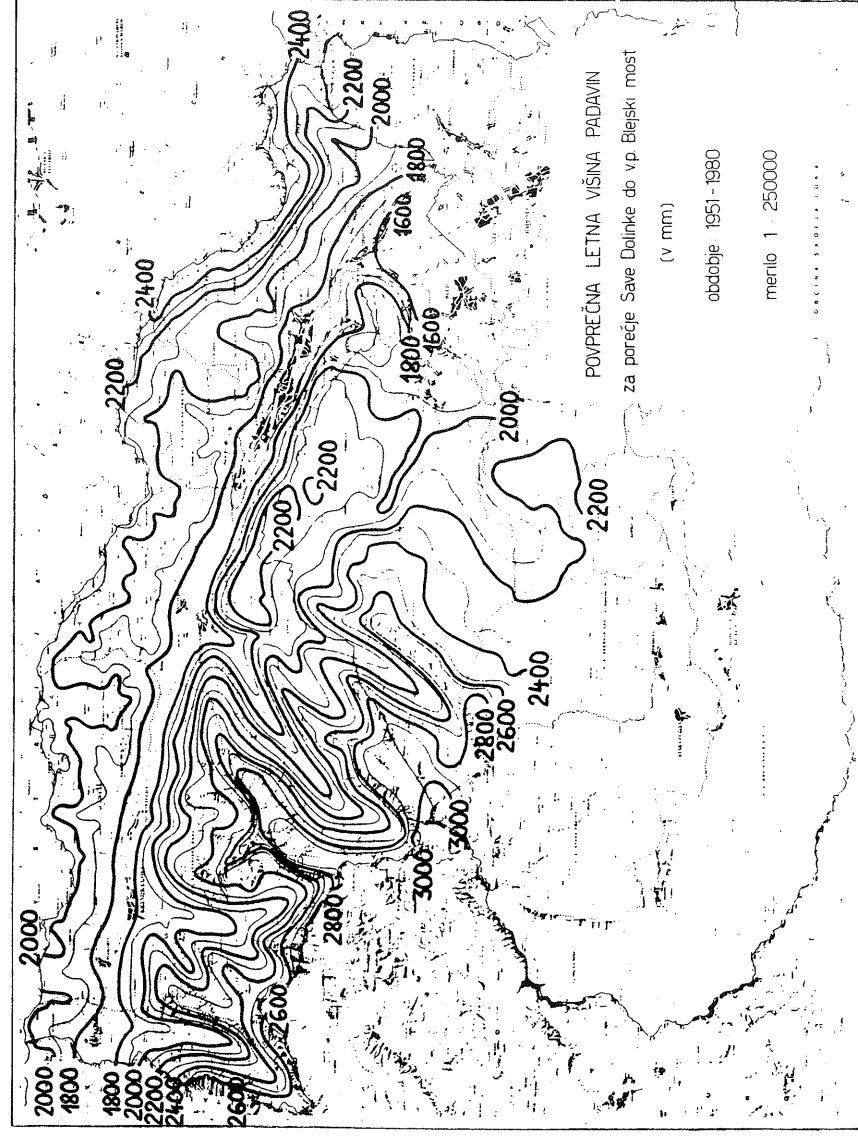
Izdelava vodne bilance na območju Save Dolinke je nakazala znatna neskladja v dosedanjih delih, katere pa je bilo možno odpraviti. Korigirana je bila razporeditev padavin, spremenje-na dosedanja razvodnica, izdelana metoda za vrednotenje izhlapevanja in določitev odtokov ter posredno podpovršinski pretok.

Posebno pomembno pa je, da na ta način preverimo tudi osnovne podatke. Vsaka znatnejša pomanjkljivost močno izstopa pri računanju vodne bilance in je zato reprezentativnost podat-kov možno oceniti. Vloženo delo je hitro povrnjeno z rezultati, povečana pa je tudi vrednost dosedanjega arhivskega gradiva.

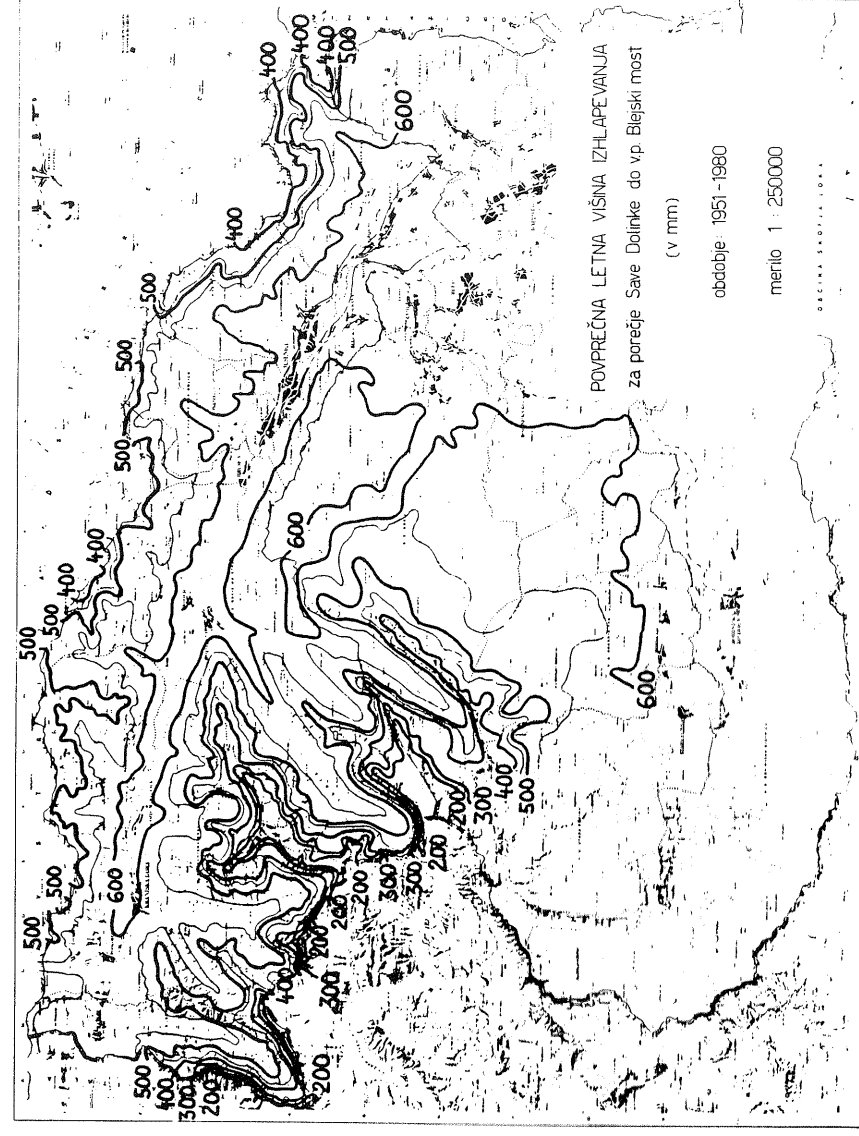
LITERATURA

- Baumgartner (Reichel) Weber: Der Wasserhaushalt der Alpen, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1983
- Buser S., Cajhen J.: Osnovna geološka karta — Celovec, Geološki zavod Ljubljana, 1975
- Furlan D.: Padavinska karta Slovenije, Ljubljana, 1954 Zona maksimalnih padavin v Julijskih Alpah in njena utemeljitev, Razprav — Papers X. Ljubljana, 1968
- Padavine v Sloveniji, Geografski zbornik VI. Ljubljana, 1966
- Analiza neskladij v vodnobilančni sliki vodnogospodarskih osnov, Ljubljana, 1978
- Orientacijski podatki o izhlapevanju v Jugoslaviji, Razprave XVII, Ljubljana, 1974
- Sauscher A. in F.: Zur Berechnung der Schneeverdunstung auf dem Sounblick.
- Matičič B.: Evapotranspiration studies on different crops and irrigation water requirements, Ljubljana, 1977
- Novak D.: Sledenje podzemnih kraških voda v Alpah, Naše jame 20, Ljubljana, 1979
- Otorepec S.: Isparevanje sa slobodne vodene površine po metodi Penmana u različitim klimatskim područjima Jugoslavije, VII Savetovanje klimatologa Jugoslavije, Beograd, 1972
- Paradiž B.: Poročilo o izvajanju naloge: Evaporacije evapotranspiracija in vlaga v zemlji, Ljubljana HMZ SR Slovenije, 1966
- Pristov J.: Neobičajna razporeditev orografskih padavin, Razprave — Papers VIII, Ljubljana, 1967
- Odvisnost med padavinsko razporeditvijo v Sloveniji, temperaturo in vetrovi na višinah, Razprave — Papers IX., Ljubljana, 1967
- Pristov J. s sodelavci: Količinska kratkoročna napoved padavin, Raziskovalna naloga — Sklad Borisa Kidriča, 1964
- Reya O.: Padavinska karta Slovenije, Ljubljana, 1946
- Seidel F.: Das Klima von Krain, Mitteilungen des Musealvereins für Krain, Ljubljana, 1902
- Veselič M.: Vodni viri Save Bohinjke in Save Dolinke, Raziskovalna naloga, Raziskovalne skupnosti, Geološki zavod, Ljubljana, 1979
- Vodnogospodarske osnove, Zveza vodnih skupnosti Slovenije, Ljubljana, 1978
- Atlas klime Socialističke federativne republike Jugoslavije, Savezni hidrometeorološki zavod Beograd
- Wasserkraft — kataster iz l. 1911
- Hidrološki podatki za Savo Dolinko v Mostah — Ministrstvo za gradnje, Ljubljana, maja 1947
- Osnovni in obdelani podatki, Arhiv Hidrometeorološkega zavoda SR Slovenije, Ljubljana

Slika 1. Poprečne letne višine padavin v mm za obdobje 1951—1980
Fig. 1 Mean yearly precipitation (mm) for the period 1951—1980



Slika 2. Poprečna letna višina izhlapevanja v mm za obdobje 1951—1980
Fig. 2 Mean yearly evapotranspiration (mm) for the period 1951—1980



Slika 3 Poprečni letni odtoki v mm za obdobje 1951—1980
Fig. 3 Mean yearly runoff (mm) for the period 1951—1980

