
Vandens balanso modelių pritaikymo galimybės upių nuotėkio analizei

Andrius Štaras

Vilniaus universitetas

El. paštas: andrius.staras@gf.vu.lt

ĮVADAS

Nuotėkio analizė – aktualus ir gana dažnas hidrologinių darbų uždavinys. Tam reikia nemažai informacijos, susijusios su nuotėkiu, jo formavimosi sąlygomis bei ypatybėmis. Tačiau, norėdami objektyviai ją įvertinti, turime disponuoti pakankamai tiksliais pradiniais duomenimis. Viena vertus, tai gali būti nesudėtinga, jeigu turėsime tiesioginių nuotėkio stebėjimų duomenų, kita vertus, spręsdami įvairius hidrologinius uždavinius dažnai galime susidurti su tokių sisteminių stebėjimų nebuvimu. Taip gali būti dėl nepakankamo hidrometrinių stebėjimų stočių ar postų tinklo arba dėl to, kad keliami uždaviniai gali būti siejami ne su esamomis nuotėkio dydžių reikšmėmis, o su būsimo nuotėkio prognoze, kintant kitiems nuotėkį formuojantiems veiksniams (pavyzdžiui, nuotėkio pasikeitimų prognozavimas dėl visuotinio klimato atšilimo). Todėl, neturėdami stebėjimų duomenų, nuotėkį galime apskaičiuoti tik kitais – netiesioginiais būdais. Pagrindinis būdas yra tiriamos hidrologinės sistemos vandens balanso metodas bei jo vidinės struktūros ypatumų ir dėsningumų analizė. Remdamiesi hidrologinių sistemų vandens apykaitos vientisumu (visuotinio medžiagos tvarumo dėsnio specifine išraiška) bei esant pakankamai informacijos apie jose vykstančius procesus, galime apskaičiuoti tuo metu nežinomas atskirų vandens balanso sudedamųjų dalių reikšmes, tarp jų ir nuotėkio dalį. Norėdami išsiaiškinti nežinomą vandens balanso dalį, tenkančią nuotėkiui, turime tiksliai ir teisingai išanalizuoti bei įvertinti žinomas vandens balanso dalis.

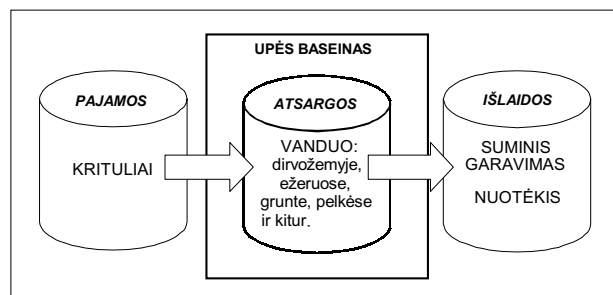
BALANSO METODAS

Pagrindines vandens balanso sudedamąsias galime apibūdinti kaip tiriamos vandens apytakos sistemos pajamų, išlaidų bei atsargų dalis. Vandens balanso

modeliai apima savyje visas šias tris dalis ir jų tarpusavio ryšius. Be to, vandens atsargos sistemoje yra lygios pajamų ir išlaidų skirtumui. Tad žinodami dviejų vandens balanso sudedamųjų reikšmes, nesunkiai išsiaiškinsime ir trečiąją. Tam pasiekti reikalingas konkretaus objekto vandens balanso sudedamųjų (pajamų, išlaidų bei atsargų) įvardijimas bei analizė. Upių baseinų vandens balanso pagrindine sudedamąja pajamų dalimi yra krituliai, iškritę upės baseino teritorijoje; išlaidos šioje sistemoje daugiausia siejamos su nuotėkiu ir suminiu garavimu, o atsargų dalies reikšmės dydis priklauso nuo tuo metu baseine esančio vandens kiekio, susikaupusio dirvožemyje, gruntiniuose vandenyse, ežeruose, dirbtinėse vandens talpyklose, pelkėse ir kitur (1 pav.).

Tad vadovaudamiesi visuotiniu medžiagos tvarumo dėsniu bei upių baseinų vandens balanso pagrindinių dalių tarpusavio ryšiais galime teigti, kad nuotėkio iš upės baseino reikšmė bus lygi kritulių, iškritusių upės baseino teritorijoje, ir suminio garavimo skirtumui bei vandens atsargų, esančių baseine, pokyčiui:

$$R = P - ET \pm \Delta S; \quad (1)$$



1 pav. Pagrindinės upių baseinų vandens balanso dalys ir jų tarpusavio ryšiai

Fig. 1. Main parts and relationships of water balance of rivers basins

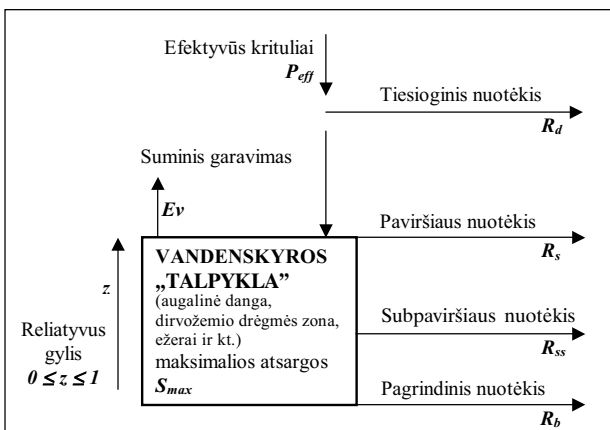
čia R – nuotėkis iš baseino, P – krituliai, iškritę baseino teritorijoje, ET – suminis garavimas, ΔS – vandens atsargų, susikaupusių baseine, pokytis.

Ši upių baseinų vandens balanso formulė yra generalizuota ir patogi sprendžiant labiau globalizuotus laike ir erdvėje hidrologinius uždavinius, kai pasirenkamas nemažo mastelio objektas, o analizuojamos sistemos modelio laiko žingsnis yra pakankamai didelis (pavyzdžiui, daugiamečio laikotarpio vandens balansas). Mažesnio masto objektuose vandens balanso dalis dažnai reikia labiau susmulkinti, panaudoti tankesnę vandens balanso modelio laiko žingsnį. Iškyla poreikis detalizuoti pagrindines balanso dalis (kritulius, suminį garavimą, nuotėkį) į smulkesnes sudedamąsias, pavyzdžiui, detalizuojant nuotėkį galima jį išskaidyti į kelias nuotėkio sudedamąsias dalis (2 pav.).

Vandens balanso dalių detalumas priklauso nuo keliamų tikslų konkrečiuose uždaviniuose, taip pat nuo skirtingų apskaičiavimo metodų panaudojimo. Juo išsamesnis yra vandens balanso suskirstymas, tuo daugiau reikia pradinių duomenų, tuo sudėtingesni atliekami skaičiavimai. Pavyzdžiui, paprasto tipo vandens balanso modelio WatBal (2 pav.) pagrindinė balanso lygtis (2) savo pobūdžiu yra analogiška pagrindinei konceptualiai upės baseino vandens balanso lyčiai (1), tačiau yra labiau detalizuota, o tai suteikia galimybę įvertinti laiko žingsnį bei smulkesnes balanso sudedamąsias dalis:

$$S_{max} (dz/dt) = [P_{eff} - R_d(\beta)] - R_s(z,t) - R_{ss}(z,t) - E_v(PET,z,t) - R_b; \quad (2)$$

čia S_{max} – maksimalus atsargų tūris, P_{eff} – efektyvūs krituliai, R_d – tiesioginis nuotėkis, R_s – paviršiaus nuotėkis, R_{ss} – subpaviršiaus nuotėkis, E_v – suminis garavimas, PET – potencialus suminis garavimas, R_b ,



2 pav. Konceptuali WatBal modelio schema (Yates, 1994)
Fig 2. Conceptual scheme of the WatBal model (Yates, 1994)

– pagrindinis nuotėkis, z – reliatyvus dirvožemio drėgmės sluoksnio gylis, t – laikas.

Taigi, siekiant nustatyti baseino nuotėkį, reikia pasirinkti tinkamą (tenkinantį uždavinių tikslus) vandens balanso modelį bei įvertinti likusias upės baseino vandens balanso sudedamąsias: suminį garavimą, kritulius bei vandens atsargas, susikaupusias tiriamame upės baseine.

SUMINIS GARAVIMAS

Suminis garavimas (evapotranspiracija, arba ET) tai – procesas, kurį detalizuojant išskiriamos dvi pagrindinės sudedamosios dalys: evaporacija ir transpiracija. Evaporacijos metu vanduo iš skysto pavidalo pavirštes vandens garais (garavimas) pasišalina nuo garuojančio paviršiaus (išgaravimas). Vanduo garuoja nuo įvairaus paviršiaus: ežerų, upių, gatvių, dirvožemių, nuo drėgnos augmenijos dangos. Vandens molekulių virsmui iš skystčio į garus reikalinga energija, kurią suteikia tiesioginė saulės radiacija ir mažesniu mastu aplinkinė oro temperatūra. Pagrindinė jėga, skatinanti vandens išgaravimą nuo drėgnų paviršių, yra skirtumas tarp vandens garų slėgio garuojančiame paviršiuje ir jį supančioje atmosferoje. Prasidėjus garavimui aplinkinis oras palaipsniui prisotinta vandens garų, toliau šis procesas lėtėja ir gali baigtis, jeigu drėgnas oras nebus perneštas į atmosferą. Drėgmės prisotinto oro virtimas sausesniu labai priklauso nuo vėjo greičio. Taigi saulės radiacija, oro temperatūra, oro drėgnumas ir vėjo greitis yra tie meteorologiniai parametrai, kuriuos reikėtų apsvastyti vertinant garavimo procesus (Allen, 1998).

Kita svarbi suminio garavimo dalis, veikianti evapotranspiracijos mastą, yra transpiracija (biologinis garavimas). Transpiracijos metu augaluose esantis vanduo yra išgarinamas per augalų lapų stomatas (mažas žioteles lapų paviršiniame tarplasteliniame sluoksnyje) ir patenka į atmosferą. Kartu su kai kuriomis ištirpusiomis maisto medžiagomis vanduo yra sugeriamas augalų šaknų ir išnešiojamas po visą augalą (Allen, 1998). Transpiracija vyksta kartu su fotosintezės ciklu, kada anglies dioksidas (CO_2) ir vandens garai cheminės reakcijos metu formuoja energijai gauti reikalingus angliavandenius ir išskiria į aplinką deguonį bei vandens garų perteklių. Didžioji vandens dalis išgaruoja į atmosferą ir tik labai nedidelį vandens kiekį panaudoja pats augalas. Žinoma, įvairios augmenijos rūšys gali transpiruoti į aplinką skirtingą vandens kiekį. Taigi, vertinant transpiracijos indėlį į suminį garavimą, reikia atsižvelgti ir į baseino augmenijos rūšinę sudėtį, morfologines savybes bei vegetacijos ypatumus.

Didžiausią suminio garavimo dalį sudaro garavimas iš dirvožemio ir biologinis garavimas. Abu jie priklauso nuo teritorijos drėkinimo: juo daugiau yra

drėgmės, juo daugiau išgarinama. Ši sąlyga netinka atviro vandens telkiniams, todėl garavimas iš vandens paviršiaus yra artimas garingumui (potencialiam garavimui) (Kilkus, 1998). Suminis garavimas yra itin stabilus vandens balanso elementas, tačiau jo erdvinis pasiskirstymas nėra tolygus, nes, be meteorologinių veiksnių (temperatūros, oro drėgnumo, vėjo greičio, dirvožemio drėgnumo), suminio garavimo regioninius skirtumus lemia ir kraštovaizdžio struktūra (miškingumas, ežeringumas, dirvožemiai, žemėnauda, urbanizuotos teritorijos ir kt.). Vertinant šių skirtingų teritorinių kraštovaizdžio tipų įtaką upių baseinų nuotėkiui, smarkiai gelbsti geografinės informacinės sistemos (GIS). Panaudojant esamų ir naujų geoinformacinių sistemų duomenų bazių informaciją bei kartografinius upių baseinų duomenis, galima nesunkiai ir be didelių darbo bei laiko sąnaudų nustatyti baseino erdvinę sudėtį (kokia baseino dalis tenka ežerams, pelkėms, vienokio ar kitokio tipo miškams, dirvožemiams, dirbamai žemei, urbanizuotoms teritorijoms ir pan.). Tai labai padeda detalizuojant vienokio ar kitokio kraštovaizdžio tipo poveikį nuotėkį formuojantiems veiksniams.

KRITULIAI

Krituliai – tai pagrindinė upės baseino vandens balanso pajamų dalies sudedamoji. Ši vandens balanso dalis yra viena svarbiausių nuotėkio analizei. Krituliai – skystos ar kietos būsenos vanduo, krintantis iš debesų arba nusėdantis iš oro ant paklotinio paviršiaus (Rimkus, 1998). Kritulių kiekis priklauso tiems klimato elementams, kurių reikšmė nuolat kinta, jam būdinga įvairios trukmės ir didelės amplitudės anomalijos. Svarbiausias, tarpmetinius kritulių kiekio svyravimus lemiantis veiksnys – makromasto ir mezomasto atmosferos cirkuliacijos ypatumai (Bukantis, 2001). Tad dėl kritulių kiekio kitimo atitinkamai kinta ir likusiųjų vandens balanso sudedamųjų reikšmės. Upės baseino vandens balanso sistemoje krituliai vyrauja kaip vandens kiekis, iškritęs skystu arba kietu pavidalu tiriamos upės baseino teritorijoje. Kritulių kiekis priklauso nuo atmosferos cirkuliacijos procesų ir nuo pastarųjų sąveikos su mezomasto ir mikromasto fizinėmis geografinėmis sąlygomis (Bukantis, 2001), todėl tampa svarbi vandens balanso metodu tiriamos upės baseino erdvinės struktūros padėtis (baseino mastelis, plotas, forma, vidinės bei aplinkinės fizinės geografinės sąlygos). Be to, atmosferos krituliai dažniausiai esti vienintelis drėgmės pernešimo į sausumą šaltinis, todėl iškrentančių kritulių matavimo ir apskaičiavimo tikslumas dažniausiai nulemia patikimą vandens balanso apskaičiavimą (Sokolov, Chapman, 1976). Tikslaus kritulių kiekio, iškrentančio į baseino teritoriją, įvertinimas yra gana problemiška užduotis, kadangi reikalingas tankus kri-

tulių stebėjimo taškų tinklas bei pakankamai dažni stebėjimai. Vidutinis kritulių kiekis, iškrentantis upės baseine arba bet kurioje kitoje teritorijoje, yra nustatomas pagal tiriamoje teritorijoje išdėstytų kritulmačių duomenis. Kartais, kada kritulmačių skaičius baseino teritorijoje nėra pakankamas, siekiant patikslinti kritulių apskaičiavimo tikslumą panaudojami aplinkiniuose rajonuose esančių kritulmačių stebėjimo duomenys. Kuo trumpesnis laikotarpis, kurio metu buvo apskaičiuojamas vandens balansas, tuo tankesnis turėtų būti kritulmačių tinklas (Sokolov, Chapman, 1976). Kritulių matavimo prietaisų tikslumas yra ribotas ir priklauso nuo konstrukcijos, pastatymo vietos bei aukščio, matavimo dažnio ir kt. (Kilkus, 1998). Sisteminiams paklaidoms ištaisyti įvedamos kritulmačių duomenų pataisos. Šios pataisos yra susijusios su kritulių nuostoliais pačiame kritulmatyje (krituliai ant prietaiso sienelių, taip pat išgaravę iš jo) bei dalies kritulių nupūtumu esant vėjui (Kilkus, 1993). Apykaltai tarp atskirų vandens balanso dalių didelę reikšmę turi kieto pavidalo krituliai. Krituliai, iškrentantys upės baseino teritorijoje sniego pavidalu, esant neigiamai oro temperatūrai akumuliuojasi sniego dangoje (papildo vandens atsargų dalį), o atšilus orui ir prasidėjus sniego dangos tirpsmui gerokai papildo vandens balanso išlaidų sudedamąsias dalis, ypač nuotėkį.

VANDENS ATSARGOS

Vandens atsargos upių baseinų vandens balanso sistemoje yra suprantamos kaip vandens kiekis, esantis upės baseine tiriamuoju laikotarpiu. Į vandens atsargų pokyčius baseine atsižvelgiama tik apskaičiuojant konkretaus laikotarpio (konkrečių metų, sezono, mėnesio, dekadų) vandens balansą, taip pat apskaičiuojant vidutinius daugiamečius, sezoninius ir mėnesio vandens balansus. Visi vandens balanso lygties nariai, apibūdinantys vandens atsargų pokyčius, nustatomi pagal vandens atsargų skirtumą tiriamojo laikotarpio pabaigoje ir pradžioje. Upių baseinuose vandens atsargos susideda iš vandens atsargų baseino paviršiuje, dirvožemyje ir aeracijos zonos gruntuose, požeminiuose vandenyse (Sokolov, Chapman, 1976). Vidutinio klimato zonoje šaltojo sezono vandens atsargos gali akumuliuotis sniego dangoje. Joje susikaupusios vandens atsargos labai pavėluotai formuoja nuotėkį. Tad pritaikant vandens balanso modeliavimą, temperatūros režimo įvertinimui reikėtų skirti atitinkamą dėmesį. Vandens atsargų baseino paviršiuje dalį galime suskirstyti į tris pagrindines grupes: 1) lietaus vanduo, susilaikęs smulkiuose reljefo pažemėjimuose (pavyzdžiui, susikaupęs balose po lietaus), – dažniausiai neįvertintas trumpalaikis reiškinys, nes šis vanduo greitai tampa kitų vandens balanso sudedamųjų dalimi (išgaruoja arba filtruoja-

si į dirvožemį); 2) vandens atsargos, susikaupusios kietoje fazėje; 3) vandens atsargos, susikaupusios hidrografiniame tinkle (upių vagose, ežeruose, dirbtinėse vandens talpyklose, pelkėse). Akumuliacija ežeruose priklauso nuo upės baseino ežeringumo, ežerų dydžio (tūrio), taip pat yra svarbi vandens lygio svyravimo amplitudė tiriamuoju laikotarpiu. Į vandens akumuliaciją ežeruose siūloma atsižvelgti tuomet, kada upės baseino ežeringumas viršija 2–3% (Sokolov, Chapman, 1976). Analizuojant vandens atsargų kiekį tiriamos upės baseine, išvardytos vandens atsargų dalys apibendrinamos arba detalizuojamos priklausomai nuo pasirinkto vandens balanso modelio vidinės struktūros keliamų reikalavimų.

IŠVADOS

Vertinant vandens balanso metodo taikymo upių nuotėkio analizei galimybes, galima teigti, kad upės baseino vandens balanso metodas yra patogus, o kartais net vienintelis nuotėkio apskaičiavimo būdas, nesant tiesioginių upių baseinų nuotėkio stebėjimo duomenų.

Vandens balanso modelių sudedamųjų dalių struktūra bei tarpusavio ryšiai gali padėti apskaičiuojant prognozuojamas upių nuotėkio reikšmes, remiantis atitinkamai prognozuojamomis nuotėkį formuojančiomis vandens balanso dalimis.

Upės baseino vandens balanso paprasto tipo modelio sudedamųjų dalių detalizavimas suteikia galimybę analizuoti modeliuojamą upės nuotėkį, išskaidytą į smulkesnes sudedamąsias dalis.

Modeliuojamo upės nuotėkio tikslumas bei patikimumas priklauso nuo pasirinkto vandens balanso modelio principinės vidinės loginės struktūros bei pasirinktų tikslų parametrų nustatymo metodų.

Upių baseinų vandens balanso pagrindinių sudedamųjų – kritulių, suminio garavimo bei vandens atsargų išsamus bei korektiškas įvertinimas suteikia galimybę plačiai bei kokybiškai analizuoti upės baseino nuotėkį panaudojant vandens balanso modeliavimą.

Gauta 2002 02 18
Parengta 2002 03 21

Literatūra

- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. (1998). *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56*. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Bukantis A., Rimkus E., Stankūnavičius G. (2001). Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje. Vyr. red. A. Bukantis. *Lietuvos klimato svyravimai ir kaita*. Vilnius: Geografijos institutas, Vilniaus universitetas.
- Yates D. (1994). WatBal – An integrated Water Balance Model for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff. *IIASA WP. 30*: 64–94.
- Kilkus K. (1993). *Bendroji hidrologija. Ežerai ir vandens talpyklos*. Vilnius: Arėjas.
- Kilkus K. (1998). *Lietuvos vandenuų geografija*. Vilnius: Apyaušris.
- Rimkus E. (1998). *Meteorologijos pagrindai*. Vilnius: Vilniaus universitetas.
- Sokolov A. A., Chapman T. G. (1976). *Metody rasčiota vodnych balansov*. Leningrad: Gidrometeoizdat.

Andrius Štaras

WATER BALANCE MODELS EMPLOYING POSSIBILITIES FOR RIVER RUNOFF ANALYSIS

S u m m a r y

The estimation of the water balance method offering the possibilities of river runoff analysis shows that river basin water balance modelling is quite a practical tool to calculate the rate of river runoff. This is very important when primary observation runoff data are missing or the goals of research are related to future runoff prediction. A correct water balance modelling needs precise data on the status of water balance components, so the methodology of calculation must be quite adequate. The state of water balance is considered in three aspects: system input, system output, and water storage. The main input component of a river basin water balance system is precipitation, and the main outputs are evapotranspiration and runoff. The main parts of a simple water balance are elaborated for more specific purposes of modelling. So a precise estimation of the precipitation, evapotranspiration and water storage rate in river catchments gives us a good possibility to calculate river basin runoff by using water balance modelling.