

Sniego tirpimo modeliavimas

A. Dumbrasuskas, D. Raškinienė (LŽŪU)

Įvadas

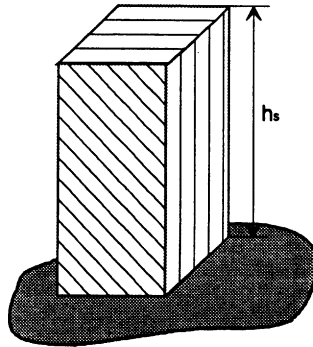
Viena iš svarbiausių hidrologinio ciklo grandžių yra paviršinis nuotakis. Lietuvos upių baseinuose jo formavimasis yra skirtingas įvairiuose hidrologiniuose rajonuose, tačiau visur būdingas sezoniškumas. Didžiausia nuotakio tūrio dalis susiformuoja rudens ir pavasario poplūdžių metu. Sprendžiant įvairius vandens ūkio uždavinius dažnai tenka prognozuoti nuotakio eigą potvynio metu, todėl pastaruoju metu yra sukurta labai daug matematinių modelių, leidžiančių tą padaryti. Visiems šiems modeliams reikia gana daug duomenų ir viena iš svarbiausių charakteristikų, modeliuojant nuotakio hidrografą yra vandens kiekis, patenkantis ant nagrinėjamo upės baseino paviršiaus. Rudens ar vasaros liūčių metu tokią informaciją galima gauti iš meteorologinių stočių, kur registruojamas kritulių kiekis ir jų intensyvumas, tačiau pavasario polaidžio metu žymią nuotakio dalį formuoja sniego tirpimo vanduo, kuris nėra registruojamas. Meteorologinės stotys fiksuoja tik sniego dangos storį ir vandens atsargas sniege potvynio pradžiai. Tad sniego tirpimo vandens kiekį per norimą laiko tarpą tenka nustatyti skaičiavimo būdu. Tuo tikslu yra sukurta gana daug skaičiavimo metodų. Bene tiksliausių iš jų laikomas šilumos balanso metodas, kadangi jis fiziškai pagrįstas. Yra ir paprastesnių - empirinių metodų [3]. Visi jie turi savo privalumus ir trūkumus. Fiziškai pagrįsti metodai reikalauja gana daug išieities duomenų. Kai kurių iš jų gavimo galimybės ribotos. Pavyzdžiui, suminė saulės radiacija Lietuvoje stebima tik dviejose meteorologinėse stotyse. Empiriniai metodai reikalauja mažiau duomenų tačiau nėra pakankamai tikslūs, tad hidrologams tenka spręsti, koki metodą pasirinkti priklausomai nuo turimų duomenų ir norimo tikslumo. Šiame darbe panagrinėsime autorių siūlomą supaprastintą fizinį modelį ir paanalizuosime fiziškai pagrįstų metodų tikslumo aspektus.

Pagrindinės sniego charakteristikos

Prieš nagrinėjant sniego tirpimo procesą aptarsime pagrindines sniego savybes. Sniegas tai smulkių ledo kristalų masė [1], kuriai būdingos ir kai kurios gruntų savybės kaip antai poringumas, tankis ir kt. Panagrinėkime 1 pav. pavaizduotą stačiakampį elementą, išpjautą iš tisinėje sniego dangoje, kurio aukštis h_s , ir pagrindo plotas A . Tuomet elemento tūris - $V = h_s \cdot A$. Nagrinėjamo elemento poringumas:

$$\phi = \frac{V_o + V_v}{V_s}, \quad (1)$$

kur V_o , V_v , V_s - atitinkamai oro, vandens ir sniego tūriai nagrinėjamame elemente.



1 pav. Nagrinėjamas sniego dangos elementas.

Tankis:

$$\rho = \frac{M_s}{V_s}, \quad (2)$$

kur M_s – nagrinėjamo elemento masė (kartu sniego, vandens ir oro masė).

Vandens atsargos sniege h_m arba dar kitaip vadinamas vandens ekvivalentas nustatomas taip:

$$h_m = \frac{V_m}{A}, \quad (3)$$

kur V_m – vandens tūris, kuris būtų gautas ištirpus sniego tūriui V_s .

Praktikoje, atliekant sniego dangos nuotraukas, matuojamas sniego dangos aukštis ir tankis. Tuomet h_m patogiau apskaičiuoti pagal tokią išraišką:

$$h_m = \frac{\rho_s}{\rho_v} h_s, \quad (4)$$

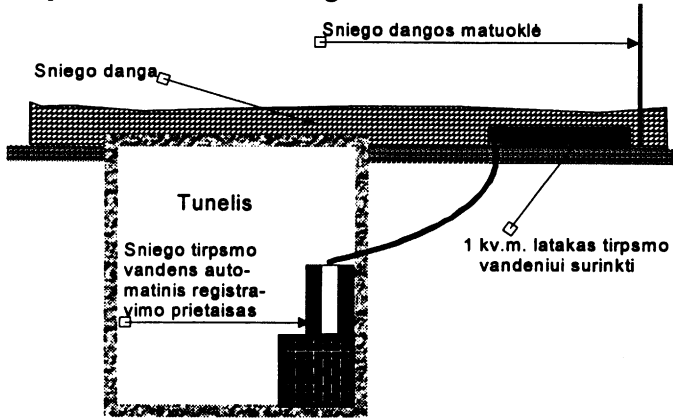
kur ρ_s – sniego tankis, g/cm^3 ; ρ_v – vandens tankis, g/cm^3 ; h_s – sniego dangos aukštis, cm.

Aptartos charakteristikos leis aiškiau suprasti žemiau nagrinėjamą sniego tirpimo procesą.

Sniego tirpimo lauko eksperimentas

Sniego tirpimo stebėjimai buvo vykdomi LŽŪU Melioracijos katedros lauko laboratorijoje, kurios privalumas yra tas, kad registravimo prietaisas (buvo naudojamas pliuviografas) patalpintas tunelyje ir, nukritus oro temperatūrai žemiau nulio, neužšaldavo [2]. Tai leido vykdyti nenutrūkstamą sniego tirpimo vandens registraciją. Antžeminėje aikštelėje buvo įrengti du metaliniai 1×1 m latakai (vieno jų įrengimo schema pavaizduota 2 pav.), iš kurių per sniegą prasisunkęs vanduo plastikiniais vamzdžiais pateko į pliuviografą. Šalia latakų įrengta matuoklė leido registruoti sniego dangos aukštį ir vėliau apskaičiuoti sniego tankio kitimą bei likusią neištirpusio sniego masę. Kadangi nuo eksperimento vykdymo vietos iki Kauno meteorologinės stoties tik apie 400 m, kiti

meteorologiniai elementai (krituliai, oro temperatūra, oro drėgmė, atmosferinis slėgis ir kt.) nebuvo registruojami, o imti iš meteorologinės stoties.



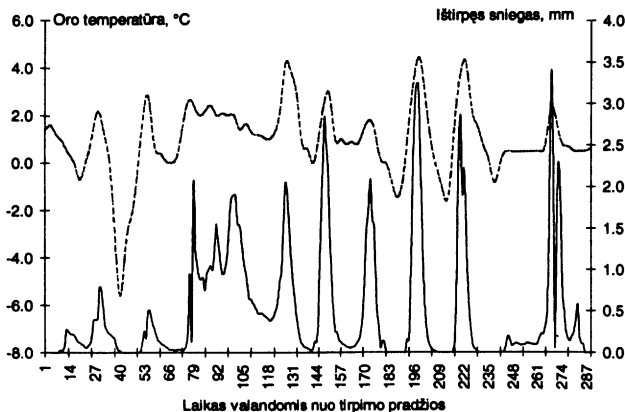
2 Pav. Lauko eksperimento vietos skersinio pjūvio schema.

Sniego tirpimo pradžia buvo nustatyta vandens atsargos sniege ir užfiksuotas sniego dangos aukštis. Pavyzdžiai sniego tankiui imti šalia latakų 5–6 m atstumu, kad nepažeistume natūralios sniego dangos struktūros latakuose ir šalia jų.

Eksperimento metu kritulių lietaus pavidale iškrito labai nedaug (tik 3.4 mm), dangus buvo debesuotas, išskyrus 2 saulėtus dienas. Oro temperatūra vidurdienį pakildavo iki +4–5 °C, naktį, pirmąsias 4 paras nukrisdavo iki –7 °C, vėliau tik iki –1 °C.

Sniego tirpimo eiga buvo registruojama kas 1 valandą, o iš meteorologinės stoties gauti duomenys užrašyti kas 3 val. ir vėliau (naudojant splaino funkciją) interpoluoti 1 val. intervalui. Oro temperatūros ir sniego tirpimo eiga pavaizduota 3 paveiksle.

Sniego tirpimo eiga glaudžiausiai siejasi su oro temperatūra, kiek mažiau su oro drėgme bei vėjo greičiu ir visai nedaug su atmosferos slėgiu. Tai matyti iš pateiktos koreliacijos koeficientų matricos (1 lentelė).



3 pav. Oro temperatūra (punktyrinė linija) ir sniego tirpimo eiga
1 lentelė. Meteorologinių elementų ir ištirpusio sniego vandens kiekio koreliacijos koeficientų matrica.

	h_s	T_{2m}	T_p	d	v	D_b	D_z	P	H	e	B	B_d	Q	A_k	H
h_s	1														
T_{2m}	0.63	1.00													
T_p	0.40	0.75	1.00												
d	0.51	0.46	0.07	1.00											
v	0.25	0.33	0.19	0.38	1.00										
D_b	0.17	0.12	0.07	0.31	0.19	1.00									
D_z	-0.23	-0.18	0.22	-0.73	-0.20	-0.12	1.00								
P	0.28	0.01	-0.07	0.36	0.46	0.31	-0.24	1.00							
H	0.05	0.04	0.09	-0.18	-0.01	0.03	0.21	-0.13	1.00						
e	0.03	-0.18	-0.11	0.09	0.01	0.18	-0.22	0.20	-0.24	1.00					
B	0.43	0.48	0.30	0.42	0.21	0.04	-0.20	0.03	-0.07	0.01	1.00				
B_d	-0.37	-0.33	-0.04	-0.67	-0.25	-0.22	0.69	-0.32	0.21	-0.31	-0.36	1.00			
Q	0.45	0.49	0.28	0.55	0.20	0.08	-0.38	0.08	-0.14	0.14	0.95	-0.58	1.00		
A_k	0.29	0.41	0.37	0.26	0.07	0.11	-0.06	-0.06	-0.07	0.05	0.66	-0.28	0.69	1.00	
H	0.35	0.46	0.40	0.32	0.13	0.06	-0.09	0.02	-0.09	0.05	0.79	-0.34	0.81	0.92	1.00

Lentelėje: h_s – ištirpusio sniego kiekis, mm; T_{2m} – oro temperatūra, °C; T_p – sniego paviršiaus temperatūra, °C; d – oro drėgmės deficitas, hPa; v – vėjo greitis, m/s; D_b – bendras debesuotumas, bal; D_z – žemutinis debesuotumas, bal; P – atmosferinis slėgis, hPa; H – krituliai, mm; e – prisotintų garų slėgis, hPa; B – radiacinis balansas, kW; B_d – ilgabangės radiacijos balansas, kW; Q – suminė saulės radiacija, kW; A_k – albedo; H – saulės pakilimo kampas, laipsn.

Paanalizavus lentelėje pateiktus rezultatus, matyti, kad oro temperatūra yra kaip integruojantis elementas visų kitų meteorologinių elementų. Ypač glaudus ryšys stebimas tarp oro temperatūros ir ją lemiančių pagrindinių elementų – oro drėgmės deficito, radiacijos balanso, vėjo greičio ir suminės saulės radiacijos. Likusieji elementai yra pakankamai koreliuoti tarpusavyje ir papildomos informacijos neteikia. Tie patys meteorologiniai elementai lemia ir ištirpusio sniego kiekį. Tuo pat metu pastebimas ryšys tarp h_s ir T_{2m} leidžia daryti išvadą, kad šilumos balanso metodas skaičiuoti sniego tirpimo intensyvumui gali būti pakeistas paprastesniu, naudojant tik oro temperatūrą. Be abejo, lentelėje pateikti rezultatai neatspindi proceso vyksmo ir ryšiai tarp meteorologinių elementų yra daug sudėtingesni, tačiau jau ir tokia grubi analizė, leidžia daryti tam tikras išvadas.

Skaičiavimo metodika ir rezultatai

Remiantis energijos tvarumo dėsniu ir šilumos balanso lygtimi, šilumos kiekis Q , reikalingas tam tikrai sniego masei h_m paversti vandeniu gali būti surandamas taip:

$$Q = h_m \cdot D, \quad (5)$$

kur D – ledo specifinė šiluma (cal/gr).

Sniego tirpsmo intensyvumas Y_1 ($\frac{gr}{\text{sek} \cdot \text{cm}^2}$) apskaičiuojamas tokiu būdu:

$$Y_1 = \frac{h_m}{A \cdot \tau}. \quad (6)$$

Tuomet sniego tirpsmo intensyvumas visam paviršiui bus $Y = Y_1 \cdot A$. Masės pokytį nagrinėjamaam elementui per laiką dt galime užrašyti taip:

$$-dh_m = Y \cdot dt. \quad (7)$$

[vertinat elemento paviršiaus plotą A gauname:

$$-dh_m = Y_1 \cdot A \cdot dt. \quad (8)$$

Pasinaudoję šilumos perdavimo lygtimi [4]:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \tau \cdot \Delta T, \quad (9)$$

kur α - perdavimo koeficientas; ΔT - temperatūrų skirtumas; ir aukščiau užrašytomis lygtimis tolygiai sniegu padengtam ploteliui A turėsime:

$$\begin{aligned} -dh_m &= Y_1 \cdot A \cdot dt = \frac{h_m}{A \cdot \tau} \cdot A \cdot dt \\ -dh_m &= \frac{h_m}{\tau} dt = \frac{Q}{D \cdot \tau} \cdot dt \\ -dh_m &= \frac{\alpha \cdot A \cdot \tau \cdot \Delta T}{D \cdot \tau} \cdot dt = \frac{\alpha \cdot A}{D} \cdot \Delta T \cdot dt. \end{aligned} \quad (10)$$

Prilyginę $\bar{\alpha} = \frac{\alpha \cdot A}{D}$ galime parašyti:

$$-dh_m = \bar{\alpha} \cdot T^+ \cdot dt \quad \text{arba} \quad h_{m_0} - h_m = \bar{\alpha} \int_0^t T^+ dt. \quad (11)$$

Iš čia:

$$h_m^t \approx h_{m_0} - \bar{\alpha} \cdot \sum_0^t T^+ \Delta t, \quad (12)$$

kur t – laikas valandomis, T^+ – teigiama skaičiuojamojo intervalo temperatūra, °C.

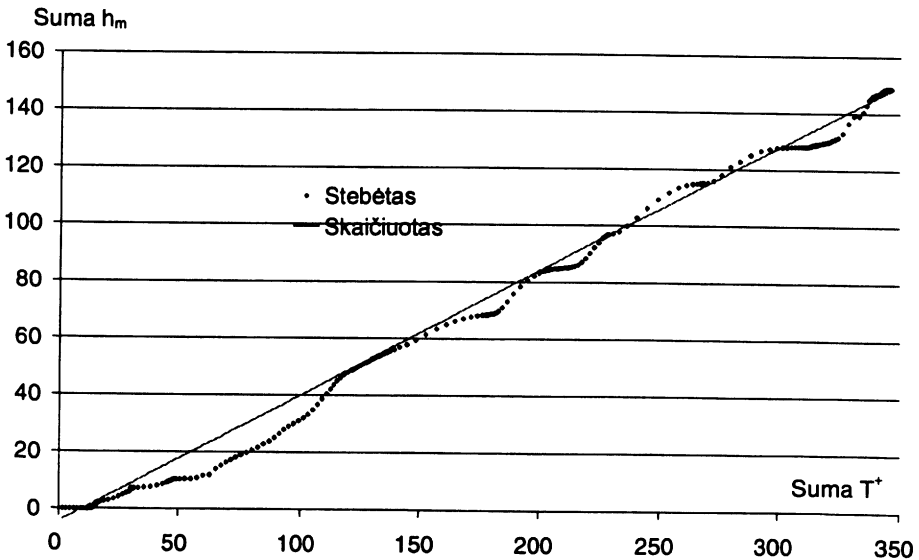
Gautai išraiškai, pasinaudodami sniego tirpsmo eksperimento duomenimis nustatėme koeficientą $\bar{\alpha}$ ir apskaičiavome sniego tirpimo eigą. Apskaičiuoto ir išmatuoto sniego tirpsmo intensyvumo eiga pavaizduota 4 pav. Gauta koeficiento reikšmė $\bar{\alpha} = 0.433$, koreliacijos koeficientas $r = 0.98$. Nežiūrint į tai, kad koreliacijos koeficientas arti vieneto, paklaidos kai kur viršija leistinas. To reikėjo ir tikėtis, kadangi vanduo, susidarantis tirpstant sniegui, ne iš karto patenka ant žemės paviršiaus, bet akumuliuojasi pačiame sniege ir, tik pilnai užsipildžius laisvoms poroms, prasisunkia iki žemės paviršiaus. Be to,

dalis šilumos sunaudojama sniego temperatūrai pakelti iki $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir tik po to prasideda tirpsmas. Būtent šie du pastarieji reiškiniai ir yra neleistinių paklaidų priežastis. Nežiūrint į tai, galima daryti išvadą, kad rekomenduojamą metodiką galima būtų taikyti skaičiuoti sniego tirpsmui atskiruose plotuose, kur sniegas pasiskirstęs tolygiai.

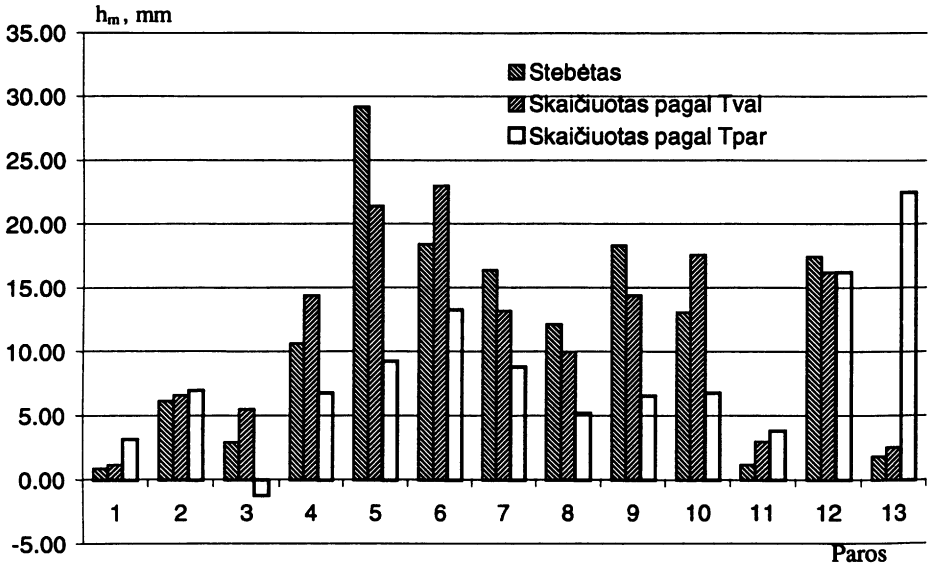
Lyginant paskaičiuotus suminius paros dydžius naudojant valandines ir paros vidutines oro temperatūras, (5 pav.) matyti, kad skirtumai gana žymūs ir ypač pagal paros vidutines temperatūras, kadangi vidutinei paros oro temperatūrai esant lygiai nuliui ar net neigiamai, valandinių teigiamų temperatūrų suma yra didesnė už nulį. Tad, patikslinus mūsų siūlomą metodiką ir įvertinus vandens akumuliaciją sniege, galima pakankamai patikimai apskaičiuoti sniego tirpimo intensyvumą.

Išvados

- 1) Siūloma sniego tirpimo skaičiavimo metodika gali būti taikoma konceptualiniuose modeliuose, kuriuose baseinas skirstomas į elementus ne didesnius kaip 100 metrų. Tuo atveju sniego dangos pasiskirstymo netolygumas gali būti ignoruojamas.
- 2) Modeliams su sutelktais parametrais reikia įvertinti sniego dangos aukščio pasiskirstymą erdvėje ir pateikta metodika negali būti taikoma.
- 3) Skaičiuojant pagal pateiktą metodiką rekomenduojamas laiko intervalas turi būti ne didesnis kaip 3 valandos.



4 pav. Skaičiuoto ir stebėto ištirpusio sniego kiekio per 1 valandą palyginimas (integralinės sumos).



5. pav. Stebėtų ir dviem būdais apskaičiuotų ištirpusio sniego kiekių per parą palyginimas

LITERATŪRA

- [1] S. Lawrence Digman, *Physical hydrology*, Prentice-Hall Inc. New Jersey, 1993.
- [2] Dumbrasukas, Lietuvos TSR drenuotų priemolio dirvožemių pavasario polaidžio nuotėkio analizė, skaičiavimas ir prognozavimas. Disertacija technikos kandidato laipsniui įgyti. Kijevas. 1988. (rusų kalba).
- [3] Elizabeth M. Shaw, *Hydrology in practice*, Chapman & Hall, 1994.
- [4] H.Kuchling, *Fizikos žinynas*, 1982 (rusų kalba).

Snowmelt simulation

A. Dumbrasukas, D. Raškinienė

The article deals with snowmelt simulation methodology, using hourly air temperature.