

KOHOSUON VEDENKORKEUDEN LASKEMISESTA

Viime vuosina on Hydrologisessa toimistossa pyritty kehittämään mallia, joka selittäisi sateen, haihdunnan ja valunnan välisiä riippuvuuksia eräillä soilla. Kehitetty malli johtaa siihen, että suon vedenkorkeus voidaan laskea sateen ja haihdunnan avulla (Virtä, 1966). Mallin soveltuvuutta voidaan siis tutkia vertaamalla mitattuja ja laskettuja vedenkorkeuden arvoja toisiinsa. Samankaltaisia laskelmia on suoritettu aikaisemmin Neuvostoliitossa (esim. Novikov, 1964).

Seuraavassa esitettävät laskelmat liittyvät Etelä-Suomessa Lopella sijaitsevaan kohosuohon nimeltään Luutasuo ($\varphi = 60^{\circ}41'N$, $\lambda = 24^{\circ}19'E$).

Malli

Malliin liittyvät oletukset ovat seuraavat:

1. Suon vesivarasto riippuu yksikäsitteisesti suon vedenkorkeudesta. Tätä riippuvuutta kuvaa funktio $S(W)$. S on suon vesivarasto ja W on vedenkorkeus. Varastoitumiskerroin s on vesivaraston derivaatta vedenkorkeuden suhteen eli $s = \frac{dS}{dW}$.

2. Suolta tapahtuu valumista ainoastaan suon pintakerroksissa. Tämä valunta R riippuu yksinomaan suon vedenkorkeudesta. Riippuvuutta kuvaa funktio $R(W)$.

3. Valuminen suon ympärillä olevasta maastosta suolle on pieni. Tämä oletamus on parhaiten voimassa kohosuolla.

4. Vedenkorkeuden vaihtelut eri puolilla suota ovat yhtäsuuria ja samanaikaisia.

5. Haihdunnan arvioiminen voidaan suorittaa kaavasta

$$(1) \quad E = f(W)E_0.$$

f on vedenkorkeudesta riippuva funktio, ja E_0 on eräänlainen "standardihaihdunta". Tämä voidaan laskea meteorologisten suorien avulla.

Yllä esitettyjen oletusten perusteella voidaan vesitalousyhtälö suon pintayksikköä kohden kirjoittaa

P on sademäärä, oikean puolen ensimmäinen termi kuvaa suosta tapahtuvaa haihduntaa, toinen termi kuvaa valuntaa ja viimeinen termi vesivaraston muutosta. Suure W_b on vedenkorkeus jakson alussa, ja W_e on vedenkorkeus jakson lopussa. Δt on lyhyt aikaväli. Olettamuksen 4 nojalla voidaan yhtälöstä (2) esiintyvä vedenkorkeus havaita millä vedenkorkeusasteikolla tahansa.

Yhtälöä (2) sovellettaessa tunnetaan funktiot $f(W)$, $R(W)$ sekä $S(W)$. Lisäksi tunnetaan sademäärä P , haihdunta E_0 sekä jakson alkuvedenkorkeus W_b . Jakson loppuvedenkorkeus W_e ratkaistaan yhtälöstä.

Pyrkimyksenä on laskea vedenkorkeus koko kesäkaudelle. Laskemista varten on tunnettava lähtövedenkorkeus esimerkiksi toukokuun alussa. Kun tämä on havaittu tai se voidaan arvioida, yhtälöä (2) käytetään toistuvasti siten, että laskettu vedenkorkeus W_e asetetaan seuraavan jakson alkuvedenkorkeudeksi ja tämän jakson loppuvedenkorkeus ratkaistaan.

Loppuvedenkorkeuden W_e laskemiseen on käytetty aikaisemmin nomogrammia. Nomogrammin käyttö on vaivatonta, mutta käytännöllisistä syistä johtuen on käytetty varsin pitkää ajanjaksoa Δt . Alkuperäisissä laskelmissa oli tämän jakson pituus 5 vuorokautta. Uusimmissa laskelmissa on loppuvedenkorkeuden ratkaiseminen suoritettu Valtion tietokonekeskuksen tietokoneella ELLIOT 503 käyttämällä 1 vuorokauden pituisia jaksoja.

$$f, R, S \text{ ja } E_0$$

Funktion f määrittämiseen on käytetty seuraavanlaista menetelmää. Haihdunta mitattiin näyteastioista, joissa vedenpintaa pidettiin eri syvyyksillä. Näin saatiin selville haihdunnan riippuvuus veden syvyydestä tietyssä kohdassa. Kun suon pinnan vaakitus oli suoritettu, voitiin tätä riippuvuutta käyttää koko suota koskevan keskimääräisen funktion f laskemiseen. Näin saatu funktio on korjaamaton, sen laskemisessa ei ole otettu huomioon mahdollisia

$$(2) \quad P = \frac{f(W_b) + f(W_e)}{2} E_0 + \frac{R(W_b) + R(W_e)}{2} + \frac{S(W_e) - S(W_b)}{\Delta t}.$$

Taulukko 1. Funktioiden f , R ja S lausekkeet. W on vedenkorkeus (cm).Table 1. Functions f , R and S . W is the water level (cm).

Funktio <i>Function</i>	Yksikkö <i>Unit</i>	Lauseke <i>Formula</i>	Vedenkorkeusväli <i>Water level</i>
f	1	$0,026W + 0,83$ $0,018W + 0,87$ $0,83$	$5 \text{ cm} < W$ * $-2,2 \text{ cm} < W \leq 5 \text{ cm}$ * $W \leq -2,2 \text{ cm}$
R	mm/vrk <i>mm/day</i>	$0,0244W^2 - 0,113W + 0,20$ $0,027W$ 0	$2,5 \text{ cm} < W$ * $0 < W \leq 2,5 \text{ cm}$ $W \leq 0$
S	mm	$0,085W^2 + 2,92W$ $2,92W$	$0 < W$ * $W \leq 0$

haihdunnan mittauksessa syntyneitä systemaattisia virheitä. Tämän funktion korjaaminen suoritetaan samalla kertaa funktioiden R ja S määrittämisen kanssa.

Funktioiden R ja S laskeminen perustuu kaavaan (2). Tehdään seuraavat oletukset

$$(3) \quad R(W) = a_1 W^2 + a_2 W + a_3$$

$$(4) \quad S(W) = \frac{1}{2} s_1 W^2 + s_2 W + s_3$$

Jälkimmäinen yhtälö johtaa

$$(5) \quad S(W_e) - S(W_b) = (s_1 \frac{W_b + W_e}{2} + s_2)(W_e - W_b).$$

Kun lausekkeet (3) ja (5) sijoitetaan kaavaan (2), voidaan vakioiden a_1 , a_2 , a_3 , s_1 ja s_2 arvot laskea sade-, haihdunta- ja vedenkorkeushavaintojen avulla.

Haihdunnan mittaamiseen saattaa liittyä systemaattisia virheitä. Tästä syystä korjattiin vesitalousyhtälöä (2) lisäämällä yhtälön oikealle puolelle termi pE_0 , missä p on määrättävä parametri. Vakiot a_1 , ..., s_2 laskettiin useilla eri parametrin p arvoilla. Tälle parametrille valittiin lopulliseksi se arvo, mikä vastasi sellaista funktiota R , jonka minimiarvo oli pieni positiivinen luku. Korjattu funktio f saatiin lisäämällä luku p aikaisemmin selostetulla menetelmällä saatuun korjaamattomaan funktioon f . On arvioitu, että korjatun haihdunnan virhe saattaa olla 10 %.

Taulukossa 1 on esitetty funktiot f , R ja S . Tähdellä (*) merkityt lausekkeet on saatu alkuperäisten, kesällä 1962 suoritet-

tujen laskelmien avulla, muut lausekkeet perustuvat arviointiin.

Vedenkorkeusasteikon 0-taso on määritelty siten, että kesällä 1962 mitattu alhaisin vedenkorkeus vastasi lukemaa 0. Suon pinnan asema tähän asteikon 0-kohtaan on sellainen, että vedenkorkeuden ollessa 5 cm suon pinnasta on vedenpinnan yläpuolella n. 94 %, ja vedenkorkeudella 15 cm on suon pinnasta n. 60 % vedenpinnan yläpuolella.

Standardihaihdunta E_0 mitattiin näyteastiasta, missä veden syvyys oli 16 cm. Kesällä 1962 suoritettujen havaintojen perusteella on mahdollista laskea regressioyhtälöitä haihdunnan E_0 ja eri meteorologisten suureiden välillä. Yksi tällainen yhtälö on

$$(6) \quad E_0 = 0,36 E_{pan} + 3,2$$

$$E_0 = E_{pan}$$

Kaavoista valitaan se, mikä antaa pienemmän arvoin E_0 . E_{pan} on Jokioisten observatoriossa mitattu haihdunta maan päällä olevasta 120 cm halkaisijan omaavasta vesiastiasta (U.S.W.B:n class A pan.). Jokioisten observatorio sijaitsee 50 km länteen Luutasuolta.

Edellä selostettu menetelmä funktioiden f , R ja S sekä haihdunnan E_0 laskemiseksi on selostettu yksityiskohtaisemmin perusteluineen aikaisemmin (Virta, 1966).

Tuloksia

Laskentamenetelmää on sovellettu Luutasuolla sijaitsevaan asteikkoon. Tämä asteik-



Kuva 1. Laskettu (yhtenäinen viiva) ja mitattu (ympyrät) vedenkorkeus.

Fig. 1. Computed (line) and measured (circles) water level.

ko sijaitsee 350 m päässä suon korkeimmasta kohdasta länteen. Vedenkorkeushavaintoja tällä asteikolla suoritettiin vuonna 1966 28.5 — 26.9 välisenä aikana ja vuonna 1967 1.5 — 26.10 välisenä aikana pääasiassa viiden vuorokauden välein. Laskelmassa vaadittavat sadehavainnot tehtiin suon ympärillä olevilla sadeasemilla. Vuonna 1966 asemia oli kaksi. Toinen sijaitsi suon kaakkoispuolella ja toinen luoteispuolella 1,5 km päässä suon keskustasta. Vuonna 1967 oli ainoastaan ensiksi mainittu sadeasema toiminnassa.

Kuvassa 1 on esitetty laskettuja ja mitattuja vedenkorkeuksia. Lähtövedenkorkeutena on pidetty ensimmäistä keväällä mitattua vedenkorkeutta. Huomataan, että mitatun ja lasketun vedenkorkeuden erotuksen kulku kumpaisenakin vuonna on samankaltainen. Keväällä ja alkukesällä vedenkorkeuden laskiessa mitatun ja lasketun vedenkorkeuden ero on pieni. Loppukesällä vallitsevien sateiden johdosta laskettu vedenkorkeus näyttää nousevan huomattavasti nopeammin kuin mitattu vedenkorkeus. Vedenkorkeuksien ero on suurimmillaan eloja syyskuussa ja pienenee syyskuun lopulla.

Käyttämällä taulukossa 1 esitettyjä funktioita saadaan ajanjakson 1.6 — 31.8 sade-, haihdunta- ja valuntasummaksi seuraavat luvut:

	Sade <i>Precipitation</i>	Haihdunta <i>Evapotranspiration</i>	Valunta <i>Runoff</i>
	mm	mm	mm
1966	210	190	30
1967	250	170	40

Tulosten tarkastelua

Laskentamenetelmään liittyvät virheet voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Ensimmäisen ryhmän muodostavat virheet jotka aiheutuvat siitä, että malliin liittyvillä vakioilla (funktioiden f , R ja S vakiot) on ehkä virheellisiä arvoja. Toisen ryhmän muodostavat virheet jotka aiheutuisivat siitä, että laskentamalliin liittyvät oletukset eivät olisikaan voimassa. Kolmannen ryhmän muodostaa havaintoaineiston epätarkuus.

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvista virheistä mainittakoon seuraavat:

1. Funktion f virhe. Tästä aiheutuisi laskettuun vedenkorkeuteen virhe lähinnä

sellaisina ajankohtina, joina haihdunta on suuri, siis heinä- ja elokuussa. Kuvassa 1 huomataan, että laskelmissa on tämän kaltainen virhe.

Haihdunnan systemaattisen virheen vaikutuksen tutkimiseksi laskettiin vedenkorkeus sekä 10 % liian pienillä että 10 % liian suurilla haihdunnan E_0 arvoilla. Tuloksena oli, että 10 % systemaattinen virhe vaikuttaisi elokuussa vuonna 1966 keskimäärin 1 cm ja vuonna 1967 3,5 cm vedenkorkeuteen.

2. Valuntafunktion R virhe. Tästä aiheutuu virhe laskettuun vedenkorkeuteen lähinnä korkeimmilla vedenkorkeuden arvoilla, siis silloin kun valunnan vaikutus vedenkorkeuteen on suuri. Tämän virhetekijän vaikutus pitäisi esiintyä selvästi syksyllä, jolloin haihdunnan vaikutus vedenkorkeuden on pieni. Koska lasketun ja mitatun vedenkorkeuden ero on pieni syksyllä, voitaneen päätellä, että valuntafunktion virhe on pieni.

3. Varastoitusfunktio S virhe. Tämä virhe aiheuttaisi sen, että lasketun ja mitatun vedenkorkeuden erotuksen itseisarvo kasvaisi vedenkorkeuden laskiessa ja pieneneisi vedenkorkeuden ollessa jälleen nousussa. Kuvassa 1 esitettyjen tulosten mukaan ei voida selvästi havaita tällaista virhemahdollisuutta.

Seuraavassa käsitellään tekijöitä, joiden vaikutuksesta alussa tehdyt oletukset eivät ole voimassa.

4. Kaavan (6) avulla laskettu haihdunta on virheellinen. Tämä kaava on johdettu kesällä 1962 suoritettujen havaintojen perusteella. Tämä kesä oli huomattavasti normaalia kylmempi. Kaavassa esiintyvät vakiot eivät ehkä sovellu normaalina tai normaalia lämpimämpänä kesänä. Edelleen saattaa olla tekijöitä joiden vaikutuksesta kaavan vakioilla olisi eri arvot eri kuukausina.

5. Olettamukseen, että varastoitusfunktio riippuu yksikäsitteisesti vedenkorkeudesta, saattaa liittyä virhetekijä. Vähäsaateisen jakson aikana pintaturve saattaa kuivua enemmän kuin mitä varastoitusfunktio edellyttää. Kuivan kauden jälkeisestä sateesta osa kuluu pintaturpeen kottuttamiseen ja vain osa sateesta aiheuttaa vedenkorkeuden nousua. Vedenkorkeuden nousu olisi siis hitaampaa kuin mitä saadaan laskemalla. Tällainen ilmiö onkin

todettavissa kumpaisenakin havaintokesänä. Vedenkorkeuden nopea nousu saattaa aiheuttaa virheitä myöskin valunfunktiioon $R(W)$.

6. Havaintojen perusteella on todettu, että alussa tehty oletamus 4 ei pidä täysin paikkaansa. Vedenkorkeuden ollessa nopeassa nousussa ovat vedenkorkeuden muutokset eri mittauskohdissa eri suuruisia. Mittauksien mukaan muutosten erot ovat suurimmillaan n. 2 cm, eräissä tapauksissa 5 cm.

Viimeisen virhetekijöiden ryhmän muodostaa havaintoaineiston epätarkkuus. Erikoisesti sateen mittaamiseen saattaa liittyä tekijöitä, jotka ovat lisänneet lasketun ja mitatun vedenkorkeuden eroa.

On epävarmaa, mikä yllämainituista tekijöistä on vaikuttanut lasketun ja mitatun vedenkorkeuden eroon. Mahdollisesti samanaikaisesti on vaikuttamassa useita eri tekijöitä.

KIRJALLISUUTTA

NOVIKOV, S. M., 1964: Computation of water-level regime of undrained upland swamps from meteorological data. Soviet Hydrology: Selected papers, 1, 1—22.

VIRTA, JUHANI, 1966: Measurement of evapotranspiration and computation of water budget in treeless peatlands in the natural state. Comm. Phys.-Math. Soc. Sci. Fenn., Vol 32, Nr 11.

SUMMARY:

COMPUTING THE WATER LEVEL OF A RAISED BOG

For some years, the Hydrological Office has attempted to develop a model explaining the correlation between precipitation, evapotranspiration and runoff in some peatlands. The model may be used in computing the water level in a peatland, on the basis of precipitation and evapotranspiration measurements. To illustrate the applicability of the model, the computed and measured water levels in a raised bog, Luutasuo, in South Finland ($\varphi = 60^{\circ}41'N$, $\lambda = 24^{\circ}19' E$) will be presented.

The computing method has been described and discussed previously (Virta, 1966). Similar computations have been carried out earlier in the Soviet Union (see for example Novikov, 1964).

The computation of the water level is based on the following assumptions. The water content S of the bog depends only on the water level W in the bog (function $S(W)$). Runoff R from the bog depends only on the water level (function $R(W)$). Runoff into the bog from surrounding areas is small. The water level fluctuations at different places in the bog occur simultaneously and are of the same magnitude. The evapotranspiration from the bog can be

calculated from equation (1), where $f(W)$ is a function dependent only on the water level and E_0 denotes "standard evapotranspiration".

Based on these assumptions the water budget equation (2) for a unit area of the bog is obtained. W_b is the water level at the beginning of the period for which the computations are made and W_e is the water level at the end of the period. Δt is the length of the period. When the functions f , R and S and the standard evapotranspiration E_0 , precipitation P and the water level W_b are known, the water level W_e can be solved from the equation (2). The length of the period considered was 1 day and the computation was carried out by an ELLIOT 503 computer.

The functions f , R and S have been determined earlier (Virta, 1966). The determination of these functions was based on evapotranspiration, precipitation and water level measurements during the summer 1962. These functions are given in Table 1. "Standard evapotranspiration" E_0 denotes evapotranspiration where the water level was 16 cm below the surface of peat. This may be computed from the equations

(6), selecting the one that gives the smaller value of E_0 . E_{pan} is the evaporation from the U. S. Weather Bureau Class A land pan situated at Jokioinen observatory about 50 km west of Luutasuo.

The aim is to compute the water level for the whole summer. For this, it is necessary to know the initial water level in the spring. After this has been measured, equation (2) is used repeatedly in such a way that the computed water level height W_e is substituted for the water level W_b of the following period, and the water level W_e at the end of this period is

solved. Results for summers 1966 and 1967 are given in Figure 1.

With the aid of the computed water level it is possible to estimate evapotranspiration and runoff. The sums of these quantities as well as precipitation for periods from June 1 to August 31 are given on page 73.

Factors affecting the difference between the measured and computed water level are partly connected with errors of the functions f , R and S and evapotranspiration E_0 , and partly with the possible invalidity of some basic assumptions.
