

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 (Virta, 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 loppuedenkorkeus 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 loppuedenkorkeus ratkaistaan.

Loppuedenkorkeuden W_e laskemiseen on käytetty aikaisemmin nomogrammeja. 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 loppuedenkorkeuden ratkaiseminen suoritettu Valtion tietokonekeskuksen tietokoneella ELLIOT 503 käyttämällä 1 vuorokauden pituisia jaksoja.

f , R , S 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

$$(3) \quad R(W) = a_1W^2 + a_2W + a_3$$

$$(4) \quad S(W) = \frac{1}{2}s_1W^2 + s_2W + s_3$$

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

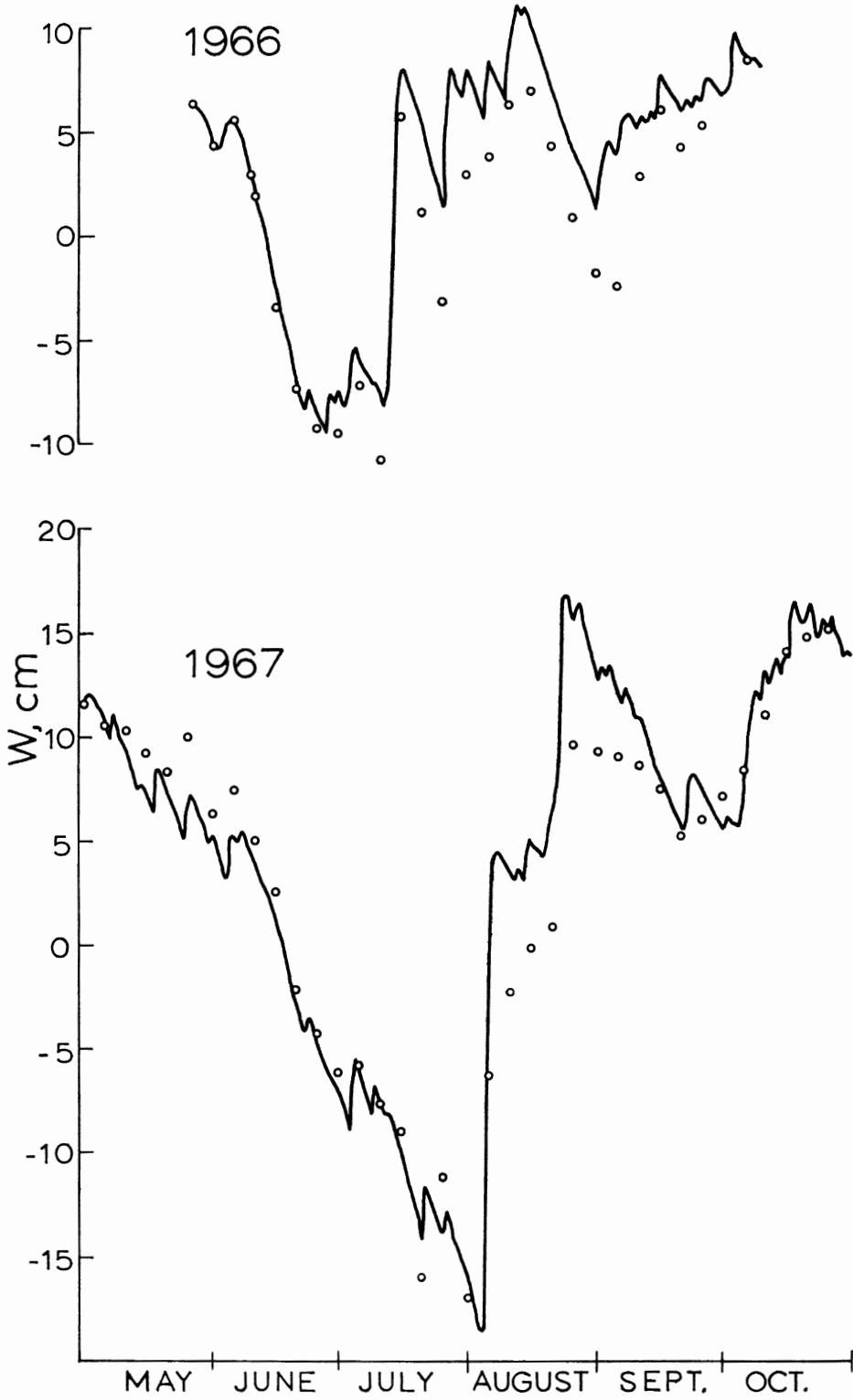
$$(6) \quad E_0 = 0,36 E_{pan} + 3,2 \\ E_0 = E_{pan}$$

Kaavoista valitaan se, mikä antaa pienemmän arvoon 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 korkeim-
masta kohdasta länteen. Vedenkorkeusha-
vaintoja tällä asteikolla suoritettiin vuonna
1966 28.5 — 26.9 välisenä aikana ja
vuonna 1967 1.5 — 26.10 välisenä aikana
pääasiassa viiden vuorokauden välein. Las-
kelmassa vaadittavat sadehavainnot tehtiin
suon ympärillä olevilla sadeasemilla. Vuon-
na 1966 asemia oli kaksi. Toinen sijaitsi
suon kaakkoispuolella ja toinen luoteispuo-
lella 1,5 km päässä suon keskustasta. Vuon-
na 1967 oli ainoastaan ensiksi mainittu sa-
deasema toiminnassa.

Kuvassa 1 on esitetty laskettuja ja mi-
tattuja vedenkorkeuksia. Lähtövedenkorkeu-
tena on pidetty ensimmäistä keväällä mi-
tattua vedenkorkeutta. Huomataan, että mi-
tatun ja lasketun vedenkorkeuden erotuk-
sen kulku kumpaisenakin vuonna on sa-
mankaltainen. Keväällä ja alkukesällä ve-
denkorkeuden laskiessa mitatun ja lasketun
vedenkorkeuden ero on pieni. Loppukesällä
vallitsevien sateiden johdosta laskettu ve-
denkorkeus näyttää nousevan huomattavasti
nopeammin kuin mitattu vedenkorkeus. Ve-
denkorkeuksien ero on suurimmillaan elo-
ja syyskuussa ja pienenee syyskuun lopulla.

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

	Sade <i>Precipitation</i>	Haihdunta <i>Evapotranspi- ration</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. Ensim-
mäisen ryhmän muodostavat virheet jotka
aiheutuvat siitä, että malliin liittyvillä va-
kioilla (funktioiden f , R ja S vakiot) on
ehkä virheellisiä arvoja. Toisen ryhmän muo-
dostavat virheet jotka aiheutuisivat siitä,
että laskentamalliin liittyvät oletukset
eivät olisikaan voimassa. Kolmannen ryh-
män muodostaa havaintoaineiston epätark-
kuus.

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvista vir-
heistä 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 kal-
tainen virhe.

Haihdunnan systemaattisen virheen vai-
kutuksen tutkimiseksi laskettiin vedenkor-
keus sekä 10 % liian pienillä että 10 %
liian suurilla haihdunnan E_0 arvoilla. Tu-
loksena oli, että 10 % systemaattinen vir-
he vaikuttaisi elokuussa vuonna 1966 kes-
kimäärin 1 cm ja vuonna 1967 3,5 cm
vedenkorkeuteen.

2. Valuntafunktion R virhe. Tästä aiheu-
tuu virhe laskettuun vedenkorkeuteen lä-
hinnä korkeimmilla vedenkorkeuden ar-
voilla, siis silloin kun valunnan vaikutus
vedenkorkeuteen on suuri. Tämän virhe-
tekijän vaikutus pitäisi esiintyä selvästi
syksyllä, jolloin haihdunnan vaikutus ve-
denkorkeuden on pieni. Koska lasketun
ja mitatun vedenkorkeuden ero on pieni
syksyllä, voitaneen päätellä, että valunta-
funktion virhe on pieni.

3. Varastoitusfunktioin S virhe. Tämä
virhe aiheuttaisi sen, että lasketun ja mi-
tatun vedenkorkeuden erotuksen itseisarvo
kasvaisi vedenkorkeuden laskiessa ja piene-
nisi vedenkorkeuden ollessa jälleen nousu-
sa. Kuvassa 1 esitettyjen tulosten mukaan
ei voida selvästi havaita tällaista virhemah-
dollisuutta.

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 pe-
rusteella. Tämä kesä oli huomattavasti nor-
maalia kylmempi. Kaavassa esiintyvät va-
kiot eivät ehkä sovellu normaalina tai nor-
maalia lämpimämpänä kesänä. Edelleen
saattaa olla tekijöitä joiden vaikutuksesta
kaavan vakioilla olisi eri arvot eri kuukau-
sina.

5. Oletukseen, että varastoitusfunk-
tio riippuu yksikäsitteisesti vedenkorkeu-
desta, saattaa liittyä virhetekijä. Vähäsa-
teisen jakson aikana pintaturve saattaa kui-
vua enemmän kuin mitä varastoitus-
funktio edellyttää. Kuivan kauden jälkei-
sestä sateesta osa kuluu pintaturpeen kos-
tuttamiseen ja vain osa sateesta aiheuttaa
vedenkorkeuden nousua. Vedenkorkeuden
nousu olisi siis hitaampaa kuin mitä saa-
daan 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.
