



1858-1983

Tiilisalaojitus 125 vuotta

Sanomia Turusta.

N^o40

Tiistaina Lokakuun 5 päivänä

1858.

Tiilitormi-ojista. *)

Tässä esityksessä onko tiilitormi-ojitus pohjaissa maassamme meidän ilmastomme suhteen samalla tavoin käytettävä ja yhtä hyödyllinen kuin Englannissa. Menestyksellisen ja tyydyttävien vastausten tähden on komitea antanut mielestämme ne kokeet Ruotsissa, jossa tiilitormi-...

neen koko tiilitormilaitoksen kustannuksen. Tässä on sen luettu antaman kunninjärj...

Mustialassa aliettiin syyskuun 10 p. Englannista tuodulla koneella lyödä tiilitormia, ja 14 p. oli jo 540 tiilitormia valmiina. Tästä siis voisi päätätä että mainiot pian tulevat tiilitormilla ojituiksi.

... jollein kirj...
... maahan, harvaintiin...
... peltoa. Asia on niin selitettävä ettei...
... maa, joka jäätyä, maan vesi, firren maahan kan...

...
... sala-ojituksella saadaan joka...
... tynnyrinala maata lisää, niin koko meidän...
... maassamme saataisiin 88,300 tynnyrinalaa lisää. Kun...
... tiilitormilla ojitetusta maasta vähintään saa lukea 5 tyn...
... nyriä tuloja tynnyrinalasta, niin tämän kautta koko maan...
... ruotinen viljan tulo, ehkä puoli peltoa ruusittain olisi...
... fin lesantona, lisääntyisi 220,750 tynnyrillä, joka 4 rup...

$$h_t = \frac{0,30}{d_v} \quad (1)$$

jossa h_t = nousukorkeus (cm)
 d_v = huokosputken halkaisija (cm)

Vedenpidätyskäyrä

Maan kyvystä sitoa vettä saadaan parhaiten käsitys vedenpidätyskäyrän avulla. Vedenpidätyskäyrä kuvaa sitoutumisvoimakkuuden ja vesipitoisuuden välistä vuorosuhdetta. Sen saamiseksi vedellä kyllästettyyn maanäytteeseen kohdistetaan imu. Imun ollessa pieni maa ei luovuta vettä lainkaan, mutta kun imua kasvatetaan ns. ilman sisääntulopisteeseen, suurimmat huokokset tyhjenevät. Imua edelleen lisättäessä yhä pienemmät huokokset luovuttavat vettä.

Vedenpidätyskäyrä piirretään siis

Pertti Vakkilainen
 Vt. professori
 Tekninen korkeakoulu, rakennusosasto

Johdanto

Maan vesipitoisuus ja maaveden energiatila vaikuttavat keskeisesti kasvien kasvutapahtumaan. Samoin useat maan geotekniset ominaisuudet riippuvat voimakkaasti maan vesipitoisuudesta. Kuivatustoimenpiteillä pyritään maan vesipitoisuus säätämään kulloistakin käyttötarvetta varten optimaaliseksi. Tässä artikkelissa luodaan lyhyt katsaus maaveden sitoutumiseen ja liikkeisiin vaikuttaviin tekijöihin. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriossa on viimeksi kuluneen vuoden aikana keskitytty maaveden virtaustapahtuman matemaattiseen mallittamiseen. Artikkelin loppuosassa esitellään lyhyesti tämän työn sovellutuksena syntynyt erään toimimattoman ojituksen analyysi.

Maavesien sitoutuminen

Sidosvoimat

Vesi sitoutuu maahan adsorptio- ja kapillaarivoimien vaikutuksesta. Adsorptiovoimat ovat luonteeltaan sähkömagneettisia, ja ne sitovat veden maarakkeen pinnalle voimalla, jonka suuruusluokasta saadaan käsitys, kun todetaan, että 0,0005 m:n paksuinen vesivaippa kiinnittyy maarakkeeseen 70 000 kertaa painovoiman suuruusella voimalla.

Pintajännitys aiheuttaa kapillaari-ilmiön. Mitä ohuemmassa huokosputkesta on kyse, sitä korkeammalle vesi siinä nousee (kuva 1). Monesti ajatellaan, että maan huokokset muodostavat yhtenäisiä kapillaariputkia, joissa kapillaarisuus nostaa veden korkeudelle h :

koordinaatistoon, jossa toisena akselina on vesipitoisuus ja toisena imu (kuva 2). Imu ilmaistaan usein vesipatsaan korkeutena.

Kaava (1) kuvaa luonnollisesti myös imun ja vastaavan huokoshalkaisijan välistä vuorosuhdetta. Näinollen vedenpidätyskäyrän avulla saadaan käsitys maan huokoskoon jakautumasta. Äärimmäisenä vasemmalla kuvassa 2 oleva jaotus on kaavan (1) mukainen, ja se kuvaa ns. ekvivalenttia huokoskokoa.

Kuvan 2 diagrammin oikeassa reunassa on vielä kolmas jaotus, ns. pF-asteikko. pF-luvulla tarkoitetaan imun kymmenlogaritmia, kun imu on ilmaistu vesipatsassenttimetreinä. Niinpä pF-luku 3 vastaa imun arvoa $h_t = 1000$ cm.

Maalajin merkitys

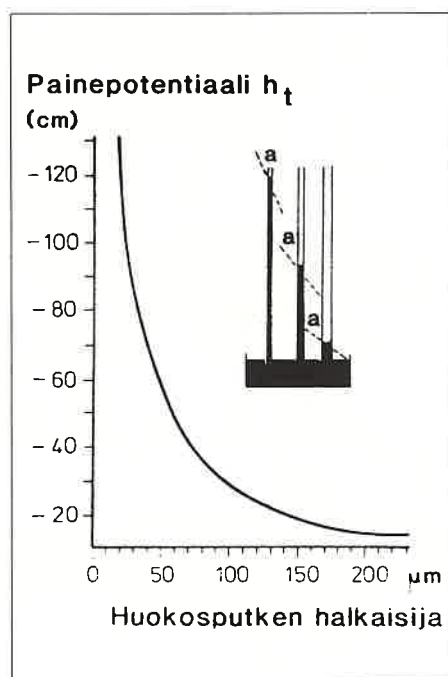
Maan hienoimmilla hiukkasilla ja niidenomaan savilajitteilla on erityisen suuri vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja vesitalouteen. Suuri savipitoisuus merkitsee suurta maarakkeiden kokonaispintaa ja pieniä huokosia. Ruotsissa on suoritettu laajoja tutkimuksia erityyppisten maalajien vedenpidätyskyvystä. Eräitä keskeisiä tuloksia on esitetty kuvassa 3, joka tuo selvästi esiin savipitoisuuden keskeisen vaikutuksen.

Savipitoisuuden ohella humuksen määrä vaikuttaa merkittävästi maan vedenpidätyskykyyn. Humuspitoisuuden kasvu lisää maan tehopintaa ja muuttaa huokostilavuutta (kuva 4).

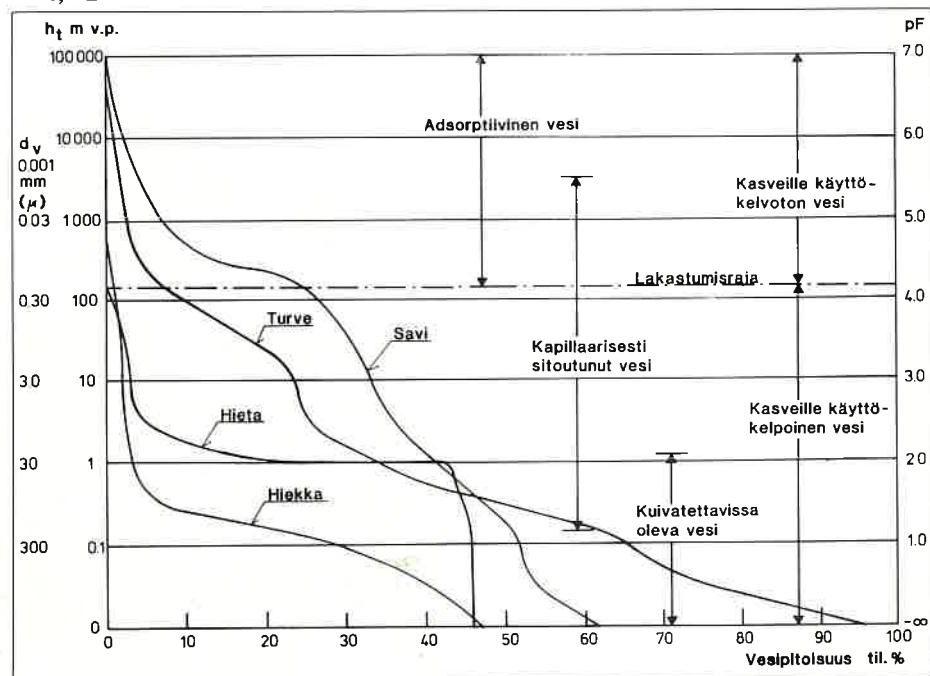
Veden liikkeet maaperässä

Maaveden potentiaalit

Kappaleella oleva kokonaisenergia jaetaan klassisessa fysiikassa kineettiseen energiaan ja potentiaalienergi-
 aan. Maaveden liike on yleensä siksi hidasta, että virtausnopeuden neli-



1, 2



öön suoraan verrannollinen kineettisen energia jää merkityksettömän pieneksi. Maavedellä on näin ollen energiaa, potentiaalia, käytännöllisesti katsoen sen verran kuin sillä on potentiaalienergiaa.

Maaveden potentiaalilla tarkoitetaan sitä työtä, joka tarvitaan massayksikön suuruisen vesimäärän siirtämiseen perustasolta tarkasteltavaan kohtaan. Kokonaispotentiaali muodostuu useista komponenteista, mutta merkitystä on yleensä vain seuraavilla:

$$H = h_g + h_t \quad (2)$$

jossa H = hydraulinen korkeus
 h_g = painovoimapotentiaali
 h_t = paine- eli matrikpotentiaali

Jokaista maapallon pinnalla olevaa kappaletta vetää kohti maapallon keskusta voima, jonka suuruus on kappaleen massan ja painovoiman kiihtyvyyden tulo. Jos kappaletta nostetaan ylemmäs, joudutaan tekemään työtä. Tehty työ varastoituu kappaleeseen painovoimapotentiaaliksi. Tämän määrä riippuu kappaleen sijainnista painovoimakentässä.

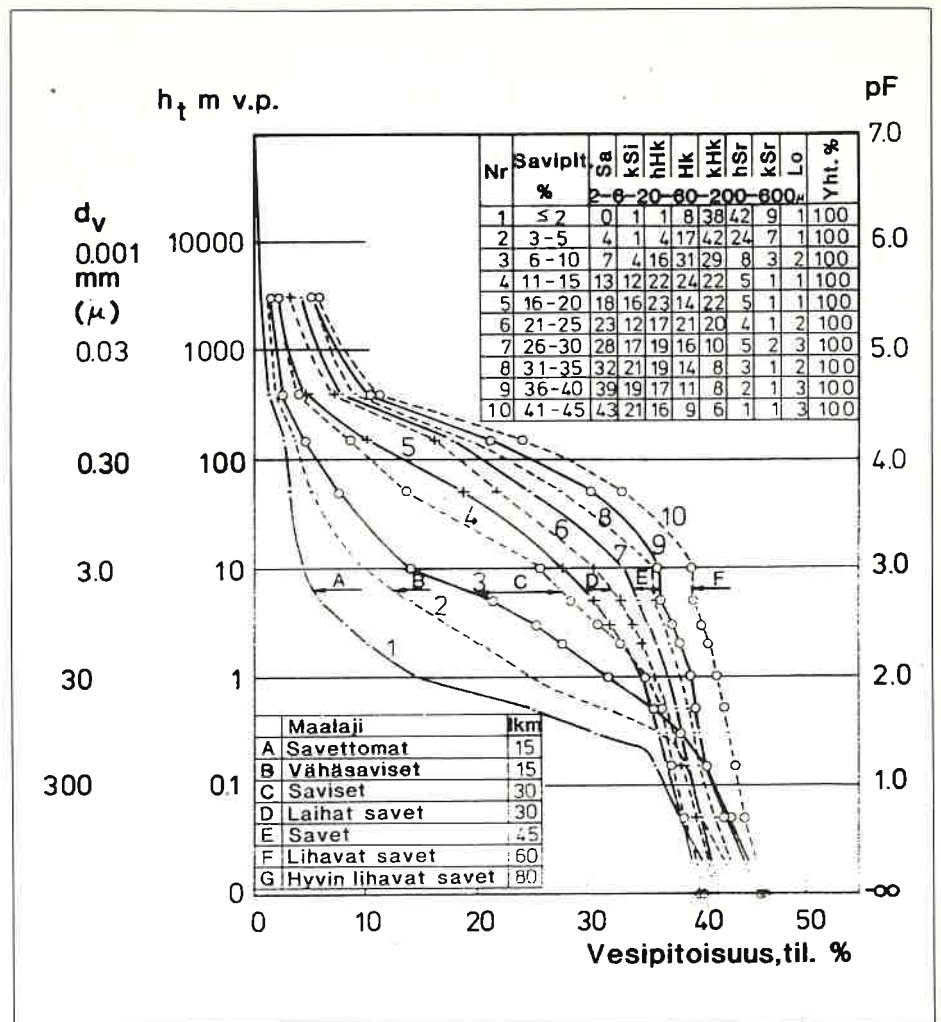
Maavedellä oleva **painovoimapotentiaali** määritellään ao. kohdan etäisyydeksi jostakin mielivaltaisesta vertailutasosta. Jos merkitään tarkasteltavan pisteen ja vertailutason etäisyyttä z , vedellä olevaa massaa m ja tiheyttä sekä painovoiman kiihtyvyyttä g , on painovoimapotentiaali:

- massayksikköä kohti gz
- tilavuusyksikköä kohti gz
- painoyksikköä kohti z

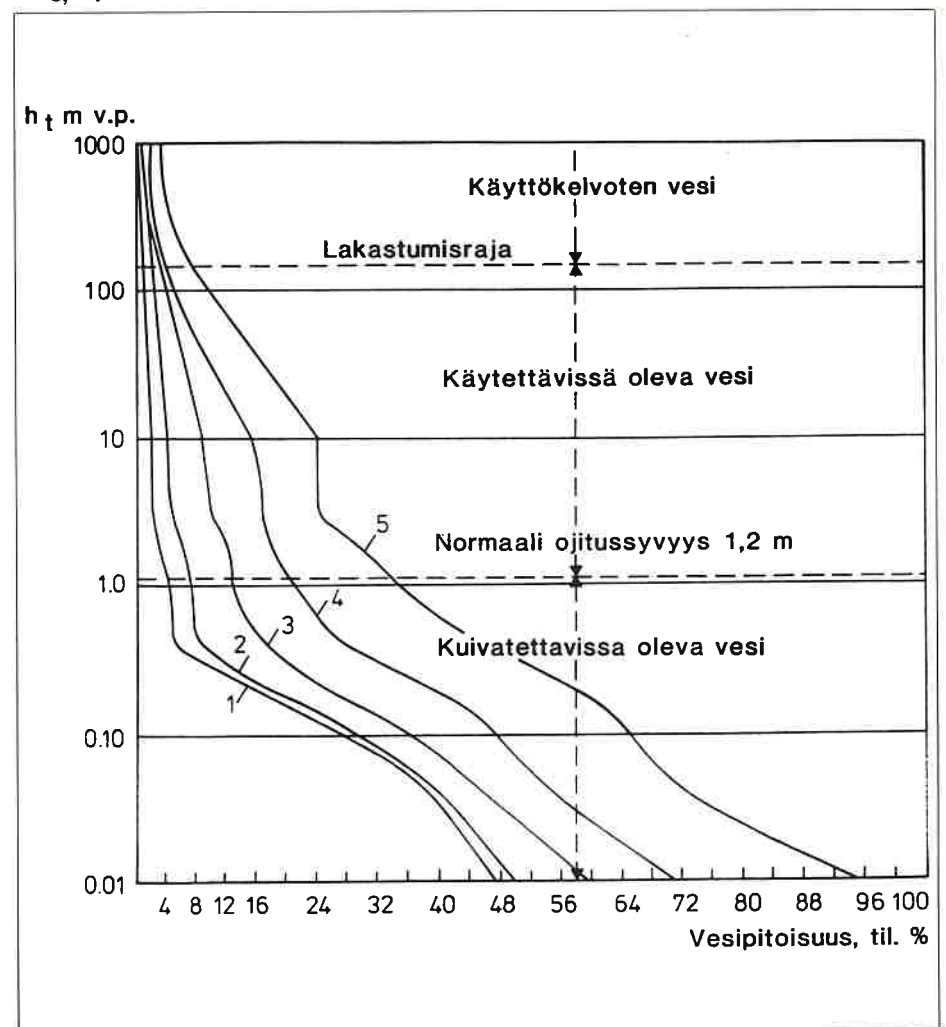
Painovoimapotentiaalın suuruus riippuu siis ainoastaan tarkasteltavan kohdan suhteellisesta korkeustasosta.

Pohjaveden pinnan alapuolella vallitsee hydrostaattisen paineen suuruu-

Kuva 1
Huokoskoon vaikutus kapillaarisen nousun korkeuteen
 Kuva 2
Vedenpidätyskäyriä erityyppisille maalajeille
 Kuva 3
Savipitoisuuden vaikutus maan vedenpidätyskykyyn
 Kuva 4
Humuksen vaikutus maan vedenpidätyskykyyn. Käyrä 1 vastaa hiekkaa, 2 hiekkaa, johon on sekoitettu 0,7 painoprosenttia humusta, 3 hiekkaa, jossa humusta on 2,1 % ja 4 hiekkaa, jossa humusta on 6,0 %. Käyrä 5 on turpeen vedenpidätyskäyrä.



3, 4



nen ylipaine, kun taas pohjavedenpinnan yläpuolella maan imuä aiheuttavat voimat aikaansaavat veteen alipaineen. Pohjaveden pinnassa paine on ilmanpaineen suuruinen. Kun ilmanpaine yleensä otetaan vertailutasoksi, on painepotentiaali pohjavedenpinnan alapuolella positiivinen, yläpuolella negatiivinen. Viimemainittua kutsutaan yleensä matrikpotentiaaliksi. Paine potentiaalin suuruus on mukavinta ilmaista painoyksikköä kohti, koska tällöin päästään laatuun cm. vesipatsasta.

Maan vedenpidätyskäyrä kuvaa matrikpotentiaalin ja maan kosteuden välisen yhteyden.

Darcyn laki

Luonnossa energiaerot pyrkivät tasoitumaan. Maassa olevien vesien osalta tämä tarkoittaa sitä, että vesi virtaa pienenevän potentiaalin suuntaan. Pohjaveden virtausnopeuden kuvaamiseen on jo toista sataa vuotta käytetty ns. Darcyn lakia (kuva 5).

$$q = K \cdot \frac{H}{L} \quad (3)$$

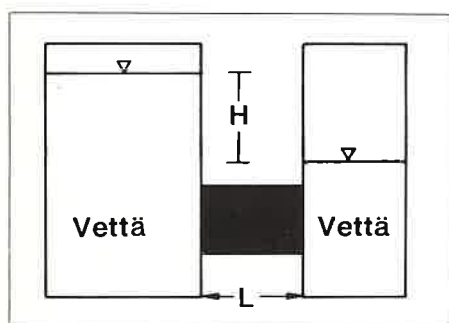
jossa

q = virtausnopeus (cm/s)

K = hydraulisen johtavuuden kerroin (cm/s)

H/L = paineviivan kaltevuus

1930-luvulta lähtien Darcyn lakia on sovellettu myös kuvattaessa veden virtausta kyllästymättömässä vyöhykkeessä. Hydraulinen johtavuus pienenee maan kuivuessa. Mitä kuivempaa maa on, sitä pienemmät huokokset ovat enää veden täyttämiä ja toimivat veden kuljettimina.



Kuva 5
Darcyn lain periaate
Kuva 6
Kuivatustasapainotilanne

Kyllästymättömässä vyöhykkeessä veden virtauksen matemaattinen kuvaus muuttuu muotoon:

$$\frac{h_t}{t} = \frac{1}{c(h_t)} \frac{\partial}{\partial z} [K(h_t) \left(\frac{\partial h_t}{\partial z} - 1 \right)] - \frac{S(h_t)}{c(h_t)} \quad (4)$$

jossa

h_t = painepotentiaali (cm)

t = aika (S)

$c(h_t)$ = vedenpidätyskäyrän kaltevuus

$K(h_t)$ = hydraulinen johtavuus (cm.s⁻¹)

z = syvyys (cm)

$S(h_t)$ = maaprofiiliin tuleva tai siitä lähtävä vesimäärä

Veden virtausta ei maassa tapahdu, ellei potentiaalieroja esiinny. Tällainen tilanne on esitetty kuvassa 6, jossa pohjavedenpinta on 100 cm maanpinnan alapuolella ja vertailutaso on asetettu 150 cm:n syvyydelle. Pohjavedenpinnan tasolla matrikpotentiaali $h_t = 0$ ja painovoimapotentiaali $h_g = z = 50$ cm, jolloin hydraulinen korkeus $H = 0 + 50$. 30 cm pohjavedenpinnan alapuolella $h_t = 30$ cm ja $z = 20$ cm, jolloin $H = 30 + 20 = 50$ cm. 30 cm pohjavedenpinnan yläpuolella painovoimapotentiaali on 80 cm. Tässä matrikpotentiaalin on oltava -30 cm, jotta hydraulinen korkeus olisi 50 cm.

Kun tällaiseen kuivatustasapainossa olevan maan pintakerrokseen tulee vettä, niin matrikpotentiaali kasvaa. Niinmuodoin myös hydraulinen korkeus kasvaa ja vesi alkaa virrata alaspäin eli vettä imeytyy maahan. Haihdunta aiheuttaa päinvastaisen tilanteen, sillä sen ansiosta matrikpotentiaali ja hydraulinen johtavuus pienenevät ja vesi liikkuu maaprofiilissa ylöspäin (kuva 7).

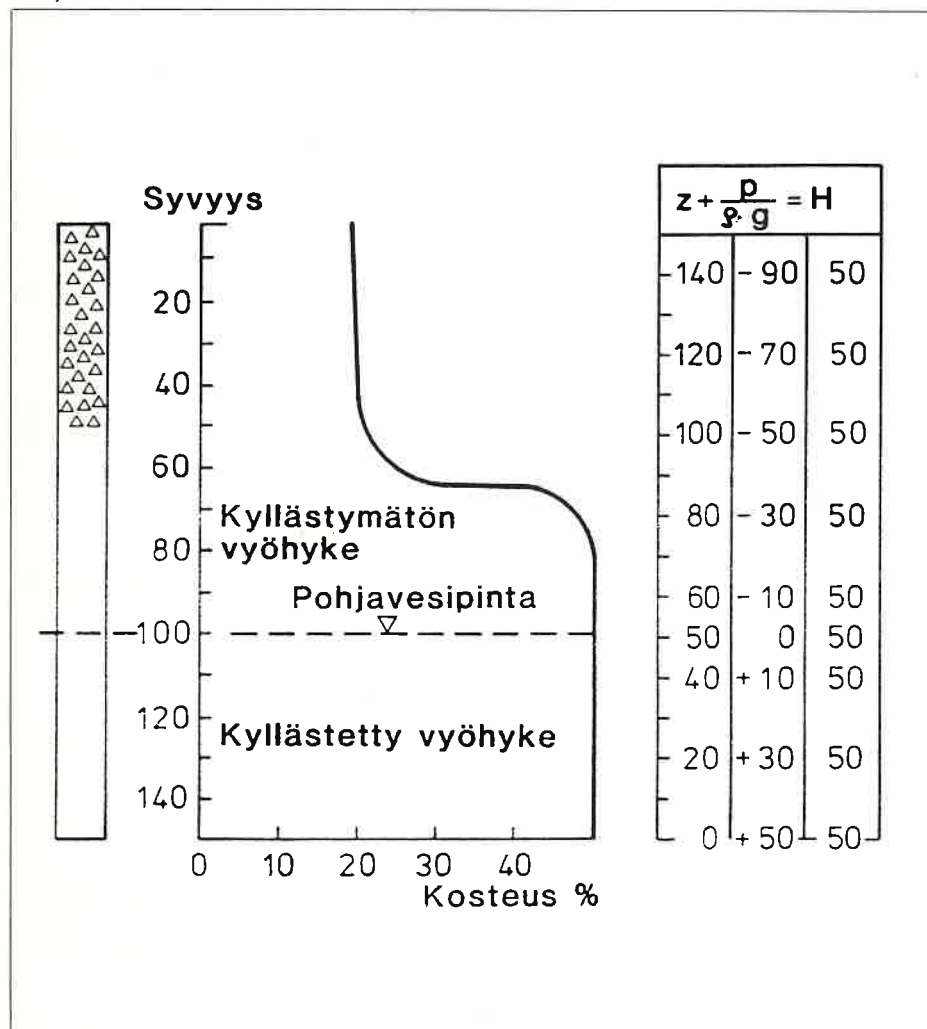
Sovellutusesimerkki

Edellä esitettyjä periaatteita sovellettiin etsittäessä syitä erään Jalasjärven vuonna 1981 salaojitettun pelto-ohkon kuivatustasapainotilanteeseen. Salaojitus ei toiminut lainkaan odotusten mukaisesti, vaan vesi seisoi vuonna 1982 pellolla aina kesäkuun puoliväliin asti. Syyskuun alusta alkaen pelto oli jälleen niin märkä, ettei se kantanut koneita.

Pellolta otetuista maanäytteistä määrätettiin laboratorioissa vedenpidätyskäyrät ja hydrauliset johtavuudet. Taulukossa 1 on esitetty esimerkkinä ao. arvot pintakerrokselle. Huomiota on syytä kiinnittää siihen, että hydraulinen johtavuus putoaa nopeasti maan kuivuessa.

Laskenta perustui yhtälön (4) käyttöön. Ratkaisussa tarvittavat $S(h_t)$:n arvot eli sadanta- ja haihduntahavainnot saatiin ilmatieteen laitokselta. Laskentatyön vähentämiseksi todellista tilannetta yksinkertaistettiin siten, että veden oletettiin virtaavan

5, 6



vain vertikaalisuunnassa. Yksityiskohtaisempi laskentatavan kuvaus on esitetty lähteessä [1]. Kuvassa 8 on esitetty alustavien laskentojen tuloksena saatu maankosteuden kulku pintakerroksessa 5 cm:n syvyydellä. Hollannissa tehtyjen selvitysten [2] perusteella pelto on ajokuntoinen, kun $h_t > 300$ cm. Jalasjärven tapauksessa tämä vastaa maankosteutta 37 til.prosenttia. Laskentatulosten ja silmämääräisten havaintojen yhteensopivuus on jotta-kuinkin hyvä. Laskennan perusteella näyttää siltä, että suurin syy kuivatuksen toimimattomuuteen on maan hydraulisen johtavuuden käyttäytymisessä. Maan kuivuminen aiheuttaa hydraulisen johtavuuden ja niinmuodoin myös imennän pienenemisen. Alustavien tulosten perusteella näyttää siltä, ettei ojavälin pienentäminen tai ojien syventäminen ratkaise Jalasjärven tapauksen ongelmaa. Kuivatuksen tehostaminen edellyttää sora- ja silmäkkeiden tekoa.

Yhteenveto

Artikkelissa käsitellään lyhyesti maa-vesien sitoutumista ja liikkeitä aiheuttavia tekijöitä sekä esitellään erään toimimattoman ojituksen syiden selvittämiseksi tehty laskennallinen analyysi.

Käytetyt lähteet

- [1] Karvonen, T & Vakkilainen, P. 1983. Infiltraation ja maankosteuden laskenta differenssi- ja elementtimenetelmällä. TKK, Vesitekniikan laitos, julkaisu no 29. Otaniemi. 47 s.
- [2] Wind, G. 1979. Analog modeling of transient moisture flow in unsaturated soil. Wageningen. 123 p.
- [3] Saavalainen, J. (toim.). 1983. Maankuivatuksen perusteet. Salaojittajan käsikirja, osa Ib. Painossa.

Taulukko 1

Sitoutumisvoimakkuuden (h_t) ja hydraulisen johtavuuden (K) riippuvuus maan kosteudesta (w) maan pintakerroksessa.

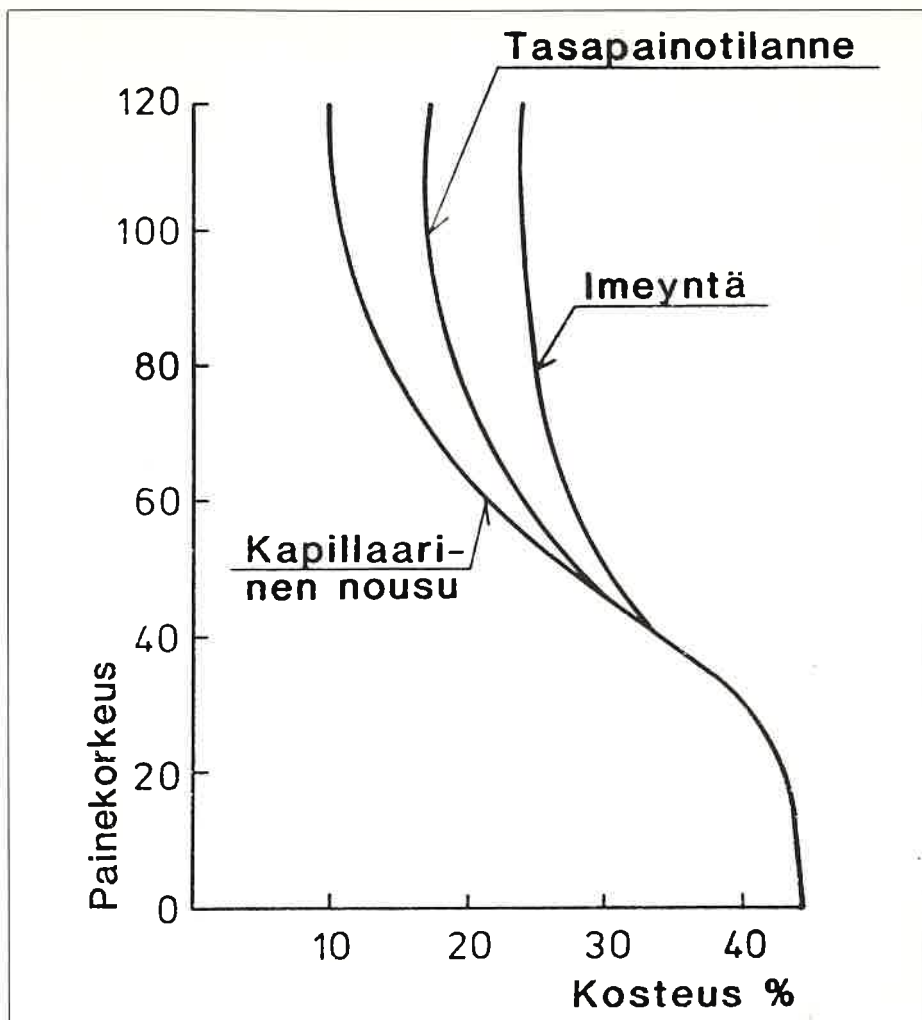
w til. %	h_t cm	K cm.s ⁻¹
79	0	86
72	8	23
66	12	11
60	15	4
51	28	0.5
42	120	0.02
30	1000	0.0005
24	3980	0.00005

Kuva 7

Maankosteusprofiili haihdunta-, tasapaino- ja imeyntätilanteissa

Kuva 8

Maankosteuden kulku 5 cm:n syvyydellä kesälä 1982 Jalasjärven esimerkkitapauksessa



7

8

VESIPITOISUUS
TIL.PROS.

