



Hydrologian perusteet ja maan vesitalous

Hydrologian perusteita, johdanto (1/2)

- Luonnossa tapahtuu jatkuvaa veden kiertokulkua, joka käsittää joukon veden varastoitumisvaiheita ja niiden välisiä siirtymisvaiheita.
- Vettä varastoituu vesihöyrynä ilmakehään, nesteenä meriin, mantereiden vesivarastoihin ja maaperään sekä kiinteässä muodossa lumi- ja jääpeitteeseen sekä routana maaperään.
- Veden siirtymisvaiheita ovat haihdunta, kosteuden kulkeutuminen ilmakehässä, sadanta ja valunta.

Hydrologian perusteita, johdanto (2/2)

- Maaperässä voidaan erottaa vedellä kyllästymätön kerros ja vedellä kyllästetty eli pohjavesikerros.
- Kyllästymättömässä kerroksessa oleva vesi vaikuttaa moniin maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin reaktioihin.
- Maan vesitalouteen vaikuttavat maaperän tekstuuri eli lajitekoostumus ja struktuuri eli maan rakenne.
- Vedenpidätysominaisuuksia kuvataan useimmiten vedenpidätys- eli pF-käyrän avulla, vedenjohtavuutta puolestaan maan K-arvolla eli hydraulisella johtavuudella.

Hydrologian perusteita, pellot

Maanviljelyn kannalta on oleellista, että pellon vesitalous tunnetaan mahdollisimman hyvin.

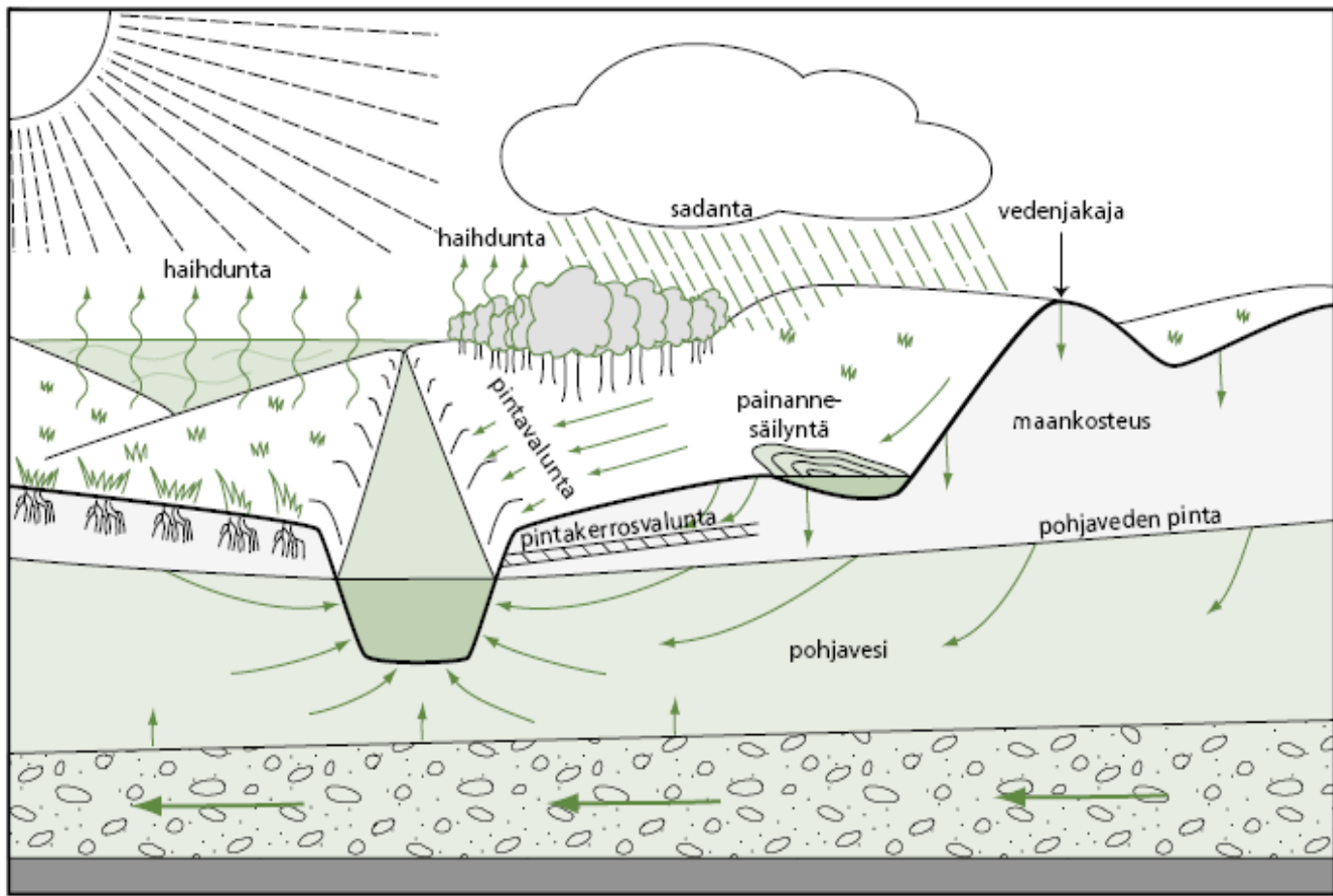
Peltoa pyritään pitämään sopivassa kosteustilassa

- kasvien kasvun
- pellon kantavuuden
- tiivistymishaittojen ja
- ravinnehuuhtoumien kannalta

Kuivatuksen ja kastelun suunnittelussa tarvitaan tietoa

- hydrometeorologisista olosuhteista
- viljelystä
- maaperän ominaisuuksista
- veden sitoumisesta ja
- veden liikkeistä maassa

Hydrologinen kierto valuma-alueella



Hydrologisen kierron perussuureet

Hydrologisen kierron perussuureet, pinta-alayksikköä kohti

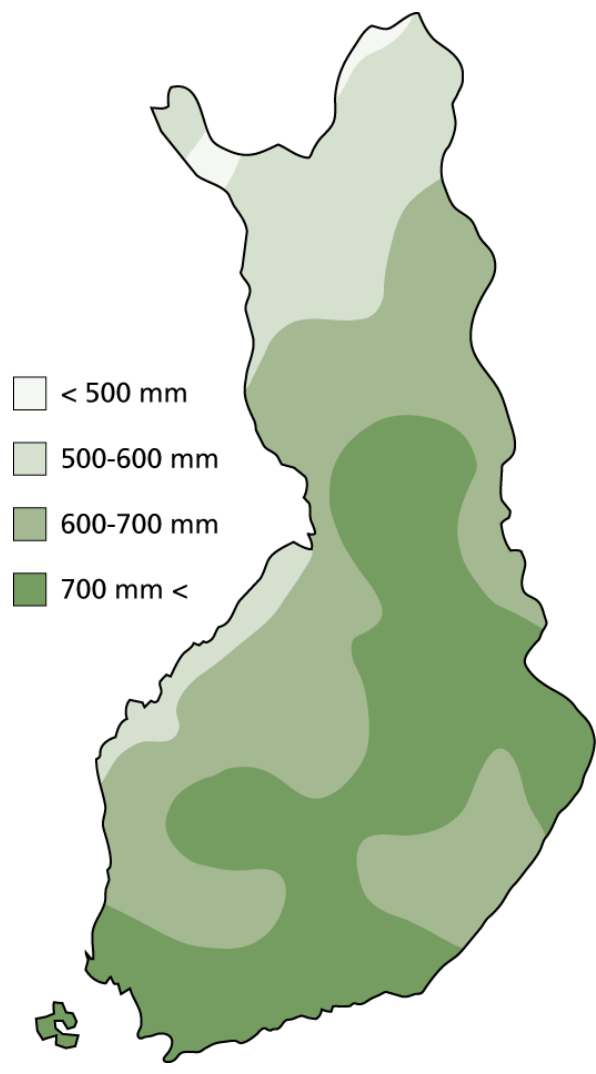
Sadanta (**P**),
Haihdunta (**E**),
Valunta (**Q**) sekä
Varastoituminen (**S**)

Vesitaseyhtälö

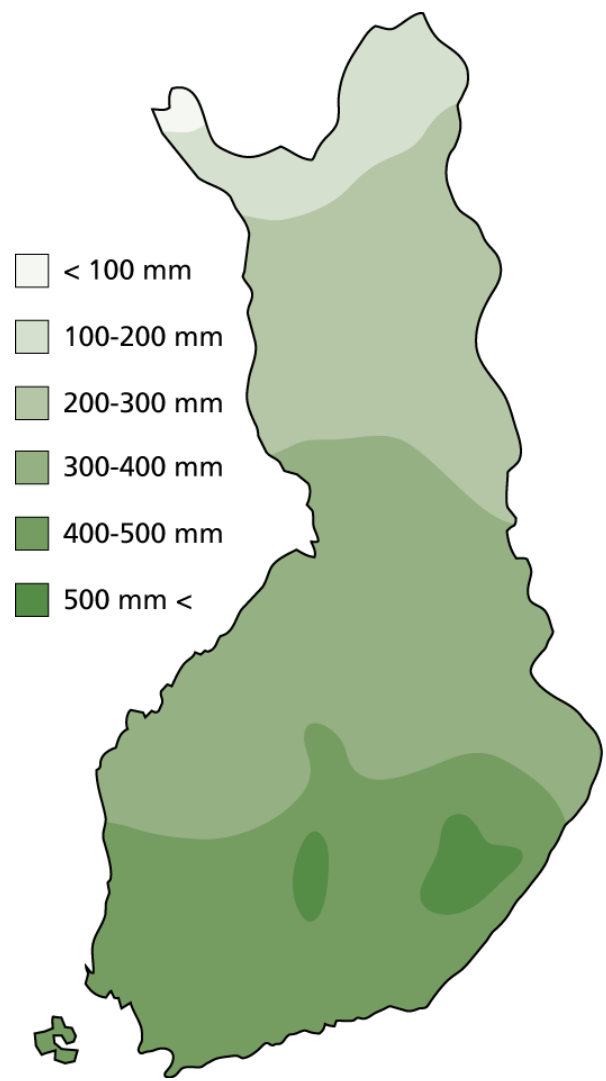
$$P = Q + E \pm \Delta S$$

Vuosijakson keskimääräistarkastelu

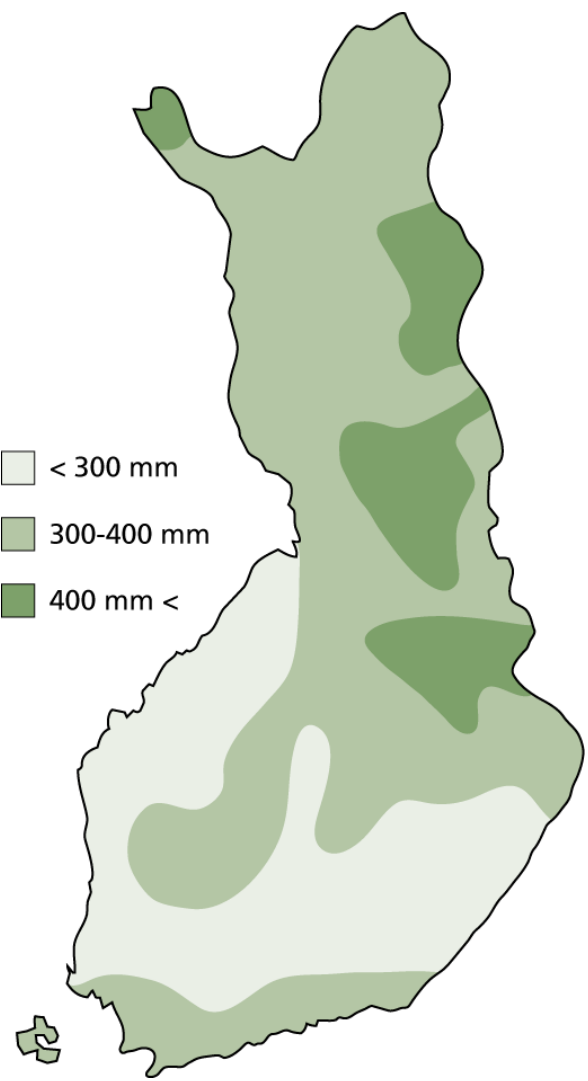
$$P = Q + E$$



Sadanta



Haihdunta



Valunta

Keskimäärin 1961-1991

Hydrologisia suunnittelusuureita

Virtaama Q (esim. m^3/s)

Valuma q (esim. $l/s/ha$)

Vedenkorkeus W (m)

HQ = ylin virtaama
= vuoden tai havaintojakson suurin virtaama

MHQ = havaintojakson vuotuisten HQ-arvojen keskiarvo

MQ = keskivirtaama
= koko havaintojakson päiväarvojen keskiarvo

MNQ = havaintojakson vuotuisten NQ-arvojen keskiarvo

NQ = alin virtaama
= vuoden tai havaintojakson alin virtaama

Sadanta (1/2)

- Sadanta eli sateen määrä on maahan sataneen veden määrä pinta-alayksikköä kohden (mm).
- Suomen sadanta (500 – 700 mm) on kansainvälisesti melko pieni.
- Vuosisadanta suurin maan eteläosissa ja pienin Lapin pohjoisosissa sekä Pohjanmaan rannikkoalueilla.
- Sadannan vuodenaikaisvaihtelut ovat jokseenkin samanlaiset koko maassa.
- Tavallisesti sadanta on pienin maaliskuussa ja suurin elokuussa.

Sadanta (2/2)

- Kesäsateet muodostavat vain vähän valunta (haihdunta ja imeyntä)
- Runsaat syysateet saattavat synnyttää syystulvia (maaperä veden kyllästämaa ja haihdunta vähäistä)
- Etelä-Suomessa lähes joka kolmas valuman vuosimaksimi (Hq) syksyllä, Pohjois-Suomessa harvemmin kuin kerran 20 vuodessa
- Lyhytaikaiset rankkasateet on otettava huomioon taajama-alueilla esim. sadevesiviemäreiden mitoituksessa.

Lumi ja lumen kertyminen

Pysyvä lumipeite muodostuu (tavallisesti)

- Lappi, loka-marraskuun vaihde
- etelärannikko, joulukuun loppupuoli

Keskimääräinen maksimisyvyys,
yleensä maaliskuun puolivälissä

- Lounaisrannikko, 20 cm
- Koillismaa (lumisin alue), 70 cm

Lumipeitteen kertyminen kestää useita kuukausia,
sulaminen muutaman viikon

Sulanta

Lumen sulaminen on teoreettisesti erittäin monimutkainen ilmiö, ja johtuu eri tavoin eri tavoin ympäristöstä lumipeitteeseen siirtyvästä energiasta.

Lisäksi vaikuttaa (ulkoinen ympäristö)

- alueen topografia
- kasvillisuus

Sulannan määrään vaikuttavat myös lumipeitteen ominaisuudet, kuten

- tiheys
- lämpötila
- lumen heijastusominaisuudet

Lumen vesiarvo

Lumen **vesiarvolla** tarkoitetaan sen vesikerroksen paksuutta, joka lumesta sulattaessa syntyy.

Ilmoitetaan yleensä mm (lukuna sama kuin kg/m²)

Lumena tulevan sateen määrä vaihtelee alueittain:

Lounais-Suomessa < 30 %

Pohjois-Suomessa 40 – 50 %

Vesirakenteiden perustana yleensä ylivalumat (Hq), jotka Suomessa useimmiten aiheutuvat lumen sulannasta.

Suurimmat havaitut lumen vesiarvon maksimivähennykset ensimmäisen viiden vuorokauden aikana ovat koko maassa 40 – 50 % lumen vesiarvon maksimista.

Lumen sulannan ja samanaikaisesti tapahtuvan sadannan summaa nimitetään vedentuotoksi.

Sulanta / astepäivätekijä

Varsinaisista sulannan arviointimenetelmistä yleisin on astepäivätekijän käyttö.

Astepäivätekijällä (k_m) tarkoitetaan sitä vesimäärää mm:nä, joka sulaa yhtä rajalämpötilan (yleensä 0 °C) ylittävää lämpöastetta kohden vuorokaudessa.

Sulanta voidaan laskea kaavalla

$$M = k_m (T - T_o)$$

M = sulanta mm d⁻¹

k_m = astepäivätekijä mm °C⁻¹ d⁻¹

T = vuorokauden keskilämpötila °C

T_o = sulannan rajalämpötila °C

Suomessa tutkimuksissa, k_m

3,0 – 3,5 °C⁻¹ d⁻¹ (aukea)

2,0 – 2,5 °C⁻¹ d⁻¹ (metsä)

Haihdunta ilmiönä

- Haihtumisella ymmärretään nestemäisessä tai kiinteässä muodossa olevan veden muuttumista vesihöyryksi.
- Haihdunnan välttämätön ehto on, että vesihöyryyn osapaine ilman ja veden rajapinnan yläpuolella on alempi kuin rajapinnassa.
- Päinvastaisessa tapauksessa tapahtuu vesihöyryyn tiivistymistä, jolloin energiaa vastaavasti vapautuu.
- Luonnossa haihduntaan tarvittava energia voi tulla auringon säteilynä tai lämmön kulkeutumisena ilmasta, maasta tai vedestä.
- Vesihöyryyn paine-eron ylläpitämiseksi tarvitaan jatkuvan energiavirran ohella vesihöyryyn kulkeutumista kauemmas ilmakehään. Tuulen nopeuden lisääntyminen nopeuttaa vesihöyryyn kulkeutumista.

Haihdunta, käsitteet (1/2)

Luonnossa haihtumista tapahtuu veden, lumen ja jään pinnasta, maasta ja kasvustosta.

Näiden erottamiseksi toisistaan on otettu käyttöön seuraavat käsitteet:

- **Evaporaatio:** haihdunta maan, veden tai lumen pinnalta.
- **Transpiraatio:** kasvien elintoimintaan liittyvä haihdunta.
- Haihtuva vesi kulkee juuri-varsi-lehti-systeemin lävitse.
- **Evapotranspiraatio:** maa-alueilta tapahtuva kokonaishaihdunta.

Haihdunta, käsitteet (2/2)

- **Potentiaallinen evapotranspiraatio:** laajalta alueelta tapahtuva haihdunta, kun maa on lyhyen kasvillisuuden täysin peittämä, eikä veden puute rajoita haihduntaa.
- **Potentiaallinen evaporaatio:** puhtaasta, vapaasta vedenpinnasta tapahtuva haihdunta.
- **Todellinen haihdunta:** haihdunta, joka todellisuudessa tapahtuu tietyltä alueelta.
- **Interseptiohaihdunta:** kasvien pinnoille pidättyneen veden haihdunta.

Haihdunta, nettosäteily

Maanpinnan hyväksi tuleva **nettosäteily** jakautuu

- haihduntaan kuluvaan eli **latenttiin energiaan**
- lämmön virtaukseen eli **konvektiiviseen lämpöön** ja
- veteen tai maahan siirtyvään energiaan ja fotosynteesiin yms. kuluvaan energiaan

$$R_n = LE + C + G + M$$

R_n = nettosäteily (Wm^{-2})

LE = haihduntaan kuluva energia (Wm^{-2})

C = konvektiivinen lämpö (Wm^{-2})

G = maahan tai veteen siirtyvä energia (Wm^{-2})

M = fotosynteesiin yms. kuuluva energia (Wm^{-2})

Haihdunnan arviointi (1/3)

Yleinen valuma-alueen haihdunnan arviointimenetelmä on **vesitasemittaukset**.

$$E = P - Q \pm \Delta S$$

E = haihdunta (mm)

P = sadanta (mm)

Q = valunta (mm)

S = varastoituminen (mm)

Vuosihaihduntaa määritettäessä vesitase on käyttökelpoisimmillaan.

Lyhytaikaisen haihdunnan määrittämisessä runsaasti ongelmia

- sadannan luotettava määrittäminen ongelmallista
- valuma-alueelle varastoituneen vesimäärän vaihtelun selvittäminen on vielä vaikeampaa

Haihdunnan arviointi (2/3)

Lysimetrit ovat maahan upotettuja ja maalla täytettyjä astioita, joista haihdunta määritetään joko punnitsemalla tai vesitaseyhtälön jäännösterminä.

Punnitsevissa lysimetreissä sadannasta ja haihdunnasta aiheutuvat maan painon muutokset rekisteröidään.

Ei-punnitsevissa lysimetreissä sadanta, lysimetrin läpi virtaava vesimäärä ja maan vesipitoisuus täytyy erikseen mitata ja haihdunta saadaan näiden avulla lasketuksi.

Haihdunnan arviointi (3/3)

- Yleisimmin haihdunnan mittaaminen tapahtuu erityyppisiä haihtumisastioita käyttäen.
- Haihtumisastiat voidaan sijoittaa maanpinnan yläpuolelle tai upottaa maahan sekä järvihaihduntaa mitattaessa vedessä kelluville lautoille.
- Maailman Ilmatieteen järjestö (WMO) suosittaa käytettäväksi amerikkalaista Class A -astiaa tai venäläistä GGI-3000 -astiaa.
- Haihtumisastioista tapahtunut haihdunta saadaan lasketuksi astian vedenpinnan muutoksen ja sadannan avulla.
- Astiasta tapahtuva haihdunta edustaa tarkasti ottaen vain itseään, sillä astia eroaa ympäristöstään mm. värin, lämpötilan ja aerodynaamisten ominaisuuksien puolesta.

Haihdunta Suomessa

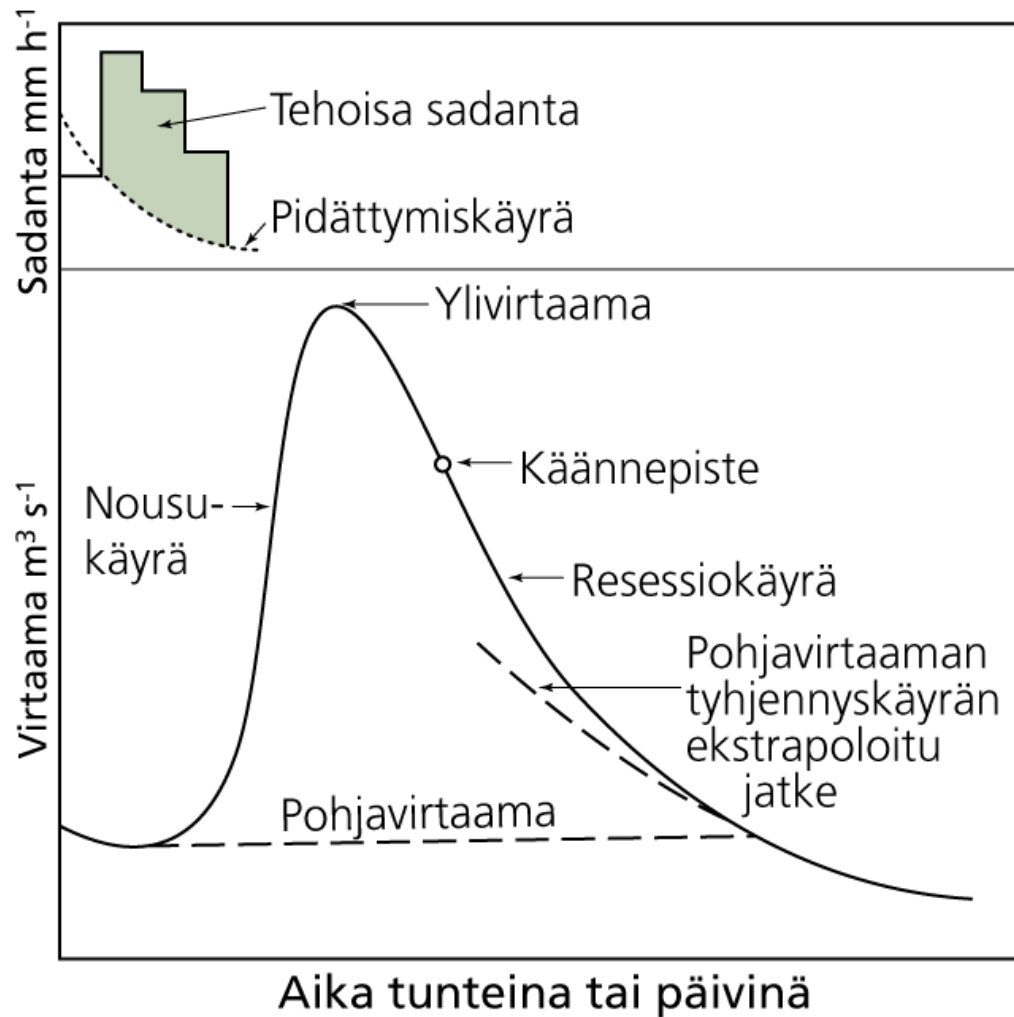
- Vuosisadannasta haihtuu Etelä-Suomessa runsaat puolet eli keskimäärin 400–500 mm.
- Lapissa haihdunta on 30–40 % sadannasta eli keskimäärin 200–250 mm.
- Haihdunnan vuosivaihtelut suurehkoja
 - kesäkauden ilmastollisten olosuhteiden suuret erot
- Haihdunta hyvin erisuuruista erilaisilta pinnoilta
 - suurinta veden pinnalta ja pienintä lumen ja jään pinnalta

Valunta

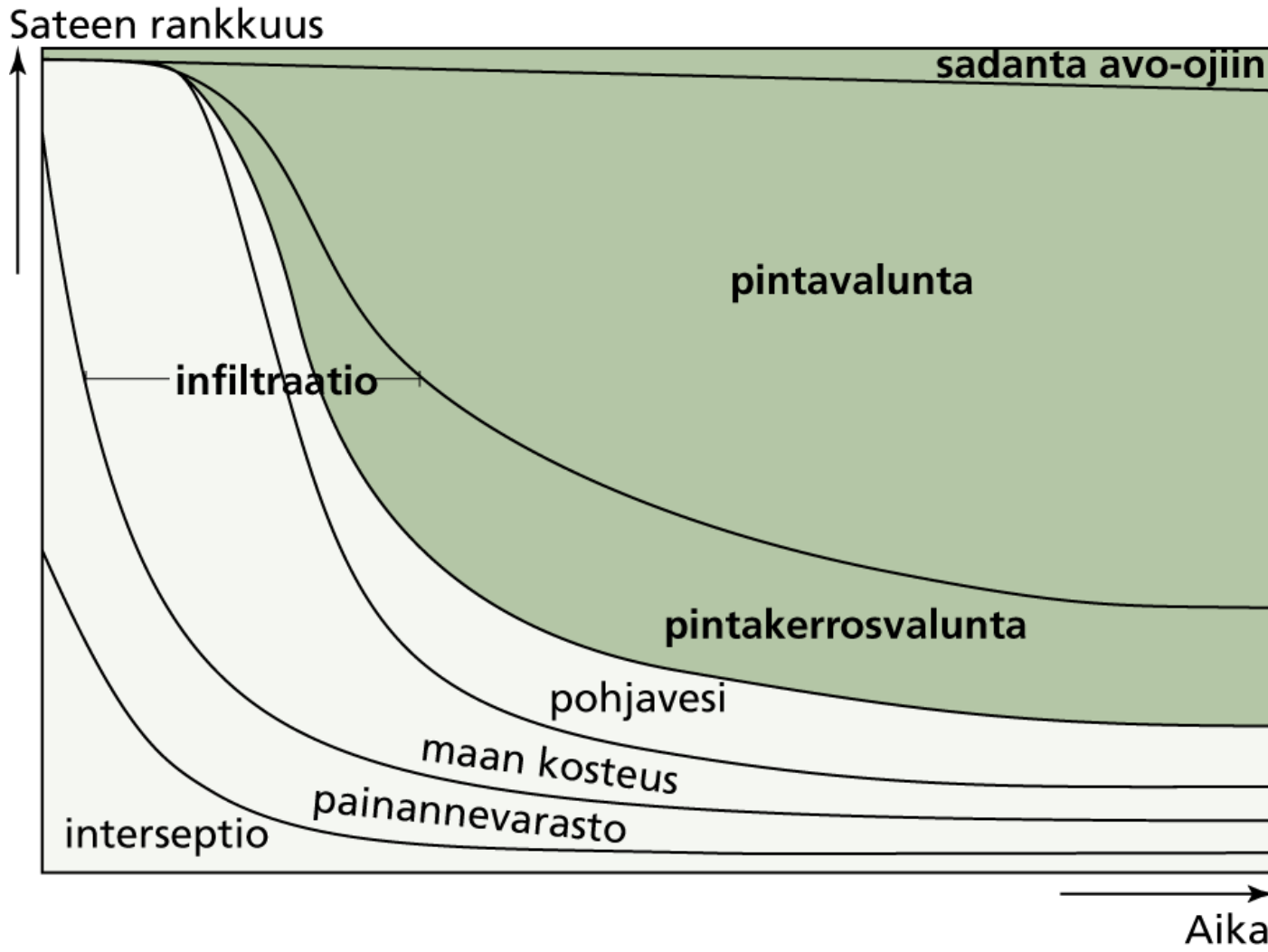
Valuntailmiön kolme muotoa:

- **Pintavalunta**, kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta vesistöön.
- **Pintakerrosvalunta**, imeytyy maaperään ja kulkeutuu maan pintakerroksissa vesiuomiin.
- **Pohjavesivalunta**, imeytyy maaperään ja poistuu pohjavesien kautta vesistöön.

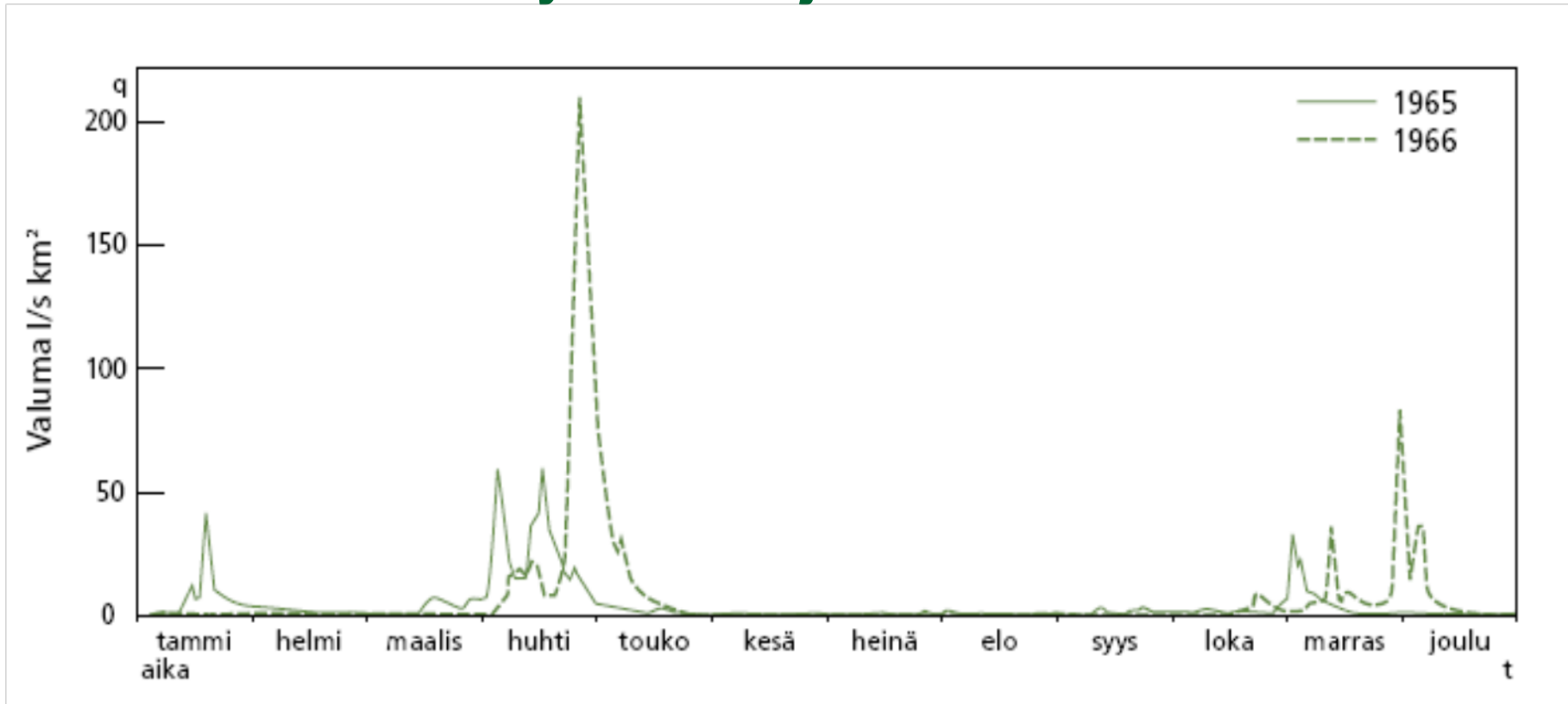
Tyypillinen valuntakäyrä



Valunnan jakautuminen sadannan rankkuuden ja keston mukaan



Löytäneenojan valunta



Löytäneenoja (Lounais-Suomi)

valuma-alue 5,64 km²

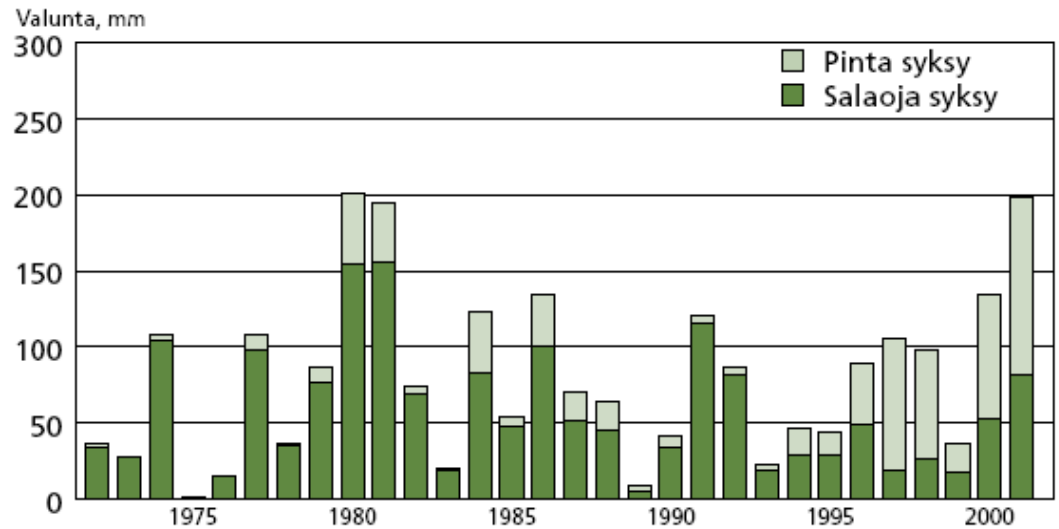
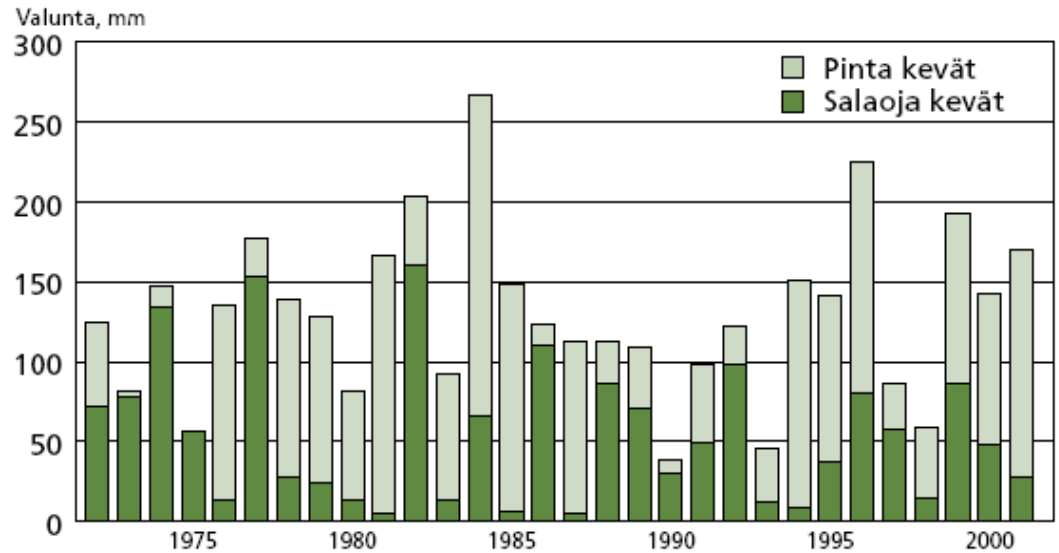
peltoa 68 %, järvetön

voimas ylivaluma, selvä alivalumakausi

Pinta- ja salaojavalunta, Hovi 1972-2002

Hovin valuma-alue

- 12,2 ha
- Kaltevuus 2,8 %
- Savi
- Salaojitettu v. 1972



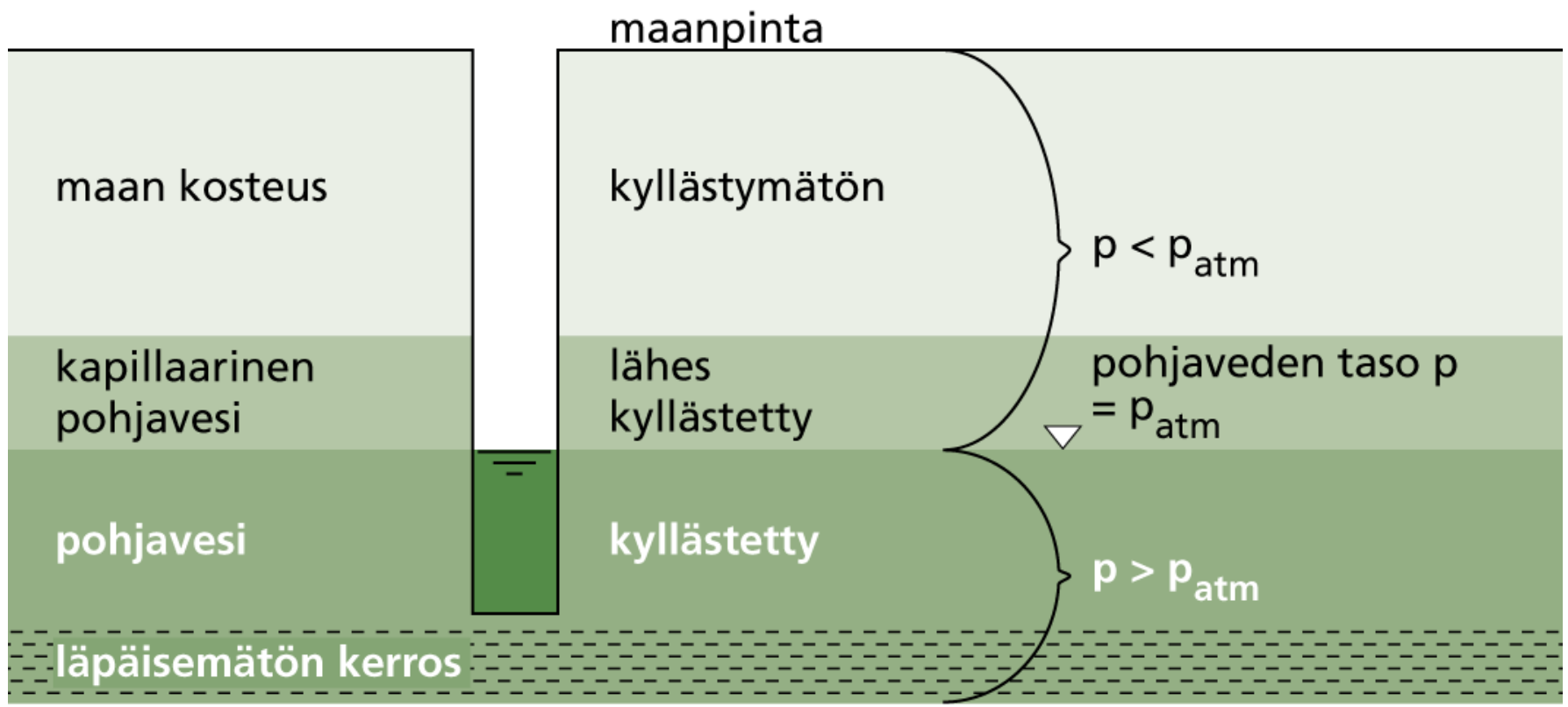
Maaperässä olevat vedet

Kalvot 28 - 41

Maaperässä olevat vedet

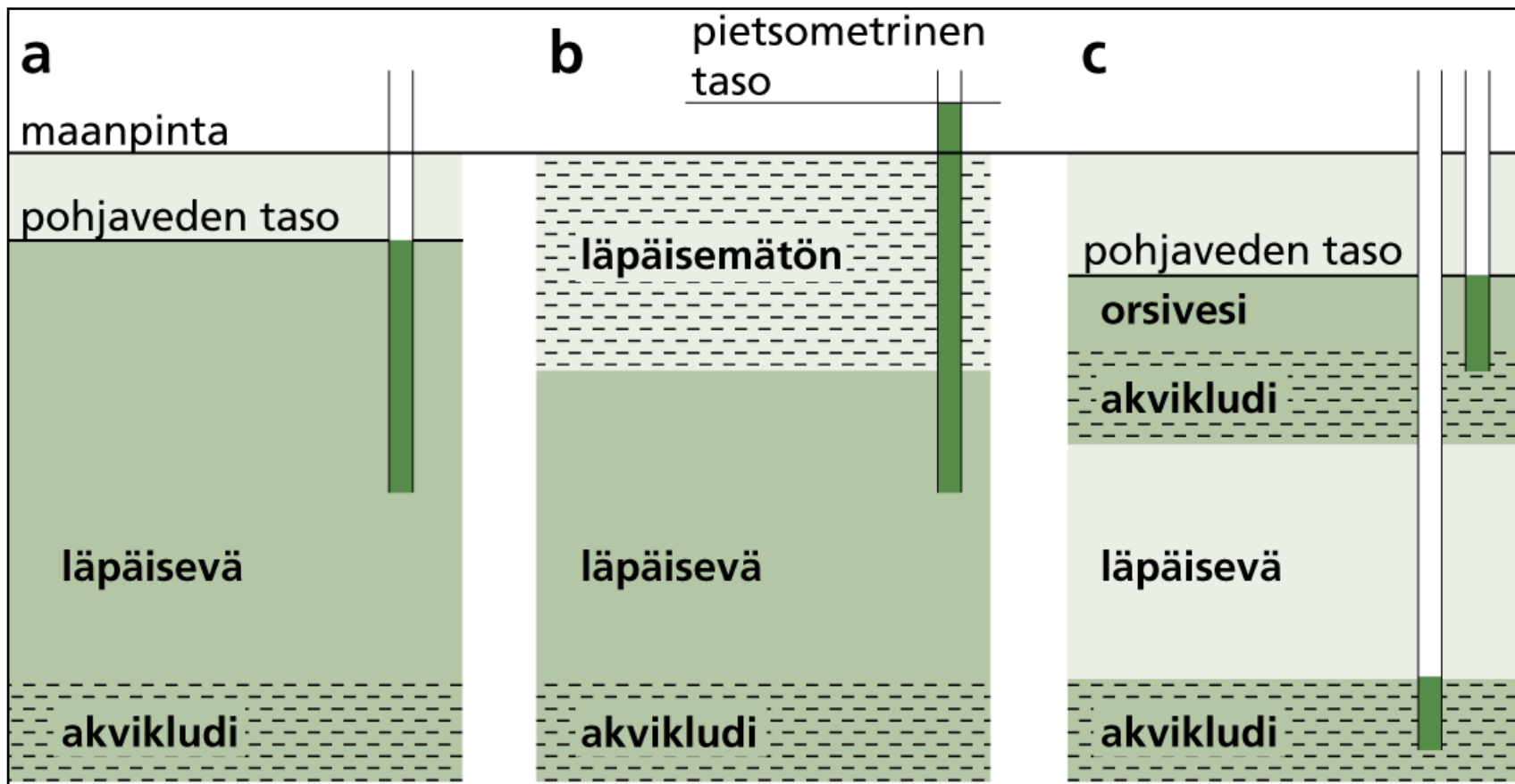
- Maaperässä pohjaveden pinnan yläpuolella kyllästymättömässä kerroksessa olevia vesiä nimitetään yleensä maavesiksi.
- Veden pidättymiseen ja liikkeisiin maan huokosissa vaikuttavat ennen kaikkea maaperän tekstuuri eli lajitekoostumus ja struktuuri eli maan rakenne.
- Pohjaveden korkeus määrittelee suureksi osaksi, millainen kosteusprofiili maaperään syntyy syvyysuunnassa.
- Maan kosteus ilmaistaan yleensä tilavuusprosentteina samoin kuin huokoisuus.
- Maan vedenpidätysominaisuuksia kuvataan puolestaan vedenpidätys- eli ns. pF-käyrän avulla. Käyrä kuvaa maan vesipitoisuuden ja painepotentiaalin suhdetta.

Vesivyöhykkeet maassa





Pohjavesi



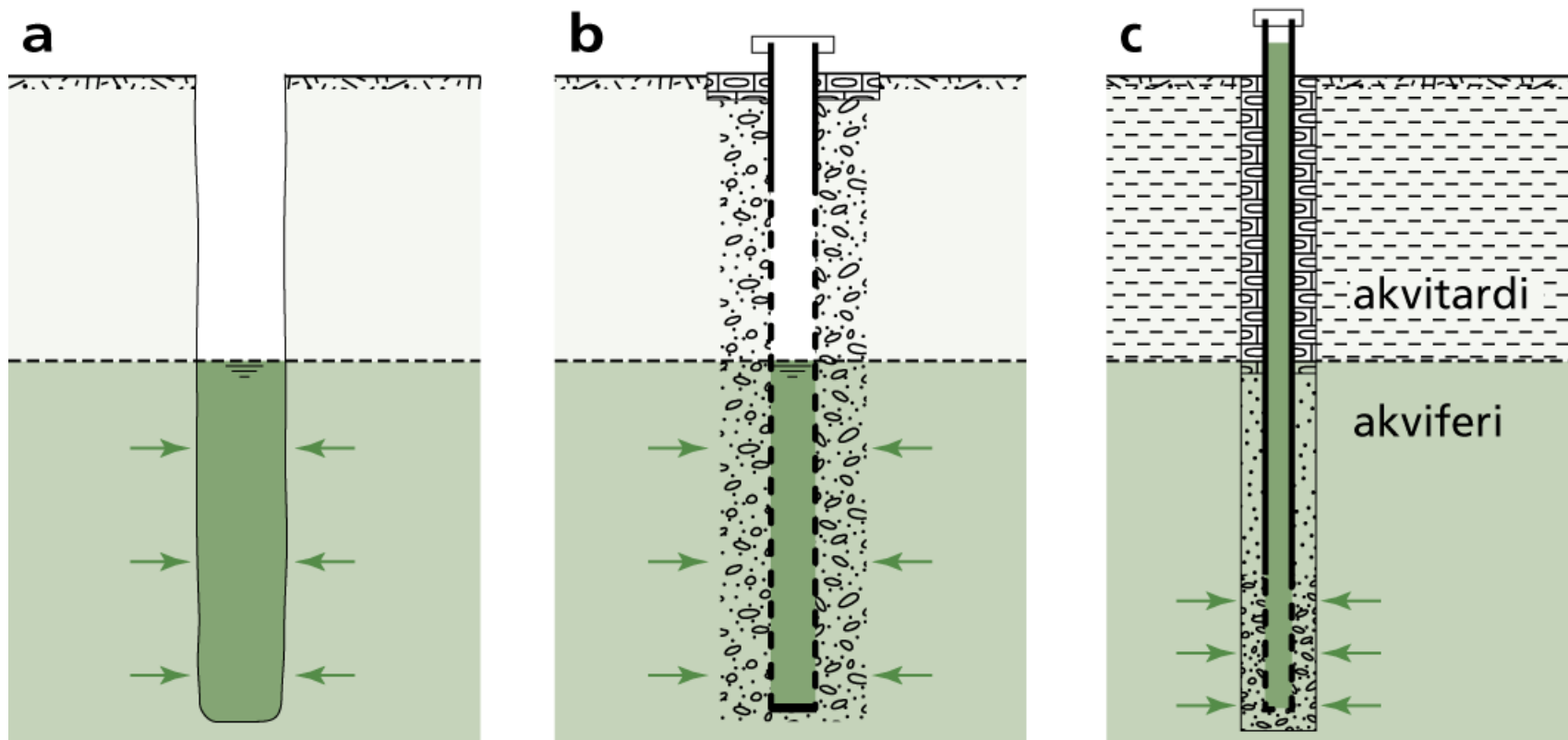
a) Vapaa pohjavesi

b) Paineellinen pohjavesi

c) Orsivesi



Pohjaveden korkeuden mittaaminen



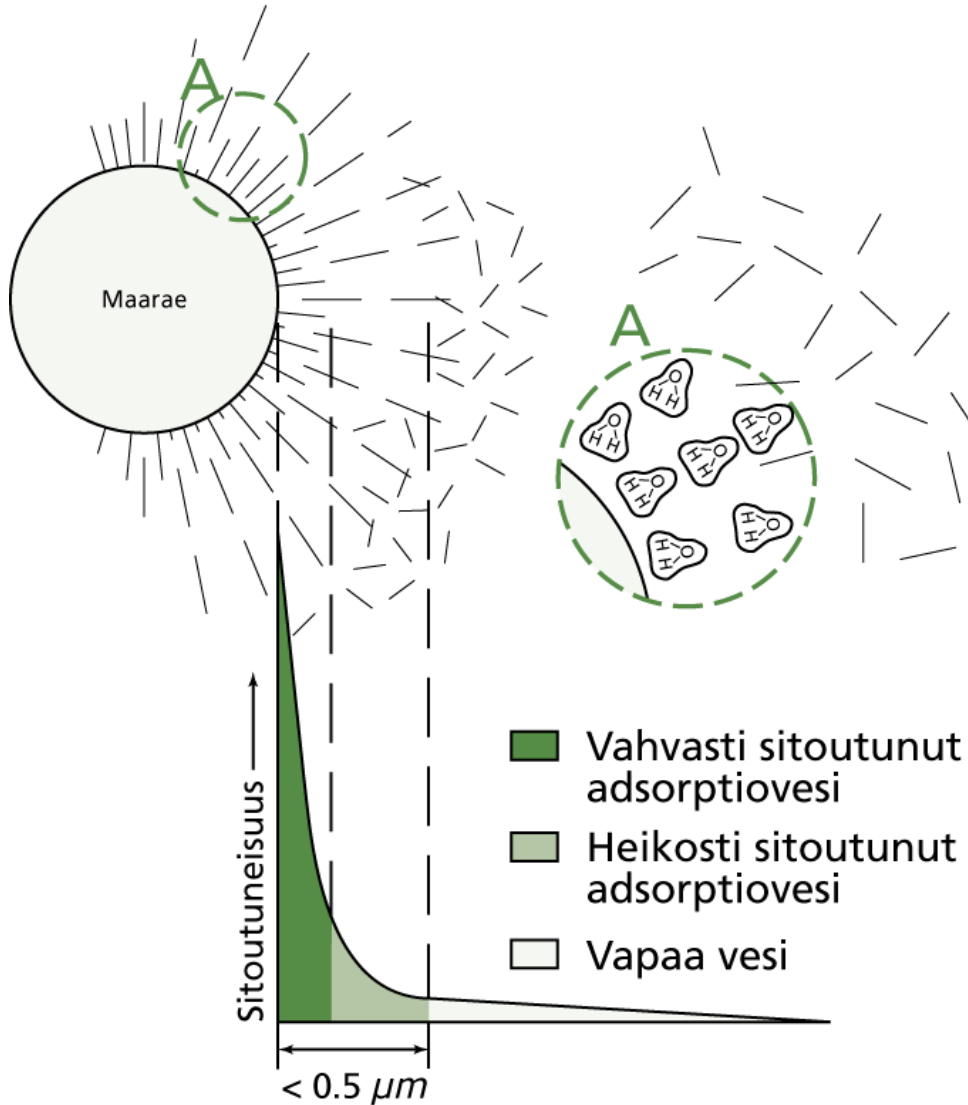
Pohjaveden korkeuden mittaaminen

a) suoraan kairanreiästä

b) putkella tuetusta kairanreiästä

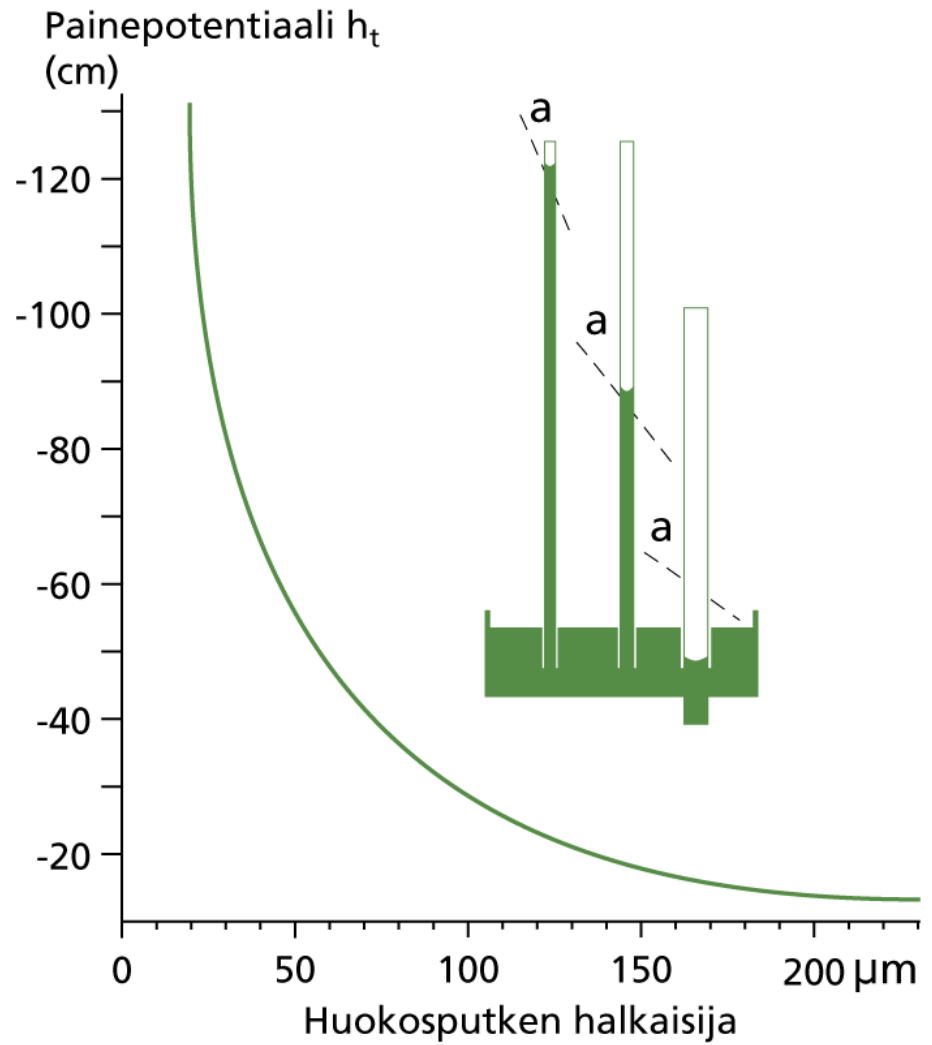
c) pietsometrillä

Maan vedenpidätyskyky



Vesivaipan muodostuminen maahiukkasen ympärille

Nousukorkeuden ja huokoskoon välinen riippuvuus



Maaveden potentiaalit

Kokonaispotentiaali muodostuu useista komponenteista, mutta merkitystä on yleensä vain seuraavilla:

$$h_{\text{kok}} = h_g + h_t + h_{\text{osm}}$$

h_{kok} = kokonaispotentiaali, cm v.p.

h_g = painovoimapotentiaali, cm v.p.

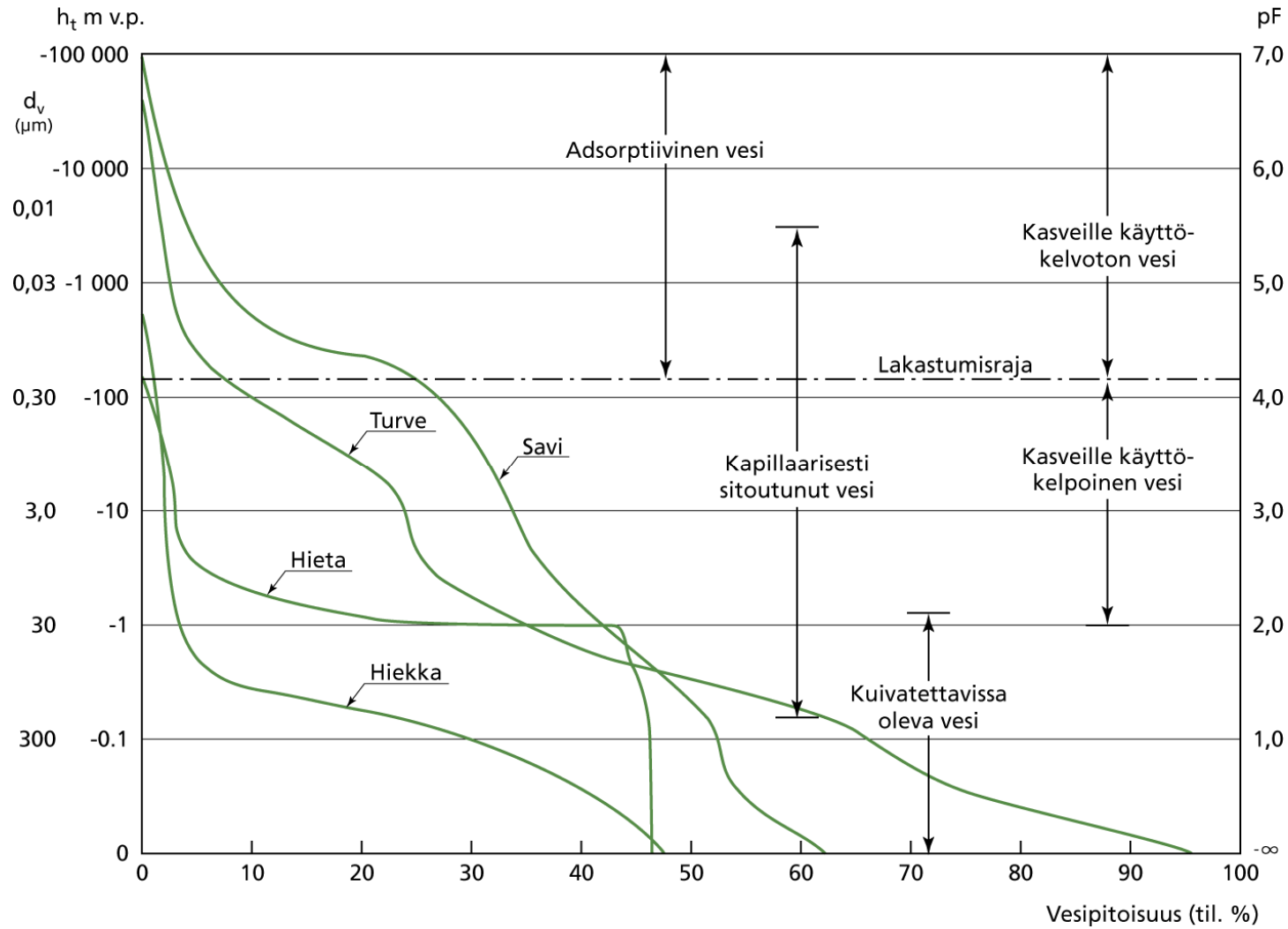
h_t = paine- eli matrikpotentiaali, cm v.p.

h_{osm} = osmoottinen potentiaali, cm v.p.

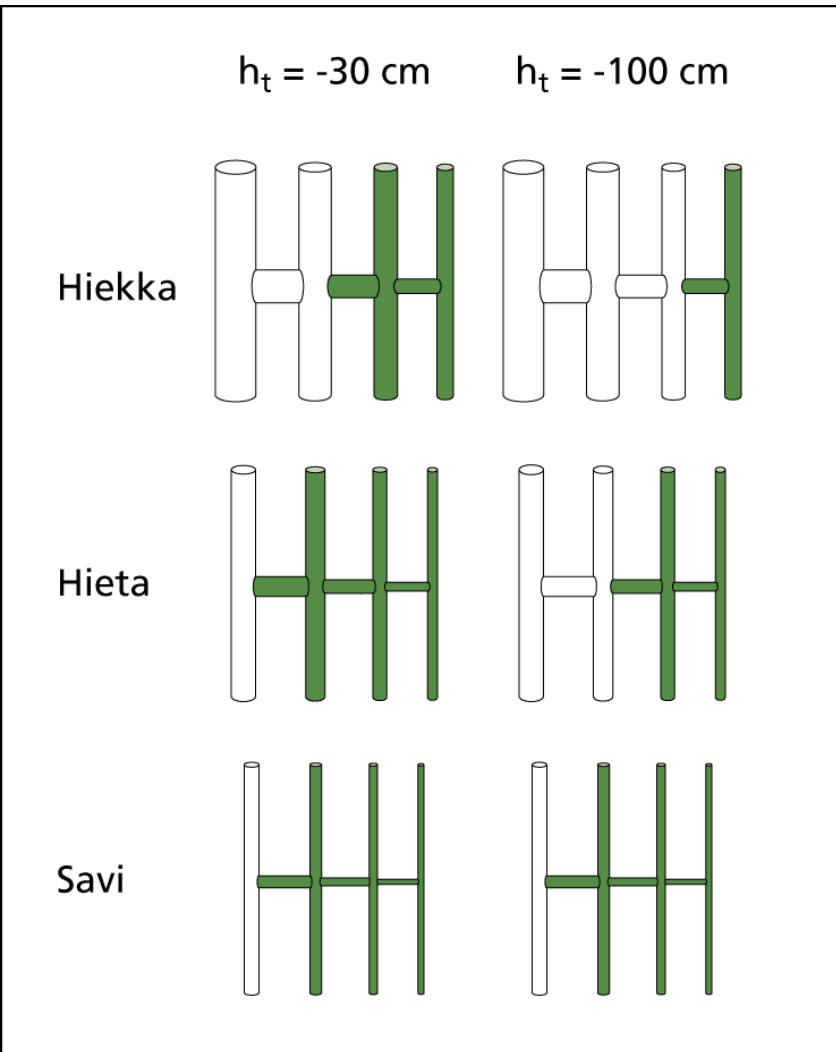
Painovoima- ja painepotentiaali määräävät käytännössä maaveden energiatilan. Näiden summaa nimitetään hydrauliseksi korkeudeksi H :

$$H = h_g + h_t$$

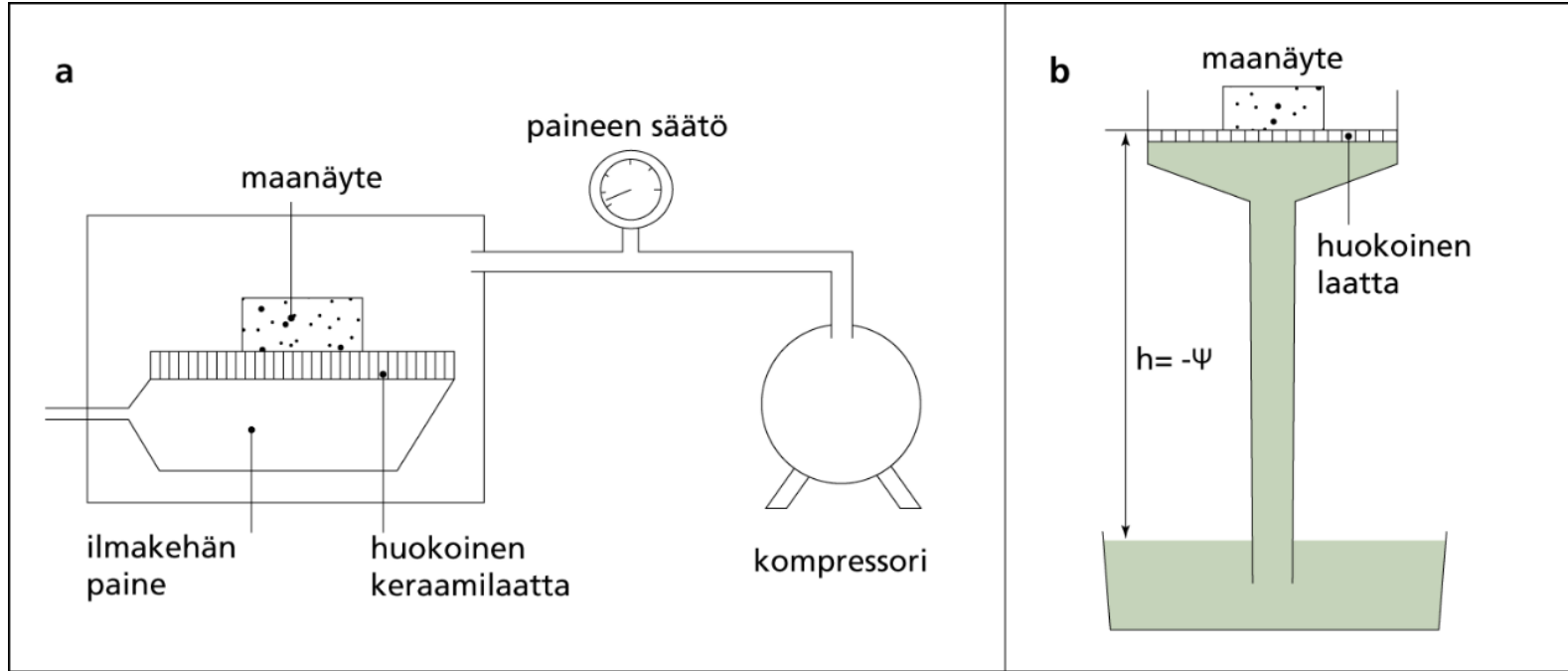
Vedenpidätyskäyrä



Veden pidättyminen

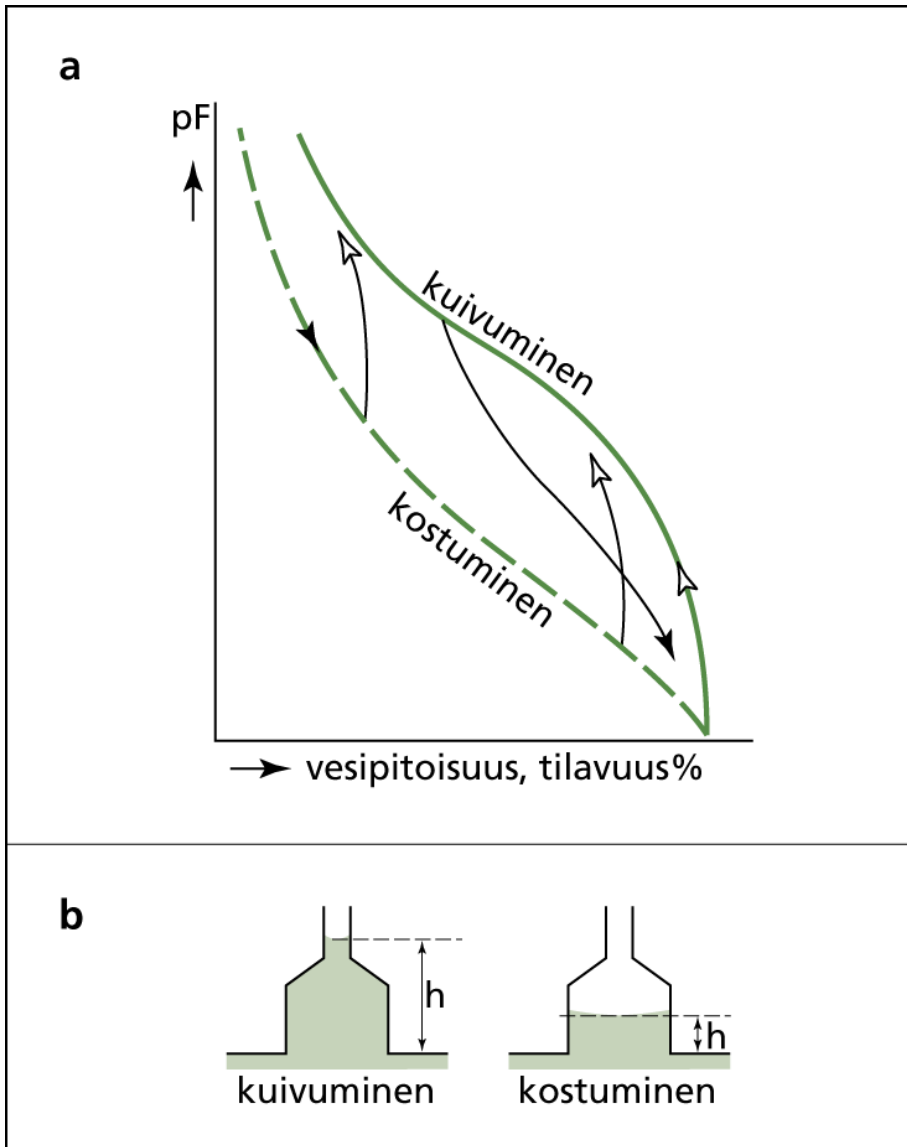


Vedenpidätyskäyrän määrittäminen



Vedenpidätyskäyrä määritetään suurilla potentiaaleilla kuvan a ja pienillä kuvan b mukaan

Maaveden potentiaalin ja maankosteuden välinen yhteys



Maaveden potentiaalin ja maankosteuden välinen yhteys maan kuivuessa ja kostuessa, ns. hystereesis-ilmio

Maankosteuden mittaaminen (1/2)

Mittausmenetelmät

- Välittömät (suora)
- Välilliset (epäsuora)

Välittömät menetelmät

- vesi poistetaan näytteestä joko fysikaalisesti tai kemiallisesti, ja poistuvan veden määrä mitataan
- yleisin ns. gravimetrinen menetelmä
- gravimetrinen menetelmä on yksinkertainen mutta varsin hidas ja työläs eikä määrittystä voi tehdä samasta pisteestä uudestaan

Maankosteuden mittaaminen (2/2)

Välilliset menetelmät

Ei mitata suoraan vesipitoisuutta, vaan jotain muuta maan kosteussuhteita ilmentävää ominaisuutta.

- Välillisiä menetelmiä ovat muun muassa:
 - tensiometrit
 - kipsiblokit/maan resistiivisyys
 - kapasitiiviset menetelmät
 - elektromagneettiset menetelmät
- Maankosteutta voidaan myös mitata ns. passiivisilla mittauksilla, kuten elektromagneettinen induktio, neutronimittaus tai gammasädemenetelmä.

Veden liikkeet maaperässä

Kalvot 42 - 51

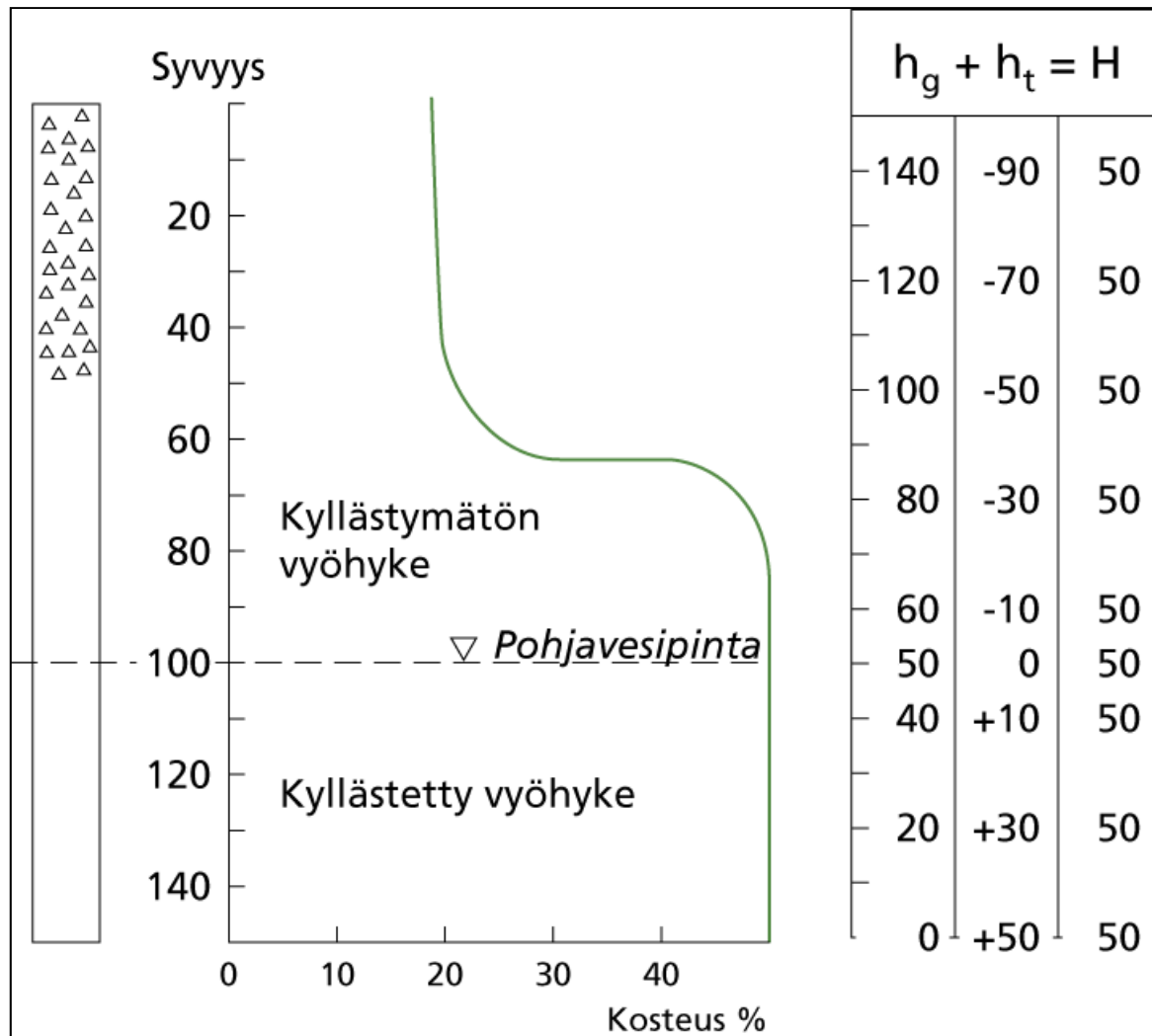
Veden liikkeit maaperässä (1/2)

- Maassa oleva vesi virtaa pienenevän potentiaalın suuntaan.
- Maaperässä vesi liikkuu maarakeiden väliin jäävissä huokosissa, joiden muoto ja koko riippuu maalajin ominaisuuksista ja tiiviysasteesta.
- Varsinkin tiiviiden maalajien kohdalla maan vedenläpäisevyyteen vaikuttavat ratkaisevasti kasvien juurien ja matojen tekemät reiät.
- Savimaissa myös halkeamat voivat muodostaa suoria virtausreittejä, jotka saattavat ulottua salaojaan asti.

Veden liikkeit maaperässä (2/2)

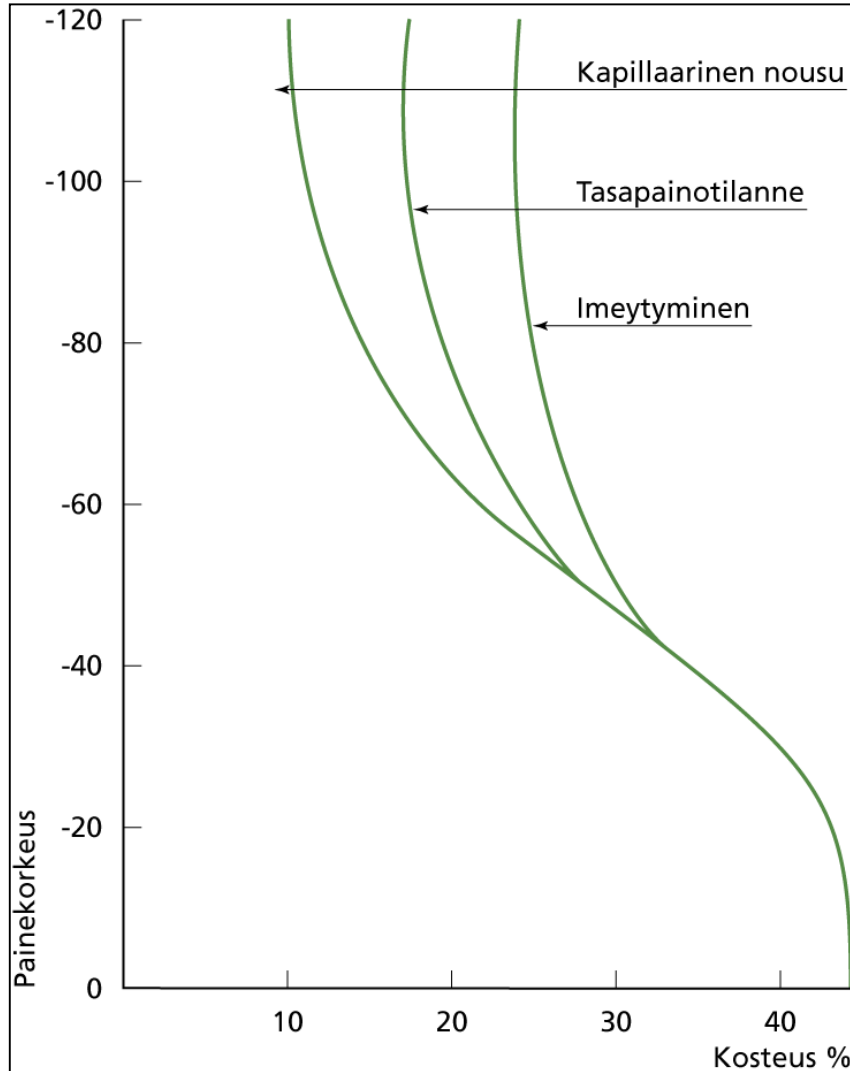
- Makrohuokosia pitkin vesi pääsee liikkumaan maassa nopeammin.
- Makrohuokosia synnyttävistä
 - routa ja maan halkeilu (fysikaaliset),
 - kasvien juurien ja matojen tekemät reiät (biologiset)
- Putkessa hitaasti virtaavan veden nopeus on suoraan verrannollinen putken säteen neljänteen potenssiin.
- Hiesu- ja savimaissa makrohuokokset eli juurikanavat, madonreiät ja halkeamat määräävät maan hydraulisen johtavuuden.

Veden imeytyminen maahan



Esimerkki kuivatustasapainotilanteesta (Feddes 1979)

Tasapaino-, imeytymis- ja haihduntatilanne



Periaatekuva maankosteusprofiilista kolmessa tilanteessa

Maan hydraulinen johtavuus

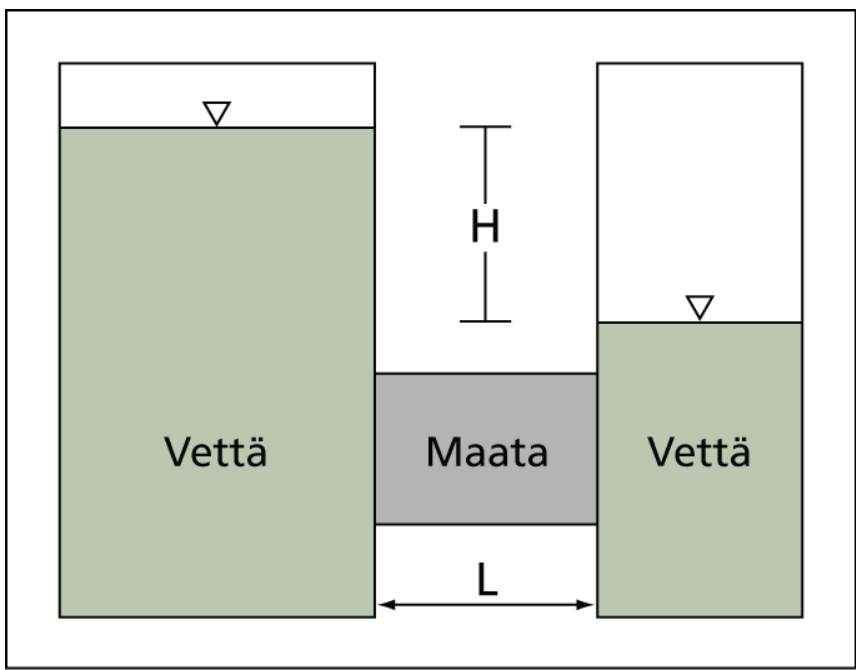
Darcyn yhtälö:

$$q = K H/L$$

q = virtausnopeus (cm/s)

K = Hydraulisen johtavuuden kerroin (cm/s)

H/L = paineviivan kaltevuus



Eräiden maalajien hydrauliset johtavuudet

Maalaji	K (m s ⁻¹)
Sora	0,1...0,001
Karkea hiekka	0,01...0,0001
Hiekka	0,001...0,00001
Karkea hieta	0,0001...0,000001
Hieno hieta	0,00001...0,0000001
Hiesu	0,000001...0,00000001
Savi	<0,000000001

Hydraulisen johtavuuden määrittäminen

Välillisesti

- rakeisuuden perusteella maaperän K-arvo nopeasti, mutta epätarkasti

Mittaamalla laboratoriossa tai maastossa

- laboratoriomääritykset edustavat pientä mittakaavaa
- maastossa määritetyt K-arvot voivat edustaa suhteellisen isojakin alueita.

Kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus

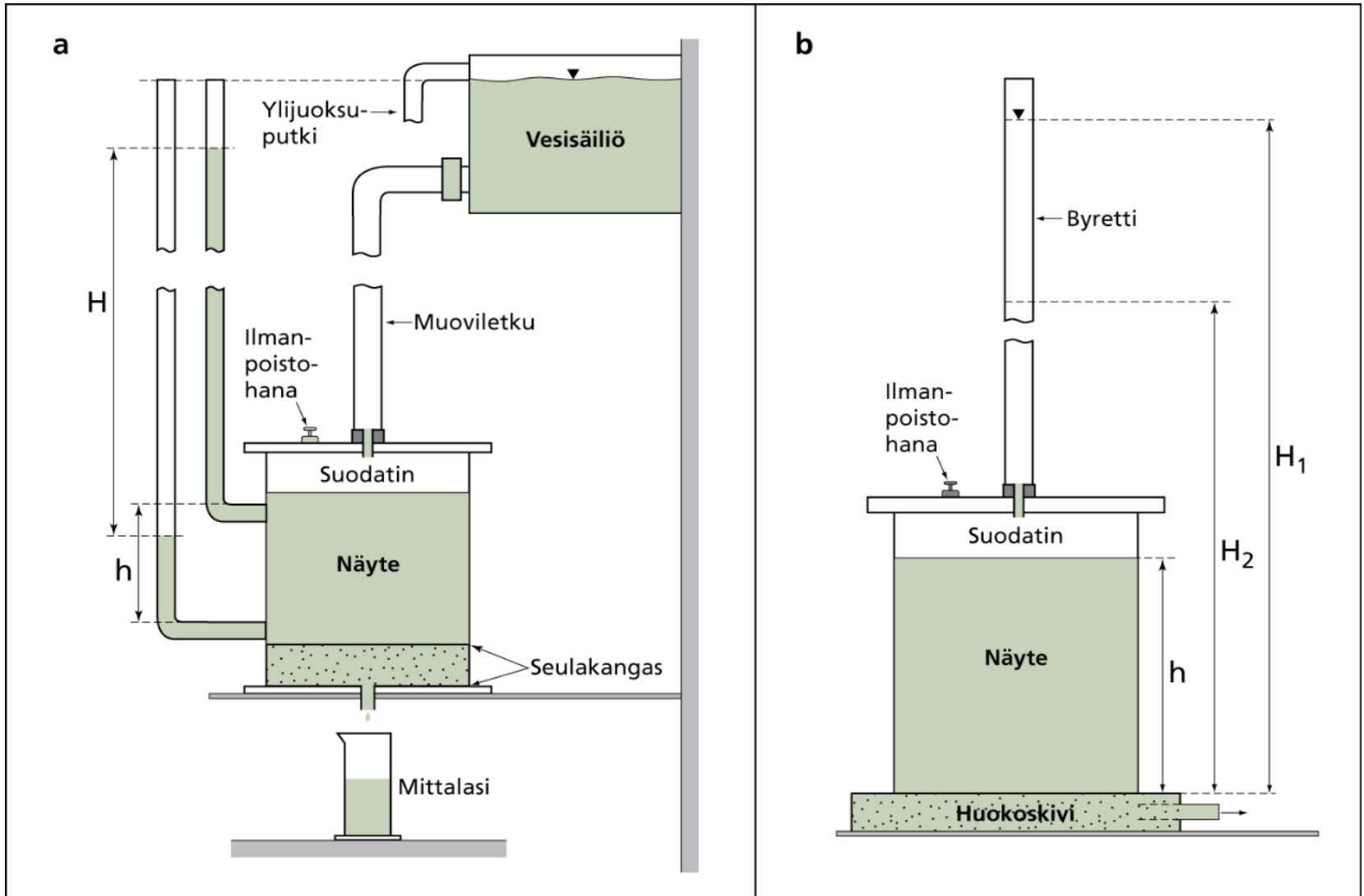
Laboratoriossa

- vakio painekorkeus (karkearakeiset maalajit)
- muuttuva painekorkeus (hienorakeiset maalajit)
- näytteitä tarvitaan paljon
- menetelmät työläitä ja aikaa vieviä

Kenttämittaukset

- yleisin ns. auger-hole menetelmä
- infiltrometrit
- pohjaveden koepumppaukset sekä salaovalunnan ja pohjaveden syvyysmittausten perusteella

Hydraulisen johtavuuden määrittäminen laboratoriossa



a) vakio painekorkeutta ja b) muuttuvaa painekorkeutta käyttäen

Kyllästymättömän maan hydraulinen johtavuus

Laboratoriossa

- pitkän (50 -200 cm) maanäytteen menetelmät (paine potentiaalit mitataan tensiometreillä)
- lyhyen (1-5 cm) maanäytteen menetelmät (paine kammio, irtovat vesimäärät mitataan)

Vedenpidätyskäyrä

- menetelmiä lukuisia
- van Genuchtenin menetelmä yleisimmin käytetty

Maan lämpötilous ja routa

Kalvot 52 - 58

Maan lämpötalous

- Maan kosteuspitoisuus vaikuttaa maaperän lämpötilaan, joka on veden ohella toinen tärkeä kasvutekijä varsinkin kasvun ensimmäisessä vaiheessa.
- Lämmöllä on vaikutusta solun jakautumiseen, kasvuun ja erikoistumiseen, veden ja ionien ottoon, veden virtaukseen ja haihtumiseen, fotosynteesiin ja hengitykseen.
- Lämpötila vaikuttaa myös nitrifikaation ja muiden maaperän mikrobiologisten toimintojen välityksellä kasvuun.
- Märkä maa (suuri lämpökapasiteetti) on kylmempi kuin kuiva maa, mikä viivästyttää itämistä, orastamista ja kasvukauden alkamista.

Routa (1/3)

- Roudalla tarkoitetaan maahuokosissa olevan veden jäätyminen aiheuttamaa maan jäykistymistä ja kovettunutta pintakerrosta.
- Kerroksen paksuutta sanotaan roudan syvyydeksi ja kerroksen alarajaa routarajaksi.
- Roudan syntyä eli maaveden jäätymistä sanotaan maan routaantumiseksi. Jos maan routaantumisen tai roudan sulamisen yhteydessä tapahtuu maan pinnan liikkumista tai maan fysikaalisten ominaisuuksien muuttumista, puhutaan routimisesta.
- Maamme kaikki maalajit routaantuvat talvisin, mutta kaikki eivät roudi.

Routa (2/3)

- Routa tunkeutuu eri maalajeihin eri tavoin riippuen mm. maan huokoisuudesta ja kosteuspitoisuudesta.
- Hiekka ja karkea hietamaa routaantuvat tasaisesti.
- Hienorakeisissa maalajeissa taas syntyy jääkerroksia, joiden välinen massa ei jäädy kovaksi, vaan jää plastiseksi.
- Mitä hienorakeisempaa maalaji on, sitä voimakkaammin adsorptio- ja kapillaarivesi ovat sitoutuneet, mikä alentaa jäätymispistettä.
- Maan suuri lämpökapasiteetti hidastaa routaantumista.
- Hyvä lämmönjohtavuus puolestaan nopeuttaa maan pintakerroksen jäähtymistä ja lisää näin myös roudan paksuutta.
- Maaperässä oleva vesi samoin kuin maan karkearakeisuus lisäävät lämmönjohtavuutta.

Routa (3/3)

- Routaantumisen ja roudan sulaminen tapahtuu nopeammin karkeissa ja kosteissa kuin hienorakeisissa ja kuivissa maalajeissa.
- Luonnon olosuhteissa hienorakeiset maalajit sisältävät enemmän vettä kuin karkearakeiset maalajit, jolloin karkearakeisuus ja vesipitoisuus vaikuttavat vastakkaisesti ja tasapainottavat eri maalajien routaantumista.
- Maan jäätymiseen vaikuttavista ilmastotekijöistä tärkeimpiä ovat lämpötila ja lumipeite.
- Lumipeitteen lisäksi myös kasvipeite toimii lämpöeristeenä.
- Roudan syvyyden vuotuiset vaihtelut ovat huomattavia. Kohtalaisen ankarina talvina roudan syvyys on 1,5–2,0 kertaa niin syvä kuin normaalitalvina.

Routalajit

Routalajit

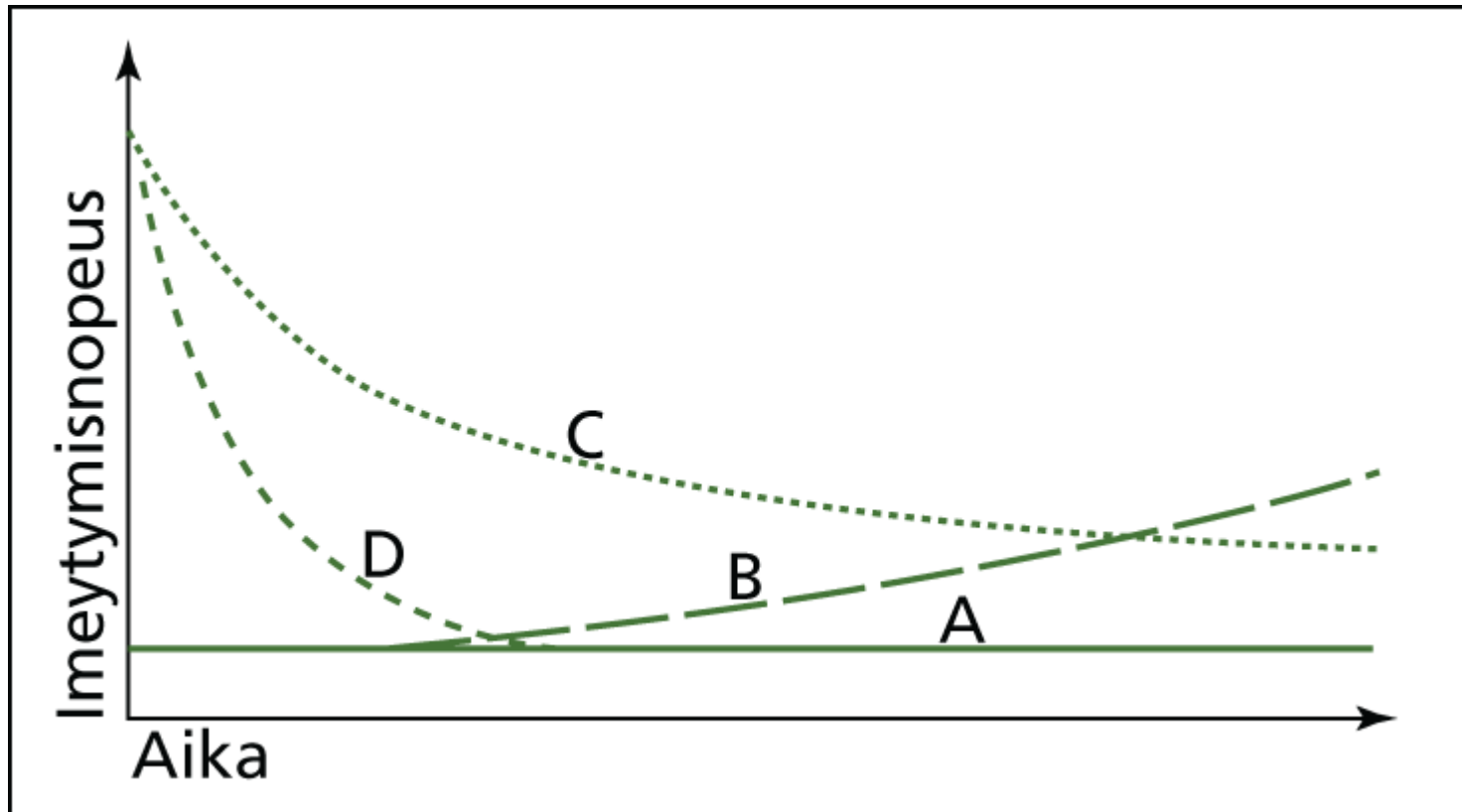
- pintarouta eli rouste
- varsinainen maarouta

Varsinaisen maaroudan jaottelu

- onkalarouta
- massiivinen routa
- kerrosrouta

Roudan vaikutus veden imeytymiseen

Tärkeimpiä imeyntää hallitsevia tekijöitä ovat maassa olevat jäättömät huokokset, niiden koko ja lukumäärä. Maaperän kosteustilalla jäätymishetkellä on merkittävä vaikutus imeyntään.



Periaatteellinen kuva imeynnästä jäätyneeseen maahan

Avouomavirtaus

Kalvot 59 - 72

Avouomavirtaus

- Avouomavirtaukselle luonteenomaista on vapaa vedenpinta, johon vaikuttaa ainoastaan ilmakehän paine.
- Vapaan vedenpinnan olemassaolo aiheuttaa, että virtauksen käsittely on merkittävästi hankalampaa kuin putkivirtauksen tapauksessa.
- On vaikeaa luoda yleispäteviä malleja, koska poikkileikkauksen muoto ja karkeusominaisuudet alinomaan vaihtuvat
- Yllä olevista syistä avouomavirtausta joudutaan käsittelemään vielä enemmän kokeellisesta pohjalta kuin putkivirtauksen kyseessä ollen.

Avouomavirtaus, virtaustyypit

Virtaustyypit

- stationäärinen I. pysyvä virtaus: virtaus ei muutu ajan funktiona
- epästationäärinen I. muuttuva virtaus: virtaus muuttuu ajan funktiona (esim. paineisku)
- tasainen virtaus: virtaustekijät (paine, nopeus, tiheys) eivät muutu paikan mukaan
- epätasainen virtaus: virtaus muuttuu paikan mukaan

Avouomavirtaus, virtaustila (1/2)

Virtaustila

Laminaarinen virtaus

- Nestepartikkelin keskimääräinen nopeus on sama kuin virtauksen keskimääräinen nopeus.
- Partikkelien liikettä voidaan kuvata virtaviivoilla.
- Nestekerrosten välillä ei tapahdu sekoittumista.

Turbulenttinen virtaus

- Sisäisen kitkan ansiosta ja nesteen ja kiinteän pinnan välisen kitkan ansiosta syntyvä virtaustila, jossa partikkelin nopeus ja suunta poikkeavat sattumanvaraisesti keskimääräisistä arvoista.

Avouomavirtaus on jokseenkin poikkeuksetta turbulenttista.

Avouomavirtaus, virtaustila (2/2)

Virtaustilaa voidaan luonnehtia Reynoldsin luvun avulla

$$Re = \frac{u \cdot 4R}{\nu}$$

Re = Reynoldsin luku

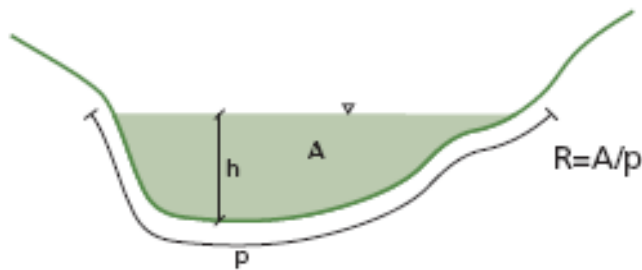
R = hydraulinen säde = A/p, m

p = ns. märkäpiiri, m

u = virtausnopeus, m/s

A = uoman poikkipinta-ala, m²

ν = kinemaattinen viskositeetti, m²/s



Märkäpiiri p, poikkileikkauksen ala A ja hydraulinen säde R

Avouoman mitoitus

Tavanomainen menetelmä tasaisen virtauksen laskentaan perustuu Chezyn yhtälöön

$$u = C\sqrt{RI}$$

u = virtausnopeus, m/s C = kerroin, jonka arvio riippuu uoman karkeudesta
 I = uoman pituuskaltevuus R = hydraulinen säde, m

Manningin yhtälö kertoimen C ratkaisemiseksi

$$u = MR^{2/3}I^{1/2}$$

M = Manningin kerroin
 n = karkeuskerroin, $M = 1/n$

Kun Manningin yhtälöä verrataan Chezyn yhtälöön, havaitaan seuraavan yhteyden olevan voimassa

$$C = M \cdot R^{1/6}$$

Avouman mitoitus, kitkahäviö

Kitkahäviön suuruus riippuu mm. seuraavista uoman ominaisuuksista:

- pohjan karkeus
- kasvillisuus
- poikkileikkauksen vaihtelut
- uoman mutkaisuus
- uoman liettyminen ja syöpyminen
- uomassa olevat esteet
- uoman koko ja muoto
- syvyys ja virtaama

Karkeuskerroin

Karkeuskertoimen n arvo vaihtelee luonnonuomissa välillä 0,025–0,150. Cowan (1956) esittää n -arvon määrittämiseksi seuraavan tavan:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

n_0 = perusarvo

n_1 = pohjan karkeuden aiheuttama arvo

n_2 = poikkileikkausten vaihtelun aiheuttama arvo

n_3 = uomassa olevien esteiden aiheuttama arvo

n_4 = kasvillisuuden aiheuttama arvo

m_5 = uoman mutkaisuudesta riippuva arvo

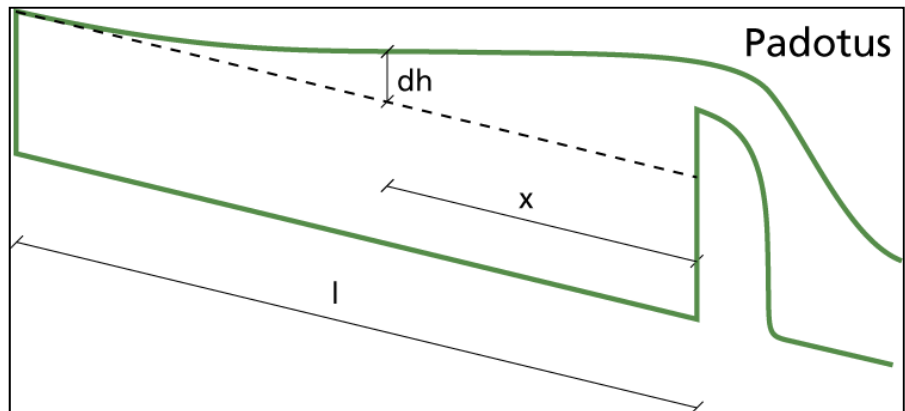
Epätasainen virtaus

Vapaa vedenpinta

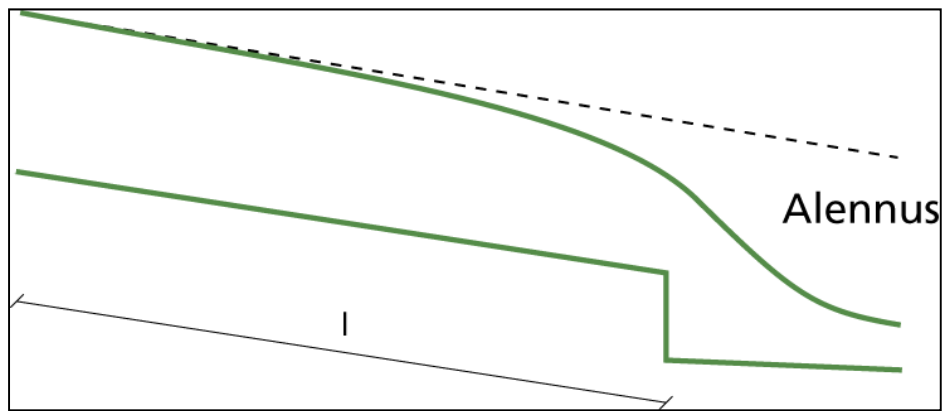
- > avouomassa syvyys yleensä vaihtelee
- > epätasainen virtaus, jossa hidastumiset ja kiihtymiset seuraavat toisiaan.

Jos rakennetaan pato

- > vedenpinta kohoaa, vesisyvyys kasvaa ja jos virtaama Q pysyy vakiona, liike muuttuu epätasaiseksi - syntyy padotus (kuva a). Mikäli uoman pohjaan tehdään kynns, vedenpinta laskee ja syntyy alennus (kuva b).



Kuva a Padotus



Kuva b Alennus

Epätasainen virtaus, laskenta (1/2)

Epätasaisen liikkeen laskennan päätehtävänä on padotus- ja alennuskäyrien muodon ja pituuden määrittäminen. Eli kuinka dh muuttuu $x:n$ muuttuessa (ks. kuva a Padotus).

Vesistöön rakentaminen ja uoman perkaaminen saattavat aiheuttaa varsin tuntuvia muutoksia vedenkorkeuksiin, joten näiden vaikutusten suuruus on pystyttävä ennakoitua määrittämään.

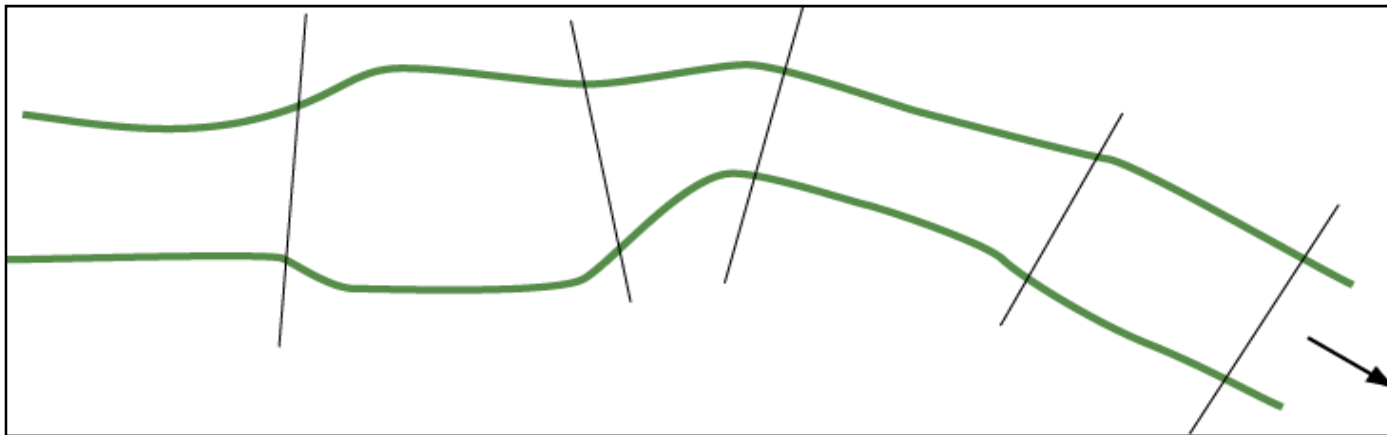
Laskelmia tarvitaan mahdollisimman hyvät tiedot uomasta

- pituusleikkaus
- poikkileikkaus
- vedenkorkeuksien ja virtaamien vuorosuhdetiedot

Epätasainen virtaus, laskenta (2/2)

Luonnonuoma jaetaan osiin pituussuunnassa siten, että kullakin uoman osalla hydrauliset tekijät pysyvät samoina tai niiden muutos on jollakin tavoin säännönmukainen.

- veden syvyys
- vedenpinnan leveys
- vedenpinnan kaltevuus
- karkeus
- vesimäärä



Uomajakson jakaminen osiin laskentaa varten

Epätasainen virtaus, kitkahäviö (1/3)

Kitkan aiheuttama energiahäviö lasketaan kullekin jaksolle samoin kuin tasaisessa liikkeessä.

Manningin yhtälöä käytettäessä kitkahäviö on

$$h_f = \frac{LQ^2}{M \cdot A_m^2 \cdot R_m^{4/3}}$$

jossa A_m ja R_m ovat jakson keskimääräiset arvot.

Vedenkorkeus uoman toisessa päässä ratkaistaan iteroiden Bernoullin energiayhtälön avulla.

Epätasainen virtaus, kitkahäviö (2/3)

Bernoulli

$$y_2 + z_2 + \alpha_2 \cdot \frac{u_2^2}{2g} = y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{u_1^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

$$z_2 = I_p L \quad (2)$$

joten

$$y_2 = y_1 - I_p \cdot L + \alpha \left(\frac{u_1^2}{2g} - \frac{u_2^2}{2g} \right) + h_f \quad (3)$$

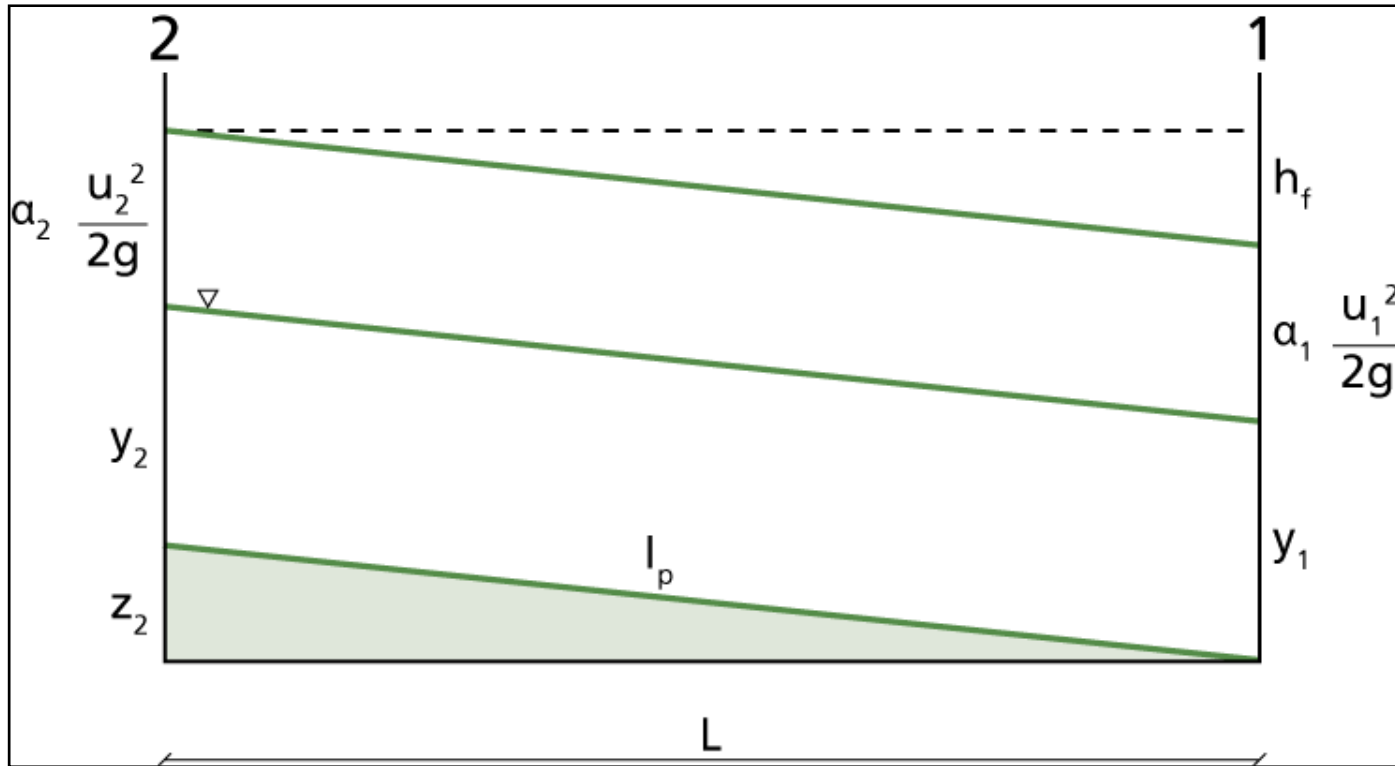
α on nopeuden epätasaisesta jakautumisesta johtuva kerroin (1,1 – 1,2)

Mikäli virtaus hidastuu, käy yhtälö (3) epätarkaksi.

Parempaan tulokseen päästään yleensä yhtälöllä

$$y_2 = y_1 - I_p \cdot L + h_f$$

Epätasainen virtaus, kitkahäviö (3/3)



Uoman osalla oletetaan olevan tasainen virtaus