

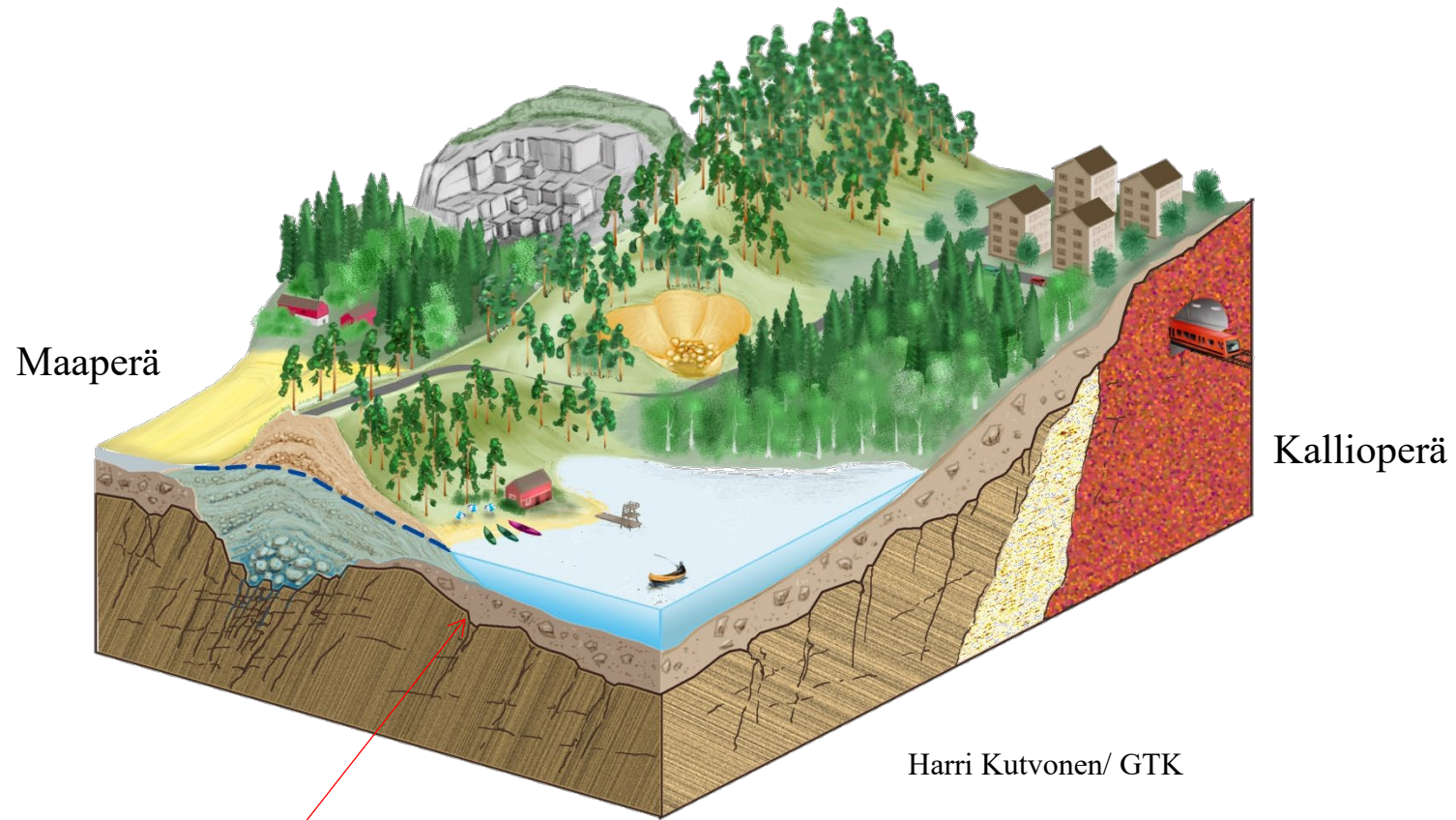
# Pohjavesi ja sen mallintaminen kaivosympäristöissä

Antti Pasanen 4.2.2025

# Pohjavesi

- **Pohjavesi** = maankamaran vapaa vesi vedellä kyllästyneessä vyöhykkeessä. Pohjaveteen luetaan usein myös vesi, joka virtaa maaperän kyllästymättömän vyöhykkeen läpi vedellä kyllästettyyn vyöhykkeeseen.
- Pohjavettä on kaikkialla!
  - *Pohjaveden liikkumiseen ja antoisuuteen vaikuttaa väliaineen, eli maaperän ja kallioperän ominaisuudet*

# Pohjaveden esiintyminen



Harri Kutvonen/ GTK

Ikäero 1.5- 3.5 Ga

# Pohjaveden pinta

- Pohjaveden pinta noudattaa pääosin maaperän korkokuvaa
- Pohjaveden muodostumisen määrä ja maa- ja kallioperän vedenjohtavuus määräävät pohjavedenpinnan kaltevuuden
- Pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee sadannan (lumen sulamisen) ja haihdunnan mukaan
  - *Korkeimmillaan pinnan taso on lumien sulamisen ja syysateiden aikaan, alhaisimmillaan talvella ja kesällä*

# Pohjaveden liike

- Pohjavesi virtaa suuremmasta painekorkeudesta pienempään.
- Tärkein yksittäinen muuttuja on välinäineen vedenjohtavuuskerroin  $K$ 
  - *Kuvaa nesteen virtausvastusta huokoisessa väliaineessa*
  - *K-arvon vaihtelu voi olla suurta eri geologisten yksiköiden välillä*
- Maaperän ja kallioperän rajapinnalla on yleensä suuri muutos vedenjohtavuudessa ja samalla pohjaveden virtaamissa ja virtausnopeuksissa
  - *Huom! Keski-Lapin paksu rapaumakerros voi toimia hyvänä tai huonona johteena pohjavedelle*

# Pohjaveden liike

- Maaperä ja kallioperä eroavat toisistaan huomattavasti pohjaveden liikkumisen suhteen
  - *Maaperässä pohjavesi leviää kaikkialle ja virtaa pienemmän painekorkeuden suuntaan*
    - *Virtaamaan vaikuttaa maalajit ja niiden ominaisuudet*
  - *Kallioperässä pohjaveden virtaus kanavoituu rakoihin, ruhjeisiin ja ruhjevyöhykkeisiin*
    - *Suomalainen ehyt kallioperä pääsääntöisesti erittäin huonosti vettä johtavaa*

# Pohjavesi ja kaivokset

- Alenemakartio syntyy, kun avolouhosta tai maanalaista louhosta kuivatetaan
  - *Suomen oloissa kallioperän rakoilu ja ruhjeisuus vaikuttavat alenemakartion muotoon ja laajuuteen*

# Pohjaveden mallintaminen

- Numeerinen mallintaminen on tosimaailman ongelmien esittämistä matemaattisessa muodossa
- Mallintaminen on käytännöllinen **työkalu** hydrogeologisten ja geokemiallisten prosessien ymmärtämiseen
- Mallinnus on iteratiivinen prosessi, jossa mallinnuksen tulokset ohjaavat tutkimuksia ja tutkimuksilla parannetaan mallia



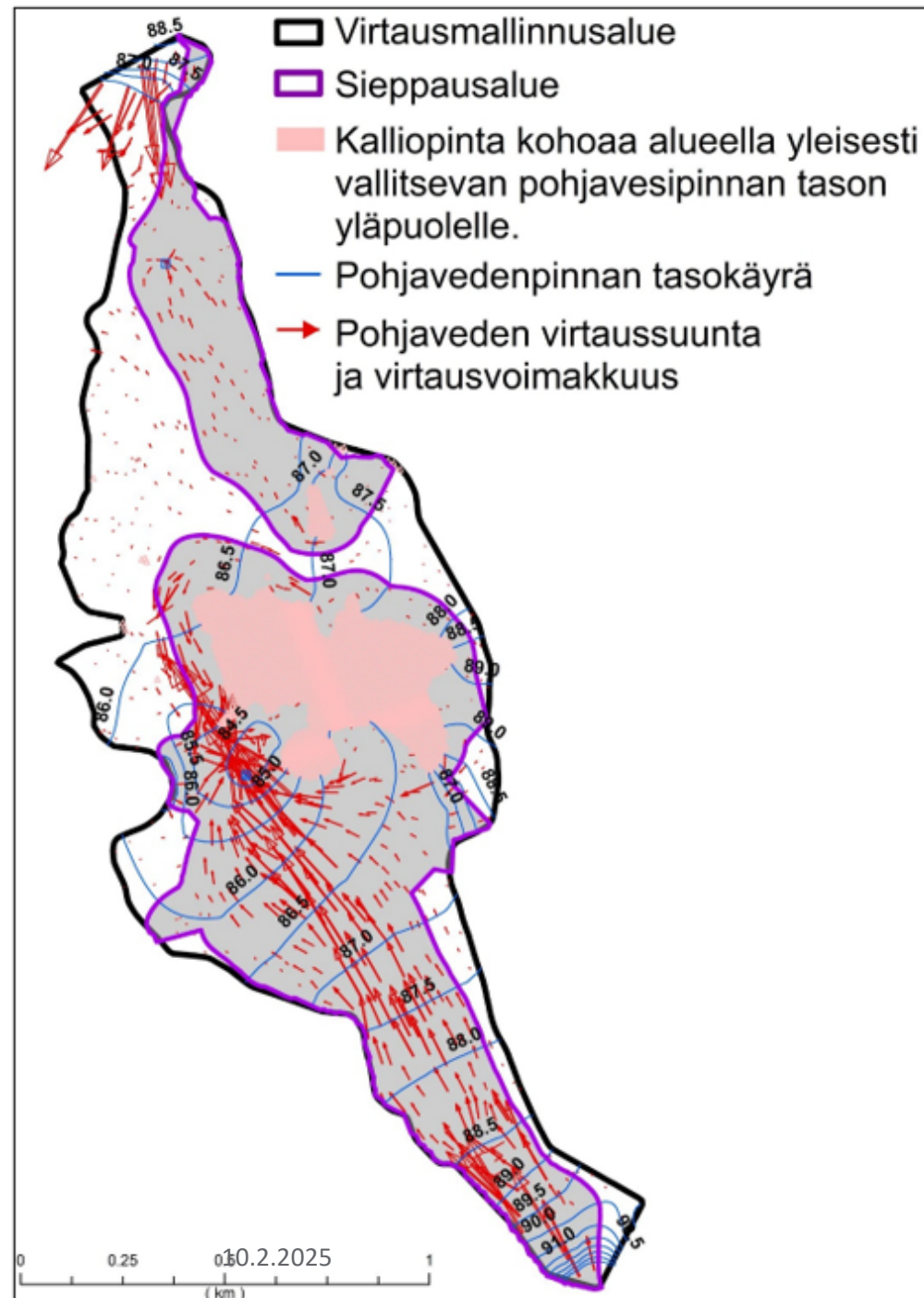
# Pohjaveden mallintaminen

- Malli perustuu aineistoon ja on yksinkertaistus todellisesta maailmasta
- Malli pohjautuu käsitteelliseen malliin, eli ymmärrykseen mallinnettavan alueen geologiasta, hydrogeologiasta ym. sekä alueella vaikuttavista fysikaalisista ja kemiallisista prosesseista mm. pohjaveden virtauksesta.
- Mallinnetaan mm. pohjaveden pinnankorkeutta tai sen muutosta, aineiden kulkeutumista pohjaveden mukana ja pohjaveden laatua tai sen muuttumista

# Pohjaveden mallintaminen

- ”Musta laatikko” –mallintamista tulisi välttää
  - *Vaikka onkin houkuttelevaa uskoa, että mallista saadaan tuloksia erilaisten hienojen esi- ja jälkikäsitteilyjen avulla, vain syöttämällä siihen numeroita, todellisuudessa mallinnuksessa on kyse ainoastaan osittaisdiffereentiaaliyhtälöryhmän ratkaisemista käyttäen ”valtavaa” koodia*
- Mallin tulee olla mahdollisimman yksinkertainen mutta silti kykenevä ratkaisemaan kaikki päämekanismit
- Epävarmuudet ja oletukset tulee ottaa huomioon tulosten tulkinnessa
- Mallin monimutkaisuus riippuu mallinnustehtävän tavoitteista

# Pohjaveden mallintaminen



# Pohjaveden mallintaminen

- Pohjavesimallinnuksen aineistovaatimukset
  - *Mallin tulokset voivat olla enintään yhtä hyviä, kuin kerätty aineisto*
  - *HUOM! Mallin tarkkuus voi olla parempi, kuin kerätyn aineiston tarkkuus*
  - *Kohde tulee karakterisoida niin yksityiskohtaisesti, kuin mahdollista*
  - *Mm. Pohjaveden pinnan korkeus, maalajit ja niiden vaihtelu, hydraulinen johtavuus, kallioperän rikkonaisuus ja sen vaihtelu*
  - *Kerätyn aineiston tulee olla edustavaa*

# Numeerisen mallintamisen epävarmuuksien lähteitä

- Riittämätön aineisto yksityiskohtaisen ja edustavan käsitteellisen mallin kehittämiseen
- Epätäydellinen tai osittainen ymmärrys tärkeimmistä prosesseista
- Riittämätön data fysikaalisten (esim. hydraulinen johtavuus) ja kemiallisten (esim. mineraloginen koostumus) ominaisuuksien heterogeenisyydestä
- Ei tietoa ympäristöolosuhteista, joita tarvitaan reunaehtojen ja lähtöolosuhteiden määrittämiseen

# Numeerisen mallintamisen epävarmuuksia

- Suuri epävarmuus mallissa ei tarkoita mallin olevan välttämättä epäluotettava
  - *Jos epävarmuudet ymmärretään kunnolla, sitä voidaan sietää mallin tuloksissa tai voidaan vaatia epävarmuuden vähentämistä seuraavissa mallinnusvaiheissa*
  - *Projekteissa, joissa ympäristövaikutukset ovat pieniä, epävarmuudet voivat olla suurempia, kuin projekteissa, joissa ympäristövaikutukset ovat suurempia.*
- Epävarmuutta on kahta tyyppiä
  - *Epävarmuus, jota voidaan vähentää, esim. aineiston puute tai heikko tarkkuus*
  - *Epävarmuus, johon ei voida vaikuttaa, esim. luonnollinen vaihtelu*

# Numeerisen mallintamisen epävarmuuksia

- Mallinnuksen tavoitteen valinta
- Alueellinen kattavuus
- Aineiston riittävyys ja tarkkuus, esim. mittausvirheet
- Mallin rakenteen valinta, esim. prosessien yliyksinkertaistaminen
- Reunaehdot, esim. ajallinen tarkkuus
- Stokastinen epävarmuus, esim. luonnollinen vaihtelu ja prosessien satunnaisuus
- Parametrinen epävarmuus, esim. mallin parametrejä ei tunneta hyvin ja niiden arvot voivat vaihdella
- Skenaariot, Esim. väärin valitut skenaariot
- Subjekttiivinen epävarmuus, esim. mallin tulkinta

**Antti Pasanen**

Erikoisasiantuntija

[antti.pasanen@gtk.fi](mailto:antti.pasanen@gtk.fi)

[gtk.fi](http://gtk.fi)



**GTK**

