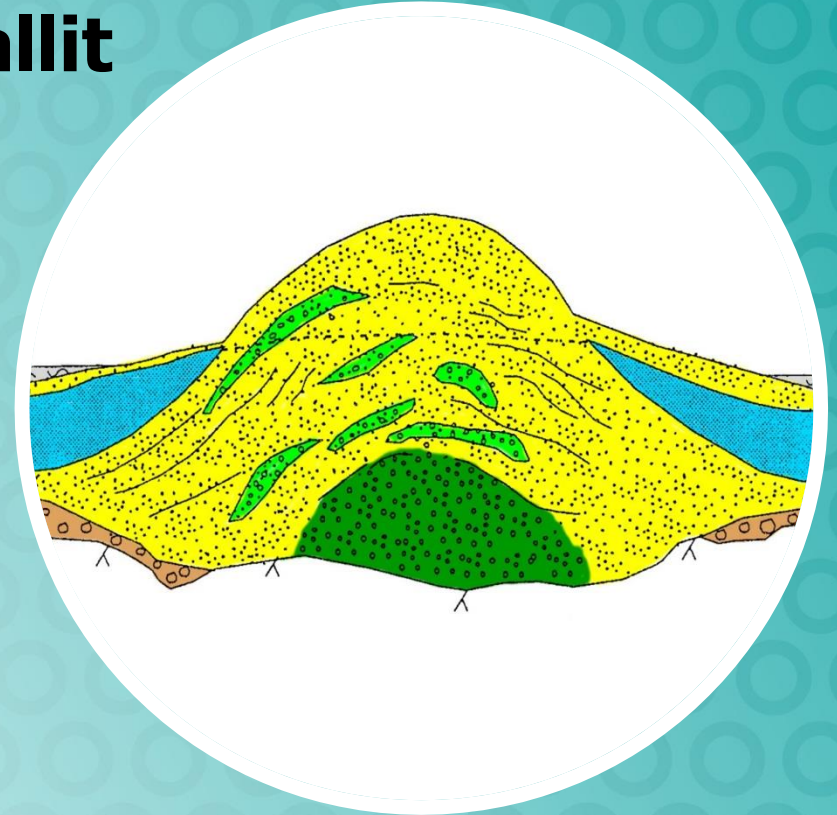


# Pohjaveden tyyppimallit vesienhoidon ja vedenhankinnan riskinarvioinnissa ja hallinnassa (TYYLI)

Sirkku Tuominen

Suomen ympäristökeskus SYKE

Mutku 15.3.2018



# Pohjaveden tyyppimallit vesienhoidon ja vedenhankinnan riskinarvioinnissa ja hallinnassa (TYYLI)

[http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Tutkimus\\_ja\\_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pohjaveden\\_tyyppimallit\\_vesienhoidon\\_ja\\_vedenhankinnan\\_riskinarvioinnissa\\_ja\\_hallinnassa\\_TYYLI](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pohjaveden_tyyppimallit_vesienhoidon_ja_vedenhankinnan_riskinarvioinnissa_ja_hallinnassa_TYYLI)

- Mallinnus hyvä työkalu, mutta aina ei ole käytettävissä tarpeeksi dataa kohdekohtaisen mallin tekemiseen
- Tyyppimalleille käyttöä
- Tyyppimuodostumien mallinnusta tehty Suomessa jo 90-luvulla Tielaitoksen Talvi ja tieliikenne -projektissa, mutta
  - ko. malleja ei ole missään valmiina otettavaksi käyttöön
  - ko. mallit on luotu ei niin yleisesti käytössä olevalla ohjelmalla
- TYYLI-hanke
  - Luodaan mallit uudelleen yleisesti käytössä olevalla ohjelmalla
  - Laaditaan ohjemateriaali ja perehdytetään halukkaita
  - Mallitiedostot ja ohjeistus laitetaan tarjolle nettiin ([syke.fi](http://www.syke.fi))

# Pohjaveden tyyppimallit vesienhoidon ja vedenhankinnan riskinarvioinnissa ja hallinnassa (TYYLI)

[http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Tutkimus\\_ja\\_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pohjaveden\\_tyyppimallit\\_vesienhoidon\\_ja\\_vedenhankinnan\\_riskinarvioinnissa\\_ja\\_hallinnassa\\_TYYLI](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pohjaveden_tyyppimallit_vesienhoidon_ja_vedenhankinnan_riskinarvioinnissa_ja_hallinnassa_TYYLI)

## Tyyppimuodostumat

- Pohjavesimuodostumien tilastollinen tarkastelu  
Hänninen, T., Kivimäki, A.-L., Liponkoski, M. & Niemi, A. 1994. Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu. [Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 70/1994](#). 38 s. + liitteet.

## Tyyppimallit

- VTT:n tekemä mallinnus **HST3D-ohjelmalla**  
Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. [Tielaitoksen selvityksiä 66/1994](#). 60 s.

## ➤ Mallien kääntäminen MODFLOW:lle

- Muutkin voivat käyttää tyyppimalleja

# Mallinnusohjelmien väliset erot

## **HST3D:** Computer Code for Simulation of Heat and Solute Transport in Three-Dimensional Ground-Water Flow Systems

- Pohjaveden virtauskuva ja aineen kulkeutuminen lasketaan yhtä aikaa
  - Veden tiheysvaihtelun vaikutus virtauskuvaan esille
- Pysyvän pohjavedenpinnan korkeuden reunaehto kuvataan vedenpaineen muodossa
- Keskeisin virtauskuvaan vaikuttava parametri on ominaisvedenjohtavuus ( $k$  [ $\text{m}^2$ ])

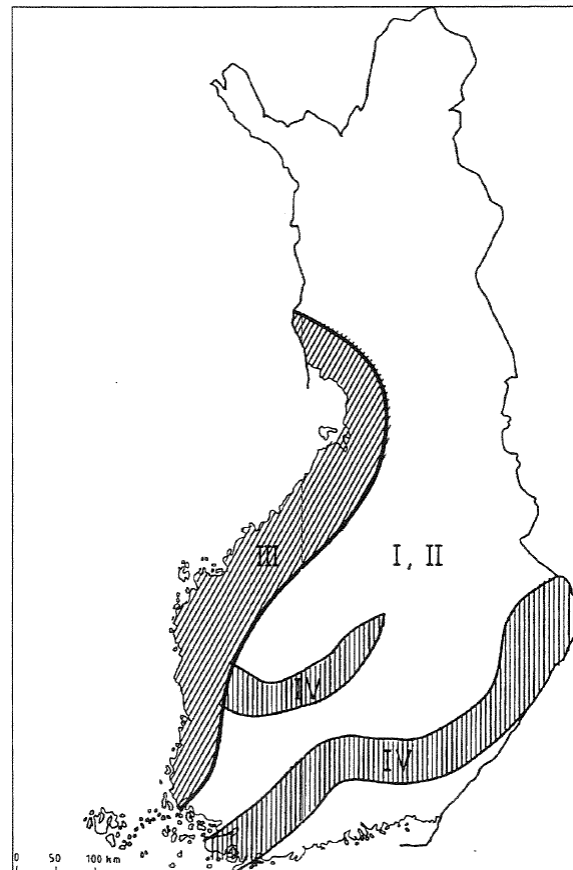
## **MODFLOW:** Modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model

- Pohjaveden virtauskuva lasketaan ensin ja aineen kulkeutuminen sen päälle
- Pysyvän pohjavedenpinnan korkeuden reunaehto kuvataan vedenpinnan korkeusaseman muodossa
- Keskeisin virtauskuvaan vaikuttava parametri on hydraulinen vedenjohtavuus ( $K$  [ $\text{m/s}$ ])



# Tyyppimuodostumat

- **1 Pitkittäisharju**
  - matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava
- **2A Pitkittäisharju**
  - syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava
- **2B Pitkittäisharju**
  - syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä
- **3 Pitkittäisharju**
  - Pohjanmaan tyyppi
- **4 Reunamuodostuma**
  - Salpausselkätyyppinen

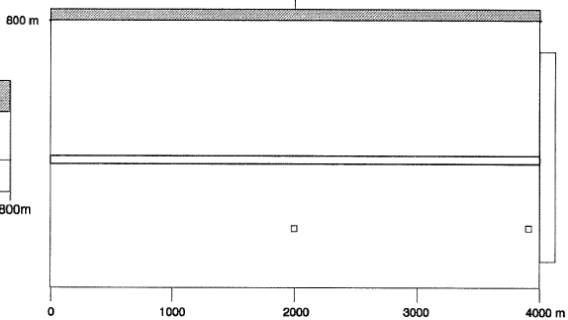
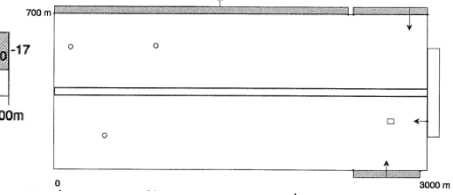
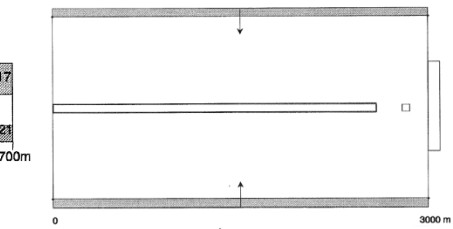
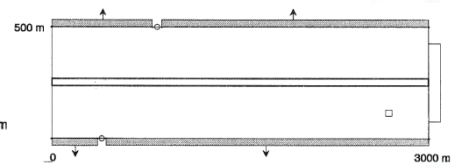
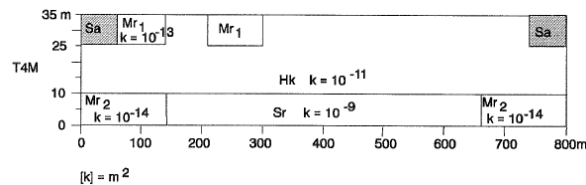
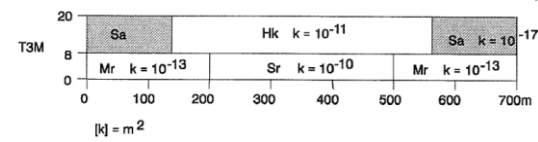
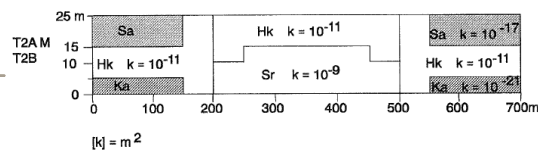
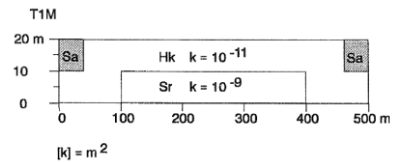
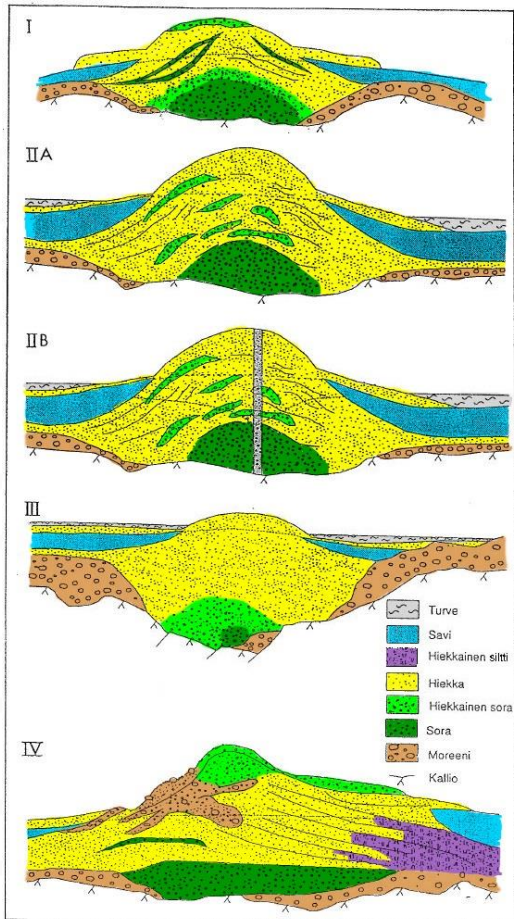


Kuva 2. Tyyppimuodostuminen suuntaa-antavat esiintymisaluet. I ja II=matalan ja syvän veden tyyppin pitkittäisharjut, III=Pohjanmaan tyyppin pitkittäisharjut, IV=Salpausselkätyyppiset reunamuodostumat.

# Tyyppimuodostumat

# Tyyppimallit

HÄNNINEN YM. 1994 TIESUOLAUKSEN VAIKUTUS TÄRKEILLÄ POHJAVESIALUEILLA –  
TILASTOLLINEN TARKASTELU



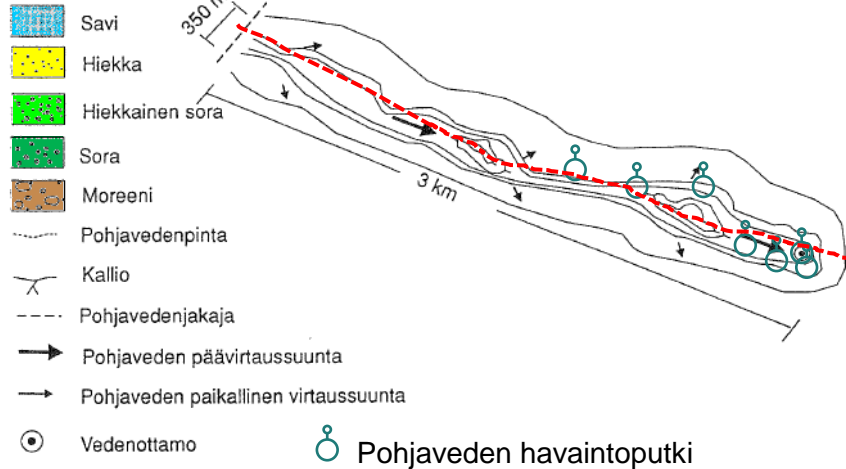
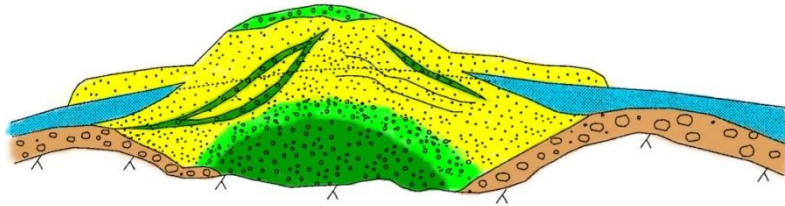
NIEMI YM. 1994 TIESUOLAUKSEN POHJAVESIVAIKUTUSTEN  
SIMULOINTI TYYPIMUODOSTUMISSA

# Tyyppimallien tiedot raportista [Niemi ym. 1994](#)

- Muodostuman ja maakerrosten dimensiot, laskentapisteiden lkm
- Vedenjohtavuudet
  - HST3D:ssä käytetyt ominaisvedenjohtavuudet ( $k$  [ $m^2$ ])  
muunnettiin hydrauliseksi vedenjohtavuudeksi ( $K$  [ $m/s$ ])
- Huokoisuudet
- Reunaehdot
  - Muodostuvan pohjaveden määrä (imeyntä)
  - Vedenotto (kaivot)
  - Lähteet (pysyvä pohjavedenpinta)
  - Tihkuminen reunojen läpi (kuvattu kaivoina)
- Tiesuolan käyttöhistoria & kloridin taustapitoisuus
- Dispersio
- Havaintoputkien paikat
  - julkaisusta Nystén, T., Hänninen, T. 1997. Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista. [Suomen ympäristö 57](#)

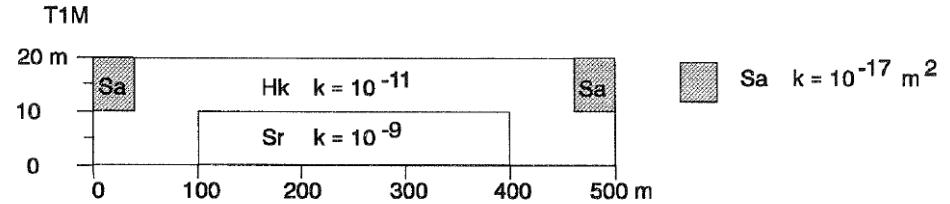
## i PITKITTÄISHARJU, matalan veden tyyppi ympäristöön purkava

- suhteellisen kapea ydinselänne, jopa kymmeniä km pitkä
- laakea deltamainen lieveosa
- jyrkät jäätikön kontaktirinteet
- peräkkäiset harjukuopat ja -lammet
- harjukuopat erottavat selänteet ja lieveosat toisistaan
- sora ja kivet lähes aina selänteessä
- liepeet hiekkää
- kerroksille ominaista jatkuvuus selänteiden pituussuunnassa
- tyyppillinen Sisä-Suomessa



# 1 Pitkittäisharju

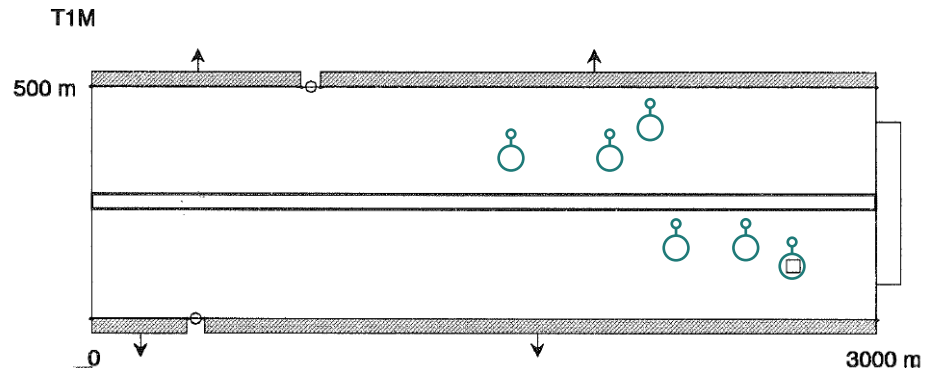
## matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava



[k] = m<sup>2</sup>

maalaji	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]
Sa	1.00E-17	1.10E-10
Hk	1.00E-11	1.10E-04
Sr	1.0E-09	1.10E-02

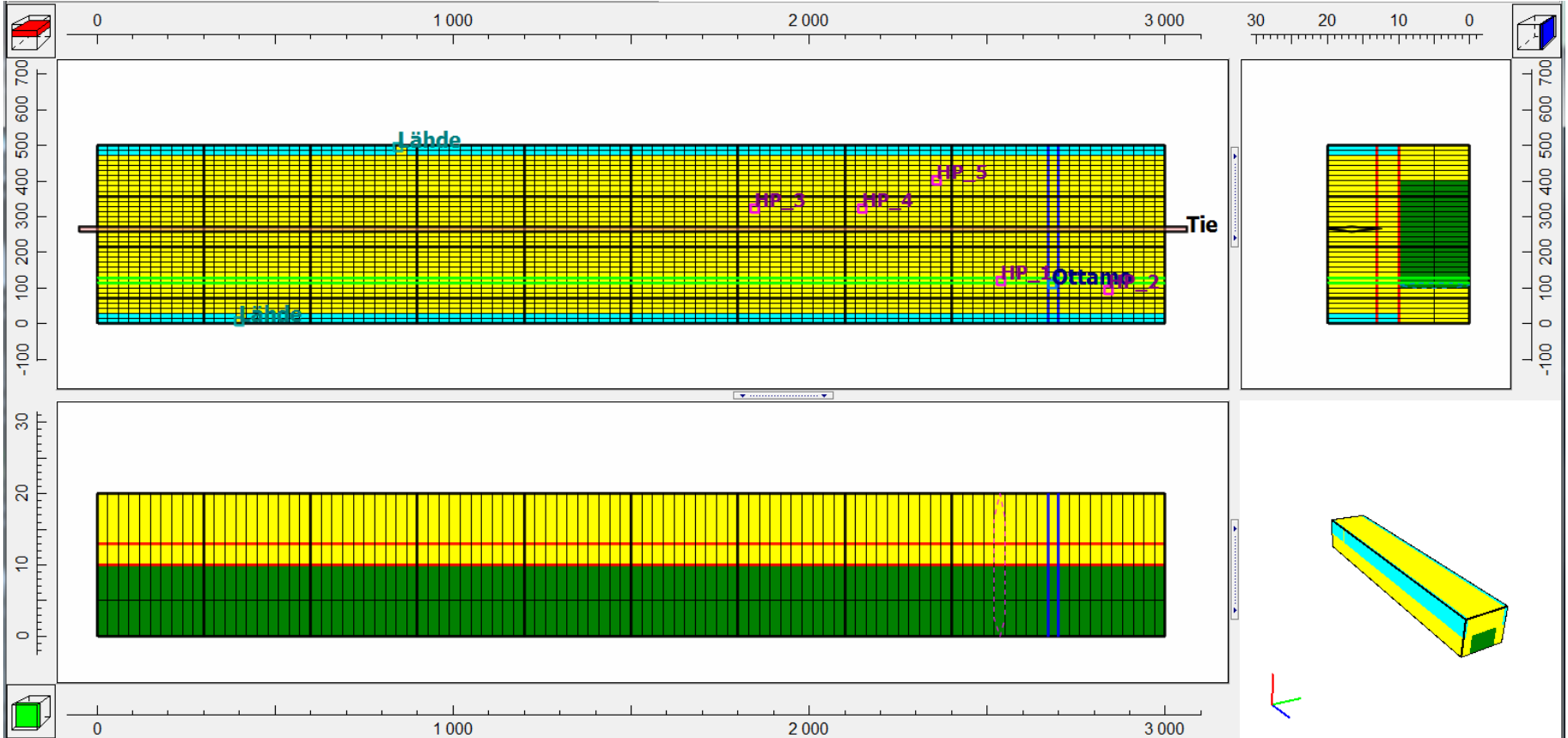
- ↑ Vuoto
- Lähde
- Vedenottamo
- = Tie
- Imeytymisalueen leveys





# 1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava

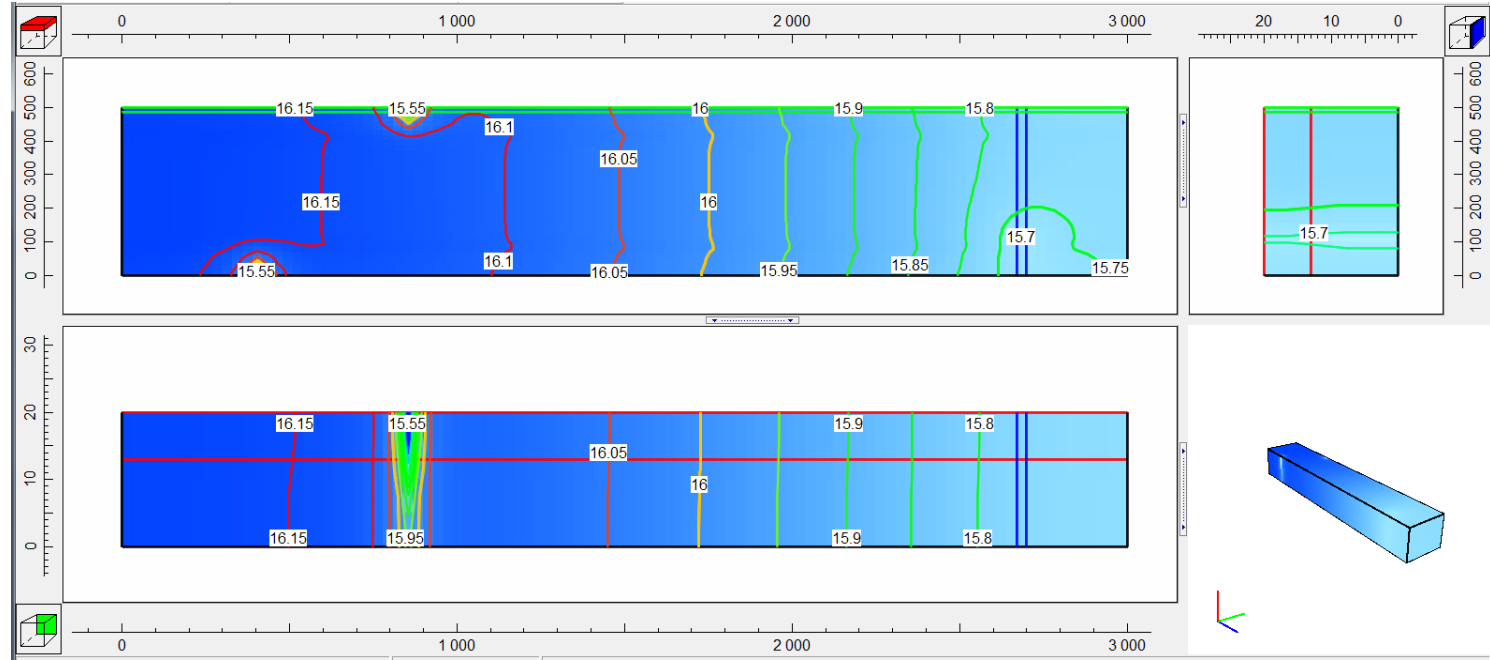
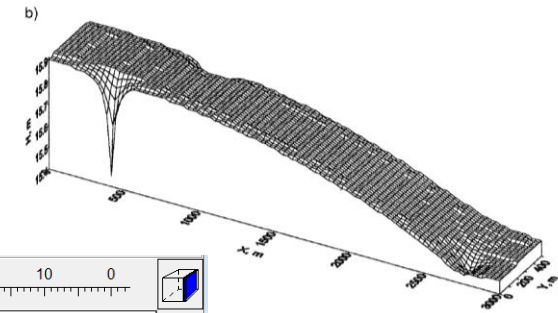
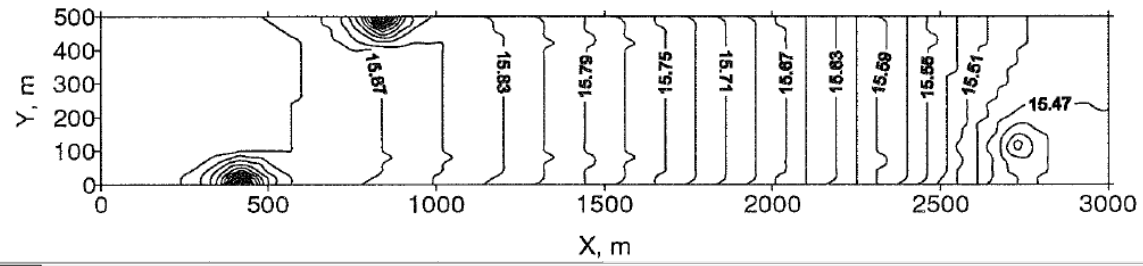


Z-suunta esitetty 20-kertaisena verrattuna x- ja y-suuntaan

# 1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava

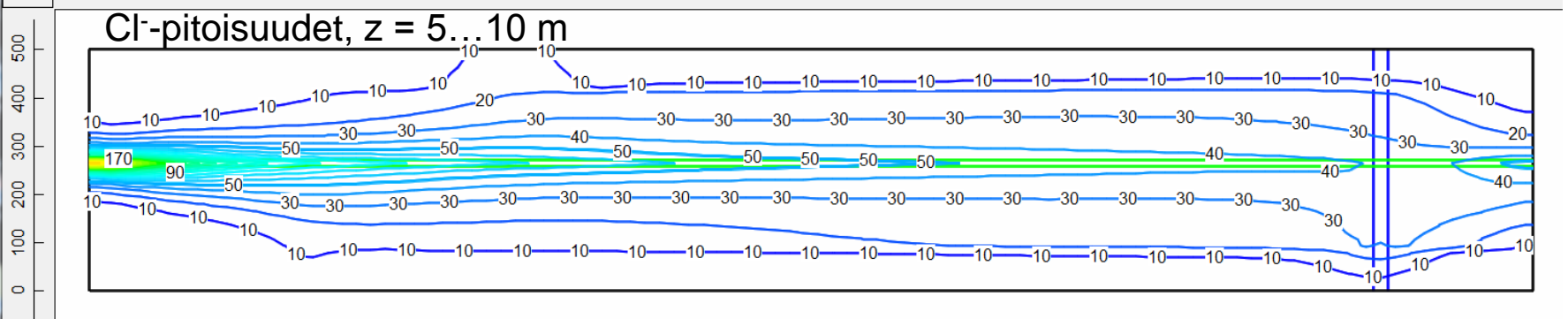
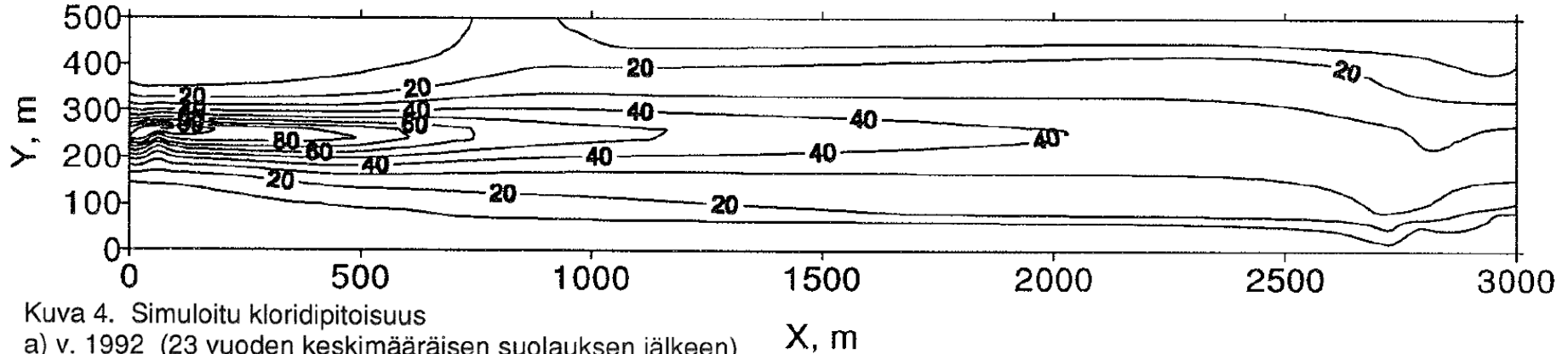
T1M, vedenotto 90% antoisuudesta  
H, m (z=10 m)



# 1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava  
Cl-pitoisuus vedenottamolla 32 mg/l

a)  
1992 : SI/ESI 1970-1992  
Cl-pitoisuudet, z = 10 m



# 1 Pitkittäisharju

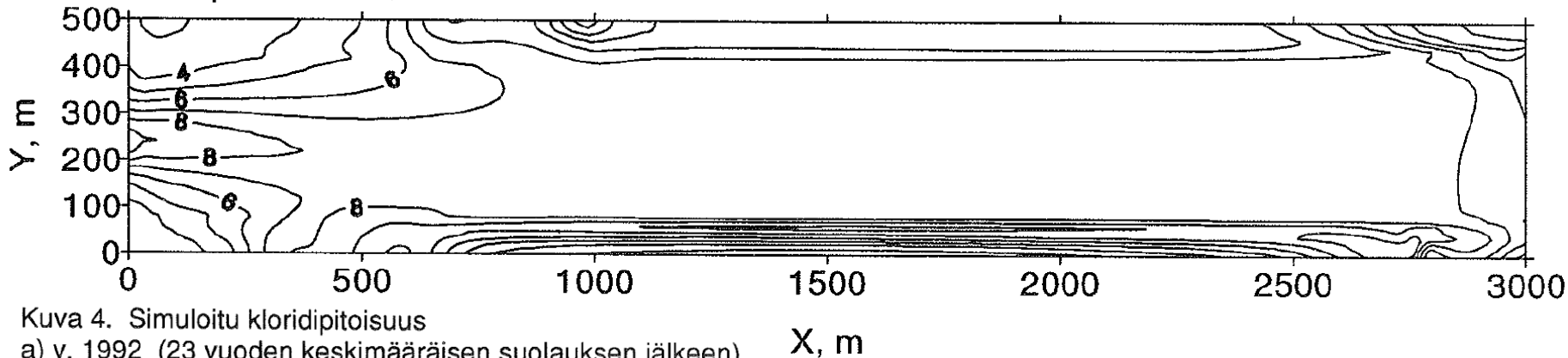
matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava

Cl<sup>-</sup>-pitoisuus vedenottamalla 7 mg/l

c)

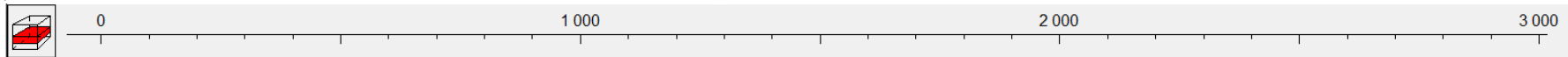
2022 : SI/ESI 1970-1992 ESI 1993-2022

Cl<sup>-</sup>-pitoisuudet, z = 10 m

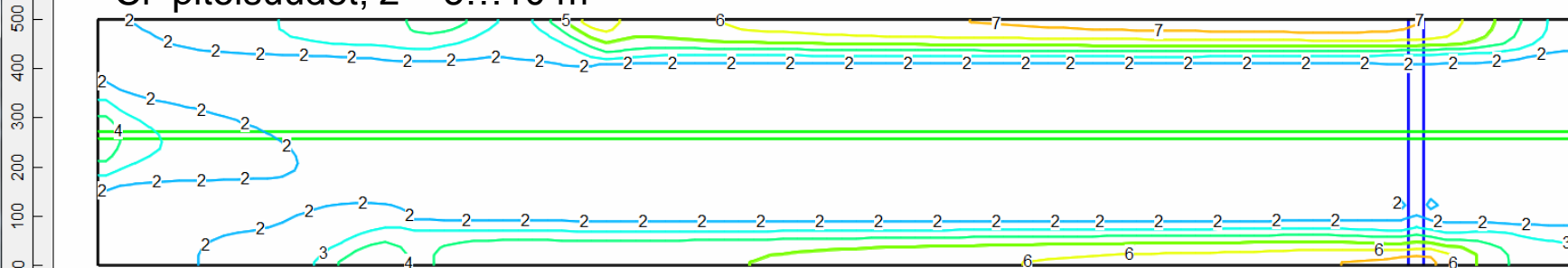


Kuva 4. Simuloitu kloridipitoisuus

a) v. 1992 (23 vuoden keskimääräisen suolauksen jälkeen)

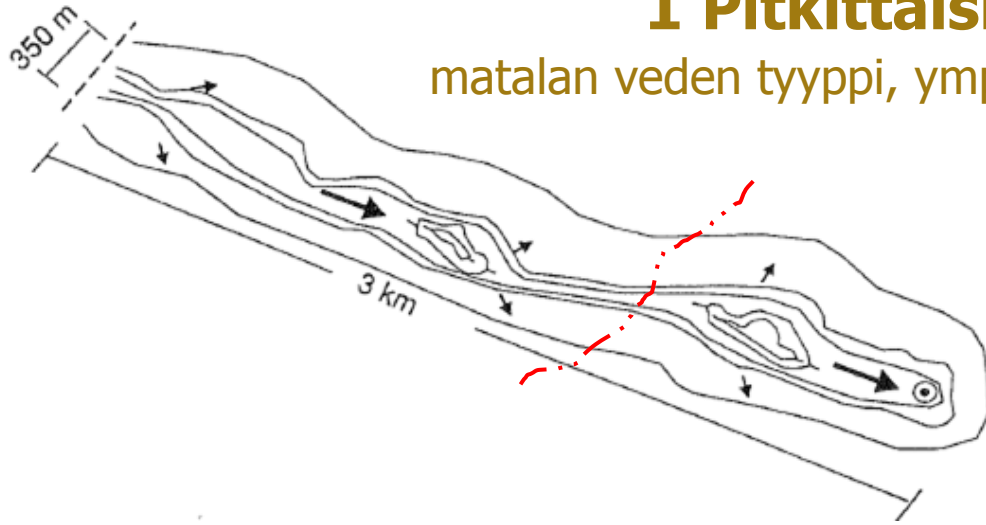


Cl<sup>-</sup>-pitoisuudet, z = 5...10 m

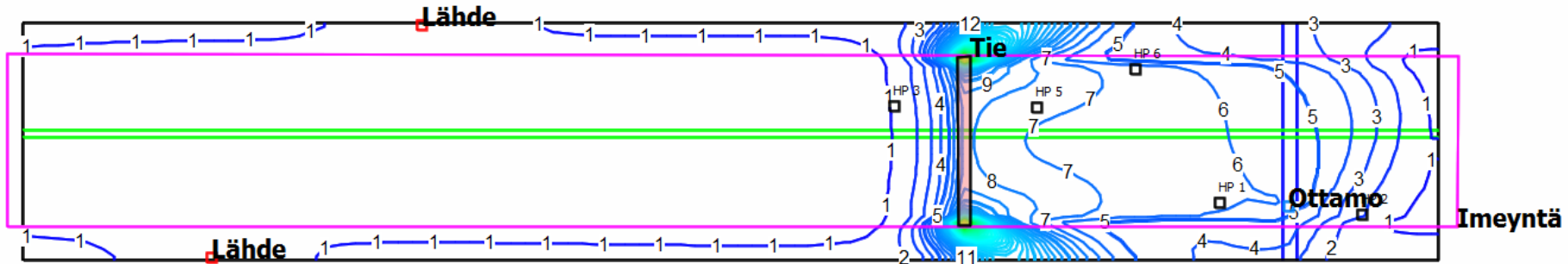
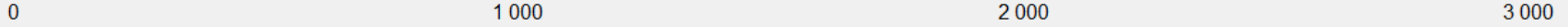


# 1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava

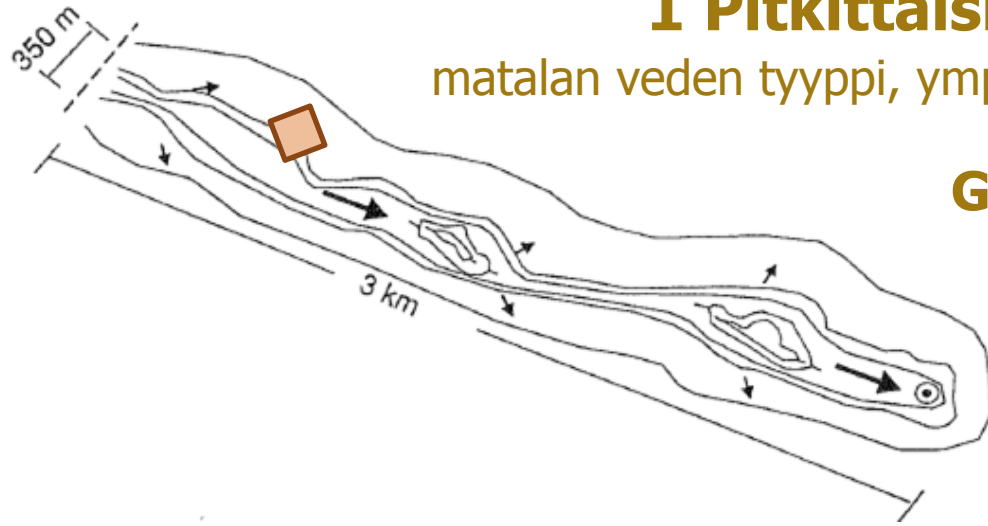


Tie muodostuman poikki

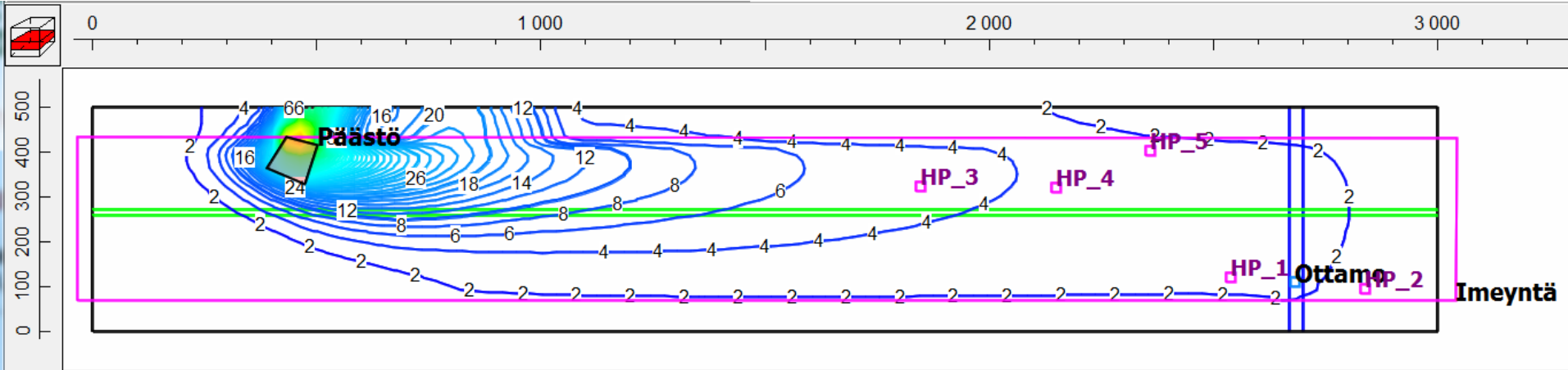


# 1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava



**Geneerinen päästölähde  
Aine X**



# Ilmaiset ohjelmat

- **ModelMuse**-käyttöliittymä (**3.9.0.0**)
  - <https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/ModelMuse/ModelMuse.html>
- **MODFLOW**, pohjaveden virtauskuvan laskenta
  - TYYLI-mallit on tehty käyttäen versiota **MODFLOW-2005**
  - <https://water.usgs.gov/ogw/modflow/mf2005.html>
- **MODPATH**, pohjaveden virtausreittien laskenta
  - ModelMuse:n kanssa yhteensopiva on **versio 6**
  - <https://water.usgs.gov/ogw/modpath/>
- **MT3DMS**, aineiden pitoisuuslaskenta pohjavedessä
  - ModelMusen kanssa käytetään **versiota 5.3**
  - <https://hydro.geo.ua.edu/mt3d/index.htm>
- **GW Chart**, kuvaajia tuloksista
  - [https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GW\\_Chart/GW\\_Chart.html](https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GW_Chart/GW_Chart.html)



# Tiedostot ja ohjeet nettiin

[http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Vesi/Mallit\\_ja\\_tyokalut](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut)

[Ilmastonmuutos](#)[Kulutus ja tuotanto](#)[Kiertotalous](#)[Rakennettu ympäristö](#)[Kaupungistuminen](#)[Meri](#)

## Vesi

[➤ Hankkeet](#)[➤ Julkaisut](#)[➤ Asiantuntijatyö](#)[➤ Seurannat](#)[➤ Tietoaineistot ja -järjestelmät](#)[➤ Mallit ja työkalut](#)[➤ Vesistömallijärjestelmä](#)[➤ Tulvamallinnus](#)[➤ Vesienhoidon mallit](#)[➤ Pohjavesiselvitysten tarkistuslista](#)[➤ Pohjaveden näytteenotto](#)[Etusivu](#) > [Tutkimus & kehittäminen](#) > [Vesi](#) > [Mallit ja työkalut](#)

## Vesi-teemaan liittyvät mallit ja työkalut

SYKEssä on käytössä useita erilaisia ympäristön tilan matemaattisia arviointi- ja ennustamisvälineitä, joita voidaan laajasti ottaen kutsua matemaattisiksi malleiksi. Malleja on kehitetty erityisesti vesivarojen ja ravinteiden kierron laskentaa varten. Sovelluskohteina ovat valuma-alueet, vesistöt ja merialueet.

Malleja on alettu hyödyntää yhä enemmän myös uusissa teemoissa kuten haitallisten aineiden kierto sekä meren tilan ennustamiseen kytketyt sosio-ekonomiset tarkastelut.]

Useimmat käytössä olevat mallit on kehitetty SYKE:n vesi- ja merikeskuksissa, mutta myös yhteistyökumppaneiden malleja hyödynnetään jatkuvasti. Osa malleista soveltuu vain tutkimus- tai asiantuntijakäyttöön, mutta jatkossa SYKE kehittää malleja enenevästi kaikkien kiinnostuneiden käyttöön.

SYKEssä on laadittu vesien- ja merenhoidon mallityön tiekartta, jossa on kuvattu mallien kehittämisen tavoitteita keskipitkällä aikavälillä, vuoteen 2030 saakka sekä lyhyellä aikavälillä, vuosina 2015-2017. Lisäksi tiekartassa on kuvattu mallien soveltamisen toimintasuunnitelma vesien- ja merenhoidossa. Mallitiekarttaa tullaan päivittämään vuosittain.

- [Vesien- ja merenhoidon mallityön tiekartta](#) (pdf-tiedosto, 1,5 Mt, päivitetty 24.10.2017)

Julkaistu 12.5.2017 klo 10.21, päivitetty 20.12.2017 klo 10.00

[Suomeksi](#)[In English](#)

### Aihealue:

vesi, ekologinen tila, kemiallinen tila, leväkukinta, pintavesi, ravinteet, rehevöityminen, vedenlaatu, vesien tila, vesienhoito, vesiensuojelu, vesistökuormitus, vesistömallit

➤ **Pohjaveden tyypimallit**





# Nettiin laitettavat mallitiedostopakettit

Tyypimuodostuma	Simulaatio	1970–1992 suolaushistoria & ennuste: 30 vuotta suolausta 9.6 t/km/vuosi		Haitta-aine X: Advektio + Dispersio + Sorptio + Hajoaminen
		Tie pitkin muodostumaa	Tie muodostuman poikki	
<b>1 Pitkittäisharju</b> , matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava		T1_pitkin_96	T1_poikin_96	T1_adv_sor_haj
<b>2A Pitkittäisharju</b> , syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava		T2A_pitkin_96	T2A_poikin_96	T2A_adv_sor_haj
<b>2A-S Pitkittäisharju</b> , syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava, pieni koko		T2As_pitkin_96	T2As_poikin_96	T2As_adv_sor_haj
<b>2B Pitkittäisharju</b> , syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä		T2B_pitkin_96	T2B_poikin_96	T2B_adv_sor_haj
<b>3 Pitkittäisharju</b> , Pohjanmaan tyyppi		T3_pitkin_96	T3_poikin_96	T3_adv_sor_haj
<b>4 Reunamuodostuma</b> , Salpausselkätyyppinen, pumppaus 95 % antoisuudesta		T4_95_pitkin_96	T4_95_poikin_96	T4_95_adv_sor_haj
<b>4 Reunamuodostuma</b> , Salpausselkätyyppinen, pumppaus 70 % antoisuudesta		T4_70_pitkin_96	T4_70_poikin_96	T4_70_adv_sor_haj



# Kiitos mielenkiinnosta!

## Tyypimalleihin liittyvää kirjallisuutta

Gustafsson, J. 2000. Tiesuolauksen riskikartoitus pohjavesialueilla – valtakunnallinen yhteenveto, [Suomen ympäristö 361](#), ympäristönsuojelu. 101 s.

Hänninen, T., Kivimäki, A.-L., Liponkoski, M. & Niemi, A. 1994. Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu. [Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 70/1994](#). 38 s. + liitteet.

Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyypimuodostumissa. [Tielaitoksen selvityksiä 66/1994](#). 60 s.

Nystén, T., Hänninen, T. 1997. Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista. [Suomen ympäristö 57](#). 55 s.

