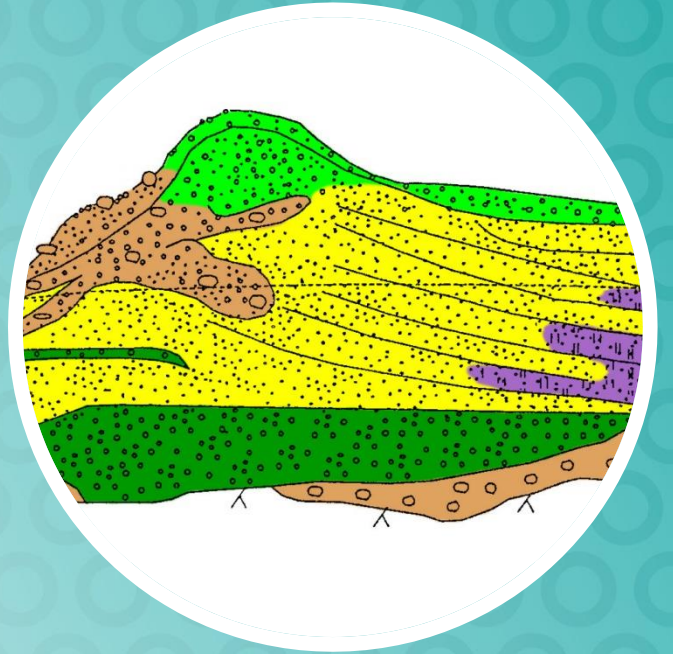


Pohjaveden tyyppimallit vesienhoidon ja vedenhankinnan riskinarvioinnissa ja hallinnassa (TYYLI)



Sirkku Tuominen

Suomen ympäristökeskus SYKE

Pohjavesipäivä 30.1.2020

Pohjaveden tyyppimallit vesienhoidon ja vedenhankinnan riskinarvioinnissa ja hallinnassa (TYYLI)

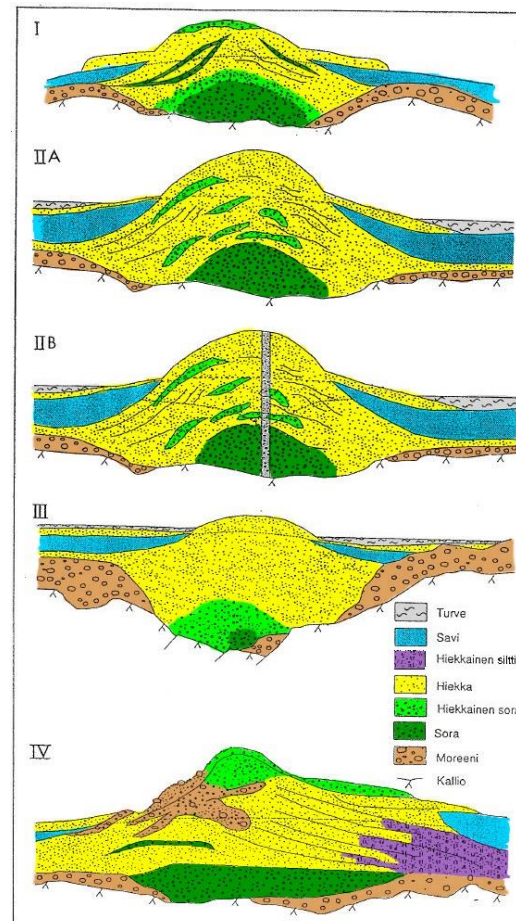
http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pohjaveden_tyyppimallit_vesienhoidon_ja_vedenhankinnan_riskinarvioinnissa_ja_hallinnassa_TYYLI

Tyyppimuodostumien mallit 90-luvulla tehty ei kovin yleisesti käytössä olevalla ohjelmalla eivätkä ole missään ladattavissa käyttöön

- TYYLI-hanke
 - Tyyppimallien kääntäminen MODFLOW-ohjelmaperheelle ja laittaminen tarjolle nettiin
 - Ohjeistus ja perehdytys

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



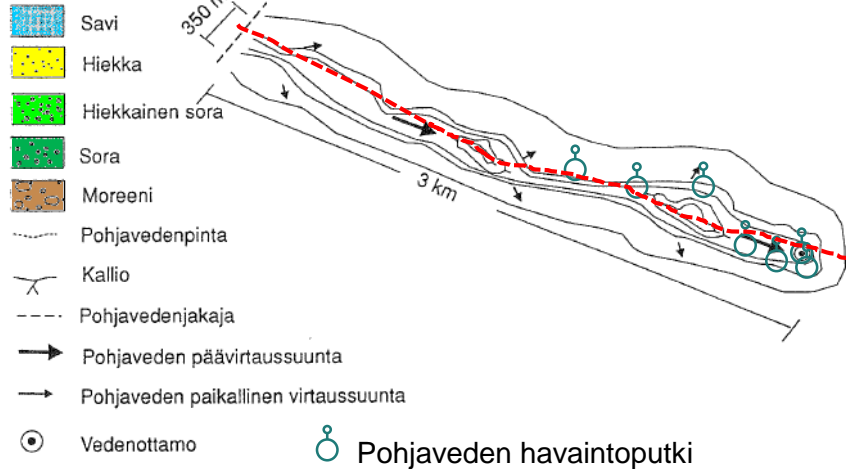
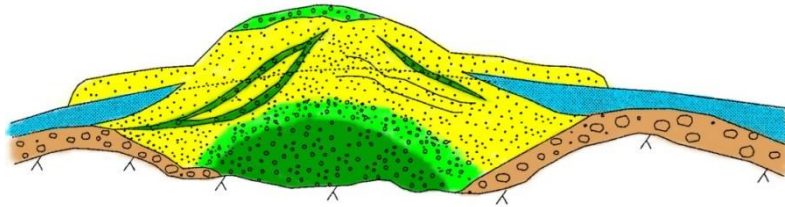
Ilmaiset ohjelmat

- **ModelMuse**-käyttöliittymä (4.1.0.0)
 - <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
 - TYYLI-mallit on tehty käyttäen versiota **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



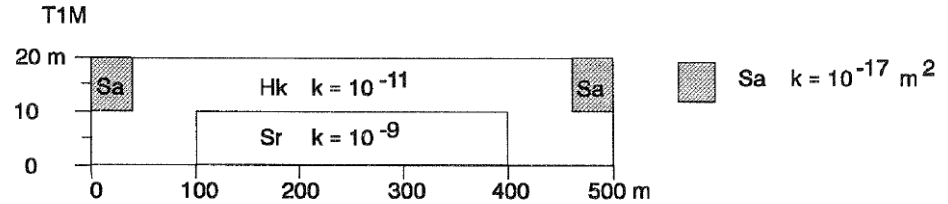
i PITKITTÄISHARJU, matalan veden tyyppi ympäristöön purkava

- 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

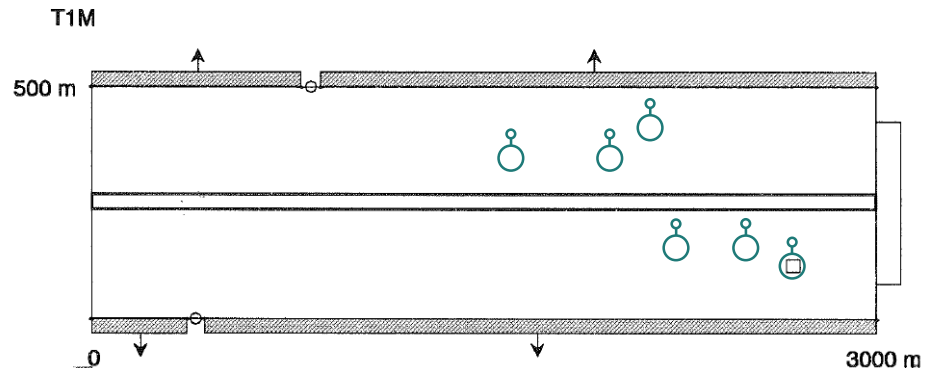
matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava



[k] = m²

maalaji	k [m ²]	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

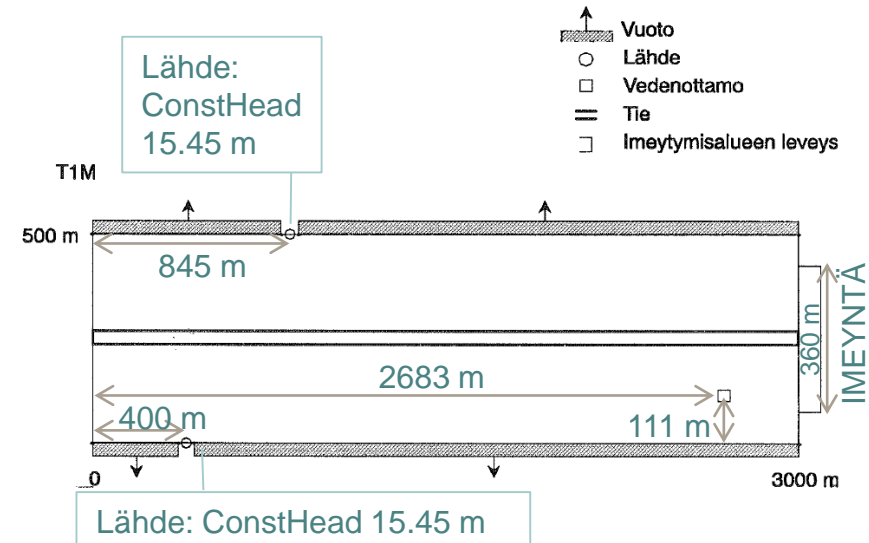
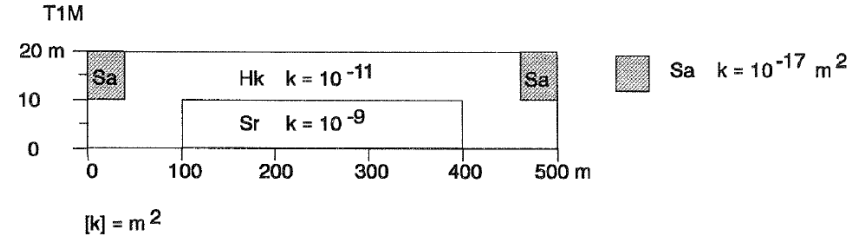


1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava

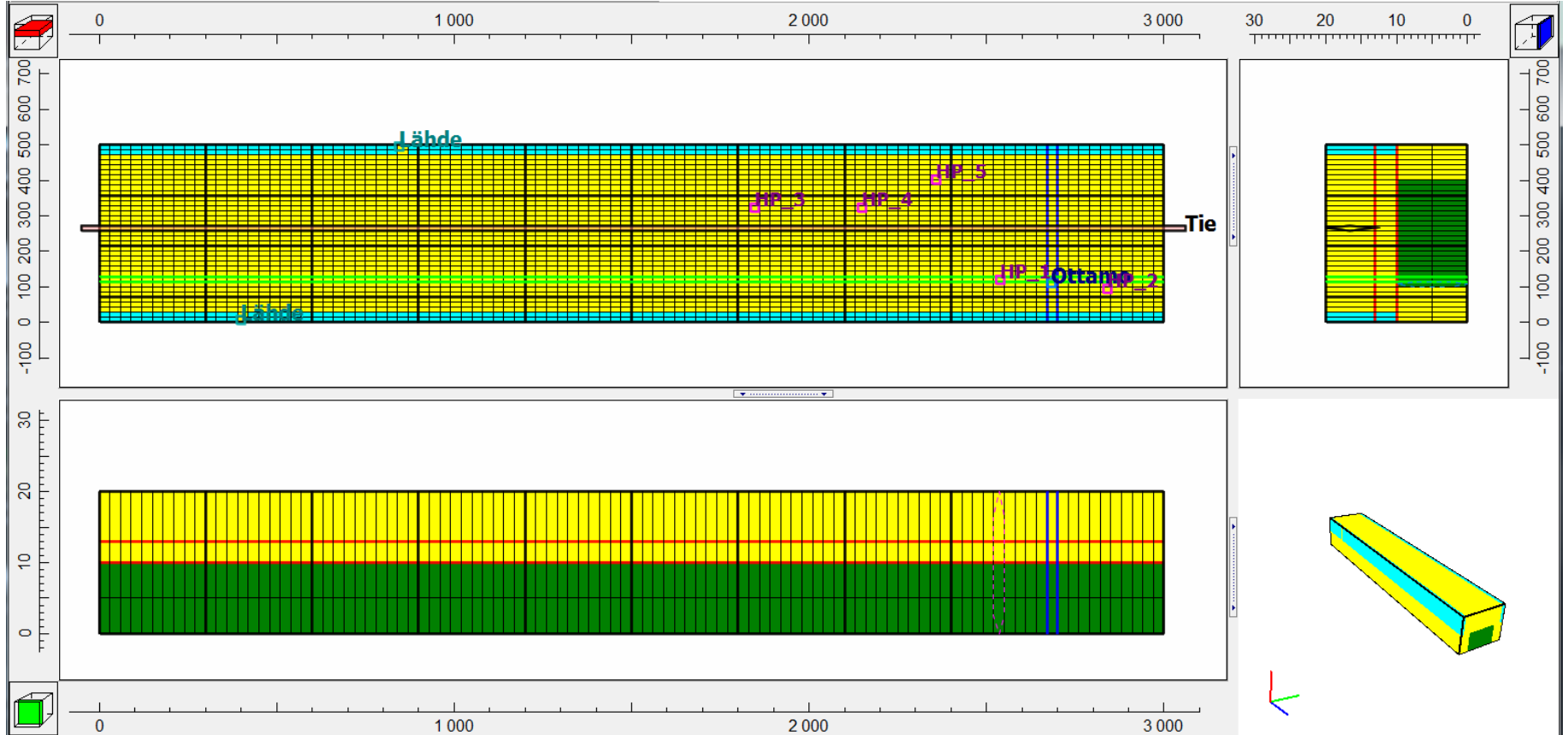
	T1M
Dimensiot x, (m)	3000
y, (m)	500
z, (m)	20
Imeytymisalue, (m) (leveys)	360
Antoisuus, (m ³ /d)	1188
Veden otto, (%) 0.01 m³/s	90/1 ottamo
Tausta Cl-pit, (mg/l)	2,8
Dispersiivisyys, α_l , α_t	75, 15
Solmupisteet (n_x , n_y , n_z)	101 x 26 x 3
Virtaama ulos muodostumasta (vakio-h/vuoto-reunojen kautta) ¹⁾	6,6%/3,4%
Gredientti tien kohdalla ¹⁾	0,00015

¹⁾ Mallilla laskettu arvo



1 Pitkittäisharju

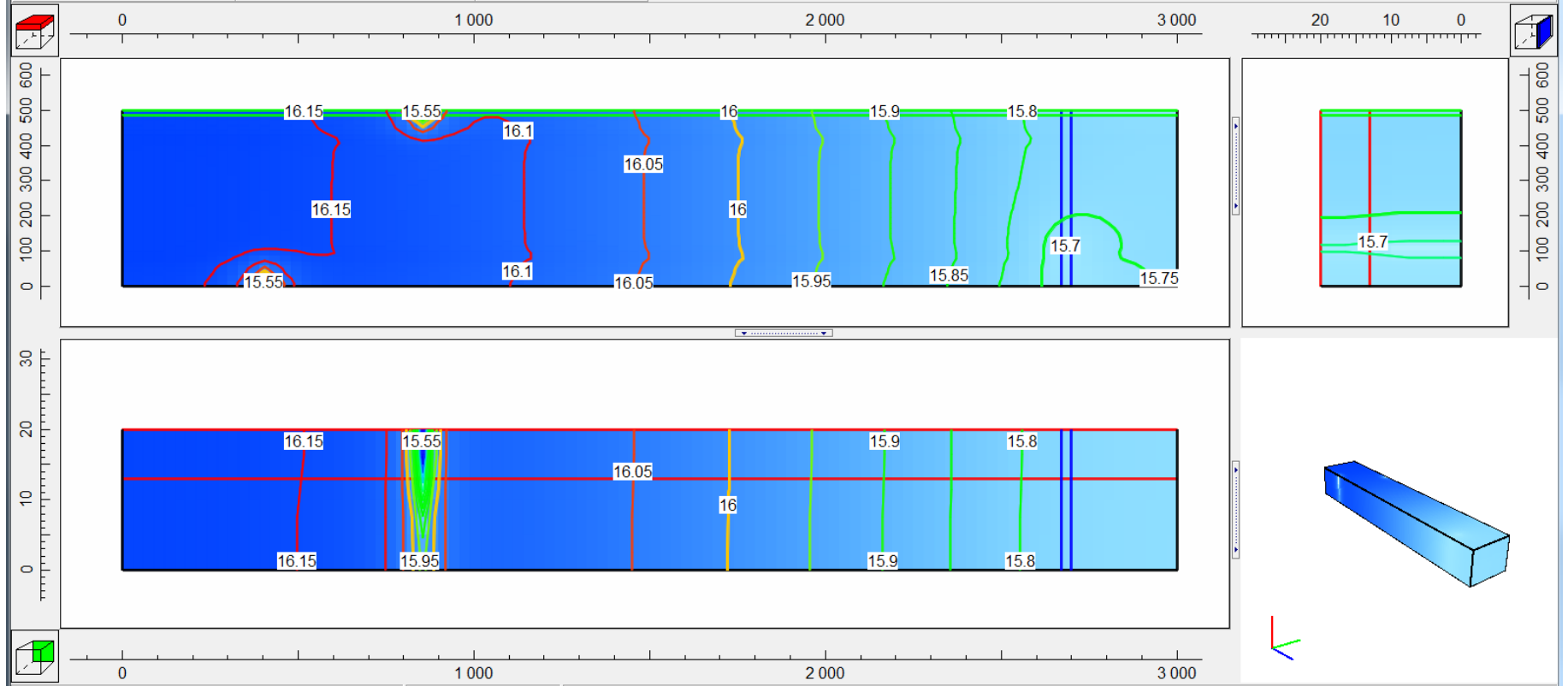
matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava



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

1 Pitkittäisharju

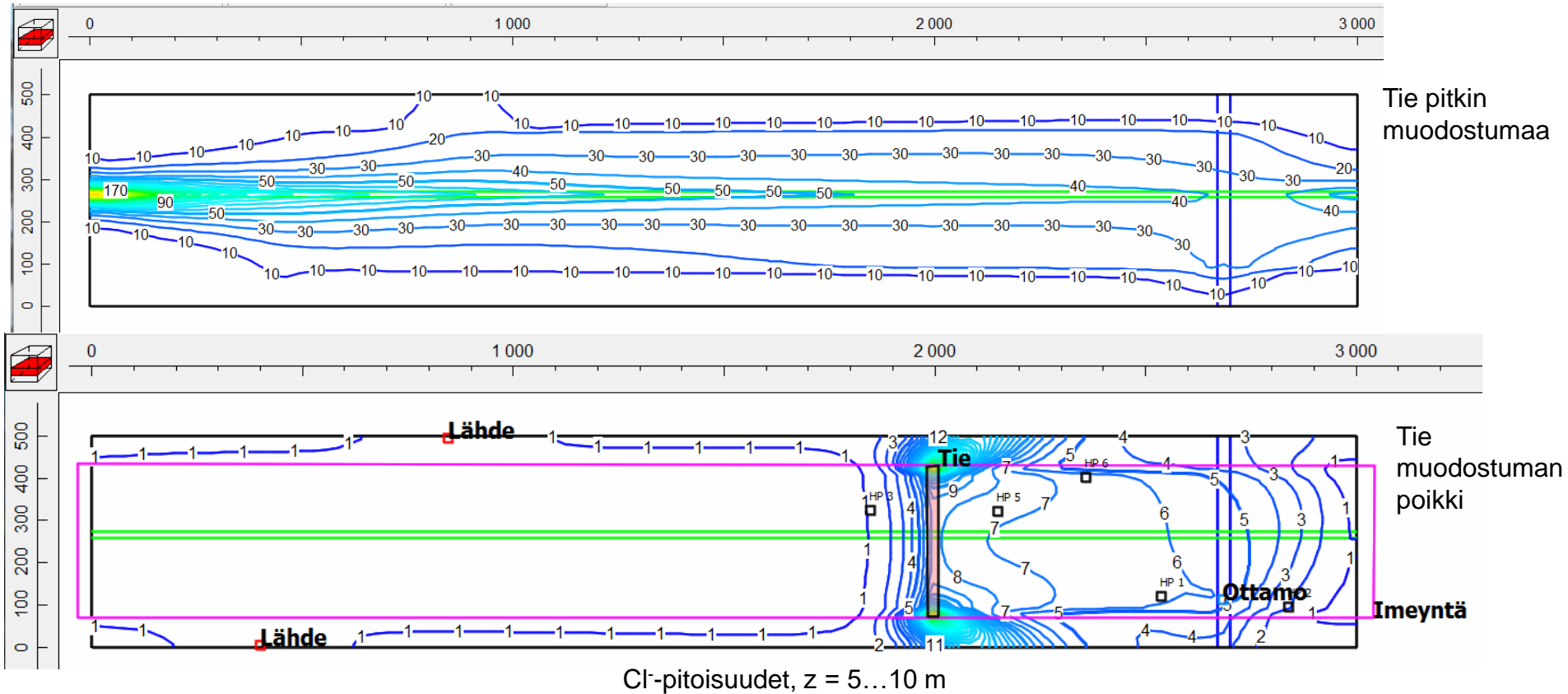
matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava



1 Pitkittäisharju

matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava

simuloitu kloridipitoisuus 23 vuoden keskimääräisen suolauksen jälkeen



Tiedostot ja ohjeet netissä

www.syke.fi/pohjavesityyppimallit



- 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 näyteenotto
 - Pohjaveden tyyppimallit**
- Luonto
- Ympäristötiedon tuotanto
- Tutkimusmenetelmät ja kokeilut

[Etusivu](#) > [Tutkimus & kehittäminen](#) > [Vesi](#) > [Mallit ja työkalut](#) > [Pohjaveden tyyppimallit](#)

Pohjaveden tyyppimallit

Lyhytosoite: <http://www.syke.fi/pohjavesityyppimallit>

Pohjaveden mallintaminen on erittäin käyttökelpoinen työkalu arvioitaessa vedenhankinnan riskejä ja suunniteltaessa keinoja niiden hallintaan. Kohdekohtainen pohjavesimalli vaatii paljon lähtötietoja, joiden hankkiminen ei esimerkiksi erityistilanteissa aina ole mahdollista rajallisten resurssien tai kiireellisen aikataulun vuoksi. Näissä tilanteissa arvioinnin apuna voidaan käyttää suuntaa-antavaa tyyppimuodostumamallia. Tyyppimalleilla voidaan tehdä suuruusluokkatason arvioita. Kohdekohtaisia tapauksia tarkasteltaessa on kuitenkin syytä tehdä niille omat, paremmin kulloistakin kohdetta kuvaavat mallit.

Pohjaveden tyyppimuodostumien rakennekuvaukset on laadittu 1990-luvulla perustuen pohjavesialueiden kartoitukseen, muodostumien rakenteiden tilastolliseen tarkasteluun sekä tiesuolauksen riskikartoitukseen. Tyyppimuodostumista laadittiin tuolloin myös pohjavesimallit, mutta ne tehtiin HST3D-ohjelmistolla, joka ei ole yleisessä käytössä, eikä tiedostoja ole saatavilla sähköisessä muodossa.

Jotta jo olemassa olevat tyyppimuodostumamallit saataisiin yleisesti hyödynnettäviksi, ne on Suomen ympäristökeskuksessa laadittu uudelleen yleisesti käytössä olevan MODFLOW-ohjelmiston kanssa yhteensopivassa muodossa. MODFLOW-ohjelmaperheen varsinaiset laskentaohjelmat voi ladata internetistä ilmaiseksi ja sieltä on niille ladattavissa myös ilmainen graafinen käyttöliittymä ModelMuse.

- [Pohjaveden tyyppimallien tiedostopaketti](#)
- [Pohjaveden tyyppimuodostumiin ja -malleihin liittyvää kirjallisuutta](#)
- [Pohjaveden virtausmallinnuksessa tarvittavia parametreja](#)

Lisätietoa

Sirkku Tuominen, Suomen ympäristökeskus SYKE, etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

LIITETIEDOSTOT

- [Sirkku Tuominen, TYYLI-esitys MUTKU-päivillä 15.3.2018 \(pdf\)](#) (pdf, 2339 kt)
- [Ohjeet ilmaisten mallinnusohjelmien lataamiseen](#) (pdf, 250 kt)

TÄSSÄ PALVELUSSA

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

Tiedostot ja ohjeet netissä

[www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit ja tyokalut/Pohjaveden tyyppimallit ja tyokalut/Pohjaveden tyyppimallien tiedostopaketit\(47851\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyyppimallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyyppimallien_tiedostopaketit(47851))

[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](#)[Pohjaveden tyyppimallit](#)[Luonto](#)[Ympäristötiedon tuotanto](#)[Tutkimusmenetelmät ja kokeilut](#)[Tutkimus- ja kehittämishankkeet](#)[Tutkimusdatapolitiikka](#)[Etusivu](#) > [Tutkimus & kehittäminen](#) > [Vesi](#) > [Mallit ja työkalut](#) > [Pohjaveden tyyppimallit](#) > [Pohjaveden tyyppimallien tiedostopaketit](#)

Pohjaveden tyyppimallien tiedostopaketit

Tiedostopaketit voi ladata taulukossa olevista linkeistä

Tyyppi	Haitta-aine: Kloridi Kulkeutuminen: Advektio ja dispersio 1970–1992 suolaushistoria, jonka jälkeen ennuste, jossa 30 vuotta suolausta 9.6 t/km/vuosi		Hypoteettinen haitta-aine Kulkeutuminen: Advektio, dispersio, sorptio ja hajoaminen
	Tie pitkin muodostumaa	Tie muodostuman poikki	Yleinen päästölähte
1 Pitkittäisharju matalan veden tyyppi ympäristöön purkava	T1 pitkin 96	T1 poikin 96	T1_adv_sor_haj
2A Pitkittäisharju syvän veden tyyppi ympäristöön purkava	T2A pitkin 96	T2A poikin 96	T2A_adv_sor_haj
2A-S Pitkittäisharju syvän veden tyyppi ympäristöön purkava pieni koko	T2As pitkin 96	T2As poikin 96	T2As_adv_sor_haj
2B Pitkittäisharju syvän veden tyyppi ympäristöstään keräävä	T2B pitkin 96	T2B poikin 96	T2B_adv_sor_haj
3 Pitkittäisharju Pohjanmaan tyyppi	T3 pitkin 96	T3 poikin 96	T3_adv_sor_haj
4 Reunamuodostuma Salpauskelkätyyppinen pumppaus 95 % antoisuudesta	T4 95 pitkin 96	T4 95 poikin 96	T4_95_adv_sor_haj
4 Reunamuodostuma Salpauskelkätyyppinen pumppaus 70 % antoisuudesta	T4 70 pitkin 96	T4 70 poikin 96	T4_70_adv_sor_haj

Tiedostopaketit ovat zip-muotoisia. Zip-tiedoston purkamisen jälkeen voi "ancillary"-kansiossa olevan gpt-muotoisen tiedoston avata ModelMuse-ohjelmalla.

Lisätietoa

Sirku Tuominen, Suomen ympäristökeskus SYKE, etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

Tiedostot ja ohjeet netissä

[www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit ja tyokalut/Pohjaveden tyyppimallit/Pohjaveden tyyppimuodostumiin ja malleih\(47850\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyyppimallit/Pohjaveden_tyyppimuodostumiin_ja_malleih(47850))



SYKE

- 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
 - Pohjaveden tyyppimallit
- Ekosysteemi palvelut
- Ympäristötiedon tuotanto
- Tutkimusmenetelmät ja kokeilut
- Tutkimus- ja kehittämishankkeet
- Tutkimusdatapolitiikka

Etusivu > Tutkimus & kehittäminen > Vesi > Mallit ja työkalut > Pohjaveden tyyppimallit > Pohjaveden tyyppimuodostumiin ja -malleihin liittyvää kirjallisuutta

Pohjaveden tyyppimuodostumiin ja -malleihin liittyvää kirjallisuutta

Tyyppimuodostumat ja -mallit

Gustafsson, J. 2000. Tiesuolauksen riskikartoitus pohjavesialueilla – valtakunnallinen yhteenveto. [Suomen ympäristö 361](#). 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., Valtinen, T., Vahanne P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. [Tielaitoksen selvityksiä 60/1994](#). 80 s.

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

Pohjavesimallinnuksesta yleensä

Seppälä, M. & Tuominen, S. 2005. Pohjaveden virtauksen mallintaminen. [Suomen ympäristökeskuksen ympäristöopas 121](#). 62 s.

Tyyppimallinnuksessa käytetyistä ilmaisohjelmista

ModelMuse

[ModelMuse-manuaali](#) (Winston, R.B. 2009)

[ModelMuse-ohjevideot](#) (U.S.G.S.)

MODFLOW

United States Geological Survey, [info-sivu MODFLOW-aloittelijoille](#)

McDonald M.G. & Harbaugh A.W. 1988. A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1. 583 p.

MODPATH

Pollock, D.W. 1989. Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey, [Open-File Report 89-381](#). 188 p.

Pollock, D.W. 1994. User's guide for MODPATH/MODPATH-PLLOT. U.S. Geological Survey, [Open-File Report 94-464](#). 248 p.

MT3DMS

Zheng, C. & Wang P.P. 1999. MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide. U.S. Army Corps of Engineers, [Contract Report SERDP-99-1](#). 221 p.

Tiedostot ja ohjeet netissä

[www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tykalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_virtausmallinnuksessa_tarvitt\(53637\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tykalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_virtausmallinnuksessa_tarvitt(53637))

[Ilmastonmuutos](#)[Kulutus ja tuotanto](#)[Kiertotalous](#)[Rakennettu ympäristö](#)[Kaupungistuminen](#)[Meri](#)[Vesi](#)[> Hankkeet](#)[> Julkaisut](#)[> Asiantuntijatyö](#)[> Seurannat](#)[Etusivu](#) > [Tutkimus & kehittäminen](#) > [Vesi](#) > [Mallit ja työkalut](#) > [Pohjaveden tyypimallit](#) > [Pohjaveden virtausmallinnuksessa tarvittavia parametreja](#)

Pohjaveden virtausmallinnuksessa tarvittavia parametreja

Pohjavesimallinnuksessa keskeisin parametri on vedenjohtavuus.

Taulukoihin on koottu eri maa- ja kivilajien vedenjohtavuuksia ja huokoisuuksia kirjallisuudesta (Niemi et al. 1994, Mälkki 1999).

Eri maalajien hydrogeologisia parametreja. Geotekninen maalajiluokitus.

Maalaji	Vedenjohtavuus K		Huokoisuus n _{tot} %	Ominaisantoisuus S _y %
	m/s	m/d		
Sr	10 ⁻¹ –10 ⁻⁴	10000–10	25–50	25–37
kSr	>1	>100000	24–36	23
KkSr	1–10 ⁻²	100000–1000		24
hSr	1–10 ⁻³	100000–100	25–38	25
hkSr	10 ⁻² –10 ⁻⁶	1000–0,1		
Hk	10 ⁻² –10 ⁻⁶	1000–0,1	25–50	25–38
kHk	10 ⁻¹ –10 ⁻⁴	10000–10	30–46	27
KkHk	10 ⁻² –10 ⁻⁶	1000–1	30–40	28
hHk	10 ⁻³ –10 ⁻⁶	100–0,1	26–53	10–28
Si	10 ⁻⁵ –10 ⁻⁹	1–0,0001	35–61	8
kSi	10 ⁻⁴ –10 ⁻⁶	10–0,1	30–35	
hSi	10 ⁻⁵ –10 ⁻⁸	1–0,001	40–50	
Sa	<10 ⁻⁸	<0,001	34–70	3–10
laSa			40–60	
liSa			60–75	
Mr			20–55	
SrMr	10 ⁻⁴ –10 ⁻⁷	10–0,01		16
HkMr	10 ⁻⁶ –10 ⁻⁸	0,1–0,001		16
SiMr	10 ⁻⁷ –10 ⁻¹⁰	0,001–0,00001		6

Eräiden kivilajien hydrogeologisia parametreja.

Kivilaji	Vedenjohtavuus K		Huokoisuus n _{tot} %	Ominaisantoisuus S _y %
	m/s	m/d		
Runsaasti rakoilevat syvä- ja metamorfiset kivet	10 ⁻⁴ –10 ⁻⁶	10–0,1	<10	
Kalkkikivi, dolomiitti	10 ⁻¹ –10 ⁻¹⁰	10000–0,00001	1–50	14
Porfyriitti	10 ⁻⁵ –10 ⁻¹¹	1–0,000001		
Graniitti, gneissi	10 ⁻⁴ –10 ⁻¹¹	10–0,000001	<10	
Saviliuske, hietakivi	10 ⁻⁷ –10 ⁻¹¹	0,001–0,000001	<10	12–26
Liuske	<10 ⁻⁸	<0,001	1–10	
Rakoilematon, sementoitunut hiekkakivi	<10 ⁻⁸	<0,001		
"Ehyet" syvä- ja metamorfiset kivet	<10 ⁻⁹	<0,0001	<5	

Kirjallisuutta

Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. 304 s.

Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyypimuodostumissa. Tielaituksen selvityksiä 66/1994. 60 s.



TYyli-koulutus

- Halukkaille järjestetään virtuaalisia koulutustilaisuuksia 2020
- Ohjelmat tulee olla asennettuina ennen koulutustilaisuuden alkua
- Koulutustilaisuudessa – ja nettiin laitettavissa ohjeissa – läpi käytäviä asioita:
 - Tyypimuodostuman ja kulkeutumistapauksen valinta
 - Tiedostopakettien lataus ja purku
 - Tyypimallin avaaminen
 - ModelMuse-työkalut
 - Tyypimallin asetukset
 - Tyypimallin muokkaaminen
 - Tulosten tarkastelu

Tyypimallin muokkaaminen

Kulkeutumismallin muokkaaminen ilman virtausmallin muuttamista

- päästölähteen paikka
 - voi tehdä useammankin
- päästön aika
- aine
 - Muuttujatyypit
 - Konservatiivinen
 - Sorptio mukana
 - Hajoaminen mukana
 - päästön pitoisuudet
 - Ajallinen vaihtelu



Tyyppimallin muokkaaminen

Virtausmallin muokkaaminen

Helpohkot

- mallin korkeusaseman muutos
- vedenoton siirtäminen tai jakaminen
- resoluution lisääminen
- laskentakerrosten jakaminen
- rivien & sarakkeiden jakaminen
 - koko alueelle tai osaan aluetta
 - laskentatiheyden muutosten pehmentäminen
 - laskentaruudut K-arvovyöhykkeiden rajojen kanssa yhteneviksi

Hankalammat

- Kerrospaksuuksien muutos
- K-arvojen muutos
- Reunaehtojen muutos
 - Vedenoton kokonaismäärän muutos
 - Imeynnän muutos
 - Veden purkautumisen muutos

Kiitos mielenkiinnosta!

Tyypimalleihin liittyvät sivut

Pohjaveden tyypimallit www.syke.fi/pohjavesityypimallit

Pohjaveden tyypimallien tiedostopaketit [www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_tyypimallien_tiedostopaketit\(47851\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_tyypimallien_tiedostopaketit(47851))

Pohjaveden tyypimuodostumiin ja -malleihin liittyvää kirjallisuutta

[www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_tyypimuodostumiin_ja_malleih\(47850\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_tyypimuodostumiin_ja_malleih(47850))

Pohjaveden virtausmallinnuksessa tarvittavia parametreja

[www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_virtausmallinnuksessa_tarvitt\(53637\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit/Pohjaveden_virtausmallinnuksessa_tarvitt(53637))

Pohjaveden tyypimallit vesienhoidon ja vedenhankinnan riskinarvioinnissa ja hallinnassa (TYyli) www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pohjaveden_tyypimallit_vesienhoidon_ja_vedenhankinnan_riskinarvioinnissa_ja_hallinnassa_TYyli

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.

