

# **3 Pitkittäisharju**

## **Pohjanmaan tyyppi**

Sirkku Tuominen

[sirkku.tuominen@syke.fi](mailto:sirkku.tuominen@syke.fi)

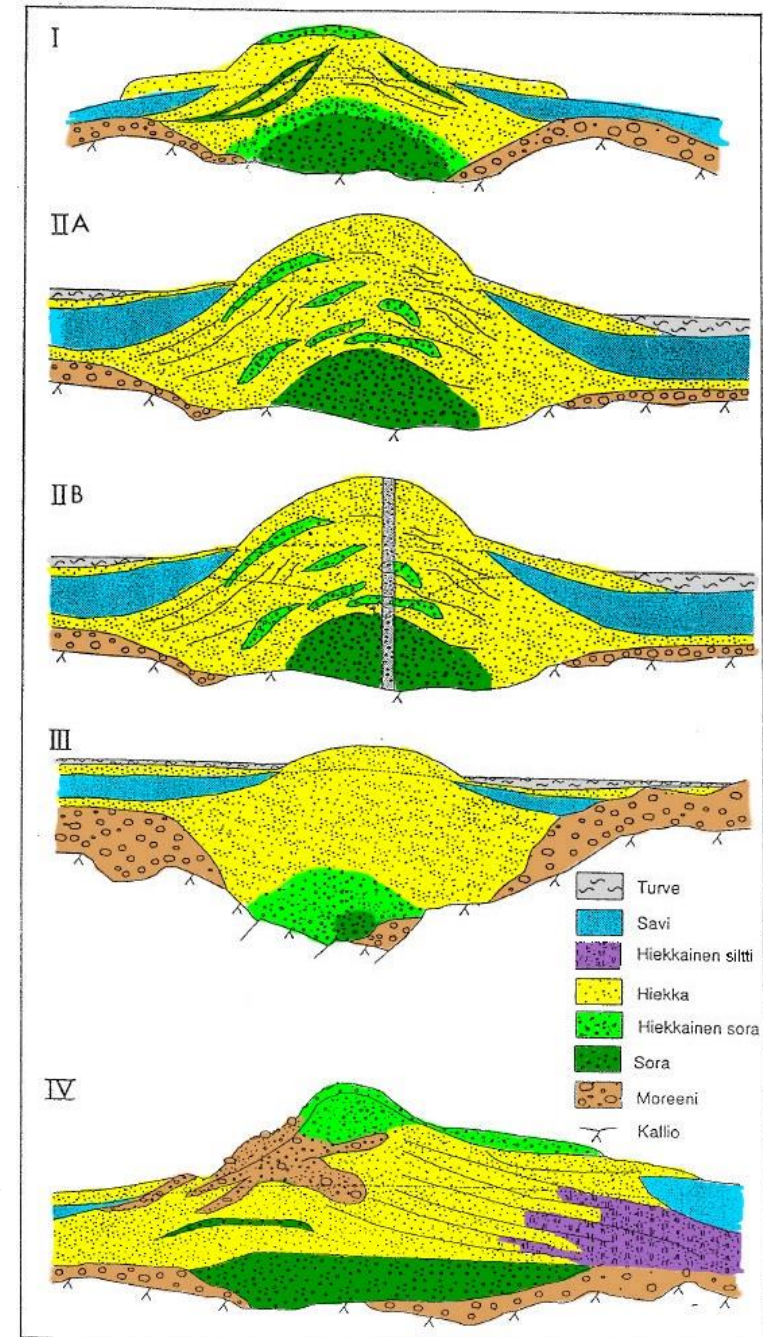
22.12.2020

Taulukko 1. Tarkasteluun otetut pohjavesimuodostumatyyppit, niille määritellyt mediaanikoot ja pienimmät mahdolliset koot.

	mediaani	pienin koko
<b>I Pitkittäisharju</b>		
matalan veden tyyppi, ympäristöön purkava	$l = 350 \text{ m}$ $b = 15-20 \text{ m}$ $L = 3 \text{ km}$	
<b>IIA Pitkittäisharju</b>		
syvän veden tyyppi ympäristöön purkava	$l = 350 \text{ m}$ $b = 15-20 \text{ m}$ $L = 3 \text{ km}$	$l = 90 \text{ m}$ $b = 10-15 \text{ m}$ $L = 1 \text{ km}$
<b>IIB Pitkittäisharju</b>		
syvän veden tyyppi ympäristöstään keräävä	$l = 350 \text{ m}$ $b = 20-25 \text{ m}$ $L = 3 \text{ km}$	
<b>III Pitkittäisharju</b>		
Pohjanmaan tyyppi	$l = 400 \text{ m}$ $b = 15-20 \text{ m}$ $L = 3 \text{ km}$	
<b>IV Reunamuodostuma</b>		
Salpausselkätyyppinen	$*l = 800 \text{ m}$ $b = 30 \text{ m}$ $L = 4 \text{ km}$	



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



$l$  = muodostumisalueen leveys

$L$  = muodostumisalueen pituus

$b$  = pohjavesikerroksen maksimipaksuus

\*  $l$  = koko muodostuman leveys (tehokkaan muodostumisalueen leveys =

$0.8 \times l$ )

Hänninen ym. 1994 Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu

# 3 Pitkittäisharju

## Pohjanmaan tyyppi

Pohjanmaan pitkittäisharjut (tyyppi 3) ovat tyypillisesti tasoittuneita, muodoltaan laakeita selännejaksoja, jotka eivät juuri kohoa ympäristöstään.

Selänteiden pinta on tasoittumisen aikana rikastunut karkearakeisesta aineksesta ja peittynyt myöhemmin rantakerrostumien alle.

Hänninen ym. 1994 Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu

# 3 Pitkittäisharju

## Pohjanmaan tyyppi

Maastossa havaittava rakenne: Pohjanmaan tasaisilla alueilla harjuille tyypillinen piirre on tasoittuneisuus. Harjuille ovat luonteenomaisia rannikolle päin mataloituvat, muodoltaan laakeat selännejaksot, jotka usein peittyvät laajojen harjun syntyäikaisten ja sitä nuorempien rantakerrostumien alle (Niemelä 1979, Hatva 1989).

Erityisesti lakiosistaan tasoittuneissa harjuissa esiintyy joskus kerrosrakenne, jossa harjun pintaosaa peittää soraa ja kiviä keskimääräistä runsaammin sisältävä kerros. Tämän kerrostuman voidaan tulkita syntyneen harjuselänteen tasoittumisen seurauksena. Samanaikaisesti tapahtuneen uudelleen kerrostumisen aikana hienorakeinen aines kulkeutui harjun lieveosiin ja harjuselänteen pinta rikastui karkearakeisesta aineksestä. Toissijaista harjuselänteen tasoittumista ja aineksen uudelleenkerrostumista ovat aiheuttaneet rantavoimat, joiden tasoittava vaikutus erityisesti Pohjanmaalla on ollut tavallista suurempi (Niemelä 1979). Toisaalta Mälkki (1979) on todennut Pohjanmaan tasoittuneiden harjujen olevan pintaosien ainekseltaan lähes yksinomaan hiekkää. Hänen mukaansa soraa tavataan yleensä vain harjun sydänosassa.

Pohjaveden pinnan alapuolinen rakenne: Pohjanmaan tyyppin harjuissa pohjaveden pinta on yleisesti hyvin lähellä maanpintaa. Pohjaveden pinnan alapuolinen osa on hiekkavaltaisempi kuin edellä esite-

tyissä harjutyypeissä. Toisaalta hydrauliset yhteydet harjujen pituussuunnassa ovat yleensä pitkät.

Pohjaveden virtauskuva: Pohjaveden oton vaikutuksesta normaalioloissa antikliininen virtauskuva muuttuu helposti synkliiniseksi, jolloin harjusta saatava pohjavesimäärä on suurempi kuin harjun tehollisen imeytymisalueen perusteella laskettu pohjavesimäärä (Pönkkä 1981, Hatva 1989). Laaksossa sijaitseva harju voi myös toimia salaojan tavoin keräten pohjavettä ympäristöstään (Winqvist 1953, Mälkki 1971). Von Brömssenin (1970) mukaan voi virtaus hienosedimenteistä (savi, siltti) olla merkittävää tällaiseen harjuun, mikäli pohjavesivarasto on suuri ja pohjavedenpinta alenee pumppauksen takia paljon.

Esimerkkinä Pohjanmaan tyyppin harjuista voidaan mainita Haapaveden Karhukankaan harju ja Jepuan Gunnarskangan harju (Niemelä 1979).

Tämän tutkimuksen yhteydessä mallinnettiin muodostumatyyppiä joka on ns. sekamuodostuma eli sen pohjaveden virtauskuva on antikliininen muualla paitsi vedenottamon ympäristössä, jossa se on synkliininen vedenoton vaikutuksesta. Antikliinisella muodostuma-alueella pohjaveden purkautuminen tapahtuu sekä suotautumalla että lähteiden kautta.

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

Brömssen, U., von. 1970. Infiltration coefficients for ground water investigations in moraine clay districts in Central Sweden. Nordisk Hydrologisk Konferens. Stockholm 27-29 Aug. 1970, ss. 241-249.

Hatva, T. 1989. Iron and manganese in groundwater in Finland: Occurrence in glacial aquifers and removal by biofiltration. Publications of the Water and Environment Research Institute 4. National Board of Waters and the Environment, Helsinki. 99 s.

Lundqvist, J. 1979. Morphogenetic classification of glaciofluvial deposits. Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C NR 767. Uppsala. 72 s.

Mälkki, E. 1971. Pohjavesiesiintymän tutkiminen vedenhankintaa varten. Vesihallitus. Tiedotus 12, ss. 52-68.

Mälkki, E. 1979. Ground-water flow velocity as an indicator of the permeability and internal structure of eskers. Vesientutkimuslaitoksen julkaisu 32. Vesihallitus, Helsinki. 42 s.

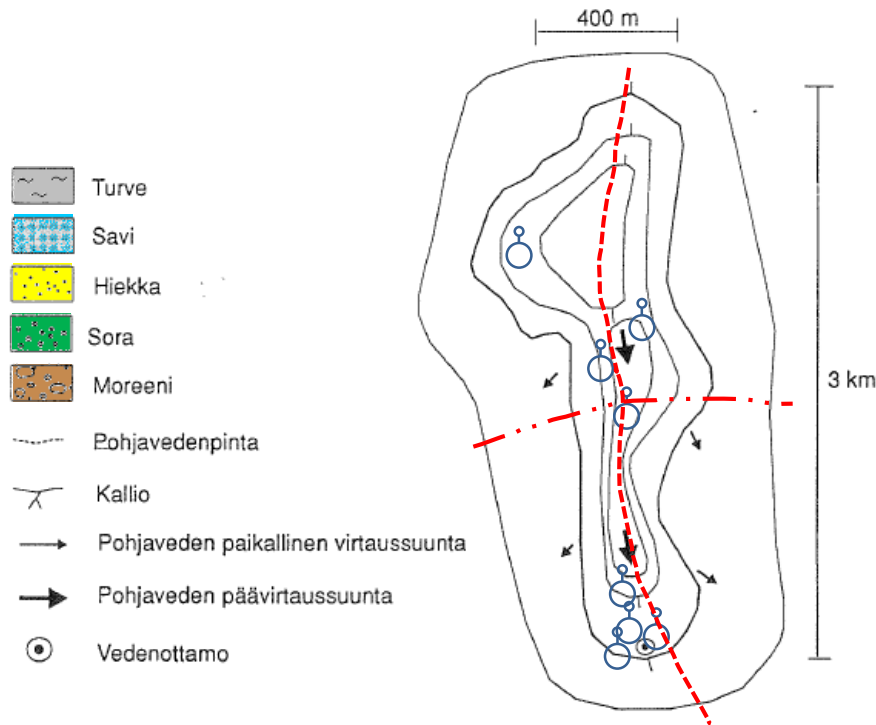
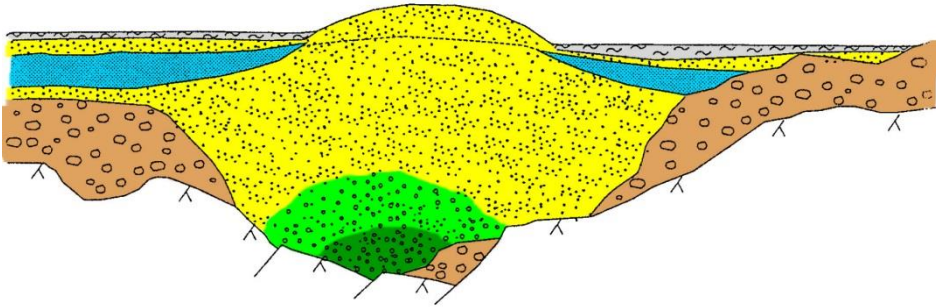
Niemelä, J. 1979. Suomen sora- ja hiekkavarojen arviointiprojekti 1971-78. Geologian tutkimuslaitos, Tutkimusraportti N:o 42, Espoo. 119 s.

Pönkkä, L. 1981. Suomen eteläpuoliskon glasifluviaaliset muodostumat pohjavesiesiintymänä. Helsingin yliopisto, Helsinki. 44 s.

Winqvist, G. 1953. Ground water in Swedish eskers. Kungl. tekniska högskolans handlingar 61.

### III PITKITTÄISHARJU, Pohjanmaan tyyppi

- rannikolle päin mataloituvia, muodoltaan laakeita selännejaksoja
- usein peittyneet rantakerrostumien alle
- rantakerrostumat esiintyvät 2-4 km leveinä, savi-siltti tai moreenikerrostumia peittävinä vyöhykkeinä
- usein muodostunut kallioperän ruhjeeseen

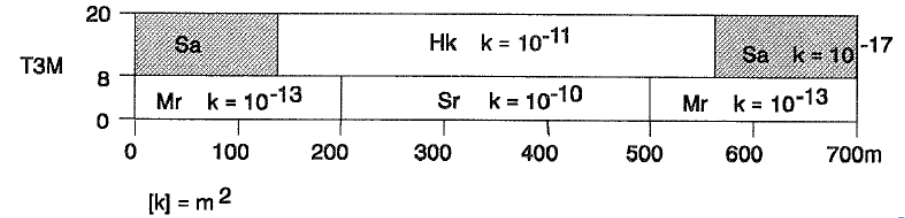


- Turve
- Savi
- Hiekka
- Sora
- Moreeni
- Pohjavedenpinta
- Kallio
- Pohjaveden paikallinen virtaussuunta
- Pohjaveden päävirtaussuunta
- Vedenottamo

# 3 Pitkittäisharju

## Pohjanmaan tyyppi

### HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin kuvaus

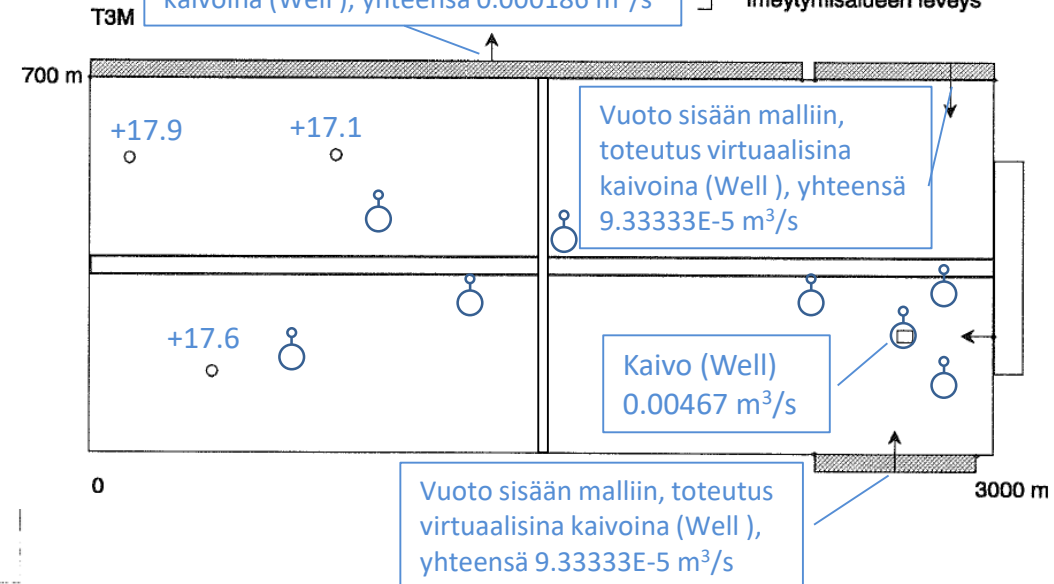


maalaji	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]
Sa	1.00E-17	1.10E-10
Hk	1.00E-11	1.10E-04
Mr	1.00E-13	1.10E-06
Sr	1.00E-10	1.10E-03

### Tietoja MODFLOW-malliin

- Pohjaveden havaintoputki
- Vuoto
- Lähde
- Vedenottamo
- Tie
- Imeytymisalueen leveys

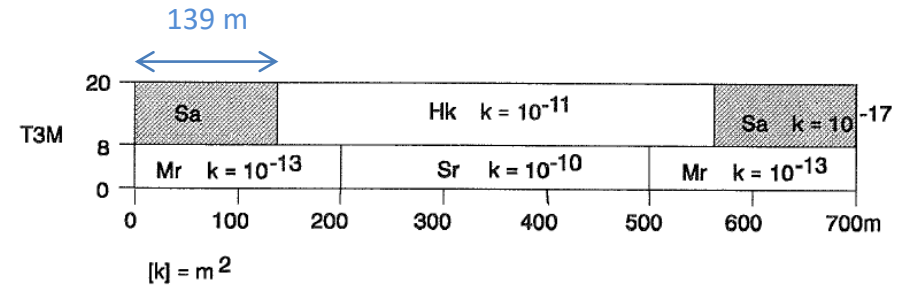
Vuoto ulos mallista, toteutus virtuaalisina kaivoina (Well), yhteensä 0.000186 m<sup>3</sup>/s



Vuoto sisään malliin, toteutus virtuaalisina kaivoina (Well), yhteensä 9.33333E-5 m<sup>3</sup>/s

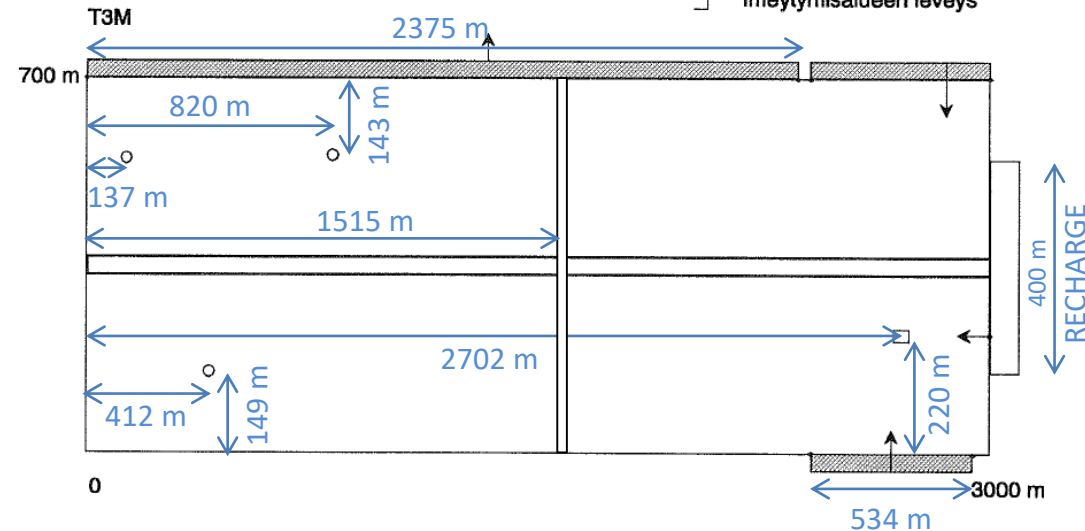
# 3 Pitkittäisharju

Pohjanmaan tyyppi



HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin kuvaus  
Tietoja MODFLOW-malliin

- Vuoto
- Lähde
- Vedenottamo
- Tie
- Imeytymisalueen leveys



	T3M
Dimensiot x, (m)	3000
y, (m)	700
z, (m)	20
Imeytymisalue, (m)	400
(leveys)	
Antoisuus, (m <sup>3</sup> /d)	1152
Veden otto, (%)	70/1 ottamo
Tausta Cl-pit, (mg/l)	4,8/46
Dispersiivisyys, $\alpha_1, \alpha_t$	75, 15
Solmupisteet	101 x 36 x 3
( $n_x, n_y, n_z$ )	
Virtaama ulos muodostumasta (vakio-h/vuoto-reunojen kautta) <sup>1)</sup>	32,4%/+5,5 -1,4%
Gredientti tien kohdalla <sup>1)</sup>	0,0006

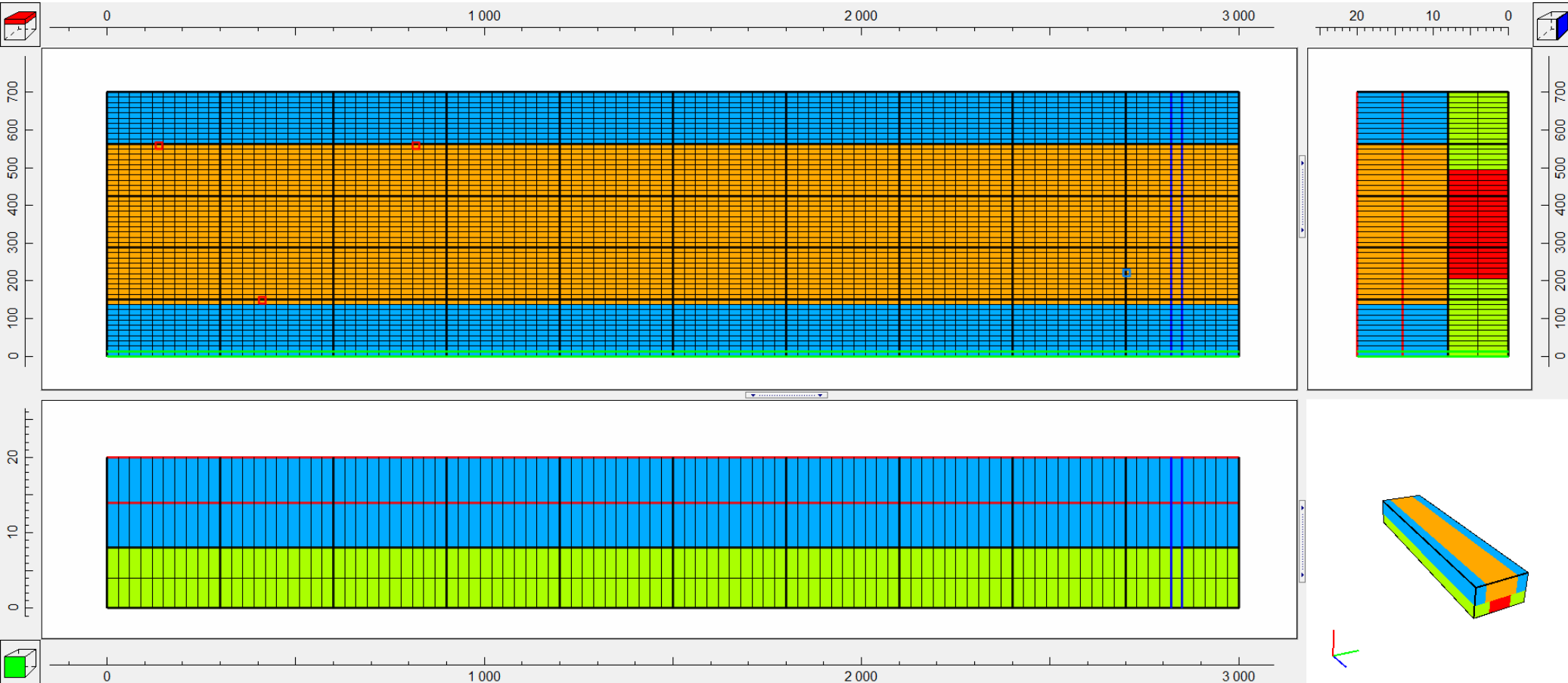
<sup>1)</sup> Mallilla laskettu arvo

# 3 Pitkittäisharju

Pohjanmaan tyyppi

ModelMuse-näkymä MODFLOW-malliin

maalaji	K [m/s]
Sa	1.10E-10
Hk	1.10E-04
Mr	1.10E-06
Sr	1.10E-03



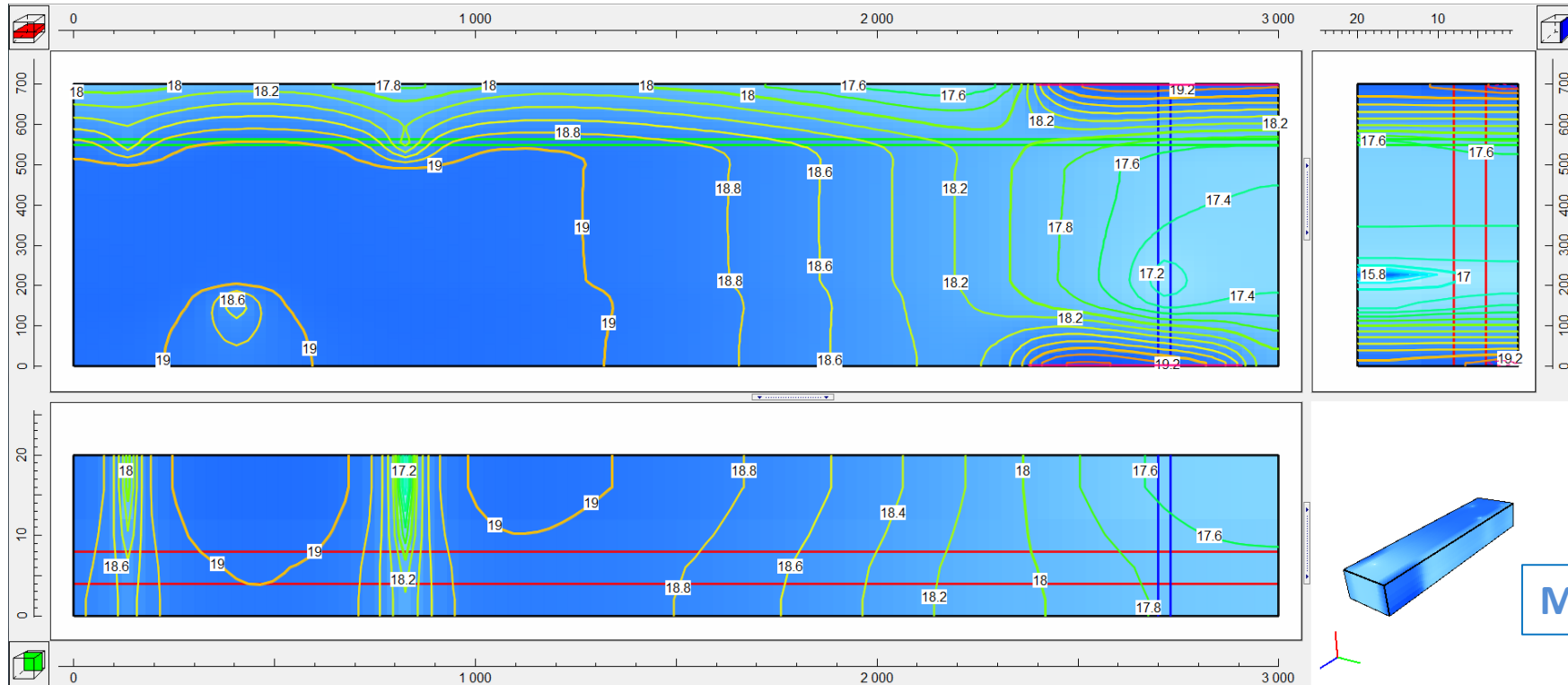
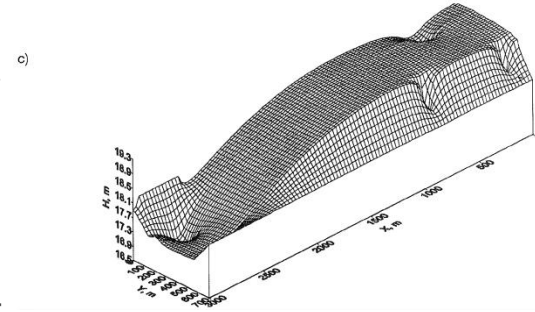
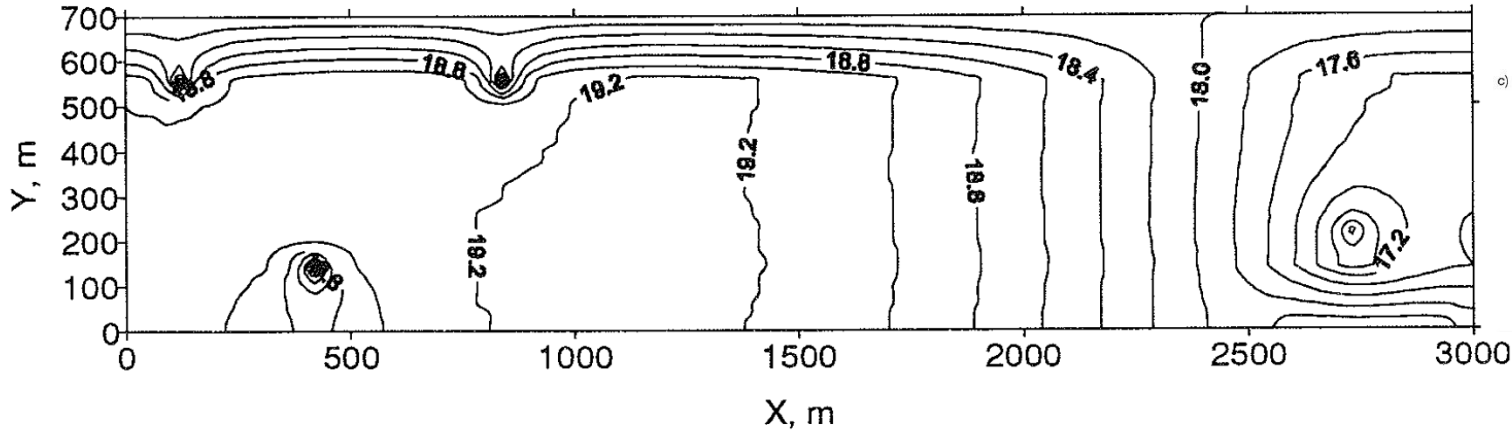
Z-suunta esitetty 20-kertaisena verrattuna x- ja y-suuntaan

# 3 Pitkittäisharju

Pohjanmaan tyyppi

a) T3M, vedenotto 70 % antoisuudesta  
H, m (z=8m)

HST3D





T3M C, mg/l

Imeytyvä vesi: 4,8 mg/l

Suotautuva vesi: 46 mg/l

# 3 Pitkittäisharju

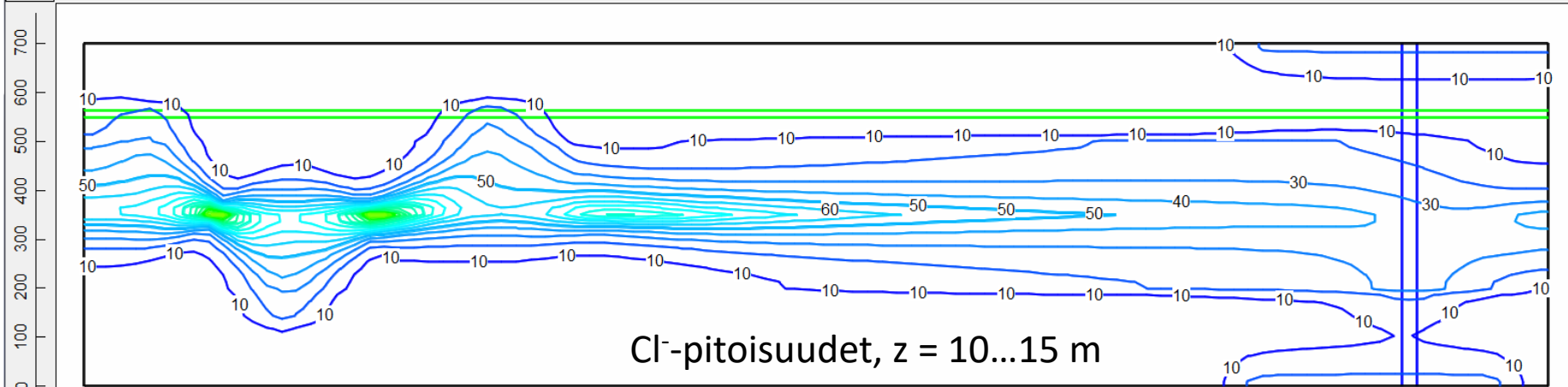
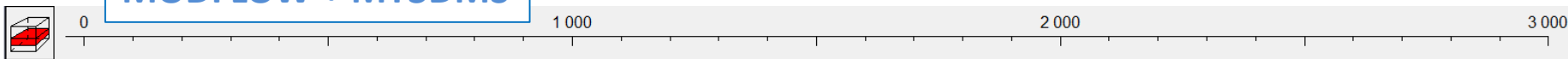
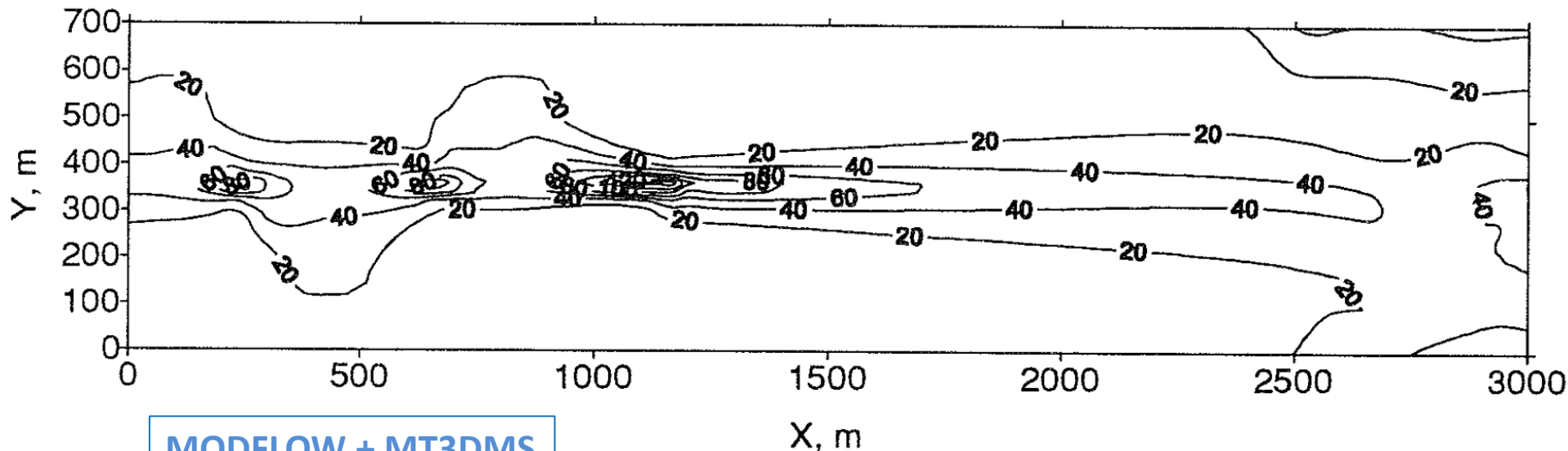
Pohjanmaan tyyppi

a)

1992 : SI/ESI 1970-1992

HST3D

34 mg/l



# 3 Pitkittäisharju

Pohjanmaan tyyppi

T3M C, mg/l

Imeytyvä vesi: 4,8 mg/l

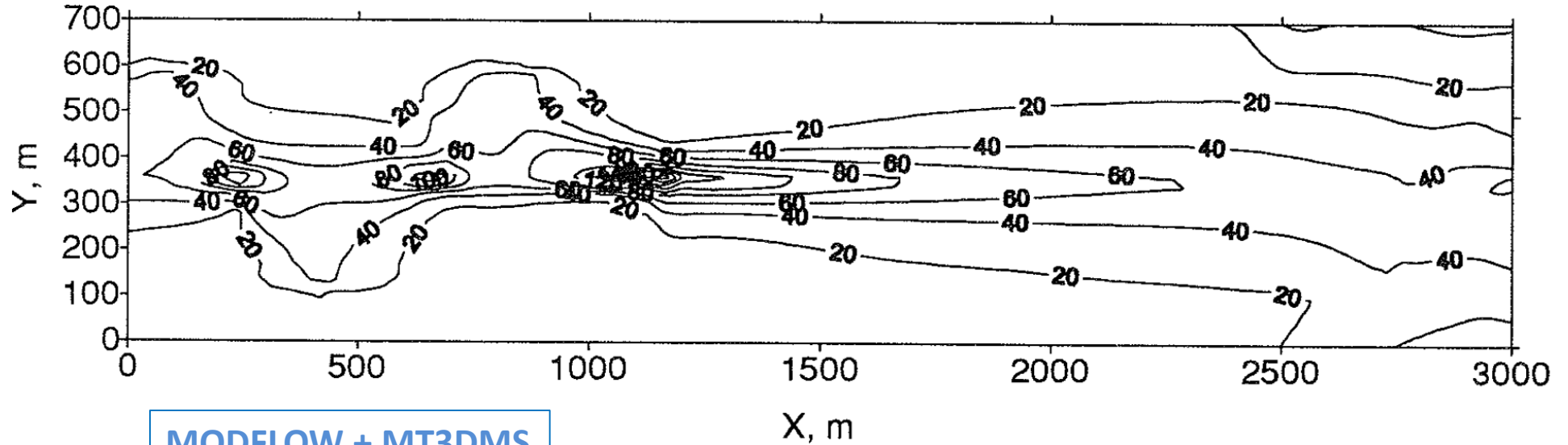
Suotautuva vesi: 46 mg/l

2022 : S/ESI 1970-2022

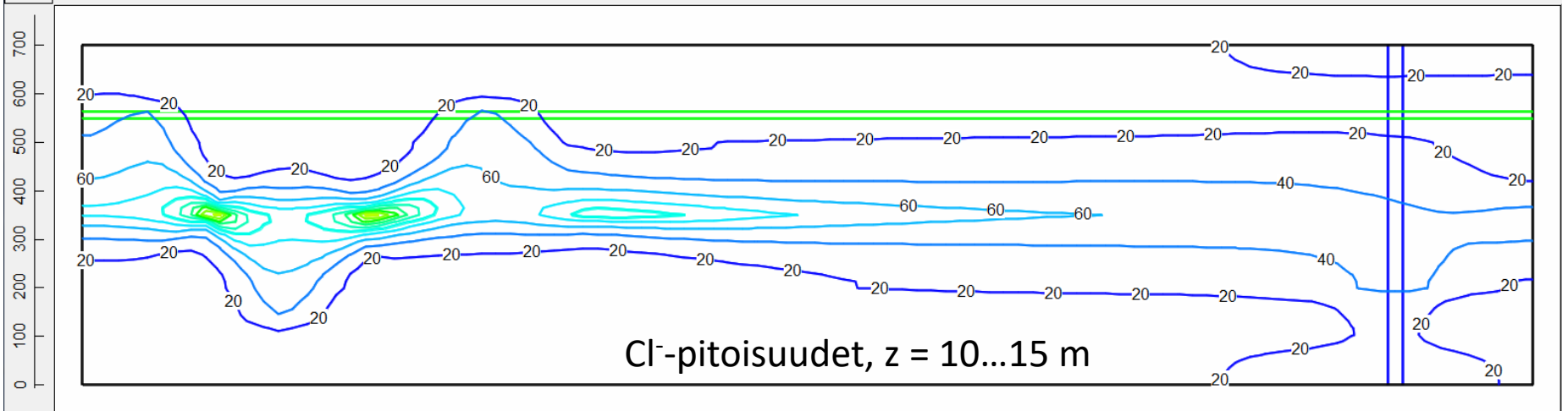
HST3D

44 mg/l

b)



MODFLOW + MT3DMS



# 3 Pitkittäisharju

Pohjanmaan tyyppi

T3M C, mg/l

Imeytyvä vesi: 4,8 mg/l

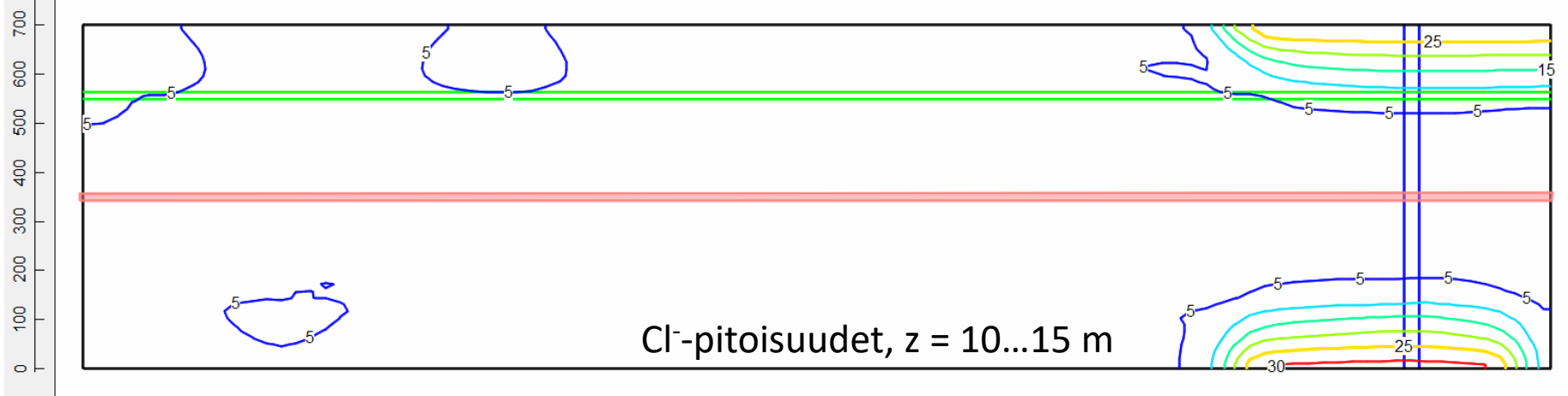
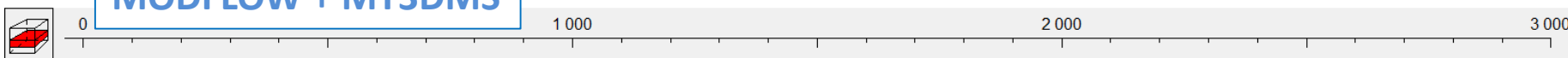
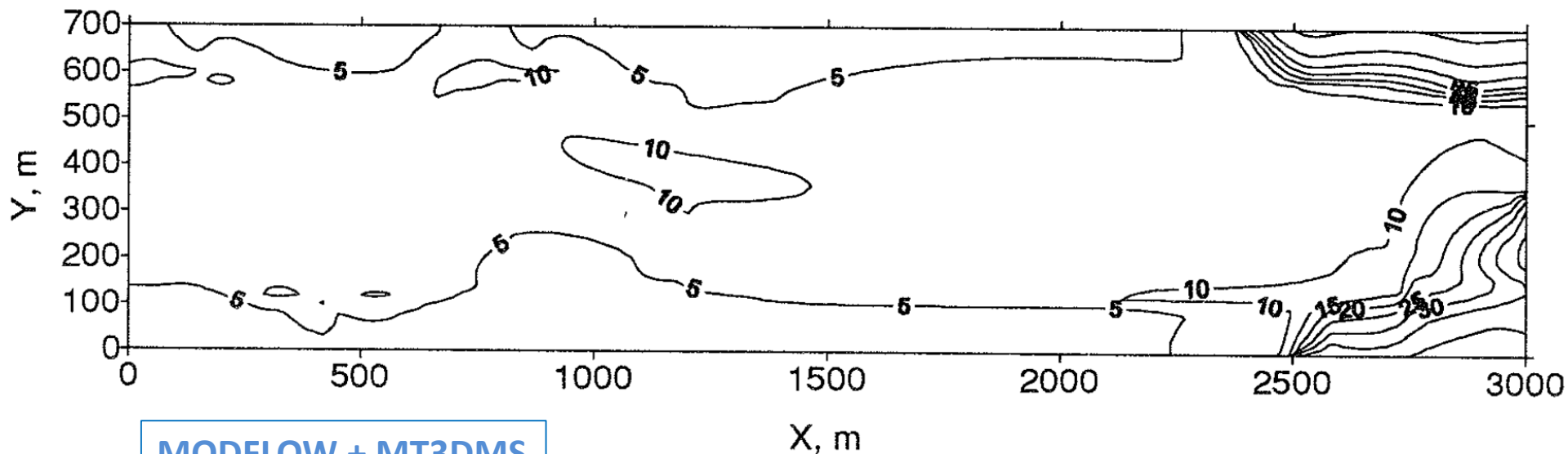
Suotautuva vesi: 46 mg/l

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

13 mg/l

HST3D

c)



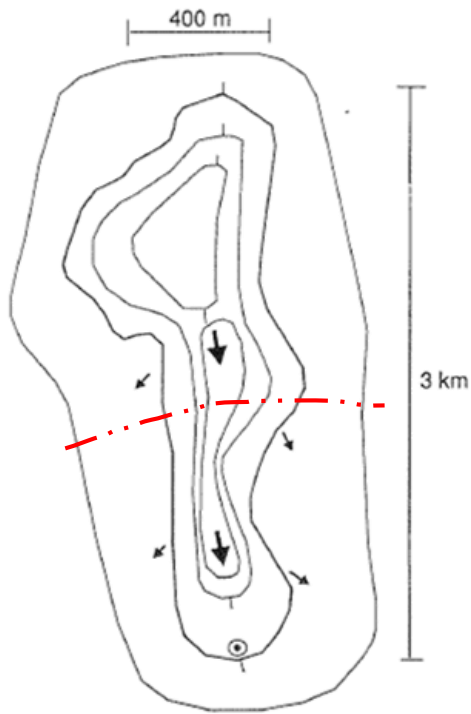
# 3 Pitkittäisharju

Pohjanmaan tyyppi

**Tie muodostuman poikki**

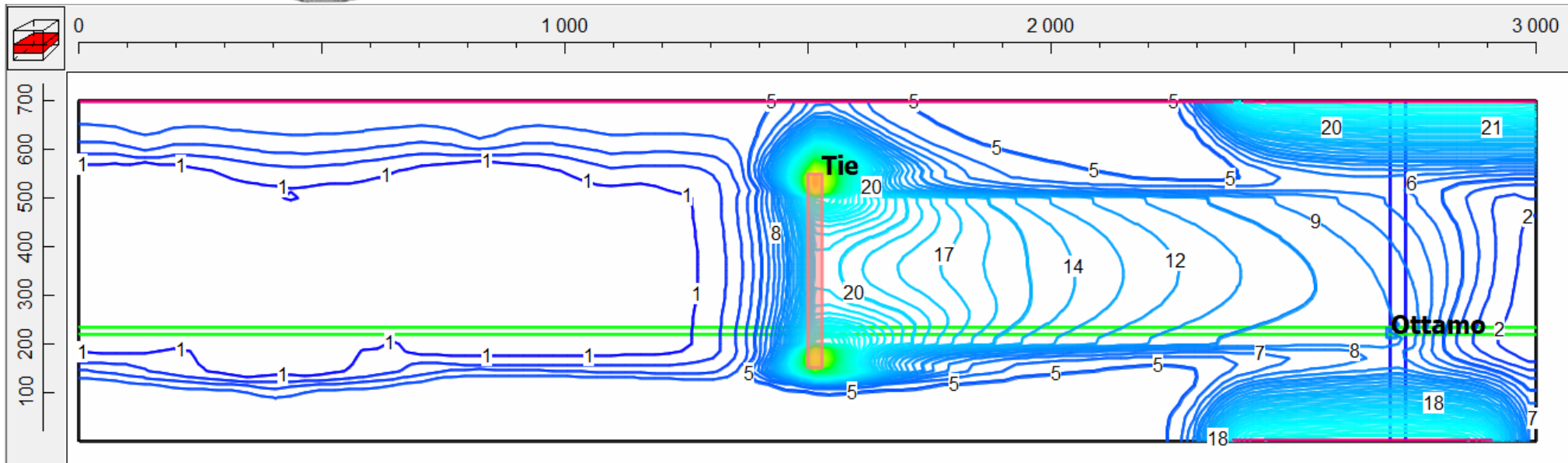
Imeytyvä vesi: 4,8 mg/l

Suotautuva vesi: 46 mg/l



## MODFLOW-mallin laskemat kloridipitoisuudet

Advektio ja dispersio, 1970–1992 suolaushistoria, jonka jälkeen ennuste, jossa 30 vuotta suolausta 9.6 t/km/vuosi



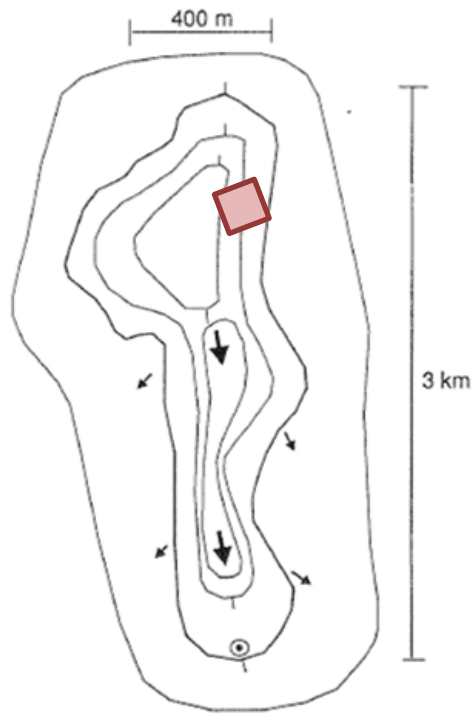
MODFLOW + MT3DMS

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

# 3 Pitkittäisharju

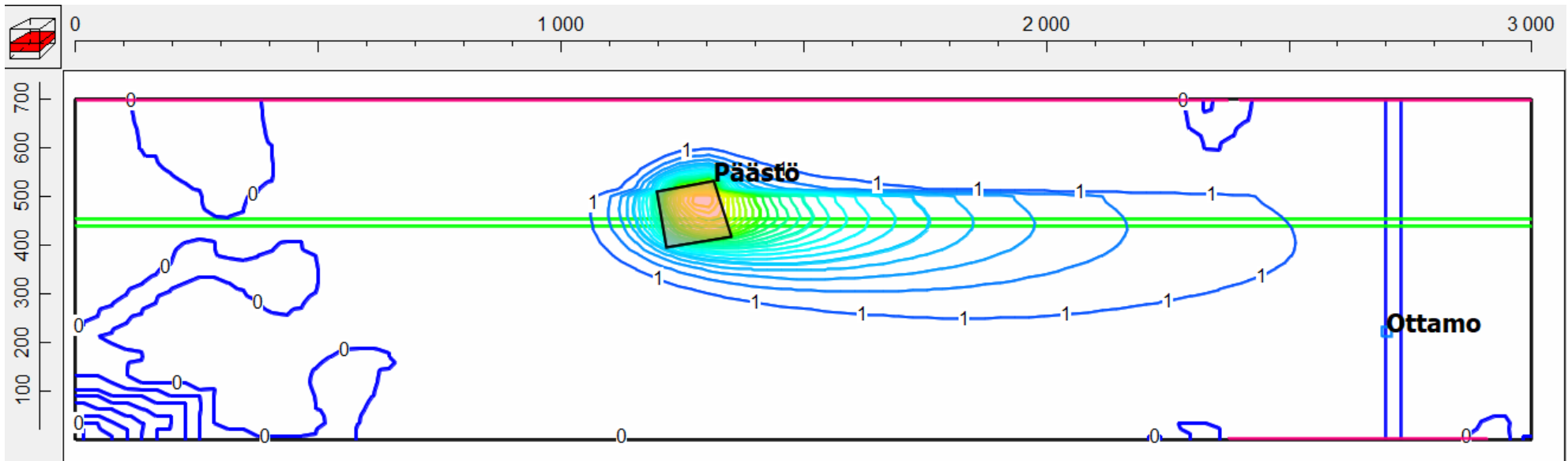
Pohjanmaan tyyppi

Tie muodostuman poikki



## MODFLOW-mallin laskemat aineen X pitoisuudet

Advektio ja dispersio, päästöalueella imeytyvän veden pitoisuus 100, päästö kesto 15 v



MODFLOW + MT3DMS

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

*Mallinnettavien tyyppimuodostumien antoisuudet* laskettiin suoraan pohjavedeksi imeytyvän vesimäärän (350 mm/a) ja muodostumisalueen pinta-alan perusteella. Käytetyt vedenottomäärät kullekin tyyppimuodostumalle on esitetty taulukossa 2 sekä prosentteina pohjavedeksi muodostuvasta vesimäärästä että prosentteina sadannasta.

Taulukko 2. Mallinnettaville tyyppimuodostumille käytetyt vedenottomäärät

	vedenotto % imeytyvästä pohjavedestä	vedenotto % sadannasta
Tyyppi I	95 %	47,5 %
Tyyppi IIA	95 %	47,5 %
Tyyppi IIB	125 %	63 %
Tyyppi III	70 %	35 %
Tyyppi IV	70 % ja 95 %	35 ja 47,5 %

Vedenottomääriä valittaessa päädyttiin hyödyntämään muodostumia lähes maksimaalisesti (tyypit I ja IIA). Tyypin IIB kohdalla virtauskuvasta johtuen vedenottomäärä ylittää muodostumisalueella imeytyvän pohjaveden määrän. Salpausselkätyyppisessä muodostumassa mallinnetaan kahta erilaista vedenottoa, jotta nähtäisiin vedenoton tehokkuuden vaikutus suolapitoisuuksiin.

Keskimääräinen suolan käytön historia mallintamista varten on määritetty seuraavasti (Olli Penttinen, TIEL, kirje 23.11.1993):

- Vuodesta -80 lähtien tunnetaan ns. suolatun tieverkon pituus ja suolan käyttömäärät (laitoksen keskiarvot)
- Syksyn liukkailla suolataan myös hiukan muita tietoja. Tämän arvioidaan olevan n. 15% koko määrästä.
- Joten vähennetään suolausmäärästä 15% ja jaetaan kilometreillä, jotta saadaan keskimääräisen suolattavan tien suolankäyttömäärät.
- Todellisuudessa eri teiden (kp-luokkien) määrät vaihtelevat.
- 70-luvun arvoiksi oletetaan n. 2/3 80-luvun alun tasosta.

Edellä kuvattua laskentaa käyttäen saadaan seuraava taulukko:

vuosi	Käytetty suolamäärä [tonnia]	Suolattu tieverkko [km]	Keskimääräinen suolaus [t/km]
1970 - 1980			5,17
1980	61200	6713	7,75
1981	63300	6725	8,00
1982	55000	6936	6,74
1983	75000	7300	8,73
1984	71400	8775	6,92
1985	57400	9133	5,34
1986	55900	9496	5,00
1987	78200	9984	6,66
1988	130672	10603	10,48
1989	133200	10670	10,61
1990	157316	11078	12,07
1991	107400	10921	8,36
1992	124800	11021	9,63

# Vedenjohtavuuden muunnos

HST3D:n keskeisin virtauskuvaan vaikuttava parametri on ominaisvedenjohtavuus ( $k$  [ $\text{m}^2$ ])

MODFLOW:n keskeisin virtauskuvaan vaikuttava parametri on hydraulinen vedenjohtavuus ( $K$  [ $\text{m/s}$ ])

**Ominaisvedenjohtavuus ( $k$ )**

-> **Vedenjohtavuus ( $K$ )**

$$K = \frac{k\rho g}{\mu} = \frac{k g}{\nu}$$

$$K = \frac{9.81 \cdot 1000 \cdot k}{8.90 \times 10^{-4}} \approx 1.1e + 7 \cdot k$$

$K$  = vedenjohtavuus [ $\text{m/s}$ ]

$k$  = ominaisvedenjohtavuus [ $\text{m}^2$ ]

$\rho$  = nesteen tiheys [ $\text{kg/m}^3$ ]

- vedelle  $1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$

$g$  = maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys  $\approx 9.81 \text{ m/s}^2$

$\mu$  = nesteen dynaaminen viskositeetti [ $\text{Pa}\cdot\text{s} = \text{kg/m}\cdot\text{s}$ ]

- vedelle  $8.90 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

$\nu$  = nesteen kinemaattinen viskositeetti [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]



# Vedenjohtavuudet tyyppimalleissa

k [m <sup>2</sup> ] K [m/s]	T1		T2A		T2A-S		T2B		T3		T4	
	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]	k [m <sup>2</sup> ]	K [m/s]
<b>Hiekka</b>	1e-11	<b>1.1e-4</b>	1e-11	<b>1.1e-4</b>	1e-12	<b>1.1e-5</b>	1e-11	<b>1.1e-4</b>	1e-11	<b>1.1e-4</b>	1e-11	<b>1.1e-4</b>
<b>Sora</b>	1e-9	<b>1.1e-2</b>	1e-9	<b>1.1e-2</b>	1e-10	<b>1.1e-3</b>	1e-9	<b>1.1e-2</b>	1e-10	<b>1.1e-3</b>	1e-9	<b>1.1e-2</b>
<b>Sora 2</b>			6e-10	<b>6.61e-3</b>								
<b>Moreeni</b>									1e-13	<b>1.1e-6</b>	1e-13	<b>1.1e-6</b>
<b>Moreeni 2</b>											1e-14	<b>1.1e-7</b>
<b>Savi</b>	1e-17	<b>1.1e-10</b>	1e-17	<b>1.1e-10</b>	1e-17	<b>1.1e-10</b>	1e-17	<b>1.1e-10</b>	1e-17	<b>1.1e-10</b>	1e-17	<b>1.1e-10</b>
<b>Kallio</b>			1e-21	<b>1.1e-14</b>	1e-21	<b>1.1e-14</b>	1e-21	<b>1.1e-14</b>				

# Huokoisuudet tyyppimalleissa

YHTEENVETO MALLIEN MAALAJIKOHTAISISTA TIEDOISTA

Huokoisuus <sup>1)</sup>	T1	T2A	T2A-S	T2B	T3	T4
Hiekka	40 → 35	40 → 35	40 → 35	35	40 → 35	40 → 30
Sora	40 → 35	40 → 35	40 → 35	35	35 → 30	30 → 25
Sora 2			40 → 35	35		
Hiekka sora						
Moreeni					40 → 35	40 → 35
Moreeni 2						40 → 35
Savi	35	60 → 35	60 → 35	35	35	60 → 35
Siltti						40-45 → 35
Kallio		5 → 2	5 → 2	2		

1) Ilmoitettu kokonaishuokoisuus → tehokas huokoisuus

# Maalajien hydrogeologisia parametreja, geotekninen maalajiluokitus

Maalaji	Vedenjohtavuus K		Huokoisuus tot [%]	Ominaisantoisuus $S_y$ [%]
	[m s <sup>-1</sup> ]	[m d <sup>-1</sup> ]		
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	$10^{-2} - 10^{-5}$	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

# Kivilajien hydrogeologisia parametreja

Kivilaji	Vedenjohtavuus K		Huokoisuus tot [%]	Ominaisantoisuus $S_y$ [%]
	[m s <sup>-1</sup> ]	[m d <sup>-1</sup> ]		
Karstikalkkikivi	1 – 10 <sup>-3</sup>	100000 – 100	5 – 50	
Huokoinen vulkaaninen kivi	1 – 10 <sup>-8</sup>	100000 – 0,001		21
Basaltti	10 <sup>-1</sup> – 10 <sup>-10</sup>	10000 – 0,00001	5 – 50	
Karkea-keskikarkea hiekkakivi	10 <sup>-1</sup> – 10 <sup>-5</sup>	10000 – 1	< 20	
Huokoinen hiekkakivi	10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-6</sup>	100 – 0,1	5 – 30	
Hienorakeinen hiekkakivi	10 <sup>-5</sup> – 10 <sup>-9</sup>	1 – 0,0001	< 10	21
Keskikarkearakeinen hiekkakivi				27
Runsaasti rakoilevat syvä- ja metamorfiset kivet	10 <sup>-4</sup> – 10 <sup>-6</sup>	10 – 0,1	< 10	
Kalkkikivi, dolomiitti	10 <sup>-1</sup> – 10 <sup>-10</sup>	10000 – 0,00001	1 – 50	14
Porfyriitti	10 <sup>-5</sup> – 10 <sup>-11</sup>	1 – 0,000001		
Graniitti, gneissi	10 <sup>-4</sup> – 10 <sup>-11</sup>	10 – 0,000001	< 10	
Saviliuske, hietakivi	10 <sup>-7</sup> – 10 <sup>-11</sup>	0,001 – 0,000001	< 10	12 – 26
Liuske	< 10 <sup>-8</sup>	< 0,001	1 – 10	
Rakoilematon, sementoitunut hiekkakivi	< 10 <sup>-8</sup>	< 0,001		
"Ehyet" syvä- ja metamorfiset kivet	< 10 <sup>-9</sup>	< 0,0001	< 5	