

**2B Pitkittäisharju
syvän veden tyyppi
ympäristöstään keräävä**

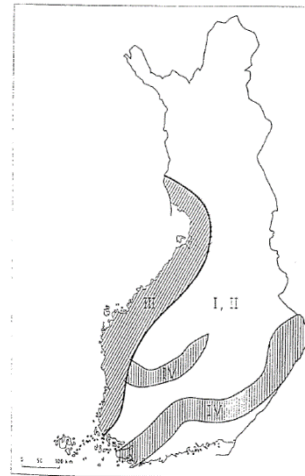
Sirkku Tuominen

sirkku.tuominen@syke.fi

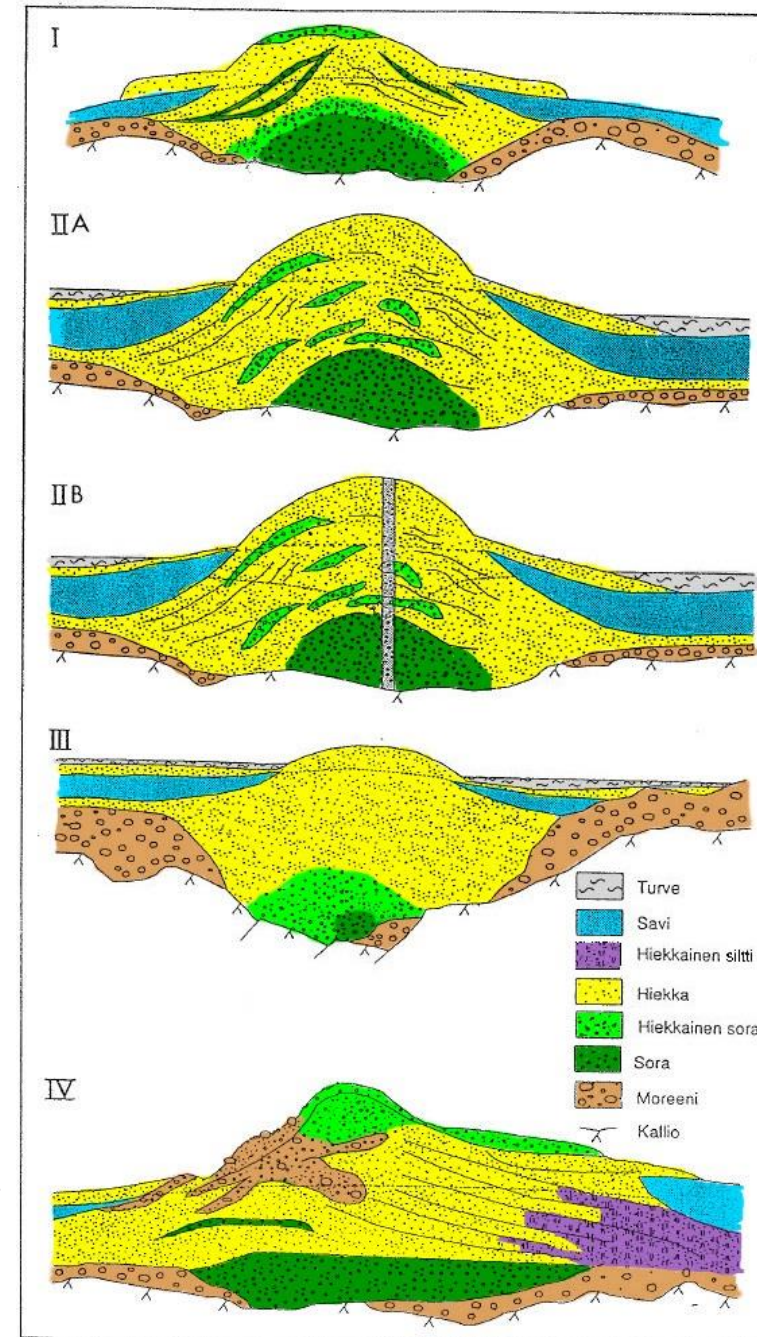
22.12.2020

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

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

2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

Syvään veteen kerrostuneille harjuille (tyypit 2A ja 2B) ominaisia ovat perättäisistä kummuista ja sianselän muotoisista epäyhtenäisistä selänteistä koostuvat jaksot. Soravaltainen aines esiintyy rinteiden suuntaan viettävinä kerroksina ja linsseinä.

Selänteitä ympäröivät lievealueet ovat matalia ja laaja-alaisia. Harjutyyppiä esiintyy alueilla, joilla mannerjäätikön reuna on päättynyt syvään veteen.

Hänninen ym. 1994 Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu

2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

Maastossa havaittava rakenne: Etelä-Suomessa tavattava erittäin yleinen harjutyyppi, jolle ovat tunnusomaisia perättäisistä kummuista ja sianselän muotoisista epäyhtenäisistä selännteistä koostuvat jaksot, joskin myöhemmät rantavoimat ovat useissa tapauksissa tasoittaneet harjun profiilia. Kumpuja ja selännteitä ympäröivät usein matalat, mutta verrattain laaja-alaiset, hiekasta koostuvat lievealueet. Havaintojen mukaan soravaltainen aines esiintyy kumpujen ja selännteiden ydin-osassa tai rinteiden suuntaan viettävinä kerroksina ja linsseinä. Tyypillistä on karkearakeisimman aineksen sijainti selännteiden ja kumpujen jäätikön puoleisessa proksimaaliosassa.

Pohjaveden pinnan alapuolinen rakenne: Syvän veden harjutyyppin poikkileikkauksessa on joskus havaittavissa samankaltaista horisontaalia kerroksellisuutta kuin matalan veden harjuissakin. Tyypillisempää harjuille kuitenkin on epäsäännöllinen kerroksellisuus monine rakenteineen ja paikoitellen huonosti lajittuneine osueineen. Kerrokset ovat usein rinteiden suuntaan kaltevat (kuperat) (Lundqvist 1979). Pohjaveden pinnan alapuolella harju koostuu yleensä hyvin lajittuneesta ja karkearakeisesta materiaalista. Mälkin (1979) tekemän arvion mukaan soran ja hiekan välinen suhde harjujen pohjoisissa poh-

javeden pinnan alapuolella on 4:6 (Niemelä 1979, Kujansuu & Niemelä 1990). Teräväselkäiset, kapeat harjut sisältävät suhteessa enemmän soralajitteita kuin loivapiirteiset, matalat harjuselännteet (Kurkinen & Niemelä 1990).

Harju on muodostunut usein suoraan kalliopohjalle tai joskus myös osittain tai kokonaan moreenille (Lundqvist 1979).

Pohjaveden virtauskuva: Ympäristöstään pohjavettä keräävän muodostuman pohjaveden pinta on ympäristöään alempana. Pohjaveden pinta on joko luonnostaan alemmalla tasolla tai sitä on keinotekoisesti alennettu esim. pumppaamalla. Tällaista pohjaveden virtauskuvaa sanotaan synkliiniseksi (Mälkki, 1972). Synkliinisessä virtauskuvassa pohjavettä virtaa harjumuodostumaan esim. sitä reunustavien siltti- tai savikerrosten alta. Tällöin muodostuman antoisuus saattaa ylittää varsinaisen muodostuman alueella muodostuvan pohjaveden määrän.

Siltti- ja savikerrosten alta ylioton seurauksen tuleva vesi on tyypillisesti suolaisempaa kuin luonnontilainen harjuvesi. Tämän vuoksi synkliinisten harjujen veden suolapitoisuus voi olla korkeampi kuin antikliinisten.

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

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

Kujansuu, R. & Niemelä, J. 1990. Maaperämuodostumat. Teoksessa Suomen kartasto. Vihko 123-126, Geologia. Maanmittaushallitus, Suomen Maantieteellinen Seura, Helsinki. ss. 9-10.

Kurkinen, I. & Niemelä, J. 1990. Maaperän raaka-ainevarat. Teoksessa Suomen kartasto. Vihko 123-126, Geologia. Maanmittaushallitus, Suomen Maantieteellinen Seura, Helsinki. ss. 21-23.

Mälkki, E. 1972. Hydrogeologia. Teoksessa Kauranne, L. K., Garde-meister, R., Korpela, K.,

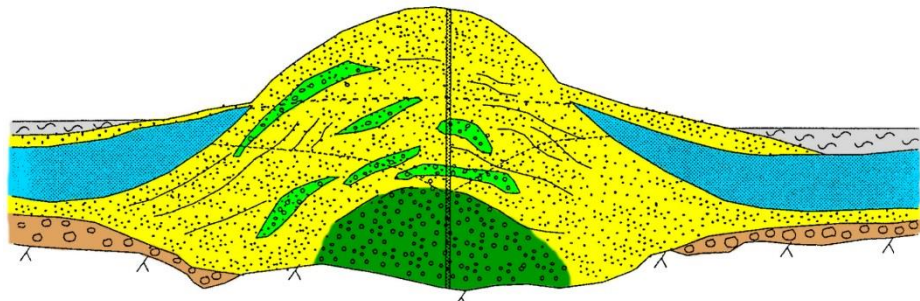
Mälkki, E. 1979. Ground-water flow velocity as an indicator of the permeability and internal structure of eskers. Vesientutkimuslaitoksen julkaisu 32. Vesihallitus, Helsinki. 42 s.

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

11b PITKITTÄISHARJU, syvän veden tyyppi ympäristöstään keräävä

- perättäisistä kummuista ja sianselän muotoisista epäyhtenäisistä selänneistä koostuvat jaksot
- ympärillä usein matalia, mutta verrattain laajoja lievealueita
- soravaltainen aines esiintyy kumpujen ja selänneiden ydinissä tai rinteiden suuntaan viettävinä kerroksina ja linssinä
- liiallinen vedenotto muuttaa virtauskuvausta ympäristöstään kerääviksi

reunavyöhyke | välivyöhyke | ydinvyöhyke | välivyöhyke | reunavyöhyke



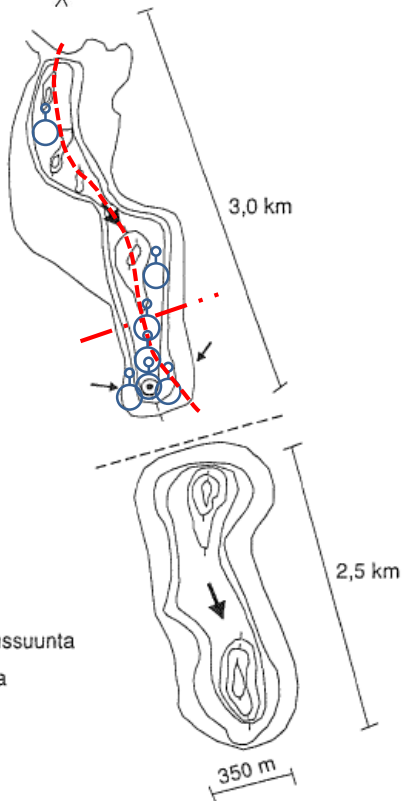
Tie pitkin muodostumaa

Tie muodostuman poikki

Pohjaveden havaintoputki

- Turve
- Savi
- Hiekka
- Hiekkainen sora
- Sora
- Moreeni

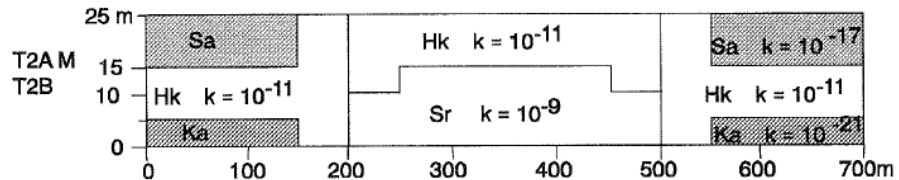
- Kallio
- Pohjavedenpinta nykyinen
- Pohjavedenpinta entinen
- Pohjavedenjakaja
- Pohjaveden paikallinen virtaussuunta
- Pohjaveden päävirtaussuunta
- Vedenottamo



2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

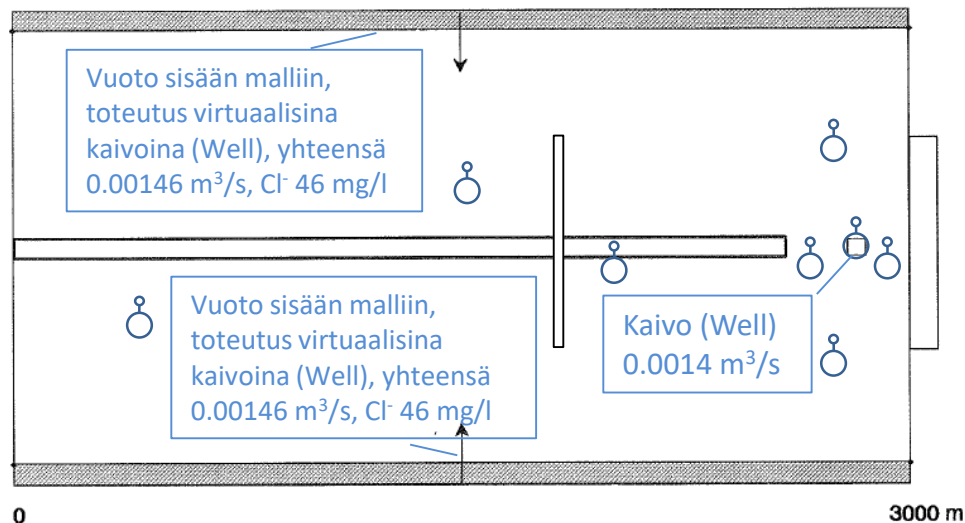
HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin kuvaus Tietoja MODFLOW-malliin



maalaji	k [m ²]	K [m/s]
Sa	1.00E-17	1.10E-10
Hk	1.00E-11	1.10E-04
Sr	1.00E-09	1.10E-02
Ka	1.00E-21	1.10E-14

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

T2BM, ympäristöstään keräävä



HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin reunaehdot

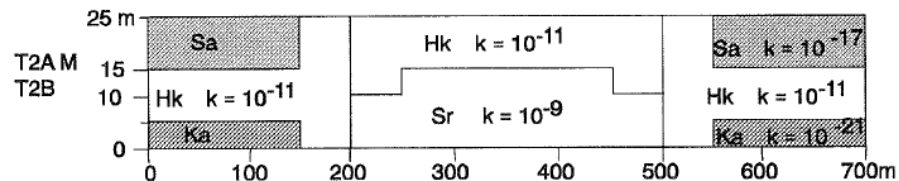
	T2BM
Dimensiot x, (m)	3000
y, (m)	700
z, (m)	25
Imeytymisalue, (m) (leveys)	375
Antoisuus, (m ³ /d)	1008
Veden otto, (%) = 0.015 m ³ /s	125/1 ottamo
Tausta Cl-pit, (mg/l)	2,8/46
Dispersiivisyys, α_1, α_t	75, 15
Solmupisteet (n_x, n_y, n_z)	51 x 24 x 5
Virtaama ulos muodostumasta (vakio-h/vuoto-reunojen kautta) ¹⁾	0,00013
Gredientti tien kohdalla ¹⁾	

¹⁾ Mallilla laskettu arvo

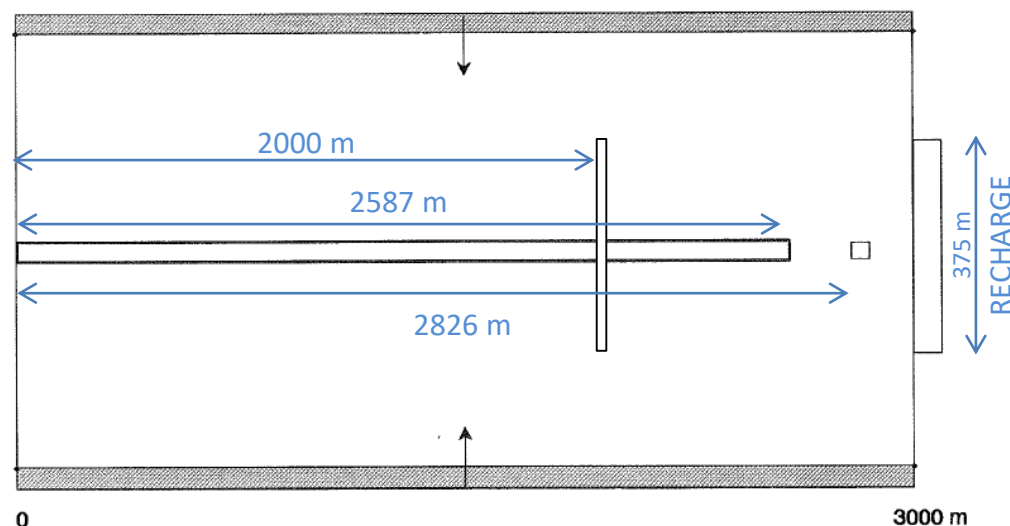
2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin kuvaus Tietoja MODFLOW-malliin



T2BM, ympäristöstään keräävä

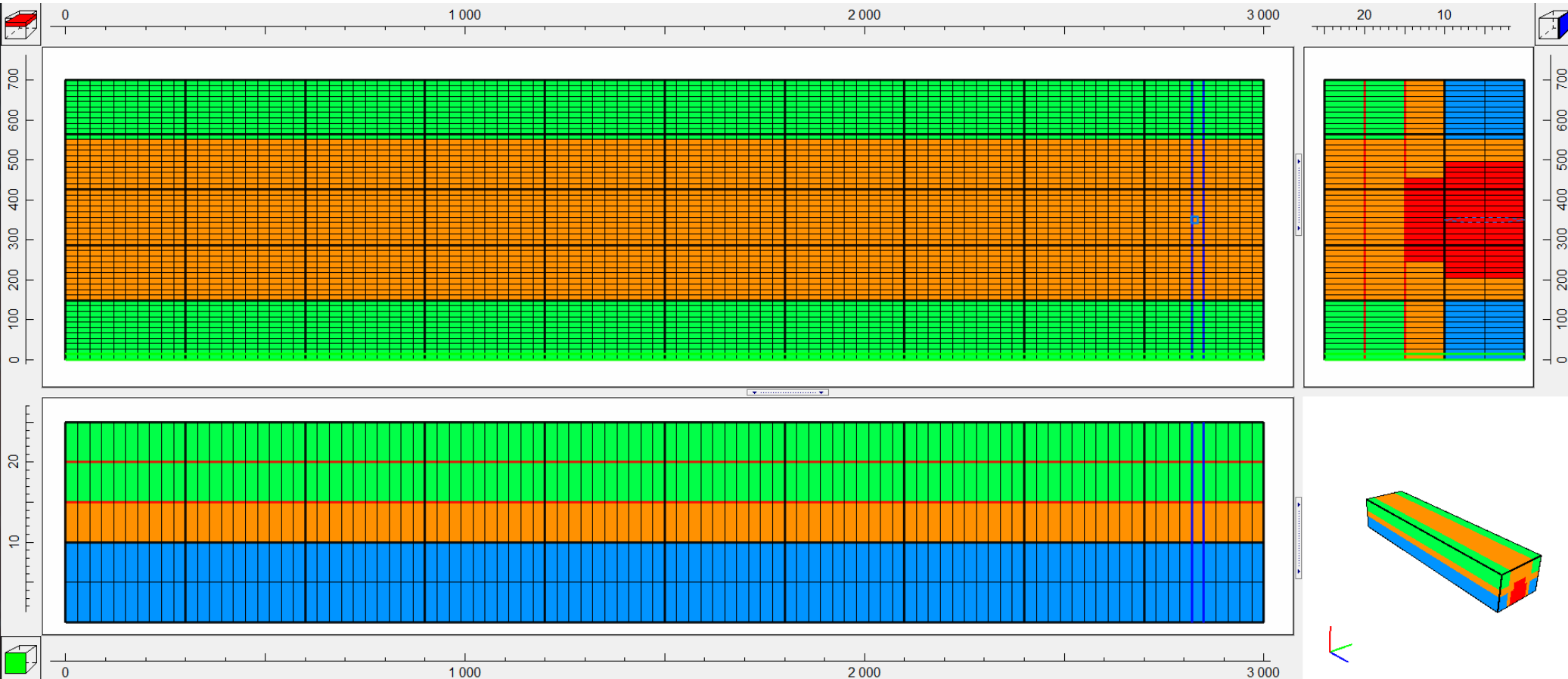


2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

ModelMuse-näkymä MODFLOW-malliin

maalaji	K [m/s]
Sa	1.10E-10
Hk	1.10E-04
Sr	1.10E-02
Ka	1.10E-14



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

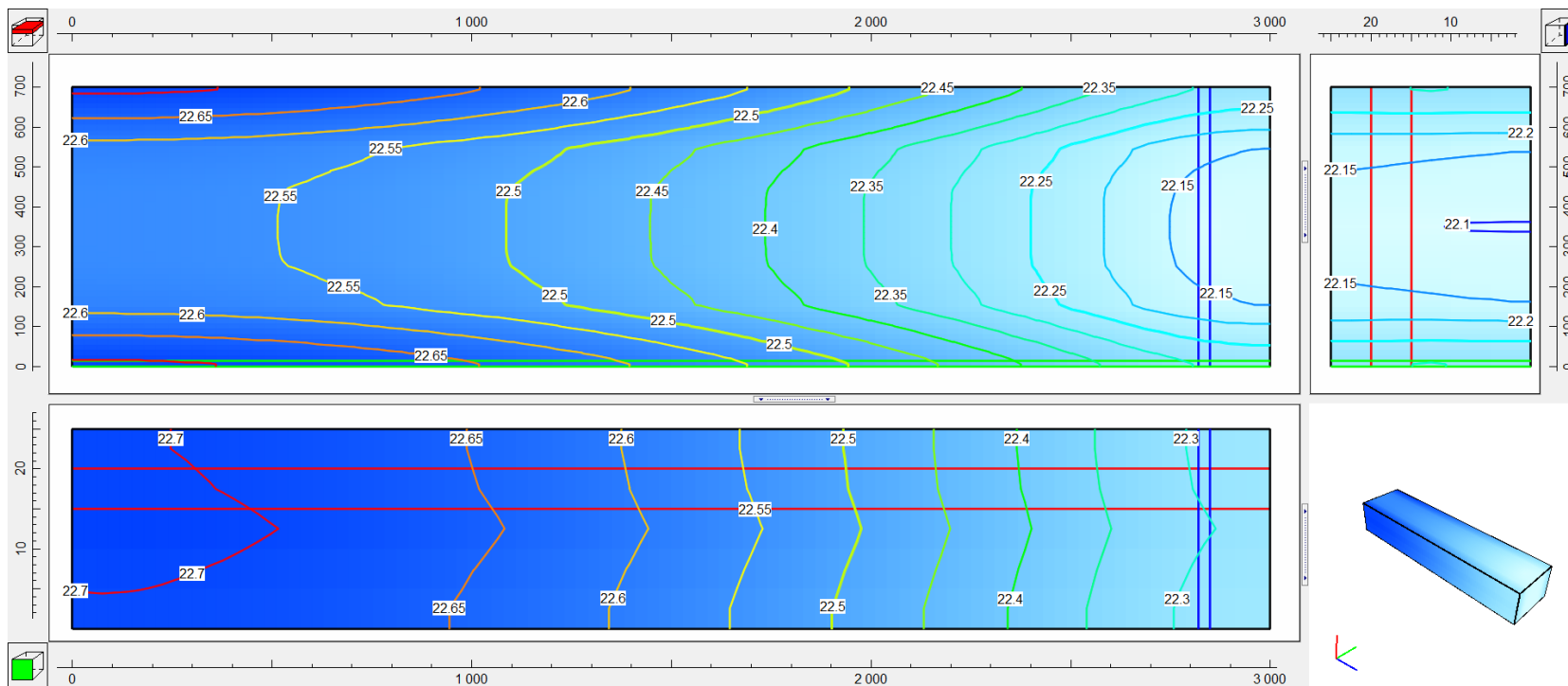
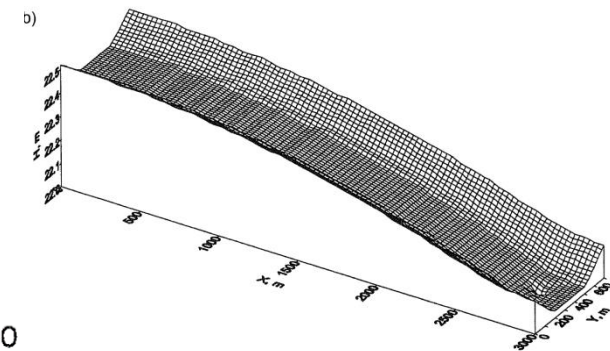
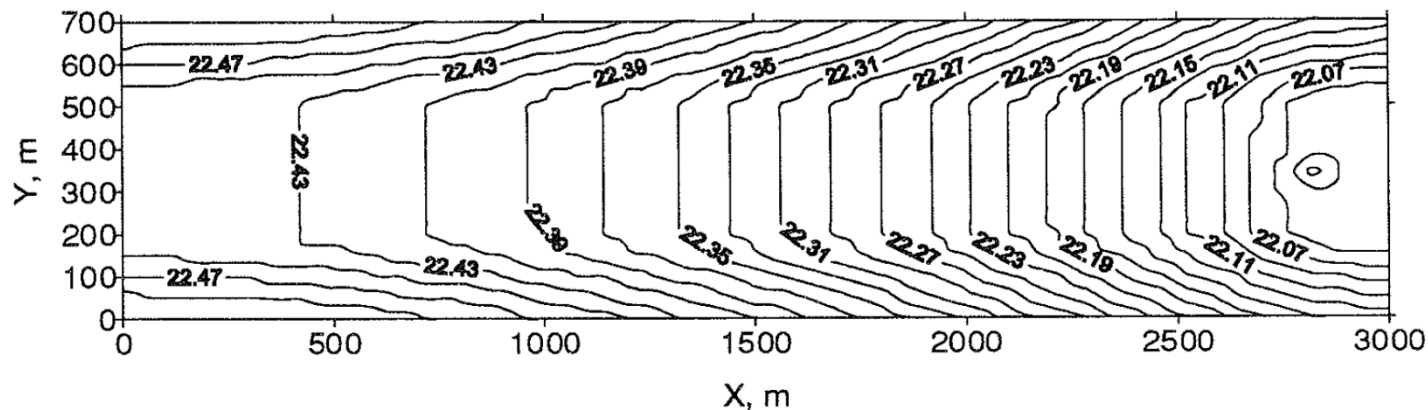
2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

HST3D

a)

T2BM, vedenotto 125 % antoisuudesta
H, m (z=15 m)



MODFLOW

HST3D

T2BM C, mg/l

Imeytyvä vesi: C=2,8 mg/l

Suotautuva vesi: C=46 mg/l

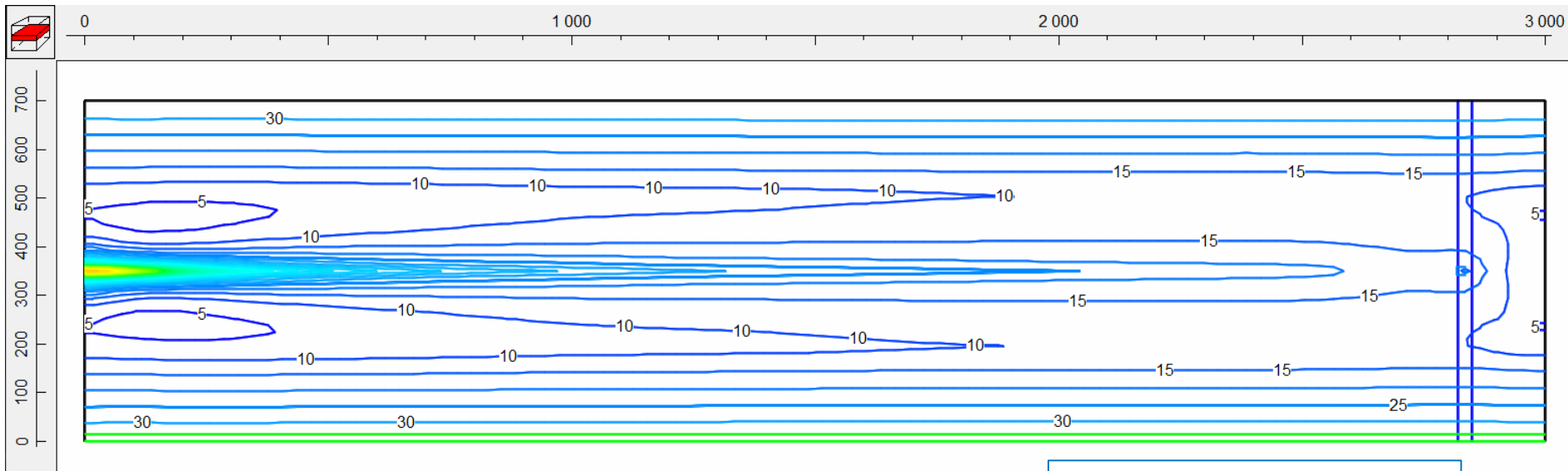
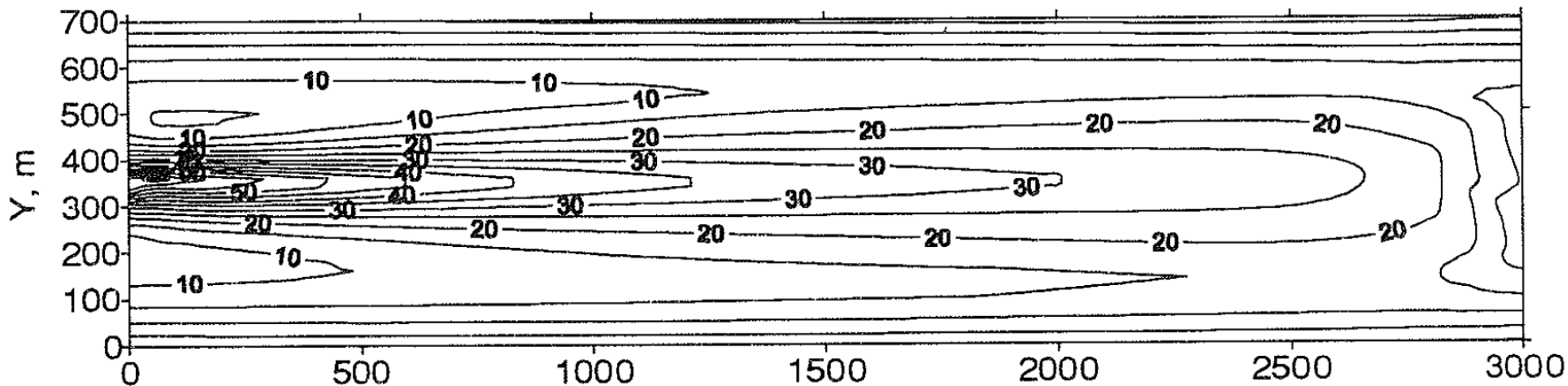
1992 : SI/ESI 1970-1992

2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

20 mg/l

a)



Cl⁻-pitoisuudet, z = 10...15 m

MODFLOW + MT3DMS

2B Pitkittäisharju

HST3D

T2BM C, mg/l

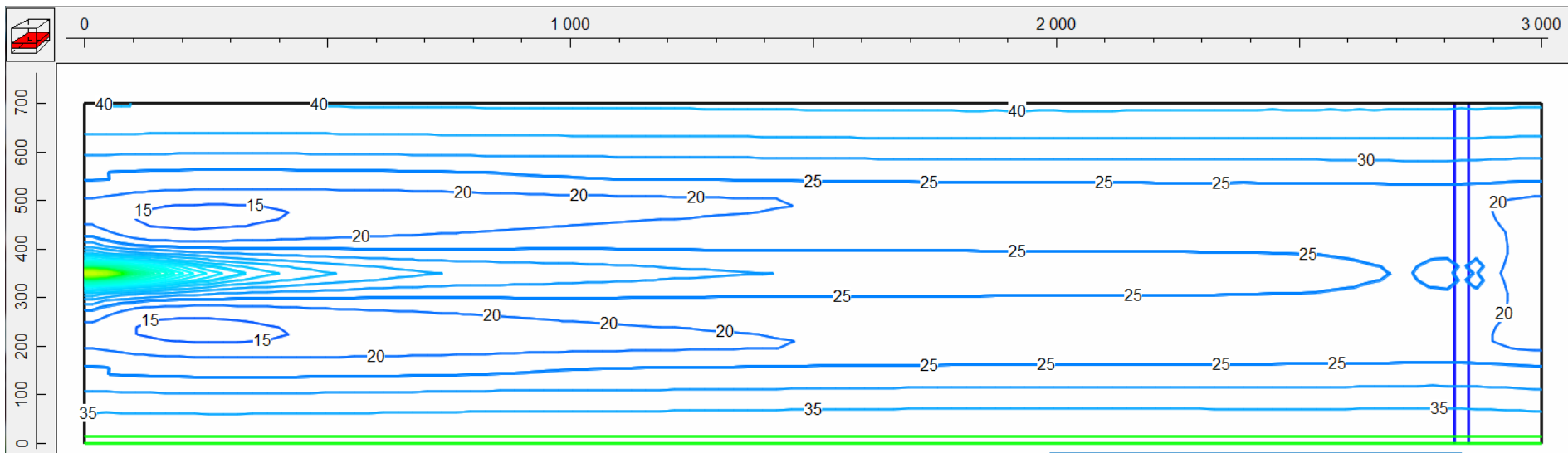
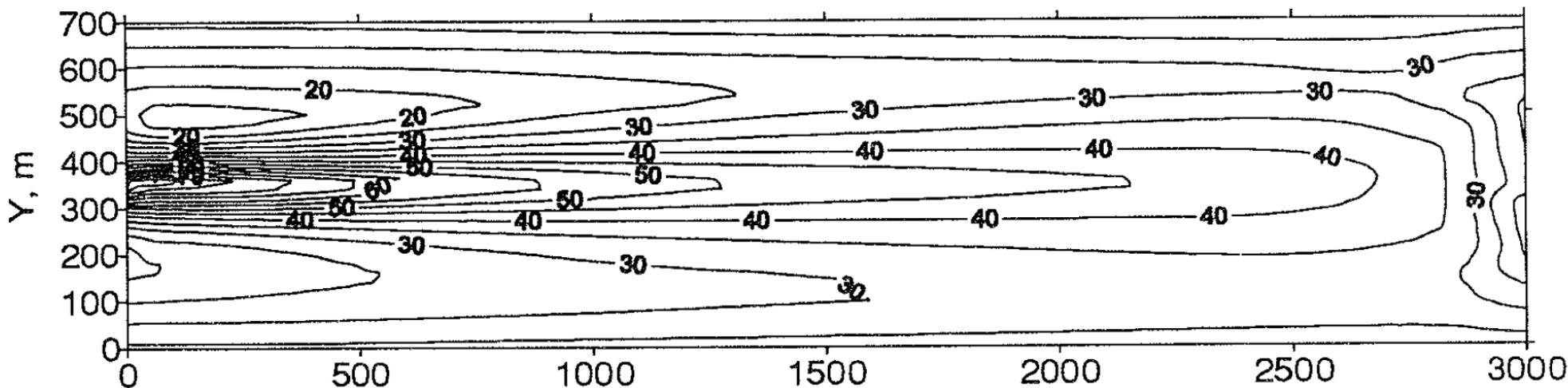
Imeytyvä vesi: C=2,8 mg/l

Suotautuva vesi: C=46 mg/l

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

2022 : SI/ESI 1970-2022 (1993-2022 9,63 t/kma)

36 mg/l



Cl⁻-pitoisuudet, z = 10...15 m

MODFLOW + MT3DMS

2B Pitkittäisharju

HST3D

T2BM C, mg/l

Imeytyvä vesi: C=2,8 mg/l

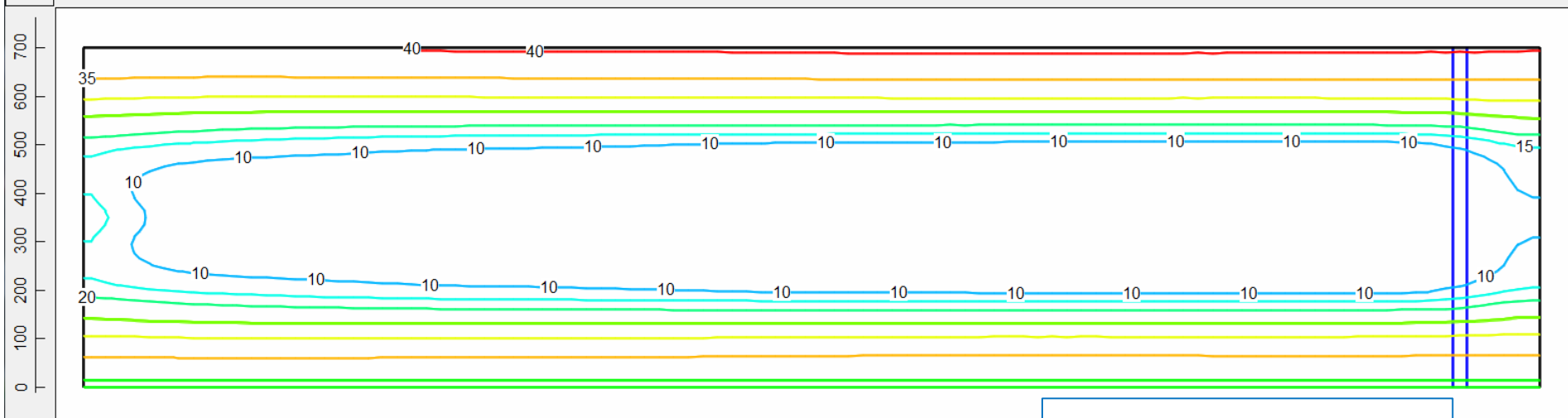
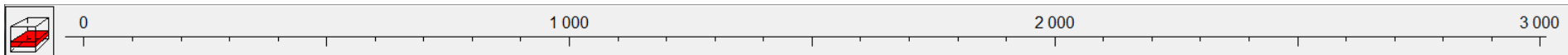
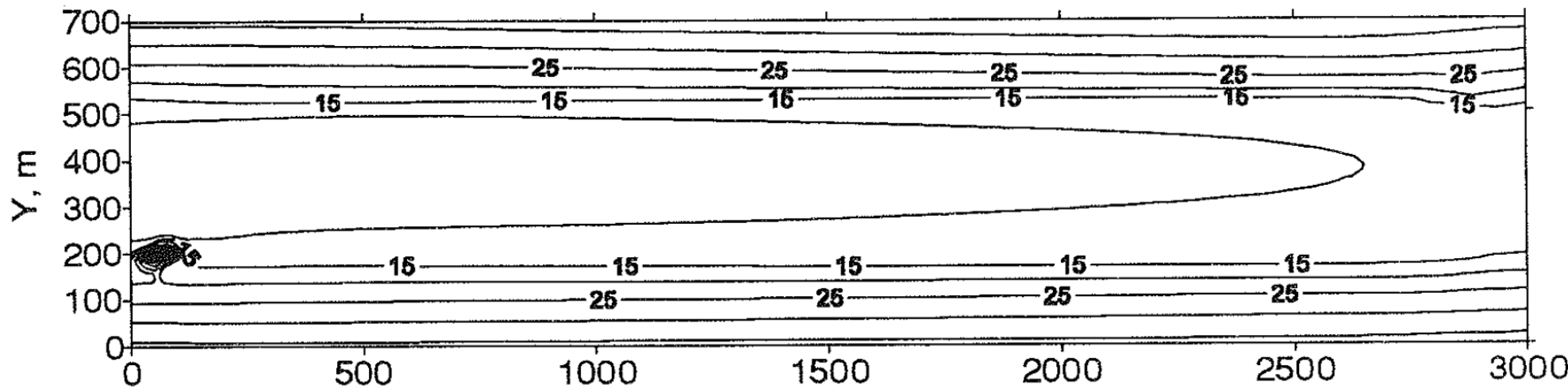
Suotautuva vesi: C=46 mg/l

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

c)

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

10 mg/l



Cl⁻-pitoisuudet, z = 10...15 m

MODFLOW + MT3DMS

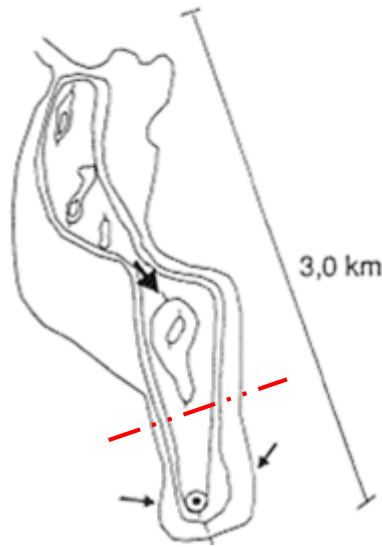
2B Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöstään keräävä

Tie muodostuman poikki

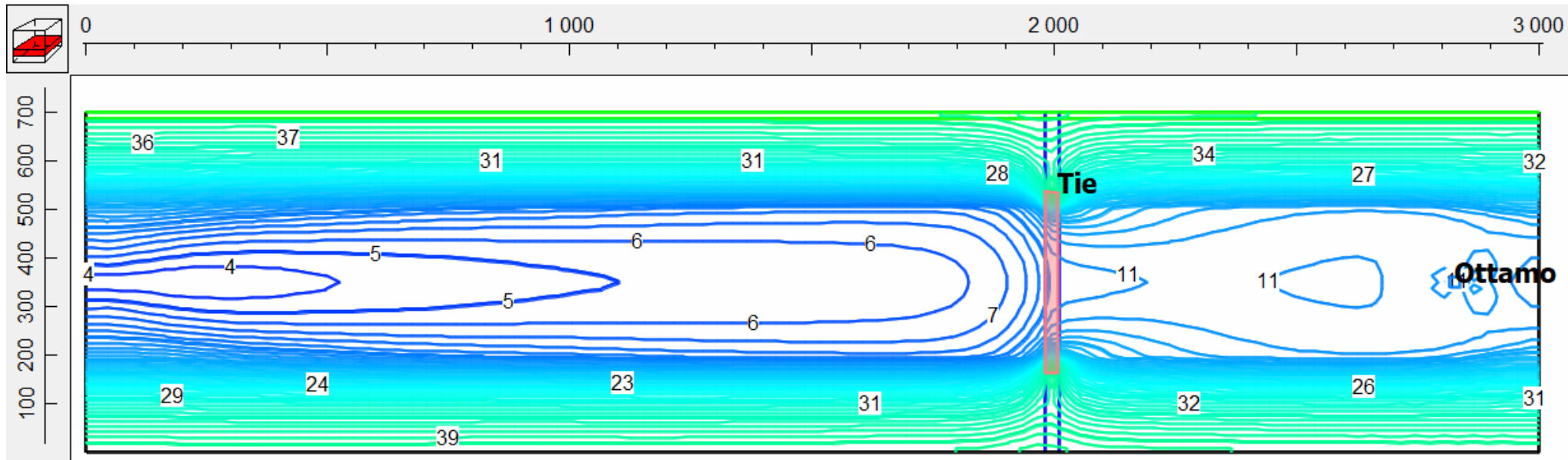
Imeytyvä vesi: $C=2,8$ mg/l

Suotautuva vesi: $C=46$ 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

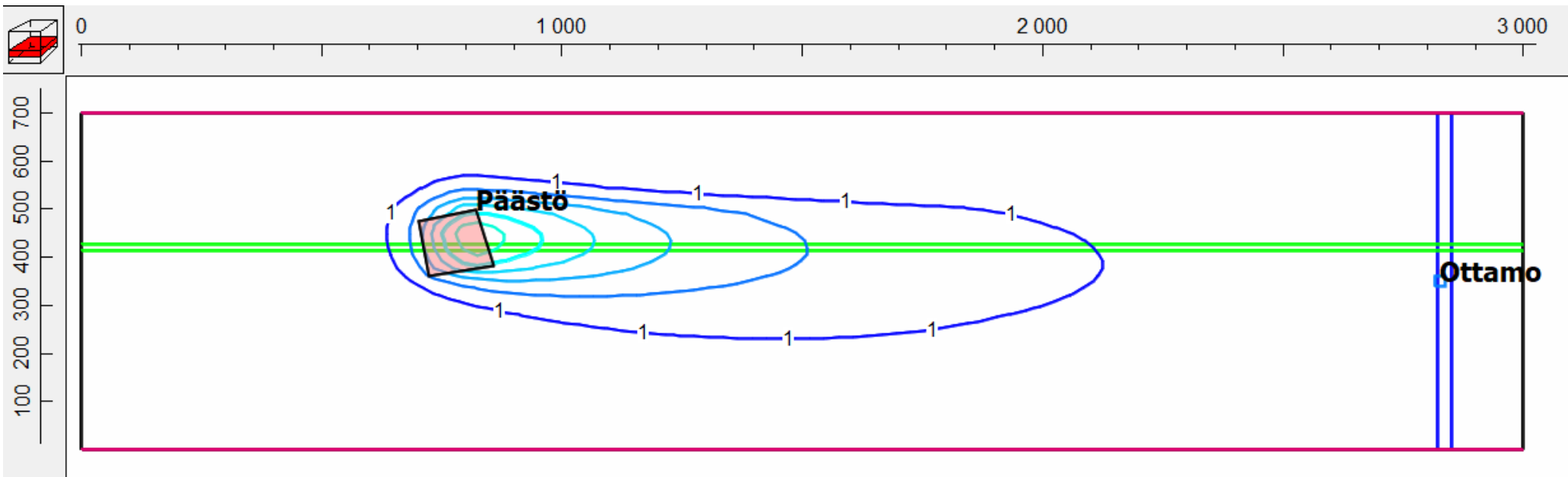
Cl^- -pitoisuudet, $z = 5 \dots 10$ m

2B Pitkittäisharju

syvä veden tyyppi, ympäristöstään keräävä
Geneerinen päästölähde



MODFLOW-mallin laskemat aineen X pitoisuudet
Advektio ja dispersio, päästöalueella imeytyvän veden pitoisuus
100, päästö kesto 15 v



MODFLOW + MT3DMS

Cl⁻-pitoisuudet, $z = 5 \dots 10$ 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 [m^2])

MODFLOW:n keskeisin virtauskuvaan vaikuttava parametri on hydraulinen vedenjohtavuus (K [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 [m/s]

k = ominaisvedenjohtavuus [m^2]

ρ = nesteen tiheys [kg/m^3]

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

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

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

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

ν = nesteen kinemaattinen viskositeetti [m^2/s]

Vedenjohtavuudet tyyppimalleissa

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

Huokoisuudet tyyppimalleissa

YHTEENVETO MALLIEN MAALAJIKOHTAISISTA TIEDOISTA

Huokoisuus ¹⁾	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 ⁻¹]	[m d ⁻¹]		
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 ⁻¹]	[m d ⁻¹]		
Karstikalkkikivi	1 – 10 ⁻³	100000 – 100	5 – 50	
Huokoinen vulkaaninen kivi	1 – 10 ⁻⁸	100000 – 0,001		21
Basaltti	10 ⁻¹ – 10 ⁻¹⁰	10000 – 0,00001	5 – 50	
Karkea-keskikarkea hiekkakivi	10 ⁻¹ – 10 ⁻⁵	10000 – 1	< 20	
Huokoinen hiekkakivi	10 ⁻³ – 10 ⁻⁶	100 – 0,1	5 – 30	
Hienorakeinen hiekkakivi	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁹	1 – 0,0001	< 10	21
Keskikarkearakeinen hiekkakivi				27
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	