

**2A Pitkittäisharju
syvän veden tyyppi
ympäristöön purkava**

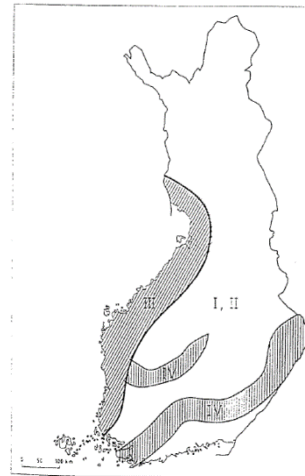
Sirkku Tuominen

sirkku.tuominen@syke.fi

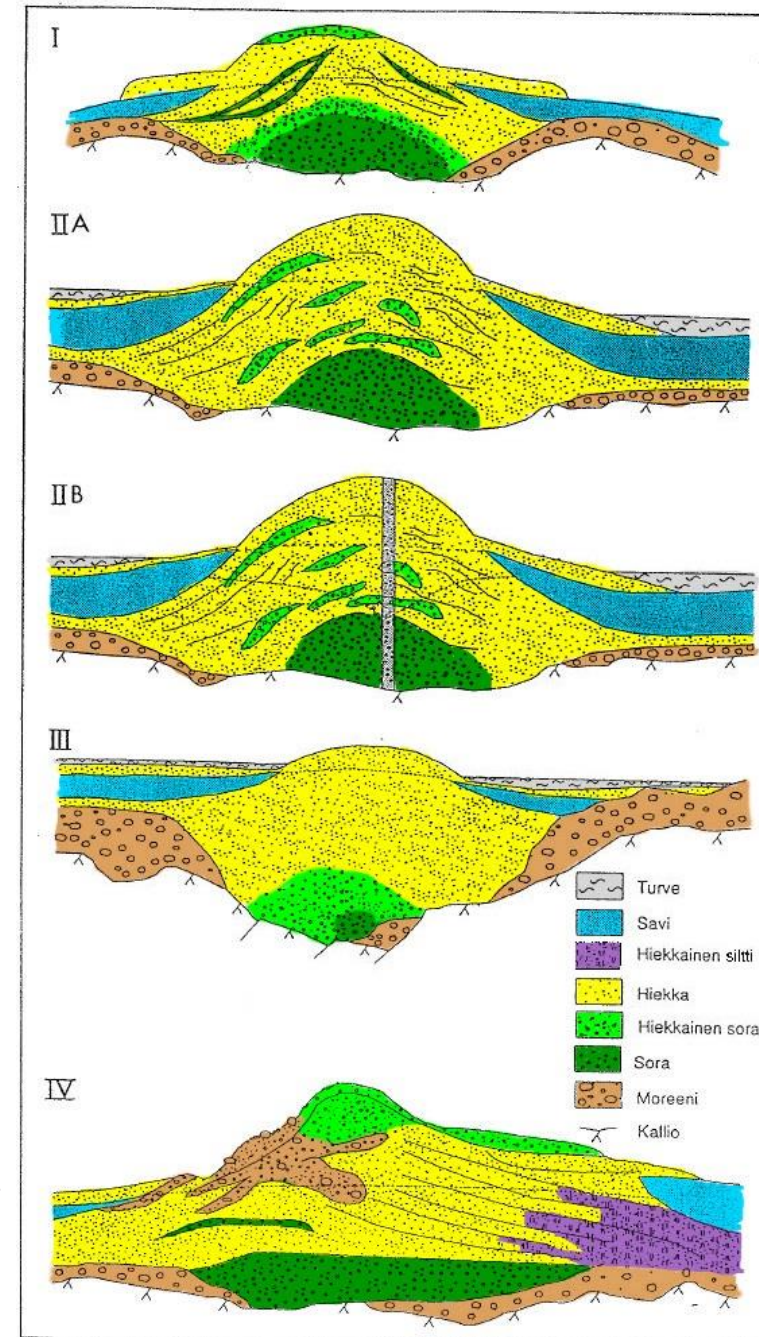
22.12.2020

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

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



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



l = muodostumisalueen leveys
 L = muodostumisalueen pituus
 b = pohjavesikerroksen maksimipaksuus
 $* l$ = koko muodostuman leveys (tehokkaasti muodostumisalueen leveys = $0.8 \times l$)

Hänninen ym. 1994 Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu

2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

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. Harjutyyppejä esiintyy alueilla, joilla mannerjäätikön reuna on päättynyt syvään veteen.

Hänninen ym. 1994 Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – tilastollinen tarkastelu

2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

Maastossa havaittava rakenne: Etelä-Suomessa tavattava erittäin yleinen harjutyypin, 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 harjutyypin 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 pohjaveden 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: Muodostumatyyppin pohjaveden virtauskuva on antikliininen eli samanlainen kuin edellisen tyyppimuodostuman yhteydessä esitetty virtauskuva. Moreeni- ja kallioalueilla sijaitsevilla harjualueilla on tyypillisesti runsaasti vedenjakajia, jolloin pohjavesiesiintymät jakautuvat pieniksi altaiksi ja purkautumista tapahtuu monella taholla. Savialueiden harjut sijaitsevat tasaisilla ja loivasti viettävillä alueilla, jolloin vedenjakajia on vähän ja pohjavesialtaat laajoja (Pönkkä 1981).

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

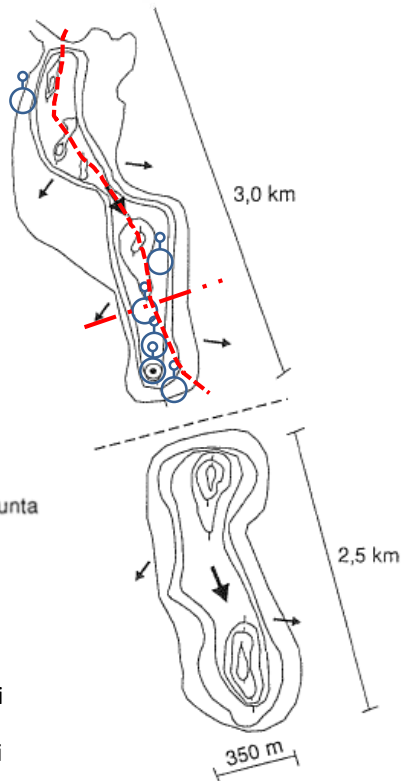
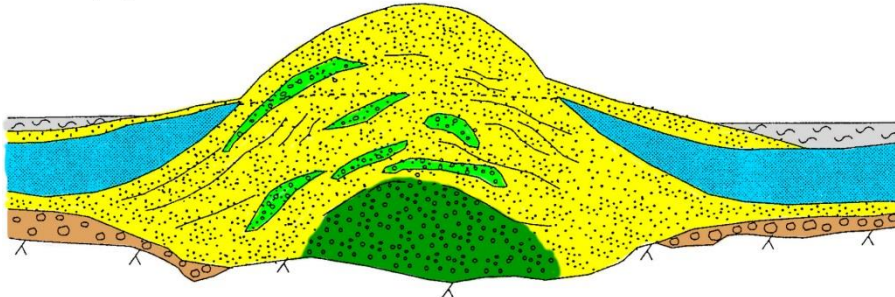
Niemelä, J. 1979. Suomen sora- ja hiekkavarojen arviointiprojekti 1971-78. Geologian tutkimuslaitos, Tutkimusraportti N:o 42, Espoo. 119 s.

Pönkkä, L. 1981. Suomen eteläpuoliskon glasifluvialiset muodostumat pohjavesiesiintyminä. Helsingin yliopisto, Helsinki. 44 s.

Ila PITKITTÄISHARJU, syvän veden tyyppi ympäristöön purkava

- perättäisistä kummuista ja sianselän muotoisista epäyhtenäisistä selännteistä koostuvat jaksot
- ympärillä usein matalia, mutta verrattain laajoja lievealueita
- soravaltainen aines esiintyy kumpujen ja selännteiden ydinosisissa tai rinteiden suuntaan viettävinä kerroksina ja linsseinä

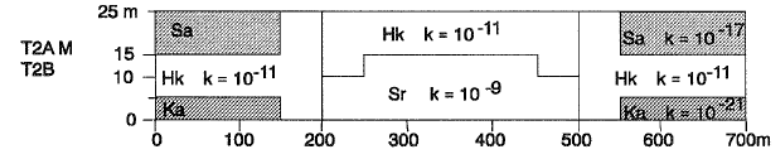
reunavyöhyke | väliyvyöhyke | ydinvyöhyke | väliyvyöhyke | reunavyöhyke



2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin kuvaus Tietoja MODFLOW-malliin

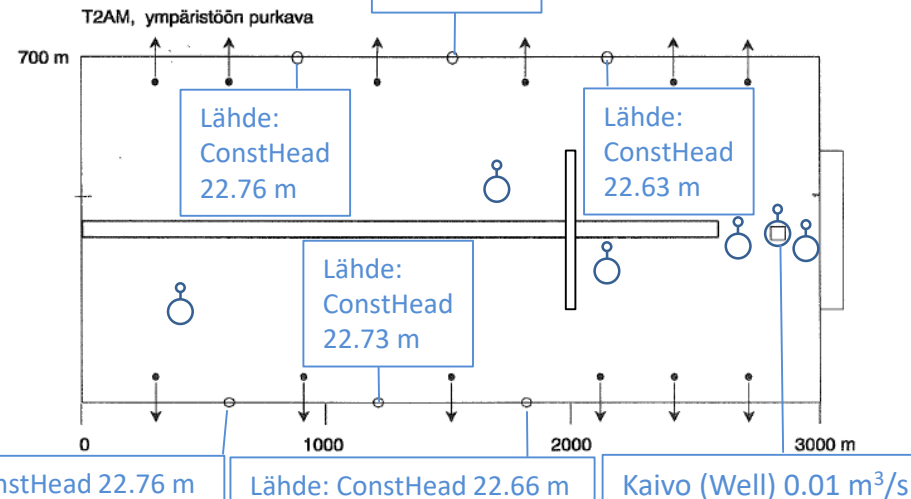


Vedenjohtavuuden muunnos

maalaji	HST3D	MODFLOW
	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



HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin reunaehdot

	T2AM
Dimensiot x, (m)	3000
y, (m)	700
z, (m)	25
Imeytymisalue, (m) (leveys)	350
Antoisuus, (m ³ /d)	1008
Veden otto, (%) $\approx 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$	90/1 ottamo
Tausta Cl-pit, (mg/l)	2,8
Dispersiivisyys, α_1, α_t	75, 15
Solmupisteet (n_x, n_y, n_z)	51 x 20 x 5
Virtaama ulos muodostumasta (vakio-h/vuoto-reunojen kautta) ¹⁾	10%/0,02%
Gredientti tien kohdalla ¹⁾	0,000093

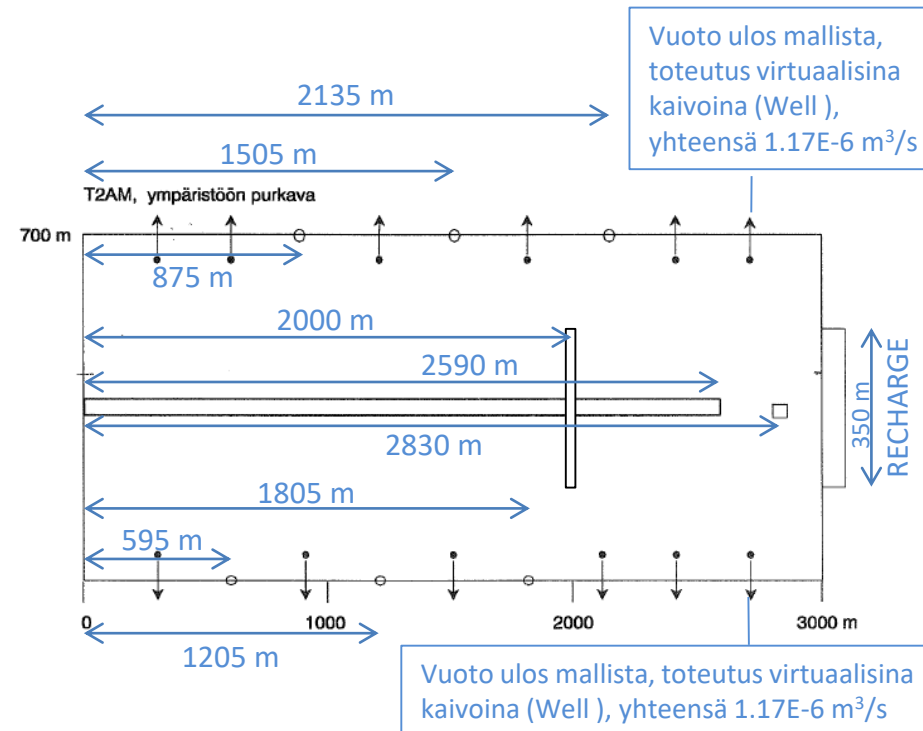
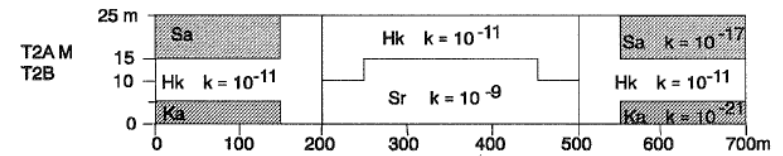
¹⁾ Mallilla laskettu arvo

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

HST3D-ohjelmalla tehdyn mallin kuvaus Tietoja MODFLOW-malliin



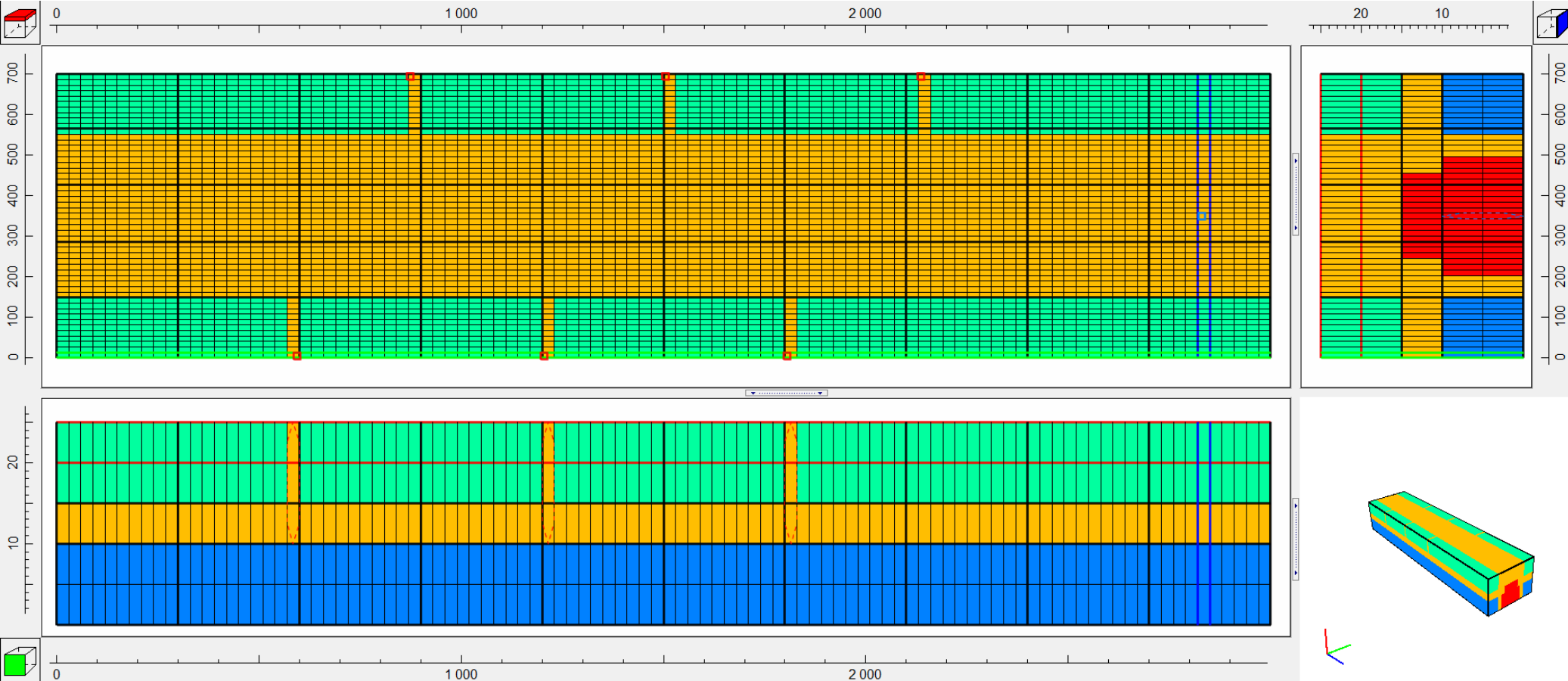
Vuoto ulos mallista, toteutus virtuaalisina kaivoina (Well), yhteensä $1.17E-6 \text{ m}^3/\text{s}$

2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

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

Mallien laskemat pohjavedenpinnan korkeudet

2A Pitkittäisharju

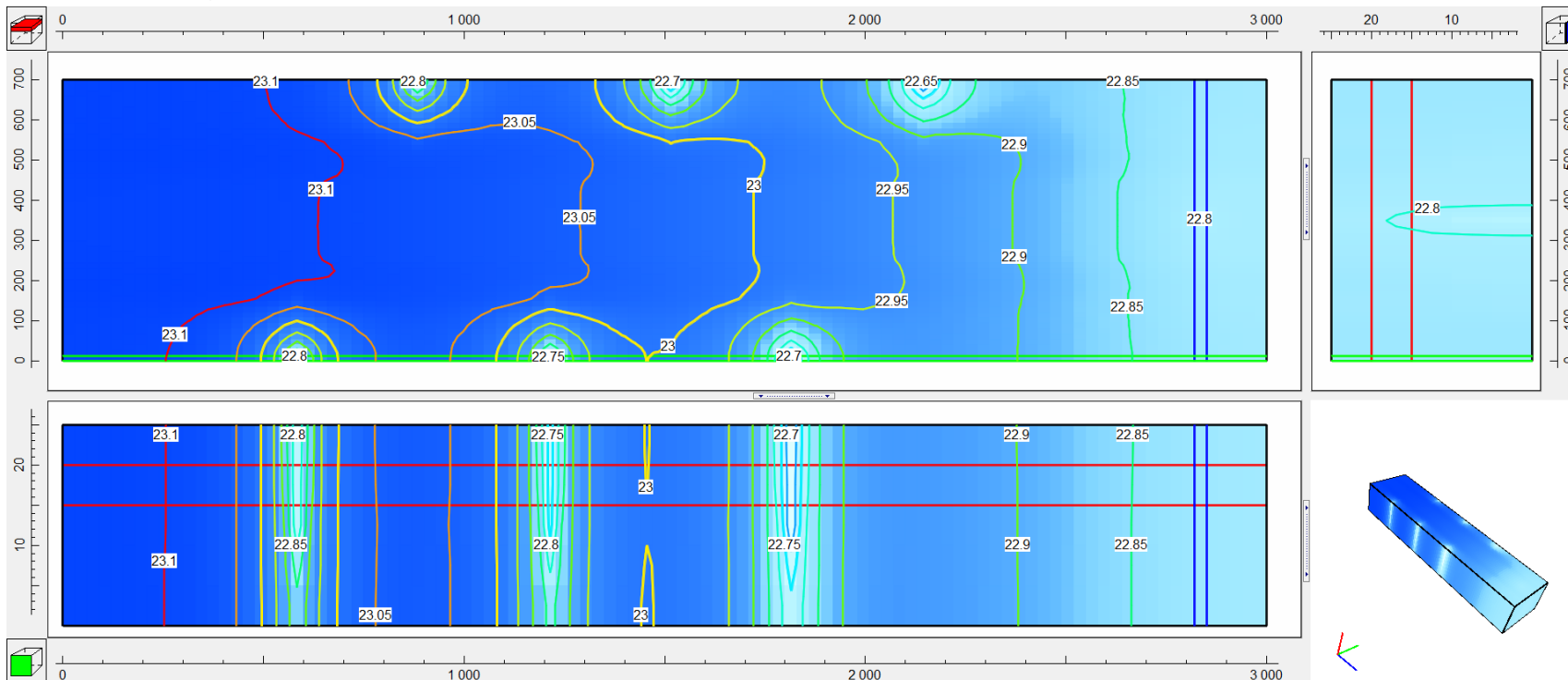
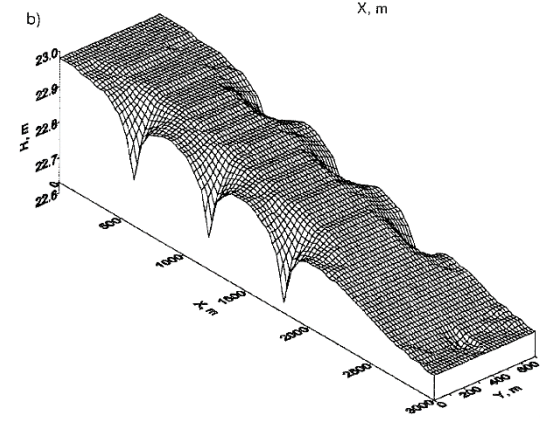
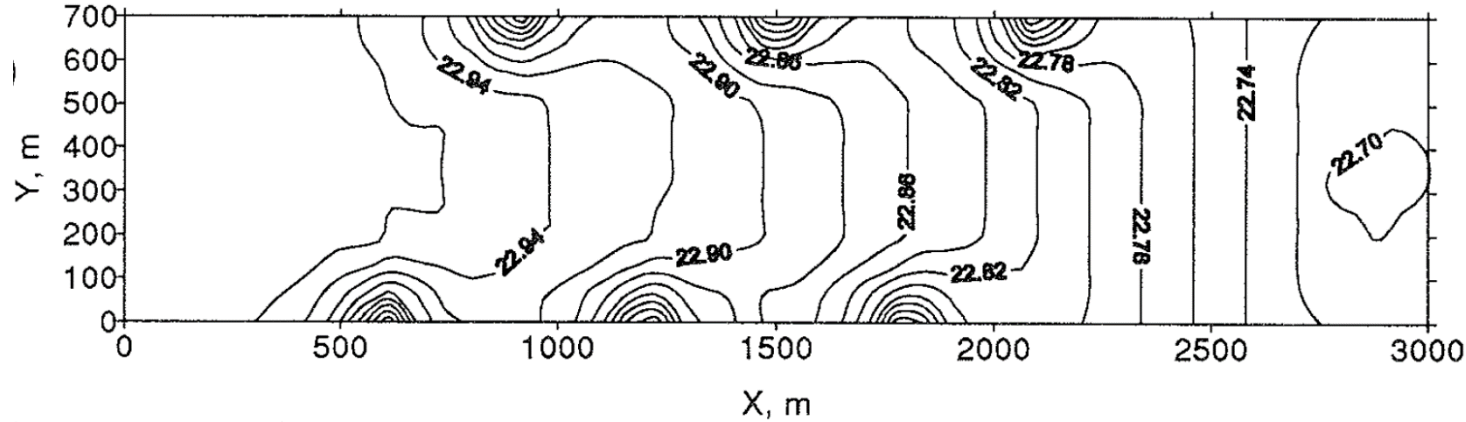
syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

T2AM, vedenotto 90% antoisuudesta

H, m (z=15 m)

HST3D



Mallien laskemat kloridipitoisuudet

Advektio ja dispersio, 1970–1992 suolaushistoria

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

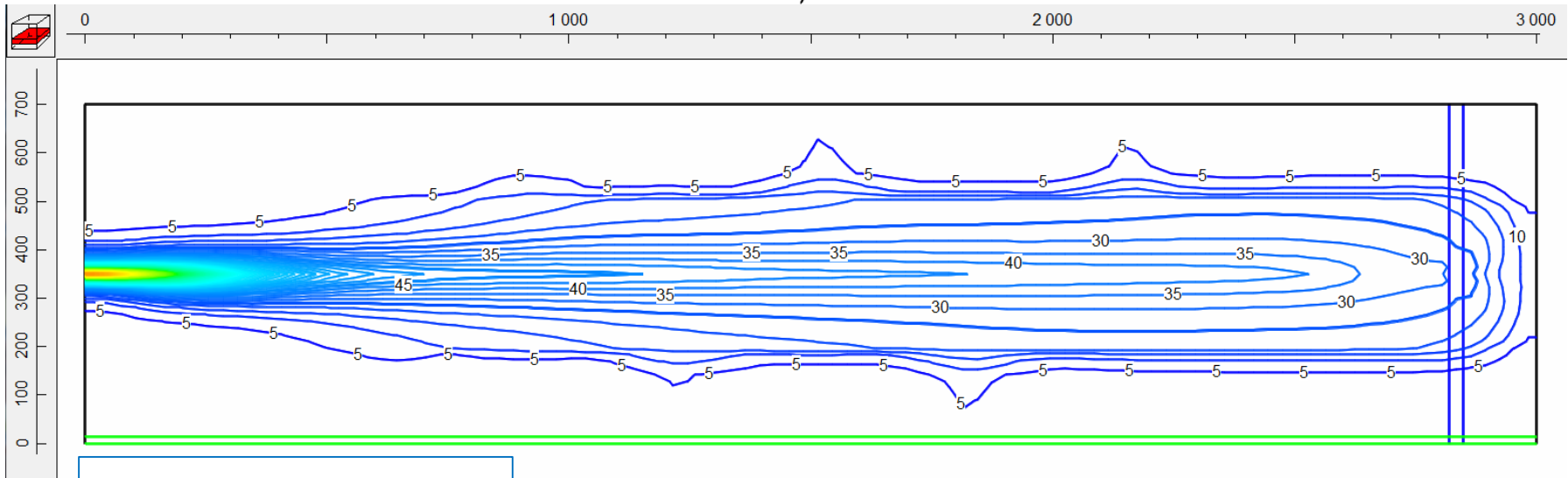
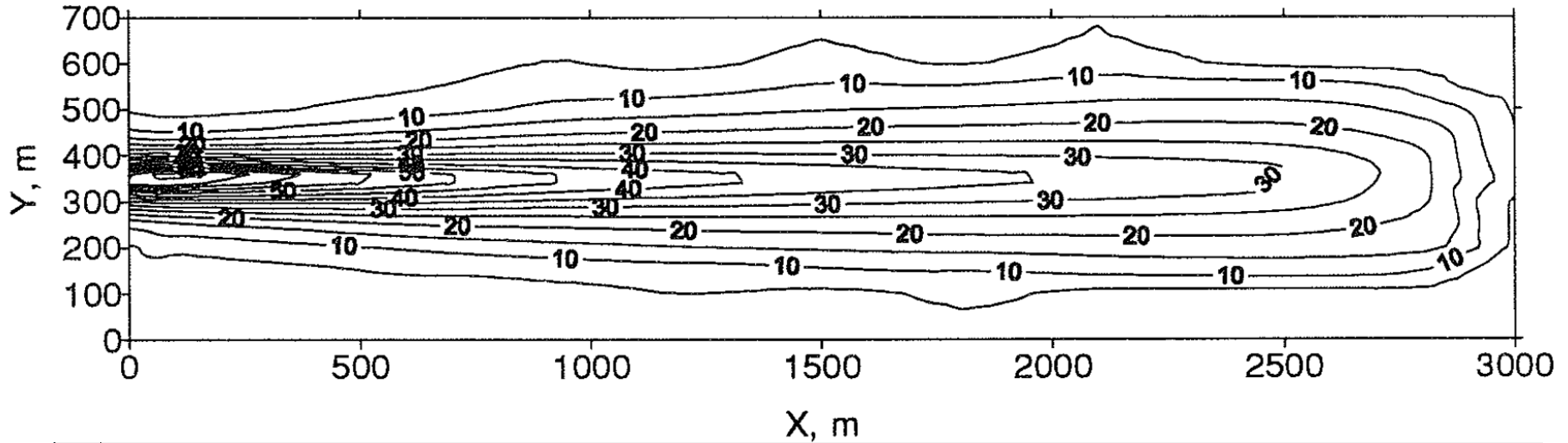
2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

1992 : SI/ESI 1970-1992

HST3D

20 mg/l



MODFLOW + MT3DMS

Cl⁻-pitoisuudet, z = 5...10 m

Mallien laskemat kloridipitoisuudet

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

2A Pitkittäisharju

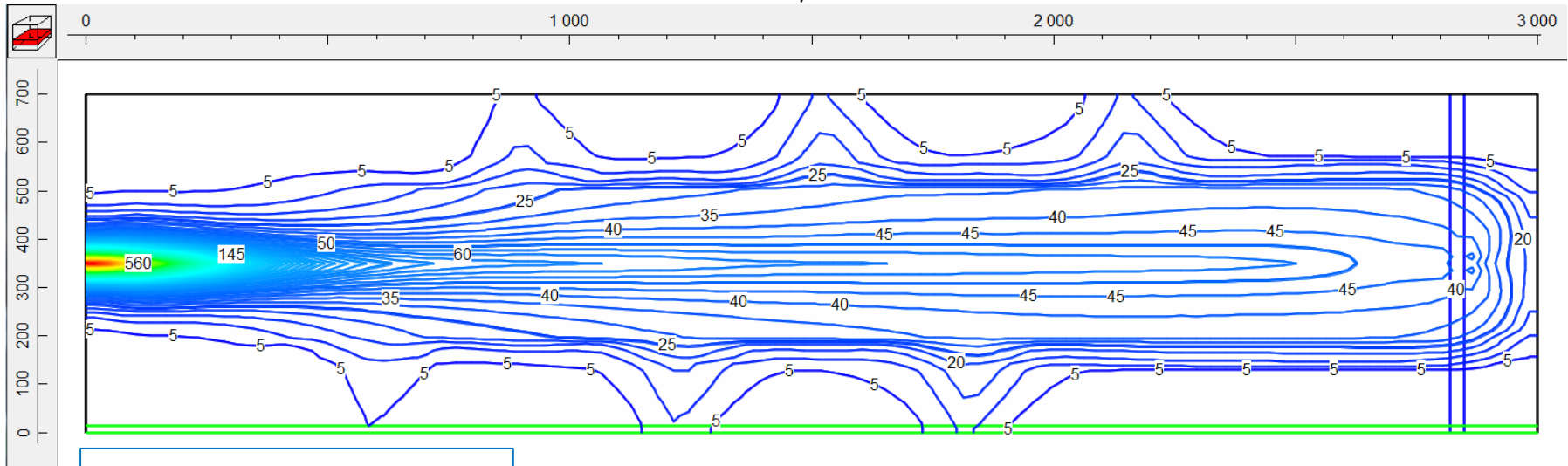
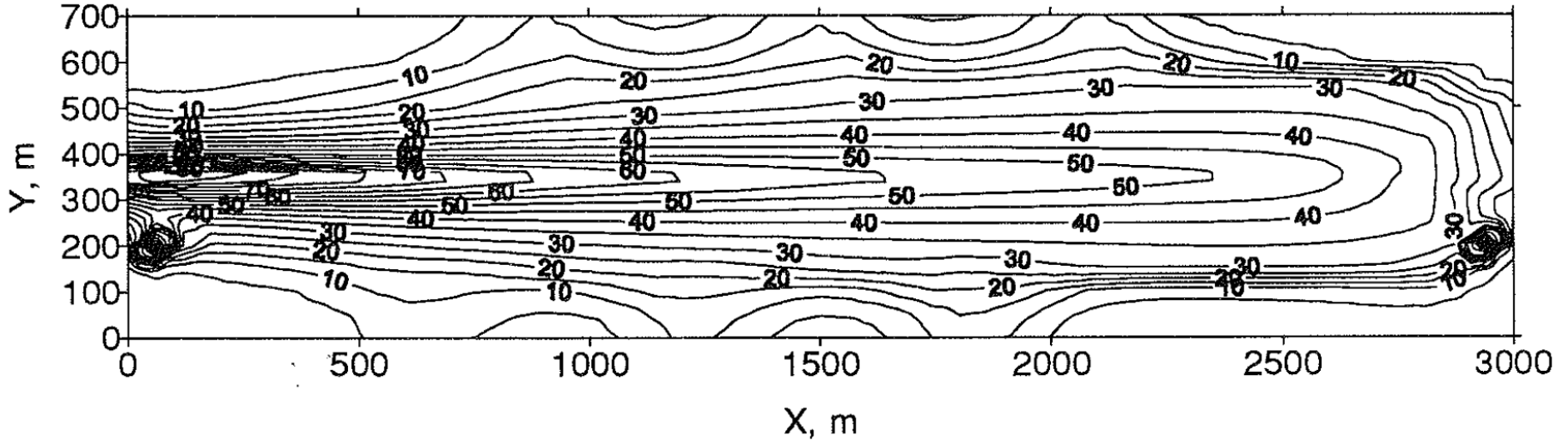
syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

2022 : S/ESI 1970-2022

HST3D

36 mg/l



MODFLOW + MT3DMS

Cl⁻-pitoisuudet, z = 5...10 m

Mallien laskemat kloridipitoisuudet

Advektio ja dispersio, 1970–1992 suolaushistoria, jonka jälkeen ennuste, jossa 30 vuotta suolausta 0 t/km/vuosi

2A Pitkittäisharju

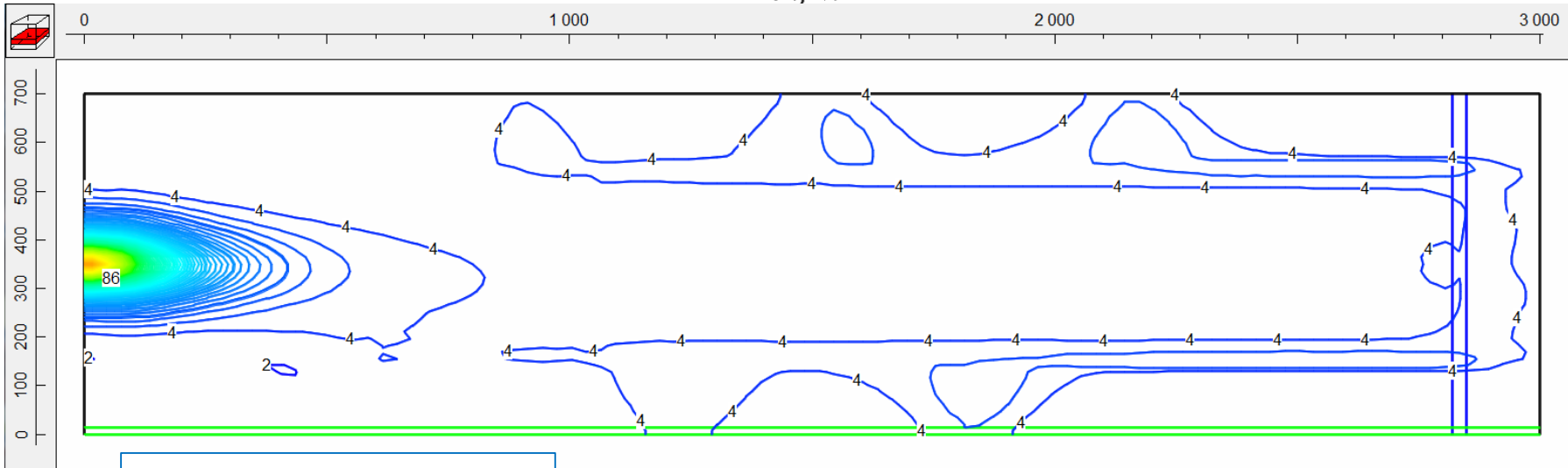
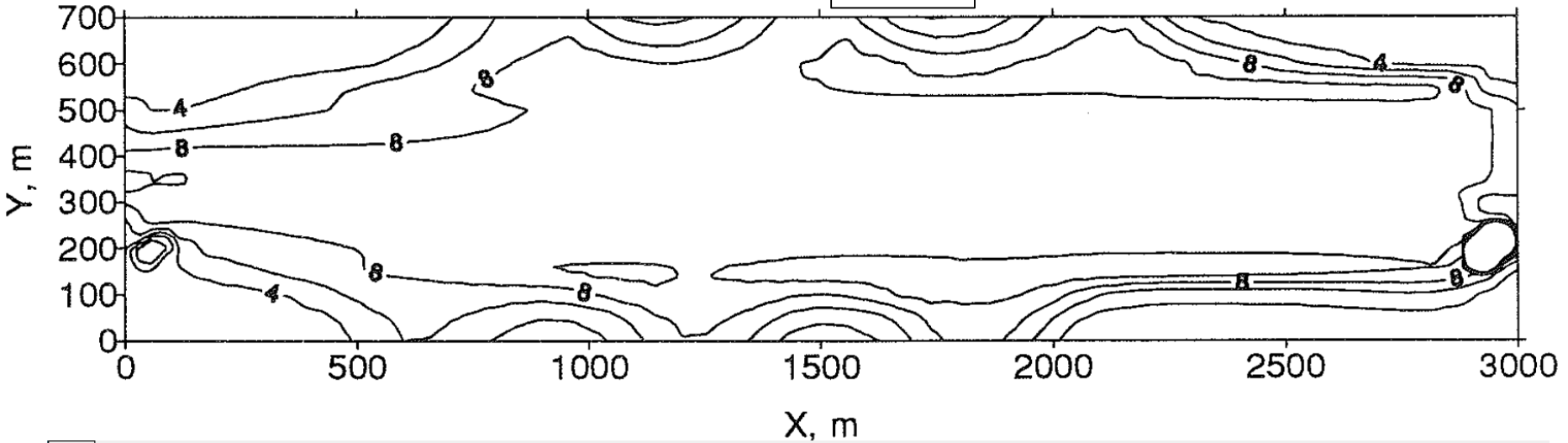
syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava

Niemi ym. 1994 Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa

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

HST3D

9 mg/l



MODFLOW + MT3DMS

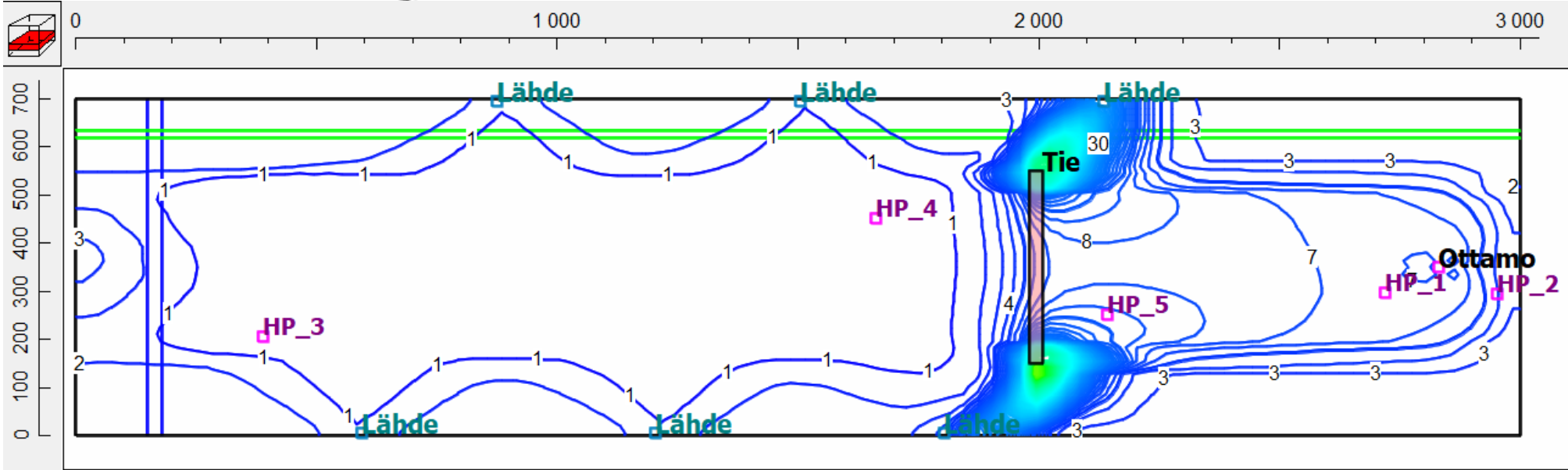
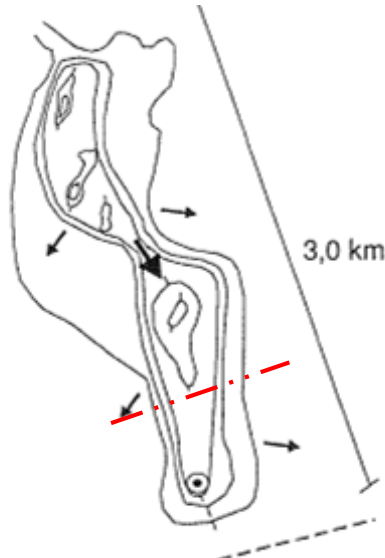
Cl-pitoisuudet, z = 5...10 m

MODFLOW-mallin laskemat kloridipitoisuudet

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

2A Pitkittäisharju

syvän veden tyyppi, ympäristöön purkava
Tie muodostuman poikki

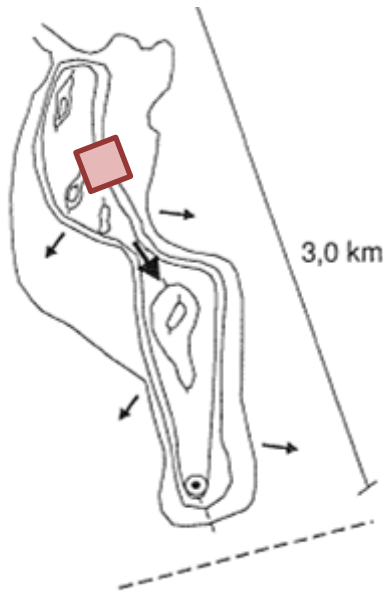


MODFLOW + MT3DMS

Cl⁻-pitoisuudet, z = 5...10 m

2A Pitkittäisharju

syvä veden tyyppi, ympäristöön purkava
Geneerinen päästölähde

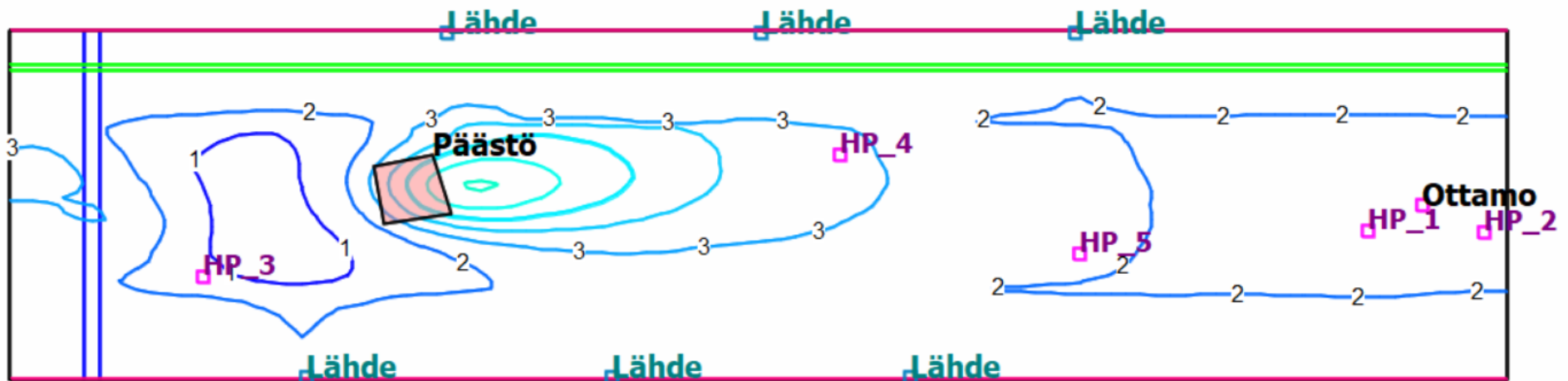


MODFLOW-mallin laskemat aineen X pitoisuudet
Advektio ja dispersio, päästöalueella imeytyvän veden pitoisuus
100, päästö kesto 15 v



0 1 000 2 000 3 000

100 200 300 400 500 600 700



MODFLOW + MT3DMS

Cl⁻-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 [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	