

Petäjäveden vesikriisi ratkaistiin porakaivoilla

JORMA MÄKELÄ

” Tiistaina 1. lokakuuta Petäjäveden Syrjäharjun vedenottamolta tuli automaattinen hälytys. Vedestä bakteereja ja epäpuhtauksia poistava uv-lamppu ilmaisi, että ongelmia oli yhtäkkiä moninkertaisesti tavanomaista enemmän.

Aamulla oli satanut rankasti, pitkän kuivuuden jälkeen.

Rankkasateen seurauksena pintavettä oli päässyt kaivoihin, joista vesi pumpataan kunnan vesijohtoverkostoon. Onneksi oli vielä virka-aika. Jo tunnin päästä vedenottamon pumpput oli sammutettu. Saastunut vesi saatiin paineella ulos.

Pahin oli vältetty: juomavesi ei pilaantunut. Mutta puolet vesilaitoksen vedenotokapasiteetista oli nyt pois pelistä.”

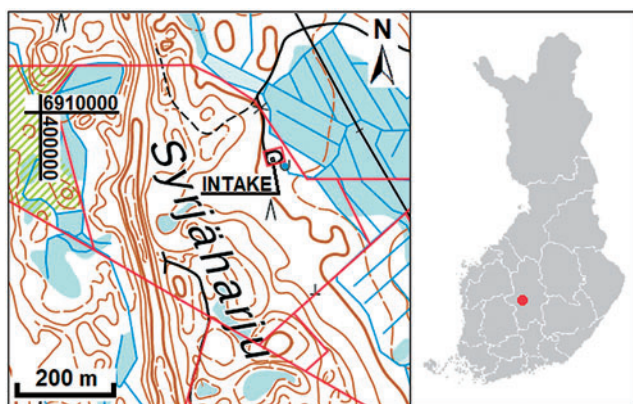
Näin kirjoitti Petäjäveden talousvesikriisistä Helsingin Sanomat 8.12.2019 otsikolla Veden loppu. Asia oli laajasti esillä myös muissa tiedotusvälineissä. Kunnan päävedenottamo Syrjäharjulla jouduttiin sulkemaan ja lopulta poistamaan käytöstä, kun siitä saatava talousvesi ei täyttänyt laatukriteereitä useista huoltoyrityksistä huolimatta. Kokonaan talousvesi ei Petäjävedeltä lopunut, sillä vettä saatiin kahdesta muusta vedenottamosta. Vedenoton lisäämisen seurauksena vedenlaatu

kuitenkin heikkeni myös näillä ottamoilla, minkä takia jouduttiin antamaan vedenkeittotokehotus asukkaille. Keskustaajaman vedenkäyttö (400 m³/vrk) oli lisäksi puolitettava. Vesikriisi oli syntynyt.

Syrjäharjun vedenottamo

Syrjäharjun ottamo rakennettiin hyvätuottoisen lähteen varaan vuonna 1993 (KSv 1986, KSu 1996). Lähde sijaitsee Syrjäharjun itälaitteella, johon harjumuodostuman pohjavedet pääosin virtaavat purkautuen lähteinä ja laaja-alaisesti suotautumalla (kuva 1). Alueen kallioperä on porfyryista graniittia.

Rakennusvaiheessa lähdesilmäke avattiin varovasti, täytettiin kivillä ja kivisellä soralla ja suojattiin tiiviillä materiaalilla niin, ettei lähteestä näkynyt maanpinnalle mitään. Lähteestä



Kuva 1. Syrjäharjun pohjavedenottamon sijainti harjumuodostuman itäreunassa.

Figure 1. Location of the groundwater intake on the eastern flank of the Syrjäharju esker.

vedettiin yhdysputki alapuolelle rakennettuun betonipohjaiseen kuilukaivoon, johon vesi virtasi omalla paineellaan. Hyvälaatuista lähdevettä pumpattiin kaivosta alkaloinnin ja UV-käsittelyn jälkeen keskustaajaman talousvedeksi keskimäärin 250 m³/vrk. Ylimäärä vedestä purkautui kaivon ylivuotoputkesta alapuoliseen ojaan, johon oli rakennettu mittapato virtaaman seuraamiseksi. Lähdekaivo ehti olla käytössä 26 vuoden ajan ennen vedenottamon sulkemista.

Vesipulaan haetaan ratkaisua

Vesikriisin puhjettua kunta otti yhteyttä Ely-keskukseen ja yhdessä ruvettiin etsimään asiaan mahdollisia ratkaisuja. Syrjäharjun ottamolta oli Ely-keskus hakenut vesinäytteet vain kuukausi aiemmin. Lähdevesi oli tuolloin ollut hyvälaatuista (taulukko 1). Vedenlaatu-muutokset (humus, kiintoaine, bakteerit) viittasivat ongelmiin laajemmalti lähdekaivon ympäristössä. Kaivon ja sen ympäristän saneerausta pidettiin hankalasti toteutettavana ja epävarmana ratkaisuna tilanteeseen. Ottamalueen maaperä oli pohjavesiselvityksissä (KS ely 2015a) todettu huonosti vettä johtavaksi, eikä tavanomaisen kuilu- tai putkikaivon rakentamista vedenottamolle pidetty mahdollisena. Yhdysvesijohdon rakentaminen Jyväskylän suuntaan ja uuden vedenottamon rakentaminen Kytöharjulle (KSely 2015b) olivat vireillä, mutta niistäkään ei olisi apua vesipulaan ainakaan puoleen vuoteen. Niinpä Ely-keskus esitti kallioporakaivojen rakentamista Syrjäharjun vedenottamon läheisyyteen. Niiden tuottotavoitteiksi asetettiin 100 m³/vrk hyvälaatuista pohjavettä.

Keski-Suomen kallioporakaivoista

Porakaivojen mediaanituotto on Keski-Suomessa niin kuin muuallakin Fennoskandian

kiteisen kallioperän (pl. hiekkakivet) alueella hieman alle 20 m³/vrk (Banks *et al.* 2010). Keski-Suomessa yksi kymmenestä porakaivosta tuottaa vettä vähintään 100 m³/vrk ja prosentti kaivoista ≥ 240 m³/vrk (Mäkelä 2012). Nämä lukemat perustuvat kaivojen porausten yhteydessä tehtyihin lyhytaikaisiin havaintoihin. Ne eivät kuvaa kaivojen todellista pitkäaikaista tuottoa, joka – varsinkin suurituottoisilla kaivoilla – on koepumppausten perusteella keskimäärin puolet pienempi (Mäkelä 1993).

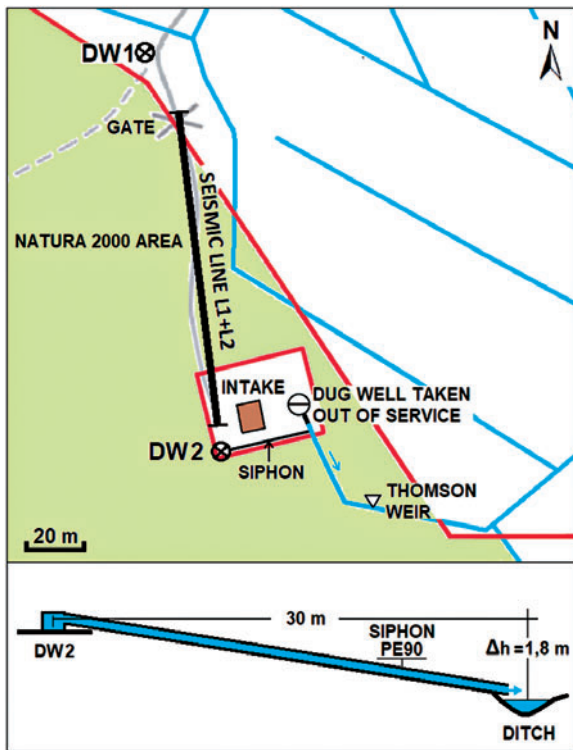
Vesilaitosten vedenlaadulle asetetut raja- ja enimmäisarvot (STM 2017) ylittyvät Keski-Suomeen poratuilla kaivoilla seuraavasti: mangaani 55 %:lla kaivoista, rauta 40 %, radon 33 %, pH 23 %, bakteerit 19 %, fluoridi 16 %, uraani 13 % ja hapettuvuus 6 % (n = 437–1782, tiedot K-S Elyn kaivorekisteri).

Edellä olevan perusteella on selvää, että Syrjäharjun porakaivoille asetetut tuotto- ja laatu tavoitteet olivat kunnianhimoisia. Toisaalta ajateltiin, että kaivojen sijainti harjumuodostuman laiteella lisäisi niiden onnistumismahdollisuuksia, mikäli niiden kautta saataisiin yhteys Syrjäharjun pohjavesivyöhykkeeseen. Onnistuessaan kaivot olisivat myös nopeasti käyttöön otettavissa.

Seismiset taittumisluotaukset

Keskeisimmän pohjatiedon porausten suunnitteluun tarjosivat Ely-keskuksen tekemät seismiset taittumisluotaukset. Kaksi peräkkäistä linjaa oli luodattu vedenottamon luona aiempien pohjavesiselvitysten yhteydessä (kuva 2; KSely 2015a). Luotauksin oli selvitetty maaperän laatua ja paksuutta sekä kalliopin- nan syvyyttä ja rikkonaisuutta. Ely-keskuksella on käytössään 12-kanavainen Geometrics ES-1225 vasaraluotain (Mäkelä 1989).

Luotausten mukaan kalliopinta on vedenottamon portin luona noin 14 metrin sy-



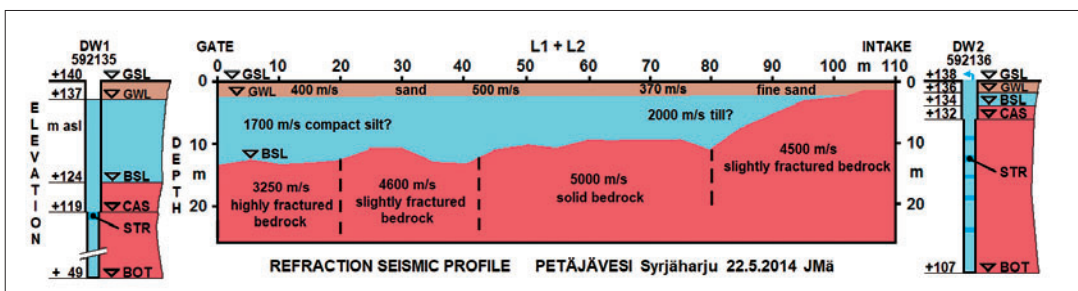
Kuva 2. (Yllä) Käytöstä poistettu lähdekaivo, seisminen linja L1+L2 ja porakaivot DW1 ja DW2 Syrjäharjulla. Natura 2000 -alue merkitty vihreällä. (Alla) Lapon periaate ja mitat.

Figure 2. (Above) Spring water collection well taken out of service, seismic line L1+L2 and drilled wells DW1 and DW2 in Syrjäharju. Natura 2000 area in green. (Below) The principle and dimensions of the siphon.

vyydellä maanpinnasta (kuva 3). Kallio-pinta nousee selvästi ottamon suuntaan. Vedenottamolla kallio on enää parin metrin syvyydessä. Portin luona (pinta)kallio on seismisen nopeutensa (3250 m/s) perusteella hyvin rikkonaista (esim. Lindsberg 2011). Ottamon suuntaan kallionopeus kasvaa aina 5000 m/s:iin, mikä on jo ehyen kallion nopeuksia. Ottamo-alueella (4500 m/s) kalliossa olisi harvakseltaan rakoja.

Seismisten luotausten perusteella pidettiin ilmeisenä, että ottamon lähdekai-vo saa vetensä maanpinnan lähelle ulot-
tuvasta kallionraosta tai -raoista harju-
muodostuman toimiessa pohjaveden
muodostumis- ja varastoitumisalueena.
Poraustaktiikka oli kaksijakoinen: portin
luokse tehtävästä porakaivosta (DW1) tu-
lisi saada yhteys harjun pohjavesivyöhyk-
keeseen kallion rikkonaisen pintaosan
kautta. Vedenottamolla pintakallio on
verrattain ehjää, joten tänne tehtävän po-
rakaivon (DW2) tulisi onnistuessaan osua
lähdekaivoon vettä tuovaan kallionra-
koon/-rakoihin, jotka voisivat sijaita sy-
vemmälläkin kalliossa.

Porakaivojen lopulliset paikat valittiin



Kuva 3. Profiilitulkinta seismiseltä linjalta L1+L2 ja porakaivojen DW1 ja DW2 sijainti seismiseen linjaan nähden. Kallioperä on porfyriittia graniittia. GSL = maanpinta, GWL = pohjavedenpinta, BSL = kallio-pinta, CAS = suojaputken alapää, STR = vedentulo-kohta, BOT = kaivon pohja.

Figure 3. Profile interpretation of the refraction seismic data from the line L1+L2 and the relative location of the drilled wells DW1 and DW2. The bedrock is porphyritic granite. GSL = ground surface level, GWL = groundwater level, BSL = bedrock surface level, CAS = bottom of casing, STR = main water strike, BOT = bottom of well.

maanomistus- ja rakentamisolojen perusteella. Kaivot sijoitettiin viereisen Natura-alueen ulkopuolelle (kuva 2).

Poraushavainnot

Ensimmäinen porakaivo (DW1) tehtiin vedenottamon portin lähetyville 23.–24.10.2019 (kuvat 2 ja 3; KSely 2019). Kaivo porattiin yksityisen urakoitsijan toimesta tela-alustaisella uppovasarakoneella (Hardab 5000H, kompressorit Atlas Copco XRVS 577; kuva 4). Maapeitteen läpi mentiin suojaputkiporauk-

sena (ø 168 mm) ja kalliopinta tavattiin 16 metrin syvyydessä. Kallion pintaosa oli hyvin rikkonaista ja suojaputki oli ajettava 21 metriin maanpinnasta reiän auki pysymisen varmistamiseksi. Tämän jälkeen porakruunu vaihdettiin ja porausta jatkettiin kallioporauksena (ø 140 mm). Kallio jatkui rikkonaisena ja poraus eteni nopeasti, kunnes 35 metrin syvyydeltä eteenpäin kallio muuttui asteittain ehjemmäksi. Rikkonaisia kohtia tavattiin vielä 48, 60 ja 90 metrin syvyydessä. Poraus päätettiin 91 metrin syvyydellä. Poraushavain-



Kuva 4. Kaivon DW1 poraus käynnissä Petäjäveden Syrjäharjulla 24.10.2019. Kuva: Ossi Alho

Figure 4. DTH drilling going on in the well DW1 near the Syrjäharju water intake 24.10.2019. Photo: Ossi Alho

not vastasivat seismisen luotauksen tuloksia (kuva 3).

Porausksen yhteydessä porareiästä tuli poraussoijan mukana punaruskeaa vettä (kuva 4). Porareiän loppuhuuhtelun aikana vesi kirkastui nopeasti ja porareiän tuotoksi mitattiin 84 m³/vrk (3 500 l/h). Aistinvaraisesti vesi oli laadultaan moitteetonta. Huuhtelupumppauksen jälkeen poraustangot nostettiin ylös reiästä ja kaivoon asennettiin suojaputken kohdalle muovinen eristysputki (ø 160 mm).

Toinen porakaivo (DW2) tehtiin vedenottamon tontille 23.1.2020 (kuva 2; KSely 2020). Maapeite läpäistiin suojaputkiporauksena (ø 168 mm) ja kalliopinta tavattiin noin

4 metrin syvyydellä; suojaputki ajettiin 6 metriin maanpinnasta (kuva 3). Poraus jatkui ø 140 mm:n kallioporauksena. Pieniä rakoja tavattiin noin metrin välein 14 metrin syvyyteen saakka ja vedentulo lisääntyi vähitellen noin 24 m³/vrk:iin. Poraussoijan väri vaihteli tummanharmaasta ruskeaan.

Syvyysvälillä 14–16 m mp:sta poratangot painuivat nopeasti alaspäin ja reiästä alkoi purkautua runsaasti vettä, jonka määräksi arvioitiin 480 m³/vrk. Vesi oli alkuun tummaa ja siinä oli mukana orgaanista ainesta (lahonnutta puuainesta). Seuraava iso rako tavattiin 18,5–19 m mp:sta. Poraussoija oli punaruskeaa. Samanvärisen veden mukana tuli isoh-



Kuva 5. Syrjäharjun kaivon DW2 poraus käynnissä vedenottamon tontilla 23.1.2020. Poraussyvyys 19 m mp:sta, vedentulo noin 700 m³/vrk. Kuva: Ossi Alho

Figure 5. DTH drilling going on in the well DW2 at the Syrjäharju water intake 23.1.2020. Drilling depth 19 m bgs, flow rate 700 m³/d. Photo: Ossi Alho

koja kivenkappaleita. Vedentuloksi arvioitiin 700 m³/vrk (kuva 5).

Kolmas iso rako tavattiin 23,5–24 metrin syvyydellä, mistä porareikään tuli lisää punaruskeaa vettä. Kokonaisvedentulo oli arviolta 950 m³/vrk. Yksittäisiä rakoja tavattiin vielä 26 ja 27 metrin syvyydellä. Poraus päätettiin 31 metrin syvyydellä. Poraushavainnot vastasivat seismisen luotauksen tuloksia (kuva 3).

Porauksen jälkeisen huuhtelupumppauksen aikana vedentuloa seurattiin lähdekaivon alapuoliselta mittapadolta. Porakaivon (lyhytaikaiseksi) tuotoksi arvioitiin mittapadon ylivuodon perusteella (vähintään) 1 560 m³/vrk (65 000 l/h; kuva 6). Vesi oli aistinvaraisesti moitteetonta. Huuhtelupumppauksen jälkeen poraustangot nostettiin ylös ja kaivoon asennettiin suojaputken kohdalle muovinen eristysputki (ø 160 mm). Pohjavettä purkautui porareiästä maanpinnalle omalla paineellaan (kuva 7).

Pumppaushavainnot

Kaivon DW1 koepumppaus tehtiin porareikään lasketun uppopumpun maksimituotolla 85 m³/vrk. Vedenotto ei ollut toiminnassa koepumppauksen aikana. Koepumppaus kesti kuukauden. Vedenpinnan kokonaisalenema porareiässä oli 6,4 m. Kaivo palautui pumppauksesta hyvin. Koepumppauksella ei ollut vaikutusta vedenottamon tarkkailuputkien vedenpintoihin eikä lähdekaivon ylivuotoon.

Pumpattu vesi oli hyvälaatuista (taulukko 1). Se oli kirkasta ja kylmää ja siinä oli hyvin vähän erilaisia suoloja ja muita liuenneita aineita. Or-



Kuva 6. Syrjäharjun porakaivon DW2 huuhtelupumppaus menossa 23.1.2020. Porareian loppusyvyys 31 m, vedentulo 1 560 m³/vrk. Kuva: Ossi Alho

Figure 6. Air flushing going on in the well DW2 in Syrjäharju 23.1.2020. Final well depth 31 m, flow rate 1 560 m³/d. Photo: Ossi Alho



Kuva 7. Pohjavettä purkautuu omalla paineellaan Syrjäharjun porakaivosta DW2 23.1.2020. Suojaputken sisähalkaisija 168 mm, vedentulo noin 150 m³/vrk. Kuva: Ossi Alho

Figure 7. Groundwater pouring out of the well DW2 under its own pressure in Syrjäharju 23.1.2020. Inside diameter of the well casing 168 mm, flow rate 150 m³/d. Photo: Ossi Alho



Kuva 8. Syrjäharjun porakaivon DW2 lappopumppaus käynnissä 6.3.2020. Pohjavettä purkautuu PE90-putken päästä lähdekaivon laskuojaan $600 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Putkea pitelee vesilaitoksen hoitaja Mikko Lämpsä. Kuva: Pertti Perämäki Sanomalehti Keski-Suomalainen 7.3.2020

Figure 8. Groundwater from the well DW2 passing through a siphon into a nearby ditch at the Syrjäharju water intake 6.3.2020. Waterworks caretaker Mikko Lämpsä is satisfied with the flow rate of $600 \text{ m}^3/\text{d}$. Photo: Pertti Perämäki Newspaper Keski-Suomalainen 7.3.2020

gaanisen aineksen määrä jäi alle määritysrajan ja typpiyhdisteiden määrät olivat hyvin pieniä. Metallipitoisuudet jäivät pääosin alle määritysrajan. Rautaa ja mangaania oli vedessä vain pieniä määriä. Liuennutta happea oli vedessä pumppauksen lopulla $6,4 \text{ mg/l}$. Radonpitoisuus jäi loppunäytteessä alle 100 Bq/l:n . Vesi oli mikrobiologisesti moitteetonta. Veden lämpötila ja pH-arvo vaihtelivat jonkin verran pumppauksen aikana. Muutoin vesi pysyi hyvin stabiilina.

Porakaivossa DW2 tehtiin alustava pumppauskoeläpöä polttomoottorikäyttöisellä keskipakopumpulla. Pumpun imuletku laskettiin porareikään parin metrin syvyyteen ja pumppu pantiin maksimiteholle ($580 \text{ m}^3/\text{vrk}$). Reilun tunnin pituisen pumppauksen aikana porareian ylivuoto väheni hieman, muttei loppunut. Pumppauksen aikana havaittiin, että porakaivo ja lähdekaivo ovat hydraulisesti yhteydessä toisiinsa.

Varsinainen koepumppaus päätettiin jär-

jestää lappopumppaukseksi. Putouskorkeutta kaivolta lähdekaivon laskuojaan tuli $1,8 \text{ m}$ ja matkaksi 30 m (kuva 2). Näistä lähtökohdista lappoksi valittiin PE90-muoviputki, jonka välityskyky olisi häviöineen vähintään $700 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Ennen pumppausta pohjavettä purkautui porareikään omalla paineellaan noin $150 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Pohjaveden painekorkeus ulottui noin $0,5 \text{ metriä}$ suojaputken pään yläpuolelle. Lappo saatiin hyvin toimimaan. Sen avulla porakaivon tuotto saatiin moninkertaiseksi ylivuotoon nähden.

Lappotuotto vaihteli pumppauksen aikana $465\text{--}665 \text{ m}^3/\text{vrk}$, keskimäärin se oli $570 \text{ m}^3/\text{vrk}$ (kuva 8). Lähdekaivosta oli samaan aikaan ylivuotoa parhaimmillaan $300 \text{ m}^3/\text{vrk}$.

Lappopumppaus kesti kuukauden. Pumppauksella ei ollut vaikutusta Syrjäharjun pohjavesiputkien vesipintoihin. Tuolloin jo vesilaitoskäytössä olleen porakaivon DW1 vesipinta putosi metrin verran lappopumppauksen aikana.

Pumpattu vesi oli hyvälaatuista (taulukko 1). Veden orgaanisen aineksen määrä jäi alle määritysrajan. Typpiyhdisteiden määrät olivat

Taulukko 1. Vesinäytteiden tutkimustulokset Syrjäharjun lähdekaivosta ennen vesikriisiä ja Syrjäharjun porakaivoista DW1 ja DW2. Metallinäytteet on suodatettu $0,45 \mu\text{m:n}$ kalvolla maastossa. →

Table 1. Groundwater quality in the spring water collection well before the water crisis and in the drilled wells DW1 and DW2 in Syrjäharju. Metal samples have been filtrated through a $0,45 \mu\text{m}$ membrane filter in the field. →

Variable and its unit Sampling date	Abbreviation DATE	Spring water 2.9.2019	DW1 27.1.2020	DW2 27.1.2020	STM 2017
Temperature °C	TEMP	6,0	5,6	5,0	<20
Colour mg Pt/l	COLO	<2,0	<2,0	<2,0	
Turbidity FNU	TURB	<0,20	<0,20	<0,20	
pH	PH	6,6	6,9	6,5	6,5–9,5
Electrical conductivity 25 °C mS/m	COND	3,7	4,7	3,3	<27,5/<275
Alkalinity mmol/l	ALK	0,23	0,34	0,18	
Total hardness mmol/l	HARD	0,081	0,15	0,090	
Oxygen, dissolved mg/l	O2	10,1	6,1	11,1	
Oxygen, saturation level %	O%	81	48	87	
Carbon dioxide mg/l	CO2	12	8,5	11	
Chemical oxygen demand mg/l	COD	<0,50	<0,5	<0,5	<5,0
Potassium permanganate mg/l	KMNO4	<2,0	<2,0	<2,0	
Total organic carbon mg/l	TOC	<1	<0,5	0,53	
Total nitrogen mg/l	TOTN	0,063	<0,050	0,069	
Ammonium mg/l	NH4	<0,006	<0,006	<0,006	<0,50
Nitrite mg/l	NO2	<0,007	<0,007	<0,007	≤0,50
Nitrate mg/l	NO3	0,226	0,128	0,274	≤50
Total phosphorus mg/l	TOTP	0,011	0,024	0,013	
Phosphate phosphorus mg/l	PO4P	0,012	0,016	0,013	
Chloride mg/l	CL	0,71	0,80	0,70	<25/<250
Sulphate mg/l	SO4	3,2	2,4	3,3	<150/<250
Fluoride mg/l	F	0,110	0,310	0,100	≤1,5
Silica mg/l	SiO2	14	16	13	
Calcium mg/l	CA	2,1	2,8	2,2	
Magnesium mg/l	MG	0,67	1,8	0,85	
Sodium mg/l	NA	1,9	3,5	2,4	<200
Potassium mg/l	K	0,86	1,2	0,99	
Aluminium µg/l	AL	<5,0	<5,0	<5,0	<200
Antimony µg/l	SB	<0,20	<0,20	<0,20	≤5
Arsenic µg/l	AS	<0,20	<0,20	<0,20	≤10
Barium µg/l	BA	1,8	1,9	1,7	
Boron µg/l	B	<10	<10	<10	≤1000
Cadmium µg/l	CD	<0,030	<0,030	<0,030	≤5
Chromium µg/l	CR	<0,50	0,98	<0,50	≤50
Copper µg/l	CU	0,78	<0,50	<0,50	≤2000
Iron µg/l	FE	<10	<10	<10	<200
Lead µg/l	PB	<0,10	<0,10	<0,10	≤10
Lithium µg/l	LI	1,1	2,9	1,2	
Manganese µg/l	MN	1,7	6,2	<1,0	<50
Mercury µg/l	HG	<0,020	<0,020	<0,020	≤1,0
Nickel µg/l	NI	<0,20	<0,20	<0,20	≤20
Selenium µg/l	SE	<0,20	<0,20	0,54	≤10
Strontium µg/l	SR	14	15	15	
Uranium µg/l	U	<0,10	0,042	0,028	≤30
Zinc µg/l	ZN	1,8	1,1	<1,0	
Radon Bq/l	RN	<30	99	63	≤300
Total alpha activity Bq/l	TOTα		<0,02 *)	<0,02 **)	<0,1***
Coliform bacteria 37 °C MPN/100 ml	CF37	0	0	0	0
Intestinal enterococci CFU/100 ml	ENT	0	0	0	0
Escherichia coli MPN/100 ml	ECOLI	0	0	0	0
Heterotrophic plate count 22 °C CFU/ml	HPC22		5	0	
Heterotrophic plate count 37 °C CFU/ml	HPC37		0	0	

Reference date *) 2.1.2020 and **) 20.2.2020; ***) Valvira (2020).

hyvin pieniä. Raudan ja mangaanin sekä pääosin muidenkin metallien pitoisuudet jäivät alle määritysrajan. Liuennutta happea oli vedessä pumppauksen lopulla yli 10 mg/l. Veden radioaktiivisten aineiden pitoisuudet ja aktiivisuusarvot olivat pieniä. Myös mikrobiologisesti vesi oli moitteetonta. Vedenlaatu pysyi stabiilina pumppauksen aikana.

Kaivojen hydrauliset ominaisuudet

Kaivoissa tehtiin konsulttityönä putkivirtausmittaukset, joilla selvitettiin tarkat vedentulokohdat ja kaivojen hydrauliset ominaisuudet. Putkivirtausmittauksia tehdään yleensä harjuakvifereissa pitkäsiiviläisissä Ds52-havaintoputkissa (esim. Mäkelä ja Reijonen 1995), mutta Ely-keskus on käyttänyt menetelmää myös kallioporakaivoissa.

Mittaukset osoittivat, että kaivoon DW1 tulee vesi heti suojaputken alapuolelta 21–22 m mp:sta. Tämän alapuolelta kaivoon ei tule vettä yhtään, vaikka poraushavaintojen perusteella näin otaksuttiin. Kaivon ominaisantoi-

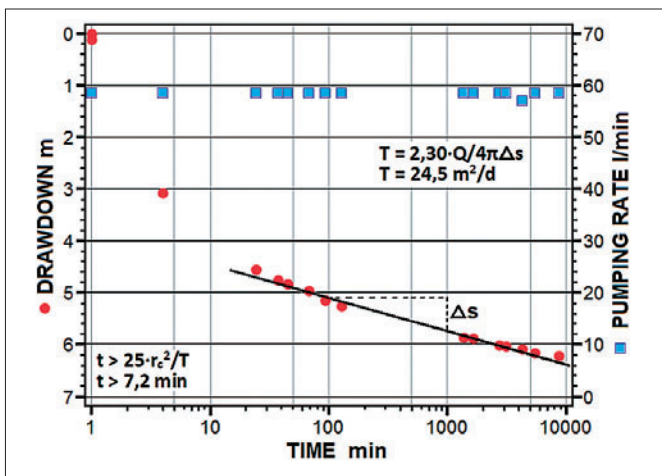
suudeksi saatiin 13,2 l/min/m (19 m³/vrk/m).

Kaivon DW1 vedenjohtokyky (T-arvo) laskettiin koepumppaushavaintojen perusteella (kuva 9). Laskennassa käytettiin Cooperin ja Jacobin (1946) menetelmää. T-arvoksi saatiin 24,5 m²/d (2,8·10⁻⁴ m²/s). Kallioakviferin paksuus (b) on kaivon kohdalla 6 metriä. Siitä on kuitenkin suojaputkitettu ylimmät 5 metriä. Kaivon vedenjohtavuudeksi (K-arvo) saadaan siten 24,5 m/d (K=T/b, esim. Lohman 1972).

Kaivon DW2 putkivirtausmittauksissa havaittiin neljä porareian laajentumaa. Ne edustavat rikkonaisia vyöhykkeitä, joista kiviainesta oli poistunut porauksen yhteydessä. Rikkonaiset kohdat pantiin merkille myös porauksen aikana poratankojen nopeana painumisena. Kuitenkaan paras vedentulokohta 12–13 m ei porauksen aikana tullut esiin. Tällä metrivilillä porakaivon vedenjohtavuus on 0,033 m/s. Vedentulokohta aukesi jossakin vaiheessa porauksen edetessä syvemmälle. Toinen hyvä johtavuusvyöhyke on 18,5–24,5 metrin syvyydellä, minkä K-arvo on noin 0,01 m/s (keskiarvo).

Kaivon DW2 ominaiskapasiteetti on 6 750 m³/vrk/m. Kaivoon tulee vettä syvyysväliltä 9–24,5 m. Kallioakviferin paksuus on kaivon kohdalla 15,5 m ja K-arvo keskimäärin 0,0065 m/s. Kaivon vedenjohtokyvyksi (T=Kb) saadaan 0,101 m²/s (8 700 m²/d), mikä on noin 350-kertainen DW1:een verrattuna.

Ely-keskus teki kummastakin porakaivosta pohjaveden happipitoisuuden ja lämpötilan vertikaalimittaukset YSI ProODO -mittarilla. Kaivossa DW1 vedentulokohdan happipitoisuus ja lämpötila vastasivat vesinäytetuloja. Kaivossa DW2 happipitoisuus oli yli 10 mg/l kaikissa vedentulokoh-



Kuva 9. Syrjäharjun porakaivon DW1 vedenjohtokyvyn laskenta Cooperin ja Jacobin (1946) menetelmällä.

Figure 9. Transmissivity determination in the Syrjäharju drilled well DW1 with the Cooper and Jacob (1946) time-drawdown method.

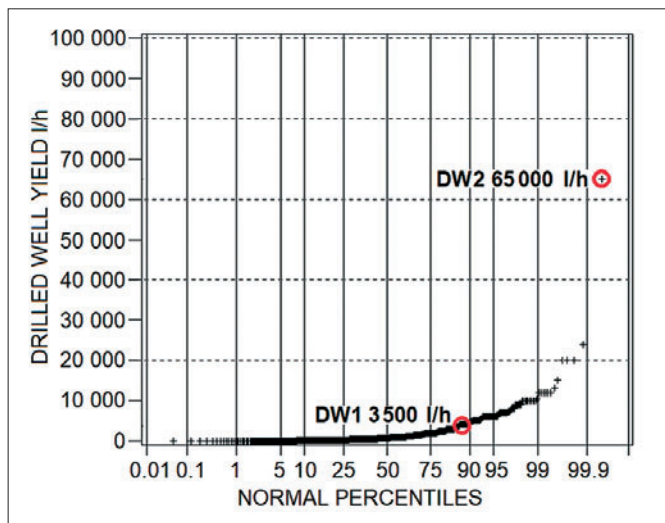
dissa; lämpötila oli 5,0–5,1 °C.

Keskustelu

Porakaivon DW1 tuotto on viisinkertainen Keski-Suomen porakaivojen mediaanituottoon nähden. Se jättää tuottovertailussa jälkeensä 85 % maakunnan porakaivoista (kuva 10). Syrjäharjun porakaivo DW2 on ylivoimaisesti Keski-Suomen maakunnan suurituottoisin porakaivo. Koko maanakin osalta kaivo lieenee kärkejouskossa. Ominaiskapasiteettinsa, vedenjohtokykynsä ja vedenjohtavuutensa puolesta kaivo DW1 kuuluu parhaaseen prosenttiin Keski-Suomessa (Mäkelä 2012). Kaivon DW2 ominaiskapasiteetti sekä T- ja K-arvot ovat huippuluokkaa vastaten hyvin vettä johtavien harjuydinten lukemia (esim. Mälkki 1999).

Poraus- ja pumppaushavaintojen sekä vedenlaadun perusteella voidaan arvioida, että porakaivoista saatava vesi on pääosin peräisin Syrjäharjun hiekka-sora-akviferista. Kaivon DW1 jatkuva antoisuus on vähintään koepumppaustuoton suuruinen (85 m³/vrk). Lyhyitä aikoja (jopa muutamia viikkoja) vettä voidaan ottaa kaksinkertainen määrä. Kaivo DW2 ja lähdekaivo ovat hydraulisesti yhteydessä toisiinsa ja saavat vetensä pitkälti samalta valuma-alueelta. Lähdekaivon jatkuva tuotto on vedenottamon tarkkailutietojen ja valuma-alueetarkastelun mukaan keskimäärin 400 m³/vrk. Porakaivon DW2 jatkuva antoisuus on vähintään samaa luokkaa; lyhyitä aikoja vettä voidaan ottaa kaksinkertainen määrä.

Porakaivoista saatava vesi täyttää vesilaitosvedelle asetetut laatuvaatimukset ja -tavoitteet tutkituilta osilta (STM 2017; taulukko 1). Vesi vaatii vain alkaloinnin. Vesi on täysin



Kuva 10. Syrjäharjun porakaivojen DW1 ja DW2 antoisuus suhteessa Keski-Suomen porakaivojen tuottojakaumaan todennäköisyysasteikolla (lyhytaikainen antoisuus, n=1337, koko aineiston mediaani 700 l/h; Mäkelä 2012 ja K-S Elyn kaivorekisteri).

Figure 10. Drilled well yields in Central Finland plotted against a normalized probability axis (short-term yield, Md=700 l/h, n=1337; Mäkelä 2012 and recent output from the drilled well database of the Central Finland Ely Centre). Well yields from DW1 and DW2 are depicted with red circles.

luonnontilaista; siinä ei ole minkäänlaisia merkkejä ihmistoiminnasta. Kaivoihin ei pääse pintavesiä.

Porakaivojen vesilaitoskäytöllä ei ole haitallisia vaikutuksia muulle vedenotolle, luonnontilaisille lähteille eikä viereisen Natura-alueen luontoarvoille. Natura-alue muodostaa luonnollisen suojaluokan Syrjäharjun vedenottamolle (lähdekaivo, porakaivot). Hyvän ominaiskapasiteetin ansiosta kaivojen pumput voidaan asentaa suojaputkisuudelle. Tällöin mahdolliset porareian sortumat eivät hankaloita pumppujen huoltoa tai vaihtoa.

Nykytilanne

Molemmat porakaivot voitiin ottaa vesilaitoskäyttöön kahden kuukauden sisällä porauksista. Ensimmäisestä kaivosta käynnistettiin vedenjakelu joulun alla 2019 alle kolme kuukautta vesikriisin puhkeamisesta. Vedenotto

toisesta kaivoista aloitettiin maaliskuussa 2020. Projekti eteni ripeässä aikataulussa sekä tutkimusten että teknisen toteutuksen osalta. Porakaivoista saatava vesi on hyvälaatuista ja niiden tuotto riittää tyydyttämään keskustaajaman vedentarpeen. Kytöharjun uusi vedenotamo otetaan käyttöön loppuvuodesta 2020. Viimeistään tällöin on Petäjaveden viimesyksyinen vesikriisi siirtynyt historiaan.

Kiitokset

Petäjaveden kunnan yhteyshenkilöt porakavohankkeessa olivat tekninen johtaja Matti Varis ja kuntatekniikan insinööri Marko Riihimäki. Kunta tilasi kaivonporaukset Porakavoliike A. Laukkaselta. Poraajana toimi Tuomas Laukkanen. Tutkimusten kenttäjärjestelyistä ja -mittauksista sekä näytteenotosta huolehtivat kiinteistönhoitaja Sami Talmila ja vesilaitoksen hoitaja Mikko Lämpsä. Ely-keskuksesta näytteenottoon ja kenttämittauksiin osallistuivat rakennusmestarit Ossi Alho ja Pekka Heino. He myös tekivät porakaivojen happija lämpötilamittaukset. Putkivirtausmittaukset teki Suomen Pohjavesiteknikka Oy. Maa-seudun Vesiteknikka Oy antoi lapon mitoitushjeet. Vesinäytteet tutkittiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n laboratoriossa Lahdessa ja Säteilyturvakeskuksessa. Terveysvalvonnan yhteyshenkilö oli ympäristöterveysvalvontasta Piia Kepanen. Kaivorekisterin tietoja käsiteltiin Suomen ympäristökeskuksen palvelimella olevalla SAS®-ohjelmistolla.

FT JORMA MÄKELÄ

Keski-Suomen Ely-keskus
PL 250

FI-40101 Jyväskylä

jorma.makela@ely-keskus.fi

Kirjoittaja on hydrogeologi Keski-Suomen Ely-keskuksessa, josta hän jää eläkkeelle 1.1.2021.

Summary:

Drilled bedrock wells as successful solutions to the water crisis in Petäjävesi, Central Finland

The main waterworks in Syrjäharju had to be closed because of groundwater contamination with bacteria and organic matter in the fall of 2019. Groundwater in two reserve intakes had also deteriorated because of increased water withdrawal from them. The water usage had to be cut in half and a general 'boil water' notice was given. To aid in water crisis efforts, two bedrock wells were drilled next to the Syrjäharju intake. Pumping tests showed that they will produce 500 m³/d of good quality groundwater in all. One of the wells was put to production in less than three months after the start of the crisis, whereas the other was harnessed for water supply a few months later. Together the wells can satisfy the drinking water need of the municipality of Petäjävesi.

Viitteet

- Banks, D., Gundersen, P., Gustafson, G., Mäkelä, J. ja Morland, G., 2010. Regional similarities in the distribution of well yield from crystalline rocks in Fennoscandia. Norges geologiske undersøkelse Bulletin 450:33–47. https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Bulletin/Bulletin450_33-47.pdf [7.11.2020]
- Cooper, H.H., Jr. ja Jacob, C.E., 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Transactions, American Geophysical Union vol. 27 no. IV:526–534. <https://www.nrc.gov/docs/ML1429/ML14290A600.pdf> [7.11.2020]
- Helsingin Sanomat, 8.12.2019. Veden loppu. <https://www.hs.fi/sunnuntai/art-2000006332893.html> [7.11.2020]
- Keskisuomalainen, 7.3.2020. Kallis vesikriisi ratkesi Syrjäharjun huippulöytöön. <https://www.ksml.fi/paikalliset/2357835> [7.11.2020]
- Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (KSely), 2015a. Petäjävesi, Syrjäharjun pohjavesiselvitys, 10.2.2015. Julkaisematon tutkimusraportti.

- ti. 32 s.
- Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (KSely), 2015b. Syrjäharjun koepumppaus P80, Petäjävesi, 31.12.2015. Julkaisematon tutkimusraportti. 25 s.
- Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (KSely), 2019. Syrjäharjun porakaivotutkimus, Petäjävesi, 10.12.2019. Julkaisematon tutkimusraportti. 23 s.
- Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (KSely), 2020. Syrjäharjun porakaivotutkimus II, Petäjävesi, 5.6.2020. Julkaisematon tutkimusraportti. 26 s.
- Keski-Suomen vesipiirin vesitoimisto (KSv), 1986. Petäjäveden pohjavesiselvitykset, Syrjäharju-Kaivanto-Kintaus, Petäjävesi, 31.7.1986. Julkaisematon tutkimusraportti. 62 s.
- Keski-Suomen ympäristökeskus (KSu), 1996. Petäjäveden pohjavesialueet, kuntakansio, 1.4.1996. Julkaisematon tutkimusraportti. 61 s.
- Lindsberg, E., 2011. Seisminen taittumisluotaus ja VLF- ja VLF-R-menetelmät kallioperän vedenantoisuuden arvioinnissa Keski-Suomen syväkivialueella. Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2011. 118 s.
- Lohman, S.W., 1972. Ground-water hydraulics. U.S. Geological Survey Professional Paper 708. 78 s. <https://www.nrc.gov/docs/ML1735/ML17355A590.pdf> [7.11.2020]
- Mäkelä, J., 1989. Seisminen refraktioluotaus pohjavesiselvityksissä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 195. 45 s.
- Mäkelä, J., 1993. Techniques for locating high-yield drilled wells in crystalline bedrock in Central Finland. Ss. 598–606 teoksessa Banks, S. ja Banks, D. (toim.) Hydrogeology of hard rocks. Memoires of the XXIVth Congress of International Association of Hydrogeologists, 28th June - 2nd July 1993, Ås (Oslo), Norway, Part 1.
- Mäkelä, J., 2012. Drilled well yield and hydraulic properties in the Precambrian crystalline bedrock of Central Finland. Annales Universitatis Turkuensis Ser. AII Tom. 267. 356 s. <https://www.utupub.fi/handle/10024/76642> [7.11.2020]
- Mäkelä, J. ja Reijonen R., 1995. Vuonteenharjun teko-pohjavesitutkimus, Laukaa. Keski-Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 4/1995. 130 s.
- Mälkki, E., 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. Tammerpaino Oy, Tampere. 304 s.
- STM, 2017. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen muuttamisesta. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170683> [7.11.2020]
- Valvira, 2020. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Talousvesiasetuksen soveltamisohje osa III enimmäisarvojen perusteet. Ohje 5/2020 Dnro VI/33102/2020. 55 s. https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talousvesiasetuksen_soveltamisohje_osa_3.pdf/b9faedd0-cd83-fd94-09e2-452e7e7ee123 [7.11.2020]