

Pohjavesivaikutteisuuden arviointi Viinivaara- Kälvasvaaran lähialueen humuspitoisille järville

Oulun Vesi

17.11.2017

Pöyry Finland Oy
Ympäristötutkimus, Oulu

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	LASKENTAMENETELMÄ	1
2.1	Pintavesivirtaaman arviointi	1
2.2	Pohjavesivirtaaman arviointi	2
2.3	Vedenlaadun arviointi	2
3	ISO-TIMONEN	3
3.1	Valuma-alue	3
3.2	Pohjavedet	3
3.3	Pintavedet WSFS-mallin tiedoilla	5
3.4	Pintavedet hajautetulla valumamallilla	5
3.5	Pohjaveden valuman muutos	6
3.6	Kokonaisravinnepitoisuuksien muutos	6
4	ISO-OLVASJÄRVI	7
4.1	Valuma-alue	7
4.2	Pohjavedet	7
4.3	Pintavedet WSFS-mallin tiedoilla	7
4.4	Pohjaveden valuman muutos	8
4.5	Kokonaisravinnepitoisuuksien muutos	8
5	MARTTISJÄRVI	9
5.1	Valuma-alue	9
5.2	Pohjavedet	9
5.3	Pintavedet WSFS-mallin tiedoilla	9
5.4	Pohjaveden valuman muutos	10
5.5	Kokonaisravinnepitoisuuksien muutos	10
6	ISO-RUOHONEN, VÄHÄ-RUOHONEN JA KIVIJÄRVI	11
6.1	Valuma-alueet	11
6.2	Vedet	11
7	YHTEENVETO	12
8	LÄHDELUETTELO	13

Hannu Lauri, Pöyry Finland Oy, Ympäristötutkimus, Oulu

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

1 JOHDANTO

Viinivaara-Kälväsvaara pohjavesialueiden lähialueella sijaitsee useita pieniä järviä, jotka kuuluvat Kiiminkijoen Natura-alueen humuspitoiset lammet ja järvet - luontotyyppiin. Alueelle suunniteltu pohjavedenotto vaikuttaa järviin tuleviin vesiin siten, että järviin valuvan pohjaveden osuus järveen päätyvässä vedessä pienenee. Tässä raportissa on arvioitu a) Iso-Timoseen, Iso Olvasjärveen ja Marttisjärveen valuvan veden kokonaismäärää sadannan, valunnan, haihdunnan ja arvioidun pohjavesivaluman perusteella, b) valuman muutosta pohjaveden oton seurauksena, ja c) järvien vedenlaadun muutosta pohjaveden oton seurauksesta.

2 LASKENTAMENETELMÄ

Yksittäiseen järveen päätyvän pohjaveden osuuden arviointi on tässä tehty laskennallisesti. Pintavesivirtaama on arvioitu rajaamalla ensin korkeusmallin perusteella järven valuma-alue, ja arvioimalla sen jälkeen mitattujen sää tietojen perusteella alueen pintavesien vesitase, eli alueelle satavan ja sieltä poistuvan veden määrät. Valuma-alueelle sen rajojen ulkopuolelta tuleva pohjavesivirtaama on arvioitu pohjavesimallin tuloksien perusteella. Olettamalla kohdejärven vedet täysin sekoittuneiksi, saadaan pinta- ja pohjavesien osuus järven vedessä selville, kun arvioidaan pohjaveden osuus järven lähtövirtaamassa.

2.1 Pintavesivirtaaman arviointi

Yksittäisen järven valuma-alue määritellään tavallisesti korkeusmallin perusteella. Kun valuma-alue on selvillä, voidaan alueelle satavan ja sieltä pois virtaavan veden määrä arvioida sadannan ja haihdunnan perusteella. Lisäoletuksena on, että valuma-alueen rajan yli ei siirry vettä muuten kuin tunnettujen virtaamapisteiden kautta, joita ovat alueelle yläpuolisilta valuma-alueilta tulevat purot ja joet, erikseen huomioitu pohjavesivirtaama ja alueen ulosvirtaama.

Järven valuma-alueen rajausta tehtiin käyttämällä SYKEN pienten valuma-alueiden rajuuteen sopivaa VALUE-työkalua (SYKE 2017a). Saadusta valuma-alueesta rajattiin pois pohjaveden muodostumisalueet, joiden rajat poimittiin SYKEN pohjavesialueiden tietokannasta.

Järven ulosvirtaamat määriteltiin tämän jälkeen kahdella eri menetelmällä. 1) SYKEN vesistömallin (WSFS-malli) tiedoilla ja 2) mallintamalla Iso-Timoselle alue erikseen toisella hydrologisella mallilla. Laskentajaksona käytettiin 11 vuoden jaksoa 01/2005 - 12/2015. Tällä jaksolla sadanta on ollut keskimäärin jonkin verran suurempi kuin jaksolla 1990 - 2015. Sadantamäärissä on pitkällä jaksolla havaittavissa nouseva trendi, joten valitun jakson voi katsoa kuvaavaan paremmin nykytilannetta kuin vuodesta 1990 alkava jakso.

SYKEN vesistömalliin perustuvassa laskentatavassa hyödynnetään SYKE kehittämää ja ylläpitämää WSFS-mallia, joka laskee mm. valuma-aluekohtaisen sadannan, järvi-haihdunnan ja keskimääräisen maa-alueilta tulevan valuman kaikille 3. jakovaiheen valuma-alueille. WSFS-mallissa ei ole eroteltu valuma-alueen ulkopuolelta tulevia pohjavesivirtaamia pintavalunnasta. Mallin laskentatuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää yksittäisen järven pinta- ja pohjavesiosuuksien laskennassa: WSFS-mallista saatavia tietoja käyttämällä järven ulosvirtaama voidaan laskea seuraavasti:

$$Q_{out} = 0.001 q_{land} (A - A_{lake}) + Q_{gw} + 0.01157 (P - E_w) A_{lake} \quad (1)$$

Q_{out} = järven ulosvirtaama, m³/s

q_{land} = yksikkövaluma maa-alueelta, l/s/km²

A = valuma-alueen pinta-ala (sis. järvet), km²

A_{lake} = järvien pinta-ala, km²

Q_{gw} = valuma-alueelle tuleva pohjavesivirtaama, m³/s

E_w = haihdunta järvestä, mm/d

P = sadanta, mm/d, tai sadanta+sulanta mm/d

Pintaveden osuus saadaan laskettua jättämällä kaavasta pohjavesivirtaama pois.

Iso-Timonen laskettiin myös erikseen VMOD-hydrologisella mallilla (Lauri et al. 2006). Malli käyttää lähtötietona suoraan mitattua säätilannetta, korkeusmallia, maankäyttöä, jokiuomatietoja ja maaperätietoja. Mallissa valuma-alue jaetaan osiin, joista jokaiselle osalle lasketaan erikseen vesitase, eli tulevien ja lähtevien vesien määrät. Alueen osien vesitaseiden ulosvirtaamat yhdistämällä saadaan laskettua kohdealueen ulosvirtaama. Mallin käyttämät säätiedot on haettu ilmatieteenlaitoksen Open-Data palvelusta (Ilmatieteenlaitos 2017), korkeusmallina on käytetty MML:n 10 m resoluution korkeusmallia (Maanmittauslaitos 2017), ja maankäyttötietoina on käytetty SYKEN Corine-land cover- 2012 dataa (Syke 2017b). Vesiuomat on poimitu maanmittauslaitoksen maastotietokannasta (Maanmittauslaitos 2017).

2.2 Pohjavesivirtaaman arviointi

Viinivaaran-Kälvasvaaran pohjavesialueelle on laadittu v. 2016 pohjavesimalli (Pöyry 2016, Oulun vesi 2016). Pohjavesialueilla ja niiden läheisyydessä sijaitsevien lähteiden virtaamia on seurattu Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen toimesta.

Pohjavesimallilla on tehty vesitaselaskelmat Viinivaaran ja Kälvasvaaran pohjavesialueille ennen vedenottoa ja vedenottotilanteessa. Pohjavesimallin raportissa (Pöyry 2016) on myös koottu lähteiden keskimääräiset mitatut virtaamat, sekä laskettu lähdevirtaamat pohjavesimallin avulla. Muuten kuin lähteiden kautta pohjavesialueelta purkautuva vesi on arvioitu pohjavesimallilla vesitasealueiden avulla, joille on määriteltä purkautuvat vesimäärät sekä nykytilanteessa että vedenottotilanteessa. Em. tiedot riittävät yksittäisen järven valuma-alueelle tulevien pohjavesivirtaamien arviointiin.

2.3 Vedenlaadun arviointi

Pohjaveden ravinnepitoisuus on tyypillisesti pintavaluntaa pienempi, jolloin pohjaveden virtaus järveen voi vaikuttaa järveden ravinnepitoisuuksia pienentävästi, verrattuna tilanteeseen, missä kaikki vesi kertyy järveen pintavalunnasta. Mikäli järven viipymä on pieni, voi pohjavesiosuuden vaikutusta järven keskimääräiseen vedenlaatuun arvioida suoraan pinta- ja pohjavesien virtaamista ja pitoisuuksista. Tapauksissa, joissa järvessä on sisäistä kuormitusta tai viipymä on pitkä, ei pohjaveden osuuden vaikutus järven vedenlaatuun ole yhtä selkeä.

Mikäli järven viipymä on pieni, ja järven veden arvioidaan sekoittuva täysin, voidaan tulevien ja lähtevien virtaamien ja pitoisuuksien arvioida noudattavan seuraavaa kaavaa.

$$C_{lake} q_{out} = q_s C_s + q_{gw} C_{gw} \quad (2)$$

$$q_{out} = q_s + q_{gw} \quad (3)$$

c_{lake} = järven pitoisuus

q_{out} = järven ulosvirtaama

q_s = pintaveden virtaama

c_s = pintaveden pitoisuus

q_{gw} = pohjaveden virtaama

c_{gw} = pohjaveden pitoisuus

Pohjaveden osuuden muutoksen vaikutus järven vedenlaatuun, eli järven pitoisuus muuttuneessa tilanteessa (c_{lake1}) voidaan arvioida yhtälöstä (2), kun tunnetaan järven pitoisuus lähtötilanteessa (c_{lake0}), pohjaveden pitoisuus ja pohjaveden virtaamat lähtötilanteessa (q_{gw0}) sekä muuttuneessa tilanteessa (q_{gw1}). Laskenta tehdään kaavoilla (4) ja (5) ratkaisemalla ensin pintavalunnan pitoisuus c_s , ja sen jälkeen järven pitoisuus muuttuneessa tilanteessa.

$$c_s = (c_{lake0} q_{out0} - q_{gw0} c_{gw})/q_s \quad (4)$$

$$c_{lake1} = (c_s q_s + q_{gw1} c_{gw})/(q_{out1}) \quad (5)$$

Pohjaveden kokonaisravinnepitoisuuksista on Viinivaaran alueella otettu muutama näyte, joiden kokonaisfosforipitoisuus on vaihdellut välillä 5 – 23 µg/l, ja kokonaistyyppipitoisuus noin 30–300 µg/l välillä. Kälväsvaaran pohjavesialueen keskellä sijaitsevasta kaivosta 26 on mitattu kokonaisravinteita säännöllisesti, joten tässä on käytetty näiden mittausten keskiarvoa pohjaveden pitoisuutena (SYKE 2017c). Jakson 2009-2014 pohjaveden kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvo oli 10 µg/l, ja kokonaistypen keskiarvo oli 50 µg/l. Mikäli pohjavesi kulkeutuu järviin oja tai puroja pitkin, kerää se matkalta mukaansa ravinteita, esim. puron pohjalle kertyvästä aineksesta, joten ravinnepitoisuudet ovat pohjaveden päätyessä järveen todennäköisesti em. arvoja suurempia.

3 ISO-TIMONEN

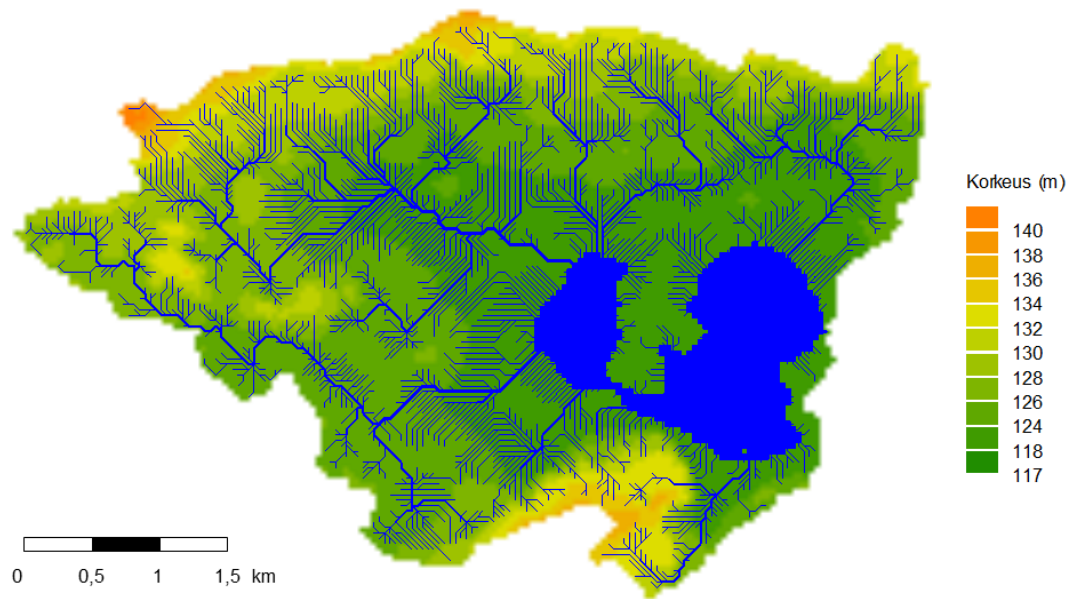
3.1 Valuma-alue

Iso-Timosen valuma-alue arvioitiin luvussa 2 kuvatulla menetelmällä. VALUE-järjestelmän laskemasta alueesta poistettiin Viinivaaran pohjavesialueen pohjaveden muodostumisalue.

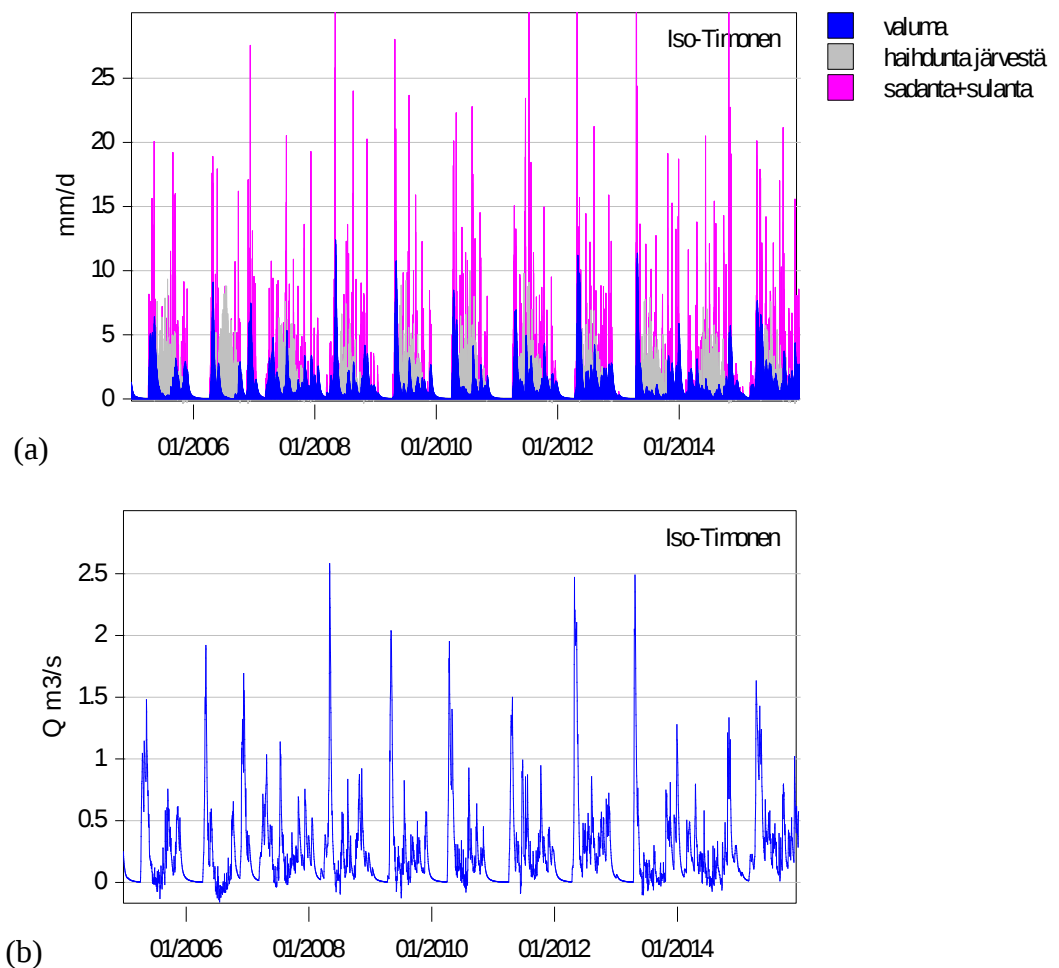
Lopputuloksena saatu järven valuma-alue on esitetty kuvassa 1. Valuma-alueen kooksi saatiin 17,42 km² (missä mukana Iso-Timonen). Iso-Timosen pinta-ala on 1,81 km².

3.2 Pohjavedet

Iso-Timosen valuma-alueella on yksi lähde, jonka mitattu virtaama on 628 m³/d. Pohjavesimallin vesitasealueista Viinivaaran alue 16 sijoittuu kokonaan ja Viinivaaran alueet 7 (52%) ja 6 (37%) osittain Iso-Timosen valuma-alueelle (osuudet suluisa). Lähteen ja vesitasealueiden yhteinen vedentuotto alueelle on noin 2398 m³/d, noin 27,8 l/s.



Kuva 1: Iso-Timosen valuma-alue, maan pinnan korkeudet ja virtaussuunnat.



Kuva 2: Iso-Timonen, valuma, sadanta ja haihdunta (a), sekä ulosvirtaama (b).

3.3 Pintavedet WSFS-mallin tiedoilla

Iso-Timoselle laskettiin pintavesivaluma kappaleen 2.1 menetelmällä jaksolle 2005–2015 Kivijoen valuma-alueen valuma-, sadanta- ja haihduntatietoja käyttämällä. Ulosvirtaama ilman pohjavesiä oli keskimäärin $0,254 \text{ m}^3/\text{s}$, ja pohjavesivaluman kanssa $0,281 \text{ m}^3/\text{s}$. Pohjaveden osuus ulosvirtaamassa oli 9,9 %.

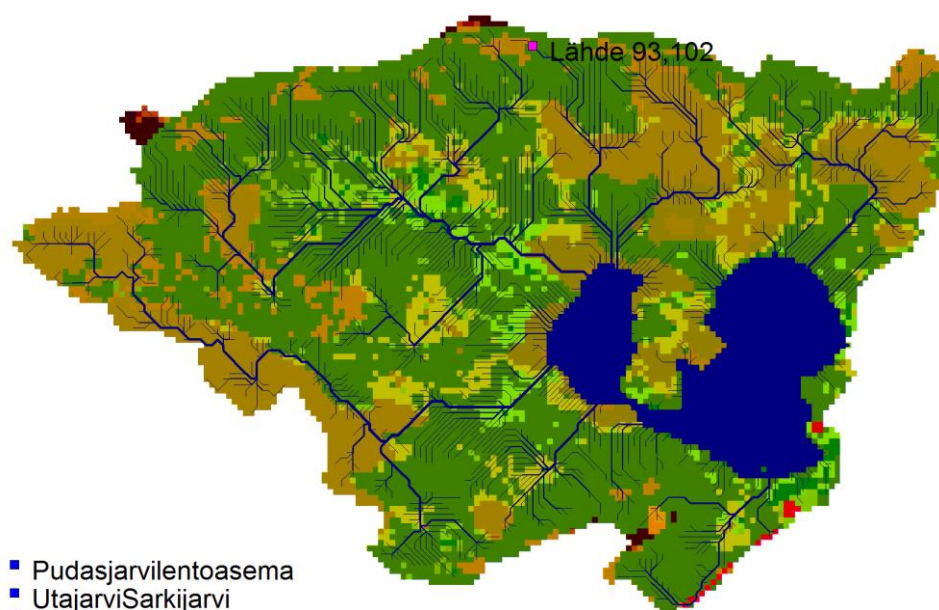
Valuma, haihdunta ja sadantatiedot sekä laskettu ulosvirtaama on esitetty kuvassa 2 aikasarjana jaksolle 2005–2015. Järven tasaavaa vaikutusta ei laskennassa huomioida, joten kesällä ulosvirtaama voi mennä negatiiviseksi tilanteessa, jossa haihdunta on sadantaa suurempi. Negatiivisia arvoja ei tässä ole poistettu ulosvirtaaman keskiarvon laskennasta, vaan virtaamavaihtelun on oletettu tasautuvan järven vedenpinnan muutoksella.

3.4 Pintavedet hajautetulla valumamallilla

Valuma-alue laskettiin myös hajautetulla VMod-valuma-aluemallilla. Laskennan tavoitteena oli laskea Iso-Timosen ulosvirtaama WSFS-mallin tiedoista riippumattomalla menetelmällä tulosten varmistamiseksi.

Valuma-aluemallin säätietoina käytettiin mitattuja sadanta- ja lämpötilatietoja. Sää-tiedot poimittiin Ilmatieteenlaitoksen sääasemilta (Ilmatieteenlaitos, 2017), sadanta Utajärven Särkijärven pisteestä (päiväarvot), ja lämpötilatiedot (1h välein) Pudasjärven lentokentän säähavaintoasemalta.

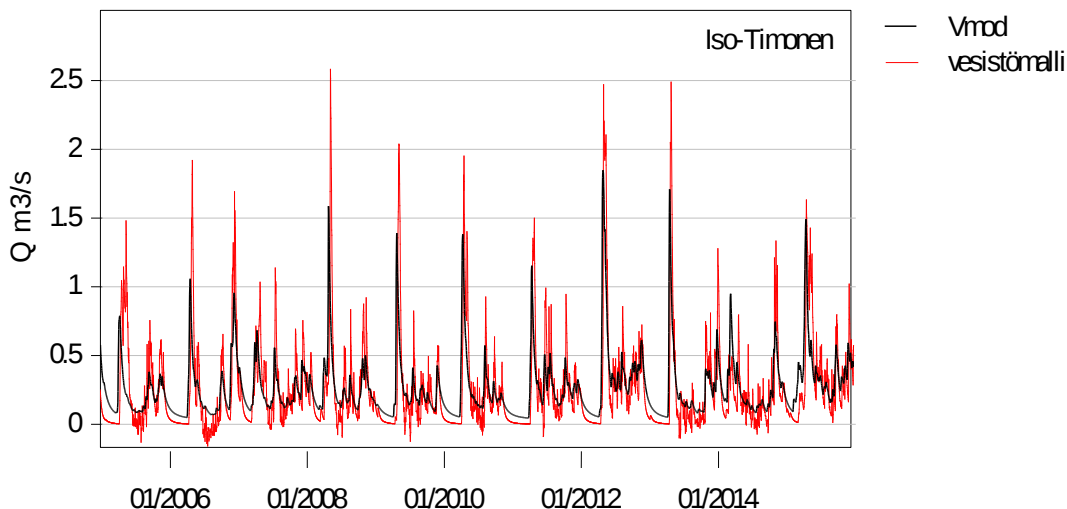
Iso-Timosen valuma-alueelle laadittiin tämän jälkeen mallihila korkeusmallin ja maankäyttötietojen perusteella, ja malli laskettiin jaksolle 01/2005–12/2015. Mallin hilaksi valittiin $40 \times 40 \text{ m}$ ruudukko (kuva 3). Maankäytön ja maaperän laskentaparametreina käytettiin Suomen olosuhteisiin sopivia oletusarvoja, virtaamamittausten puuttuessa parametreja ei voitu kalibroida tarkemmin. Oletusparametreilla saadaan yleensä kuukausitasolla kohtuullisen hyvin todellisuutta vastaava ulosvirtaama, mikäli sadanta- ja lämpötilatiedot ovat edustavia. Pohjavesialueelta Iso-Timoseen valuva pohjavesi lisättiin suoraan vakiosuuruusena purovirtaamana alueen pohjoisreunalle.



Kuva 3: Vmod-mallin mallihila, kuvassa maankäyttö ja virtausverkko.

Lopputuloksena laskennasta saatiin Iso-Timosen ulosvirtaama, joka on esitetty kuvassa 4. Edellä laskettu WSFS-mallin tietojen perusteella arvioitu virtaama on lisätty kuvaan vertailukohdaksi.

VMod-mallilla lasketun virtaaman keskiarvo jaksolle 2005-2015 (pohjavesivaluman kanssa), oli $0,261 \text{ m}^3/\text{s}$. Tämän on hieman pienempi kuin WSFS-mallilla laskettu arvo ($0,282 \text{ m}^3/\text{s}$). Ero johtuu pääasiassa siitä, että VMod-mallin laskema haihdunta on kesällä suurempi kuin WSFS:n arvioima haihdunta. On todennäköistä että WSFS-mallin haihdunta-arvo vastaa paremmin todellisuutta. VMod-mallissa haihdunta on laskettu päivän minimi- ja maksimilämpötila-arvojen erosta, kun taas WSFS-malli käyttää haihdunnan laskentaan tarkempaa menetelmää.



Kuva 4: Vmod-mallilla laskettu ulosvirtaama.

3.5 Pohjaveden valuman muutos

Pohjaveden kokonaisottomääräksi on suunniteltu $11000 \text{ m}^3/\text{d}$, mistä Viinivaaran pohjavesimuodostumasta otettaisiin $8000 \text{ m}^3/\text{d}$. Pohjavesimallilla lasketun arvion mukaan pohjavesivalumat vähenevät seuraavasti: Lähde Viinivaara E, 62,7 %, vesitasealue 6, 54,9 %, vesitasealue 16, 38,7 % ja vesitasealue 7, 32,8 %. Yhteenlaskettu vähenemä on näistä arvoista laskettuna $1066 \text{ m}^3/\text{d}$, ja pohjaveden oton aikaiseksi pohjavesivirtaamaksi Iso-Timosen alueelle näistä laskettuna jää siten $1332 \text{ m}^3/\text{d}$ ($15,4 \text{ l/s}$), mikä on 55,5 % aikaisemmasta pohjavesivirtaamasta. Pohjaveden osuudeksi vedenottotilanteessa tilanteessa jää 5,7 %.

3.6 Kokonaisravinnepitoisuuksien muutos

Kokonaisravinteiden tasoa järvessä on arvioitu pohja- ja pintaveden osuuksien avulla kaavojen (4) ja (5) mukaisesti. Tällöin oletetaan järven viipymä ja järvessä tapahtuva ravinteiden sedimentoituminen ja sisäinen kuormitus pieneksi. Iso-Timosen syvyys-tietoja ei ollut käytettävissä, mutta mikäli järven keskisyvyys on 1,5 m, on viipymä lähtövirtaamalla $0,281 \text{ m}^3/\text{s}$ noin 110 d.

Iso-Timosen viimeisimmät vedenlaatumittaukset ovat vuoden 2016 kesältä, 25.7. ja 24.8. Näiden kahden mittauksen keskiarvo kokonaisfosforille (P_{TOT}) oli $85 \mu\text{g/l}$, ja kokonaistypelle (N_{TOT}) $2100 \mu\text{g/l}$. Kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 35 mg/l .

Pohjaveden osuuden ollessa 9,9 % vesimäärästä, ja pohjaveden pitoisuus edellä mainittu sekä fosforille että typelle, saadaan järveen valuvan pintaveden keskipitoisuus-

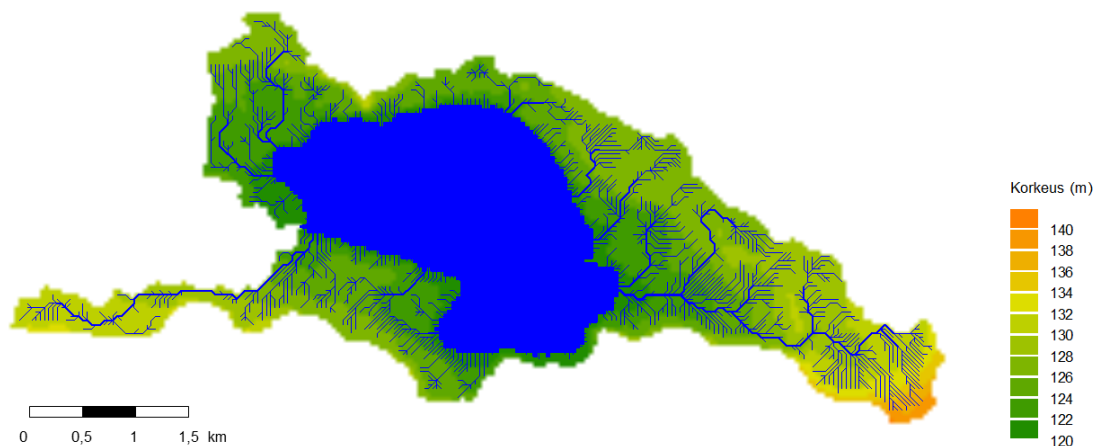
deksi pitkällä aikavälillä järvessä havaitun sekoituspitoisuuden perusteella P_{TOT} 93 $\mu\text{g/l}$, ja N_{TOT} 2320 $\mu\text{g/l}$.

Pohjavesiosuuden ollessa vedenottolanteessa 55,5 % aikaisemmasta virtaamasta, jää pohjaveden osuudeksi kokonaisvesimäärästä 5,7 % ja pintaveden osuudeksi 94,3 %. Sekoitussuhteiden perusteella keskimääräiseksi P_{TOT} pitoisuudeksi jää tällöin 88 $\mu\text{g/l}$, ja N_{TOT} pitoisuudeksi 2190 $\mu\text{g/l}$. Kokonaisfosforin pitoisuus nousee pidemmällä jaksolla keskimäärin noin 3 $\mu\text{g/l}$, ja kokonaistypen pitoisuus 90 $\mu\text{g/l}$. Prosentuaalinen nousu on kokonaisfosforille 4,0 % ja kokonaistypelle 4,5 %.

4 ISO-OLVASJÄRVI

4.1 Valuma-alue

Iso-Olvasjärven valuma-alue saatiin suoraan VALUE-järjestelmästä. Alueesta rajattiin pois Viinivaaran ja Kälvasvaaran pohjavesialueiden pohjaveden muodostumisalueet. Lopputuloksena saatiin järvelle kuvassa 5 esitetty valuma-alue. Alueen pinta-ala on 13,79 km^2 , josta Iso-Olvasjärven osuus on 4,59 km^2 .



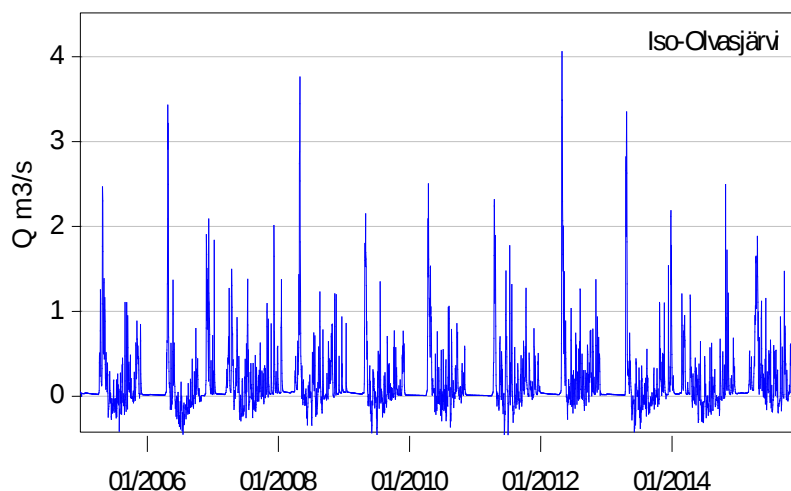
Kuva 5: Iso-Olvasjärven valuma-alue.

4.2 Pohjavedet

Pohjavesivalumaa päätyy Iso-Olvasjärveen Viinivaaran pohjavesialueelta Viinilän lähteestä 628 m^3/d , lähteestä nro 30 306 m^3/d ja Viinivaaran vesitasealueelta 8 (36,5 % alueesta) 538 m^3/d . Kälvasvaaran alueelta pohjavesivalumaa kertyy lappopumpauksesta 1200 m^3/d , lähteestä Kälvasvaara W 769 m^3/d , suoraan järveen pohjan kautta 1091 m^3/d ja vesitasealueelta 9 415 m^3/d . Viinivaarasta ja Kälvasvaarasta yhteensä kertyvä pohjavesimäärä on yhteensä 4947 m^3/d (57,3 l/s).

4.3 Pintavedet WSFS-mallin tiedoilla

Pintavesimäärä arvioitiin vastaavasti kuin Iso-Timoselle. Ulosvirtaama on esitetty kuvassa 6. Keskimääräinen ulosvirtaama järvestä ilman pohjavesivalumaa oli 0,1565 m^3/s ja pohjavesivaluman kanssa 0,214 m^3/s . Pohjaveden osuus tulovirtaamassa on tämän laskelman mukaan 27 %.



Kuva 6: Iso-Olvasjärvi, laskettu ulosvirtaama.

4.4 Pohjaveden valuman muutos

Pohjaveden oton seurauksena Viinivaarasta tuleva pohjavesivaluma vähenee seuraavasti (Pöyry 2016): Viinilän lähde 44,1 %, Lähde 30 34,3 %, ja vesitasealue 8 34,9 %. Kälvasvaaran pohjavesialueelta lappopumppauksen on oletettu loppuvan, mistä johtuen järveen päätyvä pohjavesivirtaama vähenee 1200 m³/d. Kälvasvaara W - lähteen virtaama kasvaa 54 m³/d, jolloin lähdevirtaamien vähenemä on yhteensä 1144 m³/d. Vesitasealueen 9 virtaama vähenee 25,8 %, ja suoraan järveen tuleva pohjavesivirtaama 13,3 %.

Yhteenlaskettu vähenemä on näistä arvoista laskettuna 2276 m³/d, jolloin pohjaveden sioton aikaiseksi pohjavesivirtaamaksi Iso-Olvasjärveen jää 2671 m³/d. Tämä on 54,0 % aikaisemmasta pohjavesivirtaamasta. Pohjaveden osuudeksi kokonaisvalumasta muuttuneessa tilanteessa jää 16,5 %.

4.5 Kokonaisravinnepitoisuuksien muutos

Iso-Olvasjärven viipymä on 1,5 m keskisyvyydellä laskettuna 370 d. Pitkähköstä viipymästä johtuen pinta- ja pohjavesien sekoittumiseen perustuva pitoisuusarviointi ei tällä järvellä välttämättä ole kovin luotettava.

Iso-Olvasjärven viimeisimmät vedenlaatumittaukset ovat vuoden 2016 kesältä, 25.7. ja 24.8. Näiden kahden mittauksen keskiarvo kokonaisfosforille (P_{TOT}) oli 66,5 µg/l, ja kokonaistypelle (N_{TOT}) 1550 µg/l. Kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 27 mg/l.

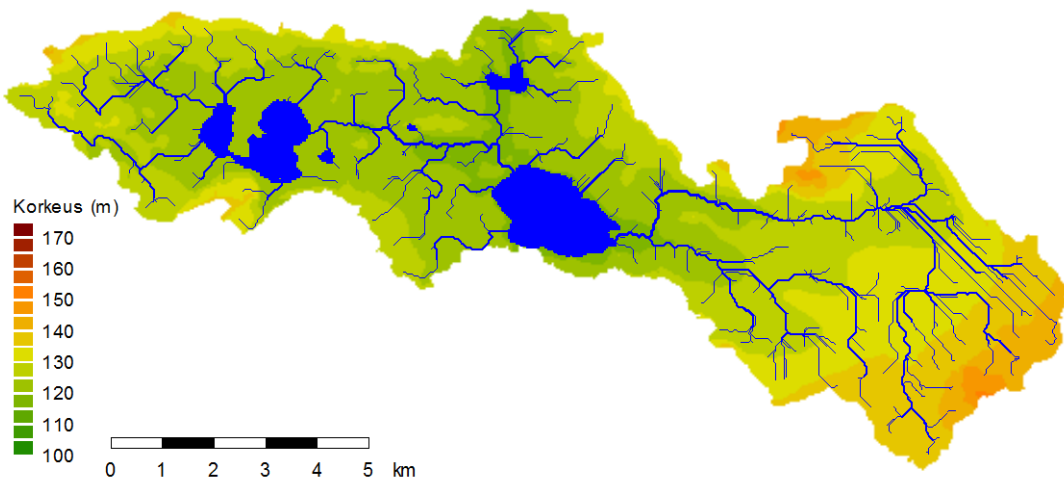
Pohjaveden osuuden ollessa 27 % vesimäärästä, ja pohjaveden pitoisuus edellä mainittu sekä fosforille että typelle, saadaan järveen valuvan pintaveden keskipitoisuudeksi pitkällä aikavälillä järvessä havaitun sekoituspitoisuuden perusteella P_{TOT} 87 µg/l, ja N_{TOT} 2100 µg/l. Pitoisuudet ovat varsin lähellä Iso-Timosen vastaavia arvoja.

Pohjaveden osuus laskee pohjaveden oton seurauksena aikaisemmasta virtaamasta, jolloin pohjaveden osuudeksi kokonaisvesimäärästä jää 17 % ja pintaveden osuudeksi 83 %. Sekoitussuhteiden perusteella keskimääräiseksi P_{TOT} pitoisuudeksi jää pohjavesivirtaaman vähenemisen jälkeen 74 µg/l, ja N_{TOT} pitoisuudeksi 1760 µg/l. Kokonaisfosforin pitoisuus nousee siis pidemmällä jaksolla keskimäärin noin 8 µg/l ja kokonaistypen pitoisuus noin 210 µg/l. Prosentuaalinen nousu on fosforille 12 % ja typelle 14 %.

5 MARTTISJÄRVI

5.1 Valuma-alue

Marttisjärven valuma-alue saatiin suoraan VALUE-järjestelmästä. Alueesta rajattiin pois Viinivaaran ja Kälväsvaaran pohjavesialueiden pohjaveden muodostumisalueet. Lopputuloksena saatiin järvelle kuvassa 7 esitetty valuma-alue. Alueen pinta-ala on $76,89 \text{ km}^2$, josta Marttisjärven osuus on $2,75 \text{ km}^2$, ja muiden järvien ja lampien yhteinen pinta-ala $4,88 \text{ km}^2$ (Iso-Timonen, Kaakkurilampi, Mustikkalampi, Paskolampi)



Kuva 7: Marttisjärven valuma-alue, josta poistettu pohjavesialueet.

5.2 Pohjavedet

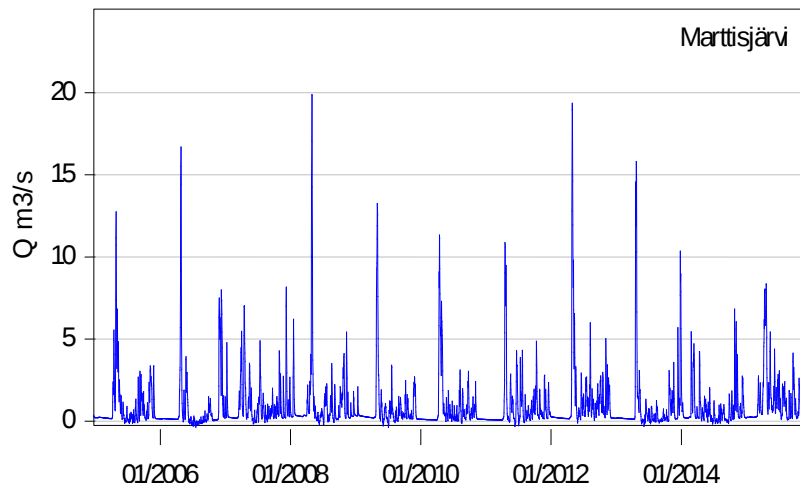
Pohjavesivalumaa päätyy Marttisjärveen sekä Viinivaaran että Kälväsvaaran pohjavesialueilta.

Viinivaaran puolella valuma-alueella on yksi lähde, jonka mitattu virtaama on $628 \text{ m}^3/\text{d}$. Viinivaaran vesitasealueista alueet 16 ($1109 \text{ m}^3/\text{d}$) ja 7 ($1026 \text{ m}^3/\text{d}$) sijoittuvat kokonaan ja alue 6 (37%, $344 \text{ m}^3/\text{d}$) osittain Marttisjärven valuma-alueelle. Vastaa- vat virtaamat nykytilanteessa ovat $1109 \text{ m}^3/\text{d}$, $1026 \text{ m}^3/\text{d}$ ja $127,3 \text{ m}^3/\text{d}$. Vedentuotto alueelle Viinivaaran puolelta on näistä yhteenlaskettuna $2890 \text{ m}^3/\text{d}$.

Kälväsvaaran puolelta alueelle sijoittuu kolme lähdetä (29, 35 ja 37), joiden mitatut virtaamat ovat em. järjestyksessä 400 , 402 ja $172 \text{ m}^3/\text{d}$. Lähteen 35 virtaama on epä- tarkka, johtuen suppeasta mittausaineistosta. Vesitasealueista valuma-alueelle sijoit- tuva alueet 5, 6, 7 ja 8, joiden virtaamat ovat vastaavasti 208 , 2226 , 2824 ja $176 \text{ m}^3/\text{d}$. Vedentuotto alueelle Kälväsvaaran puolelta on em. virtaamat yhteenlaskien $6408 \text{ m}^3/\text{d}$. Molemmat alueet yhteenlaskien pohjavettä tulee Marttisjärven valuma- alueelle $9300 \text{ m}^3/\text{d}$ tai 108 l/s .

5.3 Pintavedet WSFS-mallin tiedoilla

Pintavesimäärä arvioitiin vastaavasti kuin Iso-Timoselle. Ulosvirtaama on esitetty kuvassa 8. Keskimääräinen ulosvirtaama järvestä ilman pohjavesivalumaa oli $1,136 \text{ m}^3/\text{s}$, ja pohjavesivaluman kanssa $1,24 \text{ m}^3/\text{s}$. Pohjaveden osuus tulovirtaamassa on tämän laskelman mukaan 8,7 %.



Kuva 8: Marttisjärvi, laskettu ulosvirtaama.

5.4 Pohjaveden valuman muutos

Pohjaveden oton seurauksena Viinivaarasta tuleva pohjavesivaluma vähenee seuraavasti (Pöyry 2016): Lähde Viinivaara E, 62,7 % ja vesitasealueet 6, 16 ja 7 vähenevät vastaavasti 54,9 %, 38,5 % ja 32,8 %. Kuutiomäärinä vähenemäksi saadaan 1228 m³/d, jolloin Viinivaaran puolen pohjavesivirtaamaksi jää 1663 m³/d.

Kälväsvaaran puolen pohjavesivirtaamat vähenevät seuraavasti: lähteet yhteensä vähenemä 386 m³/d (pohjavesimallinnuksen perustella). Vesitasealueilta 5, 6, 7 ja 8 vähenevät ovat 10,8 %, 14,5 %, 18,8 % ja 15,5 % vastaavasti, yhteensä 902 m³/d. Kälväsvaaran puolen pohjavesivirtaamaksi jää tällöin 5506 m³/d.

Pohjaveden oton aiheuttama vähenemä pohjavesivirtaukseen on Marttisjärven valuma-alueella siten yhteensä 2516 m³/d, ja pohjavesivirtaama 6783 m³/d (79 l/s) eli 73 % nykytilanteesta. Kokonaisvalumassa pohjaveden osuus vähenee arvosta 8,7 % arvoon 6,5 %.

5.5 Kokonaisravinnepitoisuuksien muutos

Marttisjärvellä viipymä on 1,5 m oletussyvytydellä laskettuna 38 d.

Marttisjärven viimeisimmät vedenlaatumittaukset ovat vuoden 2016 kesältä (Pöyry 2016, Liite 3), 25.7. ja 25.8. Näiden kahden mittauksen keskiarvo kokonaisfosforille (P_{TOT}) oli 89,5 µg/l, ja kokonaistypelle (N_{TOT}) 1400 µg/l. Kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 17,5 mg/l.

Pohjavesiosuuden ollessa 8,7 % vesimäärästä, ja pohjaveden pitoisuus edellä mainittu sekä fosforille että typelle, saadaan järveen valuvan pintaveden keskipitoisuudeksi pitkällä aikavälillä järvessä havaitun sekoituspitoisuuden perusteella P_{TOT} 97 µg/l, ja N_{TOT} 1530 µg/l.

Pohjaveden osuus laskee pohjaveden oton seurauksena aikaisemmasta virtaamasta, jolloin pohjaveden osuudeksi kokonaisvesimäärästä jää 6,5 % ja pintaveden osuudeksi 93,5 %. Sekoitussuhteiden perusteella keskimääräiseksi P_{TOT} pitoisuudeksi jää pohjavesivirtaaman vähenemisen jälkeen 91 µg/l, ja N_{TOT} pitoisuudeksi 1430 µg/l. Kokonaisfosforin pitoisuus nousee siis pidemmällä jaksolla keskimäärin noin 2 µg/l, ja kokonaistypen pitoisuus noin 30 µg/l. Prosentuaalinen nousu on fosforille 2,1 % ja typelle 2,3 %.

6 ISO-RUOHONEN, VÄHÄ-RUOHONEN JA KIVIJÄRVI

6.1 Valuma-alueet

Iso-Ruohonen on Kivijoen valuma-alueen järviketjussa Marttisjärven alapuolella. Järven valuma-alue löytyy suoraan VALUE-järjestelmästä. Alueesta rajattiin pois Viinivaaran ja Kälvasvaaran pohjavesialueiden pohjaveden muodostumisalueet ($10,08 \text{ km}^2$), jolloin valuma-alueen kooksi jää 105 km^2 , Marttisjärven valuma-alueeseen verrattuna alue on $28,12 \text{ km}^2$ suurempi. Alueella olevien järvien pinta-ala on yhteensä $6,36 \text{ km}^2$.

Vähä-Ruohonen on Iso-Ruohosen alapuolella, järven valuma-alue (Value-järjestelmästä, ilman pohjavesialueita) on kooltaan 116 km^2 . Järvien yhteispinta-ala on $7,49 \text{ km}^2$.

Kivijärvi sijaitsee Vähä-Ruohosen alapuolella, ja siihen virtaa vettä Vähä-Ruohosen alueen lisäksi Pikku-Timosesta ja Lapinlammilta. Järven valuma-alueen koko (Value-järjestelmästä, ilman pohjavesialueita) on $148,3 \text{ km}^2$, ja järvien yhteispinta-ala $10,15 \text{ km}^2$.

6.2 Vedet

Pohjaveden otto ei vaikuta enää Marttisjärven alapuolisten järvien valuma-alueilla suoraan (pl. Marttisjärven valuma-alue), joten Viinivaaran ja Kälvasvaaran pohjavesialueiden pohjaveden osuus laskee Marttisjärven alapuolisilla järvillä samassa suhteessa, kun niihin tulee lisää pintavesivalumaa. Nykytilanteessa Kivijärven valuma-alueen valuma- ja haihduntatiedoilla laskettuna Iso-Ruohosen keskimääräinen ulosvirtaama on noin $1,660 \text{ m}^3/\text{s}$, Vähä-Ruohosen ulosvirtaama $1,820 \text{ m}^3/\text{s}$ ja Kivijärven ulosvirtaama $2,294 \text{ m}^3/\text{s}$. Pohjavesimäärä on sama kuin Marttisjärvessä ($107,7 \text{ l/s}$), jolloin pohjavesiosuuksiksi saadaan em. järjestyksessä 6,5 %, 5,9 % ja 4,7 %.

Pohjavesioton seurauksena järviveden pohjavesiosuudet laskevat arvoihin 4,7 %, 4,3 % ja 3,4 %.

Vedenlaadun osalta Iso- ja Vähä-Ruohosesta ei ole mittauksia vuoden 2003 jälkeen, mutta vedenlaadun muutosten voi olettaa olevan näissä samansuuntaisia kuin Marttisjärvessä, mutta lievempiä. Kivijärvellä laimenemismäärien perusteella arvioitu vedenlaadun muutos suunnilleen puolittuu Marttisjärveen verrattuna (valuma-alueen koko on noin kaksinkertainen), jolloin kokonaisfosforipitoisuuden voi arvioida Kivijärvellä nousevan noin $1 \text{ } \mu\text{g/l}$ ja kokonaistypen noin $15 \text{ } \mu\text{g/l}$. Pitkässä järviketjussa on viivettä, jolloin osa ravinteista sitoutuu normaaleissa olosuhteissa järviältäisiin. Todennäköinen pitoisuusnousu jää tällöin em. arvoja pienemmäksi.

YHTEENVETO

Tässä tarkastelussa on arvioitu pohjaveden osuutta Iso-Timosen, Iso-Olvasjärven ja Marttisjärven vedessä pohjavesimallin ja SYKEN WSFS-vesistömallin tuottamien tulosten perusteella. Pohjavesimalli on kalibroitu pohjavesipintojen havaintoihin ja kalibroinnin lopputulos vastasi hyvin pohjavesipinnan mittauksia. Vesistömalli on puolestaan kalibroitu saatavilla oleviin virtaamatietoihin. WSFS-mallin tulokset varmistettiin mallintamalla alueen pintavesivalumat myös toisella hydrologisella mallilla. Mallien tulokset vastasivat hyvin toisiaan.

Iso-Timosella pohjavesien osuuden järvivedestä arvioitiin olevan keskimäärin 9,9 %. Vedenoton seurauksena pohjaveden osuus järvivedessä laskee arvoon 5,7 %. Pinta- ja pohjavesien sekoittumiseen perustuvalla laskennalla järven pidemmän jakson kokonaisravinnepitoisuuksien arvioitiin nousevan noin 4,4 %. Iso-Timoselle arvioitu viipymä on 4 kk luokkaa, joten pitoisuus riippuu merkittävästi myös muista tekijöistä kuin pinta- ja pohjaveden sekoittumisesta. Näitä tekijöitä ovat esim. ravinteiden sedimentoituminen järven pohjaan, sekä mahdollinen järven sisäinen kuormitus.

Iso-Olvasjärvellä pohjaveden osuuden järvivedestä arvioitiin nykytilanteessa olevan keskimäärin 27 %. Vedenoton seurauksena pohjaveden osuus järvivedessä laskee arvoon 17 %. Mallinnuksessa on oletuksena Kälvasvaaran länsiosassa syyskuuhun 2017 asti käynnissä olleen lappopumppauksen päättymisen. Pinta- ja pohjavesien sekoittumiseen perustuvalla laskennalla kokonaisravinnepitoisuuksien arvioitiin nousevan järvessä noin 13 %. Järven arvioitu viipymä on yli vuoden, joten pitoisuus riippuu myös merkittävästi muista tekijöistä kuin pinta- ja pohjaveden sekoittumisesta.

Marttisjärvellä pohjaveden osuudeksi järvivedestä arvioitiin 8,7 %. Vedenoton Pohjavesioton seurauksena pohjaveden osuus järvivedessä laskee arvoon 6,5 %. Pidemmän jakson kokonaisravinnepitoisuuksien arvioitiin nousevan järvellä noin 2,1 – 2,3 %.

Marttisjärven alapuolisilla järvillä pohjaveden osuus järvivedestä oli alle 6,5 %. Vedenottolaski näitä osuuksia noin yhdellä – kahdella prosentilla. Kivijärven ulosvirtaamassa Viinivaaran ja Kälvasvaaran pohjaveden osuus laski 4,7 %:sta 3,4 %:iin.

LÄHDELUETTELO

Ilmatieteenlaitos, 2017, avoin-data-palvelu. Tiedot haettu 10/2017, lisenssitiedot <http://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data-lisenssi>

Lauri H., Veijalainen N., Kumm M., Koponen J., Virtanen M., Inkala A., and Sarkkula J., 2006, VMod Hydrological model user manual, Wup-Fin phase 2, Technical paper no. 2., Mekong River Commission

Maanmittauslaitos, 2017, Avoimien aineistojen tiedostopalvelu, tiedot haettu 10/2017, lisenssi ja tietojen haku sivulta <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>

Oulun Vesi, 2016, Viinivaaran pohjavesihanke, vaikutukset vesistöjen vesimääriin ja vedenlaatuun, Pöyry Finland Oy

Oulun Vesi, 2017, Viinivaaran pohjavesihanke, Lähdeselvityksen ja vaikutusarviointi, FCG, Pöyry Finland Oy, Ramboll

Pöyry Finland Oy 2016, Oulun Vesi, Viinivaaran ja Kälvésvaaran pohjavesimallinnus, virtaussimulaatit; päivitetty raportti, 30.11.2016.

SYKE 2017a, VALUE-valuma-alueiden rajaustyökalu, tiedot haettu 10/2017, <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>,

SYKE 2017b, Corine maanpeite 2012, Lapio-ympäristötietopalvelu, tiedot haettu 10/2017, <http://www.syke.fi/avointieto>, käyttöehdot http://www.syke.fi/fi-FI/Avoim_tieto/Kayttolupa_ja_vastuut

SYKE 2017c, SYKE HERTTA tietokanta, Viinivaaran ja Kälvésvaaran pohjaveden vedenlaatutiedot, tiedot poimittu 10/2017