

# Kirjallisuutta – Litteratur

## Maanalaista hydrologiaa

PINDER, GEORGE F. & MICHAEL A. CELIA (2006). *Subsurface hydrology*. 468 s. John Wiley & Sons, Hoboken.

Vermontin yliopistossa työskentelevän rakennus- ja ympäristötekniikan professori George Pinderin ja saman alan Princetonin yliopiston professori Michael Celian teos on suunnattu erityisesti maa- ja pohjavesihydrologian jatkoopiskelijoille. Teksti pohjautuu tekijöiden luentomateriaaliin, jota on vuosien varrella rukattu opiskelijoilta saadun palauteen perusteella. Pääpaino on pohjavesihydrologiassa, mutta myös kyllästymättömän vyöhykkeen sekä pohja- ja maaveden välistä vuorovaikutusta tarkastellaan. Ulkoasu on tyylikäs, kuvat selkeitä ja ”juoni” etenee loogisesti. Opiskelijalle avautuu selkeä, kokonaisvaltainen kuva pohjaveden virtaukseen ja aineiden kulkeutumiseen liittyvistä prosesseista. Tämä sillä edellytyksellä, että lukijalla riittää kärsivällisyyttä ja ennen kaikkea taitoa omaksua teoksen lukuisat yhtälöt ratkaisuihin.

Kirjaan tutustuessa heräsi välittömästi kysymys: ”Antaako tämä teos jotain uutta jo olemassa olevaan kirjallisuuteen?” Kuten kirjallisuusviitteistä käy ilmi, alan kirjallisuutta löytyy maailmalta runsaasti ja tässäkin teoksessa esitetyt analyttiset ja numeeriset ratkaisumenetelmät on esitetty monessakin pohjavesiä käsittelevässä teoksessa. Aiheeseen on kuitenkin paneuduttu poikkeuksellisen syvällisesti ja uusia näkökulmia esitetään sekä numeeriseen ratkaisutekniikkaan että itse aihepiiriin kysymyksiin. Virtausyhtälöiden ratkaisumenetelmiä on kehitetty jo pitkään ja teoksessa käsitellään ratkaisuvaihtoehtoja aikajärjestyksessä. Pohjaveden laatuun liittyvissä kysymyksissä esitetään konkreettisia, selkein kuvin varustettuja esimerkkejä suurimmista saastuttajista. Myöhemmin kuvataan, miten laatutekijät otetaan huomioon pohjaveden virtausyhtälöiden ratkaisussa. Lisäksi esitellään poikkeuksellisen paljon aiheeseen liittyvää geologiaa ja peruskemiaa.

Teoksen alussa Pinder ja Celia esittävät maapallon vesivarat ja keskimääräiset veden viipymät näissä varastoissa. Pohjavesien osuus kaikista vesivaroista on äärimmäisen pieni, ainoastaan 1,7 prosenttia. Se jakautuu makeaan (45 %) ja suolaiseen (65 %) veteen. Sovellusesimerkit keskittyvät Yhdysvaltoihin. Kiinnostavaa tietoa pohjavesien käytöstä kerrotaan osavaltioittain. Eniten pohjavettä juomavetenä käytetään Havaijin saariosavaltiossa (97 %), Idahossa ja Floridassa (93 %), vähiten Coloradossa (22 %) ja Kentuckyssä (25 %).

Maa- ja kallioperän hydrologiset ominaisuudet riippuvat vahvasti geologisesta synty-ympäristöstään. Teoksessa selvitetään geologisten tekijöiden vaikutusta muun muassa pohjaveden alueelliseen esiintymiseen ja kemialliseen koostumukseen. Geologinen aineisto luokitellaan teoksessa neljään luokkaan: kiinteytyneisiin ja vielä kiinteytymättömiin kerrostuneeseen aineeseen sekä metamorfisiin ja magmakivilajeihin. Kunkin geologisen

rakenteen merkitystä pohjavesivirtaukseen ja aineiden kulkeutumiseen tarkastellaan erikseen. Lisäksi käsitellään geologisen ajan käsitettä ja mannerlaattojen liikuntaa eri geologisina ajanjaksoina. Näiden yhteyttä teoksen pääaiheeseen on kuitenkin vaikea hahmottaa.

Lähes kaikki maa- ja pohjavesi on peräisin maanpinnalta ja pintavesistöistä. Pohjaveden pinta noudattaa pääosin maan pinnanmuodostusta ja yhtyy maanpintaan vesistöissä tai soilla. Veden kiertokulkuun tulee vain vähäisiä määriä vettä kallioperästä. Pohjavesiprosesseissa on keskeistä myös veden viipymä varastossa. Kun virtaavissa vesissä viipymä on keskimäärin pari viikkoa, pohjavesissä se on hyvin pitkä, keskimäärin 229 vuotta. Pohjavedet pilaantuvat varsin hitaasti, mutta vastaavasti niiden kunnostaminenkin on hidasta ja vaatii vuosisatoja.

Pohjavesiä pilaavat saasteet jaetaan teoksessa kahteen luokkaan, luontaisesti esiintyviin ja ihmisen toiminnasta aiheutuviin haitta-aineisiin. Ensin mainittuja ovat muun muassa suolainen vesi, arseeni ja radon. Ihmisen toiminnan aiheuttamista haitta-aineista tarkastellaan lähemmin kromia, maanalaisia keräilyaltaita, sakokaivoja ja kaatopaikkoja. Samalla esitellään pohjavesimallinnuksessa käytettävät perusyhtälöt, mallinnuksen reunaehdot ja perustietoa tarvittavien muuttujien kokeellisesta mittauksesta.

Teoksen painopiste on selvästi pohjavesivirtausyhtälöiden kuvaamisessa ja niihin liittyvissä numeerisissa ratkaisutekniikoissa. Kirjassa käsitellään yksityiskohtaisesti kaikki tärkeimmät pohjavesihydrologiaan liittyvät käsitteet, kuten paine, painekorkeus, nestepotentiaali, huokoisuus, hydraulinen johtavuus ja kyllästysaste.

Maanalaisten vesien liikettä kuvataan yleisesti Darcyn yhtälöllä, jonka avulla virtaavan veden nopeus voidaan määrittää huokoisessa väliaineessa. Teoksessa esitetään seikkaperäisesti, miten ranskalainen insinööri Henry Darcy osoitti 1800-luvun puolivälissä, että vaakasuoran hiekkakerroksen läpi suotautuvan veden määrä on suoraan verrannollinen vedenpaineeseen, mutta kääntäen verrannollinen hiekkakerroksen paksuuteen. Tämä kuuluisa pohjavesihydrauliikan peruslaki syntyi, kun Darcy yritti ratkaista ranskalaisen Dijonin kaupungin jäteongelmia. Myöhemmin kirjoittajat soveltavat Darcyn lakia vesi-ilma- ja monivirtaustilanteessa, jossa tarkastellaan veteen liukenemattomia nesteitä (esim. öljyä).

Matemaattinen malli on aina yksinkertaistettu kuvaus pohjavesisysteemissä tapahtuvista prosesseista. Useimmiten yhtälöt voidaan ratkaista joko analyttisesti tai numeerisesti. Jotta analyttinen ratkaisu olisi mahdollinen, on systeemin oltava melko yksinkertainen ja reunaehdot selkeitä. Yleisesti käytettävät numeeriset ratkaisut perustuvat joko niin sanottuihin differenssi- tai elementtimenetelmiin. Teoksessa tarkastellaan lisäksi uudehkoa, tilavuusmenetelmään (*finite-volume method*) pohjautuvaa ratkaisua. Myös mainittujen menetelmien erilaiset ratkaisuyhtälöt eri olotilauksissa esitetään yksityiskohtaisesti.

Pohjavesien kunnostusmenetelmiäkin tarkastellaan. Ne on jaettu kahteen ryhmään: niihin, joissa pilaantunut aines poistetaan ja käsitellään jätteenkäsittelylaitoksella sekä niihin, joissa kunnostus tapahtuu paikan päällä. Lähemmin tarkastellaan Suomessakin yleistä *pump and treat* -menetelmää. Lisäksi valotetaan huokosilmäkäsitelyä ja pohjaveden ilmastusta, joita käytetään esimerkiksi huoltoasemakiinteistöjen kunnostamisessa. Uusimmista menetelmistä käydään läpi muun muassa reaktiiviset seinämät ja luontainen biohajoaminen.

Vaikka teoksen johdonmukaisuus sekä erityisesti kuvamateriaalin selkeys viehättävätkin, jän kaipaamaan pohjavesimallinnukseen liittyvien käytännön ongelmien selkeämpää esiin nostamista. Ylipäänsä kaikessa mallinnuksessa tulos on korkeintaan yhtä hyvä kuin malliin syötetyt lähtötiedot. Käytettyjen virtausyhtälöiden soveltuvuus heterogeenisiin luonnon olosuhteisiin aiheuttaa

vääjäämättä epävarmuutta mallinnukseen. Koska maastossa tehdyt mittaukset ovat useimmiten hajanaisia, epäyhtenäisiä ja puutteellisia, jää mallintajan epäkiitolliseksi tehtäväksi ensin mittaustulosten tulkinta, mallisovelluksen laadinta ja lopuksi näistä saatavien tulosten tulkinta.

Painavaa teosta ei ole suunnattu aloittelijoille, eikä myöskään niille tutkijoille, jotka käyttävät työssään valmiita pohjavesimalleja. Oivallista apua kirja tarjoaa niille, jotka itse laativat pohjavesimalleja ja haluavat vertailla erilaisia numeerisia ratkaisumenetelmiä. Hyödyllisiä ovat myös jokaista kappaletta seuraavat laskutehtävät.

Nykyisenä Google-aikanakin tarvitaan perusteoksia, joiden sisältöön voi luottaa. Tämä teos on sellainen.

SIRKKA TATTARI  
Suomen ympäristökeskus