Juha-Pekka Ristola

HELSINGIN YLIOPISTON
YMPÄRISTÖEKOLOGIAN LAITOKSEN
TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA
53

Lahden kaupungin kehittymisen vaikutus alueensa pohjavesien laatuun

LAHDEN KAUPUNGIN KEHITTYMISEN VAIKUTUS ALUEENSA POHJAVESIEN LAATUUN

JUHA-PEKKA RISTOLA

50.13
RIS
TYL

HELSINGIN YLIOPISTO
YMPÄRISTÖEKOLOGIAN LAITOS
KAUPUNKITUTKIMUKSEN
MAISTERIOHJELMA
PRO GRADU-TUTKIELMA
14.5.2008

LAHDEN TIEDEKIRJASTO
Lahti Science Library

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion	Laitos – Institution
Biotieteellinen tiedekunta	Ympäristöekologian laitos

Tekijä – Författare
Juha-Pekka Ristola

Työn nimi – Arbetets titel
Lahden kaupungin kehittymisen vaikutus alueensa pohjavesien laatuun

Oppiaine – Läroämne
Ympäristöekologia

Työn laji – Arbetets art	Aika – Datum	Sivumäärä – Sidoantal
Pro gradu -tutkielma	14.5.2008	48

Tiivistelmä – Referat

Tässä Pro gradu -työssäni päämääränä oli selvittää kaupungin kehittymisen eli kaupungistumisen vaikutusta pohjaveden laatuun. Esimerkkikohteena käytettiin Lahden kaupunkia ja sen pohjavesiä. Kaupungin erikoinen sijainti tärkeimpien pohjavesivarojensa päällä oli keskeinen valintakriteeri tutkimuskohteeksi. Pro gradussani tutkin pohjaveden laadullisia muutoksia sinä aikana, kun pohjavettä on kunnallisen vesilaitoksen toiminta-aikana Lahden alueella otettu ja käytetty yhteiskunnan tarpeisiin. Työssäni tarkastelin myös kaupungissa tapahtuneita samanaikaisia muutoksia, kuten peitteisyyden lisääntymistä, viemäröinnin ja infrastruktuurin rakentamista, yleistä maankäyttöä, hulevesien hallintaa, haitta-aineiden käyttöä, pintavesistöjen muutoksia sekä asukasmäärän kehittymistä.

Tutkielma nojautuu valmiisiin pohjaveden tarkkailuaineistoihin, joita on valvontaviranomaisten toimesta syntynyt eri aikakausina lakien ja asetusten edellyttämänä. Niiden perusteella olen luonut tarkasteltavan aineiston, joihin olen sisällyttänyt keskeisiä tutkimusparametreja. Tarkoituksena on ollut keskittyä nimenomaan Launeen pohjavedenottamon raakaveden kaivonäytteisiin. Tutkimusaineiston lähtödokumentteina käytettiin Launeen vedenottamon vanhoja tarkkailuarkistoja, jotka ovat nykyään Lahti Aquan (aikaisemmin Lahti Vesi Oy) hallinnassa. Tutkittaviksi valittiin parametreja, joita on havainnoitu mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta ja analysointia voidaan pitää koko havainnointijakson osalta luotettavana. Luonnollinen valinta oli Lahden pitkäikäisin vedenottamo, Launeen vedenottamo (perustettu 1910), josta tutkimustietoja löytyy vuodesta 1953. Tutkitut parametrit olivat alkaliniteetti, fluori, happi, hiilidioksidi, kaliumpermanganaatin kulutus, kloridi, kokonaiskovuus, nitraatti, pH, sulfaatti sekä sähkönjohtavuus.

Veden laadun ajallinen kehitys tutkittiin lineaarisen regressioanalyysin avulla siten, että selittävänä muuttujana oli aika ja selitettävänä muuttujana kulloinkin tarkasteltava tutkimusparametri. Parhaiten ajan suhteen eli miltei kokonaan selittyvät parametreista sähkönjohtavuus ja hiilidioksidi. Yli 50 % ajan muutoksella selittyviä ovat kloridi, kaliumpermanganaattiluku, happi, ja alkaliniteetti. Sulfaatin selitysaste on 42,5 %. Alle 50 % ajan muutoksella selittyviä parametreja ovat nitraatti, kokonaiskovuus ja pH. Fluori ei selity ajan suhteen.

Yleistä likaantumista kuvaava sähkönjohtavuus on noussut koko havaintokautensa ajan vuodesta 1965. Sähkönjohtavuus kuvaa elektrolyyttien määrää (erityisesti suolat). Se on luotettava yleisen puhtauden ja laadun mittari. Nousu on väliaikaisesti pysähtynyt 1980-luvun lopulla, mutta 1990-luvun alusta lähtien kohonnut jälleen. Pohjaveden liikkuminen pääasialliselta muodostumisalueelta, Lahden keskusta-alueelta, Launeelle kestää 15 vuotta. Launeen pohjavesi on muuttunut lähes hapettomaksi. Pohjaveden muodostumisalueiden peitteellisyys on lisääntynyt voimakkaasti. Osa Launeen vedestä muodostuu tekopohjavetenä ranta-imeytymällä Vesijärvestä, josta on ajoittain mitattu alhaisia happipitoisuuksia. Pohjaveden olosuhteiden muuttuminen vähähappisiksi on edistänyt hiilidioksidin muodostumista Launeella. Lisääntynyt hiilidioksidi on tehnyt vedestä aggressiivista eli se syövyttää mineraaleja ja haitallisten aineiden liukeneminen veteen kiihtyy. Nitraattipitoisuudet ovat myös lievässä nousussa. Tutkimuksen keskeinen hypoteesi siitä, että kaupunki toimintoineen heikentää pohjaveden laatua, koska kaupungista pääsee pohjaveteen ravinteita, suoloja ja muita haitallisia aineita, näyttää saavan tukea. Lahden kaupungin voimakas kasvukehitys on heijastunut sen alla sijaitsevien pohjavesien laatuun heikentävästi.

Avainsanat – Nyckelord
Pohjavesi, happi, kaupungistuminen, Laune, ruhjealue, Salpausselkä, rantaimeytyminen

Säilytyspaikka - Förvaringställe

Muita tietoja
Ohjaajat FT Kirsi Vakkilainen ja DI Juha Määttä

Sisällysluettelo:

1. JOHDANTO 3
1.1. Tutkimuksen tausta 3
1.2. Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät 8
1.3. Pohjaveden laatua uhkaavat tekijät Lahdessa 8
1.4. Pohjaveden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet 11
1.5. Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit 15

2. AINEISTO JA MENETELMÄT 16
2.1. Tutkimusalue 16
2.2. Tutkitut veden laatuominaisuudet 24
2.3. Aineiston käsittely 26

3. TULOKSET 27
3.1. Alkaliteetti 27
3.2. Fluori 28
3.3. Happi 29
3.4. Hiilidioksidi 30
3.5. Kaliumpermanganaatin kulutus 31
3.6. Kloridi 32
3.7. Kokonaiskovuus 33
3.8. Nitraatti 34
3.9. pH 35
3.10. Sulfaatti 36
3.11. Sähkön johtokyky 37

4. TULOSTEN TARKASTELU 39

5. KIITOKSET 45

6. KIRJALLISUUS 46

1. Johdanto

1.1. Tutkimuksen tausta

Ihminen on joutunut hankkimaan vettä koko olemassaolonsa ajan. Yhteiskunnan normaalin elämän ja päivittäisen vesihuollon yhteensovittaminen on ongelmallista. Myös Suomessa on viime aikoina havahduttu pohjaveden käyttöön perustuvan vedenhankinnan ja sen järjestelmien haavoittuvuuteen. Kun ihmiskunnan tekniset ratkaisut ja infrastruktuurin rakentaminen liitetään luonnollisiin vedenkulkeutumisteorioihin, niin voidaan havaita, että ne epäonnistuvat kaupunkiekosysteemien kohdalla usein (Kaye ym. 2006). Jo ensimmäiset asutut alueet ja niiden vaikutukset ovat vähentäneet hapen pitoisuutta pohjavesissä yhdessä eloperäisten yhdisteiden vaikutuksen ja pienenevän pohjaveden muodostumisen johdosta (Trauth & Xanthopoulos 1997).

Suurimmat maankäytön ja – rakentamisen aiheuttamat haitat pohjavesille ovat muodostuneet väylien rakentamisesta (Kaluarachchi & Twarakavi 2006). Yhteiskunnan vedenottaminen joko pohjavesi- tai pintavesitekniikkaan perustuen tai puhdistetun veden uudelleen käyttämiseen perustuen aiheuttaa aina eriasteisia häiriöitä tai muutoksia ekosysteemiin (Kaye ym. 2006). Kehittyneissä maissa jäteveden keräys ja käsittely on järjestetty niin täydellisesti, että jätevesi ei vaikuta haitallisesti pohjaveden laatuun. Se ei kuitenkaan eliminoi pohjaveden saastumisriskiä joka aiheutuu vuotavista jätevesiviemäreistä (Lerner & Wakida 2005).

Kaupunkia voidaan pitää omana ekosysteeminään. Sen vaikutusta omiin ilma-, maa- ja vesiolosuhteisiinsa voidaan tutkia luotettavilla menetelmillä. Jos vertaillaan täysin luonnonvaraista ja samalla nykyään varsin teoreettista ekosysteemiä, joka on vailla ihmisen vaikutusta, niin voidaan varsin helposti

havaita, että pilaantunut tai pilaantuva pohjavesi on lähes aina ihmisen toiminnan aiheuttamaa, joko suoraan tai välillisesti. Tämä johtuu luonnon ekosysteemipalvelujen heikentyneestä toiminnasta sekä kaupungin ekosysteemien heikentyneestä kyvystä vastaanottaa ja luovuttaa materiaalia ja energiaa.

Pohjavesi on varsin huono luovuttamaan siihen päätyneitä haitta-aineita mekaanisen liikkumattomuutensa, stabiilin alhaisen lämpötilansa ja haihtumattoman ympäristönsä sekä auringon valottomuutensa takia. Kyse on "inputin ja outputin" välisestä balanssista, metabolisesta tasapainottelusta. Koska kaupungeissa lähes kaikki sen kuluttajaportaan käyttämistä resursseista tuodaan systeemin ulkopuolelta, on selvää, ettei kaupunkiluonto selviydy moisen yltäkylläisyyden kierrättämisestä. Se vuotaa metaboliansa läpikäyneitä käyttökelpoisia ja – kelvottomia resursseja ja yhdisteitä systeemin ulkopuolelle. Lahti käy hyvästä esimerkistä. (Setälä 2006).

Näin syntyneet yhdisteet ovat vuosikymmenien ajan heikentäneet järvien ja jokien virkistysarvoa lähiympäristössään ja vaikuttaneet valtakunnallisesti kenties arvokkaimman pohjavesivaraston veden laatuun. Kaupungeille ominainen ilman, maaperän sekä pohja- ja pintaveden saastuminen on suureksi osaksi seurausta kaupunkikulttuurille ominaisesta vaillinaisesti toimivasta kierrätyskoneistosta (Setälä 2006). Lahden kaupunki sijaitsee harjualueen ytimen ja reuna-alueiden päällä. Kaupunkilaiset elävät päivittäistä elämäänsä pohjavesivarojensa päällä. Käytettävät vesivarat ovat käyttäjien välittömässä vaikutuspiirissä, vain muutaman metrin syvyydessä.

Kaupunkialueilla, jotka on rakennettu pohjaveden muodostumisalueelle, valuma-alue on voimakkaasti muuttunut, kun aiemmin luonnontilaista ja läpäisevää maanpintaa on asfaltoitu tai kivetty. Näin ollen kaupunkien hydrologinen kierto on muuttunut. Kaupungeissa, joissa on pinnoitettua alaa yli 75 %, imeytymistä maahan tapahtuu vain 15 % ja valuntaa vesistöihin 55 % kokonaisvesimäärästä. Luonnonmukaisella alueella imeytyy 50 % maahan ja

valuu vain 10 % eteenpäin (Arnold & Gibbons 1996). Kun sadevesi ja lumen sulamisvesi huuhtovat rakennettuja pintoja, veteen liukenee ravinteita ja haitallisia aineita, esimerkiksi öljyjä ja autojen pakokaasuista peräisin olevia polyaromaattisia hiilivetyjä, jotka ovat laskeutuneet tasopinnoille (Kotola ja Nurminen 2003). Tämä kiinteistöjen kattovesistä, tieltä, piha-alueilta ja perustusten kuivatusvesistä kerääntyvä sadevesi eli hulevesi päätyy sadevesiviemäriin ja pintavesistöihin tai jäteveden puhdistamolle. Tällöin luonnollista pohjavettä muodostuu vähemmän ja pintaveden suhteellinen osuus sekä ranta-imeytyminen lisääntyvät.

Pohjavesi on yksi tärkeimmistä kansakuntien luonnonvaroista (Kaluarachchi & Twarakavi 2006). Sen muodostumiseen vaikuttaa pääasiassa sadanta. Suomessa pohjavesi muodostuu maahan imeytyvästä sadevedestä ja lumen sulamisvedestä (Mustonen 1986). Maanpinnan alle joutuneen sade- tai sulamisveden virratessa alaspäin se kohtaa vettä läpäisemättömän alustan. Tämän päälle muodostuu vesikerros, joka kokonaan täyttää geologisen väliaineen avoimet tilat. Tällaista vettä sanotaan pohjavedeksi. Sen laatu säilyy tasaisena vuodenajoista riippumatta. Pohjavesi on esteettisessä mielessä korkealuokkaisempaa ja maultaan raikkaampaa kuin tehokkaastikin käsitelty pintavesi. Sen käsittelytarve on yleensä pieni. Suojaavan maakerroksen ansiosta pohjavedessä ei yleensä ole bakteereja, eikä se ole yhtä altista likaantumiselle kuin pintavesi. Toisaalta likaantumisen aiheuttaman haitan poistaminen on hankalampaa pohjavedestä kuin pintavedestä (Mustonen 1986). Pohjavesi voi olla luonnollista pohjavettä tai tekopohjavettä. Rantaimeytystä tapahtuu luonnostaan, mutta tekopohjavettä voidaan myös valmistaa keinotekoisesti (Helmisaari 2003).

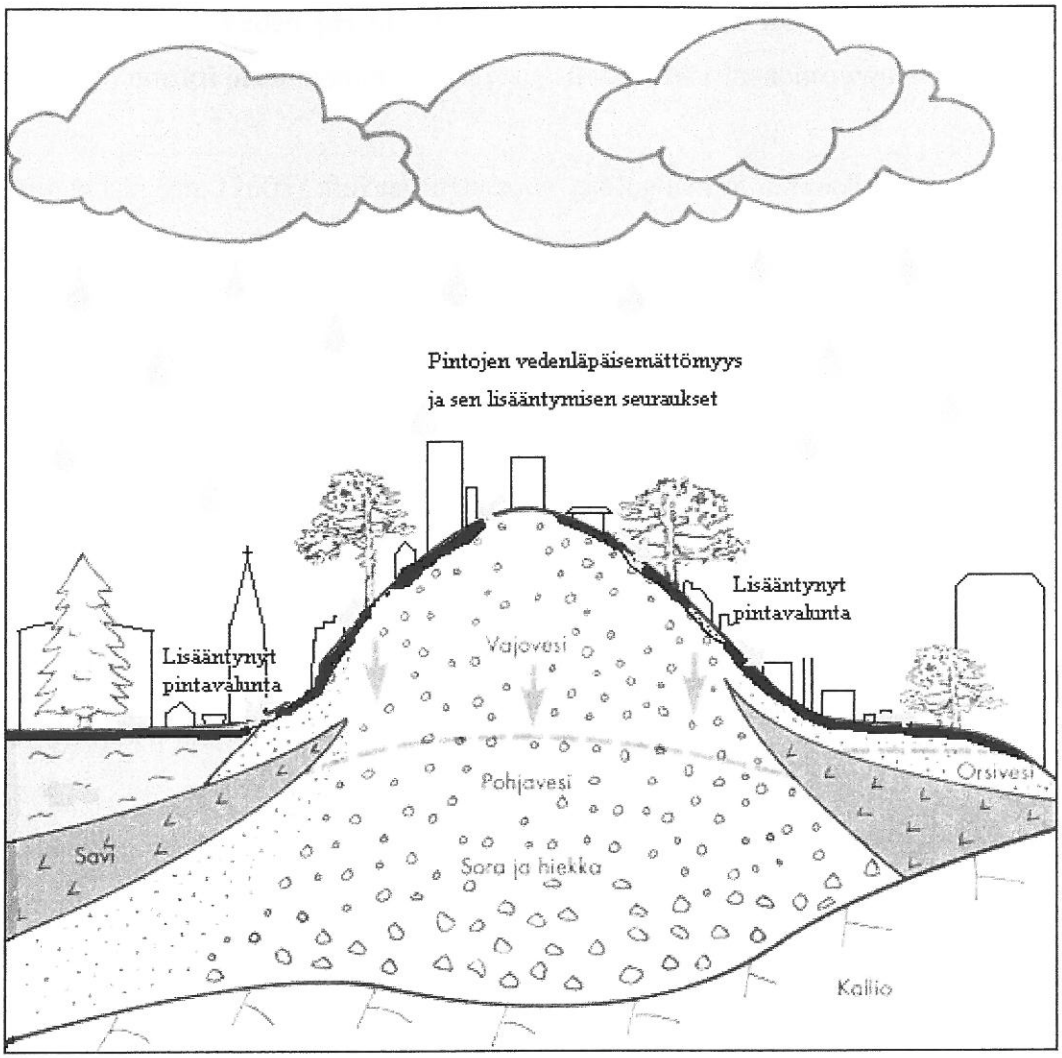
Rantaimeytyvällä pohjavedellä tarkoitetaan pohjavettä, joka muodostuu olosuhteissa, joissa harjussa olevan pohjaveden pinta on syvemmällä kuin harjun reunassa olevan pintaveden pinnankorkeus ja niiden pinta- ja pohjavesien välissä oleva maa-ainesmateriaali sallii veden painovoimaisen liikkumisen. Sopivia maamateriaaleja ranta-imeytyneen veden muodostumiselle ovat tasalaatuinen normaali hiekka ja hieno hiekka.

Pohjavesialueet ovat alueita, joista on arvioitu saatavan vettä vedenhankinnalliseen hyötykäyttöön (Britschgi ja Gustafsson 1996). Pohjavesialue sisältää varsinaisen pohjaveden muodostumisalueen ja sen ympärillä sijaitsevan reuna-alueen. Reuna-alue on tarkoitettu ulommaksi suojavyöhykkeeksi ja sen ulkoraja on sama kuin pohjavesialueen raja. Raja voi olla havaittu valuma-alueen raja tai se voi olla myös arvionvaraisesti piirretty, helposti tunnistettavia maaston kohtia myötäilevä raja (Kinnunen 2005). Alueet on luokiteltu ympäristöviranomaisten toimesta kolmeen eri luokkaan, jotka ovat vedenhankinnan kannalta tärkeä pohjavesialue (I), vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue (II) ja muu pohjavesialue (III). Pohjavesialueisiin eivät kuulu alueet, joilta saatava pohjavesi ei lisäselvitystenkään jälkeen ole puhdistuskelpoista tai muuten vedenhankintaan soveltuvaa (Britschgi ym. 1993). Luokittelua uudistetaan ympäristöhallinnon toimesta siten, että jaottelussa tulee olemaan tulevaisuudessa kaksi luokkaa. Muu pohjavesialue jätetään pois tai sulautetaan kahteen ensimmäiseen luokkaan (Lavapuro ym. 2007).

Pohjavesivyöhyke on horisontaalinen kerrostuma, jossa maarakeiden välinen huokostila on veden täyttämä. Suomen pohjavesivaroista suurin osa sijaitsee huokoisissa, karkearakeisissa sora- ja hiekkamuodostumissa eli harjuissa (Mustonen 1986). Suomessa pohjaveden pinta on normaalisti 2 – 4 metrin syvyydellä, lukuun ottamatta harjualueita, jossa se voi olla 30 – 50 metrin syvyydessä (Heikkinen 2000).

Akviferi on geologisista aineen nimistä riippumaton termi muodostelmalle, joka on veden kyllästämä ja johtaa vettä vähintään tyydyttävästi (Mälkki 1999). Akvifereja ympäristöineen sekä muita pohjaveden hyödyntämismahdollisuuksia tarjoavia muodostumia nimitetään pohjavesiesiintymiksi (Kinnunen ym. 2005). Suomessa pääakviferit liittyvät pitkittäisharjuihin ja reunamuodostumiin. Niissä on veden hydrologiseen kiertoon hyvät edellytykset (Mustonen 1986). Tarkasteltaessa pohjavesi- ja harjualueiden sijaintia, voidaan havaita harjualueiden sijaitsevan aina luokitellulla pohjavesialueella. Kuvassa 1 on havainnollistettu pohjaveden muodostumista harjualueella, jossa on asutusta.

Luonnontilaiseen pohjaveden muodostumiseen verrattuna on peitteisyyden kasvun seurauksena sadevedestä muodostuva vajovesi vähentynyt ja pintavalunta samanaikaisesti lisääntynyt (Kuva 1).



Kuva 1. Pohjaveden muodostuminen rakennetulla harjualueella; osa maan pinnasta on kuvattu paksunnetulla tummalla viivalla, joka esittää maanpeitteisyyden lisääntymistä rakennetuilla alueilla

1.2. Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät

Suomen pohjavedet ovat yleensä lievästi happamia, hyvin pehmeitä, niukkasuolaisia ja usein ainakin lievästi metalliputkistoja syövyttäviä. Orgaanisen aineksen määrät sekä rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat pieniä. (Mälkki 1999). Veden pH on yleensä noin 6,5. Typen johdannaisten määrät (nitraatti, nitriitti ja ammonium) ovat yleensä vähäisiä (Lavapuro ym. 2007).

Edmundsin ym. (2003) mukaan maaperän geologinen monimuotoisuus määrää pääasiallisesti pohjaveden laadun riippumatta muista tekijöistä. Veden laatuun vaikuttavat tekijät ovat Ilmastin ym. (1990) mukaan:

1. ilmastolliset tekijät
2. geologiset tekijät
3. merelliset eli mariiniset tekijät: vanhojen merenpohja-alueiden pohjasedimentit ja kallioperän reliktinen pohjavesi
4. ihmisen vaikutus eli antropogeeniset tai teknogeeniset tekijät.

1.3. Pohjaveden laatua uhkaavat toiminnat Lahdessa

Kysymys vesihuollosta on kysymys kaupungistumisen onnistumisesta ja ihmisen yrityksestä luoda itselleen parempaa ympäristöä (Juuti 2001). Vesihuolto käsitteenä muodostuu kahdesta osa-alueesta: yhteiskunnan eli yhdyskuntien vedenhankinnasta sekä syntyvän jäteveden viemäröinnistä. Vedenhankinnalla tarkoitetaan päivittäisen käyttöveden hankkimista ja jalostamista hygieeniseksi tuotteeksi. Vesihuollon tarpeisiin valituilla ratkaisuilla on suora vaikutus alueen asukkaisiin ja samalla koko yhdyskuntaan (Juuti 2001). Pohjavettä käytetään maailmanlaajuisesti. Sen käyttö ei kuitenkaan aina ole mahdollista riittävien suurien tai tarpeeksi lähellä olevien pohjaveden muodostumisalueiden puuttuessa. On turvauduttu suojattomampaan ja usein heikompilaatuiseen pintaveteen

Pintavedet, hulevedet ja pohjavedet ovat kiinteästi yhteydessä toisiinsa Lahden alueella. Rantaimeytymisen vaikutus pohjaveden syntymiseen Lahdessa on merkittävä. Rantaimeytymistä tapahtuu lähinnä Vesijärven etelärannassa Jalkaranta – Pallas – alueella. Myös alueen pienemmistä ojista, puroista ja lammista tms. suotautuu tuntematon määrä vettä harjuun. Lahden keskusta sijaitsee kokonaisuudessaan pohjavesialueella.

Lahdessa ja sen lähialueilla on muodostettu suurille tiealueille pohjavedensuojausvyöhykkeitä, joiden avulla aiemmin hallitsematonta pintavaluntaa ja sen suuntaa saadaan kontrolloitua varsin tehokkaasti. Lahden läpi kulkee monta merkittävää moottoriliikenneväylää, mm. itä-länsisuuntainen VT 12 ja etelä-pohjoissuuntaiset E4 ja E5. Myös Suomen rautateiden pääväylä kulkee Lahden kautta. Väyliä käytetään runsaasti tavaraliikenteessä ja ne kulkevat merkittävien pohjavesialueiden kautta Lahdessa ja sen lähiympäristössä. Rautatieosuudella kulkee merkittävä määrä Suomen sisäisestä itä-länsisuuntaisesta liikenteestä. Se on myös pääasiallinen kauppaväylä Venäjälle. Liikenne sisältää merkittäviä öljy- ja kemikaalikuljetuksia. Myös useita vanhoja osittain kunnoltaan tuntemattomia jäteveden kuljettamiseen tarkoitettuja kiinteistö- ja pääviemäreitä kulkee Lahden ensimmäisen luokan pohjavesialueiden läpi. Maa-ainesten otto Lahden seudulla on runsaiden soraharjujen sijainnin johdosta ollut mittavaa. Nykyään soranottoa on alueella kuitenkin rajoitettu pohjavesien pilaantumisriskin pienentämiseksi.

Lahden alueen pohjavesissä on havaittu viime vuosikymmeninä kemikaaleja. Osa vedenottamoista on pois käytöstä tuhoeläinten torjunta-aine- ja teollisuuden liuotinkemikaalijäämien takia. Löytyneiden torjunta-aineiden jäämät ovat yleensä alkuperältään vanhoja. Niitä on vaikea saada pois maaperästä siten, että ne eivät joutuisi pohjavesiin. Valtaosa alueen pohjavesistä tavatuista liuottimista on tri- ja tetrakloorieteeniä. Liuotinpäästöjä havaitaan epäsäännöllisesti, eikä niiden alkuperää pystytä osoittamaan kiistattomasti. Lahdessa ongelmallisia ottamoita ovat Laune, Renkomäki, Urheilukeskus ja Felix-Abba Oy:n ottamo (Gustafsson 2004). Teollisuuden käyttämät liuottimet ovat ongelmallisia myös

jätevesipuhdistamoille, joiden toiminnalle tärkeät mikrobikannat saattavat vaurioitua liuotinaineiden vaikutuksesta.

Lahden maaperässä tavattuja haitta-aineita on enemmän kuin alueen pohjavesissä. Maaperä ja pohjavesi ovat harjualueilla kiinteässä yhteydessä. Siksi maaperässä olevat haitta-aineet on pyrittävä poistamaan mahdollisimman nopeasti ennen niiden päätymistä pohjavesiin. Pilaantuneita kohteita on kymmeniä. Haitta-ainemäärät ovat kuitenkin olleet pieniä ja päästöt paikallisia. Useimmin haitta-aineet eivät ole päässeet pohjavesien kanssa kosketuksiin.

Lahden pohjavesi on toistaiseksi laadultaan hyvää, mutta ihmisen toiminnan haitalliset vaikutukset ovat lisääntyneet (Lahden valvonta- ja ympäristökeskus 2006). Vesilaki kieltää yksiselitteisesti pohjaveden pilaamisen (Mälkki 1999). Yhteiskunnan käyttämän talousveden laatua säätelee tiukka lainsäädäntö. Pohjaveden suojelun suuntaviivat ovat peräisin EU:n vesipolitiikan puitedirektiivistä (Water Framework Directive, 2000/60/EC) (Lavapuro ym. 2007). Tärkeimmät pohjaveden suojelua koskevat säädökset ovat ympäristönsuojelulain 2000/86 8 § mukainen pohjaveden pilaamiskielto sekä vesilain 1961/264 1:18 § mukainen pohjaveden muuttamiskielto. Myös vesilain 1961/264 9:20 § säädökset vesioikeudellisista suoja-alueista liittyvät pohjaveden suojeluun. Pohjavesien ja maaperän sekä vesistöjen suojelu ovat tiukasti sidoksissa toisiinsa.

Lahdessa terveydensuojeluviranomainen valvoo vesilaitoksen toimittaman talousveden laatua Sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetuksen talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000, laki vesienhoidon järjestämisestä 1299/2004 sekä terveydensuojelulaki 763/1994 mukaisesti. Ympäristönsuojelulaki kieltää maaperän pilaamisen. Lahdessa on viranomaisten toimesta puututtu pohjaveden ja maaperän pilaamiseen yli 20 vuoden ajan. Jos pilaantuneen alueen haltijaa tai omistajaa ei voida velvoittaa kunnostustöihin, voi puhdistamisvastuu siirtyä kunnalle (Lahden valvonta- ja ympäristökeskus 2006). Yleensä likaajat velvoitetaan parantaviin ja alueen tulevaisuutta

parantaviin suojatoimenpiteisiin. Laajoissa tai taloudellisesti mahdottomissa tapauksissa käytetään kohtuullistamisperiaatetta, etenkin jos likaaminen ei ole ollut tietoista. Tällöin yhteiskunta on usein maksajana.

1.4. Pohjaveden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet

Pohjaveden laatua seurataan useiden kemiallisten ominaisuuksien avulla. Seuraavissa kappaleissa on lueteltuina tässä tutkimuksessa käytettävät parametrit.

Alkaliteetti eli alkaliniteetti kuvaa veden puskurikapasiteettia eli sitä, miten hyvin vesi pystyy neutraloimaan happoja ja vastustamaan pH-tason muutoksia. Kokonaisalkaliniteetilla tarkoitetaan emäksisesti käyttäytyvien yhdisteiden eli karbonaatti- ja hydroksidi-ionien yhteistä lukumäärää. Liian matala pitoisuus eli alle 0,6 mmol/l syövyttää metalleja. Alkaliteetin katsotaan kuuluvan muihin tekniseen laatuun vaikuttaviin tekijöihin, vaikka sille ei ole asetettu pitoisuusmääräyksiä tai -suosituksia talousvesiasetuksessa.

Fluoridilla on sekä edullisia että haitallisia vaikutuksia terveyteen riippuen sen pitoisuudesta vedessä. Jos fluoridia on 0,7 - 1,2 mg/l, se voi vahvistaa hammaskiillettä (Suomen ympäristökeskus 2007). Jos fluoridia on runsaammin, se aiheuttaa ruskeita laikkuja hampaisiin ja haurastuttaa luustoa.

Happi on pohjaveden laadun avainparametri ja eräs parhaista veden yleistä tilaa kuvaavista parametreista (Mälkki 1999). Korkea happipitoisuus voi edistää korroosiota. Happipitoisuuden laskiessa rauta- ja mangaani alkavat liueta ja ennalleen palauttaminen on vaikeaa (Mälkki 1999). Happipitoisuus riippuu pohjavettä sisältävän muodostuman rakenteesta, pohjaveden muodostumis- ja virtaushistoriasta sekä hapettumiskykyisen epäorgaanisen ja orgaanisen aineen määrästä vedessä. Maa- ja kallioperän mineraalikoostumuksella ja kemiallisella sisällöllä ei ole merkitystä, kuten monen muun veden ominaisuuden tai

pitoisuuden kohdalla. Toisaalta veden happipitoisuus säätelee hapetuspelkistysolosuhteita ja monia kemiallisia reaktioita, joilla puolestaan on suuri vaikutus veden laatuun. Hapetuspelkistyspotentiaali säätelee välittömästi hapettumis- pelkistymis- kykyisten (redox-aktiivisten) aineiden, kuten raudan ja mangaanin sekä rikki- ja typpiyhdisteiden geokemiallista käyttäytymistä. Tiiviin moreenin tai saven peittämän kallioperän pohjavesi sisältää paljon vähemmän happea kuin matalat rengaskaivot. Kauan kallioperässä viipyneestä vedestä suurin osa hapesta on kulunut epäorgaanisiin ja orgaanisiin hapettumisreaktioihin. Irtomaalajien rengaskaivoissa happea kuluttaa lähinnä kaivoon joutunut runsas orgaaninen humusaines. Erityisesti alueilla, jossa savikerrokset puuttuvat kokonaan, kaivovedet ovat lähes hapen kyllästämiä. Happikylläisyys korreloi monen veden ominaisuuden ja ainespitoisuuden kanssa negatiivisesti (Backman ym. 2002). Happipitoisuudelle ei ole asetettu raja-arvoja talousvesiasetuksessa, vaikka se kuuluu tekniseen laatuun vaikuttaviin muuttujiin. Runsashappisuus edistää puhdistautumisprosessia pohjaveden syntymisvaiheessa.

Hiilidioksidi on veden tärkein heikko happo. Vesi on sitä aggressiivisempaa, mitä enemmän siinä on hiilidioksidia suhteessa vetykarbonaatteihin (kovuuteen). Hiilidioksidille ei ole asetettu pitoisuusvaatimuksia tai – suosituksia talousvesiasetuksessa (Ahonen ym. 2007). Veteen liuennut hiilidioksidi muodostaa välivaiheena hiilihappoa, joka pysymättömänä heikkona happona heti dissosioituu bikarbonaatiksi HCO_3^- ja vetyioniksi H^+.

Kemiallinen hapenkulutus (COD tai KHK) tarkoittaa samaa kuin kemiallinen hapentarve (KHT) (Suomen ympäristökeskus 2007). Kemiallinen hapenkulutus tai hapettuvuus eli COD Mn (chemical oxygen demand) tarkoittaa veden sisältämien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää happamassa liuoksessa. COD tarkoittaa käytännössä orgaanisten aineiden kokonaismäärää vedessä. Hapettimena käytetään permanganaatti-ionia MnO4-, joka on erittäin vahva hapetin. Aiemmin tulos ilmoitettiin kaliumpermanganaattilukuna $KMnO_4$. COD Mn – arvo saadaan jakamalla kaliumpermanganaatin kulutus (KMnO4-

luku) luvulla 3,95 (Ahonen ym. 2007). Kaliumpermanganaatti ei hapeta kaikkia orgaanisia aineita, kuten aminohappoja, mutta toisaalta se hapettaa pelkistyneitä epäorgaanisia aineita (rauta), joten nämä seikat tulee huomioida käytössä. Hapettuvuus kuuluu laatusuositusten alaisiin tekijöihin. Raja-arvo on 15 mg/l.

Kloridi on laatusuositusten alainen veden teknistä laatua kuvaava parametri ja vetykloridin eli suolahapossa esiintyvän kloorin suola (Ahonen ym. 2007). Kloori esiintyy luonnossa kloridi-ioneina. Kloridi-ioneja liukenee vesistöihin tien suolauksen yhteydessä ja maaperän rapautuneesta kiviaineksesta. Vanhoilla merenpohja-alueilla sijaitsevissa pohjavesissä klorideja saattaa esiintyä. Kloridilla ei kuitenkaan ole selvää yhteyttä meren läheisyyteen (Ilmasti ym. 1990). Siellä missä ei ole selvästi merivedestä peräisin olevia suoloja, suuret kloridipitoisuudet johtuvat likaantumisesta (Ilmasti ym. 1990). Talousvedessä kloridilla ei ole terveydellisiä vaikutuksia. Rajoitukset perustuvat kloridin makuun ja korroosiota kiihdyttäviin ominaisuuksiin. Talousveden laatusuosituksessa kloridin enimmäispitoisuudeksi on annettu 250 mg/l, jolloin kloridin maku on jo tunnistettavissa vedestä.

Kovuus kuuluu muihin tekniseen laatuun vaikuttavia muuttujiin, eikä sille ole asetettu pitoisuusmääräyksiä tai -suosituksia talousvesiasetuksessa. Veden kovuus voidaan ilmoittaa veteen liuenneen kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) yhteismääränä kalsiumkarbonaatiksi laskettuna. Vesi on sitä kovempaa, mitä enemmän siinä on edellä mainittuja aineita. Monet metallit lisäävät veden kovuutta liuetessaan. Sadevesi on pehmeää, koska siihen ei ole liuennut mineraaleja. Sadeveden kulkiessa maakerrosten läpi siihen liukenee kalsium- ja magnesiumsuoloja, jotka aiheuttavat veden kovuuden. Jos veden kovuus on alhainen, kuten Suomessa, se syövyttää metalliputkia. Vesilaitoksilla lisätään usein kovuutta, jotta vesi ei syövyttäisi jakeluverkostoa. Hyvässä vedessä kovuus on välillä 0,5 - 1,0 mmol/l. Suomessa veden kovuus on usein alle 0,5 mmol/l (Suomen ympäristökeskus 2007).

Nitraatti NO_3 kuvaa typen määrää vedessä. Se on ravinne ja yleisnimitys typpihapon suoloille. Se on herkin likaantumisesta kertova parametri yhdessä kaliumin kanssa (Ilmasti ym. 1990). Typpiyhdisteenä se aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä. Pohjavesissä ne ovat peräisin maaperästä huuhtoutuvista yhdisteistä (maaperän lannoitteet), jätevesistä tai sadevedestä (Ahonen ym. 2007). Suomessa myös vanhojen kaatopaikkojen suotovesistä tavataan usein runsaasti nitraattia. Nitraatti voi aiheuttaa terveydellisiä ongelmia pienille lapsille ja eläimille sekä rehevöittää vesistöjä (Lerner & Wakida 2005). Nitraatti voi pelkistyttyään nitriitiksi (NO_2^-) aiheuttaa imeväisikäisissä lapsissa häiriöitä veren punasolujen happiaineenvaihdunnassa (methemoglobinemia), mihin perustuu talousvesiasetuksen nitraatin terveysperusteinen raja-arvo 50 mg/l. Lisäksi elimistössä muodostuvista nitroyhdisteistä johtuen nitriitin on arvioitu aiheuttavan mahalaukun ja virtsarakon syöpää. Typen yhdisteet ovat tärkeä osatekijä mikrobien kasvulle talousvesijärjestelmissä (Ahonen ym. 2007).

Yksi veden teknisen laadun mittaamisen helpoimpia ja käytetyimpiä työkaluja on veden pH:n mittaaminen. pH kuuluu talousvesiasetuksen laatusuositusten alaisiin parametreihin ja sen suositellaan olevan välillä 6,5...9,5. Bouldingin ja Ginnin (2004) mukaan pH on vetyionikonsentraation (H_3O^+) negatiivinen logaritmi. Asteikkona pH-asteikko on logaritminen eli kun pH laskee yhden yksikön, kymmenkertaistuu sen vetyionikonsentraatio. Vetyionit aiheuttavat veden happamuuden. Neutraalin veden pH-arvo on 7.

Sulfaatti SO_4^{2-} on laatusuositusten alainen veden teknistä laatua kuvaava rikkihapon suola. Suomen kallioperässä esiintyy myös sulfidimineraaleja, jotka näkyvät sulfaattina pohjavedessä. Eräät veden saostuskemikaalit, kuten alumiinisulfaatti, sisältävät myös sulfaattia. Talousvesiasetuksessa todetaan, että vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla alle 150 mg/l, mutta laatusuositus on alle 250 mg/l. Sulfaatin makuhäiriöitä esiintyy vedessä laatusuositusta korkeammilla pitoisuuksilla (Ahonen ym. 2007).

Sähkön johtokyky on veden teknistä laatua kuvaava parametri. Se on veden ominaisvastuksen käänteisluku (Ahonen ym. 2007) ja erinomainen pohjaveden yleistä likaantumista kuvaava laatuparametri hapen ohella. Aineita, jotka hajoavat vesiliuoksessa muodostaen sähköisesti varautuneita hiukkasia eli ioneja, sanotaan elektrolyyteiksi. Elektrolyytit tekevät vesiliuoksen sähköä johtavaksi. Sähkönjohtavuus ilmaisee veteen liuenneiden suolojen määrää: mitä suurempi arvo, sitä suurempi pitoisuus. Sähkönjohtavuutta lisäävät myös orgaaniset ainekset, jotka hajotessaan vapauttavat ioneja. Sisämaassa vedet sisältävät pääasiassa natrium-, kalium-, kalsium-, magnesium-, kloridi- ja sulfaatti-ioneja.

1.5. Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit

Lahden pohjavesien tilaa on tutkittu eri aikakausina runsaasti, mutta pitkäkestoiset 2000-luvulle yltävät analyyttiset yhteenvedot puuttuvat lähes kokonaan. Heinosen (1993) mukaan Launeella on havaittavissa voimakasta elektrolyyttipitoisuuksien, kokonaiskovuuden ja kloridipitoisuuksien nousua. Launeella on havaittu myös matalia happipitoisuuksia ja luottimia.

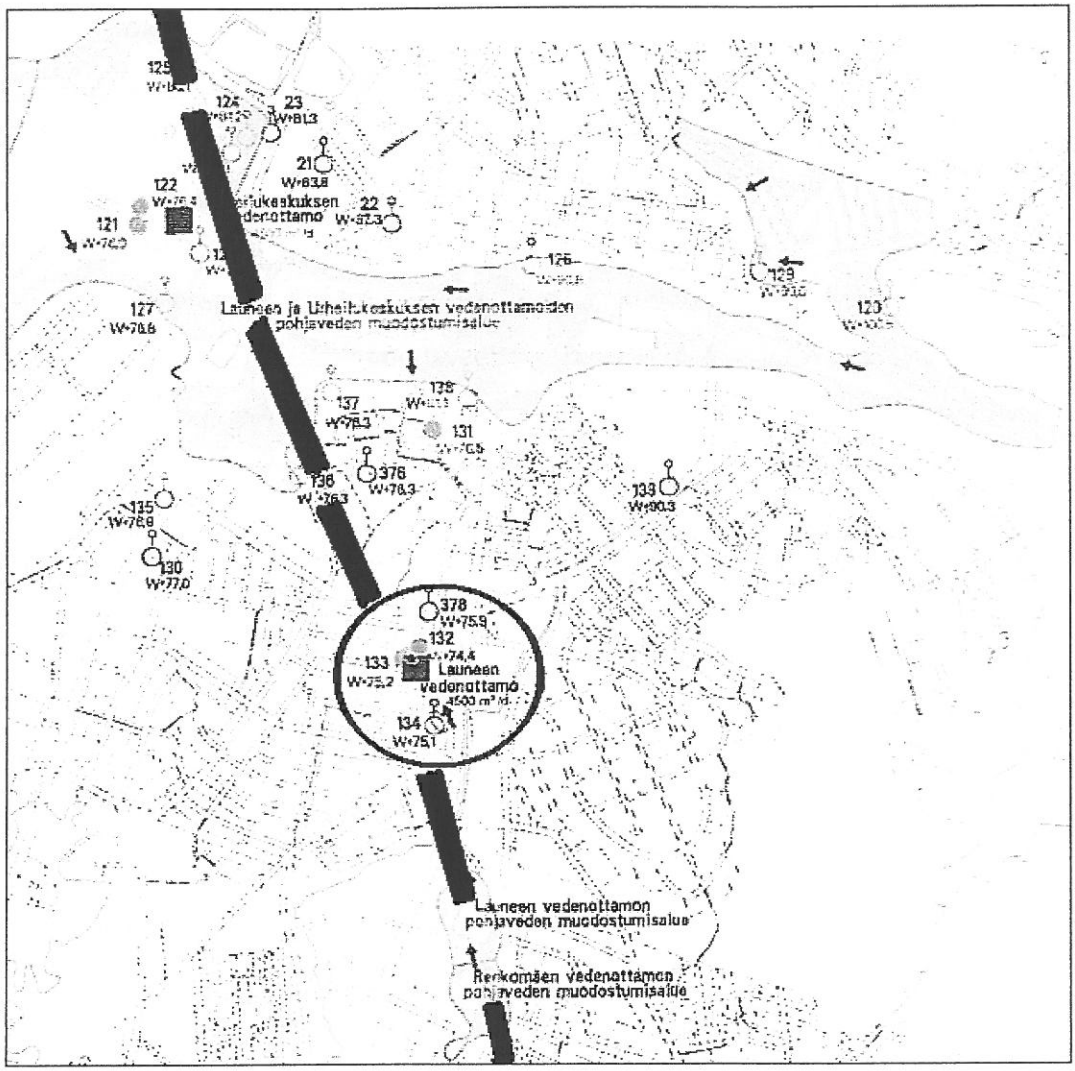
Pro Gradu-työni tavoitteena on ollut selvittää, miten Lahden kaupungin voimakas kasvukehitys on heijastunut sen alla sijaitsevien pohjavesien laatuun. Vuosittaisista tarkkailuraporteista ja yhteenvedoista on luotu mahdollisimman pitkäkestoisia ja yhtenäisiä kuvaajia tutkimukseen valituista laatuparametreista. Nykyinen pohjavesien tarkkailuohjelma on STM:n asetukseen 461/2000 perustuva ja se on ollut voimassa vuodesta 2005, jolloin tarkkailuohjelmat yhtenäistettiin Lahden ympäristötilinpäätöksessä (Lahden seudun ympäristöpalvelut 2005).

Tämän tutkimuksen keskeinen hypoteesi on, että kaupunki toimintoineen heikentää pohjaveden laatua, koska kaupungista pääsee pohjaveteen ravinteita, suoloja ja muita haitallisia aineita.

2. *Aineisto ja menetelmät*

2.1. *Tutkimusalue*

Tutkimuskohteeksi valittiin Launeen vedenottamo ja sen pohjaveden muodostumisalueet, koska siitä on käytettävissä pisimmät vedenlaadun seuranta-aineistot vuodesta 1953 lähtien. (Kuva 2).



Kuva 2. Lahden kaupungin keskusta-alue ja Launeen vedenottamon pohjaveden muodostumisalue (harmaa). Vesijärvi-Laune-ruhjealue on merkitty kuvaan paksulla katkoviivalla. Launeen vedenottamoalue on ympyröity. Kuvaan on merkitty vedenottamon kaivot numero 2 (kuvassa 132) ja numero 3 (kuvassa 133). Läheisimpien havaintoputkien 134 ja 378 sijainti on esitetty.

Launeen vedenottamo on Lahden ensimmäinen ja pitkäikäisin yhtäjaksoisessa käytössä ollut vedenottamo. Veden pumppaaminen käyttöverkkoon on jouduttu kuitenkin keskeyttämään havaittujen torjunta-aineiden takia vuodesta 2002 alkaen.

Lahden ja sen lähialueiden halki itä-länsi suunnassa kulkee Suomen suurin pohjavesialue, ensimmäinen (I) Salpausselkä, jonka pohjavesivaroja pidetään yleisesti Suomen suurimpina. Niitä pidetään myös laadullisesti parhaimpina yhtenäisinä pohjavesivarantoina. Varannot sijaitsevat lähes kokonaisuudessaan Salpausselkien harjumuodostelmissa. Pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala Lahdessa on 1655 hehtaaria, josta toistaiseksi rakentamatonta aluetta on noin 50 prosenttia (Lahti Vesi 2007).

Lahdessa käytettävä talousvesi on kokonaan pohjavettä. Pintavettä ei Lahden talousalueella käytetä talousveden raakavetenä lainkaan. Suomessa keskimääräinen vuotuinen sademäärä on 660 mm (Mustonen 1986). Määrä vaihtelee jonkin verran paikkakunnittain 450 – 800 mm välillä (Lavapuro ym. 2007). Lahdessa sataa noin 630 mm vuodessa. Enimmillään 60 % satavasta vedestä imeytyy maaperään ja suotautuu luonnolliseksi pohjavedeksi. Rantaimeytymällä muodostuvaa pohjavettä Lahdessa syntyy noin 30 % koko muodostuvasta pohjavedestä. Vedenottamoita kaupungilla on seitsemän. Teollisuuslaitoksilla on myös omia vedenottamoja.

Pääosa Lahden alueen pohjavesistä muodostuu alueen halki itä-länsisuunnassa kulkevan ensimmäisen Salpausselän ja pohjois-etelä-suuntaisen Vesijärvi-Laune ruhjemuodostelman risteyskohdassa. Launeen ja Urheilukeskuksen ottamoiden valuma-alue on kooltaan 7,4 km^2. Kuvasta voidaan havaita, että pääasialliset pohjaveden muodostumisalueet ovat varsin kaukana Launeen vedenottamon etelä- ja pohjoispuolella, eikä pohjavettä muodostu ottamon välittömässä läheisyydessä juuri lainkaan. Voidaan perustellusti sanoa, että Launeen vedenottamon vesi ja veden laatutulokset edustavat koko Lahden kaupungin

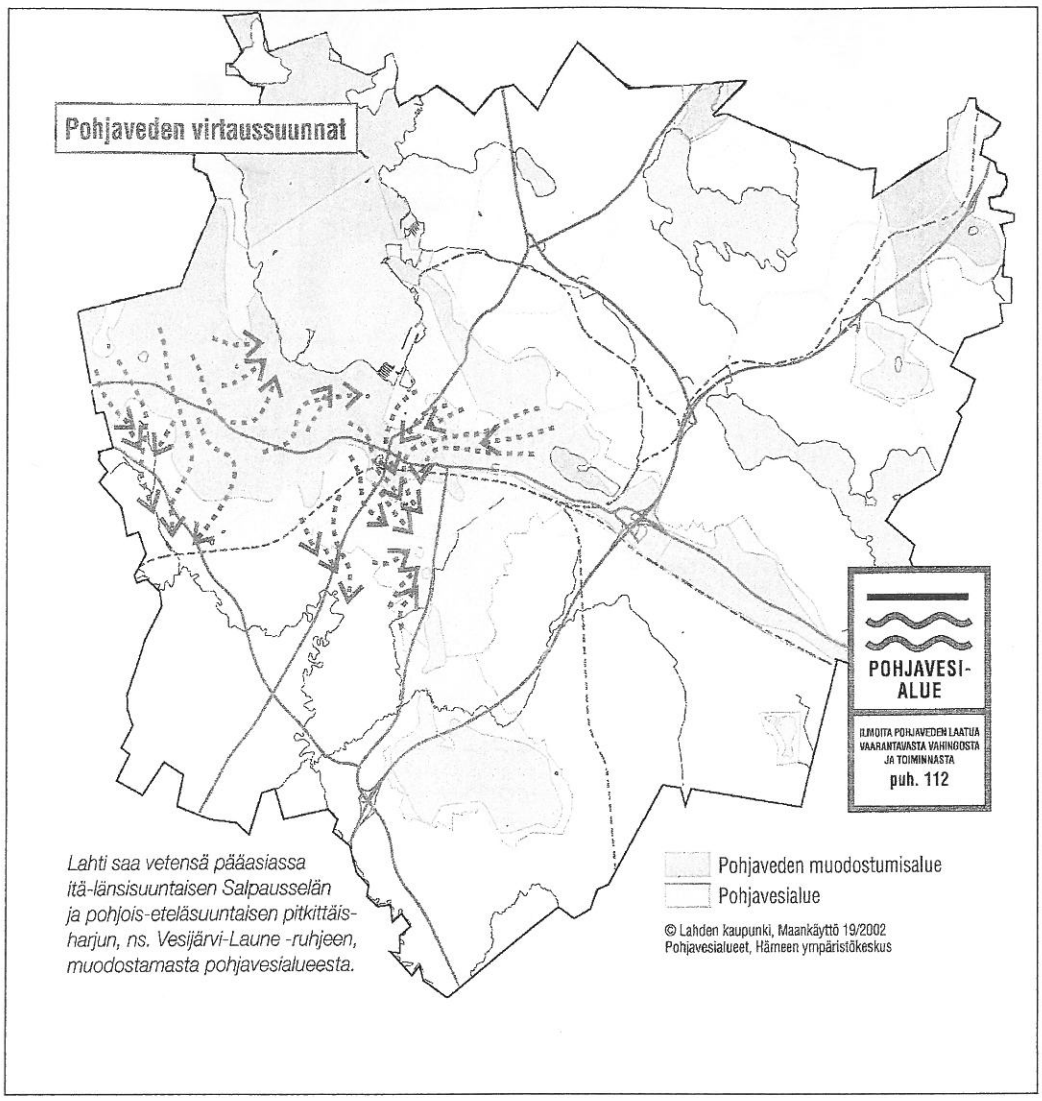
keskusta-alueella muodostuvaa pohjavettä, vaikka Launeelta ei oteta tällä hetkellä vettä yhteiskunnan tarpeisiin.

Ruhjealue muodostuu pitkittäisharjusta sekä sen alla tasolla + 10,000 oleva olevasta rikkonaisesta peruskalliosta. Lahden kaupungin alueella pohjavettä syntyy kaikkiaan noin 30 000 m^3, josta suurin osa muodostuu ruhjealueella. Ruhjeen pohjalle kerrostuneissa kivisissä sorapatjoissa pohjavesi kulkee Launeelle.

Luonto alueella on paikoin poikkeuksellisen rehevää sijaitakseen kuitenkin kuivalla harju-alueella. Launeella savi pidättelee maahan satavaa vettä tehokkaasti. Ruhjeeseen kerrostuneesta sora- ja hiekka-aineksesta on näkyvissä maan päällä katkonainen Launeen harjumuodostuma, jonka korkeimmat kohdat ovat Kullankukkula ja niin kutsuttu Sokeritopan mäki. Niiden välissä sijaitsee matalampi Launeen hiekkaselänne, jonka juurelle on aikoinaan purkautunut Launeen lähde. Myös Lahden Renkomäen ja Kunnaksen hiekkaselänteet ovat tärkeitä pohjavesialueita. Launeelta on otettu vettä vuodesta 1910 (Juuti 2006), jolloin vedenottamo ja vedenottokaivo eli kaivo 1 valmistui. Nykyiset kaivot 2 ja 3 on rakennettu vedenottamoalueelle myöhemmin. Launeen lähde on aikojen kuluessa alueelta hävinnyt. Laune oli nopeasti kasvavan ja kehittyvän kaupungin ainoa vedenottamo vuoteen 1952 asti, jolloin Jalkarantaan perustettiin vedenottamo.

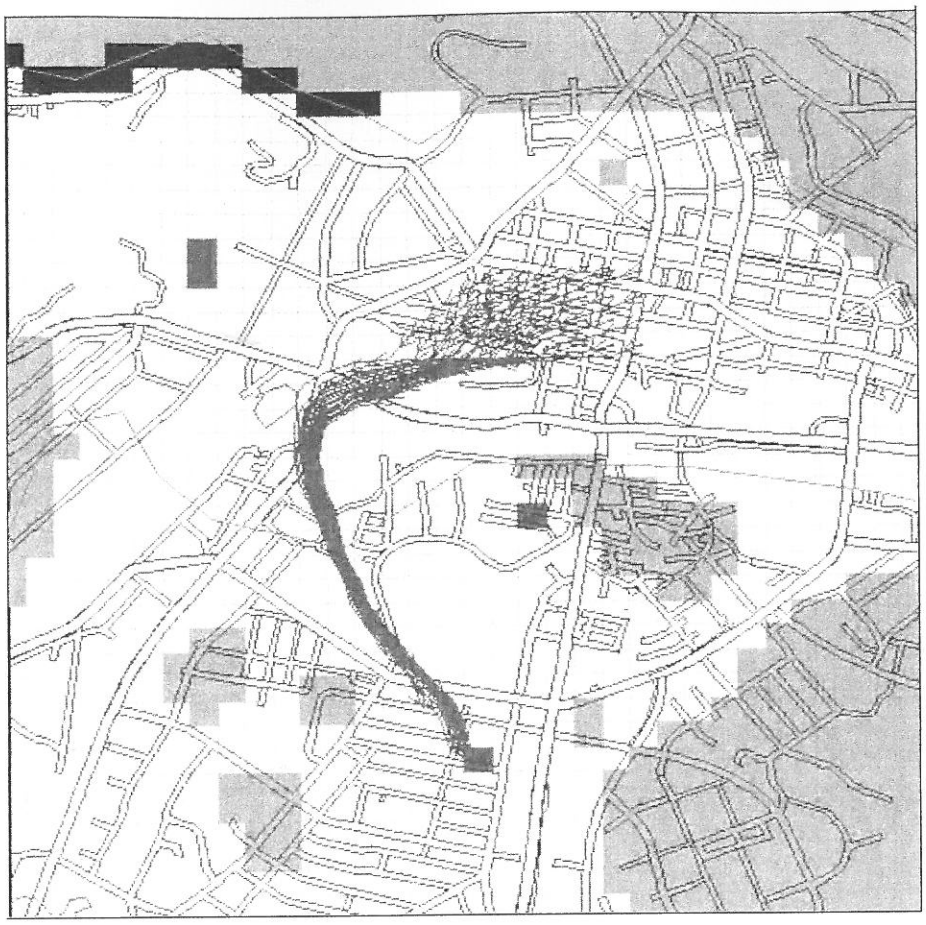
Launeen ja Jalkarannan sekä Urheilukeskuksen (vuodesta 1971) vedenottamot kuuluvat samaan pohjavesialueeseen. Ottamoiden antoisuutta nostaa huomattavasti Vesijärvestä imeytyvä tekopohjavesi. Alueen hydrogeologiaa kuvataan yksityiskohtaisesti Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin julkaisemassa Lahden pohjavesialueiden kuntakansiossa vuonna 1993. Sen mukaan pohjavesialueella 0439801, johon Launeen vedenottamo kuuluu, on antikliininen akviferityyppi, jossa on harju-, delta-, ja reunamuodostumista koostuva laaja ja vedenhankinnan kannalta erittäin merkittävä alue. Keskusta-alueella kalliopinnan taso on yleisesti Vesijärven pintaa alempana (Helsingin

vesi- ja ympäristöpiiri 1993). Pohjaveden virtaus suuntautuu kohti vedenottamoita (Kuva 3).



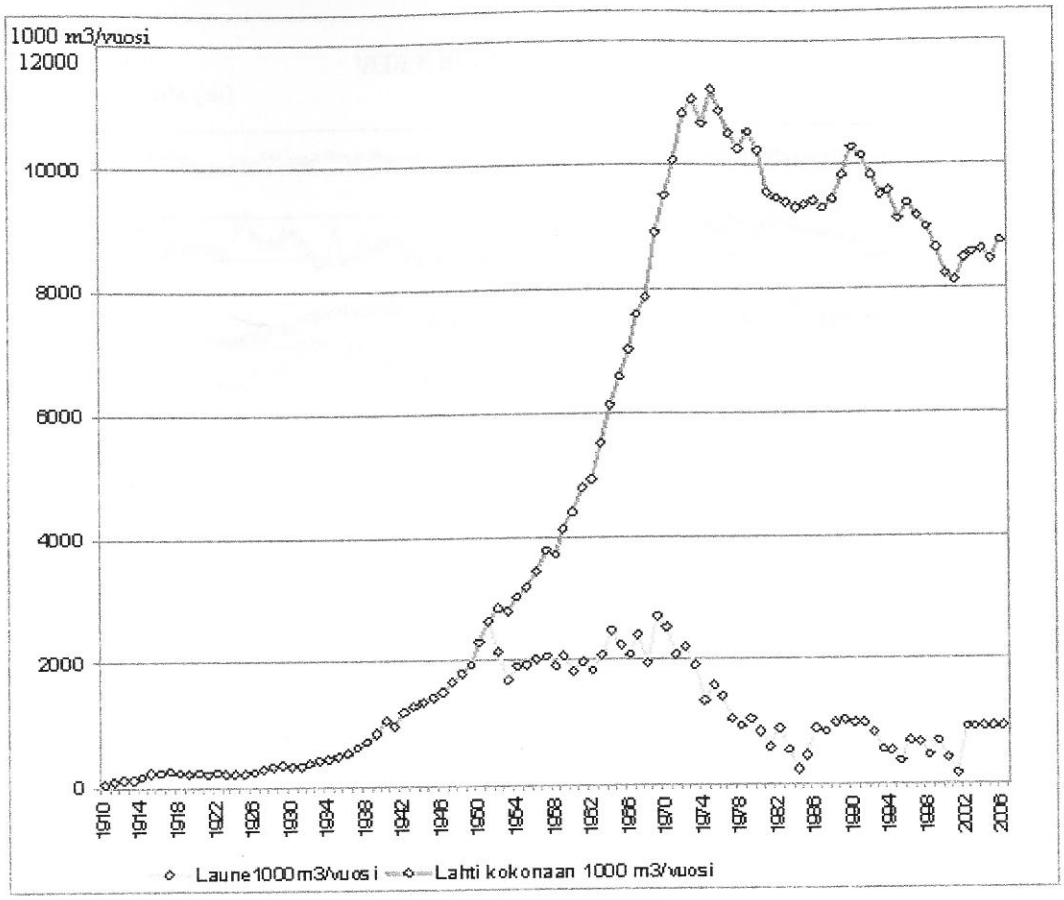
Kuva 3. Lahden pohjavesialueet ja pohjaveden virtaussuunnat (Lahti Vesi 2007).

Lahden ja Hollolan pohjaveden virtausmallin (Eerikäinen ja Kajander 2004) avulla voidaan esimerkiksi simuloida tilanne, jolla voidaan tutkia keskustan ja Launeen alueiden välistä hydraulista yhteyttä ja pohjaveden virtausnopeutta. Mallin mukaan pohjavesi kulkee Lahden keskustasta Launeelle noin 15 vuoden ajan (Kuva 4).



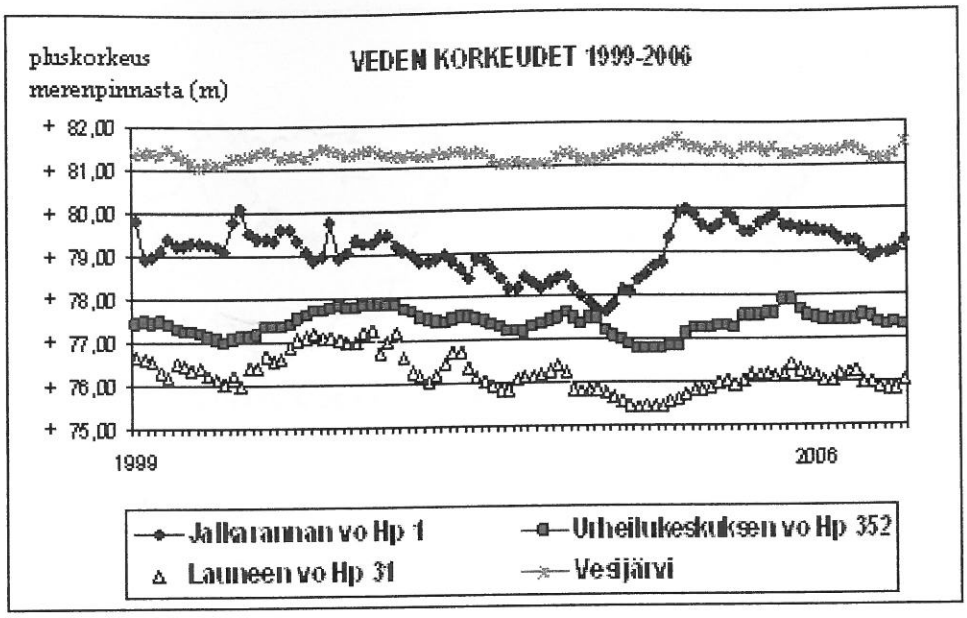
Kuva 4. Keskusta-alueen ja Launeen vedenottamon välinen yhteys. Kuvan keskellä näkyvä viuhkamainen kuvaaja on veden reitti. Kuvaajan hajanainen yläosa kuvaa pohjaveden muodostumista. Vesi liikkuu ensin Salpausselkää pitkin länteen ja saavuttaessaan ruhjealueen sen suunta kääntyy kohti kaakkoa Launeen vedenottamolle.

Lahden vedentuotanto kasvoi kaupungistumisen myötä voimakkaasti 1950–1960-luvuilla, jolloin avattiin useita uusia vedenottamoita. Uusien pumppaamojen perustamisen seurauksena Launeelta pumpatun veden suhteellinen määrä alkoi vähentyä. Launeella tuotetun veden pumppaustiedot ovat olleet yksityiskohtaisen tarkkoja ottamon perustamisesta asti. Kaivosta 2 pumpataan puhdistuspumppauksena 2500 kuutiometriä vuorokaudessa Porvoonjokeen (Kuva 5).



Kuva 5. Lahden ja Launeen veden tuotanto 1910 – 2006 (Lahti Vesi 2007).

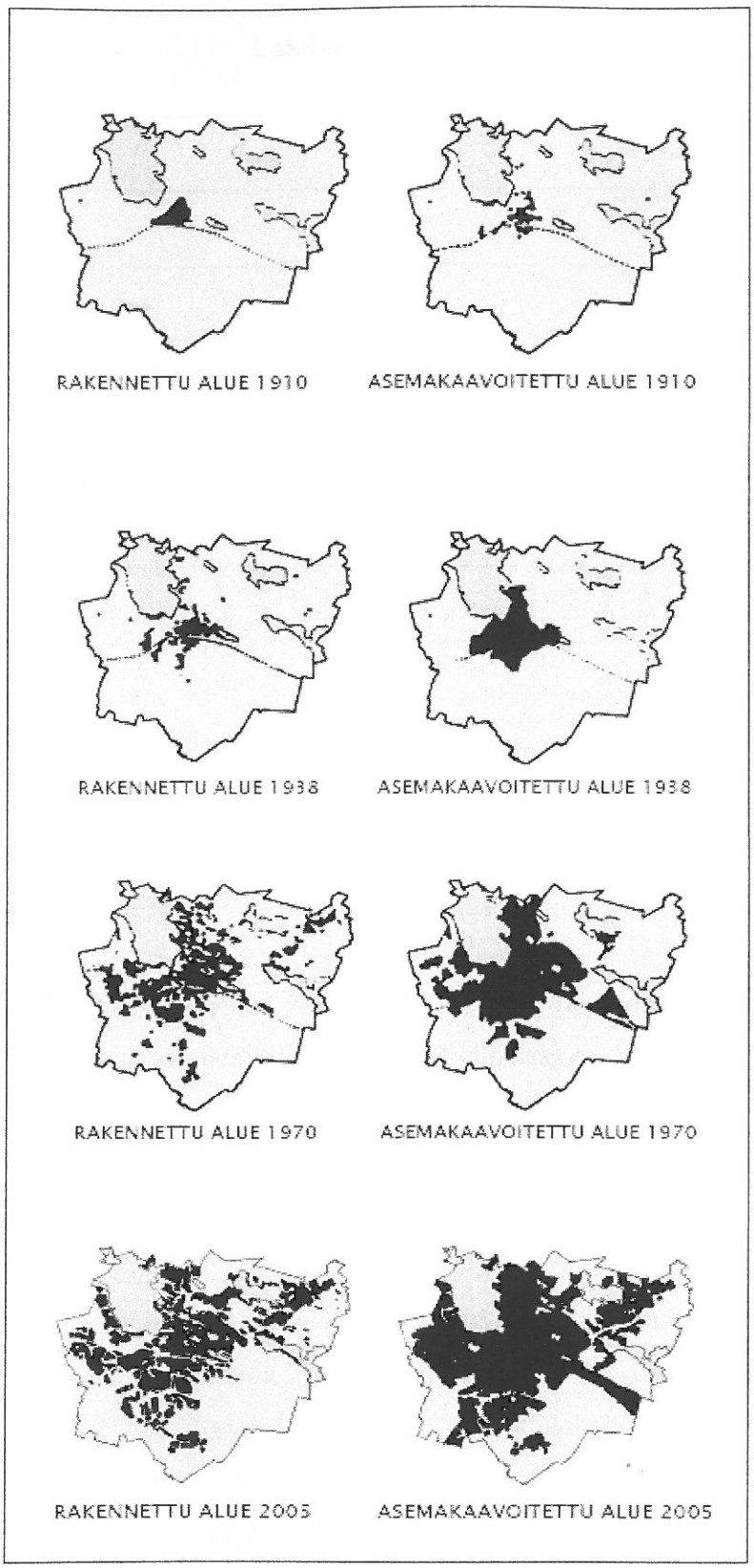
Pohjavesipintojen korkeudet Vesijärvi-Launeen ruhjealueella sijaitsevilla vedenottamoilla ovat käyttäytyneet Vesijärveen nähden siten, että järven vedenpinta on ollut havaintojakson aikana korkeammalla tasolla kuin ottamoiden pohjavesipinnat (Kuva 6) ja mahdollistanut rantaimeytymisen. Lahden ja Hollolan pohjaveden virtausmallin (Eerikäinen ja Kajander 2004) avulla simuloitiin tilanne, jossa vedenottoa ei ruhjealueen vedenottamoilta ollut lainkaan. Tuloksena oli rantaimeytymisen korvautuminen pohjaveden 1000 m^3 purkautumisella suoraan harjusta Vesijärveen.



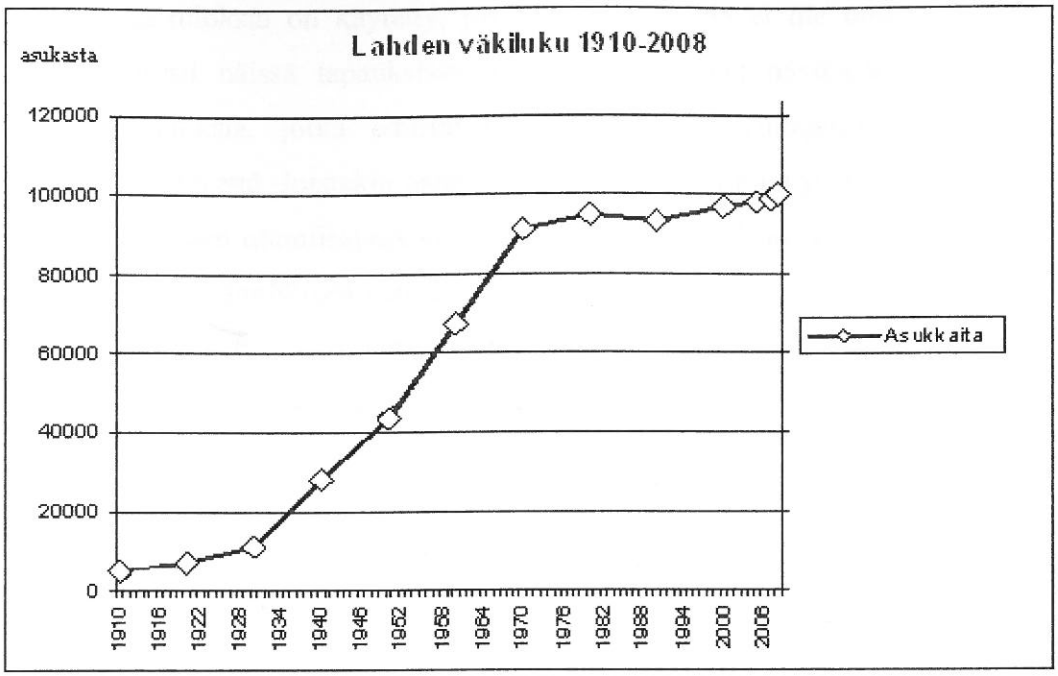
Kuva 6. Lahden keskustan vedenottamoiden vedenpinta sekä Vesijärven pinta merenpinnasta mitattuna (Lahti Vesi 2007).

Lahden kaupunkialueen peitteisyyden lisääntymistä vuodesta 1910 vuoteen 2005 on arvioitu rakennetun alueen määrää eri aikakausina tutkimalla. Kuvassa 7 nähdään peitteisyyden lisääntyminen kaupungin keskusta-alueella sadan vuoden aikana. Lahden kokonaispinta-ala on noin 154,5 km^2, josta maa-aluetta on 134,9 km^2 ja vesi-aluetta 19,6 km^2.

Varsinaista yhtenäistä numeerista aineistoa ei liki sadan vuoden ajalta peitteellisyyden lisääntymisestä ole, vaan vertailua voidaan tehdä eri aikakausien tontti- ja maankäyttökarttojen (Kuva 7) ja väestömäärän kehityksen (Kuva 8) perusteella.



Kuva 7. Lahden rakennetut ja asemakaavoitetut alueet vuosina 1910, 1938, 1970 ja 2005 (lähde: Lahden kaupunki / Maankäyttö 2005)



Kuva 8. Lahden kaupungin väestömäärän kehitys vuodesta 1910 vuoteen 2008

2.2. Tutkitut veden laatuominaisuudet

Pumppausmäärät Launeen vedenottamolta ja myöhemmin myös muilta ottamoilta on mitattu säännöllisesti nykypäiviin saakka. Laadullinen valvonta on ollut säännöllistä vuodesta 1953 lähtien, jolloin raakavedestä alettiin tutkia bakteereiden määrää, veden pH-tasoa sekä veteen liuenneen hiilidioksidin määrää, tosin aluksi hiilihapon avulla ilmoitettuna.

Tutkittaviksi valittiin parametreja, joita on havainnoitu mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta ja analysointia voidaan pitää koko havainnointijakson osalta luotettavana. Nämä tutkitut parametrit olivat alkaliniteetti, fluori, happi, hiilidioksidi, kaliumpermanganaatin kulutus, kloridi, kokonaiskovuus, nitraatti, pH, sulfaatti sekä sähkönjohtavuus.

Tutkimukseen on valittu ensisijaisesti vuosiraporteissa tai laboratoriotulosten arkistokopioissa ilmoitettuja vuosikeskiarvoja. Myös kuluneen vuoden muita

ilmoitettuja tuloksia on käytetty, jos vuosikeskiarvoja ei ole ollut saatavilla. Pääsääntöisesti näissä tapauksissa on käytetty kevään näytteenoton (touko-kesäkuu) tuloksia, jotka edustavat kevätvalunnan seurauksena syntynyttä tuoreinta pohjavettä. Joistakin parametreista ei ole ollut kuin yksi tieto vuodelta, eikä vesinäytteen ottamisajankohdasta ole ollut tietoa. Vuosikeskiarvoja ei ole muutaman epäsäännöllisen vuosihavainnon perusteella tai muuten epävarmoissa tapauksissa laskettu, vaan tutkimuksen yhteyteen on otettu kevättä edustava tulos. Kaikki tutkitut tiedostot ovat peräisin LV Lahti Vesi Oy:n (nykyään Lahti Aqua Oy) arkistosta.

Jos laatuparametrissa ei ollut koko havaintokauden aikana tapahtunut havaittavia laadullisia muutoksia ja pitoisuudet olivat jatkuvasti alle määritysrajan, niin se jätettiin pois tutkimuksesta. Näitä olivat esimerkiksi ammoniakki, fosfori, mangaani, nitriitti ja rauta. Torjunta-aineita tai niiden hajoamistuotteita sekä liuottimia on alettu seurata vasta 1990-luvulla, joten ne jätettiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Myös mikrobiologiset tutkimukset sekä radioaktiivisuuden määritys on jätetty pois.

Aineistosta on poistettu niin kutsutut outlayerit ennen varsinaista käsittelyä. Outliereiksi on määritetty vanhat, varsinaista yhtämittaista jaksoa aiemmat mittaustulokset, joiden tulokset ovat olleet varsianisten tulosten vastaisia ja joiden ottamis- tai tutkimisolosuhteita ei ole tunnettu. Tulokset, jotka on ilmoitettu muodossa "<0,01 mg/l" on muutettu muotoon "0,01 mg/l". Tutkimusaineisto koostuu nykyisten vedenottokaivojen (2 ja 3) vuosina 1953 – 2007 kerätyistä tarkkailutuloksista.

Eräissä kartoissa ja tiedostoissa käytetään kaivoista nimitystä havaintopiste 132 (kaivo 2) ja havaintopiste 133 (kaivo 3). Tässä yhteydessä numerointia ei käytetä, vaan puhutaan yleisesti Launeen pohjavedestä tai Launeen vedenottamon raakavedestä.

2.3. Aineiston käsittely

Veden laadun ajallinen kehitys tutkittiin lineaarisen regressioanalyysin avulla (SPSS, versio 13.01) siten, että selittävänä muuttujana oli aika (vuosi) ja selitettävänä muuttujana kulloinkin tarkasteltava tutkimusparametri. Parametrien muutosta ajan suhteen on tutkittu regressioyhtälön ($y = a \pm bx$) kulmakertoimen (b) avulla. Mitä suurempi kulmakerroin on, sen paremmin parametri korreloi lineaarisesti ajan kanssa. Jos kerroin on positiivinen, parametri on kasvanut ajan funktiona ja mikäli se on negatiivinen, on parametrin arvo pienentynyt.

Regressioyhtälön avulla selitettävää ajan vaikutusta vedenlaadussa havaittuun vaihteluun kuvattiin selitysasteen (R^2) avulla. Regressiokertoimen merkitsevyys arvioitiin t-jakaumaan perustuen ja ilmoitetaan tuloksissa p-arvoina. Regressioanalyysin tulos katsottiin luotettavaksi, kun t-testin tulos oli $p < 0,05$.

Ennen regressioanalyysiä tutkittiin aineiston jakauma. Jos se ei ollut normaalisti jakautunut, sille tehtiin logaritmimuunnos. Jakauman normaalisuus tutkittiin Kolmogorov-Smirnovin sekä Shapiro-Wilkin testin perusteella (Taulukko 1).

Taulukko 1. Käsittelemättömän aineiston jakaumat, K-S tarkoittaa Kolmogorov-Smirnovin (K-S) ja Shapiro-Wilkinsin (S-W) testien perusteella.

parametri	K-S	S-W	
alkaliteetti	0,168	0,157	hyväksyttävissä rajoissa
fluori	0,000	0,000	log-muunnettava
happi	0,068	0,001	hyväksyttävissä rajoissa
hiilidioksidi	0,005	0,005	log-muunnettava
kaliumpermanganaatti	0,169	0,061	hyväksyttävissä rajoissa
kloridi	0,017	0,133	hyväksyttävissä rajoissa
kokonaiskovuus	0,084	0,020	hyväksyttävissä rajoissa
nitraatti	0,000	0,000	log-muunnettava
pH	0,000	0,000	log-muunnettava
sulfaatti	0,200	0,934	hyväksyttävissä rajoissa
sähkön johtokyky	0,200	0,018	hyväksyttävissä rajoissa

Normaalijakautuneita perusmuotoisia aineistoja olivat alkaliteetti, happi, kaliumpermanganaatin kulutus, kloridi, kokonaiskovuus, sulfaatti sekä sähkönjohtavuus.

Logaritmimuunnoksen parametreista vaativat fluori, hiilidioksidi, nitraatti ja pH. (Taulukko 2).

Taulukko 2. Logaritmimuunnetun aineiston jakaumat Kolmogorov-Smirnovin (K-S) ja Shapiro-Wilkinsin (S-W) testin perusteella.

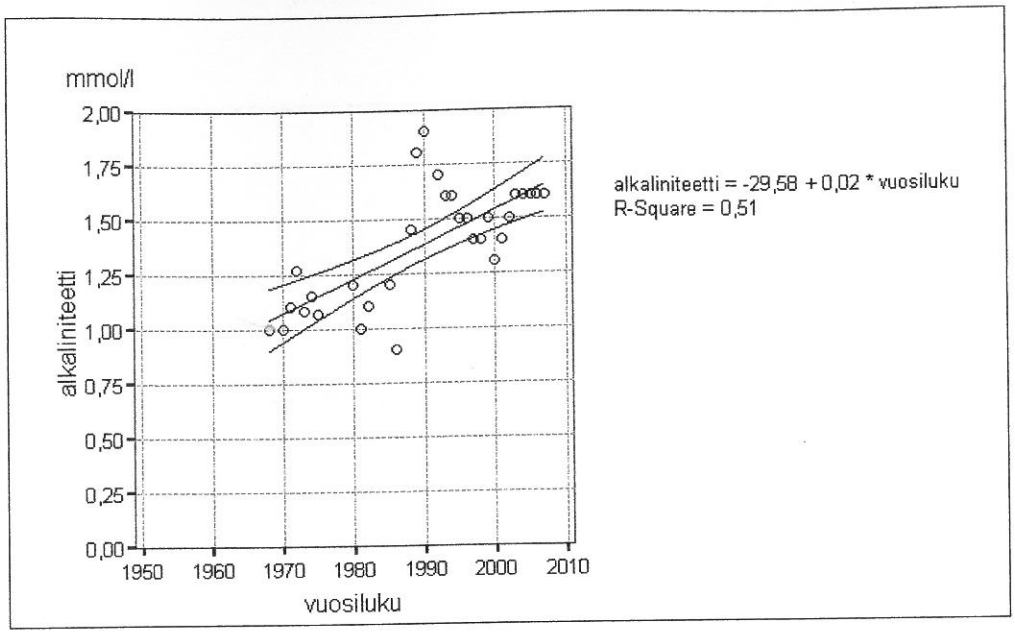
parametri	K-S	S-W	
fluori	0,000	0,003	ei-normaalijakautunut
hiilidioksidi	0,098	0,000	hyväksyttävissä rajoissa
nitraatti	0,037	0,012	ei- normaalijakautunut
pH	0,000	0,000	ei- normaalijakautunut

Logaritmimuunnoksen jälkeen myös hiilidioksidiaineisto oli normaalijakautunut. Fluori, pH ja nitraatti eivät olleet normaalijakautuneita muunnoksen jälkeenkään.

3. Tulokset

3.1. Alkaliniteetti

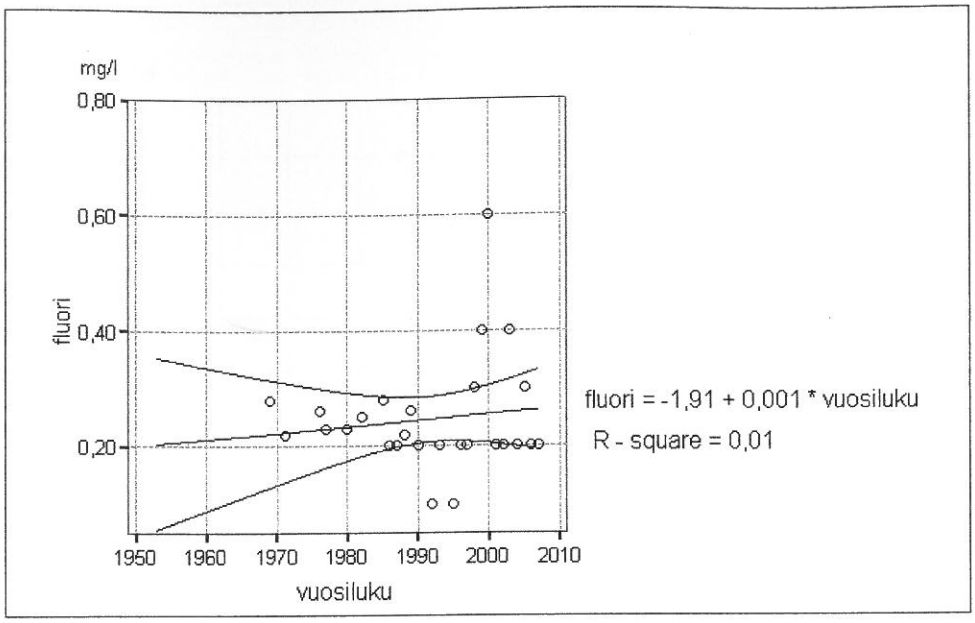
Alkaliniteetin voidaan todeta mittausjakson aikana vuodesta 1967 vuoteen 1985 asti vaihdelleen 1,0 – 1,2 mmol/l välillä, minkä jälkeen havaittiin huomattavaa nousua. Huomattava lisääntyminen ajoittui erityisesti vuosille 1986–1990. Alkaliniteetin nousu on havaintojakson aikana ollut tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,001$). Ajan kuluminen selittää 51 % alkaliniteetin muutoksesta ($R^2 = 0,51$) (Kuva 9).



Kuva 9. Launeen vedenottamon pohjaveden alkaliniteetin vuosittaiset havainnot vuosina 1968–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.2. Fluori

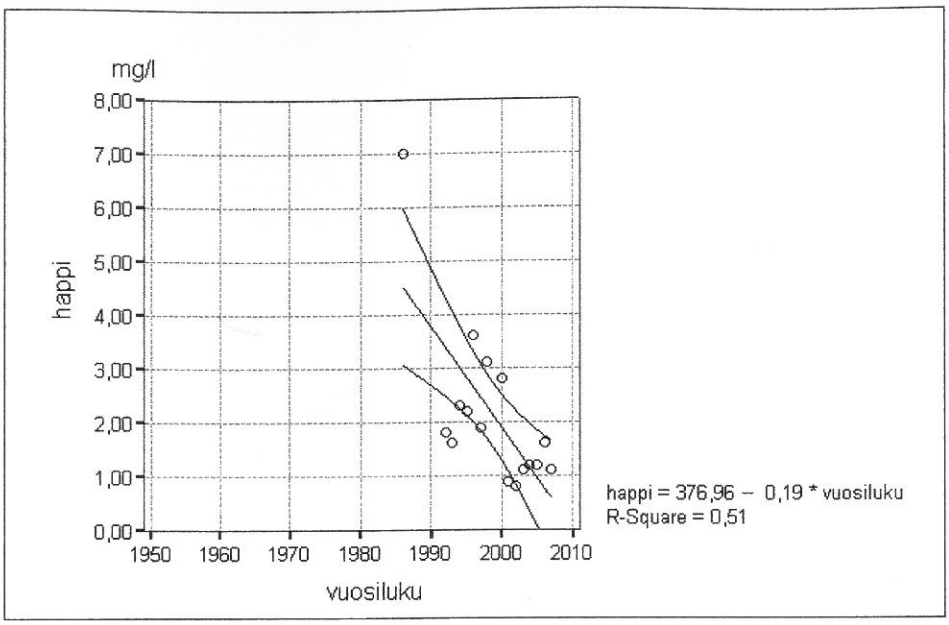
Fluorin määrää on Launeelta seurattu 1960-luvun lopusta asti. Sen pitoisuus pysyi 1960-luvun ja seuraavien kahden vuosikymmenen ajan vaihteluvälillä 0,2 – 0,3 mg/l. Fluorin määrä alkoi vähentyä 1980-luvun lopussa ollen vähimmillään 0,1 mg/l vuosina 1991 ja 1995. Tämän jälkeen määrä nopeasti nousi tavoittaen huippunsa 0,6 mg/l vuonna 2000. Tämän vuosituhannen aikana vaihteluväli on ollut varsin suuri, 0,2 – 0,6 mg/l, aiempiin vuosikymmeniin verrattuna. Havaintojakson aikana fluorin määrän kehitys on ollut hitaasti kohoava, mutta koska sen selitysaste on hyvin alhainen ($R^2 = 0{,}01$; $p > 0{,}05$), ajan muutos ei selitä sen määrän nousua, vaan se johtuu muista tekijöistä (Kuva 10).



Kuva 10. Launeen pohjavedenottamon veden fluoripitoisuuden (mg/l) vuosittaiset havainnot vuosina 1969–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.3. Happi

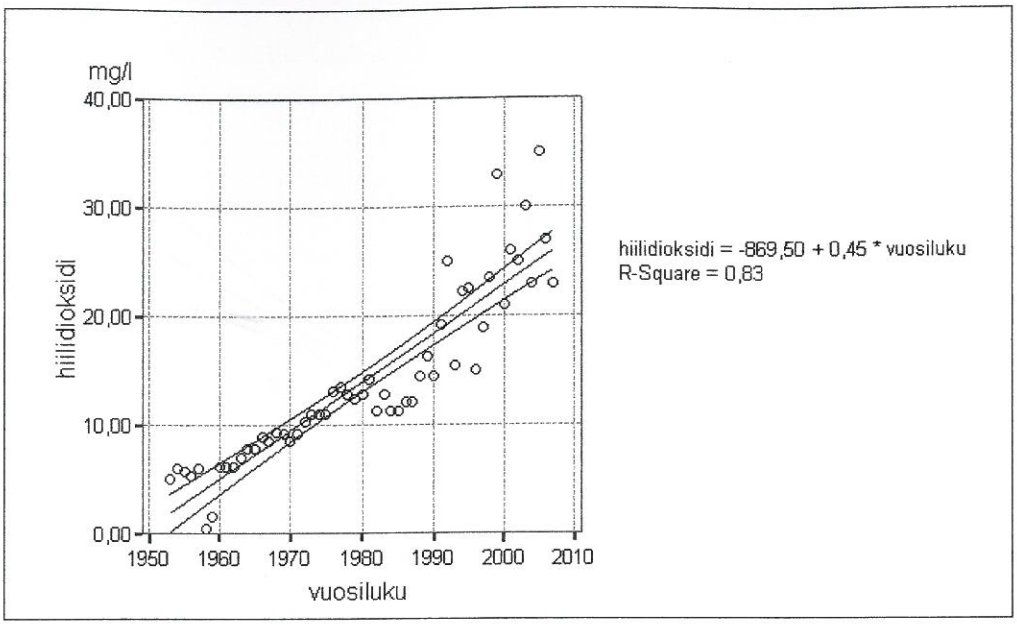
Hapen määrää on Launeella alettu analysoida säännöllisesti vasta vuonna 1986. Launeen happipitoisuus on laskenut 1986 joitain tilapäisiä kohoamisia lukuun ottamatta varsin nopeasti. Happipitoisuuden suunta on myös viimeisimmän käytettävissä olleen vuoden 2007 tuloksen 1,10 mg/l mukaan jyrkästi laskeva. Mittausajanjakson minimi 0,8 mg/l ajoittuu vuoteen 2002. Hapen suurin yksittäinen maksimipitoisuus 7,0 mg/l on mittausjakson alusta vuodelta 1986. Hapen määrän laskeminen on havaintojakson aikana ollut tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,01$; $R^2 = 0,51$). Ajan kuluminen selittää 51 % muutoksesta (Kuva 11).



Kuva 11. Launeen pohjavedenottamon veden happipitoisuuden vuosittaiset havainnot vuosina 1986–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.4. Hiilidioksidi

Hiilidioksidipitoisuutta on mitattu Launeella vuodesta 1992. Aiemmin on mitattu kuitenkin raakaveden hiilihappopitoisuutta, jonka avulla voidaan määrittää hiilidioksidin määrä kyseisellä ajanjaksolla. Aineiston pohjalta tehdyt erilliset tulokset on yhdistetty siten, että hiilihappopitoisuudet on muunnettu hiilidioksidilukemiksi aineiden molekyylimassojen suhteessa. Hiilidioksidin CO_2 moolimassa on 44 ja hiilihapon H_2CO_3 moolimassa on 62, jolloin kertoimeksi on saatu 0,71. Tulosten yhdistämisen tuloksena voidaan selkeästi todeta hiilidioksidin määrän lisääntyneen. Lisääntyminen oli tasaista 1980- ja 1990-lukujen vaihteeseen, jolloin määrä on alkanut kohota hieman nopeammin. Myös vuosien välinen vaihtelu on suurentunut. Ajan kuluminen selittää 83 % hiilidioksidipitoisuuden muutoksesta ($R^2 = 0{,}83$; $p < 0{,}001$). (Kuva 12).

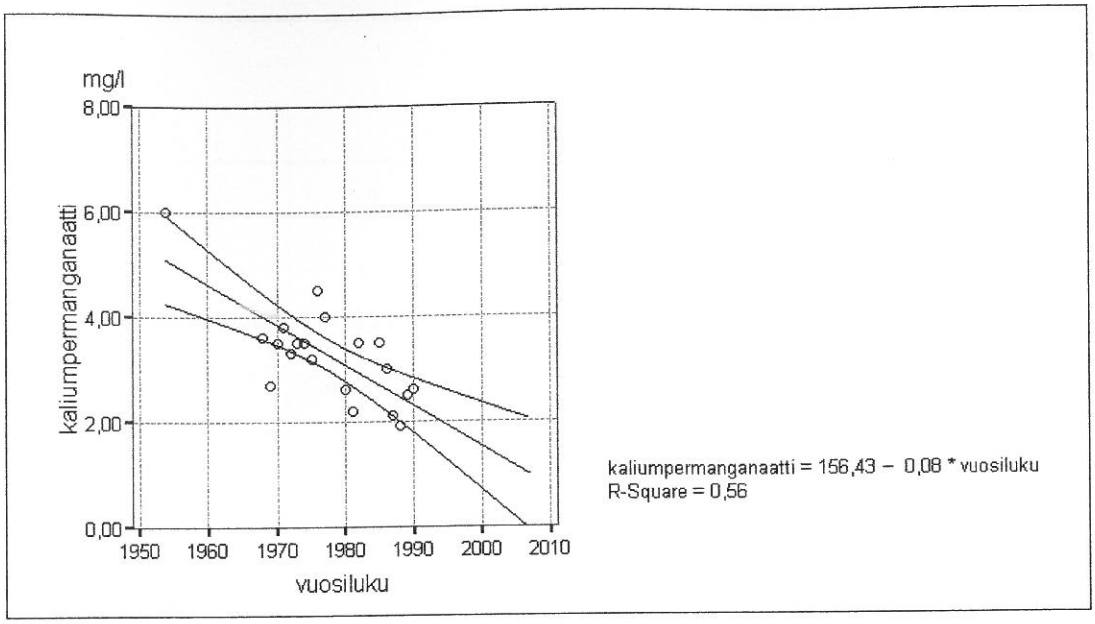


Kuva 12. Launeen pohjavedenottamon veden hiilidioksidipitoisuuden vuosittaiset havainnot vuosina 1953–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.5. Kaliumpermanganaatti

Kaliumpermanganaattiluvun eli kemiallisen hapenkulutuksen osalta vuosien 1968 – 1993 välillä voidaan havaita, että sen määrä on laskenut väliaikaisia poikkeuksia lukuun ottamatta. Minimitulos on vuosilta 1992 ja 1993 1,00 mg/l. Huippulukema oli 6,00 mg/l vuonna 1954. Launeen pohjavesistä ei kemiallista hapenkulutusta kaliumpermanganaattiluvun avulla ilmoitettuna ole analysoitu vuoden 1993 jälkeen. Ajan kuluminen selittää 56 % kaliumpermanganaatin kulutuksen muutoksesta ($R^2 = 0,56$; $p < 0,001$) (Kuva 13).

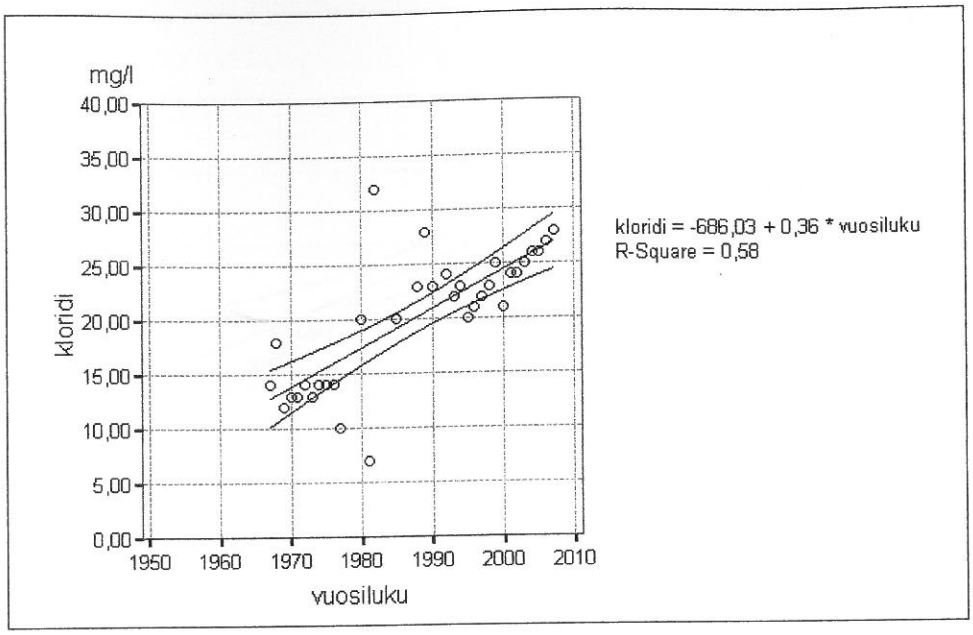
LAHDEN TIEDEKIRJASTO
Lahti Science Library



Kuva 13. Launeen pohjavedenottamon veden kaliumpermanganaatin kulutuksen havainnot vuosina 1968–1993 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.6. Kloridi

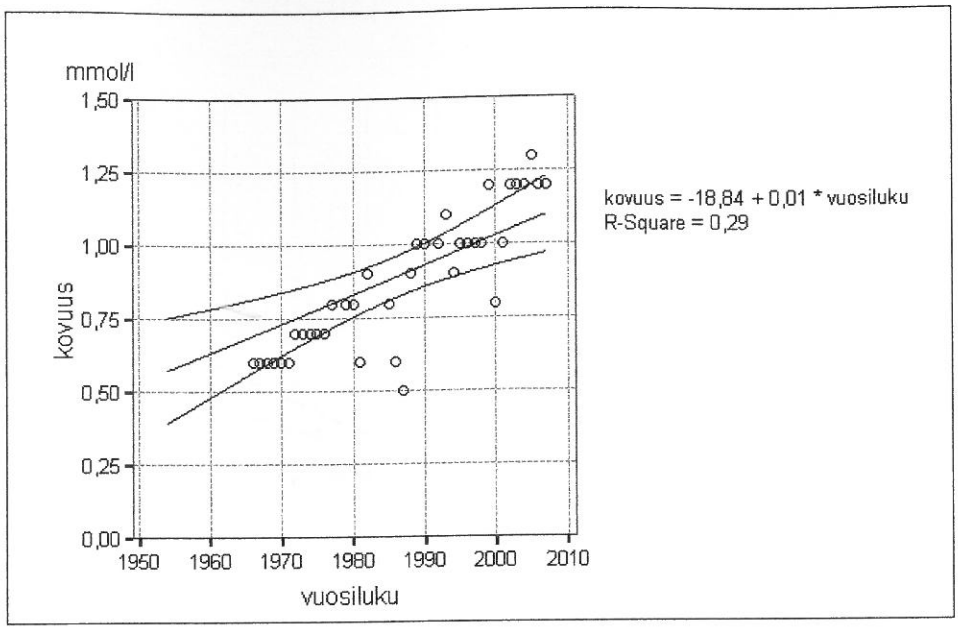
Kloridin voidaan todeta pysyneen varsin samalla tasolla 1960- ja 1970-luvuilla mutta sen jälkeen alkaneen vaihdella jyrkästi ja lähteneen kasvamaan. Jyrkkiä vaihteluja on ollut vuosina 1981 (7,0 mg/l) ja 1982 (32 mg/l), jolloin koko mittausajanjakson 1967–2007 minimi- ja maksimipitoisuudet ovat ajoittuneet kahdelle peräkkäiselle vuodelle. Vuodesta 1967 kloridin määrä on kasvanut kuitenkin kiihtyvällä vauhdilla. Poikkeuksena edelliseen on kuitenkin vuoden 1981 poikkeuksellisen alhainen tulos. Ajan kuluminen selittää 58 % kloridin muutoksesta ($R^2 = 0,58$; $p < 0,001$) (Kuva 14).



Kuva 14. Launeen pohjavedenottamon veden kloridipitoisuuden vuosittaiset havainnot vuosina 1967–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.7. Kokonaiskovuus

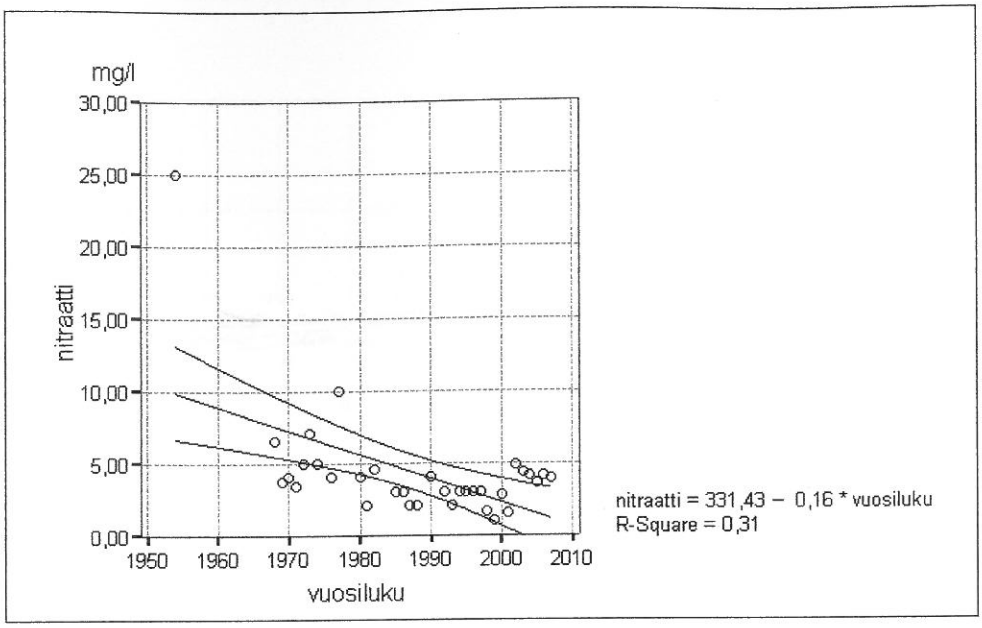
Kokonaiskovuutta on tutkittu Launeella ensimmäisen kerran 1954, jolloin kovuus oli 1,60 mmol/l. Säännöllisempi mittaus on alkanut kuitenkin 1966, jolloin pitoisuus oli 0,6 mmol/l. Kovuus on kaksinkertaistunut säännöllisen mittausjakson aikana ollen vuonna 2007 1,20 mmol/l. Ajan kuluminen selittää 29 % kovuuden muutoksesta ($R^2 = 0,29$; $p < 0,001$) (Kuva 15).



Kuva 15. Launeen pohjavedenottamon veden kokonaiskovuuden vuosittaiset havainnot vuosina 1966–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.8. Nitraatti

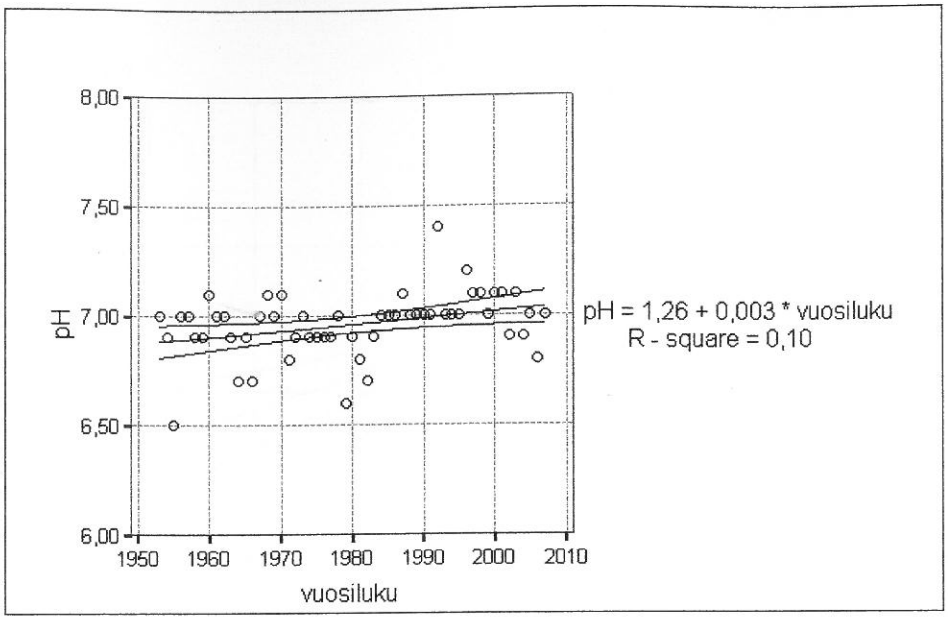
Nitraatin määrä on ollut hitaasti laskeva vuoteen 1989, jolloin väheneminen on kääntynyt hitaaseen nousuun huolimatta ajoittaisista, mutta väliaikaisista määrän pienenemisistä. 1990-luvulla nitraatin määrän väheneminen on kuitenkin hidastunut ja 2000-luvulle tultaessa määrät ovat kääntyneet lievään nousuun. Tutkimusaineisto nitraatin osalta ei ollut normaalisti jakautunutta. Ajan kuluminen selittää 31 % nitraatin määrän muutoksesta (R^2 = 0,31; $p < 0,001$) (Kuva 16).



Kuva 16. Launeen pohjavedenottamon veden nitraattipitoisuuden vuosittaiset havainnot vuosina 1954–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.9. pH

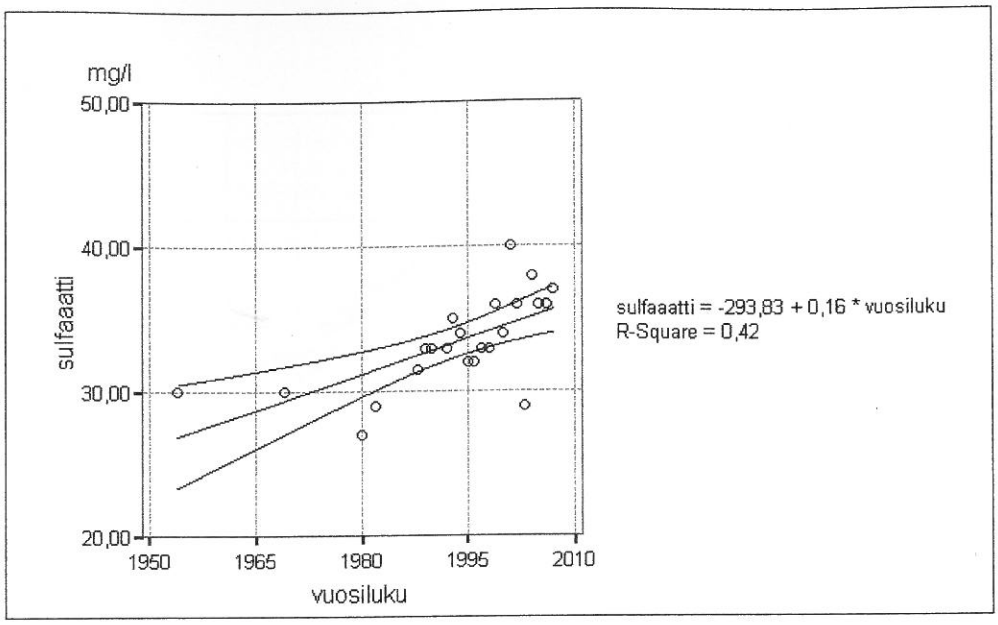
Raakaveden happamuutta pH-mittauksella on Launeella havainnoitu säännöllisesti vuodesta 1953 lähtien. Trendi on ollut loivasti kasvava koko tarkastelujakson ajan. Minimitulos on vuodelta 1955, jolloin lukema oli 6,50. 1990-lukuun asti pH oli tasaisesti 7,00 tuntumassa. Maksimitulos saavutettiin 1992, jolloin pH nousi hetkellisesti lukemaan 7,40. Huippuvuodesta 1992 pH:n trendi on ollut tasaisesti laskeva 2007 vuoden tulokseen 7,00. Tutkimusaineisto pH:n nousun osalta ei ollut normaalisti jakautunutta. Ajan kuluminen selittää ainoastaan 10 % määrän muutoksesta ($R^2 = 0,10$; $p < 0,05$).) (Kuva 17).



Kuva 17. Launeen pohjavedenottamon veden pH:n vuosittaiset havainnot vuosina 1953–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.10. Sulfaatti

Sulfaattia on mitattu ensimmäisen kerran 1954. Seuraava mittaus on tehty 1968. Kummallakin kerralla pitoisuus on ollut sama 30 mg/l. Seuraava mittaus tehtiin 1980, jolloin havaittiin sulfaatin määrän pienentyneen koko mittausajanjakson minimiin 27 mg/l. Vuoden 1980 jälkeen mittauksia on suoritettu lähes vuosittain. Sulfaatin määrä on tasaisesti lisääntynyt vuoteen 1993 (35 mg/l), jonka jälkeen se jälleen väheni muutaman vuoden ajan ollen jälleen koholla 1997, jolloin uuden nousutrendin ensimmäinen arvo oli 33 mg/l. Huippu saavutettiin vuonna 2001, jolloin sulfaattipitoisuus oli 40 mg/l. Vuonna 2003 määrä väheni väliaikaisesti, mutta äkillisesti pitoisuuteen 29 mg/l. Viiden seuranneen vuoden aikana sulfaattipitoisuuden trendi on ollut nouseva. Ajan kuluminen selittää 42 % sulfaatin muutoksesta ($R^2 = 0,42$; $p < 0,001$) (Kuva 18).

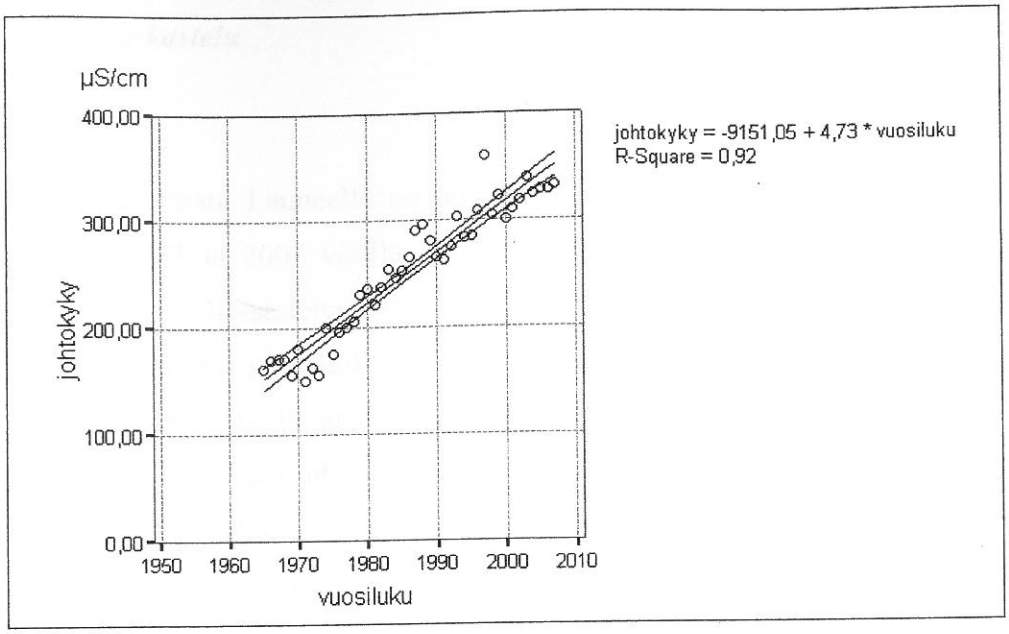


Kuva 18. Launeen pohjavedenottamon veden sulfaattipitoisuuden vuosittaiset havainnot vuosina 1954–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

3.11. Sähkön johtokyky

Sähkönjohtavuuden trendi on ollut koko mittaamisen ajan vuodesta 1965 varsin jyrkkä ja tasaisesti nouseva. Maksimitulos oli vuonna 1997 359 µS/cm. Minimitulos on vuodelta 1971, jolloin tulos oli 150 µS/cm. Kuvaajassa voidaan havaita lievää loivenemista vuodesta 1987 alkaen (kuva 19).

Sähkön johtokyvyn selitysaste on 92 % (R^2 = 0,92; $p < 0,001$), joten ajan kuluminen selittää muutokset johtokyvyssä lähes kokonaan (Kuva 19).



Kuva 19. Launeen pohjavedenottamon veden sähkön johtokyvyn vuosittaiset havainnot vuosina 1965–2007 sekä näiden perusteella laskettu lineaarinen regressiosuora 95 % luotettavuusrajoineen, regressioyhtälö ja sen avulla saatu selitysaste ("R-square" eli R^2).

4. Tulosten tarkastelu

Pohjaveden laatu Launeella on muuttunut tutkimuksen havaintojakson aikana vuosien 1953 ja 2007 välillä voimakkaasti. Veden laadun ajallista kehitystä parametrien selitysasteita tarkasteltaessa havaitaan, että parhaiten selittyvät sähkönjohtavuus ja hiilidioksidi, jotka selittyivät ajan muutoksella miltei kokonaan. Yli 50 % ajan muutoksella selittyviä parametreja ovat kloridi, kaliumpermanganaattiluku, happi, ja alkaliniteetti. Sulfaatin selitysaste on ajan suhteen 42 %. Selkeästi alle 50 % ajan muutoksella selittyviä parametreja ovat nitraatti, kokonaiskovuus ja pH. Fluorin selitysaste ajan suhteen on vain 1 %.

Saatuja tuloksia verrattiin Sovellettu Hydrologia-kirjan (Mustonen 1986) tietoihin suomalaisten pohjavesien luonnontilaisista ominaisuuksista ja niiden sisältämien aineiden pitoisuuksista. Kirjan alkuperäisessä taulukossa alkaliteetin määrityksessä käytetty mval/l on muunnettu yksiköksi mmol/l Ahosen ym. (2007) kirjassa esitetyn mallin mukaisesti. Arvioinneissa käytettiin myös Sosiaali- ja terveysministeriön asetusta 401/2001 talousveden laatuvaatimuksista ja – suosituksista, joissa on esitetty enimmäismäärät laatuparametreille.

Liptakin ja Liun (1996) mukaan pohjaveden pilaantumiseen johtavat kemiallis-fyysiset tekijät voidaan jakaa viiteen osa-alueeseen. *Hydrolyysissä* veden ja jonkun muun yhdisteen välille syntyy reaktio, jossa tuloksena on uusi sidos happiatomin ja toisen aineen välille. Ilmiö vaikuttaa pohjaveteen, jos siihen pääsee heikkojen happojen ja emästen suolojen vesiliuoksia. *Hapen vähentyminen* pohjavedessä voi johtaa täysin anaerobisiin olosuhteisiin, jossa aineiden hapeton hajoaminen alkaa. *Mikro-organismien toiminnan* aiheuttama pilaantuminen on mahdollista mm. jätevesien päästessä pohjaveteen. *Adsorptoitumista* voi aiheutua pilaantuneesta maa-aineksesta veteen siirtyvistä haitallisista aineista. *Veden epävakaus* nk. Henryn lain mukaan, jolloin ilmanpaine kasvaa syvemmälle maan kuoreen mentäessä. Samalla myös veden komponenttien osapaine kasvaa. Edellä mainituista ilmiöistä Launeen

vedenottamon pohjavedessä puuttuvat mikro-organismien (lähinnä bakteerien) aiheuttamat muutokset.

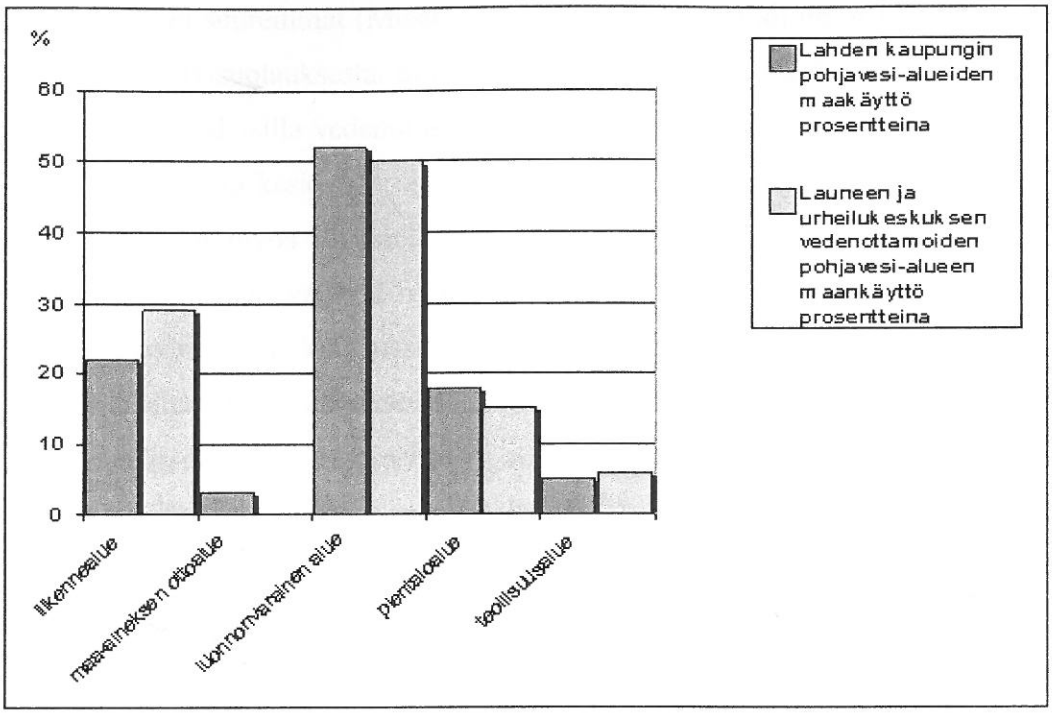
Launeen vedenottamon vesi on tutkimusten perusteella muuttunut lähes hapettomaksi. Hapettomuudesta johtuen haitallisten aineiden liukeneminen veteen on kiihtynyt. Aiemmin havaitun perusteella pohjaveden liikkuminen keskustasta Launeelle kestää 15 vuotta. Launeen alueen pohjavedet muodostuvat pääasiallisesti muualla. Hapen voimakasta vähenemistä Launeella on tapahtunut vuodesta 1987 alkaen. Hapen voimakas väheneminen saattaa olla seurausta veteen päässeen orgaanisen aineksen happea kuluttavasta vaikutuksesta. Hapen kulutusta permanganaattiluvun tai vastaavan avulla ei Launeella ole seurattu 1993 vuoden jälkeen.

Myös Vesijärven veden happipitoisuus on alhainen. Vuodenaikojen vaihtelun seurauksena tapahtuvan järviveden kerrostumisen (Kairesalo & Vakkilainen 2004) tuloksena järven pintakerroksiin ajautuu ajoittain vähähappista vettä. Vettä saattaa päätyä rantaimeytymisen seurauksena Launeelle. Järvivedessä on humusta ja muita orgaanisia aineita, joita huuhtoutuu jatkuvasti ranta-alueilta. Mikäli rantaimeytyvästä vedestä pohjavettä muodostavan mikrobikannan toimintaolosuhteet muuttuvat täysin anaerobisiksi ja toiminta häiriintyy, niin orgaanisia aineita pääsee ruhjealueen pohjavesiin aiempaa enemmän.

Ilmastin ym. (1990) mukaan savesta, hiesusta tai turpeesta koostuva eristekerros pohjavettä sisältävän pohjavesikerroksen päällä aiheuttaa sille ominaiset pohjavesigeologiset olot. Pohjavesi viipyy tällaisissa kerrostumissa tavallista pidempään ja veden happi kuluu orgaanisten ainesten hajaantuessa ja olot muuttuvat hapettavista pelkistäviksi. Kun maanpinta muuttuu vettä läpäisemättömäksi ja veden pumppaaminen vähenee, niin hapen määrä pohjavedessä vähenee ja olosuhteet muuttuvat anaerobisiksi.

Vertailtaessa Launetta koko Lahden alueeseen, havaitaan, että suurin ero Launeen pohjavesialueen ja koko Lahden pohjavesialueiden välillä on Launeelta

kokonaan puuttuva soranotto lähinnä savesta koostuvien pintamaiden vuoksi. Myös peitteellisten liikennealueiden suurempi suhteellinen osuus Launeella on selkeästi havaittavissa (kuva 20).



Kuva 20. Maankäyttö pohjavesialueilla prosentteina.

Alueiden maankäytön ja rakentamisen aiheuttamat haitat pohjavesille ovat muodostuneet suurelta osin Kaluarachchin & Twarakavin (2006) mukaan useimmin liikenneväylien rakentamisen seurauksena. Lahdessa tiestö ja rautatiet kulkevat samoilla alueilla parhaiden pohjavesiesiintymien kanssa. Launeen ja Lahden pohjavesiin vaikuttavat vahvasti Lahden alueen geologinen monimuotoisuus ja Launeen peitteellinen maakerros, jossa vettä hyvin johtava ruhjemuodostuma sijaitsee paksujen vettä johtamattomien savikerrosten alla. Launeen alue on entisestään tiivistynyt ja muuttunut peitteellisemmäksi talon- ja alueerakentamisen sekä alueelle muodostuneen tiheän liikenneväylästön myötä.

Vähähappisuudesta johtuen Launeella on lähivuosien aikana odotettavissa rauta- ja mangaanipitoisuuden nousua. Alueen jo kohonneet kloridi- ja

sulfaattipitoisuudet voivat johtua myös osittain hapen vähenemisestä. Myös fosforipitoisuudet saattavat kohota. Kloridin määrä Launeella asettuu 2,0...40,0 mg/l pitoisuusvälille (80 % suomalaisista vedenottamoista) varsin hyvin. Keskiarvoon 9,0 mg/l verrattuna määrät ovat olleet lähes koko mittausjakson ajan kuitenkin suuremmat (Mustonen 1986). Alueen kloridi on osittain peräisin tiealueiden talvisuolauksesta. Sulfaattia Launeen pohjavedessä oli vuonna 2007 37 mg/l. Suomalaisilla vedenottamoilla 80 % pitoisuuksista on asettunut välille 5,0...80,0 mg/l ja keskiarvo on ollut 10 mg/l (Mustonen 1986). Ilmastin ym. (1990) mukaan myös ilmastollinen tekijä on tärkeä sulfaatin määrän lisääjä pohjavedessä. Pohjavedessä oleva sulfaatti on osittain peräisin peruskalliosta sekä sadevedestä, kun kaukolaskeumien rikkiyhdiste happamana laskeumana on satanut maahan. Launeen veden alkaliniteetti on korkeahko, joka osittain johtuu veteen päässeiden humusaineiden vaikutuksesta. Korkea alkaliniteetti lisää veden puskurikapasiteettia neutraloimalla happoja ja suojaa pohjavettä happosateilta. Tarkasteltaessa alkaliniteetin ja kokonaiskovuuden vaihteluja ajan suhteen, voidaan parametrien kuvaajien havaita olevan lähes identtisiä. Launeen pohjavesi ei ole suomalaisille pohjavesille tyypillisesti ollut pehmeätä koko havaintokauden aikana, vaan kovahkoa. Tämä kertoo veteen liuenneen kalsiumia ja magnesiumia.

Hiilidioksidipitoisuutta Launeella voidaan pitää korkeana. Hiilidioksidi syövyttää kallioperää ja rapauttaa irtonaista kiviainesta. Voimakas hiilidioksidipitoisuus pohjavedessä on useamman tekijän toimintojen seurausta. Maaperään imeytyvässä sadevedessä on hiilidioksidia hiilihapon (H^2CO^3) muodossa. Hiilihapon esiintyminen liittyy oleellisena osana epäorgaanisen hiilen tasapainoon (hiilihappotasapainoon), joka puolestaan on luonnonvesien tärkein pH:ta ja veden ympäristömuutosten aiheuttamaa happamoitumista vastustavaa puskurikykyä säätelevä tekijä. Hiilihappoa on muodostunut myös maan pintaosissa kasvien juuriston elintoimintojen seurauksena. Lisäksi hiilidioksidia muodostuu pohjaveteen sen sisältämän orgaanisen aineksen hajotessa mikrobitoiminnan tuloksena. Olosuhteiden muuttuminen anaerobisiksi edistää hiilidioksidin muodostumista ja käytännössä korvaa vedestä puuttuvan

hapen. Launeen vesi on pH-tasoltaan tällä hetkellä neutraalia, mutta pitkäaikaisen tarkastelun mukaan vesi on muuttumassa happamaksi pH:n laskiessa lähitulevaisuudessa alle 7,00 nykyisellä muutosvauhdilla.

Launeen nitraattipitoisuudessa voidaan havaita pieni nousu 2000-luvun alusta lähtien. Nitraatin määrän kohoaminen on osoitus pohjaveden hitaasta pilaantumisesta. Lernerin & Wakidan (2005) mukaan viemäröinnin riittävä määrä ei yksin eliminoi pohjaveden saastumisriskiä, vaan pilaantuminen voi aiheutua vuotavista jätevesiviemäreistä. Muita syitä voivat olla teollisuuden päästöt ja hävikit, maan täyttäminen, rantaimeytyminen, puutarhojen lannoittaminen, talonrakennus, tulvat ja lannoitteiden huolimaton säilytys. Lernerin & Wakidan (2005) mukaan kohonnut nitraattipitoisuus johtuu edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutuksesta, harvemmin yhdestä yksittäisestä tekijästä. Lahden alueen viemäriverkostoissa on edelleen useiden kymmenien vuosien ikäisiä linjoja vuosittaisista parannus- ja korjaustöistä huolimatta, joiden reitit kulkevat suoraan parhaiden pohjavesiesiintymien päällä tai niiden läpi. Danielopolin ym. (2003) mukaan vuotavien jätevesien mukana pohjaveteen voi päästä suuri määrä erilaisia patogeenisiä taudin aiheuttajia, raskasmetalleja, orgaanisia yhdisteitä sekä suoloja. Nitraattipitoisuus Launeella on ollut keskiarvon 0,8 mg/l yläpuolella koko mittausajanjakson ajan. Nitraattipitoisuus on koko mitatun ajanjakson aikana asettunut 80 % rajoihin (< 0,5...8,0 mg/l) vertailussa muihin suomalaisiin vedenottamoihin.

Sähkönjohtavuus kuvaa elektrolyyttien määrää pohjavedessä ja se on luotettava veden yleisen puhtauden ja laadun mittari. Epäpuhtauksista johtuen (yleensä suolat) pitoisuudet ovat nousseet Launeella yli neljänkymmenen. Nousu on väliaikaisesti pysähtynyt 1980-luvun lopulla, mutta 1990-luvun alusta lähtien se on kohonnut jälleen säännöllisesti ollen vuonna 2007 331 µS/cm. Vaikka Launeen vedenottamon sähkönjohtavuus on huomattavasti keskiarvon yläpuolella, niin voidaan todeta myös 80 % muista ottamoista sijoittuvan välille 40...500 µS/cm välille. Sähkönjohtavuuden perusteella veden laatu on kuitenkin toistaiseksi vielä kohtalaista. Suomen pohjavesissä pitoisuus on keskimäärin 15

µS/cm, mutta pitkäaikaisessa tarkkailussa on havaittu jopa 500 µS/cm (Mustonen 1986).

Launeen pohjavedessä fluorin määrä on kuitenkin lisääntynyt. Keskimääräinen fluoripitoisuus vedenottamoilla on ollut 0,1 mg/l (Mustonen 1986). Fluoria oli Launeen vedessä vuonna 2007 0,2 mg/l, joten keskimääräiseen pitoisuuteen 0,1 mg/l verrattuna määrä oli kaksinkertainen. Fluorin määrä Launeella ei eroa kuitenkaan mainittavasti muiden suomalaisten pohjavedenottamoiden raakaveden fluorin määrästä, sillä 80 % niistä asettuu välille 0,05 – 1,00 mg/l (Mustonen 1986). Fluorin lisääntyminen ei selity ajan muuttumisen suhteen.

Lahden kaupungin voimakas kasvukehitys on heijastunut sen alla sijaitsevien pohjavesien laatuun heikentävästi. Tutkimuksen keskeinen hypoteesi siitä, että kaupunki toimintoineen heikentää pohjaveden laatua, koska kaupungista pääsee pohjaveteen ravinteita, suoloja ja muita haitallisia aineita, kuten happea kuluttavia orgaanisia aineita näyttää saavan tukea.

6. Kiitokset

Haluan kiittää pro-gradu työni ohjaajia DI Juha Määttää ja FT Kirsi Vakkilaista avusta työn suunnittelussa sekä toteuttamisessa ja neuvoista tilastollisten testien tekemiseen kirjoitusurakan aikana.

Erityinen kiitos kuuluu Lahti Vesi Oy:n käyttöpäällikkö, rkm Hannu Pohjolalle (Lahti Aqua aik. LV Lahti Vesi os. Lahden Vesilaitos) aineiston lainaamisen mahdollistamisesta. Kiitän häntä myös perehdyttämisestäni lahtelaisen pohjaveden syntyyn sekä vastauksista koskien lukuisia pohjavesiä koskevia kysymyksiäni.

Kiitän myös paikkatietoinsinööri Sami Kajanderia ja kaavoitusarkkitehti Johanna Palomäkeä Lahden kaupungin teknisen ja ympäristötoimialan maankäytön karttatoimistosta. He mahdollistivat kaupungin maan peitteellisyyden lisääntymisen havainnoinnin antamalla käyttööni aihetta koskevan kartta-aineiston.

Kiitän Ramboll-Analytics Oy:n toimitusjohtajaa, FM Outi Salosta sekä johtavaa kemistiä, FM Jorma Nordlundia avusta eri aikakausia edustavien mittayksiköiden muuntamiseksi ja yhtenäistämiseksi nykyisiin mittayksiköihin.

Suuri kiitos kuuluu myös lähipiirille, etenkin Outille ja Rasmukselle.

Kirjallisuus:

Ahonen, M., Kaunisto T. & Keinänen-Toivola M., 2007: *Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984–2006.* – Vesi-Instituutin julkaisuja 2. Karhukopio Oy, Turku. 107 s.

Arnold, C.L. & Gibbons, C.J. 1996: Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. – *American Planners Association Journal 62*: 243 - 258.

Backman, B., Hatakka, T., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lahermo, P., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Tarvainen, T., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002: *Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 155.* – Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 92 s.

Britchgi, R. ja Gustafsson, J. 1996: *Suomen luokitellut pohjavesialueet.* – Suomen ympäristökeskus. Oy Edita Ab, Helsinki. 387 s.

Britschgi, R., Hatva, T. & Suomela, T. 1991: *Pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitusohjeet sarja B nro 7.* – Vesi- ja Ympäristöhallinnon julkaisuja, Helsinki. 60 s.

Boulding, J.R. & Ginn, J.S. 2004: *Practical handbook of soil, vadose zone and ground water contamination. Assessment, Prevention and Remediation. Second edition.* – Lewis publishers, Boca Raton & New York. 691 s.

Danielopol, D.L., Griebler, C., Gunatilaka, A. & Notenboom, J. 2003: Present state and future prospects for groundwater ecosystems. – *Environmental Conservation* 30 (2): 104–130.

Edmunds, W.M., Hart, P., Shand, P. & Ward, R. S.2003: The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study. *Science of total Environment* 310: 25–35.

Eerikäinen, A. & Kajander, S. 2004: *Lahden ja Hollolan pohjaveden virtausmalli, raportti 16549.* – Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy, Hollola. 10 s.

Gustafsson, J. (toim.), 2004: *Torjunta-aineiden esiintyminen pohjavedessä – väliraportti 299.* – Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki. 112 s.

Heinonen, A. 1993: *Lahden alueen pohjaveden laatu vuosina 1975–1993.* – Tutkielma. 47 s.

Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J. & Reijonen, R. (toim.) 2003: *Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. TEMU-tutkimushankkeen loppuraportti.* – Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 902. Vantaan toimintayksikkö. 209 s.

Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri 1993: *Lahden pohjavesialueiden kunta-kansio.* – Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin julkaisuja. 12 s.

Heikkinen, P., 2000: *Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. tutkimusraportti 150* – Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 74 s.

Ilmasti, M., Juntunen, R., Lahermo, P. & Taka, M. 1990: *The geochemical Atlas of Finland Part 1. The hydrogeochemical mapping of Finnish groundwater.* – Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 66 s.

Juuti, P. 2001: *Kaupunki ja Vesi.* – Kehrämedia Oy. RT-Print Oy, Pieksämäki. 283 s.

Juuti, P. 2006: Vuosisata vesihuoltoa Lahdessa. – *Vesitalous* 4: 46 - 48.

Kairesalo, T. & Vakkilainen, K. 2004: Lake Vesijärvi and the City of Lahti (Southern Finland) Comprehensive Interactions between the Lake and the Coupled Human Community. – *SIL (The International Association of Theoretical and Applied Limnology) news* 41: 1-5.

Kaluarachchi, J.J. & Twarakavi, N.K.C. 2006: Sustainability of ground Water quality considering land use changes and public health risks. – *Journal of Environment Management* 81: 405–419.

Kaye, J.P., Groffman, P.M., Grimm, N.B., Baker, L.A. & Pouyat, R.V. 2006: A distinct urban biogeochemistry? – *Trends in Ecology and Evolution Vol. 21 No.4*: 192–199.

Kinnunen, T. (toim.) 2005: *Pohjavesitutkimusopas - käytännön ohjeita.* – Suomen Vesiyhdistys r.y. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 194 s.

Kotola, J. ja Nurminen, J. 2003: *Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealuetutkimus. – Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 8.* Teknillinen korkeakoulu. Otamedia Oy, Espoo. 203 s.

Lahden seudun ympäristöpalvelut, 2006: *Lahden ympäristötilinpäätös. Sarja S/2006* – Markprint Oy, Lahti. 11 s.

Lahden valvonta- ja ympäristökeskus, 2006: *Lahden ympäristöraportti.* – Markprint Oy, Lahti. 27 s.

Lahti Vesi Oy 2007: *Vuosikertomus 2006.* – Fortuna Oy, Lahti / Esa Print Oy, Lahti. 28 s.

Lavapuro, M., Lipponen, A. & Artimo, A. 2007: *Groundwater sustainability indicators: testing with Finnish data.* - Teoksessa: Vrba, J. & Lipponen, A. (toim.), Groundwater resources sustainability indicators: 55–72. IHP-VI Series on Groundwater 14, UNESCO. 114 s.

Lerner, D.N. & Wakida, F.T.2005: Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. – *Water Research* 39: 3-16.

Liptak, B.G. & Liu, D.H. 1996: *Environmental engineer's handbook – Second Edition.* – Lewis publishers, Boca Raton & New York. 1431 s.

Mustonen, S. (toim.) 1986: *Sovellettu Hydrologia.* – Vesiyhdistys Ry. Mäntän kirjapaino Oy, Mänttä. 503 s.

Mälkki, E. 1999: *Pohjavesi ja Pohjaveden ympäristö.* – Tammi. Helsinki. 304 s.

Setälä, H. 2006: Kaupunki: tekosysteemi vai ekosysteemi. – Yliopistopaino. *Tieteessä tapahtuu* 5: 38–41.

Suomen ympäristökeskus 2007. *Kaivoveden analyysitulkki – apuväline kaivoveden laadun arvioimiseen.* – Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 3 s.

Trauth, R. & Xanthopoulos, C. H. 1997: Non – point pollution of groundwaters in urban areas. – *Water Research* Vol. 31 (11): 2711–2718.

HELSINGIN YLIOPISTON YMPÄRISTÖEKOLOGIAN LAITOKSEN TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA (1.-17. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ)

No. 1 1999 TURPEINEN RIINA: Mikrobiston vaikutus arseenin metylaatioon ja liikkuvuuteen maaperässä sekä mikrobiston arseeniresistenttiys. (pro gradu)

No. 2 2000 RAILO HELENA: Kaatopaikkojen ympäristövaikutukset, esimerkkinä Pasilan kaatopaikka. (pro gradu)

No. 3 2001 ONKILA HANNU: Tuhkan ja sen sisältämän kadmiumin vaikutukset metsämaan änkyrimato-populaatioihin. (pro gradu)

No. 4 2001 TÖRN ANNE: Kohotetun hiilidioksidipitoisuuden ja typpilannoituksen vaikutukset ombrotrofiseen suokasvillisuuteen. (pro gradu)
Effects of elevanted CO2 and increased N deposition on ombrotrofic bog vegetation

No. 5 2001 HOVI SANNA: Valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset pieniin järviin - paleo-limnologinen selvitys. (pro gradu)

No. 6 2001 ANTTILA SAKU: Päällyslevästön biomassan kertyminen eri ravinnetasoilla sekä vaikutukset veden ravinnepitoisuuksiin. (pro gradu)

No. 7 2002 KOSKINEN SARI: Hiilidioksidialtistuksen vaikutukset järvikortteen (Equisetum fluviatile) ja järvikaislan (Schoeneplectus lacustris) aerobiseen ja anaerobiseen hajoamiseen. (pro gradu)

No. 8 2002 KORKAMA TIINA: Maaperän hajottajaeliöyhteisön vuorovaikutussuhteet ja hajotustoiminta lyijyllä saastuneessa maassa. (pro gradu)

No. 9 2002 LEHTIMÄKI ELENA: Auringonkukan vaikutus atratsiinin ja simantsiinin hajoamiseen kaupunkimaaperässä. (pro gradu)

No. 10 2003 KAJALA SAIJA: Rihmamaisten syanobakteerien ja niiden toksiinien ravintoketjuvaikutukset. (pro gradu)

No. 11 2003 TAHVANAINEN JUULIA: Elisa-konsernin ympäristökuormitustekijöiden nykytilan kartoitus.. (pro gradu)

No. 12 2003 SUSILUOTO SANNAMAIJA: Comparison of drought avoidance and tolerance strategies in Eucalyptus microtheca. (pro gradu)

No. 13 2003 KUUKKA HANNA: Särjen ravinnon käytön vaikutus vedenlaatuun ja kasviplanktoniin. (pro gradu)

No. 14 2003 FLYKT ENNI: Mineraaliöljy- ja bioöljypohjaisten hydrauliikkaöljyjen vaikutukset boreaalisen metsämaan hajottajaravintoverkkoon. (pro gradu)

No. 15 2003 HOLMA ANNE: Tuhkan ja typen vaikutukset kuusen (Picea abies L. Karst) ektomykorritsaan. (pro gradu)

No. 16 2003 LATTUNEN PETRA: Yritysten ympäristöjärjestelmät – erilaisten indikaattorimenetelmien vertailu. (pro gradu)

No. 17 2003 TAIPALE SAMI: Lipidimarkkerit kompostin mikrobisukkession määrityksessä. (pro gradu)

No. 18 2003 KÄKI TIINA: Boreaalisen järven rantavyöhykkeen metaaniemissiot sekä niiden suhde ympäristöoloihin ja kasvillisuuden kehitykseen. (lis.tutkimus)

No. 19 2004 JÄRVI ANNE: Populaatiotiheyden vaikutus pentakloorifenolin myrkyllisyyteen änkyrimadolla. (pro gradu)

No. 20 2004 HÖLSÄ JENNI: Kompostin sieniyhteisön kehittyminen ja karakterisointi molekyylibiologisin menetelmin (pro gradu)

No. 21 2004 MÄKINEN JUSSI: Vesijärven kilpiäistenpohjan ekologinen tila ja hoitosuunnitelma (pro gradu)

No. 22 2004 LÖNNGREN HANNA: Ympäristöasioiden hallinta kaupunkikuntien toimintayksiköissä – Tapaustutkimuksena Hyvinkään kaupungin tilapalvelu (pro gradu)

No. 23 2004 HUOTARI JUSSI : *DAPHNIA LONGISPINA* ja *D. PULEX*- vesikirppujen lisääntyminen simuloiduissa ilmastonmuutos olosuhteissa: ekosysteemitason co_2-altistus (pro gradu)

No. 24 2004 SAARINEN TUOMAS: Petoäyriäisen merkitys Vesijärven ulappavyöhykkeen eläinplanktonyhteisössä (pro gradu)

No. 25 2004 VAKKILAINEN KIRSI: The role of zooplankton in controlling phytoplankton biomass in lake littoral (lis.tutkimus)

No. 26 2004 HAGNER MARLEENA: Koivutisle torjunta-aineena: vaikutukset lehtokotiloon (Arianta arbustorum) ja maaperään (pro gradu)

No. 27 2004 JÄRVINEN KIRSI: Vesikasvien pintojen ja pehmeiden pohjien päällys- ja pohjaeläimistöt matalien järvien tilan kuvaajina (pro gradu)

No. 28 2004 SUUTARI MILLA: Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus Lahden Vesijärvessä kesällä 2000 (pro gradu)

No. 29 2005 VAURAMO SAARA: Decomposition of chitinase transgenic silver birch (Betula pendula) leaf litter and effects on decomposer populations in a field trial (pro gradu)

No. 30 2005 IKONEN SUVI: Kasvukauden aikaiset muutokset ravinnonkäytössä kahdessa jäännehalkoisjalkaisen populaatiossa (pro gradu)

No. 31 2005 PARTANEN PASI: Bakteeridiversiteetin määrittäminen molekyylibiologisin menetelmin kompostointiprosessin eri vaiheissa (pro gradu)

No. 32 2005 MÄNTYLÄ MINNA: Humuskuormituksen vaikutus nuottaruohon (Lobelia Dortmanna L.) fotosynteesiaktiivisuuteen sekä sedimentin happioloihin ja bakteerien entsyymiaktiivisuuksiin (pro gradu)

No. 33 2005 TAIPALE TIINA: Lahopuu luonnonmetsäsukkessiossa (pro gradu)

No. 34 2006 VALENTINI MARCO: The assessment of toxicity in lead contaminated soils (master science thesis)

No. 35 2005 AALTONEN HERMANNI: Kohonneiden alailmakehän otsoni- ja hiilidioksidipitoisuuksien vaikutukset maaperän mikrobiyhteisön rakenteeseen (pro gradu)

No .36 2006 ENBERG EIJA: Ympäristö- ja laatujärjestelmän liittäminen yhteiseksi toimintajärjestelmäksi julkisen hallinnon organisaatiossa, Kymenlaakson sairaanhoitopiirin kuntayhtymässä (pro gradu)

No. 37 2006 NIITTYMIES HEIDI: Ympäristövaikutukset ja –vastuu: esimerkkinä suolakyllästämön alue (pro gradu)

No. 38 2006 KOSKINEN KAISA: Öljyvuotojen puhdistus tupasvillan avulla ja öljyn bioremediaatio Itämeren rannikkoalueilla (pro gradu)

No. 39 2006 KAUPPI SARI: Öljyllä pilaantuneen maan biologisen hajotuksen tehostaminen (pro gradu)

No. 40 2006 PASANEN TIINA: Koivutisle lehtokotiloiden (Arianta arbustorum) karkotteena ja sen käytön ympäristövaikutukset maaperässä ja vesieliöissä

No. 41 2006 KARJALAINEN ANNE-MARI: Ecotoxicity and Bioavailability of CCA in Soils at an Old Wood Impregnation Site (pro gradu)

No. 42 2007 LJUNGBERG REETTA: Vuollejokisimpukan elinympäristövaatimukset ja liikkuminen Nummenjoen yläosassa

No. 43 2007 HANNULA EMILIA: The effect of diesel and its removal on the population dynamics of the bacteria in the Baltic Sea (pro gradu)

No. 44 2007 PELTOMAA ELINA: Kasviplanktonin vuotuiset ja vuosienväliset vaihtelut pienessä humuspitoisessa metsäjärvessä vv. 1990-2003 (pro gradu)

No. 45 2007 FINGERROOS TERO: Biosensoribakteerin käyttö raskasmetallin pitoisuuden määrityksessä maaperästä – lyijyn ekotoksisuus suhteessa sen biosaatavuuteen (pro gradu)

No. 46 2007 TORKKELI MINNA: Lyijysaastumisen vaikutukset maaperäekosysteemin toimintaan ja eliöyhteisön rakenteeseen entisellä ampumarata-alueella (pro gradu)

No. 47 2008 VUORIMAA PAULA: Torjunta-aineiden esiintyminen pohjavedessä–vertailua kaupunkien ja kuntien välillä (pro gradu)

No. 48 2008 ANTTILA JARNA: Ekologinen riskinarviointi: lyijyn biosaatavuuden määritys ampumaradan lyijyllä pilaantuneesta maasta (pro gradu)

No. 49 2008 SWANSON SAARA: Yksittäisen sateen vaikutus ekosysteemin liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrään (pro gradu)

No. 50 2008 PELTONEN SANNA: Lahden ekologinen verkosto ja sen merkitys kaupungissa esiintyville nisäkkäille (pro gradu)

No. 51 2008 RANTANEN MARI: Lyijyn vaikutukset typen transformaatioihin havumetsäekosysteemissä (pro gradu)

No. 52 2008 TOLONEN IRMA: Monimuotoiset luontokohteet tiivistyvässä kaupunkiympäristössä - kaupunkiekologinen tarkastelu lehtojen merkityksestä (pro gradu)

HELSINGIN YLIOPISTON YMPÄRISTÖEKOLOGIAN LAITOKSEN TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA (1.-17. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ)

No. 1 1999 TURPEINEN RIINA: Mikrobiston vaikutus arseenin metylaatioon ja liikkuvuuteen maaperässä sekä mikrobiston arseeniresistenttiys. (pro gradu)

No. 2 2000 RAILO HELENA: Kaatopaikkojen ympäristövaikutukset, esimerkkinä Pasilan kaatopaikka. (pro gradu)

No. 3 2001 ONKILA HANNU: Tuhkan ja sen sisältämän kadmiumin vaikutukset metsämaan änkyrimato-populaatioihin. (pro gradu)

No. 4 2001 TÖRN ANNE: Kohotetun hiilidioksidipitoisuuden ja typpilannoituksen vaikutukset ombrotrofiseen suokasvillisuuteen. (pro gradu)
Effects of elevanted CO2 and increased N deposition on ombrotrofic bog vegetation

No. 5 2001 HOVI SANNA: Valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset pieniin järviin - paleo-limnologinen selvitys. (pro gradu)

No. 6 2001 ANTTILA SAKU: Päällyslevästön biomassan kertyminen eri ravinnetasoilla sekä vaikutukset veden ravinnepitoisuuksiin. (pro gradu)

No. 7 2002 KOSKINEN SARI: Hiilidioksidialtistuksen vaikutukset järvikortteen (Equisetum fluviatile) ja järvikaislan (Schoeneplectus lacustris) aerobiseen ja anaerobiseen hajoamiseen. (pro gradu)

No. 8 2002 KORKAMA TIINA: Maaperän hajottajaeliöyhteisön vuorovaikutussuhteet ja hajotustoiminta lyijyllä saastuneessa maassa. (pro gradu)

No. 9 2002 LEHTIMÄKI ELENA: Auringonkukan vaikutus atratsiinin ja simantsiinin hajoamiseen kaupunkimaaperässä. (pro gradu)

No. 10 2003 KAJALA SAIJA: Rihmamaisten syanobakteerien ja niiden toksiinien ravintoketjuvaikutukset. (pro gradu)

No. 11 2003 TAHVANAINEN JUULIA: Elisa-konsernin ympäristökuormitustekijöiden nykytilan kartoitus.. (pro gradu)

No. 12 2003 SUSILUOTO SANNAMAIJA: Comparison of drought avoidance and tolerance strategies in Eucalyptus microtheca. (pro gradu)

No. 13 2003 KUUKKA HANNA: Särjen ravinnon käytön vaikutus vedenlaatuun ja kasviplanktoniin. (pro gradu)

No. 14 2003 FLYKT ENNI: Mineraaliöljy- ja bioöljypohjaisten hydrauliikkaöljyjen vaikutukset boreaalisen metsämaan hajottajaravintoverkkoon. (pro gradu)

No. 15 2003 HOLMA ANNE: Tuhkan ja typen vaikutukset kuusen (Picea abies L. Karst) ektomykorritsaan. (pro gradu)

No. 16 2003 LATTUNEN PETRA: Yritysten ympäristöjärjestelmät – erilaisten indikaattorimenetelmien vertailu. (pro gradu)

No. 17 2003 TAIPALE SAMI: Lipidimarkkerit kompostin mikrobisukkession määrityksessä. (pro gradu)

No. 18 2003 KÄKI TIINA: Boreaalisen järven rantavyöhykkeen metaaniemissiot sekä niiden suhde ympäristöoloihin ja kasvillisuuden kehitykseen. (lis.tutkimus)

No. 19 2004 JÄRVI ANNE: Populaatiotiheyden vaikutus pentakloorifenolin myrkyllisyyteen änkyrimadolla. (pro gradu)

No. 20 2004 HÖLSÄ JENNI: Kompostin sieniyhteisön kehittyminen ja karakterisointi molekyylibiologisin menetelmin (pro gradu)

No. 21 2004 MÄKINEN JUSSI: Vesijärven kilpiäistenpohjan ekologinen tila ja hoitosuunnitelma (pro gradu)

No. 22 2004 LÖNNGREN HANNA: Ympäristöasioiden hallinta kaupunkikuntien toimintayksiköissä – Tapaustutkimuksena Hyvinkään kaupungin tilapalvelu (pro gradu)

No. 23 2004 HUOTARI JUSSI : *DAPHNIA LONGISPINA* ja *D. PULEX*- vesikirppujen lisääntyminen simuloiduissa ilmastonmuutos olosuhteissa: ekosysteemitason co_2-altistus (pro gradu)

No. 24 2004 SAARINEN TUOMAS: Petoäyriäisen merkitys Vesijärven ulappavyöhykkeen eläinplanktonyhteisössä (pro gradu)

No. 25 2004 VAKKILAINEN KIRSI: The role of zooplankton in controlling phytoplankton biomass in lake littoral (lis.tutkimus)

No. 26 2004 HAGNER MARLEENA: Koivutisle torjunta-aineena: vaikutukset lehtokotiloon (Arianta arbustorum) ja maaperään (pro gradu)

No. 27 2004 JÄRVINEN KIRSI: Vesikasvien pintojen ja pehmeiden pohjien päällys- ja pohjaeläimistöt matalien järvien tilan kuvaajina (pro gradu)

No. 28 2004 SUUTARI MILLA: Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus Lahden Vesijärvessä kesällä 2000 (pro gradu)

No. 29 2005 VAURAMO SAARA: Decomposition of chitinase transgenic silver birch (Betula pendula) leaf litter and effects on decomposer populations in a field trial (pro gradu)

No. 30 2005 IKONEN SUVI: Kasvukauden aikaiset muutokset ravinnonkäytössä kahdessa jäännehalkoisjalkaisen populaatiossa (pro gradu)

No. 31 2005 PARTANEN PASI: Bakteeridiversiteetin määrittäminen molekyylibiologisin menetelmin kompostointiprosessin eri vaiheissa (pro gradu)

No. 32 2005 MÄNTYLÄ MINNA: Humuskuormituksen vaikutus nuottaruohon (Lobelia Dortmanna L.) fotosynteesiaktiivisuuteen sekä sedimentin happioloihin ja bakteerien entsyymiaktiivisuuksiin (pro gradu)

No. 33 2005 TAIPALE TIINA: Lahopuu luonnonmetsäsukkessiossa (pro gradu)

No. 34 2006 VALENTINI MARCO: The assessment of toxicity in lead contaminated soils (master science thesis)

No. 35 2005 AALTONEN HERMANNI: Kohonneiden alailmakehän otsoni- ja hiilidioksidipitoisuuksien vaikutukset maaperän mikrobiyhteisön rakenteeseen (pro gradu)

No .36 2006 ENBERG EIJA: Ympäristö- ja laatujärjestelmän liittäminen yhteiseksi toimintajärjestelmäksi julkisen hallinnon organisaatiossa, Kymenlaakson sairaanhoitopiirin kuntayhtymässä (pro gradu)

No. 37 2006 NIITTYMIES HEIDI: Ympäristövaikutukset ja –vastuu: esimerkkinä suolakyllästämön alue (pro gradu)

No. 38 2006 KOSKINEN KAISA: Öljyvuotojen puhdistus tupasvillan avulla ja öljyn bioremediaatio Itämeren rannikkoalueilla (pro gradu)

No. 39 2006 KAUPPI SARI: Öljyllä pilaantuneen maan biologisen hajotuksen tehostaminen (pro gradu)

No. 40 2006 PASANEN TIINA: Koivutisle lehtokotiloiden (Arianta arbustorum) karkotteena ja sen käytön ympäristövaikutukset maaperässä ja vesieliöissä

No. 41 2006 KARJALAINEN ANNE-MARI: Ecotoxicity and Bioavailability of CCA in Soils at an Old Wood Impregnation Site (pro gradu)

No. 42 2007 LJUNGBERG REETTA: Vuollejokisimpukan elinympäristövaatimukset ja liikkuminen Nummenjoen yläosassa

No. 43 2007 HANNULA EMILIA: The effect of diesel and its removal on the population dynamics of the bacteria in the Baltic Sea (pro gradu)

No. 44 2007 PELTOMAA ELINA: Kasviplanktonin vuotuiset ja vuosienväliset vaihtelut pienessä humuspitoisessa metsäjärvessä vv. 1990-2003 (pro gradu)

No. 45 2007 FINGERROOS TERO: Biosensoribakteerin käyttö raskasmetallin pitoisuuden määrityksessä maaperästä – lyijyn ekotoksisuus suhteessa sen biosaatavuuteen (pro gradu)

No. 46 2007 TORKKELI MINNA: Lyijysaastumisen vaikutukset maaperäekosysteemin toimintaan ja eliöyhteisön rakenteeseen entisellä ampumarata-alueella (pro gradu)

No. 47 2008 VUORIMAA PAULA: Torjunta-aineiden esiintyminen pohjavedessä–vertailua kaupunkien ja kuntien välillä (pro gradu)

No. 48 2008 ANTTILA JARNA: Ekologinen riskinarviointi: lyijyn biosaatavuuden määritys ampumaradan lyijyllä pilaantuneesta maasta (pro gradu)

No. 49 2008 SWANSON SAARA: Yksittäisen sateen vaikutus ekosysteemin liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrään (pro gradu)

No. 50 2008 PELTONEN SANNA: Lahden ekologinen verkosto ja sen merkitys kaupungissa esiintyville nisäkkäille (pro gradu)

No. 51 2008 RANTANEN MARI: Lyijyn vaikutukset typen transformaatioihin havumetsäekosysteemissä (pro gradu)

No. 52 2008 TOLONEN IRMA: Monimuotoiset luontokohteet tiivistyvässä kaupunkiympäristössä - kaupunkiekologinen tarkastelu lehtojen merkityksestä (pro gradu)

LAHDEN TIEDEKIRJASTO
Lahti Science Library