

Järvisedimentit

kaivosten vesistökuormituksen ja onnettomuuksien tutkimuksessa – mahdollisuuksia ja haasteita

JAAKKO LEPPÄNEN

Teollisuuden ympäristöonnettomuuksien ja haitallisten aineiden päästöjen tutkinta ja vesistövaikutusten arviointi perustuvat usein vesiparametrien mittauksiin vaikutusalueella. Olemassa olevien raja-arvojen perusteella voidaan päätellä saastumisen vakavuutta ja sen ekologisia vaikutuksia alapuolisissa vesistöissä. Myös erilaiset mallinutusmenetelmät ovat kuluneina vuosikymmeninä yleistyneet ja monipuolistuneet (Bahadur *et al.* 2013).

Ympäristövaikutusten arviointi on kuitenkin vaikeaa, jollei vesistön aiempaa tilaa tunneta riittävän tarkasti. Vaikka pitkäkestoisia seurantatietoja ei yleensä ole saatavilla, voidaan paleolimnologisilla menetelmillä saada hyvinkin tarkkaa tietoa sekä kuormitusta tai onnettomuutta edeltävästä ajasta että varsinaisen onnettomuuden vaikutuksista. Vesistöjen pohjille kerrostuu jatkuvasti sedimenttiä (kuva 1), joka parhaassa tapauksessa tarjoaa aikajärjestyksessä olevan arkiston järven tapahtumista (Smol 1992).

Sedimentistä voidaan tunnistaa ja kvantifioida eliöiden jäänteitä ja siten tutkia lajistol-

isia muutoksia. Koska eri lajeilla on erilaiset ympäristövaatimukset, voidaan lajistomuutosten kautta päästä käsiksi ympäristössä tapahtuneisiin muutoksiin. Toinen olennainen näkökulma liittyy eliöiden rooliin järven ekosysteemissä. Jonkin avainlajin häviäminen voi epäsuorasti aiheuttaa merkittäviä muutoksia myös niissä eliöissä, joihin saastumisella ei ole ollut suoraa vaikutusta. Esimerkkinä voisi olla tilanne, jossa kalanpoikasten ravintonaan käyttämät ja saasteille herkät eläinplanktonlajit katoavat vesistöstä saastumisen seurauksena ja kalojen ravinnonsaanti vaikeutuu. Tällöin muutos kalastossa johtuu epäsuorasti ympäristön saastumisesta, vaikka kaloista mitatut haitta-ainepitoisuudet eivät olisikaan lähellä haitallisia arvoja.

Lajistotiedon lisäksi sedimenttikerroksista voidaan mitata monia muitakin järven ympäristöhistoriaan oleellisesti liittyviä tekijöitä kuten myrkyllisten aineiden pitoisuuksia. Valuma-alueen maankäytön muutokset voivat peilautua mm. sedimentin raekokoon tai mineraalikoostumukseen. Sedimentin puutuhka voi kertoa metsäpalohistoriasta ja koprostanolin määrä ihmisasutuksen laajuudesta.



Kuva 1. Sedimentinäyte otetaan usein putkeen ja ositetaan myöhemmin syvyys- eli aikasunnassa. Sukeltaja voi ottaa sedimentinäytteitä myös sellaisilta pohjilta, joihin on hankalaa päästä käsiksi perinteisillä pintakäyttöisillä noutimilla.

Figure 1. Sediments are sampled by tubes to allow vertical i.e. chronological subsampling. Divers are able to collect sediment cores from difficult study sites where surface-operated corers are not an optimal choice.

Lajiston ja sedimentin fysikaalis-kemiallisen tiedon lisäksi tarvitaan kuitenkin jonkinlainen arvio sedimenttisarjan kronologiasta. Ilman ajoitustietoa ei voida arvioida mahdollisten ympäristömuutosten nopeutta tai yhdistää luotettavasti ympäristön pilaantumista ja lajistomuutoksia toisiinsa. Erilaisia ajoitusmenetelmiä on useita ja niitä käytetään sen mukaan, miten vanhoja sedimenttejä halutaan ajoittaa. Silloin, kun tarkastellaan kuluneen n. 200 vuoden aikana sedimentoitunutta ainesta, ovat ilmakehässä suoritetut ydinkokeet ja Chernobylin ydinonnettomuus oivallisia työkaluja. Chernobylin nelosreaktorin räjähdys vuonna 1986 ja sitä seurannut cesium-isotopin (^{137}Cs) laskeuma näkyy mm. monien suomalaisten järvien pohjilla ja toimii aikamerkinä sedimenttikerrosten tutkimuksessa. Toinen yleisesti käytetty radioaktiivisuuden perustuva ajoitusmenetelmä liittyy uraanin ^{238}U hajoamiseen.

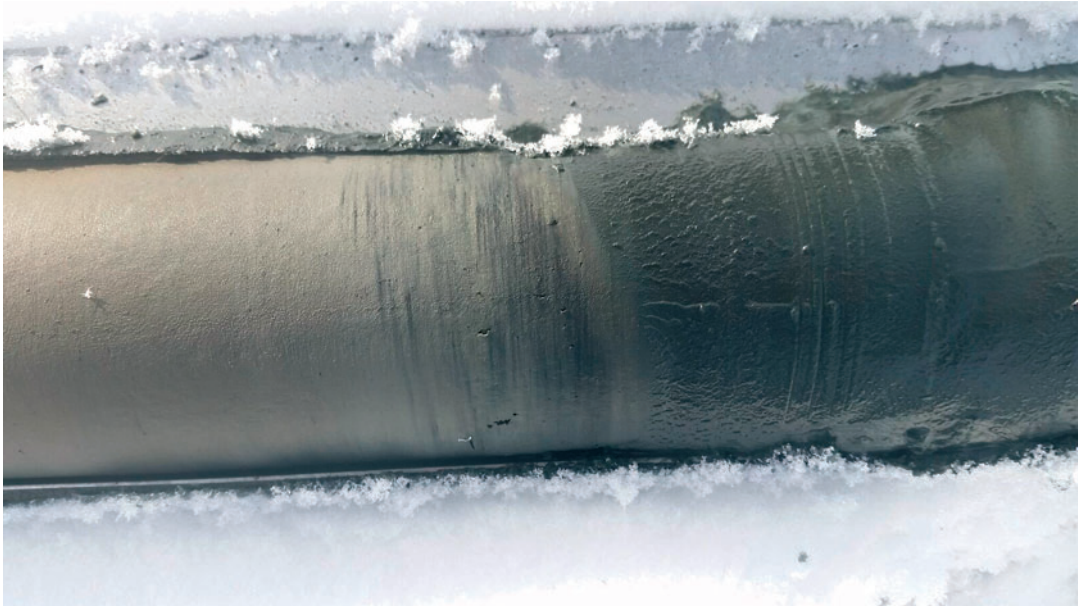
Peruskallion ^{238}U hajoaa monien välivaiheiden kautta päätyen ilmakehään lyijyn isotoopiksi ^{210}Pb , joka sateiden mukana laskeutuu takaisin maan pinnalle. Kierto on jatkuva ja ^{210}Pb -laskeuma maanpinnalle pysyy verrattain muuttumattomana (Appleby 1998). Valuma-alueelta ^{210}Pb päätyy järviin ja lopulta pohjasedimenttiin. Koska ^{210}Pb puoliintumisaika on 22 vuotta, ja kun järvisedimentin ^{210}Pb ei enää saa ilmakehästä tai valunnan mukana tulevaa täydennystä, sen pitoisuus vähenee syvemmällä sedimentissä (ajassa taaksepäin). Lyijyajoitusta ja cesiumin pitoisuuspiikkejä hyödyntäen lasketaan eri sedimenttikerroksille vuosiluku, jota sitten käytetään sedimentti-aineiston ja tunnettujen saastumisepisodien linkittämiseksi.

Kaivosten aiheuttamat vesistöhaitat liittyvät jätevesien laatuun, erilaisiin pato- tai allas-onnettomuuksiin ja jo suljettujen kaivosten aiheuttamiin ongelmiin. Paleolimnologista lähestymistapaa on Suomessakin käytetty useis-

sa kaivoskohteissa (Kihlman ja Kauppila 2010, Tuovinen *et al.* 2012, Parviainen *et al.* 2012, Leppänen *et al.* 2017), mutta paleolimnologisten tutkimusmenetelmien hyödyntäminen varsinaisten onnettomuuksien tutkimuksessa on ollut harvinaisempaa sekä Suomessa että muualla maailmassa.

Ympäristöonnettomuuksien tutkintaan liittyy monia haasteita ja varsinkin kaivosonnettomuuksien tutkija kohtaa usein ajoitusmenetelmiin liittyvän erityisongelman. Esimerkiksi rikastushiekka-altaisiin liittyvissä suuronnettomuuksissa luontoon pääsevä aines sisältää runsaasti maan alta peräisin olevaa materiaalia, joka ei ole joutunut Chernobylin cesiumin eikä luontaisen lyijyn ilmalaskeuman kanssa kosketuksiin. Tämä aines voi laimentaa näytteiden ^{210}Pb - ja ^{137}Cs -pitoisuuksia niin, ettei luotettava ajoitus ole mahdollista niissä sedimenttisyvyyksissä, jotka ovat muodostuneet onnettomuuden aikana (McDonald ja Urban 2007) (kuva 2). Tämä vaikeuttaa arvioita saastumisepisodin vaikutuksista, esimerkiksi lajistomuutosten nopeudesta. Tällaisessa tilanteessa on turvaututtava muuhun sedimenttikemiaan, esimerkiksi sellaisten aineiden pitoisuuksiin, jotka varmuudella ovat peräisin onnettomuudesta. Tällöinkään ongelmilta ei aina vältytä, sillä monien metallien tiedetään liikkuvan sedimentissä, mikä johtuu ympäristöolosuhteista tai eliöiden aiheuttamasta bioturbaatiosta (Outridge ja Wang 2016).

Viime aikoina tapahtuneiden ympäristöonnettomuuksien tutkintaa helpottavat tarkat päivämäärätiedot sekä yleensä varsin kattavat vesikemialliset mittaukset, joita voidaan käyttää sedimentistä mitattujen pitoisuusmittausten tukena ajoitusmallien luotettavuutta arvioidessa. Menneiden vuosikymmenien aikana tapahtuneiden onnettomuuksien osalta vastaavanlaisia vesistömittauksia ei aina ole olemassa ja sedimenttikemian rooli korostuu entisestään. Saastumisajankohtien tarkentamiseksi



Kuva 2. Kaivosjätteen saastuttama sedimenttikerros näkyy selvästi, mutta ^{137}Cs - ja ^{210}Pb -pitoisuudet ovat laimentuneet olemattomiin hankaloittaen onnettomuuden kulun ja vaikutusten tutkimista.

Figure 2. The polluted sediment section is clearly visible, but the ^{137}Cs and ^{210}Pb records are diluted, hampering the investigation of the accident and its impact.

voidaan käyttää myös erilaisia arkistoja tai historiallisia ilmakuvia ja vanhoja karttoja.

Suuronnettomuuksia tapahtuu kaikeksi onneksi hyvin harvoin. Voisi kuitenkin ajatella, että nimenomaan suuren kokoluokan katastrofien tutkimuksessa lajistovaikutukset ja onnettomuutta edeltävät olosuhteet selvitettäisiin mahdollisimman tarkasti. Tieto voisi olla tärkeää myös vastuu- ja korvauskysymyksiä puitaessa. Eri eliölajeilla on omat ympäristövaatimuksensa ja ajassa tapahtuvat muutokset lajien suhteissa voivat auttaa tutkijaa selvittämään onnettomuuden luonnetta tai arvioimaan toipumisprosessin kulkua. Muutosten nopeus ja tarkka ajoittaminen ovat oleellista tietoa. Alkoiko lajisto muuttua vasta onnettomuuden jälkeen vai onko muutos ollut käynnissä jo vuosia aiemmin? Suuret ympäristöonnettomuudet, tapahtuma-ajankohdastaan riip-

pumatta, ovatkin useimmiten monitieteisiä ongelmakimppuja, joissa luonnontieteilijä voi hyvinkin joutua oman asiantuntemusalueensa ulkopuolelle ja vaikkapa historiantutkijan juttusille.

JAAKKO LEPPÄNEN

Ympäristömuutoksen tutkimusyksikkö
(ECRU)

Ympäristötieteiden laitos
PL 65

00014 Helsingin yliopisto
jaakko.leppanen@helsinki.fi

Kirjoittaja on tohtorikoulutettava, joka hyödyntää erityisesti vesikirppujen jäänteitä kaivosonnettomuuksien ja kaivosten vesistövaikutusten tutkimuksessa.

Summary:

Lake sediments as recorders of mining pollution

Sediments accumulating on lake bottoms provide records of lake and catchment histories. Sediments contain an enormous volume of useful data, such as information regarding past species assemblages and water chemistry, and can thus be important in assessing natural reference conditions prior to anthropogenic pollution or environmental disasters.

Paleolimnological methods can provide highly relevant information regarding pre-accident conditions, the rate and direction of change, the magnitude of impact and the process of recovery. A crucial prerequisite for this kind of data is a reliable chronology, which in turn is typically established using radiometric methods. Large-scale environmental disasters such as tailings dam failures, however, may inflict serious problems for sediment dating due to the dilution of radiogenic isotopes ^{210}Pb and ^{137}Cs . Dilution may hamper the establishment of a disaster chronology and complicate the interpretation of the most important samples. Usually, age models can be strengthened using sediment geochemistry (e.g. concentrations of pollutants) and, in modern cases, by using available water monitoring results or known dates of incidents. Moreover, as environmental disasters are usually extremely complex cases, multidisciplinary approach is a necessity. In many instances, consulting historians and historical archives as well as old maps can be extremely beneficial.

Kirjallisuus

- Appleby, P.G., 1989. Dating recent sediments by ^{210}Pb : problems and solutions. Teoksessa: Ilus, E. (toim.), Dating of sediments and determination of sedimentation rate. Proceedings of a seminar held in Helsinki 2–3 April 1997. STUK Helsinki, 7–25.
- Bahadur, R., Amstutz, D.E. ja Samuels, W.B., 2013. Water contamination modeling – a review of the state of the science. *Journal of Water Resource and Pollution* 5:142–155.
- McDonald, C.P. ja Urban, N.R., 2007. Sediment radioisotope dating across a stratigraphic discontinuity in a mining-impacted lake. *Journal of Environmental Radioactivity* 92:80–95.
- Kihlman, S. ja Kauppila, T., 2010. Tracking the aquatic impacts of historical metal mine using lacustrine protists and diatom algae. *Mine Water and the Environment* 29:116–134.
- Leppänen, J.J., Weckström, J. ja Korhola, A., 2017. Paleolimnological fingerprinting of the impact of acid mine drainage after 50 years of chronic pollution in a Southern Finnish lake. *Water, Soil & Air Pollution*. DOI 10.1007/s11270-017-3414-2.
- Outridge, P.M. ja Wang, F., 2016. The stability of metal profiles in freshwater and marine sediments. Teoksessa: Blais, J.M., Rosen, M.R. ja Smol, J.P. (toim.), Environmental contaminants using natural archives to track sources and long-term trends of pollution. Springer Science+Business Media, Dordrecht, 35–60.
- Parviainen, A., Kauppila, T., ja Loukola-Ruskeeniemi, K., 2012. Long-term lake sediment records and factors affecting the evolution of metal(loid) drainage from two mine sites (SW Finland). *Journal of Geochemical Exploration* 114:46–56.
- Smol, J.P., 1992. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1:49–58.
- Tuovinen, N., Weckström, K. ja Salonen, V-P., 2012. Impact of mine drainage on diatom communities of Orijärvi and Määrjärvi, lakes in SW Finland. *Boreal Environment Research* 17:437–446.