

Järvien hapetus, kunnostuksen monitoimimenetelmä

Järvien hapetus on vesistöjen hoidon ja kunnostuksen monitoimimenetelmä. Ensinnäkin sen avulla pyritään turvaamaan hapelliset olot kaikille aerobisille eliöille bakteereista alkaen. Voidaan sanoa, että järvihapettamisen perusideana on turvata aerobisten kuluttaja- ja hajottajaorganismien hapensaanti ja hajotuskyky sekä siten mm. edistää hiilen ja typen tervettä kiertoa, mutta hidastaa järvestä tapahtuvaa liallista fosforin kiertoa.

Toiseksi hapellisuusvaatimus liittyy myös moniin järven tilan kannalta tärkeisiin kemiallisiin reaktioihin. Jos näet happi on loppumassa, niin hapettuneet nitraattimuotoiset typpiyhdisteet, sulfaattimuotoiset rikkiyhdisteet ja ferrimuotoiset rautayhdisteet (ruoste) toimivat ensin hapen korvikkeena, mutta hapettoman olotilan jatkuessa nämä hyvät olomuodot loppuvat ja seurauksena on epäedullisia, jopa myrkyllisiä, reaktioita ja lopputuotteita.

Itämeressäkin hapetustarvetta. Pohjasedimentin raudan pelkistyessä ferromuotoon fosforia liukenee veteen, mikä on osa sisäistä kuormitusta. Sulfidimuotoinen rikkiyhdiste (tunnistetaan mädän kanamunan hajusta) on suorastaan myrkyllinen. Tällä aineella on lisäksi tärkeä merkitys siten, että sulfidi sitoo raudan pysyvään rautasulfidimuotoon ja näin rauta on poissa pelistä fosforin sitojana. Tämä reaktio laajasti toteutuneena on 'viimeinen niitti' järven tai meren muuttumisessa vaarallisesti sisäkuormitteiseksi. Juuri tätä ruotsalainen tiedekomitea on tarkoittanut varoittaessaan Itämeren mahdollisesta joutumisesta rehevyyden takalukkoon. Merivesi sisältää näet järviä runsaammin sulfaatteja. Hapettomat, rikkivetytositiset ja siksi runsaasti fosforia sisältävät Itämeren syvänealueet ovat näet kasvamassa.

Vaikka hapen puute järvestä ja meressä onkin rehevyyden seurausta, se on jo kerrottuun viitaten toisaalta myös osa syytä, sillä pohjan hapettomuus aiheuttaa fosforin sisäistä kuormitusta. Tämä kuormitus, eräänlainen aktivoituvaa menneisyyden kirous, on todettu usein merkittävimmäksi syyksi siihen, että ylikuormittuneet järvet eivät olekaan toipuneet odotetulla tavalla ulkoisen kuormituksen vähentämisen jälkeen.

Järven kunnostuksen lähtökohtana tulee olla pitkäkestoinen rehevyyden torjunta. Tässä työssä järven veden hapettaminen on vartenotettava menetelmä, mutta ei kuitenkaan ainoa. Kalakantoja ohjaava biomanipulaatio on toinen merkittävä järven sisäisen kuormituksen vähentämismenetelmä. Myös ulkoisen kuormituksen vähentäminen ja eräät muut usein tapauskohtaiset menetelmät kuuluvat rehevyyden vähentämistoimiin.

Hapetus tarkoittaa järven koko vesimassan tai alusveden happipitoisuuden lisäämistä. Käytännössä tähän on muutamia perusvaihtoehtoja:

- liuottaa happea ilmasta (tai happisäiliöstä) veteen,
- johtaa hapekasta vettä vähähappiseen alusveteen tai
- lisätä happea veteen kemikaalina.

Hapetustapaa voidaan täsmentää tarvittavilla lisämääreillä. Kun hapekasta päällysvettä johdetaan järven alusveteen, voidaan puhua alusveden hapetuskierrätyksestä. Kun kesäinen lämpötilakerrostuneisuus estetään tai puretaan, voidaan puhua täyskiertohapetuksesta. Puhekielessä viljelty termi ilmastus on hapettamisen eräs, varsinkin talvella yleinen tekotapa. Järveä ilmastettaessa happea siirtyy ilmasta veteen ja muita kaasuja ilmaan tai veteen sen mukaan onko vedessä ali- tai ylikyllästystä ko. kaasusta.

Kaikkien aerobisten organismien hajotuskyky alkaa laskea, kun happipitoisuus alenee noin kolmannekseen tai sen alle kyllästyspitoisuuteen verrattuna. Vastaavasti annettaessa happea tällaiseen systeemiin mikrobihajotus ja hapen kulutus kiihtyy. Tämä on syytä muistaa hapetustarvelaskelmissa. Varsinkin mikäli myös lämpötila kasvaa, saattaa kulutusnopeus nousta esimerkiksi 2 – 4-kertaiseksi.

Kalojen hapentarve

Kirjallisuuden mukaan (Koli 1984) mukaan sisävesien kalat voidaan jakaa veden happipitoisuusvaatimuksen perusteella neljään ryhmään:

- Taimen, lohi, siika, muikku, kivenuoliainen ja kivisimppu vaativat normaalisti 10 – 16 mg/l. Ne alkavat kärsiä, jos happipitoisuus laskee alle 7 mg/l, ja alin menestymisraja on 3,5 – 4 mg/l.
- Harjus, turpa, törö, made, ahven ja kuha vaativat happea vähintään 7 – 10 mg/l.
- Särki, kiiski ja hauki menestyvät, jos happea on yli 5 mg/l. Alin selviytymisraja on 1,5 – 2, 2 mg/l.
- Lahna, karppi, suutari, pasuri ja ruutana sietävät hyvinkin pieniä happipitoisuuksia eli 0,6 – 1,2 mg/l.

Rapu vaatii happea yhtä paljon kuin lohikalat. Lämpimänä vuodenaikana happea tulee olla vähintään 5 mg/l, mutta viileässä vedessä rapu kykenee sietämään ainakin lyhytaikaisesti jopa pitoisuutta 3,2 mg/l. Kalojen mädin hapentarve kasvaa mädin kehittymisen myötä ollen suurimmillaan juuri ennen kuoriutumista. Kalanviljelyssä mädin haudontaveden happipitoisuuden alaraja on 5 mg/l.

Väliaikaisesti ja varsinkin talvilämpötiloissa, jos hapenpuutetilanne on kehittynyt hitaasti eikä anaerobian myrkkyjä ole vielä syntynyt, kalat selviävät elossa huomattavasti pienemmissä happipitoisuuksissa.

Hapettamisen perusmenetelmät ja niiden kehittyminen

Tieteelliset hapetuskokeet ja -raportit lisääntyivät 1950-luvulla ja saavuttivat jo melkoisen laajuuden seuraavalla vuosikymmenellä sekä Euroopassa että Pohjois-Amerikassa. Näiltä ajoilta mainittaviksi katsottavia ovat mm. Mercierin menetelmä vuodelta 1949, jossa alusvettä pumpattiin rannalla olevaan ilmastuskammioon ja hapettunut vesi johdettiin takaisin alusveteen.

1960-luvulla yleistynyt kuplitushapetus tehdään tavallisesti kuplittamalla paineilmaa huokoisten lautasten tai pieniä reikiä tai viiltoja sisältävien muovi- tai kumiputkien läpi. Hapen liukeneminen vapaasti nousevista ilmakuplista veteen on kuitenkin hidasta. Tämä menetelmä rikkoo tehokkaasti järven lämpötilakerrostuneisuuden ja kierrättää järven tai altaan vettä, mikä saattaa usein ollakin päätarkoitus. Tällöin happea pääsee liukenemaan koko järven pinnalta osin vajaahappiseen veteen ja kulkeutumaan myös alusveteen. Veden kierrätyksellä estetään leväkasvuston syntymistä erityisesti raakavesialtaissa.

Bernhardin alkuperäismenetelmä esiteltiin vuonna 1966. Sen oleellisimpia asioita ovat:

- alusveteen sijoitetun pystyputken alapäähän pumpattu paineilma aiheuttaa nousevan vesivirtauksen, johon samalla liukenee ilmakuplista happea,
- vesi purkautuu yläaltaaseen, jossa haittakaasuja poistuu ilmakehään ja
- hapettunut vesi pakotetaan virtaamaan yläaltaasta poistoputkea pitkin takaisin alusveteen.

Bernhardin menetelmästä on kehitetty monia versioita. Yhteistä näille on, että ilman syöttö eli kuplitusdiffusori on pohjan lähellä ja kuplien nousumatka pohjan läheltä pintakammioon käytetään hyväksi hapen siirtymisessä ilmakuplista veteen.

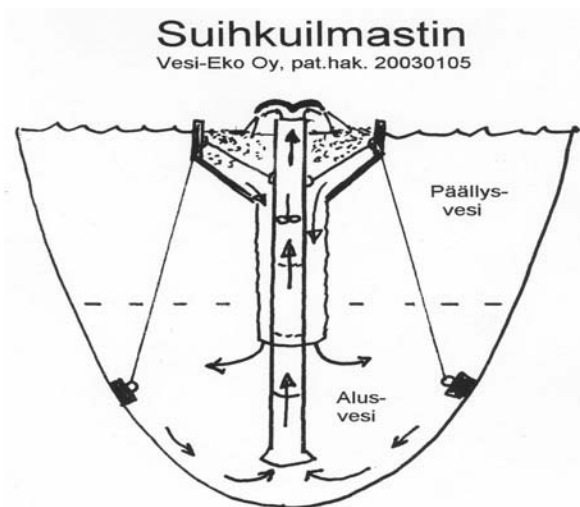
Suomalainen hapetuskierrätysmenetelmä tuli koekäyttöön talvella 1981. Menetelmässä hapellista päällysvettä kierrätetään potkuripumpulla pressukangassukkaa käyttäen alusveteen järven kerrostuneisuus pääosin säilyttäen. Tätä menetelmää sovellettaessa laitteiden mitoitus ja kierrätyksessä saatavien tulosten tulkinta edellyttävät hyvää limnologista tietämystä järvestä. Talvella menetelmän käyttö on selkeää, mikäli järven kokonaishappivarat ovat riittävät jaettavaksi. Kesällä lämpötilan ja happipitoisuuden nousu järven pohjassa kiihdyttävät hajotustoimintaa alusvedessä. Kierrätysvapetus on Suomessa yleisin alusveden hapetusmenetelmä (yleiseltä tuotenimeltään Mixox) ja samalla järven kerrostuneisuuden säätelijä.

Potkuripumpulla voidaan saada aikaan veden vaakakierrätystä esimerkiksi osittain eristyksissä olevan lahden hapettamiseen. Harjailmastimella saadaan sekä sekä ilmastusta että vaakakierrätystä. Tätä voidaan käyttää vain erittäin matalissa järvissä tai niiden osittain erillisissä lahdissa. Nämä hapetusmenetelmät ovat olleet käytössä ainoastaan talvella.

Hyvin syvissä järvissä voidaan käyttää happikaasua, joka kuplitettuna saattaa liueta vesipaineen alaisena kokonaan alusveteen. Happikaasua käyttävät menetelmät ovat kuitenkin melko kalliita, ellei happea saada

erityisen edullisesti. Vaikka hieman epäpuhtaan happikaasun tuotanto käyttöpaikalla PSA- ja VSA-menetelmillä (pressure swing adsorption ja vacuum swing adsorption) on nestemäiseen happeen verrattuna yleensä edullisempaa, tulee tällaisenkin hapetuksen toteutus ainakin meidän olosuhteissamme melko epäedulliseksi.

Bernhard-tyyppisiin hapettimiin kuuluva uusin suomalainen ratkaisu on Vesi-Eko Oy:n talvella 2002-3 kehittämä laite, jossa on yhdistetty Bernhard-tyyppinen putki- ja allassysteemi ja putoushapettimen vesisuihkuhapetus (kuva). Kun potkuripumpulla ylös pumpattu alusvesi suihkutetaan lukuisina osasuihkuina yläaltaaseen, happea siirtyy tehokkaasti ilmasta veteen. Vielä kehitysvaiheessa oleva 4 kW prototyyppi nosti loppupalvella 2003 Kuopion Petosen lammella kierrätetyn 200 l/s vesimäärän happipitoisuuden alkuperäisestä arvosta 0,2 mg/l arvoon 6,4 mg/l. Menetelmän hapensiirtokyky on parempi kuin perinteisessä Bernhardin menetelmässä, jossa ilma syötetään veteen paineilmaa käyttäen.



Kuva. Alusveden suihkuhapettimen toimintaperiaate. Hapetusta käytettäessä järven kerrostuneisuus säilyy.

Mitoitusnäkökohtia

Syvien järvien hapetuksen mitoituksessa on tarpeen:

- arvioida järven hapen kulumisnopeus ja sen syyt,
- arvioida hapen kulumisen muutos, kun järveä hapetetaan (tämä muutos voi olla merkittävä) ja
- arvioida, millä eri menetelmillä ja laitteilla sekä tarvittavilla tehoilla ym. säädöillä hapetus onnistuu parhaiten.

Jotta hapen vähyys ei olennaisesti rajoittaisi hajotusta pohjasedimentin ylimmässä n. 1 cm kerroksessa, alusveden happipitoisuus ei saisi laskea kerrostuneisuuskauten lopullakaan alle 5 mg/l tason. Täten sallittu veden happipitoisuuden alenema on talvella n. 8 mg/l, mikä vastaa alenemisnopeutta 0,05 mg /1 d. Kesällä sallittu alenema on n. 7 mg/l, mikä vastaa alenemisnopeutta 0,07 mg/1 d. Alusveden happivarannon alenemaksi voidaan siten ilman sanottavia häiriöitä sallia 50 - 60 %.

Edellisen mukaan alusveden sallittava kriittinen hapenkulutus on karkeasti laskettavissa seuraavasti:

$$\text{Kriittinen hapenkulutus talvella} = \text{alusveden tilavuus} \times 0,05 \text{ mg/l d}$$

$$\text{Kriittinen hapenkulutus kesällä} = \text{alusveden tilavuus} \times 0,07 \text{ mg/l d}$$

Hapetettaessa on otettava huomioon aiemmin mainittu hajotusaktiiviteetin kohoaminen. Näin voidaan esittää järven todelliselle hapetustarpeelle yhtälö:

$$HT = Ba * (dO_2/dt - KrdO_2/dt) * Vh$$

jossa: HT = todellinen hapetustarve (kgO₂ /d) happea

Ba = mikrobiaktiivisuuden kohoamiskerroin (yleensä 1,5 ..2...4 siten, että

kesällä alusveden lämpötilan kohotessa B_a on suuri eli 2 ... 4 ja talvella pieni eli 1,5...2)
 dO_2/dt = havaittu alusveden happipitoisuuden alenemisnopeus (mg/l d)
 $K_{rd}O_2/dt$ = kriittinen alusveden happipitoisuuden alenemisnopeus (mg/l d)
 V_h = alusveden tai tarkasteltavan altaan tilavuus (1000 m³)

Todellista hapensiirtotehoa mitoitettaessa on otettava huomioon menetelmästä riippuva hapettimen kyky siirtää happea haluttuun vesitilavuuteen. Siirtokyky riippuu mm. vesipaineesta, happivajeesta, muiden kaasujen osapaineesta ja kuplien koosta vedessä. Ilmakuplituksessa huomattavin osa veteen pumpatusta hapesta karkaa ilmakuplissa takaisin ilmakehään. Kokemuksesta tiedetään, että tavanomaisten ilmaa käyttävien hapettimien hapensiirtokyky on luokkaa 1 - 2 kgO₂ /kWh. Johtamalla hapellista päällysvettä alusveteen hapensiirtokyky on 5 - 15 kgO₂/kWh.

Kustannukset

Järven hapetuksen kustannukset ovat tapauskohtaisia. Monet laitetyypit täytyy asentaa toimintapaikalle vuosittain. Pitkäaikaisessa hapetuksessa on olennaista, että laitteiden hapetustehokkuus, eli kilowattitunnilla järven veteen siirretty happimäärä, on mahdollisimman korkea.

Yksikkökustannukset ovat yleensä ilman puhallusta käytävissä hapettimissa 0,1 – 0,4 €/O₂kg ja kierrätyshapetuksessa 0,05 - 0,2 €/O₂kg. Järven pinta-alaan suhteuttaen hapettamisen vuosikulut ovat normaalisti 40 - 200 €/ha.

Yleiskokemukset

Hapetuskokemuksia on maailmalla runsaasti. Yhteistä niille on, että talvella hapen loppumisongelma on yleensä helposti hoidettavissa, kun ongelma liittyy kalojen säilymiseen elävänä yli talven. Kesällä muutamia taitamattomasti toteutettuja hankkeita lukuun ottamatta myös kesäaikaiset järvien hapetuskokemukset ovat olleet positiivisia.

Bernhard-tyyppiset alusveden hapettamiskokemukset Ruotsista, Keski-Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta ovat lähes poikkeuksetta hyviä, kun laitteilla on oikea toimintamitoitus. Myös uusimman suomalaisen suihkuilmastimen (Visiox) talvi- ja kesäkokemukset ovat hyviä.

Mixox-kierrätyshapetusmenetelmästä on valtaosin positiivisia kokemuksia yli 70 järvikohteesta. Samalla on ilmennyt, että hapetus ei pysty parantamaan hyvin suuren kuormituksen vaikutusta tai lähes toivotonta vuosittain toistuvaa sinileväkukintoa. Kokemuslistaan kuuluu mm. kaatopaikka-, teollisuus-, ja yhdyskuntajätevesien sekä myös hajakuormituksen heikentämien järvien hoitotapauksia.