



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
BIO- JA YMPÄRISTÖTIETEIDEN LAITOS
YMPÄRISTÖNTUTKIMUSKESKUS



JYVÄSJÄRVI-HANKKEET - JJ2

JYVÄSJÄRVEN HOITO- JA KUNNOSTUSSUUNNITELMA

Toimittanut Arja Palomäki

**Jyväsjärvi-projektin työryhmä: Juha Karjalainen, Kalevi Salonen, Timo Huttula,
Tuija Harju, Pia Högmander, Tapio Keskinen, Pirjo Kuitunen, Jukka Seppänen ja
Joonas Virtasalo**

Jyväskylä 2004

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
2 JYVÄSJÄRVEN LÄHIHISTORIA.....	1
3 JÄRVEN NYKYTILA.....	4
3.1 Veden laatu ja pohjan kunto	4
3.1 Järven eliöstö suhteessa ravinnetasoon.....	4
4 JÄRVEEN KOHDISTUVAT PAINEET	7
4.1 Ulkoinen kuormitus	7
4.2 Sisäinen kuormitus.....	7
4.3 Vedenalaiset äänet ja niiden haittavaikutukset	8
4.3.1 Vesiekosysteemin luonnolliset äänet	8
4.3.2 Ihmisten aiheuttama vedenalainen melu.....	9
4.3.3 Vedenalaisen melun vaikutukset luonnossa.....	10
5 KUNNOSTUSTARVE	11
6 KUNNOSTUSMAHDOLLISUUDET	11
7 HOIDON JA KUNNOSTUKSEN TAVOITTEIDEN ASETTELU	14
7.1 Vesipuidedirektiivi.....	14
7.2 Asukkaiden ja muiden intressiryhmien käyttötarpeet ja tavoitteet.....	14
7.3 Ulkoinen kuormitus	15
7.4 Sisäinen kuormitus.....	16
8 YHTEENVETO: ESITYS KUNNOSTUKSEN TAVOITTEISTA JA MENETELMISTÄ.....	17
8.1 Tavoitteet	17
8.2 Kunnostusmenetelmät.....	18
VIITTEET.....	19

1 JOHDANTO

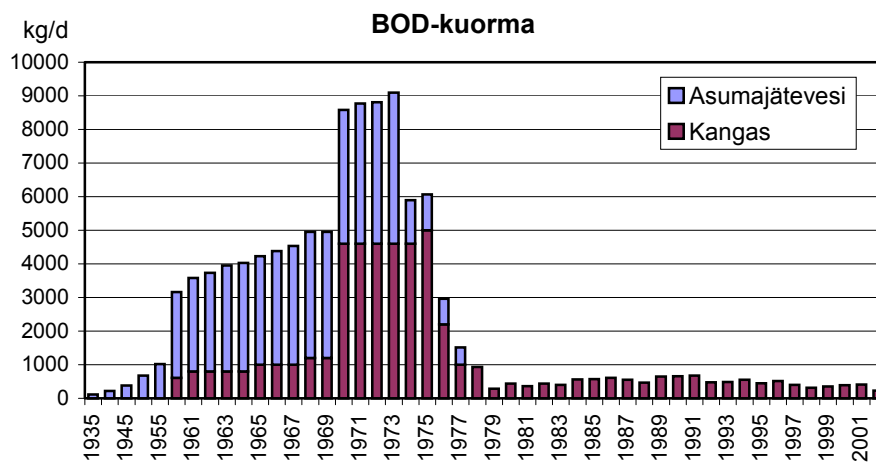
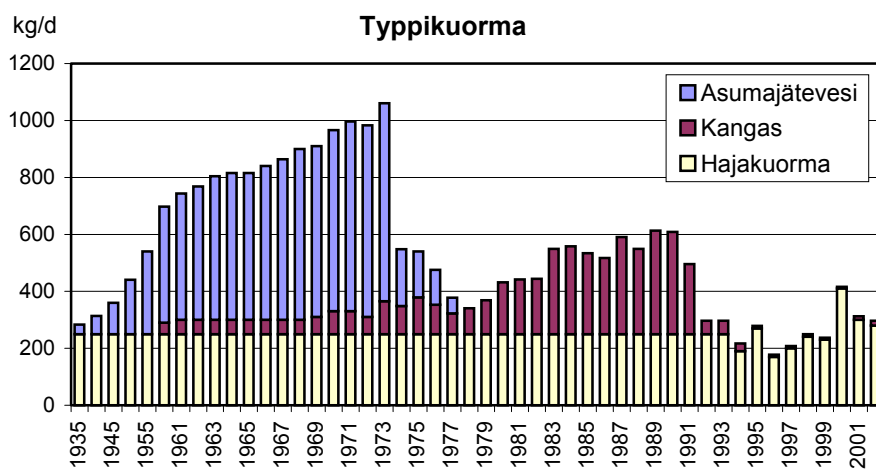
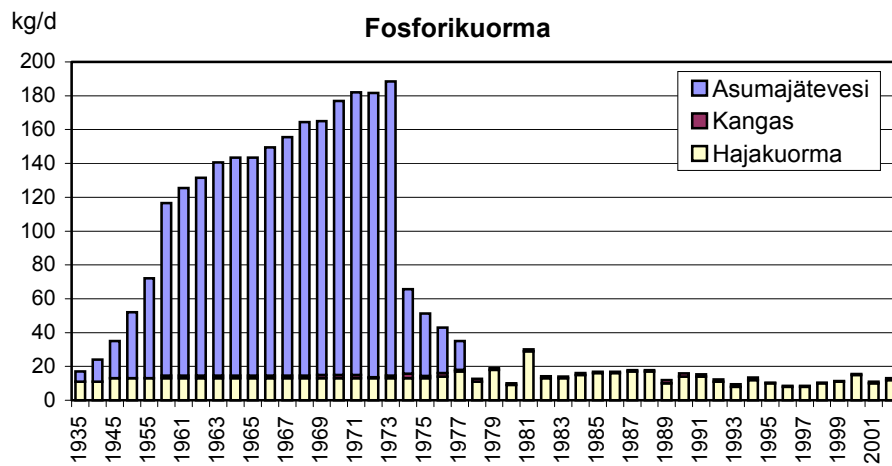
Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteen laitoksen ja ympäristöntutkimuskeskuksen vuosina 2001-2003 käynnissä olleeseen Jyväsjärvi-projektiin sisältyi Jyväsjärven hoito- ja kunnostussuunnitelman laatiminen. Suunnitelman valmistelu aloitettiin asukas- ja yhteisötiedustelulla, jonka tarkoituksena oli kartoittaa asukkaiden ja muiden intressiryhmien käsityksiä Jyväsjärven tilasta sekä toiveita ja tarpeita hoidon ja kunnostuksen suhteen. Suunnitelmassa on keskitytty lähinnä vesiympäristön kunnostamiseen, ja rantojen kunnostaminen on rajattu pois. Suunnitelman laadinnassa on käytetty hyväksi sekä Jyväsjärvi-projektin aikana kertynyttä tutkimustietoa että aiempia tutkimustuloksia, jotka Keränen (2002) on kerännyt kattavasti pro gradu –työhönsä.

2 JYVÄSJÄRVEN LÄHIHISTORIA

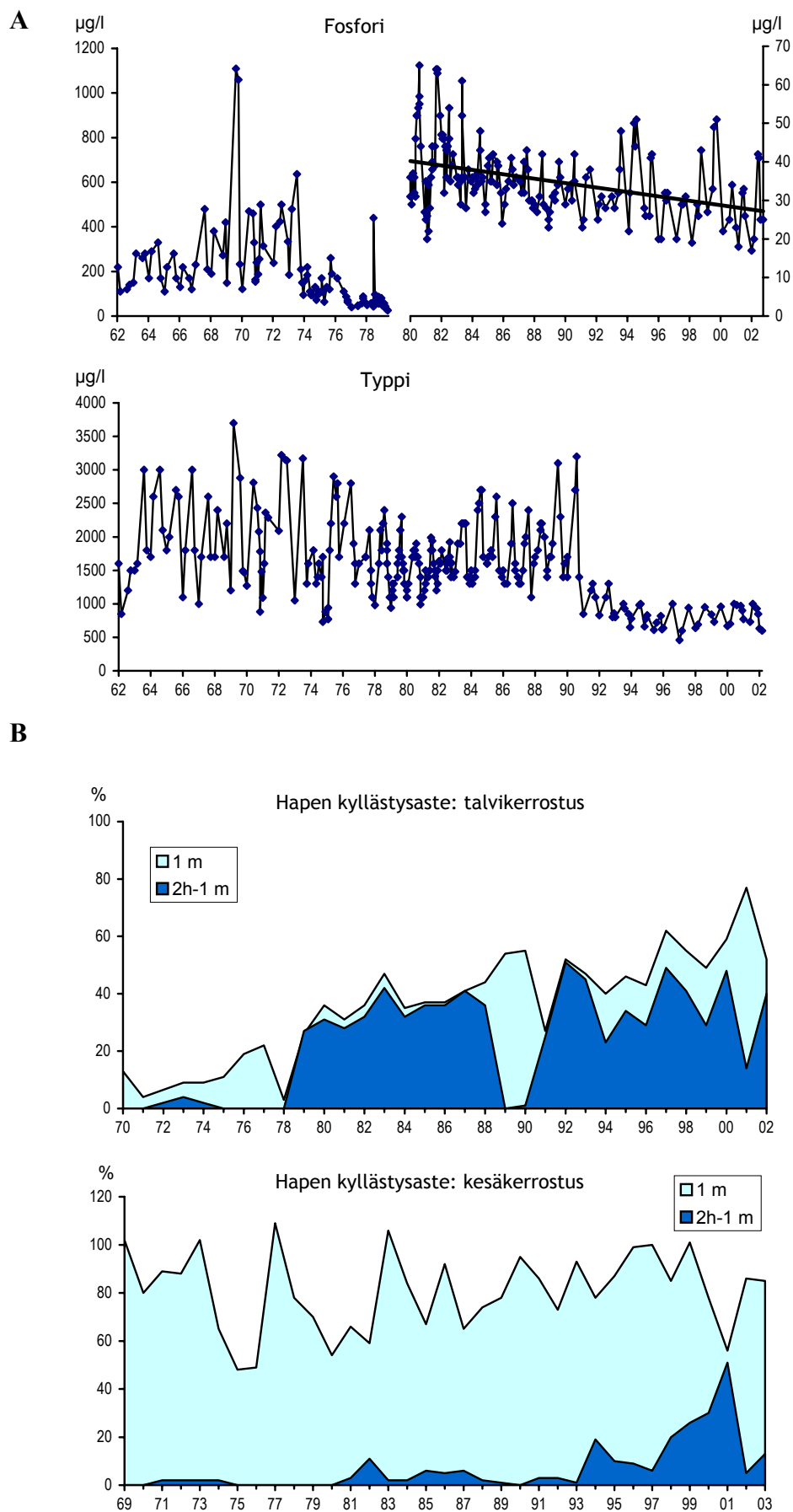
Jyväsjärven lähihistoriaa leimaa voimakkaasti järven sijainti Jyväskylän kaupungin keskellä. Jyväsjärveen kohdistui 1970-luvun puoliväliin saakka suuri asumajätevesikuormitus. Kun Kankaan paperitehtaalta tuleva BHK-kuorma (happea kuluttava orgaaninen aines) oli silloin samaa suuruusluokkaa kuin asumajätevesien BHK-kuorma, ei järven heikko kunto ollut yllätys (kuva 1). Lisäksi Kankaan tehtaan satunnaiset suuret rikkihappopäästöt laskivat Jyväsjärven pH:n toisinaan hyvin alas. Asuma- ja teollisuusjätevesien mukana järveen joutui myös haitta-aineita, mm. PCB:tä ja raskasmetalleja. Jätevesikuormitus pilasi järven täysin, ja laatuluokituksen mukaan se ei ollut mihinkään käyttöön sopivaa. Kalasto oli hyvin reheville järville tyypillisesti särkikalavaltainen, eikä kaloja voinut syödä pahan maun ja suurten elohopeapitoisuuksien vuoksi.

Viranomaisten, kuormittajien ja tutkijoiden yhteistyönä toteutetut aktiiviset vesiensuojelutoimet saivat ihmeitä aikaan Jyväsjärvessäkin. Jyväskylän seudun jätevedenpuhdistamon valmistumisen (vuonna 1974) jälkeen veden laatu parani radikaalisti (kuva 2A), ja samaan suuntaan vaikutti Kankaan tehtaan BHK-kuorman voimakas pieneneminen 1970-luvun loppupuolella sekä typpikuorman pienentyminen 1990-luvun alussa. Happopäästöt loppuivat 1980-luvulla, kun paperitehtaan jätevesi alettiin neutraloida. Asumajätevesien poistuminen palautti järven hygieeniseltä laadultaan uimakelpoiseksi. Kalasto alkoi hiljalleen muuttua vähemmän särkikalavaltaiseksi, kalojen maku parantui ja elohopeapitoisuus laski. Nykyään Jyväsjärven kaloja voi jo syödä rajoituksitta.

Jätevesikuormituksen vähenemisestä huolimatta alusveden happitilanne pysyi aluksi huonona, koska sedimentti oli raskaan kuormituksen jäljiltä erittäin huonokuntoinen. Happitilanteen parantamiseksi pääsyvänteen (itäinen syvänte) hapetuskierrätys aloitettiin Kankaan paperitehtaan toimesta vuonna 1979. Tämän jälkeen alusvesi pysyi hapellisena, joskin kesäaikainen happitilanne oli 1990-luvun loppupuolelle saakka ajoittain huono (kuva 2B). Hapetuskierrätyksen tehostaminen 1990-luvulla on edelleen parantanut happitilannetta (ks. mm. Keränen 2002).



Kuva 1. Jyväskylän kuormituksen kehitys vuosina 1935-2002. Hajakuormituksen osuus on arvioitu fosforin osalta 1970-luvun puoliväliin saakka ja typen osalta vuoteen 1993 saakka.



Kuva 2. A. Päälyllyveden (1 m) kokonaisfosfori- ja -typpipitoisuus (huom. fosforipitoisuuden asteikko muuttuu vuonna 1980, kun fosforipitoisuus pieneni), B. Hapen kyllästysaste 1 metrissä ja 1 metri pohjan yläpuolella Jyväsjärven havaintoasemalla 510 vuosina 1962-2003.

3 JÄRVEN NYKYTILA

3.1 Veden laatu ja pohjan kunto

Nykyisin Jyväsjärvi on veden laadun perusteella luokiteltuna lähinnä tyydyttävä. Fosforipitoisuus on keskimäärin noin $30 \mu\text{g l}^{-1}$ ja typpipitoisuus noin $800 \mu\text{g l}^{-1}$. Klorofyllipitoisuuden ja kasviplanktonin biomassan perusteella järvi on rehevä (ks. esim. Palomäki & Salo 2003). Pohjan kunto on jätevesikuormituksen jäljiltä edelleen syvänteessä (24 m) huono ja matalammilla alueilla (11-15 m) välttävä (Hynynen ja Meriläinen 2002, Meriläinen ym. 2003). Loppukesällä alusveden happipitoisuus painuu edelleen varsin alas. Sedimentissä näkyvät vieläkin menneisyyden jäljet.

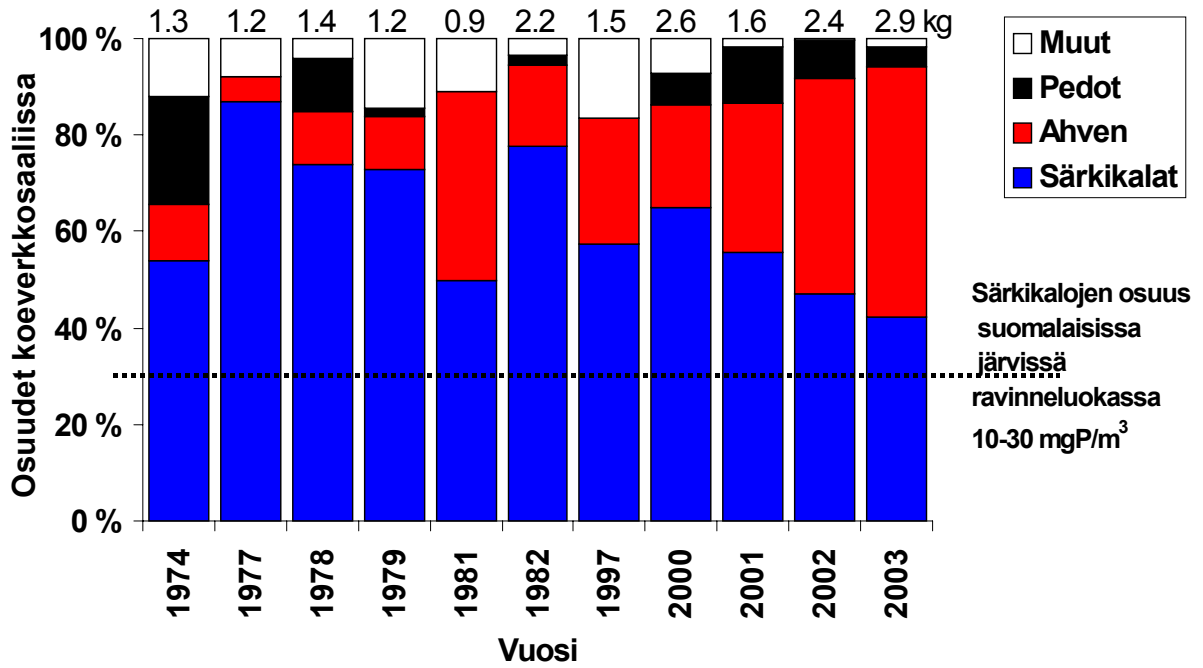
Jyväsjärven veden väriarvo vaihtelee nykyisin noin 30-80 Pt mg l^{-1} , mutta veden näkösyvyys on yleensä pienempi kuin väriarvo edellyttäisi. Tämä johtuu kiintoaineen sekä kasviplanktonin aiheuttamasta samennuksesta. Kiintoaine on peräisin valuma-alueelta, jonka maaperä on suurelta osin savea, sekä kaupunkialueelta sadevesiviemäriin huuhtoutuvasta hiekasta ja pölystä. Mm. Mattilanniemessä, Lutakossa ja järven länsipäässä on tehty maansiirto- ja rakennustöitä, jotka ovat aiheuttaneet voimakasta lyhytaikaista samentumista ja kiintoainepitoisuuden nousua.

3.2 Järven eliöstö suhteessa ravinnetasoon

Järven eliöstö on palautunut huomattavasti hitaammin kuin kemiallisen laadun kohentumisen perusteella voisi olettaa. Sedimentin eliöjäänteiden perusteella arvioituna kuormitetuimpana aikana pohjaeläinyhteisön samankaltaisuus esiteollisen ajan (ennen 1870-lukua) yhteisöihin verrattuna oli 0-40 %, nyt se on noin 60 %. Planktonin piileväyhteisön samankaltaisuus esiteolliseen aikaan verrattuna on nykyäänkin keskimäärin sama 60 % kuin raskaimman kuormituksen aikana. Piileväyhteisön vaihtelu oli paljon vähäisempää kuin pohjaeläinyhteisön. Plankton- ja pohjaeläinyhteisöjen perusteella Jyväsjärven ekologinen tila on välttävä tai korkeintaan tyydyttävä (Meriläinen ym. 2003).

Jyväsjärvessä ei ollut suurimmankaan kuormituksen aikana sinileväkukintoja, jotka ovat usein rehevöityneiden järvien ongelmana. Se johtui luultavasti happamista jätevesistä, jotka vaikuttivat mm. planktonlevästön koostumukseen. Kesällä 2002 havaittiin ensimmäisen kerran lievä kukinta, joka toistui kesällä 2003. Näkyvät kukinnat viittaavat siihen, että sinilevät saattavat tulla ongelmaksi Jyväsjärvessäkin, mikäli fosforitasoa ei saada lasketuksi. Sinilevät viihtyvät nimenomaan runsaasti fosforia sisältävässä vesistössä.

1970- ja 1980-lukujen taitteen lahna- ja särkivaltainen kalasto on muuttunut viime vuosina särki- ja ahvenvaltaiseksi (kuva 3), ja kuha on runsastunut. Muutokset kertovat järven tilan kohentumisesta (Jeppesen & Sammalkorpi 2002). Järvi on kalaston perusteella kuitenkin edelleen luokiteltavissa selvästi rehevämmäksi kuin fosforipitoisuuden perusteella. Kalojen yksikkösaaliit ovat suurempia kuin veden fosforipitoisuus edellyttäisi. Vuosina 2000-2003 yksikkösaaliit oli keskimäärin $2,4 \text{ kg/pyydysyksikkö d}^{-1}$, jolloin fosforipitoisuuden odotusarvo on tutkimusten mukaan noin $60 \mu\text{g l}^{-1}$. $30 \mu\text{g l}^{-1}$ fosforitasolla yksikkösaaliin odotusarvo on noin $1,6 \text{ kg}$ (kuva 4). Särkikalajien osuus on myös edelleen suurempi kuin vastaavan fosforitason järvissä yleensä. Jyväsjärven kalabiomassaksi on arvioitu vähintään 250 kg ha^{-1} , josta särkikalaja on noin 50-60 % (Tuhkanen 2001).



Kuva 3. Kalaryhmien osuudet Jyväskylän koekalastussaaaliissa vuosina 1974-2003 sekä yksikkösaalis.

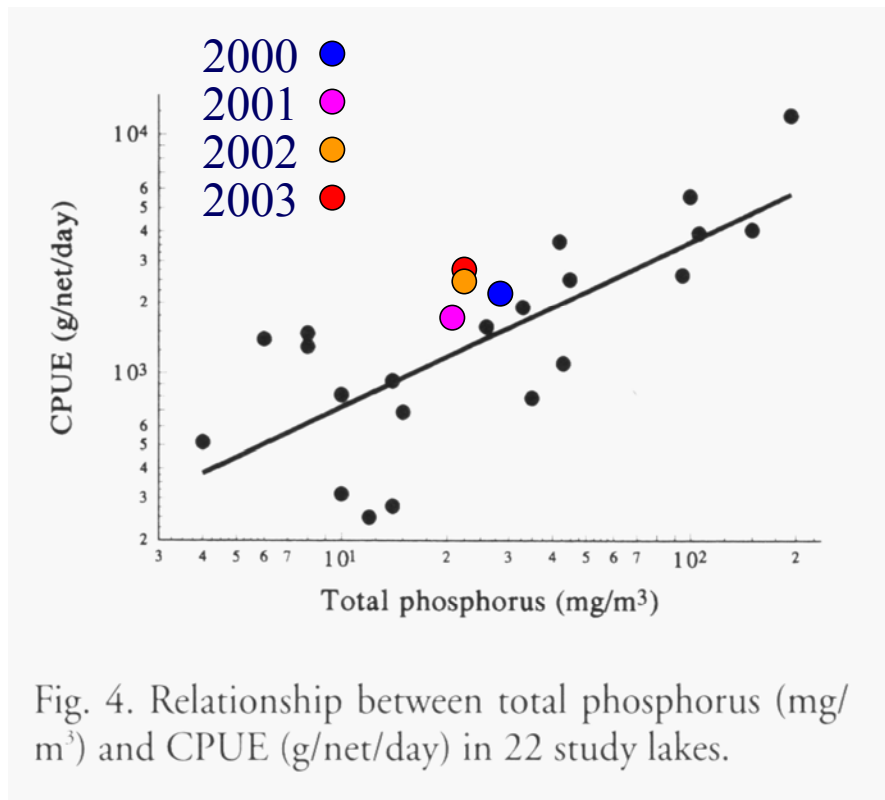
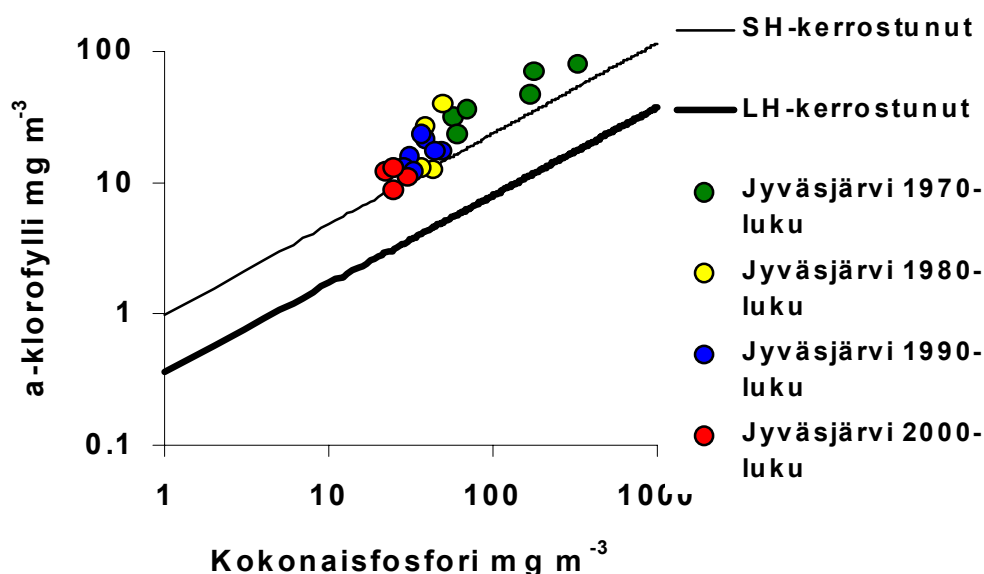


Fig. 4. Relationship between total phosphorus (mg/m^3) and CPUE ($\text{g}/\text{net}/\text{day}$) in 22 study lakes.

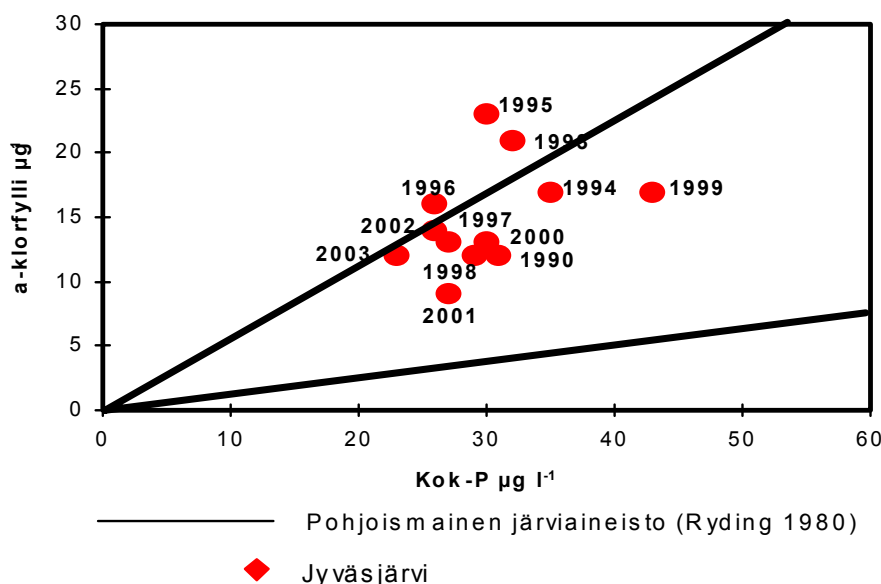
Kuva 4. Kokonaisfosforipitoisuuden ja yksikkösaaliin suhde 22 suomalaisessa järvessä (lähde: Helminen ym. 2000) sekä Jyväskylän vuosien 2000-2003 arvojen sijoittuminen järviyökköön.

Klorofyllin ja kokonaisfosforin suhde kertoo eläinplanktonin kyvystä pitää kurissa kasviplanktonbiomassaa ja toisaalta sisäisen kuormituksen voimakkuudesta. On havaittu, että klorofyllitaso suhteessa fosforipitoisuuteen on korkeampi järvissä, joista puuttuvat suurikokoiset vesikirput kuin järvissä, joissa suuria vesikirppuja on runsaasti (Mazumder 1994, Sarvala ym. 2000). Jyväsjärven klorofyllipitoisuuden taso on melko korkea verrattuna fosforipitoisuuteen (kuva 5). Elokuun eläinplanktonnäytteissä isojen vesikirppulajien (lähinnä *Daphnia*-suku) biomassa on vaihdellut voimakkaasti, mikä johtunee sääolosuhteista ja vuodenaikaisvaihtelun vaiheesta. Vuosina 2001-2002 *Daphnia* -vesikirppujen biomassa elokuussa oli puolet vesikirppujen kokonaisbiomassasta, vuonna 2000 noin 25 %. Vesikirppujen kokonaisbiomassa oli kuitenkin pienekkö (0,3-1,5 mg tp. m⁻³).

Pohjoismaiseen aineistoon perustuen Ryding (1980) esitti laskennallisen fosforipitoisuuden ja klorofyllipitoisuuden välisen riippuvuussuhteen. Rydingin esittämän vaihteluvälin alarajan voidaan ajatella kuvaavan hyväkuntoisia järviä, jossa pääpaino on ulkoisella kuormituksella ja ylärajan huonokuntoisia, sisäkuormitteisia järviä. Jyväsjärven vuosien 1989-2003 keskimääräiset klorofyllipitoisuudet sijoittuvat vaihteluvälin ylärajan tuntumaan, mikä kuvastaa sisäisen kuormituksen merkitystä järven rehevyystasolle (kuva 6).



Kuva 5. A-klorofyllin ja kokonaisfosforin suhde Jyväsjärvessä ja suomalaisissa järvissä. Regressiosuorat kuvaavat järviä, joiden eläinplanktonyhteisöä vallitsevat pienet (ohut viiva) tai suuret (paksu viiva) vesikirput (Mazumder 1994).



Kuva 6. Fosforipitoisuuden ja a-klorofyllipitoisuuden suhde Jyväsjärnessä vuosina 1990-2003. Pitoisuusarvot ovat vuosikeskiarvoja. Viivat kuvaavat fosforipitoisuuden ja a-klorofyllin välisen suhteen ylä- ja alarajaa pohjoismaisessa järviaineistossa (Ryding 1980).

4 JÄRVEEN KOHDISTUVAT PAINEET

4.1 Ulkoinen kuormitus

Nykyisin ulkoisesta ravinnekuormasta valtaosa tulee Tourujoen kautta yläpuoliselta vesireitiltä, joka on yhtä rehevä kuin Jyväsjärvi. Tourujoen fosforikuorma oli vuosina 1993-2002 keskimäärin 9,3 kg d⁻¹ ja typpikuorma 230 kg d⁻¹. Keskimääräinen ulkoinen fosforikuorma on luokkaa 10-12 kg d⁻¹ ja typpikuorma noin 270 kg d⁻¹. Nykyisin Jyväsjärveen tulee pistekuormitusta vain Kankaan paperitehtaalta. Tehtaan BHK-kuorma Jyväsjärveen on ollut 2000-luvun alussa noin 220 kg d⁻¹, typpikuorma noin 10 kg d⁻¹ ja fosforikuorma 0,5-1 kg d⁻¹. Tehtaan BHK-kuorma on pienentynyt vuoden 2002 aikana prosessimuutosten seurauksena, ja oli vuonna 2003 120 kg d⁻¹.

4.2 Sisäinen kuormitus

Jyväsjärven sisäistä kuormitusta arvioitiin ainetaselaskelman avulla sekä laboratoriokokein, joilla mitattiin pohjalietteestä liukenevien ravinteiden ja kaasujen määrää hapellisissa ja hapettomissa olosuhteissa (Palomäki 2004a). Ainetaselaskelma on tehty elo-lokakuulle 2002 ja kesä-heinäkuulle 2003 (taulukko 1), koska näiltä ajanjaksoilta oli käytettävissä sedimentaatiomittausten tuloksia. Kokonaisainetase on laskettu Lappalaisen ja Matinveden (1990) esittämällä tavalla.

Loppukesällä ja syksyllä 2002 fosforin sisäinen kuorma oli lähes kaksinkertainen verrattuna ulkoiseen kuormaan. Tyypeä taas poistui systeemistä enemmän kuin sinne tuli eli sisäinen kuormitus oli negatiivista. On huomattava, että ulkoinen kuorma oli juuri tähän aikaan poikkeuksellisen pieni alhaisten virtaamien vuoksi, ja sisäisen kuorman suhteellinen osuus todennäköisesti keskimääräistä suurempi.

Alkukesällä 2003 ulkoinen kuorma oli sisäistä kuormaa suurempi. Sisäisen kuormituksen osuus fosforin kokonaiskuormasta on merkittävä, samaa suuruusluokkaa kuin ulkoisen kuormituksen.

Taulukko 1. Jyväsjärven fosforin ja typen ainetaselaskelma elo-lokakuulle 2002 ja kesä-heinäkuulle 2003.

	Fosforitase		Typpitase	
	Elo-loka 2002 kg P d ⁻¹	Kesä-heinä 2003 kg P d ⁻¹	Elo-loka 2002 kg N d ⁻¹	Kesä-heinä 2003 kg N d ⁻¹
Tulot				
Ulkoinen kuorma	2,1	8,6	51	242
Sisäinen kuorma	8,2	3,7	-22	-77
Yhteensä	10,3	12,3	29	165
Menot				
Vesimassan sisällön muutos	-0,58	0,0	-17	-48
Bruttosedimentaatio	10,0	6,0	27	22
Järvestä poistuva	9,91	6,2	19	191
Yhteensä	10,3	12,3	29	165

Syyskuussa 2002 tehtyjen mittausten mukaan hapellisissa oloissa pohjalietteestä liukeni fosforia 1-2 mg m⁻² d⁻¹. Hapettomissa olosuhteissa fosforia liukeni moninkertainen määrä, 7-21 mg m⁻² d⁻¹. Näytteet otettiin syvänteistä eli sedimentin kasautumisalueilta. Kasautumisalue on se osa pohjasta, johon sedimentoituva aines pääasiassa kerääntyy koko järven alueelta. Sedimentaatio muulle osalle pohjaa (ns. kulkeutumisalue) on suhteellisen vähäistä. Kesäkuussa tehtyjen mittausten mukaan matalammilta alueilta (noin 12 m) fosforia liukeni keskimäärin 1,5 mg m⁻² d⁻¹. Näin ollen koko pohjan alalta voidaan arvioida liukenevan fosforia noin 3-5 kg d⁻¹ alusveden ollessa hapellista. Alusveden ollessa hapetonta pohjasta on mahdollista liueta noin 25 kg P d⁻¹.

Hapetuskierrätyksen vaikutusta sedimentin tilaan kuvaa se, että Ainolan syvänteestä, jota ei hapeteta, vapautui hapettomissa oloissa yli kaksi kertaa enemmän fosforia kuin hapetettavasta pääsyvänteestä.

4.3 Vedenalaiset äänet ja niiden haittavaikutukset – Jukka Seppänen

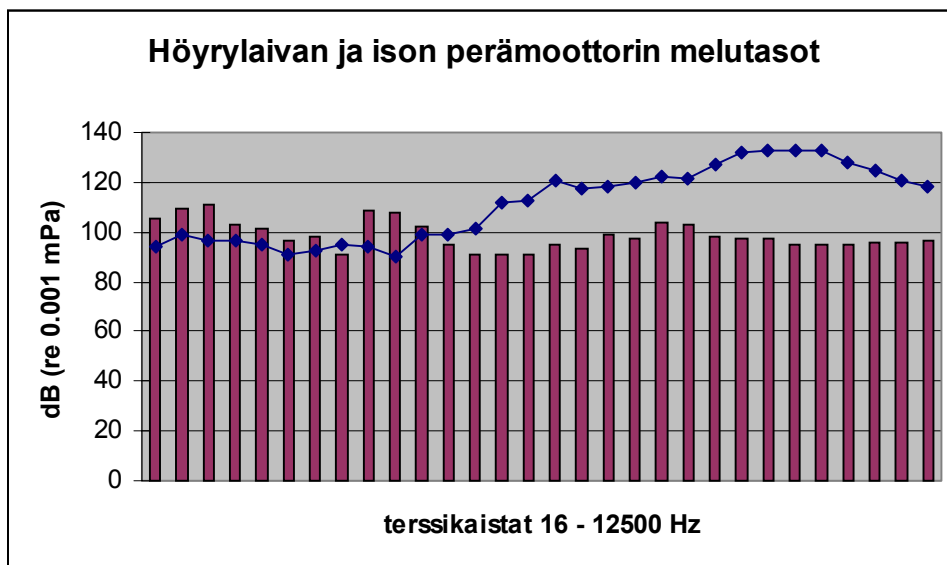
4.3.1 Vesiekosysteemin luonnolliset äänet

Vedenalaisia ääniä synnyttävät muun muassa seismiset aallot, maanjäristykset, tuulen synnyttämä aallokko, rantatyrskyt, sadepisarat ja jään liike. Valtamerillä kaikkein yleisin edellä mainituista on 0,5-20 kHz taajuusalueelle sijoittuva tuulimelu tai löytäjänsä mukaan Knudsenmelu, jonka voimakkuus on merenkäyntiasteesta riippuen 20-80 dB (Huom! Vertailupaine veden alla 0.001 mPa). Keskikokoiset sadepisarat aiheuttavat lähellä pintaa 60-70 dB äänitason ja rankkasateen isot pisarat tai rakeet jopa 85 dB:n tason. Sateen äänien taajuusalue on laaja, 0,02-100 kHz.

Vesien asukkaat tuottavat ääniä ainakin viidestä eri syystä, jotka ovat yksilöiden välinen viestintä, pelottelu, oman tai saaliin paikan määrittäminen, pariutuminen ja oma tai toisten mielihyvä. Useat uimarakolliset kalalajit tuottavat pakoäänen (kopahduksen) juuri ennen pyrstön liikahdusta, ja monipuolisemmin äänitelevät lajit tuottavat ääntä uimarakon lihaksilla tai kovien ruumiinosien, mm. hampaiden hankaamisella. Merinisäkkäät käyttävät ääntä keskinäisessä viestinnässään ja ainakin hammasvalaat myös kaikuluodatessaan. Muita vesiin kuuluvia biologisperäisiä ääniä ovat lämpimissä merissä havaittavat äyriäisten äänet, mm. katkarapujen, hummerien ja simpukoiden naksahdukset.

4.3.2 Ihmisten aiheuttama vedenalainen melu

Luonnollisten äänien lisäksi vesistöissä on usein varsin paljon ihmisen aiheuttamaa melua. Soitilaskäyttöön rakennettujen matalataajuuskaikuluotaimien lähdeäänitasot ovat jopa 210-230 dB ja voimakkaita ääniä synnyttävät myös valtamerten lämpötilan seurantaan kehitetyt akustiset laitteet. Vedenalaista melua aiheuttavat räjäytykset, rakennustyöt, öljynporausta ja sukellustointi. Suomessa tärkein melun aiheuttaja on vesiliikenne, sillä erilaista melua synnyttävät kaikki vedessä kulkevat alukset. Konealusten melu on peräisin koneistosta, potkurin ja akselin pyörimisliikkeestä, potkurin lapojen kavitoinnista, ohjauksjärjestelmistä, pumpuista, kaikuluotaimista jne. Laivojen ja veneiden lähdeäänitaso vaihtelee suuresti ja on yleensä 20-200 dB:n välillä. Vedenalaisen melun on todettu lisääntyneen viime vuosikymmeninä merkittävästi. Kaliforniassa tehdyn tutkimuksen mukaan vedenalainen taustamelutaso oli noussut 30-35 vuodessa noin 10 dB:llä taajuusalueella 20-80 Hz. Myös 100-400 Hz:n taajuuksilla melutason kasvu oli useita desibelejä.



Kuva 7. Jyväsjärven rantavedessä mitatut teressikaistoittaiset melutasot. S/s Suomen melu (pylväät) on isoa 100 hv:n perämoottoria (käyrä) kovempaa vain alle 200 Hz:n taajuuksilla. 2-8 kHz:n alueella perämoottorin melu on 29-38 dB kovempaa kuin höyrylaivan.

Suomen tilanteesta ei ole käytettävissä aikasarjaluonteista vertailuaineistoa. Koska sekä vesien liikennemäärät että konetehot ja nopeudet ovat jatkuvasti kasvaneet, voidaan olettaa, että vedenalainen melu on lisääntynyt myös täällä. Kesällä ja syksyllä 2002 tutkittiin vedenalaista melua Jyväsjärvi-hankkeeseen liittyen sekä Jyväsjärvellä että Pohjois-Päijänteellä (kuva 7). Järvi-liikenteen aiheuttama ja rantaveteen välittynyt melutaso oli eri alusten spektrien voimakkaimmilla terssikaistoilla 110-135 dB. Hiljaisin mitattu kulkija oli lähes satavuotias höyrylaiva Suomi, jonka melussa korostuivat matalat taajuudet ja höyrykoneen mäntien iskut, meluisin taas suurella nelitahtisella Yamaha-perämoottorilla varustettu nopea moottorivene. Liukuvien veneiden tyypillisin melun spektri oli kupera ja kaikissa tutkituissa 15 spektrissä voimakkaimmat taajuudet olivat alueella 1-8 kHz. Uppoumarunkoisten alusten melun spektri oli oikealle vino ja voimakkain melu sijoittui tutkituissa viidessä spektrissä alueelle 0.1-0.8 kHz. Perämoottorien melussa korostui usein yksi tai muutama taajuus selvästi muuta spektriä korkeammalle eli melu oli pahimmillaan hyvin kapeakaistaista.

4.3.3 Vedenalaisen melun vaikutukset luonnossa

Vedenalaisen melun eläimille aiheuttamaa kokonaisvaltaista häiriötä on erittäin vaikea arvioida. Yksittäiset voimakkaat äänet ja vedenalaisten räjähdysten paineaallot voivat olla tappavia tai aiheuttaa vakavia fysiologisia vaurioita (mm. USA:n matalataajuuskaikuluotain on aiheuttanut valaiden kuolemia). Ainakin paikallisesti voimakas laivaliikenteen melu voi myös vaikeuttaa merinisäkkäiden keskinäistä viestintää ja saalistusta, aiheuttaa kuulovaurioita, tilapäisiä eksymisiä ja jopa paniikkia, muuttaa yksilöiden tai ryhmien käyttäytymistä. Myös veneiden melu voi pitkään samoilla alueilla jatkuessaan olla haitallista: Amerikkalaisissa tutkimuksissa on todettu, että vuorokauden yhtäjaksoinen altistuminen 142 dB:n melulle nostaa mutujen kuulokynnystä 10-20 dB:llä. Kokeessa käytetyt kalat jäivät pysyvästi puolikuuroiksi. Lyhytaikaisempi melualtistus vaikutti mutujen kuuloon vähemmän ja kuulokynnyksen nousu oli tilapäistä. Kaikki parempikuuloiset ns. erityiskuulijakalat (joilla uimarakko on hermostollisesti yhteydessä sisäkorviin ja joille äänten kuuleminen on tärkeä ympäristöä koskevan informaation hankintakeino) saavat kuulovaurioita huomattavasti herkemmin kuin huonompikuuloiset ns. yleiskuulijat. Särjillä on havaittu pakoreaktioita silloin, kun ohi kulkevan liukuvan veneen melutaso on 120-125 dB tai suurempi. Toistuva tai jatkuva melu voi myös lisätä saaliiksi joutumisen riskiä, altistaa stressille, häiritä ruokailua, lepäämistä, kutua jne.

Vaikka eläimet kärsivät vedenalaisen melun lisääntymisestä monin tavoin, ihmisen kannalta vedenalaisen melun aiheuttamat haitat pysyvät aina pieninä. Koska melu ei vesi-ilma -rajapinnan ominaisuuksista johtuen voi sellaisenaan kuulua pinnan yläpuolelle, haitoista voivat kärsiä vain sukeltajat. Vedenalaisen työn äänien merkitystä ammattisukeltajien kuulolle onkin tutkittu esimerkiksi mittaamalla sukelluskypärän sisällä vallitsevaa melutasoa ja suurinta vedenalaista melualtistusta koskevia suosituksia on maailmalla jo olemassa. Urheilusukeltajien kannalta suurimman riskin muodostavat lämpimien maiden sukelluskohteiden tuntumassa toimivat dynamiittikalastajat, joiden käyttämät panokset voivat lähellä räjähtäessään aiheuttaa fysiologisia vaurioita.

5 KUNNOSTUSTARVE

Jyväsjärven rehevyyttä pitää yllä

- 1) *Sietorajat ylittävä ulkoinen fosforikuorma*, joka on pääasiassa peräisin Tuomiojärven-Palokkajärven vesistöalueelta. Pelkästään ulkoinen kuorma riittää pitämään järven rehevänä.
- 2) *Luontaista suurempi sisäinen kuormitus*, joka johtuu toisaalta eliöyhteisöstä, joka on palautunut veden laatua hitaammin raskaan kuormituksen jäljiltä, toisaalta huonokuntoisesta sedimentistä.

Kunnostuksen tavoitteista ja menetelmistä päätettäessä on keskityttävä näihin kahteen kuormituslähteeseen.

Edellinen koskee lähinnä vesiympäristön kemiallista ja ekologista tilaa. Hoito- ja kunnostustoimissa on lisäksi otettava huomioon

- 3) *järven sekä sen välittömän ympäristön virkistyskäytön tarpeet sekä maisemalliset näkökohdat*. Nämä ovat erityisesti nousseet esiin asukkaiden parissa tehdyn tiedustelun vastauksissa.
- 4) *esteettiset näkökohdat*, ts. veden ”nuhruista” ulkonäköä on pyrittävä parantamaan sameutta vähentämällä.

6 KUNNOSTUSMAHDOLLISUUDET

Järven kunnostukseen ryhdytään yleensä silloin, kun vesialueen yleistä tai käyttömuoto-kohtaista (esim. kalastus, virkistys tai vedenhankinta) arvoa halutaan nostaa. Useimmiten tavoitteena on virkistyskäytöarvon parantaminen. Ihanteellista monikäyttöjärveä voidaan luonnehtia vaikkapa seuraavasti:

- vesi on kirkasta ja puhdasta
- levähaittoja ei ole
- kalasto on monipuolinen ja kalastettavaksi sopivia petokaloja on runsaasti
- vesikasvillisuutta on riittävästi, mutta ei liikaa, ja sopivissa paikoissa
- järvessä on uimarannaksi sopivia hyviä hiekkarantoja

Yleisesti järvien kunnostuksen keskeisin toimenpide on ulkoisen kuormituksen vähentäminen. Peruseriaate on, että vesistön sisäisiä kunnostusmenetelmiä kannattaa ryhtyä käyttämään vasta, kun ulkoista kuormitusta on voitu merkittävästi vähentää. Muuten sisäisten kunnostustoimien vaikutus jää lyhytaikaiseksi tai tehottomaksi. Kunnostustoimissa keskitytään fosforikuorman pienentämiseen, koska fosfori on suomalaisissa järvissä levätuotantoa rajoittava ravinne.

Järven sisäisissä kunnostusmenetelmissä pyritään vaikuttamaan fosforin kiertoon ja tervehdyttämään sedimenttiä niin, että se sitoisi fosforia. Sisäisen kuormituksen vähentämiseksi on useita menetelmiä.

1. Fosforin kemiallinen saostaminen

Kemiallinen saostus sopii pieniin, mataliin järviin, joissa on suhteellisen pitkä viipymä. Menetelmä on kopioitu jätevesien puhdistuslaitoksista, ja siinä käytetään erilaisia kemikaaleja, mm. alumiinisulfaattia, natriumalumiinaattia tai alumiinikloridia, sitomaan ja saostamaan liukoista fosforia (Oravainen 1990). Osa saostuskemikaaleista on rautayhdisteitä (ferro- ja ferrisulfaatti,

rautakloridi tai rautakloridisulfaatti), joiden teho perustuu rautahydroksidihydrideiden kykyyn adsorboida fosforia. Saostuskemikalioiden onnistunut käyttö edellyttää yleensä muiden menetelmien tukea. Haittapuolena on, että monet kemikaalit ovat eliöstölle haitallisia.

2. Sedimentin fysikaalinen ja kemiallinen käsittely

Hapettoman ja huonokuntoisen sedimentin tilaa voidaan parantaa myös erilaisilla fysikaalisilla ja kemiallisilla hoitomenetelmillä. Hoitomenetelmien vaikutus perustuu joko siihen, että ne 1) sitovat sedimentissä olevaa liukoista fosforia, joka muuten vapautuisi veteen, 2) yhdisteistä vapautuu sedimentin pintakerrokseen happea, jonka ansiosta fosfori sitoutuu uudelleen rautayhdisteisiin (happikalkki), 3) eristetään pilaantunut sedimentti vesimassasta (esim. savipeitto).

Kemiallisia hoitoja on kokeiltu esimerkiksi järvissä, joissa hapetonta ja pilaantunutta sedimenttiä on niin paljon, ettei hapetus, tehokalastus tai muu kunnostusmenetelmä riitä lopettamaan sisäistä kuormitusta.

Rautakipsikäsittely on yksi lupaavimpia menetelmiä ja se soveltuu parhaiten hyvin rehevien kerrostuvien, pienien ja ehkä myös keskisuurten järvien kunnostukseen. Kipsikäsittely vaikuttaa lähinnä kolmella tavalla. Kipsi muodostaa sedimentin pinnalle eräänlaisen suojakalvon, joka vähentää kaasujen (metaanin) kuplintaa ja resuspensiota. Kipsi muodostaa fosforin kanssa kalsiumfosfaattimineraaleja ja parantaa sedimentin fosforin sidontakykyä. Kipsi edistää orgaanisen aineksen mineralisoitumista ja sulfaattia pelkistävien bakteerien aktiivisuutta, kohentaa hapetus-pelkistys -tilannetta ja estää metaanin tuotantoa (Varjo 2001).

3. Alusveden hapetus

Alusveden hapetus hapettaa sedimentin pintakerroksia ja parantaa fosforin sitoutumista. Tunnettu ja Suomessa yleisimmin käytetty on ns. Mixox-menetelmä, jossa hapekasta pintavettä pumpataan alusveteen (Lappalainen 1982). Tämä hapetuskierrätysmenetelmä on käytössä Jyväsjärvellä.

4. Biomanipulaatio

Biomanipulaation peruseräite on, että järvestä poistetaan mahdollisimman paljon planktonia syövää ja pohjaa penkovaa kalaa, erityisesti särkikalaja. Planktonsyöjien valikoiva pyynti johdattaa eläinplanktonin biomassan kasvuun. Eläinplanktonin vuorostaan laiduntaa tehokkaasti kasviplanktonia, mikä vähentää levähaittoja. Toisaalta pohjaa pöyhivien kalojen vähentäminen johdattaa siihen, että ravinteiden vapautuminen sedimentistä vähenee (ks. esim. Sarvala ym. 1995).

Biomanipulaatio soveltuu parhaiten lievästi tai kohtalaisesti rehevöityneisiin pieniin, keskikokoisiin tai jopa suuriinkin järviin, joissa on ns. vinoutunut kalakanta. Tulokset riippuvat siitä, kuinka tehokasta kalastus on.

Mazumderin (1994) esittämien kriteerien mukaan edellytykset biomanipulaation toteuttamiselle Jyväsjärvessä ovat olemassa (taulukko 2). SH-kriteereistä toteutuu neljä kuudesta, kun taas LH-kriteereistä ei toteudu yksikään; ts. järvessä vallitsevat pienet vesikirput, kalakanta on vinoutunut eikä eläinplankton pysty kontrolloimaan levämääriä. Käytännössä se tarkoittaa, että biomanipulaation avulla voidaan vaikuttaa kalakannan muuttamisen kautta eläinplanktoniin ja edelleen kasviplanktonin määrään ja koostumukseen sekä toisaalta sisäisen kuormituksen tasoon.

Taulukko 2. Mazumderin (1994) esittämät kriteerit biomanipulaation toteuttamisen mahdollisuuksille.

SH-kriteerit	Jyväsjärnessä	
	toteutuu	ei toteudu
Ei Daphnioita ollenkaan		X
D. cucullata läsnä ja koko <0,5mm	X	
Rotifera+Copepoda >90% massasta		X
Vesikirppujen keskikoko <0,5 mm	X	
Daphniat <20% kokonaismassasta	X	
Kalabiomassa >20 kg hä ¹	X	
LH-kriteerit	toteutuu	ei toteudu
Isoja Daphnioita >20% massasta		X
Daphnia keskikoko > 1 mm		X
Vesikirppujen keskikoko >0,5 mm		X
Kalabiomassa <20 kg hä ¹		X

Äärimmäinen muoto biomanipulaatiosta on koko kalakannan tappaminen kemiallisella käsitteilyllä. Rymättylän Kirkkojärnessä toteutettiin fosforin saostus ja kalaston tuhoaminen alumiinikloridikäsittelyllä, joka laski pH:n hyvin alas (alimmillaan 4,5) (Helminen 2002). Käsitteily sopii vain pieniin järviin, ja on yleensä järkevää vain erittäin rehevissä vesissä, joissa muut kunnostustoimet eivät usein tuota toivottua tulosta.

5. Kasvillisuuden poisto

Vesien suurkasvien kasvustot voidaan niittää ja korjata sato, jolloin järvestä poistuu huomattava määrä ravinteita. Kasvillisuuden ruoppauksella voidaan poistaa myös juuristo, jolloin vaikutusaika on pidempi. Toisaalta matalissa järvissä makrofyttikasvusto toimii valuma-alueelta tulevien ravinteiden sitojana sekä vähentää pohjalietteen resuspensiota.

6. Laimentaminen ja virtaaman lisäys

Niukkaravinteisen, hapekkaan veden ohjaaminen parantaa järven happitilannetta ja vähentää (laimentaa) ravinnepitoisuuksia ja voi joissakin tapauksissa parantaa fosforin sitoutumista sedimenttiin. Vettä voidaan joko pumpata tai ohjata kanavoimalla muulta vesistöalueelta.

7. Sedimentin poisto

Pienissä kohteissa sedimentin poisto on yksi suositeltavimmista menetelmistä. Kalleutensa takia se ei kuitenkaan sovellu isompiin kohteisiin. Nykyisin on kehitetty tehokasta imuruoppauskalustoa, joilla sedimentti voidaan ruopata tarkoin rajatulta syvyydeltä. Ongelmaksi voi muodostua haitta-aineita sisältävän sedimentin läjitys ja/tai sen puhdistuskäsittely.

7 HOIDON JA KUNNOSTUKSEN TAVOITTEIDEN ASETTELU

Tavoitteiden asettelua on lähestyttävä useista eri näkökulmista. (1) Lähtökohtana voidaan pitää EU:n vesipuitedirektiivin (VPD) edellyttämää hyvän ekologisen tilan saavuttamista. Ekologinen tila määritellään ensisijaisesti eliöstön perusteella (kasviplankton, vesikasvit, pohjaeläimet ja kalat). (2) Asukkaiden ja eri intressiryhmien parissa tehty tiedustelu kertoo käyttäjien arvostuksista ja tarpeista. (3) Ympäristöhistorian tutkimuksesta saadaan tietoa siitä, mikä Jyväsjärven tila on ollut eri ajanjaksoina ja millaiseen tilaan se on teoriassa ja käytännössä mahdollista palauttaa. (4) Jyväsjärven asema opetus- ja tutkimusympäristönä asettaa kunnostuksen toteuttamiselle omat tavoitteensa.

7.1 Vesipuitedirektiivi

Pohjalietteen eliöjäänteisiin perustuvan ympäristöhistorian tutkimuksen perusteella Jyväsjärven kehitysvaiheet ovat seuraavat: (A) esiteollinen aika ennen 1870-lukua, (B) teollistumisen ja kaupungistumisen alkuaika noin 1870-1950, (C) järven rehevöitymisen aika noin 1950-1965, (D) pilaantumisvaihe noin 1966-1978 ja (E) elpymisvaihe, joka jatkuu edelleen. On huomattava, että Jyväsjärvi on jo 1700-luvulla, lähes luonnontilaisena, ollut lievästi rehevä järvi, jonka syvänteissä on ollut ajoittaista happivajetta. Tällä hetkellä elinolojen palautuminen on edistynyt suunnilleen vuosina 1950-1965 vallinneelle tasolle (Meriläinen ym. 2003).

1800-luvun loppupuolelle saakka vallinnutta erinomaista ekologista tilaa on Jyväsjärven tapauksessa mahdotonta saavuttaa, eikä sitä voida pitää mistään näkökulmasta katsoen realistisena tavoitteena. VPD:n edellyttämä hyvä ekologinen tila vallitsi 1800-luvun loppupuolelta todennäköisesti ainakin siihen saakka, jolloin Jyväskylään rakennettiin viemäriverkosto vuonna 1912. Historian tutkimuksen perusteella tavoitteena voisi olla siis vuosisadan alussa vallinnut ekologinen tila.

Direktiivi edellyttää, että hyvä ekologinen tila saavutetaan vuoteen 2015 mennessä. Se määritellään tilaksi, jossa ”Kyseistä pintavesimuodostumatyyppiä koskevat biologisten laatutekijöiden arvot osoittavat merkkejä ihmistoiminnasta johtuvista vähäisistä muutoksista, mutta eroavat ainoastaan vähän niistä arvoista, jotka tavallisesti liitetään kyseisen pintavesimuodostumatyyppin häiriintymättömiin olosuhteisiin”. Hyvä ekologinen tila voidaan määritellä joko tyyppi-kohtaisten referenssijärvien avulla tai kyseisen järven historian tutkimuksen perusteella. Tällä hetkellä ongelmana on, että laadullisia ja määrällisiä raja-arvoja ekologisen tilan luokittamiselle ei ole vielä määritelty.

7.2 Asukkaiden ja muiden intressiryhmien käyttötarpeet ja tavoitteet

Asukkaiden parissa tehdyssä tiedustelussa korostui Jyväsjärven virkistyskäyttö. 94 % vastanneista piti ulkoilua ja kuntoilua tärkeänä tai erittäin tärkeänä Jyväsjärven käyttömuotona. 36 % vastanneista ulkoili Jyväsjärven rannoilla ja 15 % järven jäällä vähintään 1-2 kertaa kuukaudessa. Veden laatua ei pidetty kovin merkittävänä haittana ulkoilulle ja kuntoilulle (16 %), vaan suurimmaksi häirttekijäksi koettiin kaupunkimaisen rakentamisen ulottuminen rantaan saakka (42 %). Seuraavaksi eniten häirttasivat koirien jätökset (41 %), tieliikenteen melu (37 %) ja rantojen epäsiisteys ja hoitamattomuus (20 %). Jyväsjärvelle annettiin tiedustelussa yleisarvosana 6,9 (asteikko 1-10). Asukastiedustelun tuloksia on käsitelty tarkemmin tiedustelusta tehdyssä yhteenvedossa (Palomäki 2004b).

Asukkaille osoitetussa sekä myös yhteisöille, järjestöille ja yrityksille osoitetussa kyselyssä siisteyteen ja virkistysalueiden varusteluun kiinnitettiin runsaasti huomiota. Retkiluistelurata sai tiedustelun vastauksissa paljon kiitosta. Pyöräilyreitit lopullista kunnostamista odotetaan innokkaasti. Mm. vesistömatkailun edellytyksiä toivotaan parannettavan.

Lyhyenä yhteenvedona voidaan todeta, että Jyväsjärven käyttökelpoisuutta virkistyskäyttöön tulee parantaa. Asukkaiden yleistä näkemystä Jyväsjärven kehittämisestä kuvaa kommentti: *”Paras olisi yhdistelmä eli kehitetään ulkoilualueena, ja ne alueet, jotka ovat luonnontilassa nyt säilytetään ennallaan. Kyllä siellä mahtuu toteuttamaan molempien tarpeet - ihmisen ja luonnon.”*

Jyväsjärveä kehitetään opetus- ja tutkimusympäristönä, mikä tarkoittaa muun muassa sitä, että kunnostustoimien vaikutusta veden laatuun ja eliöstöön on tarkoitus seurata intensiivisesti. Kunnostus on toteutettava siten, että tiettyjä nykyisiä olosuhteita, esim. hapetuskierrätystä, ei muuteta oleellisesti. Muussa tapauksessa kunnostustoimien vaikutusta ei pystytä analysoimaan riittäväällä varmuudella. Samasta syystä ei myöskään ole toivottavaa toteuttaa useita esimerkiksi sisäiseen kuormitukseen vaikuttavia kunnostustoimenpiteitä samanaikaisesti.

7.3 Ulkoinen kuormitus

Kuormitusmallin (Vollenweider & Dillon 1974) perusteella Jyväsjärven ulkoinen fosforikuorma voisi olla sallittavalla tasolla enintään noin $4,6 \text{ kg d}^{-1}$, kun ns. vaarallisen kuormituksen raja on $8,1 \text{ kg d}^{-1}$. Alempaa arvoa voidaan pitää rajana, jonka alittava kuormitus ei oleellisesti muuta järven tilaa. Ylemmän sietorajan ylittävä kuormitus johtaa rehevöitymiseen tai pitää yllä rehevyyttä, ja järvi vaatii jatkuvia hoitotoimia. Vuosina 1993-2002 keskimääräinen fosforikuorma oli $11,2 \text{ kg d}^{-1}$, joka ylittää ylemmän sietorajan noin 30 prosentilla. Järven kuormituksen siedon näkökulmasta ulkoista fosforikuormaa olisi vähennettävä ylemmän sietorajan alapuolelle eli tasolle 8 kg P d^{-1} (keskivirtaama).

Toisaalta kuormitustavoitetta voidaan lähestyä arvioimalla kuormituksen taso ennen merkittävää ihmistoiminnan aiheuttamaa kuormituksen kasvua. Paleolimnologinen piileväaineisto (Meriläinen ym. 2003) ulottuu nykypäivästä 1700-luvun puoliväliin saakka, jolloin ihmistoiminnan vaikutus oli vielä vähäistä. Piileväaineiston perusteella laskettu fosforipitoisuus (Miettinen 2003; mallilaskelmat tehnyt Juha Miettinen, Joensuun yliopisto) oli 1700-luvun puolivälistä kaupungin perustamiseen saakka keskimäärin noin $18 \mu\text{g l}^{-1}$. Jyväsjärvi ei siis ole ollut lähellä luonnontilaakaan karu järvi, vaan vähintään lievästi rehevä. Pitoisuuden ja keskivirtaaman perusteella fosforikuorma olisi ollut noin $6,3 \text{ kg P d}^{-1}$ (Frisk 1979) (taulukko 3).

1900-luvun alkuun mennessä fosforipitoisuus nousi noin $21 \mu\text{g:aan l}^{-1}$ ja sen perusteella arvioitu fosforikuorma $7,6 \text{ kg:aan d}^{-1}$. Viemäriverkoston rakentamisen (1912) jälkeen fosforipitoisuus kasvoi nopeasti lähelle $30 \mu\text{g:a l}^{-1}$ ja kuorma noin 11 kg:aan d^{-1} eli nykyisen kuormituksen tasolle. Suurimman kuormituksen aikana 1970-luvun alussa Jyväsjärven fosforikuorma oli lähes 200 kg d^{-1} (Granberg & Lappalainen 1974).

Kuormituksen vähentämisen tavoitteena voidaan pitää 1900-luvun alun kuormitustasoa, jolloin ihmistoiminnan vaikutus oli vähäinen (vrt. myös VPD:n vaatimukset), mikä merkitsee samaa tasoa kuin kuormitussietolaskelmista saatu noin 8 kg P d^{-1} .

Taulukko 3. Jyväsjärven päällysveden fosforipitoisuuden ja -kuorman kehitys.

Jakso	Fosforipitoisuus $\mu\text{g l}^{-1}$	Fosforikuorma kg d^{-1}
n. 1750-1840	18	6,3
1840-1912	21	7,6
1912-n. 1930	28	10,9
1960-luku	n. 100-400 (vaihtelu suurta)	100
1970-luvun alkupuolisko	n. 100-1100 (vaihtelu suurta)	200
1993-2002	29	11,2

Koska pistekuormitus on nykyään vähäistä, tämä merkitsee hajakuormituksen vähentämistä. Jyväsjärven tila ei kohennu oleellisesti nykyisestä ennen kuin Alva- ja Palokkajärven kautta tulevaa kuormaa saadaan pienennetyksi nykyisestä noin 9 kg:sta d^{-1} noin 6-7 kg:aan päivässä. Se merkitsee Tourujoesta tulevan veden fosforipitoisuutta 22-26 $\mu\text{g l}^{-1}$.

Jyväskylän maalaiskunta on aloittanut kunnostustoimet ensi vaiheessa Tuomiojärven-Palokkajärven vesistöalueella Korttajärvessä ja Lehesjärvi-Vähäjärvessä ja niiden tilan parantua toisessa vaiheessa Alva- ja Palokkajärvessä. Tavoitteena on vähentää kuormitusta vähintään vaarallisen kuormituksen tasolle, jolloin veden fosforipitoisuus on korkeintaan 20 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Onkila 2001). Kuormituksen vähentäminen kestää vähintäänkin useita vuosia, mutta kunnostuksen onnistuessa tavoitteiden mukaisesti Jyväsjärven Tourujoen kautta virtaavan veden fosforipitoisuus pienenee niin paljon, että ulkoisen kuormituksen vähentämistavoite on mahdollista saavuttaa. Samalla valumavesien mukana tuleva saviaineksen määrä todennäköisesti pienenee, koska kunnostussuunnitelmaan sisältyy mm. peltojen suojavyöhykkeiden perustaminen.

Lisäksi on kartoitettava Jyväsjärven lähivaluma-alueen fosforikuormituslähteet ja rajoitettava kuormaa mahdollisimman paljon. Samalla kartoitetaan kaupunkialueelta sadeveden mukana tuleva kiintoaineen määrä ja selvitetään mahdollisuudet sen vähentämiseksi.

Ulkoisen kuormituksen vähentämisellä odotetaan olevan seuraavat vaikutukset:

- pitkällä tähtäimellä järvellä on edellytykset muuttua jatkuvaa hoitoa vaativasta vain kevyttä ylläpitoa tarvitsevaksi, kun ulkoinen kuorma pienenee kriittisen kuormituksen alle
- fosforipitoisuus pienenee, josta seuraa kasviplanktonbiomassan ja klorofyllipitoisuuden pienentyminen
- hajotettavaa levämassaa on vähemmän, jolloin sedimentin hapenkulutus vähenee ja alusveden happitilanne paranee
- leväkukintojen todennäköisyys vähenee
- veden sameus vähenee ja näkösyvyys kasvaa eli vesi kirkastuu
- virkistyskäyttöarvo kasvaa

7.4 Sisäinen kuormitus

Tavoitteena on vähentää sisäistä kuormitusta toisaalta hoitamalla huonokuntoista sedimenttiä, toisaalta oikaisemalla vinoutunutta eliöyhteisöä. Vähentynyttä sisäistä kuormitusta ilmentävät klorofyllin ja fosforipitoisuuden sekä kalojen yksikkösaaliin ja fosforipitoisuuden suhteiden muutokset.

Jyväsjärven sisäistä kuormitusta on rajoitettu ja sedimenttiä hoidettu hapetuskierrätyksen avulla jo vuodesta 1979. Hapetuskierrätyksestä saatujen kokemusten perusteella toimenpiteet vähentävät erityisesti rautaan sitoutuneen fosforin vapautumista (Saarijärvi 2002). Hapetuskierrätyksen jatkaminen on edelleen oleellista sisäisen kuormituksen kurissa pitämiseksi, koska järvi ei vielä tule toimeen omilla happivarannoillaan. Laboratoriokokeet osoittavat, että sisäinen kuormitus kasvaa moninkertaiseksi, mikäli alusvesi joutuu hapettomaan tilaan.

Hapettamisella on kuitenkin haittapuolensakin. Kesällä hapettamisen seurauksena alusvesi lämpenee, jolloin hapenkulutus eli orgaanisen aineksen hajotus kasvaa. Korkeampi happipitoisuus vaikuttaa samalla tavalla, pitoisuudessa $<2 \text{ mg l}^{-1}$ hajotustoiminta hidastuu oleellisesti (Saarijärvi 2002). Haittojen vähentämiseksi hapetuksen ajoitusta ja kestoa kesäaikana on tarkoitettu hienosäätää, ja kokeilu aloitettiin kesällä 2003 (M-real Oyj, Kankaan paperitehdas ja Vesi-Eko Oy).

Sedimentin hoito fysikaalisella tai kemiallisella käsittelyllä on myös mahdollista Jyväsjärvellä. Esimerkiksi sedimentin rautakipsikäsittely on mahdollinen kunnostusmenetelmä tulevaisuudessa, ellei järven kuntoa onnistuta kohentamaan muilla menetelmillä. Kaikkien veden ja sedimentin kemiallisten käsittelyiden vaikutukset ovat kuitenkin väliaikaisia, ellei ulkoisia kuormituslähteitä pystytä rajoittamaan ja eliöstön rakennetta muuttamaan.

Kalaston ja sen kautta eläin- ja kasviplanktonin biomassan ja koostumuksen muuttaminen on tarpeen eliöstöstä johtuvan sisäisen kuormituksen vähentämiseksi. Käytännössä ravintoketjukunnostus (biomanipulaatio) toteutetaan perinteisesti ensin erityisesti särkikalojen teho- kalastuksena sekä jatkohoito petokalojen istutuksena. Järven kuhakanta on jo nykyisellään hyvä ja istutustoiminnalla tuetaan etenkin tämän arvokalan kantoja.

Sisäistä kuormitusta vähentävillä toimenpiteillä odotetaan olevan seuraavat vaikutukset:

- fosforipitoisuus pienenee
- suurten vesikirppulajien osuus eläinplanktonista kasvaa ja vesikirppujen keskikoko kasvaa; eläinplanktonin biomassa kasvaa
- fosforipitoisuuden pienentymisestä ja eläinplanktonin muutoksista seuraa kasviplanktonbiomassan ja klorofyllipitoisuuden pienentyminen
- hajotettavaa levämassaa on vähemmän, jolloin sedimentin hapenkulutus vähenee ja alusveden happitilanne paranee
- leväkukintojen todennäköisyys vähenee
- veden sameus vähenee ja näkösyvyys kasvaa eli vesi kirkastuu
- kalastajien arvostamat kalalajit runsastuvat ja särkikalojen osuus vähenee
- virkistyskäyttöarvo kasvaa

8 YHTEENVETO: ESITYS KUNNOSTUKSEN TAVOITTEISTA JA MENETELMISTÄ

8.1 Tavoitteet

Pitkän ajanjakson tavoitteet

- 1) EU:n vesipuitedirektiivin edellyttämä tavoite on hyvä ekologinen tila, joka direktiivin mukaan on saavutettava vuoteen 2015 mennessä. Luokittelun raja-arvot muotoutuvat myöhemmin, kun direktiivin toimeenpanoa valmisteleva työ edistyy.

- 2) Jyväsjärven käyttökelpoisuutta virkistyskäyttöön parannetaan, ja tämä tavoite otetaan huomioon kaikissa järveä koskevissa päätöksissä ja toimenpiteissä.
- 3) Ulkoinen fosforikuorma vähennetään alle 8 kg P d⁻¹.

3-5 vuoden ajanjakson tavoite

- 4) Sisäistä kuormitusta vähennetään sedimentin hoidolla sekä eliöstön manipuloinnilla. Klorofyllipitoisuus pyritään saamaan alle 10 µg:aan l⁻¹ ja kalojen yksikkösaalis alle 1,5 kg:aan.

Lopullisena tavoitteena on monipuoliseen virkistyskäyttöön soveltuva järvi, jossa ulkoinen kuormitus on vähennetty alle kriittisen rajan ja sisäinen kuormitus pysyy kurissa kevyellä hoidolla.

8.2 Kunnostusmenetelmät

- 1) Hajakuormitus vähenee Jyväskylän maalaiskunnan Tuomiojärven-Palokkajärven valuma-alueella toteutettavien kunnostustoimien avulla. Jyväsjärven kunnostushanke osallistuu mahdollisuuksien mukaan kunnostustoimien toteuttamiseen ja rahoittamiseen, koska ne hyödyttävät Jyväsjärveä yhtä paljon kuin varsinaisia kunnostuskohteita.
- 2) Jyväsjärven muun valuma-alueen kuormituslähteet kartoitetaan ja fosfori- ja kiintoainekuormitusta pyritään vähentämään mahdollisimman suuressa määrin.
- 3) Jyväsjärvestä toteutetaan biomanipulaatio särkikaloiden tehopyyntinä sekä tehdään kuhan tuki-istutuksia. Tehokalastuksen tulee olla riittävän tehokasta eli särkikaloista on poistettava jopa 70-80 %. Pyyntiä kokeiltiin syksyllä 2003, ja varsinainen tehokalastus aloitetaan keväällä 2004 osana Pohjois-Päijänteen hoitokalastushanketta. Kyseinen hanke jatkuu vuoden 2004 loppuun, jonka jälkeen pyyntiä jatketaan tarvittaessa Jyväsjärven kunnostushankkeen rahoituksella.
- 4) Hapetuskierrätyksen ajoitusta ja kestoja kesäaikana tarkistetaan jo aloitettujen kokeilujen tulosten pohjalta, jotta toimenpiteistä saatava hyöty voidaan optimoida. Hapetuksen tehoa ei muuteta oleellisesti tehokalastusjaksolla, jotta biomanipulaation tuloksia voidaan seurata.
- 5) Tarvittaessa sedimentti käsitellään fysikaalisesti tai kemiallisesti, esim. rautakipsillä tai happikalkilla. Käsitely toteutetaan vasta, mikäli muilla kunnostustoimilla ei saavuteta tavoitteita.
- 6) Asukkaiden sekä yhteisöjen, järjestöjen ja yritysten parissa tehtyjen tiedustelujen pohjalta esitetään yhteenveto toivotuista virkistyskäyttöä edistävästä kehittämistoimenpiteistä. Näiden toteuttamisessa avainasemassa on Jyväskylän kaupunki.

VIITTEET

- Frisk, T. 1979. Järven fosforisiedon arvioimisesta tilastollisten fosfori- ja happimallien avulla. *Vesitalous* 3: 22-25.
- Granberg, K. & Lappalainen, M. 1974. Jyväsjärven limnologiset tutkimukset vuosina 1969-1973. *Jyväskylän hydrobiologisen tutkimuslaitoksen tiedonantoja* 51: 1-54.
- Helminen, H., Karjalainen, J., Kurkilahti, M., Rask, M. & Sarvala, J. 2000. Eutrophication and fish biodiversity in Finnish lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 194-199.
- Helminen, H. 2002. Paransiko alumiinikloridikäsittely Rymättylän Kirkkojärven tilaa? Esitelmä sisäisen kuormituksen tutkijaseminaarissa, Suomen ympäristökeskus 7.11.2002.
- Hynynen, J. & Meriläinen, J.J. 2002. Jyväsjärven hoito- ja kunnostushankkeeseen liittyvän pohjaeläintutkimuksen tulokset vuonna 2002. *Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti* 143/2002.
- Jeppesen, E. & Sammalkorpi, I. 2002. Lakes. Teoksessa: Perrow, M.R. & Davy, A.J. (eds.), *Handbook of ecological restoration. Volume 2. Restoration in practice*, 297-324. Cambridge university press. ISBN 0 521 79129 4.
- Keränen, J. 2002. Jyväsjärven tilan kehitys 1840-2000 – pilaantumisen ja elpymisen aikakaudet. *Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja* 49: 1-94.
- Lappalainen, K. M. 1982. Convection in bottom sediments and its role in material exchange between water and sediment. *Hydrobiologia* 86: 105-108.
- Lappalainen, K.M. & Matinvesi, J. 1990. Järven fysikaalis-kemialliset prosessit ja ainetaseet. - Teoksessa: Ilmavirta, V. (toim.), *Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet*, s. 54-84. Helsinki, Yliopistopaino.
- Mazumder, A. 1994. Phosphorus-chlorophyll relationships under contrasting zooplankton community structure: potential mechanisms. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 401-407.
- Meriläinen, J.J., Hynynen, J., Palomäki, A., Mäntykoski, K. & Witick, A. 2003. Environmental history of a city lake: a palaeolimnological study of Lake Jyväsjärvi, Finland. *J. Paleolimnol. Painossa*.
- Miettinen, J.O. 2003. A diatom-total phosphorus transfer function for freshwater lakes in southeastern Finland, including cross-validation with independent test lakes. *Boreal Env. Res.* 8: 215-228.
- Onkila, H. 2001. Lehesjärvi – Vähäjärvi – Korttajärvi – Alvajärvi – Palokkajärvi –järvireitin vedenlaadun kohentaminen. Hankkeen 1. vaiheen (Lehesjärvi – Vähäjärvi – Korttajärvi) kunnostussuunnitelma. *Jyväskylän maalaiskunta, ympäristönsuojelutoimisto*. 51 s.
- Oravainen, R. 1990. Veden ja sedimentin kemikaalikäsittely. Teoksessa: Ilmavirta, V. (toim.), *Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet*. Helsinki, Yliopistopaino. pp. 258-271.
- Palomäki, A. 2004a. Jyväsjärvi-hankkeet – JJ2. Jyväsjärven sisäinen kuormitus – ainetaselaskelmat ja kokeelliset sedimenttitutkimukset. *Jyväskylän yliopisto, ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti* 17/2004.

Palomäki, A. 2004b. Jyväsjärvi-hankkeet – Jyväsjärven hoito ja kunnostus. Yhteenveto asukas-tiedustelun tuloksista. Moniste 14 s.

Ryding, S-O. 1980. Monitoring of Inland Waters, OECD Eutrophication Programme, The Nordic Project. - Nordforsk publication 1980/2, 207 s.

Saarijärvi, E. 2002. Kokemuksia hapettamisen vaikutuksista sisäiseen kuormitukseen. Esitelmä sisäisen kuormituksen tutkijaseminaarissa, Suomen ympäristökeskus 7.11.2002.

Sarvala, J., Helminen, H. & Hirvonen, A. 1995. Ravintoketjukurinon ekologiset perusteet. - Vesitalous 3/1995: 1-4.

Sarvala, J., Helminen, H. & Karjalainen, J. 2000. Restoration of Finnish lakes using fish removal: changes in the chlorophyll-phosphorus relationship indicate multiple controlling mechanisms. Verh. Internat. Verein. Limnol. 27: 1473-1479.

Tuhkanen, J. 2001. Jyväsjärven kalaston rakenne yleiskatsausverkkokalastuksen perusteella. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos, kalabiologia ja kalatalous. 48 s.

Varjo, E. 2001. Gypsum treatment in managing internal load from sediments of eutrophied lakes. Turun yliopiston julkaisuja. Sarja AII, osa 143.

Vollenweider, R.A. & Dillon, P.J. 1974. The application of the phosphorus loading concept to eutrophication research. NRC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. 42 s.