



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Elina Aho

PANNUJÄRVEN KUORMITUSSELVITYS

Tekniikka
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Elina Aho
Opinnäytetyön nimi	Pannujärven kuormitus selvitys
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	56 + 2 liitettä
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Opinnäytetyön aihe tuli Hämeenlinnan kaupungilta. Alkuvuodesta 2015 oli alkamassa Hämeenlinnan kaupungille uusi PAKKA-hanke, jolla pyritään kehittämään järvien vesiensuojelua. Tämän kohteena olivat Pannujärvi, Kankaistenjärvi ja Katumajärvi. Hankkeen tukemiseksi tehtiin Pannujärvestä kuormitus selvitys. Järven tilasta on edellisiltä vuosilta tietoa ja mittauksia. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia järven tilannetta ja tarkastella, mitkä tekijät vaikuttavat järven tilan pilaantumiseen ja heikkenemiseen.

Pannujärven happipitoisuus on ollut tarkasteltavana sen vähäisyyden vuoksi. Happitilanne on pienentynyt, etenkin järveen kohdistuneen kuormituksen myötä. Sulkasääsken toukkien määrä on suuri, mikä myös saattaa vaikuttaa järven tilan huononemiseen. Myös valuma-alueella tehtyjen hakkuiden ja ojituksien myötä, järven tila on huonontunut entisestään.

Opinnäytetyö on laadittu vuoden 2015 aikana. MapInfo-työkalulla piirrettiin valuma-alueen eri kasvillisuusalueet näkyviin. Näiden avulla saadaan kuormituslaskelma tehtyä. Kuormituslaskenta tehtiin KUSTAA-ohjelman avulla, joka on julkaistuna Suomen Ympäristökeskuksen sivulla. Lisäksi käytettiin Rekolaisen ja Bilaletdinin malleja.

Pannujärvi tulisi palauttaa takaisin luonnolliseen tilaansa, mikä edellyttäisi valuma-alueen kuormituksen vähentämistä.

ABSTRACT

Author	Elina Aho
Title	Evaluation of the Nutrient Load for the Lake Pannujärvi
Year	2015
Language	Finnish
Pages	56 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

The subject of the thesis came from the City of Hämeenlinna. Early in the year 2015 the city of Hämeenlinna started a new project called PAKKA, the purpose of which is to develop water protection of lakes. It includes three lakes: Pannujärvi, Kankaistenjärvi and Katumajärvi. The evaluation of the nutrient load to the Lake Pannujärvi was made for supporting the PAKKA-project. Information and measurements from previous years about the condition of the lake is available. The purpose of this thesis was to research the condition of the lake and consider the factors that have influence on the contamination and deterioration of the lake.

The oxygen content in the lake of Pannujärvi was observed because the amount of oxygen has been low. The content of the oxygen has decreased especially because the load of nutrients to the lake. The amount of the Phantom midge larvae was dense which can also deteriorate the condition of the lake. The condition has deteriorated even more because of logging and ditching in the catchment area.

The thesis was made during the year 2015. The program called MapInfo was used to draw the different plant parts in the catchment area. The drawings were used for the calculation of the nutrient load. The actual calculation was made with the program KUSTAA, which is published in the site of Finnish Environment Institute (SYKE). The programs Rekolainen and Bilaletdi were also used.

The Lake Pannujärvi should be returned back to its natural condition which means minimizing the loads in the catchment area.

Keywords Evaluation of the nutrient load, water protection, internal load, groundwater

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
2	TUTKIMUSALUEEN KUVAUS.....	11
	2.1 Historia.....	11
	2.2 Valuma-alue ja pohjavesialue.....	11
	2.3 Pannujärven vedenlaatu ja tehdyt tutkimukset.....	13
	2.3.1 Happipitoisuus.....	14
	2.3.2 Minimiravinne ja ravinnepitoisuus.....	15
	2.3.3 Alkaliniteetti ja pH.....	17
	2.3.4 Sameus, kiintoaine ja väri.....	19
	2.3.5 Kemiallinen hapenkulutus eli COD ja sähkönjohtavuus.....	22
	2.4 Järvisedimentin tila.....	24
	2.4.1 Sulkasääskitutkimus.....	24
	2.5 Pannujärven vedenpinnan korkeus.....	25
	2.6 Toteutetut suojele- ja kunnostustoimet.....	26
3	OJAVESITUTKIMUKSET.....	27
	3.1 Ojavesinäytteet.....	29
	3.2 Tulokset ja johtopäätökset.....	30
4	KUORMITUS JA AINETASE.....	31
	4.1 Pistekuormitus.....	31
	4.2 Laskeuma.....	32
	4.3 Metsätalous.....	32
	4.4 Metsäojitus.....	33
	4.4.1 Metsälannoitus.....	33
	4.4.2 Metsänuudistaminen, avohakkuu ja maanmuokkas.....	34
	4.5 Maatalous.....	35
	4.6 Haja-asutus.....	35
	4.6.1 Asetus haja-asutuksen jätevesien käsittelystä ja sen vaikutus.....	36
	4.6.2 Haja-asutus Pannujärven valuma-alueella.....	36

4.7	Perushuuhtouma.....	38
4.8	Luonnonhuuhtouma	38
5	KOKONAISRAVINNEKUORMITUKSEN LASKEMINEN	40
5.1	Käytetyt laskutavat	40
5.1.1	Rekolaisen malli.....	40
5.1.2	Bilaletdinin malli.....	41
5.1.3	KUSTAA-työkalu vesistökuormituksen laskentaan	42
5.1.4	Pannujärven kuormitus KUSTAA-järjestelmän mukaan.....	42
5.1.5	Pannujärven kuormitus kirjallisuuden kuormituskertoimien perusteella	43
5.2	Valuma-alueelta tulevan kuormituksen vertailua	43
5.3	Kuormituksen jakautuminen eri kuormituslähteisiin.....	44
5.4	Ojien ainevirtaama ja lähivaluma-alueen kuormitus	46
5.5	Pannujärven kokonaisfosforikuormitus Friskin kaavan mukaan.....	46
5.6	Kuormitusmallien vertailua	47
5.7	Fosforin ja typen poistuma	47
5.8	Pannujärven sisäinen kuormitus ja ravinteiden sitoutuminen sedimenttiin	48
5.9	Vaarallinen ja sallittava pintakuormitus	48
5.10	Pannujärven ainetase.....	49
6	PANNUJÄRVEN KUORMITUKSEN MUUTOKSISTA	51
6.1	Kuormituslaskelman tulokset ja vertailua.....	51
6.2	Johtopäätökset.....	51
7	HERKKYYSANALYYSI.....	53
7.1	Tulosten epävarmuuden arviointi	53
7.2	Johtopäätökset.....	54
	LÄHTEET	55
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Pannujärven valuma-alue	s. 12
Kuvio 2. Pannujärven pohjavesialue	s. 13
Kuvio 3. Pannujärven happipitoisuuden muutokset talvisin	s. 14
Kuvio 4. Pannujärven happipitoisuuden muutokset kesäisin	s. 15
Kuvio 5. Pannujärven kokonaisfosforin kehitys	s. 16
Kuvio 6. Pannujärven kokonaistypen kehitys	s. 17
Kuvio 7. Pannujärven alkaliniteetti-pitoisuudet	s. 18
Kuvio 8. Pannujärven pH-muutokset	s. 19
Kuvio 9. Pannujärven sameuden muutoksia	s. 20
Kuvio 10. Pannujärven kiintoaineen muutokset	s. 21
Kuvio 11. Pannujärven värin muutokset	s. 22
Kuvio 12. Pannujärven kemiallinen hapenkulutus	s. 23
Kuvio 13. Pannujärven sähkönjohtavuuden vaihtelu	s. 24
Kuvio 14. Sulkasääskien toukkien tiheys Pannujärvessä	s. 25
Kuvio 15. Pannujärven ojat	s. 27
Kuvio 16. Veitsijärvenojan valuma-alue	s. 28
Kuvio 17. Veitsijärvi ja ojat	s. 29
Kuvio 18. Fosforin vertailua	s. 44
Kuvio 19. Typen vertailua	s. 44
Kuvio 20. Fosforin jakautuminen eri kuormituslähteisiin	s. 45
Kuvio 21. Typen jakautuminen eri kuormituslähteisiin	s. 45
Kuvio 22. Pannujärven ainetase	s. 50

Taulukko 1. Järven rehevyystaso	s. 15
Taulukko 2. Järven luokitus alkaliniteetin perusteella	s. 17
Taulukko 3. Vesistöjen pH-luokittelu	s. 18
Taulukko 4. Sameus vesistöissä	s. 19
Taulukko 5. Kiintoaineen luokitus	s. 20
Taulukko 6. Vesistöjen väriluokitukset	s. 21
Taulukko 7. Kemiallisen hapenkulutuksen luokitukset	s. 22
Taulukko 8. Sähkönjohtavuuden luokitus	s. 23
Taulukko 9. Tuloksia Veitsijärvenojan suulta	s. 30
Taulukko 10. Laskeuma Pannujärvessä	s. 32
Taulukko 11. Ojituksista aiheutuneet kuormitukset	s. 33
Taulukko 12. Hakatut metsäalat Pannujärven valuma-alueella	s. 34
Taulukko 13. Hakkuiden kuormitukset valuma-alueella	s. 35
Taulukko 14. Vuorokauden kuormituksen määrä yhdelle henkilölle	s. 36
Taulukko 15. Asutuksen jakautuminen Pannujärven valuma-alueella	s. 37
Taulukko 16. Haja-asutuksen kuormitus vesistöön	s. 37
Taulukko 17. Haja-asutuksen kuormituksen suuruus	s. 38
Taulukko 18. Perushuuhtouman suuruus	s. 38
Taulukko 19. Luonnonhuuhtouman suuruus	s. 39
Taulukko 20. Laskuissa tarvittavat luvut ja kuormituksen tulokset	s. 41
Taulukko 21. Kuormituksen suuruus Kustaa-työkalulla	s. 43
Taulukko 22. Pannujärven kuormitus kuormituskertoimien perusteella	s. 43
Taulukko 23. Kaukovaluma-alueen kuormitus	s. 46
Taulukko 24. Kokonaiskuormitus Friskin kaavan mukaan	s. 47
Taulukko 25. Fosforin pidättymiskerroin Pannujärvessä	s. 48
Taulukko 26. Pannujärven vaarallinen ja sallittava pintakuormitus	s. 49

Taulukko 27. Tuloksien vertailua	s. 51
Taulukko 28. Herkkyysanalyysin tulokset	s. 53

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Pannujärven korkeuksista**LIITE 2.** Veitsijärvenojan suun näytteiden tuloksia

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön kohteena oleva Pannujärvi sijaitsee Hämeenlinnassa, Tuuloksen kaupunginosassa ja sen tila on vaihdellut vuosien varrella. Pannujärvi on kohtalaisen syvä, harjualueen järvi ja se kuuluu Kokemäenjoen valuma-alueeseen. Pannujärven kuormitusselvitys, tehtiin Hämeenlinnan kaupungille Pakka-hankkeeseen, jonka kohteena on Pannujärvi, Kankaistenjärvi ja Katumajärvi sekä Myllyoja.

Pannujärven tilaa on seurattu 1970-luvulta alkaen, etenkin valtion ympäristöhallinnon toimesta. Sade ja valunta vaikuttavat ravinnemääriin, koska näiden avulla ravinteet kulkeutuvat järveen. Kuormitus ei yleensä aiheuta välitöntä muutosta, vaan järvi pyrkii säilyttämään tasapainotilan mahdollisimman pitkään. Järven tila heikkenee voimakkaasti, kun sen kriittinen kuormitus ylittyy. Huonontuneen happitilanteen, näkösyvyyden heikentymisen ja kasvaneen sameuden seurauksena, järven tilaa on luokiteltu tyydyttäväksi. /7/

Järven sisäinen kuormitus aiheutuu lisääntyneestä ravinnemäärästä, jonka seurauksena happea ei riitä pohjaan painuvan materiaalin hajottamiseen. Tämä johtaa happikatoon ja se saa järven pohjan sedimentistä irtoamaan ravinteita veteen. Suuri lämpötilakerrostuneisuus kesällä ja pohjanläheisessä vedessä kohonneet rauta-, typpi- ja fosforipitoisuudet horjuttavat järveä ekologista tasapainoa. Fosforikuormitus on suurin vaikuttaja järven rehevyyden kannalta. Järvi on ollut alun alkaen kirkas, mutta soiden ojituksen myötä siihen on kulkeutunut humusta. /6/

Kuormituslaskelmat tehtiin Bilaletdinin mallin ja Kustaa-työkalun avulla. Rekolaisen malli ei soveltunut laskentaan, koska se painottuu maatalouden kuormituksen laskentaan, jota Pannujärven valuma-alueella ei ole. Laskelmien avulla saatiin Pannujärveen kohdistuvat fosforin ja typen kuormitukset. Järveen tulevat ja lähtevät kuormitukset erosivat toisistaan niin, että tuleva ravinnemäärä on suurempi kuin lähtevä. Vesistöön jäävä ravinnekuorma vaikuttaa järven tilaan negatiivisesti.

2 TUTKIMUSALUEEN KUVAUS

2.1 Historia

Pannujärvi sijaitsee harjumaastossa, noin 25 km päässä Hämeenlinnasta ja kuuluu Kanta-Hämeen maakuntaan. Pannujärven pinta-ala on 36,21 ha ja tilavuus 1,4 miljoonaa m³. Viipymä järvessä on 1,2 vuotta ja veden vaihtuminen on hidasta, joka ilmeisesti tapahtuu pääasiassa pohjaveden kautta. Pannujärvi kuuluu Kokemäenjoen vesistöalueeseen ja siellä se luokitellaan keskikokoiseksi järveksi. Ympäristövastuualueeltaan Hämeen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen ja vesienhoitoalueeltaan Kokemäenjoen-, Saaristonmeren- ja Selkämeren alueeseen. /5/

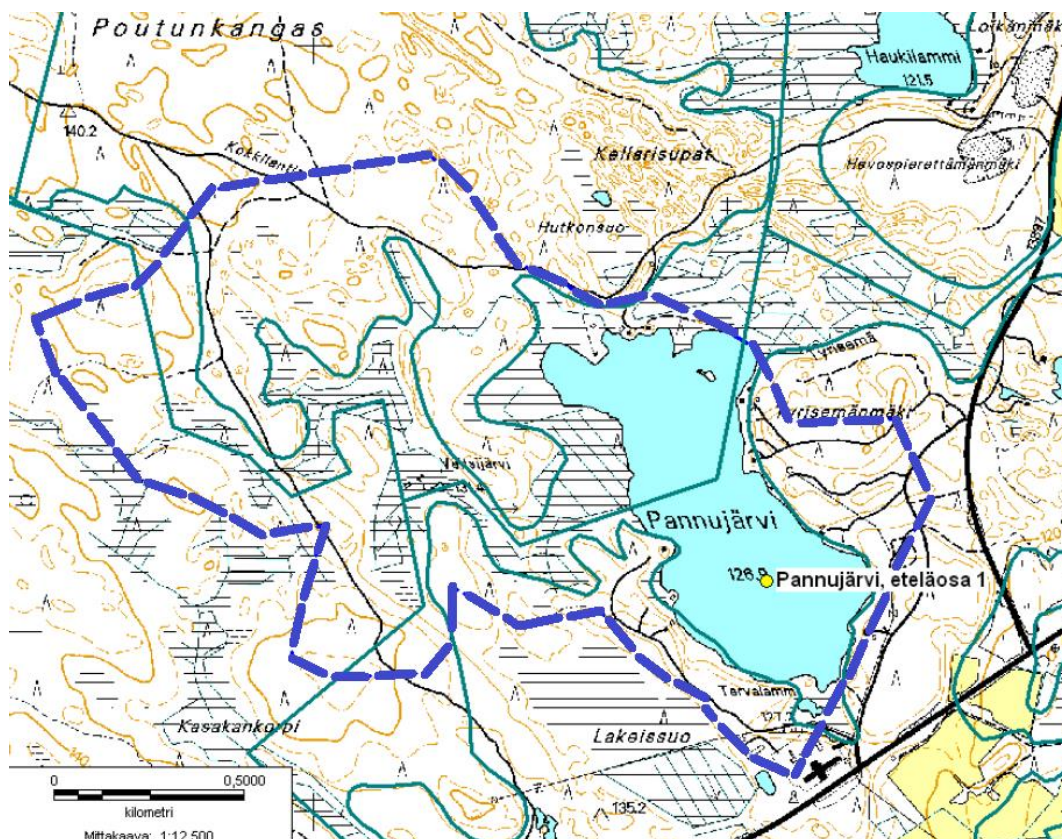
Pannujärvi on aiemmin ollut karu ja kirkas järvi, mutta sameutunut humuksesta, jota on kulkeutunut siihen ojituksista ja maanmuokkauksista. Etenkin kiintoaine, typpi- ja fosforipitoisuudet ovat kohonneet huomattavasti. Järven rannat ovat suurimmaksi osaksi hiekkapohjaisia, mutta ajoittain leväkukinnot haittaavat virkistyskäyttöä. Tutkimustulosten nojalla järven tila arvioitiin tyydyttäväksi. /3/

2.2 Valuma-alue ja pohjavesialue

Valuma-alue on kooltaan 245,1 ha, joka on kuvattuna kuvassa 1. Korkeus merenpinnan yläpuolelta on 126,9 m mpy. Valuma-alue voidaan jakaa kolmeen alueeseen. Veitsinjärvenojan valuma-alue sijaitsee järven länsipuolella (98,9 ha), yksi osavaluma-alue on järven pohjoispuolella (111,5 ha) ja kolmas järven itä- ja eteläpuolella (34,7 ha). Veitsijärvestä vesi valuu Veitsijärvenojaa myöten Pannujärveen, josta vesi laskee Tyrisevänojaan ja sitä myöten idän suuntaisesti Kuivalammen, Pauniojaan, Pohjoistenjokeen ja lopuksi Suolijärveen. Pannujärven vedet valuvat siis kohti Suolijärveä, mutta sinne asti vettä virtaa lähinnä tulvatilanteessa. /3/

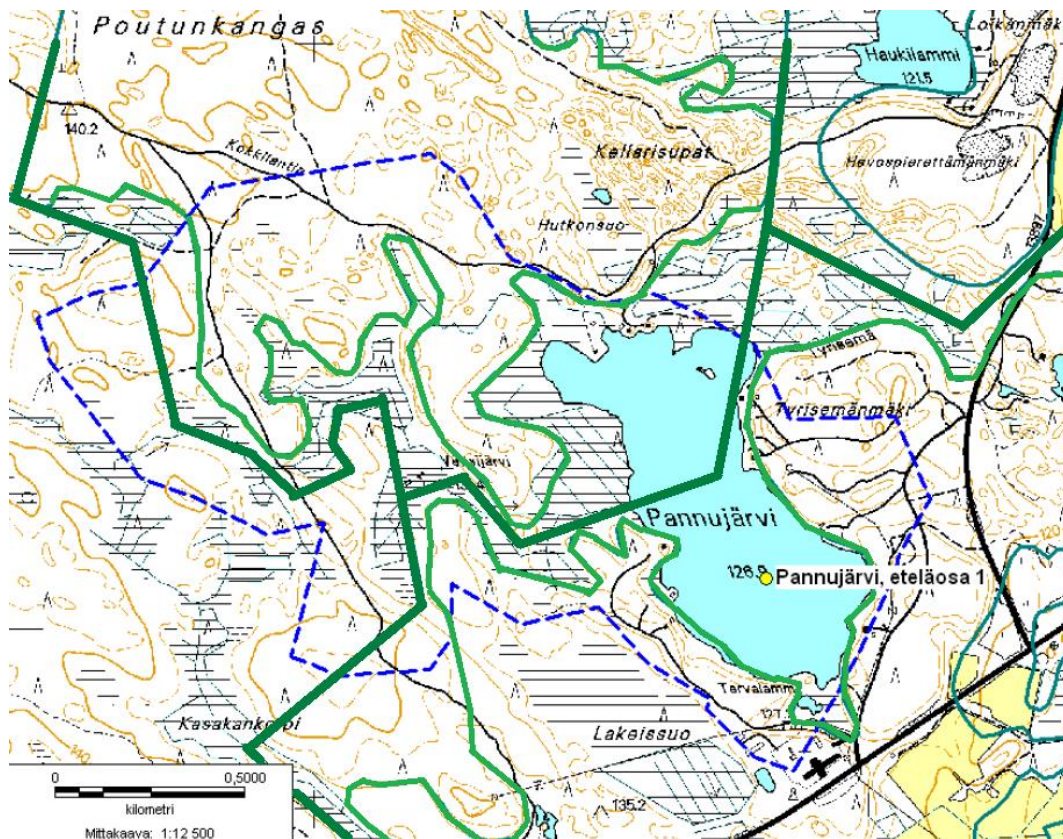
Veitsijärven valuma-alueelta huuhtoutuva fosfori- ja typpikuorma kattaa suurimman osan valuma-alueelta tulevasta kuormituksesta. Tähän vaikuttaa osaltaan se, että valuma-alueella virtaava vesimäärä on paljon suurempi. Kuitenkin pitoisuudet

ovat veitsijärvenojan alueella selkeästi muita oja korkeampia. Valtaosa valumavesistä kulkeutuu Pannujärveen Veitsijärvenojan kautta, mikä saattaa vaikuttaa pitoisuuksien suuruuteen. Pohjoispuolen sekä itä- ja eteläpuolen valuma-alueet ovat pääasiassa pelkkää metsää ja niiden kuormitukset ovat huomattavasti pienemmät kuin Veitsijärvenojan valuma-alueen kuormitus. /1/



Kuvio 1. Pannujärven valuma-alue. /6/

Pannujärvi sijaitsee kokonaan pohjavesialueella, jossa sen eteläpää kuuluu Kuiva-harjun III luokan pohjavesialueeseen. Siellä on runsaasti rauta- ja mangaanisaostumia kivisissä soraleikkauksissa ja esiintyy ruosteisuutta. Pohjoispää kuuluu Poutunkankaan II luokan pohjavesialueeseen, jossa pohjavesi kulkeutuu Poutunjärveen. Pannujärven pohjavesialueen rajat on esitettyä kuvassa 2. /1/



Kuvio 2. Pannujärven valuma-alue sinisellä sekä vihreällä pohjavesialueiden ja niiden muodostumisalueiden rajat. /6/

2.3 Pannujärven vedenlaatu ja tehdyt tutkimukset

Pannujärveä on tutkittu 1970-luvulta lähtien. Näytteitä on otettu kerran vuonna 1975, kaksi kertaa vuonna 1987 ja säännöllisemmin näytteitä on otettu 2004-luvulta lähtien. Näytteenottoa järvellä on suorittanut Pirkanmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, Hämeenlinnan kaupunki ja Uudenmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. /3/

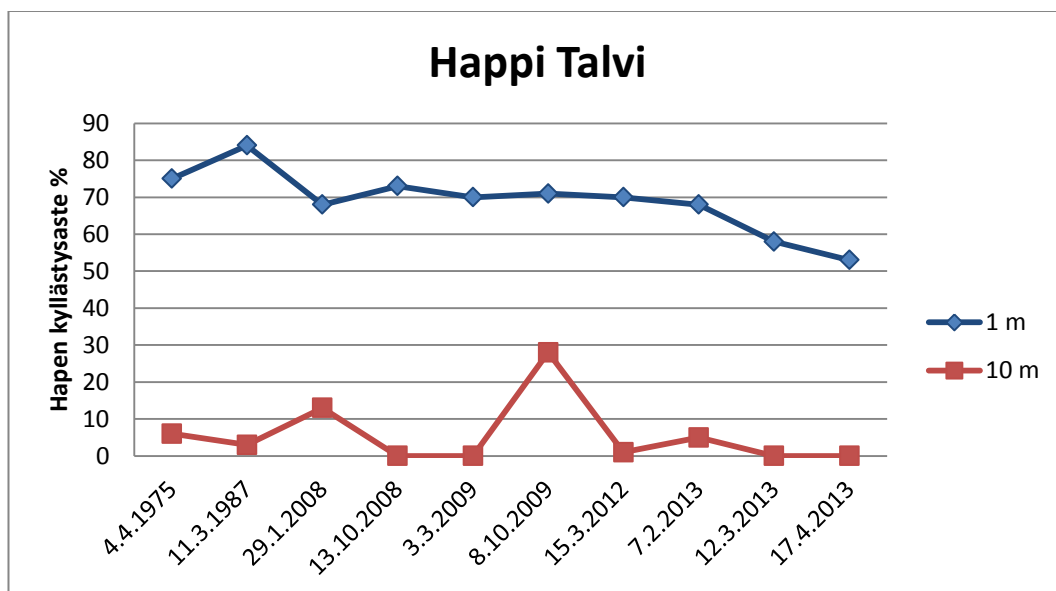
Pannujärven uimaveden laatua tarkkaillaan vuosittain kaksi viikkoa ennen uintikauden alkua, sekä kolmasti uimakauden aikana. Tämän lisäksi näytteenoton yhteydessä arvioidaan astinvaraisesti kiinteiden aineiden näkyvyys veden pinnalla, sekä jätteiden ja roskien esiintyminen vedessä. Vuodesta 2011 asti uimaveden laatu on kuitenkin luokiteltu erinomaiseksi. /16/

Kasviplankton tutkimuksia on tehty vuosina 1997–1998 ja vuonna 2009 seitsemän kertaa. Tutkimuksissa on havaittu limalevää, sinilevää, nieluleviä sekä kulta- ja piileviä. Eläinplankton on tutkittu vuonna 1998. /3/

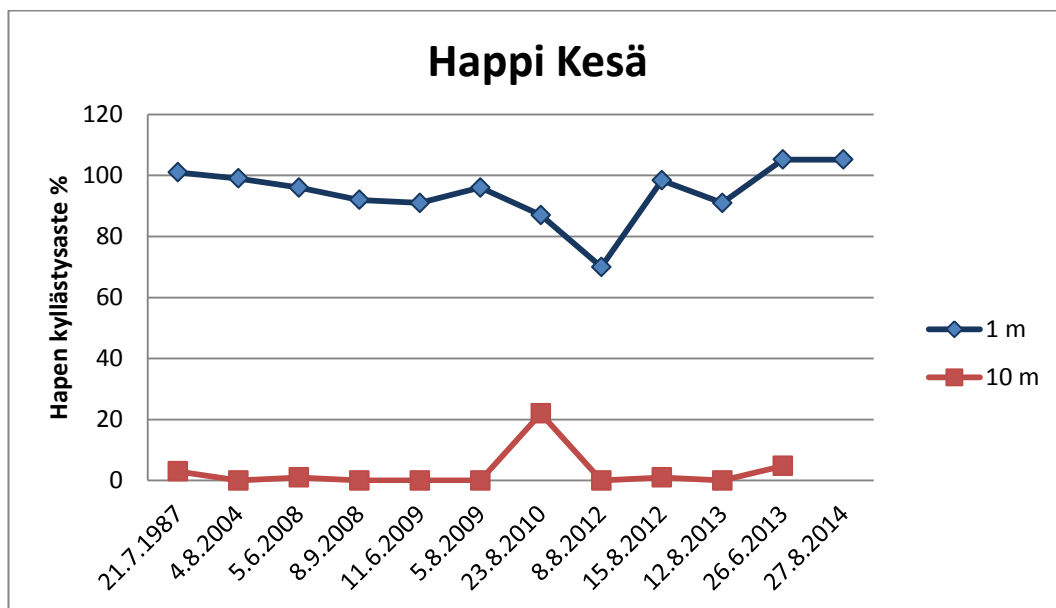
2.3.1 Happipitoisuus

Järven rehevöitymiseen vaikuttaa suuri ulkoinen kuormitus vesistöön, joka johtaa sisäiseen kuormitukseen ja happivajeeseen alusvedessä. Näytteiden otossa on havaittu kuudesta metristä alaspäin erittäin vähähappista vettä. Pohjan tuntumassa ei happea ole ollut juuri ollenkaan. Happitilannetta talvella ja kesällä on esitetty kuvissa 3 ja 4. Pohjan tuntumassa olevan veden hapettomuus johtaa kokonaisfosforipitoisuuden kasvuun pohjalla. Varsinkin loppukesäisin pintaveden kokonaisfosforipitoisuus on ollut korkea. /6/

Talvisin pinnan happipitoisuus on korkeimmillaan ollut 84 % ja laskenut 53 % tasolle. Kesäisin happipitoisuus pinnassa on ollut selvästi korkeampi, kun on saatu yli 100 % lukemia ja lukemat eivät ole laskeneet alle 80 % yhtä lukemaa lukuun ottamatta. Pohjan pitoisuudet sen sijaan ovat lähes hapettomia, niin kuin talvenkin pohjan pitoisuudet.



Kuvio 3. Pannujärven happipitoisuuden muutokset talvisin.



Kuvio 4. Pannujärven happipitoisuuden muutokset kesäisin.

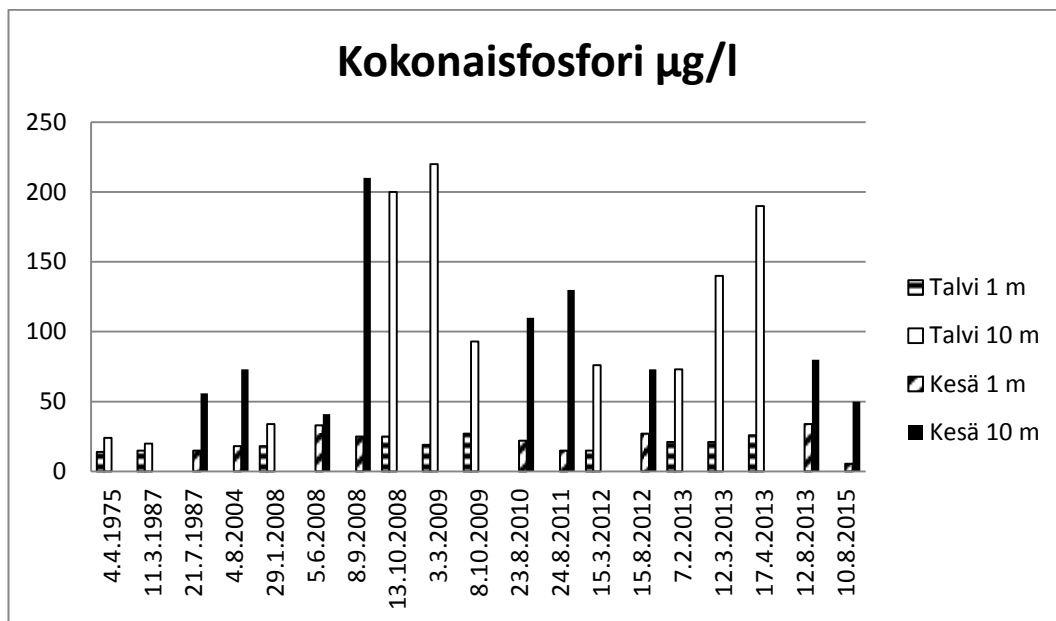
2.3.2 Minimiravinne ja ravinnepitoisuus

Minimiravinne voidaan määrittää epäsuorasti pintavesien ravinnepitoisuuksia ja -suhteita tarkastelemalla. Kokonaisravannesuhde on kokonaistyyppipitoisuuden osamäärä kokonaisfosforipitoisuudesta. Jos lukema on yli 17, niin fosfori rajoittaa leväkasvua ja jos lukema on alle 10, niin minimiravinteena on typpi. Suhteen arvon osuessa 10–17 väliin, kumpikin ravinteista voi säädellä levän kasvua. Fosfori on yleensä sisävesien minimiravinne ja Pannujärvenkin minimiravinne on fosfori kokonaisravannesuhde-laskelman perusteella. Taulukosta 1 nähdään järven rehevyystaso. /14/

Taulukko 1. Järven rehevyystaso fosfori- ja tyyppipitoisuuksien perusteella. /17/

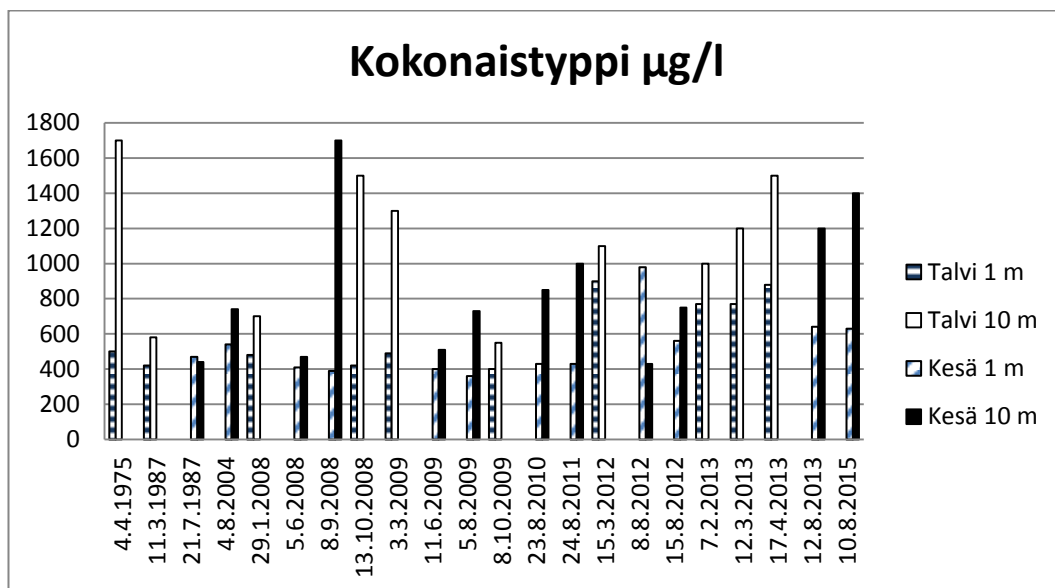
Kok. Fosfori µg/l	Kok. Typpi µg/l	Rehevyysluokka
> 5	> 400	Ultraoligotrofinen
5–10	400–800	Oligotrofinen
10–30	800–1300	Mesotrofinen
30–100	1300–2700	Eutrofinen
< 100	> 2700	Hypereutrofinen

Kokonaisfosfori tarkoittaa eri fosfori-muotojen kokonaismäärää vedessä. Fosfori, jonka kemiallinen merkki on P, sedimentoituu järven pohjaan rautaan sitoutuneena normaalihappisessa järvessä. Kun järven pohjasta happi kuluu loppuun, vapautuu sieltä sinne sitoutunut fosfori. Pannujärven kohdalla voidaan havaita korkeat kokonaisfosforipitoisuudet pohjassa ja hapettomuus alusvesissä. Pannujärven kokonaisfosfori muutokset on esitetty kuvassa 5. /12/



Kuvio 5. Pannujärven kokonaisfosforin kehitys.

Kokonaistyyppi kuvaa kaikkia typen orgaanisia ja epäorgaanisia esiintymismuotoja. Typen kemiallinen merkki on N ja typpipitoisuudet ovat korkeammat humuspitoisissa, kuin kirkkaissa vesissä. Typpipitoisuutta nostaa pohjaveden hapettomuus, joka myös havaitaan Pannujärvessä. Tämä aiheutuu ammoniumin vapautumisesta pohjalietteestä happikadon seurauksena. Kuvassa 6 on kuvattuna Pannujärven kokonaistypen pitoisuudet. /12/



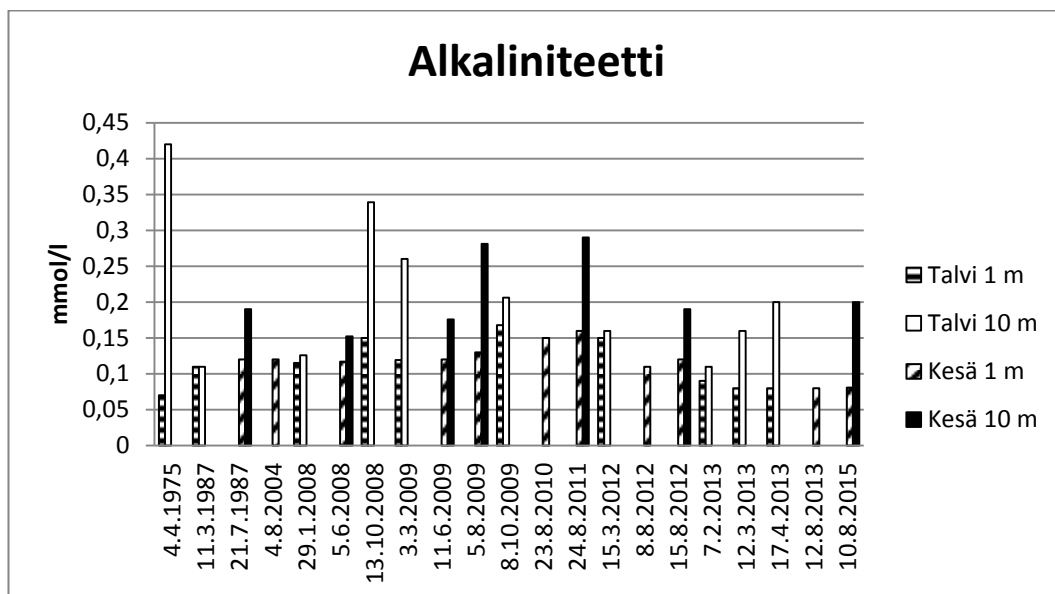
Kuvio 6. Pannujärven kokonaistyyppien kehitys.

2.3.3 Alkaliniteetti ja pH

Alkaliniteetti tarkoittaa veden kykyä vastustaa pH:n muutosta eli puskurikykyä. Suomen vesistöjen puskurikyky on huono. Puskurikyky riippuu vesistön valuma-alueesta. Alttiimpia happamoitumiselle ovat karut, kallioiset, ohuen moreenikerroksen valuma-alueen järvet ja peltoisuus vähentää happamoitumisriskiä. Taulukosta 2 nähdään järven luokitukset alkaliniteetin perusteella. Happamoituminen vesistöissä näkyy ensin alkaliniteetin laskuna ja sen jälkeen pH:n muutoksena. Pannujärven alkaliniteetin pitoisuudet on kuvattuna kuvassa 7. /17/

Taulukko 2. Järven luokitus alkaliniteetin perusteella. /17/

Pitoisuus mmol/l	Luokitus	Happamoitumisaste
> 0,2	erinomainen	erittäin hyvin puskuroitu
0,11–0,2	hyvä	hyvin puskuroitu
0,051–0,1	tydyttävä	happamoitumassa
0,011–0,05	välttävä	happamoitunut
< 0,01	huono	voimakkaasti happamoitunut

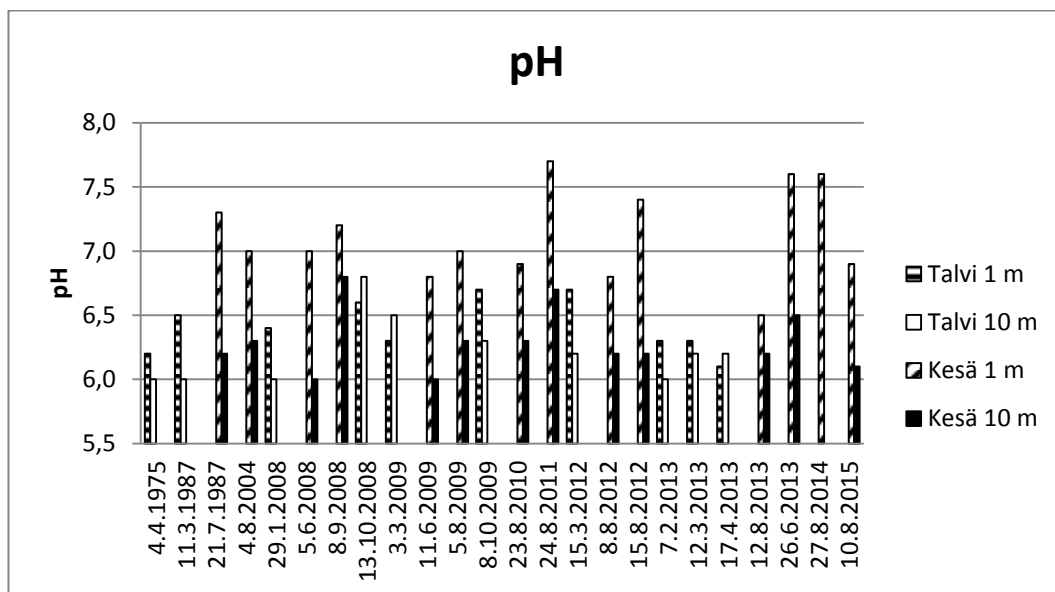


Kuvio 7. Pannujärven alkaliniteetin pitoisuudet.

Happamuusaste eli pH-arvo, kuvaa vedessä olevien vapaiden vetyionien määrää. Nämä vetyionit aiheuttavat veden happamuuden. Normaalisti veden pH on lähellä neutraalia (pH 7) ja Suomen vesistöissä pH on yleensä 6,5–6,8 välillä. Talvella pH on yleensä hieman alhaisempi ja kesällä korkeampi, mikä johtuu levätuotannon vaikutuksista. Taulukosta 3 nähdään vesistöjen pH pitoisuudet ja luokittelu. Pannujärven pH-muutokset kuvassa 8. /17/

Taulukko 3. Vesistöjen pH luokittelu. /17/

Pitoisuus pH	Luokitus
> 7	emäksinen
7	neutraali
< 7	hapan
6,5–6,8	lievästi hapan, Suomen vesistöissä tyypillinen arvo
6,0–8,0	vesieliöstö sopeutunut elämään tällä tasolla
< 5,5	särjen ja lohikalojen lisääntyminen häiriintyy



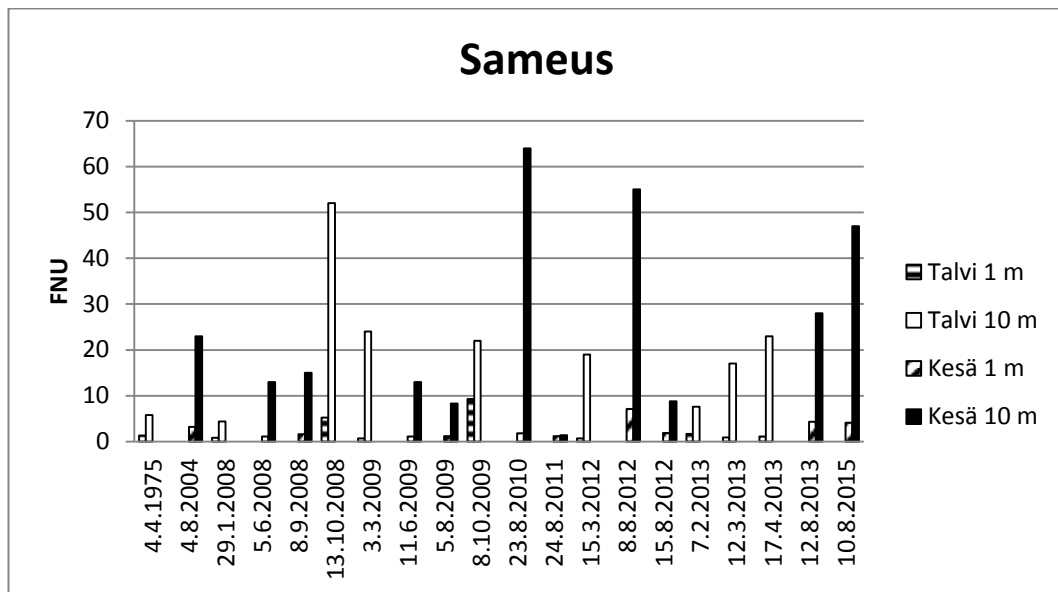
Kuvio 8. Pannujärven pH-muutokset.

2.3.4 Sameus, kiintoaine ja väri

Sameus kuvaa kirjaimellisesti vedessä esiintyvää sameutta, joka on jokivesissä suurempaa kuin järvissä. Sameuden pitoisuudet ja luokittelut on esitettyinä taulukossa 4. Sameus Pannujärvessä nähdään kuvasta 9. Pannujärven näkösyvyys on vaihdellut viimeisten vuosien aikana 1,3–2,6 m. 1980-luvulla vesi on ollut kirkkaampaa, jolloin näkösyvyudeksi saatiin 3 m. /6/

Taulukko 4. Sameus vesistöissä. /17/

Pitoisuus FTU	Luokitus
< 1	kirkas
1–5	lievästi samea
> 5	silminnähdyn samea

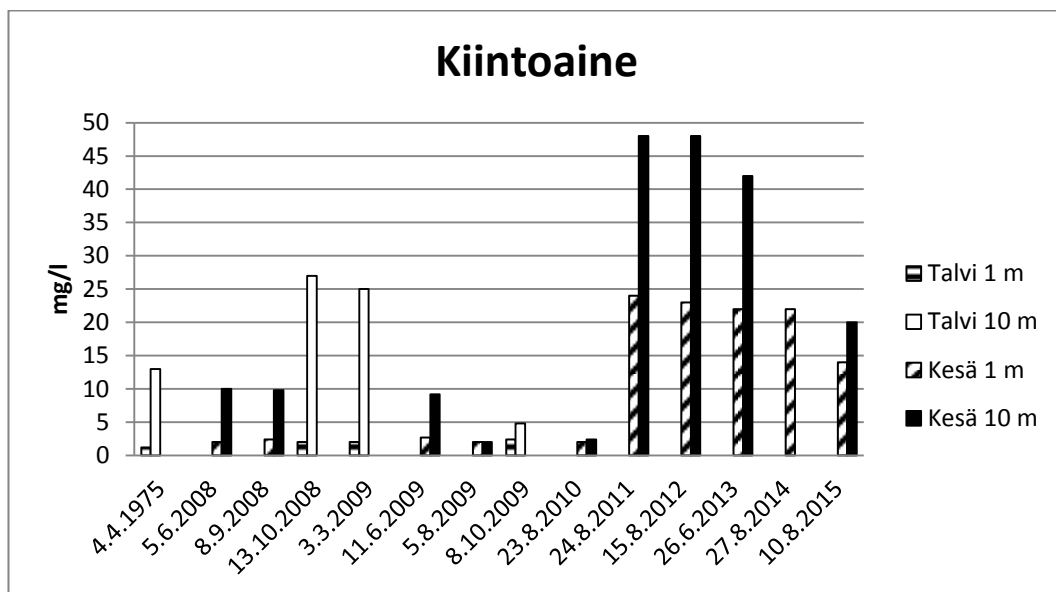


Kuvio 9. Pannujärven sameuden muutoksia.

Kiintoaines on vedessä olevaa hiukkasmaista ainesta, jota muodostuu jätevesistä, levistä ja eroosiosta. Sen pitoisuudet ovat suurimmillaan ennen ensimmäistä kevättulvaa ja pienimmillään talvella. Kiintoaineen luokitukset ovat taulukossa 5 ja Pannujärven kiintoaineen muutokset ovat esillä kuvassa 10. /17/

Taulukko 5. Kiintoaineen luokitus. /17/

Pitoisuus mg/l	Luokitus
< 1	kirkas
1–3	avovesiaika
< 25	ei haittaa kalastolle



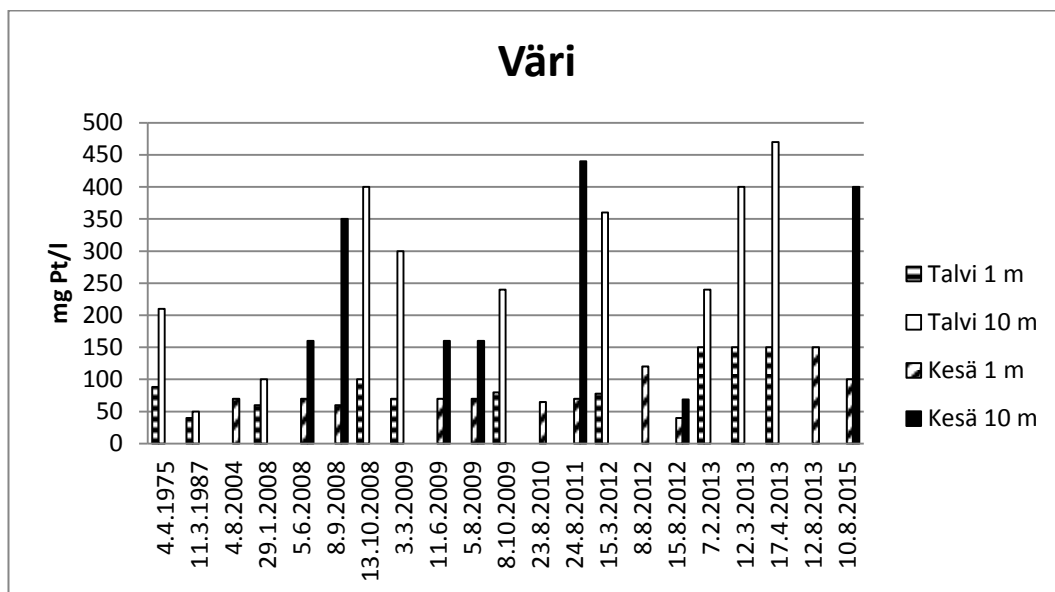
Kuvio 10. Pannujärven kiintoaineen muutokset.

Vesistöjen väriin vaikuttavat valuma-alueilta huuhtoutuvat aineet, kuten rauta ja humus. Humuksesta aiheutuva ruskea väri on yleistä Suomen vesistöissä. Myös sademäärät vaikuttavat väriarvoihin: sateet lisäävät ja kuivat kaudet laskevat väriarvoja. /17/

Pannujärven väri on tummentunut vuosien mittaa. Kesällä 2010 veden väri oli ruskea ja kesällä 2011 vielä ruskeampi. Veden pinnalla on ollut havaittavissa humussävyä. Taulukossa 6 nähdään vesistöjen väriluokitukset ja kuvassa 11 Pannujärven värin muutokset näytteissä. /9/

Taulukko 6. Vesistöjen väriluokitukset. /17/

Pitoisuus mg Pt/l	Luokitus
< 15	väritön
20–40	lievästi humuspitoinen
40–100	humuspitoinen
> 100	erittäin humuspitoinen



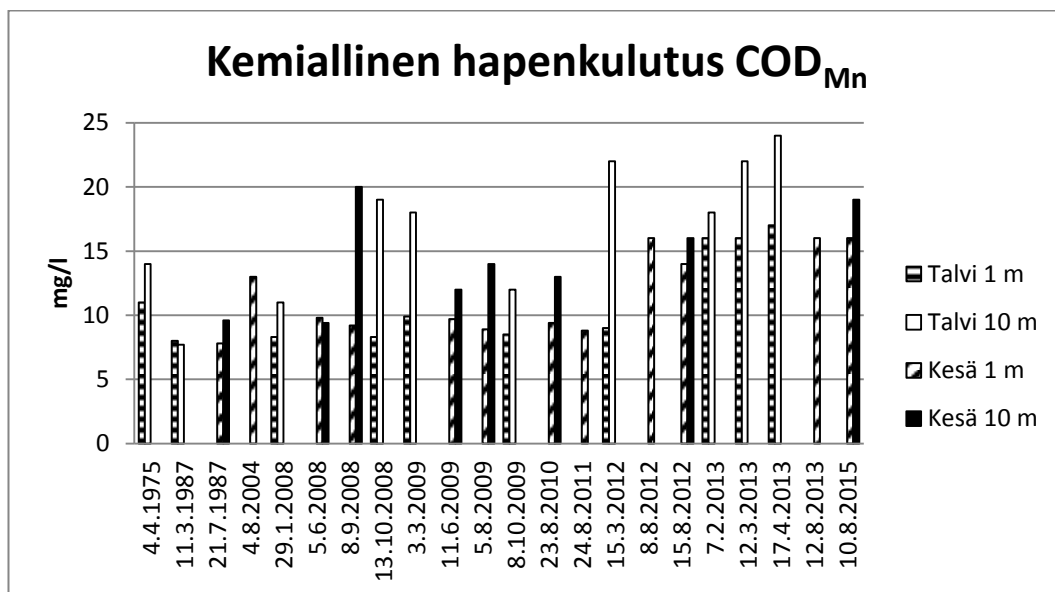
Kuvio 11. Pannujärven värin muutokset.

2.3.5 Kemiallinen hapenkulutus eli COD_{Mn} ja sähkönjohtavuus

Kemiallinen hapenkulutus kuvaa vedessä olevan hapettuvan aineen määrää. Tämä tarkoittaa vesistöissä olevaa humusta, jätevettä, maatalouden päästöjä ja luonnonhuuhtoumaa. Kemiallisen hapenkulutuksen luokitukset nähdään taulukosta 7 ja Pannujärven pitoisuudet on esitettyinä kuvassa 12. /17/

Taulukko 7. Kemiallisen hapenkulutuksen luokitukset. /17/

Pitoisuus mg/l	Luokitus
< 4	niukkahumuksinen
4–10	vähähumuksinen
10–20	keskihumuksinen
> 20	runsashumuksinen

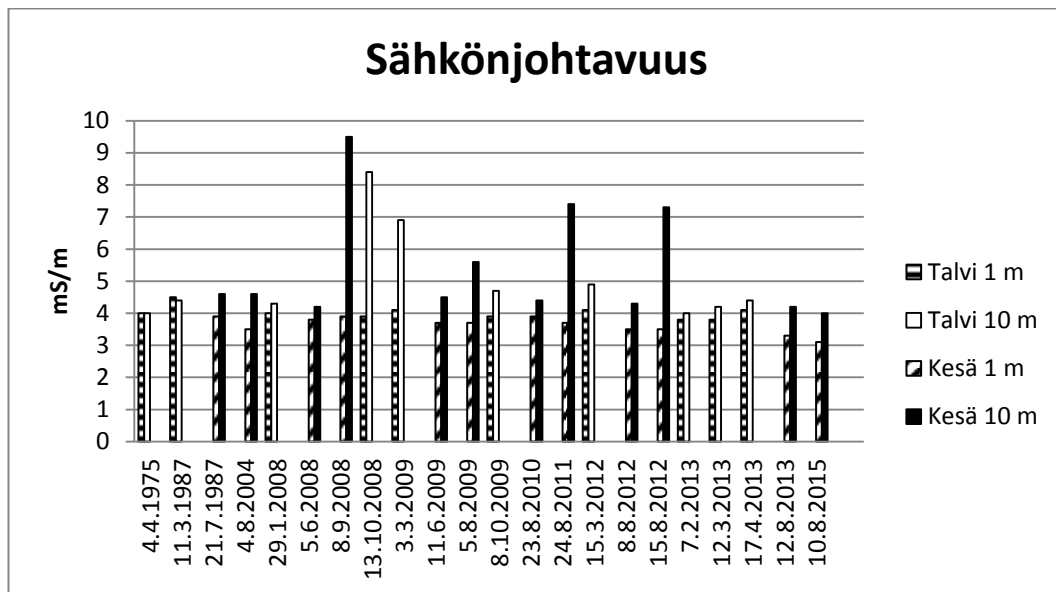


Kuvio 12. Pannujärven kemiallinen hapenkulutus.

Sähkönjohtavuudella tarkoitetaan veteen liuenneiden suolojen määrää. Sähkönjohtavuuden arvon ollessa suuri, suolapitoisuuskin on korkea. Tätä lisäävät sisävesissä natrium, kalium, kalsium, magnesium sekä kloridit ja sulfaatit. Sähkönjohtavuuden luokitukset on esitetty taulukossa 8 ja Pannujärven sähkönjohtavuuden pitoisuuksien muutokset on kuvassa 13. /17/

Taulukko 8. Sähkönjohtavuuden luokitus. /17/

Pitoisuus mS/m	Luokitus
< 5	alhainen johtokyky
5–10	sisävedet
50–100	jätevedet



Kuvio 13. Pannujärven sähkönjohtavuuden vaihtelu.

2.4 Järvisedimentin tila

Pannujärven pohjan sedimentti on erityisen pehmeää. Vuoden 2012 tehdyn kaiku-
luotauksissa havaittiin, että järven alkuperäisen pohjan päälle on muodostunut 1–3
m paksuinen uusi, hyvin löysästä aineksesta muodostunut labiili pohja. Tämä kas-
vattaa sulkasääsken määrää, koska ne pystyvät hyödyntämään pohjan paksua ker-
rosta sedimenttihabitaattina. /11/

Vanajavesikeskus on pyytänyt tarjouksen Kokemäenjoen vesistön vesiensuojelu-
yhdistykseltä Pannujärven sedimenttinäytteenotosta. Selvitys on tarkoitettu Pak-
ka-hankkeen tukemiseksi, jonka avulla saataisiin selville Pannujärven kuormitus-
historian pääpiirteet, nykyinen sedimentaationopeus, pintasedimentin ravinne- ja
orgaanisen aineen määrä sekä merkitys sisäisen kuormituksen lähteenä. KVVY
tarjouksen hyväksyntä on vuoden 2015 loppuun mennessä.

2.4.1 Sulkasääskitutkimus

Sulkasääsket viihtyvät pimeässä ja vähähappisessa, humuspitoisessa alusvedessä,
jossa niiden toukat pystyvät suojautumaan kalojen saaliiksi joutumiselta. Sul-
kasääsken toukat ovat petoja, jotka syövät eläinplanktonia. Suurina määrinä nämä

säätävät eläinplanktonin määriä ja voivat voimistaa sinileväkukintoja. Sulkasääskien toukkien tiheys on esitetty kuvassa 14, joka on vuodelta 2012. /11/

Kesällä 2012 tehdyn tutkimuksen mukaan Pannujärven sulkasääskimäärä oli erittäin suuri. Sulkasääskiä tehokkaasti syövä kuore puuttuu järveltä kokonaan. Sulkasääskien runsaus vaikuttaa todennäköisesti myös kasvaneisiin sinileväkukintoihin, sillä sulkasääsket pitävät osaltaan pohjaa labiilina ja näin ravinteiden pääsy pintakerrokseen on todennäköisempää kuin niiden puuttuessa. Pannujärvellä runsaina esiintyvät särkikalat tonkivat nekin pohjaa ja aiheuttavat sisäistä kuormitusta. Pannujärven ekosysteemille sulkasääskillä on merkittävä vaikutus. Sulkasääskien määrän ollessa näin suuri, sen tilan parantaminen ei onnistu tehokaluksella. /11/

	Syvyys (m)	Tiheys vesipatsaassa (yks./m ²)	Tiheys sedimentissä (yks./m ²)	Tiheys yhteensä (yks./m ²)
Pannujärvi	11,1	1473*	5020	6493
	9,0	265	909	1174
	6,0	0	736	736
	4,8	5	476	476
	3,0	0	260	260

Kuvio 14. Sulkasääskien toukkien tiheys Pannujärvessä. /11/

2.5 Pannujärven vedenpinnan korkeus

Helmikuussa 2010 Pannujärven vedenpintaa on muuttanut ojan perkaus, jonka yhteydessä rakennettiin Tyrisevänojan pato. Huhtikuussa 2010 patoa vaurioitettiin luvatta, jolloin veden pinta laski nopeasti noin 60 cm. Tämä yhdistettynä kuivaan kesään on vaikuttanut negatiivisesti Pannujärven tilaan. Vaikka pohjapato korjattiin varsin pian, järvi-ekosysteemiin se ehti vaikuttaa negatiivisesti. /1/

Kuivimpina kausina vesi ei riitä Tyrisevänojan padon ylitse. Korkeusvaihteluita on seurattu toukokuusta 2009 asti. Pannujärven veden korkeusvaihtelut vuonna 2009 – 2011 on esitetty liitteessä 1.

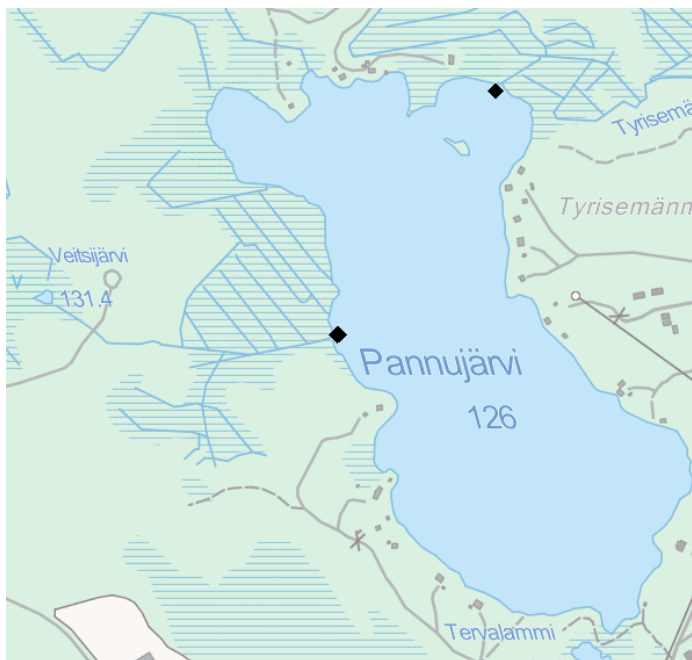
2.6 Toteutetut suojele- ja kunnostustoimet

Pannujärven vedenlaadun parantamiseksi on tehty erilaisia suojele- ja kunnostustoimia. Pannujärvelle on tehty erilaisia tutkimuksia ennen vuotta 2011. Näitä ovat kasviplankton- ja eläinplanktonitutkimus, vesikasvillisuuden selvitys ja kalastus selvitys. Alkuvuodesta 2011 käynnistyi Tuuloksen vesistöjen tilan parantaminen-hanke. Hankkeen tarkoituksena oli selvittää järvien kuntoa ja miten niihin kohdistuvaa kuormitusta pystyttäisiin vähentämään. Pannujärvi oli yksi kohteista. Pannujärven suojele- ja kunnostustoimelle saatiin hyväksyntä ja sen toteutuminen alkoi maaliskuussa 2011. /8/

Vuonna 2011 Pannujärven sisäisen kuormituksen vähentämiseksi, selvitettiin soveltuvia kunnostustoimia, kuten hapetusta. Hoitokalastus tehtiin Pannujärvelle syksyllä 2011, mutta nuottaussaalis oli vähäinen heikon happitilanteen takia. Valuma-alueen kuormitusta selvitettiin. Vuonna 2012 tehtiin sulkasääskitutkimus, josta havaittiin niiden runsaus Pannujärvestä, joka aiheuttaa tehokalastuksen kelpaamattomuuden. Suuren sulkasääskikannan oletetaan altistavan sinileväkukinnoille. Pannujärvestä otettiin vesinäytteenotto ja veden laadun mittaus. Vuonna 2013 valmistui pohjaeläimet ja sulkasääsket -selvitys Pannujärvestä. Selvitettiin valuma-aluekuormituksen vähentämistä, etenkin Veitsijärvenojan valuma-alueella. Lähetettiin hallintopakon vireillepano Etelä-Suomen aluehallintovirastoon. Pannujärvestä otettiin vesinäytteenotto ja veden laadun mittaus. Vuonna 2014 Pannujärvestä otettiin vesinäytteenotto ja veden laadun mittaus. /11/

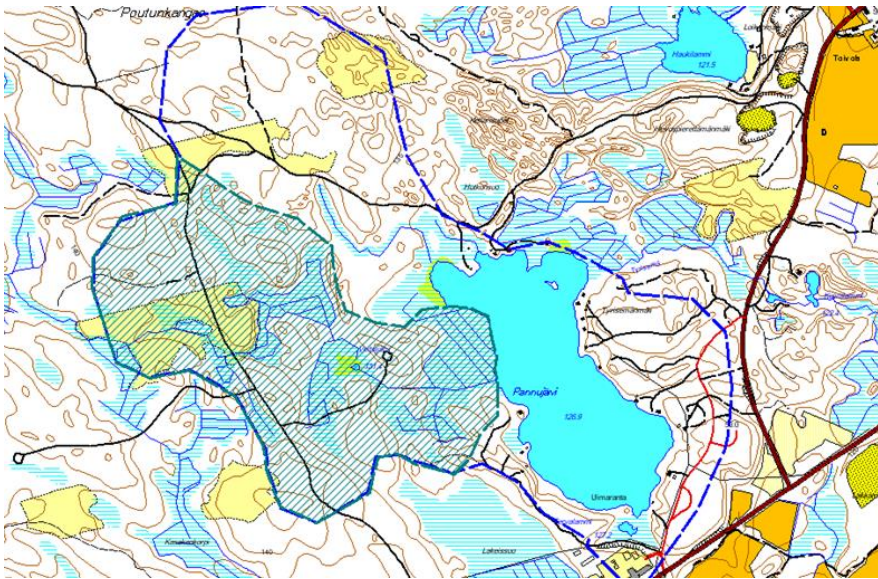
3 OJAVESITUTKIMUKSET

Veitsijärvestä vesi laskee Veitsijärvenojaa myöten Pannujärveen. Kuvaan 15 on merkitty vasemmalle puolelle Veitsijärvenoja ja Tyrisemänoja on oikealla yläkulmassa. Pannujärveen on rakennettu pohjapato, joka sijaitsee Tyrisemänojaissa. Padon tarkoituksena on pitää veden pinnan korkeus oikealla tasolla. Kuumempina aikoina veden määrä vähenee, jolloin padosta ei siirry vettä eteenpäin. Pannujärven valuma-alueesta 40 % muodostuu Veitsijärvenojan valuma-alueesta. /3/



Kuvio 15. Pannujärven ojat.

Alun perin Veitsijärven vesi on kulkeutunut Pannujärveen pohjavetenä. Metsäojituksen yhteydessä vuosina 1950–1970, kaivettiin suora yhteys Veitsijärvestä Pannujärveen. Veitsijärvenojan kulkua muutettiin vuonna 2010, kun UMP Kymmenen Oyj tukki Veitsijärvenojan yläjuoksun Pannujärven suojeluyhdistyksen toiveesta. Tästä alajuoksulle päin uoma kulkee pieneen laskeutusaltaaseen, josta vesi haarautetaan kulkemaan kahteen pääsuuntaan nk. pintavalutuksen edistämiseksi. Pääosa vedestä palaa yhä vanhan Veitsijärvenojan uoman loppuosaan. Osa vedestä laskee koilliseen laskeutusaltaaseen. Veitsijärven valuma-alueen pinta-ala on 94,37 ha ja se on esitetty kuvassa 16. /1/



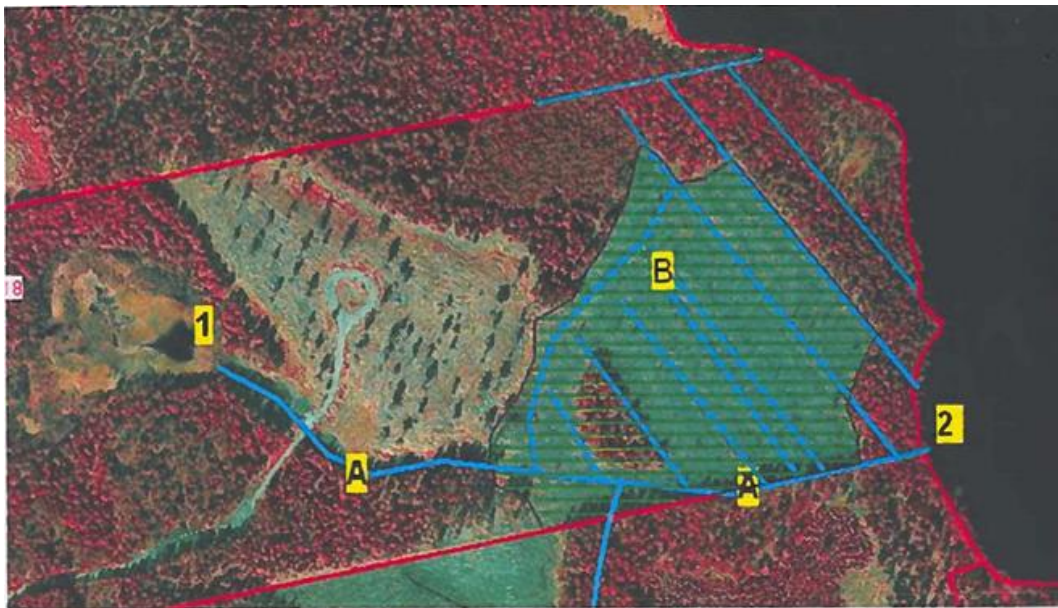
Kuvio 16. Veitsijärvenojan valuma-alue. /5/

Pannujärven rehevöityminen on alkanut 1970-luvulla, jolloin aloitettiin suo-ojitukset. 2000-luvulla Pannujärven kuormitus on lisääntynyt merkittävästi, mistä epäillään vuonna 2010 ja 2011 UPM:n tekemiä hakkuita, ojituksia ja metsänhoidollisia maanmuokkauksia Veitsijärvenojan läheisyydessä (kuva 17). Nämä ovat aiheuttaneet ravinteiden kulkeutumista Pannujärveen. Ojituksen tekoon olisi tarvittu ympäristöriskien vuoksi vesilain mukainen lupa, mitä ei ollut. /5/

UPM Kymmene Oy suoritti Pannujärven länsipuolella sijaitsevalle maa-alueelle 3,8 ha kokoisen hakkuun helmikuussa 2010 ja maanmuokkauksen ja ojituksen keuhällä 2011. Hakkuualueelle valumavesiä tulee Veitsijärven uomasta laskeutusaltaan kautta. Vanhojen ojien väliin kaivettiin neljä uutta navero-ojaa. Näistä kaksi yhdistettiin suoraan Pannujärveen valuvaan uomaan. /1/

Valuma-alueella ei ole ollut samanaikaisesti yhtä merkittäviä toimenpiteitä, jotka olisivat voineet vaikuttaa järven veden laatuun heikkenevästi. Veitsijärvenojan suulta mitatut veden fosforipitoisuudet ovat olleet erittäin korkeita. Ojavedenlaatua on tutkittu eri kohdista Veitsijärven valuma-alueelta, mutta muualla ei ole havaittu yhtä korkeita pitoisuuksia. /4/

Maanmuokkausten jälkeen on tullut järven asukkailta valituksia veden laadun heikkenemisestä. Veitsijärvenojan ja Pannujärven veden väri on muuttunut ruskeammaksi ja havaittu hajun ja laadun muutoksia. Hakkuista ja ojituksista seurasi Pannujärven ravinnekuormituksen lisääntyminen, jota edisti myös vuoden 2011 sateinen kesä. Lopputuloksena oli Pannujärven veden laadun heikkeneminen. /5/



Lähtötilanne 2008:

A) Veitsijärvenoja Veitsijärvestä (1) Pannujärveen (2). Myös sarkaojat on piirretty.

B) Hakkuualue. Vuonna 2008 alueella kasvoi kuusikko.

Kuvio 17. Veitsijärvi ja ojat. /5/

3.1 Ojavesinäytteet

Pannujärven laskevasta Veitsijärvenojasta ja sen haaroista on otettu paljon oja-vesinäytteitä, etenkin 2010 ja 2011 tehtyjen maanmuokkausten jälkeen, jolloin ravinnepitoisuudet nousivat. Liitteessä 2 on taulukoituna Veitsijärvenojan suuntuloksia ennen ja jälkeen tehtyjen maanmuokkausten. Suun näytteenottopaikka näkyy kuvassa 17 numerona 2.

Näytteiden pitoisuuksissa on huomattavissa selvä muutos 2010 tehtyjen maanmuokkausten jälkeen. Pitoisuuksien arvot nousevat ja ovat vielä elokuussa 2015

korkeita. Suurin muutos on fosforin ja typen osalta, joiden lukemat lähes kolminkertaistuvat.

3.2 Tulokset ja johtopäätökset

Veitsijärvenojan suulla on selvästi korkeammat näytteiden pitoisuudet, kuin metsätien rummusta saadut pitoisuudet. Vesinäytteenottoja on tehty muillakin näytepisteillä, mutta muualta ei ole saatu yhtä korkeita pitoisuuksia. Taulukossa 9 on esitettyä maamuokkausten jälkeen otettuja näytteiden tuloksia Veitsijärvenojan suulta. Voidaan olettaa, että maanmuokkausalueelta muodostuu merkittävästi kuormitusta, koska samoihin aikoihin ei valuma-alueella ole ollut muita kuormittavia toimenpiteitä. Veden laatu on heikentynyt selvästi tehtyjen maanmuokkausten ja ojitusten jälkeen. /4/

Veitsijärvenojan suulta mitatut kiintoainepitoisuudet keväällä 2015 olivat laskeutuneet, mutta edelleen varsin korkeita. Kokonaisfosforin, kokonaistypen ja väriluvun lukemat ovat eniten muuttuneet ja niiden arvot ovat suuremmat verrattuna muihin pitoisuuksiin.

Taulukko 9. Tuloksia Veitsijärvenojan suulta.

Näytepäivä	Kok. Fosfori µg/l	Kok. Typpi µg/l	Väriluku mg/l Pt
16.4.2010	23	880	280
28.8.2012	660	4100	830
19.10.2012	300	3400	1100
8.11.2014	210	3400	710
25.3.2015	240	5300	400
28.4.2015	72	1500	630
10.8.2015	170	2200	700

4 KUORMITUS JA AINETASE

Ravinteita on kulkeutunut paljon vesistöihin ihmistoiminnan seurauksena. Fosforilla on suurin merkitys sisävesistöissä, joka myös toimii yleensä järvien minimiravinteena. Hajakuormitus on suurin kuormittaja Suomen vesistöissä. Jätevedenpuhdistuksen kehitys on pienentänyt pistekuormitusta ja maatalous on noussut suurimmaksi hajakuormitus-lähteeksi. Järveen aiheutuva ulkoinen kuormitus tulee sinne laskevien uomien ainevirtaamista, sen lähivaluma-alueen hajakuormituksesta, luonnonhuuhtoumasta sekä suoraan ilmasta tulevasta laskeumasta. Kuormituslaskelmaa varten tulee selvittää järven valuma-alueen pinta-ala ja sieltä tuleva kuormitus (pistekuormitus, luonnonlaskeuma, huuhtouma ja hajakuormitus). Hajakuormitus kattaa haja-asutuksen, metsätalouden, sekä maatalouden aiheuttaman kuormituksen. /12/

Pannujärveä kuormittavia tekijöitä ovat; Veitsijärvenojan valuma-alue, Pohjoinen valuma-alue, Eteläinen valuma-alue ja sisäinen kuormitus. Valuma-alue koostuu pääosin metsästä (70 %) ja suosta (12 %), eikä alueella ole lainkaan peltoja (maataloutta), vain ojitettua suota. Maaperän yleisimmät maalajit ovat hiekka (41 %), hieno hieta ja turve- sekä sora (6 %) ja moreeni (10 %). /3/

Suurin osa Pannujärven kuormituksesta tulee metsä- sekä suoalueilta. Osa kuormasta on kiintoainetta, mutta merkittävän ongelma muodostuu fosfori- ja typpivalumista sekä toisaalta hienojakoisesta humusaineksesta. Asutusta Pannujärven lähivaluma-alueella on vain vähän ja uudet asutukset kuuluvat jätevesiverkoston piiriin. Hulevesijärjestelmät ovat kiinteistökohtaisia. Teollisuuden alueita on Herkkumaa Oy, joka osuu osittain valuma-alueelle, mutta jonka jätevedet valuvat pääosin muualle. Valuma alueen läheisyydessä kulkee valtatie 10. /6/

4.1 Pistekuormitus

Pistekuormitus koostuu yhdyskuntien, teollisuuden, kalankasvattamojen ja turvetuotannon päästöistä. Pannujärven valuma-alueella ei ole edellä mainittuja päästöjä. Pistekuormitus Pannujärven osalta voidaan jättää pois laskuista. /9/

4.2 Laskeuma

Laskeuma tarkoittaa kuormitusta, joka tulee ilman kautta. Se jaetaan kuiva- (ilma-
virran mukana) ja märkälaskeumaan (sateen mukana) tai luontaiseen (siitepöly,
hyönteiset, mikrobit, itiöt) ja ihmistoiminnan aiheuttamaan (liikenne, teollisuus,
maanmuokkaus, palaminen). Merkittävimpiä vesistöjä kuormittavia suureita las-
keumalle ovat happamoitava aineet ja ravinteet. Laskeuma lasketaan vain järven
vesipinta-alalle, huuhtoumaan kuuluvat maalle laskeutuneet ravinteet. /12/

Lammin havaintoaseman mukaan vuonna 2000 havaittiin 13,8 kg/km² fosforia ja
548 kg/km² typpeä vuodessa. Nämä sisältävät lumen ja sateen mukana tulleen las-
keuman. Pannujärven laskeuma on esitetty taulukossa 10. /12/

Taulukko 10. Laskeuma Pannujärvessä.

Vesipinta-ala km ²	Fosfori kg/a	Typpi kg/a
0,3621	4,9970	198,43

4.3 Metsätalous

Metsätaloudellisia toimenpiteitä ovat mm. hakkuut, ojitukset ja lannoitukset, joilla
muutetaan metsän luontaisia ominaisuuksia. Näillä pyritään muuttamaan metsän
tilaa parempaan suuntaan metsätalouden kannalta, kuten maaperän ravinteikkuutta
tai biomassan kasvua. Nämä vaikuttavat metsän ekologiaan. Metsätalouden kuor-
mitus vaikuttaa eniten valuma-alueella sijaitseviin pienempiin järviin ja lampiin,
jotka laskeutusaltaan tavoin pidättävät ravinteita ja kiintoaineita valumavedestä.
/12/

Pannujärvi on latvajärvi, joten metsätalouden kuormitusvaikutus on jo lähtökoh-
taisesti hyvin vaikuttavaa. Pannujärven sijainti pohjavesialueella, tulisi vaikuttaa
osaltaan siihen, että metsätaloustoimissa huomioitaisiin paitsi pinta- myös pohja-
vesien pilaantumisvaara. /7/

4.4 Metsäojitus

Metsäojituksessa pyritään nopeuttamaan puiden kasvua maan kuivattamisella, muuttamalla alueen pintaveden virtausolosuhteita. Ojitus vaikuttaa samalla maan eri kerrosten vesivarastoihin ja virtausreitteihin. Näihin kuuluvat pohjaveden pinnan lasku, ääreisvalumat, kuten yli- ja alivalumien lisääntyminen sekä vuosivaluman kohoaminen. /12/

Kiintoaine-, ravinne- ja humuskuormitukset sekä eräiden metallien huuhtoutuminen alapuolisiin vesistöihin lisääntyvät ojituksen myötä. Ojituksesta aiheutuneet huuhtoumat, eroosio ja kiintoaineen määrä, vaihtelevat ojituksen kohteena olevan maaperän, ajankohdan ja rakenteen myötä. Kokonaisfosforipitoisuuden kasvaminen on yleisintä ojituksen jälkeisenä vuotena ja pysyy korkealla useiden vuosien ajan. Typen huuhtoutuminen on myös yleistä ojituksille. Kuormituksista aiheutuvat pitoisuuden nousut voivat kestää jopa 10 vuotta. /12/

Ojituksesta aiheutuva kuormitus muuttuu vuosien kuluessa. Kuormitukset voivat kestää kolmesta vuodesta kymmeneen vuoteen. Fosforin kuormitus on ensimmäisenä vuonna 0,1 kg/ha ja seuraavina vuosina 0,02 kg/ha. Ensimmäisen viiden vuoden aikana typpeä huuhtoutuu 2 kg/ha ja seuraavat viisi vuotta 1 kg/ha. Kiintoainekuormituksen ennustetaan nousevan heti ojitusten jälkeen mutta laskevan muutaman vuoden kuluessa. Ojituksista aiheutuvat kuormitukset voivat vaihdella, joten taulukkoon 11 on merkitty suurin ja pienin arvo. /12/

Taulukko 11. Ojituksista aiheutuneet kuormitukset.

Fosfori kg/a	Typpi kg/a
0–0,076	0–7,6

4.4.1 Metsälannoitus

Metsälannoituksella pyritään lisäämään puuston kasvua parantamalla sen kasvu-alustan ominaisuuksia. Lannoitteita lisätään maalajien mukaan, kuten kivennäis-

maille lisätään typpeä ja turve- ja suometsiin lisätään fosfori- ja kaliumlannoitteita. Vesistöjen rehevöityminen tapahtuu, kun lannoitteet kulkeutuvat suoraan tai huuhtoutuvat ojien kautta järviin. /12/

Pannujärven valuma-alueen maaperä on erittäin ravinteikasta. Valuma-alueelle ei UPM:n tietojen mukaan ole tehty lannoituksia.

4.4.2 Metsänuudistaminen, avohakkuu ja maanmuokkaus

Avohakkuu aiheuttaa pohjaveden pinnan nousun, jolloin humuskuormitus lisääntyy ja se huonontaa maan happitilannetta. Samalla tapahtuu valumien lisääntymistä, lumen nopeampaa sulamista, routarajan siirtymistä syvemmälle, sekä vesien ja maanpinnan lämpötilojen nousua. Maahan sitoutuneet metallit voivat liueta ja huuhtoutua valuman mukana vesistöihin, happamuuden, happitilanteen ja kohonnan pohjaveden pinnan vuoksi. /12/

Metsäpinta-alasta hakataan keskimäärin 1,5–3 % kolmen vuoden aikana. Puun annetaan kasvaa talousmetsissä 100 vuotta, jonka jälkeen tehdään hakkuut ja istutetaan uudet taimet kasvamaan. Taulukosta 12 nähdään Pannujärven valuma-alueen metsä-alat. /12/

Taulukko 12. Hakatut metsäalat Pannujärven valuma-alueella.

1–3 vuoden hakkuut (ha)	metsää (ha)	teoreettinen hakkuumäärä (ha)
21,6	150,6	2,3–4,5

Hakkuut aiheuttavat ravinnepitoisuuksien kasvua valumavesissä. Hakkuut lisäävät kuormitusta kivennäismailla 0,2 kg fosforia hakattua hehtaaria kohti ja 3 kg typpeä hakattua hehtaaria kohti. Tämä tieto on otettu vuonna 1990 julkaistusta Nurmestutkimuksesta. Taulukossa 13 on esitetty Pannujärven valuma-alueelle aiheutuva kuormitus hakkuista. /12/

Taulukko 13. Hakkuiden kuormitukset Pannujärven valuma-alueella.

Fosfori kg/a	Typpi kg/a	Teoreettinen P kg/a	Teoreettinen N kg/a
4,32	64,8	0,46–0,9	6,9–13,5

Pannujärven valuma-alueella on eniten varttunutta metsää ja taimikko kattaa toiseksi suuremman alueen. Suoalue on kolmanneksi suurin kasvillisuusalue. Metsätaloudelliset alueet kattavat valuma-alueesta noin 172 ha, joka on noin 70 % koko valuma-alueesta. /12/

4.5 Maatalous

Peltoviljely ja karjatalous ovat merkittäviä fosforin hajakuormittajia Suomessa. Suomen Ympäristökeskuksen mukaan maatalous aiheutti ihmisperäisestä fosforikuormituksesta 67 % ja typpikuormituksesta 53,4 %. /12/15/

Pannujärven valuma-alueella ei ole peltoja tai maataloutta, joten siitä aiheutuvaa typpi- tai fosforikuormitusta ei kohdistu Pannujärveen. Maataloudesta aiheutuva kuormitus voidaan jättää kokonaan pois laskelmista.

4.6 Haja-asutus

Maatalouden jälkeen haja- ja loma-asutus aiheuttaa toiseksi suurimman fosforikuormituksen, joka on 8,6 %. Tämän lisäksi asutuksesta aiheutuu orgaanista ja typpikuormitusta. Jätevesien puutteellinen käsittely aiheuttaa vesistön hygieenisen tilan heikkenemisen. Yksi viemäriverkostoon liittymätön henkilö aiheuttaa fosforikuormituksen viisinkertaistumisen, verrattuna henkilöön, joka asuu viemäroidyllä alueella. /12/

Keskimääräinen vedenkulutus vuorokaudessa tavanomaisella pientalolla on 100–150 l/asukas, josta keskiarvoksi saadaan 120 l/asukas. Kulutettu jätevesi jaetaan harmaisiin (pesu ja peseytyminen) ja mustiin (käymälä) vesiin, jonka lisäksi vesi sisältää myös bakteereita ja viruksia. Yhdelle henkilölle on laskettu keskimääräinen kuormitus vuorokaudessa: fosforia 2,2 g, typpeä 14 g ja orgaanista ainetta 50

g. Taulukosta 14 nähdään yhtä asukasta kohden olevat kuormituslajien määrät ja prosenttiosuudet vuorokaudessa. /12/

Taulukko 14. Vuorokauden kuormituksen määrä yhdelle henkilölle. /12/

Kuormituslaji	Orgaaninen aines, BHK7		Kok. Fosfori		Kok. Typpi	
	g/d	%	g/d	%	g/d	%
Uloste	15	30	0,6	30	1,5	10
Virtsa	5	10	1,2	50	11,5	80
Muu	30	60	0,4	20	1,0	10
Kuormitusluku	50	100	2,2	100	14	100

4.6.1 Asetus haja-asutuksen jätevesien käsittelystä ja sen vaikutus

10.11.2011 on tullut voimaan valtioneuvoston asetus talousvesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla. Tämän mukaan haja-asutuksen kuormituslukuun sisältyvä yhden asukkaan käsittelemättömien talousjätevesien orgaanisen aineen määrä seitsemän vuorokauden biologisena hapenkulutuksena on 50 grammaa, kokonaisfosforin määrä on 2,2 grammaa ja kokonaistypen määrä on 14 grammaa vuorokaudessa. Talousjätevedet on puhdistettava siten, että ympäristöön aiheutuva kuormitus vähenee orgaanisen aineen osalta vähintään 80 prosenttia, kokonaisfosforin osalta vähintään 70 prosenttia ja kokonaistypen osalta vähintään 30 prosenttia verrattuna haja-asutuksen kuormitusluvun avulla määritettyyn käsittelemättömän jäteveden kuormitukseen. (209/2011, Valtioneuvoston asetus, Finlex)

4.6.2 Haja-asutus Pannujärven valuma-alueella

Rakennuksien määrää Pannujärven valuma-alueella on tutkittu karttaikkunan avulla. Kartassa rakennuksia on merkitty vihreällä ja harmaalla värillä. Pääteltiin, että vihreät kuvaavat loma-asuntoa ja harmaat ovat vakituisesti asuttuja asuntoja. Loma-asuntoja on Pannujärven valuma-alueella 19 kpl, joista tontteja on 15 kpl. Kahteen tonttiin kuuluu kolme rakennusta. Tervalammenpolun alussa Tuuloksen Mäntyranan kolme rakennusta kuuluu vuokratyösköön. Harmaalla karttamerkillä osoitettuja vakituisia asuntoja järven kaakon puoleisella alueella on 10 kpl. Pan-

nujärveen ei vakituisesta asutuksesta aiheudu päästöjä, koska ne kuuluvat viemäriverkoston piiriin. Pannujärven valuma-alueella oleva asutus on esitetty taulukossa 15. Kuormitukset on esitetty taulukoissa 16 ja 17.

Taulukko 15. Asutuksen jakautuminen Pannujärven valuma-alueella.

Etäisyys vesistöstä (m)	Loma-asunnot	Vakituiset asunnot
alle 100	19	2
100 – 200		4
200 – 500		4

Bilaletdin mallin mukaan otetaan loma-asuntojen kuormituksessa huomioon alle 100 m etäisyydellä olevat asunnot. Tässä oletetaan, että asunnossa vietetään vuodessa noin 100 henkilövuorokautta, eli 60 % vakituisen asutuksen kuormituksesta. Oletuksena, että asunnossa asuu kolme henkilöä. Vakituksessa asutuksessa kuormituksen määrä riippuu siitä, kuinka suuri etäisyys on vesistöön. /12/

Taulukko 16. Haja-asutuksen kuormitus vesistöön yhdelle asukkaalle.

Etäisyys vesistöstä (m)	Kok. Fosfori kg/a	Kok. Typpi kg/a
alle 100	0,5	3,1
100–200	0,4	2,4
200–500	0,2	1,2

Taulukko 17. Haja-asutuksen kuormituksen suuruus.

Kg/a	Vakituinen asutus	Loma-asutus	Yhteensä
Kok. Fosfori	10,2	17,1	27,3
Kok. Typpi	61,8	106,0	167,8
Orgaaninen aine	547,5	624,2	1171,7

4.7 Perushuuhtouma

Perushuuhtouma kuvaa sitä ravinnemäärää, joka tulisi valuma-alueelta, jos se olisi luonnontilaista tai pitkään käsittelemättömänä ollutta metsää. Luonnonhuuhtoumaan verrattuna perushuuhtouma on hieman pienempi. Pannujärven perushuuhtouman suuruus on taulukossa 18. /12/

Perushuuhtouman suuruutta on tutkittu Sauran vuonna 1990 tehdyssä julkaisussa Kalliojärven valuma-alueelle. Tutkimuksessa saatiin arvoiksi fosforia 7 kg km²/a ja typpeä 150 kg km²/a. Pannujärveä voidaan arvioida samoilla lukemilla, koska se on samantyyppinen, kuin tutkimuksen kohteena oleva järvi. /12/

Taulukko 18. Perushuuhtouman suuruus.

Fosfori kg/a	Typpi kg/a
17,157	367,65

4.8 Luonnonhuuhtouma

Luonnonhuuhtouma tarkoittaa ilman ihmistoiminnan vaikutusta olevaa maalta vesistöön huuhtoutuvien ravinteiden määrää. Tähän kuuluvat ilmakehästä tai maaperästä veteen liuennee orgaaniset ja epäorgaaniset yhdisteet. Näitä huuhtoutuu

etenkin soilta ja kangasmailta, vaikka muuten Suomen maaperän ravinnemäärät ovat pieniä. /12/

Luonnonhuuhtouman määräksi pienillä valuma-alueilla on saatu fosforia 0,1 kg/ha ja typpeä 2,5 kg/ha. Pannujärveä voidaan arvioida samoilla lukemilla, koska se on samantyyppinen, kuin tutkimuksen kohteena oleva järvi. Luonnonhuuhtouman suuruus Pannujärvässä on taulukossa 19. /12/

Taulukko 19. Luonnonhuuhtouman suuruus.

Fosfori kg	Typpi kg
24,51	612,75

5 KOKONAISRAVINNEKUORMITUKSEN LASKEMINEN

Kokonaiskuormituksen laskemiseen tarvitaan erilaisia tietoja kohdealueen valuma-alueesta. Näihin kuuluvat maatalouden, haja-asutuksen, pistekuormituksen, laskeuman, perushuhtouman ja sisäinen kuormituksen tietojen selvittämistä. Laskemista varten on kehitetty matemaattisia malleja ja tietokantoja. Ominaiskuormituskertoimia, jotka ovat jokaiselle kuormituslähteelle omansa, selvitetään ja niitä käytetään hyväksi tutkimuskohtaisesti. /10/

Pannujärven valuma-alue rajattiin eri alueisiin MapInfo-työkalulla, puuston ja kasvillisuuden mukaan. Varttunutta metsää oli suurin osa valuma-alueesta. Tämän lisäksi oli taimikoita, siemenpuu-, hakkuu- ja rakennettuja alueita.

5.1 Käytetyt laskutavat

Pannujärven kohdistuneessa tutkimuksessa käytettiin kolmea eri kuormituslaskelmamääritelmää. Näitä olivat Rekolaisen ja Bilaletdinin mallit, sekä Suomen ympäristökeskuksen Kustaa-työkalua. Suomen ympäristökeskuksella oli ennen käytössä VEPS-työkalu, mutta laskelmat päätettiin tehdä uudella työkalulla. Kustaa-työkalussa on mahdollista erotella eri metsätalouden aiheuttamat kuormitukset ja se soveltuu hyvin vesiensuojelu- ja kunnostushankkeiden suunnittelun apuna. /12/

5.1.1 Rekolaisen malli

Seppo Rekolaisen kehittämä kuormitusmalli vuodelta 1989, perustuu järviin joiden valuma-alueet ovat pieniä. Rekolaisen mallin mukainen kuormitus lasketaan valuma-alueen peltoalan pohjalta, joten pellottomille valuma-alueille se ei sovellu. Näille on laadittu vuotuisia peltoviljelyn ominaiskuormituslukuja, jotka ovat hehtaarille 0,9–1,8 kg fosforia ja 7,9–20 kg typpeä. /12/

Malli koostuu kahdesta regressioyhtälöstä:

Kokonaisfosforin määrä (kg/a) = $1,4 F_p + 9,5$

Kokonaistypen määrä (kg/a) = $11,4 F_p + 240$

jossa F_p on valuma-alueen peltoprosentti.

Näihin tuloksiin lisätään pistekuormitus sekä suora laskeuma järveen. Pannujärven valuma-alueisiin ei kuulu peltoalueita, joen malleja ei voitu käyttää. /12/

5.1.2 Bilaletdinin malli

Bilaletdinin mallilla pystytään arvioimaan kokonaistypen ja kokonaisfosforin ainevirtaamat valuma-alueella, ja sen avulla kuormituksen jakaminen kuormituslähteisiin on mahdollista. Tämä malli havainnoi perushuuhtouman, pistekuormituksen, metsätalouden, maatalouden ja haja- ja loma-asutuksen kuormitukset. /12/

Kuormitustekijöiden arvot lasketaan jokaiselle yksikölle erikseen. Arvot muutetaan sellaiseen muotoon, että ne kattavat koko laskettavan valuma-alueen pinta-alan. Kaavoissa 1 ja 2 käytetään taulukoon 20 kerättyjä lukuja ja niiden avulla lasketaan kuormitus.

Fosfori- ja typpikuormituksen kaavat:

$$L_P = (p_1 + 1)^{-0,2} (0,9(2p_f + u_m)^{0,75} + L_w + L_s + (L_f + L_b) A^{-0,08}) \quad (1)$$

$$L_N = (p_1 + 1)^{-0,1} (4,5(4p_f + u_m)^{0,90} + L_w + L_s + (L_f + L_b) A^{-0,08}) \quad (2)$$

Taulukko 20. Laskuissa tarvittavat luvut ja kuormituksen tulokset.

Lyhenne	Selite	Yksikkö	P	N
p_1	järviprocentti	%	14,8	14,8
p_f	peltoprosentti	%	0	0
u_m	nautayksiköiden määrä	kpl/km ²	0	0
L_w	pistekuormitus	kg/km ² a	0	0
L_s	haja- ja loma-asutuksen kuormitus	kg/km ² a	6,98	43,25
L_f	metsätalouden kuormitus	kg/km ² a	1,79	29,54
L_b	perushuuhtouma	kg/km ² a	7	150
A	valuma-alueen pin-	km ²	2,451	2,451

	ta-ala			
L _p	fosforin kokonais- kuormitus	kg/km ² a	8,73	
L _N	typen kokonais- kuormitus	kg/km ² a		159,63
Fosfori	Kokonaiskuormitus	kg/a	21,40	
Typpi	Kokonaiskuormitus	kg/a		391,25

5.1.3 KUSTAA-työkalu vesistökuormituksen laskentaan

Kustaa-työkalu on Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kehittämä ohjelma, jolla voidaan laskea valuma-alueen tai vesistöalueen kokonaiskuormitusta ja eri kuormituslähteisiin jakautumista. Tämä työkalu on kehitetty kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen kuormitusten arviointiin. Laskennan tueksi tarvitaan valuma-alueen pinta-ala, vesistöjen pinta-ala, metsä- ja maataloustoimenpiteiden pinta-alat ja muut haja- ja pistekuormituslähteiden määrät vuositasolla. /9/

Näiden avulla saadaan arvio, miten valuma-alueen kokonaiskuormitukset jakautuvat eri lähteisiin ja sen kokonaiskuormitus. Hajakuormitus lasketaan ominaiskuormitusluvun ja ko. kuormituslähteen vuotuisen pinta-alan tulona. Pistekuormitus on valuma-alueella olevien pistekuormituslähteiden määrä ja näitä kuvaavat ominaisuuskuormitusluvut. Ongelmana ovat suuret epävarmuudet liittyen ominaiskuormituslukuihin sekä valuma-alueen sisäisten pidättymisprosessien huomiomattomuus (ravinteet ja kiintoaineen sedimentaatiot vesistöreitille). /9/

5.1.4 Pannujärven kuormitus Kustaa-järjestelmän mukaan

Kustaa-työkaluun syötettiin Pannujärveä kuormittavat ominaiskuormitusluvut ja tarvittavien alojen pinta-alat. Ohjelmassa oli valmiina keskiarvot Suomen ominaiskuormitusluvuista, joita pystyi muokkaamaan omaa tutkimuskohdetta vastaaviksi. Työkalussa valittiin, mitkä tekijät vaikuttavat kuormituksen määrään ja ohjelma laskee kuormituksen lukujen avulla. Ohjelmalla saadut Pannujärven kohdistuvat kuormitukset olivat selvästi suurempia, kuin Bilaletdin mallilla saadut luekmat. Kustaa-työkalulla saadut kuormitukset ovat näkyvillä taulukossa 21.

Taulukko 21. Kuormituksen suuruus Kustaa-työkalulla.

	Fosfori kg/a	Typpi kg/a
Laskeuma	5,0	198,4
Metsätalous	17,0	262,0
Asutus	28,5	176,7
Kokonaiskuormitus	50,5	637,1

5.1.5 Pannujärven kuormitus kirjallisuuden kuormituskertoimien perusteella

Kappaleessa 4 - Kuormitus ja ainetase on laskettu Pannujärveen kohdistuvat kuormitukset. Taulukossa 22 on esitettyä kaikki kuormitukset, jotka kohdistuvat Pannujärveen tai sen valuma-alueelle kg/a. Luonnonhuuhtouman pitoisuudet ovat näistä kaikista suurimmat.

Taulukko 22. Pannujärven kuormitus kuormituskertoimien perusteella.

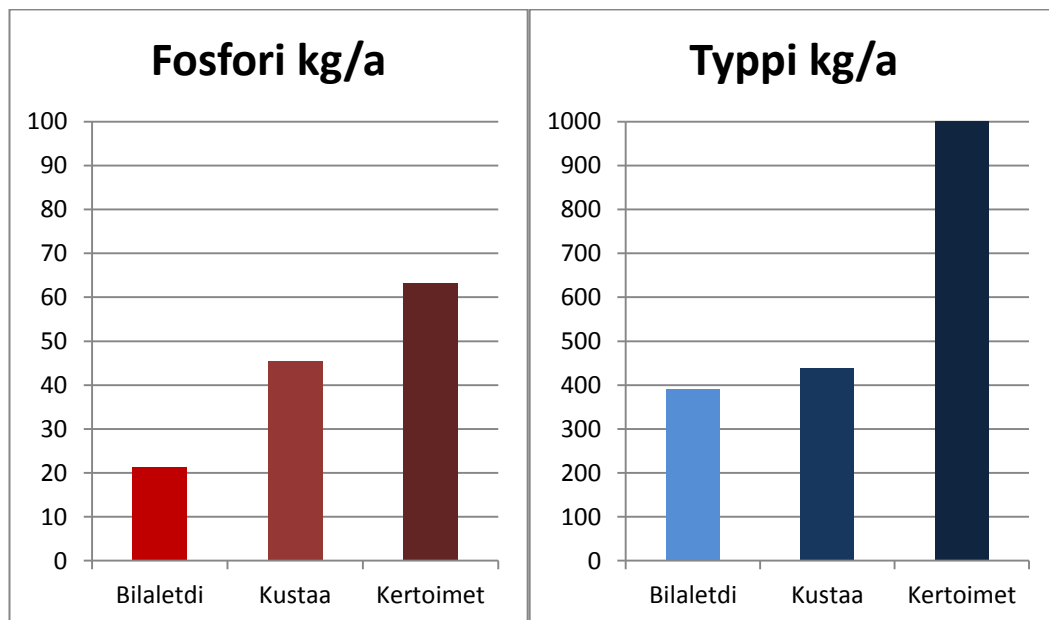
	Asutus	Metsätalous	Laskeuma	Perushuuhtouma	Luonnonhuuhtouma	Yhteensä
P	17,1	4,396	5,00	17,16	24,51	68,16
N	106,0	72,4	198,43	367,65	612,75	1357,23

5.2 Valuma-alueelta tulevan kuormituksen vertailu

Valuma-alueelta tulevat fosfori- ja typpikuormituksen määrät ovat esitettyinä kuvissa 18 ja 19. Kuvista nähdään, että Kustaa-työkalu antaa suuremmat tulokset, kuin Bilaletdinin malli, joka voi johtua siitä, että työkalu on paljon uudempi. Kus-

taa-työkalussa ominaistiedot ovat mahdollisesti paljon korkeammat ja nykyisiin pitoisuuksiin verrattuna suurempia, kuin Bilaletdinin mallissa.

Laskeuma on jätetty näistä vertailuista pois, koska se kohdistuu vain vesipinta-alalle. Kuormituskertoimien perusteella saadut lukemat ovat kuitenkin huomattavasti muita korkeammat. Tämä johtuu siitä, että kertoimissa on kaikki kuormitukseen vaikuttavat tekijät. Bilaletdinin-mallissa ei huomioida luonnonhuuhtoumaa ja Kustaa-työkalussa ei ominaiskuormituslukuihin huomioitu luonnonhuuhtoumaa tai perushuuhtoumaa. Luonnonhuuhtouman suuruus on vaikuttava, etenkin typen osalta.



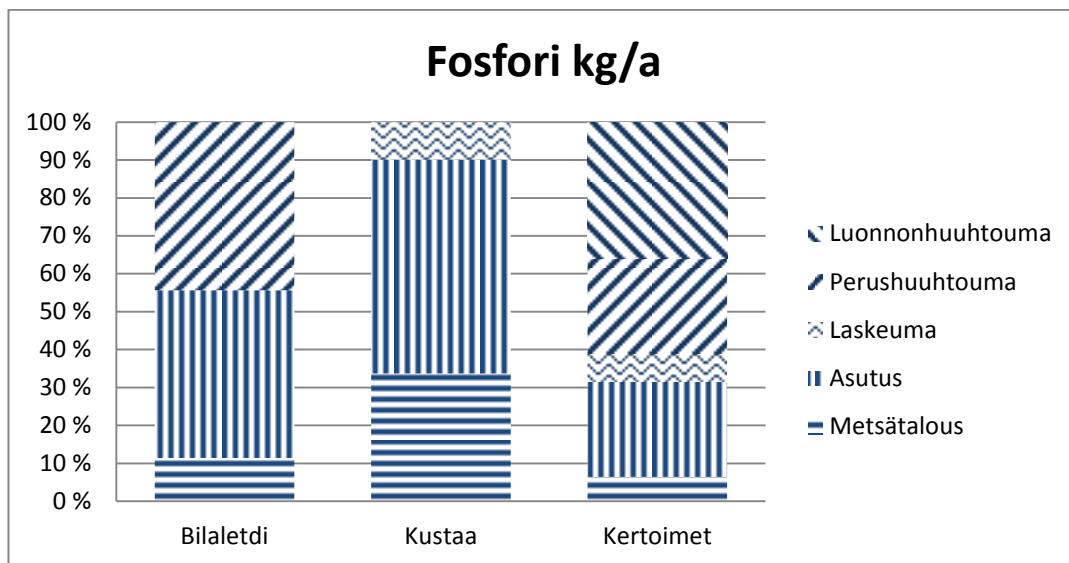
Kuvio 18. Fosforin vertailua.

Kuvio 19. Typen vertailua.

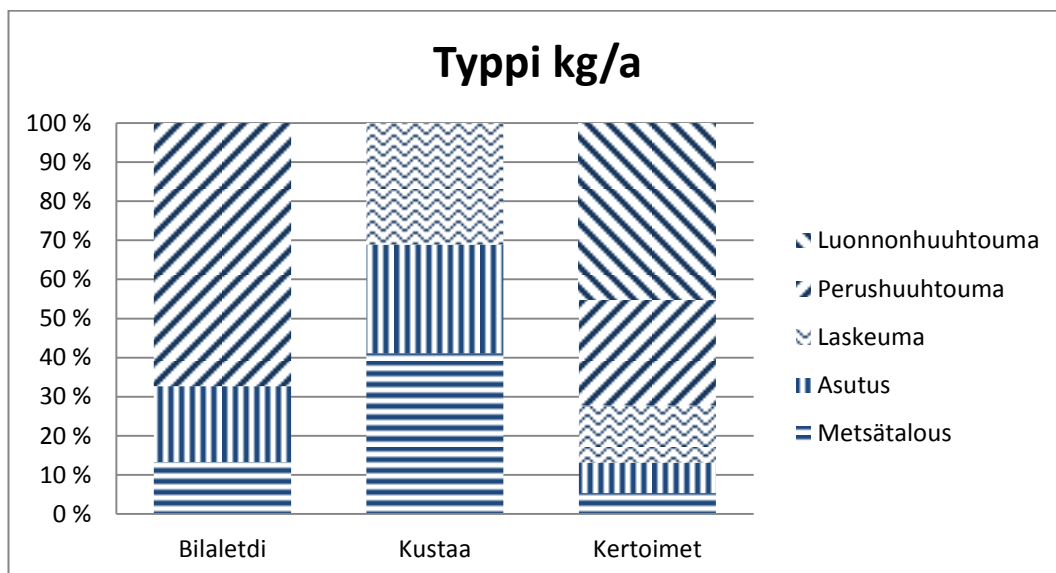
5.3 Kuormituksen jakautuminen eri kuormituslähteisiin

Fosforin ja typen kuormituksen jakautuminen on esitetty kuvissa 20 ja 21. Bilaletdinin mallissa ei ole huomioitu laskeumaa ja Kustaa-työkalussa ei laskuissa ole mukana perushuuhtoumaa. Molemmista työkaluista puuttuu luonnonhuuhtoumaa. Nämä aiheuttavat eroavaisuutta tuloksien lopputarkastelussa. Kustaa-työkalun tulokset ovat suurempia, kuin Bilaletdinin mallissa ja kertoimien tulokset eroavat suuresti kahdesta muusta laskentamenetelmästä.

Asutuksen ja metsätalouden luvut poikkeavat suuresti toisistaan verratessa eri työkaluja keskenään. Asutuksen fosforikuormitus on suurin Kustaa-työkalussa, kun taas typen osalta suurin osuus on metsätaloudella. Bilaletdin mallissa fosforin perushuuhtouma ja asutus ovat lähes samoilla prosenttiosuuksilla, mutta typen osalta on perushuuhtouma suurin vaikuttaja. Kertoimien luvuissa luonnonhuuhtoumalla on suurin vaikutus.



Kuvio 20. Fosforin jakautuminen eri kuormituslähteisiin.



Kuvio 21. Typen jakautuminen eri kuormituslähteisiin.

5.4 Ojien ainevirtaama ja lähivaluma-alueen kuormitus

Ojan tai joen ainevirtaamalla tarkoitetaan virtaavan veden määrää sovitulla aikavälillä. Veden virtauksen ja ravinteiden pitoisuuden tulona, saadaan laskettua ainevirtaama. Ainevirtaaman ja lähivaluma-alueen kuormituksen summan avulla pystytään laskemaan kaukovaluma-alueen kuormitus. /12/

Veitsijärvenojan valuma-alue on kooltaan 94,37 ha ja Veitsijärvenojan suun virtaama 19.10.2012 saatiin 0,032 m³/s. Maaliskuussa 2015 mitattiin Veitsijärvenojan suun virtaamaksi 0,0033 m³/s. Alhainen virtaama johtui siitä, että alajuoksu oli vielä suurelta osin jäässä. Lähivaluma-alueen kuormituksen laskentaan käytettiin 2012 vuoden lukemaa, joka antaa luotettavamman tuloksen.

Taulukko 23. Kaukovaluma-alueen kuormitus.

Ainevirtaama fosfori µg/l	Ainevirtaama typpi µg/l	Kuormitus fosfori µg/l	Kuormitus typpi µg/l
9,6	108,8	17,87	259,44

5.5 Pannujärven kokonaisfosforikuormitus Friskin kaavan mukaan

Vuonna 1989 luodun Friskin kaava avulla voidaan laskea järveen tuleva fosforikuormituksen suuruus. Tämä voidaan laskea luusuan keskivirtaaman, järven vesien viipymän ja luusuan veden fosforipitoisuuden avulla kaavalla 3. /12/

Laskussa käytettiin Pannujärven veden fosforipitoisuutta ja Tyrisevänojan virtaamaa elokuussa 2009. Pannujärven luusuasta ei ole tehty mittauksia opinnäytetyötä varten. Taulukossa 22 on näkyvillä arvot ja saatu tulos friskin kaavan avulla. Tulos on suurempi kuin Bilaletdinin mallilla, mutta pienempi kuin Kustaa-työkälun tulos.

$$I = 0,158 \times \frac{Q}{T} \times (C \times T - 280 + \sqrt{78400 - 448 \times C \times T + C^2 \times T^2}) \quad (3)$$

Taulukko 24. Kokonaiskuormitus Friskin kaavan mukaan.

lyhenne	selite	yksikkö	arvo
Q	luusuan virtaama	m ³ /s	0,012
T	teoreettinen viipymä	kk	14
C	luusuan fosforipitoisuus	µg/l	27
I	järveen tuleva fosforikuorma	kg/a	44,14

5.6 Kuormitusmallien vertailua

Kuormituslaskelmissa on jokaisessa omat epävarmuustekijänsä. Kuormituslähteet vaihtelevat laskelmissa ja kuormituksen määrät ovat myös erilaisia. Varmaa laskentamenetelmää ei pysty valitsemaan, joten vertailuihin otettiin kaksi lähempänä ollutta.

Kertoimien tuloksissa oli suurimmat vaihtelut, joten niitä ei huomioida tässä vertailussa. Bilaletdinin ja Kustaan tulokset osuivat lähemmäs toisiaan, vaikka niissäkin oli eroja. Näiden kahden keskiarvoiksi saatiin fosforia 35,95 kg/a ja typpeä 541,18 kg/a.

5.7 Fosforin ja typen poistuma

Fosforia ja typpeä poistuu järvestä kalastettujen kalojen mukana, sekä luusuan kautta ulosvirtauksena. Järveen jäävät ravinteet kulkeutuvat pohjasedimentin ja veden välillä, kiertäen järven ekosysteemiä. Ravinteet laskeutuvat järven pohjan leviin ja epäorgaanisiin aineisiin ja kiinnittyvät pohjasedimenttiin, biokemiallisen prosessin johdosta. Ravinteet vapautuvat, kun olosuhteet ovat oikeanlaiset ja palaavat takaisin veden kiertokulkuun. /12/

Tyrisevänojan luusuan virtaus elokuussa 2009 saatiin 0,012 m³/s. Pannujärven pitoisuudet olivat silloin 27 µg/l fosfori ja 400 µg/l typpeä. Luusuasta poistuva ravinnemäärä on 10,22 kg fosforia ja 151,37 kg typpeä vuodessa.

5.8 Pannujärven sisäinen kuormitus ja ravinteiden sitoutuminen sedimenttiin

Sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan pohjaan sedimentoituneiden ravinteiden kulkeutumista takaisin järven ravinnekiertoon. Ravinteet ovat peräisin valuma-alueen ulkoisesta kuormituksesta. Sisäinen kuormitus aiheutuu kolmella eri tavalla. Kemiallisessa reaktiossa hapettomuudesta, jolloin fosfaattia vapautuu takaisin veteen rautaan sitoutuneesta fosfaattifosforista. Fysikaalisessa reaktiossa sedimentin pintakerros irtoaa esimerkiksi voimakkaasta tuulesta, jolloin vapautuu fosforia. Bioturbaatiossa kalat aiheuttavat, joko pöyhinnällä tai syömisellä pohjan sedimentin irtoamista ja fosforin vapautumista. /12/

Kaikissa Suomen järvissä tapahtuu sisäistä kuormitusta ja suurin se on niissä, joissa on havaittu ihmistoiminnan vaikutusta. Ihmisen toiminnan vaikutuksesta sisäinen kuormitus kasvaa ulkoista kuormitusta suuremmaksi. Pannujärven pintaveden kokonaisfosforipitoisuudet ovat viimeisenä kahtena kertana olleet 28 ja 34, joten näistä otettiin keskiarvo. Fosforin pidättymistä voidaan laskea kaavalla 4. /12/

$$R = 0,9 \times \frac{(C-6) \times T}{200 + (C-6) \times T} \quad (4)$$

Taulukko 25. Fosforin pidättymiskerroin Pannujärvessä.

lyhenne	selite	yksikkö	arvo
C	järven veden fosforipitoisuus	µg/l	31
T	teoreettinen viipymä	kk	14
R	fosforin pidättymiskerroin		0,57 ≈ 57 %

Fosforin pidättymiskertoimen ollessa 57 % saadaan Pannujärven nettosedimentaatioksi $39,95 \times 0,57 = 22,77$.

5.9 Vaarallinen ja sallittava pintakuormitus

Vaarallinen pintakuormitus on suurin laskettu määrä ravinnekuormitusta, jonka arvon ylittyessä, järvi on altis rehevöitymiselle. Se määrä, jonka järvi kestää rehevöitymättä, on sallittava pintakuormitus. Vaaralliselle pintakuormitukselle (Y_d) ja

sallittavalle pintakuormitukselle (Y_a) on Vollenweider ja Dillon määrittäneet vuonna 1974 kaavat 5 ja 6. /12/

$$Y_a = 0,0555 \times X^{0,635} \quad (5)$$

$$Y_d = 0,174 \times X^{0,469} \quad (6)$$

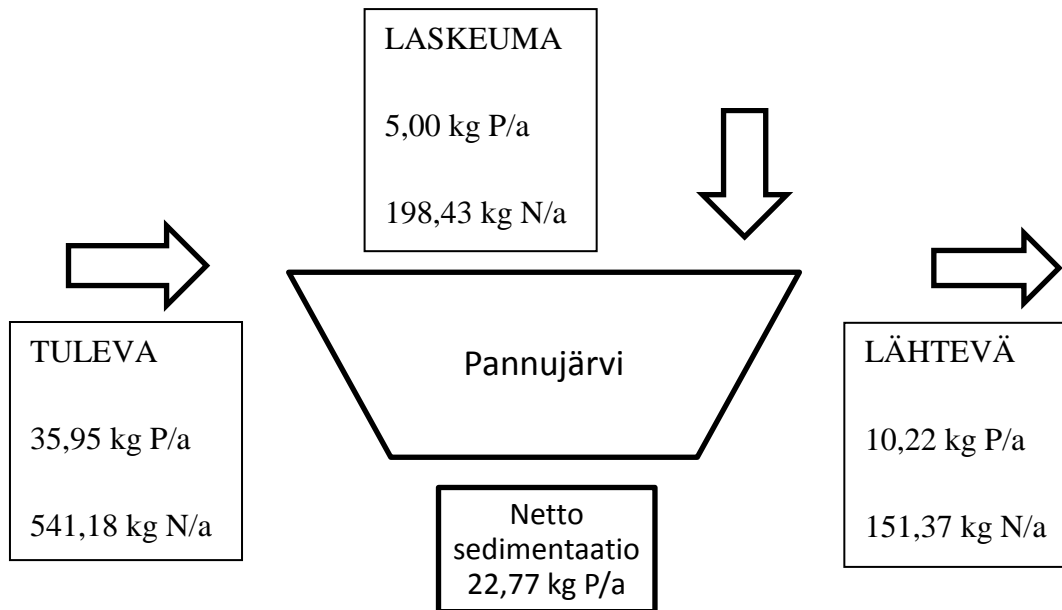
Pannujärven vaarallinen ja sallittava pintakuormitus on esitetty taulukossa 25. Pannujärven keskisyvyys on laskettu tilavuuden ja pinta-alan osamääränä. Kaavojen 5 ja 6 tuntematon arvo X on laskettu keskisyvyyden ja viipymän osamääränä. Fosforikuormitus järven pinta-alaa kohden on $0,024 \text{ g/m}^2$ vuodessa, joka jää huomattavasti alle sallittavan pintakuormituksen.

Taulukko 26. Pannujärven vaarallinen ja sallittava pintakuormitus.

lyhenne	selite	arvo
z	keskisyvyys, m	3,87
T	viipymä vuosina	1,17
X	$\text{g/m}^2 \text{ a}$	3,225
Y_a	Fosforia $\text{g/m}^2 \text{ a}$	0,119
Y_d	Fosforia $\text{g/m}^2 \text{ a}$	0,305

5.10 Pannujärven ainetase

Pannujärveen tulevat ja lähtevät ravinteiden määrät on esitetty kuvassa 22. Pannujärveen kohdistuvasta ulkoisesta kuormituksesta poistuu fosforin osalta 25,0 % ja typen osalta 20,4 %. Tästä voidaan päätellä, että fosforia ja typpeä sitoutuu suuri määrä vesistöön. Järven sedimenttiin varastoituu lähes 23 kg fosforia vuodessa.



Kuvio 22. Pannujärven ainetase.

6 PANNUJÄRVEN KUORMITUKSEN MUUTOKSISTA

6.1 Kuormituslaskelman tulokset ja vertailua

Jokaisessa kuormitusmallissa on omat epävarmuustekijänsä. Rekolaisen-malli jäi kokonaan pois laskelmista, koska se soveltuu paremmin maatalouden kuormituksen laskentaan. Pannujärvelle olisi sopinut parhaiten sellainen työkalu, jossa ei huomioida ollenkaan maatalouden kuormitusta.

Bilaletdinin-mallissa on mukana maatalouden kuormitus, joka jätettiin Pannujärven kuormitusta laskettaessa huomioimatta. Tämä saattaa vaikuttaa tulosten tarkkuuteen. Kustaa-työkalu on näistä laskentamenetelmistä kaikista uusin.

Taulukko 27. Tuloksien vertailua.

Laskutapa	Fosfori kg/a	Typpi kg/a
Rekolainen	ei tuloksia	ei tuloksia
Bilaletdi	21,40	391,25
Kustaa	50,5	637,1

6.2 Johtopäätökset

Humuskuormitusta pienentämällä ja valuma-alueen vesiensuojelulla voitaisiin parantaa Pannujärven vedenlaatua. Suuri ulkoinen kuormitus vaikuttaa järven sisäisen kuormituksen kasvuun. Pannujärven happitilanteen korjaamiselle voitaisiin suunnitella tehtäväksi erilaisia toimenpiteitä. Kaikki menetelmät eivät kuitenkaan välttämättä sovellu juuri tämän kaltaiselle järvelle. Pannujärvelle on jo tehty erilaisia toimenpiteitä, jotka ovat lueteltuna kappaleessa 2.6.

Pannujärven tilan parantaminen hapetuksella on yksi mahdollinen vaihtoehto. Hapetuksesta kuitenkin aiheutuu haittaa, jos alusveden runsasravinteiset vesikerrokset pääsevät pintaveteen. Tämän vuoksi jo valmiiksi huonon happitilanteen omaa-

vissa järvissä on hapetuksesta aiheutuvia haittavaikutuksia mietittävä tarkkaan.
/11/

Vedenpinnan nostolla voi olla tehtävälle alueelle niin hyviä kuin huonoja vaikutuksia. Vedenpinnan noston myötä umpeenkasvu hidastuisi ja luontoarvot paransivat. Huonossa tapauksessa nosto aiheuttaisi ravinteiden huuhtoutumista esimerkiksi suoalueilta./2/

Fosforin kemiallisessa saostuksessa käytetään rauta- tai alumiiniyhdisteitä, jotka alentavat veden kokonaisfosforipitoisuutta. Tässä menetelmässä on kuitenkin suositeltavaa, että veden viipymä ei olisi alle 1–2 vuotta. Vesi vaihtuu nopeasti uuteen valumaveteen, josta saostuskemikaali puuttuu. /2/

Hämeenlinnan kaupungilla on ehdotus, jossa Pannujärven tilaa voitaisiin parantaa happikalkkimenetelmällä. Happikalkituksessa veteen levitetään kalsiumperoksidia, joka laskeutuu pohjasedimenttiin ja liukenee sieltä vähitellen. Kalsiumperoksidi reagoi veden kanssa ja vapauttaa happea sekä kalsiumhydroksidia. Veden lyhty viipymä voi aiheuttaa kemikaalin peittymisen, jolloin sen vaikutus loppuu. Happikalkituksessa vaikutuksen saattavat kestää jopa vuosia. Happikalkitus menetelmää on tutkittu vielä hyvin vähän ja sen toimivuus kaikissa järvissä ei ole taattua. Tutkimuksissa on havaittu pH:n nousua, kokonaisfosforipitoisuuden laskua, happipitoisuuden nousua ja hapettomuutta talven aikana. /2/

7 HERKKYYSANALYYSI

7.1 Tulosten epävarmuuden arviointi

Valuma-alueen jakaminen MapInfo-työkalulla eri kuormitusalueisiin, huomattiin, että kokonaispinta-alasta puuttui noin 3 ha. Tätä selvitettiin tarkistamalla alue moneen kertaan, jotta kaikki alueet olivat piirretty merkityllä valuma-alueella. Arvioitiin mahdollisuutta, että alueet olisi piirretty epätarkasti tai, että piirretyt viivat voisivat aiheuttaa pinta-alan katoamisen.

Herkkyysanalyysissä muutetaan lähtöarvoja niin, että saadaan arvio kuormituksen muutoksesta eri lukemille. Asutuksen ja metsätalouden lähtöarvoja muutettiin 10 % ja 30 %. Molemmissa malleissa arvot kasvoivat, kun lähtöarvoja nostettiin, mutta ei erityisen suuresti. Yhtäläisyys molemmilla malleilla arvojen kasvun suhteen on samanlainen.

Taulukko 28. Herkkyysanalyysin tulokset.

Laskutapa	Tulokset	Asutus	Asutus	Metsätalous	Metsätalous
	kg/a	10 %	30 %	10 %	30 %
Bilaletdi					
Fosfori	21,40	22,38	24,35	21,63	22,10
Typpi	391,25	399,29	415,38	396,36	406,59
KUSTAA					
Fosfori	50,5	53,4	59,1	51,5	53,4
Typpi	637,1	654,8	690,1	649,7	674,9

7.2 Johtopäätökset

Asutuksen määrä arvioitiin rakennusten ja tonttien määrän perusteella. Tästä voi aiheutua virhelaskelmia, koska Pannujärven asutuksen määrästä ei tehty erillistä kyselytutkimusta. Myös hakkuiden määrät on arvioitu karttakuvien perusteella eli näiden määrät eivät myöskään ole aivan tarkkoja.

Tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon, että niiden tarkkuus on epävarmaa, koska kuormituksista ei voida olla aivan varmoja. Näihin vaikuttavat esimerkiksi sääolot, yksittäiset riskitekijät luonnossa ja niiden muutokset sekä ilmastonmuutos. Tulokset ovat siis suuntaa-antavia.

LÄHTEET

- /1/ Alajoki, H., Mattila, J. & Makkonen, K. 2013, Selvitys Pannujärveen kohdistuvasta vesistökuormituksesta vuonna 2013. UPM Kymmene Oyj. Viitattu 16.4.2015.
- /2/ Hagman, A-M. 2011. Sipoon Savijärven kunnostussuunnitelma. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja. Viitattu 3.9.2015. http://www.sipoo.fi/easydata/customers/sipoo/files/2011_ymparisto/selvitykset/savijarvi_kunnostussuunnitelma.pdf
- /3/ Jutila, H. 2009. Pannujärven tila ja haasteet. Hämeenlinnan kaupunki. Viitattu 2.3.2015. http://www.hameenlinna.fi/pages/375818/Pannujarven_tila_ja_haasteet.pdf
- /4/ Jutila, H. 2012. Pannujärven tila, kuormitus ja Veitsijärven alapuolisen alueen toimet. Hämeenlinnan ympäristö- ja rakennuslautakunta. Viitattu 9.4.2015.
- /5/ Jutila, H. 2012. Pannujärven tila, kuormitus ja Veitsijärven alapuolisen alueen toimet. Pykälä sisältää viitteitä ja liitteitä. Hämeenlinnan kaupunki.
- /6/ Jutila, H. 2013. Hämeenlinnan seudun vesistöjen tilan seuranta vuosina 2011 ja 2012. Hämeenlinnan ympäristöjulkaisuja. Viitattu 3.3.2015. <http://www.hameenlinna.fi/pages/215561/Hml%20vesist%C3%B6jen%20tila%202011%20ja%202012%20liitteinen.pdf>
- /7/ Jutila, H. 2015. Hämeenlinnan seudun vesistöjen tilan seuranta vuosina 2013 ja 2014. Hämeenlinnan ympäristöjulkaisuja 33. Viitattu 2.9.2015. Hämeenlinnan kaupunki, Yhdyskunta-, ympäristö- ja rakentamispalvelujen tilaajayksikkö.
- /8/ Jutila, H. 2015. Tuuloksen vesistöjen tilan parantaminen – hankkeen loppuraportti. Hämeenlinnan ympäristöjulkaisuja 31. Viitattu 7.5.2015. http://www.hameenlinna.fi/pages/215561/Tuuloksen_vesistojen_tilan_parantaminen_loppuraportti_liitteinen.pdf
- /9/ Launiainen, S., Sarkkola, S., Laurén, A., Puustinen, M., Tattari, S., Mattsson, T., Piirainen, S., Heinonen, J., Alakukku, L., Finér, L. 2014. KUSTAA – työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan, raportti. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 4.3.2015. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/144108/SYKEra_33_2014.pdf?sequence=1 Työkalu: <http://www.metla.fi/metinfo/kustaa/kayttoonotto.htm>
- /10/ Launiainen, S., Sarkkola, S., Laurén, A., Puustinen, M., Tattari, S., Mattsson, T., Piirainen, S., Heinonen, J., Alakukku, L., Finér, L. 2014. Suomen ympäristökeskus. Julkaisuarkisto. Suomen ympäristökeskuksen raportteja. Viitattu 4.3.2015. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/144108>
- /11/ Malinen, T. ja Vinni, M. 2013. Sulkasääsken runsaus ja merkitys

Hämeenlinnan Tuuloksen Pyhä-, Suoli- ja Pannujärvessä. Viitattu 6.3.2015.
https://www.hameenlinna.fi/pages/215561/Tuuloksen_sulkasaasket.pdf

/12/ Närhi, H. & Jutila, H. 2005. Tammelan Liesjärven tila ja kuormitus. Viitattu 4.3.2015.
<http://www.liesury.fi/Liesjarventila.pdf>

/13/ Paikkatietoikkuna. 2015. Maanmittauslaitos. Paikkatietoinfrastruktuuri. Viitattu 13.3.2015. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>

/14/ Pietiläinen, O.-P. 2008. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 8.4.2015.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38370/SY_46_2008.pdf?sequence=5

/15/ Sarvilinna, A. ja Sammalkorpi, I. 2010. Suomen ympäristökeskus: Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito. Viitattu 13.3.2015.
<http://www.vanajavesi.fi/onnimonni/wpcontent/uploads/2013/12/jarvikunnostusopas.pdf>

/16/ Uimavesiprofiili – Hämeenlinna, Pannujärvi. 2014. Uimavesiprofiili, Hämeenlinnan kaupunki. Viitattu 4.3.2015.
http://www.hameenlinna.fi/pages/21150/Uimavesiprofiilit%202014/Uimavesiprofiili_Pannujarvi.pdf

/17/ Vedenlaatuluokituksen raja-arvot ja lähteet. Viitattu 24.3.2015. Liite 3.
<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B8A7CACB5-3A30-4443-8470-E612AEBCF5FA%257D%2F91995&ei=TBsRVbXvDoSNywO2tYK4Cg&usg=AFQjCNGO-qSbY9vcNzBeVhBAfa6ysPL0OQ&sig2=Gx1EdY32nt1P6AJYAULQww>

LIITE 1

Pannujärven korkeuksista

12.1.2012

A. Korkeuksia 17.4.2010 saakka, jolloin pohjapatona toimi ympäristökeskuksen määräämä pato alivirtausputkineen.

Arvioin valikoivasti keväällä 2009 vedenkorkeuden olleen 126,81. Mittauspiste perustettiin 25.5.09.

Korkeuksia	k.a.	vaihteluväli
25.5.2009	126,76	
29.5.2009	126,73	
Kesäkuu -09	126,73	126,70-126,75
Heinäkuu -09	126,69	126,66-126,71
Elokuu -09	126,67	126,64-126,70
Syyskuu -09	126,63	126,625-126,645
Lokakuu -09	126,635	126,63-126,64
Marraskuu -09	126,70 (järvi jäätyi n. 2.12.09)	
4.4.2010	126,74	

B. Korkeuksia padon asentamisen jälkeen 17.4.2010

26.4.2010	126,765 (jäät lähteneet)	
Toukokuu -10	126,74	126,73-126,75
Kesäkuu -10	126,71	126,71-126,72
Heinäkuu -10	126,67	126,65-126,70
Elokuu -10	126,635	126,62-126,65
Syyskuu -10	126,63	126,61-126,65
Lokakuu -10	126,63	126,60-126,64
14.11.2010	126,645 (järvi jäätyi)	

Pato painui syyskuun loppuun mennessä n. 5 cm eli alin piste oli 126,62. Loka-marraskuussa pataa ohitettiin kaivamalla useasti ja pato hajoitettiin lopullisesti talvella 2011. Tuhotyöt laskivat järven pintaa huomattavasti aiheuttaen mm. rantaeroosiota.

C. Padon hajoittamisen jälkeen

12.4.2011	126,43	
17.4.2011	126,46	
25.4.2011	126,58	
27.4.2011	126,60	
Toukokuu 2011	126,64	126,61-126,65

D. Hajotetun padon eteen ajettiin sorakerros 25.5.11 osakaskunnan toimesta. Se esti järven hallitsemattoman veden virtauksen.

Kesäkuu 2011	126,655	126,64-126,665
Heinäkuu -11	126,645	126,64-126,65
Elokuu -11	126,60	126,595-126,61
Syyskuun alkupuoli	126,615	126,60-126,63

E. Veden nousua järvessä tasolle 126,67 sorakerrokseen kaivettiin ura (n. 22.9.2011) ja vesi alkoi pikkuhiljaa virrata Tyrisevänojaan.

Syyskuun loppu	126,68	126,68-126,68
Lokakuu -11	126,69	126,68-126,71
Marraskuu -11	126,71	126,70-126,73
Joulukuun -11	126,76	126,74-126,77

Pato korjattiin suunnitelman mukaiseksi 12.10.2011. Järvi jäätyi n. 31.12.11, jolloin vedenkorkeus oli 126,77 eli padon yli virtasi 10 cm vettä.

