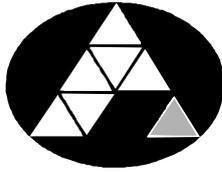


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Jarkko Haaranen & Pekka Ketolainen

KOLIN PURNULAMMEN KUNNOSTUSSUUNNITELMA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Kevät 2011
Ympäristötekniikan
koulutusohjelma
Sirkkalantie 12 A
80100 Joensuu
Puh. (013) 260 6900

Tekijä
Jarkko Haaranen, Pekka Ketolainen

Nimeke
Kolin Purnulammen kunnostussuunnitelma

Toimeksiantaja
Napa Koli Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön selvitettiin Purnulammen nykytila ja se millainen kunnostusmenetelmä soveltuu parhaiten lammelle. Työssä käsiteltiin sekä valuma-alueelle että järvaltaalle tehtäviä kunnostusmenetelmiä, joiden tehokkuutta ja kustannuksia vertailtiin. Menetelminä käytettiin maastotöitä, valmisaineistoja ja kirjallisuutta.

Aloitteen Kolin Purnulammen tutkimiselle ja kunnostamiselle on tehnyt Pohjois-Karjalan ELY-keskus keväällä 2010. Hankkeen takana on alueen omistava Napa-Koli Oy ja se toteutetaan biosfäärialueyhteistyönä Pohjois-Karjalan ELY-keskuksen ja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun kanssa. Opinnäytetyö on osa tätä hanketta.

Purnulampi kärsii rehevöitymisestä, sisäisestä kuormituksesta ja ajoittaisesta hapettomuudesta. Rehevöityminen ilmeni kohonneina ravinnepitoisuuksina ja lammen osittaisena umpeenkasvuna. Sisäinen kuormitus aiheuttaa lammessa talviaikaista hapettomuutta, mikä ilmeni kala- ja pohjaeläinlajien niukkuutena.

Vertailtaviksi järvikunnostusmenetelmiksi valittiin ruoppaus, vesikasvien niitto ja hapetus. Ruoppattavan massan määrä olisi noin 63 000 m³, ja tällöin kustannukset olisivat arviolta 126 000 - 315 000 €. Vesikasvien niiton kustannukset olisivat 240 - 3 700 € ja hapetuksen 4 300 - 27 700 €. Vertailun perusteella ruoppaus osoittautui tehokkuutensa ja pysyvän lopputuloksen vuoksi parhaaksi menetelmäksi.

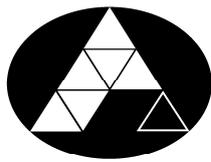
Purnulammen valuma-alueelle suunniteltiin neljä pintavalutuskenttää sekä yksi pohjapato kohde. Näiden vesiensuojeluteknisten rakenteiden kustannukset tulisivat olemaan noin 3 000 € ja pidätysteho kokonaisfosforin osalta 2,46 kg. Alueelle rakennettavan Koli Cultura-keskuksen vaikutuksia Purnulampeen tarkasteltiin hulevesien osalta. Laskelmien perusteella hulevesien tuoma kokonaisfosfori kuorma lisääntyy 0,58 kg/a.

Kieli suomi

Sivuja 103 + 8

Asiasanat

Koli, vesistöjen kunnostus, rehevöityminen, valuma-alueet



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
Spring 2011
Degree Programme in Environmental Technology
Sirkkalantie 12 A
80100 Joensuu
Puh. (013) 260 6900

Authors

Jarkko Haaranen, Pekka Ketolainen

Title

The renovation Plan of Purnulampi in Koli

Commissioned by

Napa Koli Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to research the condition of bond Purnulampi and what kind of renovation method is the most suitable for it. Renovation methods for the catchment area and for the bond are both included in this thesis and their effectiveness and costs are compared. Field investigations, documents and literature were used in this thesis.

In the spring 2010 North Karelia Centre for Economic Development, Transport and the Environment made an initiative to research and improve the condition of bond Purnulampi located in Koli. Behind the initiative of the project is the owner of the area, Napa Koli Oy. The project is carried out as biosphere area co-operation between North Karelia ELY Centre and North Karelian University of Applied Sciences. This thesis is one part of that project.

The research revealed that Purnulampi suffers from water renovation, internal load and occasional deficiency of oxygen. Increased nutrient content and partial invasion by aquatic plants were indicators of eutrophication. Internal load induces the deficiency of oxygen in the wintertime, which was indicated by the paucity of fish and zoobenthos species.

Water renovation methods, which were compared, included dredging, mowing of aquatic plants and oxidation. The estimated dredging mass amount would be 63 000 cubic metres and the costs for this dredging would be 126 000 - 315 000 €. The costs for mowing of aquatic plants would be 240 - 3700 € and for the oxidation they would be 4 300 - 27 700 €. By comparison dredging was seen as the best method because it was the most efficient and sustainable of all methods.

Four overland-flow fields and one submerged dam were planned in the catchment area. The initial costs for these water protective structures would be about 3000 € and interception of precipitation for total phosphorous would be 2,46 kg. The impacts of Koli Cultura-center to Purnulampi were examined as stormwater. Calculations showed that stormwaters would increase total phosphorous load about 0,58 kg/a.

Language Finnish

Pages 103 + 8

Keywords

Koli, water renovation, eutrophication, catchment areas

NIMIÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLTÖ

LIITTEET

KUVAT, KUVIOT JA TAULUKOT

1 JOHDANTO	10
1.1 Taustaa	10
1.2 Keskeiset käsitteet.....	11
1.3 Aineisto ja menetelmät	11
1.4 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	12
2 ALUEEN YLEISKUVAUS.....	12
2.1 Valuma-alue	12
2.2 Purnulammen morfologisia ja hydrologisia perustietoja.....	14
2.3 Purnulammen vedenlaadun nykytila.....	16
2.4 Aikaisemmat vedenlaatututkimukset	19
2.5 Rehevöityminen.....	20
2.6 Valuma-alueen vuosikuorma	21
2.7 Virtavesien vedenlaatu	23
2.8 Fosforimallitarkastelu.....	24
2.8.1 Fosforimallitarkastelun perusteet	24
2.8.2 Fosforimallitarkastelu Purnulammelle	26
2.9 Kasvillisuus.....	27
2.9.1 Menetelmät	27
2.9.2 Tulokset	29
2.9.3 Tulosten tarkastelu.....	31
2.10 Purnulammen pohjaeläimet.....	32
2.10.1 Menetelmät	32
2.10.2 Tulokset	33
2.10.3 Tulosten tarkastelu.....	34
2.11 Purnulammesta laskevan puron pohjaeläimet.....	35
2.11.1 Menetelmät	35
2.11.2 Tulokset	37
2.11.3 Tulosten tarkastelu.....	38
2.12 Kalastorakenne	39
2.12.1 Menetelmät	39
2.12.2 Tulokset	40
2.12.3 Tulosten tarkastelu.....	41
2.13 Pohjasedimentin määrä ja laatu	42
2.13.1 Aineisto ja menetelmät.....	42
2.13.2 Tulokset ja niiden tarkastelu	45
3 JÄRVIKUNNOSTUSMENETELMÄT JA NIIDEN SOVELTUVUUS	
PURNULAMMEN KUNNOSTUKSESSA.....	49
3.1 Ruoppaus	49
3.1.1 Ruoppausmenetelmiä	49
3.1.2 Ruoppausmassojen käsittely	50
3.1.3 Ruoppausmenetelmän valinta.....	51
3.1.4 Ruoppauksen ympäristövaikutukset	52

3.1.5	Kustannukset	53
3.1.6	Menetelmän soveltuvuus Purnulampeen	54
3.2	Vesikasvien niitto.....	55
3.2.1	Menetelmät	55
3.2.2	Tavoitteet ja toteutus.....	56
3.2.3	Kustannukset	57
3.2.4	Menetelmän soveltuvuus Purnulampeen	58
3.3	Järven hapetus.....	62
3.3.1	Yleistä hapetuksesta.....	62
3.3.2	Tärkeimpiä hapetusmenetelmiä	62
3.3.3	Hapetusmenetelmän valinta	64
3.3.4	Kustannukset	66
3.3.5	Menetelmän soveltuvuus Purnulammelle	66
3.4	Järvikunnostusmenetelmien vertailu.....	73
4	VALUMA-ALUEELLA KÄYTETTÄVIÄ KUNNOSTUSMENETELMIÄ	75
4.1	Valuma-alueen määrittely.....	75
4.2	Laskeutusallas.....	76
4.3	Pintavalutuskenttä	77
4.4	Pohjapato	77
4.5	Kosteikko.....	78
5	VALUMA-ALUE KUNNOSTUKSET	79
5.1	Vesiensuojeluteknisten rakenteiden suunnittelu.....	79
5.1.1	Uoma 467	80
5.1.2	Uoma 466	82
5.1.3	Uoma 465	84
5.1.4	Uoma 464	85
5.1.5	Uomat 462, 473, 7, 8, 9, 10 ja 11.....	86
5.2	Vesiensuojeluteknisten rakenteiden pidätysteho.....	86
5.3	Vesiensuojeluteknisten rakenteiden kustannukset.....	88
6	KOLI CULTURA -KESKUS	91
6.1	Hulevedet	91
6.2	Hulevedet Koli Cultura -keskuksessa	92
6.3	Hulevesikuorma Purnulampeen	93
6.4	Koli Cultura -keskuksen vaikutus Purnulampeen	95
7	PÄÄTÄNTÄ.....	97
7.1	Yhteenveto	97
7.2	Virhelähteet	98
7.3	Toimenpidesuositukset.....	98
	LÄHTEET	100

LIITTEET

- Liite 1. Kasvillisuuden lajiluettelo. Kasvien ravinteisuusvaatimukset ja suhtautuminen rehevöitymiseen.
- Liite 2. Purnulampeen valuvat uomat 7, 8, 9, 10, 11, 462, 464, 465, 466, 467 ja 473. Lähtevä uoma 468 ja välialueet 13 - 22
- Liite 3. Purnulammen valuma-alueen osavaluma-alueet 2 - 12 sekä välialueet 13 - 23
- Liite 4. Purnulampeen laskevien uomien virtaamien (Q) ja valumien (q) havainnot sekä virtaamatilanteen luonnehdinta vuonna 2010
- Liite 5. Maankäyttö Purnulammen valuma-alueella
- Liite 6. Ilmaperspektiivikuva lounaasta Kolin kansallispuiston toiminta- ja palvelukeskuksesta
- Liite 7. Purnulampeen laskevien virtavesien lämpötilat ja happamuusasteet vuonna 2010
- Liite 8. Koli Cultura -keskuksessa käytetyt viheralueet

KUVAT, KUVIOT JA TAULUKOT

- Kuva 1. Purnulammen valuma-alueen (rajattuna punaisella viivalla) sijainti Herajärven vesistöalueella, s. 13
- Kuva 2. Purnulammen vesimassan jakautuminen syvyysvyöhykkeittäin, s. 15
- Kuva 3. Kasvillisuuskartoituslinjojen sijainnit, s. 28
- Kuva 4. Purnulammesta otettujen pohjaeläinnäytteiden havaintopaikat, s. 33
- Kuva 5. Purnulammesta laskevasta purosta otettujen pohjaeläinnäytteiden havaintoalueet, s. 36
- Kuva 6. Koekalastusverkkojen paikat, s. 40
- Kuva 7. Kymmenen sedimentin näytteenottoapaikan sijainti, s. 44
- Kuva 8. Purnulammen ranta- ja vesikasvillisuuden vyöhykkeisyys, s. 59
- Kuva 9. Aire-O₂-hapetuslaitteen toimintaperiaate, s. 69
- Kuva 10. AIRIT-ilmastimen toimintaperiaate, s. 70
- Kuva 11. Visiox-ilmastimen toimintaperiaate, s. 71
- Kuva 12. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 467 suunnitellut pohjapadot sekä pintavalutuskenttä, s. 80
- Kuva 13. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 466 suunniteltu pintavalutuskenttä, s. 82
- Kuva 14. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 465 suunniteltu pintavalutuskenttä, s. 84
- Kuva 15. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 464 suunniteltu pintavalutuskenttä, s. 85
- Kuvio 1. Purnulammen valuma-alueen maankäyttö hehtaareina, s. 14

- Taulukko 1. Purnulammen vedenlaatu (P - 1) eri havaintoajankohtina vuonna 2010, s. 16
- Taulukko 2. Purnulammen vedenlaatu eri syvyyksissä 2.9.2010, s. 17
- Taulukko 3. Purnulammen kokonaisfosforin ja liuenneen hapen pitoisuudet sekä lämpötila eri syvyyksissä 7.2.2011, s. 17
- Taulukko 4. Purnulammen kokonaisfosforin ja liuenneen hapen pitoisuudet eri syvyyksissä 17.3.2011, s. 18
- Taulukko 5. Minimiravinteiden ja veden ravinnesuhteen yhteydet, s. 18
- Taulukko 6. Ravinteiden laskennalliset suhteet havaintoajankohtina marraskuussa 1997 ja vuonna 2010, s. 19
- Taulukko 7. Purnulammen vedenlaatu 24.11.1997, s. 20
- Taulukko 8. Purnulammen ulkoinen kuormitus kokonaisfosforin, kokonaistypen ja kiintoaineen osalta vuonna 2010, s. 22
- Taulukko 9. Purnulampeen laskevien uomien veden laadun ja määrän havainnot vuonna 2010, s. 24
- Taulukko 10. Purnulammen vuotuinen kokonaisfosforikuorma ja sedimentoituvan fosforin määrä sekä veden laskennallinen kokonaisfosforipitoisuus eri tilanteissa, s. 27
- Taulukko 11. Kasvien peittävyysprosentit muunnettuna runsausarvioiksi, s. 28
- Taulukko 12. Kasvien esiintymisprosentit muunnettuna yleisyysarvioiksi, s. 29
- Taulukko 13. Rantakasvuston kasvien yleisyys ja peittävyys tutkituilla näytealueilla, s. 30
- Taulukko 14. Vesikasvuston kasvien yleisyys ja peittävyys tutkituilla näytealueilla, s. 31
- Taulukko 15. Purnulammen kasvilajien määrä elomuodoittain, s. 31
- Taulukko 16. Purnulammen pohjaeläinten kokonaisuusilömäärä/m² havaintopaikoittain, s. 34
- Taulukko 17. Purnulammesta laskevan puron havaintoalueiden pohjaeläintuloksia, s. 37
- Taulukko 18. Purnulammesta laskevan puron pohjaeläinten kokonaisuusilömäärät/m² havaintoalueittain, s. 38
- Taulukko 19. Purnulammen koekalastussaalit Nordic-koekalastusverkoilla 24. - 25.8 (verkot 1 ja 2) ja 1. - 3.9. (verkot 3 - 8) 2010, s. 40
- Taulukko 20. Eräiden Pohjois-Karjalassa tehtyjen kalastotutkimusten yksikkösaaliita, s. 42
- Taulukko 21. Veden ja pohjasedimentin tärkeitä redox-potentiaalin raja-arvoja, s. 43
- Taulukko 22. Ympäristöministeriön asettamat ohjeelliset raja-arvot pilaantuneille ruoppausmassoille, s. 45
- Taulukko 23. Purnulammen havaintopaikkojen redox-potentiaali, pH ja lämpötila, s. 46
- Taulukko 24. Havaintopaikan 7 pohjasedimentin analyysitulokset, s. 47
- Taulukko 25. Havaintopaikan 10 pohjasedimentin analyysitulokset, s. 47
- Taulukko 26. Hapetusmenetelmän valinta, s. 65

- Taulukko 27. Hapetuslaitteiden perustietoja sekä niiden ilmastuksen tuottoja ja hyötysuhteita, s. 71
- Taulukko 28. Eri hapetuslaitteiden energiankulutus ja käyttökustannukset, s. 72
- Taulukko 29. Hapetuslaitteiden kustannusvertailu, s. 72
- Taulukko 30. Kunnostusmenetelmien vertailu, s. 73
- Taulukko 31. Kunnostusmenetelmien kustannukset, s. 74
- Taulukko 32. Pohjapatojen kokonaisfosforikuormituksen pidätyskertoimet, s. 87
- Taulukko 33. Pintavalutuskenttien kokonaisfosforikuormituksen pidätyskertoimet, s. 87
- Taulukko 34. Purnulammen valuma-alueelle suunniteltujen vesiensuojeluteknisten rakenteiden vuotuinen kokonaisfosforin pidätyskyky, s. 88
- Taulukko 35. Uoman 467 pohjapatojen ja pintavalutuskentän perustamiskulut, s. 89
- Taulukko 36. Uomien 464, 465 ja 466 pintavalutuskenttien perustamiskulut uomaan kohden, s. 89
- Taulukko 37. Valuma-alueella tehtävien kunnostustöiden kustannukset, s. 90
- Taulukko 38. Suomalaisia hulevesihuuhtoumia kokonaisfosforin, kokonaistyppien ja kiintoaineen osalta, s. 94
- Taulukko 39. Hulevesien vuotuinen ainehuuhtouma Purnulampeen, s. 95

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Opinnäytetyömme aiheena on kunnostussuunnitelman laatiminen Kolin Purnulammelle. Kunnostussuunnitelma tulee kattamaan sekä lammen valuma-alueen että itse järvioltaan. Opinnäytetyö on osa laajempaa Purnulampea koskevaa selvitys- ja kehittämishanketta. Hankkeen asettajina ovat NaPa Koli Oy, Pohjois-Karjalan biosfäärialue ja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Aloite kunnostustyöstä ja yhteistoiminnasta ammattikorkeakoulun kanssa tuli Pohjois-Karjalan biosfäärialueen koordinaattorilta Timo Hokkaselta.

Opinnäytetyössämme arvioimme Purnulammen nykytilan tehtyjen tutkimusten perusteella ja kerromme menetelmistä, joita tutkimuksissa on käytetty. Vertailimme eri kunnostustoimenpiteiden käyttökelpoisuutta ja kustannuksia sekä arvioimme, mikä menetelmä soveltuu parhaiten Purnulammelle. Suunnittelimme valuma-alueelle vesiensuojeluteknisiä rakenteita ja laskimme niiden ravinteiden pidätystehokkuuden ja kustannukset. Arvioimme myös mikä tulee olemaan Purnulammen viereen tulevan matkailukeskuksen hulevesien vaikutus lammen tilaan.

Opinnäytetyö on toteutettu parityönä. Pekka Ketolainen on kirjoittanut luvut 2.2 - 2.5, 2.8 - 2.13 ja 3. Jarkko Haaranen on kirjoittanut luvut 2.1, 2.6, 2.7, 4, 5 ja 6. Tiivistelmä, abstract sekä luvut 1 ja 8 on kirjoitettu yhdessä.

Työn ohjaajina toimivat limnologi, päätoiminen tuntiopettaja Tarmo Tossavainen Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulusta ja erikoistutkija Timo Hokkanen Pohjois-Karjalan ELY-keskuksesta. Työn toimeksiantaja on Napa Koli Oy.

1.2 Keskeiset käsitteet

Valuma-alueella tarkoitetaan vesistöä ympäröivää maa-aluetta jolta sadanta ja sulamisvesistä koostuva vesi valuu vesistöön. Sen rajat määräytyvät vedenjakajina toimivien ympäröivien harjanteiden perusteella. Valuma-alueelle satanut vesi kulkeutuu samaan poistumispisteeseen. (Kukkonen ym. 2007, 10.)

Kokonaisfosfori on vedessä olevien, eri muodossa esiintyvien fosforien kokonaismäärä. Mittayksikkö on kok.P, µg/l. (Kokonaisfosfori 2005.)

Lappalaisen sedimentaatiomalli on ainetasemalli, joka kertoo kuinka suuri on fosforin pidättymiskerroin. Mallin avulla pyritään selvittämään fosforin nettosedimentaatio vesistössä sekä järven keskimääräinen fosforipitoisuus.

Vesiensuojeluteknisillä rakenteilla tarkoitetaan valuma-alueelle rakennettavia kohteita, joiden avulla pyritään vähentämään virtavesistä järvioltaaseen kohdistuvaa ulkoista kuormitusta. Näitä kohteita voivat olla kosteikot, pintavalutuskentät, pohjapadot ja ojakatkokset.

Järven **pohjasedimentti** muodostuu maalta huuhtoutuvasta aineksesta ja kuolleesta pohjaan laskeutuneesta eloperäisestä levä-, kasvi- ja eliöaineksesta. Sedimentti koostuu pääosin orgaanisesta hiilestä, typestä ja muista ravinteista.

Järven **kunnostusmenetelmät** ovat toimenpiteitä, joilla pyritään parantamaan huonokuntoisen järven tilaa. Toimenpiteet voivat kohdistua valuma-alueeseen ja/tai itse vesistöön. Yleisesti käytettyjä kunnostusmenetelmiä ovat esimerkiksi vesiensuojelutekniset rakenteet, ruoppaus, hapetus ja vesikasvien niitto.

1.3 Aineisto ja menetelmät

Opinnäytetyön tekemiseen on käytetty valmisaineistoa sekä omaa kenttätutkimusta. Valmisaineistona on käytetty Tarmo Tossavaisen ja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opiskelijaryhmän (AYNS09T) tekemiä kasvillisuus-, kalasto- ja pohjaeläintutkimuksia Purnulammesta. Tossavai-

nen ja opiskelijat ottivat vuoden 2010 aikana useita vesinäytteitä ja virtaamamittauksia lammesta, lammesta laskevasta uomasta sekä siihen laskevista uomista. Käytimme näistä vesinäytteistä ja mittauksista saatuja tuloksia apuna aine-
taselaskelmissa. Omien maastotöiden avulla saimme lisää vedenlaatu- ja virtaamatuloksia sekä kartoitimme maastossa mahdollisia paikkoja vesiensuojeluteknisille rakenteille. Kevättalvella 2011 kävimme tekemässä lammen pohjasedimenttitutkimuksen, joka antoi arvokasta tietoa kunnostustoimien suunnittelua varten. Käytimme apuna myös aiheeseen liittyvää kirjallisuutta.

1.4 Työn tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia kunnostussuunnitelma Purnulammelle. Työn on tarkoitus antaa tietoja Purnulammen nykytilasta ja kunnostusmenetelmistä, joita lammen tilan parantamiseen voidaan käyttää. Tavoitteena on vertailla erilaisten kunnostustoimenpiteiden tehokkuutta ja kustannuksia sekä valita näiden tietojen perusteella soveltuvin menetelmä. Opinnäytetyössä tarkastellaan myös valuma-alueelle kaavaillun palvelukeskuksen mahdollisia vaikutuksia lammen tilaan.

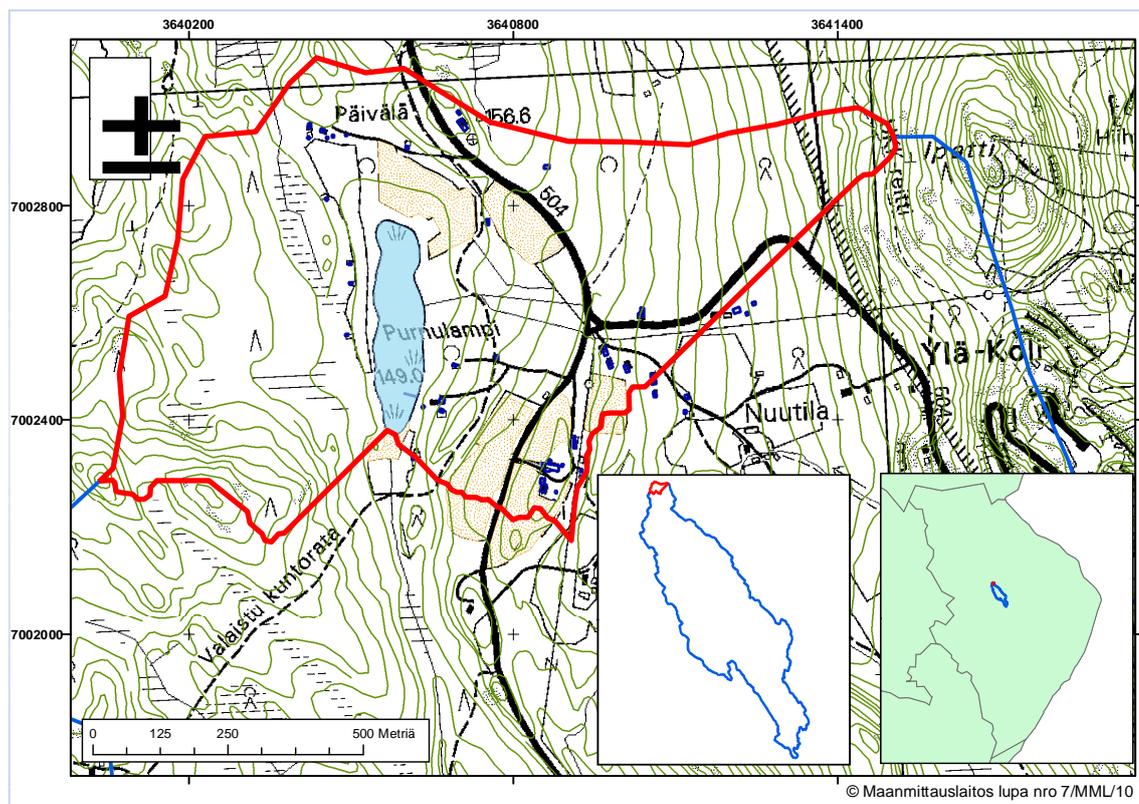
Valuma-alueen tarkastelu rajataan lähivaluma-alueeseen ja valuma-alueelle rakennettavan monitoimikeskuksen vaikutukset Purnulampeen rajataan hulevesien tarkasteluun. Järviältäan kunnostusmenetelmien vertailu rajataan kolmeen yleisimpään ja tutkituimpaan menetelmään: ruoppaukseen, vesikasvien niittoon ja hapetukseen. Työssä ei käsitellä menetelmiin liittyvää lainsäädäntöä.

2 ALUEEN YLEISKUVAUS

2.1 Valuma-alue

Purnulampi (Herajärven vesistöalueen kolmannen jakovaiheen tunnus 04.412.1.028) sijaitsee Pohjois-Karjalassa Lieksan kunnassa, Kolin kansallispuiston välittömässä läheisyydessä, Ipatti-vaaralle johtavan Ylä-Kolintien länsipuolella (kuva 1). Purnulampi saa vetensä siihen laskevista uomista (11 kpl)

jotka laskevat valuma-alueen pelloilta, soilta ja metsämailta (liite 2). Purnulamesta vesi laskee luusuan kautta Verkkolampeen ja sieltä edelleen Jerojärveen. (Kiiskinen 2010.)



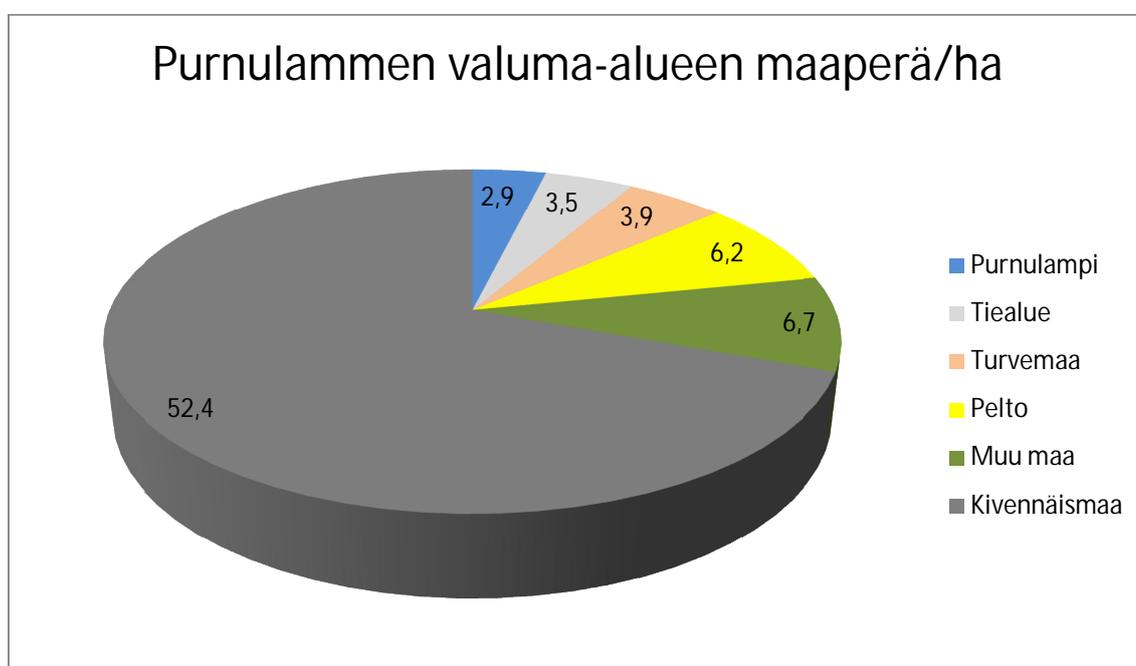
Kuva 1. Purnulammen valuma-alueen (rajattuna punaisella viivalla) sijainti Herajärven vesistöalueella (Pohjois-Karjalan ELY 2010)

Purnulammen valuma-alueen pinta-ala on 73,4 hehtaaria, joka muodostuu 11 osavaluma-alueesta ja 11 välialueesta. Alue koostuu metsätalousmaista, viljelysmaista ja suo-alueista ja alueella on kaksi maatilaa. Purnulampi kuuluu Vuoksen vesienhoitoalueeseen. (Pohjois-Karjalan ELY. 2010. Purnulammen järvikortti. Julkaisematon.)

Purnulammen valuma-alueen maankäytöstä kivennäismaata on 52,4 ha, peltoa 6,2 ha, turvemaata 3,9 ha ja muuta maata 6,7 ha, joka luokitellaan rakennetuiksi alueiksi (kuvio 1). Peltoalueet sijoittuvat lammen itäiselle puolelle, loput maankäytöstä valuma-alueen itäisellä puolella on metsämaata. Pääosa lammen itäisen puolen valuma-alueesta kuuluu Kolin kansallispuistoon. Purnulammen länsipuolelle sijoittuvat suoalueet sekä lammen rantaviivan tuntumassa oleva n. 1,2 hehtaarin kokoinen viljelyksestä poistunut sarkaojitettu pelto, joka on metsit-

tymässä. Loput maankäytöstä on metsää, jonka maaperä koostuu pääosin kivennäismaasta (liite 5). Suhteellisen pienen valuma-alueen korkeuserot ovat suuret, sillä alue sijoittuu Kolin vaaramaisemaan ja täten valuma-alue on erittäin selkeä rajata.

”Purnulammen valuma-alueen kallioperä muodostuu pääasiassa kvartsiiteista, sekä kalsiumpitoisesta emäksistä magmakivistä, gabrosta ja diabaasista.” (Kiiskinen 2010, 9.) Kolilla kallioiden välialueiden maa-aines muodostuu moreenista ja näin lammen valuma-alueen päämaalaji onkin moreeni.

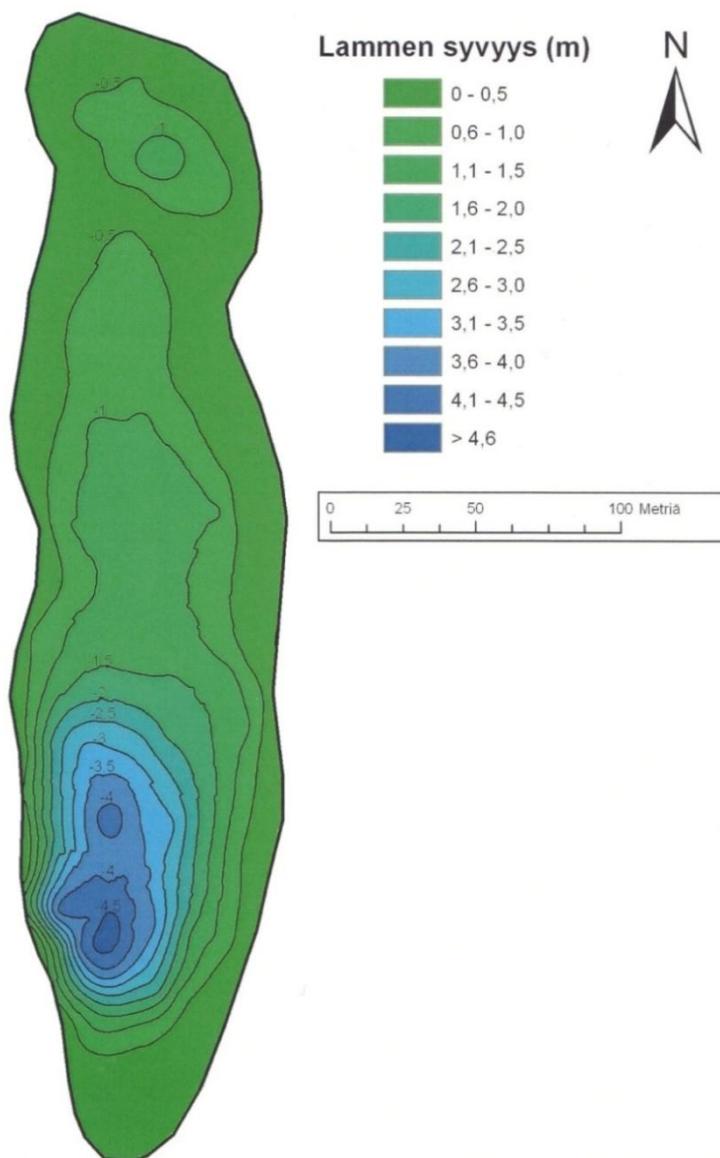


Kuvio 1. Purnulammen valuma-alueen maankäyttö hehtaareina (Hyttinen, Kiiskinen, Pihlapuro, Pippuri, & Sutinen, 2011).

2.2 Purnulammen morfologisia ja hydrologisia perustietoja

Lammen vesipinta-ala on 3,148 hehtaaria ja sen tilavuus on 30 506 m³. Ranta- viivaa 0,895 kilometriä. Keskisyvyys on 1,04 metriä ja suurin syvyys 4,8 metriä. (Hyttinen, Kiiskinen, Pihlapuro, Pippuri & Sutinen 2011, 6, 22.) Lammesta lähtevän puron vuosikeskivirtaama oli vuonna 2010 6,4 l/s ja tällöin lammen viipymä oli noin 1,8 kuukautta.

Tarmo Tossavainen ja ympäristötekniikan opiskelijat tekivät syvyyskartoitusmittaukset lammella syyskuussa 2010. Mittausten avulla opiskelijat laativat Purnulammesta syvyysmallin niin sanotulla Krigingin interpolointimenetelmällä (kuva 2).



Kuva 2. Purnulammen vesimassan jakautuminen syvyysvyöhykkeittäin (Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu 2010, 2011). © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10.

2.3 Purnulammen vedenlaadun nykytila

Purnulammesta otettiin vesinäytteet kuutena havaintoajankohtana vuonna 2010 ja kahtena havaintoajankohtana vuonna 2011.

Purnulampi on ollut kokonaisfosforin perusteella (taulukko 1) lievästi rehevöityneessä tilassa kaikkina havaintoajankohtina vuonna 2010. Kokonaistypen perusteella lampi on ollut rehevöityneessä tilassa kaikkina havaintoajankohtina vuonna 2010. Fosfori on ollut selkeästi minimiravinne kokonaisravinteiden suhteen perusteella (kok.N/kok.P > 17). Kiintoainepitoisuudet olivat kolmena ensimmäisenä havaintoajankohtana (28.4.2010, 19.5.2010 ja 30.9.2010) vanhan metsätalousmaan ojille tyypillisiä ylivirtaamajakson lukemia (2 - 5 mg/l). Kahtena viimeisimpänä havaintoajankohtana vuoden 2010 aikana (8.10.2010 ja 16.10.2010) kiintoainepitoisuudet olivat vanhan metsätalousmaan ojille tyypillisiä alivirtaamajakson lukemia (0 - 2 mg/l). pH oli havaintoajankohdasta riippumatta erinomainen, sillä se soveltuisi kaikille Suomessa tavattaville kalalajeille. 28.4.2010 veden happitilanne on ollut huono talvikerrosteisuuden jäljiltä.

Taulukko 1. Purnulammen vedenlaatu (P - 1) eri havaintoajankohtina vuonna 2010

Havaintoajankohta	28.4.2010	19.5.2010	30.9.2010	8.11.2010	16.11.2010
Kokonaisfosfori (µg/l)	26	21	15	12	11
Fosfaattifosfori (µg/l)	3	<2	<2	<2	<2
Kokonaistyyppi (µg/l)	1000	600	720	730	760
Nitraatti- ja nitriittityppi (µg/l)	32	5	5	68	80
Ammoniumtyppi (µg/l)	160	3	32	43	57
Kiintoaine (mg/l)	2,9	2,5	2	<0,9	0,9
pH	6,4	6,53	6,83	6,88	6,73
Lämpötila (°C)	4,3	10,9	-	-	-
Liuenut happi (mg/l)	3,5	11,0	7,1	9,9	7,6
Hapen kyllästysaste (%)	24,7	-	-	-	-

Granbergin & Granbergin (2006) mukaan järven keskimääräinen fosforipitoisuus voidaan olettaa yhtä suureksi kuin poistuvan veden fosforipitoisuus, jos järvi oletetaan täysin sekoittuvaksi. Purnulammesta poistuvan veden virtaama-painotettu fosforipitoisuus on noin 16 µg/l. Tällöin myös Purnulammen keskimääräisen fosforipitoisuuden voidaan olettaa olevan samat 16 µg/l.

Purnulammen syvänteestä 2.9.2010 otettujen vesinäytteiden lämpötilan perusteella (taulukko 2) Purnulammessa ei ole vielä tapahtunut syystäyskiertoa, vaan lampi oli edelleen kerrosteisuustilassa. Pintavedessä välivedessä happitilanne oli hyvä, mutta pohjassa veden happipitoisuus oli matala. Tämä viittaa siihen, että lampi kärsii myös kesäisin sisäisestä kuormituksesta.

Taulukko 2. Purnulammen vedenlaatu eri syvyyksissä 2.9.2010

Näytteenottosyvyys	Näkösyvyys	Lämpötila	Happipitoisuus	Kyllästysaste	pH
1 m	1,5 m	11,8 °C	9,15 mg/l	83,4 %	6,4
3 m	1,5 m	10,2 °C	7,33 mg/l	65,3 %	6,1
4 m	1,5 m	7,2 °C	2,00 mg/l	11,7 %	6,0

Lammen syvänteestä otettiin vesinäytteet 7.2.2011 ja 17.3.2011 (taulukot 3 ja 4). Jään paksuus oli molempina havaintoajankohtina 0,5 metriä ja näkösyvyys 1,0 metriä. Koko vesimassa oli molempina havaintoajankohtina happimittausten mukaan hapettomassa tilassa ja tästä kieli myös näytteenottohetkillä havaittu voimakas rikkivedyn haju. 7.2.2011 kokonaisfosfori vaihteli 24 - 36 µg/l välillä ja 17.3.2011 pitoisuudet olivat välillä 27 - 34 µg/l.

Taulukko 3. Purnulammen kokonaisfosforin ja liuenneen hapen pitoisuudet sekä lämpötila eri syvyyksissä 7.2.2011

Syvyys (m)	1,0	2,0	3,0	3,4	3,9
Kokonaisfosfori (µg/l)	25	24	24	25	36
Liuenut happi (mg/l)	< 0,2	< 0,2	-	< 0,2	-
Lämpötila (°C)	2,2	2,9	3,8	3,8	4,2

Kokonaisfosforipitoisuudet olivat maltillisia hapettomista olosuhteista huolimatta. Tämä viittaa sedimentin suureen fosforin sitomiskykyyn, esimerkiksi alumiinin vuoksi. Tällaisessa tilanteessa sedimentistä ei vapaudu fosforia hapettomissa-kaan olosuhteissa (Ryding & Forsberg 1977, Väisänen 2003, 23 mukaan).

Taulukko 4. Purnulammen kokonaisfosforin ja liuenneen hapen pitoisuudet eri syvyyksissä 17.3.2011

Syvyys (m)	1,0	2,0	3,0	3,6
Kokonaisfosfori ($\mu\text{g/l}$)	29	27	28	34
Liennut happi (mg/l)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2

Kasviplanktonin perustuotantoa Purnulammessa ensisijaisesti rajoittavan ravinteiden eli niin sanotun minimiravinteiden arvioinnissa käytettiin taulukossa 5 esitetyjä ravinnesuhteita. Ravinteiden tasapainosuhteen on havaittu olevan herkin kuvaamaan ravinteiden rajoittavuutta, mineraaliravinteiden suhteen olevan seuraavaksi herkin ja kokonaisravinteiden suhteen olevan vähiten herkin (Salonen ym. 1992, Tossavaisen 2011, 19 mukaan). Kokonaisravinteiden suhde laskettiin jakamalla kokonaistyyppi kokonaisfosforilla, mineraaliravinteiden suhde saatiin jakamalla nitraattityypin, nitriittityypin ja ammoniumtyypin summa fosfaattifosforin määrällä ja ravinteiden tasapainosuhte laskettiin jakamalla kokonaisravinteiden suhde mineraaliravinteiden suhteella.

Taulukko 5. Minimiravinteiden ja veden ravinnesuhteen yhteydet (Salonen ym. 1992, Tossavaisen 2011, 19 mukaan)

Kokonaisravinteiden suhde	Mineraaliravinteiden suhde	Ravinteiden tasapainosuhte	Minimiravinne
<10	< 5	> 1	N
10 - 17	5 - 12	1	N tai P
> 17	> 12	< 1	P

Kokonaisravinteiden suhteen perusteella Purnulammen minimiravinne oli kaikkina havaintoajankohtina fosfori (taulukko 6). Mineraaliravinteiden suhteen perusteella minimiravinne oli neljänä havaintoajankohta fosfori ja yhtenä havaintoajankohta typpi. Ravinteiden tasapainosuhteen perusteella typpi oli minimiravinne kolmena havaintokertana, fosfori yhtenä havaintokertana ja typpi tai fosfori yhtenä havaintokertana. Vuoden 1997 havaintoajankohdalle ei voitu laskea mineraaliravinteiden suhdetta tai ravinteiden tasapainosuhdetta, koska mineraaliravinteita ei oltu mitattu.

Neljän viimeisimmän havaintoajankohdan mineraaliravinteiden suhdetta tai ravinteiden tasapainosuhdetta tarkasteltaessa on otettava huomioon, että fosfaat-

tifosfori on ollut havaintohetkillä alle määrittäysrajan (2,0 µg/l). Laskuissa on käytetty kuitenkin fosfaattifosforin määränä 2,0 µg/l, joten 19.5.2010 miniravinne mineraaliravinteiden suhteen perusteella on voinut olla myös fosfori ja 19.5.2010, 30.9.2010, 8.11.2010 minimiravinne ravinteiden tasapainosuhteen perusteella on voinut olla myös fosfori.

Taulukko 6. Ravinteiden laskennalliset suhteet havaintoajankohtina marraskuussa 1997 ja vuonna 2010

Havainto- ajankohta	Kokonaisravinteiden suhde	Mineraaliravinteiden suhde	Ravinteiden tasapainosuhte
24.11.1997	51	-	-
28.4.2010	38	64	0,6
19.5.2010	29	4	7,3
30.9.2010	48	19	2,5
8.11.2010	61	56	1,1
16.11.2010	69	69	1,0

2.4 Aikaisemmat vedenlaatututkimukset

Lammesta on tietävästi otettu vesinäytteet vain kerran aikaisemmin (ennen vuotta 2010), vuonna 1997 (taulukko 7). Kokonaisfosforin perusteella Purnulampi on tuolloin ollut lievästi rehevöityneessä tilassa (kok.P 10 - 35 µg/l). Kokonaistypen perusteella lampi on ollut rehevöityneessä tilassa (kok.N 600 – 1 500 µg/l). Happitilanne on ollut havaintohetkellä huono kaikissa syvyyksissä, mutta erityisen huono se on ollut pohjan lähellä. Pohjan heikon happitilanteen ja kohonneen kokonaisfosforimäärän perusteella voidaan olettaa, että lampi oli ollut sisäkuormitteisessa tilassa. Myös alusveden korkeat rauta- ja mangaanipitoisuudet viittaavat sisäiseen kuormitukseen. Kaloille turvallinen alumiinin pitoisuusraja pH:n ollessa alle 6,5 on 40 µg/l ja pH:n ollessa yli 6,5 100 µg/l (Alumiini 2006). Näin ollen alumiinia voidaan katsoa olleen haitallisina pitoisuuksina vedessä. Kemiallisen hapenkulutuksen (Cod_{Mn}) ja väriluvun (mg Pt/1) perusteella vesi oli ollut mesohumoosista. Vesi on ollut sameusasteeltaan kirkasta (< 1 FNU).

Taulukko 7. Purnulammen vedenlaatu 24.11.1997

Syvyys (m)	1,0	2,5	3,5
Lämpötila	3,3	3,7	3,8
Liuennut happi (mg/l)	5,1	2,1	1,2
Hapen kyllästysaste (%)	38	16	9
Kokonaisfosfori (µg/l)	14	-	28
Kokonaistyyppi (µg/l)	720	-	900
pH	6,48	-	6,31
COD _{Mn}	14	-	13
Sameus (FNU)	0,4	-	0,7
Sähkönjohtavuus (mS/m)	8,5	-	10,6
Väriluku (mg Pt/l)	70	-	80
Alumiini (µg/l)	87	-	-
Kloridi (mg/l)	5,5	-	7,2
Mangaani (µg/l)	48	-	520
Rauta (µg/l)	160	-	800
Sulfaatti (mg/l)	7,0	-	8,3

2.5 Rehevöityminen

Rehevöitymisen ensimmäisinä ja herkimpinä analyysitason indikaattoreina alusvedessä ja pohjan läheisessä vedessä voidaan pitää (Lappalainen 1990, Saunamäen, 16 mukaan)

- happivajausta (alle 3 mg O₂ l)
- nitraattityypen vähentymistä (alle 100 mg N m³)
- ammoniumtyypen lisääntymistä (yli 100 mg N m³)
- mangaanipitoisuuden lisääntymistä (yli 200 mg Mn m³)
- rautapitoisuuden lisääntymistä (yli 500 mg Fe m³)
- fosforipitoisuuden lisääntymistä (yli 30 mg P m³).

Purnulammen pohjan läheinen vesi täyttää useimmat yllä mainituista kohdista ainakin talvikerrosteisuuden aikana, mutta osin myös ympäri vuoden. Vuosina 2011 ja 1997 otettujen vesinäytteiden mukaan lammen veden happipitoisuus on ollut ajoittain alle 3 mg/l. Vuoden 1997 vesinäytetulosten mukaan 3,5 metrissä rautapitoisuus oli ollut selvästi yli 500 mg/m³ ja mangaanipitoisuus yli 200 mg/m³. Nitraattityppi on ollut vuonna 2010 kaikkina havaintoajankohtina alle 100 mg/m³ ja ammoniumtyppi yhtenä havaintoajankohtana (talvikerrosteisuuden

jäljiltä) yli 100 mg/m³. Yllä mainittujen indikaattorien perusteella Purnulampi on rehevöityneessä tilassa.

2.6 Valuma-alueen vuosikuorma

Purnulampeen tulevan kuormituksen määrittämiseen on käytetty apuna Purnulampeen laskevista uomista otettuja virtaamamittauksia, vesinäytteitä ja niistä saatuja vedenlaatutietoja. Näiden vedenlaatutietojen perusteella on saatu laskeutta osavaluma-alueiden kuormitus. Osavaluma-alueiden väliin jääneiden välialueiden kuormat laskettiin maankäyttömuotojen ravinnekuormituskertoimien perusteella. Vesinäytteet on otettu uomista 28.4.2010, 19.5.2010, 30.9.2010, 8.11.2010 ja 16.11.2010. Samalla on näytteenottopaikoista mitattu virtaamat (l/s) yhdysvaltalaisvalmisteisella Global Water –siivikolla, jonka avulla on voitu määrittää sen hetkinen virtaamajakso. Keväällä otettujen vesinäytteiden aikaan on ollut käynnissä kevätylivirtaamajakso ja syksylläkin virtaamat ovat olleet vuosikeskivirtaaman (8,8 l/s/km²) tuntumassa (liite 4). Voidaankin todeta, että vesinäytteistä on saatu edustavat näytteet kuormituksen osalta.

Vesinäytteet on saatu otettua uomista 462, 464, 465, 466, 467, 473 sekä luusuasta 468 (liite 2). Uomista 7 - 11 ei ole saatu otettua vesinäytteitä olemattoman virtausnopeuden takia, mutta uomasta 462 on saatu edustava vesinäyte jonka vedenlaatua on voitu käyttää uomien 7 - 11 osavaluma-alueiden kokonaisfosforin määrittämiseen. Kokonaistyyppikuorman määrittämiseen käytettiin uomiin 7 - 11 Pohjois-Karjalan yläosien luonnonhuuhtouman arvoa 150 kg/km²/a (Tossavainen 2006, 28).

Välialueiden kuormitusten laskennassa on käytetty ravinnekuormituskertoimia haja-asutukselle ja peltoviljelylle (Tossavainen 2006, 28 - 31). Välialueille 16 - 23 on käytetty metsämaalle 39 µg/l ravinnekuormaa kok. P:n osalta, joka on saatu vertaamalla uoman 462 vedenlaatua ja osavaluma-aluetta samankaltaiseen maankäyttöön välialueilla 16 - 23.

Purnulampeen kohdistuvan ilmalaskeuman määrittämiseen on käytetty vuoden 1998 Ilomantsin Naarvan havaintoaseman keskimääräisiä laskeumia kokonais-

fosforin (23 mg/m²/a) ja kokonaistypen (472 mg/m²/a) osalta. (Tossavainen 2006, 32.)

Taulukko 8. Purnulammen ulkoinen kuormitus kokonaisfosforin, kokonaistypen ja kiintoaineen osalta vuonna 2010

Purnulampeen laskeva uoma (valuma-alueen pinta-ala)	Kok. P kuorma (kg)	Kok. N kuorma (kg)	Kiintoaine kuorma (kg)
Uoma 7 (0,004 km ²)	0,043	0,600	4,541
Uoma 8 (0,042 km ²)	0,154	6,300	47,84
Uoma 9 (0,003 km ²)	0,032	0,450	3,374
Uoma 10 (0,007 km ²)	0,077	1,050	8,010
Uoma 11 (0,037 km ²)	0,136	5,550	42,164
Uoma 462 (0,007 km ²)	0,076	1,955	8,010
Uoma 464 (0,060 km ²)	3,330	18,354	18,322
Uoma 465 (0,042 km ²)	0,712	11,318	10,501
Uoma 466 (0,230 km ²)	0,549	27,574	57,459
Uoma 467 (0,088 km ²)	0,393	23,555	80,543
Uoma 473 (0,109 km ²)	0,139	14,759	27,216
Välialue 13 (0,065 km ²)	0,574	5,656	..
Välialue 14 (0,004 km ²)	0,005	0,600	..
Välialue 15 (0,015 km ²)	0,192	1,350	..
Välialue 16 (0,003 km ²)	0,032	0,450	..
Välialue 17 (0,003 km ²)	0,032	0,450	..
Välialue 18 (0,002 km ²)	0,022	0,300	..
Välialue 19 (0,0007 km ²)	0,007	0,105	..
Välialue 20 (0,0005 km ²)	0,005	0,075	..
Välialue 21 (0,001 km ²)	0,011	0,150	..
Välialue 22 (0,010 km ²)	0,108	1,500	..
Välialue 23 (0,002 km ²)	0,022	0,300	..
Yhteensä valuma-alueelta (0,6974 km ²)	6,651	122,401	307,980
Ilmalaskeuma	0,724	14,859	..
Kuormitus yhteensä	7,375	137,260	307,98

Vuosikuorma on laskettu uomista otettujen vesinäytepitoisuuksien ja ELY-keskukselta saadun Pielisen lähialueen keskivaluman mukaan kokonaisfosforin, kokonaistypen ja kiintoaineen osalta (taulukko 8). Uomien vuosikeskivirtaamat [MQ] on saatu laskennallisesti suhteuttamalla kunkin laskevan uoman yläpuoliseen valuma-alueeseen. Purnulampeen laskevien uomien vuosikuormitus on laskettu seuraavasti (Tossavainen 2005a, Leskinen & Saarenpää 2005, 39 mukaan):

Kaava 1. $[M] = [c] * [MQ]$, jossa

M = vuosikuorma,

c = virtaamapainotettu vuosikeskipitoisuus,

MQ = vuosikeskivirtaama (vertailuvaluma-alueen vuosikeskivalunnan avulla).

Kokonaisfosforin ja kokonaistypen uomien tuomaan vuosikuormaan on lisätty välialueiden sekä ilmalaskeuman mukana tuleva kuorma. Vuonna 2010 päätyy Purnulampeen valuma-alueelta kokonaisfosforia 7,4 kg, kokonaistyppeä 137,3 kg ja kiintoainetta 308,0 kg (taulukko 8).

2.7 Virtavesien vedenlaatu

Purnulampeen laskevien uomien kokonaisfosfori ja fosfaattifosfori kuormat (kok. P 4 - 200 µg/l ja PO₄³⁻-P <2 - 160 µg/l) ovat maltillisia (taulukko 9). Lukuunottamatta lammen pohjoispäässä sijaitsevia uomia 464 (kok. P 200 µg/l ja PO₄³⁻-P 160 µg/l) ja 465 (kok. P 61 µg/l ja PO₄³⁻-P 34 µg/l) joiden pitoisuudet ovat korkeita, jäävät kokonaisfosfori kuormat (4 - 39 µg/l) valuma-alueeltaan luonnontilaisille purovesille tyypillisiksi. Uoman 464 suuri ravinnepitoisuus voi selittyä uoman päässä sijaitsevan Päivälän kiinteistön (liite 4) jätevesijärjestelmällä. Kiinteistöllä on jätevesijärjestelmänään käytössä umpisäiliöinen sakokaivo, joka on voinut vuosien saatossa vaurioitua. Sakokaivon vuotaessa suuret ravinnepitoisuudet selittyisivät. Uoman 464 pitoisuudet voivat heijastua myös uoman 465 kohonneisiin ravinnepitoisuuksiin, sillä sen osa-valuma-alueella ei ole kiinteistöjä jotka voisivat vaikuttaa ulkoiseen kuormitukseen.

Uoman 467 typpiravinteiden pitoisuudet (kok. N 680-1 400 µg/l, NO₃⁻ + NO₂⁻-N 290 - 1 000 µg/l ja NH₄⁺-N <2 - 48 µg/l) ovat melko rehevien virtavesien suuruusluokkaa etenkin nitraatti- ja nitriittitypen osalta. Tämä voi selittyä osavalueella sijaitsevilla pelloilla, jotka ovat ennen olleet aktiivisessa peltoviljelyssä, joista nyt vapautuu maaperään sitoutuneita typpiyhdisteitä. Muiden uomien tuomat typpikuormat (kok. N 310 - 1000 µg/l, NO₃⁻ + NO₂⁻-N 8 - 320 µg/l ja NH₄⁺-N <2 - 27 µg/l) ovat pieniä ja luonnontilaisen kaltaisia. Virtavesien happamuusasteet ovat välillä 5,4 - 6,6, joka on suotuinen kaikille kalalajeille (liite 7).

Kiintoaineen osalta ulkoinen kuormitus (< 0,9 - 4,1mg/l) on erittäin pientä ja luonnontilaisen kaltaista. Uomat ovat aikoinaan perattu, ja nykyään ne ovat hyvin luonnontilaisen kaltaisia, joten kiintoainesta ei uoman syöpmisestä synny. Näin ollen lampeen päätyvän orgaanisen aineksen kuorma on hyvin pieni, eikä lammen pohjaan päädy haitallisia määriä pohjalietettä ajatellen lampeen kohdistettavia kunnostustoimenpiteitä.

Taulukko 9. Purnulampeen laskevien uomien veden laadun ja määrän havainnot vuonna 2010

Pvm	Uoma	Q (l/s)	Kok. N (µg/l)	NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻ N (µg/l)	NH ₄ ⁺ N (µg/l)	Kok. P (µg/l)	PO ₄ ³⁻ P (µg/l)	Kiintoaine (mg/l)
28.4.	462	0,19	1000	320	6	39	22	4,1
	464	2,4	1000	60	27	200	160	1,1
	465	0,9	970	8	13	61	34	< 0,9
	466	21,9	460	79	9	10	< 2	< 0,9
	467	6,5	1000	460	48	18	6	4,1
19.5.	466	4,5	400	24	< 2	8	< 2	< 0,9
	467	1,5	680	290	< 2	12	3	< 0,9
30.9.	466	1,5	310	31	< 2	4	< 2	< 0,9
8.11.	466	2,1	400	66	< 2	4	< 2	< 0,9
	467	0,3	1400	1000	< 2	7	5	< 0,9
	473	1,9	500	43	2	5	< 2	< 0,9
16.11.	466	2,2	330	44	< 2	4	< 2	< 0,9
	467	0,3	1200	820	< 2	5	2	< 0,9
	473	1,3	470	89	< 2	4	< 2	< 0,9

2.8 Fosforimallitarkastelu

2.8.1 Fosforimallitarkastelun perusteet

Järven veden fosforipitoisuus eri kuormitustilanteissa voidaan määrittää, kun tiedetään tuleva fosforikuormitus sekä fosforin nettosedimentaatio järven pohjaan. Apuna tässä määrittämisessä käytetään erilaisia fosforin sedimentaatiota kuvaavia matemaattisia malleja.

"Lappalaisen (1974) ja Dillonin sekä Riglerin (1974) mukaan fosforin nettosedimentaatio" on (Granberg & Granberg 2006, 21):

Kaava 2. $S_p = R I_p$

missä S_p = fosforin nettosedimentaatio
 R = pidättymiskerroin
 I_p = fosforikuormitus.

Tapauksessa, missä aine ei sedimentoidu ($S = 0$), voidaan massatasapaino kirjoittaa muotoon (Granberg & Granberg 2006, 21):

Kaava 3. $dm/dt = I - O$

missä m = aineen kokonaismäärä järvestä
 t = aika
 I = kuormitus
 O = poistuma järvestä.

"Tasapainotilan vallitessa aineen määrä järvestä ei muutu ($dm/dt = 0$), jolloin $I = O$, eli kuormitus ja poistuma ovat yhtä suuret" (Granberg & Granberg 2006, 21).

Fosforin pidättymiskerroin voidaan laskea esimerkiksi Friskin (1978) tekemällä muunnoksella Lappalaisen (1977) nettosedimentaatiomallista (Granberg & Granberg 2006, 23).

Kaava 4. $R = 0,9 \frac{C_0 T}{280 + C_0 T}$

missä R = fosforin nettosedimentaatiokerroin
 C_0 = fosforin alkupitoisuus = I_p/Q mg/m³
 T = viipymä kuukausina (V/Q)
 Q = virtaama m³/s
 V = tilavuus m³.

Fosforin poistuma saadaan kaavasta:

$$\text{Kaava 5. } O_p = (1 - R) I_p$$

ja poistuvan veden fosforipitoisuus kaavasta:

$$\text{Kaava 6. } C = \frac{(1-R)I}{Q} .$$

”Jos järvi oletetaan täysin sekoittuvaksi, voidaan poistuvan veden fosforipitoisuus olettaa yhtä suureksi kuin järven keskimääräinen fosforipitoisuus” (Granberg & Granberg 2006, 24).

2.8.2 Fosforimallitarkastelu Purnulammelle

Purnulammen kaikkien uomien ja välialueiden fosforikuorma yhteensä on 6,651 kg/a. Ilmalaskeuman mukana lampeen tulee fosforia 0,724 kg/a Täten Purnulammen kokonaisfosforikuorma I_p vuodessa on 7,375 kg (Taulukko 10). Vuosikeskivirtaama on 6,4 l/s.

Aluksi lasketaan fosforin alkupitoisuus C_0 :

$$C_0 = \frac{I_p}{Q} = \frac{7,375 \text{ kg/a}}{6,4 \text{ l/s}} = \frac{0,2339 \text{ mg/s}}{0,0064 \text{ m}^3/\text{s}} = 36,4 \text{ mg/m}^3.$$

Fosforin pidätyskerroin R saadaan seuraavasti: (kaava 4)

$$R = 0,9 \frac{C_0 T}{280 + C_0 T}$$

$$R = 0,9 \frac{36,4 \text{ mg/m}^3 * 1,8 \text{ kk}}{280 + 36,4 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 1,8 \text{ kk}} = 0,190.$$

Näin ollen 19,0 % Purnulampeen tulevasta kokonaisfosforin vuosikuormasta sedimentoituu.

Fosforin nettosedimentaatio saadaan kaavalla 2.

$$S_p = R I_p = 0,190 * 7,375 \text{ kg/a} = 1,40 \text{ kg/a}$$

Purnulammen keskimääräinen fosforipitoisuus saadaan laskettua seuraavasti: (kaava 6)

$$C = \frac{(1 - R)I_p}{Q}$$

$$C = \frac{(1-0,190)7,375 \text{ kg/a}}{202\,587 \text{ m}^3/\text{a}} = 0,00002949 \text{ kg/m}^3 = 29,49 \text{ mg/m}^3 = 29,49 \text{ }\mu\text{g/l} \approx 29 \text{ }\mu\text{g/l}.$$

Samalla laskentamallilla laskettuna luonnontilaisen Purnulammen kokonaisfosforikuormitus olisi 1,7 kg/a. Tällöin fosforista 0,14 kg sedimentoituisi lammen pohjaan ja veden fosforipitoisuus olisi noin 8 $\mu\text{g/l}$.

Jos Purnulammen valuma-alueelle rakennettaisiin kappaleessa 6 esitetyt vesiensuojelutekniset rakenteet, niin lampeen tuleva kokonaisfosforikuorma olisi 4,179 kg/a. Tästä määrästä 0,86 kg sedimentoituisi, jolloin lammen fosforipitoisuus olisi noin 16 $\mu\text{g/l}$.

Taulukko 10. Purnulammen vuotuinen kokonaisfosforikuorma ja sedimentoituvan fosforin määrä sekä veden laskennallinen kokonaisfosforipitoisuus eri tilanteissa

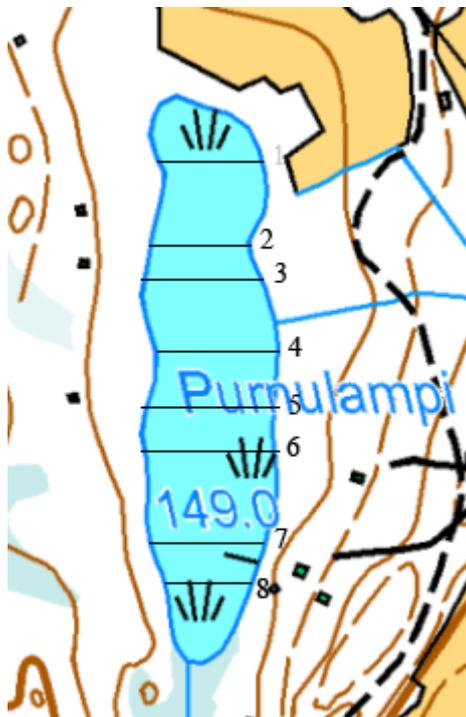
Purnulampeen tuleva kokonaisfosforikuorma	Sedimentoituvan fosforin määrä	Laskennallinen kokonaisfosforin pitoisuus
7,4 kg (havainnot 2010)	1.40 kg	29 $\mu\text{g/l}$
1,7 kg (luonnontilainen)	0,14 kg	8 $\mu\text{g/l}$
4,2 kg (vesiensuojelurakenteet)	0,86 kg	16 $\mu\text{g/l}$

2.9 Kasvillisuus

2.9.1 Menetelmät

Purnulammen ranta- ja vesikasvillisuus on kartoitettu perusteellisesti 1. - 3.9.2010 välisenä aikana. Kartoituksen suorittivat ympäristötekniikan opiskelijat (ryhmä AYNS09T) yhdessä opettajansa limnologi Tarmo Tossavaisen kanssa. Kasvillisuus tutkittiin vetämällä lammen poikki kahdeksan linjaa (kuva 3), joita pitkin kulkemalla kasvillisuus ja niiden määrä määritettiin metri metriltä.

Linjojen alku- ja loppupisteiden koordinaatit tallennettiin GPS-laitteella. Rantakasvuston lajit ja määrä linjalla selvittiin aina kerrallaan 1 m²:n kokoiselta näytealueelta ja vesikasvusto lajit ja määrä 0,25 m² kokoiselta näytealueelta. Kasvilajien esiintyminen kirjattiin ylös joko kappalemäärinä tai peittävyysprosentteina (taulukko 11). Kasvilajin esiintyvyyden yleisyys lammessa laskettiin sen mukaan, kuinka suurella osalla näytealoista kasvia on esiintynyt (taulukko 12). Linjojen väliin jääneet alueet tutkittiin yleispiirteisemmin kasvillisuuden vyöhykkeiden mukaan. Kasvillisuus tunnistettiin lajilleen tai ainakin suvulleen. (Kautonen & Korhonen 2010, 1, 2, 6.)



Kuva 3. Kasvillisuuskartoituslinjojen sijainnit. © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10.

Taulukko 11. Kasvien peittävyysprosentit muunnettuna runsausarvioiksi

< 1 %	hyvin niukka
1 - 2 %	niukka
3 - 5 %	suhteellisen niukka
6 - 15 %	sivotellusti
16 - 25 %	suhteellisen runsas
26 - 50 %	runsas
51 - 100 %	hyvin runsas

Taulukko 12. Kasvien esiintymisprosentit muunnettuna yleisyysarvioiksi

1 - 2 %	hyvin harvinainen
3 - 8 %	harvinainen
9 - 18 %	melko harvinainen
19 - 32 %	paikoittain
33 - 51 %	melko yleinen
52 - 73 %	yleinen
74 - 100 %	hyvin yleinen

2.9.2 Tulokset

Järviruokoa kasvoi hyvin yleisesti (taulukko 13) kaikkialla Purnulammen rannoilla keskimäärin noin 5 metrin levyisenä vyöhykkeenä. Kasvusto oli enimmäkseen runsas, sillä peittävyys oli paikoin 40 %. Rahkasammal muodosti yhtenäisen keskimäärin noin 10 metriä leveän Purnulammen rantaa kiertävän kasvuston. Rahkasammalta havaittiin 73 prosentilla tutkituista näytealueista ja peittävyys oli usein 100 %. Lammen pohjoispään peitti kokonaan yhtenäinen rahka-, suippo- ja sirppisammalen muodostama ”matto”. Saraa kasvoi rannoilla melko yleisesti ja kasvusto oli paikoin hyvin runsasta. Kurjenjalkaa löytyi yleisesti kaikista osista Purnulammen rantaa. Kurjenjalkaa esiintyi enimmäkseen 12 kappaletta per näytealue, joten paikoin sitä oli runsaasti. Rantapalpakko oli harvinainen ja osman-käämi sekä suovehka esiintyivät hyvin harvinaisesti. (Kautonen & Korhonen 2010; Miettinen, Piironen & Tossavainen 2010; Rätty, Väisänen & Tossavainen 2010; Limatius, Nevalainen & Tossavainen 2010.)

Taulukko 13. Rantakasvuston kasvien yleisyys ja peittävyys tutkituilla näytealueilla (Kautonen & Korhonen 2010; Miettinen, Piironen & Tossavainen 2010; Rätty, Väisänen & Tossavainen 2010; Limatius, Nevalainen & Tossavainen 2010)

Kasvilaji	Yleisyys (%)	Peittävyys (%)
Järviruoko	90	5 - 60
Rahkasammal	73	20 - 100
Kurjenjalka	62	5 - 30
Sara	49	10 - 100
Sirppisammal	19	20 - 100
Rantapalpakko	3	5
Osmankäämi	2	5
Suovehka	2	5

Kelluslehtisistä kasveista yleisin oli ulpukka (yleisyys 45 %), jota löytyi kaikkialta lammesta (taulukko 14). Tiheimmät esiintymät olivat lammen pohjoispäässä, jossa oli jopa 15 ulpukkaa per näytealue. Uistinviita oli lähes yhtä yleinen ulpukan kanssa 32 prosentin yleisyydellä, ja paikoin sitä esiintyi runsaasti. Lammen pohjoisosista löytyi pikkulimaskaa ja kilpukkaa sirotellusti. Vesirutto esiintyi melko harvinaisena, mutta sitä oli paikoin erittäin runsaasti. Ahvenviita, siimapalpakko ja lumme olivat Purnulammessa melko harvinaisia. Järvikorte esiintyi lammessa harvinaisena ja heinäviita hyvin harvinaisena. Lammen pohjasta löytyi myös kuollutta kasvustoa. (Kautonen & Korhonen 2010; Miettinen, Piironen & Tossavainen 2010; Rätty, Väisänen & Tossavainen 2010; Limatius, Nevalainen & Tossavainen 2010.)

Taulukko 14. Vesikasvuston kasvien yleisyys ja peittävyys tutkituilla näytealueilla (Kautonen & Korhonen 2010; Miettinen, Piironen & Tossavainen 2010; Rätty, Väisänen & Tossavainen 2010; Limatius, Nevalainen & Tossavainen 2010)

Kasvilaji	Yleisyys (%)	Peittävyys %
Ulpukka	45	10 - 60
Uistinviita	32	5 - 50
Ahvenviita	18	5 - 10
Vesirutto	17	20 - 100
Kilpukka	10	2 - 10
Siimapalpakko	10	5 - 30
Lumme	10	10 - 45
Pikkulimaska	8	2 - 15
Järvikorte	3	5 - 70
Heinäviita	2	5

2.9.3 Tulosten tarkastelu

Purnulammessa tavattiin yhteensä 19 vesi- tai rantakasvia. Kelluslehtisiä ja ilmaversoisia tavattiin kumpiakkin viisi lajia, uposlehtisiä kolme lajia, irtokeijuja kaksi lajia, vesisammalia kaksi lajia ja rantakasveja kaksi lajia (taulukko 15).

Taulukko 15. Purnulammen kasvilajien määrä elomuodoittain. Kautonen & Korhonen 2010; Miettinen, Piironen & Tossavainen 2010; Rätty, Väisänen & Tossavainen 2010; Limatius, Nevalainen & Tossavainen 2010)

Elomuoto	Lajimäärä
Kelluslehtinen	5
Ilmaversoinen	5
Uposlehtinen	3
Irtokeijuja	2
Vesisammal	2
Rantakasvi	2
Yhteensä	19

Lammesta löytyi yksi oligotrofiaa indikoiva laji, kolme mesotrofiaa indikoivaa lajia ja yksi eutrofiaa indikoiva laji (liite 1). Kaksi Purnulammen kasvia indikoi oligo-mesotrofiaa ja viisi kasvia indikoi meso-eutrofiaa. Loput seitsemän kasvia eivät indikoi mitään tiettyä ravinteisuusastetta. Voidaan siis todeta, että Purnulammessa oli kolme karuutta ilmentävää lajia (o, o - m), kolme lievää rehevyyttä ilmentävää lajia (m) ja kuusi rehevyyttä ilmentävää lajia (m, m - e). Kasvilajien

esiintymisen perusteella Purnulampi oli mesotrofisessa eli lievästi rehevöityneessä tilassa.

Sirppisammal, kilpukka ja pikkulimaska ovat rehevyyttä ilmentäviä ja rehevöitymisestä hyötyviä lajeja. Näitä lajeja havaittiin ainoastaan lammen pohjoispäässä, joten oletettavasti se osa lammesta kärsii pahiten rehevöitymisestä. Tämä onkin todennäköistä, kun ottaa huomioon pohjoisesta laskevasta ojasta 464 havaitun erittäin korkean veden fosforipitoisuuden (200 µg/l).

Lammen pohjasta löytynyt kuollut kasvusto aiheuttanee ongelmia talvisin. Organisen aineen hajottaminen kuluttaa happea ja talvisin happi voi pohjan läheisyydestä loppua kokonaan, jolloin fosforia alkaa vapautua pohjasta enenevissä määrin.

2.10 Purnulammen pohjaeläimet

2.10.1 Menetelmät

Purnulammesta otettiin pohjaeläinnäytteet 16. - 17.3.2011, ja ne analysoitiin 18. - 22.3.2011. Näytteet otettiin kymmenestä havaintopaikasta (kuva 4) Ekman - pohjaeläinnoutimella (pinta-ala 294 cm²). Noutimeen jäänyt aines seulottiin 0,5 millimetrin seulalla, ja seulos siirrettiin pakasterasiaan, joka täytettiin 92 %:n etanolilla näytteen säilömiseksi. Näytteistä poimittiin laboratoriossa pohjaeläimet ja määritettiin ne mikroskoopin avulla luokka- tai heimotasolle. Tuloksista laskettiin havaintopaikkojen kunkin taksonin kokonaisyksilömäärä neliometriä kohden.



Kuva 4. Purnulammesta otettujen pohjaeläinnäytteiden havaintopaikat. © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10.

2.10.2 Tulokset

Purnulammessa havaittiin kolmea pohjaeläintaksonia: surviaissääski (*Chironomidae*), sulkasääski (*Chaoboridae*) ja kotilo (*Gastroboda*). Eniten tavattiin *Chironomidae*-heimon yksilöitä (taulukko 16). Seuraavaksi eniten oli Gastropoda-luokan edustajia ja vähiten esiintyi *Chaoboridae*-heimon yksilöitä.

Taulukko 16. Purnulammen pohjaeläinten kokonaisuusilömäärä/m² havaintopaikoittain.

Havaintopaikka	Chrinomidae	Chaoboridae	Gastropoda
1	-	-	102
2	34	34	68
3	-	1701	68
4	-	68	-
5	170	-	68
6	34	-	68
7	408	-	442
8	578	170	952
9	2109	-	-
10	680	-	1020
Keskimäärin	401	197	279

2.10.3 Tulosten tarkastelu

Havaintopaikkojen taksonikoostumuksissa ja pohjaeläintiheyksissä on selkeitä eroja. Surviaissääskeä esiintyi selvästi tiheämmin lammen neljällä pohjoisimmalla havaintopaikalla (paikat 7 - 10) kuin kuudella muulla havaintopaikalla. Esimerkiksi havaintopaikassa 9 oli yli 2 000 surviaissääskeä neliometrillä, kun taas havaintopaikassa 3 (syväne) ei havaittu yhtään. Tulosten perusteella näyttää siltä, että surviaissääsken toukat esiintyvät runsaimmin nimenomaan matalassa vedessä. Sulkasääsken kohdalla tilanne on päinvastainen, sillä ylivoimaisesti tihein esiintymä oli syvänteessä eli havaintopaikassa 3. Muilla havaintopaikoilla sulkasääskeä esiintyi vain vähän tai ei ollenkaan. Kotiloiden esiintymisellä näytti olevan samanlainen tilanne kuin surviaissääskellä. Tiheimät kotiloesiintymät olivat matalassa vedessä havaintopaikoilla 7, 8 ja 10. Toisaalta havaintopaikalta 9 ei havaittu yhtään kotiloa, mikä vaikuttaa hieman erikoiselta, sillä se on olosuhteiltaan muiden ympäröivien havaintopaikkojen kaltainen.

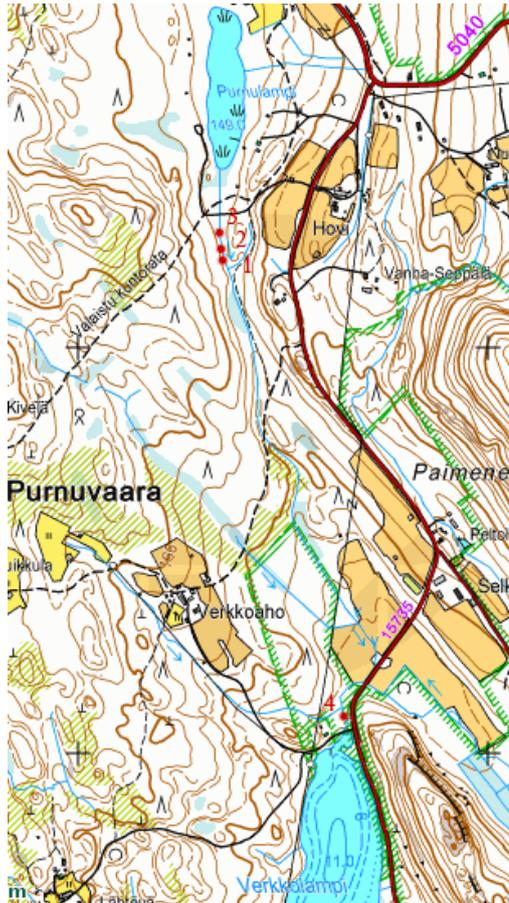
Pohjaeläimistölaajistoltaan Purnulampi oli erittäin suppea, mikä viittaa siihen, että lammen vesi ja varsinkin pohjasedimentti ovat huonossa kunnossa ja elinolosuhteiltaan sellaiset, että siellä selviävät vain sitkeimmät pohjaeläinlajit. Se, että surviaissääsken toukat olivat valtalajina Purnulammessa, ei ole yllätys, sillä Seppäsen (1985, 67) mukaan ne ovat vallitsevia pohjaeläimiä useimmissa ve-

siekosysteemeissä, ja suurimmat yksilötiheydet tavataan orgaanista ainetta sisältävillä lietepohjilla. *Chiromidae*- ja *Chaboridae* -heimoihin sekä kotiloihin kuuluu sellaisia lajeja, jotka selviävät runsasravinteisissa ja vähähappisissa oloissa, joten sen vuoksi juuri näitä taksoniteita voidaan tavata Purnulammessa (Ciborowski 2009; Family Chaoridae 2006; Class Gastroboda 2006).

2.11 Purnulammesta laskevan puron pohjaeläimet

2.11.1 Menetelmät

Purnulammesta laskevasta purosta otettiin pohjaeläinnäytteet nykyisen vesipuidirektiivin mukaisin ohjein 30.9.2010 sekä puron ylä- että alajuoksulta. Havaintoalueita oli yhteensä neljä, joista kolme sijaitsee yläjuoksulla ja yksi alajuoksulla (kuva 5). Yläjuoksulla sijaitsevista näytealueista otettiin kustakin kahdet rinnakkaisnäytteet ja alapuolisesta näytealueesta otettiin neljä rinnakkaista näytettä. Näytteet otettiin SFS 5077:n mukaisella potkuhaavinnalla. Haavin kanssa liikuttii metrin matka 30 sekunnin aikana puron pohjaa koko ajan voimakkaasti polkien, siten että näytealaksi tuli yksi neliömetri. Haaviin jäänyt aines seulottiin 0,5 millimetrin seulalla, ja seulos siirrettiin pakasterasiaan, joka täytettiin 92 % etanolilla näytteen säilömiseksi. Näytteistä poimittiin laboratoriossa pohjaeläimet ja määritettiin ne mikroskoopin avulla laji- tai heimotasolle. Tuloksista laskettiin havaintoalueiden taksonimäärät ja kokonaisyksilömäärät. (Tossavainen 2011.)



Kuva 5. Purnulammiesta laskevasta purosta otettujen pohjaeläinnäytteiden havaintoalueet. © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10.

Jokaiselle havaintoalueelle laskettiin pohjaeläinyhteisöjen monimuotoisuutta kuvaava Shannon-Wiener-indeksi. Meissnerin (2005, 3) mukaan indeksin arvot vaihtelevat jokien pohjaeläimillä tyypillisemmin 0,5 (erittäin alhainen) ja 4 (erittäin monimuotoinen) välillä. Indeksini laskettiin kaavalla:

$$\text{Kaava 7. } H = -\sum(P_i \log[P_i])$$

missä P_i on lajin i osuus näytteestä.

Näytealueille hyödynnettiin yhteisön vedenlaatumuutoksille herkkien heimojen monimuotoisuutta kuvaavaa EPT-indeksiä, joka kuvastaa päivä- ja koskikorennon toukkien sekä vesiperhosten lukumäärää näytteissä (Meissner 2005, 3). EPT-indeksiä ei käytetty sellaisenaan, vaan laskettiin EPT-heimojen (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*) suhde muuhun pohjaeläimistöön (EPT%).

2.11.2 Tulokset

Havaintoalueiden taksonimäärät sijoittuivat 5 - 11 kappaleen välillä ja suurin taksonimäärä oli havaintoalueella 1 (taulukko 17). Yksilömäärät olivat 7 - 35 yksilöä/m² välillä, joista suurin arvo oli havaintoalueella 1. Shannon-Wienerindeksin arvot olivat välillä 2,02 - 2,51, suurimman arvon ollessa havaintoalueella 2. EPT% vaihteli välillä 10 - 50 suurimman arvon ollessa havaintoalueella 3.

Taulukko 17. Purnulammesta laskevan puron havaintoalueiden pohjaeläintuloksia

	Taksoni- määrä	Yksilömäärä/m ²	Shannon-Wiener -indeksi	EPT%
Havaintoalue 1	11	35	2,26	14
Havaintoalue 2	9	26	2,51	10
Havaintoalue 3	5	7	2,02	50
Havaintoalue 4	8	7,5	2,32	30

Havaintoalueilla 1 ja 2 (taulukko 18) selvästi dominoiva heimo oli surviaissääsket (*Chrinomidae*) muodostaen 54 % ja 44 % kokonaisyksilömäärästä. Surviaissääsket olivat myös ainoa taksoni, jota havaittiin kaikilla havaintoalueilla. Havaintoalueella 3 vallitseva heimo oli päiväkorennot (*Ephemeroptera*) muodostaen 43 % kokonaisyksilömäärästä ja havaintoalueella 4 valtalajina oli vesisiira (*Asellus aquaticus*), joka muodosti 43 % kokonaisyksilömäärästä. Vesisiira, päiväkorennot, koskikorennot (Plecoptera) ja vesiperhoset (Trichoptera) olivat taksonia, joita havaittiin kolmella neljästä havaintoalueesta.

Taulukko 18. Purnulammesta laskevan puron pohjaeläinten kokonaisyksilömäärät/m² havaintoalueittain

Pohjaeläintaksoni	Havainto- alue 1	Havainto- alue2	Havainto- alue 3	Havainto- alue 4
Asellus aquaticus	3	1,5	-	3,3
Ceratopogonidae	-	4,5	-	0,3
Chaoboridae	-	1,5	-	0,3
Chironomidae	19	11,5	1,5	0,3
Coleoptera	-	-	1,5	-
Endodontidae	0,5	-	-	-
Ephemeroptera	4	2	3	-
Eristalis tenax	0,5	-	-	-
Gerridae	0,5	-	-	-
Hirudinea	0,5	-	-	-
Megaloptera	2	-	-	-
Odonata	-	1	0,5	-
Oligochaeta	4	-	-	1
Physa fontinalis	-	1	-	-
Plecoptera	0,5	0,5	-	0,5
Sialis lutaria	-	-	-	0,3
Tanypodinae	-	2,5	-	-
Trichoptera	0,5	-	0,5	1,8

2.11.3 Tulosten tarkastelu

Tulosten perusteella Purnulammen laskevan ojan pohjaeläinrakenne oli tietyiltä osin merkittävästi erilainen ojan eri osissa. Esimerkiksi havaintoalueen 1 taksonimäärä oli 2,2-kertainen ja yksilömäärä/m² viisinkertainen verrattuna havaintoalueeseen 3. Shannon-Wiener-indeksin mukaan lajien monimuotoisuudessa ei ollut suuria eroja, vaan kaikki havaintoalueet olivat lajistoltaan kohtalaisen monimuotoisia. EPT%:n mukaan lajistoltaan terveimmät alueet olivat havaintoalueet 3 ja 4. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että näillä alueilla surviais-sääsken toukat muodostivat paljon pienemmän osan kokonaisyksilömäärästä kuin havaintoalueilla 1 ja 2.

Yksilömäärät olivat kaikilla havaintoaluilla erittäin alhaisia. Tämä johtunee suurimmaksi osaksi siitä, että havaintoalueet sijaitsivat paikoissa, jotka on joskus aikaisemmin perattu. Perkaamisen vuoksi ojasta on poistunut kasvillisuutta, jo-

ka on ollut tärkeää ravintoa pohjaeläimille, ja näin ollen pohjaeläinten määrä on vähentynyt. Luonnontilaisissa koskipaikoissa yksilömäärät olisivat huomattavasti suurempia.

2.12 Kalastorakenne

2.12.1 Menetelmät

Purnulammen kalasto selvitettiin suorittamalla koekalastukset 24. - 25.8.2010 ja 1. - 3.9.2010 välisinä aikoina. Verkkokalastus tehtiin NORDIC-yleiskatsausverkolla, joka on 30 metriä pitkä, 1,5 metriä korkea ja koostuu 12 eri solmuvälistä (43; 19,5; 6,25; 10; 55; 8; 12,5; 24; 15,5; 5; 35 ja 29 mm). Lammen pohjoispään peittävän tiheän kasvillisuuden vuoksi verkkoja ei voinut laskea kuin lammen eteläpäähän noin 1,5 hehtaarin kokoiselle alueelle. Tällä alueella verkkojen paikat (kuva 6) valittiin satunnaisesti ja niiden annettiin olla vedessä yhden pyyntivuorokauden ajan. Saaliista laskettiin kalojen kappalemäärä ja massa verkoittain. Tästä yhden koeverkon yhden pyyntivuorokauden saaliista käytetään nimitystä yksikkösaalis. Koekalastusverkkojen pyyntipaikkojen syvyydet vaihtelivat 3 - 4,5 metriin. Viisi verkkoa sijaitsi pinnassa, yksi verkko oli välivedessä ja yksi pohjassa. Pyyntiöitä kertyi yhteensä seitsemän kappaletta, mikä oli riittävä määrä, sillä pienissä (< 20 ha) ja matalissa (< 3 m) järvissä kuusi verkkoyötä riittää antamaan luotettavan tuloksen (RKTL/Rask, Tossavaisen 2010, 26 mukaan).



Kuva 6. Koekalastusverkkojen paikat. © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10.

2.12.2 Tulokset

Koekalastussaalet koostui pelkästään suutari (*Tinca tinca*). Verkon 1 tulokset jätettiin huomioimatta pohjanläheisen veden heikon happitilanteen (3.9.2010 P-1,0 metrissä 2,0 µg/l) vuoksi. Suutareita oli keskimäärin 7,8 kappaletta/verkko ja saaliin paino oli keskimäärin 420 grammaa/verkko (taulukko 19). Näin ollen yksi suutari painoi keskimäärin noin 54 grammaa.

Taulukko 19. Purnulammen koekalastussaalet Nordic-koekalastusverkoilla 24. - 25.8. (verkot 1 ja 2) ja 1. - 3.9. (verkot 3 - 8) 2010.

Nordic-verkon nro	Kokonaissyvyys (m)	Verkon sijaintisyvyys	Yksikkösaalis (kpl)	Yksikkösaalis (kg)
1	4,5	pohjassa	ei kaloja	ei kaloja
2	4,3	pinnassa	24	1,3
3	2,3	pinnassa	16	0,84
4	4,2	pinnassa	1	0,04
5	4,4	välivedessä	2	0,09
6	3,0	pinnassa	3	0,16
7	3,0	pinnassa	1	0,08
Keskimäärin	-	-	7,8	0,42

2.12.3 Tulosten tarkastelu

Purnulammessa kalasto koostui koekalastuksen perusteella vain yhdestä kalalajista, suutarista. Suutarit olivat kooltaan erittäin pieniä, sillä suutarit ovat normaalista painoltaan 0,5 - 1,5 kg (Suutari 2011). Suutaria ei esiinny luontaisesti juurikaan 62. leveyspiirin pohjoispuolella (Suutari 2011), joten laji on mahdollisesti istutettu lampeen tai sitten kyseessä on poikkeuksellisen pohjoisessa esiintyvä populaatio. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen mukaan 1900-luvun alussa Suomessa aloitettiin suutarin viljely lampiin ja suutariemoja siirrettiin merialueilta sisävesiin. Sopivissa paikoissa siirretyt yksilöt tai poikasistukat muodostivat lisääntyviä kantoja ja saattoivat levittäytyä edelleen lähivesiin. (Suutari 2009.)

Suutarin suhteellinen hapenkulutus on pieni, joten se tulee toimeen vähähappisissa vesissä. Suutari tulee toimeen vedessä, jonka pH on 5 -10,5, joten se voi elää sekä melko hapantvetisissä lammissa että rehevissä järvissä. (Suutari 2009.) Purnulampi on vedenlaadultaan suutarille elinkelpoinen, eikä ajoittainen hapettomuuskaan ole sille kohtalokasta, sillä sen on todettu selviävän jopa täysin hapettomiksi menneissä järvissä (Kalakuolemien vaikutusten... 2005). Muille kalalajeille (ruutanaa lukuun ottamatta) lampi ei ole tällä hetkellä elinkelpoinen nimenomaan heikon happitilanteensa vuoksi.

Noin 0,4 kilon keskimääräinen yksikkösaaliin perusteella kalastotiheys oli pieni verrattuna muutamaan muuhun Pohjois-Karjalassa sijaitsevaan lampeen ja järveen (taulukko 20).

Taulukko 20. Eräiden Pohjois-Karjalassa tehtyjen kalastotutkimusten yksikkösaaliita (Tossavainen 2011, 66)

Järvi	Pinta-ala	Rehevyystaso	Keskim. yksikkösaalis
Purnulampi (Lieksa)	3,1 ha	mesotrofinen	0,4 kg
Kuohattijärvi (Nurmes)	11 km ²	oligotrofinen	0,9 kg
Tohmajärvi	13 km ²	mesotrofinen	1,5 kg
Polvijärvi	20 ha	eutrofinen	1,7 kg
Kiteenjärvi	12 km ²	mesotrofinen	1,9 kg
Kalattomanlampi (Outokumpu)	6 ha	meso-eutrofinen	4,5 kg

2.13 Pohjasedimentin määrä ja laatu

2.13.1 Aineisto ja menetelmät

Purnulammen pohjasedimentin määrä ja laatu selvitettiin maastossa 15. - 17.3.2011 ja 28.3.2011. Sedimentin määrä ja sen jakautuminen määritettiin mittaamalla vesisyvyys ja sedimentin paksuus 34 havaintopaikalta, jotka sijaitsivat tasaisesti pitkin lampea. Havaintopaikkojen koordinaatit otettiin myös ylös. Sedimentin paksuuden mittauksessa käytettiin turvekairaa, joka työnnettiin voimalla kovaan hiekka-/savikerrokseen asti, jolloin saatiin selville sedimenttikerroksen paksuus.

Sedimentin kokonaismäärä arvioitiin käyttämällä ArcMap-sovellusta ja ns. kriging-interpolointimenetelmää, joka laskee havaintopaikoilta saatujen syvyystietojen perusteella sedimentin syvyyden tuntemattomalle pisteelle painottamalla lähimpien tunnettujen pisteiden arvoja. Painotus ei perustu pelkästään pisteiden väliseen etäisyyteen ja ennustettuun sijaintiin, vaan myös tunnettujen pisteiden ja niiden arvojen spatiaaliseen järjestykseen. Interpolointituloksen luotettavuuteen vaikuttaa muun muassa tunnettujen havaintopisteiden määrä. Websterin & Oliverin (2001, 9) mukaan luotettavan tuloksen saamiseksi on oltava vähintään 100 havaintopistettä. Tässä tapauksessa käytettävissä oli vain 34 havaintopistettä, mikä heikentää tuloksen luotettavuutta. Lisäksi luotettavuutta heikentää se, että saadaksemme interpoloinnin rajoittumaan lampeen, niin sen reunoihin täytyi tehdä ohjelmalla ”keinotekoisesti” apupisteitä, joiden syvyydeksi määritet-

tiin nolla metriä. Tämän vuoksi interpolointi antaa hieman todellista suuremman arvon rantojen syvyydelle, koska menetelmä ei ”taivu” rannan ja rantojen läheisten havaintopisteiden suurelle erolle.

Lammen pohjasedimentin laatu selvitettiin tekemällä maastossa erilaisia mittauksia ja ottamalla näytteitä laboratorion tarkempia määrittelyjä varten. Maastossa sedimentistä mitattiin redox-potentiaali, pH ja lämpötila. Redox-potentiaalin eli hapettumis-/pelkistymistäipumuksen avulla voidaan arvioida tiettyjen biologisesti merkittävien aineiden esiintymismuotoa ja liukoisuutta (taulukko 21). Alhainen redox-taso liittyy hapettomiin olosuhteisiin ja sedimentin heikkoon laatuun vesistön tilan kannalta. Hapettomissa olosuhteissa sedimentistä voi vapautua veteen ravinteita (sisäinen kuormitus) ja haitallisia aineita. Redox-potentiaalin muutos +300 mV:sta +200 mV:iin on merkittävä, koska tällöin rauta pelkistyy kahdenarvoiseksi ja samalla sitoutunutta fosforia vapautuu veteen levien ja kasvien käyttöön. Alle -150 mV:ssa vapautuu rikkivetyä, joka on myrkyllistä kaloille. Lohikaloille myrkyllinen pitoisuus on 0,4 mg/l, mutta esimerkiksi suutari kestää pitoisuuksia aina 4,0 mg/l asti (Haitalliset aineet 2007).

Taulukko 21. Veden ja pohjasedimentin tärkeitä redox-potentiaalin raja-arvoja (Tossavainen 2006, 57)

E_h -arvo (n muutos)	Kemiallinen/biologinen tapahtuma
+520	Järvivesi on hapella kyllästynyt
+450 → +400	Nitraattityppi → nitriittityppi
+400 → +350	Nitriittityppi → ammoniumtyppi
+300 → +200	Ferrirauta → ferrorauta
+300 → +200	Rautafosfaatti → ferrorauta + fosfaatti
+240	Mm. muikun mädin kehittymisen alaraja
+100 → +60	Rikkitrioksidi → rikki
-150	Rikkivetyä alkaa vapautua pohjasedimentistä
-250	Metaania alkaa vapautua pohjasedimentistä

Maastomittauksia tehtiin kahdeksalla havaintopaikalla ja laboratorioon näytteet otettiin havaintopaikoista 7 ja 10 (kuva 7). Havaintopaikasta 7 otettiin sedimentinäytteet kuudesta eri syvyydestä ja havaintopaikasta 10 kahdesta eri syvyydestä. Molempien havaintopaikkojen syvin näyte otettiin kovasta sedimenttikerroksen alapuolisesta maasta. Laboratoriossa sedimenttinäytteistä selvitettiin kuiva-aineen määrä, hehkutusjäännös, kokonaisfosforipitoisuus, typpipitoisuus

ja eräiden raskasmetallien pitoisuudet. Kuiva-aineen määrän avulla saadaan selville sedimentin vesipitoisuus ja hehkutusjäännös kertoo sedimentissä olevan mineraaliaineksen määrän.



Kuva 7. Kymmenen sedimentin näytteenotto paikan sijainti

Luontoon raskasmetalleja tulee pääosin teollisuudesta, hiilivoimaloista, liikenteestä ja lannoitteiden epäpuhtauksista. Raskasmetalleista ongelmallisimpia ovat elohopea, kadmium ja lyijy, jotka ovat ympäristölle välittömästi haitallisia. Kadmium, sinkki ja kupari vaikuttavat kaikkien kasvien fotosynteesiin ja hidastavat niiden kasvua. Elohopea on erityisen ongelmallinen, sillä muuntuessaan metyylielohopeaksi, se rikastuu koko ravintoketjun läpi. Ihmiselle elohopea aiheuttaa keskushermostovaurioita, aivan kuten lyijykin. (Naturvårdsverket 2007, Lindbladin 2007, 13 - 14 mukaan.)

Suomessa ympäristöministeriö on laatinut sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeen, jossa on annettu ohjeelliset arvot pilaantuneiden ruoppausmassojen haitta-aine pitoisuuksista (taulukko 22). Esimerkiksi raskasmetalleille löytyy kriteerit. Tason 1 arvo edustaa suurusluokaltaan luontaista taustapitoisuutta ja tason 2

arvon katsotaan ekotoksikologisten tutkimustietojen perusteella olevan ympäristölle haitaton taso (Malm 2004, Lindbladin 2007, 32 mukaan).

Taulukko 22. Ympäristöministeriön asettamat ohjeelliset raja-arvot pilaantuneille ruoppausmassoille (Ympäristöministeriö 2004, Lindbladin 2007, 28 mukaan)

Aine	Taso 1	Taso2
	mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta
Elohopea (Hg)	0,1	1
Kadmium (Cd)	0,5	2,5
Kromi (Cr)	65	270
Kupari (Cu)	50	90
Lyijy (Pb)	40	200
Sinkki (Zn)	170	500

2.13.2 Tulokset ja niiden tarkastelu

Sedimentin paksuus havaintopaikoilla vaihteli 1,5 - 5,2 metrin välillä ja näiden mittaustulosten perusteella sedimentin keskimääräinen paksuus oli 3,3 metriä. Interpoloinnilla pohjasedimentin kokonaismääräksi saatiin 62 883 m³, ja tällöin sedimentin keskimääräiseksi paksuudeksi tulee 2,2 metriä. Näistä kahdesta sedimentin paksuusarvioista interpoloimalla saatua tulosta voidaan pitää huomattavasti luotettavampana. Sedimentti on jakaantunut melko tasaisesti pitkin Purnulampea, mutta muutama hieman tavanomaista paksumpi kerrostuma löytyy, kuten esimerkiksi syvänteen kohdalta ja lammen luoteisosasta.

Ulkonäöltään ja koostumukseltaan sedimentti oli kaikissa havaintopaikoissa ja kaikissa syvyyksissä samankaltaista vaaleahkonruskeaa hienojakoista vesipi-toista ainesta. Sedimentin alapuolinen lammen alkuperäinen pohja oli ulkonäöltään hopeanharmaata kiinteää saven ja hiekan seosta.

Taulukon 23 redox-potentiaalitulosten mukaan kaikkien havaintopaikoilla pohjasedimentti on ollut tilassa, jossa rikkivetyä vapautuu. Rikkivedyn hajun pystyi selkeästi havaitsemaan maastotutkimusta tehdessä. Havaintopaikoilla 1 ja 2 oltiin jo lähellä sitä pistettä, että sedimentistä alkaisi vapautua metaania. Myös sisäinen kuormitus on selvää, koska ollaan selkeästi alle +200 millivoltin luke-man.

Taulukko 23. Purnulammen havaintopaikkojen redox-potentiaali, pH ja lämpötila

Havaintopaikka	Redox-potentiaali (mV)	pH	Lämpötila (° C)
1	-227	5,6	4,2
2	-232	-	-
3	-182	6,4	4,4
4	-192	-	-
5	-152	6,5	3,9
7	-169	6,1	3,0
8	-176	-	-

Saatujen pH-arvojen (5,6 - 6,5) mukaan sedimentti ei ole happamoitunutta ja paikoin se on hyvin lähellä neutraalia. Sedimentin pinnan lämpötila vaihteli 3,0 - 4,4 celsiusasteen välillä.

Kuiva-ainepitoisuuden perusteella (taulukot 24 ja 25) sedimentti oli hyvin vesipitoista, sillä vesipitoisuus vaihteli 91 - 94 % välillä. Vesipitoisuus pienenee hie-man syvemmälle mentäessä sedimentin tiivistymisestä johtuen. Hehkutusjään-nöksen perusteella sedimentin mineraaliaineksen määrä vaihteli 2,7 - 5,6 % välillä ja näin ollen orgaanisen aineksen määrä oli välillä 94,4 - 97,3 %. Fosfori-pitoisuudet vaihtelivat 0,37 - 1,10 g/kg ka välillä ja typpipitoisuudet 11 - 21 g/kg ka välillä. Koska sedimentin vesipitoisuus on suuri, niin sedimentin ominaispai-non voidaan olettaa olevan hyvin lähellä veden ominaispainoa 1 kg/dm³. Tällöin Purnulammen pohjasedimenttiin olisi sitoutuneena 233 - 813 kg fosforia ja 6 930 - 13 230 kg typpeä.

Taulukko 24. Havaintopaikan 7 pohjasedimentin analyysitulokset

Syvyys (cm)	0 - 30	60 - 80	100 - 120	200 - 220	320 - 340	345 - 350
Kuiva-aine (g/kg)	66	81	89	85	89	292
Hehkutusjäännös (g/kg)	37	50	56	47	51	268
Fosfori (g/kg ka)	1,10	0,96	0,95	1,30	0,60	0,57
Typpi (g/kg ka)	16	12	11	14	17	3,6
Kupari (mg/kg ka)	34	20	19	41	140	39
Kromi (mg/kg ka)	23	15	13	19	30	21
Sinkki (mg/kg ka)	85	38	30	61	61	28
Elohopea (mg/kg)	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Kadmium (mg/kg ka)	0,58	0,21	0,16	0,23	0,42	0,13
Lyijy (mg/kg ka)	19	2,8	< 2	< 2	2,2	2,4

Taulukko 25. Havaintopaikan 10 pohjasedimentin analyysitulokset

Syvyys (cm)	260 - 280	305 - 310
Kuiva-aine (g/kg)	62	356
Hehkutusjäännös (g/kg)	27	336
Fosfori (g/kg ka)	0,37	0,59
Typpi (g/kg ka)	21	2,0
Kupari (mg/kg ka)	89	24
Kromi (mg/kg ka)	24	20
Sinkki (mg/kg ka)	52	24
Elohopea (mg/kg)	< 0,1	< 0,1
Kadmium (mg/kg ka)	0,34	< 0,1
Lyijy (mg/kg ka)	< 2	2,4

Sedimentin alapuolella olevasta maakerroksesta otettujen näytteiden (havaintopaikka 7:n syvyys 345 - 350 cm ja havaintopaikan 10:n 305 - 310 cm) vesipitoisuudet olivat 71 % ja 64 %. Mineraaliaineksen määrät näytteissä olivat 27 % ja 34 %. Kaikki raskasmetallipitoisuudet olivat alle tason 1 raja-arvojen.

Pohjasedimentin raskasmetallipitoisuudet olivat muutama poikkeusta lukuun ottamatta alle tason 1 raja-arvojen. Kahden näytteen kuparipitoisuus ylitti tason 1 raja-arvon, ja näistä toinen oli jopa yli tason 2 raja-arvon. Yhden näytteen kadmiumpitoisuus ylitti niukasti tason 1 raja-arvon. Tulosten perusteella Purnulammen pohjasedimentin raskasmetallipitoisuudet ovat suuruusluokaltaan pääosin luontaisen taustapitoisuuden suuruisia, joten jos sedimenttiä aiotaan ruo-

pata, niin sen läjitykselle tai käytölle esimerkiksi viherrakentamisessa ei ole tältä osin ongelmia.

3 JÄRVIKUNNOSTUSMENETELMÄT JA NIIDEN SOVELTUVUUS PURNULAMMEN KUNNOSTUKSESSA

3.1 Ruoppaus

Ruoppaus on kunnostusmenetelmä, jossa vesistön pohjalle kertynyt pohjasedimentti pyritään poistamaan. Tavoitteena on vesisyvyyden ja -tilavuuden lisääminen, ravinnekierron vähentäminen veden ja sedimentin välillä, kasvillisuuden vähentäminen ja saastuneiden aineiden poistaminen järvestä. Sedimentin poistolla voidaan vähentää myös järven sisäistä kuormitusta, sillä kun heikkolaatuinen, happea kuluttava ja ravinteita vapauttava pohjasedimentti poistetaan, niin saadaan esille parempilaatuinen sedimenttikerros tai jopa karu mineraalimaa. (Ulvi & Lakso 2005a, 211 - 213.)

Ruoppausta voidaan käyttää vesikasvien poistossa silloin, kun niittoa ei voida käyttää tai kun halutaan pysyvämpi tulos. Tyypillisimpiä kohteita ovat erittäin tiheät, järven pohjasta pintaan asti ulottuvat ilmaversoiskasvustot. Tehokkainta ruoppaus on ulpukoiden ja lumpeiden poistossa. Ruoppauksen etuna niittoon nähden nimenomaan pysyvämpi tulos ja se, että poisto onnistuu yhdellä kertaa. Haittana on ruoppauksen kalleus ja työnaikainen veden samentuminen ja siitä koituvat muut haitat. (Nybom ym. 1990, Valjuksen 2005, 37 mukaan.)

3.1.1 Ruoppausmenetelmiä

Yleisin ruoppausmenetelmä on kauharuoppaus. Siinä maa-aines poistetaan käyttäen mekaanista voimaa. Välineenä voi olla pyörä- tai tela-alustainen kaivukone, traktorikaivuri tai asiaan varta vasten suunniteltu kelluva ruoppausalus. Kauhana käytetään useimmiten avointa tai suljettua kuokkakauhaa, mutta myös pumppukauhaa kahmari- ja vetokauhoja käytetään. Kauharuoppaus soveltuu erityisen hyvin tiiviiden sedimenttien poistamiseen. Kauharuoppaus ei sovellu erityisen vetisen liejun, mudan ja turpeen kaivuun. Kauhalla tapahtuvan ruoppauksen voi suorittaa maalta, jään päältä, työlautalta tai kuivatyönä, jos järvi on tyhjennetty. (Ulvi & Lakso 2005a, 213 - 215; Lindblad 2007, 46.)

Imuruoppaustekniikat ovat hydraulisia menetelmiä, joissa poistettava massa imetään pumpulla ruoppajaan ja pumpataan paineputkistojen kautta läjitysalueelle. Ruopattavaan maa-ainekseen lisätään imemällä vettä, jotta kuljetus putkistoissa toimisi, ja näin ollen poistettavan materiaalin vesipitoisuus onkin korkea. Keskimäärin kiintoainetta on vain noin 10 % pumpattavasta massasta, joten tästä syystä läjitysaldien on oltava melko suuret (vähintään 3 kertaa ruopattava tilavuus). Imuruoppaus sopii erittäin hienojakoisille ja köyhille sedimenteille, joita on vaikea poistaa kaivamalla. Imuruoppausta kannattaa harkita vain suurissa hankkeissa, sillä laitteiden kuljetus ja kasaaminen vaativat suuret alkuinvestoinnit. (Ulvi & Lakso 2005a, 216; Lindblad 2007, 49.)

Pumppukauharuoppausta voidaan pitää kauha- ja imuruoppauksen välimuotona. Pumppukauhassa ruoppauspumput on sijoitettu kaivulaitteen kauhaan ja ruoppaus tapahtuu tavanomaisin kaivuliikkein. Kauhapumpulla maa-aines nostetaan irti pohjasta ja imetään saman tien paineletkua pitkin haluttuun kohteeseen. Pumppauksessa putkeen imetään vettä, siten että kiintoainepitoisuus on samat 10 % kuin imuruoppauksessakin. Pumppukauhalla saavutetaan suuremmat massan irrotusvoimat kuin imuruoppauksessa. Kauharuoppaukseen nähden imukauhan yksi eduista on se, että kauhan tyhjennyksen vaatima nosto- ja kääntöliike jäävät pois. Tämä nopeuttaa työtä huomattavasti. (Ulvi & Lakso 2005a, 216 - 217; Lindblad 2007, 45.)

3.1.2 Ruoppausmassojen käsittely

Irrotetut ruoppausmassat on kuljetettava läjitettäväksi siihen tarkoitukseen varatulle alueelle tai hyödyntää ne jollain tavalla (esim. maisemointi, peltoviljely). Läjitystapa ja -paikka on valittava ruoppausuunnitelmaa tehtäessä, sillä se vaikuttaa myös käytettäviin ruoppausmenetelmiin. Imuruoppausta käytettäessä ruoppauslietteet voidaan joissain tapauksissa johtaa paineputkea pitkin suoraan ruoppauskohteesta läjitysalueelle. Kauharuoppausta käytettäessä kaivumassat kuormataan maansiirtokalustoon ja kuljetetaan niillä läjitysalueella. (Ulvi & Lakso 2005a, 217 - 218.)

Läjäytysalueen on ehdottomasti sijaittava niin korkealla, ettei järven vesi pääse sinne. Alueen on oltava sellainen, että massat varmasti pysyvät siellä, ja se on suunniteltava siten, etteivät massojen kuivatusvedet joudu takaisin vesistöön. Alueen valintaan vaikuttavat myös muun muassa etäisyys ruopattavalta alueelta ja ruoppausmassojen laatu, kuten plastisuus, vesipitoisuus, saastuneisuus ja orgaanisen aineksen määrä. Lisäksi on otettava huomioon maisemalliset näkökohdat. Maisemointi tulisi tehdä viimeistään kahden vuoden kuluttua läjityksestä. (Ulvi & Lakso 2005a, 218.)

Ruoppausmassat voidaan myös mahdollisesti käyttää hyödyksi. Ravinnerikasta pohjasedimenttiä on mahdollista käyttää pelloilla maanparannusaineena. Ensin on kuitenkin selvitettävä sedimentin viljavuusominaisuudet, koostumus ja raskasmetallipitoisuudet. Ruoppausmassoja voidaan käyttää myös viherrakentamisessa, maisemointitöissä ja täyttömaana erilaisissa rakenteissa. (Ulvi & Lakso 2005a, 219 - 220.)

3.1.3 Ruoppausmenetelmän valinta

Ruoppausmenetelmän valinta on hyvin tapauskohtaista. Muun muassa seuraavat asiat on huomioitava sedimentin poistoa suunniteltaessa:

- ruopattavan alueen koko ja sijainti
- sedimentin laatu ja määrä
- sedimentin poistosyvyys
- läjäytysalueen sijainti ja etäisyys järvestä
- haitalliset aineet sedimentissä
- suojelukysymykset ja mahdolliset ympäristövaikutukset.

Ruopattavan massan määrä voidaan selvittää perinteisellä syvyyskartoitus- ja sedimenttitutkimusmenetelmällä. Massan laatu määritetään sedimenttinäytteiden avulla. Näytteistä selvitetään maalaji, raekoostumus ja maa-aineksen vesi- ja ravinnepitoisuudet. Ruoppaustason määrittämiseen vaikuttavat asetetut tavoitteet. Heikkolaatuinen sedimentti olisi hyvä poistaa kokonaan, mutta kustan-

nussyistä se ei ole aina järkevää. Vaikka sedimenttiä ei poistettaisi kokonaan, niin syvemmällä oleva sedimentti on kuitenkin usein parempilaatuista kuin pinnassa oleva. Kun on selvitetty ruopattavan alueen koko ja ruoppausvyvyys, niin voidaan laskea poistettavat massamäärät. Massan määrä ja laatu vaikuttavat valittavaan ruoppausmenetelmään, joka puolestaan vaikuttaa omalta osaltaan läjitysalueen kokoon. (Ulvi & Lakso 2005a, 220.)

3.1.4 Ruoppauksen ympäristövaikutukset

Ruoppauksella on haittavaikutuksia vesistöön ja muuhun ympäristöön. Näkyvin haitta on veden hetkellinen samentuminen sedimentin sekoittuessa veteen. Tällä on vaikutusta virkistyskäyttöön, ja se voi olla haitallista joillekin eliöille. Esimerkiksi kalojen kulkureitit ja kutualueet voivat muuttua. Kiintoainesaattaa tukehduttaa kalojen mätiä ja kalanpoikasten kiduksia. Myös pohjaeläimistön elinolosuhteet häiriintyvät ruoppauksen seurauksena. Sameus ja kiintoainepitoisuudet palautuvat normaaleiksi muutamassa viikossa, mutta pohjaeläimistön elpyminen vie huomattavasti pitempään. (Ulvi & Lakso 2005a, 222.)

Huonolaatuisesta sedimentistä veteen voi vapautua haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja ja ympäristömyrkkyjä. Pohjaan saattaa syntyä myös syvennyksiä, joihin kertyy runsaasti hajoavaa ainesta, ja tästä voi seurata happikato. (Ihme 1990, 345.)

Ruoppauslietteiden läjitys aiheuttaa muun muassa maisema- ja hajuhaittoja. Lisäksi läjitysalueelta valuvat kuivatusvedet voivat kuormittaa ympäristöä, joten niiden käsittelyyn on panostettava esimerkiksi kosteikoilla tai pintavalutuskentillä. Imuruoppauslietteistä voi vapautua runsaasti kiintoainesta ja ravinteita jolloin ne on saostettava kemiallisesti esimerkiksi alumiini- tai rautasuoloilla. (Ulvi & Lakso 2005a, 223.)

3.1.5 Kustannukset

Ruoppauksen yksikkökustannukset voivat vaihdella hyvin paljon eri ruoppaus-hankkeissa. Tärkein kustannuksiin vaikuttava tekijä on ruopattava massamäärä. Suurimmat kustannukset koituvat ruoppausmassojen kuljetuksista ja läjityksestä. Kaukana sijaitseva läjitysalue nostaa kuluja huomattavasti. Kustannukset riippuvat siis paljon paikallisista olosuhteista. Myös ruoppauksen toteuttamisella on merkittävä vaikutus kokonaiskustannuksiin. (Ulvi & Lakso 2005a, 221.)

Etelä-Savon ELY-keskuksen Vesivälskärin (2001) mukaan ruoppaus rannalta maksaa noin 5 000 - 8 400 euroa/ha, ruoppaus jäältä 13 500 - 20 200 euroa/ha ja imuruoppaus 6 700 - 16 800 euroa/ha. Sarvalan (2011) mukaan joidenkin Ruotsissa tehtyjen ruoppausten hinnat ovat olleet 4 500 - 18 000 euroa/ha välillä. Pohjois-Amerikassa ylläpitoruoppauksen yksikkökustannuksien taso on ollut kahmarikauhalla 4 - 7 euroa/m³, kuokkakauhalla 2 - 7 euroa/m³ ja imuruoppauksella 2 - 5 euroa/m³ (USEPA 1994, Riipin 1997, 51 mukaan). Hehtaaria kohden olevissa kustannusarvioissa ei ole otettu huomioon sedimentin ruoppaus-syvyyden vaikutusta hintaan, mutta ne osuvat yksiin kuutiokustannusarvioiden kanssa, jos ruoppausyvyyden oletetaan olevan noin 0,5 metriä.

3.1.6 Menetelmän soveltuvuus Purnulampeen

Sedimentin ruoppaus soveltuisi hyvin kunnostusmenetelmäksi Purnulammelle. Ruoppauksella saataisiin poistettua ravinteikas ja happea kuluttava sedimentti. Samalla saataisiin lisättyä vesitilavuutta, mikä parantaisi lammen happitilannetta. Lisäksi ruoppauksella saataisiin poistettua lammen pohjoispäässä olevat sammalkasvustot. Ruoppauksen vaikutukset ovat käytännössä pysyviä, mikä nostaa ruoppauksen arvoa kunnostusmenetelmänä verrattuna muihin kunnostusmenetelmiin.

Ruoppausmenetelmistä paras vaihtoehto Purnulammelle olisi imuruoppaus pohjasedimentin korkean vesipitoisuuden vuoksi. Imuruoppauksessa ruoppausmassat pumpataan putkilinjaa pitkin läjitys-/saostusaltaaseen. Pumpppauksessa tarvitaan saattovettä pienentämään kitkaa. Purnulammen sedimentti on erittäin vesipitoista, joten saattoveden määräksi voi riittää sama määrä, mitä sedimenttiä on. Näin ollen läjitys- ja saostusaltaan on oltava kooltaan 2-kertainen kiintoaineksen määrään nähden, mikäli halutaan, että vesi ei valu ylivuotona takaisin lampeen, vaan suotautuu pohjamaahan. Pienempi altaan koko riittää siinä tapauksessa, jos veden annetaan valua ylivuotona läjitysaltaasta. Tällöin osa vedestä poistuu suodattamalla alapuolisiin maakerroksiin ja sitä kautta pohjaveteen tai vesistöön. Kiintoaineen ja ravinteiden saostamisen tehostamiseksi kannattaa käyttää saostusaineita, kuten alumiini- ja rautasuoloja. Tiivistynyttä ruoppausjätettä voitaisiin käyttää osittain hyödyksi esimerkiksi viherrakentamisessa.

Läjitys-/saostusaltaan rakentaminen tulisi toteuttaa pengertämällä (penkereen korkeus n. 3 m) muualta tuotavasta kiviaineksesta ja sorasta. Jos ruoppauksella poistettaisiin vain yksi metri sedimenttiä, niin poistettavaksi sedimentin määräksi tulisi noin 28 000 m³. Tällöin läjitys- ja saostusaltaiden kokonaispinta-alan pitäisi olla 2 ha. Jos aiotaan poistaa kaikki sedimentti, niin massamääräksi tulisi noin 63 000 m³ ja läjitysaltaiden pitäisi olla kooltaan vähintään 4 ha.

Sedimentin ruoppauksen yhteydessä tulee ruopata lammen pohjoispäässä oleva tiheä sammalkasvusto. Poistettavaa kasvillisuutta on arviolta noin 2 000 m³.

Sedimentin imuruoppaus metrin syvyydeltä tulisi maksamaan arviolta noin 56 000 - 140 000 euroa, ja koko sedimenttimäärän ruoppaus maksaisi noin 126 000 - 315 000 euroa.

3.2 Vesikasvien niitto

Järven luontaiseen kehitykseen kuuluu vähittäinen umpeenkasvu. Normaalisti umpeenkasvu on hidas, satoja vuosia kestävä prosessi, jota ihminen voi kuitenkin toiminnallaan nopeuttaa. Ongelmaksi liiallinen vesikasvillisuus koetaan yleensä alueilla, joilla on voimakas virkistyskäyttöpaine runsaan rakentamisen seurauksena. Vesikasvillisuus haittaa virkistystoimintoja, kuten veneilyä, uimista ja kalastusta. Haitallisimmiksi vesikasveiksi koetaan suurikokoiset ilmaversoiset kasvit, kuten järviruoko, järvikaisla, järvikorte ja erilaiset sarat. Kelluslehtiset lajit, kuten suurilehtiset lumme ja ulpukka sekä useiden metrien mittainen siimapalpakko voivat viedä tilaa vesialueen muilta kasveilta. Erilaiset vesisammalat voivat muodostaa koko vapaan vesitilan muodostamia läpitunkemattomia kasvustoja, ja muodostavat näin ongelman vesistönkäytön kannalta. Uposkasveista ongelmalliseksi on osoittautunut Pohjois-Amerikasta peräisin oleva vesirutto, joka lisääntyy nopeasti versonkappaleista ja syrjäyttää muut lajit. (Kääriäinen & Rajala 2005, 253 - 255.)

3.2.1 Menetelmät

Vesikasveja niitetään erilaisilla koneilla tai veneillä, joihin on lisätty mekaaninen tai hydraulinen leikkuulaite. Pienehköihin harvan kasvuston niittoihin soveltuu perämoottorivene, johon kiinnitetty jokin leikkuulaite. Mahdollisia laitteita ovat veneen sivuun kiinnitettävä viikate tai polttomoottorilla varustettu leikkuulaite. Käytössä on myös veneen keulaan kiinnitetty moottorilla tai hydraulilla toimiva leikkuri, jonka teräveveys on 2 - 5 metriä. Harvan yli 0,5 metrin syvyydessä kasvavan kasvuston niitossa voi käyttää ponttonirunkoista perämoottorilla varustettua niittokonetta, jonka teräveveys on 3 - 5 metriä. Siipirataskoneet soveltuvat kaikentyyppisiin niitto-olosuhteisiin ja konetyypistä riippuen yli 0,3 - 0,5 metrin syvyyksille vesialueille. Viimeisimpien vuosikymmenien aikana käyttöön

on tullut kuljettimilla varustettuja niittokoneita, jotka ottavat leikatun kasvuston kyytiin ja kuljettavat sen rannalle. Suomessa on kehitetty paalaavia koneita, jotka puristavat kasvuston noin neljä kertaa alkuperäistä pienempään tilaan, jolloin säästetään kuljetustilaa huomattavasti. Ruotsalaiset ovat puolestaan kehittäneet amfibioniittokoneen, joka kulkee teloilla sekä maalla että vedessä. Kone soveltuu erittäin matalaan veteen, ja siihen on saatavissa 2 - 5 metrin teriä ja erilaisia lisävaristeita kasvuston poistoon ja siirtoon. (Kääriäinen & Rajala 2005, 256 - 257.)

Vesikasvit tulisi niittää mahdollisimman läheltä pohjaa. Minimisyvyys riippuu konetyypistä, mutta yleinen työskentelysyvyys on 0,5 -1,0 metriä. Yleensä on oltava erillinen kasvimassan keräily- ja kuljetuslaite, sillä useimmissa niittokoneissa ei tällaisia ole. Kasvujätteiden kerääminen on usein hitaampaa kuin itse niitto. Keräämisen voi tehdä esimerkiksi perämoottoriveneen perään kiinnitettävällä haravointilaitteella, siipirataskoneeseen kiinnitettävällä hydraulisilla haroilla tai kahden veneen väliin kiinnitettävällä uittopuomilla. Pienen kasvimassamäärän voi myös kerätä ihmisvoimin. Kasvimassan poistoon vedestä soveltuvat erilaiset maa- ja metsätalouden koneet, kuten esimerkiksi tukkinosturi tai kaivinkone. Helpointa kasvijätteiden poisto on tietenkin kuljettimilla varustetuilla niittokoneilla, joilla kuorman voi kuljettaa ja purkaa suoraan rantaan. (Kääriäinen & Rajala 2005, 257 - 258.)

3.2.2 Tavoitteet ja toteutus

Yleisin syy vesikasvien poistoon on tarve lisätä vesistön virkistyskäyttömahdollisuuksia. Tämä pitää sisällään muun muassa vesillä liikkumisen, kalastuksen, linnustuksen, uimisen ja vesimaiseman kohentamisen. Ylitiheän kasvillisuuden harventaminen parantaa myös kalojen ja lintujen elinolosuhteita. Vesikasvien poistaminen voi lisäksi parantaa veden laatua paikallisesti, jos veden virtaus ja vaihtuvuus kohentuvat. Veden laatu voi parantua myös, jos saadaan poistettua olennainen osa happea ja ravinteita kiertoan vapauttavasta biomassasta. (Kääriäinen & Rajala 2005, 260 - 261.)

Ennen vesikasvien niiton toteuttamista on selvitetävä järven morfologiset perusominaisuudet, kuten järven pinta-ala, syvyys ja muoto. Pohjan laadun selvittäminen, veden korkeuden vaihteluja veden laadun seuranta ovat myös tärkeitä huomioon otettavia asioita niittoa suunnitellessa. Lisäksi tulee selvittää järven kasvillisuuden yleispiirteet ja esiintyminen alueella sekä kartoittaa mahdolliset ongelmakohdat. Kasvillisuusvyöhykkeet esittävä kasvillisuuskartta on käyttökelpoinen apukeino yleiskuvan saamiseksi alueesta. (Kääriäinen & Rajala 2005, 261.)

Vesikasvien niitto kannattaa suorittaa silloin, kun ravinnemäärä kasveissa on suurimmillaan versoissa ja pienimmillään juuristoissa. Jos niiton aikoo tehdä vain kerran kesässä, niin paras ajankohta on heinäkuun puolivälistä elokuun puoliväliin. Jos saman kesän aikana tehdään useampi niitto, niin ensimmäinen tulee ajoittaa kesäkuun loppuun ja loput niitot 3 - 4 viikon välein. Vain yhden ainoan kerran suoritetulle niitolla ei ole yleensä hyötyä. Niitto on tehtävä vähintään kolmena kesänä, sillä monilla vesikasveilla on vahva juuristo, joka ei yhdestä niitosta vielä heikkene. (Kääriäinen & Rajala 2005, 262.)

Veteen ei saa jättää yhtään kasvimassaa. vaan se on kerättävä tarkkaan pois, sillä vedessä oleva hajoava kasviaines vapauttaa vesistöön ravinteita ja kuluttaa happea. Lisäksi kasvijätteet voivat myös liettää pohjaa, haitata rantojen käyttöä ja muodostaa jopa kasvualustan muulle kasvillisuudelle. Poistetun kasvimassan voi läjittää kunnostusalueen lähistölle, mutta kuitenkin riittävän kauas vesirajasta, jottei ravinteita pääse valumaan kasveista takaisin veteen. Jos niittojätettä on suuria määriä, niin maisemointi voi olla tarpeellista. Niitetyille kasveille on olemassa myös hyötykäyttömahdollisuuksia. Kasvimassaa voi käyttää pelloilla maanparannusaineena tai sen voi kompostoida puhdistuslietteen kanssa. Jotkin vesikasvit soveltuvat rehuksi karjalle. Tällaisia kasveja ovat esimerkiksi järviruoko, -kaisla ja -korte. (Kääriäinen & Rajala 2005, 262 - 263.)

3.2.3 Kustannukset

Vesikasvien niiton kustannukset vaihtelevat suuresti riippuen kohteesta ja käytetyistä menetelmistä. Kerääminen ja kuljetus ovat useimmiten kalliimpia kuin

itse niitto. Lapin ympäristökeskuksen laskennallinen kustannus niitolle vuonna 2002 oli 300 - 400 euroa/ha kohteesta riippuen. (Kääriäinen & Rajala 2005, 267.) Etelä-Savon ympäristökeskuksen mukaan talkootyönä tehdyn niiton keskimääräiset kustannukset vuonna 2004 olivat 99,5 euroa/ha (Lähteenmäki 2006, 15.) Airaksisen (2004) mukaan niitto kasvijätteen poistoiheen maksaa keskimäärin 250 euroa/ha.

3.2.4 Menetelmän soveltuvuus Purnulampeen

Purnulammen vesikasveista yleisimpiä olivat kelluslehtiset kasvit kuten ulpukka, uistinvita, siimapalpakko ja lumme, jotka esiintyivät paikoin runsaina. Ilmaversoisista kasveista järvikorte muodosti tietyissä paikoissa hyvin runsaita kasvustoja. Uposlehtisistä kasveista ahvenvita ja vesirutto olivat yleisimpiä. Vesiruttoa kasvoi paikoin hyvin runsaasti.

Ulpukoiden ja lumpeiden niitto on teknisesti helppoa, mutta ei ole aina menestyksestä, sillä niillä on juuristossaan runsaasti ravinteita uudelleen kasvua varten. Nämä kasvit siis kasvavat usein takaisin, mutta on havaittu että lehdet ovat kooltaan aikaisempia pienempiä, mikä saa vesialueen näyttämään avoimemmalta. (Kääriäinen & Rajala 2005, 264 - 265.)

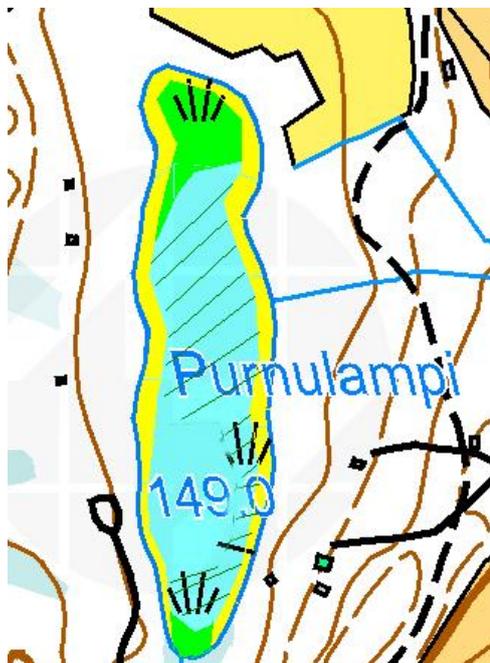
Uistinvidan ja siimapalpakon niittäminen on hankalaa ja hidasta. Uistinvidan kohdalla ongelmat johtuvat kasvin pehmeystä, ja siimapalpakko taas kietoutuu pitkänä kasvina helposti kiinni leikkureihin ja potkureihin. Uistinvita ei ole vähentynyt muutamakaan leikkuukerran jälkeen, mutta siimapalpakon kohdalla pari leikkuukertaa on usein tehonnut. (Kääriäinen & Rajala 2005, 265.)

Järvikorteen niittäminen on helppoa, mutta tulokset ovat olleet vaihtelevia. Tiheiden järvikortekasvustojen harventaminen vaatii, että niitto suoritetaan useana kesänä peräkkäin ja että leikkuujäte kerätään huolellisesti. (Kääriäinen & Rajala 2005, 264.)

Vesiruttoa ja muita uposlehtisiä kasveja ei kannata niittää, sillä ne lisääntyvät tehokkaasti ja nopeasti katkenneista verson kappaleista (Kääriäinen & Rajala 2005, 265).

Jos Purnulammen vesikasveja aiotaan niittää, niin siihen soveltuu perämoottorivene, jonka sivulle on laitettu viikate tai polttomoottorilla toimiva kevyt niittokone. Tämä siksi, että niitettävä alue ei ole kovin suuri eikä vesikasvusto yleisesti ottaen ole erityisen tiheää. Niittojätteen raivaukseen soveltuu veneeseen kiinnitettävä keräilyhara. ja lisäksi matalasta vedestä rannan tuntumasta kasvijätteet voi kerätä myös käsin.

Etusijalla niitossa on lammen eteläpää eli lammesta laskevan uoman ympäristö (kuvan 8 kartassa vihreällä merkitty alue). Tällä alueella kasvaa tiheinä kasvustoina järvikortetta, ulpukkaa ja uistinvitaa. Lammesta laskevan uoman suulta on tärkeä saada poistettua liika kasvillisuus, jotta vesi pääsee virtaamaan esteettömästi pois lammesta ja näin veden vaihtuvuus pysyy normaalina. Vaikka vesi vielä virtaisikin normaalisti, niin kasvillisuutta kannattaa jo ennakoivasti poistaa, ettei uoman suu pääse tulevaisuudessakaan kasvamaan umpeen.



Kuva 8. Purnulammen ranta- ja vesikasvillisuuden vyöhykkeisyys. © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10.

Muualta lammesta vesikasveja kannattaa niittää vesialueelta, jossa vesisyvyys on noin 0,5 - 1,0 metriä (kuvan 8 kartassa vihreällä viivoituksella merkitty alue). Matalammassa vedessä veneellä ei voi kunnolla liikkua ja syvemmästä niittäminen ei kunnolla onnistu. Toisaalta mitä syvemmälle mennään, niin sitä vähemmän kasveja esiintyy. Kasveja ei ole tarkoituksenmukaista niittää joka paikasta, vaan pelkästään alueilta, joissa kasvustot ovat tiheitä ja sen määrä koetaan haitalliseksi.

Jos kasvillisuutta aiotaan niittää vain kerran kesässä, niin paras ajankohta on heinäkuun puolesta välistä elokuun puoleen väliin. Jos aiotaan tehdä useampi niitto kesässä, niin ensimmäinen niitto tulisi suorittaa kesäkuun lopulla ja seuraavat 3 - 4 viikon välein. Niitto on suoritettava useana peräkkäisenä kesänä. Ensimmäisenä kesänä on suositeltavaa tehdä vähintään kaksi niittoa, seuraavana kesänä kerran ja tämän jälkeen tarpeen mukaan.

Kasvillisuus pitää niittää mahdollisimman läheltä pohjaa. Syntynyt niittojäte harataan rantaan ja kuormataan siitä kuormauskaluston kyytiin. Poistettu kasvijäte pitää läjittää sopivalle paikalle tarpeeksi kauas lammesta. Jos niittojätettä syntyy suuria määriä, niin maisemointia on syytä harkita.

Niitettävä alue on kooltaan noin 0,5 - 2,0 hehtaaria riippuen siitä kuinka tarkkaan vesikasvillisuutta halutaan poistaa. Aiemmin esitettyjen niiton kustannusarvioiden perusteella kustannukset olisivat siten 50 - 800 euroa niittokerralta.

Purnulammen rantoja hallitsevat järviruoko, kurjenjalka ja sara. Kenttäkerroksessa valtalajina ovat rahkasammalet, mutta myös sirppisammalta esiintyy. Edellä mainitut kasvit kasvavat muodostaen yhtenäisen Purnulampea kiertävän keskimäärin kahdeksan metriä leveän kasvuston (kuvan 8 keltainen alue).

Järviruo'olla on vahva juurakko, joka mahdollistaa kasvuston palautumisen vielä 1 - 2 niiton jälkeen, joten vaaditaan 3 - 4 niittokertaa ruo'on määrän vähentämiseksi. Vesisammalia ei pidä niittää, sillä ne lisääntyvät tehokkaasti verson kapaleista. (Kääriäinen & Rajala 2005, 264 - 265.)

Rantakasvien niitto onnistuu parhaiten raivaussahalla ja/tai viikatteella. Poistettavat määrät eivät tule olemaan suuria, joten niittojätteen saa kätevästi kuljetettua pois vaikka pressun päällä.

Rantojen kasvillisuutta ei ole tarpeellista niittää kaikkialta, vaan niitto kannattaa tehdä siten, että rantakasvillisuus muodostaa poimuilevia vyöhykkeitä. Kannattaa siis välttää suoria linjauksia. Ojien suuaukoille tulee jättää kasvillisuusvyöhykkeet sitomaan tulevia ravinteita.

Jos rantakasvillisuudesta poistettaisiin puolet, niin poistettavaksi pinta-alaksi tulisi noin 0,2 - 0,3 hehtaaria. Tämä tulisi edellä mainittujen kustannusarvioiden perustella maksamaan yhdeltä niittokerralta 20 - 120 euroa.

Vesi- ja rantakasvien kertaniitto tulisi yhteensä maksamaan arviolta 70 - 920 euroa yhdeltä niittokerralta riippuen työntekijöistä, lopullisista menetelmistä ja talkootyön osuudesta. Jos ensimmäisenä kesänä suoritetaan kaksi niittoa ja kahtena seuraavana kesänä yhden niitot, niin kustannukset olisivat 240 - 3 680 euroa.

Merkittävä puute vesikasvien niitolla kunnostusmenetelmänä Purnulammelle on se, ettei niitto tehoa uposlehtisiin kasveihin eikä vesisammaliin. Purnulammen pohjoispäässä on noin puolen hehtaarin kokoinen yhtenäinen "sammalmatto" (kuva 8). Tämä sammalkasvusto pienentää lammen vesitilavuutta ja vie elintilaa muilta vesikasveilta. Sammalet olisi hyvä saada poistettua, mutta niitolla ei siihen pystytä. Lisäksi lammessa kasvaa paikoin ongelmallista vesiruttoa hyvin tiheinä kasvustoina. Vesirutto lisääntyy herkästi ja ajan kuluessa mahdollisesti syrjäyttää muita vesikasveja. Vesiruton poistaminen ei onnistu niittämällä, vaan on käytettävä muita keinoja. Yksi mahdollinen keino vesisammalten ja vesiruton poistamiseen on raivausnuotan käyttäminen. Nuottaus olisi uusittava useana kesänä, sillä vesisammalet ja vesirutto uusiutuvat herkästi.

Vesikasvien niitto on menetelmänä nopea, edullinen ja etenkin ilmaversoisten kasvien kohdalla sillä on mahdollista saavuttaa hyviä tuloksia. Haittapuolena on se, ettei niitto useasti tehtynäkään ole kovin pysyvä ratkaisu, eikä se tehoa

kaikkiin kasvilajeihin ollenkaan. Joissain tapauksissa niitto voi jopa kiihdyttää kasvien kasvua ja leviämistä. Yksinään vesikasvien poisto ei ole riittävä kunnostusmenetelmä, vaan lisäksi on puututtava kasvillisuuden runsastumisen syyhyn eli liialliseen ulkoiseen ja sisäiseen kuormitukseen.

3.3 Järven hapetus

3.3.1 Yleistä hapetuksesta

Hapetus tarkoittaa järven koko vesimassan tai alusveden happipitoisuuden lisäämistä. Tämä on mahdollista tehdä esimerkiksi liuottamalla happea ilmasta veteen, johtamalla hapekasta vettä vähähappiseen alusveteen tai lisäämällä hapen veteen kemikaalina. (Lappalainen & Lakso 2005a, 153.)

Hapetuksella on kaksi keskeistä tavoitetta järven veden laadun parantamisessa. Ensinnäkin tavoitteena on turvata aerobisten kuluttaja- ja hajottajaorganismien hapensaanti ja hajotuskyky, mikä edistää hiilen ja typen tervettä kiertoa, mutta samalla hidastaa fosforin liiallista kiertoa. Toiseksi tavoitteena on estää hapen loppuminen, mikä aiheuttaisi aluksi hapen korvikkeina toimivien nitraattimuotoisten typpiyhdisteiden, sulfaattimuotoisten rikkiyhdisteiden ja ferrimuotoisten rautayhdisteiden vapautumisen, jotka hapettomuuden jatkuessa aiheuttaisivat epäedullisia, jopa myrkyllisiä, reaktioita ja lopputuotteita. (Lappalainen & Lakso 2005b, 1.)

Orgaanisen aineksen hajotustoiminta häiriintyy, jos happipitoisuus järven sedimentin pinnassa laskee liian alas. Tämän vuoksi alusveden happipitoisuuden pitäisi olla aina vähintään 5 mg/l. (Martinmäki, Ulvi, Hellsten, Kuoppala & Visuri 2006, 66.)

3.3.2 Tärkeimpiä hapetusmenetelmiä

Järven hapettamisessa voidaan käyttää apuna järven omia happivarantoja (hapetus) tai hyödyntää ilmakehän happea (ilmastus). Jos järven omat happiva-

rannot vain riittävät, niin tehokkainta on hyödyntää niitä. Jos happivarannot eivät riitä tai hapettimen aiheuttama kerrostuneisuuden sekoittaminen aiheuttaa ongelmia, niin menetelmäksi kannattaa valita ilmastus. (Saarijärvi 2003, Valjuksen 2005, 49 mukaan.)

Valjuksen (2005) mukaan Suomessa käytetyt hapetusmenetelmät voidaan jakaa myös vaikutustapansa mukaan:

- menetelmät, joissa alusvettä hapetetaan johtamalla päällysvettä alusveteen
- menetelmät, joissa lämpötilakerrosteisuus pyritään purkamaan tai estämään.

Mixox -kierrätyshapettimella alusveden hapettaminen tapahtuu johtamalla happellista päällysvettä pohjalle. Tiheyseron takia päällysvesi sekoittuu tehokkaasti alusveteen, jonka lämpötila talvelle alenee ja kesällä kohoaa. Syvissä järvissä lämpötilakerrosteisuus saadaan tarpeen mukaan säilytettyä. Kierrätyshapetuksessa energiantarve on vähäinen ja hapensiirtokyky alusveteen on 5 - 15 kg/kWh. (Lappalainen & Lakso 2005a, 158.)

Epämääräisesti kerrostuvissa rehevissä järvissä kesäaikainen hapetustarve on korkeiden lämpötilojen aiheuttaman biologisen toiminnan takia usein niin suuri, että alusvettä uhkaa happikato, vaikka sinne pumpattaisiin happea tavanomaisena kierrätysvirtaamana. Tällaisissa tapauksissa järven kerrostuneisuutta ei ole tarvetta säilyttää jatkuvasti, vaan on pyrittävä kerrostuneisuuden säätelyyn ja sen väliaikaiseen purkamiseen. Tällä hapetusmenetelmällä järvi autetaan täyskiertoon ennen kuin alusveden happipitoisuus laskee alle 3 mg/l. Tällöin järvi saa turbulentsesti virtavaa hapekasta vettä koko vesimassaan aina pohjasedimentin pintaan asti. (Lappalainen & Lakso 2005a, 158.)

Toinen lähestymistapa hapetuksen toteuttamiseen on alusveden hapetus lisäämällä happea veteen. Tähän on useita erilaisia menetelmiä. Vettä voidaan pumpata mekaanisella pumpulla halutusta syvyydestä pinnalle hapetettavaksi tai ilmaa voidaan johtaa suoraan ilmakehästä kuplina veteen esimerkiksi potkurin avulla tai ilmaa voidaan syöttää kuplina veteen pohjan lähellä olevalla kupli-

tusdiffuusorilla. Diffuusorimenetelmistä toimintaperiaatteeltaan yksinkertaisin on kuplitushapetus, jossa paineilmaa johdetaan huokoisten reikiä sisältävän lautasen läpi. Haittapuolena tässä menetelmässä on se, että hapen liukeneminen vapaasti nousevista ilmakuplista veteen on hidasta. Lisäksi menetelmä rikkoo tehokkaasti järven lämpötilakerrostuneisuuden ja kierrättää järven vettä, mutta toisaalta tämä voi olla joskus tarkoituskin. Monimutkaisempi sovellus aiheesta on niin sanottu Bernhardin perusmenetelmä, jossa oleellisimpia asioita ovat:

- paineilma johtuu alusveteen sijoitettuun pystyputkeen, jolloin syntyy nouseva vesivirtaus, johon liukenee ilmakuplista happea,
- vesi purkautuu yläaltaaseen, jossa haittakaasuja poistuu ilmakehään ja
- yläaltaassa hapettunut vesi pakotetaan virtaaman poistoputkea pitkin takaisin alusveteen.

Tätä hapetusmenetelmää käytettäessä lämpötilakerrostuneisuus säilyy, koska veden lämpötilamuutos on hapetusprosessissa erittäin pieni. (Lappalainen & Lakso 2005a, 155.)

3.3.3 Hapetusmenetelmän valinta

Järven kerrosteisuustyyppi on eräs tärkeimmistä asioista hapetusmenetelmää valittaessa (Lappalainen & Lakso 2005a, 155). Eri syvyys- ja kerrosteisuustyyppien järviin tarvitaan eri hapetusmenetelmiä (taulukko 26).

Taulukko 26. Hapetusmenetelmän valinta (Lappalainen & Lakso 2005a, 160)

Kerrostuneisuustyyppi	Talvi	Kesä
Matalat järvet, joissa ei esiinny kesäistä lämpötilakerrostuneisuutta	Hapetustarve (lisähappea ilmasta)	Ei hapetustarvetta
Matalahkot järvet, joissa esiintyy epämääräistä ja/tai vaihtelevaa kesäkerrostuneisuutta	Hapetustarve tai tilanteen mukaan kierrätystarve	Joko kerrostuneisuuden säätely, kerrostuneisuuden esto tai alusveden hapetus
Syvät järvet, joissa esiintyy kesäinen lämpötilakerrostuneisuus	Alusveden hapetus tai kierrätys-hapetus	Alusveden hapetus tai kierrätys-hapetus

Matalissa järvissä (maksimisyvyys 2 - 6 m), joissa ei tavallisesti muodostu lämpötilakerrostuneisuutta, on happivajetta yleensä vain talvella. Tällaisissa järvissä kannattaa käyttää pintahapetinta, hapetusharjaa tai paineilmaan perustuvia laitteita. Näiden laitteiden hapensiirtokyky on yleensä luokkaa 0,5 - 2 kg/kWh. Hieman syvemmissä kesäisin kerrostumattomissa järvissä on yleensä talvella lämpötila- ja happikerrostuneisuus, jolloin käyttökelpoisia laitteita ovat veden kerrostuneisuutta purkavat, veden ja ilman seosta alaspäin pumppaavat menetelmät. Jos järvessä on kohtalaisen suuret päällysveden happivarat, niin myös kierrätys-hapetin voi olla käyttökelpoinen. (Lappalainen & Lakso 2005a, 160.)

Syvissä järvissä on useimmiten sekä kesällä että talvella lämpötilakerrostuneisuus, joka tulisi mahdollisuuksien mukaan säilyttää. Hapetus tulisi kohdistaa ensisijaisesti alusveteen mahdollisimman pienin ekologisin sivuvaikutuksin. Parhaiten tähän soveltuvat esimerkiksi edellä mainittua Bernhardin menetelmää soveltavat laitteet. Myös laitteet, joissa veden ja ilman seosta johdetaan putkea pitkin alusveteen, soveltuvat syviin järviin. Sen sijaan pintahapettimia ei voida käyttää alusveden hapettamiseen, koska ne saattavat hajottaa lämpötilakerrostuneisuuden. (Lappalainen & Lakso 2005a, 161.)

Epämääräisesti kesäkerrostuvat matalahkot järvet ovat rehevyyden hallinnan kannalta hankalimpia. Tällaiset järvet saattavat olla kesällä välillä täyskierrossa, mutta hetkeä myöhemmin ne kerrostuvat uudelleen lämpötilan noustessa. Yli-rehevässä ja pohjaltaan huonokuntoisessa järvessä pohjan läheinen happivarausto saattaa loppua ennen seuraavaa täyskiertoa, mikä ruokkii sisäistä kuormitusta. Sisäinen kuormitus on estettävissä, jos pohjanläheisen veden happipitoisuus saadaan pidettyä yli 3 - 4 mg/l. Tämä voidaan toteuttaa hapettamalla alus-

vettä tai purkamalla kerrostuneisuus ennen huonohappisen tilanteen syntyä käyttämällä kierrätyshapetusmenetelmää. (Lappalainen & Lakso 2005a, 162.)

3.3.4 Kustannukset

Hapetuskustannukset ovat hyvin tapauskohtaisia. Kustannuksia voidaan arvioida veteen siirretyn happikilon hinnalla tai hapetuksen vuotuis kustannuksina pinta-alayksikköä kohden. Pitkäaikaisessa hapetuksessa olennainen tieto on myös laitteiden hapetustehokkuus eli paljonko happea saadaan siirrettyä kilowattituntia kohden. (Lappalainen & Lakso 2005a, 163.)

Ilmanpuhallusta käytävissä hapettimissa yksikkökustannukset ovat yleensä 0,1 - 0,4 euroa happikiloa kohden ja kierrätyshapetuksessa 0,05 - 0,2 euroa/kg. Vuosikulut järven pinta-alaan suhteuttaen ovat normaalisti 40 - 200 euroa/ha. Korkeimmat hehtaarikustannukset ovat rehevissä ja pienissä järvissä. (Lappalainen & Lakso 2005a, 163.)

3.3.5 Menetelmän soveltuvuus Purnulammelle

Purnulammen hapetustarpeen arvioinnissa käytettiin apuna Hargraven (1973, Granbergin & Korhosen 2004, 26 mukaan) esittämää laskentakaavaa (kaava 8). Tällä kaavalla voidaan laskea pohjalietteen hapenkulutus kesäaikana, kun tunnetaan kasvukauden perustuotanto ja päällysvesikerroksen paksuus:

Kaava 8.
$$C_o = a \frac{C_i^b}{Z_m^c}$$

missä C_o = pohjalietteen hapenkulutus $g O_2/m^2*d$

C_i = vuotuinen (=kasvukauden) perustuotanto $g C/m^2*a$

Z_m = päällysvesikerroksen paksuus

a,b ja c ovat vakioita.

Vakiot arvot ovat: $a = 0,0825$, $b = 0,51$ ja $c = 0,36$. Päälyysvesikerroksen paksuutena käytettiin kahta metriä ja vuotuisena perustuotantona $25,8 \text{ g C/m}^2$. Vuotuista perustuotantoa ei ole Purnulammessa mitattu, vaan $25,8 \text{ g C/m}^2$ on arvio, joka perustuu Granbergin (2004, 12) aineistona olleiden lievästi rehevöityneiden järvien perustuotannon keskiarvoon.

”Sedimentin hapenkulutus on lämpötilasta riippuvainen ilmiö. Lämpötilakorjaus tehdään kaavalla:” (Granberg 2004, 8):

$$\text{Kaava 9. } K_t = K_k \theta^{(T_t - T_k)}$$

missä K_t = sedimentin hapenkulutus talvella

K_k = sedimentin hapenkulutus kesällä

$$\theta = 1,1$$

T_t = alusveden lämpötila talvella

T_k = alusveden lämpötila kesällä (elokuussa).

Kaavojen 8 ja 9 avulla Purnulammen pohjalietteen kesäaikaiseksi hapenkulutukseksi saatiin $0,337 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. Oletetaan, että hapentarve on sama koko pohjan alueella. Hapentarve saadaan kertomalla hapenkulutus Purnulammen pinta-alalla ($31\,480 \text{ m}^2$): $0,337 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d} * 31\,480 \text{ m}^2 = 10\,609 \text{ g O}_2/\text{d}$ eli $10,6 \text{ kg}$ happea vuorokaudessa.

Kaavoilla 8 ja 9 pohjalietteen talviaikaiseksi hapenkulutukseksi saadaan $0,190 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. Tällöin lammen hapentarve on $5\,981 \text{ g O}_2/\text{d}$ eli 6 kg happea vuorokaudessa.

Hapentarpeen perusteella voidaan laskea, kuinka paljon alusveteen pitää pumpata päälyysvettä, että hapenkulutus kumoutuisi. Vesinäytteistä mitatuista happipitoisuuksista (taulukot 1 ja 2) voidaan arvioida, että Purnulammen päälyysvedessä on kesäaikana happea $8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ eli $8 \text{ g O}_2/\text{m}^3$. Tällöin tarvittava virtaus päälyysvedestä alusveteen saadaan yhtälöllä:

$$8 \text{ g O}_2/\text{m}^3 * X \text{ m}^3 = 10\,609 \text{ g O}_2/\text{d},$$

saadaan: $X = 10\,609 \text{ g O}_2/\text{d} / 8 \text{ g O}_2/\text{m}^3 = 1\,326 \text{ m}^3/\text{d} = 0,0153 \text{ m}^3/\text{s}$ eli 15,3 l/s.

Samalla periaatteella voidaan myös laskea, paljonko ilmakehästä olisi johdettava ilmaa veteen, jotta saataisiin lammen hapentarve tyydytetyksi. Ilma sisältää noin 21 % happea ja sen tiheys NTP -tilassa on $1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$. Näin ollen kesäaikana vaadittava ilmamäärä saadaan yhtälöllä:

$X = 10\,609 \text{ g O}_2/\text{d} / 272 \text{ g O}_2/\text{m}^3 = 39,0 \text{ m}^3/\text{d} = 0,00045 \text{ m}^3/\text{s}$ eli 0,45 l/s.

Talvella päällysvettä ei voida johtaa alusveteen, koska Purnulamman vesi on kokonaan hapettomassa tilassa. Tämän vuoksi pitää hylätä menetelmät, jotka käyttävät hyödyksi päällysvedessä olevaa happea. Talvella ilmaa pitäisi johtaa ilmakehästä $22,0 \text{ m}^3/\text{d}$ eli 0,28 l/s, jotta saataisiin kumottua pohjalietteen aikaan saama hapenkulutus.

Kesällä Purnulampeen liukenee happea tietty määrä ilmasta, joten vaadittava koneella lisättävä happimäärä ei ole $10,6 \text{ kg}/\text{d}$. Talvella jää- ja lumipeitteen takia veteen ei pääse happea ilmasta, joten tarvittava hapettimella lisättävä happimäärä on lähellä laskennallista $6,0 \text{ kg O}_2/\text{d}$. Kesäaikaista ilmasta liukenevan hapen määrää ei tiedetä, joten hapetuksen mitoitusperusteena voidaan käyttää $10 \text{ kg O}_2/\text{d}$.

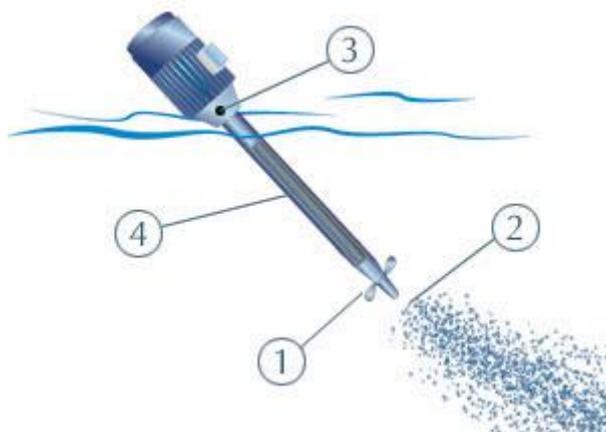
Purnulampi kerrostuu kesäisin, jolloin syvänteen happipitoisuus laskee alle tavoitellun $5,0 \text{ mg}/\text{l}$ (taulukko 2). Talvisin taas lampi on kokonaisuudessaan hapettomassa tilassa (taulukot 3 ja 4). Näiden tietojen perusteella Purnulampi vaatii hapetusta sekä kesä- että talviaikaan.

Talvella hapetin pitäisi laittaa toimintaan ennen jäiden tuloa, ja sen tulisi olla päällä aina jäiden lähtöön asti. Kesällä hapetin tulisi käynnistää, ennen kuin alusveden happipitoisuus pääsee laskemaan alle $5 \text{ mg}/\text{l}$, ja se kannattaisi pitää päällä siihen saakka kunnes lammen vesi alkaa viilentyä ja mikrobien happea kuluttava hajotustoiminta hidastua.

Hapetin kannattaa sijoittaa Purnulammen syvänteeseen. Veden happipitoisuutta pitää seurata säännöllisesti usean vuoden ajan, jotta saadaan tietää, kuinka hyvin hapetus toimii ja onko hapetin mitoitettu oikein.

Pintaveden happea alusveteen siirtävät laitteet, kuten Mixox-hapetin, eivät sovellu Purnulampeen talvella vallitsevan täydellisen hapettomuuden vuoksi. Soveltuvia hapetuslaitteita ovat sellaiset, jotka tavalla tai toisella johtavat happea ilmasta veteen. Tällaisia ovat esimerkiksi Aire-O₂, AIRIT ja Visiox.

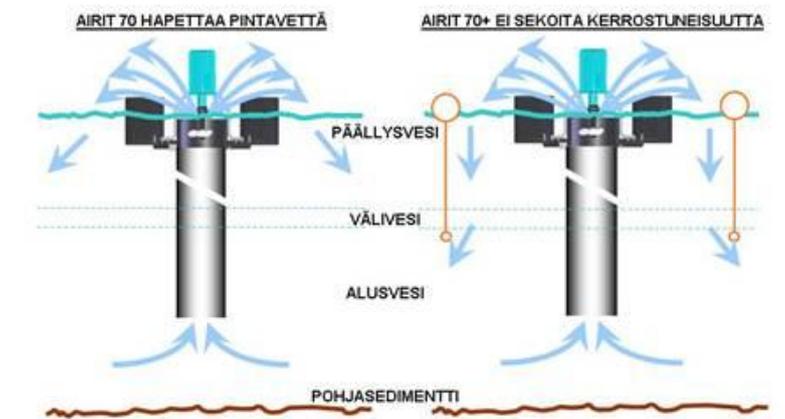
Aire-O₂ hapettimessa (kuva 8) ”pyörivä potkuri (1) pakottaa veden ulospäin akselin (4) suuntaisesti suurella virtausnopeudella ja aiheuttaa näin imuvaikutuksen, jonka seurauksena vedenpinnan yläpuolella oleva ilma kulkeutuu imuaukkojen (3) kautta ontton akselin läpi veteen. Ilma sekoittuu veteen viuhkana (2), jossa ilmakuplien halkaisija on noin 2 mm. Laitteen yläosaan kiinnitetään veden yläpuolelle jäävä moottori. Laite asennetaan kellukkeiden varaan noin 45 asteen kulmaan. Pintahapettimena Aire-O₂ ei pura järven kerrostuneisuutta.” (Sassi & Keto 2005, 18.)



Kuva 9. Aire-O₂ -hapetuslaitteen toimintaperiaate

Laite on kokonaispituudeltaan 1,14 metriä, ja sillä on painoa moottorin kanssa arviolta 40 - 50 kg. Laitteen asentamiseen tarvitaan moottorin ja runko-osan lisäksi ponttonit ja kiinnitysraudat, jolloin kokonaispainoksi tulee arviolta 120 kg. Laitteiden teholuokka (Aire O₂ 275-sarja) voidaan valita väliltä 1,5 - 5,5 kW.

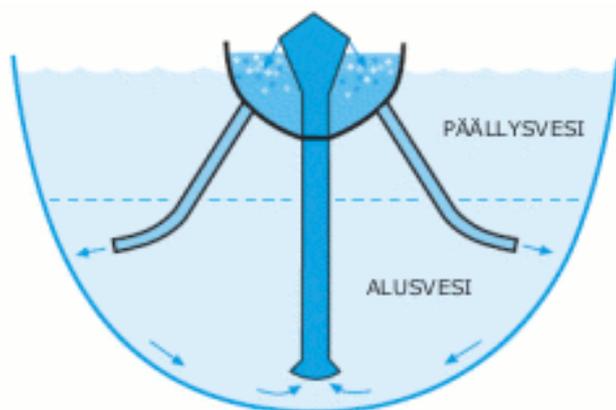
Waterixin AIRIT-ilmastimet (kuva 9) imevät sähkömoottorin avulla vettä imuputken läpi halutusta syvyydestä ja levittävät veden suutinraon kautta veden pinnalle ja säilyttävät järven kerrostuneisuuden (Sassi & Keto 2005, 19).



Kuva 10. AIRIT-ilmastimen toimintaperiaate

Waterix AIRIT Micro painaa 12 kg, ja sillä voidaan hapettaa 1 - 6 metriä syviä kohteita. AIRIT 70 -ilmastin painaa 36 kg, ja imuputken avulla se soveltuu jopa 12 metriä syvien kohteiden ilmastukseen. AIRIT Micro on teholtaan 0,18 kW ja AIRIT 70 1,5 kW. (Waterix AIRIT Micro; Waterix AIRIT 70.)

Visiox-ilmastin pumppaa vettä vähähappista alusvettä hapetettavaksi pinnalle säilyttäen kerroksellisuuden (kuva 10). Pinnalla vähähappinen vesi suihkutetaan osasuikuna pressukehällä rajattuun niin sanottuun yläaltaaseen, josta suihkutuksen yhteydessä hapettunut vesi johdetaan ns. pressusukkaa pitkin hieman harppauskerroksen yläpuolelle. Sieltä vesi laskeutuu edelleen pohjaa kohti ja samalla levittäytyy vaakasuorasti laajemmalle alueelle. (Sassi & Keto 2005, 19 - 20.)



Kuva 11. Visiox -ilmastimen toimintaperiaate

Ilmastinta valmistetaan teholuokissa 0,75 - 160 kW, joskin järvitapauksissa käytetyimmät kokoluokat ovat 2,2 - 7,5 kW. Ilmastuslaitteen kokonaispaino ilman imuputkea ja ilmastusallasta on 260 - 280 kg (5,5 kW moottorilla). Ilmastusallas on leveydeltään 3,0 metriä. Laitteen minimiasennussyvyys on 2,5 metriä ja imuputken pituus voidaan valita kohteen vesisyvyyden mukaan. (Visiox-ilmastimien tuotetiedot 2007; Sassi & Keto 2005, 21.)

Hapetuslaitteiden hyötysuhteissa on selviä eroja (taulukko 27). AIRIT Micro on hyötysuhteeltaan paras ja huonoin on Aire-O₂. Ilmastuksen tuotolta kaikki laitteet ovat riittävän tehokkaita. Aire-O₂-hapetinlaitteista riittäisi teholtaan pienin 1,5 kW:n versio ja samoin Visiox-ilmastimista 2,2 kW:n versio olisi riittävä. Waterixin hapettimista AIRIT Micro on laskelmien mukaan hapentuotannoltaan riittävän tehokas Purnulammelle.

Taulukko 27. Hapetuslaitteiden perustietoja sekä niiden ilmastuksen tuottoja ja hyötysuhteita

Laitte	AIRIT			
	Aire-O ₂	Micro	AIRIT 70	Visiox
Valmistaja	Claritek Oy	Waterix	Waterix	Vesi-Eko Oy
Paino (kg)	40 - 50	12	36	260
Moottorin nimellisteho (kW)	2,5	0,18	1,5	3,0
Ilmastuksen tuotto (kg O ₂ /d)	36	12	72	72
Ilmastuksen hyötysuhde (kg O ₂ /kWh)	0,6	2,8	2	1,0

AIRIT 70 -hapettimen hankintahinta on noin 3 600 euroa ja AIRIT Micron 2 000 euroa (Martikainen 2011). Visiox-laitteen hankintahinta puolestaan on edullisimmillaan noin 13 000 euroa (Kauppinen 2010, 38). Aire-O₂ on hinnaltaan noin 5 000 euroa (Hietaranta, Kaseva & Ahlfors 2008, 40).

Hapetuslaitteen energiankulutus vaihtelee 240 päivän vuotuisella käytöllä 1 040 - 12 670 kW:n välillä mallista riippuen (taulukko 28). Tällöin vuotuiset energiakustannukset olisivat 90 - 1 140 euroa.

Taulukko 28. Eri hapetuslaitteiden energiankulutus ja käyttökustannukset

Laite	Aire-O2	AIRIT Micro	AIRIT 70	Visiox
Laitteen ottoteho (kW)	1,5	0,18	1,5	2,2
Hapetuksen kestoaika (d/a)	240	240	240	240
Energiankulutus (KWh/a)	8 460	1 040	8 460	12 670
Sähköenergian hinta (€/kWh)	0,09	0,09	0,09	0,09
Energiakustannukset (€/a)	760	90	760	1 140

Hankinta- ja käyttökustannusten lisäksi kuluja aiheuttavat huoltokustannukset ja sähköistys. Kauppinen (2010, 38) mukaan Alusvesi-ilmastimen (esim. Visiox) vuosittaiset huoltokustannukset ovat noin 1 500 euroa (taulukko 39). AIRIT-ilmastimien vuotuiset kustannukset ovat vain 50 - 100 euroa luokkaa (Martikainen 2011). Sassin & Keton (2005, 83) mukaan turvamääräysten mukainen sähköistys maksaa noin 2 000 - 3 000 euroa.

Taulukko 29. Hapetuslaitteiden kustannusvertailu

Laite	Aire-O2	AIRIT Micro	AIRIT 70	Visiox
Hankintahinta	5 000	2 000	3 600	13 000
Sähkötyöt (€)	1 500	1 500	1 500	1 500
Hankinta- ja käyttöönottokulut yhteensä (€)	6 500	3 500	5 100	14 500
Energiakustannukset (€)	760	90	760	1 140
Huollot (€)	X	75	75	1 500
Käyttökustannukset vuodessa yhteensä (€)	760 + X	165	835	2 640

Ilmastuksen tuoton ja hyötysuhteen sekä hankintahinnan ja käyttökustannusten perusteella Purnulammelle paras hapetinlaite olisi AIRIT Micro.

3.4 Järvikunnostusmenetelmien vertailu

Taulukossa 30 on listattu eri kunnostusmenetelmien vahvuuksia ja heikkouksia. Ruoppaus on kunnostusmenetelmistä kallein (taulukko 31), mutta myös ehdottomasti tehokkain hoitotoimenpide Purnulammelle. Vesikasvien niitto tai hapetus eivät yksinään ole kovin tehokkaita toimenpiteitä, mutta yhdessä niillä on mahdollista päästä kohtuulliseen lopputulokseen, varsinkin jos ne yhdistetään ulkoisen kuormituksen vähentämiseen tähtääviin kunnostustoimiin. Ongelmaksi jäisi kuitenkin heikkolaatuinen pohjasedimentti ja sen aikaansaama sisäinen kuormitus. Hapetus toki parantaisi lammen happitilannetta ja vähentäisi sisäistä kuormitusta, mutta se ei olisi pysyvä ratkaisu vaan enemmänkin ”tekohengitystä”. Tärkeintä olisi saada itse hapettomuuden aiheuttajat, ulkoinen ja sisäinen kuormitus, kuriin. Ruoppauksella saataisiin vähennettyä sisäistä kuormitusta, joka lisää happea kuluttavan perustuotannon määrää ja on näin osasyynä hapettomuuteen.

Taulukko 30. Kunnostusmenetelmien vertailu

Menetelmä	Vahvuudet	Heikkoudet
Ruoppaus	Happitilanne paranee Sisäinen kuormitus vähenee Vesisyvyys kasvaa Vesikasvillisuus vähenee Käytännössä pysyvä lopputulos	Kustannukset Suuret läjitysalueet Veden tilapäinen samentuminen Kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksien hetkellinen kohoaminen
Vesikasvien niitto	Virkistyskäyttömahdollisuudet paranevat Vedenlaatu paranee paikallisesti Kustannukset	Ei yksinään riittävä kunnostustoimi Vaatii toimenpiteitä useiden vuosien ajan Ei kovin pysyvä lopputulos
Hapetin	Happitilanne paranee Sisäinen kuormitus pienenee Kustannukset	Ei yksinään riittävä kunnostustoimi Vaatii panostusta useiden vuosien ajan Lopputulos ei välttämättä kovin pysyvä

Taulukko 31. Kunnostusmenetelmien kustannukset. Selitykset: 1 = neljä niitto-kertaa, 2 = käytössä viisi vuotta

Menetelmä	Kustannukset (€)
Vesikasvien niitto ¹	240 - 3 700
Hapetus ²	4 300 - 27 700
Ruoppaus	56 000 - 315 000

4 VALUMA-ALUEELLA KÄYTETTÄVIÄ KUNNOSTUSMENETELMIÄ

4.1 Valuma-alueen määritelmä

Valuma-alue on vesistöä ympäröivä maa-alue, jolta sadannasta ja keväällä sulamisvesistä kertyvä vesi valuu tietyn jokisysteemin kautta kohde vesistöön. Valuma-alueen rajaus tapahtuu maaston mukaan vedenjakajina toimivien harjanteiden perusteella. Sadannasta tulleet vedet päätyvät valuma-alueella samaan poistumispisteeseen. (Kukkonen ym. 2007, 10.)

Valuma-alue on keskeisessä osassa järvien kunnostukseen tähtäävässä kunnostusajattelussa. Kunnostusajattelun tavoitteena on kohdistaa kunnostustoimenpiteet koko valuma-alueelle, jota tukee vesipolitiikan puitedirektiivistä johdettava kansallinen lainsäädäntö ja suunnittelukäytäntö. (Ulvi & Lakso 2005, 9.) Valuma-alueelta tuleva ravinne- ja kiintoainekuormitus muodostuu yleensä pääosin ihmistoiminnasta, mutta sen lisäksi järveen kohdistuu luonnonhuuhtoumaa. Luonnonhuuhtouma kertyy valuma-alueen sadannasta ja sulamisvesistä, jotka valuvat joka tapauksessa järveen, oli valuma-alueella ihmistoimintaa tai ei. Luonnonhuuhtouma on siinä mielessä otettava huomioon ulkoisena kuormittajana, sillä yleensä sen mukana järveen tuleva fosfori on sitoutuneena kiintoaineseen ja sen takia hitaammin käytössä kasvustolle kun taas haja-asutuksen jätevesien mukana tuoma fosfori on liukoisessa muodossa ja nopeammin kasvuston käytössä. Kuitenkin varsinaista valuma-alueelta järveen kohdistuvaa kuormittajaa voidaan pitää luonnonhuuhtouman ylittäviä, ihmisen toiminnasta johtuvia päästöjä. (Ulvi & Lakso 2005, 137.)

Järven kunnostuksen lähtökohtana on vähentää valuma-alueelta kohdevesistöön valuntana tulevaa ulkoista kuormitusta. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen ei yksistään pysäytä järven rehevöitymistä, mutta pelkästään järvioltaan kunnostukset ovat hyvinkin lyhytaikaisia jos ulkoiseen kuormitukseen ei puututa. Lähtökohtaisesti olisi tärkeää saada valuma-alueella järviä pahasti rehevöittävä fosforinpitoisuudet virtavesissä vähenemään. Fosforimallin perusteella järveen tulevan ulkoisen fosforikuormituksen määrä tulisi saada alhaisemmaksi

kuin järvestä lähtevän fosforin määrä, jotta järvestä tapahtuva nettosedimentaatio saataisiin kuriin.

Valuma-alue kunnostuksilla pyritään parantamaan järven tilaa vähentämällä ulkoista kuormitusta. Näitä tekijöitä, joihin valuma-aluekunnostuksilla on helpoin puuttua, voivat olla erilaiset ravinteet, orgaaniset aineet ja metallit sekä veden kiintoaines. Valuma-aluekunnostuksilla tarkoitetaan alueelle rakennettavia vesiensuojeluteknisiä rakenteita, joilla pyritään vähentämään valuma-alueen virtavesien mukana tulevaa järveä rehevöittävää hajakuormitusta. Vesiensuojeluteknisiä rakenteita virtavesissä voivat olla kosteikot, pintavalutuskentät, laskeutusaltaat, ojakatkokset ja pohjapadot, purokunnostukset sekä lähteiden ja soiden ennallistamiset.

4.2 Laskeutusallas

Laskeutusaltaalla tarkoitetaan ojan tai puron yhteyteen kaivamalla tai patoamalla tehtyä vesiallasta, jonka päätarkoituksena on kerätä pelloilta ja ojaverkosta veden mukana liikkeelle lähtenyttä maa-ainesta ja estää sitä pääsemästä vesistöön (Kosteikot ja laskeutusaltaat 2005).

Laskeutusaltaan tarkoitus on hidastaa virtavedessä sen virtausnopeutta niin paljon, että vedessä olevat kiintoainepartikkelit laskeutuvat altaan pohjalle. Laskeutusallas toimii sitä tehokkaammin mitä hitaammaksi virtausnopeus saadaan. Virtausnopeuden hidastamisella saadaan laskeutusaltaassa pidennettyä veden viipymää, jonka johdosta pienimmätkin partikkelit ehtivät valua altaan pohjaan ja sitä tehokkaammin allas toimii. Vaikka laskeutusaltaan tarkoituksena ei ole pidättää fosforia virtavesistä, erottaa se kiintoaineen mukana jonkin verran fosforia. (Ulvi&Lakso 2005, 146.) Laskeutusaltaan teho ulkoisen kuormituksen vähentäjänä riippuu monesta tekijästä, kuten valuma-alueen pinnanmuodoista, maalajeista, maankäytöstä, laskeutusaltaan mitoituksista ja rakenteesta sekä virtaaman vaihteluista.

4.3 Pintavalutuskenttä

Pintavalutuskentän toiminta perustuu fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin prosesseihin, joiden avulla vedestä pyritään pidättämään pääasiassa fosforia, typpeä sekä myös kiintoainetta. Pintavalutuskentässä uoma padotaan ja ohjataan virtavesi kulkemaan maan pintakerroksen läpi järvioltaaseen. Teknisesti pintavalutuskentän läpi kulkeutuva vesi puhdistuu virratessaan ja suodattuessaan maan pintakerroksessa ja siinä kasvavassa kasvustossa. (Pintavalutuskentät 2005.) Pintavalutuskentän mitoituksessa on oltava tarkkana, sillä liian pieneksi mitoitettulla kentällä voi olla negatiivisia vaikutuksia vesistön kuormitukselle. Tämä on vaarana erityisesti kevät- ja syystulvien aikaan, jolloin kenttään jääneitä ravinteita voi vapautua valumavesien mukana. Oikein mitoitettu pintavalutuskenttä on erittäin hyvä pidättämään ulkoista kuormitusta, sillä esimerkiksi turvetuotantoalueilla on saatu virtavesistä pidättymään 50 % kiintoaineesta ja 40 % fosforista että typestä (Ulvi & Lakso 2005, 147).

4.4 Pohjapato

Pohjapadoilla pyritään hidastamaan uoman virtausnopeutta ja täten uoman eroosiota. Virtausnopeutta hidastamalla saadaan kiintoaineksen ja sen mukana kulkemia ravinteita pienennettyä, erityisesti uomissa pohjakulkeumana kulkevaa kiintoainetta ja siihen sitoutunutta fosforia saadaan pidättymään tehokkaasti. Pohjapadoilla saadaan hyvin vähennettyä ulkoista kuormitusta suhteellisen pienellä työllä sekä alhaisilla kustannuksilla. Yleisimpinä pohjapatojen rakennus materiaaleina käytetään kiviä, puupaaluja ja betonielementtejä. Jotta pohjapadolla päästäisiin pienentämään ulkoista kuormitusta, tulisi patoja tehdä uomaan useita peräkkäin riippuen maaston kaltevuudesta noin 10 - 15 metrin välein.

4.5 Kosteikko

Kosteikolla tarkoitetaan vesistökuormitusta vähentävää ojan, puron, joen tai muun vesistön osaa ja sen ranta-aluetta, joka suuren osan vuodesta on veden peitossa ja muunkin ajan pysyy kosteana. Kosteikko perustetaan yleensä patoamalla. Kosteikossa on tyypillisesti vesi- ja kosteikkokasvillisuutta. Kosteikkoon on hyödyllistä liittää avovesipintainen syvän veden alue. (Kosteikot ja laskeutusaltaat 2005.)

Kosteikoilla pyritään pidättämään niin kiintoainesta kuin myös liukoisia ravinteita. Sen toiminta perustuu matalaan vesialtaaseen johon hidastetaan vedenvirtausnopeutta. jolloin kiintoainepartikkelit ehtivät valumaan altaan pohjaan. Liuukoisten ravinteiden pidättyminen tapahtuu vesialtaaseen istutettavan ja kasvavan kasvuston avulla, jolloin vesialtaan biomassa käyttää veden mukana kulkeutuvia ravinteita hyödykseen. Ulvin & Lakson (2005, 146) mukaan rehevä kosteikko poistaa tehokkaasti myös typpeä sen kaasuuntuessa denitrifikaatioprosessin myötä. Kuitenkaan kosteikkojen ainut hyöty ei ole pelkästään ulkoisen kuormituksen pidättämisessä, vaan ne voivat toimia myös maisemoinnissa sekä lintuvesistöinä. Luonnon monimuotoisuuden lisääntyessä kosteikot voivat edistävää muun muassa lintuharrastusta, metsästystä ja kalastusta.

Kosteikon mitoituksessa on syytä olla tarkkana, että se toimisi tehokkaasti. Kosteikon pinta-ala tulisi olla yli 2 % yläpuolisesta valuma-alueesta, jotta päästäisiin hyviin tuloksiin ravinteiden pidättymisen osalta. On todettu, että kosteikon jonka pinta-ala on 2 % yläpuolisesta valuma-alueesta, on saatu jopa 62 % pidättämään fosforia, typpeä jopa 48 % ja kiintoainetta 60 %. On kuitenkin muistettava, että kosteikon pidätyskyky on erittäin herkkä olosuhteille eikä vastaaviin luke-miin aina päästä. (Ulvi & Lakso 2005, 147.)

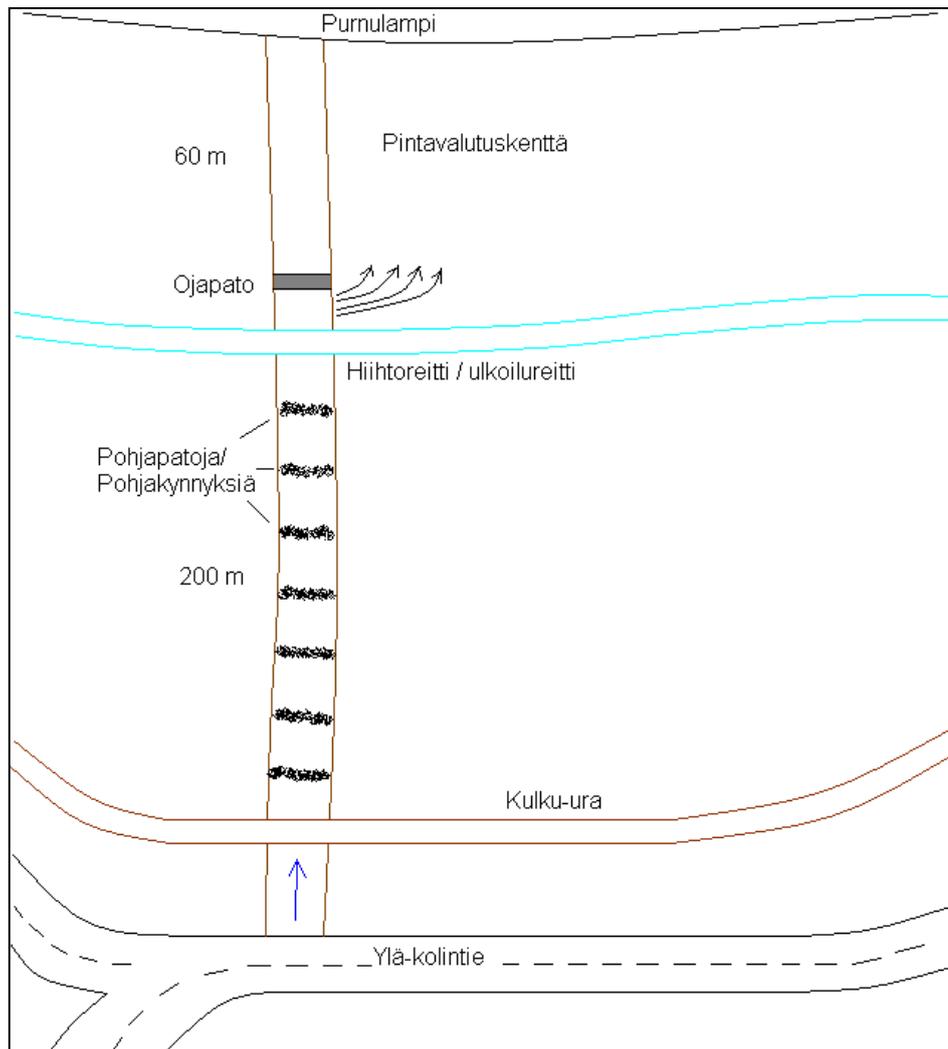
5 VALUMA-ALUE KUNNOSTUKSET

5.1 Vesiensuojeluteknisten rakenteiden suunnittelu

Valuma-alueelle on suunniteltu rakennettavaksi neljään kohteeseen ojakatkos-pintavalutuskenttä sekä yhteen kohteeseen pintavalutuskentän lisäksi useita pohjapatoja. Näiden vesiensuojeluteknisten rakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon maanomistusolosuhteet. Jokaiselle rakenteelle on saatava maanomistajan hyväksyntä. On myös tärkeää huomioida, että pintavalutuskentänä toimiva ala ei aiheuta suuria taloudellisia haittoja maanomistajalle mahdollisen puuston vettymisen myötä. Kuitenkin pintavalutuskentät on suunniteltu rakennettavaksi näille neljälle kohteelle metsätaloudellisesti arvottomalle alueelle.

Valuma-alueelle suunnitellut vesiensuojelutekniset rakenteet ovat melko laajoja kokonaisuuksia 2 400 m² - 10 800 m², ja ne on suunniteltu suurimmaksi osaksi vanhalle kesantopellolle. Näille alueille pintavalutuskentän rakentaminen on mielekästä, sillä kaltevuudet pysyvät maltillisina, oikovirtausten riski on pientä sekä kentän tehokkuuden nostamiseksi ravinteita sitovien istutusten istuttaminen on mahdollista.

5.1.1 Uoma 467



Kuva 12. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 467 suunnitellut pohjapadot sekä pintavalutuskenttä

Ulkoisen kuormituksen vähentämiseksi Purnulampeen uomaan 467 suunniteltiin ojakatkos-pintavaluntakenttä sekä pohjakynnyksiä (kuva 12). Oja padotaan tiukasti, vähintään viiden metrin matkalta vaihtoehtoisesti käyttämällä puupaalutusta sekä karkeaa maa-ainesta tai betonista valmistettuja elementtejä. Hieno maa-aines ei sovellu padotukseen, sillä mm. ylivirtaamajaksoilla vesi syöpyisi nopeasti padon läpi. Helpoin tapa olisi käyttää puupaaluja, joita mahdollisesti löytyy läheltä metsää sekä karkeaa maa-ainesta (karkeaa hiekkaa/soraa sekä kiviä), joita voi kaivaa maaperästä riippuen lähimaastosta. Pato tehdään noin 60 metrin päähän lammesta ja noin 30 metriä ulkoilureitistä (koordinaatit, YKJ; P=7002627, I=3640690) jotta ylivirtaamajaksoilla tulvahuippu ei nouse missään nimessä ulkoilureitille. Vaikka maastonmuoto laskee selvästi 30 metrin matkalla

ulkoilureitistä, olisi paikka syytä vaaita ja selvittää, kuinka paljon maasto laskee ulkoilureitin ja padon välillä. Näin varmistettaisiin, ettei tulva-aikana vesi pääsisi nousemaan haitaksi ulkoilureitille.

Virtavedet ohjataan uomasta oikealle puolelle pintavalutuskenttään. Vesien ohjaukseen voidaan kaivaa viiksioja ennen patoa joka ohjaa virtavedet varmasti pintavalutuskenttään, eikä vesi pääse kiertämään takaisin vanhaan uomaan. Viiksiojalla saadaan virtavesiohjattua tarpeeksi laajalle, jotta pintavalutuskenttään saadaan pinta-alaa ja näin ollen sen ravinteiden pidättyvyyttä kasvatettua. Koska pintavalutuskentän teho määräytyy sen pinta-alasuhteesta yläpuoliseen valuma-alueeseen, saadaan sen tehoksi:

$$\text{Pintavalutuskentän pinta-ala } 60 \text{ m} * 40 \text{ m} = 2\,400 \text{ m}^2$$

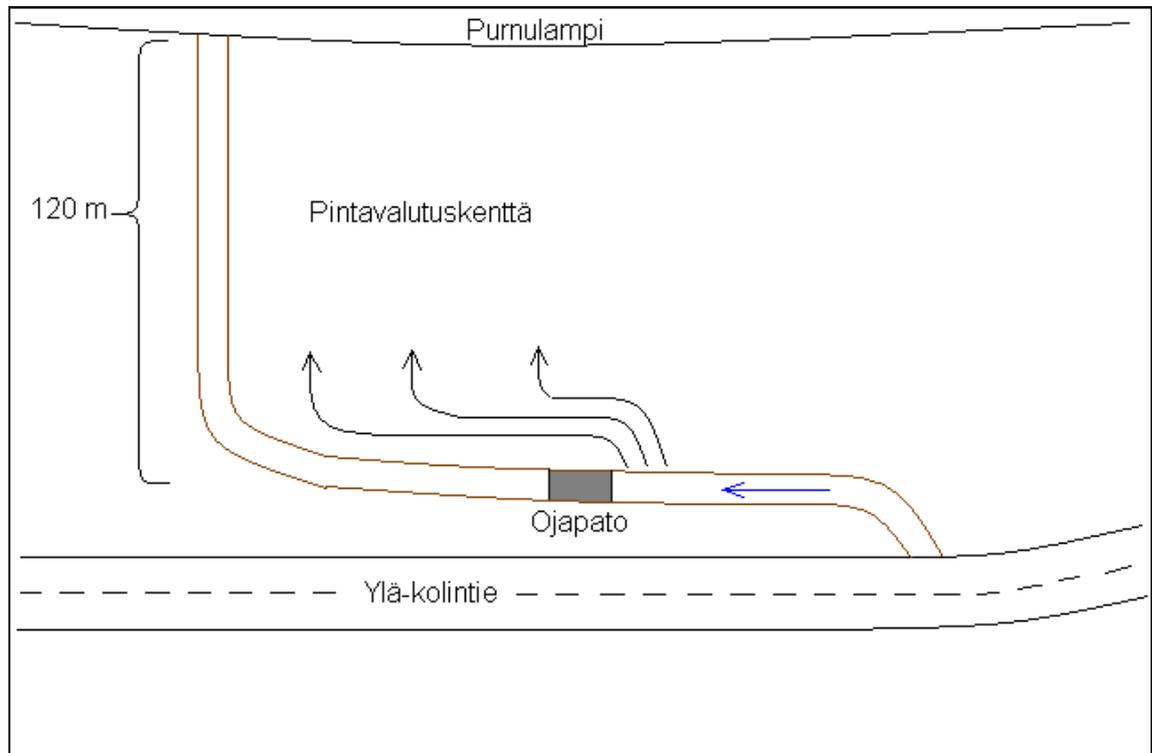
$$\text{Pintavalutuskentän yläpuolinen valuma-alue } 85\,600 \text{ m}^2$$

$$= 2\,400 \text{ m}^2 / 85\,600 \text{ m}^2 * 100 = 2,8 \text{ \%}.$$

Pintavalutuskentän pinta-ala suhteessa sen yläpuoliseen osavaluma-alueeseen on siis 2,8 %. Lyytikäisen, Vuoren ja Kotasen 2003 (Leskinen & Saarenpää 2005, 19) mukaan alueen topografia huomioiden, tulisi pintavalutuskentän olla mahdollisimman laaja, koska pintavalutuskentän ravinnepidätystehoon vaikuttaa ensisijaisesti kentän koko suhteessa sen yläpuoliseen valuma-alueeseen. Jotta päästäisiin tyydyttävään, jopa hyvään pidätystulokseen, tulisi pinta-alojen suhde olla vähintään 0,5 %. Tässä tapauksessa 2,8 % ylittää vähimmäisvaatimuksen (0,5 %), joten pidätysteho tulee olemaan vähintään hyvä.

Pintavalutuskentän lisäksi padon yläpuolelle suunniteltiin rakennettavaksi kivisiä pohjapatoja. Tämä tehostaa mm. fosforin, typen ja kiintoaineen pidätystä pintavalutuskentän tukena. Loivan maaston myötä pohjapatoja ei tarvitse rakentaa tiheään; 15 - 20 metrin välein 200 metriä ojakatkoksen yläpuolelle on varmasti riittävä. Pohjapadot tehdään henkilötyönä joko kaivamalla lähiympäristöstä kiviä tai tuomalla traktorilla paikan päälle. Pohjapatojen pidättyvyys teho on hyvin tapauskohtainen. Jotta uoman pohjapatojen ravinteiden pidättäminen saataisiin selville, on se selvitettävä tulevaisuudessa vesinäytteiden avulla.

5.1.2 Uoma 466



Kuva 13 Purnulampeen laskevaan uomaan nro 466 suunniteltu pintavalutus-kenttä.

Uomaan 466 suunniteltiin rakennettavaksi ojakatkos-pintavalutuskenttä (kuva 13). Uoma katkaistaan ojapadolla (koordinaatit, YKJ; P=7002801, I=3640721) ja ohjataan uoman virtavedet kaltevuudeltaan loivalle, vanhalle nyt jo viljelyskäytöstä poistetulle pellolle. Uoman patoamiseen käytetään samaa tekniikkaa kuin kohteessa nro 476.

Pintavalutuskentän alaksi saadaan: $120 \text{ m} * 90 \text{ m} = 10\,800 \text{ m}^2$

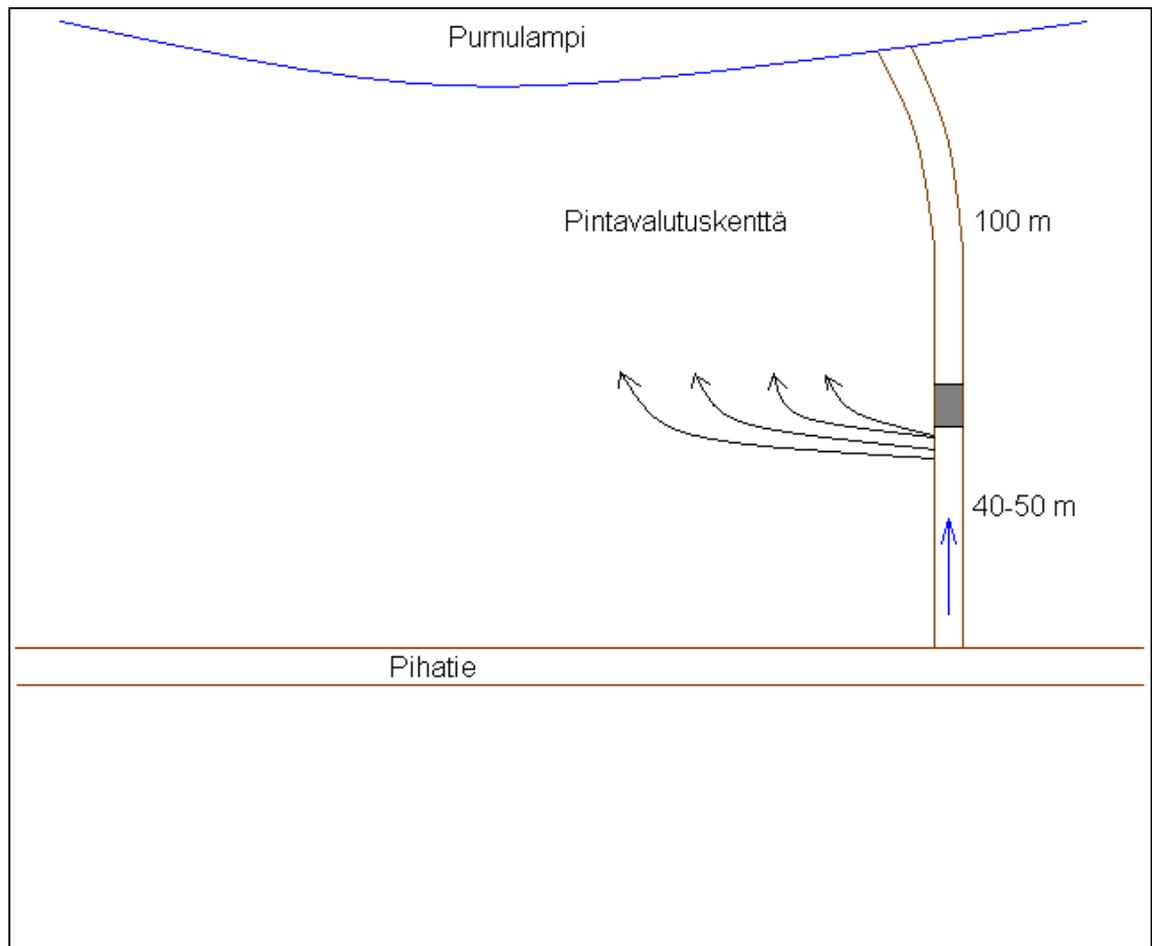
Pintavalutuskentän yläpuolinen valuma-alue $219\,200 \text{ m}^2$
 $= 10\,800 \text{ m}^2 / 219\,200 \text{ m}^2 * 100 = 4,9 \%$.

Pintavalutuskentän pinta-ala suhteessa sen yläpuoliseen osavaluma-alueeseen on siis 4,9 %. Tällöin vähimmäisvaatimus (0,5 %) ylittyy selvästi ja pintavalutus-kentän teho on vähintään hyvää luokkaa.

Koska pintavalutuskenttä rakennetaan maankäytöltään entiselle pellolle, eikä kasvustoa ole muutamia pensaikkoja enempää, on kentälle hyvä istuttaa ravinteita sitovia istutuksia. Näillä istutuksilla pintavalutuskentän kuormituksen pidätyvyyttä saadaan tehostettua. Istutukseen käytetään pajupistokkaita jotka käyttävät kasvaakseen paljon ravinteita ja joiden istutus on helppoa, nopeaa ja edullista.

Pintavalutuskentän yhteyteen voidaan harkita myös kosteikon perustamista. Maanmuodot ja käytettävissä oleva maa-ala antaa mahdollisuudet kosteikon rakentamiselle. Kuitenkin on huomioitava, että osavaluma-alueelta tuleva kuormitus on maltillista ja pintavalutuskentän alaksi saadaan noin 5 % yläpuolisesta valuma-alueesta, joten kosteikolle ei ole välttämätöntä tarvetta. Suhteutettuna kosteikon tuomat lisäkustannukset sekä työmäärä ja lopullinen ulkoisen kuormituksen vähentäminen, ei kosteikon rakentaminen ole perusteltua. Jos kosteikko rakennettaisiin, jäisivät sen hyödyt pääasiassa luonnon monimuotoisuuden lisäämiseen ja maiseman monipuolistamiseen.

5.1.3 Uoma 465



Kuva 14. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 465 suunniteltu pintavalutus- kenttä.

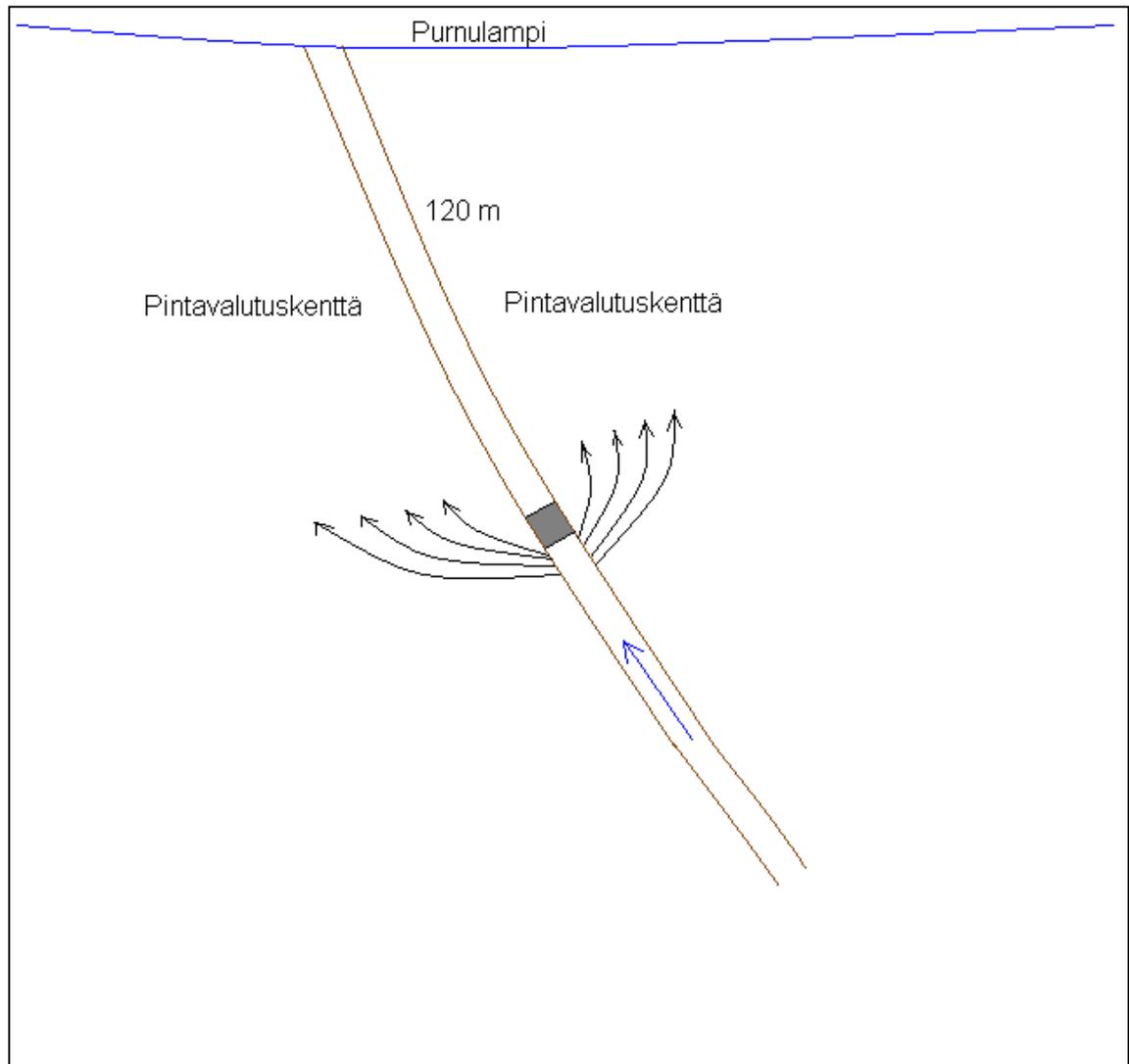
Uomaan 465 suunniteltiin rakennettavaksi ojakatkos-pintavalutuskenttä. Uoma katkaistaan ojadolla (koordinaatit, YKJ; P=7002878, I=3640542) ja ohjataan uoman virtavedet pintavalutuskenttään (kuva 14). Uoman 465 vesiensuojelutekniset rakenteet ovat hyvin samanlaiset kuin uoman 466. Kohteeseen rakennetaan ojadato ja pintavalutuskenttä. Uoma padotaan noin 50 metrin päästä pihatiestä jolloin pintavalutuskentän pituudeksi saadaan noin 100 metriä. Pihatie ja ojadaton välinen maasto on vaaittava ja varmistettava, että maasto laskee tarpeeksi tulvavahinkojen estämiseksi.

Pintavalutuskentän alaksi saadaan: $100 \text{ m} * 25 \text{ m} = 2\,500 \text{ m}^2$

Pintavalutuskentän yläpuolinen valuma-alue $39\,500 \text{ m}^2$
 $= 2\,500 \text{ m}^2 / 39\,500 \text{ m}^2 * 100 = 6,3 \%$.

Pintavalutuskentän pinta-ala, suhteessa sen yläpuoliseen osavalmualueeseen on siis 6,3 %. Tämä on myös selvästi yli vähimmäisvaatimuksen (0,5 %), jolloin pintavalutuskentän teho on jo merkittävä.

5.1.4 Uoma 464



Kuva 15. Purnulampeen laskevaan uomaan nro 464 suunniteltu pintavalutus-
kenttä.

Uomaan 464 suunniteltiin rakennettavaksi ojakatkos-pintavalutuskenttä. Uoma katkaistaan ojapadolla (koordinaatit, YKJ; P=7002904, I=3640463) ja ohjataan uoman virtavedet pintavalutuskenttiin uoman molemmin puolin (kuva 15). Uoma padotaan n. 120 metriä lammesta samalla tekniikalla kuin em. kohteissa (kts.

luku 6.1.1). Maasto on uoman molemmin puolin kaltevuudeltaan tasaista joka mahdollistaa pintavalutuskenttien sijoittamisen molemmille puolille uomaa. Näin kenttien pinta-alaa saadaan kasvatettua.

Pintavalutuskentän alaksi saadaan: $120 \text{ m} * 20 \text{ m} * 2 = 4\,800 \text{ m}^2$

Pintavalutuskentän yläpuolinen valuma-alue $55\,200 \text{ m}^2$
 $= 4800 \text{ m}^2 / 55\,200 \text{ m}^2 * 100 = 8,7 \%$.

Pintavalutuskentän alaksi saadaan lähes kymmenesosa yläpuolisesta valuma-alueesta, joten kentän teho nousee tässäkin tapauksessa hyväksi. On kuitenkin huomioitava, että uomasta lampeen kohdistuva kuormitus on uomista selvästi suurin. Vaikka pintavalutuskentän pinta-ala on suhteellisen suuri, on kentälle hyvä istuttaa pajupistokkaita jolloin kentän tehoa saadaan vielä nostettua.

5.1.5 Uomat 462, 473, 7, 8, 9, 10 ja 11

Uomien 462, 473, 7, 8, 9, 10 ja 11 osavaluma-alueiden topografia on hyvin samankaltaista, ja vain pinta-alat vaihtelevat. Näiden osavaluma-alueiden maankäyttö on vanhaa, luonnontilaista metsää. Näin ollen valuma-alueelta tuleva ulkoinen kuormitus on maltillista, $4,6 \mu\text{g/l} - 39 \mu\text{g/l}$ ja vuoden 2010 aikana yhteensä $0,896 \text{ kg}$ (taulukko 8). Koska uomien ulkoiset kuormitukset ovat maltillisia, ei vesiensuojeluteknisille rakenteille ole perusteita.

5.2 Vesiensuojeluteknisten rakenteiden pidätysteho

Valuma-alueelle suunniteltujen vesiensuojeluteknisten rakenteiden pidätystehot ovat viitteellisiä. Tarkempiin rakenteiden pidätystehon tuloksiin tarvitaan pidemmän aikavälin seurantajakso ja lukuisia vesinäyteotoksia rakenteen ylä-että alapuolelta. Purnulammen valuma-aluekunnostuksissa huomio keskittyy fosforin pidättämiseen, sillä se on lammen kasvua rajoittava tekijä eli minimiravinne.

Purnulampeen laskeviin uomiin vain yhteen on suunniteltu pohjapatokunnostuskohde. Uomaan 467 rakennettavan noin 200 metrin pituinen purokunnostus pidättää kokonaisfosforia 20 % vuotuisesta fosforikuormasta (taulukko 32). Tällöin rakenne pidättää ulkoista kuormitusta (kok. P 0,393 kg/a) kokonaisfosforia 0,079 kg vuodessa.

Taulukko 32. Pohjapatojen kokonaisfosforikuormituksen pidätyskertoimet (Tossavainen ym. 2010, 36)

Rakenne	Rakenteen laatu	Pidätyskerroin (%)
Pohjapato	alle 100 m	5
Pohjapato	100 - 200 m	10
Pohjapato	200 - 1000 m	20
Pohjapato	yli 1000 m	35

Kunnostuskohteille rakennettavien pintavalutuskenttien (4 kpl) pinta-alat ovat välillä 2,8 % - 8,7 % valuma-alueen pinta-alasta. Pintavalutuskentän pidätyskerroina voidaan pitää jokaisessa kohteessa vähintään 50 prosenttia (taulukko 33). Voidaan olettaa että uomista 464, 465, 466 ja 467 pidättyy kokonaisfosforia puolet siinä kulkevasta kuormasta. Tämän perusteella uomasta 464 pidättyy 1,665 kg/a, uomasta 465 pidättyy 0,358 kg/a, uomasta 466 pidättyy 0,275 kg/a ja uomasta 467 pidättyy pohjapatojen jälkeen 0,157 kg/a. Yhteensä vesiensuojeluteknisillä rakenteilla saadaan kokonaisfosforia pidätettyä 2,445 kg vuodessa (taulukko 34), joka on valuma-alueen vuotuisesta kokonaisfosfori kuormasta (6,651 kg) noin 37 %.

Taulukko 33. Pintavalutuskenttien kokonaisfosforikuormituksen pidätyskertoimet (Tossavainen ym. 2010, 36)

Rakenne	Rakenteen laatu	Pidätyskerroin (%)
Pintavalutuskenttä	Kentän pinta-ala 1 - 3 % valuma-alueesta	50 - 60 (hyvä)
Pintavalutuskenttä	Kentän pinta-ala alle 1 % valuma-alueesta	korkeintaan kohtalainen (< 30)

Taulukko 34. Purnulammen valuma-alueelle suunniteltujen vesiensuojeluteknisten rakenteiden vuotuinen kokonaisfosforin pidätyskyky

Purnulampeen laskeva uoma (valuma-alueen pinta-ala)	Kokonaisfosforin kuorma Purnulampeen v. 2010 (kg)	Uomaan suunnitellun vesiensuojeluteknisten rakenteiden kokonaisfosforin pidätys (kg/a)
Uoma 7 (0,004 km ²)	0,043	*
Uoma 8 (0,042 km ²)	0,154	*
Uoma 9 (0,003 km ²)	0,032	*
Uoma 10 (0,007 km ²)	0,077	*
Uoma 11 (0,037 km ²)	0,136	*
Uoma 462 (0,007 km ²)	0,076	*
Uoma 464 (0,060 km ²)	3,330	1,665
Uoma 465 (0,042 km ²)	0,712	0,358
Uoma 466 (0,230 km ²)	0,549	0,275
Uoma 467 (0,088 km ²)	0,393	0,157
Uoma 473 (0,109 km ²)	0,139	*
Yhteensä	5,641	2,455

*Ei suunniteltua vesiensuojeluteknistä rakennetta

Näillä rakenteilla saataisiin ulkoista kuormitusta vähennettyä niin, että lammen nykyinen veden kokonaisfosforipitoisuus (30 µg/l) vähenisi mesotrofian ylärajalta turvalliselle mesotrofian rajalle (20 µg/l) (Tossavainen 2010, 56.) Tämä myös ehkäisisi tulevaisuudessa sisäisen kuormituksen riskiä ja tukisi tulevia järvi-altaassa tehtäviä kunnostustoimia.

5.3 Vesiensuojeluteknisten rakenteiden kustannukset

Valuma-alueelle rakennettavien rakenteiden kustannukset ovat suuntaantavia. Jokainen vesiensuojelutekninen rakenne on tapauskohtainen eikä tarkkaa kustannus arviota voi esittää. Tarkat kustannukset selviävät vasta paikanpäällä. Purnulammen tapauksessa kustannukset ovat kuitenkin kohtuullisen tarkasti määriteltävissä, sillä rakenteita on suunniteltu vain neljä kappaletta (pohjapatoja ja pintavalutuskenttiä). Kohteille on helppo päästä sekä muita liikkuvia kustannuksia on vähän. Kustannusten laskentaan on käytetty koneurakointia ja henkilötyövoimaa, koneurakoinnin tuntipalkkaan on lisätty alv. 22 %.

Koneurakoinnin hinnaksi määräytyi 50 - 60 €/h ilman alv:tä yleisen hintatason mukaan. Henkilötyövoiman tuntipalkaksi määräytyi 35 € (sis. alv.) johon on otettu huomioon työnjohtotyö kohteessa (Tossavainen 2011).

Taulukko 35. Uoman 467 pohjapatojen ja pintavalutuskentän perustamiskulut

Toimenpide	Yksikköä (h)	Yksikköhinta (€)	Yhteensä (€)
Konetyö	4	61 - 73	244 - 292
Henkilötyö	32	35	1 048
Yhteensä			1 292 - 1340

Taulukon 35 mukaan uomaan 467 tehtävien kunnostusten kustannukset ovat 800 - 850 euron luokkaa. Ojapadon ja viiksiojen kaivamiseen käytetään kaivinkonetta. Pohjapatojen rakentamiseen käytettiin laskussa kahden työmiehen panna kahden päivän ajalta, joka kattaa noin 200 metrin pituisen uoman pätkän.

Taulukko 36. Uomien 464, 465 ja 466 pintavalutuskenttien perustamiskulut uoma kohden

Toimenpide	Yksikköä (h)	Yksikköhinta (€)	Yhteensä (€)
Konetyö	4	61 - 73	244 - 292
Henkilötyö	8	35	280
Yhteensä			524 - 572

Uomissa 464, 465 ja 466 tehtävät kunnostustoimenpiteet ovat samanlaiset. Näihin kohteisiin on laskettu kone- ja henkilötyöt samansuuruisiksi. Jokaisen uoman pintavalutuskentän kustannukset ovat 520 - 570 euroa (taulukko 36).

Taulukko 37. Valuma-alueella tehtävien kunnostustöiden kustannukset

Toimenpide	Yksikköä (h)	Yksikköhinta (€)	Yhteensä (€)
Konetyö	16	61 - 73	976 - 1168
Henkilötyö	56	35	1960
Yhteensä			2936 - 3128

Vesiensuojeluteknisten rakenteiden perustamiskulut ovat yhteensä noin 3 000 euroa (taulukko 37). Kustannuksiin on laskettu neljä kappaletta pintavalutus-kenttiä sekä noin 200 metrin matkalta pohjapatoja. Kustannuksiin ei ole laskettu koneurakoitsijan koneen siirtoa, sillä tällä hetkellä ei voida tietää, mistä urakoitsija tulee. Koneen siirron hinta määräytyy välimatkasta Purnulammelle.

6 KOLI CULTURA -KESKUS

Purnulammen valuma-alueelle on vireillä rakennuttama monipuolinen matkailua edistävä Koli Cultura –keskus, joka on määrä avata asiakkaille vuonna 2015. Tämä keskus on kaavailtu aivan Purnulammen viereen oikealle puolelle lampea ja on kooltaan noin 9,5 hehtaaria. Ajatuksena on rakennuttama alueelle Kolin matkailua palveleva ja kansallispuistoa tukeva toiminta- ja palvelukeskus. Tämä keskus sisältää mm. Caravan-alueen, hotellin, pysäköintihallin, mökkikylän ja lomaosaketoiminnan. Hankkeen valmisteluissa ovat olleet mukana Lieksan kaupunki, Metsähallitus, Napa-Koli Oy, Pohjois-Karjalan ympäristökeskus ja Suunnittelukeskus Oy. (Lieksan kaupunki, 3 - 4.) Arkkitehtisen suunnitelman alueelle on laatinut arkkitehtuurikilpailun voittanut JKMM-arkkitehdit ja kunniamaininnan saanut Harris-Kjisikin arkkitehtitoimisto.

Hankkeen vetäjänä toimii Napa-Koli Oy:n toimitusjohtaja Ari Uusikangas. Keskukselta on tarkoitus tehdä esteettinen ja ekologinen matkailukehittymä missä otetaan kestävä kehitys huomioon jokaisessa hankkeen osa-alueessa (Hämäläinen 2009). Tämän takeena on tehdä keskukselta kansainvälisen LEED-ympäristösertifikaatin kriteerin täyttävä kohde. Alueelle on myös tarkoitus järjestää suljettu jätehuolto ja paikallisesti hoidettu biovoimala joiden tarkoitus on optimoida bioenergian käyttö ja minimoida Purnulampeen kohdistuva kuormitus. (Koli Cultura.)

6.1 Hulevedet

Hulevesillä tarkoitetaan kaduilta, pihoilta ja katoilta valuvia sade- ja sulamisvesiä, jotka voivat sisältää ravinteita ja muita epäpuhtauksia. Hulevesiä voidaan pitää pistekuormittajana vesistöille. Kevään sulamiskausi ja sulan kauden pitkän kuivan jakson jälkeiset rankat sateet ovat merkittävimpiä hulevesi kuormittajia. Valuma-alueella hulevesien määrään vaikuttavat vettä läpäisemättömien pintojen määrä, pinnanmuodot ja kasvillisuus. Myös sateen määrä ja voimakkuus vaikuttavat ratkaisevasti hulevesien syntyyn (Arola 2009, 5).

Hulevesien vedenlaatu voi vaihdella hyvinkin paljon. Merkittävimpinä vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä ovat valuma-alueen maankäyttö ja sateen voimakkuus (Arola 2009, 5). Myös rakennettujen pintojen määrä ja kaupungistuminen vaikuttavat hulevesien laatuun merkittävästi. Kaupunkialueilla hulevesien vedenlaatuun vaikuttavat useat tekijät, kuten laskeuma, liikenne, rakentaminen, teollisuus, jätteiden käsittely, kasvinsuojelu ja eläinten jätökset. Hulevesien laatu voi vaihdella pienilläkin välimatkoilla paljon ja ainehuuhtoumat eroavat mahdollisesti merkittävästi eri kaupunginosissa. Voidaankin päätellä, että mitä kaupungistuneempi valuma-alue on, sitä suurempi kohde vesistöön päätyvä kuorma on. Haja-asutusalueilla hulevesikuormat ovat taas sitä pienempiä, mitä vähemmän asutusta valuma-alueella on (Kotola & Nurminen 2003, 3).

Suomessa hulevesitutkimuksia on tehty vielä vähän. Ensimmäinen laaja hulevesitutkimus on valmistunut 1981, jolloin Matti Melanen tutki väitöskirjassaan hulevesien laatua ja määrää. Vuosina 1977 - 1979 Melanen tutki kaikkiaan kuu-den eri taajaman hulevesiä eri puolilla Suomea. Nämä tiedot ovat luotettavia vielä nykypäivänä. Melasen tutkimuksia tukee vuonna 2003 valmistunut RYVE tutkimus- ja kehityshanke, jossa seurattiin kaupunkivesiä ja niiden hallintaa. Tämä hanke toteutettiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun, Helsingin yliopiston ja Suomen ympäristökeskuksen kanssa. Hanke jakautui neljään osaluueeseen, jossa neljännessä osa-hankkeessa tutkittiin kaupunkialueiden valun- ja ainekuormituksen muodostumista rakennetuilla alueilla. Tutkimusalueeksi otettiin RYVE-hankeeseen kaksi asuntoaluetta: kerrostaloalue ja pientaloalue, rakenteilla oleva asuinalue ja yksi asuntoalueesta poikkeava alue, kuten liikenne- tai teollisuusalue (Kotola & Nurminen 2003, 17).

6.2 Hulevedet Koli Cultura -keskuksessa

Purnulamman vierelle rakennettavan monitoimikeskuksen sijainti on harvaan asutetulla alueella. Koli Cultura-keskus on suunniteltu niin, että alue sulautuu mahdollisimman hyvin ympäröivään alueeseen, eikä vettä läpäisemättömiä pintoja rakenneta liikaa. Keskuksen suunnittelussa on käytetty pintarakenteena paljon mm. perinnepeltoja, niittyjä ja nurmea, joiden veden läpäisevyyskyky on

hyvä (liite 8). Näin on saatu pintavesien muodostuminen minimoitua. Alueelta muodostuvat merkittävät hulevedet tulevatkin rakennusten katoilta.

Alustavien suunnitelmien mukaan katoilta muodostuvat hulevedet ohjataan joko avouomissa tai viemäröinnin avulla suoraan Purnulampeen. Keskuksen sisällä kulkevien huolto- ja kevyen liikenteen väylien pinnoitteena käytetään kivituhka-pintaa joiden hulevedet ohjataan avouomiin tai annetaan valua maata pitkin alemmalle tasolle nurmikolle. Maan pinnalle jäävien majoitusrakennusten pysäköintilaavujen pintamateriaaleja ei ole määritetty. Alustavissa suunnitelmissa on mietitty pintapysäköintipaikkojen pintamateriaaliksi vettä läpäisemätön pinnoite, jolloin hulevedet ja autoista valuvat ongelmajätteet kerättäisiin kokoomakaivoon, jossa edelleen eroteltaisiin ongelmajätteet ja hulevedet toisistaan (Kuusiniemi 5.4.2011).

Yleisin ja tehokkain tapa hulevesien käsittelyyn on ohjata ne kosteikkoon, lamikkoon tai viivytysohjainteisiin. Rakenne hidastaa virtaveden nopeutta jolloin erityisesti hulevesissä kulkeutuva kiintoaines valuu rakenteen pohjalle. Kosteikon kasvillisuus voi sitoa lampea rehevöittävä fosforia tehokkaasti. Koli Cultura -keskuksessa voi ongelmaksi muodostua tilan puute kosteikon rakentamiselle. Yhtenä vaihtoehtona voidaan pitää kosteikon rakentamista alueelle suunnitellun puuterassin/ -laiturin pohjoispuolelle jonne hulevedet johdetaan (liite 6). Parhaimmillaan tämä kosteikko pidättäisi hulevesien tuomia ravinteita ja tukisi alueen maisemointia. Alueelta tulevien hulevesien määrä on maltillista, joten kosteikon mitoitus ei kasvaisi liian suureksi.

6.3 Hulevesikuorma Purnulampeen

Purnulampeen kohdistuva hulevesikuormitus on laskettu kokonaisfosforin, konnaistypen ja kiintoaineen osalta. Ainehuuhtoumakertoimina on käytetty Melasen valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tuloksia, joita myös RYVE-hanke tukee (taulukko 38). Pinta-alat joilta hulevedet muodostuvat, on laskettu Koli Cultura -keskukseen rakennettavien kattopinta-alojen sekä majoitusrakennusten pysäköintilaavujen (35 autopaikkaa) perusteella. Kattopinta-alat on laskettu ark-

kitehtuuri esisuunnitelmassa annettujen kerrosalojen mukaan (JKMM Arkkitehdit. 2010.) Rakennettavalta alueelta ei muodostu muualta merkittäviä hulevesiä. Hulevesikuormitusten määrittämisessä ei ole otettu huomioon alueellista sadantaa, sillä Melasen tutkimuksessa sadanta on otettu huomioon ja ainehuuhtouma on määritetty $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$. Ainehuuhtoumat on laskettu Melasen tutkimuksen mukaan hulevesien vähimmäisainepitoisuuksilla kok. P 25 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$, kok. N 200 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$ ja kiintoaine 8 700 $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$ (taulukko 38), sillä toimintakeskus rakennetaan harvaan asutulle alueelle missä ihmisistä aiheutuvat päästöt ovat pieniä. Voidaan todeta, että hulevesistä muodostuvat ainepitoisuudet ovat vähimmäis-pitoisuuksia mitä alueelta muodostuu.

Taulukko 38. Suomalaisia hulevesihuutoumia kokonaisfosforin, kokonaistypen ja kiintoaineen osalta (Hulevesien hallinta... 2005, 3)

Ainehuuhtouma	Valtakunnallinen hulevesitutkimus $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$	Vaasan keskusta	RYVE-hanke	
			Kerrostaloalue	Pientaloalue
Kokonaisfosfori	25 - 190	42	38	24
Kokonaistyyppi	200 - 950	520	880	500
Kiintoaine	8 700 - 120 000	50 000	21 000	10 000

Alueelta kerääntyy yhteensä 23 191 neliömetriltä hulevesiä. Rakennusten katoilta 22 753 m^2 :ltä ja maanpinnan yläpuolella olevista autopaikoista 438 m^2 :ltä. Näiltä aloilta muodostuvat hulevesien ainekuormat vuodessa ovat kokonaisfosforin osalta 0,58 kg, kokonaistypen osalta 4,6 kg ja kiintoaineen osalta 200 kg (taulukko 39).

Taulukko 39. Hulevesien vuotuinen ainehuuhtouma Purnulampeen

Ainehuuhtouma	Hulevesien ainepitoisuus (kg/km ² /a)	Hulevesien muodostuminen (km ²)	Yhteensä (kg)
Kokonaisfosfori	25	0,023	0,58
Kokonaistyyppi	200	0,023	4,60
Kiintoaine	8 700	0,023	200,00

6.4 Koli Cultura -keskuksen vaikutus Purnulampeen

Valuma-alueelta laskevien uomien 465, 466 ja 467 vesiensuojeluteknisten rakenteiden rakentaminen suunnitelmien mukaan ei ole mahdollista, kun alueelle rakennetaan Koli Cultura-keskus. Näiden uomien mukana tuleva kokonaisfosforin vuosikuorma on kuitenkin hyvin maltillista. Vaikka vesiensuojeluteknisiä rakenteita ei toteutettaisi, lisääntyisi kokonaisfosforin vuosikuorma vain 0,790 kg (taulukko 8), jos uomiin olisi rakennettu pintavalutuskentät. Olennaisinta on saada uoman 464 ulkoinen kuorma kuriin, eikä keskuksen rakentaminen häiritse tämän uoman vesiensuojeluteknisiä rakennesuunnitelmia. On myös mahdollista ohjata uoman 465 virtavedet uoman 464 pintavalutuskenttään, jolloin uoman vuosikuormaa (0,358 kg) saataisiin pienennettyä.

Hulevesien mukana tuleva kuormitus Purnulampeen lisääntyisi kokonaisfosforin osalta 0,58 kg vuodessa. Hulevesien mukana tuleva kokonaisfosfori sekä valuma-alueen uomien 466 ja 467 virtavesien tuoma kokonaisfosfori kuorma, jollei suunniteltuja vesiensuojeluteknisiä rakenteita ei voida toteuttaa, olisi yhteensä 1,5 kg vuodessa. Myös hulevesien mukana tuleva kiintoaineksen määrä kohoaa merkittävästi (200 kg/a) suhteessa valuma-alueelta tulevaan kiintoainekuormaan (308 kg/a). Ravinnekuormat on laskettu kovapintaisten kattomateriaalien mukaan.

Koli Cultura -keskuksen rakennettavien rakennusten kattomateriaaleiksi on kuitenkin suunniteltu, ainakin osaksi, viherkattorakenteita. Tämä on esteettisesti tärkeää ympäristön kannalta, mutta ennen kaikkea hulevesien tuoman, Purnulampea rehevöittävä kuorman kannalta. Kattokasvillisuusrakenteilla saadaan vähennettyä hulevesien määrää noin 50 % sekä tasattua virtaamapiikkejä rank-

kasateilla. (Höyty 2007, 9.) Tämä perustuu sadeveden varastoitumiseen kattokasvillisuuteen. Sadevesi haihtuu joko suoraan tai kasvillisuuden käyttämänä. Kattokasvillisuus vähentää myös hulevesien ravinnekuormitusta Purnulampeen. Kasvillisuus pidättää etenkin kiintoainetta hyvin jolloin ravinnekuormat jäävät vähäisiksi.

Yhdessä alueelle rakennettavan kosteikon ja viherkattorakenteiden kanssa Koli Cultura -keskuksen vaikutukset Purnulampeen jäävät vähäisiksi. Viherkattojen ravinteiden pidättyvyystutkimuksia on vielä tehty vähän, mutta voidaan olettaa, että nämä vesiensuojelutekniset rakenteet pidättävät hulevesien tuomaa ulkoista kuormitusta vähintään 50 %. Todellisen pidätyskertoimen saamiseksi on virtavesien vedenlaatua tarkkailtava tulevaisuudessa.

7 PÄÄTÄNTÄ

7.1 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää Kolin Purnulammen nykytila ja laatia sen perusteella kunnostussuunnitelma. Kunnostusaloitteen takana on Napa Koli Oy. Purnulammen tilan tutkimisen aloittivat Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun opiskelijat yhdessä opettajansa Tarmo Tossavaisen kanssa keväällä 2010. Lammen tilaa tutkittiin laajasti erilaisin toimenpitein, kuten vedenlaatu-, sedimentti-, kalasto-, pohjaeläin ja kasvillisuustutkimuksin.

Tutkimuksissa Purnulammen tila osoittautui huonoksi. Lammessa ilmeni useita rehevöitymisestä kertovia merkkejä. Esimerkiksi fosfori ja typpipitoisuudet olivat luonnontilaiseen lampeen verrattuna koholla ja kasvillisuudessa oli rehevöityneelle lammelle tyypillisiä lajeja. Lammen happitilanne on myös ajoittain erittäin huono. Tästä kertoo muun muassa se, että lammesta tavattiin vain yhtä ajoittaista hapettomuutta sietävää kalalajia, suutaria. Lisäksi lammen pohjasedimentti on huonossa kunnossa, niin että talvisin siitä vapautuu voimakkaasti anaerobisissa olosuhteissa syntyvää rikkivetyä. Myös pohjaeläimistön yksipuolisuus kertoo pohjan heikosta tilasta.

Edellä mainittujen seikkojen perusteella on selvää, että Purnulampi vaatii toimenpiteitä, että sen tilaa saataisiin parannettua. Tutkimusten perusteella kävi selväksi, että pääasiallisena ongelmana on sisäinen kuormitus ja että ulkoinen kuormitus on melko maltillista. Näin ollen kunnostustoimet tulisi kohdistaa ensisijaisesti järvioltaaseen.

Valuma-alueelle rakennettavan Koli Cultura -keskuksen vaikutukset Purnulammen tulevat olemaan suhteellisen vähäisiä. Keskuksen rakentaminen aiheuttaa kuitenkin sen, että suunniteltuja vesiensuojeluteknisiä rakenteita ei voida toteuttaa, millä on omat vaikutuksensa tulevaisuuden ravinnekuormaan.

7.2 Virhelähteet

Epätarkkuudet Purnulampeen tulevan ravinnekuorman määrässä voivat johtua virtaaman mittaushetkillä tapahtuneista mittauslaitteen ajoittaisesta huonosta toimivuudesta ja mittauslaitteen käyttäjän kokemattomuudesta. Lammen pohjasedimentin kuiva-aine-, hehkutusjäännös- ja raskasmetallipitoisuuksien tuloksissa on mittauslaitteista johtuen pientä epävarmuutta. Pohjasedimentin kokonaismäärän arvioissa on interpoloinnista johtuvaa epätarkkuutta.

7.3 Toimenpidesuosituksukset

Tässä opinnäytetyössä vertailuista menetelmistä suositeltavin kunnostustoimenpide on Purnulammen pohjassa olevan sedimentin täysimittainen ruoppaus. Ruoppauksella saataisiin tehokkaimmin vähennettyä lammen pahimpia ongelmia, sisäistä kuormitusta ja siitä aiheutuvaa hapettomuutta. Lisäksi ruoppauksella päästäisiin samalla eroon lammen pohjoispään peittävästä tiheästä vesikasvillisuudesta. Muilla kunnostusmenetelmillä ei päästäisi lähellekään yhtä tehokkaaseen ja pysyvään lopputulokseen. Ruoppausmenetelmistä käyttökelpoisin menetelmä Purnulammelle on imuruoppaus, lammen sedimentin korkean vesipitoisuuden takia. Imuruoppaus vaatisi suuret kokonaispinta-alaltaan yhteensä vähintään 4 hehtaarin läjitysaltaat, sillä poistettava massamäärä olisi 63 000 m³. Näin suuren läjitysalueen löytäminen Purnulammen läheisyydestä voi olla vaikeaa. Imuruoppaus on kallis menetelmä, sillä se tulisi maksamaan arviolta 126 000 - 315 000 euroa.

Yksi Purnulammelle mahdollisesti käyttökelpoinen kunnostusmenetelmä, jota ei tässä työssä käsitelty, on lammen kuivatus ja kuivaruoppaus. Menetelmässä lampi tyhjennettäisiin vedestä, jonka jälkeen se ruopattaisiin kaivinkoneella kuivatyönä. Menetelmän eduksi märkäruoppaukseen verrattuna sanotaan olevan sen matalammat kustannukset ja ruopattavan massamäärän pieneneminen. Menetelmä on ainakin Suomessa harvinainen, joten siitä ei löydy juurikaan tutkittua tietoa. Esimerkiksi ruopattavan sedimentin määrästä tai kustannuksista verrattuna muihin ruoppausmenetelmiin ei löydy tarkkoja tai edes suuntaa anta-

via lukuja. Tämän vuoksi tämän menetelmän käsittely on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

Valuma-alueen kunnostustoimenpiteistä uoman 464 tuoma ulkoinen kuormitus on saatava kuriin. Uomalle suunnitellun pintavalutuskentän rakentaminen on erityisen tärkeää. Myös uoman 465 virtavedet tulisi ohjata edellä mainittuun pintavalutuskenttään, sillä alustavasti suunnitellun pintavalutuskentän päälle rakennetaan Koli Cultura -keskus. Koli Cultura -keskuksen hulevedet tulisi ohjata mahdollisesti alueelle rakennettavaan kosteikkoon, jolloin hulevesien mukana kulkevien ravinteiden vähentäminen olisi mahdollista. Kosteikon perustamiskustannuksia on mahdotonta määrittää tässä vaiheessa, sillä ei ole tiedossa, kuinka suureksi kosteikon mitoitus Koli Cultura -keskuksessa voi määräytyä. Uomaan 464 rakennettavan pintavalutuskentän perustamiskustannukset jäävät alle 600 euroon. Jos valuma-alueelle ei rakennettaisi monitoimikeskusta, tulisi alueelle rakennettaviksi yksi pohjapato kohde ja neljä pintavalutuskenttää. Näiden vesiensuojeluteknisten rakenteiden perustamiskustannukset olisivat yhteensä noin 3 000 euroa.

Muista tässä työssä käsitellyistä menetelmistä hapetusta voidaan harkita, jos veden happipitoisuus ei kohoa halutulle tasolle heti ruoppauksen jälkeen. Veden happipitoisuuden kehitys tulee seurata ja tehdä ratkaisu hapettimen tarpeesta seurantatulosten perusteella. Myös rantakasvien niittoa voidaan tehdä maisemallisista syistä, mutta vedenlaadun kannalta sillä ei ole suurta merkitystä.

LÄHTEET

- Airaksinen, J. 2004. Vesivelhohankkeen loppuraportti: Suunnitteluohjeistus rehevöityneiden järvien kunnostamiseen. Savonia ammattikorkeakoulu. Kuopio. 3/04. <http://vesivelho.savonia-amk.fi/naytto.pdf>. 7.2.2011.
- Arola, H. 2009. Hulevesien laatu ja merkitys Jyväsjärven kuormittajana. Jyväskylän yliopisto. https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/22765/URN_NB_N_fi_jyu-201001221062.pdf?sequence=3. 3.11.2009.
- Ciborowski, J. 2009. Detroit River-Western Lake Erie Basin Indicator Project. U.S. Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/med/grosseile_site/indicators/chironomids.html. 26.8.2009.
- Class Gastropoda. 2006. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. http://www.chebucto.ns.ca/ccn/info/Science/SWCS/ZOOBENTH/BEN_THOS/xxiii.html. 26.6.2006.
- Family Chaoboridae. 2006. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. http://www.chebucto.ns.ca/ccn/info/Science/SWCS/ZOOBENTH/BEN_THOS/xvii.html. 26.6.2006.
- Granberg, K. & Granberg, J. 2006. Yksinkertaiset vedenlaatumallit. Jyväskylä. Keski-Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=60428>. 5.1.2011.
- Granberg, K. & Korhonen, H. 2004. Multian matolammen nykytila ja kunnostusmahdollisuudet. Keski-Suomen Ympäristökeskus. Jyväskylä: Hettimonex Oy. <http://www.ymparistokeskus.fi/download.asp?contentid=29408&lan=fi>
- Haitalliset aineet. 2007. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=77182>. 19.2.2007.
- Hankesuunnitelma. 2005. Hulevesien hallinta Kuopion Saaristokaupungissa. Kuopion kaupunki. [http://w3.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/091106123509095/\\$File/Hankesuunnitelma.pdf?OpenElement](http://w3.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/091106123509095/$File/Hankesuunnitelma.pdf?OpenElement). 30.5.2005.
- Hietaranta, J., Kaseva, A. & Ahlfors, L. 2008. Mustasaaren Karpesjärdenin kunnostussuunnitelma ja ympäristöön kohdistuvien vaikutusten arviointi. Turun ammattikorkeakoulu. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=87898&lan=sv>. 3.2.2011
- Hyttinen, P., Kiiskinen, T., Pihlapuro, S., Pippuri, T. & Sutinen, R. 2011. Purnulammen paikkatietoanalyysi. Raportti. Geoinformatiikan sovellukset AY9113-opintopaketti.
- Hyttinen, P., Kiiskinen, T., Pihlapuro, S., Pippuri, T. & Sutinen, R. 2011. Purnulammen paikkatietoanalyysi. Raportti. Geoinformatiikan sovellukset AY9113.
- Hämäläinen. V-P, Kolin palvelukeskuksen ulkomuoto valkenee. Yle. 2009. http://yle.fi/alueet/pohjois-karjala/2009/12/kolin_palvelukeskuksen_ulkomuoto_valkenee_1241359.html. 4.12.2009.

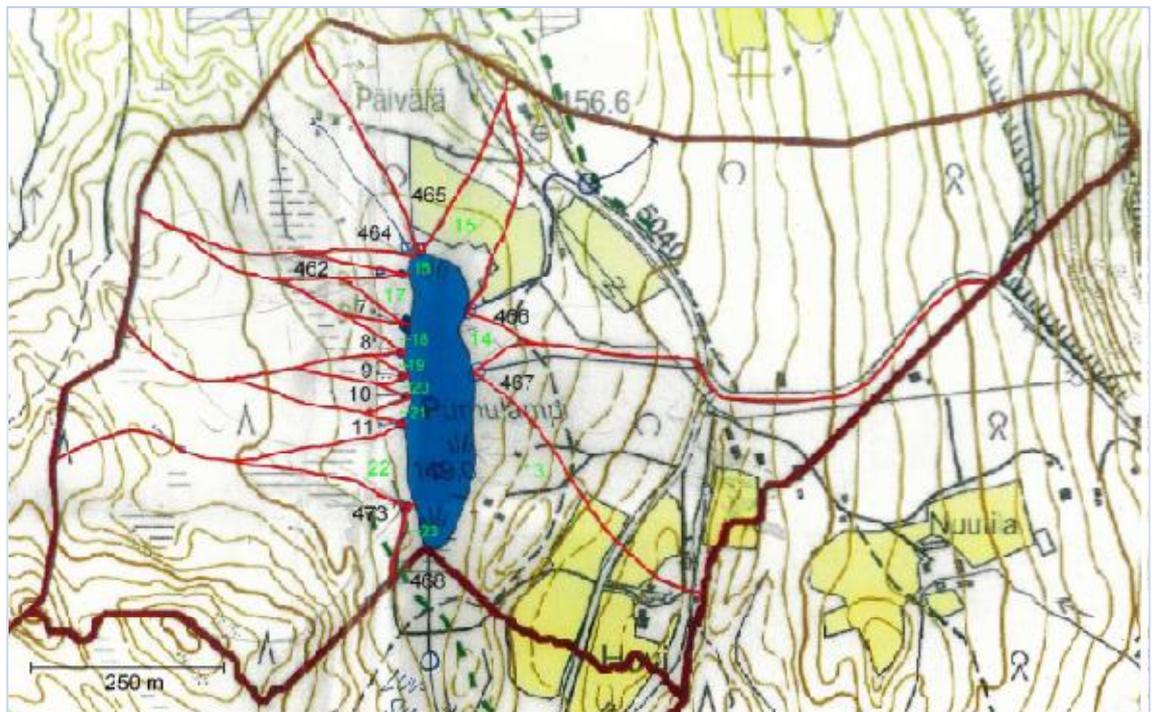
- Höyty, P. 2007. Suunnitteluohje. Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät. Suunnittelukeskus Oy. Kuopio.
[http://w3.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/310807133659617/\\$File/suunnitteluohje.pdf?OpenElement](http://w3.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/310807133659617/$File/suunnitteluohje.pdf?OpenElement). 7.2.2007.
- Ihme, R. 1990. Mataluus ja voimakkaat vedenkorkeuden vaihtelut. Teoksessa Ilmavirta, V. (toim.) Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki: yliopistopaino, 346 – 361.
- JKMM Arkkitehdit. 2010. Kolin kansallispuiston toiminta- ja palvelukeskus. Esi-suunnitelma. 30.4.2010.
- Kalakuolemien vaikutusten seurantatutkimus 2003 - 2004. 2005. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
<http://www.rktl.fi/?id=5554&view=publications>. 22.2.2011.
- Kauppinen, E. 2010. Tammelan Kaukjärven ja Mustialanlammin hapetussuunnitelma. Vesi-Eko Oy.
http://www.tammelanjarvet.fi/templates/TPKS_kaukjarvi/Hapetussuunnitelma2010.pdf.
- Kautonen, T. & Korhonen, K. 2010. Kolin Purnulammen kasvillisuuskartoitus 1. - 3.9.2010. Raportti. Vesistöjen kunnostus ja hoito AY6204 - opintojakso.
- Kiiskinen, T. 2010. Purnulammen kunnostussuunnittelun esitutkimukset - kokonaisfosfori. Raportti. Näytteenotto- ja mittaustekniikka AY9111. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- Kokonaisfosfori. 2005. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12876&lan=fi>. 16.2.2011.
- Koli Cultura. Arkkitehtuuri. 17.3.2011
<http://www.kolicultura.fi/sivut/fi/arkkitehtuuri>.
- Kosteikot ja laskeutusaltaat. Maa- ja metsätalousministeriö. 2005
<http://www.salaojakeskus.fi/pdf/kosteikot.pdf>. 25.2.2011
- Kotola, J. & Nurminen, J. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia – Valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla. Espoo: Ota-media Oy.
- Kukkonen, M., Hassinen, A., Holopainen, A-L., Hynynen, J., Kekäläinen, J., Leppä, M., Niinioja, R., Nykänen, J., Viljanen, M. & Luotonen, H. 2007. Metsäjärvien tila ja tulevaisuus. Joensuu. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
- Kuusiniemi, P. 2011. Maisema-arkkitehti. Suullinen tiedoksianto. 5.4.2011.
- Kääriäinen, S. & Rajala, L. 2005. Vesikasvillisuuden poistaminen. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) Järvien kunnostus. Helsinki: Edita, 249 - 269.
- Lappalainen, M. & Lakso, E. 2005 Järvien kunnostuskirjan julkaisuseminaari. Oulu.
http://www.vesieko.fi/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,15/Itemid,89/. 6.2.2011
- Lappalainen, M. & Lakso, E. 2005. Järven hapetus. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso E. (toim.) Järvien kunnostus. Helsinki: Edita, 151 - 168.
- Lehmikangas, M. 2005. Järven tilapäinen kuivattaminen. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) Järvien kunnostus. Helsinki: Edita, 301 - 308.
- Leskinen, J & Saarenpää, D. 2005. Kiteen Ätäsköjärven valuma-alueen vesien-suojeluteknisten rakenteiden tehokkuus ja vaikutuksen veden laatuun. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.

- Lieksan kaupunki. Hankesuunnitelma. Kolin kansallispuiston toiminta- ja palvelukeskus – Arkkitehtuurikilpailu.
<http://www.lieksa.fi/dman/Document.phx?documentId=ct03509111811028&cmd=download>. 17.3.2011
- Limatius, M., Nevalainen, A. & Tossavainen, T. 2010. Purnulammen kasvikartointus, kalasto ja vedenlaatu. Raportti. Vesistöjen kunnostus ja hoito AY6204 –opintojakso.
- Lindblad, A. 2007. Pilaantuneet sedimentit sekä niiden ruoppaukseen ja käsittelyyn soveltuvat menetelmät. Teknillinen korkeakoulu.
<http://civil.tkk.fi/fi/tutkimus/vesitalous/opinnaytteet/lindblad2007.pdf>. 27.1.2011.
- Lähteenmäki, R. 2006. Kesäniittojen kokemuksia Etelä-Savossa. Etelä-Savon ympäristökeskus.
<http://www.ruoko.fi/uploads/pdf/ReijoLahteenmaki1.pdf>. 7.2.2011.
- Martikainen, T. 2011. Kotimaan myyntipäällikkö. Waterix Oy. Sähköpostiviesti 3.3.2011.
- Martinmäki, K., Ulvi, T., Hellsten, S., Kuoppala, M. & Visuri, M. 2006. Kemijärvestä padoilla eristettyjen järvien nykytila ja kunnostusvaihtoehdot. Lapin ympäristökeskus. Jyväskylä: Gummerus.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=63528&lan=fi>. 25.2.2011
- Miettinen, K., Piironen, J. & Tossavainen, T. 2010. Lieksan Kunnassa sijaitsevan Purnulammen kasvikartointus syyskuussa 2010. Raportti. Vesistöjen kunnostus ja hoito AY6204 -opintojakso.
- Pintavalutuskentät. Valtion ympäristöhallinto.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=13277&lan=fi>. 13.1.2005.
- Riipi, T. 1997. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella. VTT tiedotteita 1853.
- Räty, K., Väisänen, V. & Tossavainen, T. 2010. Kolin Purnulammen kasvikartointus 2010. Raportti. Vesistöjen kunnostus ja hoito AY6204 – opintojakso.
- Saarijärvi, E. 2007. VisioX-ilmastimien tuotetiedot. Muistio 27.4.2007. Vesi-Eko Oy.
- Sarvala, J. Littoistenjärven ekologisen tilan kehitys ja hoitovaihtoehdot. 3.2.2011.
- Sassi, J. & Keto, A. 2005. Järvien kunnostuksen menetelmät - Hapetuslaitteiden laboratorio- ja kenttäkokeet. VTT tiedotteita 2307. Helsinki: Valopaino Oy. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2307.pdf>. 17.2.2011
- Saunamäki, A. 2007. Värtsilän Uudenkylänlammen kunnostussuunnitelma. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- Suutari. 2009. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
http://www.rktl.fi/kala/tietoa_kalalajeista/suutari/. 17.11.2009
- Suutari. 2011. LuontoPortti. <http://www.luontoportti.com/suomi/fi/kalat/suutari>. 13.1.2011.
- Tossavainen, T. 2011. Kolin Purnulammen limnologinen tila vuonna 2010. Tutkimusraportti. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- Tossavainen, T. Kurssimoniste. Ay 6201 limnologia. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. 31.08.2006.
- Tossavainen, T., Hyvärinen, J., Karhapää, A., Kiviäho, K. & Meriläinen, K. 2009. Polvijärven valuma-alueen vedenlaatu- ja kuormitustutkimus kunnostussuunnittelua varten. Tutkimusraportti. 1 - 91.

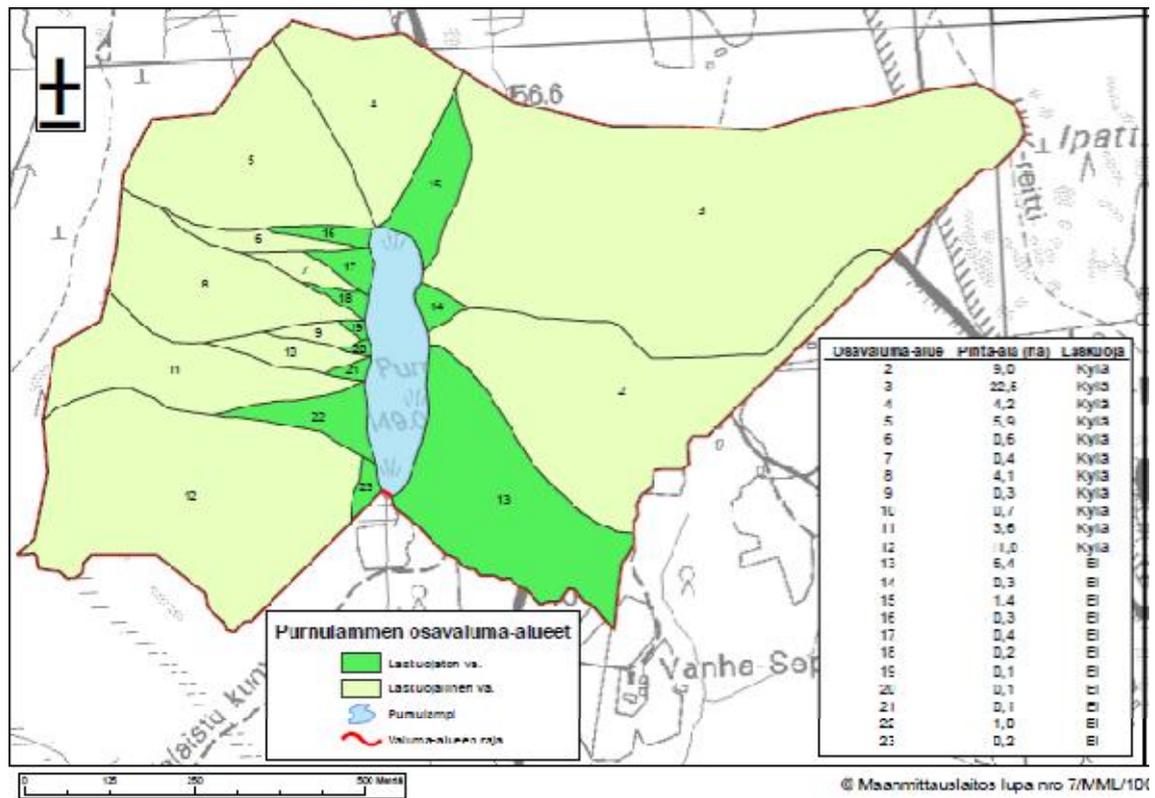
- Ulvi, T. & Lakso, E. 2005. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Vaasa: Edita.
- Valjus, J. 2005. Maikkalanselän kunnostusmenetelmävertailu. Lohjan ympäristölautakunta. Julkaisu 1/05.
- Waterix AIRIT 70. Waterix. <http://www.waterix.fi/pages/etusivu/tuotteet/airit-ilmastimet/airit-70.php>. 28.2.2011.
- Waterix AIRIT Micro. Waterix. <http://www.waterix.fi/pages/etusivu/tuotteet/airit-ilmastimet/airit-micro.php>. 28.2.2011.
- Vesivälskäri - vesistöjen omaehtoisen kunnostamisen asiakirjat. 2001. <http://www.ymparistokeskus.fi/download.asp?contentid=37408&lan=fi>. 3.2.2011.
- Viinikkala, J., Mykkänen, E. & Ulvi, T. 2005. Ruoppaus. Teoksessa Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) Järvien kunnostus. Helsinki: Edita, 211 - 240.

Tieteellinen nimi	Suomen-kielinen nimi	Ravinteisuus- vaatimukset 1)	Suhtautuminen rehevöitymiseen 2)
Kelluslehtiset			
<i>Nuphar lutea</i>	Ulpukka	o - e	+
<i>Nymphaea</i>	Lumme	o - m	(+)
<i>Persicaria amphibia</i>	Vesitatar	m - e	0
<i>Potamogeton natans</i>	Uistinviita	o - e	
<i>Sparganium gramineum</i>	Siimapalpakko	m	
Ilmaversoiset			
<i>Carex</i>	Sara	o - e	0
<i>Eleocharis palustre</i>	Rantaluikka	o - m	0
<i>Equisetum fluviatile</i>	Järvikorte	o - e	0
<i>Phragmites australis</i>	Järviruoko	o - e	+
<i>Sparganium emersum</i>	Rantapalpakko	m - e	0
Uposlehtiset			
<i>Potamogeton gramineus</i>	Heinäviita	m	0
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Ahvenviita	m	0
<i>Elodea cadensis</i>	Vesirutto	m - e	(+)
Irtokeijukat			
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	Kilpukka	e	+
<i>Lemna minor</i>	Pikkulimaska	m - e	+
Vesisammalet			
<i>Drepanocladus</i>	Sirppisammal	m - e	0
<i>Sphagnum</i>	Rahkasammal	o	-
Rantakasvit			
<i>Calla palustris</i>	Suovehka	i	0
<i>Potentilla palustris</i>	Kurjenjalka	i	0

Taulukko. Kasvillisuuden lajiluettelo. Kasvien ravinteisuusvaatimukset ja suhtautuminen rehevöitymiseen. Selitykset 1) o = karun veden laji, m = keskirehevän veden laji, e = rehevän veden laji, i = veden ravinteisuudella ei vaikutusta. 2) 0 = ei vaikutusta, + = hyötyy rehevöitymisestä, - = kärsii rehevöitymisestä (Kautonen & Korhonen 2010; Miettinen, Piironen & Tossavainen 2010; Rätty, Väisänen & Tossavainen 2010; Limatius, Nevalainen & Tossavainen 2010)



Kuva. Purnulampeen valuvat uomat 7, 8, 9, 10, 11, 462, 464, 465, 466, 467 ja 473. Lähtevä uoma 468 ja välialueet 13 - 22.

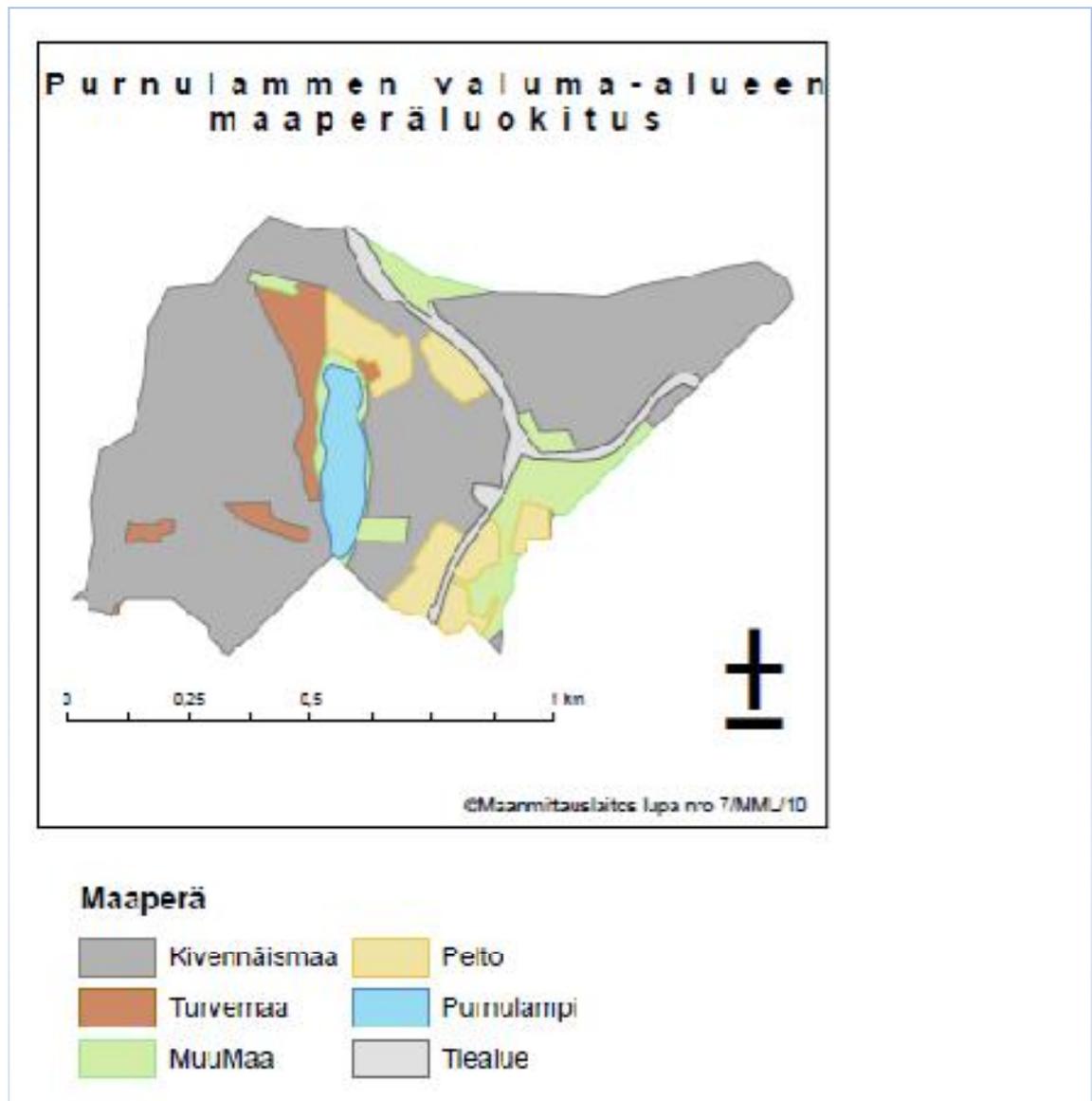


Kuva. Purnulammen valuma-alueen osavaluma-alueet 2 - 12 sekä välialueet 13 - 23 (Hyttinen, P., ym. 2011).

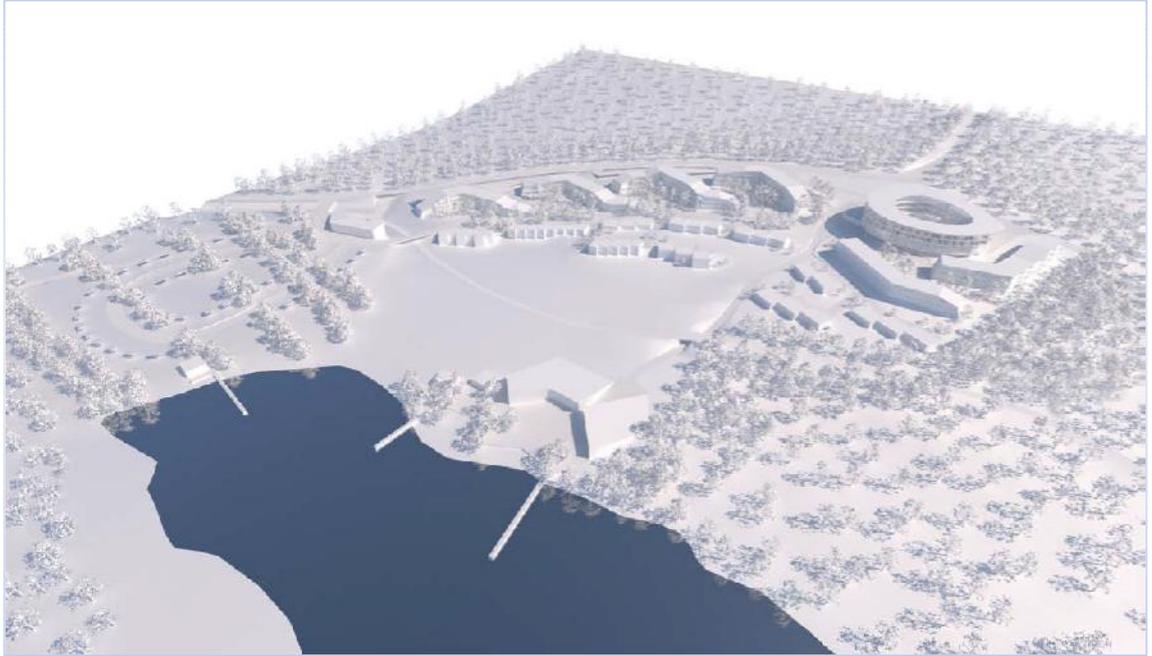
Pvm	Uoma	Yläpuolinen valuma- alue (km ²)	Q (l/s)	q (l/s km ²)	Virtaamatilanteen luonnehdinta
28.4.2010	462	0,007	0,19	28,6	
	464	0,06	2,4	40,0	
	465	0,042	0,9	21,4	valuma yli viisinkertainen
	466	0,23	21,9	95,2	Pielisen lähialueen keski-
	467	0,088	6,5	73,9	valumaan* verrattuna;
	keskiarvo			51,8	Kevätylivirtaama
19.5.2010	466	0,23	4,5	19,6	valuma kaksinkertainen Pielisen
	467	0,088	1,5	17,0	lähialueen keskivalumaan* verrat-
	keskiarvo			18,3	tuna; Kevätylivirtaaman loppuvaihe
30.9.2010	466	0,23	1,5	6,5	valuma lähes keskivirtaamatilanne;
	keskiarvo			6,5	Alivirtaamatilanne
8.11.2010	466	0,23	2,1	9,1	
	467	0,088	0,3	3,4	
	473	0,109	1,9	17,4	
	keskiarvo			10,0	Keskivirtaamatilanne
16.11.2010	466	0,23	2,2	9,6	
	467	0,088	0,3	3,4	
	473	0,109	1,3	11,9	
	keskiarvo			8,3	Keskivirtaamatilanne

* Pielisen lähialueen keskivaluma vesistömallin mukaan 2010 on 8,8 l/s km²

Taulukko. Purnulampeen laskevien uomien virtaamien (Q) ja valumien (q) havainnot sekä virtaamatilanteen luonnehdinta vuonna 2010.



Kuva. Maankäyttö Purnulammen valuma-alueella (Hytinen, P., ym. 2011)



Kuva. Ilmaperspektiivikuva lounaasta Kolin kansallispuiston toiminta- ja palvelukeskuksesta.

Pvm	Uoma	Q (l/s)	Lämpötila (°C)	pH
28.4	462	0,19	1,6	5,4
	464	2,4	1,8	6,1
	465	0,9	3,1	5,7
	466	21,9	2,2	6,5
	467	6,5	0,6	6,4
19.5	466	4,5	..	..
	467	1,5	..	..
30.9	466	1,5	..	6,6
8.11	466	2,1	..	..
	467	0,3	..	..
	473	1,9	..	..
16.11	466	2,2	..	..
	467	0,3	..	..
	472	..	..	..
	473	1,3	..	..

Taulukko. Purnulampeen laskevien virtavesien lämpötilat ja happamuusasteet vuonna 2010.



Kuva. Koli Cultura -keskuksessa käytetyt viheralueet.