

Tartu Ülikool
Geograafia Instituut

Reimo Alas

**Toitainete ja süsiniku akumulatsioon ja
selle asümmeetria horisontaalvoolulise
tehismärgala filtermaterjalis**
Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal

Juhendaja: prof. Ülo Mander

Tartu 2006

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. KODIJÄRVE TEHISMÄRGALAPUHAСТИ.....	5
1.1. Kodijärve tehismärgalapuhasti üldiseloostus.....	5
1.2. Horisontaalvoolulise filtri täitepinnas.....	7
2. PUHASTUSPROTSESSID KODIJÄRVE TEHISMÄRGALAS.....	8
2.1. Orgaaniliste ainete eemaldamine.....	8
2.2. Lämmastiku ärastus.....	9
2.3. Fosfori ärastus.....	10
3. MATERJAL JA METOODIKA KODIJÄRVE HORISONTAALFILTRI UURIMISEL.....	14
4. ANDMETE TÖÖTLEMINE JA STATISTILINE ANALÜÜS.....	15
5. TULEMUSED JA ARUTELU.....	16
5.1. Vooluhulkade võrdlus kuiva ja märja vanni vahel.....	16
5.2. Kuiva ja märja vanni filtermaterjalil akumulbeerunud N, P ja C kontsentratsioonid aastate lõikes.....	17
5.3. Lämmastiku, süsiniku ja fosfori vahelised korrelatsioonid.....	19
5.4. Keskmiste N, P ja C kontsentratsioonide võrdlemine filtermaterjalil.....	19
5.4.1. Kuiva ja märja vanni vaheline võrdlus tervikuna.....	20
5.4.2. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori keskmiste sisalduste võrdlus filtermaterjalil sügavuste kaupa.....	21
5.4.3. Märja vanni lämmastiku, fosfori ja süsiniku keskmiste sisalduste võrdlus filtermaterjalil sügavuste kaupa.....	23
5.4.4. Kuiva ja märja vanni sügavuskihtide omavaheline võrdlus.....	23
5.4.5. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni ridade vahel.....	24
5.4.6. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni ridade vahel.....	25
5.4.7. Kuiva ja märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni ridade vahel.....	26
5.4.8. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus risti vanni ridade vahel.....	27
5.4.9. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus risti vanni ridade vahel.....	28
5.4.10. Kuiva ja märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus risti vanni ridade vahel.....	29
5.4.11. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni punktide vahel.....	29
5.4.12. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni punktide vahel.....	30

5.4.13.	Kuiva ja märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus pikivaadetena punktide vahel.....	31
5.4.14.	Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus punktide vahel vanniga risti.....	32
5.4.15.	Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus punktide vahel vanniga risti.....	34
5.4.16.	Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus proovivõtukohtade kaupa.....	35
5.4.17.	Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus proovivõtukohtade kaupa.....	36
5.4.18.	Lämmastiku, süsiniku ja fosfori keskmiste sisalduste võrdlemine kuiva vanni kõikide elementaarpunktide vahel	37
5.4.19.	Lämmastiku, süsiniku ja fosfori keskmiste sisalduste võrdlemine märja vanni kõikide elementaarpunktide vahel	39
6.	JÄRELDUSED	42
7.	SOOVITUSED	44
	Kokkuvõte.....	45
	Summary	46
	Tänuavaldused	47
	Kasutatud kirjandus	48

Sissejuhatus

1997. aastal rajati Kodijärve tehismärgalapuhasti Kodijärve hooldekogu reovee puhastamiseks ja see on olnud Tartu Ülikooli teadlaste ja üliõpilaste poolt ka sellest ajast alates uurimisobjektiks. Aastate jooksul on horisontaalset pinnasfiltrit täiendatud puhastusefektiivsuse eesmärgil vertikaalfiltri ja fosforiärastusvanniga. 2005. aasta suvel vahetati välja horisontaalfiltri täitematerjal, kuna selle puhastusefektiivsus oli langenud ja filter näitas küllastumise tunnuseid. Käesolevas magistritöös analüüsitakse horisontaalfiltris toimunud protsesse ja mustreid alates selle rajamisest kuni filtermaterjali väljavahetamiseni.

Autor ei ole kirjanduses kohanud eriti palju materjali, mis käsitleks horisontaalvooluliste pinnasfiltrite toimimise ruumilist analüüsi. Selle töö eesmärgiks on valgustada pinnasfiltri sees toimuvaid protsesse ruumilisest aspektist. Loodetavasti aitab see kaasa tulevikus edukamate üha paremate ja edukamate projektide elluviimisele.

Kodijärve tehismärgalapuhastil läbi viidud uuringuid on finantseerinud Euroopa Liit (INCO-COPERNICUS Project No ERBIC15CT960100, Eesti-poolne koordinaator professor Ülo Mander) ja Eesti Vabariigi Haridusministeerium (sihtfinantseerimise teema No TBGGG0549, vastutav täitja prof. Ü. Mander). Alates 2001.a. finantseeriti proovide analüüsimist Euroopa Liidu 5. Raamprogrammi uurimisprojekti PRIMROSE (koordinaator prof. Ü. Mander) arvelt.

1. KODIJÄRVE TEHISMÄRGALAPUHAHASTI

1.1. Kodijärve tehismärgalapuhasti üldiseloomustus

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida horisontaalvoolulise tehismärgala filtermaterjalides toimunud süsiniku, lämmastiku ja fosfori akumulatsiooni. Uurimisobjektiks oli 1996. aastal rajatud tehismärgalapuhasti Kodijärve hooldekodu olmereovee puhastamiseks. 2002. aastal lisati horisontaalfiltrile lisatud parema aereerimise tagamiseks vertikaalfilter ja vabaveeline fosforiärastusvann. Kuna seda tehismärgalakompleksi on juba mitmetes töödes põhjalikult kirjeldatud (Noorvee, 2003; Vohla, 2004; Mander et al., 2001; Põldvere, 2005) siis ei hakatud seda siinkohal üle kordama, kuid lühidalt on eelpool nimetatud allikate põhjal kirjeldatud kompleksi horisontaalse pinnasfiltri osa.

Kodijärve horisontaalvooluline taimestik-pinnasfilter (joonis 1) koosnes kahest peenrast (kogupindalaga 312,5 m²). Peenardes asuva pinnasekihi paksus oli 1 m. Mõlemad peenrad olid teineteisest ja ümbritsevast pinnasest isoleeritud kõrgtihedast polüetüleenist kilega (kile paksus 0,7 mm). Ühe peenra pikkuseks oli 25 m ja laiuks 6,25 m.

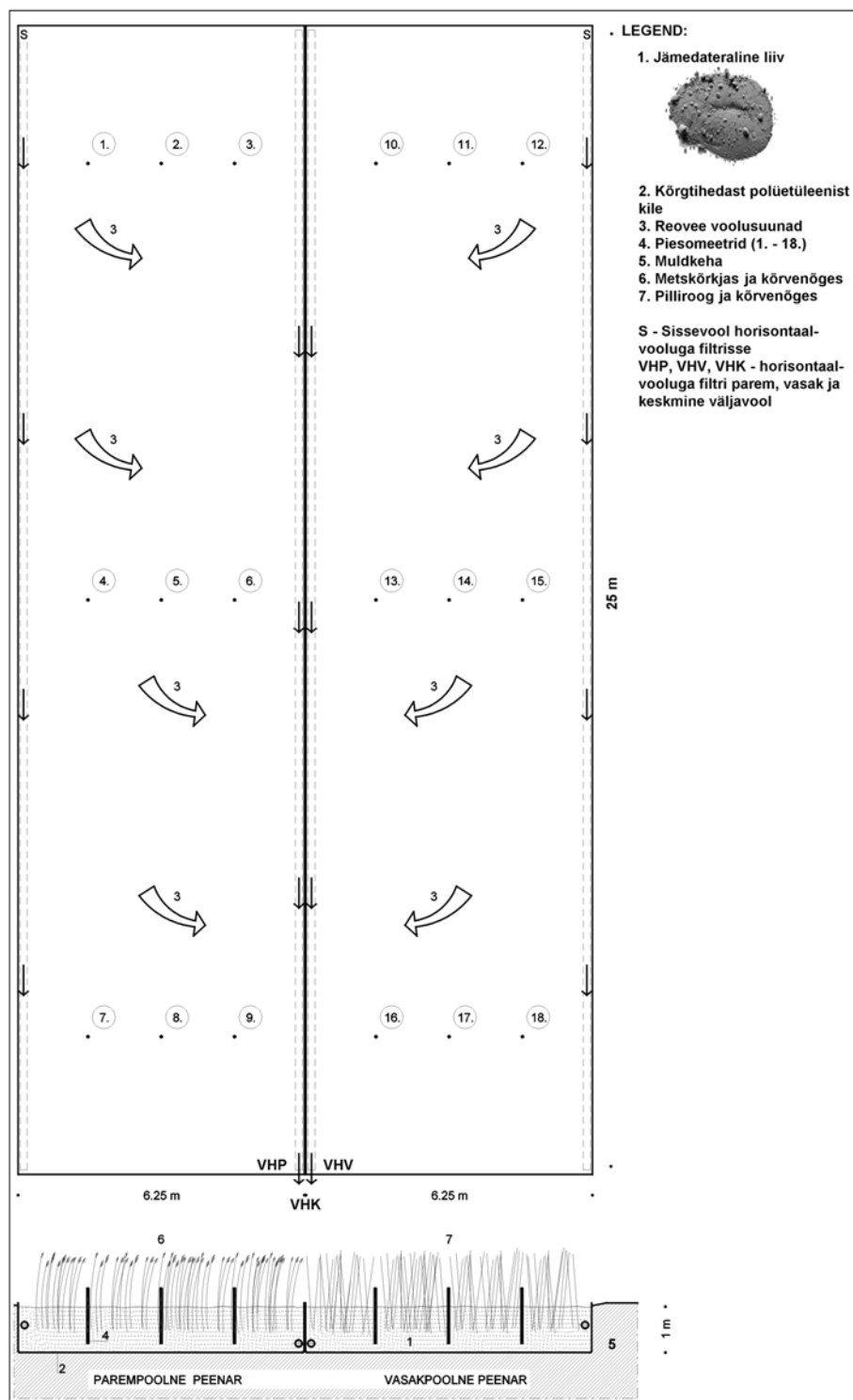
Kodijärve parempoolsesse horisontaalvoolulisse puhastuspeenrasse istutati 1997. aasta mais 360 laialehise hundinuia (*Typha latifolia*) taime, vasakpoolsesse aga sama palju kollast võhumõõka (*Iris pseudacorus*). Juunis pandi võhumõõkade vahele kasvama ka naaberjärvest pärit harilikku pilliroogu (*Phragmites australis*).

Reovesi, mis oli horisontaalfiltri sissevoolukaevus võrdselt jagunenud, sisenes filtrisse peenarde väliskülgedes asuvate (ca 0,7 m kaugusel ja 0,4 m sügavusel) perforeeritud drenaažitorude kaudu (Ø 150 mm).

Reovee proovide võtmiseks paigutati 1999. aastal mõlemasse peenrasse üheksa 40 mm läbimõõduga plastiktoru (piesomeetrit), mis ulatuvad kuni 0,9 m sügavusele.

Puhastusala läbinud reovesi koguti kokku peenarde sisekülgedel olevate perforeeritud drenaažitorude kaudu. Väljavoolutorud (Ø 150 mm) asuvad 0,8 m sügavusel ja olid puhastusala siseäärtest ca 0,45 m kaugusel ning suubuvad kogumiskaevu, kust muuhulgas sai reguleerida peenarde veetaset.

Kogumiskaevust suundus osaliselt puhastunud vesi 2002. aasta oktoobriks valminud 11,9 m² fosforisadestusvanni.



Joonis 1. Kodijärve taimestik-horisontaalvoolulise pinnasfiltri skeem pealtvaates ja läbilõikes. Kodijärve liivaproovi foto Christina Vohla, 2004 (Põldvere, 2005)

1.2. Horisontaalvoolulise filtri täitepinnas

Horisontaalvoolulise filtri täitepinnaseks oli kohalikust karjäärast pärinev liiv, mille keskmine terasuurus on 0,007 mm. Väikese sauesisaldusega, kuid Ca-, Mg- ja Fe-rikas (vastavalt 41,5; 8,0 ja 2,4 g kg⁻¹; Vohla, 2004) liiv valiti, et tagada piisav lämmastiku fikseerimine, metallide ja fosfaatide sadestumine ning adsorbeerimine (Pöldvere, 2005 cit.Gumbricht, 1993). Mujal on katsetatud ka sünteetiliste materjalidega fosfori eemaldamiseks, näiteks raud-oksiidi ja kipsi ühendiga (Bastin et al., 1999); kõrgahju räbuga (Xu et al, 2006) ja isegi austriite karpidega (Seo et al, 2005).

Adsorptsioonipotentsiaali, kui üht olulisemat reostuskomponentide eraldusvõimet arvestades oleks võidud filtermaterjaliks valida ka savi, kuid selle liigne tihedus oleks pärssinud vee liikuvust, makrofüütide kasvu ja gaasivahetust (Kadlec & Knight, 1996).

Vymazali (2005) sõnul valiti märgalapuhastite rajamise algusaastatel materjaliks liiga savine pinnas, mistõttu ummistus süsteem kiirtesti.

Seepärast täidetigi 1996. aastal valminud horisontaalvooluline filter ülaliseloomustatud liivaga nii, et vasakusse peenrasse paigaldati peenem ja paremasse jämedam fraktsioon. Edaspidi kasutatakse peenema liivaga täidetud vanni nimetamisel terminit “märg vann” ja jämedama fraktsiooniga liivaga täidetud vann “kuiv vann”, kuna jämedama fraktsiooni puhul on vee liikuvus parem.

2. PUHASTUSPROTSESSID KODIJÄRVE TEHISMÄRGALAS

2.1. Orgaaniliste ainete eemaldamine

Põhilisteks vees lahustunud anorgaanilisteks süsinikuühenditeks, mida on üldiselt vähem, võrreldes kõigi reovees esinevate süsinikuvormidega, on süsinikdioksiidid, karbonaadid ja dikarbonaadid (Põldvere 2005 cit. Kadlec & Knight, 1996). Kodijärve taimestik-pinnasfiltris moodustasid orgaanilise süsiniku nii reoveega sisenev kui ka kohapeal kasvavate taimede lagunemisel vabanev orgaanika. Sadenemise ja filtreerimise teel eemaldati reoveest kiiresti suuremad orgaaniliste ühendite osakesed. Vymazali (2005) sõnul eemaldatakse pinnasfiltrites esimese paari meetri jooksul sissevoolust alates enamuse hõljuvainest, kuid see võib põhjustada ka probleeme filtri ummistumise näol, mistõttu eelpuhastus on horisontaalfiltri puhul vajalik.

Orgaaniline aine eemaldatakse veest piisava hapniku juuresoleku korral enamasti aeroobse oksüdeerimisena, mis viiakse märgalades läbi aeroobsete heterotroofsete bakterite poolt vastavalt võrrandile (Vymazal et al., 1998):



Aeroobseks lagundamiseks kuluv hapnik siseneb süsteemi kas difusiooni teel otse atmosfäärist või pinnasesse juhitud taimede juurte poolt. Orgaanikat lagundavate mikroorganismide (aeroobsete) elutegevus ning seeläbi orgaanika lagundamine on pärsitud, kui märgalas ei ole aga piisavalt hapnikku. Kui aga hapnikku on piisavalt, siis lagundatakse ära kogu orgaanika, mis on mikroorganismidele kättesaadav. Teoreetiliselt on arvatud, et makrofütide juurte kaudu pinnasesse tungiva hapniku hulk on piisav orgaanilise aine aeroobse lagunemise läbi viimiseks, kuid paljud praktilised vaatlused on näidanud, et sel viisil saadud hapniku kogus pole piisav ja sel juhul mängivad olulist rolli anoksilised ja anaeroobsed protsessid (Vymazal 2005)

Anaeroobne respiratsioon ilmneb hapniku puuduse korral allpool Fe^{3+} redutseerumistsooni. Seda viivad läbi fakultatiivsed või obligatoorsed anaeroobid. Orgaaniliste ühendite anaeroobne lagunemine on palju aeglasem kui aeroobne

lagunemine. (Vymazal, 2005). Kui siiski suure hulga orgaanilise aine puhul on hapnik limiteerivaks faktoriks, siis domineerib anaeroobne lagunemine (Vymazal 2005, cit. Cooper et al, 1996).

Süsinikku kasutatakse veel sulfaadi redutseerimisel, fermentatsioonil, raua redutseerimisel ja denitrifikatsioonil (Kadlec & Knight, 1996).

Niisiis laguneb orgaaniline aine märgalas lõpuks mitmesuguste protsesside tulemusel gaasideks (enamasti CO_2 ja CH_4), vees lahustuvateks suurteks orgaanilisteks molekulideks – humiinaineteks ning järgi jäävad mõningad raskesti lõhustuvad ühendid, näiteks tselluloos ja ligniin, millest tekivad orgaanilised setted (Pöldvere, 2005, cit. Kadlec & Knight, 1996).

Taimestatud pinnasfiltri korral toimub ka süsiniku eemaldamisele vastupidine protsess, kus taimed fotosünteesi käigus seovad õhust süsinikku ning aktiivse vegetatsiooni perioodil ringleb ainult umbes 50% mullahingamise teel emiteeritud CO_2 -st tagasi atmosfääri (Teiter, 2005).

2.2. Lämmastiku ärastus

Lämmastiku eemaldamine Kodijärve reoveest toimus peamiselt N_2 emissioonina (41,7%), immobilisatsiooni teel bakteritesse (29,2%), omastamisena taimede poolt (13,8%) ja akumulereerumise pinnasesse (14,1%) (Mander et al., 2003). Aastatel 2001 ja 2002 eemaldatud lämmastikust moodustasid N_2 emissioonid vastavalt 52% ja 51%; assimilatsioon taimede maapealsetesse osadesse 8,9% ja 7,3%; taimede maa-alustesse osadesse 22,8% ja 16,2%; lämmastiku akumulereerumine pinnasesse 14,3% ja 4,2%; mikroobne immobilisatsioon 8,5% ja 3,9% (Teiter, 2005)

N_2 emissioon on bakterite poolt läbi viidava nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni tulemus. Nitrifikatsioon on kaheastmeline protsess, kus ammoonium muudetakse bakterite elutegevuse toimel kõigepealt nitritiks ja seejärel nitraadiks. Seda protsessi on kirjanduses põhjalikult kirjeldatud (Kadlec & Knight, 1996).

Ühe mg ammooniumlämmastiku oksüdeerimiseks nitraadini kulub ligikaudu 4,3 mg O₂ (Vymazal et al., 1998) ning 1mg lämmastiku denitrifikatsiooniks läheb vaja 2,5 mg süsivesikuid (Kadlec & Knight, 1996).

Lämmastiku puhul on horisontaalsete pinnasfiltrite puhul leitud ka, et toimub märgala sisene lämmastiku ringlus, mistõttu võivad muutused koormuste osas kajastuda väljavooludes viibeajaga (Kadlec et al., 2005).

Märgalades toimuvad veel mitmed muud lämmastikuga seotud protsessid, nagu näiteks orgaanilise lämmastiku ammonifikatsioon ja atmosfäärilämmastiku depositsioon, lämmastiku fikseerimine bakterite poolt, ammooniumi lendumine, kuid neid protsesse siinkohal ei käsitleta.

Süsiniku lämmastiku (C/N) suhe peab denitrifikatsiooni võimaldamiseks olema teoreetiliselt vähemalt 0,7 ja reaalsetes tingimustes 1,5 (Pöldvere, 2005, cit. Laber et al., 2002).

1997-2002 (kuni vertikaalfiltri tööle hakkamiseni) oli keskmine C/N suhe Kodijärve märgalapuhastisse sisenevas vees $1,43 \pm 0,79$. Vertikaalfiltri tööleasumisel sinna siseneva vee C/N suhe oli sarnane – $1,32 \pm 0,35$. peale vertikaalfiltrit horisontaalfiltrisse siseneva vee C/N suhe oli aga aastate 2002-2005 keskmisena $0,52 \pm 0,25$. Sellest võib järeldada, et süsinikku on liiga vähe eduka denitrifikatsiooni toimimiseks. 2005. aasta suve ümberehituste käigus on seda probleemi püütud lahendada, pumbates osa vett tagasi septikusse, kus on piisav C sisaldus ja kus peaks toimuma täiendav denitrifikatsioon.

2.3. Fosfori ärastus

Konventsionaalsetes puhastites toimub P eemaldamine neljal erineval moel (Bitton, 1994).

- 1) **Keemiline sadenemine** toimub fosfaadi sidumisel mittelahustuvatesse sooladesse. See protsess on kontrollitud pH ja katioonide (Ca, Fe, Al) poolt. P moodustab enamike metallidega mittelahustuvaid sooli, seetõttu lisatakse

mõnikord suurema sadenemise saavutamiseks reoveele ka raua- ja alumiiniumisooli või lubjakivi.

Alumiinium reageerib fosfaadiga ja moodustub alumiiniumfosfaat:



Raud(III)kloriid reageerib fosfaadiga ja moodustub raud(III)fosfaat:



Sageli lisatakse heitveepuhastusprotsessis raudsulfaate ja -kloriide, muutes loomuliku aluselisuse taset. Kui pH on madal, siis on fosfaadid liikuvamas olekus, kui aga pH taset tõsta, suureneb ka sadenemine ning fosfor seotakse mudasse.

Teised võimalused fosfori eemaldamiseks sisaldavad adsorptsiooni aktiveeritud alumiiniumoksiidile, ionvahetust, elektrokeemilisi meetodeid ning filtreerimist läbi poorse pinnase (Bitton, 1994). Viimasel juhul toimivad poorses keskkonnas sõltuvalt pH väärtusest jällegi kas adsorptsioon või sadestumine.

Kodijärve horisontaalfiltri puhul toimub enamus P eemaldamist adsorptsiooni teel. Aastatel 1997-2001 reoveest eemaldatud fosforist oli 88,1% laktaat-lahustuva fosforina pinnasesse akumulunud (Mander et al., 2003).

Kodijärve liival arvutuslik P sidumise võime oli $1,9 \text{ g P kg}^{-1}$ (Vohla, 2004). Xu et al (2006) leidis oma uurimuses, et kasutatud nelja erineva liiva P sorptsioonivõime oli $0,13\text{--}0,29 \text{ g P kg}^{-1}$. Neist ühe liiva Langmuiri isothermi järgi saadud sorptsiooni eluiga oli kõigest 9 kuud, samal ajal, kui ühe materjalina kasutatud kõrgahju räbu eluiga oli 22 aastat.

2) **Normaalne bioloogiline fosfori assimileerimine mikroorganismide poolt** põhineb sellel, et iga organism vajab oma elutegevuseks ja kasvuks tasakaalustatult toitaineid, k.a fosforit. P assimileeritakse nukleiinhapete, fosfolipiidide, valkude, fosforüleeritud suhkrute, kondenseeritud polüfosfaatide (koensüümid, ATP, ADP) koosseisu (Kunst & Mudrack, 1988). Samuti esineb P ka ortofosfaadi kujul, mida organism saab ATP sünteesil ja energiavahetusprotsessides kasutada.

Siiani on fosfori bioloogilist ärastamist uuritud peamiselt konventsionaalsetes reoveepuhastites. Anaeroobsetes süsteemides on leitud, et aktiivmudas (seega siis bakterites) olev P-sisaldus on funktsioon reovees olevast P ja orgaanilise aine suhtest. P sisaldus on kasvanud 0,7-lt 1,7-2,5%-ni kuivainest, kui KHT:P suhe on vähenenud

2000:1-lt väiksemale kui 60:1. Need andmed on ka reaalses elus olulised, kuna reovees on see suhe keskmiselt 50:1 (kõiguvad piirides 20:1 kuni 100:1). On leitud ka, et kui P sisaldus ületab 1% aktiivmuda kuivainest, siis pole P enam kasvu limiteerivaks faktoriks. Erinevate autorite poolt on leitud, et normaalne P sisaldus bakterite biomassis võib varieeruda suurtes piirides (0,7-4,2% kuivainest) (Kunst & Mudrack, 1988).

Kodijärve horisontaalfiltris oli aastatel 1997-2001 reoveest eemaldatud fosforist 4,4% bakteritesse immobiliseeritud.

3) **Mikroorganismide poolt vahendatud keemiline sadenemine konventsionaalsetes reoveepuhastites.** Selle lähenemise kohaselt toimub fosfori sadenemine ja ärastamine tänu mikroobide elutegevusele aereeritavas reservuaaris. Õhutamise lähipiirkonnas toimub pH alanemine, mis põhjustab fosforiühendite lahustumist. Mikroorganismid aitavad tänu oma elutegevusele kaasa fosforiühendite lahustuvaks muutumisele. Mehhanismideks on metaboolsed protsessid, mis kaasavad ensüüme, orgaaniliste ja anorgaaniliste hapete (suktsinaat, oksalaat, lämmastik- ja väävelhape) produktsiooni bakterite poolt, CO₂ produktsioon, mis alandab pH-d, H₂S produktsioon, mis võib reageerida raudfosfaadiga ja vabastada ortofosfaati ning kelaadimoodustajate produktsioon, mis seovad Ca, Fe või Al. Reservuaari teises otsas toimub taas mikroobsete protsesside tõttu pH tõus, mille tulemusena fosforiühendid sadenevad. Bioloogiliselt vahendatud fosfori sadenemine ilmneb ka denitrifikatsiooni tõttu, mille tulemusena suureneb samuti pH ja järgneb P sadenemine kaltsiumiühenditena. Sadenemine võib olla põhjustatud ka P hulga suurenemisest, mis vabaneb polüfosfaadi varudest anaeroobsetes tingimustes (Bitton, 1994).

Seda meetodit ei ole Kodijärve horisontaalfiltri kohta otseselt uuritud ja seda pole eraldi pinnasesse akumuliseeritud fosfori kõrvale välja toodud.

4) **Fosfori kõrgendatud bioärastus** mikroorganismide poolt. Põhimõte on selles, et osad bakterid koguvad sobivatel tingimustel endasse P polüfosfaadina, et seda varuenergiaallikana kasutada (Bitton, 1994).

On küll näidatud ka selle protsessi võimalikkust Kodijärve horisontaalfiltris (Alas, 2003), kuid kuna tervikuna on selle osa siiski väga väike (4,4% tervest fosfori eemaldatud hulgast on bakteritesse immobiliseeritud), siis pole seda eraldi välja toodud.

Taimede niitmine ja eemaldamine on loodusliku märgala või pinnasfiltri puhul üheks võimaluseks lisaks eelpool nimetatud neljale viisile fosforit ringlusest kõrvaldada. Sellega kaasneb siis ka kõige selle, mis taim on endasse kogunud, eemaldamine (k.a P ja N). Taimede koristamine võib eemaldada 10-15% sissetulnud toitainetest (Kuusemets et al., 2002). Kui taimi mitte niita, siis surevad nad ükskord loomulikul teel, nad lagundatakse ja toitained lähevad taas ringlusesse.

Kodijärve horisontaalfiltri puhul oli 1997-2001 reoveest eemaldatud fosforist 6,1% assimileeritud taimede poolt (Mander et al., 2003).

Lisaks eelpool nimetatud võimalustele võib fosfor Kodijärve tehismärgalapuhasti taolisest kompleksist eemalduda näiteks fosfiini kujul lendudes, kuid see eeldab väga madalat redokspotentsiaali ning valdav enamus fosforist eemaldatakse ringlusest eelpool nimetatud viisidel.

Pinnase väljavahetamine. Pinnasfiltrit kasutades see tõenäoliselt küllastub fosforist või ummistub niivõrd, et muutub kasutuskõlbmatuks. Sel juhul tuleb kõne alla pinnase väljavahetamine või lisapuhastussüsteemide rajamine. Seda tehti Kodijärve horisontaalfiltris 2005. aasta suvel.

3. MATERJAL JA METOODIKA KODIJÄRVE HORISONTAALFILTRI UURIMISEL

Alates 2000. aasta veebruarist kuni 2003. aasta detsembrini on Kodijärve horisontaalvoolulises pinnasfiltris olevatest piesomeetritest võetud veeproove. Proove võttes on mõõdetud pH taset, temperatuuri, elektrijuhtivust, lahustunud O₂ sisaldust ja redokspotentsiaali. Samuti on mõõdetud vee taset filtris (15-l korral). Proovid võeti joonisel 5 numbritega 1-18 näidatud asukohtadest. Nendest punktidest võetud proovidest määrati BHT₇, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, üld-N, PO₄-P ja üld-P, SO₄, üld-Fe AS Lõuna-Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboris (vt. Mander et al., 2001). Lisaks piesomeetritest võetud veeproovidele võeti proove ka kuiva ja märja vanni väljavooludest.

Iga aasta oktoobris alates 1997. aastast kuni 2004. aastani ning 2005. aasta juunis on võetud Kodijärve pinnasfiltri veekogumispunktide lähedusest – 9-st punktist kuivas vannis ja 9-st punktist märjas vannis (vt. joonis 5) kolmest eri sügavusest pinnaseproove (0-10, 30-40 ja 50-60 cm). Nendest proovidest määrati Eesti Põllumajandusülikooli Taimebiokeemia laboris N Kjeldahli meetodil, laktaat-lahustuv P (mulda adsorbeerunud) ja orgaaniline C (Mander et al., 2001).

4. ANDMETE TÖÖTLEMINE JA STATISTILINE ANALÜÜS

Käesoleva töö domineerivaks osaks on aastate jooksul kogutud andmete statistiline analüüs, milles kasutatakse filtermaterjalis fosfori, lämmastiku ja süsiniku määramisel 1997-2005 saadud arvestatavat andmerida. Kahes vannis kokku oli 18 proovivõtukohta, neist igas kohas võeti proovi kolmest eri sügavusest (0-10 cm; 30-40 cm; 60-70 cm), seega oli kokku 24 erinevat proovivõtupunkti.

Veeproove võeti piesomeetritest 2000. aasta algusest kuni 2003. aasta lõpuni, veetaset määrati seejuures 15-l korral.

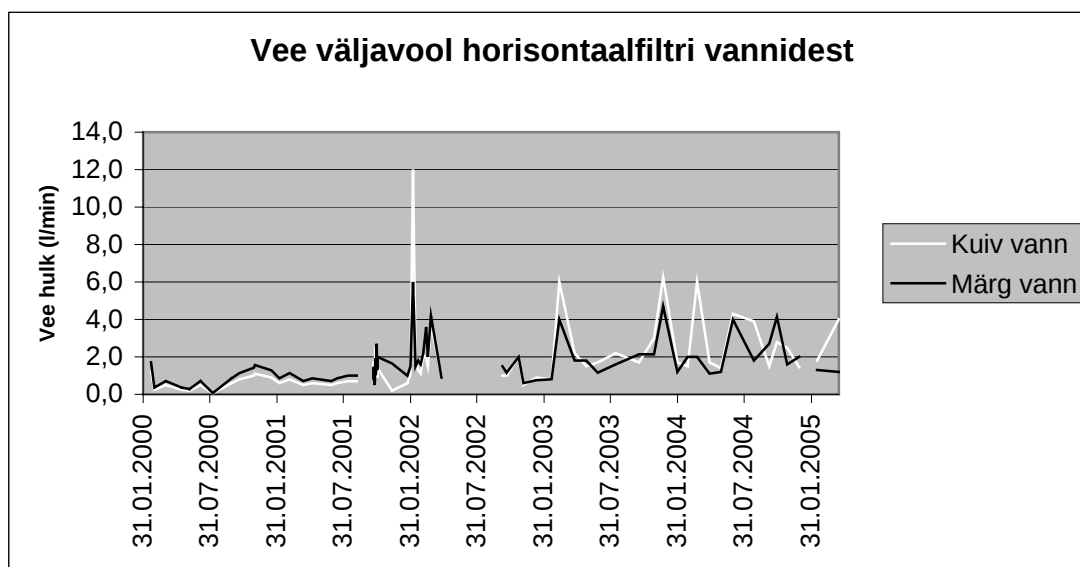
Andmete korrastamiseks ja grupeerimiseks kasutati programmi Excel, statistilist analüüsi teostati programmiga Statistica 7.0.

Pinnaseproovidest saadud andmete põhjal teostati korrelatsioonianalüüsi pinnases oleva süsiniku, lämmastiku ja fosfori vahel olevate seoste leidmiseks. Samuti võrreldi filtris akumuleerunud lämmastiku, süsiniku ja fosfori ruumilist ning ajalist muutlikkust. Kuna kontroll andmete normaaljaotusele vastamise kohta andis enamikul juhtudel negatiivse tulemuse, tuli kasutada mitteparameetrilisi meetodeid. Korrelatsioonianalüüsil kasutati Spearmani astakkorrelatsiooni. Ruumilise muutlikkuse hindamisel ja erinevate ridade ja punktide omavahelisel võrdlemisel kasutati keskmiste mitmeseks võrdlemiseks sobivat Duncani testi.

5. TULEMUSED JA ARUTELU

5.1. Vooluhulkade võrdlus kuiva ja märja vanni vahel

Aastate 2000-2005 jooksul mõõdetud Kodijärve horisontaalfiltri kuiva vanni keskmine vooluhulk oli $1,73 \pm 1,79$ l/min; märja vanni keskmine vooluhulk oli $1,62 \pm 1,1$ l/min. Et kindlaks teha, kas võimalikud erinevused N, P ja C kontsentratsioonides erinevate vannide filtermaterjalide vahel võisid tuleneda erinevatest vee hulkadest, mis kumbagi vanni läbisid, võrdlesin kuiva ja märja vanni läbinud reovee vooluhulkasid aastatel 2000-2005 (kokku mõõdeti vooluhulkasid 72-l korral). Kuna nii kuiva kui ka märja vanni vooluhulgad ei vastanud normaaljaotusele ja neid ei õnnestunud ka normaliseerida, kasutasin nende võrdlemisel Mann-Whitney U-testi. Usaldusväärset erinevust vooluhulkade vahel ei leitud ($p=0,42$). Vee väljavooluhulgad aastatel 2000 kuni 2005 on näidatud joonisel 2.



Joonis 2. Vee väljavoolu hulgad Kodijärve horisontaalfiltri vannidest 2000-2005

Seega igasugused erinevused N, P ja C kontsentratsioonides kuivas ja märjas vannis tulenevad kas filtermaterjali erinevustest (peenema fraktsiooniga liiv märjas vannis ja jämedama fraktsiooniga liiv kuivas vannis), erinevast taimkattest (, sellest, kuidas vesi

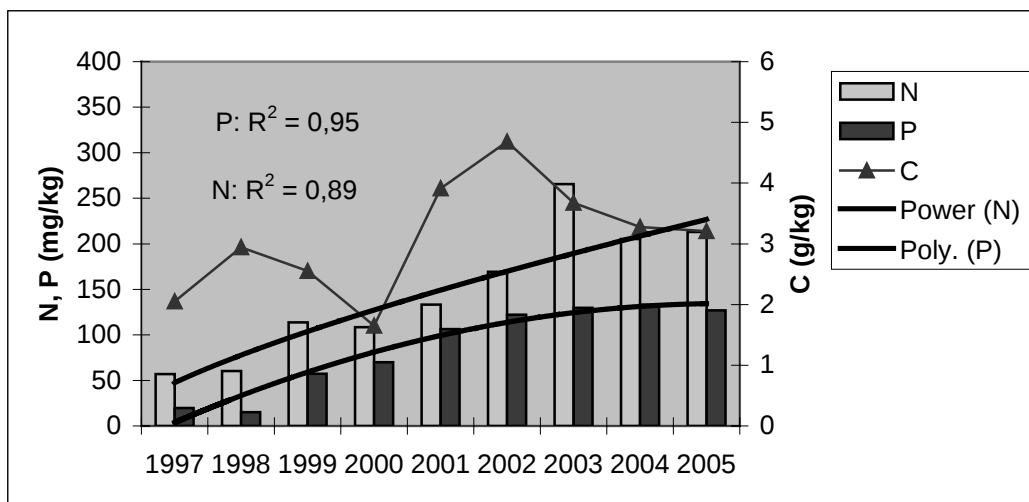
endale filtris teed rajas (kui ei läbinud filtrit ühtlaselt, vaid leidis mõned otsekäigud) või mõnest muust tegurist.

Lahtikaevamisel 2005. aasta suvel toimusid lahtikaevamised ja proovivõtmised Kodijärve horisontaalfiltris. Seal oli täheldada tekkinud voolukäike. Lahti kaevatud auku ei imbunud vesi mitte ühtlaselt, vaid tungis sinna sisse jõuliselt ühest kohast. See annab alust oletada, et vesi ei läbinud pinnasfiltrit ühtlase vooluna, vaid oli leidnud endale omad voolukäigud, mistõttu võis osa filtermaterjalist reoveega vähese kokkupuutumise tõttu osaliselt kasutamata jääda.

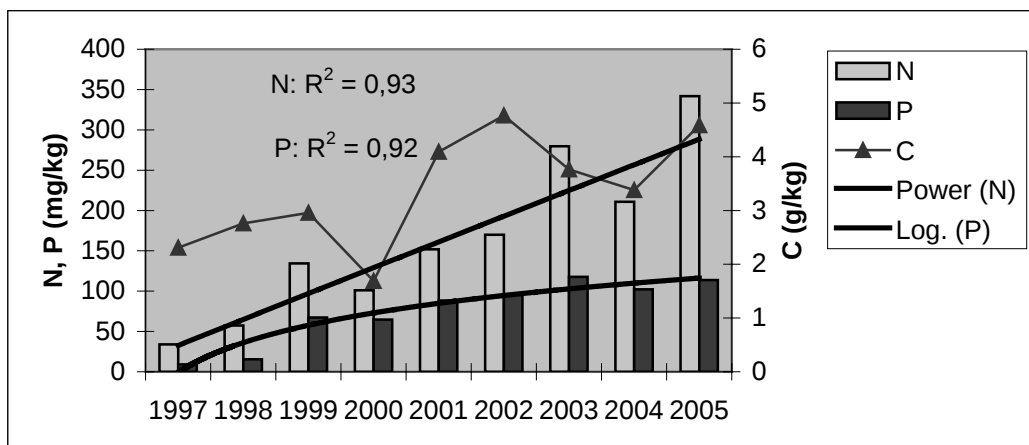
5.2. Kuiva ja märja vanni filtermaterjalis akumulunud N, P ja C kontsentratsioonid aastate lõikes

Joonised 3 ja 4 näitavad, et nii kuivas kui ka märjas vannis on aastatega suurenenud pinnasesse kogunenud N, P ja C kontsentratsioon. Lämmastik ja süsinik näitavad jätkuvat tõusutrendi, kuid fosfori suhtes tundub olevat saavutatud platoo, mis näitab küllastumise märke. Fosforiga küllastumine oli üks põhjus, miks 2005. aasta suvel vahetati välja Kodijärve horisontaalvoolulise pinnasfiltri täitematerjal.

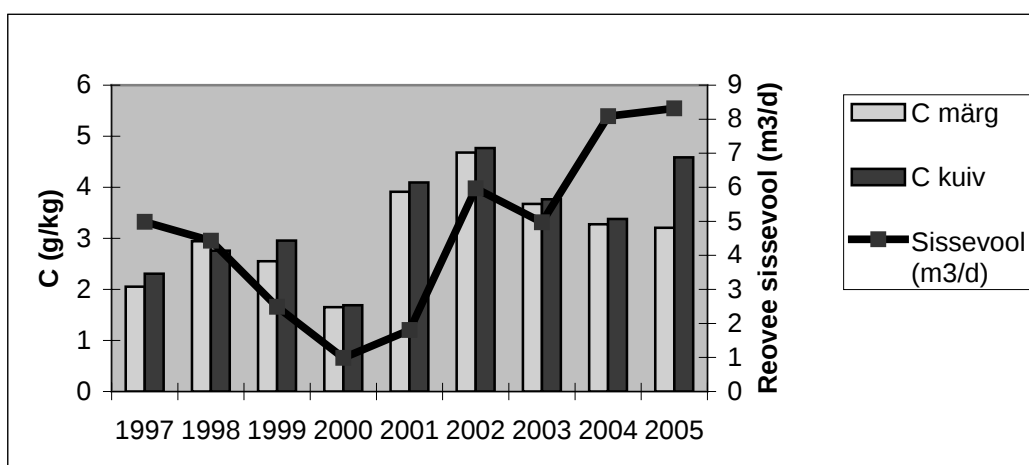
Süsiniku kontsentratsioon aastate jooksul läbi languse, mille põhi on aastal 2000. Kuigi olulisi korrelatsioone sissevoolava vee ja süsiniku sisalduse vahel pinnases ei leitud, võib jooniselt 5 järeldada, et vähemalt osa süsiniku madalama sisalduse põhjustest võis olla vähenenud reovee sissevooluhulgas. Seda toetavad ka varasematest uurimistöödest saadud andmed, mis näitavad akumulunud orgaanilise süsiniku kasvu reovee vooluhulga suurenedes (Tanner et al., 1998).



Joonis 3. Märja vanni pinnases akumulatsioonid lämmastiku, fosfori ja süsiniku keskmine kontsentratsioon aastate lõikes



Joonis 4. Kuiva vanni pinnases akumulatsioonid lämmastiku, fosfori ja süsiniku keskmine kontsentratsioon aastate lõikes



Joonis 5. C kontsentratsioon filtermaterjalis ja reovee sissevooluhulk horisontaalfiltrisse

5.3. Lämmastiku, süsiniku ja fosfori vahelised korrelatsioonid

Siinkohal analüüsiti pinnases oleva N, P ja C sisalduse omavahelisi korrelatsioone erinevate sügavuskihtide vahel, kogutulemuste vahel (kõik sügavuskihid koos).

Kõiki andmeid ei õnnestunud normaliseerida ning seetõttu tuli kasutada mitteparameetrilisi meetodeid, korrelatsioonianalüüsi puhul Spearmani astakkorrelatsiooni.

Oli näha, et kuivas vannis on üldiselt kõikide sügavuste N ja P omavahel positiivses korrelatsioonis, st kasvavad üheskoos, kuid keskmise kihi C väärtuste ja P kihtide vahel statistiliselt olulised korrelatsioonid puuduvad, samuti keskmise kihi C ja ülemise ja alumise kihi N väärtuste vahel ning alumise kihi C ja ülemise kihi N ja P vahel. Tugev positiivne korrelatsioon on ülemise kihi süsiniku ja lämmastiku vahel.

Märja vanni puhul oli näha, et kehtivad täpselt samalaadsed korrelatsioonid kui kuiva vanni puhul, seega pinnasesse akumulatsiooniprotsessid nii kuivas kui ka märjas vannis tervikuna peaksid olema sarnased.

Kõikidest erinevalt grupeeritud andmete võrdlemisest on näha, et N ja P korrelatsioonid olid alati ja igas variandis positiivsed ja paljudel juhtudel statistiliselt olulised, seega suurenes enamasti nii N, P kui ka C sisaldus pinnases koos. Kõige vähem olulisi korrelatsioone oli C ja P vahel, vähem ka C ja N vahel.

5.4. Keskmiste N, P ja C kontsentratsioonide võrdlemine filtermaterjalis

Et uurida, kas horisontaalfiltri kahe vanni erinevates tasapindades, suundades või punktides on statistiliselt erinevaid N, P ja C sisaldusi, kasutasin keskmiste mitmest võrdlemist. Iga punkti kohta kasutasin aastatel 1997-2005 kogutud andmeid. Võrdlemise jaoks grupeerisin nii N, P kui ka C väärtused järgmiselt:

- a) kuiv ja märg vann tervikuna
- b) sügavused 0-10 cm (analüüsil tähistusega 10), 30-40 cm (analüüsil tähistusega 30) ning 60-70 cm (analüüsil tähistusega 60), vt joonis 3;
- c) filtervannide proovivõtukohtade read voolu suunas ehk risti vanniga (read 123, 456 ja 789 kuivas vannis ning 101112, 131415 ja 161718 märjas vannis), vt joonised 6, 7;
- d) filtervannide proovivõtukohtade read vooluga risti ehk piki vanni (read 147, 258 ja 369 kuivas vannis ning 101316, 111417 ja 121518 märjas vannis), vt joonised 4, 5;
- e) punktid proovivõtukohtade järgi, kuivas vannis 1-9 ja märjas vannis 10-18; vt joonis 12, 13;
- f) Punktid K1 kuni K9 risti vanni ("K" nagu külgvaade) kuiva ja märja vanni puhul, vt joonised 10, 11;
- g) Punktid P1-P9 piki vanni ("P" nagu pikivaade) kuiva ja märja vanni puhul, vt joonised 8, 9;
- h) Elementaarpunktid kuivas ja märjas vannis. Kuna pinnaseproove võeti kummastki vannist üheksast kohast ja kolmelt sügavuselt, siis nii kuivas kui ka märjas vannis oli 27 elementaarpunkti. Need tähistati proovivõtukohta ja sügavuse järgi (nt punkt 1_10 tähistab proovivõtukohta 1 sügavuselt 0-10 cm võetud proovi).

Keskliste mitmese võrdlemise visualiseerimiseks on töö lisades 1-47 toodud homogeensete gruppide moodustumised ja statistilised erinevused erinevate võrdlusgruppide vahel. Homogeensete gruppide tabelite sees ei ole selle homogeense grupi (tabeli üks veerg) liikmete vahel statistiliselt olulisi erinevusi.

5.4.1. Kuiva ja märja vanni vaheline võrdlus tervikuna

Selles võrdluses võeti analüüsi aluseks kõikidest analüüsipunktidest võetud N, P ja C väärtused, ainsaks kriteeriumiks oli punkti kuulumine kas kuiva või märja vanni.

Kuna ka neid andmeid ei õnnestunud normaalkujule viia, kasutati keskmiste võrdlemiseks Duncani testi.

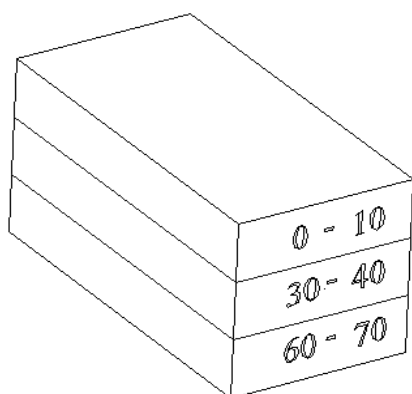
Analüüsi tulemusel selgus, et N ja C sisaldused kuivas ja märjas vannis tervikuna ei erinenud oluliselt, küll aga olid erinevad kuiva ja märja vanni P sisaldused filtermaterjalis (vt lisa 1). Oli näha, et märjas vannis on aastatega akumulunud oluliselt rohkem ($p < 0,05$) fosforit, kuivas vannis keskmiselt $74,9 \pm 54,2$ mg/kg ja märjas vannis $86,7 \pm 60,6$ mg/kg.

Võrreldes kuivast ja märjast vannist väljuva vee analüüsil saadud tulemusi, leiti vannide vahel tervikuna ainukese olulise erinevusena NO_2^- sisaldus: märja vanni väljavoolus oli aastate keskmine NO_2^- suurem kuiva vanni omast. Sama on leidnud ka Põldvere (2005). Põhjendada võib seda sellega, et kuivas vannis toimus aeroobsema keskkonna tõttu parem nitrifikatsioon; peale vertikaalfiltri paigaldamist algas nitrifikatsioon juba seal, kuid jätkus osaliselt horisontaalfiltris.

Ühegi teise horisontaalfiltri väljavoolus mõõdetud parameetri osas ei suudetud olulist erinevust tõestada.

5.4.2. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori keskmiste sisalduste võrdlus filtermaterjalis sügavuste kaupa

Võrdlesin N, P ja C sisalduse erinevust pinnasfiltri kuivas vannis sügavuste kaupa (vt joonis 6).



Joonis 6. Filterpeenra jagamine kihtideks sügavuste kaupa

Kuiva vanni N väärtused õnnestus viia ruutjuurteisenduse abil normaaljaotusele ning seega sain kasutada erinevate sügavuste vaheliste väärtuste võrdlemiseks Tukey HSD testi, mis on keskmiste mitmese võrdlemise parameetriline võimalus. P ja C analüüsimisel ei õnnestunud tunnuseid normaliseerida ja tuli kasutada Duncani testi, mis on keskmiste mitmese võrdlemise mitteparameetriline analoog.

Statistilisest analüüsist selgus, et nii lämmastiku kui ka süsiniku puhul oli 0-10 cm sügavuse ja 30-40 cm sügavuse vahel ning 1-10 ja 60-70 cm sügavuste vahel statistiliselt olulised erinevused ($p < 0,05$). Erinevust 30-40 cm sügavuse kihi ja 60-70 cm sügavuse kihi vahel ei suudetud tõestada ja nad moodustavad ühtse homogeense grupi (vt ka lisad 2 ja 3).

Tabel 1. N, P ja C kontsentratsioonid kuiva vanni erinevates kihtides

Sügavuskiht	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
0-10 cm	305,7 ± 267,9	85,2 ± 64,2	5,0 ± 2,5
30-40 cm	95,5 ± 62,5	67,9 ± 48,4	2,5 ± 1,2
60-70 cm	92,4 ± 50,5	71,6 ± 47,3	2,5 ± 1,0

Tabelis 1 on toodud N, P ja C aastate 1997-2005 keskmised kontsentratsioonid kuiva vanni erinevates sügavuskihtides. Kõige suuremad väärtused on N ja C puhul kõige pealmises kihis. Korrelatsioonianalüüs näitas lämmastiku ja süsiniku puhul tugevat positiivset seost just ülemiste kihtide vahel ($R=0,86$). Kuna on olnud näha, et aastate jooksul on hakanud tekkima filterpinnase peale huumuskiht, võib oletada, et tulemused on just sellega seostatavad ning oma osa on siin orgaanilise aine, peamiselt taimejäänuste mõjuga. Samuti toimub vanni sügavamates kihtides intensiivsem denitrifikatsioon, mis põhjustab seal oleva lämmastiku väiksemat sisaldust. Ka Tanner et al (1998) on näidanud orgaanilise süsiniku akumulereumise vähenemist sügavuse suurenemisel, lisaks on Tanner et al (1998) uurimuses näidatud taimestatud pinnasfiltril suurem orgaanilise aine akumulereumine kui taimestamata filtril.

P sisalduse erinevust erinevatel sügavustel kuivas vannis ei suudetud tõestada. Uurimused on näidanud, et liiva ja dolomiidi täidisega vertikaalfiltri puhul on fosfori kontsentratsioon hoopis alumistes kihtides suurem kui ülemistes (Prochaska C. A., Zouboulis A. I., 2006). Selle põhjus võib olla ka vee ebaühtlane jaotus filtermaterjalile, mistõttu pealmisse kihti jäävad “surnud tsoonid”.

5.4.3. Märja vanni lämmastiku, fosfori ja süsiniku keskmiste sisalduste võrdlus filtermaterjalis sügavuste kaupa

Sarnaselt kuiva vanniga jagati ka märg vann erinevateks sügavuskihtideks ja võrreldi N, P ning C sisaldust nende kihtide vahel. Keskmiste mitmesel võrdlemisel kasutati Duncani testi.

Tabelis 2 on toodud N, P ja C aastate 1997-2005 keskmised kontsentratsioonid. Siin on sarnaselt kuiva vanni tulemustele N ja C pindmise kihi puhul erinevus kahest alumisest kihist, alumised kihid moodustavad ühtse homogeense grupi (vt lisad 4 ja 5). P puhul statistiliselt olulised erinevused ($p < 0,05$) puuduvad.

Tabel 2. N, P ja C kontsentratsioonid märja vanni erinevates kihtides

Sügavuskiht	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
0-10 cm	239,9 ± 204,8	89,6 ± 68,4	4,3 ± 2,3
30-40 cm	103,5 ± 54,4	83,2 ± 56,1	2,5 ± 0,9
60-70 cm	98,5 ± 50,6	87,4 ± 57,2	2,5 ± 1,0

Kuiva ja märja vanni tulemuste võrdlemisel nähtub, et vannidesisesed struktuurid sügavuskihti olid vannides tervikuna sarnased, tulemusi mõjutasid tõenäoliselt sarnased protsessid (pealmise kihi N ja C suurem sisaldus oli ilmselt põhjustatud huumuskihi tekkimisest).

5.4.4. Kuiva ja märja vanni sügavuskihtide omavaheline võrdus

Selles punktis võrdlesin omavahel kuiva ja märja vanni sarnase ruumilise positsiooniga sügavuskihte. Võrdluse tulemusena selgus, et fosfori sisalduse suhtes sarnaste sügavuskihtide vahel oluliselt erinevusi polnud, oluliselt erinesid vaid kuiva vanni keskmine kiht (P sisaldus väiksem – $67,95 \pm 49$ mg/kg) ja märja vanni ülemine kiht (P sisaldus $83,37 \pm 63,31$ mg/kg).

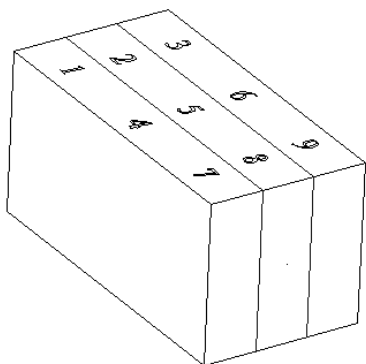
Nii lämmastiku kui ka süsiniku suhtes oli sarnaselt kuiva vanni ülemise kihi N ja C sisaldus oluliselt suurem märja vanni ülemise kihi väärtustest; N puhul vastavalt 305,7

$\pm 267,9$ ja $239,9 \pm 204,8$ mg/kg ning C puhul $5,0 \pm 2,5$ ja $4,3 \pm 2,3$ g/kg (vt ka lisasid 6 ja 7).

5.4.5. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni ridade vahel

Siinkohal on toodud võrdlus piki vanni (ehk siis vee voolamise suunaga risti) ridade vahel akumulatsioon N, P ja C sisalduste vahel, nagu näidatud joonisel 7. Ridasid nimetati neil asetsevate proovivõtukohtade järgi rida 147, rida 258 ja rida 369.

Keskmise mitmese võrdlemise analüüsi tehti Duncan'i testiga.



Joonis 7. Kuiva vanni jaotamine ridadeks suunaga piki vanni

Lämmastiku ega süsiniku puhul ei leitud ridade vahel olulisi erinevusi. Tanner et al (1998) leidis, et orgaanilise süsiniku akumulatsioon väheneb piki veevoolu suuna gradienti, kuid selles võrdluses seda ei ilmnenud. N, P ja C keskmised väärtused on toodud tabelis 3. Duncan'i testist selgus, et kollektortoru poolse rea 369 fosfori sisalduse keskmised väärtused erinevad nii sissevoolutoru poolse rea kui ka keskmise rea väärtustest oluliselt (vt lisa 8).

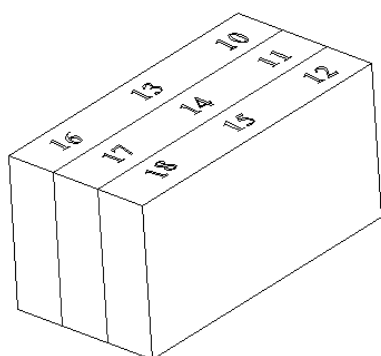
Tabel 3. N, P ja C kontsentratsioonid kuiva vanni ridades piki vanni

Rida	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
147	177,0 ± 212,4	89,3 ± 59,1	3,5 ± 2,3
258	175,4 ± 193,1	78,7 ± 56,7	3,5 ± 2,1
369	141,2 ± 158,9	56,8 ± 40,2	3,1 ± 1,9

See on ka mõistetav, kuna enamuse P sidumisest toimub sorptsiooni teel (Mander et al, 2001), siis filtrisse sisenemisel on P kontsentratsioon vees suurem, kui vesi liigub filtris edasi, siis on ta järjest puhastatum. Drizo et al (2000) leidis, et fosfaadi kontsentratsioon vähenes eksponentsiaalselt sissevoolust väljavoolu suunas.

5.4.6. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni ridade vahel

Sarnaselt kuiva vanniga on ka siin toodud võrdlus piki vanni (ehk siis vee voolamise suunaga risti) ridade vahel akumulunud N, P ja C sisalduste vahel, nagu näidatud joonisel 8. Ridasi nimetati neil asetsevate proovivõtukohtade järgi rida 101316, rida 111417 ja rida 121518. Keskliste mitmene võrdlemine viidi läbi Duncan'i testiga.



Joonis 8. Märja vanni jaotamine ridadeks suunaga piki vanni

Süsiniku sisalduse suhtes ei ole ridade vahel erinevusi, küll aga lämmastiku ja fosfori suhtes (vt lisad 9 ja 10). N keskmine väärtus reas 121518 on oluliselt kõrgem teiste

ridade väärtustest. Veel selgem kontsentratsioonigradient on fosfori suhtes, kus kõik read on erinevad ja kontsentratsioon on suurem sissevoolutoru pool. N, P ja C keskmised kontsentratsioonid märja vanni ridades on toodud tabelis 4.

Tabel 4. N, P ja C kontsentratsioonid märja vanni ridades piki vanni

Rida	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
101316	130,1 ± 106,5	57,3 ± 35,4	3,1 ± 1,9
111417	123,0 ± 110,7	80,2 ± 51,0	2,8 ± 1,4
121518	188,8 ± 185,1	122,7 ± 71,0	3,4 ± 2,0

Kuna fosfori peamine ringlusest eemaldamise viis on antud juhul sorptsioon, erinevalt süsinikust ja lämmastikust, näitab fosfori gradient filtermaterjalis peamist reovee liikumise teed filtris või siis koormuse taset reoveega varustamisel. Käesoleval juhul näitab see seda, et vesi on liikunud oodatult sissevoolutoru poolt väljavoolutoru suunas.

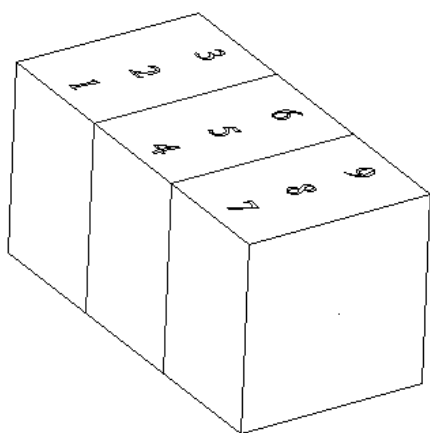
5.4.7. Kuiva ja märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni ridade vahel

Selles punktis võrreldi omavahel kuiva ja märja vanni ridasid, mis olid sarnase ruumilise asukohaga sisse- ja väljavoolutoru suhtes (vt lisad 11-13).

Lämmastiku suhtes pole sarnase asukohaga ridade vahel olulisi erinevusi, süsiniku sisalduse puhul erinevad keskmiste ridade omavahelised tulemused (kuiva vanni rea 258 süsiniku sisaldus on oluliselt suurem märja vanni rea 111417 samast näitajast). Fosfori puhul erineb märja vanni sissevoolutoru poolne rida (121518) oluliselt kuiva vanni sama ruumilise asetusega reast (147), P kontsentratsioonid vastavalt 122,7 ± 71,0 ja 89,3 ± 59,1 mg/kg.

5.4.8. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus risti vanni ridade vahel

Selles punktis on toodud võrdlus risti vanni (ehk vee voolamise suunas, kuna vett antakse vannidele külgedelt) ridade vahel akumulunud N, P ja C sisalduste vahel, nagu näidatud joonisel 9. Ridasi nimetati neil asetsevate proovivõtukohtade järgi rida 123, rida 456 ja rida 789.



Joonis 9. Kuiva vanni jaotamine ridadeks suunaga vanniga risti

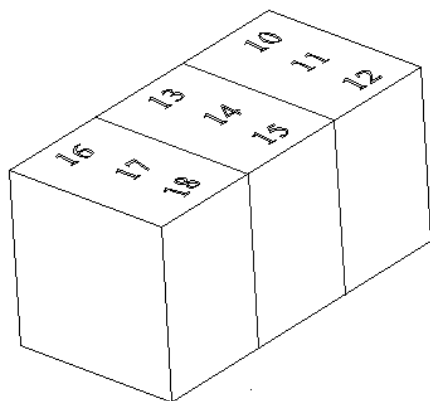
Duncani testist oli näha, et nii lämmastiku, süsiniku kui ka fosfori puhul on ridade 123 ja 789 keskmiste filtermaterjali akumulunud väärtuste vahel olulised erinevused (vt lisad 14-169. On näha selge kontsentratsiooni gradient kõigi kolme elemendi puhul. Fosfori puhul on keskmiste erinevus isegi 2,5 kordne. See on huvitav, kuna selliste märgalapuhastite projekteerimisel võiks eeldada, et kui jaotada filterpeenar ridadeks nii, nagu siin tehti, on kõikide ridade tulemused ühesugused. N, P ja C kontsentratsioonide keskmised väärtused on toodud tabelis 5.

Tabel 5. N, P ja C kontsentratsioonid kuiva vanni ridades risti vanniga

Rida	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
123	117 ± 141,1	41,8 ± 29,1	2,9 ± 1,5
456	169,4 ± 167,0	77,8 ± 43,7	3,2 ± 1,8
789	207,2 ± 237,8	105,1 ± 63,9	4,0 ± 2,7

5.4.9. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus risti vanni ridade vahel

Märja vanni andmetele tuginedes tehti sarnane võrdlus kuiva vanni analüüsiga. Ridade paiknemine on näidatud joonisel 10.



Joonis 10. Märja vanni jaotamine ridadeks suunaga vanniga risti

Lämmastiku ega süsiniku osas ei olnud erinevate ridade vahel olulisi erinevusi, kuid fosfori puhul tuli Duncani testi puhul oluline erinevus sisse (vt lisa 17). Selle testi järgi oli rea 101112 P sisaldus oluliselt suurem rea 131415 P sisaldusest, mis annab meile infot reovee koormatuse mustrist.

Tulemus annab alust siiski oletada, et märja vanni puhul on koormuse jaotumine ühtlasem kui kuiva vanni puhul. N, P ja C keskmised kontsentratsioonid ridade kaupa risti vanni on toodud tabelis 6.

Tabel 6. N, P ja C kontsentratsioonid märja vanni ridades risti vanniga

Rida	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
101112	148,8 ± 114,7	94,4 ± 59,5	3,1 ± 1,5
131415	130,8 ± 117,9	74,3 ± 58,5	3,1 ± 1,9
161718	162,3 ± 181,4	91,5 ± 62,5	3,1 ± 1,9

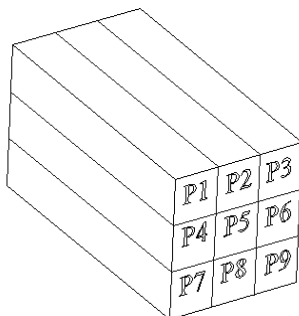
5.4.10. Kuiva ja märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus risti vanni ridade vahel

Siinkohal analüüsitakse kuiva ja märja vanni sarnaste ridade N, P ja C keskmiste väärtuste statistiliselt olulisi erinevusi, kasutades taas Duncani testi.

Test näitas, et rida 789 on saanud suurema koormuse (nii lämmastiku, süsiniku kui ka fosfori keskmise sisalduse suhtes kõige suurema kontsentratsiooniga), teine äärmus on kuiva vanni rida 123, mis on kõigi näitajate poolest kõige madalama väärtusega (vt ka lisad 18-20). Statistiliselt oluliselt erinevad väärtused erinevate vannide sarnase asukohaga ridade vahel olid P puhul: rida 123 P sisaldus oli väiksem kui rea 101112 puhul ning rea 789 C sisaldus oli kõrgem rea 161718 omast.

5.4.11. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni punktide vahel

Edasi vaadeldi vannide ruumilist struktuuri detailsemalt ning omavahel võrreldi “punkte”, nagu on näidatud joonisel 11. Tähistustel P1 kuni P9 tähistab “P” “pikivaadet”. Numbritega tähistatud külg on vanni väljavoolukaevu poolne ots ehk siis sissevoolutoru asupaik on vasakul üleval (punkti P1 pikema välisserva juures) ja väljavoolutoru asub all paremal (punkti P9 pikema välisserva juures).



Joonis 11. Kuiva vanni jaotamine punktideks piki vanni

N, P ja C keskmised väärtused on toodud tabelis 7.

Punkte võrreldi omavahel Duncani testi abil (vt lisad 21-23).

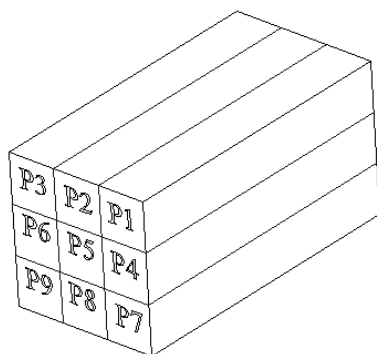
On näha, et N ja C puhul on oluliselt erinevad (suuremad) nende punktide väärtused, mis kuuluvad pindmisse kihti (Punktid P1, P2 ja P3) ülejäänud punktidel pole olulisi erinevusi. Fosfori puhul näeme taas gradienti, millel on suurem väärtus sissevoolutoru juures.

Tabel 7. N, P ja C keskmised väärtused kuiva vanni punktides P1 kuni P9

Punkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
P1	344 ± 298,5	100,5 ± 73,8	5,4 ± 2,8
P2	312,2 ± 278,8	93,0 ± 67,4	5,1 ± 2,6
P3	260,8 ± 224,2	62,1 ± 42,9	4,6 ± 2,2
P4	100,8 ± 69,0	82,9 ± 52,8	2,5 ± 1,2
P5	112,0 ± 68,4	69,4 ± 50,3	2,8 ± 1,3
P6	73,8 ± 42,1	51,5 ± 37,1	2,3 ± 1,2
P7	86,2 ± 37,7	84,3 ± 48,1	2,5 ± 0,7
P8	102,0 ± 55,7	73,6 ± 49,8	2,7 ± 1,2
P9	89,0 ± 56,4	56,9 ± 41,2	2,5 ± 1,1

5.4.12. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus piki vanni punktide vahel

Märja vanni puhul on see jaotatud kuiva vanniga sarnaselt samal moel punktideks, vaadetega piki vanni sissevoolukaevu suunas. Punktide tähistused on pandud selliselt, et need peegeldaksid kuiva vanni tähistusi vannidevahelise pikitelje suhtes (vt joonised 11 ja 12).



Joonis 12. Märja vanni jaotamine punktideks pikivaadetena

N, P ja C keskmised väärtused on toodud tabelis 8.

Tabel 8. N, P ja C keskmised väärtused märja vanni punktides P1 kuni P9

Punkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
P1	312,7 ± 273,8	138,1 ± 82,3	4,9 ± 2,7
P2	211,1 ± 153,3	79,1 ± 49,8	3,9 ± 1,5
P3	195,8 ± 149,0	51,5 ± 32,9	4,3 ± 2,5
P4	124,1 ± 52,7	114,9 ± 63,8	2,5 ± 0,8
P5	81,7 ± 32,9	78,1 ± 52,2	2,4 ± 0,9
P6	104,8 ± 65,5	56,5 ± 32,7	2,5 ± 1,1
P7	129,6 ± 61,1	115,1 ± 65,4	2,7 ± 0,9
P8	76,0 ± 31,7	83,3 ± 52,7	2,3 ± 1,0
P9	89,8 ± 39,4	63,8 ± 40,2	2,5 ± 1,0

Märja vanni keskmiste N, P ja C väärtuste võrdlused tehti Duncani testi abil. Sellest oli näha, et ka siin toimib loogiline gradient sissevoolutoru suunast eemale ja seda nii lämmastiku, süsiniku kui ka fosfori suhtes (vt lisad 24-26).

5.4.13. Kuiva ja märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus pikivaadetena punktide vahel

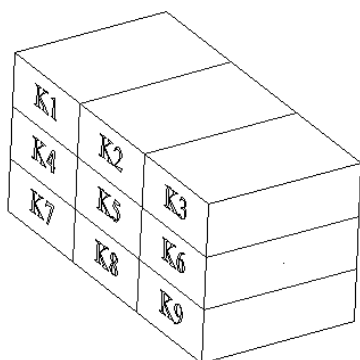
Siinkohal on võrreldud Duncani testi abil sarnase ruumilise positsiooniga punkte kuivas ja märjas vannis (vt lisad 27-29). Eeldatavalt peaks vastavad tulemused olema suhteliselt sarnased.

Ainuke oluline erinevus lämmastiku ja süsiniku suhtes oli punktis P2, kus kuivas vannis oli N ja C kontsentratsioon kõrgem kui märja vanni sarnase asukohaga punktis. Tulemus on kooskõlas sügavuskihtide võrdlusega, kus N ja C sisaldus kuiva vanni ülemises kihis oli suurem märja vanni ülemisest kihist.

Fosfori puhul oli märja vanni punkt P1 suurema kontsentratsiooniga kuiva vanni punktist P1.

5.4.14. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus punktide vahel vanniga risti

Joonisel 13 on näidatud võrreldavate punktide paigutus. Vee sissevoolutoru asub piki K1, K2 ja K3 vasakut ülemist (lühemat) serva. “K” tähistab siin “külgvaadet” ehk vaadet vanniga risti.



Joonis 13. Kuiva vanni jaotamine punktideks risti vanni

Duncani testi tulemustest (vt lisad 30-32) on näha, et kõige suurema koormuse on saanud punkt K3, kuna nii N, P kui ka C sisaldus on seal oluliselt suurem teiste punktide väärtustest. Süsiniku ja lämmastiku puhul on järgmised suuremad väärtused ülemise kihi järelejäänud kahes punktis (omavaheline korrelatsioon oli N ja C vahel statistiliselt oluline ja tugevalt positiivne). P puhul aga on näha, et kõige sissevoolukaevu poolsem rida, ehk punktid K1, K4 ja K7 on saanud oluliselt väiksema koormuse, võrreldes teiste punktidega. N, P ja C keskmised kontsentratsioonid kuiva vanni punktides K1 kuni K9 on toodud tabelis 9.

Tabel 9. N, P ja C keskmised väärtused kuiva vanni punktides K1 kuni K9

Punkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
K1	219,3 ± 205,6	44,1 ± 30,4	4,3 ± 1,8
K2	298,2 ± 235,5	88,0 ± 49,8	4,7 ± 2,2
K3	399,6 ± 325,7	123,4 ± 77,5	6,0 ± 3,2
K4	62,7 ± 40,5	35,9 ± 23,8	2,3 ± 0,8
K5	104,9 ± 46,9	72,2 ± 42,6	2,4 ± 0,9
K6	119,0 ± 19,9	95,7 ± 54,2	3,0 ± 1,7
K7	69,0 ± 32,3	45,4 ± 32,7	2,2 ± 0,5
K8	105,2 ± 47,7	73,3 ± 37,6	2,5 ± 0,9
K9	102,9 ± 60,7	96,2 ± 55,4	2,8 ± 1,4

Kadlec & Knight (1996) annab teada, et kui horisontaalvoolulises vannis antakse vett vanni ühest punktallikast, mis asub vanni külje keskel piki laiust, siis tekivad vanni nurkadesse nn “surnud tsoonid”, kus vee voolukiirus on väiksem ja osa filtervanni potentsiaalset jääb kasutamata.

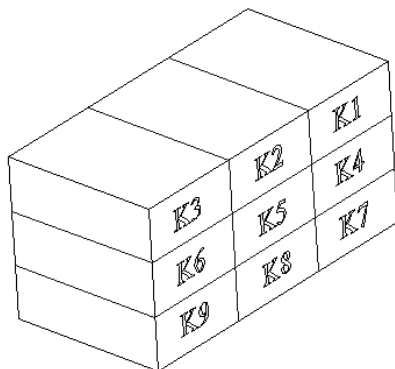
Väikeste pikkuse/laiuse suhete korral võib see funktsionaalselt kaduma läinud pind moodustada peenrast märkimisväärse osa. Kuna Kodijärve horisontaalses pinnasfiltris juhitakse vanni vett külgedelt, siis sellest aspektist vaadatuna on oma olemuselt selle laius (25 m) suurem kui pikkus (6,25 m), seega pikkuse/laiuse suhe on $6,25/25=0,25$.

Kodijärve horisontaalfiltrit ei koormata ühest punktallikast, vaid vett juhitakse sinna küljel asuva perforeeritud toru kaudu. Kirjeldatud mehhanism võib aga hakata toimima, kui mingil põhjusel on teatud perforeeritud toru osa või osade vee läbilase takistatud kas siis ummistuse või toru asendi tõttu.

Keskmete võrdlemise tulemustele tuginedes on alust arvata, et just nii on Kodijärve horisontaalfiltri kuivas vannis juhtunud.

5.4.15. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus punktide vahel vanniga risti

Joonisel 14 on näidatud märja vanni sisesel punktide analüüsil punktide ruumiline asetus. Tähisted on sarnaselt kuiva vanniga, positsioon on neil kuiva vanniga peegelpildis vannide vahelise mõttelise pikitelje suhtes.



Joonis 14. Märja vanni jaotamine punktideks risti vanni

Tabelis 10 on toodud N, P ja C keskmised kontsentratsioonid märja vanni punktides K1 kuni K9.

Tabel 10. N, P ja C keskmised väärtused märja vanni punktides K1 kuni K9

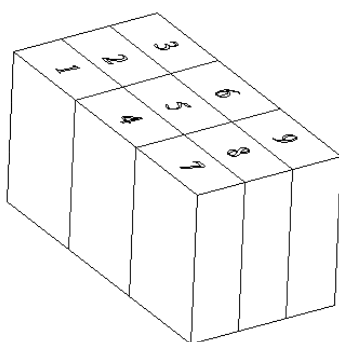
Punkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
K1	233,9 ± 156,1	89,1 ± 61,8	4,2 ± 1,7
K2	214,7 ± 164,8	72,2 ± 59,5	4,5 ± 2,6
K3	271,1 ± 275,3	107,4 ± 80,0	4,4 ± 2,7
K4	111,6 ± 58,3	93,1 ± 57,4	2,6 ± 1,1
K5	88,7 ± 42,2	73,8 ± 60,7	2,3 ± 0,9
K6	110,3 ± 59,8	82,7 ± 49,9	2,5 ± 0,9
K7	101,0 ± 37,4	101,0 ± 61,0	2,6 ± 1,0
K8	88,9 ± 53,5	76,9 ± 57,3	2,5 ± 1,0
K9	105,6 ± 59,0	84,3 ± 52,4	2,4 ± 1,0

Statistilisel analüüsil (Duncani test) selgus, et sel viisil punktide võrdlemine näitab ainult süsiniku ja lämmastiku kontsentratsiooni suuremat väärtust pindmises kihis (vt lisad 33-35). Fosfori sisalduse suhtes olulisi erinevusi pole, mis annab alust arvata, et

veehulgad on aastate lõikes siin ühtlasemalt jagunenud kui kuivas vannis. Punktide K2, K5 ja K8 keskmised väärtused näitavad, et märja vanni keskel on väiksemad lämmastiku ja fosfori kontsentratsioonid kui ääres.

5.4.16. Kuiva vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus proovivõtukohtade kaupa

Joonisel 15 on näidatud kuiva vanni jagamine punktideks proovivõtukohtade järgi. Nende punktide tähised on sellised, nagu kõikides varasemates töödes on neid nimetatud – punktid 1 kuni 9.



Joonis 15. Kuiva vanni jaotamine punktideks proovivõtukohtade kaupa

Tabelis 11 on toodud keskmiste N, P ja C väärtused proovivõtukohtade kaupa.

Tabel 11. N, P ja C keskmised väärtused kuiva vanni punktides 1 kuni 9

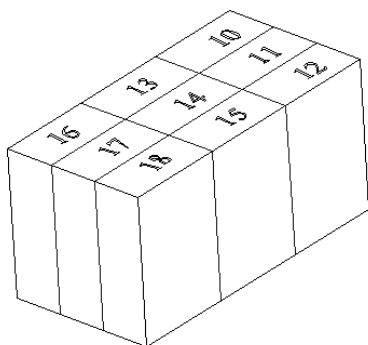
Punkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
1	124,4 ± 154,2	57,6 ± 37,1	3,0 ± 1,6
2	114,3 ± 118,8	36,6 ± 22,2	3,1 ± 1,4
3	112,3 ± 152,5	31,2 ± 18,4	2,7 ± 1,6
4	174,2 ± 178,2	95,1 ± 51,3	3,2 ± 1,9
5	182,9 ± 167,2	84,9 ± 38,6	3,4 ± 1,9
6	151,2 ± 159,8	53,5 ± 27,7	3,1 ± 1,6
7	232,4 ± 277,9	115,0 ± 70,6	4,2 ± 3,0
8	229,0 ± 256,4	114,4 ± 68,5	4,1 ± 2,7
9	160,0 ± 165,9	85,9 ± 47,9	3,6 ± 2,3

Duncani testi tulemustest nähtub, et sellest suunas vaadates on koormus suurem olnud punkti 7 läheduses, sissevoolukaevu poolses otsas (punktid 1, 2 ja 3) on aga selgelt näha väiksema koormuse ja seega ka väiksemate N, P, C kontsentratsioonide jälgi (vt lisad 36-38).

Kui võrreldi aastate keskmisi veetasemeid kuiva vanni piesomeetrites (pinnaseproovid võeti sama numbrit kandvate piesomeetrite vahetust lähedusest), siis kinnitas see eelnevalt saadud tulemusi. Punktides 1 ja 3 oli veetase oluliselt madalam (keskmised väärtused vastavalt $47,6 \pm 5,7$ ja $46,7 \pm 6,0$ cm allpool filterpeenra pinda) kui punktis 7 ($29,3 \pm 5,0$ cm allpool filterpeenra pinda).

5.4.17. Märja vanni lämmastiku, süsiniku ja fosfori sisalduse võrdlus proovivõtukohtade kaupa

Joonisel 16 on näidatud kuiva vanni jagamine punktideks proovivõtukohtade järgi. Nende punktide tähised on sellised, nagu kõikides varasemates töödes on neid nimetatud – punktid 10 kuni 18.



Joonis 16. Märja vanni jaotamine punktideks proovivõtukohtade kaupa

Nende punktide keskmised N, P ja C väärtused on toodud tabelis 12.

Tabel 12. N, P ja C keskmised väärtused märja vanni punktides 10 kuni 18

Punkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
10	$147,6 \pm 103,3$	$59,4 \pm 32,5$	$3,2 \pm 1,5$
11	$132,8 \pm 97,4$	$93,6 \pm 51,2$	$3,1 \pm 1,3$
12	$166,1 \pm 140,5$	$130,1 \pm 68,0$	$3,1 \pm 1,7$
13	$124,7 \pm 103,7$	$44,6 \pm 30,6$	$3,4 \pm 2,5$
14	$112,6 \pm 120,8$	$51,9 \pm 33,8$	$2,7 \pm 1,5$
15	$155,1 \pm 128,2$	$126,4 \pm 64,8$	$3,3 \pm 1,6$
16	$118,1 \pm 113,7$	$67,8 \pm 39,7$	$2,8 \pm 1,4$
17	$123,6 \pm 116,0$	$95,0 \pm 54,6$	$2,7 \pm 1,4$
18	$245,3 \pm 253,3$	$111,6 \pm 80,4$	$3,7 \pm 2,6$

Duncani testi tulemustest (vt lisad 39-41) on näha, et N puhul on ainult punktis 18 keskmine sisaldus oluliselt suurem vanni teistest punktidest, süsiniku puhul erinevusi ei suudetud tõestada. Fosfori keskmised sisaldused, mis sõltuvad rohkem vee liikumise mustrist, kuna enamuse P eemaldamist toimub sorptsiooni teel, näitavad jällegi suuremat muutlikkust. Sissevoolutoru poolse otsas on P sisaldus suurem, nagu ridade võrdlusegi puhul näha oli, kuid siin on märgata ka ühe “saarekese” tekkimist punktis 14, kus on keset vanni võrreldes kõrval asetsevate eeldatavalt sarnaste koormustingimustega punktidega oluliselt väiksem fosfori sisaldus. Samas võib öelda, et ka lämmastiku ja süsiniku kontsentratsioonid olid punktis 14 kõige väiksemad, kuigi erinevust teiste punktidega ei saanud 95% kindlusega tõestada.

Märjas vannis ei leitud statistiliselt olulisi erinevusi veetasemete vahel erinevates punktides.

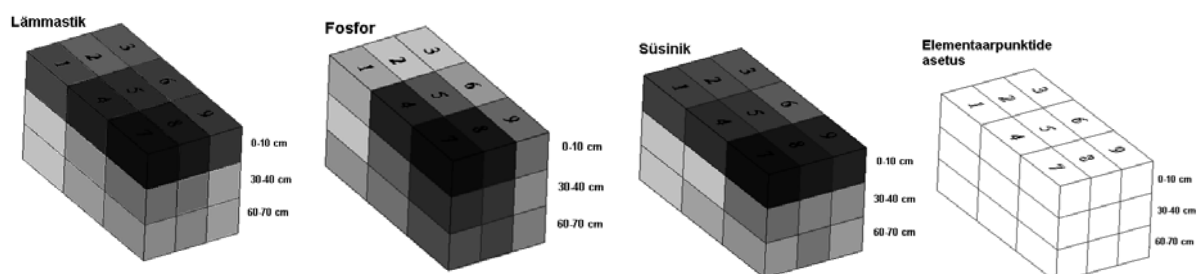
5.4.18. Lämmastiku, süsiniku ja fosfori keskmiste sisalduste võrdlemine kuiva vanni kõikide elementaarpunktide vahel

Kõige väiksemale ruumilisele mõõtkavale minnes uuriti elementaarpunktide kaupa N, P ja C kontsentratsioonide erinevusi kuivas vannis. Elementaarpunktid tähistati proovivõtukohta ja sügavusega. Elementaarpunkt 1_10 tähistab proovivõtu kohta 1 sügavust 0-10 cm jne.

N, P ja C kontsentratsioonide keskmised tulemused on toodud tabelis 13. Joonis 14 on illustreeriv ja näitab tumedamate toonidega suurema kontsentratsiooniga elementaarpunkte ja heledamaga väiksema kontsentratsiooniga punkte. Värvid on pandud järjestuse alusel, mitte olulisuse või väärtuse järgi.

Tabel 13. N, P ja C keskmised väärtused kuiva vanni elementaarpunktides 1_10 kuni 9_60

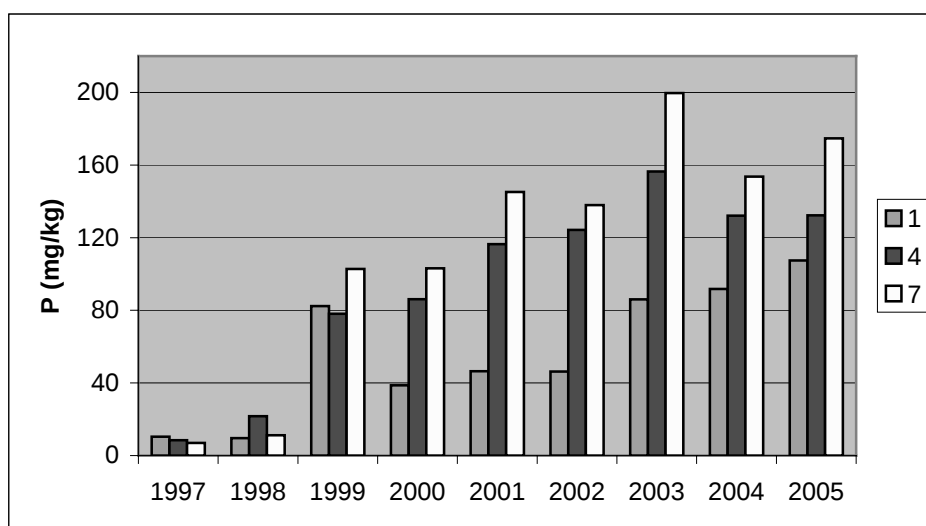
Elementaarpunkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
1_10	246,8 ± 221,2	55,7 ± 39,0	4,5 ± 1,9
1_30	61,2 ± 42,2	52,1 ± 32,4	2,3 ± 0,8
1_60	65,1 ± 36,4	65,2 ± 42,3	2,2 ± 0,5
2_10	190,4 ± 182,0	40,5 ± 27,7	4,2 ± 1,7
2_30	76,6 ± 46,9	30,0 ± 14,3	2,6 ± 0,9
2_60	76,0 ± 27,3	39,4 ± 23,5	2,4 ± 0,7
3_10	220,6 ± 231,3	36,3 ± 21,8	4,2 ± 2,0
3_30	50,3 ± 30,8	25,7 ± 11,7	1,9 ± 0,5
3_60	66,0 ± 35,2	31,5 ± 20,7	2,1 ± 0,5
4_10	330,6 ± 245,7	105,7 ± 60,1	5,1 ± 2,2
4_30	98,4 ± 29,2	93,0 ± 53,6	2,0 ± 0,4
4_60	93,6 ± 26,6	86,6 ± 43,1	2,4 ± 0,6
5_10	310,6 ± 240,4	100,3 ± 44,0	4,9 ± 2,4
5_30	129,0 ± 58,0	75,2 ± 35,3	2,8 ± 1,2
5_60	109,0 ± 44,2	79,3 ± 35,5	2,5 ± 0,7
6_10	253,4 ± 242,0	58,1 ± 31,4	4,2 ± 2,0
6_30	87,2 ± 43,5	48,4 ± 25,3	2,3 ± 0,7
6_60	113,0 ± 67,1	53,9 ± 28,5	2,7 ± 1,2
7_10	454,7 ± 394,6	140,1 ± 92,2	6,6 ± 3,8
7_30	142,8 ± 95,3	103,7 ± 58,8	3,2 ± 1,8
7_60	99,9 ± 42,6	101,2 ± 56,1	2,7 ± 0,9
8_10	435,7 ± 357,6	138,2 ± 81,2	6,1 ± 3,2
8_30	130,4 ± 86,6	103,0 ± 60,9	3,0 ± 1,8
8_60	121,0 ± 78,5	102,0 ± 63,2	3,2 ± 1,9
9_10	308,4 ± 216,7	92,0 ± 52,5	5,4 ± 2,6
9_30	83,8 ± 44,6	80,4 ± 44,6	2,7 ± 1,8
9_60	87,9 ± 57,9	85,3 ± 51,3	2,6 ± 1,3



Joonis 17. Kuivas vannis oleva lämmastiku, fosfori ja süsiniku aastate 1997-2005 keskmiste kontsentratsioonide erinevat jaotumist illustreeriv joonis

Kõige selgemalt on fosfori kontsentratsioonidest näha, et suurem koormus on langenud punkti 7 piirkonda ning reovee jaotumine kuivas vannis pole olnud ühtlane. Sama tulemus ilmneb Duncan testi korral, (vt lisad 42-44). Süsiniku ja lämmastiku puhul on näha ka eelnevalt töös saadud tulemus sügavuskihtide kohta, et pealmises kihis on N ja C kontsentratsioon suurem alumiste kihtide vastavatest väärtustest; samas on ka nende puhul märgata tendents, et koormus punkti 7 piirkonnas on suurem olnud, kuigi see statistiliselt oluliselt Duncan testi puhul välja ei tulnud.

Joonisel 18 on toodud kuiva vanni sarnase asukohaga punktide (sissevoolutoru suhtes) 1, 4 ja 7 P kontsentratsioonide võrdlus aastate lõikes. Jooniselt on näha, et suur vahe P kontsentratsioonides tekkis 1999 ja 2001. aastal



Joonis 18. P kontsentratsiooni muutumine aastatel 1997-2005 punktides 1, 4 ja 7

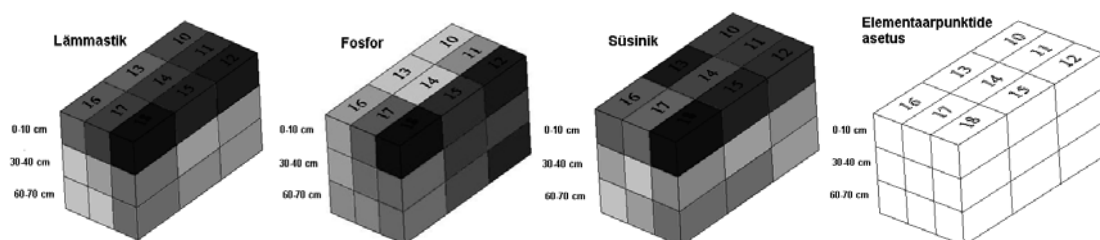
5.4.19. Lämmastiku, süsiniku ja fosfori keskmiste sisalduste võrdlemine märja vanni kõikide elementaarpunktide vahel

Sarnaselt kuivale vannile uuriti kõige väiksemale ruumilisele mõõtkavale minnes elementaarpunktide kaupa N, P ja C kontsentratsioonide erinevusi märjas vannis. Elementaarpunktid tähistati proovivõtukohta ja sügavusega. Punkt 11_10 tähistab proovivõtu koha 11 sügavust 0-10 cm jne.

N, P ja C keskmised kontsentratsioonid on toodud tabelis 14.

Tabel 14. N, P ja C keskmised väärtused märja vanni elementaarpunktides 10_10 kuni 18_60

Elementaarpunkt	N (mg/kg)	P (mg/kg)	C (g/kg)
10_10	200,6 ± 136,7	46,3 ± 28,9	4,0 ± 1,7
10_30	135,2 ± 91,7	58,7 ± 23,1	2,7 ± 1,2
10_60	106,9 ± 49,3	73,4 ± 40,7	2,8 ± 1,3
11_10	222,3 ± 126,4	88,3 ± 44,4	4,1 ± 1,1
11_30	93,3 ± 27,4	94,8 ± 57,8	2,7 ± 1,0
11_60	82,7 ± 22,1	97,8 ± 56,2	2,5 ± 1,1
12_10	278,8 ± 202,2	132,7 ± 73,5	4,5 ± 2,2
12_30	106,2 ± 28,7	125,8 ± 65,6	2,6 ± 1,1
12_60	113,4 ± 32,1	131,9 ± 72,9	2,3 ± 0,7
13_10	191,3 ± 153,5	40,4 ± 24,8	5,1 ± 3,6
13_30	96,6 ± 54,9	46,1 ± 36,4	2,6 ± 1,2
13_60	86,3 ± 29,2	47,4 ± 32,6	2,6 ± 1,0
14_10	209,2 ± 172,3	45,2 ± 28,4	3,9 ± 1,8
14_30	66,2 ± 26,0	48,7 ± 31,3	2,0 ± 0,6
14_60	62,2 ± 35,3	61,7 ± 42,0	2,1 ± 0,9
15_10	243,7 ± 182,7	131,1 ± 64,9	4,5 ± 2,0
15_30	103,4 ± 34,7	126,6 ± 70,6	2,3 ± 0,6
15_60	118,1 ± 73,8	121,5 ± 66,2	2,9 ± 1,0
16_10	195,5 ± 172,7	67,8 ± 40,0	3,9 ± 1,8
16_30	82,6 ± 29,2	64,9 ± 37,5	2,2 ± 0,8
16_60	76,2 ± 34,9	70,7 ± 45,7	2,2 ± 0,9
17_10	201,9 ± 174,6	103,9 ± 56,5	3,6 ± 1,7
17_30	85,6 ± 40,7	90,7 ± 55,4	2,4 ± 1,0
17_60	83,2 ± 34,8	90,3 ± 57,3	2,2 ± 1,0
18_10	415,8 ± 388,2	150,5 ± 110,2	5,7 ± 3,8
18_30	162,8 ± 66,8	92,4 ± 55,6	2,8 ± 0,8
18_60	157,2 ± 65,9	92,0 ± 56,9	2,8 ± 1,1

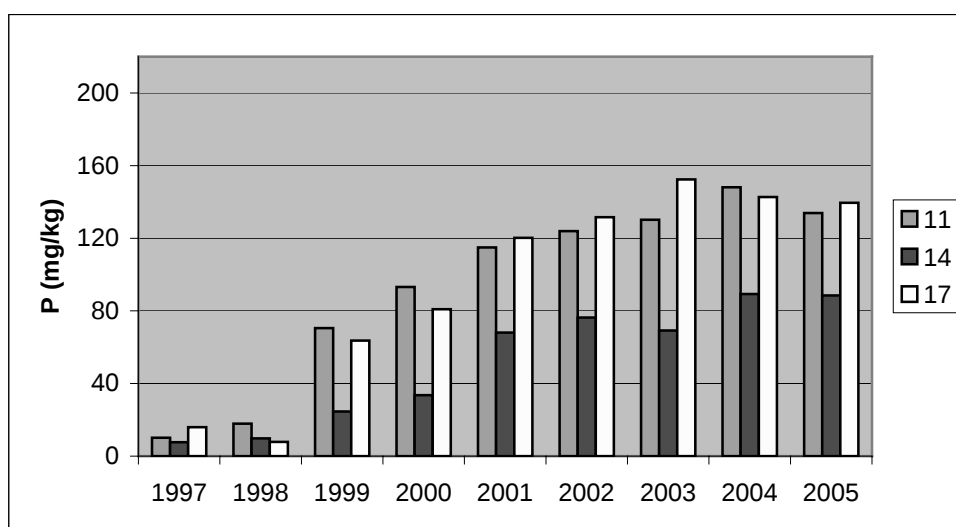


Joonis 19. Märjas vannis oleva lämmastiku, fosfori ja süsiniku aastate 1997-2005 keskmiste kontsentratsioonide erinevat jaotumist illustreeriv joonis

Joonisel on toodud kontsentratsioonide järjestus (kõige tumedama värviga on toodud vanni nähtava osa kõige suurem kontsentratsioon ja kõige heledamaga kõige väiksem kontsentratsioon).

Nii N, P kui ka C kontsentratsioonid on kõige suuremad punktis 18_10, mis võib tuleneda sellest, et kui vett pumbatakse, siis kõige rohkem jõuab seda toru lõppu, kust see siis välja pressitakse. Teine ilmne seos on punktiga 14, mis moodustab omaette “saare”, kus on väiksemad elementide kontsentratsioonid. Vesi liigub nähtavasti rohkem vanni ääri mööda kui keskelt (vt ka lisad 45-47).

Joonisel 20 on toodud sarnase asukohaga punktides (sissevoolutoru suhtes) 11, 14 ja 17 oleva P kontsentratsiooni muutumine aastatel 1997-2005. Sarnaselt kuiva vanniga on ka siin suur erinevus punktide vahel tekkinud 1999. aastal.



Joonis 20. P kontsentratsiooni muutumine aastatel 1997-2005 punktides 11, 14 ja 17

6. JÄRELDUSED

Kuigi kirjanduses leidus viiteid ruumilisele muutlikkusele horisontaalvoolulistest tehismärgalades (Kadlec & Knight, 1996; Suliman et al., 2003; King et al., 1997), ei õnnestunud autoril leida käesoleva tööga sarnaste analüüside tulemusi.

Kodijärve horisontaalvoolulist pinnasfiltrit on uuritud alates selle rajamisest 1996. aastal ja on jõutud järeldusele, et selle kasulik tööiga lõppes seoses filtermaterjali küllastumisega fosforiga. Käesolev töö vaatlleb fosfori ja ka lämmastiku ning süsiniku kontsentratsioonide erinevusi kuiva ja märja vanni vahel kui ka vannide sisemisi erinevusi väiksemate ruumiliste üksuste vahel. Töö tulemusena on selgunud, et fosfori kontsentratsioon kuiva vanni pinnases oli suurem kui märja vanni pinnases, kuid samas ka seda, et ei fosfori, lämmastiku ega süsiniku jaotumine vannides polnud ühtlane. Varasemates uurimustes on leitud, et mikrobioloogilised erinevused kuiva ja märja vanni vahel tervikuna leiti väiksemad olevat kui vannide sisesed erinevused (Nurk et al., 2003), mis toetab käesolevas töös saadud tulemusi.

Paljudel juhtudel on ebatäpsed teadmised vee liikumisest konstrueeritud märgalades viinud süsteemide ehitamiseni, mis üledimensioneeritud ja muutlikud oma puhastusefektiivsuse poolest. Järgitakse liialt olemasolevaid juhiseid, mis eiravad lühiühenduste olemasolu ja eeldavad ideaalset voolu, kus iga veeühiku viibeaeg süsteemis on sama. Puhastite ebarahuldav toimimine võib viia saastetasude kõrgendatud (10-kordse) maksumäärani (Keskkonnatasude seadus). On näidatud, et teoreetilise viibeajaga 10 tundi olevas süsteemis ilmusid esimesed märgid vee läbimurdest juba 44 minuti pärast (Suliman et al., 2003).

Kadlec & Knight (1996) viitavad, et horisontaalvooluliste pinnasfiltrite puhul võib täheldada kahte lähenemist: pikkuse/laiuse suhtega suuremad kui 2:1 ja väiksemad kui 1:1. Suurema suhtega lähenemise puhul tahetakse vältida lühiühendusi (vee üle- või ümbervoolusid), mis tihti toimuvad pinnavooluselt, mitte filtri sees; väiksema suhte lähenemine rõhub sellele, et on oluline suur kontaktpind sissevoolava veega horisontaalse voolamise alguses.

On näidatud *tracer*-uuringutega, et lühiühendused ehk ümbervoolud on horisontaalsetes pinnasfiltrires kaunis sagedased (Rash & Lierh, 1999). Käesoleva töö valguses tundub autorile, et ümbervoolud võivad toimuda ka töös kajastatud filtri sees, mis võib olla põhjustatud torustiku ebaühtlusest või ummistusest või filtermaterjali iseärasustest. Kui pole võimalik väga täpselt tagada vee ühtlane voolamine pinnasfiltrisse, siis autor soovib kasutada pikema pikkuse/laiuse suhtega horisontaalvoolulise pinnasfiltri tüüpi, kuna see vähendab riski, et sissevoolu juures tekiks suured surnud tsoonid.

Kui vaadeldakse ainult filtervanni tervikuna, siis selle puhastusefektiivsuse tulemuste põhjal või võrdluses teiste sarnaste süsteemidega võidakse ilma filtervanni sisemise ruumilise uurimise ja vee voolu arvestamata teha valesid järeldusi. Antud juhul näiteks leiti märjas vannis olevat akumulunud suurem hulk (suurem kontsentratsioon pinnases) fosforit. See ei pruugi tähendada märja vanni filtermaterjali paremat sidumisvõimet, vaid näiteks ka seda, et kuivas vannis on koormus ja veevool ebaühtlaselt jaotunud, mistõttu osa kasuliku vanni ruumala potentsiaalset jääb kasutamata. On selge, et koormuste ühtlasem jaotamine aitab suurendada pinnasfiltri kasulikku eluiga.

7. SOOVITUSED

- 1) Autor soovib horisontaalvooluliste pinnasfiltrite projekteerimisel ja ehitamisel, samuti materjalide valikul tähelepanelikult hoolitseda selle eest, et vooluhulgad jaguneksid võimalikult ühtlaselt.
- 2) Autori arvates tuleks eelistada suurema pikkuse/laiuse suhtega horisontaalvoolulisi filtervanne, kuna see vähendab ohtu suurte “surnud tsoonide” tekkimisel ka ebahäda sisesevoolu jaotumise korral. Oleks huvitav täpsemalt teada saada filtri pikkuse/laiuse suhte mõju puhastusefektiivsusele kõigi muude sarnaste tingimuste korral.
- 3) Olemasolevate horisontaalsete pinnasfiltrite puhastusefektiivsuse analüüsil peaks võimalusel uurima ka selle ruumilisi karakteristikuid, mis võib ebapiisava puhastusefektiivsuse korral aidata selgitada välja probleemi olemuse, mis omakorda võib viia probleemi lahendamiseni.

Kokkuvõte

Käesolevas töös uuriti Kodijärve horisontaalvoolulise pinnasfiltri näitel lämmastiku, fosfori ja süsiniku akumulereerumist filtermaterjali ning pinnasfiltris leiduvat asümmeetriat. Vaadeldi pinnasfiltri kuiva ja märja vanni erinevusi, mis olid tekkinud reovee puhastamise käigus ning vaadeldi lämmastiku, fosfori ja süsiniku kontsentratsiooni muutumist filtermaterjalis aja jooksul.

Oli näha, et süsiniku ja lämmastiku hulk (kontsentratsioon) tervikuna pinnasfiltri vannides suurenes, fosfori puhul aga oli näha küllastumist, mida graafikul näitas platoole jõudmine.

Töö käigus selgus, et kuigi fosfori puhul esines statistiliselt oluline erinevus kuiva ja märja vanni filtermaterjali akumulereerumise suhtes, oli suurem varieeruvus siiski vannide sisene. Leiti, et eriti just kuivas vannis toimus märkimisväärne koormuste erinev jaotumine vanni eri osade vahel. Sissevoolukaevu poolne osa sai tunduvalt väiksema koormuse osaliseks, mida näitavad oluliselt väiksemad lämmastiku, fosfori ja süsiniku kontsentratsioonid sealpoolses vanni osas. Märjas vannis nii suuri erinevusi ei esinenud, kuigi vanni keskel oli üks “saar”, kus elementide kontsentratsioonid olid tunduvalt väiksemad.

Tööst lähtuvalt esitab autor soovitusel, et sarnaste filterpeenarde projekteerimisel ja ehitamisel tuleb hoolikalt jälgida vee ühtlast jaotamist vannis, soovitatakse kasutada pigem suurema pikkuse/laiuse suhtega horisontaalvooluliste vannide lahendusi, mis võiks vähendada “surnud tsoonide” teket. Samuti on soovitatav olemasolevate süsteemide efektiivsuse kontrollimisel ja uurimisel viia läbi ka filterpeenra ruumilist analüüsi, kuna see aitab tuvastada möödavooludest tulenevaid efektiivsusprobleeme.

Accumulation and asymmetry of nitrogen, phosphorus and carbon in the filter material of a horizontal subsurface flow constructed wetland

Summary

The accumulation of nitrogen, phosphorus and carbon and asymmetry was studied in this paper in an example of Kodijärve constructed subsurface flow wetland. The differences between dry and wet filter bed, which came up during the purification of the sewage during nine years, were studied.

It was seen, that the amount of carbon and nitrogen in both beds increased in time, but phosphorus showed the signs of reaching the plateau.

It was found out, that although there was statistically significant difference of the content of the phosphorus between the dry and wet bed, the more important differences were found inside both beds, especially big differences were found inside dry bed. Closer to the inlet well got significantly lower load of sewage, including N, P and C; which can be seen because there are lower N, P and C concentrations in this side of the dry bed. In the wet bed there were not as big differences, although there was found an “island” in the middle of the wet bed, where the concentrations were remarkably lower compared with the other closer areas of the bed.

Some recommendations came out of the work: during design and building of horizontal subsurface flow wetland carefully must be observed the balanced load of the water. It is suggested to use the solutions with bigger length/width ratios; this could lower the risk of “dead zones”. It is also suggested to study spatial patterns of existing subsurface flow wetlands when controlling the performance of the wetland. This could show us, where the problems of the efficiency really are situated.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajat, prof. Ülo Manderit, kelle asjakohased märkused olid töö kirjutamisel märkimisväärselt abiks, Elar Põldveret, kelle magistritöö tulemusi on käesolevas töös kasutatud, aga ka Riho Otsa ja oma abikaasat Reet Alast, kes aitasid samuti töö valmimisele oluliselt kaasa. Lisaks avaldan tänu kõigile, kes ühel või teisel viisil minu magistritöösse oma panuse andsid.

Kasutatud kirjandus

- Alas, R. 2003. Fosfori immobilisatsioon bakteritesse tehismärgalades.
Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogia erialal, TÜ geograafia instituut, Tartu.
- Baatz, S. 2005. Phosphor- Retention in bepflanzten Bodenfiltern am Beispiel
Kodijärve (Estland). Magistratöö keskkonnatehnoloogia erialal, TÜ geograafia
instituut, Tartu; Universität Mannheim.
- Bastin, O., Janssens, F., Dufey, J., Peeters., A., 1999. Phosphorus removal by a
synthetic iron oxide–gypsum compound. Ecological Engineering, Volume 12,
Issues 3-4, February 1999, Pages 339-351.
- Bitton, G. 1994. Wastewater Microbiology, John Wiley & Sons, New York, 478 p.
- Drizo, C. A. Frost, J. Grace and K. A. Smith, 2000. Phosphate and ammonium
distribution in a pilot-scale constructed wetland with horizontal subsurface flow
using shale as a substrate. Water Research, Volume 34, Issue 9, 15 June 2000,
pp. 2483-2490
- Kadlec, R. H. & Knight, R. L. 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publishers, pp. 893.
- Kadlec, R. H., Tanner, C. C., Hally, V. M., Gibbs, M. M. 2005. Nitrogen spiraling in
subsurface-flow constructed wetlands: Implications for treatment response.
Ecological Engineering, Volume 25, Issue 4, 1 November 2005, Pages 365-381.
- Keskkonnatasude seadus. Vastu võetud 7.12.2005. a seadusega (RT I 2005, 67, 512),
jõustunud 1.01.2006. Muudetud järgmise seadusega (vastuvõtmise aeg,
avaldamine Riigi Teatajas, jõustumise aeg): 22.03.2006 (RT I 2006, 15, 120)
14.04.2006
- King, A. C., Mitchell, C. A., Howes, T., 1997. Hydraulic tracer studies in a pilot scale
subsurface flow constructed wetland. Water Science and Technology, Volume
35, Issue 5, Pages 189-196

- Kunst, S., Mudrack, K. 1988. Microbiological elimination of phosphorus. Special microbial processes. Biotechnology, 6b, ed. Rehm H.-J., VCH Verlag, Weinheim, pp 450-461.
- Kuusemets, V., Lõhmus, K., Mander, Ü. 2002. Nitrogen and phosphorus assimilation and biomass production by *Scirpus sylvaticus* and *Phragmites australis* in a horizontal subsurface flow constructed wetland. In: *Proc. 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Arusha, Tanzania, 16-19 Sept. 2002, Univ. Dar es Salaam, IWA, Vol. II, pp. 930-937.
- Mander, Ü., Kuusemets, V., Öövel, M., Mäuring, T., Ihme, R., Sevol P. & Pieterse, A. 2001. Wastewater purification efficiency in experimental treatment wetlands in Estonia. In: J. Vymazal (Ed.) *Nutrient Transformations in Natural and Constructed Wetlands*. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 201-224.
- Mander, Ü., Teiter, S., Kuusemets, V., Lõhmus, K., Öövel, M., Nurk, K. and Augustin, J. 2003. Nitrogen and phosphorus budgets in a subsurface flow wastewater treatment wetland. In: Brebbia, C.A. (Ed.) *Water Resources Management II*, WIT Press, Southampton, Boston, pp. 135-148.
- Noorvee A., 2003. Puhastusprotsessid Kodijärve vertikaalvoolulises pinnasfiltris. Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal, TÜ Geograafia instituut, Tartu.
- Nurk, K., Truu, J., Mander, Ü., 2003. Microbial characteristics and nitrogen transformation in a planted soil filter treating domestic wastewater. In: Mander, Ü., Vohla, C. and Poom, A. (Eds.) *Constructed and Riverine Wetlands for Optimal Control of Wastewater at Catchment Scale*, Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 94, pp. 297-301.
- Põldvere E., 2005. Kodijärve tehismärgalapuhasti efektiivsuse analüüs. Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal, TÜ Geograafia instituut, Tartu.
- Prochaska C. A., Zouboulis A. I., 2006. Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetlands using a mixture of sand and dolomite as substrate. *Ecological Engineering*, Volume 26, Issue 3, Pages 293-303.
- Rash, J. K., Liehr, S. K., 1999. Flow pattern analysis of constructed wetlands treating landfill leachate. *Water Science and Technology*, Volume 40, Issue 3, 1999, pp. 309-315

- Seo D. C., Cho J. S., Lee H. J., Heo J. S., 2005. Phosphorus retention capacity of filter media for estimating the longevity of constructed wetland. *Water Research*, Volume 39, Issue 11, Pages 2445-2457.
- Suliman, F. R. D., Haugen, L. E., Adam, K., Heistad, A., Jenssen, P. D., 2003. Preliminary studies of flow patterns in model subsurface flow constructed wetlands. In: Mander, Ü., Vohla, C. and Poom, A. (Eds.) *Constructed and Riverine Wetlands for Optimal Control of Wastewater at Catchment Scale*, Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 94, pp. 325-329.
- Tanner, C. C., Sukias J. P. S., Upsdell M. P., 1998. Organic matter accumulation during maturation of gravel-bed constructed wetlands treating farm dairy wastewaters. *Water Research*, Volume 32, Issue 10, Pages 3046-3054.
- Teiter, S. 2005. Emission rates of N₂O, N₂, CH₄ and CO₂ in riparian grey alder forests and subsurface constructed wetlands. Doctoral dissertation, University of Tartu, Institute of Geography.
- Vohla C., 2004. Alternatiivsed filtermaterjalid fosfori sidumiseks heitveepuhastustehismärgalades. Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal, TÜ Geograafia instituut, Tartu.
- Vymazal J., 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, Volume 25, Issue 5, 1 December 2005, Pages 478-490.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Haberl, R., Perfler, R & Laber, J. 1998. Removal mechanisms and types of constructed wetlands. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Green, M. D. & Haberl, R. (Eds.) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers: Leiden, pp 17-66.
- Xu D., Xu J., Wu J., Muhammad A., 2006. Studies on the phosphorus sorption capacity of substrates used in constructed wetland systems. *Chemosphere*, Volume 63, Issue 2, April 2006, Pages 344-352.

LISAD

- Lisa 1. P võrdlus kuiva ja märja vahel tervikuna
- Lisa 2. N keskmiste väärtuste erinevus kuivas vannis sügavuste kaupa
- Lisa 3. C keskmiste väärtuste erinevus kuivas vannis sügavuste kaupa
- Lisa 4. N keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis sügavuste kaupa
- Lisa 5. C keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis sügavuste kaupa
- Lisa 6. Sügavuskihtide võrdlus kuiva ja märja vanni vahel lämmastiku suhtes
- Lisa 7. Sügavuskihtide võrdlus kuiva ja märja vanni vahel süsiniku suhtes
- Lisa 8. P keskmiste väärtuste erinevus kuivas vannis ridade kaupa piki vanni
- Lisa 9. N keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis ridade kaupa piki vanni
- Lisa 10. P keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis ridade kaupa piki vanni
- Lisa 11. Lämmastiku sisalduse võrdlemine piki vanni olevates ridades kuiva ja märja vanni vahel
- Lisa 12. Fosfori sisalduse võrdlemine piki vanni olevates ridades kuiva ja märja vanni vahel
- Lisa 13. Süsiniku sisalduse võrdlemine piki vanni olevates ridades kuiva ja märja vanni vahel
- Lisa 14. Lämmastiku keskmise sisalduse võrdlemine kuivas vannis vanniga risti ridade vahel
- Lisa 15. Fosfori keskmise sisalduse võrdlemine kuivas vannis vanniga risti ridade vahel
- Lisa 16. Süsiniku keskmise sisalduse võrdlemine kuivas vannis vanniga risti ridade vahel
- Lisa 17. Fosfori sisalduse võrdlus märjas vannis vanniga risti olevate ridade vahel
- Lisa 18. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni vanniga risti olevate ridade vahel
- Lisa 19. Fosfori sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni vanniga risti olevate ridade vahel
- Lisa 20. Süsiniku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni vanniga risti olevate ridade vahel
- Lisa 21. Lämmastiku keskmiste väärtuste võrdlus kuivas vannis pikivaadetena punktide vahel
- Lisa 22. Fosfori keskmiste väärtuste võrdlus kuivas vannis pikivaadetena punktide vahel
- Lisa 23. Süsiniku keskmiste väärtuste võrdlus kuivas vannis pikivaadetena punktide vahel
- Lisa 24. Lämmastiku keskmiste väärtuste võrdlus märjas vannis pikivaadetena punktide vahel
- Lisa 25. Fosfori keskmiste väärtuste võrdlus märjas vannis pikivaadetena punktide vahel
- Lisa 26. Süsiniku keskmiste väärtuste võrdlus märjas vannis pikivaadetena punktide vahel
- Lisa 27. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni pikivaatega punktide vahel
- Lisa 28. Fosfori sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni pikivaatega punktide vahel
- Lisa 29. Süsiniku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni pikivaatega punktide vahel
- Lisa 30. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel
- Lisa 31. Fosfori sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel
- Lisa 32. Süsiniku sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel
- Lisa 33. Lämmastiku sisalduse võrdlusmärjas vannis ristivaadetena punktide vahel
- Lisa 34. Fosfori sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel
- Lisa 35. Süsiniku sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel
- Lisa 36. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuivas vannis proovivõtu punktide vahel
- Lisa 37. Fosfori sisalduse võrdlus kuivas vannis proovivõtu punktide vahel
- Lisa 38. Süsiniku sisalduse võrdlus kuivas vannis proovivõtu punktide vahel
- Lisa 39. Lämmastiku sisalduse võrdlus märjas vannis proovivõtu punktide vahel
- Lisa 40. Fosfori sisalduse võrdlus märjas vannis proovivõtu punktide vahel
- Lisa 41. Süsiniku sisalduse võrdlus märjas vannis proovivõtu punktide vahel
- Lisa 42. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuiva vanni elementaarpunktide vahel
- Lisa 43. Fosfori sisalduse võrdlus kuiva vanni elementaarpunktide vahel
- Lisa 44. Süsiniku sisalduse võrdlus kuiva vanni elementaarpunktide vahel
- Lisa 45. Lämmastiku sisalduse võrdlus märja vanni elementaarpunktide vahel
- Lisa 46. Fosfori sisalduse võrdlus märja vanni elementaarpunktide vahel
- Lisa 47. Süsiniku sisalduse võrdlus märja vanni elementaarpunktide vahel

Lisa 1. P võrdlus kuiva ja märja vahel tervikuna

Cell No.	Duncan test; variable P (kuiv vs märg) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 3304,1, df = 484,00		
	Var1	{1}	{2}
		86,718	74,916
1	Märg		0,023633
2	Kuiv	0,023633	

Lisa 2. N keskmiste väärtuste erinevus kuivas vannis sügavuste kaupa

Cell No.	Tukey HSD test; variable Ruutjuur N (N juur sügavuste kaupa kuivas vannis) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 25,486, df = 240,00			
	Sügavus	{1}	{2}	{3}
		15,743	9,2215	9,2297
1	10		0,000022	0,000022
2	30	0,000022		0,999942
3	60	0,000022	0,999942	

Lisa 3. C keskmiste väärtuste erinevus kuivas vannis sügavuste kaupa

Cell No.	Duncan test; variable C kuiv (NPC kuiv ja märg vann sügavuste kaupa) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 3,0035, df = 240,00			
	Sügavus	{1}	{2}	{3}
		5,0158	2,5477	2,5363
1	10		0,000009	0,000011
2	30	0,000009		0,966537
3	60	0,000011	0,966537	

Lisa 4. N keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis sügavuste kaupa

Cell No.	Duncan test; variable N märg (NPC kuiv ja märg vann sügavuste kaupa) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 19269,, df = 240,00			
	Sügavus	{1}	{2}	{3}
		192,31	138,85	104,28
1	10		0,014255	0,000089
2	30	0,014255		0,113028
3	60	0,000089	0,113028	

Lisa 5. C keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis sügavuste kaupa

Duncan test; variable C märg (NPC kuiv ja märg vann sügavuste kaupa) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 548,83, df = 240,00				
Cell No.	Sügavus	{1} 17,840	{2} 2,8427	{3} 2,5928
1	10		0,000054	0,000060
2	30	0,000054		0,945871
3	60	0,000060	0,945871	

Lisa 6. Sügavuskihtide võrdlus kuiva ja märja vanni vahel lämmastiku suhtes

Duncan test; variable N (kuiv vs märg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 20943,, df = 480,00					
Cell No.	Kiht	N Mean	1	2	3
3	Kuiv 60	92,383	****		
2	Kuiv 30	95,525	****		
6	Märg 60	98,481	****		
5	Märg 30	103,543	****		
4	Märg 10	239,895		****	
1	Kuiv 10	305,685			****

Lisa 7. Sügavuskihtide võrdlus kuiva ja märja vanni vahel süsiniku suhtes

Duncan test; variable C (kuiv vs märg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,7022, df = 480,00					
Cell No.	Kiht	C Mean	1	2	3
5	Märg 30	2,476	****		
6	Märg 60	2,491	****		
3	Kuiv 60	2,536	****		
2	Kuiv 30	2,548	****		
4	Märg 10	4,350		****	
1	Kuiv 10	5,016			****

Lisa 8. P keskmiste väärtuste erinevus kuivas vannis ridade kaupa piki vanni

Cell No.	Duncan test; variable P (NPC ridade võrdlemine piki) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 2773,5, df = 240,00			
	Kood kuiv	{1}	{2}	{3}
		89,253	78,658	56,838
1	147		0,200411	0,000140
2	258	0,200411		0,008386
3	369	0,000140	0,008386	

Lisa 9. N keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis ridade kaupa piki vanni

Cell No.	Duncan test; variable N (NPC ridade võrdlemine piki) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 19281,, df = 240,00			
	Kood märg	{1}	{2}	{3}
		130,13	122,96	188,83
1	101316		0,742575	0,007155
2	111417	0,742575		0,003592
3	121518	0,007155	0,003592	

Lisa 10. P keskmiste väärtuste erinevus märjas vannis ridade kaupa piki vanni

Cell No.	Duncan test; variable P (NPC ridade võrdlemine piki) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 2961,1, df = 240,00			
	Kood märg	{1}	{2}	{3}
		57,286	80,156	122,71
1	101316		0,007494	0,000011
2	111417	0,007494		0,000009
3	121518	0,000011	0,000009	

Lisa 11. Lämmastiku sisalduse võrdlemine piki vanni olevates ridades kuiva ja märja vanni vahel

Cell No.	Duncan test; variable N (NPC piki vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 27581,, df = 480,00			
	Rida	N Mean	1	2
5	111417	122,9630	****	
4	101316	130,1296	****	
3	369	141,1852	****	****
2	258	175,4074	****	****
1	147	177,0000	****	****
6	121518	188,8272		****

Lisa 12. Fosfori sisalduse võrdlemine piki vanni olevates ridades kuiva ja märja vanni vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (NPC piki vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2867,3, df = 480,00				
	Rida	P Mean	1	2	3
3	369	56,8383		****	
4	101316	57,2860		****	
2	258	78,6575	****		
5	111417	80,1564	****		
1	147	89,2533	****		
6	121518	122,7122			****

Lisa 13. Süsiniku sisalduse võrdlemine piki vanni olevates ridades kuiva ja märja vanni vahel

Cell No.	Duncan test; variable C (NPC piki vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,7417, df = 480,00			
	Rida	C Mean	1	2
5	111417	2,822894	****	
3	369	3,122185	****	****
4	101316	3,123040	****	****
6	121518	3,370649	****	****
1	147	3,463907	****	****
2	258	3,513730		****

Lisa 14. Lämmastiku keskmise sisalduse võrdlemine kuivas vannis vanniga risti ridade vahel

Cell No.	Duncan test; variable N kuiv (NPC ridade võrdlemine risti) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 34773,, df = 240,00			
	Kood kuiv	N kuiv Mean	1	2
1	123	117,0000	****	
2	456	169,4198	****	****
3	789	207,1728		****

Lisa 15. Fosfori keskmise sisalduse võrdlemine kuivas vannis vanniga risti ridade vahel

Cell No.	Duncan test; variable P kuiv (NPC ridade võrdlemine risti) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2277,7, df = 240,00				
	Kood kuiv	P kuiv Mean	1	2	3
1	123	41,8132	****		
2	456	77,8333		****	
3	789	105,1026			****

Lisa 16. Süsiniku keskmise sisalduse võrdlemine kuivas vannis vanniga risti ridade vahel

Cell No.	Duncan test; variable C kuiv (NPC ridade võrdlemine risti) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 4,1951, df = 240,00			
	Kood kuiv	C kuiv Mean	1	2
1	123	2,941053	****	
2	456	3,206781	****	
3	789	3,951988		****

Lisa 17. Fosfori sisalduse võrdlus märjas vannis vanniga risti olevate ridade vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (NPC risti vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3625,6, df = 240,00			
	kood märg	P Mean	1	2
2	131415	74,28728	****	
3	161718	91,46630	****	****
1	101112	94,40111		****

Lisa 18. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni vanniga risti olevate ridade vahel

Cell No.	Duncan test; variable N (NPC risti vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 27383,, df = 480,00			
	ridade kood	N Mean	1	2
1	123	117,0000	****	
5	131415	130,7901	****	
4	101112	148,8272	****	
6	161718	162,3025	****	****
2	456	169,4198	****	****
3	789	207,1728		****

Lisa 19. Fosfori sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni vanniga risti olevate ridade vahel

Duncan test; variable P (NPC risti vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2951,6, df = 480,00						
Cell No.	ridade kood	P Mean	1	2	3	4
1	123	41,8132				****
5	131415	74,2873	****			
2	456	77,8333	****	****		
6	161718	91,4663	****	****	****	
4	101112	94,4011		****	****	
3	789	105,1026			****	

Lisa 20. Süsiniku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni vanniga risti olevate ridade vahel

Duncan test; variable C (NPC risti vannidega kuivjamärg) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,6895, df = 480,00				
Cell No.	ridade kood	C Mean	1	2
1	123	2,941053	****	
6	161718	3,071004	****	
5	131415	3,120331	****	
4	101112	3,125248	****	
2	456	3,206781	****	
3	789	3,951988		****

Lisa 21. Lämmastiku keskmiste väärtuste võrdlus kuivas vannis pikivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable N (Kuiv vann pikivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 26225,, df = 234,00				
Cell No.	Punkt	N Mean	1	2
6	kuiv P6	73,7593	****	
7	kuiv P7	86,1852	****	
9	kuiv P9	88,9630	****	
4	kuiv P4	100,8148	****	
8	kuiv P8	102,0000	****	
5	kuiv P5	112,0000	****	
3	kuiv P3	260,8333		****
2	kuiv P2	312,2222		****
1	kuiv P1	344,0000		****

Lisa 22. Fosfori keskmiste väärtuste võrdlus kuivas vannis pikivaadetena punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (Kuiv vann pikivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2779,6, df = 234,00					
	Punkt	P Mean	1	2	3	4
6	kuiv P6	51,5078	****			
9	kuiv P9	56,8993	****	****		
3	kuiv P3	62,1078	****	****	****	
5	kuiv P5	69,3996	****	****	****	****
8	kuiv P8	73,5737	****	****	****	****
4	kuiv P4	82,9422	****	****	****	****
7	kuiv P7	84,3252		****	****	****
2	kuiv P2	92,9993			****	****
1	kuiv P1	100,4926				****

Lisa 23. Süsiniku keskmiste väärtuste võrdlus kuivas vannis pikivaadetena punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable C (Kuiv vann pikivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,0227, df = 234,00			
	Punkt	C Mean	1	2
6	kuiv P6	2,304278	****	
7	kuiv P7	2,450822	****	
9	kuiv P9	2,478878	****	
4	kuiv P4	2,531644	****	
8	kuiv P8	2,679193	****	
5	kuiv P5	2,807248	****	
3	kuiv P3	4,583400		****
2	kuiv P2	5,054748		****
1	kuiv P1	5,409256		****

Lisa 24. Lämmastiku keskmiste väärtuste võrdlus märjas vannis pikivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable N (Märg vann pikivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 15009,, df = 234,00					
Cell No.	Punkt	N Mean	1	2	3
8	märg P8	76,0370	****		
5	märg P5	81,7037	****		
9	märg P9	89,8148	****		
6	märg P6	104,7778	****		
4	märg P4	124,1481	****		
7	märg P7	129,5926	****		
3	märg P3	195,7963		****	
2	märg P2	211,1481		****	
1	märg P1	312,7407			****

Lisa 25. Fosfori keskmiste väärtuste võrdlus märjas vannis pikivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable P (Märg vann pikivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2985,6, df = 234,00				
Cell No.	Punkt	P Mean	1	2
3	märg P3	51,4970	****	
6	märg P6	56,5470	****	
9	märg P9	63,8141	****	
5	märg P5	78,0748	****	
2	märg P2	79,1222	****	
8	märg P8	83,2722	****	
4	märg P4	114,9237		****
7	märg P7	115,1426		****
1	märg P1	138,0704		****

Lisa 26. Süsiniku keskmiste väärtuste võrdlus märjas vannis pikivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable C (Märg vann pikivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,3880, df = 234,00					
Cell No.	Punkt	C Mean	1	2	3
8	märg P8	2,258304	****		
5	märg P5	2,350552	****		
9	märg P9	2,526470	****		
6	märg P6	2,536367	****		
4	märg P4	2,540011	****		
7	märg P7	2,689059	****		
2	märg P2	3,859826		****	
3	märg P3	4,306281		****	****
1	märg P1	4,882878			****

Lisa 27. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni pikivaatega punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable N (pikivaade punktide kaupa) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 20617,, df = 468,00					
	Punkt	N Mean	1	2	3	4
8	kuiv P6	73,7593	****			
15	märg P8	76,0370	****			
14	märg P5	81,7037	****			
3	kuiv P7	86,1852	****			
9	kuiv P9	88,9630	****			
18	märg P9	89,8148	****			
2	kuiv P4	100,8148	****			
6	kuiv P8	102,0000	****			
17	märg P6	104,7778	****			
5	kuiv P5	112,0000	****			
11	märg P4	124,1481	****	****		
12	märg P7	129,5926	****	****		
16	märg P3	195,7963		****	****	
13	märg P2	211,1481			****	
7	kuiv P3	260,8333			****	****
4	kuiv P2	312,2222				****
10	märg P1	312,7407				****
1	kuiv P1	344,0000				****

Lisa 28. Fosfori sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni pikivaatega punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (pikivaade punktide kaupa) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 2882,6, df = 468,00						
	Punkt	P Mean	1	2	3	4	5
16	märg P3	51,4970	****				
8	kuiv P6	51,5078	****				
17	märg P6	56,5470	****				
9	kuiv P9	56,8993	****				
7	kuiv P3	62,1078	****	****			
18	märg P9	63,8141	****	****			
5	kuiv P5	69,3996	****	****	****		
6	kuiv P8	73,5737	****	****	****		
14	märg P5	78,0748	****	****	****		
13	märg P2	79,1222	****	****	****		
2	kuiv P4	82,9422	****	****	****	****	
15	märg P8	83,2722	****	****	****	****	
3	kuiv P7	84,3252	****	****	****	****	
4	kuiv P2	92,9993		****	****	****	
1	kuiv P1	100,4926			****	****	
11	märg P4	114,9237				****	****
12	märg P7	115,1426				****	****
10	märg P1	138,0704					****

Lisa 29. Süsiniku sisalduse võrdlus kuiva ja märja vanni pikivaatega punktide vahel

Duncan test; variable C (pikivaade punktide kaupa) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 2,7054, df = 468,00						
Cell No.	Punkt	C Mean	1	2	3	4
15	märg P8	2,258304	****			
8	kuiv P6	2,304278	****			
14	märg P5	2,350552	****			
3	kuiv P7	2,450822	****			
9	kuiv P9	2,478878	****			
18	märg P9	2,526470	****			
2	kuiv P4	2,531644	****			
17	märg P6	2,536367	****			
11	märg P4	2,540011	****			
6	kuiv P8	2,679193	****			
12	märg P7	2,689059	****			
5	kuiv P5	2,807248	****			
13	märg P2	3,859826		****		
16	märg P3	4,306281		****	****	
7	kuiv P3	4,583400		****	****	****
10	märg P1	4,882878			****	****
4	kuiv P2	5,054748			****	****
1	kuiv P1	5,409256				****

Lisa 30. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable N (Kuiv vann ristivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 24559,, df = 234,00					
Cell No.	Punkt	N Mean	1	2	3
4	kuiv K4	62,6852	****		
7	kuiv K7	69,0370	****		
9	kuiv K9	102,9259	****		
5	kuiv K5	104,8889	****		
8	kuiv K8	105,1852	****		
6	kuiv K6	119,0000	****		
1	kuiv K1	219,2778		****	
2	kuiv K2	298,1852		****	
3	kuiv K3	399,5926			****

Lisa 31. Fosfori sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable P (Kuiv vann ristivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2253,8, df = 234,00					
Cell No.	Punkt	P Mean	1	2	3
4	kuiv K4	35,9341		****	
1	kuiv K1	44,1422		****	
7	kuiv K7	45,3633		****	
5	kuiv K5	72,2033	****		
8	kuiv K8	73,2741	****		
2	kuiv K2	88,0226	****		
6	kuiv K6	95,7122	****		
9	kuiv K9	96,1607	****		
3	kuiv K3	123,4348			****

Lisa 32. Süsiniku sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable C (Kuiv vann ristivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,8400, df = 234,00					
Cell No.	Punkt	C Mean	1	2	3
7	kuiv K7	2,249607	****		
4	kuiv K4	2,264452	****		
5	kuiv K5	2,385385	****		
8	kuiv K8	2,520248	****		
9	kuiv K9	2,839037	****		
6	kuiv K6	2,993333	****		
1	kuiv K1	4,309100		****	
2	kuiv K2	4,714711		****	
3	kuiv K3	6,023593			****

Lisa 33. Lämmastiku sisalduse võrdlusmäärjas vannis ristivaadetena punktide vahel

Duncan test; variable N (Märg vann ristivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 15979,, df = 234,00					
Cell No.	Punkt	N Mean	1	2	
5	märg K5	88,7407	****		
8	märg K8	88,8889	****		
7	märg K7	101,0000	****		
9	märg K9	105,5556	****		
6	märg K6	110,2963	****		
4	märg K4	111,5926	****		
2	märg K2	214,7407			****
1	märg K1	233,8889			****
3	märg K3	271,0556			****

Lisa 34. Fosfori sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (Märg vann ristivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3664,6, df = 234,00		
	Punkt	P Mean	1
2	märg K2	72,2044	****
5	märg K5	73,7770	****
8	märg K8	76,8804	****
6	märg K6	82,6726	****
9	märg K9	84,3304	****
1	märg K1	89,0893	****
4	märg K4	93,0959	****
7	märg K7	101,0181	****
3	märg K3	107,3959	****

Lisa 35. Süsiniku sisalduse võrdlus kuivas vannis ristivaadetena punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable C (Märg vann ristivaated punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,4485, df = 234,00			
	Punkt	C Mean	1	2
5	märg K5	2,332348	****	
9	märg K9	2,386944	****	
6	märg K6	2,450822	****	
8	märg K8	2,529244	****	
7	märg K7	2,557644	****	
4	märg K4	2,643759	****	
1	märg K1	4,174341		****
3	märg K3	4,375244		****
2	märg K2	4,499400		****

Lisa 36. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuivas vannis proovivõtu punktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable N (Spreadsheet20) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 35208,, df = 234,00				
	Kood kuiv	N Mean	1	2	3
3	3	12,2963	****		
2	2	14,3333	****	****	
1	1	24,3704	****	****	****
6	6	51,2222	****	****	****
9	9	60,0370	****	****	****
4	4	74,1852	****	****	****
5	5	82,8519	****	****	****
8	8	29,0370		****	****
7	7	32,4444			****

Lisa 37. Fosfori sisalduse võrdlus kuivas vannis proovivõtu punktide vahel

Duncan test; variable P (Spreadsheet20) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2118,3, df = 234,00					
Cell No.	Kood kuiv	P Mean	1	2	3
3	3	31,1585	****		
2	2	36,6319	****		
6	6	53,4711	****		
1	1	57,6493	****		
5	5	84,9267		****	
9	9	85,8852		****	
4	4	95,1022		****	****
8	8	114,4141			****
7	7	115,0085			****

Lisa 38. Süsiniku sisalduse võrdlus kuivas vannis proovivõtu punktide vahel

Duncan test; variable C (Spreadsheet20) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 4,2645, df = 234,00					
Cell No.	Kood kuiv	C Mean	1	2	
3	3	2,735515			****
1	1	3,023430	****		****
6	6	3,056104	****		****
2	2	3,064215	****		****
4	4	3,191852	****		****
5	5	3,372389	****		****
9	9	3,574937	****		****
8	8	4,104585	****		
7	7	4,176441	****		

Lisa 39. Lämmastiku sisalduse võrdlus märjas vannis proovivõtu punktide vahel

Duncan test; variable N (kuivmäärg punktidenä) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 19138,, df = 234,00					
Cell No.	Kood määrg	N Mean	1	2	
5	14	112,5556	****		
7	16	118,0926	****		
8	17	123,5556	****		
4	13	124,7407	****		
2	11	132,7778	****		
1	10	147,5556	****		
6	15	155,0741	****		
3	12	166,1481	****		
9	18	245,2593			****

Lisa 40. Fosfori sisalduse võrdlus märjas vannis proovivõtu punktide vahel

Duncan test; variable P (kuivmäärg punktidena) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2844,6, df = 234,00						
Cell No.	Kood määrg	P Mean	1	2	3	4
4	13	44,6174	****			
5	14	51,8733	****			
1	10	59,4467	****			
7	16	67,7941	****	****		
2	11	93,6274		****	****	
8	17	94,9685		****	****	
9	18	111,6363			****	****
6	15	126,3711				****
3	12	130,1293				****

Lisa 41. Süsiniku sisalduse võrdlus märjas vannis proovivõtu punktide vahel

Duncan test; variable C (kuivmäärg punktidena) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,1534, df = 234,00			
Cell No.	Kood määrg	C Mean	1
5	14	2,683363	****
8	17	2,707459	****
7	16	2,769463	****
2	11	3,077859	****
3	12	3,123430	****
1	10	3,174456	****
6	15	3,252430	****
4	13	3,425200	****
9	18	3,736089	****

Lisa 42. Lämmastiku sisalduse võrdlus kuiva vanni elementaarpunktide vahel

Duncan test; variable N (kuiv NPC punktid_sügavused) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 25710,, df = 216,00								
Cell No.	Kood	N Mean	1	2	3	4	5	6
12	3_30	50,2778	****					
10	1_30	61,2222	****					
19	1_60	65,1111	****	****				
21	3_60	66,0000	****	****				
20	2_60	76,0000	****	****	****			
11	2_30	76,5556	****	****	****			
18	9_30	83,7778	****	****	****			
15	6_30	87,2222	****	****	****			
27	9_60	87,8889	****	****	****			
22	4_60	93,5556	****	****	****			
13	4_30	98,4444	****	****	****			
25	7_60	99,8889	****	****	****			
23	5_60	109,0000	****	****	****			
24	6_60	113,0000	****	****	****			
26	8_60	121,0000	****	****	****			
14	5_30	129,0000	****	****	****			
17	8_30	130,4444	****	****	****			
16	7_30	142,7778	****	****	****	****		
2	2_10	190,4444	****	****	****	****	****	
3	3_10	220,6111	****	****	****	****	****	
1	1_10	246,7778		****	****	****	****	
6	6_10	253,4444			****	****	****	
9	9_10	308,4444				****	****	****
5	5_10	310,5556				****	****	****
4	4_10	330,5556					****	****
8	8_10	435,6667						****
7	7_10	454,6667						****

Lisa 43. Fosfori sisalduse võrdlus kuiva vanni elementaarpunktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (kuiv NPC punktid_sügavused) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 2183,1, df = 216,00									
	Kood	P Mean	1	2	3	4	5	6	7	8
12	3_30	25,6933	****							
11	2_30	30,0122	****	****						
21	3_60	31,4733	****	****						
3	3_10	36,3089	****	****	****					
20	2_60	39,4311	****	****	****	****				
2	2_10	40,4522	****	****	****	****	****			
15	6_30	48,4178	****	****	****	****	****	****		
10	1_30	52,0967	****	****	****	****	****	****	****	
24	6_60	53,9322	****	****	****	****	****	****	****	
1	1_10	55,6656	****	****	****	****	****	****	****	
6	6_10	58,0633	****	****	****	****	****	****	****	
19	1_60	65,1856	****	****	****	****	****	****	****	
14	5_30	75,1989	****	****	****	****	****	****	****	
23	5_60	79,2722		****	****	****	****	****	****	
18	9_30	80,4122		****	****	****	****	****	****	
27	9_60	85,2922			****	****	****	****	****	
22	4_60	86,6178			****	****	****	****	****	
9	9_10	91,9511				****	****	****	****	****
13	4_30	92,9933					****	****	****	****
5	5_10	100,3089						****	****	****
25	7_60	101,1722						****	****	****
26	8_60	102,0178							****	****
17	8_30	102,9878							****	****
16	7_30	103,7367							****	****
4	4_10	105,6956							****	****
8	8_10	138,2367								****
7	7_10	140,1167								****

Lisa 44. Süsiniku sisalduse võrdlus kuiva vanni elementaarpunktide vahel

Duncan test; variable C (kuiv NPC punktid_sügavused) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 2,9842, df = 216,00										
Cell No.	Kood	C Mean	1	2	3	4	5	6	7	8
12	3_30	1,866356	****							
13	4_30	2,046833	****							
21	3_60	2,143144	****							
19	1_60	2,242200	****	****						
10	1_30	2,322767	****	****	****					
15	6_30	2,329244	****	****	****					
20	2_60	2,363478	****	****	****					
22	4_60	2,398656	****	****	****					
23	5_60	2,485700	****	****	****					
11	2_30	2,604233	****	****	****	****				
27	9_60	2,617100	****	****	****	****				
24	6_60	2,676389	****	****	****	****				
25	7_60	2,711611	****	****	****	****				
18	9_30	2,717233	****	****	****	****				
14	5_30	2,780078	****	****	****	****				
17	8_30	3,037433	****	****	****	****	****			
26	8_60	3,188400	****	****	****	****	****			
16	7_30	3,225333	****	****	****	****	****			
6	6_10	4,162678		****	****	****	****	****		
3	3_10	4,197044		****	****	****	****	****		
2	2_10	4,224933			****	****	****	****		
1	1_10	4,505322				****	****	****	****	
5	5_10	4,851389					****	****	****	****
4	4_10	5,130067						****	****	****
9	9_10	5,390478						****	****	****
8	8_10	6,087922							****	****
7	7_10	6,592378								****

Lisa 45. Lämmastiku sisalduse võrdlus märja vanni elementaarpunktide vahel

Duncan test; variable N (määr NPC punktid_sügavused) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 15307,, df = 216,00								
Cell No.	Kood määr	N Mean	1	2	3	4	5	6
23	14_60	62,2222	****					
14	14_30	66,2222	****	****				
25	16_60	76,2222	****	****				
16	16_30	82,5556	****	****	****			
20	11_60	82,6667	****	****	****			
26	17_60	83,2222	****	****	****			
17	17_30	85,5556	****	****	****			
22	13_60	86,3333	****	****	****			
11	11_30	93,3333	****	****	****			
13	13_30	96,5556	****	****	****			
15	15_30	103,4444	****	****	****			
12	12_30	106,2222	****	****	****	****		
19	10_60	106,8889	****	****	****	****		
21	12_60	113,4444	****	****	****	****		
24	15_60	118,1111	****	****	****	****		
10	10_30	135,2222	****	****	****	****		
27	18_60	157,2222	****	****	****	****	****	
18	18_30	162,7778	****	****	****	****	****	
4	13_10	191,3333	****	****	****	****	****	
7	16_10	195,5000	****	****	****	****	****	
1	10_10	200,5556	****	****	****	****	****	
8	17_10	201,8889	****	****	****	****	****	
5	14_10	209,2222		****	****	****	****	
2	11_10	222,3333			****	****	****	
6	15_10	243,6667				****	****	
3	12_10	278,7778					****	
9	18_10	415,7778						****

Lisa 46. Fosfori sisalduse võrdlus märja vanni elementaarpunktide vahel

Cell No.	Duncan test; variable P (määr NPC punktid_sügavused) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 2953,8, df = 216,00									
	Kood määr	P Mean	1	2	3	4	5	6	7	8
4	13_10	40,3811	****							
5	14_10	45,1811	****	****						
13	13_30	46,0589	****	****						
1	10_10	46,3133	****	****						
22	13_60	47,4122	****	****						
14	14_30	48,7200	****	****						
10	10_30	58,6500	****	****						
23	14_60	61,7189	****	****	****					
16	16_30	64,9322	****	****	****	****				
7	16_10	67,7967	****	****	****	****	****			
25	16_60	70,6533	****	****	****	****	****	****		
19	10_60	73,3767	****	****	****	****	****	****	****	
2	11_10	88,3000	****	****	****	****	****	****	****	
26	17_60	90,3133	****	****	****	****	****	****	****	****
17	17_30	90,7067	****	****	****	****	****	****	****	****
27	18_60	92,0244	****	****	****	****	****	****	****	****
18	18_30	92,3789	****	****	****	****	****	****	****	****
11	11_30	94,7978	****	****	****	****	****	****	****	****
20	11_60	97,7844	****	****	****	****	****	****	****	****
8	17_10	103,8856		****	****	****	****	****	****	****
24	15_60	121,5100			****	****	****	****	****	****
12	12_30	125,8400				****	****	****	****	****
15	15_30	126,5522					****	****	****	****
6	15_10	131,0511						****	****	****
21	12_60	131,8933						****	****	****
3	12_10	132,6544							****	****
9	18_10	150,5056								****

Lisa 47. Süsiniku sisalduse võrdlus märja vanni elementaarpunktide vahel

Duncan test; variable C (määr NPC punktid_sügavused) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MS = 2,4699, df = 216,00									
Cell No.	Kood määr	C Mean	1	2	3	4	5	6	7
14	14_30	2,042244	****						
23	14_60	2,094111	****						
25	16_60	2,159789	****	****					
26	17_60	2,195956	****	****					
16	16_30	2,242244	****	****					
15	15_30	2,310711	****	****	****				
21	12_60	2,339411	****	****	****				
17	17_30	2,357000	****	****	****				
20	11_60	2,484844	****	****	****				
12	12_30	2,556100	****	****	****				
22	13_60	2,570944	****	****	****				
13	13_30	2,644089	****	****	****				
11	11_30	2,652411	****	****	****				
10	10_30	2,722767	****	****	****				
18	18_30	2,753222	****	****	****	****			
27	18_60	2,805089	****	****	****	****	****		
19	10_60	2,848678	****	****	****	****	****		
24	15_60	2,922678	****	****	****	****	****		
8	17_10	3,569422	****	****	****	****	****	****	
7	16_10	3,906356		****	****	****	****	****	
5	14_10	3,913733		****	****	****	****	****	
1	10_10	3,951922		****	****	****	****	****	
2	11_10	4,096322			****	****	****	****	****
3	12_10	4,474778				****	****	****	****
6	15_10	4,523900					****	****	****
4	13_10	5,060567						****	****
9	18_10	5,649956							****