

TALLINNA ÜLIKOOL
Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut
Loodusteaduste osakond

Eike Simmer

**PUHATU SOOSTIKKU MÕJUTAVAD
SURVETEGURID:
ÜLEVAADE, ANALÜÜS JA TULEMUSED**

Magistritöö

Juhendajad: PhD Elve Lode
PhD Mihkel Kangur

Tallinn 2014

Autorideklaratsioon

Mina, _____, kinnitan, et olen käesoleva lõputöö teinud iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmiseks esitatud. Kõigi teiste autorite uurimistöode ja mujalt pärinevate andmete kasutamisel on allikale viidatud. Annan Tallinna Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) oma lõputöö säilitamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Ülikooli Akadeemilise Raamatukogu repositooriumis. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Töö autor: _____
Kuupäev allkiri

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja: _____
Kuupäev nimi allkiri

Juhendaja: _____
Kuupäev nimi allkiri

Õppekava juht: _____
Kuupäev nimi allkiri

Käesolev magistritöö on koostatud osana TLÜ MLI õppetööst. Selle hindamine positiivse hindega ei tähenda, et MLI vastutab töös kasutatud meetodite, saadud tulemuste ja tehtud järelduste eest.

ANNOTATSIOON

Töö käigus anti ülevaade märgalade olemusest ning märgaladele iseloomulike ökosüsteemide teenustest, kehtivatest keskkonnakorralduslikest põhimõtetest ning tähtsamatest märgalade kaitse ja säästliku majandamisega seotud rahvusvahelistest direktiividest ja lepingutest.

Olemasoleva elektroonilise mullakaardi alusel korrigeeriti Puhatu soostiku piiri e nullkontuuri, mille raames iseloomustati soostiku muldasid, üldtopograafiat ja maakatet.

Puhatu soostiku survetegurite iseloomustamiseks kasutati kõiki kättesaadavaid ja teemaga seotud materjale, millest koostati survetegurite ülevaade ning lõimitud mõju analüüs.

Üheks oluliseks märgalade seisundi hindamise kriteeriumiks on puistu osakaal ja selle arengdünaamika. Aastate 2005, 2009 ja 2013 ortofotode põhjal läbiviidud ajaline ja ruumiline analüüs näitas kraavituse mõju all oleva puistu ökotoobi 53,4%-list suurenemise trendi Puhatu soostiku 4 814 ha suurusel uuringualal ning 12,0%-list suurenemist 476 ha suurusel signaalalal. Vastavad tulemused lage alaliste ökotoopide kohta, nn älved ja puistuta peenra alad, olid 38,6% ning 30,6% vähenemise suunas.

Töö tulemusel skematiseeriti Puhatu soostikuga seotud survetegurid ning esitati meetmete soovitusel.

Märksõnad: Puhatu soostik, survetegurid, seisund, puistu dünaamika, meetmed.

ANNOTATSIOON.....	3
SISSEJUHATUS	6
1. KEHTIVAD KESKKONNAKORRALDUSLIKUD PÕHIMÕTTED.....	9
1.1 Looduskaitseline majandamine märgaladel.....	9
1.2 Survetegurite mõiste	11
1.3 Puistu dünaamika uuringud inimtegevuse poolt mõjutatud soodes.....	12
2 PUHATU SOOSTIKU ÜLDISELOOMUSTUS	15
2.1 Areng	16
2.2 Ajalooline <i>nullkontuur</i>	19
2.3 Maastikuline kuuluvus	19
2.4 Mullad.....	20
2.5 Metsad.....	21
2.6 Pinnaveestik	22
2.7 Põhjaveekompleksid ja veekihid.....	25
3 MATERJAL JA METOODIKA.....	28
3.1 Puhatu soostiku pindala täpsustamine ning maakatte iseloomustamine.....	28
3.2 Puhatu soostikuga seotud survetegurid.....	29
3.2.1 Varasemad uuringud.....	29
3.2.2 Tööstuslikust majandamisest tulenevad survetegurid	30
3.2.3 Õhusaaste.....	34
3.2.4 Muudatused veestikus	35
3.2.5 Metsakuivendus.....	38
3.2.6 Looduskaitse.....	39
3.3 Puistu arengudünaamika modelleerimine kraavituse mõju hindamiseks Puhatu soostikus	44
3.3.1 Puistu katvuse muutuste analüüs	44
4 TULEMUSED	48
4.1 Puhatu soostiku täpsustatud pindala ja maakate	48
4.2 Survetegurid.....	51
4.3 Puhatu soostiku puistu arenemise dünaamika.....	53

5	ARUTELU	59
5.1	Puhatu soostiku täpsustatud pindala ja maakate	59
5.2	Survetegurid	59
5.3	Puistu arengudünaamika	60
5.4	Survetegurite ja meetmete lõimimine	60
5.5	Meetmed	62
5.5.1	Olemasolevad meetmed	62
5.5.2	Vajaminevad meetmed	64
	KOKKUVÕTE	66
	SUMMARY	67
	KASUTATUD ALLIKAD	68
	LISAD	80

SISSEJUHATUS

Ramsari konventsiooni kohaselt, alates 1971. aastast, loetakse *märgaladeks* kõiki maismaalisi veekogusid, sh sood, lammialad ja rannaniidud (k.a alad mere akvatooriumis, kus vee sügavus mõõna ajal on alla 6 meetri), sõltumata nende seisundist ja neid mõjutanud teguritest; st nii looduslikud, tugevalt mõjutatud, kui ka tehismärgalad, alalised ja ajutised märgalad, nii voolu- kui ka seisuveelised, nii soola-, mage- või riimveelised (Ramsar, 2006). Environmental Dictionary (EnDic2004) kitsendab *märgala* mõistet ning defineerib märgala kui liigniisket ja vesist ala, milleks on näiteks soo, pinnavee üleujutuspiirkond või veekogu kaldavöönd (EnDic, 2004). Taimestunud märgalad, sh sood ja rabad, peetakse tihti üleminekualadeks maismaa ja vabaveeliste veekogude vahel, nimetatuna unikaalse elukeskkonnana paljudele taime- ja loomaliikidele (Wetlands, 2014).

Eestit võib pidada kõrvuti Soome ja Rootsi suhtarvult sooderikkaimaks riigiks Põhja-Euroopas. Orru (1992) andmetel on Eesti turbaalade erinevas seisundis olevate maismaaliste soode kogupindala >1 milj ha, mis moodustab ca 22% Eesti pindalast. Üle 10 ha-lisi turbaalad on Eestis >1 600 ning enam kui 1 000 ha suuruseid sood on 143 (Allikvee & Ilomets, 1995). Aastal 2011 lõppenud Eesti puis- ja lagesoode seisundi ja looduskaitseliste väärtuste inventeerimise tulemuste põhjal saab aga väita, et ajaloolisest soode pindalast on käesoleval ajal looduslikus seisundis ainult 240 000–245 000 ha sood e ca 5,5% Eesti pindalast (Paal & Leibak, 2013; vt ka Lode, 2011).

Vastavalt Ramsari konventsioonile on märgalad olulised järgnevates ühiskonda või inimest loodusega siduvates valdkondades:

- põhjavee ressursside täiendamine;
- tulvade tasandamine;
- veekogude kaldajoone stabiliseerimine ja tormikahjustuste minimaliseerimine;
- setete ja toitainete peetamine ning nende transport;
- loodusliku veekvaliteedi säilitamine ning inimõjust tekitatud koormuste vähendamine veekogudes;
- bioloogilise mitmekesisuse suurendamine;
- märgaladele spetsiifiliste saaduste produtseerimine (marjad, seemned);
- kultuurväärtuste mitmekesistamine;
- rekreatsiooni ja turismi mitmekesistamine;

- kliimamuutustega kaasnevate mõjude minimeerimine ja kohandamine (Ramsar, 2011).

Millennium Ecosystem Assessment (2005) poolt inimkonnale pakutavate ökosüsteemide hüvede e ökosüsteemiteenustena on nimetatud sellised märgalade teenused nagu varustamise ja regulatsiooni ning kultuuri ja toetuse teenused (Tabel 1) (Millennium, 2005; Kimmel, 2009; Kosk & Lõhmus, 2011).

Tabel 1. Eesti märgaladele iseloomulikud ökosüsteemi teenused (kohandatud Kimmel, 2009 ja Kosk & Lõhmus, 2012 järgi)

Teenus	Kirjed
Varustamine	Tooted: kütus, kiudaine, toit, biokeemilised tooted, muld e mulla loome, teatud omadustega pinnavesi
Reguleeriv	Valdkonnad: kliima tingimuste ja veerežiimi mõjutajad, saaste reguleerijad, looduslike häiringute peegeldajad
Kultuuriline	Rekreatsiooniline, spirituaalne, inspiratsioon, teaduslik teave
Toetav	Bioloogiline mitmekesisus, mulla loome, toitainete ringluse tagamine

Masing (1992) järgi nimetatakse *sooks* maismaalist märgala või ökosüsteemi, kus suur osa taimedest moodustunud orgaanilisest ainest jääb lagunemata ning see ladestub või settib turbana. Soid iseloomustab pinnaveerohke veekeskond, mille tulemuseks on soodele eriomase taimkatte ja mulla areng. Soode teket ja püsima jäämist enam soodustavateks teguriteks on: piisavalt niiske kliima, pinnavett pidavad pinnased või valdavalt kõrge põhjaveetase ning madalad ja tasandikulised lohud pinnareljeefis (Masing, 1988). Järvede kinnikasvamist nimetatakse *soostumiseks* ning vastavat mullatekkeprotsessi *turvastumiseks* (*Ibid*). Turba moodustumise protsessi katkemisel hävineb soo-ökosüsteem. Soid, turbakihi paksusega >30 cm, nimetatakse tihti ka turbaaladeks (ingl – *peatland*) (Paal, 2011). Õhema turbakihi alaid käsitletakse soostuvate või soostunud biotoopidena¹. Soo *nullkontuuriks* loetakse tinglikku joont looduses, mis piiritleb soolaga kaetud mullastikku (valdavalt orgaanilist), kuni selle üleminekuni mineraalmullaga alaks (Paal & Lode, 2011).

Looduslikud turbaalad mõjutavad kliimat globaalselt, sidudes CO₂ ning vabastades CH₄ ja N₂O. Looduslikes turbaalades talletub süsinik taimejäänustena. Soode loodusliku seisundi muutumisel inimtegevuse tõttu võib aga kasvuhoonegaaside bilanss muutuda ning soo kuivendamise tulemusel hakkavad hapniku mõjul taimejäänused lagunema. Taimejäänustesse aegade jooksul talletunud süsinik paisatakse süsihappegaasina (CO₂)

¹ Biotoop - elamistingimustelt peaaegu ühtlane ala, mida asustab organismide elukooslus, elupaik (EKSS, 2009)

atmosfääri tagasi (Salm, 2012; Kosk & Lõhmus., 2012). Soome uuringute tulemused näitavad sealsete kuivendusest mõjutatud turbaaladel CO₂ emissioonide suurenemist, sõltuvalt iseloomust ja kuivenduse intensiivsusest, keskmiselt 50% võrra (Silvola *et al.*, 1996).

Märgalade kaitsele ja säästlikule majandamisele aitab kaasa Euroopa parlamendi ja nõukogu poolt välja töötatud Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiiv, milles rõhutatakse märgalade keskkonda säästva majandamise ja inimeste loodushoidlike tegutsemismotiivide arendamise vajadusele (Lode, 2011(a)).

Käesoleva töö üldiseks eesmärgiks oli viia läbi kompleksne kaardimaterjalidele ja kirjandusele põhinev analüüs Puhatu soostikku mõjutavate survetegurite kohta. Olemasolevate andmete üldistamise ja koondamise kaudu koostada ülevaade Puhatu soostiku seisundit mõjutavatest surveteguritest ja nende mõjude vähendamise võimalikest lahendustest. Kraavituse mõju selgitamiseks puistu katvuse dünaamikale näidata olemasolevate kaugseireandmete kasutamise põhimõttelisi võimalusi läbi Puhatu looduskaitseala (edaspidi LKA) piirkonna uuringuala, mille põhjapoolne piir ulatuks Narva põlevkivikarjäärade ja Puhatu turbakaevandamisaladeni põhjas. Eesmärgi saavutamiseks viiakse läbi järgnevad tegevused:

- Puhatu soostiku pindala täpsustamine ning maakatte iseloomustamine;
- kirjandusallikatele toetuv Puhatu soostiku survetegurite iseloomustamine;
- puistu arengudünaamika modelleerimine kraavituse mõju hindamiseks Puhatu soostikus.

Töö autori suurimad tänud kuuluvad juhendajatele PhD Elve Lode'le ja PhD Mihkel Kangur'ile igakülgse abi eest magistritöö koostamisel. Lisaks tänab töö autor Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituuti, kes võimaldas vajamineva tarkvara (*ArcMap 10.1* ja *MapInfo Professional 9.5*) ning instituudi töötajaid vajalike nõuannete eest; Reimo Ravis't ja *AlphaGIS* töötajaid info eest *ArcMap 10.1* keskkonnas töötamisel; Kalmer Sokman'i magistritöö teema ning AS-i Eesti Energia Kaevandused arhiivimaterjalide jagamise eest; Mall Orru't info eest Puhatu soostiku ajaloolise piiri määramisel ning Arvi Toomik'ut abi eest kaevandamisalaste terminite täpsustamisel.

1. KEHTIVAD KESKKONNAKORRALDUSLIKUD PÕHIMÕTTED

1.1 Looduskaitseline majandamine märgaladel

Märgaladega seotud looduskaitseline majandamine lähtub Euroopa Liidus (edaspidi EL) kehtestatud looduskaitselepingutest ja direktiividest.

Loodusliku linnustiku kaitseks loodud *linnudirektiivi*² (seadustatud 2. aprill, 1979) eesmärgiks on kõikide lindude kaitse tapmise, püüdmise ja küttimise eest ning nendega kaubitsemise piiramine (Euroopa nõukogu..., 1979). *Loodusdirektiivi*³ (seadustatud 21. mai, 1992) eesmärgiks on elurikkuse hoidmine ja selle hea seisundi saavutamine EL-is, kasutades selleks ohustatud looma- ja taimeliikide ning nende elupaigatüüpide kaitse keskkonnakorralduslikke vahendeid (Euroopa nõukogu..., 1992). Oluliseks töövahendiks mõlema direktiivi poolt seotud ülesannete täitmisel on üle-euroopaline *Natura 2000* kaitstavate alade võrgustik, mille eesmärgiks on kaitsta haruldasi või ohustatud liike ja nende elupaiku ning vajadusel viia läbi väärtuslike ja ohustatud elupaigatüüpide taastamine. Abivahendiks *Natura 2000* loodusväärtuste kaitse tagamisel on kaitstavatel aladel kaitsekorralduskavade olemasolu ning kavades planeeritud keskkonnakaitseliste tegevuste ellurakendamine (Euroopa nõukogu..., 1992).

Nii loodus- kui linnudirektiiv on seotud *Ramsari konventsiooniga* ehk rahvusvaheliste märgalade ning nende kaudu veelindude elupaikade kaitsega. *Ramsari konventsiooni* eesmärgiks on maailmas tunnustatud märgalade kaitse, kuna pikaajalise ebasäästliku majandamise tulemusena on nende arv ja pindala drastiliselt vähenenud (Convention of..., 1971). *Märgalade* kaitse ja säästliku majandamise laiem eesmärk on bioloogilise mitmekesisuse tagamine eriti just veelindude rände-, puhke- ja pesitsuspaikadena.

Rahvusvahelise tähtsusega märgalade, eriti veelindude elupaikade konventsioonist, on Eestis kinnitatud vastava määrusega (Rahvusvahelise tähtsusega märgalade, eriti veelindude elupaikade konventsiooni täitmise riikliku programmi kinnitamine (RT I 1997, 18, 303)), mille ellurakendamine toimub läbi riikliku keskkonnapoliitika. Eelnimetatud dokumendis on rahvusvahelise tähtsusega märgaladeks e *Ramsar aladeks* Eestis Soomaa ja

² Euroopa nõukogu direktiiv 79/409/EMÜ, 2. aprill 1979, loodusliku linnustiku kaitse kohta

³ Euroopa nõukogu direktiiv 92/43/EMÜ, 21. mai 1992, looduslike elupaikade ning loodusliku taimestiku ja loomastiku kaitse kohta

Vilsandi rahvuspark, Alam-Pedja, Endla, Matsalu ja Nigula looduskaitseala, Hiiumaa laidude kaitseala koos Käina lahega, Emajõe Suursoo, Muraka ja Puhtu-Laelatu-Nehatu kaitseala – kokku 10 ala (Lode, 2012). Hiljemalt 2010. aastaks oli planeeritud lisada *Ramsari alade* nimekirja Puhatu soostik lisaks veel 14-ne märgalaga (Rahvusvahelise..., 1997). Käesoleval ajal ongi kinnitatud 7 *Ramsar ala* (Lode, 2012), kuid Puhatu soostikku nende hulgas veel ei ole. Lisaks on *märgalade* elukeskkonna kaitse seisukohast olulised:

- Washingtonis sõlmitud rahvusvaheline kokkulepe *Loodusliku loomastiku ja taimestiku ohustatud liikide rahvusvahelisest kaubandusest* e *Washingtoni konventsioon (CITES)* (seadustatud 1. juuli, 1975), millega reguleeritakse ohustatud looma- ja taimeliikide rahvusvahelist kaubandust ning riikidevahelist liikumist lubade ja tõendite alusel. Ohustatud liigid on jaotatud konventsioonis 3 lissasse (I, II, III) (Convention on..., 1973);
- *Bioloogilise mitmekesisuse konventsioon* (Eesti ühines sellega 12. juuni, 1992), millega käivitati bioloogilise mitmekesisuse kaitse ja säästliku majandamise riiklik planeerimine, kuhu kaasati keskkonna valdkonnaga kokkupuutuvaid ametkondi ja huvigruppe (Convention on..., 1992);
- *Berni konventsioon Euroopa flora ja fauna ning nende elupaikade kaitse kohta* (seadustati 19. september, 1979). Konventsiooni eesmärk on Euroopa taimestiku ja loomastiku kaitse ning nende looduslike elupaikade säilitamine. Konventsiooni eesmärk on rahvusvahelise koostöö edendamine looduse kaitseks, pöörates erilist tähelepanu ohustatud liikide, sealhulgas ohustatud rändliikide kaitsele (Convention on the..., 1979).

Märgalade kaitsega on Eestis seotud ka riiklik keskkonnanstrateegia ning veekaitse- ja seireprogrammid. Märgalade, sh soode kaitsele ja säästlikule majandamisele aitab kaasa Euroopa parlamendi ja nõukogu poolt välja töötatud EL-i veepoliitika raamdirektiiv 2000/60/EÜ4 (edaspidi VRD) (seadustatud 23. oktoober, 2000), mille otsene eesmärk on „...säilitada ja parandada vesikeskkonda ühenduses.“ (Euroopa parlamendi..., 2000).

Ehkki VRD-s on otsene osutus *märgaladele* suhteliselt napp, suurendab kaudne osutus neile oluliselt nende rolli VRD-s (Guidance Document No 12, 2003). Nii näiteks on ühelt poolt põhjaveekogumitele kehtestatud hea kvaliteedi ja kvantiteedi nõue, kuid teisalt peab see nõue tagama ka põhjaveekogumist sõltuvate ökosüsteemide e *märgalade* hea ökoloogilise seisundi. Samuti kehtib VRD eesmärkide saavutamiseks kehtestatud nõue – hoida ära veeökosüsteemidest sõltuvate maismaaökosüsteemide ja ka *märgalade* seisundi

halvenemist ning kaitsta ja parandada nende seisundit (Euroopa parlamendi..., 2000; Lode, 2011(b)). Kokkuvõtvalt seisnevad *märjaladega* seonduvad VRD põhised kohustused järgnevas:

- kaitsta ja taastada veesüsteemide sh *märjalade* füüsilist ja bioloogilist terviklikkust;
- kaitsta, parendada ja taastada iseseisva veekogumi staatusega *märjalasid*;
- edendada ühiseid põhimõtteid veeökosüsteemide ja neist sõltuvate *märjalade* kaitseks;
- leevendada ja ära hoida veeökosüsteemide ning neist sõltuvate *märjalade* seisundi halvenemist (Lode, 2011(b)).

VRD-s seatud otsuste ellurakendamisel on suunaandjaks keskkonnapoliitika ja teised keskkonnakorralduslikud meetmed läbi keskkonnaseire, keskkonnahinnangu, keskkonnatasude (Hermet, 2014). Lisaks on abistavateks keskkonnakorralduslikeks vahenditeks otsuste tegijatele keskkonnamõju ja keskkonnariski hindamine (Pöder, 2005).

1.2 Survetegurite mõiste

Terminit *survetegur* võib vaadelda kui liitsõna, mis koosneb kahest nimisõnast *surve* ja *tegur*. Termin *surve* on tehnika valdkonnas defineeritav kui *koormuse seisund* (EE 9, 1996) ja sõna *tegur* defineeritakse kui *faktor, mõjur* (EE 9, 1996). nt *antropogeensed tegurid* on inimtegevuse mõjul võimendunud või tasandunud ökoloogilised tegurid. *Antropogeensete tegurite* toimed fauna ja flora vaesustuvad ning suureneb antropofiilsete⁴ organismide, kultuurtaimede ja koduloomade osatähtsus. Paljude ainete (nt fosforiühendite) ringe looduses kiireneb ning tehnogeensete ainete (nt väävel, raskmetallid, fluor ja süsihappegaas) kontsentratsioon suureneb (ENE 1, 1985). *Keskkonnategurid* või ka *ökoloogilised tegurid* ja *ökotegurid* on biosüsteeme (ka organisme) mõjutavad keskkonna elemendid ja protsessid (ENE 4, 1989). Ökoloogialeksikoni järgi *faktor* ja ka *tegur* on defineeritav kui vaadeldavat protsessi mõjutav põhjus (Masing, 1992).

Keskkonnale mõju avaldavad tegureid liigitatakse omakorda *abiootilisteks* ja *biootilisteks* teguriteks (ENE 4, 1989), kusjuures *abiootiliste* tegurite, nt kosmilised (kiirgus), kliimatilised (õhutemperatuur, -niiskus ja -liikumine, sademed), edaafilised e mullastikulised (mulla omadused), orograafilised (pinnamoe laad) ja hüdrooloogilised (vee omadused) tegurid. *Biootilisteks* teguriteks on organismide elutegevuste tulemusena

⁴ Antropofiilne – inimese loodud olusid eelistav liik (EKSS, 2009)

tekkinud protsessid ja suhted. Liigisisestest suhetest on olulisim liigisisene konkurents (ENE 4, 1989). *Keskkonnategurid* aga loovad organismidele ainelise keskkonna ja määravad elukõlblikkuse astme (ENE 4, 1989).

Taimede *keskkonnategurid* e *kasvukohategurid* jaotatakse füsioloogiliselt *otse* toimivaiks (nt valgus, soojus, süsinikdioksiid, vesi ja toitesoolad) ja *kaudseiks* (kliima ja pinnamood). Keskkonnateguri soodsaimat intensiivsust nimetatakse *optimaalseks intensiivsuseks* e *optimumiks*. Mida rohkem erineb *teguri* toime tugevus *optimumist* (on sellest väiksem või suurem), seda enam pidurdub organismi elutegevus (*Ibid*). Piire, millest väljaspool organism ei saa eksisteerida, nimetatakse *ülemiseks* ja *alumiseks* pessimimumiks e *talumispiiriks*. Ülemise ja alumise piiride vahemikku nimetatakse *ökoamplituudiks*.

Suure *ökoamplituudiga* liigid taluvad suuri *keskkonnateguri* muutusi, väikese *ökoamplituudiga* liigid ainult väikeseid hälbeid optimumist. Mingi teguri talumise piirid olenevad ka organismi vanusest, füsioloogilisest seisundist ja teiste keskkonnategurite intensiivsusest (nn. keskkonnateguri asendatavusest). *Keskkonnategurite* ja *ökoloogilise amplituudi* harmoonia määrab organismi bioloogilise produktiivsuse (ENE 4, 1989).

Survetegureid saab defineerida ka nende mõjude pindalalise ulatuse kaudu, nagu nt tulenevalt VRD-s sätestatule, loetakse olulisteks veemajandusprobleeme põhjustavateks surveteguriteks neid survetegureid, mis muudavad veekogumi seisundi klassi 10–20% veekogumi pikkusest või pindalast (Tamm *et al.*, 2008; Reisner *et al.*, 2010).

Võttes arvesse eespool refereeritud on käesoleva töö raames *survetegurite* all mõeldud eelkõige bioloogilist keskkonda mõjutavaid *abiootilisi tegureid*.

1.3 Puistu dünaamika uuringud inimtegevuse poolt mõjutatud soodes

Eestis olid sood kuni 20. sajandi alguseni inimtegevuse poolt suhteliselt vähe mõjutatud, kuid huvi turba ja soode kasutamisevõimaluste vastu suurenes seoses teadmiste juurdekasvu ning tehnika arenguga (Valk, 1995). Esimesed mehhaniseeritud kütteturba kaevandamised toimusid juba 1861. aastal ning esimene turbaküttel elektrijaam alustas tööd 1918. aastal. Soode kuivendamine põllumajanduslikuks otstarbeks ja metsamajandamiseks algas Eestis 17.–18. sajandil ning edenes hoogsalt möödunud sajandi keskpaigas (*Ibid*).

Kuivendamine on soode majandamise kõige tähtsam eeldus, mis mõjutab mitte ainult vahetult kraavitatud ala, vaid ka selle ümbrust (Paal, 2011). Kraavituse mõju ulatus võib sõltuda erinevatest teguritest, milleks on kuivendusobjekti asukoht, soo suurus ja soo tüüp (*Ibid*). Kuivenduse mõju väiksematele soodele on suurem kui ulatuslikule soomassiivile ja mõju madalsoole on suurem kui rabale (Kaisel & Kohv, 2009). Paali (2011) hinnangul moodustab kuivenduse kaudne mõjuala 20–150% kuivendusobjekti pindalast. Lisaks kaasneb kuivendusega kasvukohatingimuste ühtlustumine e ökosüsteemide degradeerumine nii liikide, koosluste kui maastike tasemel. Turba moodustumine ja akumulatsioon väheneb või lakkab, mille tulemuseks on soo teisenemine teistsuguste omadustega ökosüsteemiks (Paal, 2011).

Sõltuvalt arenguastmest ja looduslikest tingimustest võivad sood olla kas puudeta (lagesood), hõredalt kasvavate puudega (puissood) või metsaga kaetud (soometsad) (Paal & Leibak, 2013). Levinumad puuliigid Eesti soodes on mänd ja sookask.

Mitmed hiljutised soolade pinnakatte dünaamikat uurinud tööde tulemused viitavad inimtegevusest põhjustatud laialdast puistu suurenemist (nii pindalalist kui ka ruumilist) sooladel üle maailma (Lode *et al.*, 2011). Suurenenud puistu kasv mõjutatud sooladel üheltpoolt indikeerib mõjutatud soolade paiknevust ja ulatust ning teiselt poolt hüdroloogiliste tingimuste muutumist, millega tavaliselt kaasnevad muutused ka soode ökosüsteemides tervikuna. Tänu sellele on üliaktuaalseks muutunud kaugseire andmestiku kasutamine rikutud ning mõjutatud soolade seisundi määramisel (Fitoka & Keramitsoglou, 2008). Seda seisukohta toetavad ka *INSPIRE direktiivi* põhimõtted (seadustatud 15. mai, 2007), mis seisnevad eksisteeriva kaugseire⁵ andmestiku igakülgses ja laiendatud kasutamises, nende vaba juurdepääsu kindlustamises Euroopa Liidu piires ning nende kasutuse läbi poliitiliste otsuste tegemise kvaliteedi ja kiiruse tõstmises (INSPIRE, 2007).

Looduses suhteliselt aeglaselt toimuvate muutuste tõlgendamine aerofotode põhjal on vanim ja levinum kaugseire meetod, mis annab objektiivset ja võrreldavat infot mineviku ja hetkeolukorra kohta (Brookhouse *et al.*, 2009). Eestis on kaugseire meetodil soomaastike uurimisel suhteliselt pikaajalised kogemused (Aaviksoo, 1986). Kõige pikemalt on kestnud aastatel 1996–2003 läbiviidud maastike mitmekesisuse seire projekt

⁵ Kaugseire – maapinna distantsilt uurimine (Masing, 1992). Objekti kohta informatsiooni hankimine, kasutades selleks objektist eemal olevaid vahendeid (Peterson *et al.*, 2008(a))

(Aaviksoo, 1986; 2003). Lisaks viiakse Eestis läbi pikaajalist (alates 2004. aastast) metsade kaugseiret ning aastast 2005 rannikumere kaugseiret koos põhjataimestiku kaardistamisega (Peterson *et al.*, 2008(a&b)). Lisaks on uuritud ja analüüsitud kaugseiremeetodil Nigula rabas toimuvaid maakatte muutusi koos haudelinnustiku koosluste liigilise koosseisu muutustega (Aaviksoo *et al.*, 2008; Leivits, 2009).

2 PUHATU SOOSTIKU ÜLDISELOOMUSTUS

Puhatu soostik paikneb Ida-Virumaal Illuka vallas, jääjärvede ja Suur-Peipsi setetega kaetud ulatuslikus nõos ja on moodustunud seljakutevaheliste järvealade ja mineraalmaa soostumisel (Orru *et al.*, 1975). Soostiku põhjapoolne osa paikneb Narva tasandikul, lõunapoolne osa – Peipsi järve nõos. Soostiku levikuala aluspõhja moodustavad Ülem-Ordoviitsiumi lubjakivid ning neid katvad 10–15 m paksusega hallid karbonaatsed Ülem-Valdai moreenid, millel omakorda levivad viirsavid ja fluvioglatsiaalsed setted. Kohati esinevad piirkonnas 1–3 m paksuste kihtidena hilisjäajal siin levinud Balti jääpaisjärve aleuriit ning peenteralised liivade setted. Mineraalsel aluspinnal on kogu soo ulatuses väike ida- ja lõunasuunaline kalle (Raukas, 1978).

Mineraalse aluspinna geomorfoloogilise⁶ ehituse iseärasusest tulenevalt on Puhatu soostik, eriti tema lõunapoolne osa, väga tugevasti liigestunud. Puhatu soostikku kuuluvate soode arv ulatub sajani ning ajalooliselt väljakujunenud nimedega üksikuid soolasid on kolmekümne ringis (Joonis 1) (Ilomets, 1989).

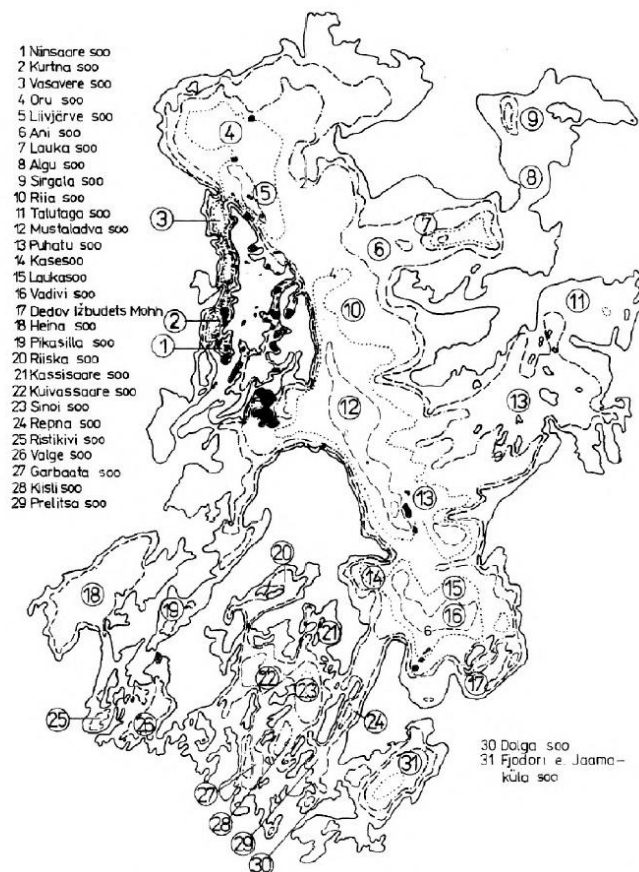
Soostiku hulka kuuluvaks loetakse ka 238 mineraalmaasaart, milledest üle 80-ne paikneb soostiku lääneosas oosidega liigestatud alal ning ligi 100 saart jäävad lõunasse – rabastunud luidete piirkonda (Orru *et al.*, 1975). Puhatu soostiku põhjaosa katavad suured rabamassiivid, lõunaosa palumännikutega liivaseljakud e kriivad. Vahelduvalt kriivadega on nende vahelistes nõgudes levinud rabade ja siirdesoo ribad (Kink, 2004).

Kriivade maksimaalne kõrgus ulatub kuni 15 m-ni (Orlovi kriiva) ning maksimaalseks pikkuseks on kuni 3,5 km (nt Saare kriiva) (*Ibid*).

Aastal 1999 rajati Puhatu soostiku keskosa katva Puhatu LKA ning 1981. aastal Puhatu soostiku edelaosa katva Agusalu LKA (Leito *et al.*, 2007; Puhatu LKA KKK, 2013).

Orru *et al.* (1975) järgi on rohketest väikesoodest koosneva Puhatu soostiku pindalaks 57 079 ha, ulatudes põhjast lõunasse 42 km ja läänest itta 25 km (Orru *et al.*, 1975).

⁶ Geomorfoloogia – maismaa ja merepõhja pinnavorme, nende levikut, tekkimist ja kujunemist uuriv teadus (EKSS, 2009)



Joonis 1. Puhatu soostik ja sinna kuuluvad väikesood (kopeeritud Ilomets, 1989 järgi).

2.1 Areng

Kaasaegne Puhatu soostiku arengukäigu rekonstruktsioon põhineb ENSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi isotoopgeoloogia⁷ labori töödel (Ilomets, 1989). Rekonstruktsiooni aluseks olid ala puurimisandmestik, millele lisati eelnevate aastate jooksul paljude soo-uurijate poolt kogutud ning Eesti Geoloogia turbafondis talletatud vastavasisuline info. Turbakihtide vanuse määramisel kasutati isotoopgeoloogia laboris määratud radiosüsiniku⁸ dateeringuid ning Puhatu soostiku eri piirkondade kohta koostatud palünoloogilisi⁹ diagramme. Olemasoleva materjali põhjal koostati piirkonna arengu

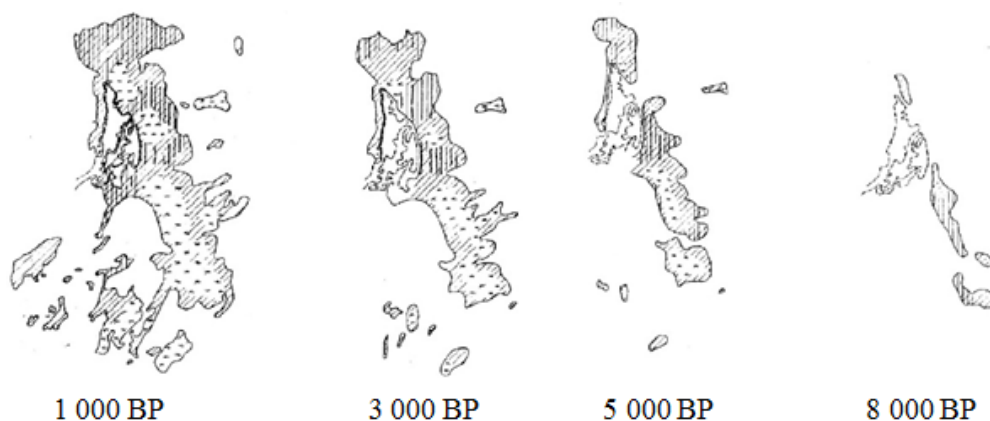
⁷ Isotoopgeoloogia – geoloogia piiriteadusharu, mis põhineb radioaktiivsete ning stabiilsete isotoopide kasutamisest saadaval andmestikul. Stabiilsed isotoobid võimaldavad uurida geoloogiliste arenguastmete seoseid, settimise kiirust ja hüdrofaari protsesse (EE)

⁸ Radiosüsiniku meetodil dateerimine - radiomeetriline vanuse määramise meetod, mis kasutab looduses esineva süsiniku radioaktiivset isotoopi massiarvuga 14 (süsinik-14), võimaldades määrata orgaanilise päritoluga süsinikku sisaldavate materjalide vanuseid, mis ulatuvad kuni 62,000 aastani (EE, 2014)

⁹ Palünoloogia – taimede õietolmu ja eoste uurimisega tegelev teadusharu (EKSS, 2009)

rekonstruktsioon, mis annab teatud ettekujutuse Puhatu soostiku holotseeni perioodi nii vertikaalsest kui ka horisontaalsest arengust maastikus (Joonis 2) (Ilomets, 1989).

Lähtudes rekonstruktsioonist soostiku pinnavee vooluveevõrgustiku ning maapinna topoloogia kohta oli Holotseeni algul piirkonna toiteallikaks karbonaatse pinnakattega Ahtme platoo, millelt kaltsiumirikkad veed valgusid tasase põhjaga Kurtna orundisse (abs kõrgusega 42–43 m e üle mere pinna (ü.m.p.)) ning sealt edasi läbi mõhnastikku kuhjunud liiva sette idanõlval – maapinnale (Ilomets, 1989).



Joonis 2. Puhatu soostiku arengu rekonstruktsioon holotseeni perioodidel 1000; 3000; 5000; 8000 a.t. (radiosüsiniku aastat tagasi; ingl *Before Present* (BP¹⁰)), kus: 1-lehtsambla madal soo, 2-tarna madal soo, 3-tarna-pilliroo madal soo, 4-kase-tarna madal soo, 5-kase-pilliroo madal soo, 6-madalsoomets kase ja kuusega, 7-lageraba (kopeeritud Ilomets, 1989 järgi).

Kõige madalamad nõod asusid Puhatu järve ümbruses (29–30 m ü.m.p.), Riiasoo piirkonnas (31 m ü.m.p.) ja Orusoo lõunaosas (37 m ü.m.p.), soodustades Riiasoo ja Orusoo piirkonnas madalaveeliste lehtsamblaõõtsikute arengut Preboreaalil (Tabel 2). Puhatu soostiku keskosas aga arenesid sel ajal veidi kuivematele tingimustele viitavad tarna-lehtsamblakooslused (Ilomets, 1989).

Liigniisketes tingimustes laienesid soostumiskolded kiiresti ja 8 000 a.t. võis turbakihi paksus ulatuda kuni 1,5 m-ni. Orusoo lõunaosas ja Liivjärve raba piirkonnas esines sel ajal valdavalt lehtsamblaõõtsik¹¹. Riiasoo keskosast kuni Puhatu soo põhjaosani ulatus

¹⁰ *Before Present* (BP) – (enne tänapäeva) on aastates arvestatav ajaarvamine, mida kasutatakse geoloogias radiosüsiniku meetodil tehtud dateeringute korral. Kalibreerimata radiosüsiniku aastad ei vasta üks-üheselt kalendriaastatele, ning selle nullaastaks loetakse 1950-dat kalendriaastat (Arnold & Libby, 1949).

¹¹Õõtsik – pehme õõtsuv koht soos või järve ääres. Õõtsuv kamar kinnikasvavate või kinnikasvanud veekogude pinnal (EKSS, 2009)

suhteliselt kitsas (1-2 m) ja ca 10 km pikkune sooriba, mille põhjaosas levis madal soo kaasik. Järgneva 3 000 aastaga suurenes soostunud ala pindala ligi neli korda ulatudes 5 000 a.t. juba 90 km²-ni. Soode taimkattes domineerisid sel perioodil erinevad madal soo tarnakooslused¹², servaaladel levis kohati kase-pilliroo-tarnakooslused. Umbes 6 500–6 000 a.t. tekkisid esimesed rabastumiskolded Liivjärve, Mustaladva ja Puhatu soodes ning peale Kurtna järvestiku veetaseme järsku langust 7 500–7 800 a.t. hakkas järve endine põhi kiirelt soostuma ning sapropeelile akumulerus puidu-tarnaturvas (Ilomets *et al.*, 1989).

Tabel 2. Puhatu soostiku paleopindade¹³ 8000, 5000, 3000 ja 1000 a.t. akumulunud turba sügavused turbalasalundis (Ilomets *et al.*, 1989 põhjal)

Soo nimetus	Vanuseline turba lasuvussügavus,			
	m			
	paleopinnad, a.t.			
	8000	5000	3000	1000
Niinsaare raba	-	4,2	3,0	1,0
Kurtna soo	-	4,2	2,3	0,8
Orusoo	5,6	3,5	2,1	1,0
Liivjärve raba	5,8	3,8	2,4	1,0
Laukasoo	5,5	4,3	2,5	2,0
Riiasoo	5,6	3,5	2,3	1,0
Mustaladva soo	5,8	4,0	2,5	1,5
Puhatu raba	5,7	3,5	2,8	1,0

Vastavalt rekonstrueeritud paleopinnale 3 000 a.t. oli enamus Puhatu soostikust jõudnud rabastumise faasi, laienenud pindalaga kuni 150 km². Vaid servaaladel levisid madal soo kooslused. Järgneva 2 000 aasta jooksul suurenes soostiku pindala ligi kaks korda ning paleopinna 1 000 a.t. järgi ulatus see 280 km²-ni. Perioodil 1 000 a.t. soostus aastas keskmiselt 6–7 ha maad. Muutused soostiku taimkattes olid väikesed. Vaid soostiku põhjaosas suurenes mõnevõrra puurinde tihedus ja varem servaaladel olnud kase-tarna ja kase-pillirookooslused hõivasid pea kogu soo (Ilomets *et al.*, 1989).

1 000 aasta jooksul kuni käesoleva ajani on Puhatu soostik reljeefi iseärasustest tulenevalt (ulatuslikud lauged tasandikud vaheldumisi järsunõlvaliste ja turbaga täitunud soostumiskolletega) väga kiirelt arenenud (Ilomets, 1989). Puhatu soostiku rabaalade veevarustus on sademeline, ülejäänud soostiku lääneosa ja põhjaosa sood on aga põhjavee

¹²Tarn – niiskeis ja soostunud kohtades kasvav kitsaste lehtedega rohtaim (EKSS, 2009)

¹³Paleo – vana, muistne (ÕS, 2013)

toitelised (Orru *et al.*, 1975). Puhatu soostikust väljuvate vooluveekogude eesvooludeks on valdavalt Narva jõgi ja Peipsi järv (Valk, 1988).

2.2 Ajalooline nullkontuur

Aastate 1972 ja 1974 suvekuudel toimusid Kohtla-Järve rajoonis turba otsingulis-uuringulised tööd, mille aruanne valmis 1975 aastal. Uurimistöödega võeti arvele kõik, vähemalt 1 ha suuruse pindalaga sood ning uuriti üle 10 ha turbalasundiga seni uurimata soid, sh ka Puhatu soostikku (Orru *et al.*, 1975).

Soode *nullkontuuri* täpsustamiseks kasutati lisaks turba sügavuse sondeerimise tulemustele ka mullastikukaarte, metskondade takseerikirjeldusi ning olemasolevaid fotoplaanide dešifreerimise tulemusi. Uuringute väli- ja kameraaltööde käigus määrati ka uuritavate soolade hüdroloogilised ja kliimaatilised tingimused ning piiritleti hüdrograafiline¹⁴ võrk (Orru *et al.*, 1975). Lisaks välitööde andmetele kasutati 1975. aasta tööde käigus Puhatu soostiku nullkontuuri täpsustamiseks põllu- ja metsamuldade kaarte mõõtkavas 1:10 000. Saadud nullkontuuri piiridesse jääv Puhatu soostik koos sinna hõlmatud soolade ning mineraalsaartega kontrolliti 70% ulatuses välitööde käigus üle. Andmetöötlusel osutusid täpsemateks põllumuldade kaardid, kuna põllumuldade uuringute käigus mullapuuriga puuritud kõigis kuni 2 m sügavustest puuraukudest oli määratud ka soomulla tüüp. Järgnevalt, fotoplaanile koondatud igakülgse andmestiku põhjal välja joonistatud Puhatu soostiku nullkontuur kopeeriti läbipaistvale pauspaberile¹⁵. Nii on Eesti Geoloogiakeskuse fondis turbamaardlate plaanid siiani säilitatud pauspaberitel (suuline info: Orru, 2014) (vt ka Joonis 1).

2.3 Maastikuline kuuluvus

Maastikuliselt paikneb Puhatu soostik Alutaguse madaliku maastikurajoonis, mis jääb Põhja-Eesti paeplatoo ja Peipsi järve vahele (Arold, 2005).

Alutaguse madaliku maastikurajooni¹⁶ moodustavad alad, mis on Peipsi nõo kerkinud põhjaosas olnud hilisjääaegse jääjärve põhjaks. Alutaguse maastiku eripäraks on

¹⁴ Hüdrograafiline võrk – mingil maa-alal paiknevate veekogude kogum (EKSS, 2009)

¹⁵ Pauspaber e kalka – läbipaistev paber kopeerimiseks (ÕS, 2013)

¹⁶ Maastikurajoon – loodusgeograafiline rajoon on maastikuvaldkonna osa, mis tavaliselt hõlmab üht pinnavormi (näiteks madalik, kõrgustik, lavamaa) või loodusobjekti (Arold, 2005)

pinnamoos märgade alade (37%) ning väheste teedega sootasandike (37%) domineerimine. Maakattes on peaaegu asustamata metsaalade osakaal 78%. Piirkonnale on iseloomulikud tehnogeensed ja rikutud pinnamoega kaevandusalad kirdeosas (Arold, 2005).

Puhatu soostiku maastikuliseks idapiiriks on Narva jõgi, läänepiiriks – Pandivere kõrgustik ning lõunapiiriks – Kagu-Eesti lavamaa (*Ibid*).

2.4 Mullad

Puhatu soostikule on iseloomulik soomuldade suur osatähtsus, olles tekkinud glei- või gleileetmuldade soostumisel ning veekogu põhjast ja pinnalt kinnikasvamisel. Puhatu soostiku soomullad jagunevad veega toitumise ja loodusliku taimkatte järgi madal-soo-, siirdesoo- ja rabamuldadeks. Puhatu soostik on ca 60% ulatuses kaetud turvasmuldadega, sellest üle poole rabamuldadega. Teistest mullatüüpidest on piirkonnas leedemullad, milledest enamik on samuti soostunud. Mulla lähtekivimiks on liivad ja kruusad, sorteeritud liivad ja tolmjad saviliivad (Drenkhan, 2003).

Puhatu soostiku *turbalasund*¹⁷ on varieeruva paksusega ulatudes mõnest sentimeetrist kuni peaaegu kaheksa meetrini. Suurima osa soostiku põhitüüpidest võtab enda alla *madal-soo*¹⁸ *turbalasund* (Tabel 3) ning väikseima osa *siirdesoo*¹⁹ *turbalasund* (Orru, 1992).

Tabel 3. Puhatu soostiku iseloomustus turbalasundi tüüpide järgi (Orru *et al.*, 1975; 1992)

Turbalasundi näitaja	Turbalasundi tüüp			
	madal-soo	siirdesoo	raba-segalasund	rabalasund
Pindala, ha	33 269	2 568	4 652	16 590
Keskmine paksus, m	2,9	1,8	3,6	4,2
Maksimaalne paksus, m	6,0	5,3	7,0	7,8

Orru *et al.* (1975) järgi esineb *madal-soo* turvast peamiselt Puhatu soostiku põhjaosas. *Madal-soo turbalasundi* pindmine osa koosneb *keskmiselt*²⁰ lagunenuid tarnaturbast. *Turbalasundi* alumine osa koosneb *keskmiselt* kuni *hästilagunenud*²¹ puu-, puu-pilliroo või puu-tarnaturbast. Oosidest killustatud *madal-sooalal* on turbalasundi keskmine paksus 3 m ja see koosneb *hästilagunenud* puidurohkkest turbast. *Siirdesoo turbalasund* esineb

¹⁷ Turbalasund – soo turbakiht tervikliku kogumina (Masing, 1992)

¹⁸ Madal-soo – soo, mille vesi pärineb peale sademete ka põhjaveest (*Ibid*)

¹⁹ Siirdesoo – üleminekusoo, kus toimub üleminek madal-soost kõrgsooks (*Ibid*)

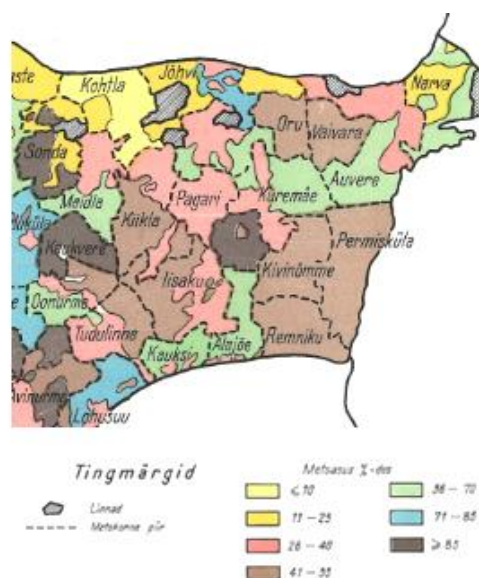
²⁰ Keskmiselt lagunenuid turba lagunemisaste on 20–30% (*Ibid*)

²¹ Hästilagunenud turba lagunemisaste on alates 30% (*Ibid*)

peamiselt soostiku edelaosas ja Mustajõesst lõunas ning koosneb *keskmiselt* lagunenenud märee alltüüpi turbaliikidest. *Raba-sega turbalasund* esineb valdavalt rabamassiivide servaaladel, iseseisvate massiividenä peamiselt soostiku põhjaosas. *Turbalasund* kuulub märee alltüüpi ja koosneb pindmises osas *vähe*²²- ja *keskmiselt* lagunenenud rabatüüpi sfagnumiturbast või sfagnumi lisandiga turbaliikidest. *Turbalasundi* alumine osa koosneb *keskmiselt*- kuni *hästilagunenud* siirdesoo tarna- või rabaturbast, paiguti on siin lamamiks *keskmiselt* lagunenenud *madal*soo tarna- või tarna-lehtsamblaturvas. *Raba turbalasundi* moodustab sfagnumiturvas, mille all asetsevad villpea ja puidu lisanditega *keskmiselt*- kuni *hästilagunenud* rabaturbad. Veel sügavamal järgneb *keskmiselt* lagunenenud tarna- või raba *siirdesoo* turvas ning vähestel juhtudel *madal*sootüüpi turbakiht (Orru *et al.*, 1975).

2.5 Metsad

Alutaguse piirkond on üks Eesti põlismetsarikkamaid alasid, kus metsasus jääb vahemikku 41–70% (Joonis 3) (Etverk *et al.*, 1974).



Joonis 3. Alutaguse sh Puhatu soostiku piirkonna metsasus %-des (kopeeritud Etverk *et al.*, 1974 järgi).

Puhatu soostiku piiridesse jääb nii madal- kui ka siirdesoo-segametsasid, sookaasikuid, puistunud soid, rabamännikuid ja õõtsiksoid. Kuigi pindalaliselt valitsevad siirdesoo- ja rabametsad, on metsakoosluste tüpoloogiline mitmekesisus selles piirkonnas märkimisväärselt suur. Erinevat tüüpi metsade vaheldumine on kõige silmapaistvam

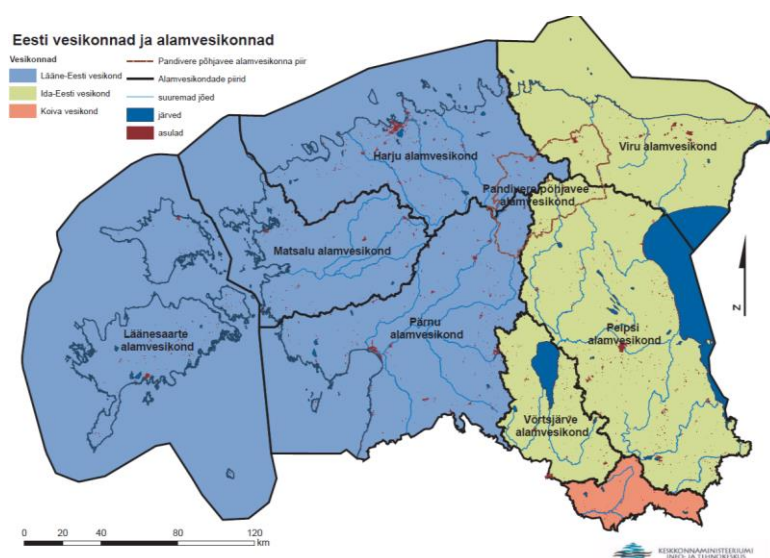
²² Vähelagunenud turba lagunemisaste on kuni 20% (Masing, 1992)

Poruni jõe ürgoru lammil ning selle terrassidel, kus kasvab ka Eestis haruldasi künnapuid ja jalakate rohkeid metsakooslusi (Etverk *et al.*, 1974; Paal *et al.*, 2007).

2.6 Pinnaveestik

Kirde-Eesti kuulub veemajanduslikult Ida-Eesti 19 047 km² suurusega veemajandusvesikonda²³ (Reisner *et al.*, 2010) (Joonis 4).

Sillamäelt Tudusse kulgev veemajandusvesikonna piir jagab Soome lahe hüdroloogilise vesikonna (Eipre & Protasjeva, 1972) kaheks, millest *ca* 1/5 kuulub Ida-Virumaa veemajandusvesikonda ning ülejäänud Lääne-Eesti veemajandusvesikonda (Lode, 2012).

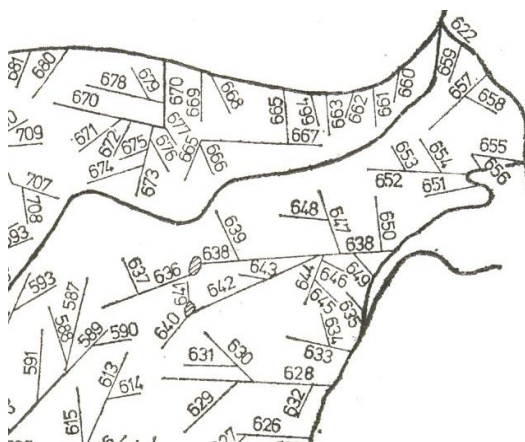


Joonis 4. Eesti veemajandusvesikonnad ja nende alamvesikonnad (alla laetud Keskkonnaministeeriumi Info- ja tehnokeskus, 2014).

Kirde-Eesti piirkonna pinnaveevõrgustiku morfoloogiat ja hüdrooloogilist režiimi on suuremal või vähemal määral mõjutanud põlevkivi kaevandamine, mis on muutnud nii jõgede, järvede kui ka soode veerežiimi dünaamikat ning väljavoolusid (Hang *et al.*, 2009). Puhatu soostik piirneb kirdeosas piirkonna suurima Narva jõega (pikkus 123,7 km, valgla pindala 56 200 km²), kuhu suubub ka enamik Puhatu soostiku vooluveekogudest (Puhatu LKA KKK, 2013). Puhatu soostiku peamised vooluveekogud on Narva jõkke suubuvad Poruni jõgi pikkusega 13 km ja Gorodenka oja, pikkusega 21 km. Poruni jõe II järgu

²³ Veemajandusvesikond – maa- ja mereala, mis koosneb ühest või mitmest kõrvuti asetsevast valgalast koos põhjavee ja rannikuveega, moodustades ühes ringi ühe terviku, ning mis on veemajanduse korraldamise põhiüksus (kohandatult Veeseadus, 1994). Veekaitse korraldamiseks on Eestis moodustatud kolm veemajandusvesikonda: Ida-Eesti, Lääne-Eesti ja Koiva veemajandusvesikond

lisajõgi on Luguki peakraav pikkusega 3,5 km. Gorodenko oja II järgu lisajõed on Laukasoo kraav - pikkusega 6,2 km, Puhatu oja - pikkusega 13 km ja Kasesoo kraav - pikkusega 8 km (Joonis 5, Tabel 4).



Joonis 5. Puhatu soostiku vooluveekogud (kopeeritud Arukaevu, 1986 järgi, Tabel 4).

Puhatu soostiku põhjaosas asuv Mustajõgi (pikkus 30 km) moodustab koos Raudi kanaliga ca 54 km pikkuse vooluveekogu, mis suubub soostikust idasse jääva Balti Elektriijaama juurdevoolukanalisse, kusjuures selle vooluveekogu II järgu lisajõgedeks on Raudi oja – suublaga Raudi kanalisse, Riiasoo kraav (pikkus 8,8 km) – suublaga Mustajõkke, Soonpää peakraav (pikkus 5 km) – suublaga Konsu järve ja Konsu peakraav (pikkus 15 km) – suublaga Mustajõkke. Puhatu soostiku uuringualasse jääv Putki peakraav – pikkusega 9,7 km koos Männiku ojaga (pikkus 4 km) ja Tagasoo kraaviga (pikkus 3,5 km) suubuvad Mustajõkke (Tabel 4) (EELIS, 2014; Arukaevu, 1986). Loetletud vooluveekogudest kolm vooluveekogu – Poruni jõgi, Gorodenka oja ja Mustajõgi, on lülitatud Eesti vooluveekogumite nimekirja (Keskkonnaministri määrus RT I, 25.11.2010).

EELIS-e järgi on soostiku piiridesse jäävate olulisemate järvede arvuks 16 (Tabel 5), millest Konsu järv on lülitatud Eesti seisuveekogumite nimekirja (Keskkonnaministri määrus RT I, 25.11.2010). Lisaks tuleb Puhatu soostiku seisuveekogude hulka lugeda ka soostikku keskossa jäävate Mustaladva ja Puhatu soo suured laugastega piirkonnad (Joonis 10).

Tabel 4. Puhatu soostikuga seotud olulisemad vooluveekogud (Joonis 5)

Peajõgi	Lisajõgi		Pikkus, m	Valgla pindala, km ²
	I järgu	II järgu		
Poruni jõgi (633)*			13	32,6
	Luguki peakraav (634)		3,5	6,5
Gorodenka oja (628)			21	120
	Kasesoo kraav (629)		8	33
	Puhatu oja (630)		13	34
		Paeoja (631)	3	12
	Laukasoo kraav (632)		6,2	12,3
Raudi kanal (636)			24	72
	Raudi oja (637)		3	7,4
Mustajõgi (638)			30	404
	Riiasoo kraav (639)		8,8	34,5
	Konsu peakraav (642)		11	116
		Metsasoo kraav (643)	2	4
		Soonpää peakraav (640)	5	9
		Raudi-konsu kanal (641)	2	1,3
	Putki peakraav (644)		9,7	51
		Männiku oja (645)	4	22
		Tagasoo kraav (646)	3,5	8,6
	Metsküla oja (647)		13	78
		Sambliku kraav (648)	0,3	4,4

*Vooluveejuhime number (Arukaevu, 1986 järgi).

Tabel 5. Puhatu soostikuga seotud olulisemad seisuveekogud (Joonis 10)

Nr	Seisuveekogu	Veepeegli pindala, ha
1	Agusalu järv	2,7
2	Väike-Agusalu järv	4,1
3	Heinasoo järved (4 järve)	3,7 (4 järve kokku)
4	Armise järv	4,2
5	Imatu järv	28,1
6	Kirjakjärv	13,8
7	Peen-Kirjakjärv	9,5
8	Saarejärv	6,4
9	Konsu järv	139
10	Kurtna Nõmmejärv	13
11	Mustjärv	5,5
12	Särgjärv	2,4
13	Ahvenjärv	2
14	Räätsma järv	15,8
15	Kurtna linajärv	0,8
16	Kurtna Väike Linajärv	0,4

2.7 Põhjaveekompleksid ja veekihid

Kirde-Eesti hüdrokeoloogilised tingimused on seotud eelkõige Pandivere kõrgustiku põhja- ja idanõlvade geoloogilise ehitusega. Põhjavee toitealaks on kõrgustiku põhja- ja idanõlv, kust põhjaveevool liigub Pandivere kõrgustikult radiaalselt²⁴ Soome lahe ja Narva jõe suunas. Lisaks mõjutavad piirkonna hüdrokeoloogilisi tingimusi mattunud ürgorud ja tektooniliste rikete vööndid (Savitski, 2000).

Tulenevalt VRD-st (2000) mõistetakse *põhjaveekogumi* all tinglikult piiritletud põhjavee mahtu põhjaveekihi või -kihtides, mida kasutatakse või mis on mingil muul moel oluline (Euroopa parlamendi..., 2000). *Põhjaveekogumite* määramisel võetakse aluseks hüdrokeoloogilised tingimused, veevõtu hulk ja veemajanduskaalutlused. Kuna *põhjaveekogum* iseloomustab teatud veekihi või -kompleksi veemajanduslikult kasutatavat osa, siis võivad erinevate põhjaveekogumite piirid kattuda (Perens *et al.*, 2010).

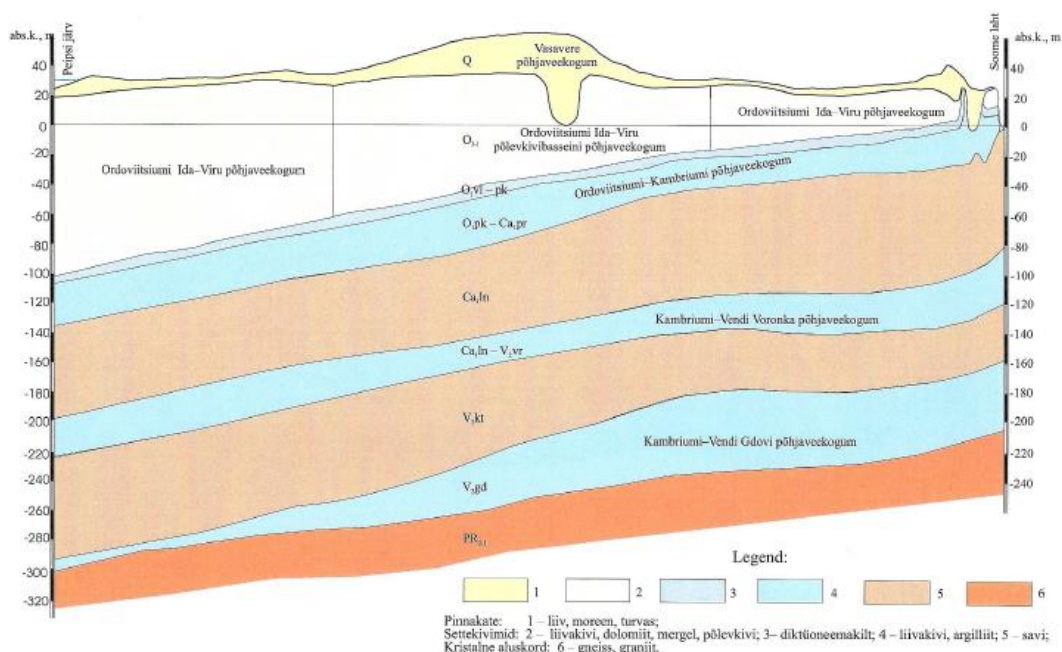
*Kvaternaari veekompleksist (Q)*²⁵ vett võtva *Vasavere ühisveehaare* on rajatud Kurtna maastikukaitsealal paiknevale Vasavere mattunud ürgorgu (Joonis 6). *Vasavere Kvaternaari põhjaveekogum* on loodud *Vasavere veehaarde* tarvis, ürgorgu täitvates liivades ja kruusades oleva vabapinnalise põhjavee baasil. Põhjaveekogum toitub infiltreeruvast sademeveest, kohati *Ordoviitsiumi veekogumi* veest ja pinnaveest. *Vasavere veehaardest* saavad oma joogivee Kohtla-Järve, Jõhvi ja Ahtme linnad (Tamm, 2010; Jõhvi vald, 2011).

*Kesk-Devoni Vadja kihistu sporaadiliselt*²⁶ vett andvat *Narva (D_{2nr}) lokaalset veekihti* loetakse regionaalseks veepidemeks, kuid praktikas on veekihi avamusalal kihistu ülaosa lokaalselt vett andev. Veekompleks koosneb karbonaatkivimitest ja savist. Veekiht on valdavalt surveta ning filtratsioonikoefitsient madal (0,6 m/ööp) (Perens *et al.*, 2010; Savitski, 2000).

²⁴ Radiaalne – kiirjalt keskmest lähtuv või keskmesse suunduv (EKSS, 2009)

²⁵ *Kvaternaari veekompleks (Q)* saab vee erineva geneesi ja levikuga pinnakatte setetest, mille paksus ja levik on muutlikud. *Kvaternaari veekompleksi* vesi on vabapinnaline ja veetasemete muutuseid mõjutavad sademete hulk ja aurumise intensiivsus (Savitski, 2000). Kuna pinnakatte vesi jääb harilikult vaid mõne meetri võrra maapinnast sügavamale, on see hästi kättesaadav ning leiab laialdast kasutust salvkaevudes. Veekompleksi puuduseks on selle reostustundlikkus ja sellest tingitud halb kvaliteet (Perens *et al.*, 2010)

²⁶ Sporaadiline – juhuslikult, üksikult, hajusalt (ÕS, 2013)



Joonis 6. Vasavere veekogumi hüdrogeoloogiline läbilõige Peipsi järvest Soome laheni (kooperitud: Perens, 2010 järgi).

Ordoviitsiumi põhjaveekompleks (O) jaguneb Ida-Virumaal *Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjavee-kogumiks* (O_viru) ja *Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumiks* (O_pkivi) (Keskkonnaministri määrus RT I, 28.06.2013, 14). Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi veetasel mõjutab selle all toimuva põlevkivikaevandamise veekõrvaldus (Tamm, 2010). Vett kandvateks kivimiteks on lubja- ja dolokivid. Veekompleksi veerohkus sõltub kivimite lõhelisusest ja karstumusest. Sügavuse suurenedes karbonaatkivimite lõhelisus ja karstumus väheneb ja nad muutuvad vettpidavateks kihtideks.

Ordoviitsiumi veekompleksi keskmine filtratsioonimoodul on 8,1 m/ööp. Veekompleks toitub avamusalal kvaternaari setteid läbivast veest ja võib õhukese sette kattega kohtades kergesti reostuda. Savika lubjakivi ja mergli esinemine Ordoviitsiumi ladestu läbilõikes võimaldab eristada suhteliselt iseseisvaid, erinevate filtratsiooniomaduste, veetaseme ja põhjavee keemilise koostisega veekihte (Joonis 6) (Perens *et al.*, 2010).

Nabala-Rakvere põhjaveekihi (O₃nb-rk) moodustavad Nabala ja Rakvere lademe lõheline, kohati dolomiidistunud ja karstunud lubjakivi, paksusega kuni 25 m. Veekihi lamamiseks on Oandu lademe vett vähe läbilaskev savikas lubjakivi ja mergel. Põhjavesi on valdavalt surveta ning tema sügavus on 0,3–6,0 m maapinnast, kaevandusalade mõjupiirkonnas

veelgi sügavamal. Külade veevarustuses leiab see veekiht laialdast kasutamist, kuid alanenud põhjavee taseme tõttu kaevandustööde piirkonnas, on selle veekihi kasutamine madalvee perioodidel praktiliselt välistatud (Savitski, 2000; Perens *et al.*, 2010).

Keila-Kukruse põhjaveekihi (O₃kl-kk) vett kandvateks kivimiteks on Keila, Haljala ja Kukruse lademe dolomiidistunud lõheline lubjakivi. Lamamiks on Uhaku lademe savikast ja tihedast lubjakivist koosnev 10-15 m paksune veepide. Aktiivsete e toimivate kaevanduste ja karjääride piirkonnas on põhjaveekihi taset oluliselt alandatud (Savitski, 2000).

Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht (O₂ls-kn) on seotud Lasnamäe, Aseri ja Kunda lubja- ja dolokividega. Alumiseks suhteliseks veepidemeks on siin Volhovi lademe Leetse kihistu savikas glaukoniitlubjakivi ja –liivakivi, Varangu lademe savi ja Pakerordi lademe argilliit. Põhjavesi on valdavalt survealine, lasumissügavusega kuni 25 m. Aladel, kus kaevandamise tõttu on ülemised veekihid alandatud või osaliselt drenitud, on Lasnamäe-Kunda veekihi põhjavesi ainuke väiketarbijate veevarustusallikas (Savitski, 2000; Perens, 2011).

Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleksi (O-Ca) moodustavad Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe Kallavere kihistu ja Alam-Kambriumi Tiskre kihistu peeneteralised liivakivid ja aleuroliidid. Vett kandvate kivimite paksus on valdavalt 20-30 m. Vesi on survealine ja veekompleksi deebit küllaltki stabiilne. Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleksi põhjavesi kaevandusest otseselt ei ole mõjutatud, kuid Ordoviitsiumi veekompleksi alanduslehtri piires liigub põhjavesi Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleksist Ordoviitsiumi veekompleksi (Savitski, 2000).

Kambriumi-Vendi põhjaveekompleks (Ca-V) jaguneb Voronka (V₂vr) ja Gdovi (V₂gd) põhjaveekihtideks, mida eraldab teineteisest 20–40 m paksune aleuroliidist ja savist koosnev Kotlini veepide. Lasuvast Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleksist on Kambriumi-Vendi veekompleks eraldatud savist moodustunud ja tugeva isolatsioonivõimega Lükati-Lontova veepidemega (Perens *et al.*, 2010).

3 MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Puhatu soostiku pindala täpsustamine ning maakatte iseloomustamine

Puhatu soostiku pindala täpsustamiseks korrigeeriti soostiku *nullkontuuri* kulgemist maastikul. Soostiku nullkontuuri piiritlemiseks maastikul kasutati Eesti Maa-ameti digitaalse mullakaardi andmebaasi. Mullakaart on Eesti Maa-ametis digitaliseeritud aastatel 1997–2001 ning alusena on seal kasutatud omaaegsete suurmajandite ja metuskondade mullastiku kaarte (valdavalt mõõtkavas 1:10 000, väiksem osa 1:5 000). Digitaalse alusena kasutatud paberkaardid koostati ajavahemikus 1954–1988 (Maa-amet, 2014).

Nullkontuuri visualiseerimiseks kasutati mullakaardi andmestikust eraldatud soomuldade e madalsoo- (M), siirdesoo- (S) ja rabamuldade (R) polügoone. Põhiline kriteerium nullkontuuri piiritlemisel oli joone katkematu kulg kaardikihil (Lode, 2012). Kõik nullkontuuri piiridesse jäänud mineraalmaa pinnavormid nagu nt rannavallistikud ja mineraalmaa saarestikud loeti sellisel juhul soostiku osaks. Taolisel moel jäid soostiku nullkontuuri piiridesse ka majandatud alad nagu nt põllu- ja metsamaad ning turba kaevandusalad. Põlevkivi kaevandusega seotud alad aga jäid soostiku nullkontuuri piiridest välja.

Nullkontuuri kulgemise õigsuse otsus langetati kõikide olemasolevate kaardi-, pildi- ja kirjandusmaterjalide läbivaatamise tulemusena. Kasutusel olid ka Eesti Maa-ameti 2012. aasta aeropildistamise põhjal koostatud aluskaardid. Aluskaarte kasutati läbi avaliku WMS-teenuse²⁷. Nullkontuuri täpsustamiseks kasutatud *ortofotode* aeropildistamise lend toimus 21.–22. juunil, 2012. aastal. Pildistamine toimus kaameraga Leica ADS40-SH52 ja maapinna 3D mudeli skaneering toimus aerolaserskanner (LIDAR ALS50-II) abil (Maa-amet, 2014).

Kaardikihi töövahendina kasutati *MapInfo Professional 9.5* tarkvara. Saadud tulemused visualiseeriti ja tabuleeriti²⁸.

²⁷ WMS-teenus - Eesti Maa-ameti aluskaartide kasutamine läbi GIS-tarkvaraga programmide (Maa-amet, 2014)

²⁸ Tabuleerima – tabeldama, tabelit koostama, tabelisse seadma (ÕS, 2013)

Puhatu soostiku maakatte iseloomustamiseks kasutati olemasolevat 2006. aasta CORINE Land Cover²⁹ (CLC2006) andmebaasi, millest eraldati *MapInfo Professional 9.5* tarkvara vahendusel Puhatu soostiku nullkontuuri piiridesse jääv maakate. Saadud kihi andmetabeli analüüs viidi lõpuni *MS Excel* programmis. Tulemused visualiseeriti ja koostati tabel.

3.2 Puhatu soostikuga seotud survetegurid

Puhatu soostiku survetegurite iseloomustamiseks kasutati kõiki teemaga seotud kättesaadavaid materjale. Refereeritud survetegurite valdkonnad klassifitseeriti, tabuleeriti ning hinnati nende mõjumäär. Refereeritud töödest leitud survetegurite mõjude leevendamiseks kasutusel olevate meetmete kirjeldused või meetmesoovitused on esitatud käesoleva töö meetmete ja arutelude peatükkides, millele lisati antud töö käigus kujunenud arvamused lisasoovitustena.

3.2.1 Varasemad uuringud

Ida-Virumaa kui majanduspiirkond omab tugevat tööstuslikku orientatsiooni ning on oma toodangu mahult Harjumaa järgi teine tööstuspiirkond Eestis. Kuna Eesti olulisemad põlevkivi leiukohad asuvad Ida-Virumaal, on põlevkivi kaevandamise piirkondade lähedusse koondunud ka teised põlevkiviga seotud tööstusharud – nt elektri- ja õlitootmine (Põlevkivi, 2010). Lisaks põlevkiviga seotud majandustegevusele toimub Ida-Virumaal ka turba kaevandamine (Joonis 7) ning põllu- ja metsamajanduse viljelemine (Drenkhan, 2003). Ida-Virumaad iseloomustab ka intensiivne looduskaitse tegevus. Nii asub Puhatu soostiku keskosas 1999. aastal loodud Puhatu looduskaitseala ning edelaosas – 1981. aastal loodud Agusalu looduskaitseala (Puhatu LKA KKK, 2013; Leito *et al.*, 2007; EELIS, 2014).

Erinevate majandamistegevustega kaasnevaid survetegureid ning nende mõju Puhatu soostikule on uuritud paljude autorite poolt. Enim uuringuid on läbi viidud põlevkivi kaevandamise kohta (Toomik, 1999; Savitski, 2000; Kattai, 2000; Adamson & Reinsalu, 2004; Kupits & Tamm, 2004; Savitski, 2005; Liblik *et al.*, 2005; Rull *et al.*, 2005; Reinsalu *et al.*, 2006; Soovik, 2006; Tamm *et al.*, 2008; Tamm & Metsur, 2010; Perens *et al.*, 2010; Perens, 2011; Pihor *et al.*, 2013).

²⁹ CORINE Land Cover maakate (CLC) - ühtse metoodika alusel koostatud andmebaas mõõtkavas 1:100 000, kuhu kogutakse ruumiandmed kogu Euroopa maakatte kohta (Maa-amet, 2014)

Loigu (2003) põhjal on Kirde-Eestis suurimad heitvee kogused pärit Narva elektrijaamadest ning põlevkivi kaevandustest ja karjääridest ning Riigikontrolli (2014) andmetel moodustab piirkonna tööstuslik veekasutus üle 90% Eesti pinna- ja põhjaveekasutusest (Loigu, 2003; Riigikontrolli..., 2014).

Kuivendussüsteemidest tulenevaid mõjusid on uuritud juba alates möödunud sajandist (Erg & Ilomets, 1989; Adamson, 1997; Tamm & Metsur, 1997; Metsur *et al.*, 1997; Kattai, 2000; Savitski, 2000; Perens, 2001; Kaar, 2003; Savitski, 2003; Kupits & Tamm, 2004; Savitski & Savva, 2004; Põhjaveekomisjon, 2004; Adamson & Reinsalu, 2004; Liblik *et al.*, 2005; Reinsalu *et al.*, 2006; Tamm *et al.*, 2008; Hang *et al.*, 2009; Tamm, 2010; Perens *et al.*, 2010; Reisner *et al.*, 2010; Reinsalu, 2010; Perens, 2011; Sokman, 2011; Robam & Valgma, 2011).

Lisaks on paljud autorid uurinud põlevkiviõli ja elektrienergia tootmisega kaasneva õhusaaste mõju keskkonnale (Liblik *et al.*, 2000; Liblik & Maalma, 2005; Liblik, 2007; Karofeld *et al.*, 2007), metsa- ja põllumajandusega kaasnevat survetegureid (Drenkhan, 2003; Paal *et al.*, 2007; Lode, 2007; Tamm *et al.*, 2008).

Tulenevalt Ida-Virumaa piirkonna intensiivsest majandamistegevusest ühelt poolt ning kaitset vajavatest linnu-, looma- ja taimeliikidest teiselt poolt, on üheks oluliseks kaitsemeetmeid vajavaks alaks Puhatu soostik.

3.2.2 Tööstuslikust majandamisest tulenevad survetegurid

Põlevkivi kaevandamine

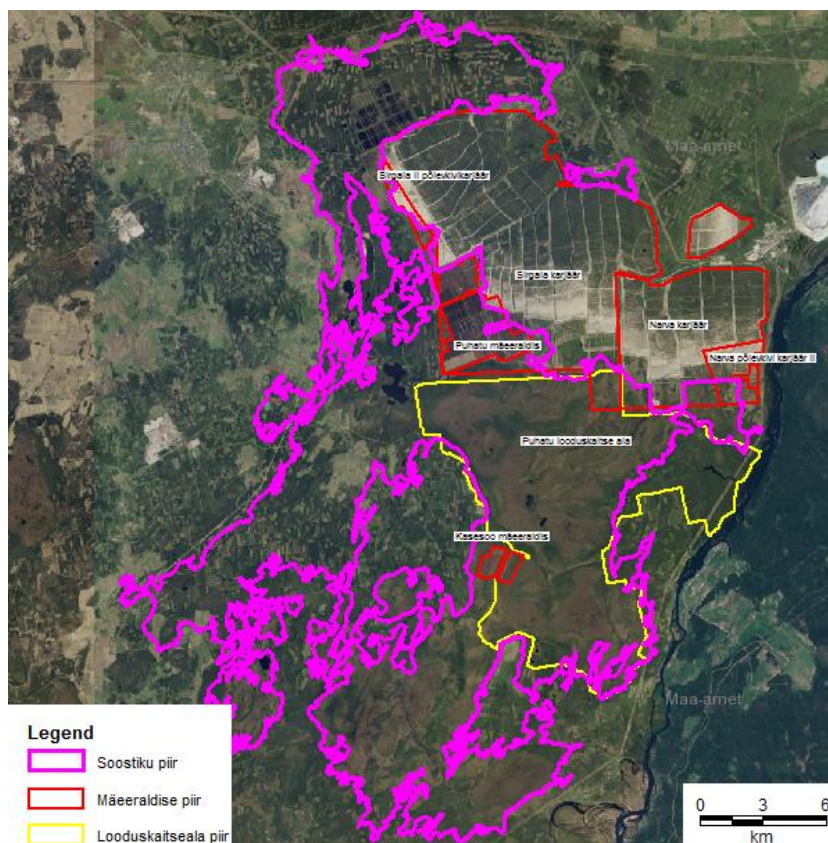
Puhatu soostiku vahetus naabruses toimub põlevkivi kaevandamine. Kaevandamine toimub kehtivate maavara kaevandamise lubade alusel Narva ning Sirgala kaeveväljadel³⁰. Kaevandajaks on AS Eesti Energia Kaevandused (edaspidi EEK) (Tabel 6).

Tabel 6. Kehtivad põlevkivi kaevandamise load (Joonis 7)

Kaevandamise luba, nr	Mäeeraldis, nimi	Loa kehtivuse lõpp, kuup.	Mäeeraldis pindala, ha
KMIN-073	Narva karjäär	10.08.2019	4 256
KMIN-046	Narva põlevkivikarjääris II	15.08.2028	544
KMIN-074	Sirgala karjäär	03.05.2019	11 297
KMIN-087	Sirgala II põlevkivikarjäär	13.04.2031	234

³⁰ Kaeveväli – maardla või selle osa, mis on ette nähtud kaevandada ühe karjääriaga (Kaalman, 1950)

Läbi aegade on piirkonnas kehtinud erinevad põlevkivi kaevandamise load ja karjääridel erinevad nimed. Segaduste vältimiseks käsitletakse käesolevas magistritöös põlevkivi mäeeraldisi ühtse nimetusega *Narva karjäärid* (st kõik Tabelis 6 toodud mäeeraldised), mille kaugeim läänepiir ulatub Vasavere mattunud oruni ja idapiir kulgeb paralleelselt Narva jõega. Ka põlevkivi kaevandamisel kasutatava ühtse tehnoloogia-, logistika-, veekõrvalduse ja muude süsteemide tõttu, tuleks kaevandamisega kaasnevat mõju hinnata ühtse tervikuna, mitte üksikute mäeeraldiste³¹ kaupa (Tabel 6).



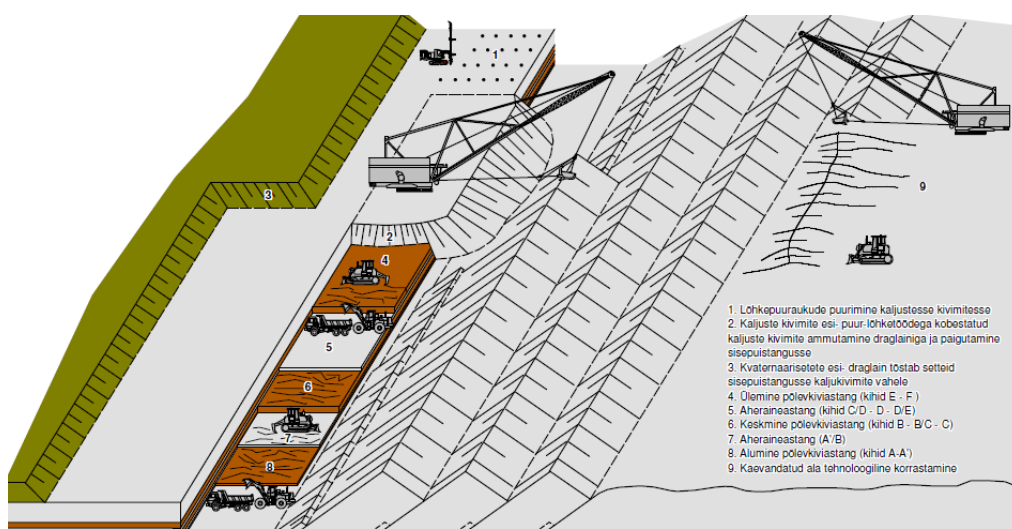
Joonis 7. Kehtivad põlevkivi ja turba mäeeraldised, kus *Soostiku piir* joonisel tähistab selles töös täpsustatud Puhatu soostiku nullkontuuri ning *Looduskaitseala piir* - Puhatu looduskaitseala.

Põlevkivi kaevandamisel rakendatakse sõltuvalt *katendi*³² paksusest kas *pealmaa-* e *avakaevandamist* või *allmaakaevandamist*. Kaevandamistehnoloogia valik mäeeraldisel sõltub aga piirkonna geoloogilistest, hüdrogeoloogilistest ning keskkonnakaitselistest tingimustest ja ala asustusest (PÕKK, 2016–2030) (vt ka Lisa 1 *Kaevandamisviisid*).

³¹ Mäeeraldis – kaevandamisloaga maavara kaevandamiseks määratud maapõue osa (Kaalman, 1950)

³² Katend – maavaralasuundi peal olev kattekiht (Isakar, 2011)

Eesti põlevkivimaardla Narva karjäärides alustati kaevandamisega 1964. aastal. Geoloogilised tingimused olid soodsad pealmaakaevandamiseks vaalkaevandamise meetodiga, kus kattekivimid teisaldati kaevandatud alas olevatesse sisepuistangutesse (Joonis 8). Eesti põlevkivi maardlas asuvate karjääride *kaevetranšeed*³³ on rajatud põhjast lõunasse, samas suunas on kulgenud ka mäetööde üldine areng. Tagajärjeks on, et kõik kaevetranšeedesse sattunud pinna-, põhja-, sademete- ja sulaveed kogunevad kaevetööde tsooni, mistõttu *tööeed*³⁴ on pidevas uppumisohus, seda eriti liigvee perioodidel (Mändmets, 2008). Kuna mäetööde frondi kogupikkus on mõõdetav kilomeetrites ja tööde front ise on pidevas edasiliikumises, on Narva karjääris veekõrvaldusena kasutusele võetud nn *drenaazišahtide*^{35,36} süsteem (Mändmets, 2008).



Joonis 8. Põlevkivi pealmaakaevandamise skeem (koopia: Niitlaan *et al.*, 2010).

Drenaazišahtid on rajatud mäetööde frondist ettepoole ja ühendatud viimasega ca 3-5 meetrit tootuskihindi³⁷ põhjast allpool olevate drenaazistrekkidega. Drenaazistrekid³⁸ on rajatud kaevetranšeede alla ning kaevetranšeede põhja kogunev vesi eemaldatakse drenaazistrekkidesse selleks puuritud puuraukude või kobestatud materjaliga olevate lõhede

³³ Kaevetranšee – kraavikujuline rajatis millegi paigutamiseks. Mäenduses nimetatakse tranšeeks trapetsikujulist ristlõikega kaevandit karjääris (*Tranšee perv, põhi, sügavus, trass. Tranšee läbindamine*) (EKSS)

³⁴ Tööee – piirkond kaevanduses, kus parajasti väljatakse maavara (PÕKK 2008-2015)

³⁵ Drenaaz – salakraavitus, torustus; drenide ja sinna juurdekuuluvate rajatiste süsteem (EKSS, 2009)

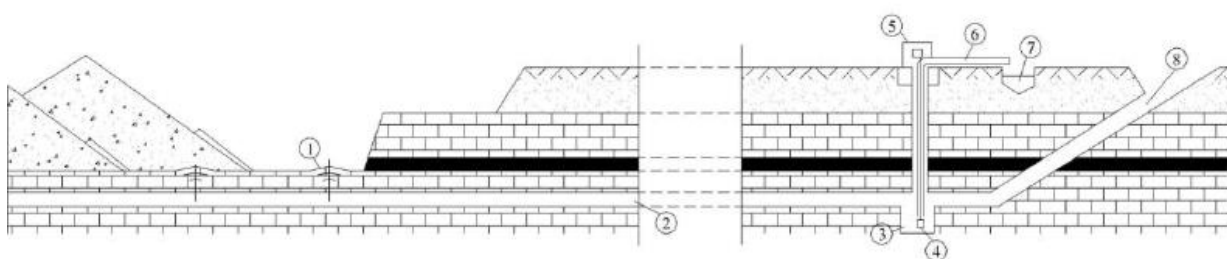
³⁶ Šaht – maapinnale avanev püstine või kaldkaeveõõs (EKSS, 2009)

³⁷ Põlevkivi tootuskiht – tootlik, produktiivne põlevkivikiht, mille moodustavad üldjuhul 7 kukersiidi ja 6 lubjakivi vahekihti (Isakar, 2011)

³⁸ Strekk – horisontaalne kaeveõõs, mis on rajatud maavara lasundisse. Strekki kasutatakse maavara, kaevise ja vahendite ning seadmete veoks, tuulutuseks ja veekõrvalduseks (Kaalman, 1950)

kaudu. Kuna dreneažistrekidel on põlevkivi kihiga samasugune põhja-lõunasuunaline kalle, siis koguneb vesi strekkide lõunapoolses osas olevatesse pumbajaamadesse isevoolu teel. Vajadusel täidab dreneažistrekk ka *veekoguri* ülesannet, millesse kogunenud vesi pumbatakse läbi survetorustiku maapinnale – selleks rajatud settebasseini (Joonis 9).

Settebasseini ülesandeks on väljapumbatud vees oleva heljumi³⁹ setitamine. Setituse läbinud vesi suunatakse mööda äravoolu- ja magistraalkraave eesvoolu, e Narva jõkke (Mändmets, 2008). Erandiks on Sirgala II põlevkivikarjäär, kus mäetöid viiakse läbi tehnoloogilise eriskeemi alusel (Adamson, 1997; Sokman, 2011) (vt ka Lisa 2 *Kaevandamine Sirgala II põlevkivikarjääris*).



Joonis 9. Skeem karjääri dreneažisüsteemist põlevkivikarjääris (koopia: Robam & Valgma, 2011), kus: 1-dreen, 2-dreneažistrekk, 3-sump⁴⁰, 4-pump, 5-pumbajaam koos mootoriga, 6-pumba toru, 7- kraav vee ärajuhtimiseks, 8-kaldšaht

Turba kaevandamine

Turvast kaevandatakse Puhatu maardlas asuvatel mäeeraldistel ning kaevandajaks on AS Tootsi Turvas (Tabel 7, Joonis 7).

Tabel 7. Keskkonnaministeeriumi poolt eraldatud turba kaevandamise load (Joonis 7)

Kaevandamise luba, nr	Mäeeraldis, nimi	Loa kehtivuse lõpp, kuup.	Mäeeraldiselise pindala, ha
KMIN-023	Puhatu	12.12.2025	1 226,12
KMIN-080	Kasesoo	29.12.2019	217,95

Turbakaevandamise eelduseks on veetaseme alandamine mäeeraldisel. Selleks otstarbeks rajatakse kuivendus- ja kogumiskraavidest koosnev kuivendusvõrk, mille struktuur on planeeritavast kaevandamisviisist. Reeglina paiknevad kuivenduskraavid mäeeraldisel paralleelselt (pinnalanguga risti) paarikümne meetriste vahedega ning neid puhastatakse ja

³⁹ Heljum – vedelikus heljuv tahke aines ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (ÕS, 2013)

⁴⁰ Sump – kaevanduse või karjääri sügavaim koht, kuhu võib koguda vett või asetada seadmeid (Kaalman, 1950)

süvendatakse vastavalt kaevandatud turba mahule alal (Lode, 2011). Kuivenduskraavidesse kogunev vesi suunatakse läbi kogumiskraavi settebasseinidesse, kus toimub heljumi setitamine. Setituse läbinud vesi suunatakse looduslikesse vooluveekogudesse (*Ibid*).

3.2.3 Õhusaaste

Kirde Eestis asuvad Narva elektrijaamad annavad üle 90% Eestis toodetavast elektrienergiast. Narva elektrijaamade tootmisüksused, Eesti ja Balti elektrijaamad, on maailma võimsaimad põlevkivil töötavad elektrijaamad. Mõlemad elektrijaamad toodavad aastas kokku *ca* 10 TWh elektrit (EE, 2014). Põlevkivi põletamine tekitab aga õhusaastet, mis Riigikontrolli aruandest (2014) tulenevalt moodustab üle 70% kogu Eesti õhuheitmete kogusest (Riigikontrolli..., 2014).

Tulenevalt piirkonna tööstuse eripärast on Kirde-Eestis põhilisteks atmosfääri saastavateks aineteks põlevkivienergeetikast pärinevad aluseline lendtuhk ja vääveldioksiid (50-ndatest aastatest alates). Piirkonna õhusaaste omapäraks peetakse aluselise ja happelise saastekomponentide üheaegne esinemine (Liblik, 2007).

Soojuselektrijaamadest tuleneva õhusaaste mõju Kirde-Eesti piirkonna keskkonnale on uuritud erinevate autorite poolt (Liblik *et al.*, 2000; Liblik & Maalma, 2005; Karofeld *et al.*, 2007; Liblik, 2007). Liblik & Maalma (2005) põhjal on saasteainete emissioon piirkonna atmosfääri alates 1990. aastast pidevalt vähenenud ning aastatest 2001–2003 on see *ca* 150 tuh t/aastas, e 32% 1990. aasta emissioonist (Liblik & Maalma, 2005).

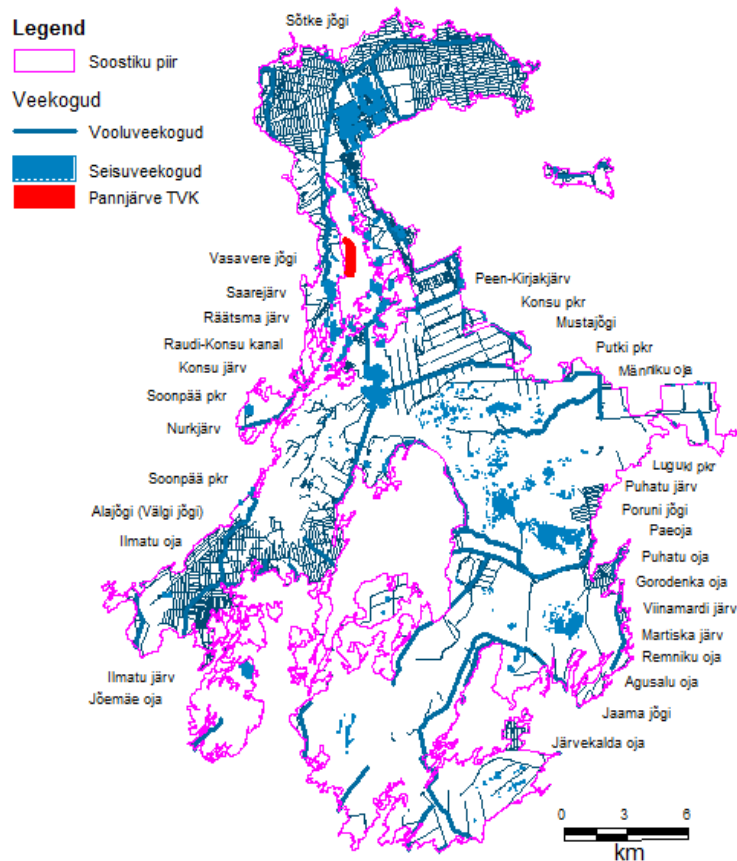
Liblik (2007) järgi on Kirde-Eestis põlevkivi lendtuha kontsentratsioon stabiliseerunud 2001. aasta tasemel, olles oluliselt madalam lubatud kriitilisest piirväärtusest.

Karofeld *et al.* (2007) töös rõhutatakse aga, et vaatamata õhusaaste mitmekümnekordsele vähenemisele on Puhatu soostiku rabavee pH ning elektrijuhtivus endiselt oluliselt kõrgemad, kui see on omane looduslikule rabale. Puhatu soostiku taimkate viitab sellele, et olemasolevad ökosüsteemid toimivad õhusaaste puhverdusvõime piiiril (Karofeld *et al.*, 2007).

EEK on EL direktiividest lähtuvalt oluliselt arendanud meetmeid õhusaaste vähenemiseks. Paraku praegu puuduvad uuemad andmed rakendatud meetmete mõjude kohta Puhatu soostikule.

3.2.4 Muudatused veestikus

Puhatu soostik kuulub Ida-Eesti veemajanduspiirkonda. Eesti Maa-ameti elektroonilise põhikaardi alusel on Puhatu soostikku rajatud kraavituse üldpikkus ca 1 300 km e 33 m kraavitust 1 ha kohta (*MapInfo Professional 9.5* tulemused) (Joonis 10). Valdav osa kraavitusest paikneb soostiku põhjaosas – kuivendatud soometsa ning turbakaevandusaladel.



Joonis 10. Eesti Maa-ameti põhikaardi andmestikul põhinev Puhatu soostiku pinnavete võrgustik koos olulisemate nimetustega (visuliseeritud teksina väljaspool soostiku piiri); soostiku piir on täpsustatud käesoleva töö raames Maa-ameti elektroonilise mullakaardi järgi. *Pannjärve TVK* joonisel = Pannjärve liivakarjääri tehiseveekogu.

Lähtudes olemasolevatest Puhatu soostiku vooluveekogude nimekirjadest, on paljud neist nimedega kraavid (Tabel 4). Lisaks on osa vooluveekogudest tugevalt muudetud e sirgendatud parema kuivenduse toimimise eesmärgil ning lisaks on rajatud suurel hulgal nimeta kraave (Joonis 10). Ehkki ka laugastiku kinnikasvamist saab kasutada veestiku

muutuste indikaatorina, siis Puhatu soostiku laugaste seisundi kohta vastavat materjali ei leitud.

Piirkonna põhjavee režiimi on mõjutatud vahetus läheduses toimivast põlevkivi ja ka liiva kaevandamisest Vasavere ürgorus paiknevas Pannjärve liivkarjääris. Liivakarjääris toimub ehitusliiva ammutamine allpool põhjavett hüdropumpamise teel (Niitlaan & Sein, 2014). Pannjärve liivakarjääri kujunenud tehisjärve veepeegli pindala on 41,5 ha ning kaldajoone pikkus – 4 942 m (EELIS, 2014).

Pannjärve liivakarjääri vahetus läheduses asub Vasavere veehaare. Veehaare toimib 1972. aastast ning vesi kuulub Kvaternaari veekompleksi. Vee põhiliseks tarbijaks on Kohtla-Järve linn. Kehtestatud veetarbe piirväärtuseks on 8 000 m³/ööp (Jõhvi valla, 2011) ning tema tegelik kasutus on momendil 4 600 m³/ööp (Suuroja *et al.*, 2009).

Nii toimiv Vasavere veehaare kui suletud Ahtme ja praegu töötav Estonia põlevkivi kaevandus on olulised survetegurid piirkonna põhjavee tasemele. Selle tulemusena on märgatavalt alanenud piirkonnas paiknevate Kurtna järvede veetase, nt on Martiska ja Kuradijärves see alanenud erinevatel andmetel 3–5 m (Erg & Ilomets, 1989; ESTONICA, 2000).

Ka Kohtla-Järve tööstusettevõtetele vajalikku vett varutakse Kurtna järvestiku suurimast – Konsu järvest, st. Konsu veehaardest.

Kurtna järved on eesvooluks Estonia kaevandusveele, kust see läbi Jõuga peakraavi jõuab Rannapungerja jõkke. Kaevandusvee mõjude all olevates järvedes on sulfaatrestose tagajärjel hävinemas järvede põhjaelustik. Estonia kaevanduse põlengu kustutamisel 1988. aasta lõpus reostati fenoolidega Rannapungerja jõe ja Raudi kanali kaudu ka Peipsi järve (Tüvi & Feršel, 2010).

Oru freesturbaväljadel toimunud põlengute kustutamiseks on kasutatud Kurtna Valgjärve vett, mille tagajärjel on veetase järves alanenud kuni meetri võrra (ESTONICA, 2000).

Kirde-Eesti piirkonna vetevõrgu looduslikkust mõjutavad oluliselt nii töötavad kui ka juba suletud kaevandused. Pinnamorfoloogiat pöördumatult mõjutanud tegevustega kaasnevad pöördumatud muudatused nii jõgede, järvede kui ka soode vetevõrgu morfoloogias (Hang *et al.*, 2009). Tekivad uued – tehislikud allmaa- ning pealmaa e pinnaveekogud. Nii nt on käesoleval ajal põlevkivi kaevandamise lõpetamisega uusi tehislikke veekogusid piirkonnas 13 (Tabel 8) (Reinsalu, 2010).

Tabel 8. Eesti põlevkivikaevandustega seotud tehislikud allmaa ja pealmaa veekogud (täiendatud Reinsalu, 2010 järgi)

Jrk	Kaevanduse või karjääri nimetus, (kaevetüübi alternatiivnimetus)	Alustas	Lõpetas	Tehisliku veekogu tüüp
1	Kohtla (Pavandu, Järve) kaevandus	1916	1927	allmaa
2	Kukuruse kaevandus	1921	1967	osaliselt allmaa
3	Kiviõli (Sala) kaevandus	1922	1987	allmaa
4	Vanamõisa karjäär	1923	1931	pealmaa
5	Käva 1 + Käva 2 kaevandus	1924	1927	osaliselt allmaa
6	Küttejõu karjäär	1925	1950	-
7	Ubja (vana) kaevandus	1926	1959	osaliselt allmaa
8	Viivikonna karjäär	1936	1987	-
9	Kohtla (Nõmme) kaevandus	1937	1999	-
10	Ahtme (Kaevandus nr 10)	1948	2001	allmaa
11	Sompa (Kaevandus nr 6)	1948	1999	allmaa
12	Teine (Jõhvi, Kaevandus nr 2)	1949	1973	allmaa
13	Tammiku (Kaevandus nr 8)	1951	1999	allmaa
14	Neljas (Kaevandus nr 4)	1953	1975	allmaa
15	Sirgala (Karjäär nr 1)	1962	2000	
16	Viru (Kaevandus nr 7)	1964	toimub sulgemine	allmaa
17	Narva (Karjäär nr 2)	1970	töötab	-
18	Estonia (Kaevandus nr 9)	1972	töötab	-
19	Aidu (Oktoobri, Karjäär nr 3)	1974	toimub sulgemine	osaliselt allmaa
20	Põhja-Kiviõli põlevkivikarjäär	2003	töötab	-
21	Ubja karjäär	2005	töötab	-
22	Ojamaa kaevandus	2011	töötab	-
23	Põhja-Kiviõli II põlevkivikarjäär	2011	töötab	-

Veega täituvatest kaevandustest on moodustumas ulatuslik allmaa veebassein ulatusega Kohtlast Vasavereni ning Kukuruselt Pagarini, mis on klasterdatud erinevatel aegadel suletud kaevanduste tõkketervikutega. Selle tehisliku veekogu hinnanguline veemaht on 170 mln m³. Reinsalu (2010) järgi vastab allmaa veebasseini vee kvaliteet rekreatsioonivee kvaliteedi nõuetele (Reinsalu, 2010).

Kaevandusjärgselt kujunenud allmaa veebasseini veed võivad muutuda segavaks faktoriks nii edasise maa-aluse kaevandamise jätkamisele (kaeveõntesse kogunenud vesi hakkab liikuma töötavate kaevanduste suunas) kui ka seni kaevanduste kuivendava mõju all olnud pealmaa-alade hüdroloogilisele stabiilsusele (tekkida võivad perioodiliselt üleujutatavad alad maapinnal). Nii näiteks põhjustas Jõhvi linna 2003. aasta suure üleujutuse liigvee väljavool suletud kaevandustest (Viru-Peipsi, 2005).

Vesi muudab ka uputatud kaeveõnte konstruktsioonide püsivust, soodustades kaeveõnte langatusi (Liblik *et al.*, 2005). Looduslikult madalamatesse langatuslohkudesse koguneb

pinnavesi, püsides seal aastaringselt ning tekitab selliselt liigniiskeid alasid või uusi väikeveekogusid. Suurema tõenäosusega võib selline liigniiskumine toimuda kohtades, kus maapinna alumistes kihtides esineb savikaid vettpidavaid vahekihte. Nii nt on toimumas liigniiskumine Ahtme kaeväljadel (kamberplokid 26 ja 27) (Toomik, 1999; Rull *et al.*, 2005).

Kaevandamiseks vajaliku veetaseme alandamine võib põhjustada olemasolevate pinna- ja põhjaveekogude kuivamist. Nii nt algselt Kalina rabast alguse saanud Kohtla jõe lähe asub nüüd vanast lähtest 1 km mööda jõesängi allpool (Savitski, 2003; Liblik *et al.*, 2005; Reinsalu *et al.*, 2006; Reisner *et al.*, 2010).

Karjäärialade veestiku muutuste tulemuseks on piirkonna veeressursside ümberjaotumine (Tamm *et al.*, 2008). Kaasnevad muutused ka alade taimkattes ja vee kvaliteedi näitajates (nt suurenevad heljumi, sulfaatide ja raua kogused) (Toomik, 1999; Rull *et al.*, 2005).

3.2.5 Metsakuivendus

Eestis on soode kõige ulatuslikumaks majandamise viisiks metsandus ja põllumajandus (Paal & Leibak, 2013). Puhatu soostikus väljakujunenud metsakoosluste struktuur ongi kujunenud aegade jooksul toimunud kuivendamise ja metsaraiete tulemusena (Paal *et al.*, 2007). Metsakuivenduse peamiseks majanduslikuks eesmärgiks on puistu kasvutingimuste parandamine ning ka läbipääsu rajamine liigniisketesse metsa piirkondadesse (Lode, 2007). Hinnanguliselt on kogu Eesti ulatuses metsade juurdekasvu parandamiseks rajatud kuivendussüsteeme *ca* 23%-le metsamaast (Eesti metsanduse, 2010).

Lähtuvalt kehtivate direktiivide nõuetest, tuleb käesoleval ajal uute metsakuivendusobjektide rajamise asemele eelistada olemasolevate kuivendussüsteemide taastamist ja rekonstrueerimist tingimusel, et selle tegevusega ei ohustata kaitstavate alade loodusväärtusi (Eesti metsanduse, 2010).

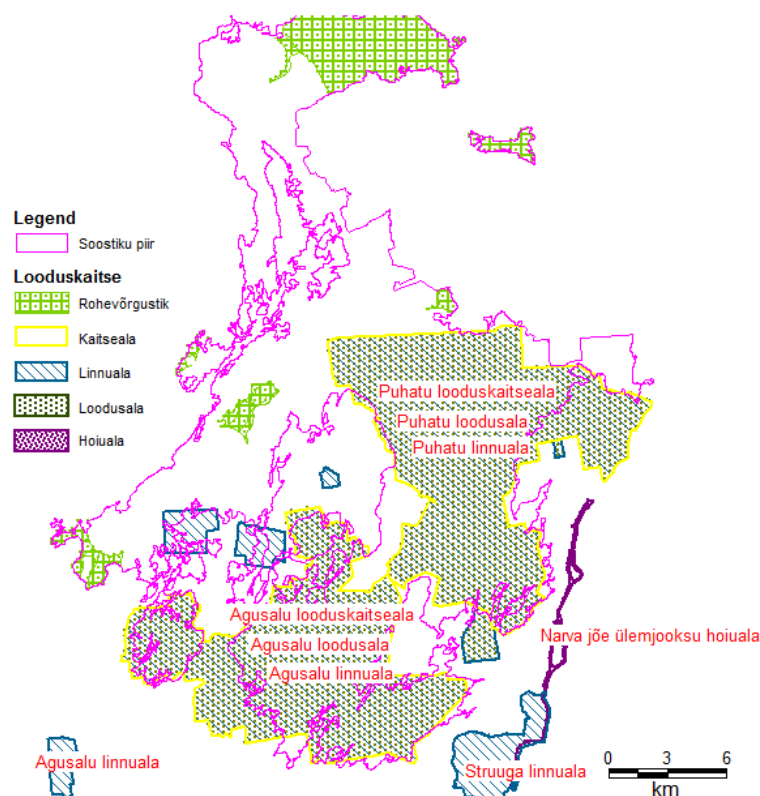
Juba 17.–18. sajandil toimusid Alutaguse metsades valikraied Narva saekaatri ning Gorodenka külas tegutsenud klaasivabriku küttepuiduga varustamiseks. 20. sajandi teisel poolel toimusid ulatuslikud metsakuivendustööd Gorodenka jõe valgla piirkonnas, sh ka Puhatu soostiku alal, mis muutsid piirkonna metsade ja soode hüdroloogilisi tingimusi (Paal *et al.*, 2007).

Poruni jõe ümbruses alustati kuivendustöödega 1975. aastal. Piirkonna maaparanduslikud kuivendusveed juhiti nii Poruni jõkke kui ka sinna suubuvatesse ojadesse. Kuna Poruni jõe

veerežiimi on olulised mõjutanud ka hulgalised kopra paisud, siis on ainuüksi metsakuivendamise mõjusid piirkonnale raske hinnata (Puhatu LKA KKK, 2013).

3.2.6 Looduskaitse

Intensiivse suurtööstuse piirkonnas paikneva Puhatu soostiku loodusliku seisundi kaitseks ja säilitamiseks on soostikku rajatud *looduskaitsealad* ning rahvusvahelise tähtsusega *loodus-* ja *linnualad* (Joonis 11). Seades intensiivsele majandamisele piiranguid, on loodusliku keskkonna säilitamine ja kaitsmine läbi looduskaitse tegevuse käsitletav positiivse survetegurina loodusele ning negatiivseks intensiivsele majandamisele.



Joonis 11. Puhatu soostiku looduskaitsealad ja objektid (Eesti Looduse Infosüsteem, Keskkonnaagentuuri andmed).

Puhatu looduskaitseala (edaspidi LKA) esimene *kaitsekorralduskava* koostati aastateks 2006–2015. Hetkel kehtiv *kaitsekorralduskava* on koostatud aastateks 2013–2022 ning see hõlmab lisaks *Puhatu LKA*-le ka *Puhatu linnu-* ja *loodusalal* toimuva looduskaitse tegevuse koordineerimist ja korraldamist (Puhatu LKA KKK, 2013). *Agusalu LKA* kohta on *kaitsekorralduskava* koostamisel ning sealset looduskaitse tegevust korraldatakse

hetkel *Looduskaitseadusest* (RT I, 16.05.2013, 16) tulenevalt *Agusalu LKA kaitse-eeskirja* (RT I 2007, 38, 272) alusel.

Puhatus soostiku ida poolsesse piirkonda on rajatud *Struuga linnuala* (*Natura 2000* ala) ning sellega piirnev *Narva jõe ülemjooksu hoiuala*. Mõlema eelnimetatu kohta *kaitsekorralduskavasid* leida ei õnnestunud.

Puhatu LKA

Puhatu LKA on moodustatud Puhatu soostiku ja sealsete kaitsealuste liikide kaitseks, hõlmates enda alla ka Boroni jõe ürgoru taime- ja loomastiku kaitseala ning Permisküla taime- ja loomastiku mikrokaitseala (*Puhatu LKA KKK*, 2013). *Puhatu LKA* alla võetud maa-ala ületab soostiku idaosas Puhatu soostiku piiri ca 4 700 ha võrra. *Puhatu LKA* ning *Puhatu linnu- ja loodusala* liigikaitse tegevused on korraldatud läbi kaitsekorralduskava, kus on lühidalt antud ülevaade kaitstavast alast, elupaikadest ja liikidest, analüüsitud seatud kaitse-eesmärke ning kirjeldatud kaitseks vajalikke meetmeid koos oodatavate tulemustega (*Ibid*). Tulenevalt *loodusdirektiivi* eesmärgist on *Puhatu loodusala* ja *Puhatu LKA* peamine eesmärk loodusdirektiivi I lisas nimetatud elupaigatüüpide kaitse (Tabel 9).

Tabel 9. Puhatu loodusosalal kaitstavad I lisas nimetatud elupaigatüübid

Elupaigatüüp		
Jrk	Nimetus	Kood
1	Metsastunud luited	2180
2	Huumustoitelised järved ja järvikud	3160
3	Jõed ja ojad	3260
4	Kuivad niidud lubjarikkal mullal (olulised orhideede kasvualad)	*6210 ⁴¹
5	Rabad	*7110
6	Siirde- ja õõtsiksood	7140
7	Nokkheinakooslused	7150
8	Liigirikkad madal-sood	7230
9	Vanad loodusmetsad	*9010
10	vanad laialehised metsad	*9020
11	Rohunditerikkad kuusikud	9050
12	Soostuvad soo- ja lehtmetsad	*9080
13	Siirdesoo- ja rabametsad	*91D0
14	Lammi-lodumetsad	*91E0
15	Laialehised lammimetsad	91F0

⁴¹ (*) – Loodusdirektiivis loetletud esmatähtsate liikide ja elupaigatüüpide juurde lisatakse tähis (*). Linnudirektiivis esmatähtsaid liike ei eristata (Peterson, 2005)

Lisaks toimub loodusdirektiivi II lisas nimetatud liikide elupaikade kaitse (Tabel 10).

Tabel 10. II lisas nimetatud liigid mille isendite elupaiku Puhatu looduslalal kaitstakse

Liigi nimetus		
Jrk	Eestikeelne	Ladinakeelne
1	Laialehine nestik	<i>Cinna latifolia</i>
2	Roheline kaksikhammas	<i>Dicranum viride</i>
3	Ida-võsalill	<i>Moehringia laterifolia</i>
4	Palu-karukell	<i>Pulsatilla patens ja</i>
5	Vingerjas	<i>Misgurnus fossilis.</i>

Tulenevalt linnudirektiivi eesmärgist on Puhatu linnuala ja Puhatu LKA peamiseks eesmärgiks linnudirektiivi I ja II lisas nimetatud liikide kaitse (Tabel 11) (Puhatu LKA KKK, 2013).

Tabel 11. Puhatu linnuala liigid, mille isendite elupaiku kaitstakse

Liigi nimetus		
Jrk	Eestikeelne	Ladinakeelne
1	Karvasjalg-kakk	<i>Aegolius funereus</i>
2	Viupart	<i>Anas penelope</i>
3	Sinikael-part	<i>Anas platyrhynchos</i>
4	Nõmmekiur	<i>Anthus campestris</i>
8	Kaljukotkas	<i>Aquila chrysaetos</i>
9	Sooräts	<i>Asio flammeus</i>
10	Tuttvart	<i>Aythya fuligula</i>
11	Laanepüü	<i>Bonasa bonasia</i>
12	Sõtkas	<i>Bucephala clangula</i>
13	Välja-loorkull	<i>Circus cyaneus</i>
14	Soo-loorkull	<i>Circus pygargus</i>
15	Laululuik	<i>Cygnus cygnus</i>
16	Väikepistrik	<i>Falco columbarius</i>
17	Järvekaur	<i>Gavia arctica</i>
18	Merikotkas	<i>Haliaeetus albicilla</i>
19	Rabapüü	<i>Lagopus lagopus</i>
20	Punaselg-õgija	<i>Lanius collurio</i>
21	Hallõgija	<i>Lanius excubitor</i>
22	Mustsaba-vigle	<i>Limosa limosa</i>
23	Mudanep	<i>Lymnocyptes minimus</i>
24	Suurkoovitaja	<i>Numenius arquata</i>
25	Väikekoovitaja	<i>Numenius phaeopus</i>
26	Kalakotkas	<i>Pandion haliaetus</i>
27	Tutkas	<i>Philomachus pugnax</i>
28	Rüüt	<i>Pluvialis apricaria</i>
29	Teder	<i>Tetrao tetrix</i>
30	Metsis	<i>Tetrao urogallus</i>
31	Mudatilder	<i>Tringa glareola</i>
32	Heletilder	<i>Tringa nebularia</i>
33	Kiivitaja	<i>Vanellus vanellus.</i>

Lisaks viiakse *Puhatu linnu- ja loodusala* läbi riiklikku seiret alamprogrammide „Eluslooduse mitmekesisus ja maastike seire“, „Metsaseire“ ja „Välisõhu seire“ alusel (Puhatu LKA KKK, 2013). Puhatu LKA kaitsekorralduskavas leiab infot ka põlevkivi ja turba kaevandamismõjude seire kohta (*Ibid*).

Agusalu LKA

Agusalu LKA kaitse-eesmärgiks on *Agusalu* soole iseloomulike, inimtegevusest vähe mõjutatud soomassiivide ja nendega seotud metsakoosluste säilitamine, uurimine, tutvustamine ning kaitsealuste liikide ja nende elupaikade kaitse tagamine (*Agusalu looduskaitseala kaitse-eeskiri - RT I 2007, 38, 272*).

Tulenevalt *linnudirektiivi* eesmärgist on *Agusalu linnuala* ja *Agusalu LKA* eesmärk *linnudirektiivi* I, II ja ka III lisas märgitud liikide kaitse (Tabel 12) (EELIS, 2014).

Tabel 12. *Agusalu linnuala* liigid, mille isendite elupaiku kaitstakse

Liigi nimetus		
Jrk	Eestikeelne	Ladinakeelne
1	Kaljukotkas	<i>Aquila chrysaetos</i>
2	Sooräts	<i>Asio flammeus</i>
3	Musträhn	<i>Dryocopus martius</i>
4	Sookurg	<i>Grus grus</i>
5	Merikotkas	<i>Haliaeetus albicilla</i>
6	Rabapüü	<i>Lagopus lagopus</i>
7	Hallõgija	<i>Lanius excubitor</i>
8	Mustsaba-vigle	<i>Limosa limosa</i>
9	Väikekoovitaja	<i>Numenius phaeopus</i>
10	Tutkas	<i>Philomachus pugnax</i>
11	Rüüt	<i>Pluvialis apricaria</i>
12	Teder	<i>Tetrao tetrix</i>
13	Metsis	<i>Tetrao urogallus</i>
14	Mudatilder	<i>Tringa glareola</i>
15	Heletilder	<i>Tringa nebularia</i>
16	Kiivitaja	<i>Vanellus vanellus</i>

Tulenevalt *loodusdirektiivi* eesmärgist on *Agusalu loodusala* ja *Agusalu LKA* eesmärk *loodusdirektiivi* I lisas nimetatud elupaigatüüpide kaitse (Tabel 13) (EELIS, 2014).

Tabel 13. Agusalu looduslal kaitse alla võetud elupaigatüübid

Elupaigatüüp		
Jrk	Nimetus	Kood
1	Huumustoitelised järved ja järvikud	3160
2	Rabad	*7110
3	Siirde- ja õõtsiksood	7140
4	Nokkheinakooslused	7150
5	Vanad loodusmetsad	*9010
6	Rohunditerikkad kuusikud	9050
7	Soostuvad ja soo-lehtmetsad	*9080
8	Siirdesoo- ja rabametsad	*91D0.

Rohetaristu ja rohevõrgustik

Rohetaristu on eri tüüpi ökosüsteemide ja maastike säilimist tagav ning majandustegevuse mõju tasakaalustav looduslikest ja poollooduslikest kooslustest koosnev süsteem. *Rohetaristu kontseptsioon* esindab Euroopa Liidu poliitikas uuemaid trende, seostades kitsamat liikide ja elupaikade looduskaitset laiema säästva majandusarengu temaatikaga (Kull & Külvik, 2012).

Ida-Virumaal maakonnaplaneeringuga 2003. aastal kehtestatud *rohevõrgustiku* eesmärk on kitsama suunitlusega piirkondlik ökosüsteemide ja liikide kaitse, mis peab lisaks hõlmama kõrge loodusväärtusega maa-alade säästvat kasutamist, looduslike, poollooduslike jt. väärtuslike ökosüsteemide kaitset ning säästlike põhimõtete järgimist kogu maakonda hõlmava looduskompleksi kasutamisel (Ida-Virumaa..., 2003). Lisaks on *rohevõrgustiku* ülesandeks ökosüsteemide energia- ja aineringe stabiilsuse ja bioloogilise mitmekesisuse tagamine läbi liikide, koosluste ja keskkonnaseisundi säilitamise ja kaitse (Kohv, 2007) (vt ka Lisa 3 *Rohevõrgustiku toimimise põhimõtted*).

Olemasolev *rohevõrgustik* hõlmab Puhatu soostikus peamiselt soostiku põhja ja keskosa, st 3 750 ha, kattes soostiku pindalast 9,3% (Joonis 12). Ida-Viru maakonnaplaneeringus on *rohevõrgustiku* kohta vaid üldistav informatsioon, puudub *rohevõrgustikku* täpsemalt iseloomustav kirjeldus, puuduvad andmed tuumaladel ja rohekoridorides liikuvate ulukite ning rändlindude peatumiskohtade kohta. Lisaks ei ole toodud *rohevõrgustiku* toimimise eesmärgid ja oodatavad tulemused selle kaitsmisel nagu on see toodud nt Harku valla *rohevõrgustiku* tuumalade ja koridoride uuringus (Kohv, 2007).

Hetkel kehtivas Ida-Virumaa teemaplaneeringus leiab äramärkimist, et karjääride tehnilisele ja metsanduslikule rekultiveerimisele peaks eelistama karjääride iseeneslikku taas-loodustumist (!), mis soodustaks suuremat looduslikku mitmekesisust võrreldes nt „metsapõldude“ rajamisega (Ida-Virumaa..., 2003).

3.3 Puistu arengudünaamika modelleerimine kraavituse mõju hindamiseks Puhatu soostikus

Puistu arengudünaamika modelleerimiseks Puhatu soostikus telliti Eesti Maa-ametilt 2005, 2009 ja 2013 aastate *ortofotod*⁴² (RGB tüüp, M 1:10 000, formaat ECW). Tellitud ortofotode aeropildistamiste tingimused on toodud tabelis (Tabel 14) (Maa-amet, 2014).

Tabel 14. Tellitud ortofotode aeropildistamiste tingimused

Ortofoto	Pildistamise aeg	Kasutatud tehnika	Pildistamise kõrgus, m
2005	22. juuni, 2005	Analoogseadmed RC20, RC30 ja RMK TOP 15	3 850
2009	28. mai, 2009	Aerolaserskanner (LIDAR) ALS50-II; Leica ADS40	2 400
2013	14.–15. mai, 2013	Aerolaserskanner (LIDAR) ALS50-II; Leica ADS40-SH52	2 400

Eesti Maa-ametist telliti ka kõrgusmodelid *GeoTIFF* formaadis, pikslisuurustega 5x5 m ja 10x10 m. Kõrgusmodelid imporditi *ArcMap 10.1* keskkonda, kus loodi 3D *reljeefvarjutuse* (*hillshade*) kihid (*reljeefvarjutuse - Hillshade*, tööriist, *rasterpindade analüüsi - 3D Analyst Tools Raster Surface*, mooduli alt). *Reljeefvarjutuse* kihte pikslisuurusega 5x5 m ja 10x10 m kasutati Puhatu soostiku erinevate mudelalade tulemuste visualiseerimisel (Joonised 12, 14, 15, 17). Modelleerimisel saadud numbrilise andmestiku järelanalüüs viidi läbi *MS Excel* programmis.

3.3.1 Puistu katvuse muutuste analüüs

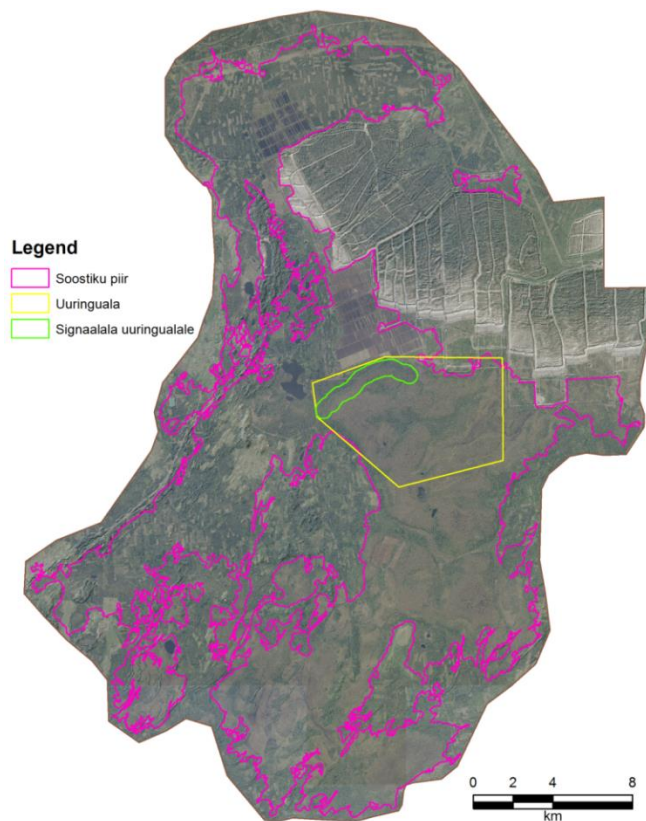
Puistu katvuse muutuste analüüsimine viidi läbi järgnevate tegevuste kaudu:

- 1) Piiritleti Puhatu soostiku keskmesse 4 814 ha suurune *uuringuala*, mille piir põhjaosas kulgeb mööda modelleeritava ala ja põlevkivi karjääride, turbakaevandamisalade ja

⁴² Ortofoto - töödeldud aerofoto, millelt on kõrvaldatud pildistamisnurgast ja maapinna reljeefist tulenevad moonutused (Maa-amet, 2014)

turvasmuldadel kuivendatud metsa vahelist joonobjekti (kraav, tee, elektriliinialused). Lõunaosa piir puutumata soosalal valiti lõunapoole Putki peakraavi sängi, mille sisse jäi ka oja ümbritsev puistunud ala (Joonis 12). Sellisel moel piiritletud uuringuala sisse jäid ka Mustaladva, Putki ja Puhatu sood (EELIS, 2014).

Kraavituse mõju modelleerimiseks puistu dünaamikale loodi uuringuala põhjapiirile ca 5 km pikkusele *nimeta kraavile* 475,83 ha suurune *signaalala* (Joonis 12). Modelleerimise aluseks olev nimetu kraav asub 400–800 m lõunapool Konsu peakraavi, kulgedes algselt põhjaosas paralleelselt ning läänesosas kaugenedes Konsu peakraavist, suubudes nimeta kraavide kaudu Konsu peakraavi. *Signaalala* loodi *Puhver* tööriista abil. Modelleeritud puhverala suuruseks mõlemale poole kraavi on 400 m. Mudelpuhveralas valdab rabaala suunaline üleminekuline puistu kate, mille erinevatelt ortofotodelt saadud pindalalise katte tulemuste võrdlemine on dünaamika muutuste analüüsi aluseks.



Joonis 12. 2013.aasta Eesti Maa-ameti ortofotol visualiseeritud Puhatu soostik koos puistu dünaamika uuringuteks piiritletud *Uuringualaga* ning *Signaalalaga uuringualale*.

2) Muutunud puukatte analüüsiks kasutati ArcMap 10.1 hübriidseid klassifitseerimise meetodeid: a) nii *valveta klassifitseerimise* (Iso Cluster Unsupervised Classification) kui ka

b) *valvega klassifitseerimise* (Supervised Classification) meetodit (Aaviksoo *et al.*, 2012) (vt ka Lisa 4 *Klasterdamise põhimõtted*).

Valveta klassifitseerimise juures piirduti ala klassifitseerimisel etteantava klasside suurusega reeglina 4-5 klassi ning *valvega klassifitseerimise* juures *signeeriti*⁴³ modelleeritava alal nn „õpipolügoonid“⁴⁴, reeglina üle 10 signeeringu iga erineva soo *ökotoobi*⁴⁵ kohta. Uuritavate alade „õpipolügoonideks“ valiti tavaliselt *laukad*, *peenardevahelised lage alad*, *puistu* - metsa polügoonidel ning nende poolt tekitatud *varjud* ortofotodel. Puistu katte modelleerimise parema tulemuse saamiseks signeeriti ortofotodel silmaga selgelt eristuv *puistu* ka selgelt eristuvatel *rabapeenardel*.

Parema tulemuse saavutamiseks oli soovituslik „õpipolügoonide“ signeeringu arv iga *ökotoobi* klassi kohta mitte alla 10 signeeringu (ArcGIS, 2014). Käesolevas töös oli signeeringu arvuks vähemalt 20 iga *ökotoobi* klassi kohta, üldarvuga *ca* 70 signeeringut ühe modelleeritava stsenaariumi kohta.

3) Selleks, et kindlustada klassifitseerimisest saadavate tulemuste parim kvaliteet, tuli klassifitseerimise käigus *laugaste* klassi modelleerinud *varjude* osa eraldada tabeltulemuste järeltöötluses. Selleks aga kasutati *valveta klassifitseerimise meetodit*, mille erinevate stsenaariumite rakendamise tulemustest valiti välja selgelt, valdavalt ilma puude varjudeta klassifitseerinud *laukad*. Saadud tabeltulemust töödeldi *muutuste ja väärtuste liigitamise (Reclassify)* ning *redigeerimise (Editor)* tööriistadega, mille käigus kustutati kõik *varjude* jäänukpolügoonid. Lisaks redigeeriti sama tööriistaga *laugaste* asukohad ja kontuurid vastavalt nihetele erinevate aastate ortofotode vahel. Täpsustatud *laugaste* pindalad tabuleeriti. Saadud *laugaste* kogupindala kasutati klassifitseeritud tulemuste järeltöötluses *varjude* kogupindala leidmisel klassifitseeritud ala kohta ühe ortofoto piires.

4) *Valvega klassifitseerimise* käigus genereeritud klasside põhine *pikslite* arv atribuutide tabelist eksporditi programmi *MS Excel*, kus toimus klasside pindalade leidmine ning võrdlemine erinevate ortofoto mudeltulemuste vahel.

5) Eraldi *uuringualale* ja *signaalalale* viidi läbi *ca* 70 modelleerimise stsenaariumit, millede tulemustest valiti visuaalse kontrolli alusel igal ortofotol parim tulemuste seeria *uuringuala* ja selle *signaalala* muutuste iseloomustamiseks.

⁴³ Signeerima – märgistama (ÕS, 2013)

⁴⁴ Õpipolügoon – klassi märgistav geomeetriline primitiiv e polügoon (ArcGIS, 2014)

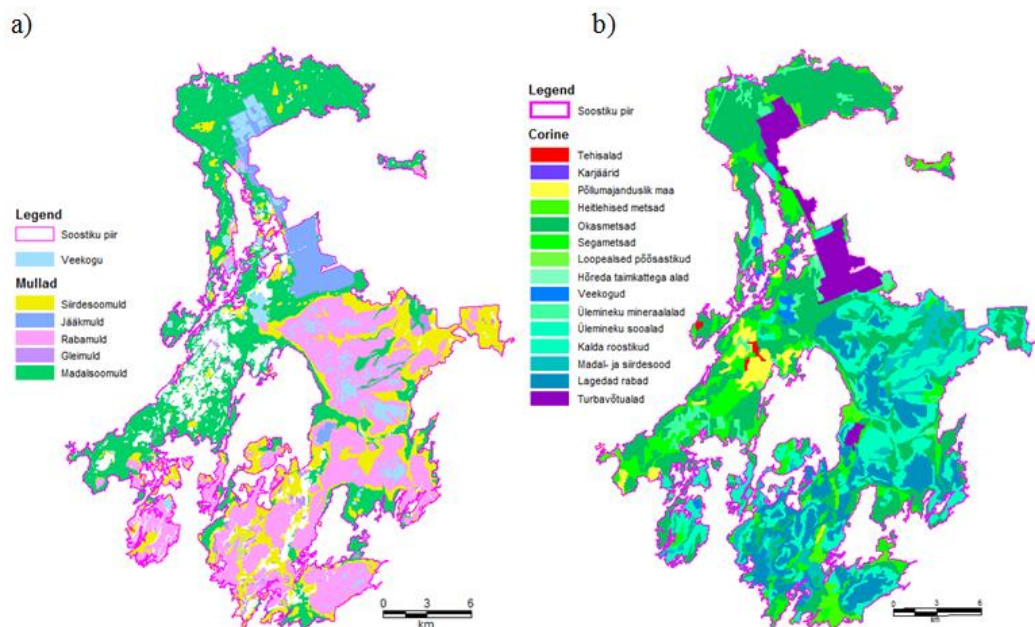
⁴⁵ Ökotoop – taimekoosluste kasvukoht (EKSS, 2009)

6) *Valvega klassifitseerimisest* selekteeritud parima stsenaariumi tulemused visualiseeriti aastate 2005, 2009 ja 2013 kaardikihtide kaupa nii uuringualale kui ka signaalalale.

4 TULEMUSED

4.1 Puhatu soostiku täpsustatud pindala ja maakate

Eesti *Maa-ameti digitaalse mullakaardi* alusel määratletud Puhatu soostiku täpsustatud *nullkontuuri* pindalaks saadi 40 370 ha ja piirjoone pikkuseks 702 km (Joonis 13). Puhatu soostiku pindala piiritlemise käigus selgus, et digitaalse mullakaardi andmetel koosneb Puhatu soostik kuuest soomuldadega kaetud lahuspolügoonist ning soostiku *nullkontuur* on tugeva majandamise tulemusena oluliselt muutunud. Saadud tulemusi võrreldi Orru (1975) poolt Puhatu soostiku geoloogilisel uuringul saadud tulemustega (57 079 ha – Orru *et al.*, 1975) ning leiti, et *korrigeeritud* Puhatu soostiku pindala on intensiivse majandamise tõttu vähenenud *ca* 30%.



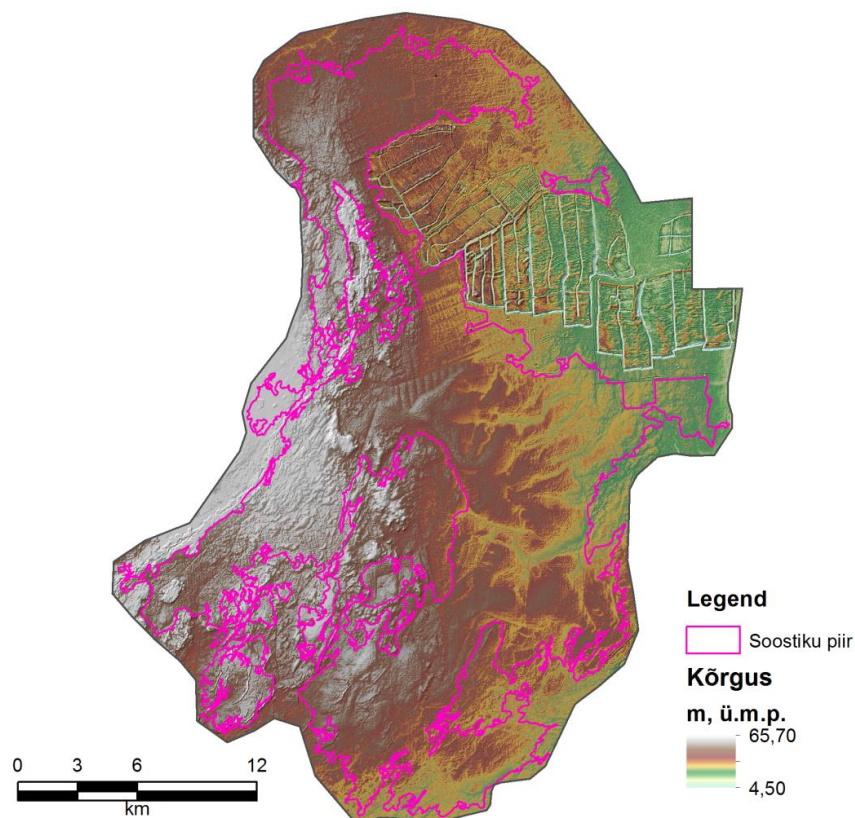
Joonis 13. Täpsustatud Puhatu soostiku piiridesse jääv muldade jaotus (a) ning vastav CORINE Land Cover maakate (b) (Eesti Maa-ameti digitaalne mullakaardi andmebaas).

Tulemustest on näha, et täpsustatud Puhatu soostiku piires on enim levinud *madal-soo-* (38,4%) ning *rabamullad* (31,2%). *Mineraalmuldadega* on kaetud 2,2% ja *seisuveekogudega* – 19%. Soostiku piiridesse jääva *turbavõtualade* pindala moodustab 6,5% kogu alast (Joonis 13, Tabel 15).

Tabel 15. Soomuldade jaotus Eesti Maa-ameti digitaalse mullakaardi alusel määratletud Puhatu soostiku *uue nullkontuuri* piires (Joonis 13)

Näitaja	Pindala	
	ha	%
Lammi-gleimuld	1	0,003
Leostunud muld	93	0,25
Madalsoomuld	14 078	38,4
Rabamuld	11 725	32,0
Siirdesoomuld	7 041	19,2
Leede-gleimuld	554	1,51
Mineraalmaa	794	2,17
Turbavõtualad	2 369	6,46
Seisuveekogud	708	1,93
Kokku	37 363	100

Eesti Maa-ametist tellitud kõrgusmodelile *GeoTIFF* formaadis, pikslisuurustega 10x10 m visualiseeriti *ArcMap 10.1 topograafia* töövahendiga *Color Ramp Elevation#1* 3D mudel (Joonis 14).



Joonis 14. Topograafiliselt visualiseeritud Puhatu soostiku täpsustatud nullkontuur kõrgvarjutuse 10x10 m kihil.

Visualiseeritud Puhatu soostiku 3D mudelist nähtub, et soostiku maapinna kõrgused jäävad vahemikku 28,5–64,0 m, ü.m.p., sealjuures piiritletud uuringuala kõrgused on vahemikus 33,4–41,5 m, ü.m.p. ning signaalalal on need vahemikus 38,5–41,5 m, ü.m.p. *Aspektide* kiht kogu soola kohta näitas, et pikslite 10x10 m orienteeritus on suhteliselt võrdselt jaotatud kõikide ilmakaarte vahel, välja arvatud kirde-kagusuunaline sh idasuunaline orienteeritus, mis on 30,4% (Tabel 16).

Tabel 16. Visualiseeritud Puhatu soostiku 3D mudeli põhjal pikslite 10x10 m orienteerituse jaotus ilmakaarte suhtes

Orienteeritus		Nurga- kraadid	Pikslite arv (10x10m)	Pindala	Orienteerituse jaotus
Ilmakaarte sektor	Ilma- kaar	°	nr	ha	%
Loode - kirdesuunaline sh põhjasuunas		316–45	941 840	9 369	23,21
	N	0	11 847	91	
Kirde - kagusuunaline sh idasuunas		46–135	1 232 196	12 257	30,36
	E	90	15 971	111	
Kagu - edelasuunaline sh lõunasuunas		136–225	986 315	9 811	24,30
	S	180	13 032	99	
Edela - loodesuunaline sh läänesuunas		226–315	898 124	8 934	22,13
	W	270	11 402	89	
Kokku				40 370	100,00

CORINE Land Cover andmetele tuginedes valdavad Puhatu soostikus *okasmetsad* (34,5%) ning *üleminekulised metsaalad soodes* (18,4%). Arvestatava osa soostikust moodustavad *segametsad* (12,7%) ning *lagedad rabad puhmaste ja üksikute puudega* (11,8%). Kõige väiksema osakaaluga on *põllumajanduslikud maad* (2,7%) ning *tehisalad* (0,3%) (Tabel 17, Joonis 13).

Tabel 17. Puhatu soostiku täpsustatud piiresse jääva CORINE Land Cover 2006 maakatte jaotus (Joonis 13)

maakate	CORINE Land Cover 2006		Pindala	
	kood		ha	%
Tehisalad	112, 121, 122, 132		115	0,29
Karjäärid	131		1	0,00
Põllumajanduslik maa	211, 231, 242, 243		1 074	2,66
Kalda- ja rannikuroostikud	4111		313	0,77
Loopealsed põõsastikud nõmm nõmm-raba	322		25	0,06
Hõreda taimkattega alad	333		19	0,05
Heitlehised lehtmetsad	311		1 408	3,49
Okasmetsad	312		13 913	34,5
Segametsad	313		5 121	12,7
Üleminekulised metsaalad mineraalmaal	3241		1 761	4,36
Üleminekulised metsaalad soodes	3242		7 414	18,4
Lagedad madal- ja siirdesood	4112		1 755	4,35
Lagedad rabad puhmaste ja üksikute puudega	4121		4 770	11,8
Turbavõtualad	4122		2 340	5,80
Veekogud	512		339	0,84
Kokku			40 370	100,0

Narva töötavate põlevkivikarjääride mäeeraldiste pindala on kokku 16 240 ha, millest Puhatu soostiku korrigeeritud nullkontuuri sisse jääb 2 682 ha. Põlevkivi kaevandamise jätkamisel väheneb käesoleva töö raames piiritletud Puhatu soostiku nullkontuur veelgi.

4.2 Survetegurid

Puhatu soostikku mõjutavad negatiivsed survetegurid mõjutavad soostikku läbi õhu, maakatte, maapõue ning pinna- ja põhjavee (Tabel 18).

Tabel 18. Kokkuvõtte majandustegevusega kaasnevatest olulistest surveteguritest Puhatu soostikule, kus „+“ tähistab mõju määra olemasolu ning rõhutatult tugevat = „++“

Mõjuala	Majandustegevus	Survetegur	Surveteguri määr			
			Väga suur	Suur	Keskmine	Väike
Õhk	elektri ja õli tootmine turba ja põlevkivi pealmaakaevandamine	keemiline õhusaaste tolm		+		+
	põlevkivi pealmaakaevandamine	loodusliku maakatte hävitamine	++			
Maakate	turba kaevandamine	maakatte hävitamine muutused		+		
	metsamajandus	pinnaveevõrgustikus ja morfoloogias		+		
	põllumajandus	pinnaveevõrgustikus ja reostusohu			+	+
Maapõu	põlevkivi allmaakaevandamine	langatused - muutused maapinna morfoloogias, tehnilik maakate		+		
Vesi	pinnavesi	turba ja põlevkivi pealmaakaevandamine	pinnaveekogude häving, muutused pinnaveevõrgustikus ja morfoloogias, pinnaveereostusohu	+		
		põlevkivi pealmaakaevandamine	veetaseme alandus, ressurside ümberjaotus, reostusohu		+	
	põhjavesi	veevarustus	põhjavee taseme alandus		+	

Õhureostus, mis pärineb õli- ja elektritootmisest on Puhatu soostikule *suureks* surveteguriks. Õhureostus pärsib Puhatu soostiku turbasammalde ja mitmete teiste sealsetele kasvukohtadele iseloomulike liikide kasvu, muudab rabavee neutraalsemaks ja toitainerikkamaks ning soodustab uute taimeliikide kasvu sooladel.

Põlevkivi pealmaakaevandamine on Puhatu soostikule *väga suureks* surveteguriks. Kaevandamine avaldab Puhatu soostikule nii otsest kui ka kaudset mõju. Otseks surveteguriks on see soostiku pindalalisele ulatusele, morfoloogiale, veestikule ja taimestikule ning kaudselt surveteguriks väljaspool otsest mõjuala olevale soostiku taimkattele ja pinnaveekogudele. Otsene surve toimub läbi veekõrvalduse karjäärdest ning veejuhtimisesüsteemide maapinnal.

Turbakaevandamine on soostikule *suureks* surveteguriks. Otsene mõjutus toimub läbi turbakaevandamise eelduseks oleva kuivendusvõrgustiku ning läbi akumulunud turbaressursi hävitamise. Turba kaevandamise kaudne mõju on sarnane põlevkivi kaevandamisega. *Turbakaevandamisega* kaasnev tolm omab lokaalset tähtsust turbakaevandamisala lähiümbruses, seega on soostikule pigem väikeseks surveteguriks e mõju võib avalduda ainult piirkonniti, e kaevandusaladega vahetult piirnevatel soosaladel.

Metsamajandamine on Puhatu soostikule *suureks* surveteguriks. Eelkõige mõjutab see Puhatu soostikku läbi metsa juurdekasvu parandamiseks rajatud kuivendussüsteemide ning ka iseenesliku puistu invasiooni lage aladele. *CORINE Land Cover* andmetel on erinevate metsatüüpide osakaal soostiku täpsustatud nullkontuuri piires *ca* 73%.

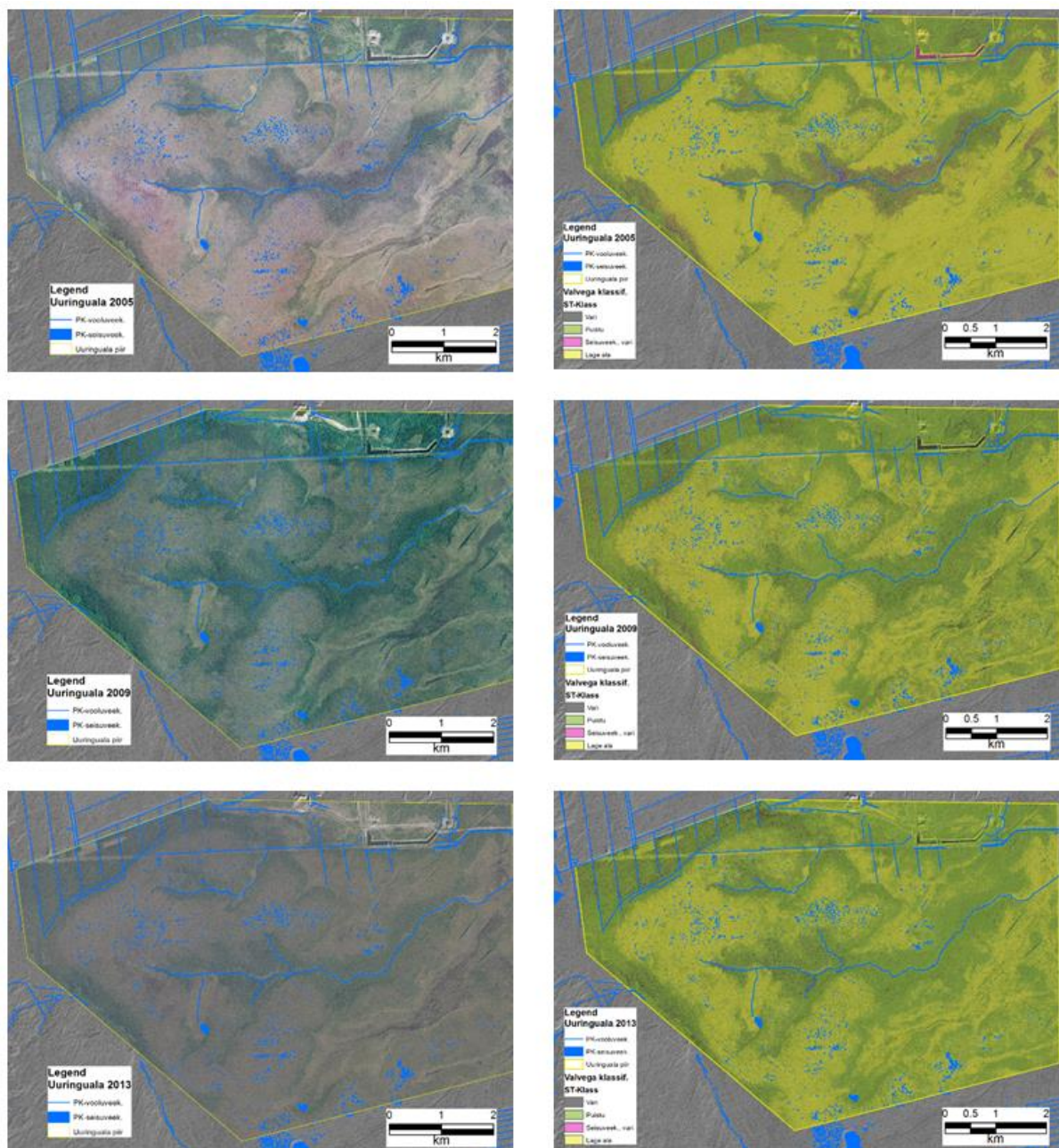
Põllumajandus on soostikule pigem keskmine ja väike survetegur, sest põllumajanduse osakaal Puhatu soostikus koos kaasneva kuivendusega ning väetistest ja taimekaitsevahenditest tingitud reostusohuga on vaid 2,7%.

Põlevkivi allmaakaevandamine on Puhatu soostikule *suureks* surveteguriks. Vaatamata sellele, et kaevandamist otseselt Puhatu soostiku all ei toimu ning sellega kaasnevad langatused ja muutused maapinna morfoloogias soostikku ei mõjuta, kaasneb *põlevkivi allmaakaevandamisega* suure mõjuraadiusega veetaseme alanemine, vee ressursside ümberjaotus ning põhjavee reostusohu.

Vasavere veehaardest veevõtt omab *suurt* negatiivset koormust Puhatu soostikule, kuna veevõttuga kaasneb soostiku vahetus naabruses olevate Kurtna järviste järvede veetasemete alanemine, mis kaudselt võib mõjutada ka Puhatu soostiku veetaset (Tabel 18).

4.3 Puhatu soostiku puistu arenemise dünaamika

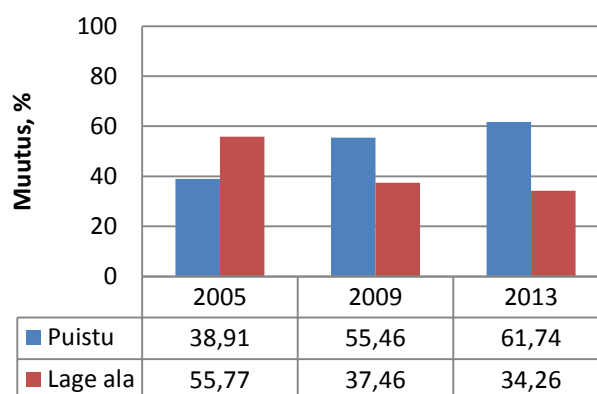
Puhatu soostiku puistu ajalise ja ruumilise analüüsi tulemuste põhjal on täheldatav kogu kaheksa aastasel perioodil (2005–2013) järjepidev puistu osakaalu suurenemine ning lage ala vähenemine (Joonised 15–18, Tabelid 19–20).



Joonis 15. Visualiseeritud *valvega klassifitseerimise* tulemused Puhatu soostiku uuringualal (identifitseerimise aastad 2005, 2009 ja 2013; Maa-ameti ortofotod (kaardid vasakul). Töödeldud ortofotod on esitatud reljefvarjutuse kihil, kus: PK-vooluveek. ja PK-seisuveek. = vastavad vooluveekogude ja seisuveekogude väljavõtted põhikaardi andmebaasist, Valvega klassif. = valvega klassifikatsioon, ST-Klass = suurima tõepära klassifikatsiooni klassid (*Maximum Likelihood Classification*): Vari, Puistu, Seisuveekogu ja vari, Lage ala (kaardid paremal). Aluseks on Eesti Maa-ameti vastav andmestik (Tabel 19, Joonis 16).

Tabel 19. *Valvega klassifitseerimise* tulemused Puhatu soostiku uuringualal (4 814 ha) aastatel 2005, 2009 ja 2013 (Joonised 15–16)

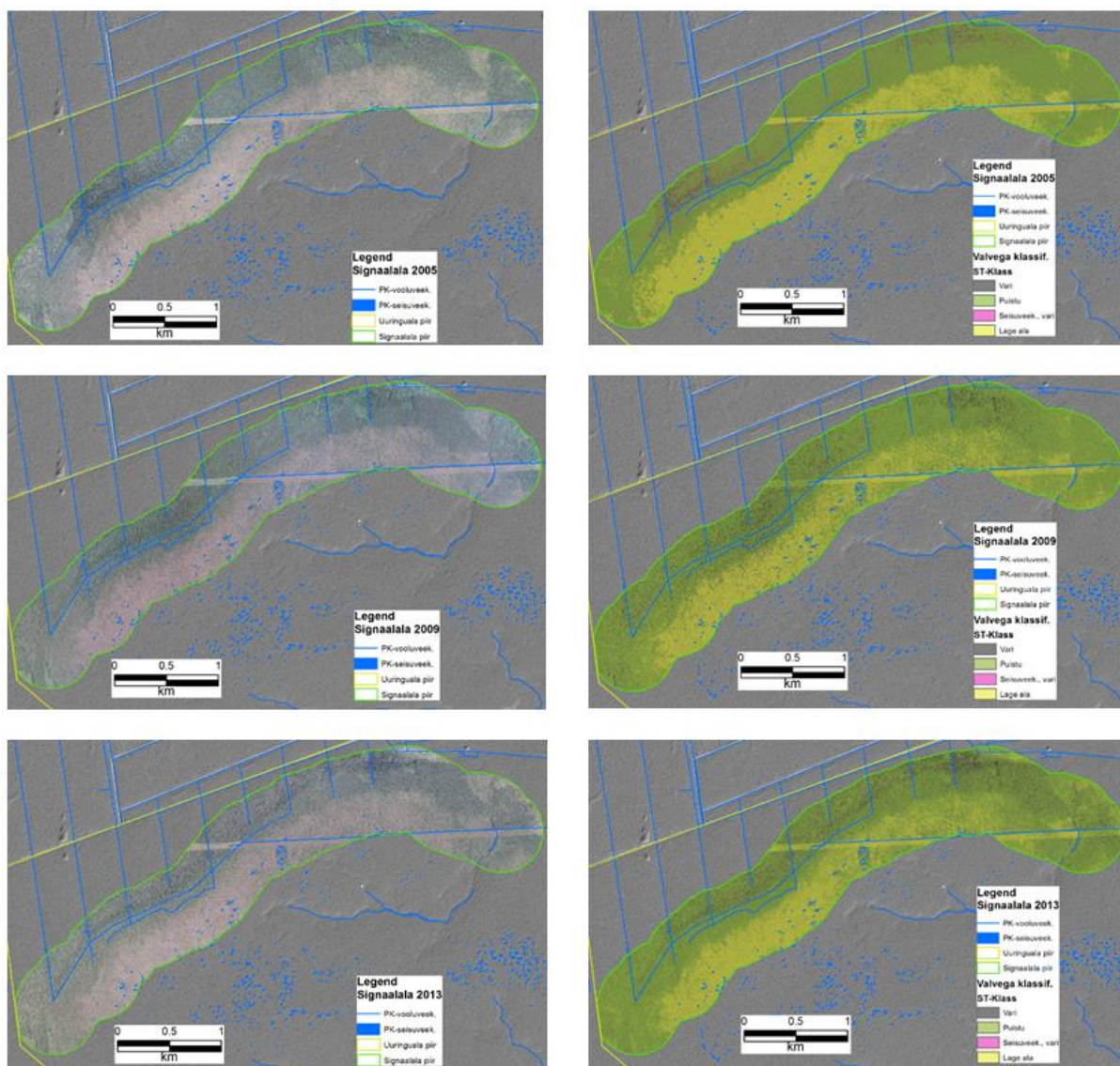
Klassi nimi	Pindala	
	ha	%
2005		
Puistu	1 873	38.9
Lage ala	2 684	55.8
Vari	255	5.30
Laugas	1.2	0.02
Kokku	4 814	100
2009		
Puistu	2 670	55.5
Lage ala	1 803	37.5
Vari	339	7.05
Laugas	1.2	0.02
Kokku	4 814	100
2013		
Puistu	2 972	61.7
Lage ala	1 649	34.3
Vari	191	3.97
Laugas	1.2	0.02
Kokku	4 814	100



Joonis 16. Puhatu soostiku uuringuala (4 814 ha) *valvega klassifitseerimise* tulemused *puistu* muutuste kohta võrreldes *lage ala* muutustega aastatel 2005, 2009 ja 2013. Pindala muutused esitatud %-des (Tabel 18).

Analüüsitud ortofotode tulemuste põhjal saab väita, et perioodil 2005–2013 Puhatu soostiku keskmesse piiritletud uuringualal *puistu* katvus suurenes 53,4% ning *lage ala* vähenes 38,6%. Suurim *puistu* (45,5%) ja *lage ala* (32,8%) muutus jäi aastatesse 2005–

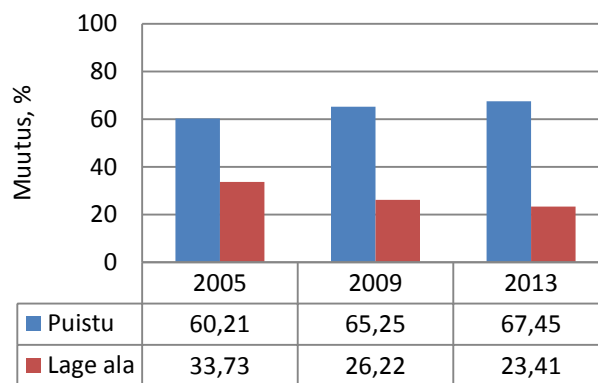
2009. Aastatel 2009-2013 suurenes *puistu* 5,5% ning *lage ala* vähenes 8,5% (Joonised 15–16, Tabel 19).



Joonis 17. Puhatu soostiku signaalala *valvega klassifitseerimise* tulemused aastatel 2005, 2009 ja 2013. Töödeldud ortofotod (kaardid vasakul) on esitatud reljefvarjutuse kihil, kus: PK-vooluveek. ja PK-seisuveek. = vastavad voluveekogude ja seisuveekogude väljavõtted põhikaardi andmebaasist, Valvega klassif. = valvega klassifikatsioon, ST-Klass = suurima tõepära klassifikatsiooni klassid (*Maximum Likelihood Classification*): Vari, Puistu, Seisuveekogu ja vari, Lage ala (kaardid paremal). Aluseks on Eesti Maa-ameti vastav andmestik (Tabel 20, Joonis 18).

Tabel 20. *Valvega klassifitseerimise* tulemused Puhatu soostiku *signaalalal* (475,83 ha) aastatel 2005, 2009 ja 2013 (Joonised 17–18)

Klassi nimi	Pindala	
	ha	%
2005		
Puistu	286.49	60.2
Lage ala	160.48	33.7
Vari	1.18	0.25
Laugas	27.66	5.81
Kokku	475.83	100
2009		
Puistu	310.49	65.3
Lage ala	124.77	26.2
Vari	1.18	0.25
Laugas	39.38	8.28
Kokku	475.83	100
2013		
Puistu	320.93	67.5
Lage ala	111.37	23.4
Vari	1.18	0.25
Laugas	42.34	8.90
Kokku	475.83	100



Joonis 18. Puhatu soostiku *signaalalal* (475,83 ha) *valvega klassifitseerimise* tulemused *puistu* muutuste kohta võrreldes *lage ala* muutustega aastatel 2005, 2009 ja 2013. Pindala muutused esitatud %-des (Tabel 20).

Analüüsitud ortofotode tulemuste põhjal saab väita, et perioodil 2005–2013 Puhatu soostiku uuringualale piiritletud signaalalal suurenes *puistu* katvus 12,0% ning *lage ala* vähenes 30,6%. Suurim muutus signaalalal toimus sarnaselt uuringualale perioodil 2005–2009, kui *puistu* pindala suurenes 8,4% ning *lage ala* pindala vähenes 22,3%. Perioodil

2009–2013 suurenes *puistu* pindala 3,4% ning *lage ala* vähenes 10,7% (Joonised 17–18, Tabel 20).

Seega ühe pindala ühiku kohta toimus *uuringualal* puistu suurenemine 23 m² ja *lage ala* vähenemine 21 m² ühe ha kohta ning *signaalalal* – puistu suurenemine 7 m² ja *lage ala* vähenemine 10 m² ühe ha kohta. Saadud tulemuste põhjal saab väita, et uuritud perioodi jooksul puistu ökotopide pindalaline suurenemine oli *uuringualal* ulatuslikum võrreldes *signaalalaga*, e kraavituse vahetus läheduses võib eeldada pigem puistu biomassi suurenemist võrreldes pindalalise katvuse suurenemisega.

5 ARUTELU

5.1 Puhatu soostiku täpsustatud pindala ja maakate

Käesolevas töös Eesti Maa-ameti *digitaalse mullakaardi* alusel piiritletud Puhatu soostiku *uus nullkontuur* on varasemaga (Orru *et al.*, 1975) võrreldes tugeva majandamise (põlevkivi kaevandamine) tulemusel oluliselt vähenenud. Kuna Puhatu soostiku täpsustatud nullkontuur kulgeb mööda Narva karjäärade mäeeraldisi ning põlevkivi kaevandamisega ei ole veel loaga antud piirideni jõutud, on alust arvata, et lähiaastatel väheneb Puhatu soostiku nullkontuur e soostiku piir veelgi (Joonis 7). Käesoleva piiri sisse jääva soostiku kõrgused varieeruvad 28,5–64,0 m, ü.m.p piirides ning 10x10 m pikslite aspektid on 30,4% ulatuses kirde-kagusuunalised, e pinnaveestiku mõttes võib eeldada sellesuunalist orienteeritust ja seega ka idas toimuvate maapõue ja maapinna morfomeetriliste⁴⁶ muutuste mõju väljavoolude kalletele, seega ka vooluvee väljavoolu kiirustele ning ka kuivema keskkonna tekkimisele soosalal. Täpsemate tulemuste saamiseks tuleks läbi viia soostiku valglate modelleerimine.

CORINE Land Cover andmebaasi põhjal loodud maakatte jaotus Puhatu soostiku piires on loodud 2006. aasta andmete põhjal, mille vähima kaardistatud üksuse suurus maastikul oli 25 ha ja minimaalne laius 100 m ühiku sees. Autorile teadaolevalt ei ole Puhatu soostiku nullkontuuri piiresse jäävat maakatte jagunemist sarnaselt varasemalt süstematiseeritud. Värskemate ja täpsemate andmete saamiseks on soovitatav viia läbi uus, märgalale sobivam maakatte kaardistamine. Kaugseire andmete kasutamisel selleks otstarbeks tuleks kasutada kas uuemaid kaugseire materjale ja nende töötlemise meetodeid või ka droonimetoodikat⁴⁷ (Aluoja, 2013).

5.2 Survetegurid

Survetegurite analüüsist selgus, et Puhatu soostiku mõjutavad enim kaevandamisest tulenevad inimtekkelised survetegurid, millega kaasneb geoloogilise keskkonna, hüdrogeoloogilise režiimi, loodusliku maastiku sh bioloogilise mitmekesisuse vähenemine

⁴⁶ Morfomeetria – Pinnavormide ja pinnamoe arvsuuruste (pikkus, laius, kõrgus) määramisega tegelev geomorfoloogia haru (VE, 2006)

⁴⁷ Droonitehnoloogia – Mehitamata õhusõidukiga suurte alade mõõdistamine. Olenevalt lennukõrgusest ja troonil kasutatavast kaamera võimekusest on võimalik jäädvustada ortofotosid detailsusega kuni 1 cm piksli kohta (Aluoja, 2013)

ja traditsioonilise maakasutamise katkemine. Põlevkivi kaevandamisega kaasnevad pöördumatud põhja- ja pinnavee süsteemide muutused ning seisundi halvenemine läbi veetaseme alandamise ja selle ärajuhtimise olemasolevasse pinnavee võrgustikku. Põlevkivist õli- ja elektritootmisega kaasneb õhusaaste suurenemine.

Puhatu soostiku kaitseks on juba rakendatud rida meetmeid ning nende meetmete toimimise tõhusust hinnatakse läbi keskkonnaseire. Kui selgub, et juba rakendatavatest meetmetest ei piisa, tuleb kasutatavaid meetmeid kas karmistada või uute vastu vahetada. Soostiku looduslikkus peaks olema fooni-baasiks, millest tuleks lähtuda kavandades Puhatu soostiku säilimist.

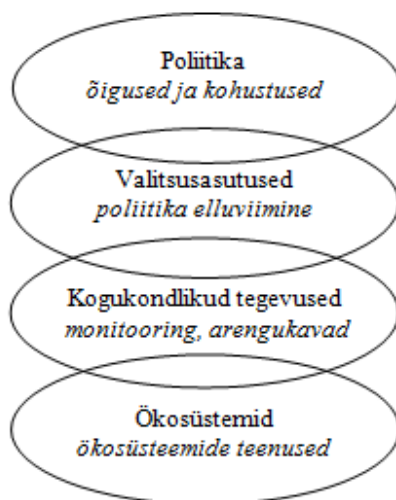
5.3 Puistu arengudünaamika

Kraavituse mõju ulatuse selgitamiseks piiritleti Puhatu soostikku kaevandamise ja loodusliku soostiku vahelisele konfliktialale uuringuala ja selle signaalala ning viidi läbi ajaline ja ruumiline ortofotode põhine analüüs. Analüüsi tulemuste põhjal täheldati kogu kaheksa aastasel perioodil (2005–2013) järjepidevat puistu osakaalu suurenemist ning lage ala vähenemist. Käesoleva töö raames läbi viidud analüüsi eesmärk oli näidata põhimõtteliselt olemasolevate kaugseireandmete kasutamise võimalusi Puhatu soostiku võimalike muutuste hindamiseks ning tulemustest sõltuvalt võimalust edasiste keskkonnakorralduslike meetmete rakendamiseks. Eelnevast tingituna viidi läbi kaugseireandmete modelleerimise lihtsustatud variant, kus kasutati olemasolevaid, erineva kvaliteediga ortofotosid. Selleks, et jõuda kogu ala iseloomustavate tulemusteni tuleks GIS-analüüsi korrata, mille hulka peaks kuuluma ka analüüsiks kasutatavate kaardikihtide kvaliteedi ühtlustamine ning saadud tulemuste määramatuse ehk ebakindluse analüüs (Remm, 2010). Samas on käesoleva töö raames saadud tulemused oluliseks indikaatoriks soostikus toimuvate muutuste suuna iseloomustamisel. Täpsemate andmete saamiseks oleks soovitatav läbi viia dronitehnoloogial põhinev soostiku maakatte analüüs paralleelselt maapealse seirega.

5.4 Survetegurite ja meetmete lõimimine

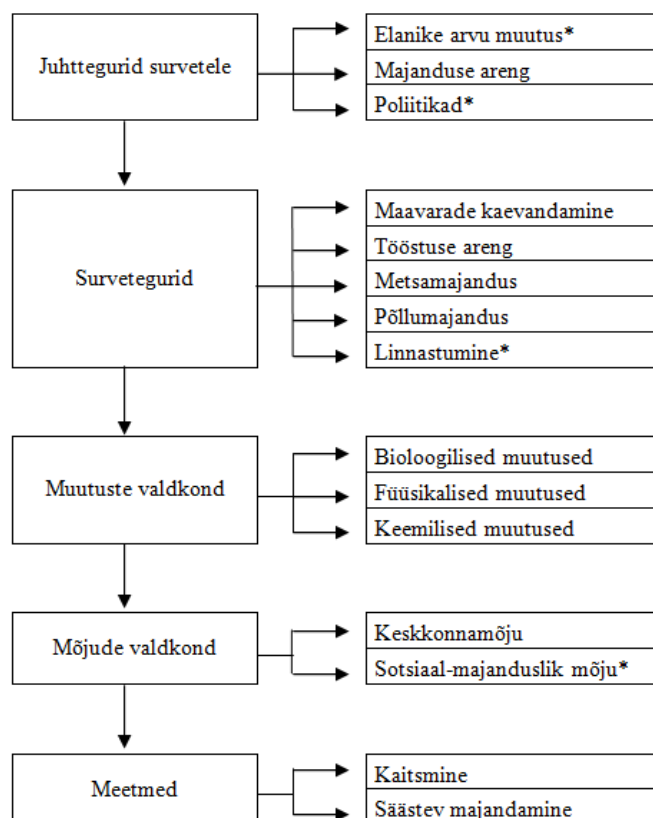
Kasvav inimtekkeline koormus Puhatu soostikule ning soostiku kaitsmise vajadus nõuab Puhatu soostiku probleemide lahendamiseks interdistsiplinaarseid lähenemisviise, kus poliitiliste otsuste tegemine seotakse nii kogukondlike huvidega kui ka rahvusvaheliste

kohustustega (Joonis 19). Keskkonnapoliitilistest otsustest sõltub Puhatu soostiku edasine looduskaitse ja tööstuslik majandamine – kas hõlmatakse Puhatu LKA alla kogu Puhatu soostiku looduslik osa ja taotletakse Puhatu soostiku nimetamist *Ramsar alaks* (Convention of..., 1971) või hoopis keskendutakse turba ja põlevkivi kaevandamisele.



Joonis 19. Interdistsiplinaarne lähenemine Puhatu soostiku looduslikule ja tööstuslikule majandamisele (joonistatud Martin *et al.*, 2005 järgi).

Käesolevas töös käsitletud majandamisest tulenevate surveteguritega kaasnevad nii bioloogilised, füüsikalised kui keemilised muutused Puhatu soostiku ökosüsteemis. Nende muutuste ulatust ja iseloomu on võimalik ette prognoosida ning seega on võimalik rakendada nende tagajärgede leevendamiseks meetmeid. Lisaks käesoleva magistritöö raames käsitletud majandamisest tulenevatele surveteguritele tuleks Puhatu soostiku muutuste ja mõju skeemi kaasata ka toimuvaid muutusi elanike arvus ja keskkonnapoliitilistes otsustustes jms. Aluseks võiks võtta Joonisel 20 toodud plokk skeemi ning täiendada seda vastavate parameetritega. Seejärel viia läbi võimalik Puhatu soostiku survetegurite ja muutuste analüüs selliselt, et sotsiaalsed ja majanduslikud arengud oleksid integreeritud looduskaitse väärtuste säilitamisega piirkonnas.



Joonis 20. Võimalik Puhatu soostiku survetegurite ja muutuste mõju skeem (joonistatud Lin *et al.*, 2007 järgi) *-ga märgitud tegureid käesolev magistritöö ei käsitlenud.

5.5 Meetmed

Puhatu soostiku, kui maismaalise märgala ökosüsteemi terviklikkuse tagamiseks on juba rakendatud erinevaid meetmeid ning seireprogramme (Puhatu LKA KKK, 2014). Kuid käesoleva töö raames kirjeldatud surveteguritest lähtuvalt esitatakse soovitusel lisameetmete rakendamiseks.

5.5.1 Olemasolevad meetmed

- Kaevandamise mõju minimeerimiseks Puhatu soostiku Kurtna järvistule muudeti Sirgala II põlevkivikarjääris kaevandamise tehnoloogiat, kus töö eepöörati 90° lääneida suunaliseks, liikumise suunaga põhjapiirilt lõunasse. Rajatud on vee liikumist takistav filtratsioonitõke ning infiltratsioonibasseinid (Adamson, 1997; Maves, 1997);
- Narva elektrijaamade kateldele alustati uudsel tehnoloogial põhinevate lämmastikufiltrite paigaldamist. Uus tehnoloogia peaks vähendama õhku paisatavaid heitmekoguseid kaks korda (EE, 2014);

- Paralleelselt mäetöödega toimub Narva põlevkivikarjäärides kaevandamisega rikutud alade korrastamine. EEK viib kaevandatud aladel läbi tehnoloogilise korrastamise, seejärel Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) poolt toimub metsa istutamine (Kattai, 2000; Viil *et al.* 2005);
- Vasavere veehaardest veevõtule kehtestatud piirväärtusest 8 000 m³/ööp (Jõhvi valla, 2011) kinnipidamine;
- Sügavamate puurkaevude ja veetrasside rajamine küladesse, kus on kaevandamisest tingituna kaevudest vesi kadunud (EE, 2014);
- Puhatu LKA KKK-st lähtuvalt viiakse läbi eluslooduse mitmekesisuse ja maastike seiret, metsaseiret ja välisõhu seiret. Hetkel kehtivas Puhatu LKA KKK veestiku seiret ette nähtud ei ole (Puhatu LKA KKK);
- Pinnavee seiret Puhatu LKA-st loodes paikneval Puhatu mäeeraldisel teeb AS Tootsi Turvas vastavalt vee erikasutusloale, lisaks seiratakse Mustajõe pinnavett. Mõõdetavad näitajad on: BHT₇, P_{üld}, N_{üld}, heljum, KHT, lahustunud O₂ ja pH (Puhatu LKA KKK);
- EEK viib läbi pinnavee ja põhjavee seiret järgmisel sagedusel: 1 kord kuus võetakse veeproovid, mõõdetakse veetasemed ja peetakse arvestust joogivee puurkaevudest väljapumbatava veehulga üle. Üks kord kvartalis arvestatakse karjäärist väljapumbatava vee maht ning mõõdetakse filtratsioonitõkke filtratsioonimoodulid. Üks kord aastas määratakse vee kvaliteet. Kõigi eelloetletud seirete tulemused esitatakse Keskkonnaministeriumile (Puhatu LKA KKK);
- Keskkonnarajatiste (settebasseinid, filtratsioonitõkke, heitveepuhasti), looduskaitse (rekultiveerimine, metsa tuleohutus) ja tolmu (lõhkamine, transport, purustus- ja laadimiskompleks) seiret viiakse läbi üks kord kvartalis, mille tulemused esitatakse Keskkonnaministeriumile (Puhatu LKA KKK);
- Koostamisel on uus Ida-Viru maakonnaplaneering ajaperspektiiviga 2030+, kus leiab põhjalikumat käsitlust muude ülesannete hulgas just loodusvarade, väärtuslike põllumaade, maastike ja looduskoosluste säilimist ning *rohevõrgustiku* toimimist tagavate meetmete planeerimine (Ida-Viru Maavalitsus, 2014).

5.5.2 Vajaminevad meetmed

- Narva karjääris kaevandamise viimasel etapil lõunapiiri ääres on soovitatav muuta kaevetööde liikumine lääne-ida suunaliseks ning moodustada karjääri lõunaservale katendi vettpidavast pinnasest filtratsioonivastane tõke (vt ka Lisa 2 *Kaevandamine Sirgala II põlevkivikarjääris*) (Adamson, 1997; Savitski & Savva, 2004);
- Puhatu turbakaevandamisala aluse põlevkivivaru väljamiseks rakendada allmaakaevandamise viisi;
- Läbi viia Puhatu soostiku veestikuga seotud seireuuring, selgitamaks soostiku veerežiimi nii inimtegevusega muudetud paikades kui ka looduslikel aladel;
- Läbi viia kuivenduse mõju seireuuring eesmärgiga selgitada põlevkivi ja turba kaevandamisega kaasneva surve määra soostiku veerežiimile;
- Inventeerida Puhatu soostiku metsade kuivendussüsteemid ning koostada projekt, mille alusel tammistatakse kasutuses mitteolevad kraavid;
- Paigaldada kõigile Narva elektrijaamade kateldele uudse tehnoloogiaga lämmastikufiltrid;
- Ühised strateegilised kokkulepped: milliste piirideni looduses tohib kaevandada põlevkivi ning kuhu tõmmata see ajaline või nõ maastikuline joon, kust edasi enam ei kaevandata;
- Puhatu soostiku põhjaosas asuval kuivendatud ja kuivendusest mõjutatud mahajäetud Puhatu turbakaevandamisalal on soovitatav kas kaevandada maavara lõpuni või korrastada, eelistatult märgalaks;
- Rajada Vasavere veehaarde mõjualasse jäävate järvede veetaseme muutuste jälgimiseks seirejaamad;
- Rajada kuivendamise piirkonda jääva Putki peakraavile veetasemete muutuste jälgimiseks seirejaam ning planeerida lisajaam mõne soostiku keskmesse jääva vooluveekogu peale;
- Seireuuringute põhjal selgitada välja, kas olemaolevad seireprogrammid on piisavad (tihedus, programmi sisu, veekogumite haaratus seiresse) ning seire läbiviimisel arvestada põhimõttega – saastaja e survestaja kannab kulud;

- Rakendada allmaakaevandamisviisi korral tagasitäitmise tehnoloogiat (ingl – *backfilling*), mille kohaselt põlevkivi väljamise järgselt täidetakse kaevanduskambrid põlevkivituhast ja purustatud aherainest valmistatud seguga, mis kivistumisel moodustab kandva tehisterviku.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö raames viidi läbi kompleksne kaardimaterjalidele ja kirjandusele põhinev analüüs Puhatu soostikku mõjutavate survetegurite kohta. Olemasolevate andmete üldistamise ja koondamise kaudu koostati ülevaade Puhatu soostiku seisundit mõjutavatest surveteguritest ja nende mõjude vähendamise võimalikest meetmetest. Töö olulisemad tulemused ja järeldused on järgmised:

- 1) Täpsustati Puhatu soostiku pindala ning iseloomustati maakatet. Selgus, et soostiku pindala on intensiivse majandamise tulemusena oluliselt muutunud ning võrreldes Orru et al. (1975) Puhatu soostiku tulemustega (57 079 ha) on tänapäevane soostiku pindala (40 370 ha) vähenenud *ca* 30%.
- 2) Tuginedes kirjandusallikatele iseloomustati Puhatu soostiku survetegureid. Analüüsi tulemusel leiti, et põlevkivi kaevandamine on suurim survetegur Puhatu soostikule, millele järgnevad nii turba kaevandamine kui ka metsamajandamine läbi soola kuivendamise.
- 3) Kraavituse mõju hindamiseks Puhatu soostikus modelleeriti puistu arengudünaamika, mille tulemuste põhjal täheldati, et kaheksa aastasel 2005–2013 aastate perioodil toimus 4 814 ha suurusel uuringualal järjepidev puistu osakaalu suureneme, st 53,4% ning lage ala vähenemine – 38,6%. 476 ha suurusel signaalalal toimus puistu suurenemine 12,0% ja lage ala vähenemine – 30,6%. Samas on oluline rõhutada, et uuringualal toimunud puistu ökotoobi suurenemine ühe ha kohta on 3 korda suurem ning lage ala vähenemine – 2 korda suurem võrreldes signaalalaga; tõestamaks puistu suurenemise trendi kaugemal kui kraavituse otsene mõju soo alal.

Puhatu soostiku looduslikkuse säilimise pikaajalisus tundub momendil olema ebaselge. Seetõttu tuleks eelkõige koostada piirkonna strateegiline arengukava koos sinna juurde kuuluvate uuringutega ning kus piirkonna sotsiaalsed ja majanduslikud arengud oleksid paremini integreeritud looduskaitsete väärtuste säilitamise meetmetega piirkonnas.

SUMMARY

Pressure factors affecting the Puhatu mire complex: review, analysis and results.

Eike Simmer.

With this particular research a complex study of pressure factors that affect Puhatu mire complex was developed. Study was based on analyses of existing maps and available literature. Summarised review was compiled for most important pressure factors and possible measures for reducing of pressure impacts on Puhatu mire complex.

Obtained results and conclusions were:

- 1) An extension of the Puhatu mire complex was corrected and land cover was characterised correspondingly. It appeared that Puhatu area has been changed because of intensive management and in comparison with Orru *et al.* (1975) extension of Puhatu mire complex in 1975 (i.e. 57 079 ha) has been decreased ca 30% (i.e. 40 370 ha).
- 2) Based on literature analysis it could be concluded that the strongest pressure affecting the mire complex was the oil shale mining, followed by the peat cutting and the forestry via intensive drainage of peatland.
- 3) Modelling of forestry induced dynamics to the mire complex showed that during 8 year period (2005–2013) there was 53,4% of the treed area increment and 38,6% decrement of the open area on a study area of 4 814 ha. On selected ditch influenced signal polygon (476 ha) increment of the treed area was 12,0% and decrement of the open area – 30,6%. It is also important to point out that increment of the treed ecotope and decrement of the open area on study area was correspondingly per one ha 3 times and 2 times higher in comparison with ditch influenced signal polygin; evidently showing on higher tree increment over all study area in comparison with signal polygon area.

A long lasting natural condition for the Puhatu mire complex is not clear at the moment. Therefore a strategical development plan for the region should be developed, in which the social and economic demands will be integrated with the needs for nature preservation at the mire complex.

KASUTATUD ALLIKAD

Raamatud

Allikvee, H., Ilomets, M. 1995. Sood ja nende areng. – Rmt: A. Raukas koost., Eesti Loodus. Valgus & Eesti Entsüklopeediakirjastus Tallinn.

Arold, I. 2005. Eesti maastikud. Tartu.

EE 9. 1996. Eesti Entsüklopeedia 9. Valgus, Tallinn.

ENE 1. 1985. Eesti Nõukogude Entsüklopeedia 1. Valgus, Tallinn.

ENE 4. 1989. Eesti Nõukogude Entsüklopeedia 4. Valgus, Tallinn.

Eipre, T., Protasjeva, M. 1972. Ressursõ proverhnosnõh bod SSSR. Tom 4. Pribaltiiski rajon. Gidrometeoizdat. Leningrad.

Erg, K., Ilomets, M. 1989. Mäetööde mõju Kurtna järvede veetasemele – seisund ja prognoos. Rmt: Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng, II. Valgus, Tallinn.

Etverk, I., Hainla, V., Kaa, E., Kollist, P., Lõhmus, E., Paves, H., Rebane, H., Tamm, Ü., Valk, U. 1974. Eesti metsad. Valgus, Tallinn.

Ilomets, M. 1989. Puhatu soostiku areng holotseenis. Rmt: Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng. Valgus, Tallinn.

Ilomets, M., Koff, T., Rajamäe, R. 1989. Kurtna mõhnasiku looduslikust seisundist 8000, 5000 ja 3500 aastat tagasi. Kurtna järvestiku looduslik seisund ja selle areng. Valgus, Tallinn.

Kaalman, L. 1950. Mäetööd. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn & Tartu.

Kaisel, M., Kohv, K. 2009. Metsakuivenduse keskkonnamõju. Eestimaa Looduse Fond, Tartu.

Kattai, V. 2000. Keskkonnaprobleemid. Rmt: Kattai V., Saadre T., Savitski L. Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused. Akadeemia Trükk, Tallinn.

Karofeld, E. Masing, V. 1996. Sood - Koguteos Virumaa. Saaber, K., koostaja. Lääne-Viru Maavalitsus. Ida-Viru Maavalitsus. Tallinna Raamatutrükikoda, Tallinn.

Kink, H. koost., 2004. Loodusmälestised 13. Ida-Virumaa – Illuka. Mäetaguse. Iisaku. Alajõe. Tallinn: Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.

Leito, T., Kimmel, K., Ader, A. 2007. Eesti kaitsealad. Eesti Loodusfoto, Tallinn.

Lode, E. 2011. Soode kuivendamine. Soode kuivendamise viisid. Rmt: Jääksood. nende kasutamine ja korrastamine. Koostaja ja toimetaja Paal, J. Tartu.

Masing, V. 1988. Soode mõiste. levik ja väärtus. Raamatus Valk, U. koostaja. Eesti sood. Valgus. Tallinn. 7-21
Masing, V. Koostaja. 1992. Ökoloogialeksikon. Eesti Entsüklopeediakirjastus. Tallinn.

Mändmets, A. 2008. Narva karjäär. Rmt: Varb, N., Tambet, Ü. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis: tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS, Tallinn.

Orru, M., Širokova, M., Veldre, M. 1992. Eesti turbavarud. Tallinn.

Orru, M. 1995. Eesti turbasood. Teatmik. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn

Paal, J. 2011. Kuidas sood tekivad? Rmt: Jääksood. nende kasutamine ja korrastamine. Koostaja ja toimetaja Paal, J. Tartu.

Paal, J., Leibak, E. 2013. Eesti soode seisund ja kaitstus. Eestimaa Looduse Fond, AS Regio, Tartu.

Paal, J., Lode, E. 2011. Mis on soo ja mis on turbaala? Mis on turvas? Rmt: Jääksood. nende kasutamine ja korrastamine. Koostaja ja toimetaja Paal, J. Tartu.

Pain, D. P., Kiser, J. D. 2012. Aerial Photography and Image Interpretation (Hardcover). Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Raukas, A. 1978. Pleistotsenovõe otloženja Estonskoi SSR. Tallinn.

Reinsalu, E. 2010. Põlevkivi ja selle kasutamine. Rmt: Kaar, E., Kiviste, K. Maavarade kaevandamine ja puistangute rekultiveerimine Eestis. Eesti Maaülikool.

Reinsalu, E. 2011. Eesti mäendus. Õpik kõrgkoolidele. Tallinna Tehnika Ülikool. TTÜ kirjastus, Tallinn.

Savitski L. 2000. Hüdrogeoloogilised tingimused. Rmt: Kattai V., Saadre T., Savitski L. Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused. Akadeemia Trükk, Tallinn.

Valk, U. (koost.) 1988. Eesti sood. Valgus, Tallinn.

Valk, U. 1995. Soode kasutamine ja kaitse – Rmt: A. Raukas koost. Eesti. Loodus. Valgus & Eesti Entsüklopeediakirjastus Tallinn.

Artiklid kogumikes

Aviksoo, K. 1986. Kordusaerofotode kasutamine maastike dünaamika uurimisel. Kogumikust: Hallemaa, H (toim.) Geograafia rakendusprobleeme Eesti NSV-s. Eesti II noorte geograafide suvekooli teesid. Paavli, 25. – 29. aug. 1986.a. ETA EGS, Tallinn.

Aaviksoo, K., Leivits, A., Leivits, M. 2008. Kaug- ja linnuseire Nigula rabas 1950-2000. Artiklikogumik. Kaugseire Eestis. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. Tallinn, 106–122.

Liblik, V. 2007. Õhusaaste ajalised trendid Ida-Virumaal ja mõju looduskeskkonnale. Uuringute lühikäik 1990-2005 Kogumikust: Punning J.-M. (toim.). Keskkonnauuringute nüüdisprobleeme. TLÜ Ökoloogia Instituudi Publikatsioon 10, Tallinn, 173–203.

Liblik, V., Pensa, M., Kundel, H. 2000. Õhusaaste trendid Ida- ja Lääne-Virumaa tööstuspiirkondades. Kogumikust: Mandre, M. (toim.). Õhusaaste ja metsad Kirde-Eesti tööstuspiirkonnas. Metsanduslikud Uurimused XXXIII. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, 17–36.

Liblik, V., Maalma, K. 2005. Saasteainete emissioon ja õhu kvaliteet Ida-Virumaa linnades. Kogumikust: Liblik, V., Punning J.-M. (toim.). Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise keskkonnamõjud Kirde-Eestis. Ökoloogia Instituudi Publikatsioon 6, Tallinn, 172–197.

Liblik, V., Toomik, A., Rätsep, A. 2005. Suletud ja suletavate kaevanduste keskkonnamõju. Kogumikust: Liblik, V., Punning J.-M. (toim.). Keskkond ja põlevkivi kaevandamine Kirde-Eestis, Ökoloogia Instituudi Publikatsioon 9, Tallinn, 31–52.

Lode, E., Roosaare, J. and Pensa, M. 2011. Typological Up-Scaling of Wooded Peatlands. Ecological Studies, 212 (Forest Management and the Water Cycle). 335–349.

Peterson, U. Eerme, K. Lang, M., Nilson, T., Kuusk, A., Väljataga, K. 2008 (a) Kaugseire asukoht ja tähendus loodusandmete kogumises ning andmetöötluses. Artiklikogumik. Kaugseire Eestis. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. Tallinn, 8–16.

Peterson, U., Liira, J., Püssa, K. 2008 (b). Metsaga alade ning lageraiete ja nendega sarnaste häiringute kaugseire. Artiklikogumik. Kaugseire Eestis. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. Tallinn. 48–68.

Reinsalu, E., Valgma, I., Lind, H., Sokman, K. 2006. Technogenic water in closed oil shale mines. Oil Shale, Vol. 23, No. 1. Estonian Academy publishers, Tallinn, 15–28.

Robam, K., Valgma, I. 2011. Veekõrvaldamine ja veekõrvaldamisega seotud uuringud – Artikkel kogumikus: Kaevandamine ja vesi. Eesti Mäeselts, TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 13-15.

Rull, E., Liblik, V., Pensa, M. 2005. Muutused deformeerunud maapinnaga metsaalade taimkattes. Kogumikust: Liblik, V., Punning J.-M. (toim.). Keskkond ja põlevkivi kaevandamine Kirde-Eestis, Ökoloogia Instituudi Publikatsioon 9, Tallinn, 88–101.

Sokman, K. 2011. Veekõrvaldamise keskkonnaprobleemid Eesti Põlevkivi kaevandustes ja karjäärides – Artikkel kogumikus: Kaevandamine ja vesi. Eesti Mäeselts. TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 122–124.

Soovik, E. 2006. Põlevkivikaevanduste keskkonnamõju uurimise tulemusi. EMVI Teadustööde Kogumik LXXI (71), Maaviljeluse instituut, Tallinn, 263–270.

Toomik, A. 1999. Allmaakaevandamise mõju keskkonnale. Kogumikust: Liblik, V., Punning J.-M. (toim.). Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise keskkonnamõjud Kirde-Eestis. Ökoloogia Instituudi Publikatsioon 6, Tallinn, 109–129.

Käsikirjalised materjalid

Adamson, A. 1997. Teadusabi AS Eesti Põlevkivi tehnoloogilisel ümberkorraldamisel. Vahearuanne. Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut. Tallinn (asukoht: AS EEK).

Adamson, A., Reinsalu, E. 2004. Põlevkivi Kaevandamise AS ettevõtte tööst tulenevate hüdroteoloogiliste muutuste prognoosi koostamine. Teadustöö aruanne. Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Tallinn (asukoht: AS EEK).

Drenkhan, R. 2003. Puhatu looduskaitseala kaitsekorralduskava aastateks 2003-2012. Ida-Virumaa Keskkonnateenistus. Tartu (asukoht: Keskkonnaameti Viru region).

Hang, T., Hiiemaa, H., Jõelet, A., Kalm, V., Karro, E., Kirt, M., Kohv, M., Marandi, A. 2009. Selisoo hüdroteoloogilised uuringud kaevandamise mõju selgitamiseks. Uuringu aruanne, Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Tartu (asukoht: AS EEK).

Karofeld, E., Vellak, K., Marmor, L., Paal, J. 2007. Aluselise õhusaaste mõjust Kirde-Eesti rabadele. Forrestry Studies. Metsanduslikud uurimused 47 (asukoht: Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut).

Leivits, M. 2009. Raba haudelinnustiku elupaikade struktuur ja dünaamika analüüsituna kaugseireandmete alusel Nigula rabas. Magistritöö. Tartu Ülikooli Ökoloogia- ja Maateaduste Instituut (asukoht: Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut).

Kupits, T., Tamm, I. 2004. Viivikonna jaoskonna laienemise Sirgala II mõju Kurtna järvede veetasemetele. Modelleerimistööde aruanne. Maves AS, Tallinn (asukoht: AS EEK).

Laanetu, N. (vastutav täitja) 2010. Keskkonnamõjude hindamise aruanne Norra finantsmehhanismi projekti „Jõeliste elupaikade kaitse korraldamine Ida-Virumaa Natura 2000 aladel” „Poruni jõe hüdroteoloogilise režiimi taastamine” eelprojektiga kavandatud tegevustele. Tartu, (asukoht: Keskkonnaameti Viru region).

Lode, E. (lepingu vastutav täitja). 2011(a). Eesti märgalade integreerimine EL veepoliitika raamdirektiiviga. Metoodika. Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut, Tallinn (asukoht: Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut).

Lode, E. (lepingu vastutav täitja). 2011(b). Metoodika väljatöötamine ja lähteülesande koostamine ning kooskõlastamine märgalade seisundi hindamiseks ja määramiseks. Koondaruanne. Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut. Tallinn (asukoht: Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut).

Lode, E. (lepingu vastutav täitja). 2012. Märgalade seisundi hindamine ja keskkonna eesmärkide määramine. Lõpparuanne. Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut, Tallinn. (asukoht: Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut).

Maa ja Vesi. 2009. Norra finantsmehhanismi projekti „Jõeliste elupaikade kaitse korraldamine Ida-Virumaa Natura 2000 aladel” hanke Poruni jõe hüdroloogilise režiimi taastamise eelprojekti vahearuanne. Tallinn, 29 lk. (asukoht: Keskkonnaameti Viru region).

Metsur, M., Keerberg, V., Krapiva, A. 1997. Ettepanekud mäetööde lõpetamiseks ja põlevkivi jääkvarude kaevandamiseks Viivikonna tootmisüksuses. Maves AS, Tallinn (asukoht: AS EEK).

Niitlaan, E., Sein, O. 2014. Pannjärve ja Pannjärve II liivakarjääri enamohtlike mäetööde projekt. OÜ Inseneribüroo STEIGER. Töö nr 13/1203. Tallinn (asukoht: OÜ Inseneribüroo STEIGER).

Niitlaan, E., Gaškov, A., Siirde, A., Toomik, A., Tamm, I., Kaljuste, M., Pikk, P-J., Kuhlthalfeldt, R., Talumaa, R., Kattai, V., Lahtvee, V. 2012. „Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016-2030” koostamiseks vajalike andmete analüüs. OÜ Inseneribüroo STEIGER. Tallinn. Töö nr 12/1019 (asukoht: OÜ Inseneribüroo STEIGER).

Niitlaan, E., Toomik, A., Malm, I., Kattai, V., Johanson, J., Simmer, E. 2010. Kaevandamise perspektiivide eksperthinnang Narva põlevkivikarjääris II. Töö nr 10/0530. Tallinn (asukoht: OÜ Inseneribüroo STEIGER).

Orru, M., Allikvee, H., Kukk, M., Širokova, M., Viigland, A. 1975. Kohtla-Järve rajooni turbamaardlate otsingulis-uuringuliste tööde aruanne (asukoht Eesti Geoloogiakeskuse Fond).

Perens, R. 2001. Eesti põhjavee kaitstuse kaart 1:400 000. Eesti Geoloogiakeskuse hüdrogeoloogia osakond. Tallinn (asukoht Eesti Geoloogiakeskuse Fond).

Peterson, K. (koost.) 2005. Juhised loodusdirektiivi artikli 6 lõigete 3 ja 4 rakendamiseks Eestis. Säätva Eesti Instituut, Tallinn (asukoht: OÜ Inseneribüroo STEIGER).

Pöder, T. 2005. Keskkonnamõju ja keskkonnariski hindamine. Käsiraamat. Tallinn (asukoht: OÜ Inseneribüroo STEIGER).

Remm, K. 2010. Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Versioon 13. detsember 2010. (asukoht: Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut).

Remm, K. 2005. Põhikaardi põhialade aerofotodelt poolautomaatse tuvastamise juhend. Versioon 5. september 2005. (asukoht: Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut).

Savitski, L. 2003. Suletud ja suletavate kaevanduste mõju põhjaveele. Eesti Geoloogiakeskus, Hüdroloogia osakond. Tallinn (asukoht: AS EEK).

Savitski, L. 2005. Kaevandustest ja karjääridest väljapumbatava vee päritolu. Eesti Geoloogiakeskus. hüdrogeoloogia osakond. Tallinn (asukoht: AS EEK).

Savitski, L., Savva, V. 2004. Usnova kinnistu ja Puhatu LKA kirdenurga hüdrogeoloogiline modelleerimine. Eesti Geoloogiakeskus. Hüdrogeoloogia osakond. Tallinn (asukoht: AS EEK).

Suuroja, K., Mardim, T., Ploom, K., All, T., Kõiv, M., Otsmaa, M. 2009. Eesti Geoloogiline Baaskaart. 6533 Sillamäe. Seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn. (asukoht Eesti Geoloogiakeskuse Fond)

Tamm, I., Metsur, M. 1997. Eksperthinnang Viivikonna kaevevälja mäeeraldise ja maaeraldise piiride vahel paiknevate põlevkivivarude väljamise mõjust Kurtna Maastikukaitseala põhjavee ja järvede veetasemetele. Maves AS, Tallinn (asukoht: AS EEK)

Tüvi, E-L., Feršel, A-L. 2010. Hoiualadega jõed Virumaal 1. Avijõgi, Tagajõgi, Pada jõgi ja Pühajõgi. Tartu-Kuru. (asukoht: Keskkonnaameti Viru regioon)

Viil, A., Žalinov, S., Tammeoja, T. 2005. Narva karjääri mäetöödega rikutud maa korrastamise projekt. Seletuskiri. Tööjoonised. Eesti Põlevkivi. Jõhvi (asukoht: AS EEK)

Allikas internetis

Aaviksoo, K. 2003. Kõnnumaa maastikulise mitmekesisuse satelliitseire 2001. Riikliku keskkonnaseire aruanne. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. [WWW] http://eelis.ic.envir.ee:88/seireveeb/aruanded/3233_aru03_62_kaugseire.doc (15.05.2014).

Adamson, A. 2005. Eesti põlevkiviressursi kasutamissuundade riikliku strateegia aastani 2020 alusuuringud. Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut. Tallinn [WWW] www.ene.ttu.ee/maeinstituut/rk/tehnoloogia1.pdf (15.05.2014).

Aluoja, J. 2013. Droonid maastikul: kiiremini, detailsemalt ja turvalisemalt mõõdistamas. Inseneeria. J. Viru Markšeideribüroo, Tallinn [WWW] www.vmb.ee/wordpress/wp-content/uploads/Inseneeria_11_2013.pdf (15.05.2014).

Arnold, J. R.; Libby, W. F. 1949. Age determinations by radiocarbon content: checks with samples of known age. Institute for Nuclear Studies, University of Chicago. SCIENCE December 23, 1949, Vol. 110 [WWW] <http://hbar.phys.msu.ru/gorm/fomenko/libby.htm> (15.05.2014).

Brookhouse, M., Brack, C., McElhinny, C. 2009. The distance to structural complement (DiSCo) approach for expressing forest structure described by Aerial Photograph Interpretation data sets. [WWW] http://ac.els-cdn.com/S0378112710003889/1-s2.0-S0378112710003889-main.pdf?tid=40128fd0-ce2b-11e3-a003-00000aab0f02&acdnat=1398617270_1527d1415d1c329464473593043a1e20 (14.05.2014).

Fitoka, E., Keramitsoglou, I. (Editors). Inventory, assessment and monitoring of Mediterranean Wetlands: Mapping wetlands using Earth Observation techniques. EKBY & NOA. MedWet publication. (Scientific reviewer Nick J Riddiford) [WWW] http://www.medwet.org/codde/8_EarthObservation/EarthObservation-Manual.pdf (19.05.2014).

Hermet, I. (toimetaja) 2014. Keskkonnaülevaade 2013. Keskkonnaagentuur, Tallinn [WWW] www.keskkonnainfo.ee/failid/ky/sissejuhatus.pdf (13.05.2014).

Isakar, M. koostaja Maavarade kasutamise seotud mõisted. Tartu Ülikool. Geoloogiamuuseum. Määrajad ja õppevahendid. Tartu 2011 [WWW] www.ut.ee/BGGM/maavara/moisted.pdf (13.05.2014).

Kaar, E. 2003. Rekultiveerimisest Eesti põlevkivibasseinis. Ecoman OÜ, Hasco. Tallinn [WWW] www.hot.ee/lifeii/Hasco_2-7.pdf (15.04.2014).

Kimmel, K. 2009. Ecosystem services of Estonian wetlands. Doktoritöö. Tartu Ülikool [WWW] dspace.utlib.ee/dspace/bitstream/handle/10062/14238/kimmel_kai.pdf?sequence=1 (15.04.2014).

Kohv, K. 2007. Harku valla rohevõrgustiku tuumalade ja koridoride uuring. Eestimaa Looduse Fond, Tartu [WWW] vana.harku.ee/files/658.pdf (14.05.2014).

Kosk, A., Lõhmus, L. 2011. Ülevaade Eesti rabade ökosüsteemi teenustest ja nende majanduslike väärtuste hindamisest. [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1184503/RabadeOkosTeenustMajVaartusteHind_TeoriaOsa_AijaKosk.pdf.pdf (14.05.2014).

Kosk, A., Lõhmus, L. 2012. Kuresoo raba ökosüsteemi teenuste majandusliku väärtuse praktiline hindamine. Tartu [WWW] www.eau.ee/~akosk/Tudengitele/TLU%20tudengid/Aruanne_04112012.pdf (14.05.2014).

Lin, T., Xue, X-Z., Lu, C-Y. 2007. Analysis of Coastal Wetland Changes Using the "DPSIR" Model: A Case Study in Xiamen, China [WWW] <http://asiaenvt.pbworks.com/f/DPSIR+07.pdf> (19.05.2014).

Loigu, E. 2003. Viru ja Peipsi alamvesikondade jõgede Seisundi hindamine veemajanduskavade koostamiseks. Lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool, Keskkonnatehnika instituut, Tallinn [WWW] www.viru.peipsi.envir.ee/file/TTU_Jogedehinnang.pdf (14.05.2014).

Martin, D-M., Harrison-Atlas, D., Sutfin, N-A. 2011. An interdisciplinary approach to analyzing vulnerability in freshwater social-ecological systems. graduate Degree Program in Ecology. Department of Geosciences [WWW] www.igert.org/system/content_item_assets/files/1868/Martin_FRSES_2013_Final.pdf?1362943517 (19.05.2014).

Millenium, 2005. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press Washington D.C. [WWW] www.maweb.org/en/index.aspx (13.05.2014).

Paal, J., Köster, T., Vellak, K., Paal, T., Marmor, L., Ligi, H.-J. 2007. Alutaguse idaosa metsad. Metsanduslikud uurimused 47: 5-28. [WWW] www.botany.ut.ee/jaanus.paal/Jaanuse_Artiklite_koopiad/Alutaguse.pdf (13.04.2014).

Perens, R. 2011. Jätkusuutlik põhjaveeseire süsteem Ida-Viru maakonnas. Norra finants-mehhanismi projekt 52/2006-EE0010 1.01.2008 – 30.04.2011. Tartu 2011 [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1177389/Lopukoolituse_ja_Lopusemari_materjalid.pdf (13.05.2014).

Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Truu, M., Häelm, M., Jaštšuk, S. 2010. Eesti põlevkivimaardla põhjaveearule hinnangu andmine. Eesti Geoloogiakeskus. Hüdrogeoloogia osakond. Tallinn 2010 [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1182932/I-V_mudel.pdf (13.05.2014).

Puhatu LKA KKK, 2013. Puhatu looduskaitseala (Puhatu linnu- ja loodusala) kaitsekorralduskava 2013-2022 [WWW] www.keskkonnaamet.ee/public/Puhatu_LKA_KKK-10.04.2012.pdf (13.05.2014).

Pihor, K., Kralik, S., Aolaid-Aas, A., Jürgenson, A., Paat-Ahi, G., Rell, M., Batueva, V. 2013. „Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise sotsiaalmajanduslike mõjude hindamine”, Tallinn: Poliitikauuringute Keskus Praxis. [WWW] www.praxis.ee/fileadmin/tarmo/Projektid/Innovatsiooni_poliitika/Lopparuanne_0307_toi_metatud.pdf (13.05.2014).

Põhjaveekomisjon. 2004. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Tallinn. 2004 [WWW] http://www.maves.ee/Projektid/2004/PV_raamat.pdf http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/b/b5/PKKi%2Bkinnitamine.pdf (12.05.2014).

PÕKK 2008-2015. Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2008-2015. Keskkonnaministeerium. Tallinn. 2008 [WWW] www.energiatalgud.ee/img_auth.php/b/b5/PKKi%2Bkinnitamine.pdf (12.05.2014).

PÕKK 2016-2030. Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030. Keskkonnaministeerium. Tallinn. 2013 [WWW] http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1203948/PK_arengukava_2016_2030_eelnou.pdf (12.05.2014).

Põlevkivi..., 2010. Põlevkivi Kompetentsikeskuse rajamine Ida-Virumaa. Tasuvusteostatavusanalüüs. Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa Kolledž, Kohtla-Järve [WWW] www.vk.edu.ee/projektid/pkk/veebi/pkk%20tta%2002_01_2011_veebi.pdf?VKSID=3398c5b02313ff0713731989beac5e98 (12.05.2014).

Pöyry..., 2013. Õlithase maa-ala detailplaneeringu keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne. Eesti Energia Õlitööstus ASi õlitootmise laiendamine ja põlevkiviõli järeltöötluskompleksi rajamine Vaivara vallas. Pöyry Management Consulting Oy.

[WWW][http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/0/01/P%C3%B6ryr.%C3%95litehase_maa-ala_detailplaneeringu_KSH_aruanne .pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/0/01/P%C3%B6ryr.%C3%95litehase_maa-ala_detailplaneeringu_KSH_aruanne.pdf) (12.05.2014).

Ramsar, 2006. The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands Ramsar Iran 1971 4th ed. 2006. Ramsar Convention Secretariat Switzerland. [WWW] www.ramsar.org/pdf/lib/lib_manual2006e.pdf (12.05.2014).

Ramsar, 2011. Ramsar Publications: Wetland ecosystem services. Ramsar Secretariat. 15.08.2011 [WWW] www.ramsar.org/cda/en/ramsar-pubs-info-ecosystem-services/main/ramsar/1-30-%5E24258_4000_0 (12.05.2014).

Reisner, R. vastutav Metsur, M., Valdmaa, T., Lääne, A., Erlich, Ü. Ida-Eesti vesikonna veemajanduskava. Keskkonnaministeerium. 2010 [WWW] [http://vesikonnad.keskkonnaamet.ee/static/files/184.IdaEesti_vesikonna_veemajanduskava .pdf](http://vesikonnad.keskkonnaamet.ee/static/files/184.IdaEesti_vesikonna_veemajanduskava.pdf) (12.05.2014).

Salm, J.-O., 2012. Emission of greenhouse gases CO₂, CH₄, and N₂O from Estonian transitional fens and ombrotrophic bogs: the impact of different land-use practices. Doktoritöö. Tartu Ülikool [WWW] http://dspace.utlib.ee/dspace/bitstream/handle/10062/25471/salm_jyri_ott.pdf?sequence=1 (12.05.2014).

Silvola, J., Aim, J., Ahlholm, U., Nykanen, H., Martikainen, P.J. 1996. CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. Department of Biology, University of Joensuu, Finland [WWW] [www.researchgate.net/publication/224777705_CO2_fluxes_from_peat_in_boreal_mires_ under_varying_temperature_and_moisture_conditions](http://www.researchgate.net/publication/224777705_CO2_fluxes_from_peat_in_boreal_mires_under_varying_temperature_and_moisture_conditions) (19.05.2014).

Tamm, I. 2010. Ohustatud põhjaveekogumid, ohustatud põhjaveekogumite täiendav kirjeldus, ohustatud põhjaveekogumite seisundit ohustavad saasteained ja nende saasteainete läviväärtused. Piiriülesed põhjaveekihid piiriüleste põhjaveekihtide täiendav kirjeldus ja võimalik inimtegevusest tingitud negatiivne piiriülene mõju põhjaveele. Maves AS, Tallinn [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1168815/Kogumite+aruanne+14122010+kolmandik.pdf (19.05.2014).

Tamm, I., Karri, A., Kupits, K. 2008. Ülevaade olulistest veemajandusprobleemidest. Koostaja Maves AS. Tallinn [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1076066/KKM+%DCleuvaade+oluliste+st+veemajandusprobleemidest.pdf (12.05.2014).

Tamm, I., Metsur, M. 2010. Rakendusuuring kaevandamistundlikkuse kategooriate määramiseks ja lähtudes kaevandamistundlikkusest põlevkivimaardla kasutamiseks. Riigihange 119904. Maves AS, Tallinn [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1182933/Kaevandamistundlikkuse%2Bkategooriad%2Btiendatud%2Bjoonistega.pdf (12.05.2014).

The Role..., 2003. The Role of Wetlands in the Water Framework Directive. Guidance Document No 12. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive

(2000/60/EC). European Communities, Luxembourg. [WWW] http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/facts_figures/guidance_docs_en.htm (12.05.2014).

Vesiloo, P. 2012. Kaevandamise tehnoloogia konspekt. Tallinna Tehnika ülikooli Mäeinstituut. [WWW] http://okokratt.ee/seminarid/Kaevandamise_tehnoloogia_2.pdf (12.05.2014).

Viru-Peipsi, 2005. Viru-Peipsi veemajanduskava. Eelnõu. Koostajad: ITK, AS Maves, BRGM, IGN-FI, PKI, TTÜ, EVV, Loodushoiu Keskus, Maa ja Vesi, Peipsi Koostöö Keskus, eesti Geoloogiakeskus. Tallinn [WWW] www.viru.peipsi.envir.ee/file/Viru-PeipsiVMK_est.pdf (12.05.2014)

Wetlands: (2014) a key Link in watershed managementa. Guide for watershed partnerships. Conservation Technology Information Center CTIC. [WWW] www.ctic.purdue.edu/; <http://www.ctic.purdue.edu/media/files/Wetlands.pdf> (12.05.2014).

Kodulehekülgede aadressid

ArcGIS, 2014. ArcGIS Resources. ArcGIS 10.1 Help Library. [WWW] <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00qn0000001p000000> (15.05.2014).

EE, 2014. Eesti Energia AS koduleht. [WWW] www.energia.ee (17.04.2014).

EELIS, 2014. Keskkonnaagentuur [WWW] www.keskkonnainfo.ee (15.05.2014).

EKSS, 2009. Eesti keele seletav sõnaraamat. [WWW] <http://eki.ee> (14.05.2014).

EnDic, 2004. Environmental Dictionary. Finnish Environment Institute and Finnish Meteorological Institute and Kielikone Ltd. [WWW] mot.kielikone.fi/mot/indic/netmot.exe?UI=ened (14.05.2014).

ESTONICA, 2000. Entsüklopeedia Eestist. Eesti Instituut [WWW] www.estonica.org/et/ (16.05.2014).

Ida-Viru Maavalitsus, 2014. [WWW] www.ida-viru.maavalitsus.ee (14.05.2014).

Maa-amet, 2014. Maa-ameti Geoportaal. 2014. [WWW] www.maaamet.ee (14.05.2014). (Litsendileping ST-A1-01599 Maa-ametilt saadud ortofotodele 2005, 2009 ja 2013.)

SäASS, 2014 Säastva arengu sõnaseletusi [WWW] www.seit.ee (14.05.2014).

ÕS, 2013. Eesti õigekeelsussõnaraamat. [WWW] www.eki.ee (14.05.2014).

Juriidilised aktid, arengukavad ja planeeringud

Convention of..., 1971. Convention of Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. Ramsar, Iran, 02.02.1971 [WWW] www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-texts-convention-on/main/ramsar/1-31-38%5E20671_4000_0 (15.05.2014).

Convention on..., 1973. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Washington, 1973 [WWW] www.cites.org/eng/disc/what.php (15.05.2014).

Convention on the..., 1979. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Bern, 19.IX.1979 [WWW] <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/104.htm> (15.05.2014).

Convention on..., 1992. Convention on Biological Diversity. Rio de Janeiro, 1992 [WWW] www.cbd.int/convention/ (15.05.2014).

Eesti metsanduse, 2010. Eesti metsanduse arengukava aastani 2020. Keskkonnaministeerium. Kinnitatud Riigikogu otsusega nr 909 OE 15.02.2011. a., Tallinn [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1160296/MAK2020vastuvoetud.pdf (15.05.2014).

Euroopa nõukogu..., 1979. Euroopa nõukogu direktiiv 79/409/EMÜ, 2. aprill 1979, loodusliku linnustiku kaitse kohta. [WWW] www.natura2000.envir.ee/files/doc/linnudirektiiv.pdf (14.05.2014).

Euroopa nõukogu..., 1992. Euroopa nõukogu direktiiv 92/43/EMÜ, 21. mai 1992, looduslike elupaikade ning loodusliku taimestiku ja loomastiku kaitse kohta. [WWW] www.natura2000.envir.ee/files/doc/loodusdirektiiv.pdf (14.05.2014).

Euroopa parlamendi..., 2000. Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, 23. oktoober 2000, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik. [WWW] www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=375189/32000L0060ET.pdf (14.05.2014).

Guidance Document No 12 (2003). Horizontal Guidance on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive. Office for Official Publications of the European Communities [WWW] <http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/docs/GuidanceDocuments/Guidancedoc12wetlands.pdf> (14.05.2014).

Ida-Virumaa..., 2003. Ida-Virumaa asustust ja maakasutust suunavad keskkonnatingimused. Maakonnaplaneeringu teemaplaneering, Ida-Viru Maavalitsus, Jõhvi [WWW] http://axis.ivmv.ee/mv_kodulehe_failid/failid/204008/Asustust%20ja%20maakasutust%20suunavad%20keskkonnatingimused.pdf (14.05.2014).

INSPIRE, 2007. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European

Community (INSPIRE) [WWW] <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/48> (14.05.2014).

Jõhvi vald, 2011. Jõhvi valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2011 kuni 2024. Kinnitatud Jõhvi Vallavolikogu 15.12.2011 määrusega nr 000. [WWW] www.johvi.ee/sites/default/files/failid/volikogu/2011_12_09/6_kava.pdf (14.05.2014).

Keskkonnaministri määrus RT I, 25.11.2010, 7. Keskkonnaministri 28. Juuli 2009. a määruse nr 44 „Pinnaveekogumite moodustamise kord ja nende pinnaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, pinnaveekogumite seisundiklassid ja seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning seisundiklasside määramise kord” muutmine. [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/125112010007> (16.05.2014).

Keskkonnaministri määrus RT I, 28.06.2013, 14. Põhjaveekogumite moodustamise kord ja nende põhjaveekogumite nimestik, mille seisundiklass tuleb määrata, põhjaveekogumite seisundiklassid, seisundiklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ja koguseliste näitajate tingimused, põhjavett ohustavate saasteainete nimekiri, nende saasteainete sisalduse läviväärtused ja kvaliteedi piirväärtused põhjavees ning põhjaveekogumite seisundiklasside määramise kord¹. [WWW] www.riigiteataja.ee/akt/13356008 (14.05.2014).

Rahvusvahelise tähtsusega märgalade, eriti veelindude elupaikade konventsiooni täitmise riikliku programmi kinnitamine. Vabariigi Valitsuse määrus RT I 1997, 18, 303 [WWW] www.riigiteataja.ee/akt/25273 (14.05.2014).

Riigikontrolli..., 2014. Riigi tegevus põlevkivi kasutamise suunamisel: „Kas riik tagab põlevkivivaru jätkusuutliku kasutamise?“ Riigikontrolli aruanne Riigikogule, Tallinn [WWW] [www.energiatalgud.ee/img_auth.php/4/47/Riigikontroll. Riigi tegevus p%C3%B5levkivi kasutamise suunamisel.pdf](http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/4/47/Riigikontroll._Riigi_tegevus_p%C3%B5levkivi_kasutamise_suunamisel.pdf) (14.05.2014).

Veeseadus. 1994. RT I 1994, 40, 655 [WWW] www.riigiteataja.ee/akt/106052014008 (14.05.2014).

LISAD

1)Kaevandamisviisid

Karjääriviisiline pealmaakaevandamine on kaevandamisviis, kus maavarasid kaevandatakse maapealsetest *kaeveõõntest*. Üldjuhul kasutatakse pealmaakaevandamist juhul, kui põlevkivi lasundi katendi teisaldamine on majanduslikult otstarbekas. Põlevkivi pealmaakaevandamisel Eestis kasutatakse *vaalkaevandamise* meetodit, mille puhul eemaldatud katend paigutatakse sisepuistangutesse vaaludena ning kasutatakse hiljem karjääri korrastamiseks (Reinsalu, 2011; Vesiloo, 2012; Niitlaan *et al.*, 2012).

Allmaakaevandamist rakendatakse juhul, kui põlevkivi lasundi katendi kiht on nii paks, et selle teisaldamine läheb majanduslikult kulukaks. Käesoleval ajal on katendi kihi eemaldamise majanduslikuks tasuvuse piiriks kuni 30 m. Eestis on kasutusel olnud kaks põhilist allmaakaevandamisviisi: *laavakaevandamine* maa langetamisega ning *kamberkaevandamine*, kus maapinda toestatakse langetuste vastu. Laavakaevandamine on kaevandamisviis, mille puhul kaevandatakse põlevkivikiht *hoidetervikuid*⁴⁸ jätmata välja ning kaevandamiseks toestatud katend kaevandatud alas langetatakse kaeveõõnte põhjani. Selle tulemusena kujunevad laavakaevandamisega mõjutatud maastikul nõgusad, kuid hilisemate langatuste suhtes staabilised maastikuvormid. *Kamberkaevandamine* on kaevandamisviis, mille puhul jäetakse väljatavasse kihindisse hoidetervikud, mis hoiavad maapinna katendit üleval ning nende vahele moodustuvad väljatava põlevkivi asemel kaevandamise tehnikale sobivad kambrid (Adamson, 2005; Reinsalu, 2011).

2)Kaevandamine Sirgala II põlevkivikarjääris

Kaevandamise mõju minimeerimiseks Vasavere mattunud orule ning Kurtna järvistule, muudeti Sirgala II põlevkivikarjääris kaevandamise tehnoloogiat, kus töö ee pöörati 90° lääne-ida suunaliseks liikumisega põhjapiirilt lõunasse. Seejärel rajati põlevkivi väljamise järgselt kvaternaarsest katendist vett vähe läbilaskev filtratsioonitõkke (pinnasesein), mis takistab mattunud oru põhjavee dreenimist. Oruga paralleelselt on rajatud pideva survega infiltratsioonibasseinid. (Adamson, 1997; Maves, 1997) Modelleerimise tulemusel leiti, et rakendatav uus kaevandamistehnoloogia, kus kaevevälja läänekontuurile rajatakse

⁴⁸ Hoidetervik - maapõue massiivi osa, mis hoiab üleval maapealseid ehitisi ja infrastruktuuri rajatisi. Tervikute suurus arvutatakse vastavalt hoitava rajatise nõuetele (Kaalman, 1950)

filtratsioonibassein, annab korrektse rakendamise korral häid tulemusi ning vähendab oluliselt põlevkivikarjääri veeärastuse negatiivset mõju Kurtna järvedele (Maves, 1997).

3)Rohevõrgustiku toimimise põhimõtted

Rohevõrgustik koosneb tuumaladest⁴⁹ ja neid ühendavest koridoridest⁵⁰, mis ühendatuna moodustavad ühtselt funktsioneeriva terviku. Kogu rohevõrgustiku toimimine toetub tuumaladele, mis on ümbritseva keskkonna suhtes kõrgema väärtusega loodusalad nagu nt suured ja terviklikud metsamassiivid. (Ida-Virumaa..., 2003). Rohevõrgustiku rajamisel lähtutakse järgmistest põhimõtetest:

- Looduslike alade ruumilise struktuuri kujundamine lähtudes ökoloogilisest, keskkonnakaitselisest, sotsiaalsest ja looduslikust aspektist.
- Kaitsealade võrgustiku funktsionaalsuse täiendamine, ühendades neid rohekoridoridega ühtsesse süsteemi.
- Inimtekkeliste mõjude ennetamine ja pehmendamine, stabiilse keskkonnaseisundi tagamine läbi loodusressursside taastootmise ja koosluste arengu tagamise.
- Ökosüsteemide hüvedest tulenevate teenuste tagamine ühiskonnale, milleks on näiteks põhja- ja pinnavee olemasolu, puhas õhk, toitainete ringlus, mulla loome jt (Sepp & Jagomägi, 2001).

Rohevõrgustiku jätkusuutlikul funktsioneerimisel peavad olema tuumaladel ja koridoridel täidetud järgmised tingimused:

- Looduslike alade osatähtsus minimaalselt 90%.
- Maakasutuse sihtotstarve muutmine vaid läbi detailplaneeringu.
- Metsades võib arendada majandustegevust kooskõlas metsakorralduskavadega ning soovitatav on kasutada valikraiet.
- Looduskaitsealistel aladel on majandamistegevus kas keelatud või piiratud.
- Infrastruktuuride (kiirteed, jäätmeoidlad, mäetööstusobjektid) rajamise piirang.
- Põhjavee reostusohlikel aladel rakendada meetmed reostusohu vähendamiseks.

⁴⁹ Tuumala – piirkond, millele süsteemi funktsioneerimine toetub, omavad ümbritseva suhtes kõrgemat väärtust (Kohv, 2007)

⁵⁰ Rohekoridor – rohevõrgustiku elemendid, millede ülesandeks on võrgustiku toimimise tagamine (Kohv, 2007)

- Põllumajandustegevuse taastamine puisniitudel ja struugadel (Ida-Virmaa..., 2003).

4) Klasterdamise põhimõtted

Puhatu soostiku maakatte dünaamika ajalise ja ruumilise analüüsi tarbeks võrreldi omavahel 2005, 2009 ja 2013 aastate ortofotosid. Remm (2010) põhjal saab klassidesse jaotada nii tunnuseid, objekte, asukohti. Klassifikatsioonipuud (*Classification tree*) tuginevad kas kindlatele reeglitele (*Rule Based Classifications*) või tõenäosusjaotustele. Klassifikatsioonipuu on järk-järguline klassifikatsioon (seletatavate tunnuste ühekaupa käsitlemine), mis tekib vaatluste hulga korduval jagamisel osakesteks (Remm, 2005). Tõenäosusjaotused jagunevad suurima tõepära klassifikatsioonid (*Maximum Likelihood Classification – MLC*) ja hägused klassifikatsioonid (*Fuzzy Classification*). Klassifikatsioon võib olla ette antud (*a Priori*) või moodustuvad klassifitseerimise käigus (*a Posteriori*). Etteantud klassifikatsioone nimetatakse kaugseire või pildiandmete klassifitseerimise meetodite liigitamisel valvega (*Supervised classification*) ja klassifitseerimise käigus moodustuvaid klasse valveta (*Unsupervised Classification*) klassifitseerimiseks. (Remm, 2005; 2010)

Klasteranalüüs (*Cluster Analysis*) on mitme tunnuse põhjal objektide hulga liigendamine alamhulkadeks, millesse kuuluvad mingis aspektis lähedased elemendid. Klasteranalüüsi saab läbi viia kas ette antud klastrite arvuga (*k-Means Clustering*), objekte järgemööda klastripuuga ühendades (*Tree Clustering, Agglomerative Clustering, Bottom up Clustering*) või jagades andmestikku järgemööda, kuni igasse klastrisse jääb üks vaatlus (*Divisive Method, Top Down Clustering*) (Remm, 2005; 2010).

Klasteranalüüs kuulub kirjeldava andmeanalüüsi meetodite hulka, mis püüab leida olemasolevate objektide parimat klassifikatsiooni ning ei püüa tõestada klastrite olemasolu. Klasteranalüüs on objektiivne selles tähenduses, et parimate klastrite otsimine toimub kindlate reeglite järgi, kuid klastrite otsimise reeglid tuleb ennem ise valida. Eri meetoditel läbi viidud analüüside tulemused võivad olla vägagi erinevad, oluline on järgida etteantud reeglistikku. (Remm, 2005; 2010).