

Tartu Ülikooli geograafia instituut

Magistriväitekiri loodusgeograafias

**Tugevad piirid suuremõõtkavalisel
mullastikukaardil ja nende väljendumine Kõrg-
Eesti moreenitasandike muld- ja taimkattes**

Jaan Pärn

Juhendajad: professor Ülo Mander

vanemteadur Kalle Remm

Tartu 2006

Sisukord

1. SISSEJUHATUS.....	3
1.1. Suuremõõtkavaliste piiride käsitletud.....	3
1.2. Kontiinuum, mikrotsonaalsus ja niiskusrežiimi servaepekt	5
1.3. Niiskusrežiimi järsud üleminekud taimkatte indikaatorina.....	7
1.4. Eesmärgid	8
2. METOODIKA	9
2.1. Uurimisala	9
2.2. Kaardiandmed.....	9
2.3. Välitööd.....	10
2.4. Andmetöötlus.....	16
3. TULEMUSED.....	20
3.1. Muldkatte siirdevööndi laius.....	20
3.2. Taimkatte siirdevööndi laius	22
3.3. Muldkatte siirdevööndi asend nõlval	23
3.4. Taimkatte siirdevööndi asend nõlval.....	23
3.5. Muldkatte muutumine mullapiiril.....	24
3.6. Taimkatte muutumine mullapiiril.....	26
4. ARUTELU	30
4.1. Mullastikukaardi tugevate piiride vastavus loodusele	30
4.2. Tugevad mullapiirid realses muldkattes	31
4.3. Tugevatele mullapiiridele vastavad servad taimkattes.....	31
4.4. Tugevate mullapiiride ja neile vastavate taimkatteservade asend nõlval	32
4.6. Üks mullastikukaardi reljefianalüüsis kasutamise võimalus	33
4.7. Üks mullastikukaardi kasutamise võimalus sookaitsealade puhvertsoonide määramisel.....	33
5. JÄRELDUSED	34
6. TÄNUSÕNAD	35
7. KOKKUVÕTE.....	36
8. SUMMARY.....	37
9. KIRJANDUS	38
10. ANDMEBAASID	42

1. Sissejuhatus

1.1. Suuremõõtkavaliste piiride käsitlused

Igasuguste looduslike piiride käsitlemisel on kaks vastandlikku vaatenurka (Мильков, 1970; Арманд, 1975; Masing, 1979):

- A. Piir kui areaali serv ja looduses mitteesinev üldistus
- B. Piir kui reaalne joon või vöönd, millega risti toimub oluline looduskompleksi või selle komponendi muutumine.

Vaatenurk A on iseloomulik koropleetkaartidele, mille puhul ei pöörata piiridele kuigi suurt tähelepanu vaid esitatakse areaal kogu oma ulatuses ühtlasena. Koropleetkaartidel kujutatakse looduse sujuvaid üleminekuid teravate piiridena. Uuemad meetodikad nagu kriging ja hägus loogika (Burroughs, 1989 *cit* Kollias *et al*, 1999) eeldavad, et igasugused üleminekud on sujuvad.

Kõigepealt sõltub piiri tugevus kirjeldamise mõõtkavast. Eesti suuremõõtkavalise mullastikukaardi areaalide (2001) minimaal-laiusena on kasutatud 2 mm. Mõõtkavast sõltub, millise laiusega objektid minimaallaiusele vastavad. Kas mingit vööndit kujutada joone või pinnana, sõltub sellest, kas ta konkreetsetes mõõtkavas on suurem või väiksem kui 2 mm. Näiteks 100 m vöönd, mida 1 : 100 000 mõõtkavalisel kaardil kujutab 1 mm laiune joon, on 1 : 10 000 kaardil 10 mm laiune pind.

Kirjeldatud põhimõtte alusel kaarte vaadates võib märgata nii järske kui sujuvaid üleminekuid. Mida keerulisem maastik, seda suurem osa üleminekuid on järsud. Tihti on tugevad kõrgusvahede, pinnamoe, setete (Мильков, 1970) ja taimkatte (Карпачевский *et al*, 1971) põhjustatud piirid. Hägusad on näiteks kliimavööndite piirid.

Selleks, et tegelikku muldkatet kaardil realistlikult esitada, on vajalikud eelteadmised sellest üleminekute järskusest. Isegi sujuvust arvestava hägusa loogika meetodil arvutamiseks on vaja väliandmeid (Burroughs, 1989, *cit* Kollias *et al*, 1999).

Käesolevas töös on püütud kõiki neid käsitlusviise sünteesida. Friedland (Фридланд, 1972) klassifitseeris mullapiire eksperthinnanguga nende tugevuse (kontrasti) alusel.

Roosaare (1976) kasutas mullapiiride klassifitseerimiseks Lõhmuse (1974) metsatüüpide eeskujul ordinatsiooni (Goodall, 1963) ja gradientanalüüsi (Bray ja Curtis, 1957; Whittaker, 1967). Roosaare (1976) käsitluses oli piirilõigu tugevuse mõõt taksonoomiline kaugus kõrvuti asetsevate mullatüüpide vahel. Kasutati kolme skaalat (käesoleva töö mõistetes):

- 1) Lõimis (savi=>liivsavi=>saviliiv=>liiv)
- 2) Leetumise ja karbonaatsuse vahekord (leedemuld =>leetunud=>leostunud või leetjas=>karbonaatne)
- 3) Veerežiim (soo=>märg=>ajutiselt märg=> värsked või niiske=>ajutiselt kuiv)

Iga mullapiir sai kindla hinde vastavalt sellele, mitu klassi jäi konkreetse piiri poolt eraldatavate mullaerimite tüüpide vahele. Nii sai niiskusrežiimi skaalal maksimaalse hinde piir, mis eraldas raba põuakartlikust loomullast. Minimaalse kontrastihinde sai näiteks erineva laguastmega madalloomuldi eraldav piir. (Roosaare, 1976)

Rakendades Roosaare (1976) meetodikat Lõuna-Eesti moreenitasandikel suuremõõtkavalise mullastikukaardi piiride klassifitseerimisel ((Pärn, 2003); tabel 1), ilmnisid järgmised seaduspärad. Valdaval osal, 95% piiridest esinesid kõrvuti samasse tüüpi kuuluvad või naabertüübid. 5%l piiridest esinesid kõrvuti mullatüübid, mis ei olnud naaberklassid. Nende vahele jäi 1...3 puuduvat niiskusklassi. Muudel telgedel tavalisest suuremaid kontraste eristunud. Tugevatel piiridel esinesid kõrvuti pidevalt tahe muld ja soostunud muld või ajutiselt märg muld ja soomuld. Esines sellest suuremaidki taksonoomilisi erinevusi. Saadud tulemused kehtivad eeldatavasti kogu Kõrg-Eesti moreenitasandikel, kuna tavaliselt (Raukas ja Rõuk, 1995) käsitletakse neid ühtse tüübina.

Tulenevalt kontinuumi printsiibist tuleb arvestada ka seda, et looduses, eriti nõlvadega seotud muustrites on üldine pikaajaline tendents (vähemalt kümneid tuhandeid aastaid) järskude üleminekute tasandumise suunas.

Tabel 1. Lõuna-Eesti moreenitasandikel rakendatud niiskusrežiimi kontrastsuse tabel (Pärn, 2003 Roosaare, 1976 järgi).

Võrreldavad niiskusrežiimi tüübid	Ajutiselt läbikuivav (L, K, E)	Tahe või niiske (Ko, KI, Lk, LP, D)	Ajutiselt märg ((g), g)	Märg (G)	Madal soo (M, S)	Raba (R)
Ajutiselt läbikuivav (L, K, E)	0	1	2	3	4	5
Tahe või niiske (Ko, KI, Lk, LP, D)	1	0	1	2	3	4
Ajutiselt märg ((g), g)	2	1	0	1	2	3
Märg (G)	3	2	1	0	1	2
Madal soo (M, S)	4	3	2	1	0	1
Raba (R)	5	4	3	2	1	0

1.2. Kontiinum, mikrotsonaalsus ja niiskusrežiimi servaepekt

Taimkatte pidevuse ehk kontiinumi käsitus tekkis vastukaaluna ruumiüksuste diskreetsust rõhutavale tüpoloogilisele regionaalgeograafiale. Kontiinumi käsitluses on iga kooslus ja muld seotud üleminekute kaudu teistega. Reeglina pürgib loodus üleminekute ühtlustamise poole (näiteks geoloogias peneplaani käsitus). Järsud üleminekud on erandlikud ja ajutised, esinedes tüüpiliselt kas inimtegevuse tagajärjel (metsaserv) või noorel reljefil (kanjonid).

Sellised üleminekud on tekitatud mingisugusest takistuste või katkemise poolt keskkonna- või mullatekkekategurites (Masing, 1979; Fagan *et al*, 2003). Näiteks kui looduses on järsk üleminek rohketoitelise madal soo ja vähetoitelise raba vahel, võime järeldada, et rabarinnatisest allpool on turba kasvul mingi takistus. Toodud näites võib selleks olla liikuv põhjavesi.

Samuti võivad teatud laiusega siirdevööndid käituda ise levimistakistustena, mis põhjustab muutusi teisteski looduskomponentides. Näiteks metsa ja põllu piir on valguse levimistakistus, mille tõttu metsa alustaimestiku laad on teine kui niidul.

Pinnavesi voolab mööda vettkandvat pinda allapoole püstise takistuseni. Viskoossuse tõttu on veekogu piir üks looduses lihtsamini jälgitavaid jooni (Masing, 1979). Erinevalt pinnaveest suudab mullavesi (täpsemalt kapillaarvesi) sõltuvalt lõimisest tõusta mullakapillaare pidi kuni 3 m põhjaveest kõrgemale (Kitse, 1962). Näiteks Pohjanmaa saviliivadel ja liivsavidel ulatub "märgumisvöönd" ("vettymisvyöhyke") 1,2 m...1,5 m kõrgusele veekogu veetasemest. (Typpö, 2005). Kapillaartõusu järgi on lõimist arvestades võimalik leida mulla niiskusrežiimi teatud kõrgusel põhjavee või pinnavee tasemest (Kitse, 1962), arvestades, et sõltuvalt lõimisest võib kapillaartõus tekitada paarikümnel meetril mitmemetriseid erinevusi.

Kateeniprintsiibi järgi (ladina keeles *catena* – kett) määravad mulla keskmise- ja suuremõõtkavalise tsonaalsuse reljeefiga seotud tegurid. Kateeniprintsiibi autor G. Milne (1935 cit Brown *et al*, 2004) nimetab tsonaalsuse põhjustajana erinevusi mulla lähtematerjali, äravoolutakistusi nõgudes ja mulla ärakannet-kuhjumist.

Baltikumi reljeefi erandlikult väikesest vähem kui 10 000 a vanusest tuleneb, et siinsetel jõeorgudel on järsud nõlvad. Moreenitasandike orupõhjasid katab soo ning reljeefi kõrgematel osadel on moodustunud automorfseid mullad. Gleistunud ja gleimuldade osakaal on väike ja nende laad üleminekuline (Добровольский *et al*, 1990). Sellest võib järeldada, et moreenitasandike ajutiselt ja pidevalt märja mulla vöönd automorfsete muldade ja soo vahel on ürgorgudes tüüpiliselt suhteliselt kitsas.

Niiskusrežiimi ja muude abiootiliste teguritega seotud servaeefekti on vähe uuritud. Tugevate mullapiiride analüüsi põhjal (Pärn, 2003) võib oletada, et moreenitasandikel järgivad tugevad mullapiirid ürgoru nõlva. Küllalt hea maapinna mudeli puudumisel võib sellest püstitada aga vaid hüpoteesi. Olgu käesolevas peatükis toodud veel mõned servaeefekti esinemisest mõned iseloomulikud näited. Pohjanmaal ulatub haritav maa traditsioonide tõttu servapidi järveäärsetele glei- ja soomuldadele. Nii tekib kitsas vöönd, kus pidevalt märga mulda haritakse (Typpö, 2005). Lõuna-Austraalias on niiskusrežiimi kunstlikud muutused toonud kaasa omalaadse servaeefekti, kus soolase vee tungimisel

mulla ülemistesse kihtidesse närbub taimestik kitsa vööndina (Cramer ja Hobbs, 2002). Niiskusrežiimi üleminekut võib järsemaks muuta sellega kokkulangev metsaserv. Võrreldes rohumaa ja põlluga stabiliseerib mets niiskusrežiimi, tasandades selle kõikumisi. Seega avaldab suurvesi rohumaal niiskusrežiimile tugevamat mõju kui selle vahetus läheduses paiknevas metsas (Kollist, 1974; James *et al*, 2003).

Kokkuvõtlikult võib öelda, et niiskusrežiim võib põhjustada servaepekti. Eestis oleks selle uurimiseks võimalused olemas, kuna on kättesaadav digitaalne suuremõtkavaline mullastikukaart. Enne seda tuleb aga selgitada, kas muldkattes esineb kõlvikupiiridega sarnaselt järskusid piire.

1.3. Niiskusrežiimi järsud üleminekud taimkatte indikaatorina

Taimekooslus on lahutamatu seotud kasvukohaga kui selle all mõista kõikide abiootiliste tegurite kogumit selles kohas ehk kasvukohta. Taimekooslus ja kasvukoht võivad olla omavahel nõrgalt seotud. See tähendab, et teatud tüüpi kooslus võib kasvada väga erinevatel muldadel. Kindlat laadi muld võib tingida väga erinevate koosluse kujunemise (Masing, 1979; Palo, 2005)

Mulla niiskusrežiim on näitaja, mis iseloomustab taimede varustatust veega (Reintam, 1979). Kui vett on üle veevälimahutavuse, alaneb aeratsioonipoorsus alla 10% ning taimede normaalseks elutegevuseks ja süsivesikute, valkude ning muude ainete sünteesiks ei jätku hapnikku. Samuti küllastub mullaõhk liigselt süsihappegaasiga, mullalahus H^+ ioonidega. Intensiivistuvad redutseerumisprotsessid, areneb denitrifikatsioon, aheneb aineringe mulla ja taimede vahel ning mulda kogunevad Fe^{2+} - ja teised taimedele kahjulikud ühendid. Pidevalt märja veerežiimiga mullal suudavad kasvada vaid spetsiaalselt sellistele tingimustele kohandunud taimed (Larcher, 1995). Heaks näiteks on madala osmootse rõhuga hügrofüüdid. Seega võib niiskusrežiim toimida taimekoosluse otsese piirava tegurina. Juhul kui niiskusrežiimi näitajates esineb järsk üleminek, on tõenäoline, et ka taimkattes esineb vastav järsk siire.

Kuivendus aladel märg veerežiim taime elutegevust ei piira. Vee ärajuhtimine muudab turba niiskusrežiimi tugevalt kuivema poole (Груздева, 1991). Loomulikes tingimustes

niiskusrežiimi parameetrina kasutatav turba paksus ei kirjelda kuivendatud aladel niiskusrežiimi kui taimed veega varustatuse näitajat.

Teine taimkatte ja niiskusrežiimi seost hägustav tegur on ruumiline autokorrelatsioon. Selle reeglite järgi mõjutavad iga ruumiüksuse mingit väärtust (näiteks mõõteruudu taimestikku) selle ümbruse väärtused. Punkti mõju on seda suurem, mida lähemal ta mõjutatavale punktile asub. Teisisõnu on taimekoosluse elutegevus näitajad ruumiliselt sidusad. See tähendab, et kahe punkti taimestik on seda sarnasem, mida lähemal nad teineteisele paiknevad. Ruumiline autokorrelatsioon muudab võimatuks uurida taimkatet ainuüksi klassikalise statistika vahenditega, mis eeldavad vaatluste sõltumatust (Legendre, 1993). Muldkatte autokorrelatsioon varieerub suuresti sõltuvalt selle keerukusest (Uuemaa *et al*, 2006).

1.4. Eesmärgid

Eelnevates peatükkides kirjeldati mitut aspekti, mille poolest suuremõõtkavalised mullapiirid ja siirdevööndid on huvitav ja tänuväärne uurimismaterjal. Ilmnes, et loodusgeograafilised ja maastikuökoloogilised piirid on leidnud piisavat käsitlust — piiril on üldiselt kokkulepitud määratlused ja üldlevinud klassifikatsioonid. Piiride vastavust looduslikele siirdevöönditele ei ole aga piisavalt analüüsitud ega joonelistele üleminekute laadi ammendavalt kirjeldatud. Samuti on vähe käsitletud looduslike siirdevööndite mõju teistele looduskomponentidele.

Lisaks teoreetilistele kaalutlustele lähtuti käesoleva töö eesmärgi piiritlemisel praktilistest võimalustest, täpsemalt olemasolevatest andmebaasidest ning looduses lihtsalt registreeritavatest ning informatiivsetest tunnustest (vt. peatükk 2).

Eesti tingimustes on võimalik kontrollida suuremõõtkavalise mullastikukaardi tugevate piiride vastavust reaalsele mullastikuliste siirdevöönditele ning nende mõju taimkattele.

Käesoleva töö eesmärk oli kirjeldada suuremõõtkavalise mullastikukaardi tugevate piiride ümbruses esinevaid nähtusi. Tööhüpoteesid olid järgnevad.

1. 1 : 10 000 mullastikukaardi tugevatele piiridele vastab looduses selle kaardi mõõtkavalise vea piiresse jääv (<20 m) siirdevöönd.
2. 1 : 10 000 mullastikukaardi piiride asukoht enamasti vastab looduses olevate mullastikuliste üleminekute asukohale mõõtkavalise vea piires (± 20 m).
3. Järsk üleminek ühelt mulla niiskusrežiimilt teisele esineb mõõtkava piires kindlal kaugusel (± 20 m) nõlva jalamist.
4. Muldkattes esinevate järskude üleminekutega kaasnevad statistiliselt olulised järsud üleminekud taimkattes.

2. Metoodika

2.1. Uurimisala

Uurimisalaks valiti Palupera, Rõngu ja Aakre ümbruse moreenitasandikud, kuna autor oli sellel alal varem tugevaid mullapiire kameraalselt uurinud. Täpsemalt oli juba olemas piirkonna tugevate mullapiiride andmebaas MicroStationi vormingus (Pärn, 2003).

Tegemist on tüüpilise moreenitasandikuga (Varep, 1970; Kajak ja Kurik, 1987; Arold, 2001). Uurimisala on komplekselt kirjeldatud kodu-uurijate kokkutulekute kogumikes “Tartu rajoonis” ja “Valga rajoonis” (Varep (1970; 1987; Puusepp 1970).

2.2. Kaardiandmed

Töö esimeseks eesmärgiks oli kontrollida suuremõõtkavalise mullastikukaardi tugevaid piire.

Suuremõõtkavalise mullastikukaardi vormi, sisu ja meta-andmete kirjeldus on toodud mullastikukaardi koostamise juhendis (Kokk *et al*, 1968) ja kaardi seletuskirjas (“Vabariigi digitaalse...”, 2001). Eesmärgi huvides väärrib ülekordamist ainult ehk paar kaardi omadust.

A. Kaardi mõõtkava on 1 : 10 000

B. Tegemist on koropleetkaardiga.

Esimesest parameetrist tulenes eesmärgi täitmiseks vajalik lähteandmete täpsus. 20 m ja kitsamate üleminekuvööndite olemasolu kontrollimiseks olid vajalikud andmed 1 : 1000 või täpsemad. Mullastikukaardi koropleetvormist tulenevalt ei ole kaardilt sellise täpsusega infot võimalik ekstrapoleerida. Mullastikukaardi algupärasele eksemplaridele on kantud kaevete asukohad. Kaardi koostamise juhendist võis järeldada, et need ei ole kogu uurimisalal piisava tihedusega paigutatud. Nimelt ei pidanud mullastikukaardi väliandmete kogumisel andmeid koguma lausaliselt vaid liigestatud pinnamoega aladel või piire tõmmata taimkatte ja reljeefi järgi (maastikuline printsii; Lepasepp, 1963). Lisaks olid need andmed töötlemist vajaval paberkujul ning originaalid on raskesti kättesaadavad. Eesmärgile vastavaid aktuaalseid taimkatteandmeid uurimisala kohta samuti pole. Kõige selle tõttu otsustas autor mullastikukaardi väliandmeid mitte kasutada, vaid koguda andmed välitööde käigus.

Tuleviku sarnaste ülesannete täitmiseks tuleks mullastikukaardi väliandmete kasutamise võimalust siiski kontrollida.

2.3. Välitööd

2.3.1. Mõõtkava

Maastikuökoloogiat on süüdistatud liigselt ühes mõõtkavas kinni olemisel. Tavaliselt kategoriseeritakse loodust diskreetsete organisatsioonitasemetena, mis käituvad iseseisvalt. Tegelikult mõjutavad ökosüsteeme nii neid moodustavate väiksemate elementide koosseis ja tegevus kui laiem ruumiline kontekst (Bunnell ja Huggard, 1999). Samuti on igasuguse mõõtkava määramine raske looduslike joonobjektide fraktaaluse tõttu (Mandelbrot, 1991). Seetõttu koguti andmeid mitte kindlas mõõtkavas vaid vastavalt reaalsele vöönditele. Esimeste välitööde käigus selgus, et teatud suurusel kitsamad vööndid (näiteks tarnamättad või nendevahelised taimkatteta alad) ei paku geograafilist huvi. Samuti tuli andmed töötlemise ja võrreldavuse eesmärkidel standardiseerida.

Välitööde mõõtkavaks kujunes hilisema standardiseerimise käigus 1 : 500. Andmed vormistati mõõtkavast tulenevalt 1 m vöönditena.

Nagu eelpool lühidalt kirjeldatud, oli eelnevalt tugevate mullapiiridena klassifitseeritud teatud piiride valim (Pärn, 2003). Et nende kogupikkus ainuüksi uurimisalal on sadu kilomeetreid, tuli nende seast võtta uurimisse teatud lõikude valim. Valimi moodustamisel oli lisaks ülalkirjeldatud tugevusele vaid üks kriteerium: kirjeldatav piirilõik pidi asetsema moreenitasandiku paigastikutüübis Aroldi klassifikatsiooni (2001) järgi.

Vahel jäetakse looduslike protsesside uurimisel inimtegevusest muudetud alad uurimisest välja, et keskenduda looduslikele protsessidele (Curtis ja MacIntosh, 1951). Selline võimalus oli kuivendatud alade puhul ka käesoleva töö välitööde kavandamisel. Mõistagi ei olnud selles küsimuses absoluutset lahendust, vaid küsimus oli lihtsalt uurimisobjekti piiritlemises vastavalt eesmärgile. Käsitledes mullastikku ja taimkatet objektiivse tegelikkusena selliseid kriteeriume ei rakendatud. Eelarvamusteta võeti valimisse 24 suuremõõtkavalisel kaardil tugevana klassifitseeritud mullapiiri lõiku.

2.3.2. Andmevorm

Andmevormina kasutati kompleksprofiili mugandatud vormi. Kompleksprofiili meetodikat on kirjeldanud näiteks Markus (1925), Masing (1979) ja Kont (1986). Mullapiiri normaali pidi ehk muldkatte siirdevööndi puutujaga risti kirjeldatud kompleksprofiilid pidid olema vähemalt 40 m pikkused (mõõtkavaline viga e. 20 m kummalgi pool siirdevööndi keskjoont) ja 20 m laiused.

Iga 1 m vööndi kohta registreeriti järgmised näitajad:

1. Maapinna suhteline kaugus profiili referentspunktist
2. Maapinna suhteline kõrgus profiili referentspunktist
3. Mullahorisontide sügavus ja laad
4. Gleistumise tunnuste vähim sügavus
5. Taimeliikide loend
6. Registreeritud taimeliikide katvus [%]

2.3.3. Maapinna mõõdistamine

Maapind mõõdistati tahhümeetri abil. Profiili mõõdistamisele eelnevalt fikseeriti mõõteriista rõhtasend mullapiiri puutujaga risti paikneval sirgel. Püstsuunas jäeti tahhümeeter vabalt liikuma. Liigutades mõõteprismat piki seda sirget, registreeriti maapinna kõrguse ja kauguse näidud. Lisaks suunale muldkatte muutumise suhtes oli kirjeldatava sirge asendi kriteeriumiks, et kõrgusprofiil oleks kogu nõlva suhtes esinduslik, see tähendab ei kirjeldaks üksikuid juhuslikke nõgususi ega kumerusi.

2.3.4. Muldkatte kirjeldamine

Poolkaevteid tehti vastavalt looduskomponentide muutusele hõredamalt või tihedamalt. Poolkaevete vaheliste võõndite mullanäitajad mõõdeti ja määrati 1 m mullapuuri abil.

2.3.5. Mulla niiskusrežiimi kirjeldamine

Kõigi tugevate mullapiiride puhul oli klassifitseerimise aluseks osutunud niiskusrežiim (Pärn, 2003). Teistel skaaladel ei olnud alust olulisi muutusi eeldada. Seetõttu otsustati optimeerida välitõid aja suhtes ja loobuti lõimise ja happesuse määramisest. Selle asemel keskenduti mulla kirjeldamisel niiskusrežiimi näitajatele.

Niiskusrežiim on keeruline süsteem, mille moodustavad omavahel mittelineaarselt ja tihti vaid keskmise olulisusega seotud nähtused (nt. Tassinari *et al*, 2002).

Mulla niiskusrežiimi juhtkomponentanalüüsiks on kasutatud: üleujutuse kestust (Роде, 1965; Kongo, 1973), pinnavee esinemist (Kongo, 1973), ülavee kestust (Kongo, 1973), veemahutavuse näitajaid (Curtis ja MacIntosh, 1951), põhjavee taset (Markus, 1925;

Kongo, 1973; Tassinari *et al*, 2002), mulla veesisaldust (Карпачевский *et al*, 1971, James *et al*, 2003), gleistumise morfoloogilisi tunnuseid (Roosaare, 1976; Tassinari *et al*, 2002) ja redokspotentsiaali.

Kõigi nende tunnuste kasutamisega on seotud suuremad või väiksemad probleemid. Üleujutus, pinnavesi ja ülavesi ei ole lausaliselt esinevad ega ei sobi universaalseks kasutamiseks. Veeläbilaskvus, veemahutavus ja põhjavee tase on küll olulisimad universaalsed niiskusrežiimi varieeruvuse põhjused, kuid nende kasutamist raskendab asjaolu, et nad kirjeldavad veerežiimi kõigest kaudselt, koosmõjus teiste teguritega. Otseselt ja täielikult kirjeldavad veerežiimi ainult mulla veesisaldus ja gleistumise ulatus. Siin tuleb vastu vaielda Tassinari *et al* (2002) loogikale, kes loevad veetaset maasse kaevatud plastiktorus otseseks veesisalduse näitajaks ja gleistumise morfoloogilisi tunnuseid kaudseks. See mõttekäik ei arvesta, et mulla mikroskoopilistes kapillaarides tõuseb vesi hoopis kõrgemale kui paarikümnesentimeetrise läbimõõduga torus. Seejuures sõltub vee tõus mullas mittelineaarselt lõimisest (Kitse, 1962).

Mulla veesisalduse, redokspotentsiaali ja gleistumise morfoloogiliste tunnuste omavaheline võrdlus ütleb, et, mulla veesisaldust ja redokspotentsiaali on võimalik mõnevõrra täpsemini mõõta kui gleistumise ulatust. Üleminek erineva gleistumise ulatusega muldade vahel ei ole ühtlane. Hapendumistsooni ja taandumistsooni vahel on ühe horisontaalse meetri peal jälgitavad kuni paarikümnesentimeetrised keelekujulised kõikumised («Почвоведение...», 1988).

Piisava kogemuse ja selguse puhul protsessi olemusest olid need raskused ületatavad visuaalse keskmistamise abil. Mulla veesisalduse kasutamise vastu rääkis tõsiasi, et neid polnud võimalik väljas mõõta. Mehaaniliselt on mullast võimalik eraldada vaid gravitatsioonivett mitte kapillaarvett (Kitse, 1962). Seega oleks tulnud koguda mullanäidiseid. See oleks suurendanud oluliselt töömahtu, vähenud ülevaadet andmestikust ning suurendanud vigade tekkimise võimalust. Seega oli lisaks mullanäidiste kogumisele vajalik välitööde käigus mõõta gleistumise ulatust.

Redokspotentsiaali määramine oleks toimunud pika aja jooksul, mis omakorda oleks pikendanud välitööde aega.

Käesoleva töö käigus loobuti mullanäidiste kogumist ja redokspotentsiaali mõõtmisest, kuna hinnanguliselt oli veerežiimi võimalik töö eesmärgile piisava täpsusega kirjeldada gleistumise tunnustegi abil.

Gleimuld määratleti mullateaduse sõnastiku alusel («Толковый словарь...», 1975) kui maa pindmine kiht, mille läbilõikes oli alatise märja tingimustes moodustunud gleihorizont. Gleistunud muld oli maa pindmine kiht, mille läbilõikes esines gleistunud horisont kuid ei esinenud gleihorizonti.

Gleihorizont oli kasutatud mõistes taandumisprotsesside tulemusel tekkinud sinakas- või rohekashall (liivade puhul ka valkjashall) horisont. Gleistunud horisont oli ajutise märja tingimustes tekkinud mangaani- ja roostelaikudega horisont, kusjuures valdav oli põhihorisondi värvus. (Kõlli ja Lemetti, 1999). Eristamine toimus seega mangaani- ja roostelaikude esinemise või horisondi valdava värvi alusel. Gleistunud mulla eristamiseks pidevalt tahedast mullast võeti kriteeriumiks mangaani- ja roostetäppide esinemine mullaprofiili ülemisel 50cm (piirkond, kus paikneb suurem osa alustaimestiku juurekavast).

Kui nii glei- kui gleistunud tüübis võis esineda rohkesti mangaani- ja roostelaike, siis laikude vaheline ala oli gleistunud mullal automorfse B- või C-horisondi värvi. Samas gleimullal esines horisont, milles laikude vaheline ala oli värvunud vastava automorfse B- või C-horisondiga võrreldes sinakamaks või hallikamaks (Kõlli ja Lemetti, 1999).

Gleimulla ja soomulla vaheliseks piiriks võeti Eestis kasutatava meetoodika põhjal (Kokk *et al*, 1968) turbakihi paksus 30cm. Selle kriteeriumi aluseks on samuti taimede juurekava sügavus

Tabel 2. Kirjeldatud profiilide otspunktide põhikaardi ristkoordinaadid

piirid, mille kuivemaks eraldiseks oli kaardil gleistunud muld

No	kuivem x	kuivem y	märjem x	märjem y	Märkused
4	637797.3	6446954.1	637766.8	6446864.5	
6	635740.0	6444097.8	635776.6	6444009.1	
8	638500.5	6443502.4	638498.5	6443402.2	ei vastanud reaalsusele
10	636169.8	6448654.5	636129.5	6448494.8	
14	630442.0	6441486.0	630402.7	6441381.7	
15	630756.2	5441016.4	630659.4	6440876.4	
17	635908.9	6443496.5	635894.1	6443547.0	
19	637569.7	6446532.0	637597.9	6446612.3	
23	639807.7	6443139.1	639757.0	6443168.4	
24	639150.2	6443285.6	639121.5	6443253.4	ei vastanud reaalsusele
25	639729.3	6442795.0	639777.7	6442762.7	

piirid, mille kuivemaks eraldiseks oli kaardil tahe või kuiv muld

2	636110.3	6443524.5	636065.5	6443520.9
3	632206.0	6446497.0	632190.9	6448451.6
5	635993.2	6441848.7	636031.1	6441887.7
7	635380.6	6448959.4	635326.0	6448925.2
9	630962.7	6449509.7	630912.8	6449492.2
11	630997.7	6448018.7	630997.8	6447960.8
12	631519.8	6447407.9	631577.4	6447366.4
13	631230.5	6440730.0	631176.8	6440735.6
16	630564.9	6448989.8	630670.4	6448882.2
18	637024.8	6446596.3	637094.3	6446587.0
20	639798.7	6442994.8	639759.1	6442979.2
21	639689.3	6443091.8	639764.1	6443096.5
22	639794.5	6443096.1	639731.6	6443107.2

3.3.6. Taimkatte kirjeldamine

Taimkatte kvalitatiivse ja kvantitatiivse kirjeldamise võimalustest on ülevaate andnud Lõhmus (1974) ja Masing (1979), uuematest probleemidest Bunnell ja Huggard (1999). Olgu vaid toonitatud, et kerge oleks olnud kalduda ühele poole subjektiivsusesse või teisele poole ebarealistlikusse üldistamisse. Seetõttu oli oluline valida objektiivselt määratavad ja kirjeldatavad tunnused.

Igale eraldatud taimkattevööndile koostati "Eesti taimede määraja" abil (Krall *et al*, 1999) taimede nimekirj. Määramise juures oli suureks abiks bioloogiatudeng Raido Kont. Alustaimestiku taimeliikide kohta registreeriti ka katvuse osakaal.

2.3.7. Välitööde aeg ja hulk

Väliandmete kogumine toimus 11 päeva jooksul oktoobrist 2004 novembrini 2005. Nende käigus valiti juhuslikult välja, mõõdistati ja kirjeldati 24 kompleksprofili. Profiilide otspunktide põhikaardi ristkoordinaadid on toodud tabelis 2.

2.4. Andmetöötlus

2.4.1. Muldkatte siirdevööndite määramine

Nagu peatükis 1.2 toodud, on piiride ja siirdevööndite määramiseks ja mõõtmiseks mitmeid viise. Igasuguse määramise parim alus on mõni kvantitatiivne skaala. Niiskusrežiimi puhul rakendati kahte skaalat: gleistumise morfoloogilised tunnused ja turbakihi paksus (vt. peatükk 2.3.5).

Siirdevööndiks loeti selgusetu ala kahe erinevat tüüpi mullaerimi vahel, millel ei olnud kummagi mullastikukaardil kõrvuti paikneva mullatüübi välistamatuid tunnuseid. Tuleb silmas pidada, et tegemist on negatiivse definitsiooniga, mis määratleb siirdevööndi selle kaudu, mida ta ei ole. Võtame näiteks juhuse, kui kaardil esines kõrvuti leostunud muld ja gleimuld. Leostunud mullaks loeti muld, mille profiili ülemises 50 cm ei esinenud mangaani- ega roostelaike (peatükk 2.3.5). Gleimullaks loeti muld, millel esines gleikiht. Nendevaheline ala, kus esines mangaani- ja roostelaike kuid ei tuvastatud gleikihti, loeti siirdevööndiks.

Teine näide olgu toodud juhusest, kus mullakaardile kantud piiril esinevad kõrvuti gleistunud muld ja soomuld. Gleistunud mullaks loeti muld, mille profiili ülemisel 50 cm esines mangaani- ja roostelaike kuid polnud gleikihti (ptk. 2.3.5). Soomullaks loeti muld, mille turbahorisondi tusedus oli suurem kui 30 cm. Siirdevööndiks loeti ala nende vahel, kus esines gleikiht kuid turbahorisont ei ületanud nõutavat suurust.

Siirdevööndite laiused mõõdeti. Siirdevööndite laiuse üldkogumi jaotuse kirjeldamiseks püüti leida sarnasust mõne teoreetilise jaotusega. Kogemuse järgi oleneb muldkatte niiskusrežiimi siirdevööndi laius mitmest omavahel vähe sõltuvast tunnusest: lõimis, erinevad nõlva parameetrid, veetase ja muud. Seetõttu ei ole ühtegi eeldust, mille järgi laiuse väärtused peaksid koonduma mõne keskmisest tugevalt erineva väärtuse ümber. Seega on siirdevööndite laiuse jaotus eeldatavalt sümmeetriline. Eeldati, et siirdevööndi laiuse üldkogum ei erine oluliselt normaaljaotusest kui kõige sagedamini kasutatavast sümmeetrilisest jaotusest. Valimi jaotuse kontrolliks kasutati Shapiro-Wilki testi kui kõige usaldusväärsemat. Saadud laiuste valimi kirjeldamiseks leiti selle keskvärtus ja standardhälve. Keskvärtus ± 3 standardhälvet ulatusest välja jäänud väärtused jäeti Remm (2006) eeskujul erinditena välja. Kirjeldatud meetodika järgi tuvastati vaid üks erind. Siirdevööndi maksimaalset laiust tugevate mullapiiride ümbruses prognoositi 95% tõenäosusega. See arvutati laiuste valimi keskvärtusele kahe standardhälbe liitmisega.

2.4.2. Taimkatte siirdevööndite määramine

Taimkatte siirdevööndeid määrati ainult mullapiirile vastava koosluseserva esinemise puhul. Kuivendusest mõjutatud aladel (ptk. 1.3) muldkatte üleminekud ei vastanud koosluseservadele.

Kuivenduse mõju olemasolu defineerimine osutus probleemiks. Välitööde käigus sooritatud vaatlused ei võimaldanud kuivendust siduda kaugusega kraavist, kuna leidis juhuseid, kus kuivendava kraavina toimis mitmesaja meetri kaugune sügavamaks kaevatud jõgi. Kuivendusest mõjutatud alaks loeti soo- või gleimuld, mille taimekooslus vastas kuivemale mullale. Uurimisalal olid sellisteks kooslusteks soo- või gleimullal paiknev põld ning kõdusoomets. Nende esinemisel jäeti valimisse langenud piirilõik taimkatte siirdevööndite määramisest välja.

Loomuliku niiskusrežiimiga taimkatte siirdevööndite määramisel lähtuti vormiliselt muldkatte siirdevööndite määramisega samasugustest kriteeriumidest. Siirdevööndiks loeti ala, mida ei saanud lugeda kummakski erineval pool piiri paiknevaks koosluseks. Tunnusena kasutati siin karakterliikide esinemist Lõhmus (1974), Krall *et al* (1980) ja Paal (1997) järgi. Seega loeti siirdevööndiks ala kahe suhteliselt homogeense taimkattega ala vahel, millel A) esinesid mõlema taimkattetüübi karakterliigid või B) ei esinenud kummagi taimkattetüübi karakterliike.

Saadud siirdevööndite valimit kirjeldati samamoodi kui muldkatte siirdevööndeid (vt. peatükk 2.4.1).

2.4.3. Siirdevööndite asendi määramine nõlva suhtes

Nõlva jalam määratleti kui nõlva kõige alumine punkt, mille kalle ületas kirjeldatud profiilide alumiste, soolõikude kalde keskmise + standardhälve. Sellise arvutuskäiguga saadi nõlva määravaks nurgaks 1°3'. Sellest suurema kaldega lõigud määrati nõlvaks. Sellistest lõikudest allpool paiknevad kogu ulatuse väiksema kaldega kui 1°3' ala alguspunkt loeti nõlva jalamiks.

2.4.4. Taimkatte muutumise analüüs

Kahe ala taimkatte kvantitatiivseks võrdlemiseks on mitmeid meetodeid (Lõhmus, 1974; Remm, 2006). Käesolevas töös valiti selleks Sørenseni sarnasus (1948, *cit* Lõhmus, 1974) kui enimkasutatavaid sarnasusnäitajaid.

Selle järgi leiti sarnasus valemist

$$K = \frac{2c}{a+b}, \text{ kus:} \quad [1]$$

K on kahe võrreldava taimkattevööndi sarnasus,

a on liikide katvuste ruutjuurte summa ühes võrreldavas vööndis,

b on liikide katvuste ruutjuurte summa teises võrreldavas vööndis ja

c on mõlema võrreldava vööndi ühiste liikide vähim katvuse ruutjuurte summa.

Võrreldi kahte teineteisest 20 m kaugusel asuvat taimkattevööndit. Saadud sarnasusnäitaja omistati võrreldud vööndite vahelisele, kummastki võrdselt 10 m kaugusele vööndile. Kogu kompleksprofiili ulatuses omistati sarnasusnäitaja igale 1m taimkattevööndile. Selliselt saadud punktide rida moodustas kõvera, mille põhjal oli võimalik kirjeldada taimkatte muutumise kiirust. Teisisõnu oli tegemist tuletisega funktsioonist, mille argumenttunnus oli kaugus muldkatte siirdevööndi keskjoonest ja funktsioontunnus taimkatte iseloom.

Saadud taimkattenäitajad asetati võrreldavuse huvides profiilide kaupa ruumilisele teljele, määrates argument-tunnuse nullpunktiks muldkatte siirdevööndi keskjoone. 1m sammuga arvutati muldkatte siirdevööndi keskjoonest teatud kaugusel paiknevate vööndite kaupa sarnasuse muutude keskväärts.

Arvutatud keskväärtsuste seaduspärasust kontrolliti Monte Carlo testiga. Selle põhimõtteks oli juhuslike mõõtmiste matkimisel leitud sarnasuste arvu kohta juhuslike arvude tekitamisega kirjeldatava tunnusega samas vahemikus. Käesolevas töös oli kirjeldatav tunnus suhteline sarnasus. Testi korduste arvuks pidi olema suur arv, et selle puhul kindlasti kehtiksid suurte arvude seadused. 95% piiride lihtsaks arutamiseks pidi arv jaguma 1000. Käesolevas töös valiti korduste arvuks 2000.

Testi eesmärk oli tekitada piirid, millest 95% tõenäosusega võib väljapoole langeda vaid mittejuhusliku valimi keskmine. Vastavalt reaalse taimkatte põhjal arvutatud sarnasuskoeffitsientide valimi suurusele konkreetses punktis tekitati korduvalt vastava suurusega juhuarvude valimeid. 95% usalduspiirid asetati juhuslike keskmiste keskväärtsuse suhtes sümmeetriliselt 2,5%-le haarde servadest lähenedes. Et käesolevas testis oli valimi suuruseks 2000, siis vastas 2,5%-le kummastki haarde otsast 50. väärts.

2.4.5. Muldkatte muutumise analüüs

Võrdlemaks saadud taimkatte näitajaid mulla näitajatega, arvutati ka mulla niiskusunäitajate (gleistumise tunnuste sügavus ja ülemise mullahorisoni tüsedus) muutumise muut liikuva 20m aknaga.

Selleks kasutati valemit:

$$S = 1 - (h_j - h_i), \text{ kus:} \quad [2]$$

S on sarnasus kahe mullavööndi vahel,

h_i on mullavööndi i niiskusknäitaja sügavus [m] ja

h_j on mullavööndi j niiskusknäitaja sügavus [m].

Saadud valimit kirjeldati ja kontrolliti usaldusväärsust taimkatte muudu valimiga sarnaselt (vt. peatükk 2.4.4).

3. Tulemused

Valimisse langenud 24st mullastikukaardi tugevatest piirilõikudest vastas loodusele 22. Vigastest piiridest ühel puhul oli tegemist tõsise veaga, kus kõdusoomassiivi oli joonistatud gleistunud mulla kontuur. Teisel puhul olid eristatavad mullad ja nendevahelise siirdevööndi laius küll õigesti määratud, kuid kontuur oli kaardile kantud mõõtkavale lubamatu veaga (<20m).

3.1. Muldkatte siirdevööndi laius

Kirjeldatud mullapiiridel esines tavaliselt kuivema mullana leostunud ja leostunud gleistunud muld, märjemana madalsoomuld (tabel 2).

Muldkatte siirdevööndid jagati kahte gruppi vastavalt sellele, kas mullakaardile kantud kombinatsioonis sisaldus pidevalt tahe muld või oli kuivemaks mullaks gleistunud muld. Kummagi grupi jaotus ei erinenud oluliselt normaaljaotusest (Shapiro-Wilki testi $p > 0,05$). Grupid olid sisuliselt sama suurusega, kuid erinesid siirdevööndi laiuse varieeruvuse poolest. Piirid, mille kombinatsioonis esines tahe muld, olid selgelt väiksema standardhälbega kui piirid, mille kombinatsioonis esines gleistunud muld (tabel 4).

Tabel 3. Kirjeldatud mullapiiridel esinenud mullatüübid. Ridades mullatüüp kuivemal pool üleminekut, veergudes mullatüüp märjemal pool. Tüüpide tähistus Eesti mullastiku kaardi juhendi järgi („Vabariigi digitaalse...“, 2001).

	Go	M	Kokku
E		1	1
K		2	2
Kg		3	3
Ko		5	5
Kog		3	3
L(k)		1	2
L(k)g		2	1
Lk	1	1	2
Lkg		1	1
LP	1	1	2
Lpg		1	1
M		1	1
Kokku	2	22	24

Tabel 4. Muldkatte siirdevööndi laiuse valimite näitajad. P_t on siirdevööndite valim, mille mullakombinatsioonis sisaldus pidevalt tahe või niiske muld. $P(g)$ on siirdevööndite valim, mille kombinatsioonis ei sisaldunud pidevalt tahe või niiske muld vaid kuivemaks mullaks oli gleistunud muld. $P_{\bar{u}}$ on kõikide uuritud siirdevööndite laius.

Siirdevööndi laiuse näitajad [m]	P_t	$P(g)$	$P_{\bar{u}}$
keskväärtus	4,6	19,3	11,4
standardhälve	2,4	30,1	20,3
keskväärtus + 2 standardhälvet	9,3	79,5	52,0
keskväärtus + 3 standardhälvet	11,7		

Tabel 5. Mullapiiride ümbruses esinenud taimkatte kombinatsioonid esinemise kordades. Ridades kooslus kuivemal, veergudes märjemal mullal. Kooslusetüübid määratud Krall *et al* (1980) ja Lõhmus (1984) järgi.

Esinenud kooslusetüübid	Põld või kultuurrohumaa	Mahajäetud kultuurmaa	Märg rohumaa	Allikasoorhumaa	Lammisoorhumaa	Jänese kapsa-kõdusoomets	Lodumets	Madalsoomets	Kokku
Põld või kultuurrohumaa	3		3	1	1		1	1	10
Mahajäetud kultuurmaa		1	1			1			3
Suurkõrreliste (märg) lammirohumaa					1				1
Palurohumaa					1				1
Sinillemets					1	1			2
Jänese kapsamets			1		1			1	3
Jänese kapsa-kõdusoomets	1				1	1			3
Mustikamets					1				1
Kokku	4	1	5	1	7	3	1	2	24

3.2. Taimkatte siirdevööndi laius

Taimkatteandmete kirjeldamisel ilmnes huvitav kokkulangevus. Kõigil kuivenduse mõjuga profiilidel esines kombinatsioonis gleistunud muld. Kuivenduse mõjuga profile oli kokku 9. Gleistunud mullaga profile oli 11. Seega oli üldse 2 profiili 11st, millel gleistunud mulla all ei esinenud kuivendusobjekti.

Üle kõikide profiilide esines mullapiirist kuivemal pool peamiselt kultuurmaa, märjemal pool madalsoorohumaa (tabel 5).

Mõõdeti 13 loodusliku veerežiimiga taimkatte siirdevööndit, mille puhul oli kuivemaks mullaks pidevalt tahe või niiske. Valimi jaotus ei erinenud oluliselt normaaljaotusest (Shapiro-Wilki testi $p>0,05$). Taimkatte siirdevööndite laius oli keskmiselt 6,3 m, standardhälve 5,4 m.

3.3. Muldkatte siirdevööndi asend nõlval

Kuna siirdevööndi märjema ja kuivema serva asukoht profiili referentspunktist oli teada, oli võimalik mõõta ka nende servade kaugus nõlva jalamist. Iga siirdevööndi iseloomustamiseks saadi seega kaks näitajat: märjema ja kuivema serva kaugus nõlva jalamist. Kokku mõõdeti 23 siirdevööndit, millest 13 puhul kuivemaks mullaks oli tahe või niiske. 10 puhul oli kuivemaks mullaks ajutiselt märg ehk gleistunud. Valimi jaotus ei erinenud oluliselt normaaljaotusest (Shapiro-Wilki testi $p>0,05$). Siirdevöönd asus mõlemal juhul keskmiselt 10,5...11,5 m nõlva jalamist kõrgemal. Siin ja edaspidi tähistab “+” suunda nullpunktist kuivema mulla poole ja “-” suunda märjema mulla poole.

Tabel 6. Muldkatte siirdevööndi servade kaugus nõlva jalamist [m]. L_t on taheda ja märja vahelised siirdevööndid, L_g ajutiselt märja mulla ja soo vahelised siirdevööndid.

Siirdevööndi kaugus nõlva jalamist [m]	L_t	L_g
keskväärtus – 2 standardhälvet	–2,0	–20,8
keskväärtus	11,4	10,7
keskväärtus + 2 standardhälvet	24,9	31,5

3.4. Taimkatte siirdevööndi asend nõlval

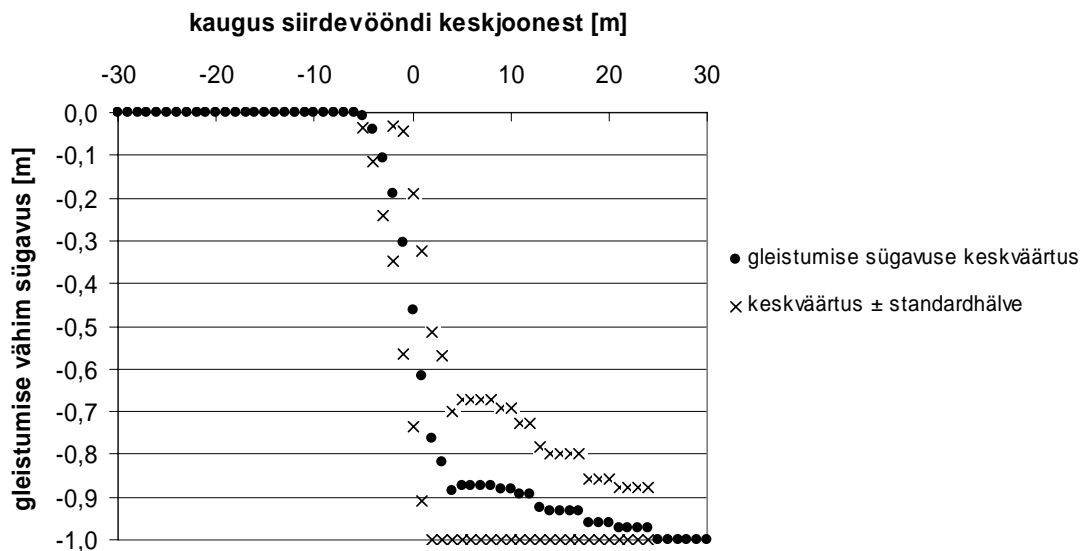
Muldkatte siirdevööndite nõlva-asendi mõõtmisega sarnaselt mõõdeti taimkatte siirdevööndi märjema ja kuivema serva kaugus nõlvast. Valimi keskväärtus ja on toodud tabelis 7. Valimi jaotus ei erinenud oluliselt normaaljaotusest (Shapiro-Wilki testi $p>0,05$).

Tabel 7. Taimkatte siirdevööndi servade kaugus nõlva jalamist [m] kuivenduse mõjuta piiridel, mille kuivemaks mullaks oli tahe või niiske muld.

keskväärtus -2 standardhälvet [m]	-11,7
keskväärtus [m]	5,8
keskväärtus + 2 standardhälvet [m]	23,3

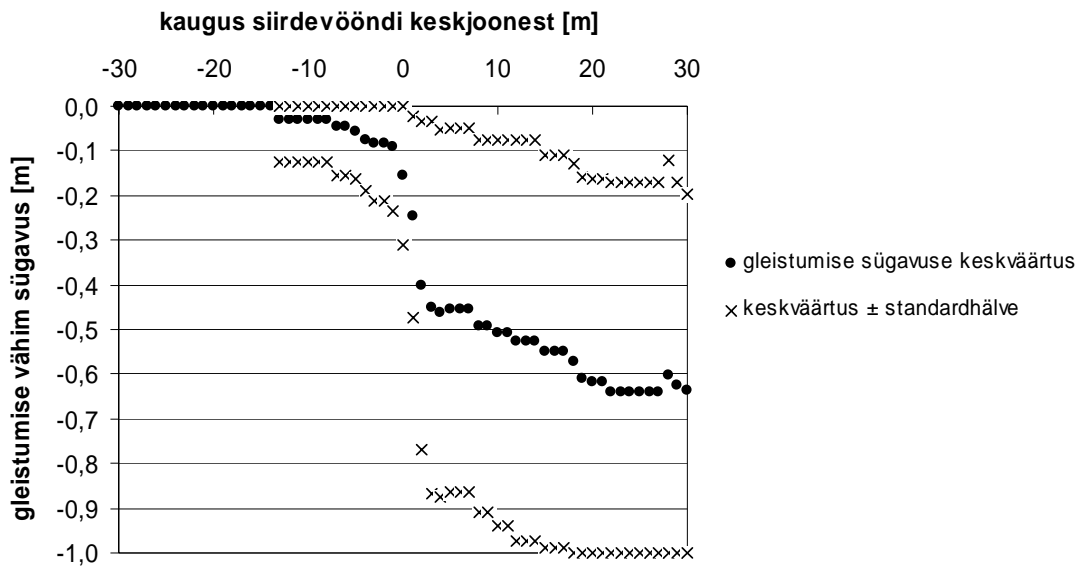
3.5. Muldkatte muutumine mullapiiril

Taheda või niiske mulla siirdevööndite gleistumise tunnuste muutumine on toodud joonisel 1. Näha on gleistumise tunnuste kiire statistiliselt oluline muutus vahemikus 5m siirdevööndi keskjoonest märjemal pool kuni 5 m kuivemal pool.

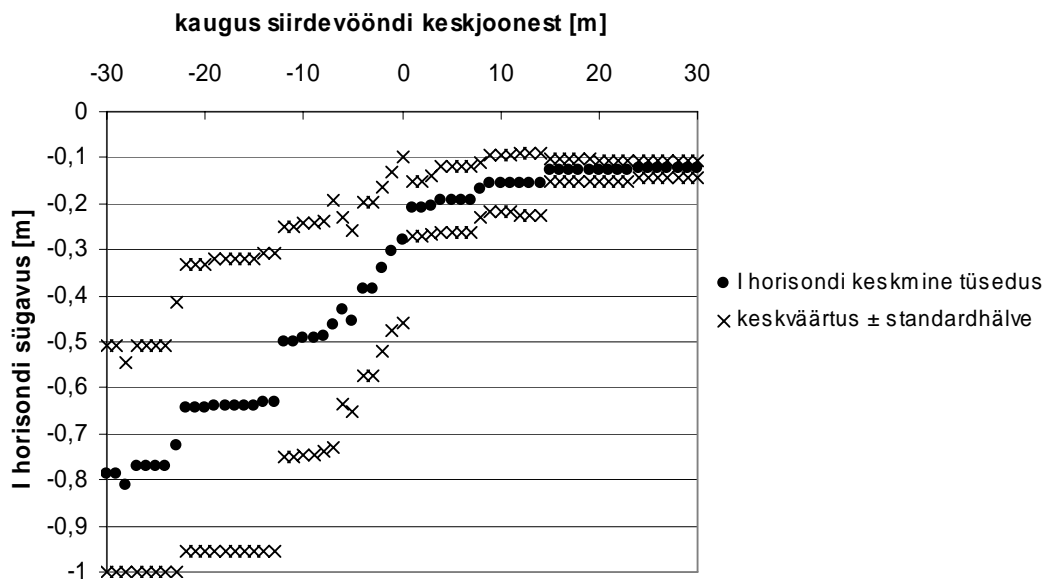


Joonis 1. Gleistumise tunnuste sügavus mullapiiri ümbruses, mis eraldas tahedat mulda gleimullast.

Gleistunud mulla siirdevööndite puhul oli muutus samuti märgatav, kuid palju väiksema statistilise usaldusväärsusega (joonis 2). Mõnevõrra selgem oli muutus I horisondi tuseduses, mis esines siirdevöönditest allpool (joonis 3).



Joonis 2. Gleistumise tunnuste sügavus mullapiiri ümbruses, mis eraldas gleistunud mulda soomullast.



Joonis 3. I horisondi sügavuse muutumine piiridel, mis eraldasid gleistunud mulda soomullast.

3.6. Taimkatte muutumine mullapiiril

Liigutades 1m sammuga valemite [1], kirjeldati 24 taimkatteprofiili suhteline sarnasus. Loomuliku niiskurežiimiga profiilide sagedusjaotus on toodud joonisel 4.



Joonis 4. Teineteisest 20m kaugusel paiknevate taimkattevööndite sarnasusnäitajate jaotus kuivenduse mõjuta siirdevööndite ümbruses.

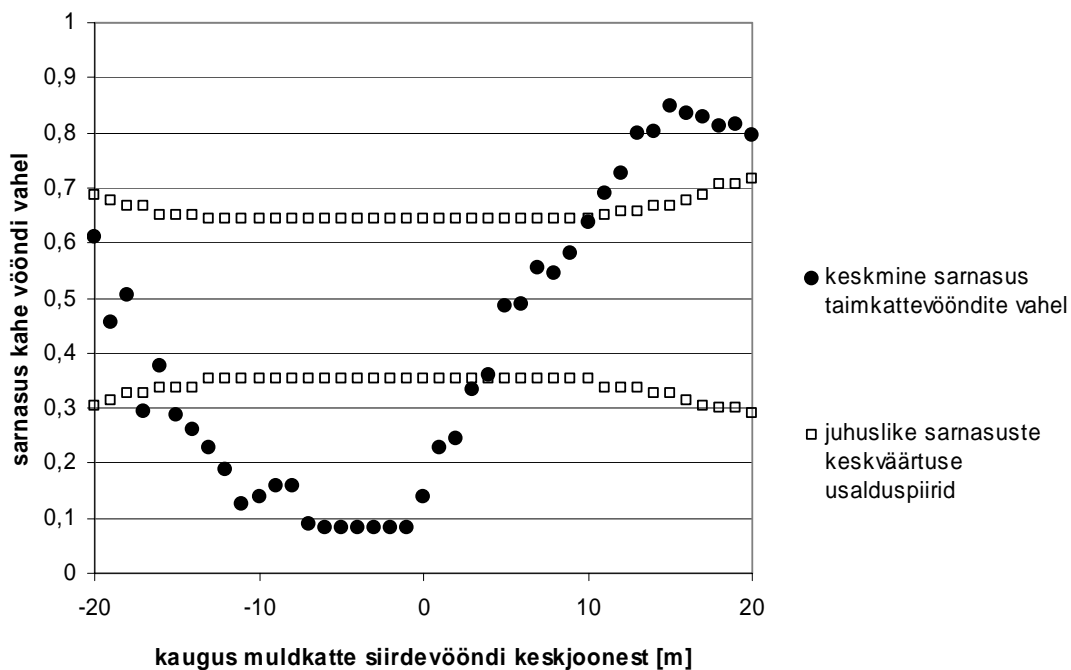
Nagu näha, on suurem osa taimkattesarnasuse väärtusi vahemikus 0...0,1 või 0,9...1 (joonis 4). Nendest omakorda on suurem osa vastavalt 0 või 1. Väärtus 0 tähendab taimkattevööndite vahelist täielikku erinevust ehk ühiste liikide puudumist. Väärtus 1 tähendab täielikku sarnasust. Selleks loeti situatsioon, kus mõlemas taimkattevööndis on täpselt samad liigid täpselt samades katvussuhetes.

Väärtuste 1 ehk täielike sarnasuste suur osakaal on seletatav peamiselt ühetaoliste kultuurmaade ja liigivaesete tarnasoode esinemisega. Ette rutates võib öelda, et ühetaolised alad paiknesid peamiselt profiilide otstes. Teisisõnu, mida kaugemal mullapiirist vaatlusi tehti, seda sarnasemad nad olid.

Väärtuste 0 suur osakaal tuleneb meetoodika spetsiifikast, täpsemalt 20 m aknast, mille raamidil asuvaid taimkatteüksusi võrreldi. Näiteks profiil, mis ristus jänesekapsametsa serva puutujaga. Metsa serv vastas mullastikulisele muutusele ning metsaservast algas märg angervaksaniit. Teine teisel pool metsaserva paiknevatel kooslustel ühiseid liike ei

olnud. 20 m aknaga kooslusi võrreldes ja 1m sammuga metsa servaga risti liikudes tuli väärtus 0 ehk täielik erinevus omistada kõikidele metsa servast ± 10 m paiknevatele punktidele. Antud näitel oli neid punkte järjest 20 meetril.

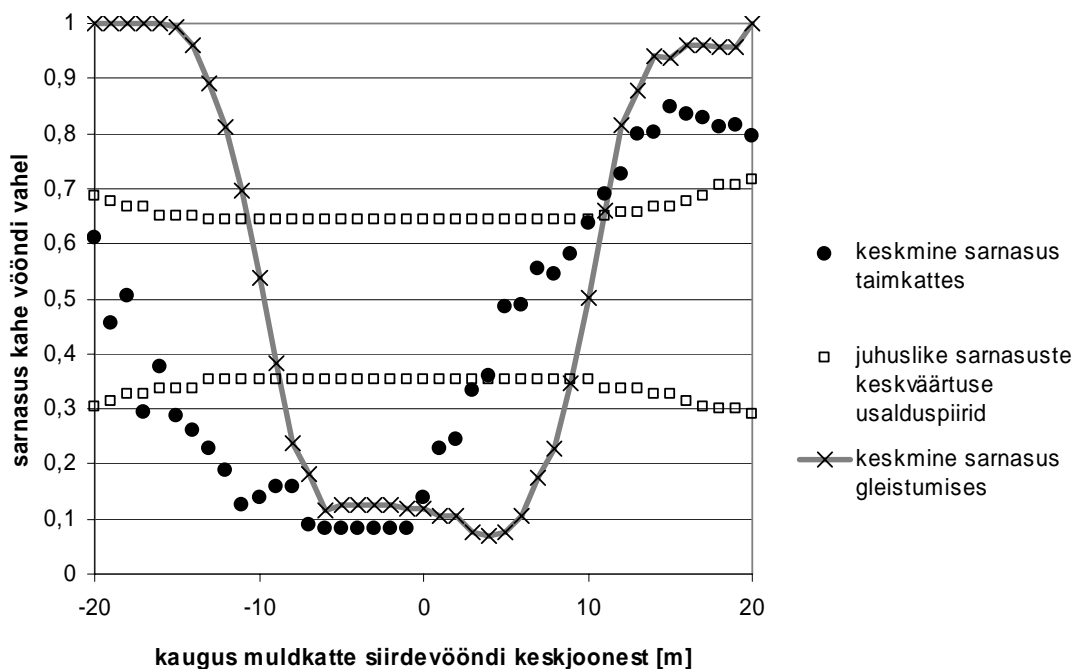
Kõikidel kirjeldatud loomuliku veerežiimiga profiilidel esines vähemalt 15meetiline järjestikuste nullide rida. Seega kõikide kuivendamata mullapiiride lähiümbruses esines lähestikku kaks vähemalt 10 m läbimõõduga täiesti erinevat taimkatteüksust.



Joonis 5. Taimkattevööndite vahelise keskmised sarnasused (0...1, kauguse muuduga 20m) loodusliku niiskusrežiimiga mullapiiridel, mis eraldasid tahedat mulda gleimullast ning juhuslike sarnasuste keskvaertuse 95% usalduspiirid.

Joonisel 5 on toodud kuivendamata profiilide sarnasuste keskvaertused ning juhuslike keskmiste 95% usalduspiirid. Joonisel jäi kahe usalduspiiri vahele ala, kuhu langenud reaalsete mõõtmiste keskvaertus ei erine usaldusväärselt valimile vastaval arvul tekitatud juhuslike arvude keskvaertustest. Seega võis joonisel 5 toodud keskmiste sarnasuste rea jagada neljaks piirkonnaks. Märjema (–) poolt vaadates olid need järgmised:

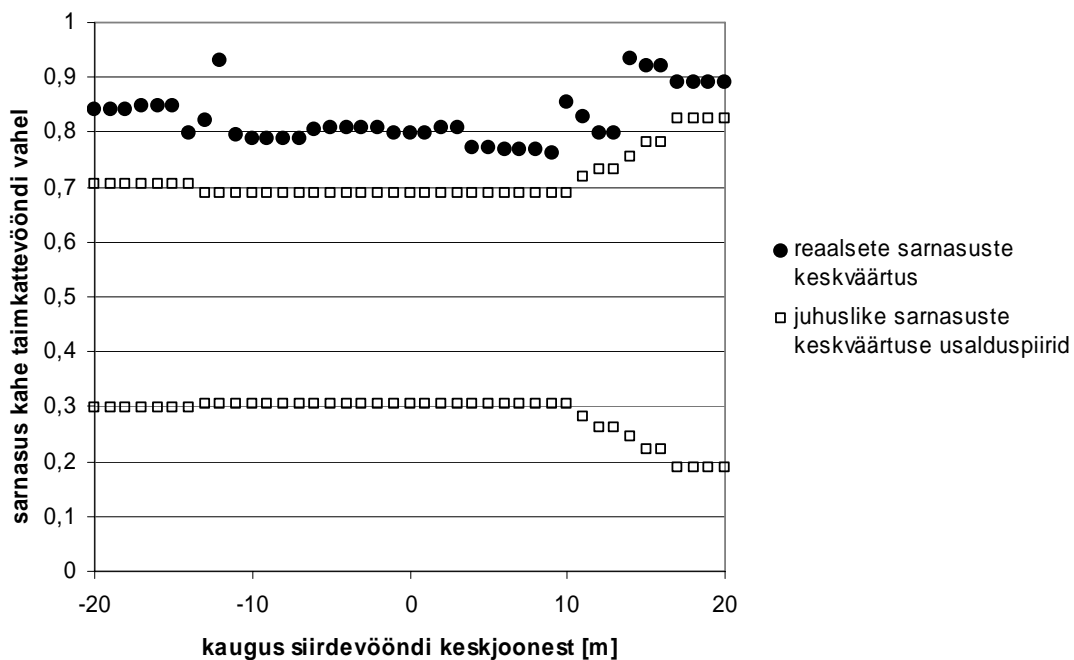
- 20...16 m muldkatte siirdevööndi keskpunktist märjemaal pool: mitteisaldusväärne erinevus juhuslikest keskmistest. Suuremõõtkavalised erinevused taimkattes olid keskmised ($0,3 < \bar{K} < 0,6$) või selgusetu.
- 16 m muldkatte siirdevööndi keskjoonest märjemaal pool ...3 m siirdevööndist kuivemaal pool: usaldusväärne erinevus juhuslikest keskmistest. Suured erinevused 1 : 10 000 kirjeldatavas taimkattes. Keskmise sarnasus oli väike ($0,1 < \bar{K} < 0,4$); mitmekesine taimkate).
- 4...10 m muldkatte siirdevööndi keskjoonest kuivemaal pool: mitteisaldusväärne erinevus juhuslikest keskmistest. 1 : 10 000 erinevused taimkattes olid keskmised ($0,3 < \bar{K} < 0,7$) või selgusetu.
- 10...20 m muldkatte siirdevööndi keskjoonest kuivemaal pool: usaldusväärne erinevus juhuslikest keskmistest. Esines selge sarnasus ($0,7 < \bar{K} < 0,8$) suures mõõtkavas kirjeldatavas taimkattes (homogeenne taimkate).



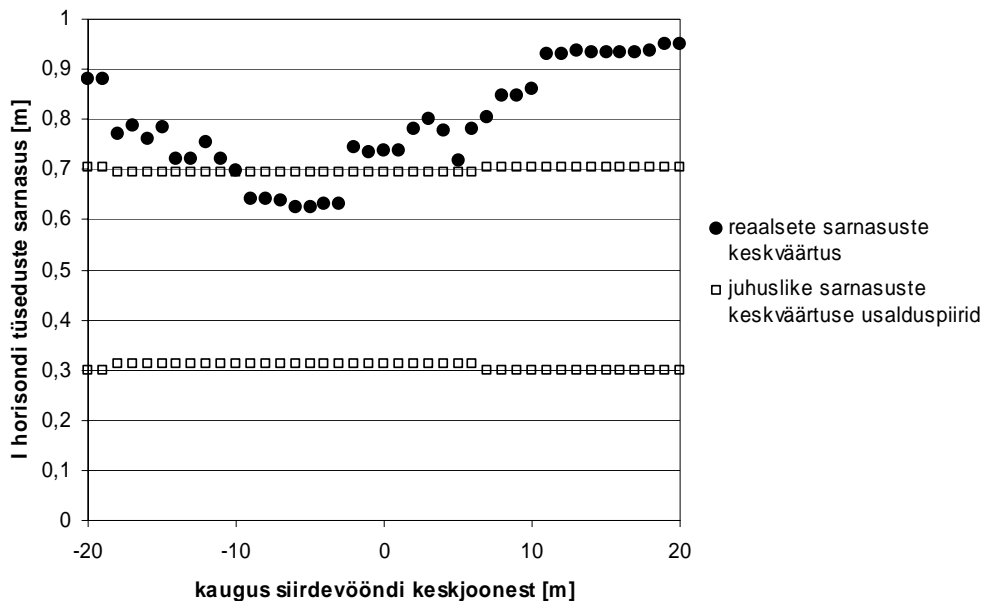
Joonis 6. Mullavööndite niiskusrežiimi ja taimestiku keskmise sarnasuse kõver mullapiiride ümbruses kuivendamata profiilidel ning keskmise erinevuse usaldusväarsuse kontroll.

Võrreldes keskmist taimkatte sarnasust valemiga [2] arvatud keskmise muldkatte sarnasusega (joonis 6), oli näha üldist kokkulangevust. Hoolikamal vaatlusel võis märgata, et taimkattesarnasuse kõvera miinimum oli veidi märjemal pool kui muldkattesarnasuse puhul.

Kuivenduse mõjuga muldkatte siirdevöönditel tehtud profiilide taimkattevõrdlused andsid oluliselt erinevaid tulemusi (joonis 7). Keskmine sarnasus usaldusväärselt juhuslikest oli keskmistest erinev (jääb juhuslike keskmiste usalduspiiridest välja) ja suur ($\bar{K} = 0,8...0,9$). Seega leidub kuivendatud alade taimkattes hoolimata teatud muutustest muldkatte keskmisest sarnasuses (joonis 8) väga vähe 1 : 10 000 mõõtkavalisi erinevusi.



Joonis 7. Taimkattevööndite vahelise keskmise sarnasuse (0...1) kõver (kauguse muuduga 20m) kuivenduse mõjuga aladel



Joonis 8. Niiskusrežiimi sarnasuse muutumise keskväärtsuse kõver mullapiiride ümbruses kuivendusest mõjutatud siirdevööndite ümbruses

4. Arutelu

4.1. Mullastikukaardi tugevate piiride vastavus loodusele

Mullastikukaardi tugevate piiride vastavust loodusele hinnates näeme, et 24st kirjeldatud mullapiirist vastab mõõtkavalise vea ja mullatüüpide rühma piires tegelikkusele 22. (peatükk 1.4 hüpotees 2). Valim üksi on liiga väike, et selle põhjal täie kindlusega kõigi tugevate mullapiiride kohta järeldusi teha. Abimaterjali andsid profiilide kirjeldamise ettevalmistamisel ja maastiku takseerimisel saadud kirjalikult registreerimata kontrollandmed. Need kinnitasid samuti üldist seaduspära, mille järgi ~90% osas mullastikukaardi tugevate piiride asend vastab reaalsele üleminekutele muldkattes.

4.2. Tugevad mullapiirid reaalses muldkattes

Muldkatte siirdevööndite analüüsi tulemusi hinnates näeme, et taheda mulla esinemisel mulla kombinatsioonis on piiri siirdevöönd kitsas. Selle laius varieerus 95% tõenäosusega vahemikus 0...10m. Kuivendamata tahedate muldade piiri ümbruses oli gleistumise tunnuste keskmine muutumine usaldusväärselt erinev arvuti abil tekitatud juhuslikest keskmistest.

Mõõtkavas 1 : 10 000 võib selliseid üleminekuid lugeda järskudeks (peatükk 1.4 hüpotees 1). 99% tõenäosusega on tugevate mullapiiride laius 0...12 m. Sellest laiemaid piire võib lugeda erinditeks, mida Kõrg-Eesti moreenitasandikel ei leidu.

Palju hägusamad on üleminekud piiridel, kus muld on kuivendatud. Selliste piiride siirdevööndi laius varieerus 95% tõenäosusega vahemikus 0...80 m. Ülemise horisondi muudu keskmine ei näidanud nendel puhkudel juhuslikest keskmistest usaldusväärset erinevust. Seega ei õnnestunud kuivendatud alade mullapiiride puhul leida muldkatte usaldusväärseid järske muutusi.

Võimalik, et kuivenduse mõjul oli oma osa gleistunud mulla üleminekute muutumisel hägusaks.

4.3. Tugevatele mullapiiridele vastavad servad taimkattes

Taimkatte siirdevööndite analüüsi tulemused näitavad, et kuivenduse mõju esinedes mullapiiri ümbruses taimkatteserva ei esine. Teineteisest 20 m kaugused taimkattevööndid olid kogu profiili ulatuses omavahel sarnased (peatükk 1.4 hüpotees 4)

Kuivendamata aladel esineb eranditult mullapiirile vastav taimkatte siirdevöönd, mille laius on 95% tõenäosusega 0...18 m. Mullapiiride ümbruses tuvastati keskmise sarnasuse statistiliselt usaldusväärne hüpe vähenemise suunas (peatükk 1.4 hüpotees 4).

Tulemusi võimendab eeldatav ruumilise autokorrelatsioon, mille reeglite kohaselt lähedasemad punktid peaksid olema teineteisele sarnasemad (Legendre, 1993; Uuemaa *et al*, 2006).

4.4. Tugevate mullapiiride ja neile vastavate taimkatteservade asend nõlval

Muldkatte siirdevööndite asendi analüüsi tulemused näitasid, et 95% tõenäosusega paiknes taheda mulla üleminekuvöönd pidevalt märjale mullale 2 m nõlva jalamist märjema pool ...25 m kuivemal pool. Keskmine varieeruvus jääb seega mõõtkavalise vea piiresse (± 20 m; peatükk 1.4 hüpotees 3). Vea piires ± 20 m võib järeldada, et muldkatte siirdevöönd paikneb Kõrg-Eesti moreenitasandikel nõlva jalamist rõhtsihis 10 m kõrgemal.

Gleistunud mulla siirdevööndite asendi analüüs näitas mõnevõrra erinevaid tulemusi. Nende puhul kõikus siirdevööndi asend 21 meetrist nõlva jalamist märjemale poole 32 meetrini kuivemale poole. Siin jäi võimalik kõikumine mõõtkavas lubatud veast suuremaks. Kuivendatud ega gleistunud muldade siirdevööndite asendi kohta sisukat järeldust teha polnud võimalik (peatükk 1. 4 hüpotees 3).

Taimkatteserva asendit nõlval kirjeldati ainult kuivenduse mõjuta aladel. Sellisel puhul varieerus kaugus nõlva jalamist 12 meetrist jalamist rõhtsihis madalamale poole kuni 24 meetrini kõrgemale poole. Loomuliku veerežiimiga alade tugevatele mullapiiridele vastavate koosluseservade asend nõlval on seega keskmiselt 6 m jalamist rõhtsihis kõrgemale poole ± 20 m (peatükk 1.4 hüpotees 4)

Tähelepanu väärib ka, et keskmiselt on taimkatte siirdevöönd muldkatte üleminekust märjemal pool. Siin võib olla kaks võimalikku põhjust, mis tõenäoliselt erinevatel kõrgustel mõjuvad. Üks võimalus on, et väike kuivenduse mõju on ka laiaulatusliku kuivenduse mõju puudumisel olemas. See seletab, miks arukooslused esinevad servapidi glei- ja soomullal.

Teine põhjus võib olla, et tulemused viitavad sellele, et ajutiselt märjal mullal kasvavad kooslused on sarnasemad taheda mulla kooslusele kui märjakooslustele. See oli küll vastuolus Lõhmus (1974) arvutustele, mille järgi näiteks ajutiselt märjal mullal kasvava naadimetsa alustaimestik on sarnasem märjema naaberklassi sõnajalakooslusega (Sørenseni sarnasus 0,68) kui kuivema naabri sinilillekooslusega (0,44). Seejuures oli kõik need kolm klassi juurtoitumistingimuste skaalal võrdsed.

4.6. Üks mullastikukaardi reljeefianalüüsis kasutamise võimalus

Reljeefianalüüs praktilises mõttes on maapinna jaotamine erineva pinnamoega osadeks (näiteks nõgus – kumer; järsk – lame). Klasside piiritlemiseks on oluline määrata reljeefi iseloomulikud punktid ja piirid (näiteks käänupunkt, nõlva perv ja jalam).

Tavaliselt on reljeefianalüüsi lähteandmeteks kõrgusmudel. Sobiva kõrgusmudeli või selle realistlikku analüüsiks vajaliku algoritmi puudumisel on nõlva jalami ennustamiseks võimalik kasutada mullastikukaarti. Nagu eelnevalt kirjeldatud, langeb Kõrg-Eesti moreenitasandike lammorgude põhjas paiknevate soode serv kokku nõlva jalamiga (+/-20 m). See võimaldab mullakaardi piiride põhjal ennustada nõlva jalami asendit. Selleks võib lugeda A) gleimulla ja niiske või taheda mulla (Ko, LP, Lk) piiri või B) soomulla ja gleistunud mulla piiri.

4.7. Üks mullastikukaardi kasutamise võimalus sookaitsealade puhvertsoonide määramisel

Käesoleva töö järeldused võivad kasuks tulla looduskaitsealade piiride kavandamisel ja kaitsekorralduskavade koostamisel. Nimelt luuakse üldises praktikas soo- ja lammiökosüsteemide kaitseks nende ümber puhvertsoonid. Nende laius sõltub soo valgla serva kaugusest soo servast mõõdetuna (Mander, 1980; Paal *et al*, 1999). Kõrg-Eesti moreenitasandike nõgude puhul on hästi määratav soo serv. Soostunud ja soomulla järsk piir ühtib nõlva jalamiga. Seega pakub käesolev uurimistöö, et sookaitseala puhvertsoonide sisepiirina on õige kasutada mullastikukaardi gleimulla (G), selle puudumisel soo- või lammisoomulla (M, AM) välispiiri.

5. Järeldused

Käesoleva töö põhjal tehti järgmised Kõrg-Eesti moreenitasandikel kehtivad järeldused:

1. Suuremõotkavalise mullastikukaardi tugevate mullapiiride asend vastab ~90% osas reaalse muldkatte üleminekute asendile.
2. Suuremõotkavalise mullastikukaardi tugevad mullapiirid vastavad reaalsele muutustele niiskusrežiimi gradiendil, eeldusel, et mullapiiride ümbruses ei esine ulatuslikku (>20 m) kuivenduse mõju.
3. Loodusliku niiskusrežiimiga kitsaste mullastikuliste siirdevööndite läheduses (<20 m) esinevad taimkattes järsud muutused ehk muldkatte siirdevöönditega rööpsed koosluseservad.
4. Kuivendusest mõjutatud alade mullastikukaardi tugevad piirid ei väljendu selgelt.
5. Loodusliku veerežiimiga 1 : 10 000 niiskusrežiimi kõige järsemad üleminekud paiknevad nõlva jalami läheduses. Siirdevööndite asend on jalamist rõhtsihis 10 m ± 20 m kõrgemal
6. Muldkatte järskudele üleminekutele vastavad koosluseservad paiknevad jalamist rõhtsihis 6 m ± 20 m kõrgemal
7. Suuremõotkavalise mullastikukaardi järskude piiride asend aitab ennustada lammorgude jalami asendit.
8. Lammorgudel ja soostunud põhjaga orgudes kavandatavate lammi- ja sookaitsealade piiride ja puhvertsoonide kavandamisel on võimalik kasutada suuremõotkavalise mullastikukaardi soo- ja gleimulla tugevaid piire.

6. Tänuõnad

Autori siiras tänu kuulub tudengitele, kes aitasid välitöid läbi viia: Hendrik Proosale (1 ekspeditsioon), Jaanika Läänele (1 ekspeditsioon), Siim Sepale (1 ekspeditsioon) ja Raido Kondile (8 ekspeditsiooni). Isikliku auto kasutada andmise eest võlgneb autor tänud doktorant Taavi Paele, magistrant Tanel Ilvesele ja eriti palju kannatama pidanud tudeng Liisi Pärsikule. Palju vaeva pidi käesoleva uurimuse välitööde tõttu nägema ka geograafia instituudi tehnik Martin Maddison.

Juhendajate näpunäidetele lisaks on käesolevat väitekirja selgelt tugevdanud järgmiste inimeste nõuanded: teadur Anto Aasa (andmetöötlus), maastikuteadlane Ivar Arold (maastike ehitus), lektor Raivo Aunap (tahhümeetermõõdistamine ja kartograafia alused), dotsent Arno Kanal (mullaprotsessid nõlval ja mullastikukaart), dotsent Jüri Roosaare (nõlva jalami määramine) ja töö lõppviimistluse hetkedel meie seast lahkunud loodusteadlane Jaan Eilart (taimkatte ja muldkatte omavahelised seosed).

Lõpuks tänab autor Kristina Soharit väarika töömoraali hoidmise eest.

7. Kokkuvõte

Käesolev töö käsitleb tugevaid piire kui kitsaid (olenevalt mõõtkavast) siirdevööndeid kahe suuresti erineva muld- või taimkattega ala vahel (näiteks soo ja arumaa). Uurimisobjektiks valiti Eesti suuremõõtkavalisel mullastikukaardil (2001) niiskusrežiimi alusel eraldatud tugevad piirid. Tugevateks loeti piirid, mis eraldasid: A) tahedaid muldi (siirdevööndiks gleistunud muld) gleimuldadest või B) gleistunud muldi (siirdevööndiks gleimuld) soomuldadest. Palupera, Rõngu ja Aakre ümbruse moreenitasandikel kirjeldati 2004. a. oktoobrist 2005. a. novembrini tugevate piiridega risti 24 kompleksprofiili. Nende kohta koguti niiskusrežiimi ja taimestiku andmed.

Saadud tulemused näitasid, et loodusliku veerežiimiga aladel väljendusid mullastikukaardile kantud järsud piirid reaalses muldkattes 1 : 10 000 mõõtkava mõttes kitsaste (<20 m) siirdevöönditena. Nende läheduses (<20 m) olid mullapiiridega rööpsed taimekoosluste servad, tavaliselt metsa ja lammisoo serv või põllu ja lammisoo serv. Mullapiirid ja neile vastavad taimekoosluste servad asetsesid lammorgude nõlva jalami vahetus läheduses (± 20 m).

Saadud tulemused olid oluliselt erinevad kuivendamise mõju esinemisel. Kuivenduse tagajärjel olid mullastiku niiskusrežiimi üleminekud hägustunud (siirdevööndid laiemad kui 20 m) ja neile ei vastanud mingisugusedki taimekoosluste piirid. Tavaliselt asetsesid sellised mullastikulised siirdevööndid keset homogeenet põllumassiivi või eraldasid jänese kapsametsa sellega väga sarnase taimestikuga jänese kapsa-kõdusoometsast.

Tehtud järelduste põhjal on suuremõõtkavalise mullastikukaardi järskude piiride asendi põhjal võimalik usaldusväärselt ennustada Kõrg-Eesti moreenitasandike lammorgude jalami asendit. Tugevate mullapiiride läheduses tuvastatud selgetest piiridest lähtuvalt on kergem kavandada sookaitsealade piire ja puhveralaid.

8. Summary

Correspondence of Strong Boundaries in the Large Scale Soil Map of Estonia with Soil and Vegetation Edges in South-Estonian Moraine Plains

The present thesis approaches strong boundaries as narrow (depending on scale) linear transition zones between two substantially different vegetation or soil patches (e.g. swamp and mineral soil). The source data for the study were strong boundaries on Large Scale Soil Map of Estonia (2001) distinguished on the basis of moisture regime. The characteristics of the boundaries were that they were drawn either between: 1) dry and gley soil (gleyish soil as the transition zone) or, 2) between gleyish and mire soil (gley soil as the transition zone). Moisture and vegetation characteristics along 24 transects were described from October 2004 until November 2005 on South-Estonian moraine plains.

The results showed that in the presence of natural moisture regime there were narrow transition zones corresponding with strong borders on the 1 : 10 000 soil map. There were parallel vegetation edges, mostly a forest edge beside a field or alluvial grassland, in the vicinity (<20 m) of the narrow soil moisture transition zones. The soil boundaries were placed in the vicinity (<20 m) of the foot of floodplain valley slopes.

The results were substantially different in the presence of the effect of drainage. Soil moisture transition zones were blurred as a result of removal of water from the soil and there were no vegetation edges present in the vicinity of the transition zones. Mostly there was a homogenous field or forest on both sides of the soil boundary.

The conclusions can be applied for estimating the foot of a floodplain valley slope in the absence of comprehensive topographical data and in the presence of a large scale soil map. Strong soil boundaries are able to serve as reference lines for designing buffer zones around mire and floodplain reserves.

9. Kirjandus

Bray, J. R. ja J. T. Curtis (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27, lk 325 – 349

Brown, D. J., M. K. Clayton, K. McSweeney (2004). Potential terrain controls on soil color, texture contrast and grain-size deposition for the original catena landscape in Uganda. *Geoderma* 122, lk 51–72

Bunnell, F. L. ja D. J. Huggard (1999). Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities. *Forest Ecology and Management* 115, lk 113 – 136

Cramer, V. O. ja R. J. Hobbs (2002). Ecological consequences of altered hydrological regimes in fragmented ecosystem in Southern Australia: Impacts and possible management responses. *Austral Ecology* 27, lk 546 – 561

Curtis, J. T. ja R. P. MacIntosh (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32, lk 476 - 496

W. F. Fagan, M. Fortin, C. Soykan (2003). Integrating Edge Detection and Dynamic Modeling in Quantitative Analyses of Ecological Boundaries. *BioScience* 53, lk 730 –738

Goodall, D. W. (1963). The continuum and the individual association. *Vegetatio* 11, lk 297 – 316

James, S. E., M. Pärtel, S. D. Wilson (2003). Temporal heterogeneity of soil moisture in grassland and forest. *Journal of Ecology* 91, lk 234 – 263

Kajak, K., E. Kurik (1987). Geoloogiline ehitus. Rmt: Valga rajoonis. Eesti NSV Teaduste Akadeemia kodu-uurimise komisjon, Tallinn. Lk 34 – 43

Kitse, E. (1962). Mulla vee-, õhu- ja soojusrežiim. Rmt: Mullateadus. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn. 407 lk

Kokk, R., I. Rooma, V. Valler (1968). Mullastiku suuremõõtkavalise kaardistamise välitööde meetodika. Eesti Põllumajanduse Akadeemia, Tartu. 108 lk

- Kollias, D. P., V. J. Kalivas, N. J. Yassoglou (1999) Mapping the soil resources of a recent alluvial plain in Greece using fuzzy sets in a GIS environment. *European Journal of Soil Science* 50, lk 261 - 281
- Kollist, P. (1974). Metsa mõiste. Metsa mõju keskkonnale. Rmt: Eesti mets. Valgus, Tallinn. Lk 9 - 15
- Kongo, A. (1973). Mullageograafia õppepraktika juhend. Tartu Riiklik Ülikool. 39lk
- Kont, A. (1986). Mähe ümbruse mõhnad. *Eesti Loodus* 38, lk 697 – 696
- Krall, H., T. Kukk, T. Kull, V. Kuusk, M. Leht, T. Oja, Ü. Reier, S. Sepp, H. Zingel, T. Tuulik (1999). Eesti taimede määraja. 440 lk
- Krall, H., E. Pork, H. Aug, Õ. Püss, I. Rooma, T. Teras (1980). Eesti NSV looduslike rohumaade tüübid ja tähtsamad taimekooslused. Eesti NSV Põllumajandusministeeriumi informatsiooni ja juurutamise valitsus, Tallinn. 87 lk
- Kõlli, R., I. Lemetti (1999). Eesti muldade lühiiseloostus. I. Normaalsed mineraalmullad. Eesti Põllumajandusülikool, Tartu. 120 lk
- Larcher, W. (1995). *Physiological Plant Ecology*. Springer. 506 lk
- Legendre P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or a new paradigm? *Ecology* 74, lk 1659–1673
- Lepasepp, V. (1963). Maastikulise printsiibi rakendamisest maafondi uurimisel. Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 1962, lk 59 – 76
- Lõhmus, E. (1974) Eesti metsade ordineerimisest ja klassifitseerimisest. Rmt: Metsanduslikud uurimused 11. Valgus, Tallinn. lk 162 – 194
- Lõhmus, E. (1984) Eesti metsakasvukohatüübid. Eesti NSV Agrotööstuskoondise Info- ja Juurutusvalitsus, Tartu. 88 lk
- Mandelbrot, B. B. (1991). *Die fraktale Geometrie der Natur*. Birkhäuser. 490 lk
- Mander, Ü. (1980). Sookaitsealade puhvertsoonide määramine. Rmt: Põllumajandus ja keskkonnakaitse. Eesti NSV TA Tallinna botaanikaaed. Lk 120 – 124

- Markus, E. (1925). Das Komplexenprofil von Jätasoo. Tartu Ülikooli juures oleva Loodusuurijate Seltsi aruanded 32, lk 15 - 35
- Masing, V. (1979). Taimkate ja selle elemendid (geobotaanika ja sünekoloogia alused). Rmt: Botaanika. Õpik kõrgkoolidele. III osa. Valgus, Tallinn. Lk 189 – 29
- Paal, J. (1997). Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn. 297 lk
- Paal, J., M. Ilomets, E. Fremstad, A. Moen, E. Børset, V. Kuusemets, L. Truus, E. Leibak (1999). Eesti märgalade inventeerimine 1997. a. Eesti Loodusfoto, Tartu. 166lk
- Palo, A. (2005). Relationships between landscape factors and vegetation site types: case study from Saare County, Estonia. Dissertations Geographicae Universitatis Tartuensis, 116 lk
- Puusepp, H. (1970). Rõngu. Rmt: Tartu rajoonis. Eesti NSV Teaduste Akadeemia kodu-uurimise komisjon ja Eesti Geograafia Selts, Tallinn. Lk 172 – 176
- Pärn, J. (2003). Territoriaalne kontrast ökotoopide vahel. Bakalaureusetöö. Käsikiri Tartu Ülikooli geograafia instituudis. 37 lk
- Raukas, A., A. Rõuk (1995). Pinnamood ja selle kujunemine. Rmt: Eesti. Loodus. Valgus ja Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn. Lk 120 – 175
- Reintam, L. (1979). Muldkeskkond. Rmt: Botaanika. Õpik kõrgkoolidele. III osa. Valgus, Tallinn. Lk 74 – 87
- Remm, K. (2006). Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Versioon 20. jaanuar 2006. Käsikiri Tartu Ülikooli geograafia instituudis. 205 lk
- Roosaare, J. (1976) Territoriaalse struktuuri keerukuse iseloomustamine. Käsikiri Tartu Ülikooli geograafia instituudis. 70 lk
- Tassinari, C., P. Lagacherie, R. Bouzigues, J. P. Legros (2002). Estimating soil water saturation from morphological soil indicators in a pedologically contrasted Mediterranean region. Geoderma 108, lk 225– 235

Typö, A. (2005). Pellon alarajan muutos ja sen vaikutukset viljelyyn ja ympäristöön Keski-Pohjanmaalla ja Pohjois-Pohjanmaan eteläosassa. Dissertationes Universitatis Ouluensis. 132 lk

Uuema, E., J. Roosaare, A. Kanal, Ü. Mander (2006). Spatial correlograms of soil cover as an indicator of landscape heterogeneity. Ecological Indicators, avaldamata

Vabariigi digitaalse suuremõõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri (2001). <http://www.maaamet.ee>

Varep, E. (1970). Tartu rajooni maastikud. Rmt: Tartu rajoonis. Eesti NSV Teaduste Akadeemia, Eesti Geograafia Selts, Tallinn. Lk 12 – 46

Varep, E. (1987). Valga rajooni maastikud. Rmt: Valga rajoonis. Eesti NSV Teaduste Akadeemia, Tallinn. Lk 12 - 46

Whittaker, R. H. (1967). Gradient analysis of vegetation. Biological reviews 42, lk 207 – 264

Арманд, Д. Л. (1975) Наука о ландшафте. „Мысль”, Москва 288 ст

Груздева, Л. (1991). Основные географические закономерности распространения почвенного и растительного покрова. Природная зональность. В кн: Почвоведение с основами геоботаники. Агропромиздат, Москва. Ст 144 - 161

Добровольский, Г., И. Урусевская, С. Шоба (1990). Роль геолого-геоморфологических факторов в генезисе и географий почв равнин СССР. В кн: Проблемы почвоведения. «Наука », Москва. 424 ст

Карпачевский, Л., Н. Киселева, С. Попова, С. Леонов (1971). Пестрота почвенного покрова и ее связь с парцеллярной структурой биogeоценоза В кн: Биogeоценологические исследования в широколиственно-еловых лесах.

Мильков, Ф. (1970). Словарь-справочник по физической географии. „Мысль”, Москва. 342 ст

«Почвоведение. Часть 2. Типы почв, их география и использование» (1988). Ред. В. Ковда, Б. Розанов. «Высшая школа», Москва. 367 ст

Роде, А. (1965). Водный режим и благообеспечивающая способность дерново-подзолистых почв. Почвоведение 1, ст 16 – 29

«Толковый словарь по почвоведению» (1975). Отв ред А. Роде. «Наука », Москва. 286 ст

Фридланд, В. (1972). Структура почвенного покрова. «Наука », Москва. 424 ст

10. Andmebaasid

Arold, I. (2001) Eesti pinnaehituslik maastikukaart 1 : 150 000

Eesti põhikaart (2001) 1 : 10 000

CORINE Eesti maakattekaart (1998). 1 : 100 000

Eesti suuremõõtkavaline mullastikukaart (2001). 1 : 10 000