

Tartu Ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Ökoloogia ja Maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Lõputöö  
**TEEDE JA RELJEEFI MÕJU MAASTIKU KEERUKUSELE  
OTEPÄÄ LOODUSPARGI NÄITEL**

Kaarel Murumaa

Juhendaja: PhD Evelyn Uuema

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

*/alkiri, kuupäev/*

Tartu 2014

## Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1 Teoreetiline taust .....	5
1.1 Teede kujunemise tagamaad .....	5
1.2 Teede ökoloogiline mõju .....	6
1.3 Reljeefi mõju.....	8
2 Andmed ja meetodika.....	9
2.1 Uuritav ala.....	9
2.2 Analüüs .....	11
3 Tulemused ja arutelu .....	13
3.1 Maastiku keerukus teede lähiumbruses.....	13
3.2 Reljeefi keerukus teede lähiumbruses.....	14
3.3 Maastiku keerukuse seos reljeefi keerukusega .....	16
Kokkuvõte.....	17
Summary: The impact of roads and terrain relief on landscape complexity based on the study of Otepää Nature Park.....	18
Kasutatud kirjandus .....	19

## Sissejuhatus

Kui lennata üle maastiku või vaadelda juba varem tehtud ortofotosi siis on kindlasti üheks silmatorkavamaks maastiku osaks ning maastikupilt oluliselt kujundavaks teguriks teed (Forman & Alexander, 1998). Teid ja liiklust sellel, käsitletakse kui antropogeense häiringuna seda ümbritsevale maastikule, kuid samas olulise inimühiskonna arengule määrava tegurina (Lugo & Gucinski, 2000; Fu *et al.* 2010).

Teed on lihtsustanud inimeste ja kaubanduse liikumist, mänginud kesksel rollil linnade ja majanduse arengus ning parandanud oluliselt kommunikatsiooni inimasustuste vahel. Ilma teedeta või teiste transpordi meetoditeta kaotaks mineraalsed ressursid oma väärtuse, põllumajandus toodang oleks piiratud vaid farmide lähedal paiknevatele tarbijatele ning töäjõud oleks kinni oma töökoha asukoha juures (Forman & Alexander, 1998). Teede arendus on emane põhjus elukohtade frangmenteerumisel, kuna ehitusega eemaldatakse algeist maakatet ning luuakse uusi serva-alasi (Liu *et al.* 2008). Teedehituse ökoloogilised mõjud on kõige enam näha läbi muutuste erinevates maastiku elementides ning maastiku üldises ühenduvuses (Liu *et al.* 2005, 2008).

Teede rajamine toob endaga kaasa maastiku mustrite muutuse, kuid samas on tee ehitamise võimalused tihti ka piiratud maastikuga kuhu see on rajatud. Kuna teedehituse kaudseid mõjusi on raske ette näha ja hinnata on teadlased mures potentsiaalse ja akumulatiivse mõju pärast, mida teede rajamine endaga kaasa toob nii füüsilisele kui ökoloogilisele maastikule (Liu *et al.* 2005). Kasulik on uurida seoseid maastiku fragmenteerituse ja teevõrgustike vahel, et mõista potentsiaalset teede poolt kujutatava riski taset. See aitab hinnata teede mõju ulatust ning viia lõpuks nii majanduslikult kui ökoloogiliselt tundlikuma teede ja neid ümbritseva ökosüsteemi haldamiseni (Li *et al.* 2004).

Varasemates uuringutes on tähelepanu pööratud eraldi teede tüüpidele nagu näiteks metsateed (Lugo & Gucinski, 2000) ja on käsitletud põhjalikult ka teedest tulenev mõju nii füüsilisele kui keemilisele keskkonnale nende ümber (Forman & Alexander, 1998; Forman *et al.* 2003; Forman, 2004). Lisaks on kõige rohkem vaadeldud teede mõju kindlatele liikidele ja nende populatsioonidele. Mõju maastikule ning maastiku struktuurile on käsitletud näiteks Liu *et al.* (2005) ja Zeng *et al.* (2005).

Teede mõju maastikule ja elusloodusele ning teedeökoloogia üldiselt on tähtsusetult kasvav uurimisharu, kuna aina rohkem tunnistatakse, et teed omavad olulist mõju nii lokaalselt

üksikute teede näol, kui ka suuremal skaalal moodustades teevõrgustikke. On selge, et tuleb vähendada teede negatiivset mõju elusloodusele ning arvetada saadud teadmisi uute teede rajamisel ja vanade hooldamisel.

Käesolevas töös uuriti teede ja reljeefi võimalikku mõju maastiku keerukusele Otepää looduspargi näitel kasutades selleks maastiku analüüsi GIS tarkvaras.

Töö eesmärkideks olid:

- 1) Leida maastiku ning reljeefi keerukus teede lähiümbruses;
- 2) Teha kindlaks, kas ja kui oluliselt sõltub maastiku keerukus reljeefi keerukusest.

Püstitati hüpoteesid:

- 1) Maastik on keerukam teede lähemal;
- 2) Reljeefi keerukus avaldab mõju maastiku keerukusele.

Töö on jaotatud kolmeks peatükiks

- 1) Teoreetilise taust, kus antakse ülevaade teede kujunemist mõjutanud teguritest ning teede mõjust maastikule ja elusloodusele
- 2) Andmete ja meetodika, kus kirjeldatakse uuritavat ala ning läbi viidud analüüsi GIS tarkvara keskkonnas.
- 3) Tulemuste ja arutelu peatükk, kus vaadeldakse saadud tulemusi ning tehakse nende põhjal järeldused.

# 1 Teoreetiline taust

## 1.1 Teede kujunemise tagamaad

Euroopas on ehitatud teid juba üle 2000 aasta. Kõige esimesed teed arvatakse olnud ehitatud loomade liikumiste radadele, mis olid inimeste poolt üle võetud ja tänu aina kasvavale vajadusele efektiivsemate kommunikatsiooni ja transpordi meetodite järele, arenes teedehitus tehnoloogia väga kiiresti. Antiik ajastu suurimad süstemaatilised teedehitajad olid roomlased, kes olid teadlikud sõjalistest, majanduslikest ja administratiivsetest eelistest, mida pakkus hea teede süsteem (Seiler, 2001). Geomorfologia vaatevinklist on roomlaste ehitatud teed kõige vastupidavamad struktuurid varaste teede hulgas. Nende rajamine nõudis märkimisväärsete koguste pinnase teisaldamist, mis jääb mahult alla vaid alates 20. sajandi algusest saadik ehitatud teedele (David *et al.* 2010). Peale roomlasi jäi vahele ligikaudu terve aastatuhat enne, kui tõusis uuesti huvi efektiivsemate ja paremate teede rajamise vastu (Seiler, 2001).

Teedehitus on sõltunud arusaadavalt topograafiast, pinnasest, maakattest kui ka inimasustusest. Teid ehitati, et toetada kommunikatsiooni inimasustuste keskuste vahel, kuid samuti andsid teed ligipääsu looduslikele ressurssidele nagu näiteks puit ja hein. Oli tõenäoline, et sinna kuhu ehitati teed, järgnesid peagi ka uued inimasustused, talud, põllud ja muud inimeste rajatised. Sellega kaasnes lähedane suhe teede ja maakasutuse vahel, mis liitis teed ka maastiku keskkondliku ja kultuurilise konteksti integreeritud osaks (Castensson, 1991; cit Seiler, 2001). Maakasutuse uuringud vihjavad samuti sellele, et sotsiaalsed, institutsionaalsed ja ökonoomilised faktorid mängivad olulist rolli maastiku mustri kujunemisel ning maakasutuse otstarve määramisel, samas kui füüsilised ja ökoloogilised omadused piiravad maakasutust ja maastiku mustri muutumist ajas ja ruumis (Hawbaker *et al.* 2004). Forman *et al.* (2003) leiavad, et väiksematel skaaladel omavad keskkonna tegurid, nagu maa kate ja reljeef, suuremat mõju tee kulgemisele maastikul, kuid laiemal skaalal võivad need omada vähem tähtsust kui sotsiaalsed mustrid.

Teed ühenduvad võrgustikeks, vaheldudes nii kuju, kui ka otstarbe poolest. Seal juures on teguriteks reljeef ning teenused mida tee võrgustikult oodatakse (Forman *et al.* 2003). Aladel kus reljeef vaheldub rohkem, mängib kõrgus olulist rolli tee võrgustiku kujunemisel. Samas aga võib maakasutus ja selle ajalooline taust põhjustada hoopis erinevat teedevõrgustike paigutumist ning fragmenteerituse taset (Hawbaker *et al.* 2004). Mägisel

maastikul on tavaliseks nähtuseks hargnevad teevõrgustikud, mis on rajatud kohandatult orgude põhjade, mägedega ning nõlva kalde poolt seatud piirangutega. Korrapäraseid teevõrgustikke saab vaadelda tasasel maastikul ja linnades, kuid mis äärelinnade pool ja veel enam keskustest eemal muutub juba korrapäratumaks tänu topograafilistele erinevustele (Forman *et al.* 2003). Alles viimaste 70-80 aasta jooksul on tehniline progress ja kaasaegne inseneriteadus vabastanud teede planeerijad maastiku looduslikest piirangutest (Jönsson, 1991; *cit.* Seiler, 2001). Võimalik on ehitada laiemaid ja sirgemaid teid ilma, et peaks hoolima nii palju topograafiast ja pinnasest kui varem. Vajadus teede järgi, mis suudaks kanda raskemaid sõidukeid ja lubaks suuremaid kiiruseid, viis praktiliselt kõikide teede üldise täiustamiseni, eriti nende teede, mis täidavad pikamaa kommunikatsiooni ülesannet. Kiirteed ja suuremad maanteed ei ole enam antud maastiku konteksti osad, nad ei täida eelkõige kohaliku kommunikatsiooni ülesannet ega paku juurdepääsu kohalikele ressurssidele. Nad jätvavad peale surutud mulje juba eksisteerivale maastiku muustrile, häirides looduslike seoseid ja protsesse ning põhjustades otseses mõttes maastiku fragmenteerumist (Seiler, 2001).

## 1.2 Teede ökoloogiline mõju

Enamus infrastruktuuri mõjust elusloodusele kajastab esmajärgulist mõju, mis tulenevad üksikutest, näiteks kohalikes teedest, raudteedest jne., mille mõju on kergesti mõõdetav ning avalduvad organismidele otseselt ja kohalikul skaalal. On võimalik eristada viite põhilist esmast ökoloogilist mõju (Seiler, 2001).

- 1) Elupaikade kadu – teede ehitus põhjustab alati elupaikade kadu. Teedehituse toob endaga kaasa häiringuid ning barjääri efekti (Seiler, 2001). Miller *et al.* (1996) on leidnud, et metsade vahelised teed lõikavad läbi maastiku, killustavad seniseid elupaiku ning loovad uusi serva-alasi.
- 2) Häiring – teed ja liiklus häirivad ja saastavad keskkonda ning selle tagajärjel muudavad elupaikade sobivust erinevate taimede ja loomaliikide jaoks ja seda palju suurema tsooni ulatuses kui tee laius ise (Seiler, 2001). Häiring võib ulatuda 1000 meetri ja vahel ka kaugemale, kuid kõige olulisem mõju avaldub lähima 200 meetri juures häiringu allikast (Zeng *et al.* 2005)
- 3) Koridori efekt – teede servad ja teede äärne ala võib aga pakkuda varju ja uusi elupaiku või leida kasutust koridorina mille kaudu on võimalik liikidel levida uutesse piirkondadesse. Eriti eksplanteeritud maastiku puhul on teede ääred ka

oluliseks varjupaigaks liikidele, mis muidu ei pruugiks ellu jääda. Sellised kasuliku efektid on suur väljakutse planeerijatele ja bioloogidele, teede korraldus tuleb seostada laiemal maastiku kontekstiga (Seiler, 2001).

- 4) Suremus – Liiklus põhjustab paljude loomade surma, kes kasutavad teede äärseid alasid elupaigana või proovivad teid ületada. Tee koridor võib olla näiliselt sobiv elupaik mõne looma või linnu liigi jaoks kuid, kujutab endast lõksu. Liiklusest põhjustatud loomade surmad arv on läbi aastate püsivalt tõusnud (Seiler, 2001). Viimase 30-40 aasta jooksul ületas suremus liikluse tõttu jahinduse, kui juhtiva otseselt inimese põhjustatud selgroogsete suremuse ajendina (Forman & Alexander, 1998). Siiski peetakse seda oluliseks ohuks vaid üksikute liikide jaoks. Kokkupõrked loomadega on samas ka üks liiklusohutuse probleemidest inimeste jaoks (Seiler, 2001).
- 5) Barjäär – Enamik mitte lendavate maismaloomade liikidele kujutab infrastruktuur endast liikumise barjääri, mis piirab liigi levikut, muudab teatud elukohad juurdepääsmatuks ning võib lõpuks viia populatsioonide isoleerituseni (Seiler, 2001). Barjääri efekt mõjutab rohkem liike ja selle mõju ulatub suuremale alale kui suremus liikluse tõttu või teedest eemale hoidmise häiringute tõttu. (Forman & Alexander, 1998). Barjääri efekt on põhiline tegur üldise teede poolt põhjustatud fragmentatsiooni tekkimises (Seiler, 2001).

Elukohtade kaotus, häiringud, barjäär ning suremus viitavad tavaliselt üksikutele infrastruktuuri lülidele, nagu näiteks üksikud teed kohalikul skaalal, kuid ka nende pikaajaline mõju populatsioonidele ja ökosüsteemidele sõltub oluliselt maastikust ning mõjutatud liikidest. Ruumiline skaala mõjutab samuti primaarsete mõju olulisust (Seiler, 2001).

Inimühiskonna arengule on teed olnud edasiviivaks jõuks. Teed hõlbustavad inimeste liikumist ruumis ning võimaldavad kerge ligipääsu looduslikele ressurssidele (Forman & Alexander, 1998). Fu *et al.* (2010) leidsid, et teede vahetus läheduses esineb rohkem metsaraiet ning metsaalade kadu. Teede arendusel on kindel seos maakasutusega. Teed on ehitatud selleks, et ühendada inimesed ja turud (Forman *et al.* 2003). Samas pääsevad inimesed ka lähemale seni ligipääsmatutele aladele, mida on võimalik enda hüvanguks kasutada. Sellega kaasneb maakasutuse otstarve muutmine (Dale *et al.* 1996). Teatud aja jooksul võib aga tekkida nõudlus uute liikumise suundade järgi, mis omakorda võib

ajendada uute teede loomist (Hess *et al.* 2001). Suuremate ja paremate teede ristumine või läbi väiksemate asulate juhtimine võib samuti ajendada linnaalade teket või väikeste linnade kasvu (Fu *et al.* 2010).

### **1.3 Reljeefi mõju**

Inimasustus on tavaliselt koondunud just laugele maastikule, mida on kergem ümber kujundada vastavalt oma vajadusele. Kõrgus, asukoht ja nõlvakalle on teguriteks maakasutuse kujunemisel. Näiteks looduslike metsade jaotuvus maakasutuses, on tundlik kõrguse suhtes tänu taime liikide füsioloogilistele nõuetele (Wondie *et al.* 2012). Reljeef on maastiku kujunemisel määravaks elemendiks, avaldades piiravat mõju maakasutuse ja teede laienemisel.. (Freitas *et al.* 2010)

Järsemad nõlvad pole ideaalis sobilikud vilja kasvatamiseks, kuna ligipääs nendele aladele on raskendatud ja pinnas on habras. Järsemad nõlvad omavad eelistavaid tegureid just metsade kasvuks (Wondie *et al.* 2012).

Li *et al.* (2010) leiavad, et tihti kasutatakse mäe nõlvasi ja kõrgemaid alasid põllumajanduse otstarbel, kuna laugemad alad läheduses puuduvad või leiavad need kasutust asustuse või muu tähtsama otstarbe all. Põldude rajamiseks järsematele nõlvadele on aga inimesel vaja neid ümberkorraldada, eemaldades metsa, ehitades põldude jaoks platoosi ja muutes loodusliku pinnamoodi. Metsade eemaldamine nõlvadelt ning valed harimisvõtted võivad aga põhjustada erosiooni ning toitainete ära kandumist nõlvadelt (Wang *et al.* 2001; Wondie *et al.* 2012).

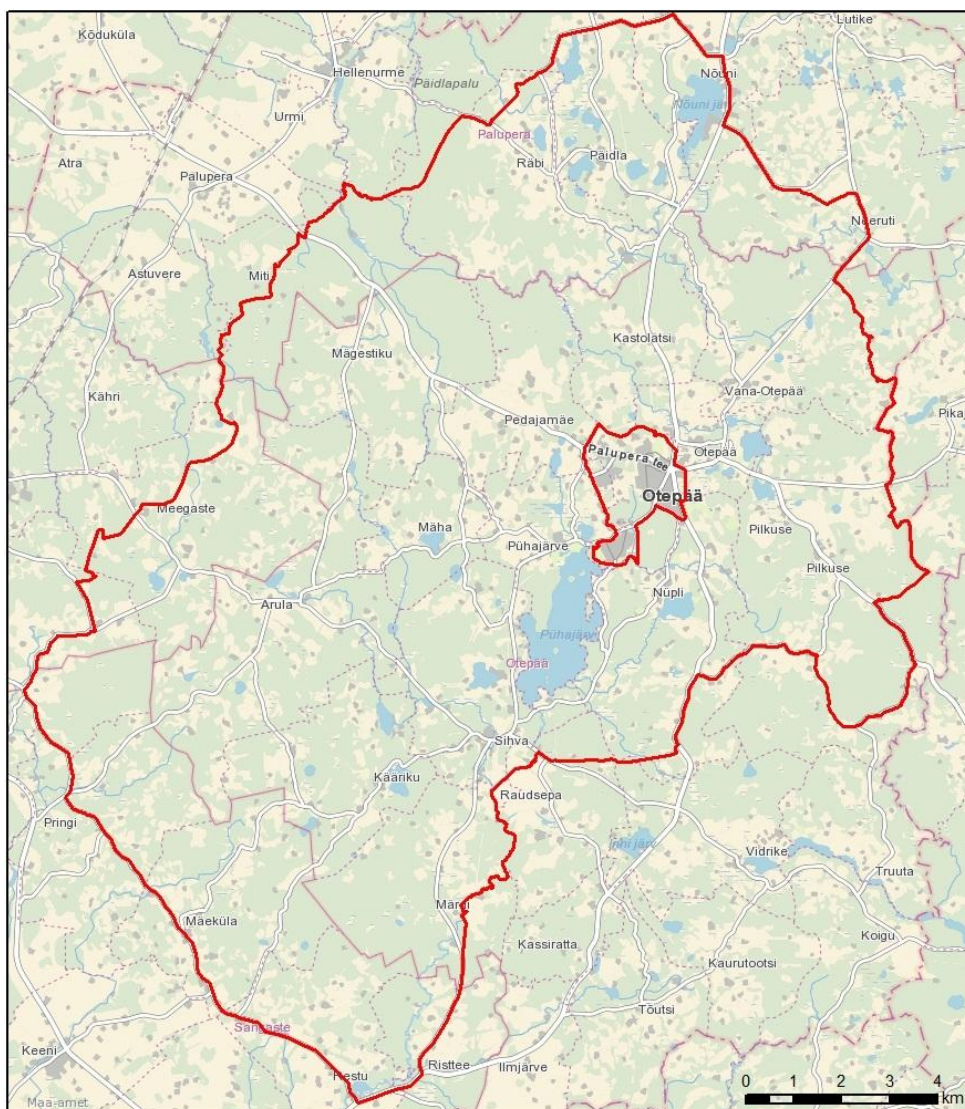


## 2 Andmed ja meetodika

### 2.1 Uuritav ala

Uuritavaks alaks valiti Otepää looduspark (joonis 2.) mitmekesise maastiku tõttu.

Otepää looduspark asub Valga maakonna põhjaosas Otepää, Palupera, Puka ja Sangaste valla maadel. 1180 km<sup>2</sup> suuruselt Otepää kõrgustikust hõlmab Otepää looduspark hästi väljakujunenud künkliku reljeefiga kõrgustiku keskosa pindalaga 22 430 ha (19% kõrgustiku pindalast). Oma territooriumi ulatuselt on Otepää looduspark suurim maastikukaitseala Eestis.



Joonis 1. Otepää looduspargi piirid (Maa-ameti kaardirakendus)

Otepää looduspark moodustati Eesti NSV Ministrite Nõukogu 1957. a määrusega Pühajärve, Väikese Munamäe ja Tedremäe maastikuliste keelualadena ning reorganiseeriti 1979. aasta määrusega Otepää maastikukaitsealaks. Otepää looduspargi kaitse-eeskiri ja välispiiri kirjeldus kinnitati 18. märtsil 1997. a määrusega nr. 63 ning muudeti 8.12.1999. a määrusega nr. 376 (RT I 1999, 94, 837).

Otepää looduspargi kaitse-eesmärk on Otepää kõrgustikule iseloomuliku kuppelmaastiku ja bioloogilise mitmekesisuse, kohaliku elulaadi ja kultuuripärandi ning alalhoidliku looduskasutuse säilitamine, uurimine ja tutvustamine. Otepää looduspargi valitseja on Keskkonnaamet. (Keskkonnaamet, 2014)

Otepää looduspargi peamiseks väärtusteks on mitmekesine kultuurmaastik, mis vaheldub Elva jõe ja Väikese Emajõe lähiste ja kaitseala loodeossa jäävate metsamassiivide kompleksiga. Kultuurmaastike mitmekesisus on tingitud ja oluliselt mõjutatud geoloogiast, elupaikade mitmekesisusest ning inimtegevusest. Otepää kõrgustikule on iseloomulikud avatud maastikuelementide, nagu näiteks rohumaad ja põllud, metsade, veekogude ja soolaikude mosaiik. Neid iseloomustab suhteliselt väike pindala, piiride rohkus ja sopilisus. (Evestus, 2008)

Maakasutuse poolest jaguneb Otepää looduspark ligikaudu järgnevalt: Metsad 57%, põllud 22%, looduslikud rohumaad 10%, sood 5%, veekogud 4% ning õuealad ja teed 2%.

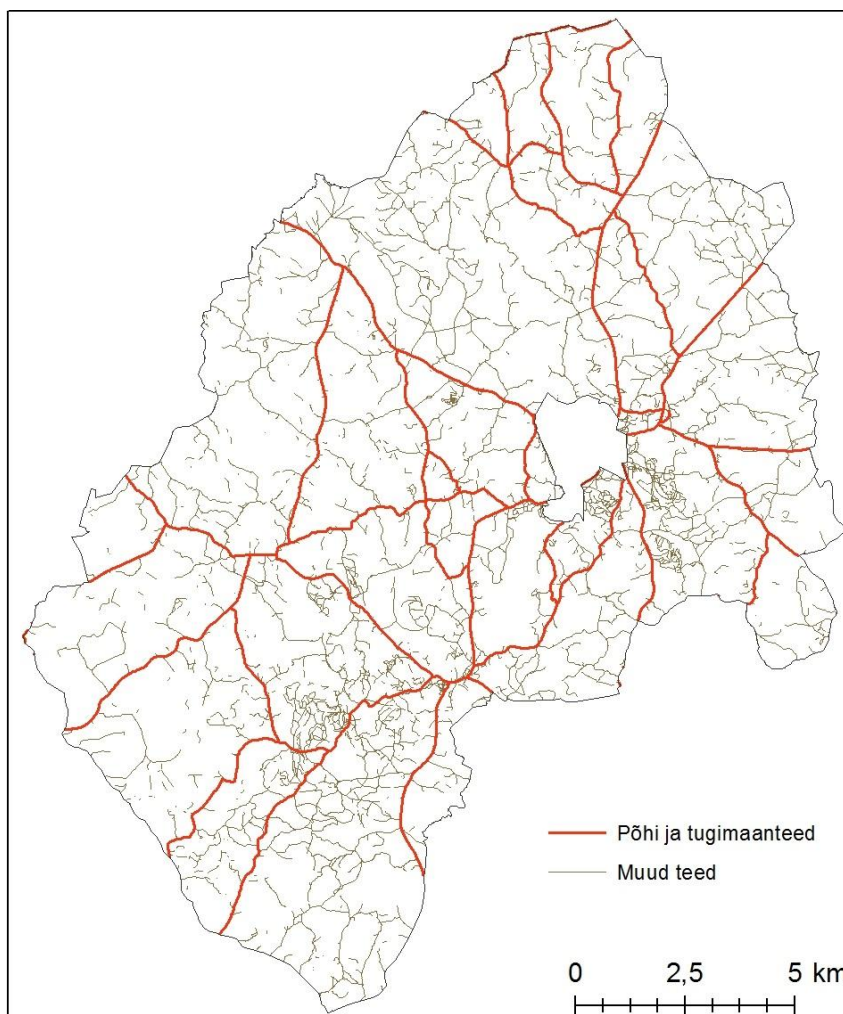
Kaitseala läbivad kaks tugimaanteed: Tatra-Otepää-Sangaste ja Rõngu-Otepää-Kanepi. Kohalike väiksemate teede võrgustik on aga üsna tihe. Kokku on kaitsealal 216 km teid, sellest kaitseala piiril 42 km (Evestus, 2008).

## 2.2 Analüüs

Analüüsi läbiviimiseks kasutati 3 erinevat GIS programmi: ArcGIS-i ArcMap 10.2; FragStats 4.2 ning SAGA-GIS 2.1. Lisaks kasutati veel statistika tarkvara Statsoft STATISTICA 10.

Maakasutuse andmetena kasutati Eesti põhikaarti, mis konverteeriti programmis ArcMap raster kujule, piksli suurusega 1m. Rastrist kaotati ära hoonestus ja teed. Seejärel konverteeriti rastri piksli suurus 5 m peale. Saadud raster eksporditi programmi Fragstats, kus arvutati sellele kogu serva pikkus TE (*Total Edge*). Serva pikkus iseloomustab maastiku keerukust.

Teede ümbruse maastiku analüüsi jaoks valiti välja suuremad maanteed (joonis 2). Suuremaid teid kasutati analüüsis seetõttu, et nende mõju maastikule peaks eeldatavalt olema kõige suurem ja avalduma maastikumustris.



**Joonis 2.** Otepää looduspargi teedevõrk

Välja valitud maanteedele loodi 10 puhvertsooni 100 meetriste intervallidega tee servast kuni 1000 meetrini ning arvutati neile *Zonal Statistics* tööriistaga eelnevalt saadud rastrilt kogu serva pikkuse (TE) keskmised väärtused, nii iseloomustava tabelina kui ka kaardi kujutisena.

Reljeefi andmetena kasutati 5m kõrgusmudelit, millele arvutati programmis SAGA-GIS (SAGA, 2011) reljeefi keerukuse indeks (TRI).

Reljeefi keerukuse indeks TRI (*Terrain ruggedness index*) on välja töötatud, et oleks võimalikult kergesti saada kvantitatiivset andmestiku maastiku heterogeensuse kohta. Saadud andmestiku saab kasutada hüpoteeside kontrollimiseks maastiku, kui elupaiga kohta ning erinevate alade informatiivsemate võrdluste läbiviimise jaoks

Reljeefi keerukuse (*Terrain ruggedness Index*, TRI) arvutamiseks kasutatakse sisendina digitaalseid kõrgumudeleid. Indeks väljendab kõrguste erinevusi digitaalse kõrgusmudeli võrgustiku ühe keskse ja 8 ümbritseva elemendi kõrgus andmestiku vahel. TRI saadakse valemiga:

-1,-1	0,-1	1,-1
-1,0	0,0	1,0
-1,1	0,1	1,1

$$TRI = Y \left[ \sum (x_{ij} - x_{00})^2 \right]^{1/2}$$

**Joonis 3.** Elementide näidis võrgustik väärtustega (Riley et al. 1999)

Kus  $x_{ij}$  on iga keskse elemendi (0,0) naaber elemendi kõrgus väärtus ja  $x_{00}$  on keskmise elemendi väärtus. TRI väärtuseid saab esitada ka kaardi kujul, mis toob selgelt esile maastiku heterogeensuse jaotumise (Riley et al. 1999).

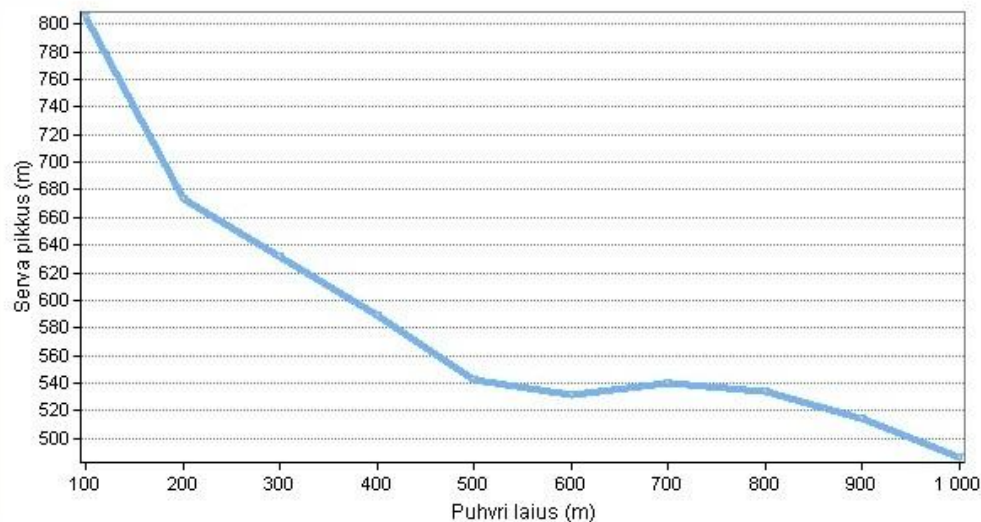
Seejärel kasutati eelnevaga sarnaselt *Zonal Statistics* tööriista, et arvutada teede puhvritele TRI keskmised väärtused. Tulemused esitati samuti nii tabelina kui ka kaardi kujutisena.

Võib eeldada, et keerukama reljeefiga aladel on keerukam maastikumuster. Selleks, et leida kuivõrd reljeefi keerukus on seotus maakasutuse keerukusega, genereeriti 500 juhuslikku punkti Otepää looduspargi piires, vähemalt 100 meetri kaugusel üksteisest. Igale punktile omandati reljeefi keerukuse (TRI) väärtused, ja maastiku keerukuse (TE) Seose leidmiseks kasutati Statistica programmis Spearmani astakorrelatsioonikordajat.

### 3 Tulemused ja arutelu

#### 3.1 Maastiku keerukus teede lähiümbruses

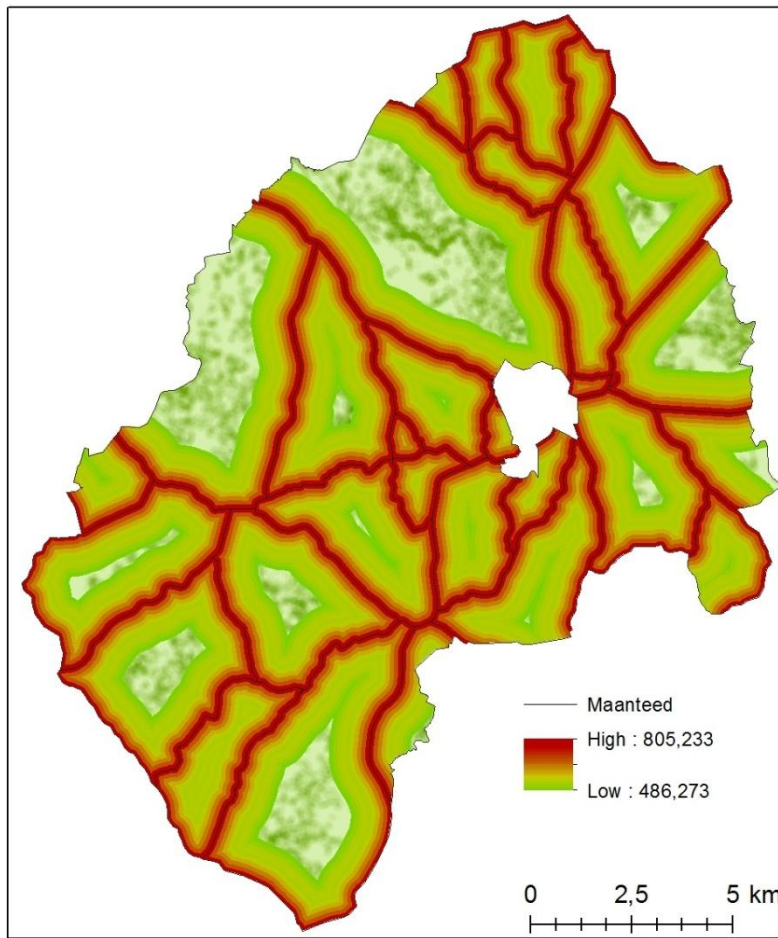
Serva pikkuste keskmised väärtused oli teedele lähemal kõrgemad kui teedest kaugemal (joonis 4 ja 5.) Väärtused langesid kõige rohkem esimese, 100 meetrise ja teise, 200 meetrise puhvri vahel. 500 meetri kaugusel ja eemal langevad väärtused juba aeglasemalt, mis võib vihjata sellele, et serva efekt on just esimese 100-200 m kaugusel teedest kõige suurem ning väheneb alates 500 meetri kaugusel teedest. 1000 m kaugusel on väärtused langenud peaaegu kahekordselt.



**Joonis 4.** Serva pikkuste muutus teede 100-1000 m puhvrite juures

Tulemused viitavad sellele, et maastik on keerukam teedele lähemal. Teed lõikavad pikkliku ribana läbi maastiku puudutades erinevate maakasutusega alade piire moodustades selle tõttu uusi serva-alasi. Teede lähedus on samuti tinginud laiema inimtegevuse ning maastiku übergujundamise vastavalt inimeste vajadustele. Teede mõjus esinev langus seoses kaugusega teest oli eeldatava tulemus, mis leidis nüüd ka positiivset kinnitust. Sarnased tulemused esinesid ka Zeng *et al.* (2005) uurimuses inimeste põhjustatud häiringute kohta, kus samuti kasutati mõju hindamiseks teede, asustuse ja hüdroelektrijaamade puhvertsoone, läbi mille tuli esile mõju raadius. Lisaks leiti ka erinevate häiringute koosmõju ja sõltuvus üksteisest.

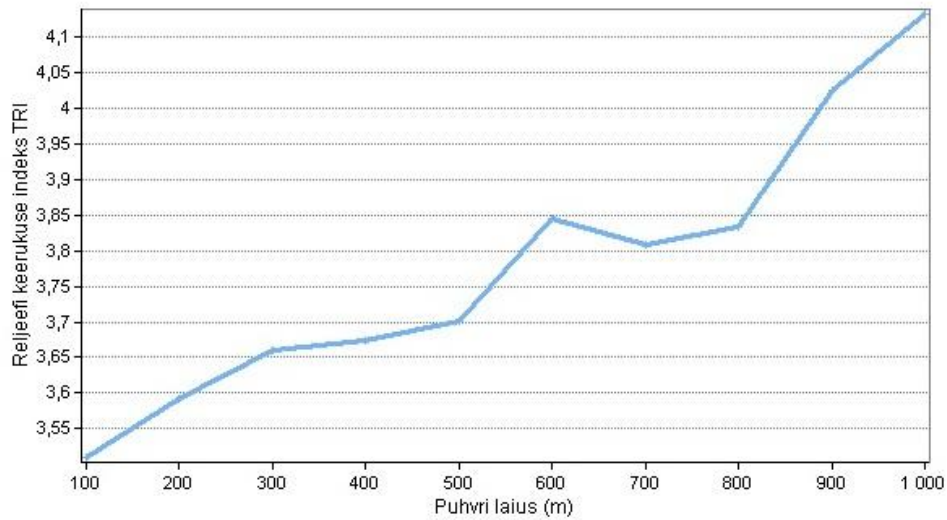




**Joonis 5.** Kogu serva pikkus teede puhvritel

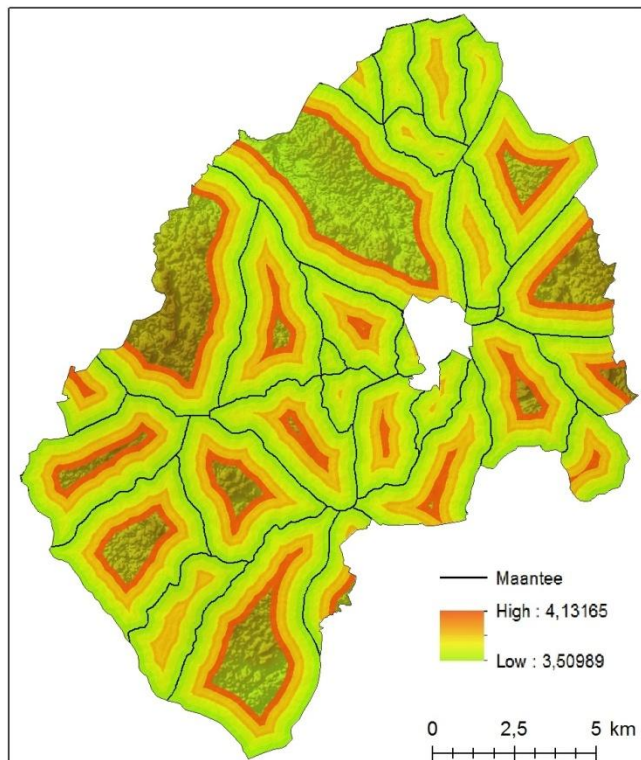
### 3.2 Reljeefi keerukus teede lähimbruses

Reljeefi keerukuse indeksi puhul oli näha keskmiste väärtuste tõusu teedest eemaldudes, mis tähendab, et teede lähimbruses on reljeef vähem keerukam (joonis 6 ja 7). Suuresti on see tõenäoliselt tingitud sellest, et teed on üritatud ehitada laugema reljeefiga aladele, kuhu on lihtsam ehitada või on vähem kulutusi nõudev.



**Joonis 6.** Reljeefi keerukuse indeksi muutus teede 100-1000m puhvrit juures

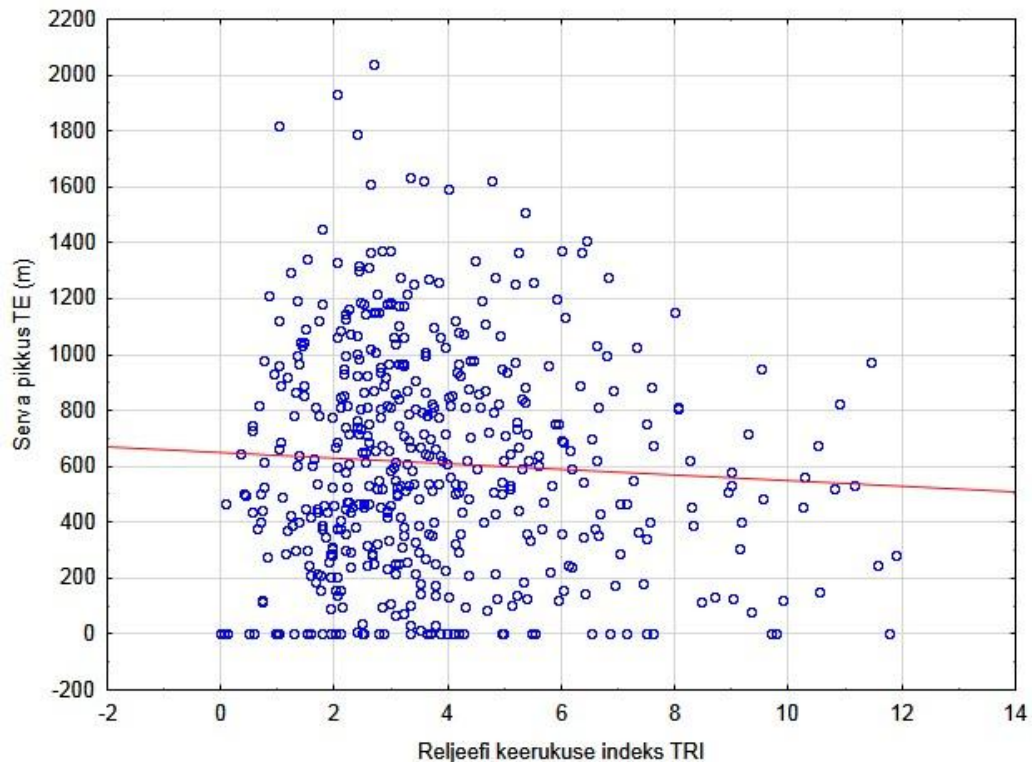
Ka Hawbaker *et al.* (2004) leidsid, et teede kujunemine võib kindlasti olla mõjutatud reljeefist ning pinnasest millele teed rajatakse. Sama tulemus väljendub ka käesolevast analüüsist. Osaliselt võib olla ka teguriks inimese poolne sekkumine reljeefi, muutes seda teede ehituse jaoks vastavalt vajadusele, kuigi sedaviisi toimimine oleks kindlasti aja ja ressursside suhtes nõudlik. Siiski võttes arvesse uuritava piirkonna tausta ning teede suurust, näib esimene põhjendus tõenäolisem.



**Joonis 7.** Reljeefi keerukuse indeks teede puhvritel

### 3.3 Maastiku keerukuse seos reljeefi keerukusega

Maastikumustri keerukuse ja reljeefi keerukuse vahel seost ei esinenud ( $\rho = -0,000241$ ; joonis 8), mis on mõnevõrra üllatuslik, sest võiks eeldada, et mitmekesisema reljeefiga aladel on ka maakasutus mitmekesisem. Sarnast tulemust oleks võinud oodata siis, kui tegemist oleks üldiselt lauge ja ühtlasema reljeefiga, kuid ka keerukam reljeef ei osutanud maastiku keerukusele mõju.



**Joonis 8.** Hajuvusdiagramm serva pikkuse ja reljeefi keerukuse indeksi vahel

Ilmselt on inimeste jaoks olemas piisavalt ümbritsevad lauged maad, mida üldiselt oleks lihtsam ja vähem vaevanõudev kasutada. Samas võivad ka mängida tulemuste kujunemisel oma rolli looduspargile seatud piirangud maakasutuse suhtes. Üheks põhjuseks, miks seost välja ei tulnud võib olla ka asjaolu, et Otepää on suhteliselt ühetaoliselt künklik ning ei esine piisavalt suuri reljeefi erisusi (tasaseid ja künklike alasid). Kui edaspidi vaadelda ka tasasemaid maastikurajoone, siis võib seos maastiku keerukuse ja reljeefi vahel esile tulla. Samuti tehti analüüsi praegu ainult 500m aknaga, aga ka see võib reljeefi puhul väikeseks jääda ning vajalik oleks teha erinevatel tasanditel analüüsi.

Samuti ei esinenud ka seost kogu serva pikkuse (TE) ja kõrguste vahel (Spearman-i  $\rho = -0,046660$ ).



## **Kokkuvõte**

Teed ja liiklus on käsitletud kui antropogeenne häiring maastikule ja elusloodusele selle vahetus läheduses. Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida teede ja reljeefi seoseid maastiku keerukusega Otepää looduspargi näitel.

Otepää looduspark sai valitud oma iseloomuliku kuppelmaastiku tõttu, kuna eeldatavalt võiks keerukam maastik avaldada maastiku keerukusele rohkem mõju

Maastiku keerukuse hindamiseks leiti kogu serva pikkus ning reljeefi keerukuse jaoks reljeefi keerukuse indeks. Lisaks, et hinnata leitud väärtuste muutusi erinevatel kaugustel teedest, loodi uurimise alla võetud teedele 10 puhvertsooni 100 meetriste intervallidega kuni 1000 m. Puhvertsoonidele leiti kogu serva pikkuse ja reljeefi keerukuse indeksi keskmised väärtused.

Selleks, et kontrollida maastiku keerukuse ja reljeefi keerukuse omavahelisi seoseid kasutati juhuslikes punktides võetud väärtuseid nii serva pikkuse kui reljeefi keerukuse kohta. Nende vahelised seose leidmiseks kasutati Spearman-i astakorrelatsioonikordajat ning iseloomustavad hajuvusdiagrammi

Töö alguses püstitatud esimesele hüpoteesile saadi kinnitus. Analüüs näitas, et teedele lähemal on maastiku keerukust iseloomustav kogu serva pikkuse väärtus suurem ning teedest eemaldudes väheneb see oluliselt. Samas näitasid tulemused, et keerukus on kõige kõrgem 100-200 m juures ning ühtlustub juba 500 meetri juures.

Lisaks leiti, et reljeefi keerukuse indeks tõuseb teedest eemaldudes, mis illustreerib hästi teede kulgemiseks valitud vähem keerukamat pinnamoodi.

Teisele püstitatud hüpoteesile ei saadud kinnitus. Juhuslike punktide vahel puudus korrelatsioon.

## **Summary: The impact of roads and terrain relief on landscape complexity based on the study of Otepää Nature Park.**

Road and traffic have been treated as an anthropogenic disturbance to landscape and wildlife in their close proximity. The goal of this research paper was to examine the impact and relations of roads and relief on landscape complexity based on the example of Otepää nature park.

Otepää nature park was chosen as the study area due to its distinguishable canopy landscape, with the assumption that it could have a greater influence on landscape complexity in the analysis.

To assess landscape complexity and terrain ruggedness, Total edge and a terrain ruggedness index (based on Riley *et al.* 1999) were used. Additionally to examine the impact of roads in various distances from the roads, 10 buffer zones from 100 to 1000 meter with a 100 meter interval were created. The mean values of Total edge and the Terrain ruggedness index were calculated for every buffer zone.

Finally to inspect the relation between landscape complexity and terrain ruggedness, 500 random points were created and the mean values of Total Edge and Terrain ruggedness index were applied to these points. The gathered data was used to calculate Spearman rank correlation and the relation was visualized with a scatter diagram.

The first hypothesis that the landscape is more complex near the roads was confirmed. The analysis showed higher values of mean total edge in the closest, 100 and 200 meter buffer zones and a slower gradual decay further than 500 meter away from the roads.

The mean values of the terrain ruggedness index showed a gradual increase while moving away from the roads. This shows that the roads were originally built on gentler terrain.

The second hypothesis was not confirmed. No correlation between relief and landscape complexity was found.

## **Kasutatud kirjandus**

- Castensson, R. 1991. Stommen i Sveriges infrastruktur. In: Heddelin, B., (Ed.) Văgar: Dătid, nutid, framtid., pp. 230-239. Borlănge, Sweden: Văgverket.
- Dale, V. H., O'Neill R.V., Southworth F. 1993. Causes and effects of land-use change in central Rhodonia, Brazil. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59:997- 1005.
- Dăvid L., Ilyés Z., Baros Z., 2010. Transportation and Industry. In: József Szabó, Lórănt Dăvid, Dėnes Lóczy (Editors). *Anthropogenic Geomorphology - A Guide to man-made landforms*, Springer Science+Business Media B.V. 250 pp.
- Evestus, T. 2008. Otepăa looduspargi kaitsekorralduskava 2010-2012.
- Forman, R. T. T. 2004. Road ecology's promise: What's around the bend? *Environment* 46 (3): 8-21.
- Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C. R., Heanue, K., Jones, J. A., Swanson, F. J., Turrentine, T., Winter, T. C. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Washington: Island Press. 481 pp.
- Forman R. T. T.; Alexander L.E.1998. Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics* 29; 207-231.
- Freitas, S.R., Hawbaker, T. J., Metzger, J. P. 2010. Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* 259; 410-417
- Fu W., Liu S., Dong S. 2010. Landscape pattern changes under the disturbance of road networks. *Procedia Environmental Sciences* 2; 859-867.
- Hawbaker T. J., Radeloff V.C., Clayton, M.K., Hammer, R.B., Gonzalez-Abraham C.E. 2006. Road Development, Housing Growth, and Landscape Fragmentation in Northern Wisconsin: 1937-1999 *Ecological Applications*, 16( 3); 1222-1237.

Hawbaker T. J., Radeloff V.C., Hammer R. B., Clayton M. K. 2004. Road density and landscape pattern in relation to housing density, land ownership, land cover, and soils . *Landscape Ecology* 20; 609-625.

Hess, P. M., A. V. Moudon, and M. G. Longsdon. 2001. Measuring land use patterns for transportation research. *Transportation Research Record* 1780:17-24.

Jönsson, B.G. 1991. Vägen till bättre vägar. In: Heddelin, B. (Ed.) *Vägar: Dåtid, nutid, framtid.*, 34-53.

Li, Z., Liu, W., Zheng, F. 2010. The land use changes and its relationship with topographic factors in the Jing river catchment on the Loess Plateau of China. *SpringerPlus* 2:S3; 6 pp.

Li, S.C., Xu, Y.Q., Zhou, Q.F., Wang, L. 2004. Statistical analysis on the relationship between road network and ecosystem fragmentation in China. *Prog. Geography* 23 (5), 77–85

Liu S.L., Cui B.S., Dong S.K., Yang Z.F., Yang M., Holt K. 2008. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk—A case study in Lancang River Valley of Southwest China. *ecological engineering* 34; 91–99

Liu, S.L., Yang, Z.F., Cui, B.S. 2005. Road effect on landscape and its ecological risk assessment: case study of Lancang River Valley. *Chin. J. Ecol.* 24 (8); 897–901

Lugo A.E., Gucinski H. 2000. Function, effects, and management of forest roads. *Forest Ecol Manag.* 133(3): 249-62.

Miller J.R., Joyce L.A., Knight R.L., King R.M. 1996. Forest roads and landscape structure in the southern Rocky Mountains. *Landscape Ecol.* 11: 115–127

Riley, S. J., DeGloria, S. D., Elliot, R. 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity, *Intermountain Journal of Sciences*, 5: 23-27

Seiler, A. 2001 *Ecological Effects of Roads*. Rep. Vol. 9. Riddarhyttan: University of Agricultural Sciences, 40 pp.

Zeng, H., Sui D.Z., Ben Wu X. 2005. Human disturbances on landscapes in protected areas: a case study of the Wolong Nature Reserve. *Ecological Research*, Volume 20 (4); 487-496.

Wang, J., Fu, B., Qiu, Y., Chen, L., 2001. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in semi-arid small catchment of the loess plateau in China. *J. Arid Environ.*48, 537–550.

Wondie, M., Teketay, D., Melesse, A.M., Schneider, W. 2012. Relationship between topographic variables and land cover in the Simen Mountains National Park, a world heritage site in Northern Ethiopia. *International Journal of Remote Sensing Applications*, 2(2); 36-43

Internetiallikad:

Keskkonnaamet, 2014. Otepää looduspark <http://www.keskkonnaamet.ee/?lang=otep> (vaadatud 28.04.2014)

Maa-ameti kodulehekül , <http://www.maaamet.ee> (vaadatud 11.05.2014)

Saga system for automated Geoscientific analysis; <http://www.saga-gis.org> (vaadatud 16.05.2014)

**Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Kaarel Murumaa

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Teede ja reljeefi mõju maastiku keerukusele Otepää looduspargi näitel“

mille juhendaja on PhD Evelyn Uuema,

reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus 19.05.2014