

SISUKORD

Sissejuhatus	4
1. Üldiseloostus ja töö käik	5
1.1. Projekteerija Peeter Londi arvamused/kommentaariid	8
2. Uurimistöökäik	9
2.1. Teede iseloostus	9
2.2. Surfide kaevamine	10
2.3. FWD-möötmiised	10
2.3.1. Üldist [1]	10
2.3.2. Möötmiised Tudu piirkonna metsateedel	11
2.4. Punkri tee	12
2.4.1. Üldiseloostus	12
2.4.2. Konstruktsioon	13
2.5. Soojaku tee	22
2.5.1. Üldiseloostus	22
2.5.2. Konstruktsioon	23
2.6. Semafori tee	25
2.6.1. Üldiseloostus	25
2.6.2. Konstruktsioon	26
2.7. Urdiku tee	30
2.7.1. Üldiseloostus	30
2.7.2. Konstruktsioon	30
2.8. Mihklimurru tee	33

2.9. Kaukvere – Virunurme tee.....	35
2.10. Kokkuvõtlikult uuritud teekonstruktsioonidest.....	37
3. Pinnaseproovid	41
4. Järeldused ja soovitused kokkuvõtlikult.....	44
Kokkuvõte	46
Kasutatud kirjandus	48
Lisad	49

SISSEJUHATUS

RMK Tudu piirkonna aheraineteede seireprogrammi aruanne vastavalt lepingule nr 3-1.5, väljastatud Paikusel 13. aprill. 2010.

Metsa majandamise juures mängib väga suurt rolli korralik infrastruktuur – kui teed pole korras või pole neid üldse, ei saa tegeleda metsa vääristamisega ja vajaliku väljaveoga. Metsa majandamise keskused on läbi aegade ehitanud tuhandeid kilomeetreid teid ja ehitus jätkub tulevikuski. Teede ehitamine ja nende pärastine hoole nõuab suuri kulutusi. Näiteks RMK kulutas 2009a. teede ehitamisele, remondile ja hooldele ümmarguselt 48 mln krooni. RMK avaldas arvamust, et teede hoolde, eriti kapitaalremondi peale kulutatavad summad on liiga suured ja tööd liigmahukad. Seetõttu on vaja leida viise, kuidas muuta teid vastupidavamateks ehk vähem hoolet nõudvamateks; samas ei tohiks ehitamise maksumus kujuneda liiga suureks.

Ida- ja Lääne-Virumaal kasutatakse metsateede ehitamisel väga laialdaselt põlevkiviaherainet ja kogemused on näidanud, et antud materjal õigustab end võrdlemisi hästi. 2000ndate aastate alguses pakkusid projekteerijad välja kasutada geotekstiile ja teede olukord muutus velgi paremaks. Antud uurimustöö eesmärk oli monitoorida metsateid, milles on kasutatud nii geotekstiili kui aherainet ja selgitada välja, kui hästi on need vastu pidanud. Töö on esimeseks etapiks lõppeesmärgile, milleks on töötada välja võimalikult optimaalsed ja lihtsasti valitavad (soovitavalt tüüpsed) ajas hästi vastu pidavad teekonstruktsioonide lahendused. Enne töö teostamist kirjutatud planeeritav programm on lisa 1.

Töö läbiviimiseks vajalikku taustinformatsiooni jagasid aastaid metsateid projekteerinud Peeter Lond; RMK ametnikud Ain Saapar ja Madi Nõmm; AS Elkarin juhataja Eldur Lainjärv ning 6 aastat metsateid ehitanud kohalik kopajuht.

Tänuavaldused veel Sigrit Sillamäele kannatlikkuse ja abi eest töö valmimisel.

1. ÜLDISELOOMUSTUS JA TÖÖ KÄIK

Töö läbiviimiseks soovitas RMK keskenduda Tudu piirkonna metsateedele Lääne – Virumaal, kus on kasutatud laialdaselt aherainet ja mõningate teede all geotekstiili. Informatsiooni antud teedest jagasid RMK ametnikud Madi Nõmm ja Ain Saapar. Seireprogrammis vaadeldavad teed olid (vt. Pildid 1, 2 ja 3):

- Mihklimurru tee;
- Punkri tee;
- Soojaku tee;
- Semafori tee;
- Udriku tee;
- Kaukvere – Virunurme tee.

Töö alustuseks küsitleti mitmeid metsateid projekteerinud (sh ka need, mida oli plaanis täpsemalt uurida) Peeter Londi, kes andis mitmeid mõtteid ja häid nõuandeid töö läbiviimiseks, samuti kinnitasid tema kommentaarid planeeritava programmi õiget suunda. Täpsemalt antud jutuajamisest eraldi peatükis. Kommentaarid ja soovitused sai ka Ain Saaparilt.

Teise etapina tuli põhjalikult tutvuda ehituste projektlahendustega. Teid puuduvat informatsiooni oli antud uurimustöö läbiviimiseks piisavalt; küll oli puudu aga aluspinnaste omadusi puudutav ja konstruktsiooni valikuid põhjendav informatsioon (hiljem selgus, et kuna konstruktsioonid on valitud vastavalt kogemuslikule pagasile ja arvutusi ei ole tehtud, siis on loomulik, et antud info on jäetud välja). Vastavalt Hr. Londile olid konstruktsiooni tüübid ja paksused valitud vastavalt kohapealsetele oludele ja enda kogemustele.

Kolmandaks oli vaatlus – kõikide teede mitmekordne läbisõitmine, pildistamine ja nähtu kommenteerimine videosse ning samaaegne võrdlus projektlahendusega. Vaatluse käigus selgusid kohad, kus tee on säilinud eriti hästi, kus paistavad probleemid, kus võiks kaevata surfe, mõõta kandevõimet ja võtta pinnaseproovid. Kõik need kohad tähistati.

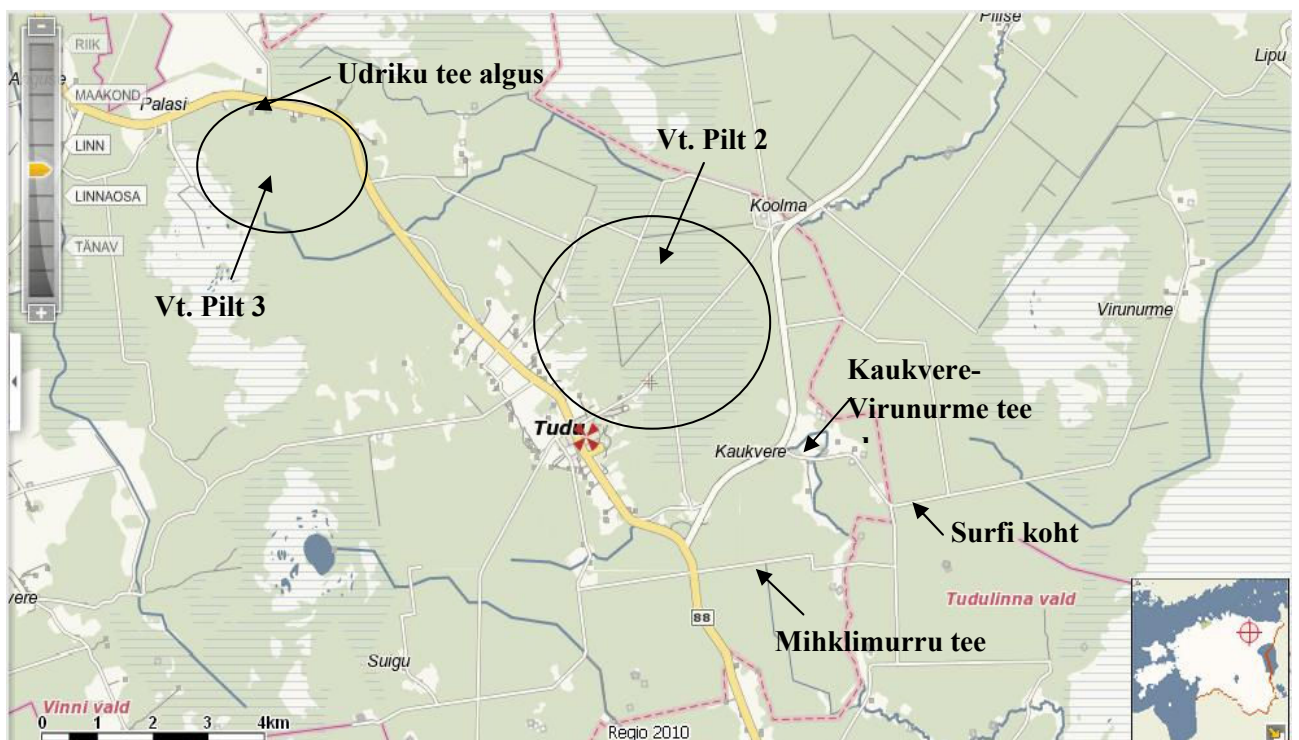
Neljandaks toimus surfide kaevamine saamaks teada, mis toimub teekonstruktsiooni sees ja all; samuti sai kolmest kohast võetud pinnaseproovid. Mõlemat temaatikat käsitleb eraldi peatükk.

Viiendaks mõõdeti kandevõimet FWD-seadmega; seda käsitleb eraldi peatükk.

Üldiselt sarnaste seireprogrammide teostamisel läbitakse kõik eelpool nimetatud etapid ning veel maaradari mõõtmised [2]. Viimast sellesse uurimistöösse ei kaasatud, kuna projektinformatsioon oli põhjalik ja täpne (seda näitasid ka kaevatud surfid) ning veelgi täpsem info teekonstruktsiooni all olevatest erinevate kihtide paksustest ei oleks andnud juurde informatsiooni, mis oleks olnud antud uurimuse juures oluline. Maaradar on kasulik, kui mitte hädavajalik juhul, kui vaadeldava piirkonna kohta pole usaldusväärseid andmeid ja on vaja koostada mitmekihilise katendiga tee rekonstrueerimisprojekt (eelkõige püsikatendiga teedel); sellisel juhul saab täpselt teada, mis kihid allpool asetsevad ning panna paika korrektne tööplaan.

Ilm uurimustöö läbiviimisel oli pidevalt kuiv ja väga palav. Nimetatud teedel ei kohatud ühtegi autot.

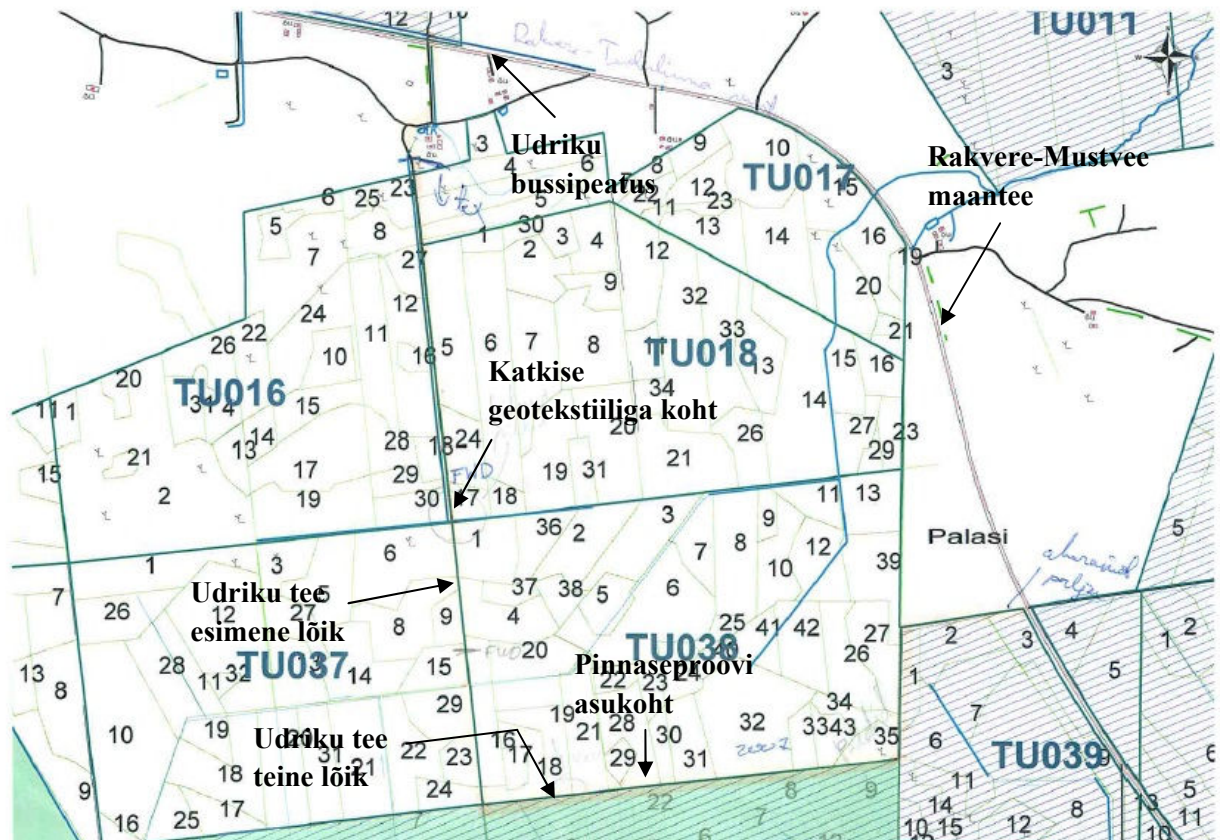
Töö lahutamatuks osaks on CD-l kaasa tulev galerii fotodest ja juurde kuuluvad märkused ja kommentaarid ning tehtud videod. Parema ülevaate vaatamiseks on soovitatav avada töö lugemise ajal galerii vastava tegevuse ja tee kohalt.



Pilt 1. Piirkonna üldkaart (Delfi kaardid internetist)



Pilt 2. Kaart Semafori, Punkri ja Soojaku teede asukohtadest



Pilt 3. Udriku tee asukoht

1.1. Projekterija Peeter Londi arvamused/kommentaariid

Tööd alustades suhtles autor Hr. Londiga, kellel on pikaajalised kogemused metsateede projekteerimisel ja järelvalvel. Siinkohal tema peamised kommentaarid:

- mulde ja katendi vahel peaks olema geotekstiil igal pool ja alati tagamaks teede head kvaliteeti;
- geotekstiil peab olema tugevamapoolsem, tõmbetugevusega 20...22kN/m;
- katendi paksus peaks olema vähemalt 40cm, I-klassi metsateedel 50 ja rohkem;
- optimaalne tee laius on 4,5m ning mulde laius 8m;
- pärast ehitust peaks tee seisma vähemalt aasta võimaldades järeltihnemist ja „paika loksumist“;
- peamine tegur, mis riku tee kvaliteedi on valel ajal ehitamine ning ehitaja lohakas.

2. UURIMISTÖÖ KÄIK

2.1. Teede iseloomustus

Punkri tee, Soojaku tee ja Semafori tee ehitati aastal 2002 (Semafori tee kahes jaos, esimene aastal 2002 ja teine 2003) sama metsaparandusprojekti raames pärast laastavat tormi, mis murdis suurel hulgal metsa. Vastavalt projektile pidi kõikide teede all mulde peal olema geotekstiil Typar SF-56 (sertifikaat Lisas 2), mis takistab materjalide omavahelist segunemist; selle peal on 35cm aherainet ja liiva, viimane täidab kulumiskihi ülesannet, kohalikust karjäärist. Metsatee konstruktsioon töötab põhimõttel:

- põlevkivikarjäärist veetud aheraine sisaldab mingil määral lahtisi saviosakesi, samuti kivi ise on kõrgema savisisaldusega kui kvaliteetne paekivikillustik. Osalt seetõttu on kivim nõrgem kuuludes madalamasse klassi (enamasti saab aherainest IV-klassi killustikku) ja seetõttu ei saa teda kasutada maanteed teekatendite ehitusel;
- aheraine puruneb looduses päikesevalguse, sademete ning sulamis-külmumistsüklite tagajärjel. Sama juhtub ka teekonstruktsioonis ning liikluskoormus kiirendab seda protsessi; tulemusena vabaneb saviosiseid ja materjali terastikuline koostis muutub peenemaks;
- enne lagunemist on aheraine tühiklik (tühiklikkus on u. 40%). Uuritavate teede ehitustehnoloogia nägi ette, et teekonstruktsioonis on 20% liiva, mis moodustab kogupaksusest (35cm) 7cm. Liikluse ja ilmastiku koostööl osa liivast uhutakse aheraine vahele ja ülejäänud seguneb saviosakestega moodustades tugeva pealispinna. Protsess võtab aega paar aastat, kuid tulemusena jääb väga kompaktne ja suure kandevõimega tee;
- teekonstruktsiooni alla tuleb paigaldada geotekstiil, vastasel juhul „upuvad“ koormuse käigus aheraineosised pehmesse savi/turba pinda, mistõttu ei saa moodustuda ühtset ja tugevat katendit ning tee laguneb kiiresti;
- mulde materjalina kasutatakse võimalikult palju kohapealt saadavat materjali; uute teede puhul ehitatakse mulle tihti pinnastele, mis saadakse kõrvalt kuivenduskraavide kaevamisest. Mulde kõrgus oleneb niiskuspaikkonnast ja määratakse kas kogemuslikult või arvutustega vastavalt veetasemele kraavis. Niiskuspaikkondi on kolm; antud uurimuses vaadeldud teed asusid enamasti väga niisketel aladel ja sellest tulenevalt olid mulded kõrged.

Järgnevalt teede kaupa kõik vaatluste ja uurimiste kirjeldus (üldinformatsioon, surfide kaevamise avastused, tulemused).

2.2. Surfide kaevamine

Enamasti kaevati surfe kasutades selleks ekskavaatorit. Ideaalis oleks pidanud kaevama väikese, kopa laiuse ristlõike, kuid kuna kõikide teede äärtes olid sügavad kraavid, ei olnud see võimalik. Seega surfid kaevati lahti laiemalt, piki teed kaevates. Ka selline kaevamine täitis oma eesmärgi, oli võimalik näha aluse profiil, geotekstiili olukord, aheraine koostis ja tihedus erinevates kohtades ristlõikes.

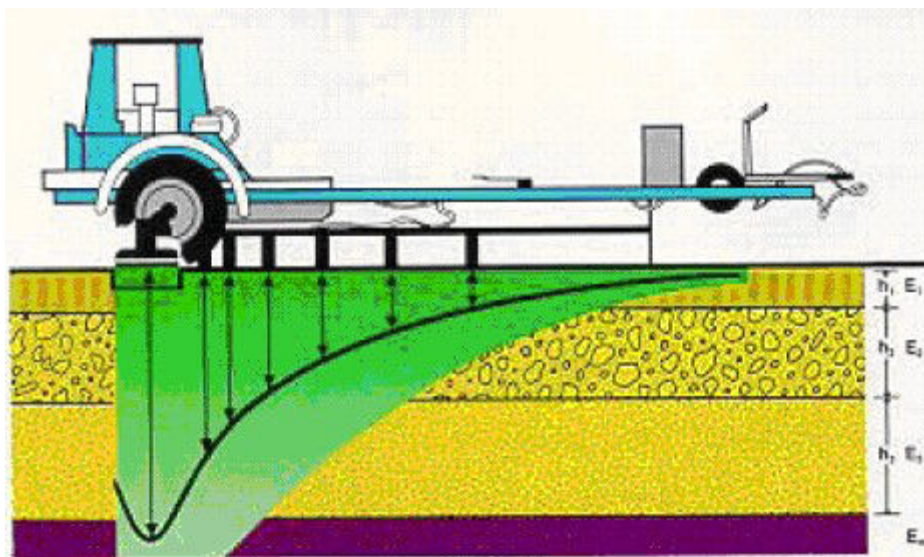
Otsustasime kaevata ühe surfi ka käsitsi – Punkri tee esimeselt lõigult (710m Sonda-Jõepeere teest), kus nii lähenedes sai veelgi täpsema pildi toimunust.

2.3. FWD-mõõtmised

2.3.1. Üldist [1]

FWD (falling weight deflectometer ehk langeva raskusega koormusseade) on seade, mida kasutatakse katendi kandevõime määramiseks ja seisukorra hindamiseks. FWD katsetulemusena saadakse katendi läbipainded teatud kaugustel koormuse tsentrist. FWD mõõtmisel rakendatud koormus, mõõdetud läbipainded ja katendi konstruktsioon moodustavad andmed katendikihtide jääkuste arvutamiseks. FWD võimaldab katendile rakendada lühikese koormusimpulsina koormust, mis on samaväärne nii suuruselt kui kestuselt veoki rattakoormusele. Koormusimpulss tekitatakse teatud massiga raskuse langetamisel 300 mm läbimõõduga ümmargusele koormusplaadile kinnitatud vedrusüsteemile (kummipuksidele). Katte läbipainet mõõdetakse piki teed reas paikneva 7 kuni 9 anduriga, millest üks paikneb koormusplaadi tsentris ja ülejäänud teatud kaugustel esimesest. Registreeritud andmed võetakse vastu protsessoriga, mis suunab informatsiooni edasi personaalarvutile.

Katse käigus langetatakse hüdroseadmete abil koormusplaat ja mõõteandurid (kinnitatud eraldiseisva lati külge) teepinnale. Seejärel tõstetakse raskused teatud kõrgusele ja mõõdetakse koormuse kukkumise tagajärjel tekkinud teepinna deformatsioonid. Kuna koormamise järel deformeerub teepind kausikujuliselt, siis nimetatakse tekkinud depressioonilehtrit vajumikausiks (Pilt 4).



Pilt 4. FWD-mõõteseade. Pilt Dynatesti brožüürist

Eestis kasutatakse praegusel hetkel ainult FWD 0-anduri (langeva raskuse keskmes oleva anduri) lugemit, mille alusel on võimalik arvutada katendi kevadine üldine elastsusmoodul, kasutades selleks A. Aaviku poolt doktoritöös "Teekatendite tugevuse hindamise meetodilised alused Eesti teekatendite hoiu süsteemis (EPMS)" 2003.a. leitud võrrandit ning mille väärtus on võrreldav Maanteeameti "Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi" (2001-52) alusel arvutatud väärtusega.

Eestis on kasutusel üks FWD-mõõteseade, tegemist on Taani firma Dynatest tootega (FWD 8000) ja töid teostab AS Teede Tehnokeskus.

2.3.2. Mõõtmised Tudu piirkonna metsateedel

Kandevõimet mõõdeti eelpool kirjeldatud viisil Udriku, Punkri, Soojaku, Semafori ja Mihklimurru teelt. Mõõtetulemused, -kohad ning ilmastikutingimused on esitatud tabelikujul teede kaupa lisas 3.

Mõõtekohad valiti visuaalsel vaatlusel vastavalt sellele, kus oli tee pind eriti heas korras, kus esines defekte ja kus oli geotekstiil katki, samuti mõõdeti kandevõime kõikides surfitud kohtades.



Foto 1. Kandevõime mõõtmine Punkri teel



Foto 2. FWD-mõõteaparaat, mõõtmine Udriku teel

2.4. Punkri tee

2.4.1. Üldisloomustus

Tee ehitati tinglikult kolme lõiguna; esimene lõik (975m) täiesti uue teena, mille aluspinnaseks on turvas/muld; teise ja kolmanda lõiguna rekonstrueeriti põhjalikult juba olemasolevat vana teed. Uus lõik asub niiskuspaikkonnas „3“ ja vanad lõigud „2“, mida oli näha ka visuaalsel vaatlusel.

Vastavalt RMK ametnikele oli selle tee esimene lõik kõige suuremat koormust saanud tee. Punkri tee ääres asub liivakarjäär (vt. pilt 2 ja fotod 3, 4), millest veeti materjali teistele ümbruskonna teedele. Esmasel visuaalsel vaatlusel tundus just selle tee esimene lõik (eriti PK 591+30 – 586+45, st 490-975m Sonda-Jõepeere teest) olevat kõikidest programmis olevatest geotekstiiliga teedest kõige viletsamas olukorras, seetõttu sai sellele pööratud üpris palju tähelepanu. Teel esines mitmeid vajumeid ja auke ning nimetatud pikettide vahemikus on tugevalt ära vajunud tee parem sõidujalg; seoses sellega tekkis kahtlus, et geotekstiil võiks olla purunenud. Teisel lõigul, mis ehitati olemasoleva tee rekonstrueerimisel, erilisi defekte ei täheldanud, kui välja arvata sõidujälgedes olevad kerged roopad, sama lugu kolmandal lõigul.

Kuna tee ehitamisest on möödas üpris palju aega, ei mäletanud keegi potentsiaalselt huvitavaid iseärasusi, mis oleks võinud määrata ühe või teise teguri tee vastupidavuses.



Fotod 3 ja 4. Liivakarjäär Punkri tee ääres

2.4.2. Konstruktsioon

Surfide kaevamist alustati Punkri tee **PK595** (110m Sonda-Jõepere teest). Esimeseks kohaks sai valitud kohe tee alguses olev ilus lõik (Foto 5). Tee pind sõidujäljes on väga tihe, isegi ekskavaatoriga oli tegemist saamaks kaevatud. Kaevamise käigus selgus tõsiasi, et aluspind on pisut roopas ja geotekstiil tee keskelt märgatavalt kõrgemal kui mujal; kaevamise käigus sai tekstiil tee keskelt vigastatud, mis sai küll tagasitäidet tehes parandatud.

Üldiselt oli pilt ilus, kuid tee paremas servas paljastus arvatavasti ehituse käigus purustatud tekstiil (Foto 6). Võib olla juhtunud, et materjali planeerides geotekstiilile on viimane olnud kortsus ja jäänud lihtsalt ette (seda näitas lisaks lahtistele tekstiilitükkidele rebenenud serv; veel pilte vaata CD-lt). Õnneks oli see juhtunud vaid tee peenras ega olnud kuidagi mõjutanud tee olukorda. Seoses selle avastusega ilmnes ka üpris üllatav vaatepilt, mida töö autor pole varem kuskil näinud ja mida ei esinenud ka muude surfide kohal, nimelt, kui geotekstiil polnud korrektselt maas ja seda ei ümbritsenud tihedalt pinnased, olid taimed hakanud juurduma väga kõvasti tekstiilile.



Foto 5. Tee pind ja profiil PK595 surfi kohas



Foto 6. Kaevatud surf ja katkine geotekstiil

Kandevõime nimetatud kohas oli 10m mõõtevahemaaga paremast rattajäljest **63 ja 56MPa**, mis osutab selgelt mulde nõrkusele (samas, üleniiskunud turbast ei saagi oodata enamasti) ja sellele viitas ka roobas aluspinnases. Katend ise või olla jäik ja tugev, aga kuna FWD-seade suudab registreerida kuni 1,5m paksuse kihi elastsusmoodulit, siis pealmine 35cm materjali tulemust suurel määral mõjutada ei saa. Selles valguses võib öelda, et tee on säilinud vaid tänu geotekstiilile, mis on hoidnud katendit „laiali jooksmast“. Kõik kandevõime tulemused on esitatud teede kaupa lisas 3.

Teine surf Punkri teelt kaevati umbes 200m eelmisest kohast edasi (**PK593+20**, 320m Sonda-Jõepere teeristist). Tee pind oli kohas samasugune ja kaevati kontrolli mõttes – kas ka seal on alus roopas, mis ulatuses ja mis seisukorras on geotekstiil. Kõik oli korras, alus oli isegi natuke vähem laines (siin olime ettevaatlikumad ja kõik jäi korda), geotekstiil oli mõlemast servast terve ning ühegi taime juur ei olnud kinnitunud selle külge – järelkult oli ta kõik need aastad töötanud väga korralikult. Kuigi tekstiili pinnalt ja äärtest vaadates oli näha, et paigaldamisest on möödas juba aastaid, ei olnud sel ühtegi defekti ega väsimuse ilminguid ning võib oletada, et materjal peab seal vastu veel aastaid (Fotod 7 ja 8).

Teekatend oli nagu eelmisegei surfi juures tihe, väga „sujuva“ terakoostisega ja visuaalsel vaatlusel moodustanud korralikult „kokku pakitud“ struktuuri, mis võiks taluda üpris suurt liikluskoormust hoolimata nõrgast alusest.



Foto 7. PK593+20 kaevatud surf



Foto 8. Geotekstiil oli tee all täiesti terve

Kolmas Punkri tee surf kaevati **PK591** (460m teeristist), mis visuaalsel hinnangul ja ka sõidetavuselt oli kõige kehvem koht üldse kogu uuritud teedel (50m ümber nimetatud piketi ära vajunud ja suhteliselt aukus). Enne kaevamist oletasin, et geotekstiil võiks olla purunenud. (Foto 9)

Lahti kaevates selgus, et geotekstiil oli täiesti terve ja alus samasugune, kui mujal. Järeldus, miks lõik võiks olla selline, oli materjali vähesus ja terakoostis. Teekate oli võrreldes teistega liivasem, seda kinnitas ka kaevamine - aheraine osakaal oli märgatavalt väiksem ja liiva osakaal suurem, kui mujal. Antud kohast sai võetud ka pinnaseproov ning seegi kinnitas liiva suuremat osakaalu. Liival ei ole nii suurt vastupanu nihetele ja ta on altim uhtumisele kui aheraine, kui viimast on vähe, ei saa moodustuda tugevat struktuuri. Lisaks sellele oli paigaldatud (või oli uhtumisest üle jäänud?) kihipaksus õhem, kui mujal – roopas 25-27cm ning tee keskel 20cm.

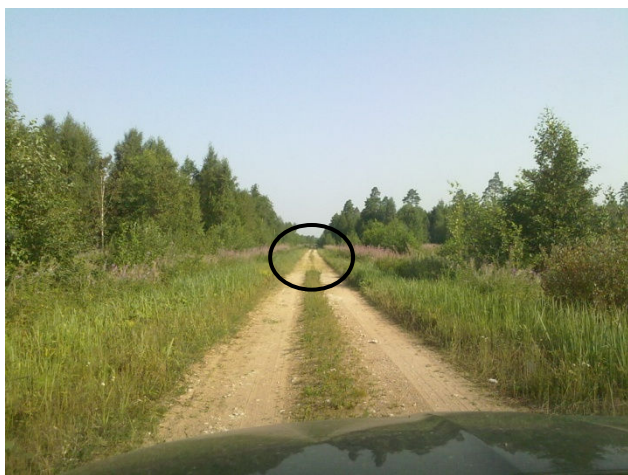


Foto 9. Ära vajunud u. 50m lõik



Foto 10. Kaevatud surf; teekatend on väga liivane

Võib vaid oletada miks ja kuidas selline terakoostis on sinna sattunud, kuid see näitab selgelt, kui tähtis on jäme- ja peentäitematerjali omavaheline õige suhe. Kui peent on liiga palju, ei saa moodustuda tugev struktuur ja konstruktsioon „jookseb laiali“, samas kui seda on liiga vähe, jäävad aheraine vahele suured tühikud, struktuur ei ole täielik ja võivad hakata tekkima järelvajumid, mis tekitavad auke ning sõidumugavus väheneb.

Neljanda surfi Punkri teelt kaevasime käsitsi, kuna tegemist oli eelpool kirjeldatud ära vajunud lõiguga. Otsustasime, et koht vajaks täpsemat lähenemist, kui seda võimaldaks kaeve ekskavaatoriga. Oletasime jällegi, et kuna lõik on saanud väga suurt koormust, siis võiks tee äärest olla geotekstiil rebenenud. Teine oletus oli, et kogu aluspinnas koos katendiga on koormuse tõttu lihkunud kraavi poole (aluses oli turbapinnas ning ääres sügavad kraavid).

Käsitsi surfi asus PK589, mis on 710m Sonda-Jõepeere teeristist. Selle surfiga sai paremini selgeks ka teekonstruktsiooni olemus, koostis, osakeste omavaheline paigutus, tihedus ja see, kuidas võibolla on toimunud materjaliosakeste teelt ära kandumine.



Foto 11. Tee parempoolne serv on ära vajunud Foto 12. Peenralt eemaldatud kasvupinnas

Kõigepealt raiusin taimed maha tee servast kuni kraavini uurimaks, kas on ilminguid aluspinnase väljasurumisest. Seda ei leidnud, samas vajum ei olnud ka nii suur; järelikut oli vaja hakata konstruktsiooni äärest alates lahti kaevama. Nii aheraine kui liiv olid kandunud päris kaugemale nõlvale, lisaks liikluse toimele võib olla, et see on seal juba ehituse ajast (Fotod 13 ja 14).



Foto 13. Teepeenar

Foto 14. Geotekstiil on leitud

Vastupidiselt arvamusele oli geotekstiil täiesti terve. Tekstiili otsa peal oli materjali vähem (u. 25cm ja serv ulatus kaugemale peenrassa), kuid sõidujäljes oli seda piisavalt (35cm). Kaevates edasi tee keskele paljastus paremini terakoostis ja materjali paiknemine. Sõidujälgede kõrval ei olnud materjal väga tihe, alguses pani isegi imestama, kui kerge on labidaga kaevata. Selgelt oli näha, et suuremad aherainetükid moodustasid toetava struktuuri ja kõik tühimikud olid täidetud peenema materjaliga (liiv ning savi). Savi oli isegi liiga palju – kõik aherainetükid olid sellest ümbritsetud. Siit võib leida osalise selgituse sellele, miks tee serv oli ära vajunud ja ka miks metsateed lähevad **roopasse**, kuigi aluspinnas on suhteliselt sile (Fotod 15 ja 16).

Ain Saapar rääkis, et Punkri tee sai väga suurt koormust – veeti metsa ja karjäärast liiva (karjäärast fotod 3 ja 4) – ning tee läks tugevalt roopase, kuid see õnnestus kergesti taastada. Võiks oletada, et kui suhteliselt õhuke materjalikiht (Punkri teel on seda maksimaalselt 35cm, kohati vähem) deformeerub tugevalt, siis sama juhtub ka alusega. Kuid näiteks antud kohas (tegelikult ka teistes kohtades) oli alus vaid minimaalselt laines. Kui alus oleks tugevalt roobastund, poleks tee taastamine olnud võimalik, kuna geotekstiil oleks tulnud tee keskelt välja (nagu oli juhtunud Semafori teel). Sellist nähtust tõenäoliselt tingibki suur savisisaldus – koormuse ja niiskuse mõjul hakkavad aheraineosakesed mööda savipinda, mis nende vahel on, libisema. Savil on omadus vett pikkamööda endasse sisse imada ja siis seda sealt mitte välja lasta ehk nimetatud „libisemine“ võib toimuda pikema aja jooksul.



Konstruksioonis on sees päris palju savi, mis paikneb aheraineosakeste vahel ja halvendab konstruksiooni nihkekindlust.

Foto 15 ja 16. Konstruksioon sõidujälje vahetult kõrvalt

Otse sõidujälje all oli materjal nii tihe ja kõvasti kokku pakkunud, et labidaga seda kaevata oli väga vaevaline kui mitte võimatu (vt. CD-lt videot Punkri tee kohta). Sõidujälje all tundus olevat rohkem liiva kui külgedel, kuid ei puudunud ka savi. Tundus, et suuremate ja peenikeste osakeste suhe oli erinev, kui ääres – sõidujäljes oli peent osist rohkem. Tee peal oli umbes 5cm paksuse kihina liiv, mida oli kerge ära kaevata ja mis tagab teele piisava tasetasuse ning sõidumugavuse. Selle all oli ülimalt tihe savi, liiva ja aheraineosakeste segu, mis tagab piisava tugevuse (nagu FWD-mõõtmised näitasid, on kogu tee elastsusmoodul koos muldega suhteliselt madal, kuid ometi tee peab vastu; arvutust ja väite põhjendust vaata peatükist 2.10). Geotekstiil katendi all aitab hoida tekkinud kooslust ühtsena takistades üheltpoolt selle „laiali jooksmist“ ja teiselt poolt huumuse ja saviosakeste sattumist konstruksiooni, mis muudaks ta veel rohkem vettpidavaks ja lõhuks tugevat struktuuri (Fotod 17 ja 18).



Foto 17 ja 18. Pealmine liiv (kuni 5cm) ja selle all olev väga kõva konstruktiivne kiht (u. 30cm)

Eelpool kirjeldatud kaevamine, mõõtmine ja uurimine ei andnud rahuldavat vastust sellele, miks üks tee pool oli rohkem ära vajunud kui teine. Vastuse andis alles geotekstiili serva kauguse mõõtmine sõidutee keskelt. Vahemaa tee keskelt kuni paremal ääres asuva geotekstiilini oli umbes 2,2m, samas kui vahemaa vasakul servas oleva geotekstiili ääreni oli 3,1-3,2m; ehk veokijuhid olid miskipärast kaldunud rohkem paremasse tee serva koormates seda rohkem. Võibolla oli vasakus servas mingi takistus või oli tee juba ehituse käigus mingil määral aluse vajumise tõttu paremasse serva kaldu, mis „tõmbas“ veokeid sinna poole ja raske vedu toimus tee tsentrist eemal, mis vajutas mullet veelgi rohkem kraavi poole kokku. Mõnemõttes võiks öelda, et tee ära vajumise on tinginud veokijuhtide psühholoogia...

Vaadates surfli kaevamise kohast Sonda-Jõepere tee poole (niipidi käiski nii metsa ja liiva väljavedu), siis ühes kohas on näha jõnksu, kus sõidujäljed lähevad tagasi tee keskele (Foto 19). Kaevasin ka sealt ääred lahti mõõtmaks geotekstiili paigutust seoses sõidujälgedega ning keskel ta oligi (Foto 20).



Foto19. Pilt uuritud kohast vaatega Sonda-Jõepere tee poole



Foto 20. Geotekstiili laius mõõdetuna PK593+20; sõidujäljed paiknevad võrdsetel kaugustel tee tsentrist ja mingeid vajumeid pole

Kandevõime sellel lõigul mõõdeti lisaks eelpool mainitule veel kuues erinevas punktis, sealhulgas kõikides surfitud kohtades ja keskmine tulem jäi **62MPa** ümber. Jällegi saab teha järelduse aluse nõrkusest, kuna katend oli äärmiselt kõva. Tänu geotekstiili separeerivale toimele ei ole

konstruktiivne kiht lagunenu ja on saanud töötada ühtse suhteliselt jäiga plaadina, mis on kandnud liikluskoormuse ühtlasemalt alusele. Tingituna suurest ja intensiivsest koormusest on läinud katend roopasse ja ka alus vajunud sõidujälgede all, aga vaadates tee hetkest seisukorda, on imestamisväär, kui hästi on ta vastu pidanud, eriti arvestades veel seda, et kohati kordades suuremate elastsusmoodulitega teedele (nt mõningad kõrvalmaanteed), on raske liiklusega tekitatud pöördumatuid kahjustusi, mida lihtsate hooldusmeetoditega (ainult greiderdamine) parandada ei ole võimalik.

Viies ja kuues surf Punkri teelt kaevati nendelt osadelt, mis ehituse käigus rekonstrueeriti vanast olemasolevast teest. Tinglikult koosneb Punkri tee kolmest pikast sirgest, millest esimene on täiesti uus lõik ja mida sai uuritud väga põhjalikult. Viies surf asus umbes teise sirge keskel ja kuues kolmanda sirge keskel. Kummalgi lõikul geotekstiile ei kasutatud. Nende jälgimine ei olnud otseselt antud uurimuse eesmärk, kuid võrdlusmomendi tekitamiseks sai kaevatud nimetatud surfid ja mõõdetud ka kandevõime.

Tee oli **viienda surfi** kohas (umbes 1,4km Sonda-Jõepere teest) heas korras, kuigi pealispind oli veidi kulunud ja pinnal huumust; esinesid kinnikasvamistunnused (Foto 21). Tee kõrval kraave polnud ja vesi jääb teele kergelt seisma. Huvitav oli see, et surfi kaevamise kohal oli tee ehitatud puuroigaste peale; materjali kihi paksus antud kohas oli u. 35cm (Foto 22). Kõikidest mõõdetud kohtadest oli just siin kandevõime kõige suurem (**96MPa**, kui muidu jäi keskmine tulemus 60...70MPa vahele).



Foto 21 ja 22. Punkri tee teine sirge; surfi kohalt oli tee rajatud puuroigastele. Antud kohas oli ka kandevõime kõikidest mõõtmistest kõige suurem

Kolmanda sirge peal kaevatud **kuues surf** (2km Sonda-Jõepere teest) midagi uut ja huvitavat ei näidanud (kaevamisest vaata CD-lt videot). Katend oli suhteliselt liivane ja alus üpriski kõva sisaldades arvatavasti mulla, savi ja paekivi segu.

2.5. Soojaku tee

2.5.1. Üldisloomustus

Soojaku tee oli vaadeldavatest kõige paremas seisukorras, seda nii visuaalsel hinnangul kui sõidetavuselt, kuigi niiskuspaikkond ja alus/muldepinnas on sarnaselt Punkri teega „3“ ning turvas. Esimesed 980m teest (algus Sonda-Jõepere teeristist) olid suurepärased, tundus, et selle puhul ongi läinud täpselt paika teooria, kus liiv ja savi on omavahel segunenud ning moodustanud tugeva pealispinna (Foto 23). Ülejäänud tee oli samuti väga heas korras, kuigi pealispinnal oli palju sõidumugavust mõjutavaid aherainetükke (Foto 24).

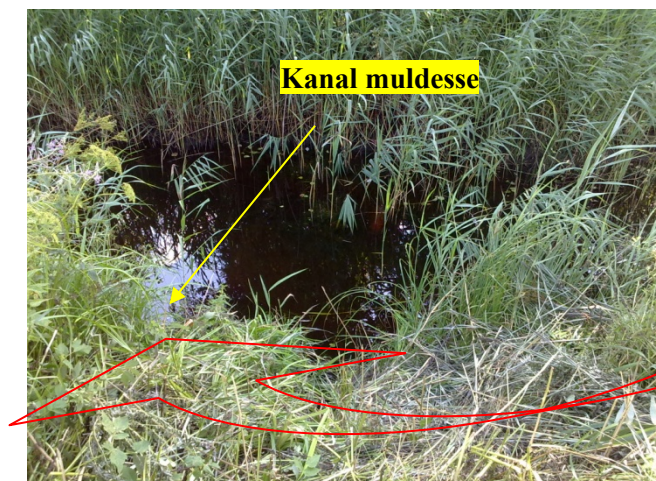
Võibolla Soojaku tee head säilimist ja seisukorda on mõjutanud ehitusaegne tegevus. Antud tee lõpus (vastavalt piketaažile) asus laoplat, kuhu toodi materjali poolhaagetega, mis viidi edasi väiksemate veokitega „traumeerimata“ nii all asetsevat turbapinnast.



Foto 23 ja 24. Soojaku tee esimese ja teise sirge seisukorrad. Mõlemad lõigud olid kogupikkuses sellised ning nendest kohtadest kaevati ka surfid. Foto 23 kohast võeti ka Soojaku tee pinnaseproov

Soojaku teel esines vaid üks defekt – PK305 juures oli tee vasakus servas (tulles Sonda-Jõepere tee poolt) üpriski suur lohk (sügavus 10cm) (Foto 25). Minnes mööda mullet alla kraavi poole (Soojaku tee äärsed kraavid olid vett täis (Foto 26), mis näitab kui niiske antud piirkond on – enne uurimustöö teostamist oli kuu/poolteist olnud põuda ja juba mitmendat nädalat äärmuslik kuumus –

üle 30°C) oli lohuga sama joone peal truubi sissekäiku meeutav vee sisenemine mulde alla (Foto 27). Truupi antud koha peal ei olnud, vaid, nagu hiljem selgus, oli tegemist arvatava kopra uuristusega. Nimelt kobrastele meeldivat uuristada turbast tee mulletesse käike, seda enam, et tegemist oli kõige veerohkema kohaga sellel teel. Lisaks kopra uuristamisele uhub ka vesi mulde materjali ära. Täielikku sissevarisemist selles kohas on takistanud vaid geotekstiil.



Fotod 25, 26 ja 27. Lohk tees, vett täis kraav ja kopra käik muldesse

2.5.2. Konstruktsioon

Soojaku tee oli kõikidest vaadeldavatest objektidest parimas korras, seega polnud ka kindlat huviäratavat kohta, kust võiks surf'i kaevata. Tee koosneb kahest pikast sirgest, otsustasin mõlemast kaevata ühe surf'i ja seda mõnes suvalises kohas.

Esimene surf kaevati Soojaku tee teisele sirgele 1,9km algusest. Mulle oli üpriski kõrge ning ümbritsevad kraavid sügavad, vasakpoolne kraav oli ka vett täis hoolimata põuast ja suurest

kuumusest. Juhuslikult sattusin peale täpselt kohale, kus oli kahe geotekstiili paani ühenduskoht, võibolla seetõttu leidis tee konstruktsiooni maetud geotekstiili pakkekile (Fotod 30 ja 31), mis on nüüd hoiul Tallinna Tehnikakõrgkooli Rajatiste õppetooli ruumides kui näitlikustav õppevahend.



Foto 28. Surfist avanenud pilt oli ilus



Foto 29. Tee ristlõige

Sõites Soojaku teel, on selge, et see on väga hästi säilinud (Fotod 28 ja 29). Arvamust kinnitas ka surf'i kaevamine, teekonstruktsiooni materjal oli ilus, liigselt purunemata ja hästi tihenenud; alus oli täiesti sile, mingit roobast ega vajumit ei olnud ning kui geotekstiil poleks olnud pinnalt savine, oleks võinud arvata, et tegemist on uue materjaliga. Nihutades ülekattet, paljastus valge, isegi määrdumata geotekstiil (kõik see on ülestähendatult videona CD-l) (Foto 30). Kindlasti on mõjutanud tugevalt tee head seisukorda konstruktsiooni paksus, mis oli surf'i kaevamise kohas 45cm.



Foto 30. Geotekstiil ülekatte all on nagu uus



Foto 31. Leitud geotekstiili pakkekile

Soojaku teelt sai kaevatud ka teine surf (Foto 32). Kuna tee selles kohas oli nii ilus, siis midagi huvitavat ei leidnud, lihtsalt tuli nentida fakti, et tee esimene sirge lõik (keerates sisse Sonda-Jõepere teelt) iseloomustab täiuslikku metsateed. Tee pind oli sile, pinnal ei olnud isegi aherainetükke ning konstruktsioon ise väga kõva (Foto 23).

Üllatuslikul kombel kandevõime väärtused olid väikesed, sai mõõdetud kahest kohast 10m vahega ning tulemused olid **58 ja 65MPa**. Ehk võib seda selgitada asjaoluga, et FWD-seade suudab registreerida kandevõimet isegi 1,5m paksusel kihil. Kui sooja tõttu katendis olev saviosake on ära kuivanud, muudab ta selle väga tihedaks ja kõvaks, kuid samal ajal alus võib olla nõrk. Tänu geotekstiili separeerivale toimele on katend püsinud tervikuna, aja jooksul on ta tihenenud ja moodustanud jäiga plaadi, mis kannab koormuseid efektiivselt alusele üle.



Foto 32. Soojaku tee esimesel sirgel olev surf

2.6. Semafori tee

2.6.1. Üldisloomustus

Semafori tee ehitati kahes jaos, esimene kolmandik teest ehitati aastal 2002 ja ülejäänud 2003 talvel (Pilt 2). Jutuajamises Ain Saapariga sai mainitud, et kõige viletsamas seisus on Punkri tee, siis tema oleks pakkunud Semafori teed. Kahjuks töö autoreil ei ole olnud võimalust näha ühegi tee seisundit pärast intensiivset vedu ega niisket perioodi, peale mida olekski võinud just see tee olla kõige raskemini läbitav.

Semafori tee keskel oli umbes 100m ulatuses lõik, kus sõidujälgede vahel oli näha geotekstiili tükke, mis olevat jäänud greiderdamisele ette; üldiselt tee oli heas seisukorras, kuid pealispinnal oli palju sõidumugavust häirivaid aherainetükke. Tee teine pool ehitati 2003 talvel ja ehituse käigus

võis juhtuda, et tuli lund ning järk läks kaduma, samuti suladega võis pealmine pind olla nii pehme, et geotekstiil sõideti tugevalt roopasse, mis mõjutas tekstiili tõusu tee keskel väga pinna lähedale.

2.6.2. Konstruktsioon

Seoses tee erinevatel aastatel ehitamisega, jagasin tee ka surfide kaevamise ja kandevõime mõõtmises suhtes kaheks. Eelkõige huvitas 2003 aastal ehitatud lõigu see osa, kus geotekstiil oli tee keskelt välja tulnud.

Kaevates surfi, selgus kohe, et geotekstiil on tee keskelt täiesti purunenud, alus on väga tugevalt roopas, nii et savine aluspind on tunginud geotekstiilist läbi. Sõidujälgede kohal oli samuti tekstiil katki, mitmest kohast rebenenud ja auklik (teravad aherainetükid on tunginud tekstiilist läbi). Visuaalsel vaatluse ning ka üritades tekstiili käte vahel puruks rebida, sai selgeks, et kasutatud materjal on selgelt nõrgem, muudel teedel ja on sellisesse kohta täiesti sobimatu (Fotod 33-36).



Foto 33 ja 34. Avanenud vaatepilt kaevamise vahepeal, geotekstiil on tee keskel täiesti lõhki paljastades savise aluspinnase. Vilets olukord on ka sõiduroopas, kus tekstiil murenes juba käte vahel ning oli aukus ja mitmest kohast lõhki

Kontrollimaks, ega avastatud koht pole juhuslik ja võibolla on sattunud vaid sellesse kohta miskipärast nõrgemat geotekstiili, kaevasime tee lahti ka eemalt. Geotekstiil oli sama ja kuigi nii suuri kahjustusi ei leidnud, oli ometi seal sees aheraine tekitatud auke (vt. videoid CD-lt).



Foto 35 ja 36. Aheraine on nõrga aluse peale paigaldatud ning antud kohta mitesobiva geotekstiili lõhkunud

Ain Saapar rääkis, et see tee olevat olnud kõige halvemas seisukorras. Vaadates tehtud pilte, ei ole siin midagi imestada, kuna geotekstiil lihtsalt ei tööta korrektselt. Kuna antud koht on sellises seisukorras, siis seda enam lihtsate viisidega hooldada ei saa, vaid tuleb teostada põhjalikum katendiehitus. Kõik see näitab, kui oluline on kasutada õigeid materjale ja ehitustehnoloogiaid.

Tõsi, umbes 300m enne näidatud kohti lahti kaevates oli tee all sama geotekstiil, ta oli suhteliselt nukras seisukorras, kuid ilma aukudeta ja rebenditeta (Foto 37). Olukorra, kus geotekstiil oli purunenud, võis tekitada väga ebasobivad ehitustingimused, näiteks oli niiske periood, muldes olev savi muutus voolavaks ning tee läks roopasse; geotekstiilil ei olnud piisavat tõmbetugevust ning purunes. Katendi paksust küll spetsiaalselt ei mõõdetud, kuid nagu piltideltki näha, seda ei olnud palju. Eks seegi tingis tekkinud olukorra, kuna suhteliselt nõrk geotekstiil pidi võtma vastu suuremat koormust, mis lubatud – kihipaksust, mis seda oleks pidanud hajutama, lihtsalt ei olnud.



Foto 37. Natuke eemal geotekstiil on küll terve, kuid nukras seisus

Kahjuks pole täpseid andmeid, mis tingimused seal ehituse käigus võisid olla, kuid Hr. Saapar arvas, et kuna ehitus toimus talvel, siis lumesajuga kadus tööfront käest ning ehitamist jätkati valet kohast jättes nii paigaldatud kihi paksuse antud kohas liiga õhukeseks.

Ilmekalt näitab tekkinud olukord, et kõik tingimused ja ajad ei sobi ehitamiseks, eriti kui on mitmete ebasobivate juhuste kokkusattumus. Olukorda oleks saanud vöibolla saanud päästa, kui oleks näiteks pehme savi peale, geotekstiili all paigaldanud ca 10cm liivakihi, mis oleks niiskust ajutiselt vähendanud ja muutnud pinna natuke tugevamaks – tekstiil poleks nii palju läbi vajunud ja tugevama aluse tõttu poleks aheraine seda augustanud. Ka kandev kiht oleks pidanud olema paksem soodustamiseks paremat pingete jaotust.

Vöibolla seda tehti, vöibolla mitte, aga talvistes tingimustes on alati väga oluline eemaldada uute kihtide ehitamiseks lumi ja jää. Selliste madala intensiivsusega metsateede ehitamisel pole lume sattumisel konstruktsiooni nii tõsiseid tagajärgi, kui maanteedel (lumi muutub konstruktsiooni sees jääks ning sulades tekivad vajumid), kuid on siiski oluline see eemaldada, kasvöi kontrollimaks tööfrondi asukohta ning ka teekonstruktsioon jääb kvaliteetsem. Lisavöimaluseks on ka frondi täpne märgistamine – vöibolla antud kohas veeti geotekstiilile peale mingi materjali hulk, öösel tuli lund ning hommikul seda koristades vaadati, et materjal on juba veetud kontrollimata selle paksust. Märgistamine oleks andnud teada täpse asukoha, kuhu eelmine päev jõuti.

Eelmist soovitus andes järgis Rajatiste öppetool oma seisukohta, tuginedes erinevatele geosünteedide kasutust kirjeldavatele vöörkeelsetele aruannetele; üheski Eesti Vabariigis kehtivas teede ehitust käsitlevas materjalis seda kirjas pole. Geosünteedika kasutamist Eesti maanteedel

ehitamisel käsitleb peamiselt vaid üks dokument, mis on ka suhteliselt pealiskaudne ning muud nõuded ja soovitusel keskenduvad enamasti vaid nn „traditsioonilistele“ ehitusmeetoditele (nt. tuleb eemaldada kõik savi, niiskele savile ehitada ei tohi jne). Geosünteeatika **korrektse** kasutamisega on võimalik mitmetest nõuannetest „mööda vaadata“, kuna nende eesmärk ongi võimaldada ehitada kiiresti, kõikvõimalikel aegadel ja igasugustesse kohtadesse kvaliteetseid teid, mis kestavad aastaid.

Teehoiutööde tehnoloogia nõuded kruuskatetele sätestavad, et talvel võib kruuskatteid ehitada mulletele, mis on valmis ehitatud ning vastu võetud enne külmade saabumist ja lumest puhastatud ning talvel ehitatud kruuskatted võetakse vastu pärast muldkeha ja aluse sulamist. Metsateede ehitus on küll kohati maanteede ehitamisest üpriski erinev ja geosünteeatikaga on võimalik nii mõnedki vead korvata, aga antud nõue kehtib ikkagi ka siin.

Mulletki võib ehitada talvel, kuid sellele on sätestatud omad nõuded, mida käsitletakse eraldi juhistes. Kokkuvõtlikult öeldes on oluline see, et mulle saaks ehitatud sulanud materjalidest, mis ei tohi sisaldada jääkamakaid ning uusi kihte ei tohi paigaldada lumele ja jääle (jääkamakad, lumi ja külmunud materjalid tekitavad sulades suuri järelvajumeid). Talvel ehitatud muldkehale võib teekatendit ehitada üksnes pärast muldkeha sulamist, tihendamist, planeerimist ja vastuvõtmist ning lumest puhastamist.

Eraldi surf kaevati ka 2002a. ehitatud lõigule uurimaks, mis tekstiiliga seal tegu on. Kõik oli korras, kasutatud materjal paistis olevat sama, mis teistel teedelgi (Punkri ja Soojaku), kihipaksus oli paras (~35-40cm). Geotekstiil oli terve, ükski aherainetükk ei olnud seda läbistanud, kuigi kivid olid väga nurgelised ja üpriski teravad.

Kandevõime näitas üllatuslikul kombel Semafori tee mõlemal lõigul kohati isegi suuremaid väärtusi, kui mujal, nt. purunenud geotekstiiliga kohal oli see 84 ja 80MPa, võrdluseks mõõdeti see ka tee keskelt, samast kohast ja tulemus oli 61MPa. Selles valguses võib öelda, et mõõdetud metsateede kandevõime sõltub otseselt muldest ning mitte niivõrd konstruktsioonist ega geotekstiilist (see on ka mõistetav, kuna FWD-mõõteseade suudab registreerida kuni 1,5m paksuse kihi elastsusmoodulit, seega 35cm paksune katend moodustab sellest vaid väikese osa ja tekstiili peamine ülesanne on takistada kihtide omavahelist segunemist).

2.7. Urdiku tee

2.7.1. Üldisloomustus

Urdiku tee on ehitatud aastal 2006, seega neli aastat noorem kui teised jälgitavad; ehitatud oli peamiselt savile; projektis oli geotekstiiliks ette nähtud Typar SF 77 või analoog (sertifikaat lisas 2). Eeldasin, et sellest teest saaks hea võrdlusmaterjali. Üldiselt oli tee heas seisukorras, värskest greiderdatud (seda näitas aheraine tükke täis tee pind), kui välja arvata üks koht, kus olid sees roopad, pind savine ja oli näha geotekstiili tükke (1,1km kaugusel Rakvere – Mustvee maanteest, kui Urdiku teele siseneda samanimelise bussipeatuse juurest). Isegi pärast mitmenädalast äärmuslikku kuumat (+30°C) ja intensiivset päikesepaistet olid roopad tees niisked; tee pind paistis olevat savisem kui mujal.



Foto 38 ja 39. Urdiku teele polnud üldiselt midagi ette heita, kui mitte arvestada ühte ~100m lõiku

2.7.2. Konstruktsioon

Eelkõige hakkaski huvitama koht, kus olid tees roopad ning ebatasane pind. Kui kogu tee tundus olevat hiljuti greiderdatud, siis ometi oli antud koht suhteliselt inetu. Võib arvata, et vihmaperioodidel võib seal isegi läbitavusega probleeme tekkida.

Kohe jäid silma mõningad geotekstiili tükid, mis olid tee peal ja kõrval – see andis märku, et tekstiil on puruks ja arvatavasti tekkinud probleem tingitud sellest. Surfī kaevamine kinnitas arvamust ning näitaks ka seda, et geotekstiil on seal maas kuidagi väga kaootiliselt. Sarnaselt Semafori teele oli tee keskel geotekstiil üles tõusnud ja alus tugevalt roobastunud. Hoolimata geotekstiili tugevusest oli ta kohati rebenenud (tekstiil oli märgtavalt tugevam Semafori tee omast). Surfī kaevates oli näha, et

alus on väga ebatasane ning oli raske hoida tekstiili vigastamata, lisaks paigaldatud aherainekiht oli suhteliselt õhuke (u. 20cm) (vt. kaevamist CD-lt).

Arvatavasti on antud kohas olnud materjali ladu (tee laiendus ja mahasõidud olid üpriski suured ja igal pool oli näha aherainet). Järelikult on seal olnud suur mittekanaliseeritud (masinad ei sõida ühes jäljes otse vaid erinevatesse suundadesse ja erinevates jälgedes) koormus. Võibolla on geotekstiil paigaldatud roopasse sõidetud pehmele savialusele ja üritatud kiiresti aherainet buldooseri peale lükata, mille tagajärjel tekstiil on läinud kortsu ja rebenenud. Või toimus paigaldus korrektselt, aga materjalikiht seal peal oli liiga väike, märjal perioodil muutus alus väga pehmeks ja geotekstiil ei suutnud koormusele vastu pidada, vajus roopasse ning buldooseri pinda siludes tekstiil rebenes. Juhtus, kuidas juhtus, aga arvatavasti roopad tees ja savine tee pind ongi tingitud sellest, et aluses olev savi on suurel määral katendisse sattunud (kui geotekstiil on katki, siis pole selles midagi imestada).

Kandevõime tulemused olid antud kohas kaheldava väärtusega, 58 ja 89MPa ning need olid võetud vaid 5m vahe tagant. Kuna tulemused sai teada alles tagantjärgi, ei olnud võimalik teha kontrolliks veel kolmandat mõõtmist.



Foto 38. Aluses on meeletu roobas ning kihipaksus olematu. Seetõttu sai geotekstiil kaevamise käigus ka vigastusi



Foto 39 ja 40. Tekstiil oli aluses väga kortsus ja mitmest kohast puruks. Purustanud seda ei olnud aheraine (ühtegi auku sees ei olnud) vaid puhtalt paigaldusviga. Suure roopa tõttu oli tekstiil tõusnud tee keskele ja arvatavasti greiderdamisega oli ta purunenud, alt tuli välja sinisavi

Kokku sai Udriku teelt kaevatud kolm surfi. Kaks muud kohta olid valitud juhuslikult (esimene 800m Rakvere-Mustvee maanteest ja teine Udriku tee keskelt, mille asukoht on märgitud pildile 3). Esimese surfiga avastasime tee sisse, sõidujälgede vahele maetud geotekstiili pakkerulli (plastikust rull, mille ümber tekstiil keritakse) (Foto 41). Kuna tegemist on vähemalt 5m pikkuse latiga, ei võtnud me seda välja; vajadusel on see sealt kättesaadav. Katend oli mõlema surfi juures korras, geotekstiil täiesti terve ja põhimõtteliselt nagu uus (Foto 42).

Kandevõimet mõõdeti vaid esimese surfi (800m teeristist) juures, tulemuseks 90, 76 ja 72MPa, kõik omavahelise kaugusega 5m. Kui Udriku tee muul moel ei erinenud kuidagi oma „eelkäijatest“, siis kandevõime oli küll umbes 10MPa võrra suurem. Arvatavasti tuleb erinevus muldkeha materjalist ja seal hetkel esinevast niiskusest, nimelt savi kandevõime on turbast suurem.



Foto 41 ja 42. Tee sisse maetud geotekstiili pakkerull. Tekstiil ise on nagu uus, kortsus ääre all polnud materjal isegi värvi muutnud; asukoht 800m Rakvere-Mustvee maanteest.

Udriku tee materjal tundus lahti kaevates üpriski savine, seetõttu sai sealt ka kolmas pinnaseproov võetud (Fotod 43 ja 44).



Foto 43 ja 44. Kolmas Udriku tee surf võetuna lõigu keskelt. Materjal tundus suhteliselt savine; geotekstiil oli laitmatus korras. Siit võeti kolmas pinnaseproov

2.8. Mihklimurru tee

Antud tee sai valitud võrdluse mõttes, kuna vastavalt Ain Saaparile oli see viimane selle piirkonna tee, mis ehitati ilma geotekstiilita, kuid muidu sama tehnoloogiat kasutades (st aherainet). Tee oli üpris nukras seisukorras, meenutas kohati pigem pinnas-, kui aheraineteed (Fotod 45 ja 46).

Otsustades tee pealispinna, ümbruskonna ja kraavi pervaelt kaevatud proovi järgi, on tegemist savika aluspinna ja suhteliselt niiske paikkonnaga (kraavides kasvasid niiskuslembesed taimed ja hoolimata põuast ning äärmiselt kuumast ilmast oli kraavis vett).

Tee pind oli tugevalt deformeerunud ja läbitavus sõiduautoga piiripealne. Arvatavasti on piirkonnas toimunud metsavedu, mis on surunud aheraine kihi savisesse alusesse. Pumpamisefekti tagajärjel on saviosake tõusnud tee pinnale ja teekonstruksiooni sisse, mis vähendab läbitavust niiskel ajal veelgi. Vajumise tagajärjel on tee pind vajunud kohati madalamale tee pervedest, mis muudab vee äravoolu võimatuks. Märkimist väärib veel fakt, et teed on hooldatud sarnaselt geotekstiilil olevate teedega ning koormus on olnud samasse suurusjärku.



Foto 45 ja 46. Mihklimurru tee oli tugevalt deformeerunud.

Mihklimurru tee tõestas veelkord, et ilma geotekstiilita teed on niiskusele rohkem altimad. Tee oli küll pikem, kuid kohe esimene lõik pöörates sisse Rakvere-Mustvee maanteelt kuni esimese kurvini näitas seda. Mahasõit ja sellele järgnev 250m oli heas korras, peale seda muutus tee auklikuks (kuigi, nagu kandevõime mõõtmise protokollist selgub, konstruktsiooni elastsusmoodul oli samas suurusjärgus). Umbes 100m enne sirge lõppu algas tormimurd ja muutus ka tee pind paremaks. Kahjuks pole andmeid hoolduse kohta, aga vaatlusel nähtus, et kui niiskust on vähem, on aluses paiknev savi tahkem ja ka tee pind ilusam.

Kandevõime mõõdeti kolmest kohast – 200, 500 ja 800m kauguselt Rakvere-Mustvee teeristist ning tulemused olid vastavalt 61, 84 ja 78MPa, kusjuures kõige parem tulemus tuli kõige viletsamast kohast teel. Tõenäoliselt on tegemist sellega, et savine pind ja alus on kuivades muutunud kõvemaks. Oleks mõõtmise aeg olnud niiske aastaeg, oleks tulemus tõenäoliselt hoopis teine. Veelkord näitab see seda, et kandevõime ei olene geotekstiilist ega niivõrd ka mitte katendist,

vaid alusest ja sellest, mis sellega on tehtud. Siiski tänu tekstiili separeerivale toimele on püsinud teised teed korralikus seisus hoolimata madalast kandevõimest.

2.9. Kaukvere – Virunurme tee

Kahjuks pole täpse asukohaga seonduvaid pilte, kuid töö teostajale ja RMK vastava piirkonna ametnikele on teada antud tee olukord enne rekonstrueerimise algust. Ehitamise käigus paigaldati geotekstiilile visuaalsel hinnangul alla 20cm aherraine kiht, mille peal liikusid rasked ehitusmasinad, geotekstiili servast oli näha ka sinna tekkinud auk.

Hilisema vaatluse käigus uuriti antud teel juhuslikult valitud kohas paigaldatud kihi paksust ja geotekstiili seisukorda. Vaadeldes tee seisukorda ja ümbruskonda, oli aru saada, et see on saanud suure koormuse osaliseks – lisaks ehitusmasinatele on teel toimunud ka metsavedu. Käsitsi oli surfi kaevata äärmiselt raske, kuna sõidujäljes oli aherraine muutunud väga tihedaks; materjalil tundus olevat väga „sujuv“ terakoostis alates kõige peenemast saviosakesest, mis toimivad sideainena, kuni suurte osakesteni välja, mis moodustavad katendi struktuuri (Fotod 47 ja 48). Geotekstiil oli hoolimata kartustest terve, ilma ühegi nähtava defektita, sobitunud aluse profiiliga. Tihenenud kihi paksus geotekstiilil sõidujäljes oli umbes 10cm, sama tulemus oli ka 200m edasi sõites.



Foto 47 ja 48. Aherraine sisaldab visuaalsel vaatlusel kõvasti saviosiseid

Projekteerimismid (maanteed ja metsateede projekteerimis- ja ehitusnormid) nõuavad vastavalt erinevatele andmetele kihipaksust geotekstiilile 20-30cm (ehk normid on üksteisega selles vallas vastuolus. Võrdle Põllumajandusministri määrusega vastuvõetud maaparandussüsteemi

projekteerimismääruste §27 lõik 5, Põllumajandusministri määrusega vastuvõetud maaparandussüsteemi ehitamise tehnilised nõuded §31 lõik 6 ning teede projekteerimise normid ja nõuded §3.6 lõik 7) [4, 5, 8]; tootjad seevastu väidavad, et kasutades korrektselt valitud materjali, piisab ka 10cm, mis on antud uurimuse valguses tõsi (Fotod 49-51). Selline tee ei saa küll kesta väga pikalt, kuna liikluse toimet teekate pidevalt kulub ja niiskel perioodil hakkab alus vajuma roopasse (separeeriv geotekstiil ei ole piisavalt efektiivne armeerimiseks, mis võiks takistada „roobastumist“). Igatahes näitab see, et projekteerija on valinud kasutamiseks piisavalt tugeva materjali.



Foto 49, 50 ja 51. Materjalikiht on õhuke (10cm), liikluskoormus on tõenäoliselt olnud suur ning aluspind väga krobeline ja karm, kuid geotekstiil on täiesti terve (vt surfi asukohta pildilt 1).

2.10. Kokkuvõtlikult uuritud teekonstruktsioonidest

Võib öelda, et teine tegur, lisaks ehituse ajal tehtud vigadele, mis mõjutab teede säilivust ja seisukorda, just nende halvenemist, on kandevõime (nii nõrk alus kui katendis sisaldava savi nõrgenemine niiskuse tõttu). Madalast kandevõimest hoolimata on teed püsinud hästi, kuigi alustesse on tekkinud kohati roopad ja vajumid. Kandevõimet oleks võimalik suurendada mitmete meetoditega, näiteks geovõrkudega, keemilise stabiliseerimisega, paksemate kandvate kihtidega. Kuna need tähendavad suuremaid ühekordseid väljaminekuid, on vaja teha majanduslik analüüs, mis käsitleb näiteks vajaliku hoolde ja kandevõime vahelisi seoseid.

Kruuskattega riigimaanteed kandevõimeks nõutakse vähemalt 120MPa mõõdetuna teekatte pealt Inspector II, Loadman või sarnase kandevõimemõõtmisaparaadiga (käsimõõteseade). Kahjuks pole ühelgi Eesti kruuskattega teel tehtud FWD-mõõtmisi, seega ei oska täpselt öelda, palju kogu konstruktsiooni kandevõime nendel on; nimelt käsimõõteseadmega mõõtes registreerime me mingi tingliku kandevõime mõõdetud kihi pealt paarikümne (kas sedagi?) sentimeetri sügavuses. Seega ei anna see seireprogramme tehes ja kogu teekonstruktsiooni uurides erilist adekvaatset informatsiooni. Samas on ehituse käigus tihendatud ehitusmaterjalide ja erinevate konstruktiivsete kihtide tihedusastmeid (olles väga täpne, ei saaks siin öelda, et mõõdetakse tihedust, kuid nii on see kokkuleppeliselt paika pandud) uurides see hetkel asendamatu meetod ja seal FWD-mõõtmisi tingimata vaja pole.

Kruusateede reaalse kandevõime saab mõningate ette antud tingimustega vastavalt arvutusmetoodikale arvutada (põhimõtteliselt vastab see FWD-mõõtmistulemile). Näiteks, Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis on kõige nõrgema käsitletava pinnase elastsusmoodul 23MPa (väga niisketes oludes olev savi, mis arvutusliku lihtsustusena on lõpmatult paks kiht), kui sinna peale ehitada looduslikust kruusast 0,5m kiht, siis elastsusmooduliks saadakse 79MPa (ehitades selline konstruktsioon ning mõõtes FWD-seadmega, tuleks sama väärtus), kuid aluspinnase nihkepinged ei jää lubatud piiresse ka täiesti olematu koormuse puhul ning tekivad suured roopad. Aga võtame reaalsema kruusatee konstruktsiooni – liikluskoormuseks on 50 raskeveokit päevas, aluspinnaseks on savi elastsusmooduliga 34MPa ning selle peale on ehitatud konstruktsioon, mis koosneb 50cm kruusast ning 10cm optimaalse terastikuga kruusliivast, sel juhul on elastsusmoodul 110MPa ja ka nihkekindlus on täidetud. Kuna antud tee ehitatakse otse savile, mille osakesed

tungivad kruusa halvendades selle omadusi, ei saa selline tee kaua vastu pidada; antud mõttekäik oli lihtsalt illustreeriv ega pruugi ühtida ühegi reaalse teega.

Kuna metsateedel kasutatakse geosünteeete, mis ei suurenda kandevõimet (teevad seda küll kaudselt, aga mõõtmise seda ei registreeri), siis on raske öelda, mis võiks olla/peaks olema mõõdetud kandevõime neid kasutades (kas piisaks 80, 90, 120MPa, oleks vaja isegi rohkem; või vastupidi, 60MPa on täiesti piisav) juhul, et metsateed peaks igasuguse mõistuse piires koormuse all (koormused, mida on reaalselt võimalik metsavedudel kohata) ilma suuremate probleemideta vastu vähemalt 15 või rohkem aastat. Teatud teoreetiliste arvutustega saaks seda määrata ning siis mõne reaalse katsega modelleerida, kuid see temaatika jääb antud uurimuse mahust välja ning on tuleviku teema.

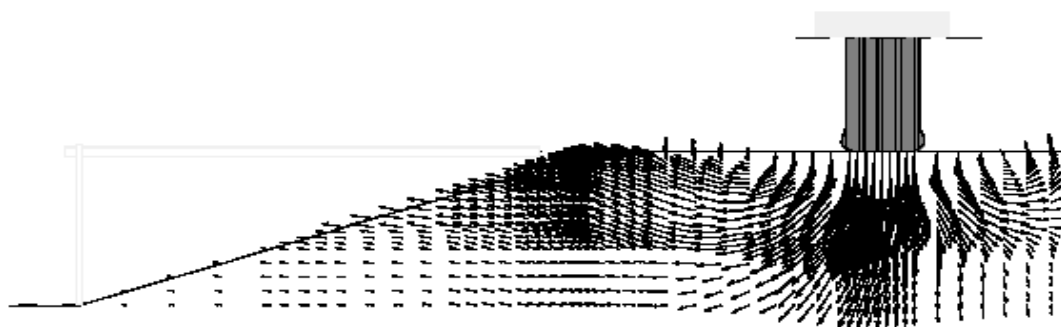
Kui geosünteedid suurendavad kandevõimet kaudselt, siis mida see tähendab? Taustast niipalju, et katendiarvutust kruusateedele tehes kontrollitakse elastset läbipainet (kui koormus sõidab üle tee, siis materjalid selle all deformeeruvad, kui elastse läbipainde kontroll klappib, siis tekkinud deformatsioonid taastuvad ja tee jääb endisesse konditsiooni) ning aluspinnase nihkekindlust (kas alus hakkab alt „ära jooksuma“/külgedele nihkuma niiet tekivad roopad või suuremad kahjustused). Lihtsustades saaks öelda, et kui materjalil pole kandevõimet, siis selle osakesed kas purunevad ehk ületatakse nende deformatsioonikindlus ning tee pind vajub ja/või nihkuvad külgedele. Kui vähegi võimalik, siis toimub kõigepealt viimane, kogu koormatud ala muutub tihedamaks, kuna ei tihene ainult otse koormuse all olev materjal vaid ka seda ümbritsev materjal (Pilt 5) ning siis hakkab pihta purunemine. Konstruktsioon nõrgeneb märgatavalt ka materjalide omavahelise segunemise tulemusel – tugevama ja jämedateralisema materjali (nt killustik) osad vajuvad nõrgemasse ja peeneteralisemasse pinnasesse (nt liiva). Armeeriv geosünteeet takistab kõikide nende protsesside teket järgmiselt [9]:

- eelkõige tagavad geosünteedid nihkekindluse. Geotekstiilid küll toimivad eelkõige separeerijatena, kuid läbi tekstiili ja selle peal oleva materjali vahel tekkiva hõõrdejõu toimele ei vaju materjal nii kergesti külgsuundades. Spetsiaalselt armeerimiseks loodud geovõrgud toimivad selle puhul märgatavalt paremini, nimelt lisaks hõõrdejõule lukustuvad pinnaseosakesed geovõrgu avadesse, mis viib järgmise omaduseni;
- kui pinnaseosakesed on lukustunud geovõrgu avadesse, on takistatud nende surumine külgedele ning seeläbi konstruktsiooni ületihenemine, mis lükkab edasi pinnaseosakeste purunemise (ja struktuuri rikkumise). Nii säilib struktuur, mis tagab uue tee hea vastupidavuse koormusele. Kuna geosünteedid on polümeerid, on nad venivad. Nad

töötavad pidevalt koos nende vastas olevate materjalidega dünaamilise koormuse vastu. Elastne katend on mõeldud koormuse all mingil määral deformeeruma ning koormuse eemaldudes taastuma; geosünteeet aitab pikendada seda protsessi märgatavalt tagades nii konstruktsioonile pikema eluea. Geosünteeete käsitlevates uuringutes on mõõdetud konstruktsiooni kandevõimet ja avastatud, et need on uuest peast isegi veidi numbrilise väärtuse poolest nõrgemad, kui muud. Põhjus võibki peituda nende elastsuses, aga nagu selgitatud, ei ole see sugugi halb. Miks tekivad maanteedesse pikiroopad? Üheks põhjuseks muude seas on ka see, et ehitusmaterjalid ei suuda taastuda koormusest piisavalt kiiresti, tekivad püsivad deformatsioonid, mis viib ka materjaliosakeste purunemisele. Armeeriv geosünteeet on justkui toetav abimees, mis võtab läbi oma jäikuse ja elastsuse osa koormust enda tasapinda.

- märkimata ei saa jätta ükskõik millise tees kasutatava geosünteeedi separeerivat toimet – tänu sellele püsivad kõik kihid koos ega lase neil laguneda ning omavahel seguneda. Näiteks ei saa peen saviosis tungida killustikku, kus ta hakkaks toimima kui määrdeaine terakeste vahel vähendades kandevõimet. Eelpool mainitud uurimustega on kindlaks tehtud, et armeerivaid geosünteeete sisaldavate konstruktsioonide kandevõime säilib ja isegi tõuseb aja möödudes, samas kui muud nõrgenevad. Geosünteedid aitavad säilitada pika aja jooksul olukorda, mis valitseb uues teekonstruktsioonis.

Kokkuvõtlikult geosünteedid aitavad väga suurel määral kaasa nihkekindluse tagamisel ning säilitavad konstruktsiooni tugevusomadusi. Eraldi küsimus on nende paiknemine konstruktsioonis, aga see on teine teema, mis kuulub järgmiste uurimistööde temaatikasse.



Pilt 5. Koormuse mõjul tiheneb materjal otse koormuse all ning külgedel [3:47]

Tulles tagasi veel FWD-mõõtmiste ja olemasoleva elastsusmooduli juurde metsateedel, siis tänu mõõtmistele on võimalik leida aluspinnaste elastsusmoodulid, kuna on teada katendi paksus ja selle

tugevusomadused. Läbi selle saaks teha täpsemaid arvutusi katendi elastsusmooduli määramisel. Näiteks kasutasin Punkri teel aluspinnase e-mooduliks 23MPa ja aheraine e-mooduliks 150MPa ning paksuseks 35cm, siis saadud arvutuslik tulemus oli sama, mis objektile mõõdetud (62MPa).

Üks küsimus lisaks vajalikule ja optimaalsele elastsusmoodulile on paigaldatava katendi paksus. Uuringus olnutel teedel oli projekteeritud see 35cm peale. Näha oli, et kui alla selle läks, siis muutus ka kohe tee seisukord ehk 35cm võiks olla minimaalne. Peeter Lond soovitas kasutada isegi 50-60cm (I-klassi metsateedel) ja vaadates Soojaku teed, kus kihipaksust oli 45cm, siis tundub soovitus olevat õigustatud. Paksem katend on õigustatud seda enam, et teele langevat liikluskoormust on väga raske ette ennustada ning enamasti on korraga teele langev koormus väga intensiivne, samuti ei saa kunagi ette ennustada järgmist kohta, kus võiks esineda tormimurdu ja kus hakkaks järsku vedu pihta. Samuti tee pind kulub, Hr. Lond ütles, et kuni 2cm aastas ja mis on ka täitsa reaalne. Mida kauemaks ajaperioodiks ja liiklusintensiivsuseks teed projekteerida, seda suurem peaks olema kulumisvaru. *Näiteks* projekteeritakse metsatee 15. aastaks ja uurimistöö tulemusena on kindlaks tehtud, et mingi teatud aluspinnase korral tee seisukord muutub järsult halvemuse suunas, kui katendi paksus peaks jääma alla 25cm. Arvestades vaid kulumist, peaks ehitades katend olema 55cm (see oleneb ka liiklusintensiivsusest). Seega 60cm katend tihedama liiklusega metsateedele on täiesti põhjendatud (tegelikult vajaks see jällegi majanduslikke arvutusi, võibolla piisaks ikkagi vähemast, seda enam, kui konstruktsioonis on armeeriv geosüntees, mis suurendab konstruktsiooni tugevust).

Tee eluea ennustamine või määramine võiks olla tuleviku teema – kust võiks olla piir, peale mille ületamist enam lihtsate hooldusmeetoditega enam hakkama ei saa, vaid on vaja teha katendi ulatuslik taastamine. Sellise lihtsama mudeli loomine ja piiride paika panemine aitaks paremini planeerida hooldusi, ehitamist ja seeläbi eelarve suurust. Veel mõningate seireprogrammide, korraliku projekteerimise ja ehitamise tagajärjel on võimalik ennustada ühe ja teise tee eluiga vastavalt saadud kogemustele ja analoogidele.

3. PINNASEPROOVID

Tulenevalt seireprogrammi ülesandest, mis oli teede hetkese seisukorra määramine, tuli täpsemate andmete saamiseks teha teekatematerjalist sõelanalüüsid ja filtratsioonimooduli mõõtmised. Töö telliti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Geotehnikalaborist.

Pinnaseproovid võeti Punkri teelt (460m algusest), Soojaku teelt (330m algusest) ja Udriku teelt. Punkri tee esimene lõik oli suhteliselt halvas seisukorras võrreldes teiste programmi kaasatud teedega, eriti kohast, kus pinnaseproov võeti. Sellega lootsin saada paremat aimu, mis on antud olukorra tinginud. Vastandina Punkri teele oli Soojaku tee parimas seisukorras tee, sealt võetud pinnaseproov pidi saama heaks võrdlusmaterjaliks ja aluseks nn „ideaalsele terakoostisele“. Udriku tee oli umbes viis aastat teistest teedest noorem ja saanud eeldatavalt väiksema liiklus- ja ilmastikukoormuse osaliseks. Seadsin hüpoteesiks, et seal olev materjal on säilinud teistest paremini (peenosiseid on vähem, kui mujal).

Sõelanalüüsiga määrati materjali terakoostis – alates saviosakestest maksimaalse terasuuruseni. Koos sellega määrati ka materjali plastsuspiirid (kuna teekatendites oli palju savi, siis sellega määratakse <2mm osiste terastikuline jaotus ning omadused, täpsemalt, kui lähedane savi omadustele see on). Samuti plastsuspiiride määramisega sai täpsustada ka materjali nimetust, sellest saab paljuski tuletada tema omadusi kasvõi hilisemate tööde jaoks. Veel määrati filtratsioonimoodul Udriku ja Punkri tee pinnastes. Kuna visuaalselt hinnates ja hiljem ka laboratoorselt kinnitatult nähtus, et materjalid on väga sarnased üksteisele ning filtratsioonimoodul jääb samasse suurusjärku.

Tulemused on esitatud lisa 4. Ka laborikatsed näitasid, et materjalid on väga „sujuva“ koostisega. Nagu teepinnastki ja surfi kaevates oli näha, et Punkri tee proovis oli enim liiva ning see kajastus ka pinnase nimetuses „väheplastne liivaga möllikas jämekruus“. Enim peenosiseid oli üllatuslikult Udriku tee proovis (10,5% ning nendest saviosiseid 9,7%), mis näitab, et seal kasutatud materjal pidi kohe alguses olema savikam kui teistel teedel. Võrreldes Soojaku ja Punkri tee pinda Udriku tee omaga, on nüüd tagantjärele mõeldes just viimane kõige savisem – seal oli mitmes kohas roopaid ning oli näha, et teekate on vett endas hoidnud.

Filtratsioonimoodulid näitasid väga väikseid väärtusi ($<0,02$ ja $<0,05\text{m/ööp}$ vastavalt Udriku ja Punkri tee; sisuliselt neil mingit erinevust pole), mis kinnitab, et materjal ja seetõttu ka teekonstruktsioon on vettpidav. Vesi ei tungi sinna küll kergesti ja kiiresti (pealt voolab lihtsalt kraavidesse, kui see võimalus on ning alt võimaliku kapillaartõusu katkestab geotekstiil), kuid drenib välja väga aeglaselt. Vee- ja savisisalduse tõttu on suurenenud oht roobastele ja see selgitab ka selle, miks aherainest ehitatud metsateede katenditega nii juhtub, samas kui alus püsib korras. Kuival ajal on savi kõva ning hoiab konstruktsiooni väga tiheda ja jäigana (tööd läbi viies tundusid käsitsi kaevates katendid olevat purustamatud), kuid niiskudes hakkab toimima määrdeainena.

Materjal liigitleti küll väheplastseks, kuid plastne on plastne, nimelt „plastne pinnas muudab välisjõudude mõjul oma kuju, ilma et temas tekiks lõhed. Pinnase plastseks nimetatakse tema omadust muuta välisjõudude mõjul oma kuju ja säilitada seda pärast koormast vabanemist. Teatud niiskuse piirides muutuvad kõik savid plastseks. Seega on pinnaste plastse oleku määramiseks vaja teada, millise niiskuse korral pinnas muutub plastseks või voolavaks“ (Ehituskonstruktori käsiraamat). Laborikatsetega määrati see piir – Punkri tee liivasel osal oli vastav veesisaldus 16,4% ning teistel umbes 24%.

Niiskuse, filtratsiooni ning nende seoste vahel metsateede vastupidavusega võiks uurida veel järgnevates töödes.

Kuigi aheraines on savi, mis muudab konstruktsioonid mingil määral teatud niiskuse ületamisel plastseks põhjustades roobaste teket, ei ole seda seal niipalju, et materjalist peaks metsateede ehituses loobuma. Metsateede juures on olulised eelkõige ehitamise kiirus, odavus, lihtsus; vastupidavus liiklusele, odav hooldada. Aheraine tagab kõik need tingimused, aga juhul, kui peetakse kinni ehitamise tehnoloogianõuetest. Niisketil perioodidel võivad roopad küll tekkida, aga nagu kogemused näitavad, on tee kergesti taastatav algsesse seisusse.

Vaadates nii surfide kaevamisega paljastunud konstruktsioonide olemust kui konstruktsiooni laboratoorselt mõõdetud terastikulist koostist, on näha, et katendites on moodustunud sellistele teedele hästi sobiv kooslus. Me tahame, et ehitamine oleks võimalikult odav ja ühelt poolt tagabki odavuse vähene materjali kulu. Tõenäoliselt tavaline, looduslik kruus ei peaks vastu nii, nagu on pidanud aheraine ja liiva segu, eriti nii väikeste kihipaksuste korral, mida uuringus olnud teedel on kasutatud (35cm). Kruusa terad on ümmargused ning ei saa moodustada sellist struktuuri, nagu esineb aheraines. Nimelt viimases on vastavalt proovidele kuni 16% veeriseid (osake, mis jääb 60mm sõelale) ning kuni 57% jämedaid osiseid (60...20mm), mis tänu oma nurgelisusele ja suurusele moodustavad väga toeka struktuuri, tagades kuival ajal äärmiselt vastupidava katte

(muidugi peab all olema geotekstiil takistamaks muude osiste sekka sattumist). Väiksemad osakesed täidavad kõik tühja ruumi, mis takistab vajumite ja aukude teket ning kuival ajal saviosis toimib veel kui efektiivne sideaine. Ehk, tahtes ehitada sama vastupidavaid teid kui aherainega tehtud kruusast, tuleks materjali kasutada rohkem.

Loodusliku kruusa koostis on enamasti peenem ja ühtlasem sisaldades kohati liiga vähe (või teise äärmusena liiga palju) savi ja rohkesti liiva ning vähem suuremat osist (ning kui neid on, siis oma ümara pinna tõttu ei moodustu toetavat struktuuri ning nad kipuvad tee seest pinnale tõusma). Kui kruusal pole nn „ideaalset“ terakoostist, mis on esitatud erinevates kruusateid käsitlevates dokumentides ja mis tuleb enamasti spetsiaalselt kokku segada, hakkab tee kiiresti lagunema. Liiva rohkus tekitab auke, kuna see uhutakse liikluse all kiiresti minema (seda näitas ilmekalt Punkri tee liivane lõik, kus oli ainukese kohana kõikidest teedest auke). Liivast ja kruusast pinda võib küll üritada saviosisega siduda, kuid see nõuab suuremaid hooldekulutusi ja rohkem tööd, ka kogu ehitusprotsess on töömahukam. Tõsi, sellised teed on mugavamad sõita, kuid metsateedel on muud eesmärgid.

4. JÄRELDUSED JA SOOVITUSED KOKKUVÕTLIKULT

- Peamine metsateede püsivust ja kvaliteeti mõjutav tegur on ehitamine. Ehitades kiiruga, ei muudeta tehnoloogiaid vastavuses ilmastikuga ja pinnastega, kipuvad teed liiga kiiresti lagunema;
- Teine püsivust mõjutav tegur on kandevõime ja geosünteedid. Kui viimast ei kasutata, on määravaks tähtsuseks aluse tugevusomadused ning tehnoloogiad selle suurendamiseks (nt Mihklimurru tee). Geosünteedid ei suurenda kandevõime numbrilisi väärtusi, vaid tagavad nihkekindlust takistades katendi täielikku lagunemist. Geotekstiilid on hädavajalikud hoides katendid koos: savine pinnas ei saa sisse tungida ja rikkuda struktuuri ning materjalid ei saa vajuda alusesse;
- Intervjuudest ja uurimusest selgus, et metsateed kipuvad koormuse käigus minema roopasse, kuid alustel pole eriti häda midagi. Tõenäoliselt põhjustab selle aherainega kaasa tulev saviosake, mis niiskudes muutub omamoodi määrdeaineks kandvat struktuuri moodustavate aherainetükkide vahel. Seda kinnitas ka laboratoorselt tehtud pinnase analüüs mis näitas, et materjalil on mingil määral plastseid omadusi. Samas täidab saviosake koos liivaga ka kõige väiksemad tühimikud moodustades väga tiheda ja tugeva konstruktsiooni kuival perioodil, mis toimib omamoodi kui plaat aluse peal. Savisisaldust on võimalik aheraines pestes vähendada, kuid sel pole suure töömahukuse ja kalliduse tõttu mõtet. Lihtsam on teed pärast vedusid lihtsalt üle greiderdada, sest tänu geotekstiilile ei juhtu alusega enamasti mingeid pöördumatuid protsesse.
- Oluline on kasutada õigeid geosünteeete – kui projekteerija on valinud mingi tugevusklassi, siis seda muutma ei peaks (näide Semafori teelt) ning järgida tuleb paigaldusjuhiseid;
- Antud vaatluse tulemusel tundub, et 35cm katendi paksust on vähemtähtsatel teedel piisav, kuid alla selle pole soovituslik. Tihedama liiklusega lõikudel võiks katend olla 50-60cm;
- Kui vähegi võimalik, peaks nõrgale alusele ehitatud tee aasta seisma, et kõigepealt saaks alus ühtlaselt vajuda ja tiheneda ning aherainest katend ilmastikukoormuse käes taheneda;

- Turbale ehitatud teedel tuleb jälgida, et seda ei koormataks liiga äkitselt. Koormates turvast ühtlaselt, tiheneb ja paindub kiht mingil määral. Aja jooksul tekib tee ja turba vaheline tasakaal ning liigsuure koormusega seda rikkudes võib mulle hakata tugevalt vajuma ja lagunema. Seetõttu, kui vähegi võimalik, tuleks teede ehitust planeerida nii, et suuremad veod hakkaksid pihta alles pärast tee mõningast seismist. Nõrkadele aluspinnastele ehitatud teedele kohe peale minnes võivad teed ja alused kergemini järele anda. On olemas erinevaid meetodeid, kuidas saada teed kohe alguses väga koormuskindlaks, kuid seoses nende suuremate rajamiskulutustega oleks vaja täpsemat majanduslikku analüüsi ja tasuvusarvutusi.
- Seoses metsa kuivendamiseга rajatud dreneažisüsteemile ei ole teede kuivana hoidmise kohta etteheiteid, kõik tundus toimivat hästi. Enamasti ongi vesi see, mis rikub suurel määral teid ja nende aluseid. Mõningates kohtades (Semafori ja Udriku tee) oli nende kohatine hakk seisukord põhjustatud üleniiskumisest, kuid seda põhjustasid ehitusaegsed vead.
- Täpsemat uurimistööd tuleks veel teha kandevõime ja hoolduse omavahelise seose väljaselgitamiseks ning niiskuse mõju paremaks hindamiseks.

KOKKUVÕTE

Kahjuks pole täpselt teada, palju liikluskoormust ühte ja teist teed on läbinud, kuid oletame, et näiteks Punkri tee on ühtekokku talunud liikluskoormust 50000t, see teeks umbes 1000 täislastis, kerge ülekoormusega autorongi (number võib täitsa reaalne olla, kui mitte rohkemgi), arvestades, et enamike ümberkaudsete teede liiv on veetud mööda seda teed pluss veel metsavedu. Katendiarvutuses kasutatakse 10t normtelgi, ehk 50000t = 5000 normtelge. Tee on küll seisnud kaua ja uurimuse läbiviimise ajal ei läbinud teed ühtegi autot, kuid aktiivse ehitustegevuse ning metsaveo ajal võis päevas läbida seda teed 20 täislastis autorongi, mis teeb koormusintensiivsuseks 80 normtelge/ööpäevas. Vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise normidele peaks sellise koormuse korral olema tee elastsusmoodul vähemalt 120MPa. Rakendades eelpool nimetatud kõige nõrgemat aluspinnast (kohapeal esinev turvas võib olla veelgi nõrgem) ja katendina aheraine ning liiva segu (mille elastsusmoodul võiks olla 150MPa), siis täitmaks elastse vajumi ja aluspinnase nihkekindluse nõuet, ei olegi võimalik antud teed arvutuslikus mõttes ainult aherainest ehitada (nt. 1,0m aherinekihi korral kogu konstruktsiooni elastsusmoodul on 97MPa, mis on ebapiisav ning nihkekindlus ei saa mitte ligilähedalegi nõutule), vaid peab kasutama muid meetodeid nagu näiteks stabiliseerimine või mulde ehitamist mõnest muust materjalist (kahjuks arvutused ei suuda arvestada geosünteedide toimet).

Punkri teel mõõdeti kandevõimeks keskmiselt 62MPa ehk poole väiksem väärtus, kui tegelikult oleks vaja olnud. Kuna antud tee on siiaaani suhteliselt heas korras, siis pidi geotekstiil seal konstruktsioonis olema see, mis korvas vajamineva puudujäägi (mitte küll täies ulatuses, kuna nii tee pind ja ka alus ikkagi läksid eksploatatsiooni käigus roopasse) nii, et kõik jäi kokkuvõttes püsima ja tee on siiaaani suhteliselt heas seisukorras.

Arvestades kohapeal nähtut, mõõdetud ja kogetud, teoreetilisi mõtisklusi ning arvutusi, siis võib südamerahuga öelda, et kasutatud tehnoloogia on end ära tasunud enam kui 100% ning siia tuleb veel lisada ehitamise lihtsus, kiirus ja odavus.

Tehtud töö ja avastatud avastused on suurepäraseks aluseks edasiseks tööks ning jätkatud suunda tuleks kindlasti edasi minna. Tähtsamad tööga leitud faktid on:

- tänu kandevõime mõõtmisele FWD-seadmega on rajatud alus katendiarvutusele;
- geotekstiil ei suurenda konstruktsiooni kandevõimet, kuid õigesti valitud ja paigaldatud materjal on metsateedel hädavajalik;
- suurim metsateede vastupidavust mõjutav tegur on ehitamise ajal saavutatud kvaliteet ja tehnoloogianõuete korrektne järgimine. Teine tegur on terve konstruktsiooni elastsusmoodul ning kolmas katendi toimivuse tagamine.

Hetkel tundub, et piisab vaid väikestest parandustest, mis võiks teha tehnoloogias ning rohkem polegi vaja. Olgu tehnoloogiaga kuidas on, kuid igatahes on vaja välja anda põhjalik, kuid samas lihtne metsateede katendeid ja nende ehitustehnoloogiaid käsitlev tänapäevane käsiraamat, mis teeks projekteerimise, ehitamise, järelvalve ja hoolduse hõlpsamaks ja lihtsamaks. See ongi üheks lõppeesmärgiks tööle, millele sai antud uurimusega tugeva aluse.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Aavik, A. 2003. Methodical Basis for the Evaluation of Pavement Structural Strength in Estonian Pavement Management System (EPMS). Department of Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tallinn Technical University.
2. Belt, J. Kolisoja, P. Alatyppö, V. Valtonen, J. Tierakenteen rappeutuminen ja kunnon ennustamine. Oulu, 2006
3. Belt, J. Lämsä, V. Savolainen, M. Ehrola, E. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä, 15/2002;
4. Elastsete teekatendite projekteerimisjuhend (2001-52). Eesti Maanteeamet. Tallinn, 2001;
5. Munro, R. MacCulloch, F. Turpeesta Aiheutuvien Ongelmien Hallinta Vähäliiknteisillä Teillä, tiivistelmä. Roadex III, 2006. [www.roadex.com; 24.04.2010];
6. Põlevkiviaheraine kasutusvõimaluste uurimine tee muldkeha ehitamisel, I vahearuanne. AS Teede Tehnokeskus. Tallinn 2009;
7. Põllumajandusminister. Määrus. Maaparandussüsteemi ehitamise tehnilised nõuded. [https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13160029], 21.09.2010;
8. Põllumajandusminister. Määrus. Maaparandussüsteemi projekteerimismõõdikud. [http://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=854517], 21.09.2010;
9. Sillamäe, S. Autoteede katendite tugevdamine geovõrkudega. Tallinn, 2009;
10. Teede projekteerimise normid ja nõuded. [http://www.mnt.ee/atp/?id=811], 21.09.2010;
11. Teehoiutööde tehnoloogianõuded [https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=756881], 21.09.2010;
12. TTÜ loengukonspekt „Geotehnika alused“;
13. Uurimuses käsitletud teede projektlahendused;

LISAD

LISA 1. Lähteülesanne;

LISA 2. Typar SF 56 ja 77 sertifikaadid;

LISA 3. Kandevõime tulemused;

LISA 4. Pinnaseproovide tulemused.