



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

GEOKÄRJE KASUTAMINE EESTI TEEDEEHITUSES

THE USAGE OF GEOCELL IN ESTONIAN ROAD CONSTRUCTIONS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Artjom Astreika

Üliõpilaskood: 204358 EAXM

Juhendaja: Andrus Aavik

Tallinn, 2022

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2022

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2022

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2022

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Artjom Astreika (sünnikuupäev: 20.09.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
GEOKÄRJE KASUTAMINE EESTI TEEDEEHITUSES,

mille juhendaja on Andrus Aavik,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh
Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni
autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna
kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni
autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka
autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Artjom Astreika, 204358 EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM15/18 Hooned ja rajatised
Juhendaja: Andrus Aavik, dotsent
Konsultant: Martin Kärner, EM Infra OÜ tegevjuht

Lõputöö teema:

Geokärje kasutamine Eesti teedehituses
The usage of geocell in Estonian road constructions

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade, mis on geokärg ja kuidas ta töötab.
2. Kirjeldada geokärje kasutamise eelised ja puudused.
3. Tõestada, et geokärge võib kasutada ka Eestis.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema valimine	25.01.2022
2.	Teoreetilise osa kirjutamine, andmete kogumine	07.03.2022
3.	96% valmis, lõputöö kaitsmistatoluse esitamine	09.05.2022
4.	Ettevalmistused kaitsmiseks, töö esitamine retsenseerimiseks	20.05.2022
5.	Lõppkaitsmine	01.06.2022

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 01. juuni 2022a

Üliõpilane: ".....".....2022a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....2022a
/allkiri/

SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. GEOKÄRG JA TEMA AJALUGU.....	9
1.1 Mõisted	9
1.2 Ajalugu.....	9
2. MAAILMAS GEOKÄRJEGA TEOSTATUD PROJEKTID	11
2.1 Koormuse ülekandeplatvormid vertikaalpostide jaoks, Manzanillo sadam	11
2.2 Tugevdatud tugiseina ehitamine Swansea linnas, Wales	12
2.3 Betoonist sadevee reservuaar. Londoni Gatwicki lennujaam, Suurbritannia	13
2.4 Neoloy geokärjega tugevdatud alus konteinerplatsile, Gdansk, Poola.....	14
2.5 Stabiliseeritud katendid biokütuse töötlemisele, turba aluskiht, Soome.....	15
3. EHITUSTÖÖDE TEHNOLOOGIA	17
3.1 Tehniline kirjeldus.....	17
3.2 Geokärje kirjeldus.....	19
3.3 Paigaldamisjuhend	20
3.4 Kitsenenud trapetsikujulised lõiked	21
4. EELISED JA PUUDUSED	22
5. PÕHILISED KASUTUSALAD	24
6. TURUHIND.....	25
7. TOUGH CELL GEOKÄRJE VÕRDLUS MUUDE MATERJALIDEGA.....	28
7.1 Neoloy Tough Cell geokärje võrdlus HDPE-geokärjega	28
7.2 Tough geokärje võrdlus geovõrguga.....	29
7.3 Tough Cell geokärje võrdlus keemiliste stabilisaatoritega	30
7.4 Tough Cell geokärje võrdlus geotekstiiliga.....	31
7.5 Tugiseinad	32
7.6 Hübridlahendus- Neoloy Tough Cell geokärjed kombineeritud geovõrkudega ..	34
8. KATSED	35
8.1 Neoloy Tough Cell geokärjed võrdlus HDPE geokärjed	35
8.2 Geokärgede elastsus (DMA)	37
9. EESTIS EHITATUD OBJEKTID GEOKÄRJE ABIL.....	39
9.1 Sõmeru ringristmik	39
9.2 Toila ristmik	41
KOKKUVÕTE	43
SUMMARY.....	45

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	47
LISAD	49
Lisa 1 Neoloy Tough Cell talaefekt	50
Lisa 2 Sõmeru ringristmik.....	51
Lisa 3 Toila ristmik	52

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

- MPa – Megapascal
- EVS – Eesti standardid
- WES – Waterways eksperimentaaljaam (ingl k Waterways Experiment Station)
- CBR – Kalifornia kandevõimeteguri määramine (ingl k The California Bearing Ratio)
- SIF – aluspinnase parandamistegur (ingl k Subgrade Improvement Factor)
- SIM – sammammuline isotermiline meetod (ingl k Stepped Isothermal Method)
- DMA – dünaamiline mehaanikaanalüüs (ingl k Dynamical Mechanical Analysis)
- HDPE – suure tihedusega polüetüleenpolümeer (ingl k High-density polyethylene)
- NPA – nano polümeeride sulam (ingl k Novel Polymeric Alloy)
- JLOTS II – sõjaväeõppus (ingl k Joint Logistics Over-The-Shore)
- 1 mph/mile per hour – 0.44704 m / s
- TKO – kogu omamiskulu (ingl k Total Cost of Ownership)

SISSEJUHATUS

Geosünteesilisi materjale kasutatakse teedehituses juba aastaid. Esimesi neist toodeti juba 60-ndate aastate lõpus Prantsusmaal. Tänapäeva geosünteesitika peamiste funktsioonide hulka kuuluvad: barjäär, drenaaž, kaitse, filtratsioon, ohjeldamine, pinnase erosiooni kontroll, eraldus, tugevdus. Eestis on tänapäeval kasutusel järgmised geosünteesid ehk geosünteesilised materjalid: geotekstiilid, geovõrgud, geomembraanid, geokomposiidid. Maailmas kasutatakse ka geokärje materjale, mis koosnevad NPA-st nano polümeeride sulamist.

Käesolev lõputöö käsitleb geokärje kasutamist Eesti teedehituses. Lõputöö autor annab põhjaliku ülevaate geokärje mõistest, materjali kasutusalaadest ning eelistest võrreldes teiste analoogsete materjalidega (geotekstiil, geovõrk, betoonseinad, keemiline stabilisaator). Töös on toodud näited projektidest ning katsetest geokärje kasutamisel. Töö raames autor hindab materjali kasutamise võimalusi Eesti teedehituses.

Viimase 25 aasta jooksul geokärg on ennast tõestanud paljudes projektides ning leidnud kasutust ligi 80 riigis. Seda kasutatakse koormuste jagamiseks terviklahendustes (teed, raudteed, konteinerterminalid, sadamad, lennujaamad), nõlvakaitseks, prügilates ja kanalite kaitseks. Geokärgedel on laialdane kasutusala, neid saab kasutada erinevates kliima- ja pinnasetingimustes: alates arktilisest tundrast ja turbarabadest kuni niiskete džunglite ja põuaste kõrbeteni. Tehnoloogilise lahenduse keskmes on pinnase stabiliseerimiseks mõeldud tugev ja vastupidav kärjesüsteem, mille täitmisel asutatakse kohaliku materjale (liiv, kruus, killustik, freesipur, lammutusjäätmed).

Magistritöö teema on aktuaalne ja suunatud tulevikku, sest tänaste arvutuste kohaselt jagub olemasolevate killustikukarjäärade ressursse kolmeks kuni viieks aastaks, mistõttu tuleks kiiremas korras kaaluda tänapäevaste insenertehniliste lahenduste kaasamist, mis võimaldaksid kasutada madalama kvaliteediga täitematerjale. Geokärge tuleb kasutada mitte homme, vaid täna.

1. GEOKÄRG JA TEMA AJALUGU

1.1 Mõisted

Geosünteesilised materjalid ehk geosünteesid on sünteesilised materjalid, mida kasutatakse maa ja vesiehitiste rajamisel. Geosünteeside toodetakse enamasti polümeerplastidest, näiteks polüpropüleenist, polüestrist või polüamiidist. [1]

Geosünteeside põhilisteks kasutusfunktsioonideks on filtreerimine, separeerimine, pinnaste tugevdamine ehk armeerimine, drenimine mööda oma pinda, vedelike ja gaaside liikumise tõkestamine ning nõlvade pindade kindlustamine. Paigaldatuna täidavad geosünteesid enamasti mitut eelnimetatud ülesannet korraga. [1]

Polümeerid on kõrgmolekulaarsed ühendid, mille makromolekulid koosnevad kovalentsete sidemetega seotud korduvatest struktuuriühikutest – monomeersetest lülidest. Polümeeride seas on nii looduslikke (näiteks merevaik, tselluloos, tärklis) kui ka sünteesilisi (peamiselt plastid) materjale. Polümeeride hulka kuuluvad kõik plastid, näiteks polüeteen, polüpropeen ning polüvinüülkloriid. [2]

Geokärjed on kolmedimensionaalsed kärjelaadsed struktuurid, mis on tehtud ultraheli keevituse meetodil polümeerist pressitud ribadest, mis sulatatakse kokku. Moodustub painduv 3D kärjstruktuurne materjal, mis laiendatakse kohapeal ja täidetakse pinnase või täitematerjaliga. [1]

1.2 Ajalugu

1970-ndate aastate lõpus Presto koos WES USA armee inseneriüksusega leiutas tehnoloogia, mis on tänapäeval tuntud ruumilise geovõrgu nimetuse all. Kärgede või geokärgede varased rakendused koosnesid peamiselt stabiliseeritud liivateedest sõjaväesõidukite jaoks. USA Armeed inseneride korpus võttis ühendust Presto Product plastikutootjaga, et saada abi tugevama võresüsteemi väljatöötamisel, mis säilitaks tugevust suurte koormuste korral. Koostöös Steve Websteriga WES Presto's Gary Bach kavandas meetodi polüetüleeni-ribade keevitamiseks, et moodustada rakustruktuuri. Tulemusel saadud struktuur sai nimeks "Sandgrid" ning sõjavägi kasutas seda peamiselt maanteedel. Pärast erinevate vaigusegude katsetamist oli tuvastatud, et suure tihedusega primaarpolüetüleeni saab edukalt kasutada keevisõmbuse tiheduse, ühtluse ja konstruktsiooni tugevuse tagamiseks. [3]

1982. aastal inseneriüksus ehitas 5 m laiusega tee üle pool miili liivaluidete. Võred olid paigaldatud kaardiväelaste abil, täidetud liivaga ja kaetud bituumenemulsiooniga. Tee ehitamiseks kulus 25 töötundi mis omakorda tõestas, et katendisüsteemi saab ehitada kiiresti, kvalifitseerimata tööjõuga ning vastavalt standardile, mis käsitleb raske sõjaväetehnika vedamist. 1983. aastal Fort Storey Virginias läbi viidud õppuse raames ehitati Geoweb süsteemi abil liivateed, mida 100 erineva teljekoormusega masinad läbisid mitmeid kordi ning edukalt.[3]

Ameerika naftafirma vajab ligipääsu neljale puurimisobjektile. Nii ehitustehnika kui ka sobivate ehitusmaterjalide vedamine oleks keeruline ja väga kulukas. Suurte kulude tõttu ei olnud ka võimalik rajada asfaltkattega teed. Kõrbeliiva tõttu rehvidega sõidukid jäid kinni. Kaalutledes erinevaid lahendusi, naftafirma otsustas rajada katseteed Geoweb süsteemi alusel. Katse õnnestumisel ehitati 15-kilomeetrine tee, mis viis esimese puurimiskohani. Pärast Geoweb süsteemi paigaldamist ja esilaaduri abil kohaliku liivaga täitmist, katsetati süsteemi 40- ja 80-tonniste täismassiga veokitega. Tee toimis väga hästi, kui liikluskiirus oli 35 miili tunnis. Arvestades tingimusi tulemus oli suurepärane. [4]



Joonis 1.1 USA Armees Inseneride Korpuse katsetab Geoweb toodet Blandingis 1982.a [3]

Aastatel 1982–1995 ettevõtte Presto Products sai mitu patenti ühise numbri US 6296924 all. Dokument käsitles "vajadust pakkuda tõhusa ning täiustatud ruumilise võrgu struktuuri, mis suurendab liidese hõõrdenurka ehitusmaterjalides, nagu kivi". See tähistas Geoweb kärjesüsteemi saabumist turule koos kõikide tehniliste omadustega ning eelistega, mis võimaldasid edaspidiselt eristada antud toodet hiljem turule tulnud koopiatoodetest. Süsteemi abitooted olid ka patenteeritud, sealhulgas ATRA ankur seade, mis oli loodud paigaldusaega ja -kulude säästmiseks ning paneelide varrastega seotud probleemide kõrvaldamiseks. Tänu ATRA ankruile Geoweb paneelide ühendamine toimus kolm korda kiiremini. Ankrud olid ka kolm korda tugevamad kui vardad, mis tagas omakorda turvalisema ja pikemaajalisema koormuse ülekandmisega ühendust. [3]

2 . MAAILMAS GEOKÄRJEGA TEOSTATUD PROJEKTID

2.1 Koormuse ülekandeplatvormid vertikaalpostide jaoks, Manzanillo sadam

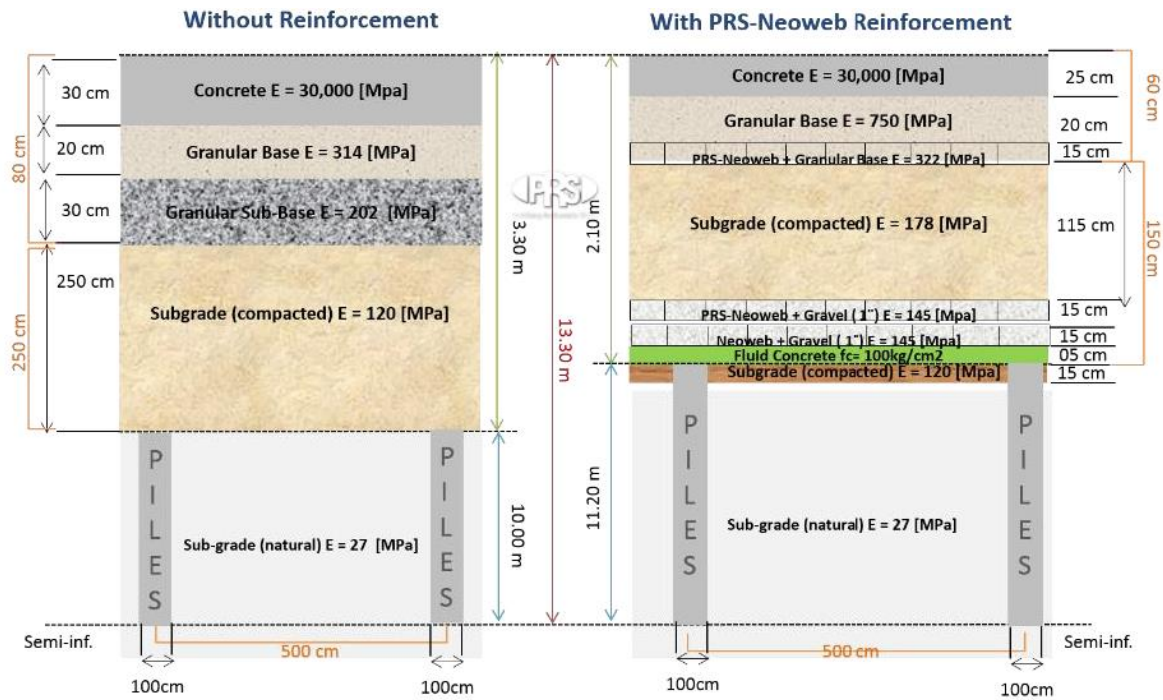
Manzanillo sadama multifunktsionaalne 150,000 ruutmeetriline terminal oli projekteeritud, et teenindada üld- ja puistlasti mahuga 2,5 miljonit tonni aastas. Töövõtja pidi ehitama viis platvormi suurusega 10,000 ruutmeetrit aasta jooksul keskkonnasõbraliku varustuse ja infrastruktuuriga. Ehituses pidi olema rakendatud kõrgeimad rahvusvahelised standardid eesmärgil ületada kavandatud läbilaskevõimet. Probleemiks osutusid objekti äärmiselt keerulised tingimused terminali platvormi ehitamisel. Pinnaseks oli küllastunud mudajas liiv CBR teguriga <2%, mistõttu ettevõtted Innovator ja Ancora Engineering otsustasid kasutada PRS-iga tugevdatud geokärje. [5]

PRS-Neoweb geokärjed olid valitud nende suurepärase koormuse jaotusmehhanismi tõttu. PRS-Neoweb-iga tugevdamine toimib jäiga madratsina, mis laialdaselt jaotab vertikaalkoormusi ja vähendab vajumisi. See tõhusalt talub rakendatud koormusi otseselt vertikaalpostidele. Esmalt, pärast aluskihi kaevamist, oli valatud 5 cm betoonist tööplatvorm, stabiilse vundamendi loomiseks. Kaks kihti PRS-Neoweb 330-120 (kõrgusega 120 mm) koos 12 cm killustikutäidisega oli paigaldatud otse tööplatvormile ja igat kihti oli tihendatud 3 cm lisatäitega. Samuti oli paigaldatud purustatud kruusast 115 cm kiht, mis oli pärast tihendatud (joonis 2.1). [5]

PRS-Neoweb 330-120 lisakiht on paigaldatud aluskihile, mis on täidetud teralise täitematerjaliga. 20 cm aluskiht on väga elastne PRS-Neoweb tugevdamise tõttu. Platvormi kattekihiks oli 25 cm tsemendist plaat. [5]

Eelisteks oli märgitud ka järgmine:

- a) kiire ja lihtne paigaldusprotsess – 4 nädalat, et paigaldada 10,000 ruutmeetrilist katendit;
- b) kulude kokkuhoid – vähendatud aluspinnase väljakaevamine, aluspõhi ja betoonkihid. [5]



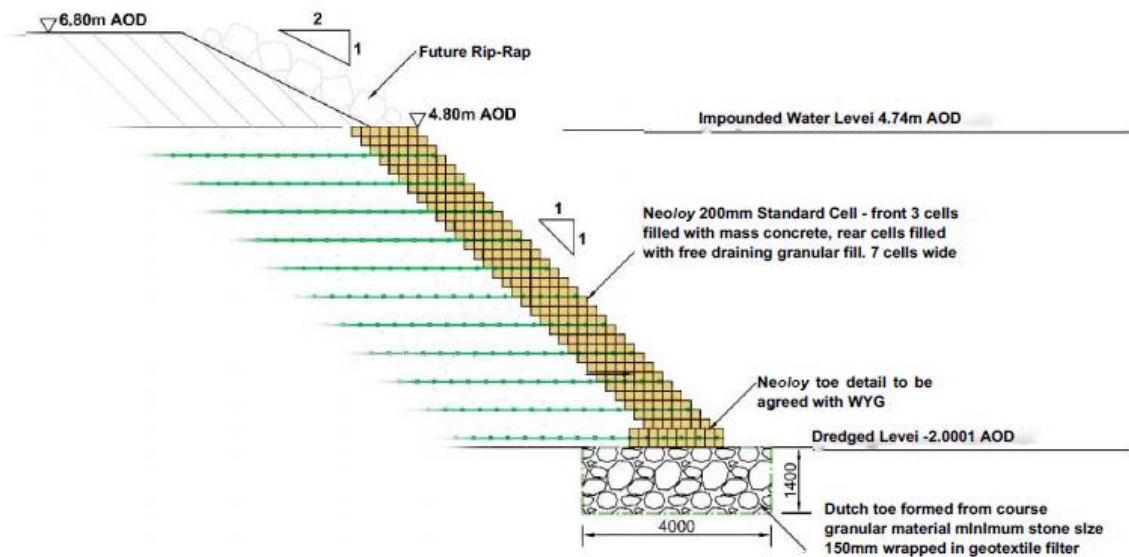
Joonis 2.1 PRS-Neoweb tugevdatud ja tugevdamata platvormi lõigete võrdlus [5]

2.2 Tugevdatud tugiseina ehitamine Swansea linnas, Wales

Tellija eesmärgiks oli tugevdatud nõlva kaitsmine üleujutuse piirkonnas. Sellepärast lahendus pidi olema vastupidav merevee korrosioonimõjudele. Üks käsitlevatest lahendustest oli kividega täidetud raudvõrgu kasutamine, mis varem purunes merevee korrosiooni tõttu. Teiseks lahenduseks oli monteeritavatest elementidest raudbetoonseina ehitamine. Valitud lahendus hõlmab tugevdatud tugiseina ehitamist, mis koosneb 200 mm Neoloy horisontaalsetest kihtidest (Joonis 2.2). Esimesed kärjed olid betooniga täidetud, ülejäänud kärjed olid täidetud madalama kvaliteedi täitematerjaliga. Neoloy oli edukalt kasutatud vastupidava ning esteetilise seina ehitamisel, mis oluliselt säästis tellija raha ja aega. [6]

Tellija kasu:

- Märkimisväärne aja kokkuhoid, umbes 50% võrra, ehitus toimus ühe etapina;
- Tugevdatud seina täiustatud vastupidavus ja paindlikkus;
- Esteetiline välimus, mis harmoneerub ja sulab maastikuga ühte. [6]



Joonis 2.2 Tugiseina konstruktsioon [6]

2.3 Betoonist sadevee reservuaar. Londoni Gatwicki lennujaam, Suurbritannia

Projekti eesmärgiks oli vaja ehitada sadevee reservuaari keskkonnaohutuks ladustamiseks, saastunud äravooluvee infiltratsiooniks ja ära voolamiseks lennujaama katenditelt. Kahekordsed selitustiigid koguvad äravooluvett lennujaama katenditelt, et vältida maa-aluste ja pinnavee reostamist. "Määrduvad" tiigid pumbatakse saastunud vett veepuhastusseadmesse, samas kui "puhas" veetiik on suunatud tasakaalustavatesse tiikidesse, et filtreerida ja juhtida vett kohaliku jõkke vastuvõetava keskkonnakvaliteediga. [7]

Tavapärase projekti kohaselt oli nõutud 200 mm raudbetoon. Lisaks kõrgele hinnale antud lahendus nõuab ulatuslikke töid raketisega betooni jaoks ja pikemat paigaldusaega. Suuremal määral korrodeerusid kütuse, jäätõrjevedeliku ja muude äravoolus leiduvate kemikaalide tõttu betoonis olevad terasvardad. [7]

Otsus langes Neoloy Geocell paigaldamisele ning selle täitmisele kuiva betoontäidisega (täitematerjal, 25 MPa) – aeglane kivistumine. Projekti kohaselt kasutati ka geotekstiili. Neoloy Geocell on suure tõmbetugevuse (16-22 kN/m) ning suure jäikusega materjal (500 MPa 60°C juures), mis sobib betooni pikaajaliseks tugevdamiseks. [7]

Ehitamise ajal olid märgitud järgmised eelised:

- Neoloy lisab tõmbetugevust – tugevdab betooni, peab vastu kõrgeid veepiire ning laine koormusi, toetab sõidukite juurdepääsu;
 - Painduv betoon – talub maapinna madalaid vibratsioone lennujaama tööst ilma põikipragudeta, tekivad ainult mikropraod (mikropragunemine);
 - Lihtne logistika ja kiire paigaldus – volditud, kergekaalulisi osasid avatakse objektile, raketisevaba;
 - Korrosioonivaba – keemiliselt inertmaterjal;
 - Kulutõhus – kiire ja tõhus ehitus ning tugev, pikaajaline, hooldusvaba lahendus.
- [7]



Joonis 2.3 Tormivee reservuaari ehitamine [7]

2.4 Neoloy geokärjega tugevdatud alus konteinerplatsile, Gdansk, Poola

Balticon'i konteinerterminali operaator laiendas laoruumi, et tagada Gdanski sadama töömahtude kasvu. Intermodaalse konteinerplatsi teekatte koormamine on äärmuslik – Reach Stackers'i tõstekonteinerite dünaamiline koormus konteinerite tõstmisel ja virnastamisel ulatub 1000 kN telje kohta. Objekti pinnase tingimused olid heterogeensed, küllastunud liivaga, milles oli palju 300 m sügavusega auke, mis tekkisid kohalikest vääriskivide kaevandamisest. Aluspõhja elastsusmoodul oli 40 MPa. [8]

Neoloy Geocell 330 120 C-kategooria oli valitud aluspõhja/aluskihi täiustamiseks. Neoloy abil oli loodud jäik homogeenne kiht kahjustatud loodusliku pinnase asemel. Täitematerjalina oli kohapeal kasutatud liiv, mis oli saadud sadama süvendustöödest ja hüdrotehnilistest ehitustest. Kuigi projekti eesmärgiks oli 120 MPa, Neoloy

stabiliseerimine parandas aluspõhja moodulit enam kui 6 korda 40 MPa-lt 250 MPa-ni. Neoloy SIF oli kontrollitud staatilise plaadi katsega. Neoloy komposiitsüsteem moodustab pooljäiga madratsi, mis toimib plaadiga sarnaselt. Plaadiefekt vähendab vertikaalset survet ja neutraliseerib suhtelist vajumist, et tagada konteinerhoovi katendi töökindlust. Neoloy aluskiht toimib ka isekuivendava süsteemina. Kuigi esialgse projekti kohaselt oli nõutud 30 cm paksune C30/37 betoonalus, võimaldas kõrge Neoloy SIF betoonikihti vähendada 33% võrra. 10 cm betooni oli asendatud kohaliku liiva kihiga Neoloy kihi peale. Pinnakatteks olid 10 cm betoonist sillutuskivid 4 cm tsemendiga stabiliseeritud liivakihi peale. [8]



Joonis 2.4 Neoloy Tough Cell geokärje kasutamine konteinerterminali ehitamisel Poolas [8]

2.5 Stabiliseeritud katendid biokütuse töötlemisele, turba aluskiht, Soome

Vapo ettevõtte vajab kulutõhusaid ja pikaajalisi kandvaid katendeid teedele ja platvormidele, mille kaudu toimub taastuenergia tarne. Nad leidsid lahenduse tootega PRS Neoloy Tough Cells. [9]

Turbarabadel tavapärane ehitus põhineb aluspõhja asendamisel, kuivendussüsteemidel ja samuti vajab palju kruusa. Peale suure kruusa koguse vedamise jätkusuutmatust kaugematesse piirkondadesse, selliste katendikonstruktsioonide kaal põhjustab lisavajumisi kivinemise ja roome tõttu. Vapo valik langes Neoloy tootele tänu selle võimele jaotada vertikaalkoormusi pikisuunas ja suurendada pehme, küllastunud

turbapinnase kandevõimet. Neoloy madrats "ujub" üle pehme pinnase ja tagab suurt elastsusmooduli parandustegurit kruusa- või asfaltkattega tee- ja hoovikatenditele. [9]

Lisaks Neoloy toimis erakordselt Soome keerulistes kliima külmutamise-sulatamise tsüklis ning ei olnud mõjutatud pinnaseniiskuse mahumuutuste poolt. Kuivendussüsteemid ja pinnase asendamine ei olnud vajalik. Vapo jäi väga rahule nii sillutamata kui ka sillutatud katendiga ning 13-aastase intensiivse kasutuse jooksul on teatatud ainult vähesest pinnakahjustusest. Hiljuti pinnapealne kruusakiht oli uuendatud, et tagada veel palju aastaid vastupidavat kasutamist. [9]



Joonis 2.5 Neoloy Tough Cell geokärje paigaldus turba aluskihile Soomes [9]

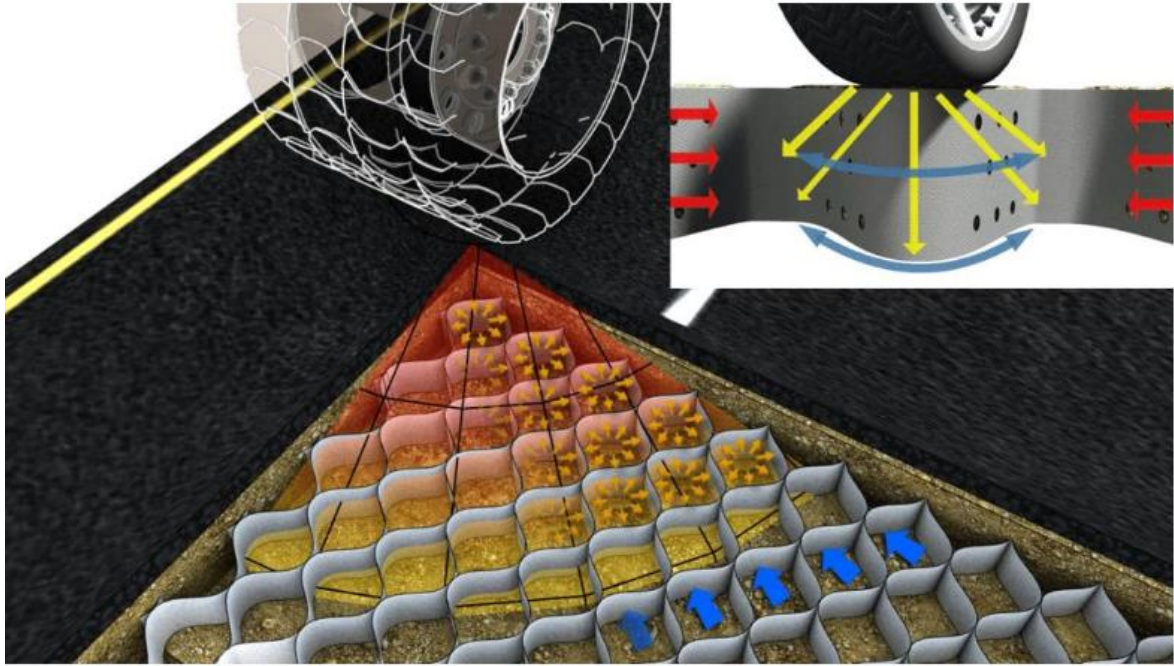
3 . E HITUSTÖÖDE TEHNOLOOGIA

3.1 Tehniline kirjeldus

Tough Cell on suure jõudlusega geokärg, mis on struktureeritud 3D kärgstruktuurina polümeermaterjalist. Tough Cell mahuline geokärg tagab koormuse võrdset jaotust, suurendab kattekihi tugevust ja tugevdab madala tugevusega täitematerjali ja kergelt saadavaid täitematerjale, nagu liiv, kohalik pinnas või taaskasutatud materjalid. Tough Cell geokärjed on valmistatud uuest polümeer sulamist nimega Neoloy. Antud materjal oli loodud spetsiaalselt geokärgede jaoks ning ta on paremad kui teised geokärjed või geovõrgu tooted. Tough Cell võimaldab ehitada vastupidavamaid teid, vähendades samal ajal kuni 60% projekti kogukuludest (TCO). [10]

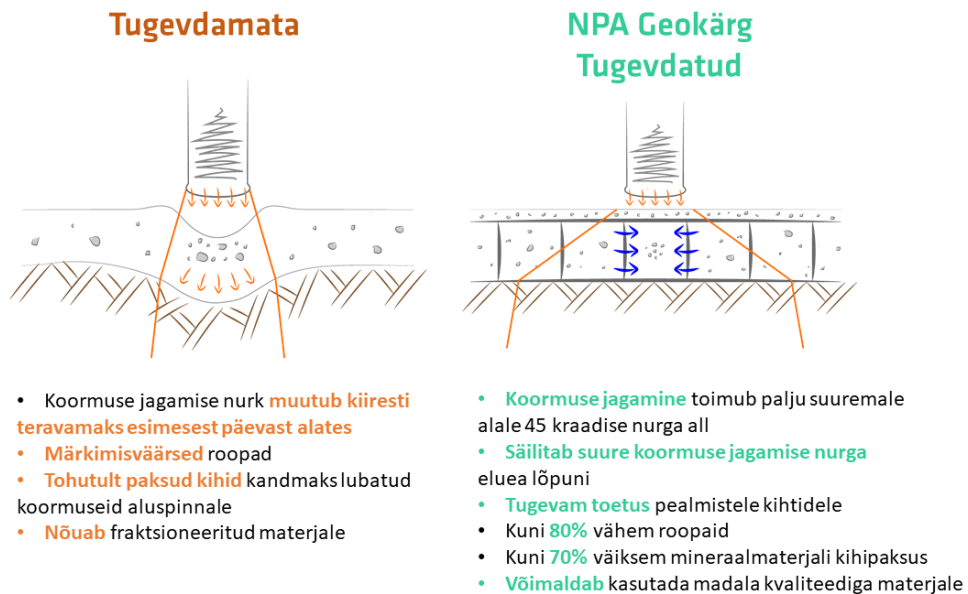
Tough Cell ribad keevitatakse kokku, et moodustada kärgstruktuuritaoline polümeerkärje lõik, mis on paigaldatud ja täidetud teralise täidisega, luues tugevdatud "liitmadratsi". Seda kasutatakse pinnase mitmekülgseks stabiliseerimiseks ja tugevdamiseks, sealhulgas kohaliku kattega ja katmata teedel, juurdepääsuteedel, raskeveoteedel, kaevandusteedel, raudteedel, konteinerit- ja rasketehnika tehastel, nõlvadel, kanalites, tugimüüridel ja haljastuses. Antud tehnoloogia on paljudes tööstusturu sektorites eelistatud valik, sealhulgas nafta ja gaasi, metsaraie, kaevandamise, sõjalise ja muude pinnase tugevdamise projektides, eriti pehmete muldade, turba, paisuvate savide ja igikeltsa puhul. [10]

Tough Cell on muustriline geokärgede struktuur, mis on loodud vertikaalkoormuse jaotamiseks suuremale alale, vähendades seega pinget ühes kohas ja maksimeerides konstruktsiooni kandevõimet. Antud mehhanism kannab nimetust "talaefekt". Geokärje peale vertikaalkoormuse rakendades moodustub pooljäik plaat pehme pinnase kohal, mis ühtlaselt jaotab koormust ja vähendab pinget aluspinnale. Antud mõju oli hoolikalt ja ulatuslikult testitud Kansase ülikoolis ja India tehnoloogiainstituudis Madrases. [10]



Joonis 3.1 Koormuse jaotus Neoloy Tough Cell geokärjele [10]

Joonisel 3.2 on näha tugevdamata ja tugevdatud lahenduste võrdlus koos eelistega.



Joonis 3.2 tugevdamata ja tugevdatud lahenduste võrdlus [11]

Tugevdamata lahenduse puhul, kantakse liiklusest tekitatud pingeid üle loodusliku aluspinnase vähendatud alale, mille tulemusena tekivad lokaalsed vajumised ja kiireneb katte olukorra halvenemine. Kolmemõõtmelise NPA Tough Cell geokärjega tugevdatud lahenduse puhul toimub pingete ülekandmine aluspinnastele tunduvalt sujuvama nurga all ning palju tõhusamalt. Tänu suurenenud võimele võtta vastu deformatsioone, on

võimalik jagada koormuseid palju efektiivsemalt ning suuremale alale, mis tagab tunduvalt väiksemaid kahjustusi.

Lõikamine. Samuti geokärge on võimalik lõigata ja pikendada vastavalt vajadusele. Standardse elemendi mõõdud on 2,5 x 8 meetrit. Ühendamine klambritega vastavalt paigaldusjuhiste. Näiteks: H=120mm materjali puhul tuleb kasutada 4 klambrit ühendamiseks.

Ülekate. Ülekate peab jääma 5cm. Nii kui kärg on täidetud võib hakata liikuma. Oluline on mitte liikuda täitmata materjalil ja mitte lasta täitematerjalil kukkuda rohkem kui meetri kõrgusest materjalile.

Materjali vahetus. Materjal on lihtsasti vahetatav. Näiteks, oli reaalne olukord, kus trassi remondi ajal tekkis vajadus kaevata teekonstruktsioon lahti ja geokärg oli kahjustatud. Sellisel juhul asendatakse materjal vajaliku suurusega uue geokärjega. Oluline on kasutada sama mudelit ehk nt. kui eelnevalt oli kasutatud 120mm kõrgusega kärge, siis uus peaks samuti olema sama kõrge ja sama kategooriaga materjal.

Tehnoloogia mugavus ja otstarbekus seisneb selles, et see töötab täpselt samamoodi alates projekti esimesest päevast kuni projekti eluea viimase päevani - ekstreemsetes ilmastikutingimustes (vahemikus -60c kuni +60c), igasuguste koormuste ja aluspinnaste tingimustes.

3.2 Geokärje kirjeldus

Materjal: Neoloy Tough Cell geokärg 330/120C

330- geokärje ühe seina laius. Suurused võivad erineda (tabel 3.1)

120- geokärje kõrgus. Suurused võivad erineda (tabel 3.1)

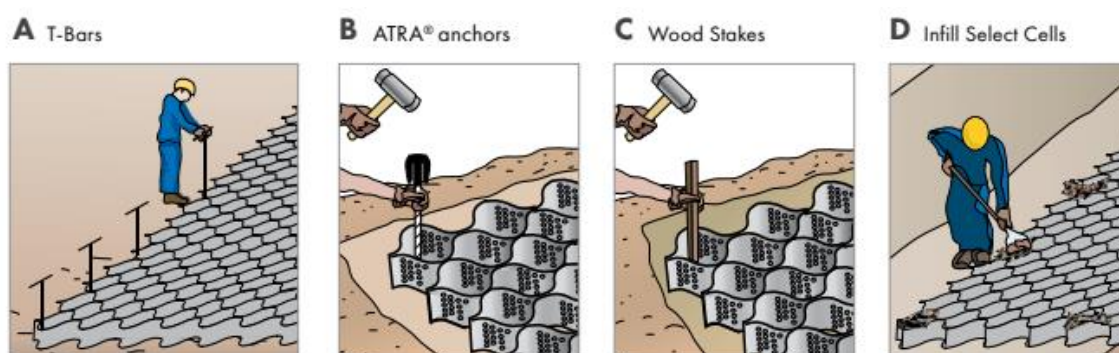
C- materjali tugevuse kategooria. Turul on 3 varianti - B, C, D. D kategooria on kõige tugevam.

Tabel 3.1 Geokärje võimalikud mõõtmed [autori koostatud]

Toode:	Neoloy Tough Cell geokärg
Geokärje ühe seina laius (mm):	-330 -356 -445 -660 -712
Geokärje kõrgus (mm):	-50 -75 -100 -120 -150 -200

3.3 Paigaldamisjuhend

1. Aluspinna ettevalmistus
2. Prahi ja kivide eemaldamine
3. Aluspinna tihendamine
4. Paigaldada geotekstiil (vajadusel)
5. Laiendada geokärje sektsioonid
6. Ühendada geokärje sektsioonid ATRA võtmetega
7. Ühendada geokärje küljed ja otsad kokku
8. Hoida sektsioonid lahti. Kasutada valikud A, B, C või D (joonis 3.3)
 - A. T-vardad
 - B. ATRA ankrud
 - C. Puitvaiad
 - D. Täita valitud välimised geokärje lahtrid
9. Täita geokärje lahtrid
10. Tasandada materjal
11. Tihendada materjal

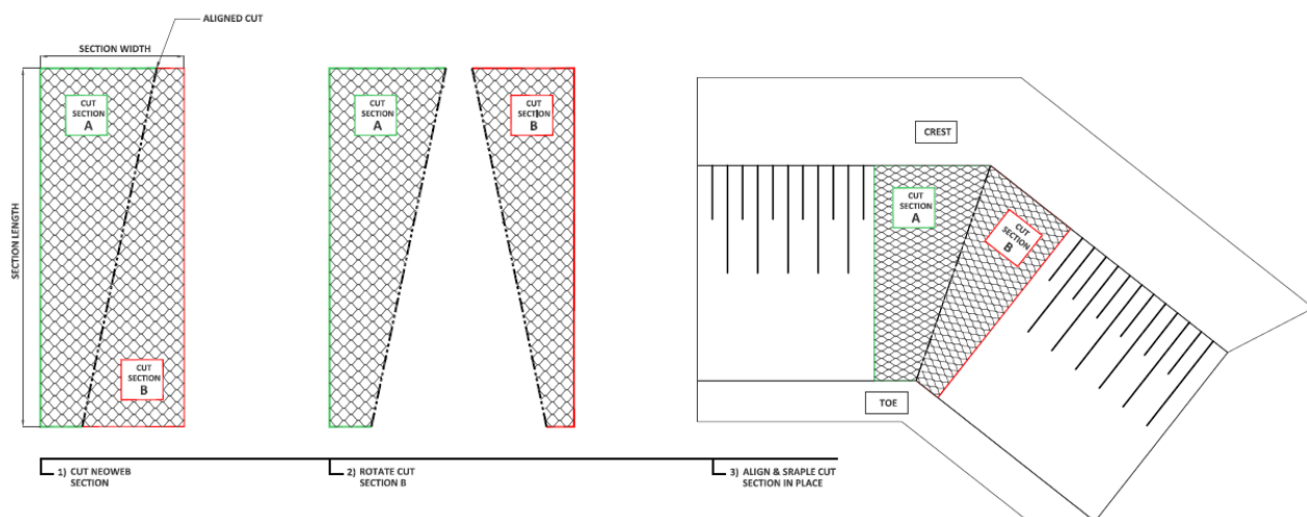


Joonis 3.3 Geokärje kinnitamise variandid [12]

3.4 Kitsenenud trapetsikujulised lõiked

Trapetsikujuliste lõigete jada on eelistatud meetod laiade kõverate või täisnurkade katmiseks. [13]

1. Laiendada ühe lõike kallaku kõvera alguses kõveral.
2. Laiendada järgmist külgnevat lõiget allapoole ja tõsta seda eelmise lõike üle niimoodi, et see kattuks üle ja osa sellest asetseks eelmise lõike peal.
3. Diagonaalselt lõigata ainult kattuva lõike osa tipul noa abil.
4. Joondada kahe külgneva lõike seinad ja kinnitada neid üks teisele (joonis 3.4).
5. Korrata toimingut, et tagada piisavalt kitsenenud lõikeid terve kõvera raadiuse katmiseks. [13]



Joonis 3.4 Lõigete koonusjas laienemine kõveral [13]

4 . EELISED JA PUUDUSED

Tänu suurtele ja mahukatele rahvusvahelistele uuringutele, Neoloy Tough Cell tehnoloogia eeliseid on tõestatud paljude maailma juhtivate ja tuntud teadlaste poolt (nt Jie Han, Giroud-Han, Sanat Pokharel). Neoloy Tough Cell geokärjed vastavad ka kõige karmimatele rahvusvahelistele geosünteesiliste materjalide nõuetele ja standarditele.

Neoloy Tough Cell kärje peamised eelised:

Tehnilised:

- Stabiliseerib teekatet probleemsetel pinnastel, nagu liiv, turvas ja savi.
- Võib pikendada teekatte eluiga - 2 kuni 5 korda
- Tugevdatud teekatte alus- võimaldab vähendada asfaldi ja aluskihi paksust kuni 40% võrra
- Vastupidav konstruktsioon dünaamilise elastsusmooduli, roomamiskindluse ja tõmbetugevuse omadustega garanteerib teekatte ühesugused näitajad objekti kogu ettenähtud kasutusea jooksul
- Võimalik korduvalt kasutada
- Ei teki korrosiooni
- Talub kõrget temperatuuri – 40°C kuni 85°C
- Ei ole biolagunev
- Erosiooni kaitse

Majanduslikud:

- Optimeerib projekti kulusid
- Lihtne logistika ja paigaldamine mistahes ilmastikutingimustel
- Vähendab ehitamise kapitalikulusid: vähendab kulusid asfaldile ning täitematerjalidele
- Vähendab remonti, seisakuid ja hooldust kuni 85% võrra

Keskkondlikud:

- Võimaldab kasutada rajatise täitematerjalina väheolulisi, kuid kohapeal olemasolevaid pinnaseid ja/või ringlusse võetud materjale (nt liiva ja freesipuru)
- Vähendab kaevandamist, materjali vedu, kütusekulu, reostust, süsinikujälge
- Roheline ja jätkusuutlik ehitusmeetod – vähendab keskkonnamõjusid

Neoloy Tough kärje peamised puudused:

- Mahukas käsitöö. Geokärje paigaldamine eeldab inimtööjõudu ja käsitsi paigaldamist, mis kahjuks ei saa konkureerida masina abil tehtud töö kiirusega.
- HDPE geokärjed ei ole vastupidavad ja jätkusuutlikud, mis on tõestatud erinevate uuringute abil nt SIM test (astmeline isotermiline meetod). Juhul kui on valitud valest materjalist geokärg, siis võib lihtsasti tekkida probleem projekteeritud konstruktsiooni vastupidavuse ja jätkusuutlikkuse osas. HDPE materjalist geokärge ei kasutata insenertehnilistes lahendustes kuna nad on pehmed, venivad ja ei pea koormusele vastu. Insenertehnilistes projektides kasutatakse NPA materjalist valmistatud geokärge.

5 . PÕHILISED KASUTUSALAD

Neoloy Tough Cell geokärje põhilised kasutusalaad on toodud allpool:

- Kattega teed - maanteed, linnateed, parklad;
- Katteta teed - juurdesõit, teenindus, asulavälised teed, metsateed;
- Raudteed - ballasti alused kihid, nõlvakaitse;
- Suure koormusega teekatted - konteineripargid, sadamad, terminalid, lennujaamad, kaevandusteed ja ajutised tööplatvormid;
- Nõlva ja kanalikaitse - kaitse erosiooni eest, nõlvakute, kanalite, kuivenduskraavide, veehoidlate, prügilate ja pealismullakihi stabiilsus;
- Pinnase püsivus - tugimüürid ja kombineeritud tugiseinad, müra ja ilutõkked ja merekaitserajatised.

6. TURUHIND

Standardne suurus Neoloy Tough geokärje elemendil on 2.5x8 meetrit. Kaal-26kg. Kõrgus-12 cm. Kärje materjali on võimalik lõigata lühemaks vastavalt vajadusele või pikendada järgmise kärje elemendiga katmaks suuremat pindala.

Keskmine geokärje 1m² hind Eestis ning lähiriikides on järgmine:

- Eestis-7-11 eurot;
- Soomes-10-11 eurot;
- Lätis-7-9 eurot;
- Leedus-7-9 eurot;
- Poolas-9-10 eurot.

Samuti tuleb arvestada, et hind sõltub kogu konstruktsioonist. Kui paigaldada geokärg konstruktsiooni sisse, siis on võimalik vähendada asfaldi ja aluskihi paksust kuni 40%.

Objektide näited, kus oli kasutatud Neoloy Tough Cell geokärg kulude vähendamiseks (vastavalt EM Infra OÜ andmetele):

1. Hea näide Neoloy Tough Cell innovaatilise insenertehnilise lahenduse eelisest, kus võimaldasime omanikul säästa ca 1 500 000 € võrreldes traditsioonilise meetodiga. Lähtudes geoloogilisest uuringust eeldas traditsioonilise meetodiga parkla-ladu konstruktsiooni rajamine turba ja muu ebasobiva materjali väljakaevet keskm 4,7 meetrit ja hiljem tagasitäitmist samas mahus. Sellise lahendusega oli projekti 12 000 m² ehituse maksumus ca 2 miljonit €. Innovaatilise Neoloy Tough Cell lahenduse kasutamise tulemusena sai elimineerida väljakaeve ja hilisema tagasitäitmise. Tänu optimeeritud tulemusele kujunes projekti maksumuseks 500 000 € ehk kogu parkla-ladu rajamisele kulub omanikul 1 500 000 € vähem ja tervikuna säästab oluliselt ka keskkonda ehk kokku hoida loodusvarasid.
2. Riigi Kaitseinvesteeringute Keskuse Rabasaare linnavõitlus linnaku teede konstruktsiooni projekteerimine. Projekteeritav ala asub rabas, kus turba kihi paksus on ca 2m. Neoloy Tough Cell lahendus sai elimineerida ebasobivat pinnase väljakaevet ja hilisemat tagasitäitmist. Neoloy Tough Cell konstruktsiooni vastupidavus on kinnitatud inseneride poolt tehtud arvutuste abil.
3. Kadrioru-Tondiraba uue kergliiklustee projekti raames 1:1 nõlva kindlustamise lahenduse väljatöötamine kasutades Neoloy Tough geokärge. Neoloy Tough geokärg tagab täitematerjali ja nõlva stabiilsuse ning tulevikus saab Tellija

rajada vastavalt soovile roheline nõlva, mis hästi sulandub keskkonda.

4. Märjamaa-Konuvere tee – selle projekti kohta EM Infra OÜ pakkus hinnavõrdlust kahe lahenduse alusel. Ühes lahenduses kaaluti Neoloy Tough Cell geokärje kasutust ning teises traditsioonilist kildalust. Kui võrrelda hinna erinevust, siis hinna võit EM Infra lahendusega on ca 10 EUR/m² (tabel 6.1).
5. Leca Eesti kergkruusatehas – Arumetsa Savikarjääri teenindustee ehitamine- EM Infra OÜ pakkus oma alternatiivset tugevdatud lahendust Neoloy Tough Cell geokärjega. Traditsioonilise ning Neoloy Tough Cell geokärjega lahenduste hinnavahe oli 13,5 %, kus Neoloy Tough Cell geokärjega lahendus oli 10 994,10 EUR soodsam (tabel 6.2).

Tabel 6.1 Alternatiiv lahendus Neoloy Tough Cell geokärjega [11]

Märjamaa - Konuvere tee

Traditsiooniline konstruktsiooni lahendus VARIANT A

Kihi kirjeldus	Ühik	Ühiku hind €	Maht	Kokku €
Asfaltbetoon AC 12 surf h=4 cm	m ²	8,00	20 000	160 000,00
Asfaltbetoon AC 16 bin h=5 cm	m ²	9,00	20 000	180 000,00
Asfaltbetoon AC 32 base h=7 cm	m ²	11,50	20 000	230 000,00
Paekillustik 4/32 h=30 cm	m ²	8,16	20 400	166 464,00
Liivast alus h=30 cm	m ²	6,10	20 808	126 970,42
Liivast täide h=30 cm	m ²	6,10	21 224	129 509,82
KOKKU				992 944,24

Alternatiiv lahendus Neoloy Tough Cell geokärjega

Kihi kirjeldus	Ühik	Ühiku hind €	Maht	Kokku €
Asfaltbetoon AC 12 surf h=5cm	m ²	10,00	20 000	200 000,00
Asfaltbetoon AC 16 base h=5cm	m ²	9,04	20 000	180 714,29
Neoloy Tough Cell 330-150C h=15 cm + 5 cm (freesipuru)	m ²	10,07	20 400	205 428,00
Paekillustik 0/32 h=10 cm (võimalusel kasutada ol.olevat)	m ²	2,72	20 400	55 488,00
Liivast alus h=30 cm	m ²	6,10	20 808	126 970,42
KOKKU				768 600,70

Erinevus **224 343,54**

Tabel 6.2 EM Infra OÜ keskkonnasäästliku lahenduse prognoos pinnase tugevdamiseks geokärjega võrreldes alternatiivse konstruktsiooniga [11]

Traditsiooniline lahendus vähendamaks pinnase nihkepingeid

Kihi kirjeldus	Ühik	Ühiku hind €	Maht	Kokku €
Purustatud kruusast 0/32 kate h=12cm	m2	3,10	2 800	8 680,00
Looduslikust kruusast alus h=23cm	m2	3,90	2 896	11 294,40
Liivast alus h=40 cm	m2	6,40	3 080	19 712,00
Liivast täide h=65cm	m2	10,40	3 400	35 360,00
Geotekstiil IV kl	m2	0,70	4 116	2 881,20
Kasvupinnase eemaldamine kõrvale ja planeerimine	m3	3,50	1 029	3 601,50
KOKKU				81 529,10

Alternatiiv tugevdatud lahendus Neoloy Tough Cell geokärjega

Kihi kirjeldus	Ühik	Ühiku hind €	Maht	Kokku €
Purustatud kruusast 0/32 kate h=15cm	m2	3,80	2 800	10 640,00
Looduslikust kruusast alus h=30cm	m2	5,10	2 920	14 892,00
Kasvupinnase eemaldamine kõrvale ja planeerimine	m3	3,50	826	2 891,00
Geotekstiil (kootud) min 40/40 kN/m	m2	1,20	3 360	4 032,00
Neoloy Tough Cell 330-120C h=12cm liivaga + h=5cm liiva	m2	11,90	3 200	38 080,00
KOKKU				70 535,00

Erinevus	13,5%
	10 994,10

7. TOUGH CELL GEOKÄRJE VÕRDLUS MUUDE MATERJALIDEGA

7.1 Neoloy Tough Cell geokärje võrdlus HDPE-geokärjega

HDPE geokärg sobib kasutamiseks konstruktsioonides, kus krundi väljavajumise oht on kõrge, nt pinnase erosioonitõkkena jms., kuid aluspinna tugevduslahendusena nad ei ole piisavalt vastupidavad. Seevastu Neoloy-st valmistatud Tough Cell on spetsiaalselt välja töötatud unikaalne polümeersulam, mis on mõeldud pinnase tugevdamiseks ja kandevõime suurendamiseks kõigis suur kandevõimet nõudvates rakendustes. Pinnase säilitamise ja struktuuri tugevdamise põhimõtte on HDPE-st kui ka Neoloy-st valmistatud geokärgedes sarnane, kuid kogu maailmas läbiviidud teadusuuringutes on jõutud sama tulemuseni: peamised tugevdusvõimet mõjutavad tegurid osutavad selgelt Tough Cell`i eelistele. Erinevate parameetrite mõõtmiseks katsetati erinevaid materjale, sealhulgas järgmiste täismahus katsetega: rataste ülesõidukatsed, plaadi koormuse katsed ja välikatsed, milles HDPE-st geokärge võrreldi Neoloy-st geokärgedega. Tulemused näitasid, et jõudlus on oluliselt parem, kui elastsusmoodul on suurem: pikaajaline kandevõime on sel juhul oluliselt parem. Kõik need parameetrid muudavad Neoloy Tough Cell`i lahenduse parimaks geokärjeks ehitusrakendustes, mis nõuavad pikaajalist stabiliseerimis- ja tugevduslahendust. [14]

Tabel 7.1 Neoloy Tough Cell geokärje võrdlus HDPE-geokärjega [14]

Kriteeriumid	Neoloy Tough Cell geokärg	HDPE geokärg
Tõmbetugevus	Kõrgem elastsusmoodul ja suur tõmbetugevus - kuni 24 kN/m	Suhteliselt väike tõmbetugevus
Roomekindlus, deformatsioon ja mõõtmete stabiilsus	3-10 korda suurem roomekindlus, eriti kõrgetel temperatuuridel Deformatsiooni vähenemine 2-5 korda suurem. Säilitab mõõtmete stabiilsuse palju suuremas temperatuurivahemikus. Aja jooksul 10 korda vastupidavam UV-kiirgusele ja oksüdatsioonkulumisele	Suur roomedeformatsioon aja jooksul- mõõtmete stabiilsus väike
Kandevõime	Parem kandevõime, jäikus, pingeaotus ja tugevdus	Kandevõime sobib väikese koormusega

		teedele ja ajutistele katenditele
--	--	-----------------------------------

7.2 Tough geokärje võrdlus geovõrguga

Geovõrk on 2D geosünteesiline toode, mis tuleb teede tugevdamiseks katta kvaliteetse, nurgelise, granuleeritud täitematerjaliga, näiteks killustikuga. Geotehnilise 2D struktuuri erinevused võrreldes Tough Cell`i 3D on toodud joonisel(joonis 7.1). [14]

Tough Cell`i 3D-struktuur vähendab pinnase liikumist, luues seega suurema tugevdatud mõjutsooni (~40 cm kärjeseinte kõrgusest all- ja ülalpool), tugevdades ümbritsevat materjali. Tänu 3D- lukustusele saavutab mittesiduv täidis kvaliteetse täitematerjali omadusi. Geovõrkude paigaldamise korral tuleb kasutada spetsiifilist nurgelist täitematerjali. Tough Cell'i kasutamise puhul seda ei ole. [14]

Teine oluline erinevus puudutab kihipaksust. KOAC-NPC (Madalmaad) viis läbi välikatsetusi, kus Tough Cell oli 7 geovõrgu kõrval ainsaks geokärjeks. Katsetel uuriti struktuursete katendite vajalikku paksust. Selgus, et Tough Cell`i teepõhja paksuse vähendustegur (CBR=1,5) CROW meetodika järgi oli 0,73. Ükski katsetatud geovõrk ei ole näidanud paremat tulemust. [14]

Tabel 7.2 Tough geokärje võrdlus geovõrguga [14]

Kriteeriumid	Neoloy Tough Cell geokärg	Geovõrk
Vastupidavus ja deformatsioon	Väga elastne, 3D tasapinnaline takistus põhjustab deformatsiooni ainult väga kõrgete parameetrite korral. Suurem paindemoment ühe kihi sügavuse tõttu, mille tulemuseks on parem jõudlus kontsentreeritud koormuse korral	Piiratud 2D õhukese tasapinna takistus. Väiksema paindemomendi takistuse saavutamiseks on vajalik vähemalt kaks kattekihti
Vastupidavus dünaamilisele koormusele	Säilitab struktuuri terviklikkuse. Vertikaalkoormus muundub radiaalkoormuseks, mille surve jaotub üle struktuuri hästi laiali	Väga suur deformatsioon
Külgsuunaline deformatsioon	Jäigad kärje seinad tõkestavad külgsuunalise jõu, passiivne takistus lisab vastupidavust koormatud	Külgsuunalise laienemise takistus

	kärjele, mille tulemuseks on plaadiefekt, mis tagab suure kandevõime	piirdub väga väikese lõiguga
Surve	Pinnakoormus jaotub ühtlaselt läbi kolmemõõtmelise mati, kandes aluspõhjale üle vaid kuni 50% survet	Koormuse ülekanne läbi väiksema pindala, mis tekitab kontsentreeritud punkt survet, mis põhjustab toimivushäireid
Pinnas	3D-struktuur ja "lukustus" parandavad pinnase omadusi, mis vastab parimale täitematerjalile isegi mittesiduvate teraliste pinnaste kasutamise korral	Jäikuse ja tugevuse saavutamiseks on vaja täita erinõudeid, nagu kvaliteetne täitematerjal ja terasuurus



Joonis 7.1 Konstruktsiooni paksuse võrdlus geokärje ja geovõrgu vahel [14]

7.3 Tough Cell geokärje võrdlus keemiliste stabilisaatoritega

Pinnase stabiliseerimiseks ning keskkonnamuutustele ja koormustele vastupidavaks muutmiseks kasutatakse muuhulgas mitmesuguseid keemilisi stabilisaatoreid, nagu tsement, lubi, kaltsiumkloriid, epoksüvaik, mis tugevdavad teede ja katendite aluspinda. Probleemid algavad, kui vajatakse pikaajalist lahendust, mis ei nõua suurt algkapitali ega sagedast hooldust. [14]

Kloriidid on kõige levinumad pinnase stabilisaatorid, kuid neil on teatud puudused: lahuse kontsentratsioonist tulevalt sõltub protsessi lõpptulemus. Seadmete söövituskahjustused ja väga mürgine keskkonnareostus muudavad sellise lahenduse kulukaks ja ohtlikuks. Keemiliste stabilisaatorite kasutamisel on keskkonnale laastav mõju. [14]

Tough Cell tagab väikese keskkonnajalajälje ja katendi konstruktsiooni suure tõhususe. Mõlemad väljenduvad Tough Cell`i kulutõhusas ja tõestatud lahenduses, millel on võrreldamatu kasutuskestuse garantii. [14]

Tabel 7.3 Tough Cell geokärje võrdlus keemiliste stabilisaatoriga [14]

Kriteeriumid	Neoloy Tough Cell geokärg	Keemilised stabilisaatorid
Töökindlus / deformatsioon	Suure tõmbetugevusega mehaaniline stabiliseerimissüsteem	Keemilise stabiliseerimise süsteem, mille kvaliteet väheneb aeglaselt
Esmane kvaliteedikontroll	Silmaga hinnatav – struktuuri ülevaatus	Keemiliste segude mittekvaliteetne tulemus võib olla palja silmaga mitte tuvastatav
Kasutuskestus	Mehaanilisi deformatsioone ei esine rohkem kui 75 aasta jooksul	60-80% jääkuse kaotus eluea jooksul
Vee läbilaskvus ja drenaaž	Vastupidav pinnase veesisalduse muutustele, simuleerib piiratud jõudlusega drenaažisüsteemi	Väga tundlik veesisalduse muutumise suhtes. Muutub veesisalduse muutumise korral ebastabiilseks
"Roheline"	Konstruktsioonimaterjal ei kulu, võimaldab täitematerjalina kasutada kohapeal saadaolevat pinnast, ei ole vaja raisata väärtuslikku täitematerjali	Mürgised materjalid, mis võivad saastada pinnast ja vett

7.4 Tough Cell geokärje võrdlus geotekstiiliga

Geotekstiile kasutatakse geotehnilistes ehitusrakendustes. Varasemal kasutati drenaažirakendustes, seejärel hakati kasutama pinnase eraldamiseks ja osaliselt ka tugevdamiseks. Geotekstiilid lasevad vett läbi, samas takistades pinnaseosakeste kaasaliikumist. See funktsioon aitab pikendada katendite ja teede eluiga. [14]












Geotekstiilide 2D struktuur tagab ainult piiratud vertikaalse vajumise. Tough Cell tagab mitmesuunalise tõkke, mis suurendab mõjutsooni 50-200 mm-ni kärjest kõrgemal ja kärje all. Kandevõime erinevused näitavad, et geotekstiile võib kasutada seal, kus hinnatakse eeliseid, nagu vee läbilaskvus ja drenaaž, kuid pinnase kandevõimet see materjal ei suurenda. Seda kõike pakub Neoloy Tough Cell geokärg. [14]

Tabel 7.4 Tough Cell geokärje võrdlus geotekstiiliga [14]

Kriteeriumid	Neoloy Tough Cell geokärg	Geotekstiilid
Vee läbilaskvus ja drenaaž	Vastupidav veesisalduse muutustele, simuleerib piiratud jõudlusega drenaažisüsteemi	Vastupidav. Võimaldab vee voolamist, takistades samas pinnaseosakesi
Tõmbetugevus	Kõrgem elastsusmoodul ja suur tõmbetugevus – kuni 24 kN/m	Suhteliselt väike tõmbetugevus
Vastupidavus ja deformatsioon	Väga elastne, 3D tasapinnaline takistus põhjustab deformatsiooni ainult väga kõrgete parameetrite korral	Piiratud 2D õhukese tasapinna takistus
Külgsuunaline deformatsioon	Jäigad kärjeseinad tõkestavad külgsuunalise jõu, passiivne takistus lisab vastupidavust koormatud kärjele, mille tulemuseks on plaadiefekt, mis tagab suure kandevõime	Külgsuunalise laienemise takistus piirub väga väikese lõiguga
Surve	Pinnakoormus jaotub ühtlaselt läbi kolmemõõtmelise mati, kandes aluspõhjale üle vaid kuni 50% survest	Koormuse ülekanne läbi väiksema pindala, mis tekitab kontsentreeritud punktsurvet, mis põhjustab talitlushäireid
Vastupidavus ja deformatsioon	Väga elastne, 3D tasapinnaline takistus põhjustab deformatsiooni ainult väga kõrgete parameetrite korral. Suurem paindemoment ühe kihi sügavuse tõttu, mille tulemuseks on parem jõudlus kontsentreeritud koormuse korral	Piiratud 2D õhukese tasapinna takistus. Väiksema paindemomendi takistuse saavutamiseks on vajalik vähemalt kaks kattekihti

7.5 Tugiseinad

Neoloy Tough geokärg on usaldusväärne, pikaajaline lahendus maa tugimüüride tugevdamiseks. Allpool on näidatud kõik geokärje sein eelised võrreldes betoonseinaga.

<p>[15]</p>	 <p>Betoonsein</p>	 <p>Geokärg sein</p>
 <p>Seismiline lained</p>	<p>Kehv. Hapra seina praod Tugevuse kadu Potentsiaalsed globaalsed rikked</p>	<p>Suurepärane. Paindlik- neelab seismilist energiat Madalam seismiline mõju- õhem sein, kulutõhusam Edukalt katsetatud Jaapanis</p>
 <p>Drenaaži võimalused</p>	<p>Kehv. Ummistunud torud, kõrge hüdrostaatiline surve</p>	<p>Suurepärane. Terve sein toimib suure stabiilse kuivendussüsteemina</p>
 <p>Korrosioon</p>	<p>Väga söövitav. Aja jooksul märkimisväärselt väheneb tugevus</p>	<p>Ei esine korrosiooni. Pikaajaline toimivus (min. 75 aastat) on tagatud</p>
 <p>Praad</p>	<p>Väga pragunev. Aja jooksul märkimisväärselt väheneb tugevus</p>	<p>Ei esine pragusid</p>
 <p>Aluse liikumised</p>	<p>Praad ja rikked. Nõuab pinnase asendamist või vau</p>	<p>Neelab liikumisi. Säilib täielikku stabiilsust plastse liikumisega</p>
 <p>Soojuslik mõju</p>	<p>Tundlik. Nõuab paisumisvuuke</p>	<p>Vastupidav (-60°C)- (+60°C). Paisumisvuuke ei ole vaja</p>
 <p>Ökoloogiline lahendus</p>	<p>Betoonist välimus. Hall, mitteesteetiline</p>	<p>Taimestatud välimus. Lühikese aja jooksul kogu nõlv on kaetud taimestikuga</p>
 <p>Keskkonnasõbralik</p>	<p>Halb sõber. Nõuab suurt kogust imporditud materjale ja masinaid</p>	<p>Hea sõber. Võimaldab kohalike materjalide kasutamist tädisena. Süsteemi süsiniku jälg on suhteliselt ebaoluline</p>
 <p>Kulutõhus</p>	<p>Kulukas ja õigeaegne. Betoon ja sarrusevardad on väga kallid Aeglane ehituskiirus Kvalifitseeritud tööjõud</p>	<p>Väheneb kulusid ja aega. Ei ole vaja betooni, sarrusevardaid, on vaja ainult täitematerjali ja PRS-geokärke.</p>

	Nõuab paisumisvuuke	Kiire paigaldus, lihtne kohandada mistahes mõõtmetele (geomeetria)
--	---------------------	--

7.6 Hübriidlahendus- Neoloy Tough Cell geokärjed kombineeritud geovõrkudega

Hübriidlahendus näeb ette Neoloy geokärgede kihi kombineerimist kaheteljelise geovõrgu kihiga katendikonstruktsiooni aluse rajamisel. Hübriidlahendus loob ainulaadset kompleksset toimet, mis ületab selle komponentide summat. Kombineeritud tugevdatud jäigad kihid on eriti tõhusad paisuvate savide tõkestamisel. [16]

Jäik geovõrk toimib stabiilse tööplatvormina nõrgal aluspõhjal. See mitmekordistab jäiga Neoloy geokärje tugevdamise tõhusust, mis on paigaldatud sidumata kihti. Tulemuseks on see, et paisuva savipinnase suhteline paisumine "on tasandatud" laiendades paisumise amplituudi paisumise tõhusaks tõkestamiseks. Kombineeritud hübriidlahenduse tugevdamine parandab ka pinnase kandevõimet ja tugevdab kihi elastsusmoodulit, samal ajal vähendades vertikaalpingeid ja parandades koormuse jaotust. Selle lahenduse võtmeks on Neoloy uudne polümeersulami (NPA) materjal PRS-Neoweb geokärjes. Neoloy võib taluda suuri ringpingeid ja tsüklilist koormamist suhteliselt väikeste deformatsioonidega. [16]



Joonis 7.2 Kombineeritud lahendus geokärje ja geovõrgu kasutamisega [16]

8 . KATSED

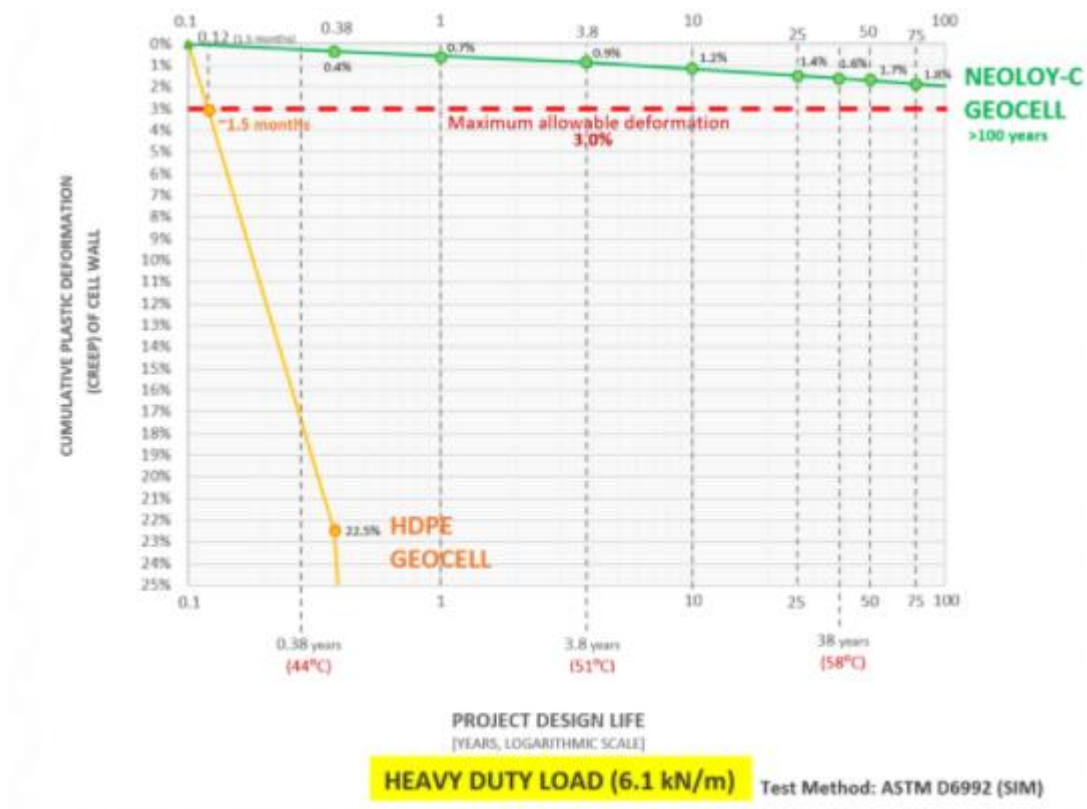
8.1 Neoloy Tough Cell geokärjed võrdlus HDPE geokärjed

SIM katsed kasutatakse polümeeride roome ennustamiseks projekteeritud eluea jooksul. SIM mõõdab polümeertoote kumulatiivset plastset deformatsiooni, rakendades sellele pidevat koormust määratletud aja jooksul ning erinevate temperatuuride juures. SIM meetod võimaldab arvutada lubatud tugevust pikaajaliseks projekti lahenduseks ning projekteerimiseks. [17]

Neoloy Tough-Cells SIM katse vs. HDPE Soft-Cells. Kaalud esindavad raskekoormust (6,1 kN/m). Temperatuur tõstetakse neljas etapis selleks, et simuleerida aja kiirendust 75 aasta saavutamiseni (eluiga). Kasutuse lõpp SIM katses ei põhine kärjeseina või vuugi purunemisel, vaid pigem pideval plastsel deformatsioonil, mis ületab 3%. Plastne deformatsioon, mis on üle 3%, põhjustab kärjeseinte paisumist viisil, et kärjg kaotab tihendust, mis põhjustab kärje piiride kaotamist ja viib võimaliku rikkeni. [17]

Katsetulemused on kokku võetud alloleval diagrammil. Nad näitavad roome ja projekteeritud eluea ning täitekihi vajumise vahelist seost. Rike on defineeritud kui >3% kogu roomest, mis on tingitud kärjepiiride paisumisest ja sellele järgnevast tiheduse kaotamisest. HDPE põhise geokärje roome on tõsine ja viib rikkeni ainult 1,9 aasta jooksul mõõduka koormuse korral ja vaid 1,5 kuu jooksul pärast raskekoormuste rakendamist. See toob esile tõsiseid küsimusi HDPE Soft-Cells elementide projekteeritud eluea ja nende kasutamise kohta pikaajalistes teede tugevduse projektides, kuid ei ole kriitiline nõlva erosioonikaitse või geotehnilise stabiilsuse tagamise projektides. Nagu allpool on näha, NPA Tough Cell näitab endiselt optimaalseid näitajaid (alla 3 %) isegi peale 75 aastat, saavutamata kriitilist 3 % piiri [17]

Allpool olev joonis 8.1 näitab plastset deformatsiooni kogu projekteeritud eluea jooksul: (horisontaalne - tee eluiga, vertikaalne - deformatsiooni suhe):



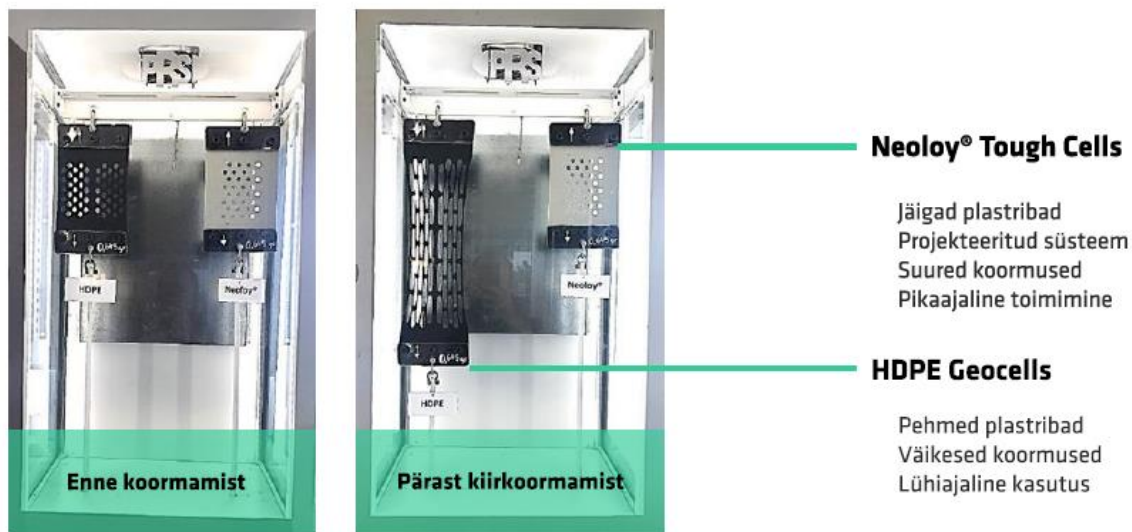
Joonis 8.1 HDPE vs Neoloy geokärgede võrdlusdiagramm roomeformatsiooni vs. projekteeritud eluea vahel [17]

Eelised:

- Neoloy kõrge roomekindlus säilitab PRS Neoloy Touch kärgede jäikust ja mõõtmete stabiilsust aja jooksul;
- See võimaldab kasutada madalat vähendamistegurit ja usaldusväärset piiride paisumist 75-aastaseks ja pikemaks perioodiks ning muudab Neoloy Tough kärge sobivaks igat tüüpi pikaajaliste tugevdusmeetmete ja -rakenduste jaoks, näiteks maanteed, sadamad, raudteed, konteinertehased, veehoidlad, prügilad ja tugimüürid;
- Kõrgem tõmbetugevus – kuni 25 kN/m;
- Oluliselt vastupidavam pingepragunemisele;
- Aja jooksul 10 korda vastupidavam oksüdatsioonile ja UV-kiirguse degradeerimisele. [17]

Kokkuvõte: Neoloy Tough kärjed – ainsad kvalifitseeritud kärjed pikaajaliseks kasutamiseks.

HDPE Geocells vs. Neoloy® Tough Cells



Näidatud on kiirendatud SIM-testi (ASTM D6992), et hinnata kargede jäävdeformatsiooni koormuse all aja jooksul. 2 aasta pärast on HDPE kärjed suuresti deformeerunud. Objektil töötingimustes põhjustaks see täitematerjali isoleerituse vähenemist ja sellest tulenevalt kärje eeliste vähenemist. Neoloy® Tough Cells kärjed aga säilitavad ettenähtud kasutusea jooksul geomeetria, isoleerituse ja toimivuse täielikult.

Joonis 8.2 SIM testi näide [11]

8.2 Geokärgede elastsus (DMA)

Aja jooksul polümeerid kipuvad kaotama elastsusmoodulit, eriti dünaamilise koormuse korral. Geokärgede süsteem peab säilitama jäikust ja elastseid omadusi ilma püsiva deformatsioonita või geomeetria kaotamiseta, sest see võib kaasa tuua piiride paisumist või pragunemist ning riket. DMA uurib polümeeride võrgu elastsusmoodulit. Analüüs eraldab polümeeri jäikust elastsetes tingimustes – võime rakendada koormusi süsteemile ilma pideva deformatsioonita. Stabiilne võrgu elastsusmoodul tagab elastse käitumise ka kõrgendatud temperatuuridel. Antud meetodit toetavad ASTM (E2254) ja ISO standardid (ISO 6721-1). Järgmine tabel võtab kokku PRS Neoloy geokärgede elastsusmooduli omadused. [18]

Tabel 8.1 Toimivus kõrgendatud temperatuuridel [18]

Temperatuur	Kogus	Mõõtühik	Katse meetod
30°C	> 725-800	MPa	ISO 6721-1
45°C	> 650-700	MPa	ASTM E2254
60°C	> 475-600	MPa	DMA

DMA võimaldab määrata tõhusat töötemperatuuri vahemikku matemaatilise arvutuse abil:

- Neoloy geokärgede tõhus kasutusvahemik on -60 °C kuni $+60\text{ °C}$;
- Kõrgemad DMA väärtused viitavad suuremale mooduli elastsusele alates projekti esialgsest rakendamisest kuni konstruktsiooni eluea lõpuni.

Erinevalt HDPE geokärgedest, Neoloy geokärjed näitavad prognoositavat jäikust nii tüüp- kui ka kõrgendatud temperatuuridel. [18]



Joonis 8.3 Dünaamiline test polümeeridele [18]

9 . EESTIS E HITATUD OBJEKTID GEOKÄRJE ABIL

9.1 Sõmeru ringristmik

Riigitee 5 Pärnu–Rakvere–Sõmeru km 184,33–184,59 Sõmeru ringristmiku põhiprojekti koostamine ja ehitus. Teelõik asub Rakvere vallas Näpi aleviku ja Sõmeru aleviku piiril. Riigitee 5 Pärnu–Rakvere–Sõmeru km 184,33-184,59 teelõigul asub riigitee 5 ja kohaliku tee 7701001 Puiestee tänava ristmik ning eraldi juurdepääs olemasolevasse tanklasse. Riigitee 5 aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus oli riikliku teeregistri 2019. aasta andmetel 6902 a/ööp (raskeliiklus 7 %). Puiestee tänava liiklussagedus oli 2013. aasta andmetel suurusjärgus 2500 a/ööp. Riigitee 5 km 184,392 vasakul ja km 184,414 paremal asuvad olemasolevad bussipeatused „Sõmeru“. Jalakäijate teeületus bussipeatusesse pääsemiseks üle põhimaantee on ohtlik, kuna puudub teeületuskoht ja sõidukite liiklussagedus on suur. [19] Tiheda liiklusega Sõmeru ringristmiku ehitamisel kasutatakse Eestis uutset geokärge, mis võimaldab kokku hoida nii aega kui ka kulusid. Tellija -Transpordiamet, ehitaja- AS TREV-2 Grupp. Projekt oli koostatud Keskkonnaprojekt OÜ (töö nr. 2670) poolt. Objekt oli ehitatud 2021 aasta sügisel.

Tee ehitusel toimus savise aluse eemaldamine ning täitematerjaliga asendamine. Asendustäite importimise kulud koos drenaažisüsteemide paigaldamisega osutusid väga kõrgeks. Lähtudes tugevdatud ristmiku nõuetest, töövõtja pidi paigaldama neli kihti asfalti. Neoloy Tough Cell geokärje kasutamine võimaldas vältida savist aluspõhja väljakaevamist ja ühe asfaldikihi paigaldamist.

Neoloy Tough Cell geokärje lahendusel kasutati korduvkasutatavad materjalid. Neoloy Tough Cell geokärje täiendamisel kasutati freespuru (tabel 9.1).

Tabel 9.1 Sõidutee kolmekihiline asfaltbetoon katend [19]

<u>Katendi kiht</u>	<u>Kihi paksus</u>
Tihed kuum asfaltbetoon - AC 16 surf	h= 5 cm
Tihed kuum asfaltbetoon - AC 20 bin	h= 4 cm
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	h= 6 cm
killustikust alus fr. 4/63 LA 30	h= 18 cm
freespuru	h= 5 cm
geokärg 330/120C täidetud freespuruga	h= 12 cm
Dreenikiht Tm=120 Cu >3 (Cu2...3 puhul geotekstiiliga)	hmin= 26 cm
olemasolev aluspinnas	

Peale Neoloy Tough Cell geokärg 330/120C, freespuru ja killustiku fr. 4/63 paigaldamist tehti kandevõime kontrolli Inspector 3-ga. Saadud tulemused on normide piires (tabel 9.2).

Tabel 9.2 Killustikaluste kandevõimed, Inspector 3, 1840517 [20]

Katse- seeria NR.	ASUKOHT		SEERIA KATSETE LUGEMID Mpa								/E[2]	Märkused	
	PIKETT	Rist prof.	1	2	3	4	5	6	7	8			
44	0+80	VP	80	151	170	201	218	222	230	219	224	1,48	
45	0+80	T1	45	98	122	131	153	159	174	177	170	1,73	
47	0+80	T2	51	104	136	146	164	163	173	182	173	1,66	
49	0+80	PP	34	98	132	146	157	158	173	184	172	1,76	
50	1+40	VP	48	118	157	179	189	199	193	189	194	1,64	
51	1+40	T	101	198	227	235	257	264	247	263	258	1,30	
53	1+40	PP	52	119	142	157	167	170	175	186	177	1,49	
54	1+80	VP	58	128	152	145	166	165	169	186	173	1,35	
55	1+80	PP	44	108	141	162	176	188	194	205	196	1,81	
56	1+60	T	73	138	166	170	193	201	214	212	209	1,51	
57	1+10	MSVP	44	148	181	191	210	222	226	222	223	1,51	
58	1+10	MST	63	164	193	204	208	221	210	225	219	1,34	
59	1+10	MSPP	57	138	158	176	186	170	196	203	190	1,38	
75	1844+00	PP	60	155	181	185	189	207	208	213	209	1,35	
82	1844+20	PP	124	156	147	180	187	202	208	215	208	1,33	
88	0+60	PP	93	145	165	172	172	179	183	183	182	1,26	
89	0+20	Kaabli ületus	63	125	181	188	204	213	209	200	207	1,66	
90	0+10	Kaabli ületus	81	138	136	170	179	191	191	181	188	1,36	
91	0+10	T	62	145	169	179	186	196	197	210	201	1,39	
9	1844+90	Ring VP	66	123	143	162	183	188	194	211	198	1,61	
10	1844+90	Ring VP(T)	115	178	206	220	238				221	1,24	
11	1844+90	Ring VP(PP)	69	136	144	151	173	179	181	178	179	1,32	
12	1844+60	Ring VP	59	118	133	161	171	174	185	182	180	1,53	
13	1844+60	Ring VP(T)	54	141	170	117	186	198	209	226	211	1,50	
14	1844+60	Ring VP(PP)	82	157	171	186	181	215	225	226	222	1,41	

Samuti oli tehtud objekti kohta ekspertarvamus, mis oli teostatud T-Konsult volitatud teedeinsener Ain Kendra (01.11.2021) poolt. Teostati plaatkoormuskatsed liival, freespurul ning killustikul.

Killustikul tehtud mõõtmised – ainult esimese plaatkoormuskatse asukohas: keskmine Evd 147 MPa, vastav Ev2 väärtus 165 MPa.

- i. 135 (plaatkoormuskatse asukoht)
- ii. 134
- iii. 153
- iv. 159
- v. 137
- vi. 169

Selle põhjal saab järeldada, et killustikul mõõdetud tulemused on adekvaatsed, kuid freespuru mõõtmistel on saadud anomaalselt madalad tulemused. Samale järeldusele on jõutud ka plaatkoormuskatsete analüüsis. 165 kui Ev2 väärtus vastab Transpordiameti poolt kehtestatud nõuetele killustikaluse kandevõime kohta. [20]

Järeldus: killustikalusel mõõdetud kandevõime väärtus vastab nõuetele, freespurult mõõdetud tase ei ole reguleeritud ja vajab tootjapoolset selgitust, sest edaspidi võib olla vajadus õhema killustikaluse järele. Antud objektil saadud kogemust saab rakendada ka tulevikus. Igal juhul on killustiku kasutamisel saadud tulemused piisavad ja annavad kindlust, et valmis tehtud lahendus toimib. [20]

Uue meetodi eelised:

- Neoloy Tough Cell geokärg, mis oli kohapeal täidetud freespuruga;
- Vähendatud asfaldi paksus 17%;
- Kiire paigaldamine vähendab ehitusaega;
- Kuluefektiivne – kaotatud üks kiht asfaldi ning täitematerjaliga asendamise vajadus;
- Väga jätkusuutlik – vähendab süsiniku jalajälge, vähendades täitematerjali kogust (CO₂);
- Väiksem tõmbepinge asfaldikihi põhjas põhjustab väiksemat väsimust ja pikemat kasutusiga.

Transpordiameti Ida teehoiu osakonna juhataja Anti Palmi selgitas- „See annab ehitajale võimaluse ehitada õhem katend ja samas on sellel uuel kihil stabiliseeriv omadus, et kui sellistel sirgetel maanteedel kasutame bituumeni ja tsemendiga stabiliseerimist, siis sellisel ringristmikul nagu siin on selline tehnoloogia suhteliselt võimatu ehk selline võrgulahendus ongi ainuõige.“ [21]

Fotod objektist on toodud lõputöö lisa 2.

9.2 Toila ristmik

Riigitee 1 Tallinn-Narva km 170,028 Toila ristmiku ja riigitee 13105 Kõrve-Toila km 0,13-5,398 rekonstrueerimine. Projekteeritav riigitee 1 km 170,028 Toila ristmik asub Ida-Viru maakonnas, Toila vallas Pühajõe külas. Ristmiku piirkonnas asuvad bussipeatused Kõrve, riigitee 1 km 170,119 paremal ja km 169,900 vasakul poolel. Jalakäijate põhimaantee ületamine ja bussipeatusesse liikumine oli reguleerimata. Projektis oli vaja parandada ristmiku piirkonnas jalakäijate liiklusohutust. Ehitaja-Atemo OÜ. Tellija-Transpordiamet. Selles projektis kasutati Neoloy Tough Cell geokärg 330-150C ainult jalg- ja jalgrattateel PK 0+00-2+30 PP. Antud jalg- ja jalgrattatee oli ehitatud katselõiguna, kus kasutati geokärje mulde ehitamisel. Kahjuks, nimetatud lõigul puudub kandevõime protokoll.

Tabel 9.3 Katendikonstruktsioon [autori koostatud]

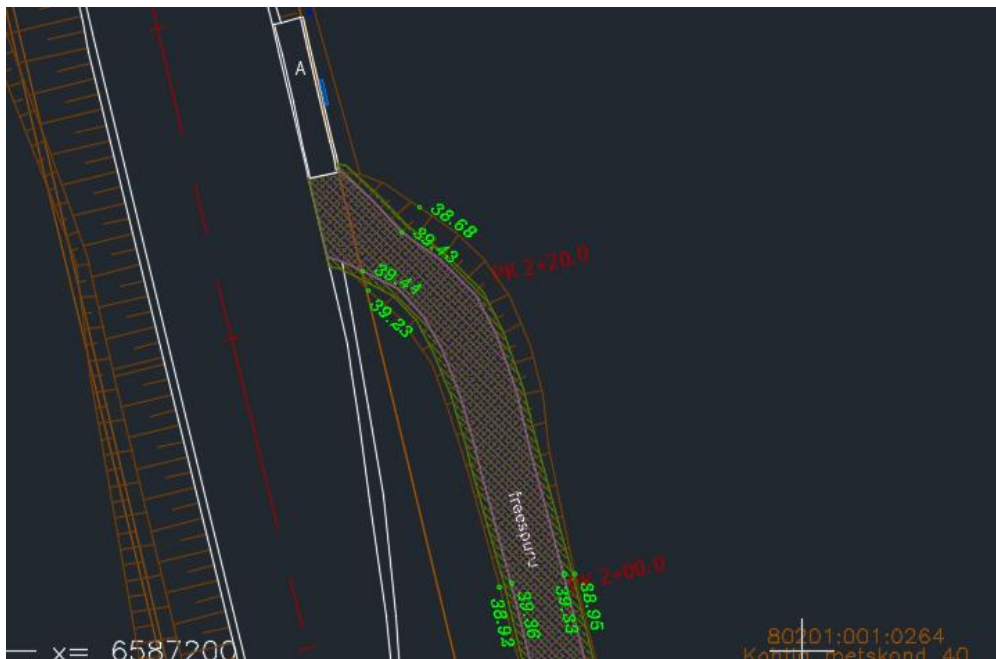
Katendi kiht	Kihi paksus
Freespuru (kohalik materjal)	h=25 cm
Kohalik kruus	h=25 cm
Täiteliiv	h=20 cm
Neoloy Tough Cell 330-150C (geotekstiiliga profiil 4) täidetud täiteliivaga	h=15 cm
Olemasolev aluspinnas (soine pinnas), keskmine kandevõime 5-10 MPa	

Seekord läks kasutusele 15 cm kõrgusega materjal 330-150-C, mis oli liivaga täidetud ja juba 20cm kihil 22 tonnine roomik liikus ilma jälgi jätmata.

Vt. videot-

https://www.facebook.com/watch/?ref=search&v=1613797672307193&external_log_id=662449a4-2e96-49ca-ae28-6a71cccba5ab&q=em%20infra%20o%C3%BC. [13]

Samuti oli tehtud teostusjoonis (joonis 9.1), kus on näha kõikide teede kõrguseid. EM Infra OÜ planeerib teha 2022 a. suvel antud teelõigu geodeetilise mõõdistamise, et saada teada kõrguste erinevusi. Sellisel viisil, oleks võimalik aru saada, mis juhtus antud teega talve jooksul- kas on kohti, mis on vajunud või mitte. Kahjuks autor ei jõua võrrelda kõrgusi, et saada tulemust ning analüüsida tehtud geokärjega kergliiklusteed.



Joonis 9.1 Freespurust kergliiklustee teostusjoonis [22]

Uue meetodi eelised:

- Kohalike/ringlusesse võetud materjalid (nt kruus, freespurust) kasutamine;
- Kiire paigaldamine vähendab ehitusaega;
- Ei pidanud olemasolevat materjali välja kaevama ning uuega asendama;
- Väga jätkusuutlik – vähendab süsinikujälge, vähendades täitematerjali kogust (CO₂).

Fotod objektist on toodud lõputöö lisas nr 3.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös autor avas täisulatuses mõistet "geokärg", tõi välja geokärje eelised ja puudused, võrdles Neoloy geokärge teiste materjalidega nagu HDPE geokärg, geotekstiil, geovõrk, betoonseinad ja keemiline stabilisaator ning tõi välja geokärje eelised teiste materjalide ees. Töös on välja toodud objektid, kus on kasutatud geokärge nii Eestis kui ka mujal maailmas. Magistritöös käsitletakse muuhulgas geokärje paigaldust ja selle maksumust võrreldes teiste analoogsete materjalidega. Autor võrdles geokärje konstruktsiooni traditsiooniliste konstruktsioonidega, mis on Eestis kasutatud leidnud.

Erinevate maade varajasemale praktikale tuginedes, tõestas töö autor, et Rahvusvaheliste inseneristandardite kohaselt (ISO, ASTM, Hollandi juhend CROW), kaotavad geokärjed (HDPE) oma efektiivsuse, kui deformatsioonimäär ületab 3 %. HDPE geokärg saavutab 3% deformatsioonimäära, samal ajal kui NPA/ Neoloy Tough Cell näitab endiselt optimaalseid näitajaid (alla 3%) isegi peale 75 aastat saavutamata sealjuures kriitilist 3% piiri. Autor soovib rõhutada, et suurem osa teabest, mis puudutab geokärge, pärineb välismaa allikatest, mis olid inglise keeles. Eestikeelne terminoloogia ei ole veel lõplikult välja kujunenud ja seetõttu oli keeruline leida täpseid vasteid eesti keeles.

Viimase 25 aasta jooksul on geokärge kasutatud 80 riigis ning see on tõestanud ennast tuhandetes edukalt lõpuni viidud projektides. Geokärge on kasutatud suuremahulistes projektides, millele töö autor on tähelepanu pööranud käesoleva magistritöö teises peatükis (Maailmas geokärjega teostatud projektid). Autor ei näe takistusi ega põhjust, mis võiks välistada geokärje kasutamise Eesti teedeehituses. Autor leiab, et Eestis tuleks katsetada geokärge süsteemselt, analoogselt nagu toimub seire 2016 ehitatud Paldiski maantee betoontee katselõigul.

Riigitee 1 Tallinn-Narva km 170,028 Toila ristmikul oli ehitatud kergkliiklustee, kus oli kasutatud geokärge, mille osas 2021 aastal sügisel oli tehtud ka teostusjoonis. EM Infra OÜ soovib teostada 2022 suvel mainitud teelõiguse kõrgusmöödistusi. Kahjuks ei jõua töö autor võrrelda kõrgusi, et saada võrreldavaid tulemusi ning analüüsida geokärje kasutamist nimetatud teelõiguse. Autori arvates oleks äärmiselt oluline teostada ka mujal Eestis teetööde planeerimisel katselõik, kus oleks paigaldatud geokärg, kõrvuti traditsioonilise killustikualusega ja KS32-ga kasutatud lõikudele. See teeks võimalikuks lõikude monitooringu ning hiljem analüüsi läbiviimise muutustest, mis on lõikudes toimunud. Saadud tulemused annaks võimaluse hinnata kui tõhus on geokärg ning võrrelda seda teistes lõikudes kasutatud alternatiivsete materjalide-tehnoloogiatega.

Siinkohal autor soovib mainida ettevõtet-Professionaalsed tugevdamislahendused, mis tegeleb antud ala innovatiivsete lahendustega. Autor leiab, et geokärje kasutamine Eesti teedel annab võimaluse säästa loodusliku materjali, kasutada rohkem kohalikku materjali, säästes aega ehitustegevuselt ja vähendades seeläbi ehitustegevusega seotud kulusid.

SUMMARY

In this master's thesis, the author thoroughly explained the term "geocell," pointing out the advantages and disadvantages of geocells compared to other materials such as HDPE geocell, geotextile, and geogrid, concrete walls, and chemical stabilizer, and pointed out the advantages of geocells over other materials. The work shows sites where geocells have been used in Estonia and elsewhere. The master's thesis reviews the installation of geocells and their cost compared to other similar materials. Finally, the author compared the construction of geocells with the traditional constructions that have been used in Estonia.

Based on previous practices in different countries, the author proved that geocells (HDPE) lose their effectiveness if the deformation rate exceeds 3% according to international engineering standards (ISO, ASTM, Hollandi juhend CROW). The HDPE geocell achieves a deformation rate of 3%, while the NPA/Neoloy Tough Cell still shows optimal performance (less than 3%) even after 75 years of exploitation without reaching the critical 3% limit. The author would like to emphasize that most of the information regarding geocells comes from foreign sources presented in English. As a result, it was challenging to translate very accurately into Estonian.

Over the past 25 years, geocells have been used in 80 countries and have proven themselves in thousands of successful projects. Geocells have been used in large-scale projects, highlighted by the author in the second chapter of this master's thesis (Geocell Projects around the World). The author does not see any obstacles or reasons that could preclude geocells road construction in Estonia. The author finds that geocells should be tested and verified in Estonia in the same way as in 2016 during the construction of the test section of the concrete road on Paldiski Road.

Along the national road 1 Tallinn-Narva km 170,028 at the Toila junction was built a non-motorized traffic road, where geocells were used, for which an as-built drawing was created in the autumn of 2021. EM Infra OÜ wishes to perform height measurements on the road section mentioned in the summer of 2022. Unfortunately, the author cannot compare heights to obtain comparable results and analyze the use of geocells in this section. Therefore, according to the author, it would be crucial to carry out a test section elsewhere in Estonia when planning road works. A geocell would be installed next to the sections used with the traditional gravel base and KS32; this would make it possible to monitor the sections and subsequently analyze the changes in the sections. Furthermore, the results obtained would make it possible to assess the efficiency of the

geocells and compare it with the alternative materials and technologies used in other sections.

At this point, the author would like to mention the company PRS (Professional Reinforcement Solutions), which deals with innovative solutions in this field. The author finds that using geocells in Estonian roads provides an opportunity to save natural material, use more local material, save time from construction activities, and reduce the costs associated with construction activities.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „wikipedia.org,” 2019. [Vörgumaterjal]. Available: https://et.wikipedia.org/wiki/Geos%C3%BCnteetilised_materjalid.
- [2] wikipedia.org, „Wikipedia,” 2020. [Vörgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%BCmeerid>.
- [3] Greenfix, „The History of Geocells,” 2016. [Vörgumaterjal]. Available: https://cms.esi.info/Media/documents/25453_1464958104931.pdf.
- [4] P. Products, „Geocells: the early days with the army corps,” [Vörgumaterjal]. Available: <https://2y2qpw2op3o93ygu164frm9z-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/10/GW-History-of-Geocells.pdf>.
- [5] P. Geo-Technologies, „Load Transfer Platform on Saturated Soil Saves Costs,” [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/casestudies/load-transfer-platforms-for-vertical-columns-mexico/>.
- [6] Rozenblat, „Building a Reinforced Retaining Wall in Swansea, Wales, England.,” 2008. [Vörgumaterjal]. Available: http://www.rozenblat.pl/aindex.php?page=a_rys_re_004.
- [7] P. Geo-Technologies, „Airport Stormwater Drainage and Containment Ponds,” [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/market-sectors/airport/airport-drainage-management/>.
- [8] „Neoloy Geocell Reinforced Base for Container Yard, Gdansk, Poland,” [Vörgumaterjal]. Available: <https://eminfra.ee/ports/#neoloy-geocell-reinforced-base-for-container-yard-gdansk-poland>.
- [9] „Stabilized Pavements for Biofuel Processing, Peat Subgrade, Finland,” [Vörgumaterjal]. Available: <https://eminfra.ee/roads/#stabilized-pavements-for-biofuel-processing-peat-subgrade-finland>.
- [10] „Technical Specifications,” EM Infra, [Vörgumaterjal]. Available: <https://eminfra.ee/technical-specifications/>.
- [11] Presto/Geosystems, „INSTALLATION GUIDE,” 2021. [Vörgumaterjal]. Available: <https://2y2qpw2op3o93ygu164frm9z-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/10/GWLS-Simplified-Load-support-Install-Guide.pdf>.
- [12] PRS/Geo-Technologies, „NEOLOY GEOCELLS INSTALLATION/Load Support Applications,” 2019. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/>.
- [13] M. Kärner, „vastavalt EM Infra OÜ andmete,” EM Infra OÜ, 2022. [Vörgumaterjal].
- [14] E. I. OÜ, „Tough cell vs. others,” EM Infra OÜ, [Vörgumaterjal]. Available: <https://eminfra.ee/tough-cell-vs-others/>.
- [15] PRS/Geo-Technologies, „Neoloy Tough-Cells is a reliable, long-term solution for reinforcing earth retention walls,” 2017. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/applications/retaining-walls/retaining-walls-overview/#1534846457099-01961f27-4a69>.
- [16] PRS/Geo-Technologies, „Comparison with Geogrids,” 2018. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/>.
- [17] PRS/Geo-Technologies, „Cell Resistance to Permanent Deformation (SIM),” [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/geocells/geocell-reinforcement-permanent-deformation-sim/>.
- [18] PRS/Geo-Technologies, „Cell Dynamic (Elastic) Stiffness (DMA),” [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.prs-med.com/geocells/neoloy-technology/geocell-elastic-stiffness-dma/>.
- [19] O. KESKKONNAPROJEKT, Riigitee 5 Pärnu–Rakvere–Sõmeru km 184,33–184,59 Sõmeru ringristmiku põhiprojekti koostamine, Tallinn, 2021.

- [20] A. Kendra, SÕMERU KANDEVÕIME – EKSPERTARVAMUS, 2021.
- [21] R. Kundla, „Sõmeru ringristmik valmib uudse geokärje abil,“ ERR, 2021.
[Võrgumaterjal]. Available: <https://www.err.ee/1608342704/someru-ringristmik-valmib-uudse-geokarje-abil>.
- [22] J. Hendrikson, Freespurust kergliiklustee teostusjoonis, Tallinn, 2021.

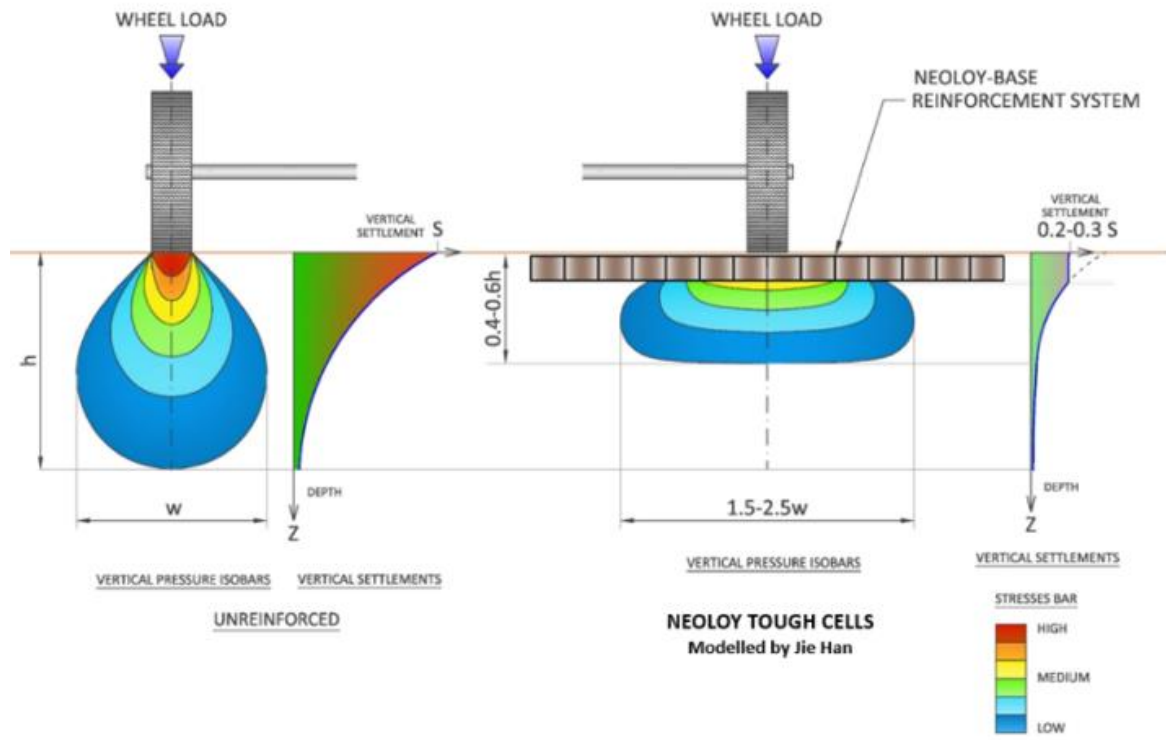
LISAD

Lisa 1 Neoloy Tough Cell talaefekt

Lisa 2 Sõmeru ringristmik

Lisa 3 Toila ristmik

Lisa 1 Neoloy Tough Cell talaefekt



[10]

Lisa 2 Sõmeru ringristmik



[11]



[11]

Lisa 3 Toila ristmik



[11]



[11]