

NB! Väljatrükk ei sisalda vormile lisatud faile. Kui neid on vormile lisatud, siis tuleks need eraldi välja trükkida

RITA-TEE1 2026

Ava vorm

Üldandmed

Uuringu nimi eesti keeles

Teekonstruksioonide arvutusmodell

Uuringu nimi inglise keeles

Pavement Structural Design Model

Uuringu algus

17.08.2026

Uuringu lõpp

16.08.2028

Konsortsiumi juht Kristjan Lill

Juhtpartner Tallinna Tehnikaülikool

Taotletav summa (ilma käibemaksuta) 579797,33

Taotletav summa (koos käibemaksuga)

718948,69

Valdkond ja eriala

Frascati Manuali valdkond	ETIS valdkond	CERCS valdkond	%
2.1 Ehitusteadused	4. Loodusteadused ja tehnika 4.15. Ehitus- ja kommunaaltehnika	T220 Tsiviilehitus, Hüdrotehnoloogia, avameretehnoloogia, pinnasemehhaanika	100,0

Lühikokkuvõte eesti keeles

Eesti teedevõrgu haldamine tugineb teekonstruktsioonide dimensioneerimisel arvutusmetoodikale, mille teoreetiline alus pärineb aastast 1983. Tegemist ei ole pelgalt vananenud tarkvaraga, vaid süsteemse metoodilise puudujäägiga: Eestis puudub täna teaduspõhine arvutusraamistik, mis võimaldaks teekonstruktsioonide alternatiive hinnata elukaarepõhiselt tugevuse, väsimuskestvuse, kliimategurite, CO₂ jalajälje ja elukaare kulude koosmõjus. Eeltoodust tuleneb uuringu keskne vajadus: luua Eesti tingimustele sobiv, läbipaistev ja valideeritav teekonstruktsioonide arvutusmudel ning pakkuda välja ühtne otsustusraamistik, mis võimaldab võrrelda alternatiivseid lahendusi 50 aasta perspektiivis. Välja töötatav metoodika ühendab konstruktsiooni tugevus- ja kestvusarvutuse, kliima- ja koormusmõjude käsitlemise, CO₂ jalajälje hindamise ning elukaare kulude võrdluse viisil, mis on tellija jaoks kontrollitav, korratav ja praktiliselt rakendatav. Kokkuvõttes on uuringu eesmärk asendada senine „jah/ei“ tugevuskontrolli loogika teaduspõhise, elukaarepõhise otsustustööriistaga, mis parandab teekonstruktsioonide valiku kvaliteeti, toetab ringlusse võetud materjalide põhjendatud kasutamist ning loob aluse Eesti teetaristu kulutõhusamaks ja väiksema keskkonnamõjuga kavandamiseks.

Generatiivse tehisintellekti kasutamine taotluse koostamisel

Kas te olete kasutanud generatiivse tehisintellekti abi (nt ChatGPT, MS Copilot, Gemini, DALL-E, Claude vms) taotluse või selle osade kirjutamiseks või ettevalmistamiseks?

Jah Ei

Selgitus tehisintellekti kasutamise kohta

Kasutati rakendusi ChatGPT ja Claude.

Mõlemat rakendust kasutati lähteülesande analüüsiks ja valideerimaks taotluse vastavust lähteülesandes püstitatud eesmärkidele. Samuti kasutati mõlemat rakendust taotluse eelarve koostamisel.

Uuringukirjeldus

Pakkuja arusaam sisulisest uuringuprobleemist ja sellest lähtuvalt püstitatud

uurimisülesannetest

Eesti teedevõrgu haldamine tugineb teekonstruktsioonide dimensioneerimisel arvutusmetoodikale, mille teoreetiline alus pärineb aastast 1983. Tegemist ei ole pelgalt vananenud tarkvaraga, vaid süsteemse metoodilise puudujäägiga: Eestis puudub täna teaduspõhine arvutusraamistik, mis võimaldaks teekonstruktsioonide alternatiive hinnata elukaarepõhiselt tugevuse, väsimuskestvuse, kliimategurite, CO₂ jalajälje ja elukaare kulude koosmõjus. See puudujääk piirab otseselt Transpordiameti ja kohalike omavalitsuste suutlikkust teha tõendus põhiseid investeerimisotsuseid projekteerimisel, rekonstrueerimisel ja hoolduse kavandamisel, kus näiteks Transpordiameti iga-aastane teehoiueelarve on suurusjärgus ca 250 mln eurot.

Analüüs, mis tugineb meeskonnaliikmete pikaajalisele kogemusele Eesti teedevõrgu projekteerimisel ja uurimisel, toob esile seitse omavahel seotud probleemi.

Esiteks on materjalide klassifikatsiooni ja sisendparameetrite süsteem lahknevuses Euroopas kehtiva ehitustoodete määruse ning tootestandarditega. Kehtiv metoodika ei ole täielikult kooskõlas Euroopa standarditel põhineva materjalide määratluse ja katseandmete kirjeldamise loogikaga ega vasta Kliimaministri 17.11.2023 määruses nr 71 „Tee projekteerimise normid“ kirjeldatud standarditele. Seetõttu ei saa turul olevaid materjale üheselt siduda arvutusmudelisse kasutatavate omadustega. Eriti kriitiline on see ringlusse võetud ja teise toorme materjalide puhul, mille omaduste kohta puudub Eesti tingimustes süstemaatiline ja arvutusmudelisse rakendatav andmebaas.

Teiseks on olemasoleva metoodika algpõhimõtted, kehtivuspiirid ja edasiarendatavus ebapiisavalt läbipaistvad. 1983. aasta metoodika aluseks olevad eeldused, kalibreerimisandmed ja kehtivuspiirid ei ole terviklikult kättesaadavad. See muudab metoodika valideerimise, kontrollimise ja edasiarendamise sisuliselt väga keeruliseks. Uus mudel peab seetõttu lähtuma läbipaistvuse põhimõttest: iga moodul, eeldus ja valem peab olema dokumenteeritud, kontrollitav, põhjendatav ja vajaduse korral asendatav, ilma et kogu süsteem kaotaks sidususe.

Kolmandaks on koormustingimused oluliselt muutunud ning neid tuleb käsitleda senisest dünaamilisemalt. Sõidukipark, teljekoormused ja liiklussagedused on nelja aastakümne jooksul oluliselt muutunud. Kehtiv metoodika ei võimalda neid muutusi piisava detailsusega arvesse võtta ega hinnata, millised koormusparameetrid mõjutavad konstruktsiooni kasutusiga ja kahjustusmehhanisme kõige enam. Seetõttu puudub täna piisava tõendatusega alus siduda konstruktsiooni dimensioneerimine reaalse liikluskoormuse arenguga.

Neljandaks ei võimalda binaarne tugevuskontroll elukaarepõhist optimeerimist. Praegune lähenemine vastab küsimusele „kas konstruktsioon peab vastu?“, kuid mitte küsimustele „kui kaua peab vastu?“, „millise hooldusintervalliga?“ ega „millise kogukuluga 50 aasta jooksul?“. Rahvusvahelises praktikas on mehhanilis-empiriiline (mechanical-empirical, ME) katendite dimensioneerimine muutunud valdavaks. Näiteks praktikas kasutatavad mudelid nagu Rootsi ERAPave, USA MEPDG ja Austraalia Austroads prognoosivad konkreetseid lagunemismehhanisme – väsimuspragunemist, jäävdeformatsiooni, kattekihi kulumist – ning seovad need kasutusea prognoosiga. Eestis selline terviklik analüütiline võimekus täna puudub.

Viiendaks on kliimategurite piirkondlik varieeruvus arvesse võetud ebapiisavalt. Eesti kliimatingimused on heterogeensed: külmumissügavus, külmumis- ja sulamisperioodi kestus, niiskusrežiim ja temperatuuritingimused erinevad piirkonniti. Kehtiv metoodika ei diferentseeri neid erinevusi piisavalt ega võimalda süstemaatiliselt arvestada kliimamuutuse mõjul nihkuvate tingimustega, sealhulgas soojemate talvede ja suvedega, muutuvate sademetega ning külmumis-sulamistsüklite muutusega.

Kuuendaks on sõidukite külghajuvuse ja naastrehvide mõju käsitus ebapiisav. Sõiduraja laius mõjutab koormuse jaotust ristisuunas: kitsamal rajal kontsentreerub koormus rohkem ning sellest tulenev väsimuskahjustus võib suurened ebaproportsionaalselt. Täna ei käsitleta katendite arvutamisel ka

massipiirangute tõstmisega kaasnevat lisanduvate telgede mõju, mis sõidavad samas nn rattajäljes. Samuti ei käsitleta kehtivas metoodikas piisavalt naastrehvide kasutusest tulenevat kattekihi kulumist, mis Eesti tingimustes on üks teekatte eluiga oluliselt mõjutavaid tegureid.

Seitsmendaks ei käsitleta täna Eestis katendite valikul CO₂ ja elukaare kulusid piisava detailsuse ja läbipaistvusega. Puudub ühtne metoodiline raamistik ja üheselt määratletud süsteemipiirid, mistõttu erinevate projektide tulemused ei ole alati võrreldavad. Uus lähenemine peab lisaks katendite dimensioneerimisele ära lahendama ka jalajälje arvutuse ja tee elukaare kulude arvutustega seonduva, viies katendite LCA kooskõlla standardiga EN 15978 ning LCCA standardiga ISO 15686-5.

Eeltoodust tuleneb uuringu keskne vajadus: luua Eesti tingimustele sobiv, läbipaistev ja valideeritav teekonstruktsioonide arvutusmudel ning pakkuda välja ühtne otsustusraamistik, mis võimaldab võrrelda alternatiivseid lahendusi 50 aasta perspektiivis. Välja töötatav metoodika ühendab konstruktsiooni tugevus- ja kestvusarvutuse, kliima- ja koormusmõjude käsitlemise, CO₂ jalajälje hindamise ning elukaare kulude võrdluse viisil, mis on tellija jaoks kontrollitav, korratav ja praktiliselt rakendatav.

Uurimisülesanded

Eeltoodud probleemianalüüsist tulenevalt püstitame kaheksa uurimisülesannet, mis järgivad lähteülesande kaheetapilist loogikat ja katavad kõik seitse ülal viidatud probleemset valdkonda. Lähteülesanne eeldab, et esimeses etapis luuakse teoreetiline kontseptsioon ja materjalide andmebaas ning teises etapis katsetatakse kohalikke ja valitud ringlusse võetud materjale, määratakse mudeli parameetrid ning liidestatakse eri arvutusmoodulid terviklikuks süsteemiks.

Etapp 1 – teoreetiline kontseptsioon ja empiiriliste andmete kogumine

Ülesanne 1. Töötada välja Euroopas kehtivate nõuetega kooskõlas olev materjalide klassifikatsiooni- ja parameetrisüsteem, milles on määratletud iga materjalitüübi nõutavad sisendparameetrid, määramismeetodid ja miinimumandmed, sealhulgas ringlusse võetud ja teisese toorme materjalide käsitlemise põhimõtted.

Ülesanne 2. Formuleerida katendite arvutusmudeli moodulipõhine arhitektuur, milles on omavahel liidestatud tugevuse ja väsimuskestvuse moodul, kliima- ja koormusmoodul. Pakutakse välja ka raamistik CO₂ jalajälje ja elukaarekulude hindamiseks vastavalt standarditele EN 15978 ja ISO 15686-5.

Ülesanne 3. Defineerida Eesti tingimustele sobiv kliimatsoonide jaotus ning hooajaliste materjaliomaduste muutuste arvestamise loogika, hõlmates vähemalt külmumis-sulamistsükleid, niiskusrežiimi, temperatuuritingimusi ja nende mõju konstruktsiooni toimivusele.

Ülesanne 4. Koostada arvutusmudeli teoreetiline materjalide andmebaas, mis hõlmab Eesti praktikas levinud materjale ning valitud perspektiivseid teisese toorme ja ringlusse võetud materjale koos parameetrite algväärtuste, piirvahemike, kasutuspiirangute ja ebakindluste kirjeldusega.

Ülesanne 5. Kavandada ja teostada labori- ja välikatsete programm mudeliparameetrite määramiseks ning viia läbi tundlikkusanalüüs, et tuvastada sisendparameetrid, mille suhtes mudeli tulemused on kõige tundlikumad, sealhulgas koormusspekter, sõidukite külghajuvus, kliimategurid ja naastrehvide mõju.

Etapp 2 – katsetamine, valideerimine ja integreerimine

Ülesanne 6. Katsetada Eestis levinud materjale ja valitud taaskasutusmaterjale ning määrata arvutusmudeli jaoks vajalikud parameetrid, sealhulgas jäikus-, kestvus- ja kliimamõju iseloomustavad näitajad.

Ülesanne 7. Liidestada tugevuse ja kestvuse moodulid ühtseks arvutusmudeliks, analüüsides sealjuures ka olemasolevate või arendatavate LCA/LCC kalkulaatorite väljundite ülevõtmise ja integreerimise võimalusi.

Ülesanne 8. Valideerida katendite arvutusmudel Eesti teelõikude mõõtmis- ja seisundiandmetega, teostada võrdlusjuhtumite analüüs, realiseerida mudel digitaalse rakendusena vähemalt TRL6 tasemel ning töötada välja standardne väljundaruanne ja kasutusjuhend. Täiendavalt koostatakse ettepanekud LCA ja LCCA tulemuste kasutamiseks otsustustoena ja hangete ettevalmistamisel ning mudeli edasiarenduse teekaart

LCA ja LCCA integreerimiseks arvutusmudelisse.

Kokkuvõttes on uuringu eesmärk asendada senine „jah/ei“ tugevuskontrolli loogika teaduspõhise, elukaarepõhise otsustustööriistaga, mis parandab teekonstruktsioonide valiku kvaliteeti, toetab ringlusse võetud materjalide põhjendatud kasutamist ning loob aluse Eesti teetaristu kulutõhusamaks ja väiksema keskkonnamõjuga kavandamiseks.

Pakutava uurimismetoodika kirjeldus ja põhjendus

Kavandatava arvutusmudeli metoodiline alus on mehhanilis-empiiriline (ME) põhimõte, mis on rahvusvahelises teehoius viimase kahe aastakümne jooksul kujunenud valdavaks lähenemiseks elastsete teekonstruktsioonide projekteerimisel. ME-metoodika eristub Eestis praegu kasutusel olevast analüütilis-matemaatilisest lähenemisest selle poolest, et konstruktsiooni toimivust ei hinnata üksnes koormustaluvuse lävendi kaudu, vaid modelleeritakse konkreetseid kahjustusmehhanisme – väsimuspragunemist, püsideformatsiooni ja kulumist – ning prognoositakse nende ajas arenemist koormuste, kliima ja materjalide koosmõjus.

ME-põhimõttel toimivad mitmed rahvusvahelised süsteemid, nt Rootsi ERAPave, USA MEPDG, Hollandi RHEOS. Uuringu esimeses etapis analüüsitakse taoliste süsteemide metoodilisi aluseid, parameetrisüsteeme ja mudeleid ning hinnatakse nende sobivust Eesti tingimustesse. Eesmärk on Eesti oludele optimeeritud terviklahenduse väljatöötamine, mis tugineb rahvusvaheliselt valideeritud ME-põhimõtetele. Uuringuga keskendutakse neljale alljärgnevale moodulile:

Moodul A – tugevusarvutus. Konstruktsiooni mehaaniline analüüs põhineb mitmekihilise elastse süsteemi teoorial, mis võimaldab arvutada pingeid ja deformatsioone teekonstruktsiooni igas kihis etteantud koormuse ja materjalide jäikusparameetrite korral. Analüüs viiakse läbi inkrementaal-rekursiivse protseduurina: analüüsiperiood (50 aastat) jagatakse hooajalisteks inkrementideks, igas inkremendis uuendatakse materjaliomadusi vastavalt temperatuuri- ja niiskustingimustele ning kahjustus akumulereeritakse Miner'i lineaarse kumulatiivse kahjustuse hüpoteesi alusel. Iga koormuskorduse toimet hinnatakse kriitilistes punktides: asfaldikihi alumine pind (horisontaalne deformatsiooni väsimuspragunemise hindamiseks) ja pinnase ülapind (vertikaalne surve püsideformatsiooni hindamiseks). Asfaldikihtide jäikuse kirjeldamiseks on peamine kandidaatlähenedamine nõ master curve meetod, mis seob dünaamilise jäikusmooduli temperatuuri ja koormussagedusega ning võimaldab hooajalist varieeruvust arvestada realistlikult. Samas ei välistata alternatiivseid jäikuse kirjeldamise viise, kui need osutuvad Eesti andmestiku ja laborivõimekuse kontekstis otstarbekamaks. Väsimuskestvuse hindamiseks on rahvusvahelises praktikas levinud mitu lähenemist, sh kaudse tõmbe väsimuskatse (IT-CY) ja nelipunktipainutus (4PB-PR) – konkreetse katsemeetodi valik otsustatakse etapis 1, arvestades nii rahvusvahelist kogemust, Eesti laborivõimekust kui ka varasematest uuringutest kättesaadavaid andmeid. Rahvusvaheline praktika näitab, et väsimusea prognoosis on vajalik kalibreerimistegur, mis seob laborikatse tegelike välivaatlustega – selle teguri määramine Eesti tingimustele on üks uuringu võtmeülesandeid. Püsideformatsiooni prognoos asfaldikihtides on rahvusvaheliselt kõige vähem standardiseeritud komponent: olemasolevad süsteemid kasutavad kas erinevas formaadis rattaroopa katseid, tagasiarvestust (back-calculation) väliandmetest või arendamisjärgus olevaid spetsiifilisi mudeleid. Konkreetne lähenemine valitakse uuringu käigus, arvestades Eesti olemasolevaid andmeid ja katsevõimekusi.

Sidumata kihtide ja aluspinnase puhul on elastsusmooduli ja püsideformatsiooni parameetrite määramiseks peamine kandidaatmeetod korduvkoormuse kolmeteljelise katse (repeated load triaxial, RLT) erinevatel niiskustingimustel ja pingetasemetel. Parameetrite allikana arvestatakse ka varasematest

uuringutest ja välikatsetest (LWD, FWD, plaatkoormuskatse) pärinevaid andmeid ning rahvusvahelist referentskirjandust. Suuremõõtmeliste fraktsioonide puhul, kus laboratoorsete katsete võimalikkus on piiratud, kombineeritakse laboritulemusi väliandmetega ja inseneerhinnanguga. Soojustehnilised omadused (soojusjuhtivus, soojusmahtuvus) määratakse kirjanduse põhjal ja kalibreeritakse vajadusel Eesti andmetega.

Naastrehvide abrasiivse kulumise mõju käsitletakse eraldi empiirilise alammudelina, mille sisendiks on naastrehvide osakaal liiklusvoos ja katematerjalide kulumiskindluse näitajad. Võimalike katsemeetoditena kaalutakse Prall-katset, Nordic Ball Mill katset, segureseptis sisalduvate üle 2/4/8 mm osiste sisaldust ja suurimat teramõõtu. See on Põhjamaades levinud praktika; lõplik meetodivalik tehakse etapis 1, arvestades Eesti laborite võimekust ja olemasolevaid andmeid.

Moodul B – kliimamõjud. Kliimamoodul arvestab hooajalisi materjalide jäikuse muutusi, niiskusrežiimi ja külmumis-sulamistsükli mõju konstruktsiooni kandevõimele. Eesti jagatakse kliimatsoonideks meteoroloogiliste pikaajaandmete klasteranalüüsi põhjal (peamised mõjuparameetrid: minimaalne/maksimaalne/keskmine õhutemperatuur, sademete hulk, külmumissügavus). Temperatuuriprofiil konstruktsiooni sügavuses arvutatakse soojusjuhtivuse mudelite abil, mis võimaldavad asfaldikihi jäikuse hooajalist varieerumist realistlikult siduda mooduli A inkrementaalse protseduuriga.

Koormusmoodul kirjeldab liikluskoormust kalibreeritud teljekoormuste jaotusena, mis arvestab sõidukipargi koosseisu, koormuste kasvu prognoosi ja sõidukite külghajuvust sõltuvalt sõiduraja laiusest. Hajuvuse modelleerimiseks kasutatakse normaaljaotuse põhist koormuse jaotust sõiduraja ristiprofiilil, mille standardhälve on seotud raja laiusega. See võimaldab kvantitatiivselt hinnata, kui võrd kitsamal rajal kontsentreeruvad koormus mõjutab prognoositavat kasutust.

Moodul C – LCA. Süsinikujalajälje moodul koostatakse kooskõlas standardi EVS-EN 15978 süsteemipiiridega. Arvutus hõlmab tootmise (moodulid A1–A3), transpordi (A4), ehituse (A5), hoolduse ja remondi (B2–B5) ning olelusringi lõpu (C1–C4) etappe; taaskasutuse potentsiaal (moodul D) esitatakse eraldi. Emissioonitegurite valikul eelistatakse tootjapõhiseid keskkonnatootedeklaratsioone (EPD), kus need on kättesaadavad; muul juhul kasutatakse valideeritud, Euroopa konteksti arvestavaid, andmebaase. Ringluse võetud ja teisese toorme materjalide puhul kohaldatakse jaotusreeglit kooskõlas EVS-EN 15804 põhimõtetega. LCA mooduli väljundiks on CO₂ e kogu analüüsiperioodi ulatuses (kg CO₂ e/m²). Uuringu käigus analüüsitakse LCA mooduli liidestusvõimalusi Tallinna Tehnikakõrgkoolis väljatöötatavate transporditaristu LCA kalkulaatoritega, et tagada meetodiline kooskõla ja vältida topelttööd.

Moodul D – elukaarekulude arvutus (LCCA). Kulumoodul koostatakse kooskõlas standardi ISO 15686-5 raamistikuga. Arvutus hõlmab ehituskulu, kavandatud hooldus- ja taastamistöid (intervallid ja mahud tulenevad mooduli A kasutusea prognoosist) ning jääkväärtust analüüsiperioodi lõpul. Kulud diskonteeritakse nüüdisväärtusele reaalse diskontomääraga, mille vaikeväärtus on kooskõlas Eesti avaliku sektori investeeringute hindamise praktikaga. Mudel võimaldab stsenaariumipõhist analüüsi: kasutaja saab varieerida hooldusstrateegiat, materjalide hindu ja diskontomäära ning hinnata tulemuste tundlikkust eelduste suhtes. LCCA väljundiks on nüüdisväärtuses kulu (€/m², NPV) kogu analüüsiperioodi jooksul.

NB! Moodulid C ja D esitatakse katendite arvutusmetoodikast eraldiseisvalt (vt "lisainfo").

Metoodika seos lähteülesande uurimisküsimustega. Kavandatav moodulstruktuur adresseerib lähteülesande seitset probleemivaldkonda järgmiselt. Materjalide klassifikatsiooni lahknevus Euroopa standarditest (probleem 1) lahendatakse ülesandes 1 EN-standarditega kooskõlas oleva parameetrisüsteemi kaudu, mille sisendid kantakse läbi kõigi moodulite. Metoodika läbipaistvuse probleem (probleem 2) lahendatakse moodulpõhise arhitektuuriga, kus iga moodul on eraldi dokumenteeritud, valideeritav ja asendatav. Muutunud koormustingimused (probleem 3) ja sõidukite külghajuvus ning naastrehvide mõju (probleem 6) adresseeritakse mooduli B koormuskirjelduse ja

mooduli A abrasiiooni alammudeliga. Binaarse tugevuskontrolli asendamine elukaarepõhise optimeerimisega (probleem 4) on mooduli A inkrementaal-rekursiivse protseduuri ja kahjustusmudeli otsene väljund. Kliimategurite piirkondlik varieeruvus (probleem 5) lahendatakse mooduli B kliimatsoonide ja hooajalise korrigeerimise kaudu. CO₂ ja kuluarvutuste (probleem 7) lahendatakse moodulite C ja D integreerimisega otsustusmaatriksisse. Seega ei ole moodulite valik meelevaldne, vaid tuleneb otseselt lähteülesande probleemipüstitusest.

Tundlikkusanalüüs teostatakse sisendparameetrite süstemaatilise varieerimise kaudu, et tuvastada kriitilised sisendid, mille ebatäpsus mõjutab mudeli prognoose kõige enam. Analüüs katab nii mehaanilise mooduli parameetreid (materjalide jäikused, väsimuskarakteristikud, koormusspekter) kui ka LCCA eeldusi (diskontomäär, hooldusintervallid, materjalide hinnad). Valideerimiseks kasutatakse Eesti teelõikude pikaajalisi seisundiandmeid, võrreldes mudeli prognoose tegelike mõõtmistulemustega. Valideerimiskriteeriumid (lubatud hälbed, statistilised sobivusnäitajad) lepitakse kokku tellijaga avakoosolekul.

Katendite arvutusmudel realiseeritakse võimalusel arvutisse installeeritava tarkvarana või veebirakendusena (vt "lisainfo"). Juhul kui mudel realiseeritakse veebirakendusena, järgitakse Transpordiameti ja digiriigi ristfunktsionaalseid nõudeid (e-gov/cfr, Koodivaramu). Kui luuakse arvutisse installeeritav või veebirakendus, siis peegeldab tarkvaraarhitektuur arvutusmudeli moodulstruktuuri, võimaldades komponentide sõltumatut uuendamist. Sellisel juhul antakse lähtekood ja dokumentatsioon projekti lõpus tellijale üle.

Pakkuja nägemus andmevajadusest ning andmestike sidumisest

Arvutusmudeli toimimiseks on vajalikud viie kategooria andmed: liikluskoormus, kliima ja ilmastik, materjalide parameetrid, teede seisundiandmed valideerimiseks ning kulu- ja keskkonnaandmed LCA/LCCA moodulite jaoks. Andmevajadus on otseselt seotud kavandatava moodulpõhise meetodikaga, milles on omavahel liidestatud tugevuse ja kestvuse/väsimuskkestvuse, kliima- ja koormusmõjude, CO₂ jalajälje ning elukaarekulude moodulid.

Andmed jaotatakse kolme rühma: esiteks olemasolevad andmed, mis saadakse tellijalt, avalikest seireallikatest ja varasematest uuringutest; teiseks projekti käigus kogutavad täiendavad labori- ja väliandmed; kolmandaks mudeli kalibreerimisel, koondamisel või töötlusel tuletatavad parameetrid. Iga andmerühma puhul määratletakse minimaalsed kvaliteedinõuded, kasutuspiirangud ning asendusloogika puudulike andmete korral. See lähenemine võimaldab kujundada mudeli nii, et selle kasutamine ei eelda kõikides sisendkategooriates täielikku andmeküllust, kuid tulemuste usaldusväärsus ja piirangud on läbipaistvalt dokumenteeritud.

Liikluskoormuse andmed on koormusmooduli peamine sisend. Vajalikud on teljekoormuste jaotused, liiklussagedused, sõidukipargi koosseis ja selle muutustrendid. Põhirõhk on üle 3,5-tonniste sõidukite diferentseerimisel teljekoormuste kaupa; sõiduautode puhul on oluline naastrehvide kasutamise osakaal. Uuringurühmal on ligipääs Transpordiameti süstemaatilistele pikaajalistele liiklusloenduse ja kaalumisandmetele; vajaduse korral täiendatakse neid varasemate uuringute, rahvusvahelise referentskirjanduse ja täiendavate välimõõtmistega. Sõidukite külghajuvuse kirjeldamiseks kasutatakse andmeid või parameetreid, mis võimaldavad siduda koormuse jaotuse sõiduraja laiusega.

Kliima- ja ilmastikuandmed on vajalikud kliimatsoonide määratlemiseks ning materjalide hooajaliste omaduste muutuste kirjeldamiseks. Peamised allikad on Keskkonnaagentuuri pikaajalised meteoroloogilised mõõtured ja Transpordiameti teeilmajaamade andmed. Vajalikud sisendid on vähemalt õhutemperatuur, sademed, (arvutuslik) külmumissügavus ning võimaluse korral niiskusrežiimi

iseloomustavad näitajad. Nende andmete põhjal tuletatakse mudeli jaoks kliimatsioonid, temperatuuriprofiilid ja hooajalised korrigeerimistegurid.

Materjalide parameetrite andmestik on tugevuse ja kestvuse/väsimuskestvuse mooduli keskne alus. Iga materjalitüübi kohta on vajalikud vähemalt mehaanilised parameetrid, soojustehnilised omadused ning vajaduse korral niiskustundlikkust kirjeldavad näitajad. Sisendallikatena kasutatakse olemasolevaid Eesti uuringuid, varasemate labori- ja välikatsete tulemusi ning projekti käigus kogutavaid täiendavaid andmeid. Täiendavad katsed tehakse prioriteetsete materjalide kohta, mis valitakse metoodika ja tundlikkusanalüüsi alusel. Vajadusel katsevõimekuse tagamiseks, mida Eestis praegu piisavas mahus ei eksisteeri, kasutatakse väljaspool Eestis olevate laborite võimekust, kellega uuringurühmal on varasem koostöökogemus, nt Tampere Ülikool või Aalto. Andmebaasi eesmärk ei ole projekti lõpuks ammendavalt katta kõik võimalikud materjalid, vaid luua standardiseeritud andmestruktuur, esmatäita see prioriteetsete materjalidega ning anda juhis selle edasiseks täiendamiseks.

Teede seisundiandmed on vajalikud mudeli valideerimiseks. Konsortsiumil on ligipääs Transpordiameti süstemaatilisele seisundihindamise andmebaasile. Kasutatakse vähemalt tasasuse, roopa sügavuse, defektide ja kandevõime andmeid, mida seotakse konkreetsete teelõikude konstruktsioonikirjelduse, liikluskoormuse ja kliimatingimustega. Valideerimise seisukohalt on kriitiline, et andmed oleksid seotud ruumiliselt ja ajaliselt samade objektidega, mille kohta on teada konstruktsiooni ülesehitus ning peamised sisendtingimused.

Kulu- ja keskkonnaandmed on vajalikud LCA ja LCCA moodulite jaoks. LCA sisendina eelistatakse standardkohaseid tootjapõhiseid EPD-sid; nende puudumisel kasutatakse valideeritud andmebaase. LCCA sisendina kasutatakse ehitus-, hooldus- ja taastamiskulude andmeid, mis saadakse tellijalt, hankedokumentidest ja muudest asjakohastest allikatest. Andmestruktuur kujundatakse kooskõlas Kliimaministeeriumi kehtestatavate keskkonnahoidlike teedeehituse kriteeriumidega, mille kohaselt muutuvad LCA ja LCC nõuded kohustuslikuks üle 2 mln € tee-ehituse hankelepingutes. See tagab, et mudeli väljundid on vahetult kasutatavad tulevases regulatiivses raamistikus ning võimaldavad liidestada olemasolevaid või arendatavaid kalkulaatoreid kavandatava arvutusmudeliga.

Andmestike sidumise keskne põhimõte on ühine andmemudel, milles eri allikad seotakse teelõigu identifikaatori, asukoha, ajamõõtme, konstruktsioonikirjelduse, materjalitüübi ja andmeallika kvaliteediklassi kaudu. Iga mooduli andmenõuded, formaadid ja kvaliteedikriteeriumid dokumenteeritakse. Avakoosolekul täpsustatakse tellijaga andmevahetuse kord ja vastuvõtukriteeriumid. Selline ülesehitus tagab, et uute andmete lisamine pärast projekti lõppu ei nõua mudeli põhiloogika muutmist.

Pakkuja nägemus uuringuprotsessi toimimisest

Uuringu viib läbi Tallinna Tehnikaülikooli uurimisrühm, kes kaasab alltöövõtjana ERC Konsultatsiooni OÜ (registrikood 10116362) liikluskoormuse andmete kogumiseks, töötlemiseks ja koormusmooduli sisendparameetrite formeerimiseks ning võimalusel väliseksperte riikidest või uurimisasutustest, mille pakutav metoodika põhineb. Näiteks Rootsi Riikliku Tee- ja Transpordiuuringute Instituudi (VTI) teadlased Sigurdur Erlingssoni ja Abubeker Ahmedi (ERAPave arvutusmudeli arendajad). Välisekspertide roll on toetada metoodika võtmeotsuste sõltumatut ülevaatust, valideerimiskriteeriumide täpsustamist ja vahetulemuste eksperthindamist.

Meeskonna tööjaotus on üles ehitatud moodulipõhiselt. Konsortsiumijuht prof Artu Ellmann vastutab uuringu teadusliku kvaliteedi ja strateegilise juhtimise eest. Projektijuht Kristjan Lill koordineerib igapäevast tööd, ajakava, eelarvet ja aruandlust. Sven Sillamäe ja Ain Kendra vastutavad katendikonstruktsioonide, materjalide ning tugevuse ja kestvuse/väsimuskestvuse moodulite eest; Sven Sillamäe täidab ühtlasi geotehnilise eksperdi rolli. Kristjan Lill vastutab lisaks LCA mooduli, Üllas Ehrlich

LCCA mooduli ning Tiit Kaal LCCA praktilise rakendatavuse ja kooskõla eest tellija otsustus- ja hankeloogikaga. Projekti edukaks läbiviimiseks on vajalikud ka liiklusuuringud ning nende eest hoolitseb Luule Kaal.

Uuringuprotsess on kavandatud kaheetapiliselt vastavalt lähteülesandele. Esimeses etapis luuakse teoreetiline kontseptsioon, määratletakse andmevajadus ja meetodiline arhitektuur ning koostatakse materjalide andmestruktuur koos katseprogrammiga. Teises etapis määratakse prioriteetsete materjalide parameetrid, liidestatakse moodulid A ja B tervikmudeliks, valideeritakse lahendus Eesti teelõikude andmetega ning realiseeritakse digitaalne rakendus. Moodulid C ja D lahendatakse eraldiseisvalt. Selline ülesehitus võimaldab hoida uuringu kontrolli all ka olukorras, kus üksikute meetodite lõplik valik sõltub etapi I tulemustest.

Uuring kestab 24 kuud ja jaguneb seitsmeks töopaketi, mis on seotud uurimisülesannetega järgmiselt: TP1 hõlmab ülesandeid 1 ja 2, TP2 ülesannet 3, TP3 ülesandeid 4 ja 5, TP4 ülesannet 6, TP5 ülesannet 7, TP6 ülesannet 8. TP0 on läbiv töopakett ning hõlmab projektijuhtimist, kvaliteedikontrolli, aruandlust ja kommunikatsiooni. TP1 käsitleb rahvusvahelise kogemuse analüüsi, meetodika valikut ja mudeli arhitektuuri formuleerimist. TP2 keskendub kliimatsoonide ning ilmastiku- ja koormussisendite meetodikale. TP3 hõlmab materjalide andmestruktuuri, katseprogrammi ja tundlikkusanalüüsi. TP4 käsitleb materjalide katsetamist ja mudeliparameetrite määramist. TP5 keskendub moodulite liidestamisele ning LCA ja LCCA integreerimisele otsustusmaatriksisse. TP6 hõlmab tervikmudeli valideerimist, rakenduse lõppviimistlust, standardse väljundaruande ja kasutusjuhendi koostamist ning kasutuselevõttu toetavaid soovitusi. Tööpakettide ajakava esitatakse taotluse lisas Gantti tabelina.

Tööpaketid on osaliselt kattuvad, kuid nendevaheline liikumine põhineb selgel sisend-väljundloogikal. Iga tööpaketi lõpus koostatakse vaheväljund, mis sisaldab tehtud töö kokkuvõtet, peamisi meetodilisi otsuseid, kasutatud andmestikku, piiranguid ning järgmise tööpaketi sisendiks minevaid tulemusi. Rakenduse, standardse väljundaruande ja kasutusjuhendi arendust alustatakse paralleelselt integreerimisetaapiga, et lõppfaasis keskenduda mudelite valideerimisele ja kasutuselevõtuvalmidusele.

Uuringu juhtimine toimub tihedas koostöös tellijaga. Avakoosolekul täpsustatakse kasutusjuhtumid, andmenõuded, vastuvõtukriteeriumid ja andmevahetuse kord. Juhtkomisjonile esitatakse vähemalt kaks korda aastas kirjalik kokkuvõtte töö käigust ja vahetulemustest. Kui etapi I tulemused näitavad, et mõne katsemeetodi või nõutavate omaduste täpsustamine või asendamine on teaduslikult põhjendatud, tehakse see juhtkomisjoniga kooskõlastatud otsusena, säilitades projekti põhieesmärgid, võrreldavuse ja ajakava tervikloogika.

Uuringu sisemise kvaliteedi tagab kolmeastmeline süsteem: tööpaketi vastutaja eelkontroll, väliseksperptide sõltumatu ülevaatus ning juhtkomisjonile esitatavad aruanded. Projekti lõpus esitatakse tellijale kasutuselevõtu kava, mis kirjeldab mudeli üleminekut prototüübist (TRL6) igapäevasesse kasutusse, sh vastutused, koolitusvajadus ja esimese aasta tugiperiood. Järelkasvu tagamiseks seotakse uuringuga üks doktoritöö, mille teemaks on Eesti oludele kohandatud elukaarepõhise katendiarvutusmetoodika väljatöötamine ja valideerimine, ning vähemalt neli magistritööd – iga põhimooduli (A: tugevus ja kestvus, B: kliima ja koormused, C: CO₂ jalajälg, D: elukaarekulud) kohta üks. Selline ülesehitus tagab, et iga mooduli süvauurimine on akadeemiliselt juhendatud ja dokumenteeritud ning valdkonna järelkasv on projekti orgaaniline osa.

Uuringu Gantti graafik

Teekonstruktsioonide_gantt.xlsx

Riskide maandamise plaan

Riskide maandamise plaan on struktureeritud lähteülesandes nimetatud nelja riskikategooria kaupa. Iga

riski puhul on kirjeldatud selle sisu ning konkreetsed maandamismeetmed. Riskide seiret tehakse jooksvalt läbiva projektijuhtimise tööpaketi raames ning vajaduse korral ajakohastatakse maandamismeetmeid tööpakettide vaheväljundite ja juhtkomisjonile esitatavate kokkuvõtete põhjal.

1. Andmete kättesaadavuse ja kvaliteedi risk. Arvutusmudeli toimimine eeldab viie kategooria andmeid, millest osa saadakse tellijalt ja avalikest allikatest ning osa kogutakse projekti käigus. Peamine risk on, et mõne andmekategooria, eelkõige materjaliparameetrite, kuluandmete või seisundiandmete, maht, detailsus või kvaliteet osutub ebapiisavaks. Maandamiseks on andmevajadus jaotatud olemasolevateks, kogutavateks ja tuletatavateks andmeteks ning iga rühma jaoks on ette nähtud asendusloogika ja minimaalsed kvaliteedinõuded. Avakoosolekul lepatakse tellijaga kokku andmevahetuse kord ja vastuvõtukriteeriumid. Materjaliparameetrite puudumisel kasutatakse rahvusvahelise referentskirjanduse väärtusi koos täpsushinnanguga. Andmete kogumine algab paralleelselt meetodikatööga, et andmelünk ilmneks varakult. Andmete piisavust jälgitakse igas tööpaketi vaheväljundi koostamisel.

2. Katsete ajakavarisk. Labori- ja välikatsed on ajamahukad ning osa neist võib eeldada väljaspool Eestit asuvate laborite võimekuse kasutamist. Risk seisneb selles, et katsete ettevalmistus, proovikehade logistika või laboriaja kättesaadavus põhjustavad viivitusi. Maandamiseks määratakse katseprogrammi prioriteetid tundlikkusanalüüsi alusel juba etapis I, et keskenduda parameetritele, mis mõjutavad mudeli tulemusi kõige enam. Vajalikud laboriajad broneeritakse projekti alguses. Katsemeetodite lõplik valik arvestab Eesti laborivõimekust ja varasematest uuringutest kättesaadavaid andmeid. Kui mõne parameetri laboratoorne määramine osutub ebaproportsionaalselt ajamahukaks, kasutatakse alternatiivset lähenemist, näiteks tagasiarvutusi väliandmetest või referentskirjanduse väärtusi koos täpsushinnanguga. Katsete edenemist jälgitakse regulaarselt projektijuhtimise raames.

3. Rakendatavuse risk. Uuringu lõpptulemus peab olema praktikas kasutatav lahendus, mille väljund toetab tellija ja projekteerijate otsuseid. Risk on, et mudel jääb liiga akadeemiliseks, väljundaruanne ei vasta praktikute ootustele või lõppkasutajad ei võta tööriista omaks. Maandamiseks kaasatakse lõppkasutajate sisend projekti jooksul ning avakoosolekul täpsustatakse kasutusjuhtumid ja standardse väljundaruande nõuded. Võimalusel arendatakse digitaalset rakendust paralleelselt integreerimisetaapiga, et tagada piisav testimisaeg (vt "lisainfo"). Prototüüpi testitakse valitud kasutusjuhtumite põhjal koos tellija ja praktikutega enne lõplikku üleandmist.

4. Ressursi- ja võtmeisikurisk. Meeskond hõlmab põhieksperthe, doktoranti, magistrante ning alltöövõtjat. Risk seisneb põhieksperthe ajutises väljalangemises või ülekoormuses. Maandamiseks on tööjaotus moodulipõhine ning olulisemate moodulite juures on kaasatud rohkem kui üks sisuline ekspert. Tööpakettide vaheväljundid dokumenteeritakse viisil, mis võimaldab ülesandeid vajaduse korral meeskonna sees ümber jaotada ilma uuringu põhiloogikat muutmata. Konsortsiumijuhi ja projektijuhi rollid on eristatud, mis vähendab juhtimise üheisikuriskust. Ressursikasutust jälgib projektijuht regulaarselt ning kõrvalekalletest teavitatakse juhtkomisjoni esimesel võimalusel.

Kokkuvõttes on riskide maandamise plaan üles ehitatud nii, et see vähendab teaduslikke, tehnilisi ja juhtimisriske, säilitades samal ajal uuringu paindlikkuse. Selline lähenemine loob eeldused, et projekti lõpuks valmib teaduspõhine, valideeritud ja rakendatav arvutusmudel, mille piirangud ja usaldusväärsus on tellija jaoks läbipaistvalt dokumenteeritud.

Kommunikatsiooniplaan

Kommunikatsiooniplaani eesmärk on tagada, et uuringu tulemused ei jääks üksnes teaduslikuks väljundiks, vaid jõuaksid projekti jooksul järk-järgult nende sihtrühmadeni, kelle otsuseid uus arvutusmudel peab toetama. Lähteülesande kohaselt on võtmelõppkasutajad projekteerijad, Transpordiameti projektijuhid ja kohalike omavalitsuste ehitusspetsialistid; kommunikatsioon on seetõttu kavandatud nii, et see ühendab tööprotsessi toetava sisekommunikatsiooni, sihtrühmade kaasamise,

laiemale avalikkusele suunatud erialakommunikatsiooni ning rahvusvahelise teaduskommunikatsiooni. Kommunikatsioon toimub neljal tasandil. Esiteks tööprotsessi toetav kommunikatsioon tellija ja juhtkomisjoniga, mille kaudu täpsustatakse kasutusjuhtumeid, andmenõudeid, vastuvõtukriteeriume ja vahetulemusi. Teiseks sihtrühmadele suunatud erialane kommunikatsioon, mille eesmärk on koguda tagasisidet ja valmistada ette mudeli kasutuselevõttu. Kolmandaks laiem ühiskonnakommunikatsioon, mis selgitab elukaarepõhise teekonstruktsioonide hindamise olulisust Eesti teehoiu ja kestlikkuse kontekstis. Neljandaks rahvusvaheline teaduskommunikatsioon, mis tagab tulemuste sõltumatu teadusliku kontrolli ja suurendab Eesti teadlaste nähtavust valdkonnas.

Projekti jooksul kasutatakse viit peamist kommunikatsioonikanalit.

1. TalTechi Trialoog. Trialoog on TalTechi ettevõtlus-, teadus- ja arvamuspordaal, mille põhisihtgrupp on ettevõtjad ja otsustajad. Plaanime avaldada projekti käigus kaks korda aastas (kokku 4 korda) pikema käsitluse, mis avab kas uuringu probleemi, vahetulemuse või praktilise tähenduse. Selline formaat aitab tõlkida tehnilise sisu arusaadavasse keelde ning suurendab tõenäosust, et teema jõuab ka laiemasse meediaruumi.

2. Transpordiameti digiajakiri Teejuht. Teejuht ilmub neli korda aastas ja kajastab transpordi ning liikuvuse arengusuundi ja uurimistulemusi. Projekti käigus kavandame vähemalt kaks sisulist ülevaadet: ühe uuringu vahetulemuste ja ühe lõpptulemuste ning rakendamissoovituste tutvustamiseks.

3. Ettekanded ja tutvustused koolitustel ja/või erialaseminaridel. Uuringu käigus tutvustatakse metoodilisi valikuid, vahetulemusi ja prototüübi kasutusloogikat vähemalt kahel erialasel koolitusel või seminaril. Selle kanali eesmärk on lisaks tulemuste levitamisele ka praktilise tagasiside kogumine projekteerijatelt ja tellija esindajatelt enne lõpliku lahenduse kinnitamist.

4. Projekti vahe- ja lõppseminar. Korraldatakse vähemalt üks vahe-etapi seminar ja projekti lõpus tulemusi koondav seminar. Vahe-etapi seminar keskendub kasutusjuhtumitele, metoodika põhivalikutele ja andmestruktuurile; lõppseminar keskendub prototüübi, valideerimistulemuste ja rakendussoovituste tutvustamisele. Seminarides osalevad tellija, lõppkasutajad, erialaliidud, teadlased ja vajaduse korral materjalitootjate või projekteerimissektori esindajad.

5. Rahvusvaheline teaduspublitseerimine. Uuringu tulemused avaldatakse vähemalt kahes rahvusvahelises eelretsenseeritud teadusajakirjas ning tutvustatakse ettekandena vähemalt ühel rahvusvahelisel erialakonverentsil. Uuringuga seotud doktoritöö ja magistritööd on samuti teaduskommunikatsiooni väljundid, mis tagavad tulemuste süstemaatilise dokumenteerimise ja sõltumatu akadeemilise kontrolli.

Lisaks kommunikatsioonikanalitele koostatakse projekti käigus juhendmaterjalid, mis toetavad mudeli kasutuselevõttu: metoodikajuhend arvutusmudeli kasutamiseks projekteerijatele ning ettepanekud LCA ja LCCA tulemuste rakendamiseks hangete ettevalmistamisel. Need materjalid on ühtlasi kommunikatsioonivahend, mis tagab tulemuste praktilise kättesaadavuse ka pärast projekti lõppu.

Kommunikatsioon on ajastatud kooskõlas uuringu etappidega. Esimeses etapis on rõhk probleemi avamisel, kasutusjuhtumite täpsustamisel ja metoodika põhimõtete selgitamisel. Teises etapis liigub rõhk vahetulemuste, prototüübi loogika, valideerimise ja rakendussoovituste tutvustamisele. Selline etapiviisiline kommunikatsioon vähendab riski, et lõppkasutajad puutuvad lahendusega kokku alles projekti lõpus, ning suurendab tõenäosust, et lõppväljund on nende jaoks arusaadav ja kasutatav.

Uurimisteema panus RITA eesmärkide täitmisse

Käesolev uurimisteema panustab RITA+ eesmärkidesse otseselt. RITA+ eesmärk on suurendada nutika spetsialiseerumise valdkondades avaliku sektori võimekust rakendada teadus-, arendus- ja innovatsioonitegevuse tulemusi poliitikakujundamises ning ühiskonna olemasolevate ja ees seisvate

väljakutsete lahendamises, samuti tugevdada avaliku sektori rolli riigi jaoks oluliste teadus- ja arendussuundade strateegilisel suunamisel. RITA+ alategevus 1 on suunatud ministeeriumide valitsemisalade ülesetele interdistsiplinaarsetele rakendusuringutele, mille tulemused peavad olema avaliku sektori jaoks praktiliselt kasutatavad.

Käesolev projekt vastab sellele loogikale täiel määral. Uuringu lähtepunkt ei ole üldine teadushuvi, vaid avaliku sektori selgelt sõnastatud vajadus: Eestis puudub teaduspõhine ja digitaalselt rakendatav teekonstruktsioonide arvutusmudel, mis võimaldaks võrrelda alternatiivseid lahendusi elukaarepõhiselt ning teha tõendus põhiseid otsuseid projekteerimisel, rekonstrueerimisel ja hoolduskavade koostamisel. Projekti tulemusena valmiv mudel tõstab otseselt Transpordiameti ja teiste avaliku sektori tellijate võimekust kasutada teaduspõhist analüüsi investeerimisotsustes, meetodikate arendamisel ning hangete ettevalmistamisel. Seega täidab projekt RITA+ põhieesmärgi tugevdada teadustulemuste praktilist rakendamist avalikus sektoris.

Projekt haakub selgelt ka TAIE arengukava ja nutika spetsialiseerumise fookusvaldkondadega. Esiteks panustab see valdkonda „digilahendused igas eluvaldkonnas“, sest uuringu väljund on arvutusmudel, mis viib teekonstruktsioonide võrdlemise läbipaistvasse, korratavasse ja andmepõhisesse vormi. Teiseks panustab projekt valdkonda „kohalike ressursside väärimine“, kuna mudel loob teadusliku aluse traditsiooniliste, teise toorme ja ringlusse võetud materjalidel põhinevate lahenduste võrdlemiseks samadel meetodilistel alustel. Seega toetab projekt korruga nii digitaliseerimist kui ka ringsete ja kohalike ressursside põhjendatud kasutamist.

Projekt toetab otseselt ka strateegiat „Eesti 2035“ ning Eesti pikaajalist kliimapoliitilist sihti. Kliimaministeeriumi andmetel on Eesti pikaajaliseks eesmärgiks seatud kliimanetraalsuse saavutamine aastaks 2050. Käesolev projekt aitab seda eesmärki ellu viia, sest toob teedevaldkonna otsustesse süsteemselt sisse CO₂ jalajälje ja elukaarekulude võrdluse ning võimaldab suunata investeringuid lahendustesse, mis on ühtaegu tehniliselt toimivad, kulutõhusad ja väiksema keskkonnamõjuga. Nii toetab projekt nii vastutustundliku majanduse kui ka teadmuspõhise riigivalitsemise eesmärgi.

Uurimisteema tähtsus RITA vaates seisneb ka selles, et see loob praktilise tööriista kujuneva keskkonnahoidlike teedeehituse regulatiivse raamistikuga rakendamiseks. Transpordiamet on juba kasutanud teehangetes keskkonnahoidlikke kriteeriume ning toonud esile vajaduse hinnata tee-ehituses süstemaatiliselt nii keskkonnamõju kui ka olelusringi kulusid. Kavandatav arvutusmudel võimaldab siduda teekonstruktsioonide tehnilise toimivuse, CO₂ jalajälje ja elukaarekulud ühtseks otsustusloogikaks, mida saab kasutada nii poliitikate rakendamisel kui ka hangete ettevalmistamisel. Seetõttu ei toeta projekt strateegiaid abstraktselt, vaid loob konkreetse rakendusmehhanismi regulatiivsete eesmärkide elluviimiseks.

Projekt on kooskõlas ka Euroopa Liidu roheliste hangete suunaga. Euroopa Komisjoni roheliste hangete raamistik rõhutab selgete, kontrollitavate ja kogu hanketsükli arvestavate keskkonnakriteeriumide kasutamist ning hõlmab ka teede projekteerimise, ehitamise ja hooldusega seotud kriteeriume. Kavandatav mudel annab Eesti avalikule sektorile võimaluse rakendada neid põhimõtteid läbipaistva ja andmepõhise tööriista kaudu.

Kokkuvõttes seisneb projekti panus RITA eesmärkide täitmisel selles, et see viib suure avaliku mõjuga taristuvaldkonna otsustuspraktika vananenud meetodikalt üle kaasaegsele teaduspõhisele ja digitaalselt rakendatavale raamistikule. See suurendab avaliku sektori võimekust rakendada teadustulemusi, toetab nutika spetsialiseerumise valdkondi, aitab ellu viia Eesti kliima- ja arengueesmärgi ning loob otsese aluse kestlikumate ja paremini põhjendatud investeerimisotsuste tegemiseks.

**Mõju
uuringuvaldkonna
arengule Eestis**

Käesoleva uuringu mõju Eesti teedevaldkonna arengule on otsene ja pikaajaline. Praegu tugineb teekonstruktsioonide hindamine Eestis otsustusmaatriksile, mis ei võimalda käsitleda ühtses raamistikus konstruktsiooni toimivust, kliimamõjusid, CO₂ jalajälge ja elukaarekuluseid. Uuringu tulemusena valmiv valideeritud arvutusmudel looks Eesti teedeinseneerias uue teadmuspõhise standardi, mis muudab teekonstruktsioonide võrdlemise läbipaistvamaks, korratavamaks ja teaduslikult paremini põhjendatuks. See ei ole pelgalt üksiku projekti väljund, vaid alus järgmistele arendustele teede projekteerimises, rekonstrueerimises, hoolduskavade koostamises ja hangete ettevalmistamises.

Uuringu üks olulisemaid mõjusid on Eesti kohalike ja ringlussevõetud materjalide kasutusvõimaluste laiendamine. Kui materjalide kasutamiseks vajalikud arvutus- ja kvaliteedikontrolli parameetrid on mõõdetavad, dokumenteeritud ja arvutusmudelisse sidustatud, väheneb risk, et sobivaid materjale ei kasutata üksnes seetõttu, et nende omadusi ei ole piisavalt uuritud või need ei ole võrreldaval kujul kirjeldatud. See toetab otseselt kohalike ressursside väärimist ja ringmajanduse põhimõtteid, mille järgi tuleb olemasolevat tooret kasutada jätkusuutlikumalt ja suurema lisandväärtusega. Ka Transpordiameti enda erialases käsitluses on rõhutatud, et teedeehituses on mõistlik kasutada võimalikult palju lähedalt pärit materjale, eeldusel et nende omadused on piisavalt tuntud ja insenertehnilisel tasemel hinnatavad.

Teiseks loob uuring uue võimekuse teha riiklikul tasandil strateegilisi otsuseid stsenaariumipõhiselt. Avalik sektor saab võrrelda erinevaid konstruktsioonilahendusi ja materjalivalikuid mitte ainult algmaksumuse, vaid ka 50 aasta toimivuse, hooldusvajaduse, CO₂ jalajälje ja elukaarekulude alusel. See tõstab otsuste kvaliteeti nii investeringute kavandamisel kui ka poliitikate ja nõuete kujundamisel. Mõju ei piirdu avaliku sektoriga: sama raamistik annab ka projekteerijatele, materjalitootjatele ja töövõtjatele võimaluse hinnata erinevate tehniliste lahenduste mõju samadel alustel. Nii tekib Eestis sisuliselt uus ühine „otsustuskeel“, mis vähendab vaidlusi meetodika üle ja suunab konkurentsi rohkem tehnilise toimivuse, kulutõhususe ja keskkonnamõju parandamise poole.

Kolmandaks on uuringul oodatav mõju Eesti tulevikutehnoloogiatele ja poliitikakujundamisele. Projekt ühendab kaks Eesti TAIE ja nutika spetsialiseerumise jaoks olulist telge: digilahendused igas eluvaldkonnas ning kohalike ressursside väärimise. Arvutusmudeli loomine tähendab, et teedeinseneerias liigub otsustusloogika edasi vananenud kontrollist andmepõhise, ajas muutuva tingimusi arvestava tööriista ja otsustusmaatriksi suunas. Samal ajal loob uuring aluse, et kohalikke ja teise toorme materjale saaks hinnata samadel teadmuspõhistel alustel nagu traditsioonilisi lahendusi. See kombinatsioon on oluline just Eesti jaoks, kus väike turg eeldab piiratud ressursside targemat kasutamist ja kõrgema lisandväärtusega insenertehnilisi lahendusi.

Neljandaks toetab uuring Eesti kliima- ja taristupoliitika arengut. Eesti pikaajaline eesmärk on kliimanetraalsus aastaks 2050 ning Transpordiamet on juba võtnud suuna tehoiu CO₂ heitkoguste vähendamisele ja keskkonnanahoidlike kriteeriumide sidumisele tehangetega. Uuringu tulemusena valmiv arvutusmudel annab selleks praktilise tööriista: see võimaldab siduda tehnilise toimivuse, keskkonnamõju ja elukaarekulud selliseks otsustusraamistikuks, mida saab kasutada nii poliitikate rakendamisel kui ka tulevaste hangete ettevalmistamisel. Seetõttu on uuringu mõju valdkonna arengule Eestis ühtaegu tehniline, regulatiivne ja institutsionaalne.

Viiendaks on uuringul tugev mõju järelkasvule ja valdkonna jätkusuutlikkusele. Projekti seotakse üks doktoritöö ja vähemalt neli magistritööd, millest igaüks keskendub ühele põhimoodulile. See tähendab, et uuring ei tooda ainult lõpparuannet ja prototüüpi, vaid kasvatab Eestis uut kompetentsi valdkondades, kus seni on olnud piiratud kriitiline mass: mehhanilis-empiriiline katendarvutus, kliima- ja koormusmodelleerimine, tee-ehituse LCA ning elukaarekulude analüüs. Selline ülesehitus aitab tagada, et uuringu käigus loodud teadmised, andmestruktuurid ja töövõtted jäävad pärast projekti lõppu Eestis kasutusse ja edasiarendatavaks. Uurimisrühma vanuseline struktuur hõlmab kõiki akadeemilise

karjäärimudeli tasemeid – professor, vanemteadurid ja praktiseerivad insenerid, doktorant ning magistrandid –, mis tagab nii kogemuse ülekande kui ka uue põlvkonna teadlaste ja inseneride arengu. Kokkuvõttes seisneb uuringu mõju Eesti teedevaldkonna arengule selles, et see loob uue teadmuspõhise ja digitaalse võimekuse, laiendab kohalike ja ringsete materjalide põhjendatud kasutamist, parandab riigi ja erasektori strateegiliste otsuste kvaliteeti ning kasvatab uut järelkasvu. Seetõttu on uuringu tulemusel oodatav mõju nii Eesti tulevikutehnoloogiatele kui ka poliitikakujundamisele selge, otsene ja pikaajaline.

Konsortsiumi juht ja põhitäitjad (6)

Isik	Kraad	Ametikoht	Roll	Alguskuupäev	Lõppkuupäev	CV
Artu Ellmann	doktorikraad	Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, uurimisrühma juht (1,00), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Täisprofessor tenuuris (1,00)	Vastutav täitja	17.08.2026	16.08.2028	EST
Kristjan Lill	doktorikraad	Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, nooremprofessor (1,00)	Vastutav täitja	17.08.2026	16.08.2028	EST
Sven Sillamäe	magistrikraad	Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Lektor (0,25)	Põhitäitja	17.08.2026	16.08.2028	EST
Ain Kendra		Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Lektor (0,50)	Põhitäitja	17.08.2026	16.08.2028	EST
Luule Kaal	magistrikraad	Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Lektor (1,00)	Põhitäitja	17.08.2026	16.08.2028	EST
Üllas Ehrlich	doktorikraad	Tallinna Tehnikaülikool, Majandusteaduskond, Ärikorralduse instituut,	Põhitäitja	17.08.2026	16.08.2028	EST

Isik	Kraad	Ametikoht	Roll	Alguskuupäev	Lõppkuupäev	CV
		Dotsent (1,00)				

Täitjad sh tudengid

Olen teadlik, et vajadusel tehakse uuringu meeskonnale taustakontroll



Täitjate CV-d

Tiit Kaal_CV_est_2025.pdf

Abitöajõud

Projekti meeskonda kuuluvad ka liikmed TalTechi teede ja liikluse teadus- ja katselaboratooriumist. Lisaks kaasatakse projekti mitmeid tudengeid. Tudengid leitakse jooksvalt projekti käigus ning seetõttu ei ole hetkel võimalik neid täitjatena lisada.

Samuti on meeskonnas Tiit Kaal (ERC Konsultatsiooni OÜ), kes täidab teede tasuvusarvutuse eksperdi rolli. CV-s on tasuvusarvutusega seondud märgitud kollasega.

Uurimisrühma pädevused ja uurimisrühma liikmete rollide kirjeldus

Uurimisrühma liikmete pädevused ja rollid.xlsx

Allhankijate ülevaade

Täielik ülevaade allhankijatest selgub projekti töö käigus. Kindlasti on kaasatud ERC Konsultatsiooni OÜ. Samuti kaasatakse üks välispartner, kellel on kogemus katendiarvutustes. Olenevalt uuringus valitud katseplaanile tuleb kaasata alltöövõtjaid ka vajalike katsete sooritamiseks.

Uurimisrühma kirjeldus

Meeskonna tööjaotus on üles ehitatud moodulipõhiselt. Konsortsiumijuht prof Artu Ellmann vastutab uuringu teadusliku kvaliteedi ja strateegilise juhtimise eest. Projektijuht Kristjan Lill koordineerib igapäevast tööd, ajakava, eelarvet ja aruandlust. Sven Sillamäe ja Ain Kendra vastutavad katendikonstruktsioonide, materjalide ning tugevuse ja kestvuse/väsimuskestvuse moodulite eest; Sven Sillamäe täidab ühtlasi geotehnilise eksperdi rolli. Kristjan Lill vastutab lisaks LCA mooduli, Üllas Ehrlich LCCA mooduli ning Tiit Kaal LCCA praktilise rakendatavuse ja kooskõla eest tellija otsustus- ja hankeloogikaga. Projekti edukaks läbiviimiseks on vajalikud ka liiklusuuringud ning nende eest hoolitseb Luule Kaal.

TalTechis on kaasatud ka teede ja liikluse teadus- ja katselaboratoorium. Kahjuks ei ole kõnealusel laboril ega teistel Eesti laboritel mitmeid seadmeid, mida on vaja käesoleva uuringu materjalide analüüsimiseks ning projekti maksimaalne eelarve ei võimalda ka nende soetamist. Siiski saab TalTechi labor teha paljude

katsete jaoks eeltööd ära. Puuduolevad meetodid kaetakse välismaiste alltöövõtjate abiga. Projekti küsimuste lahendamiseks kaasatakse ka vähemalt üks doktorant ja neli inseneri-/magistritudengit, keda juhendavad projekti meeskonna vasutatavad või põhitäitjad.

Eelarve

Pakkumuse eelarve

Eelarve_final.xlsx

Teaduseetika teemade kontrollnimekiri

Issue	Relevant in my proposal	Description of the ethical issue and planned mitigative measures
1. Inimesed: kas projekti raames läbiviidavasse uurimistöösse kaasatakse inimesi?	<input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei	
2. ISIKUANDMED: kas uurimistöös töödeldakse isikuandmeid? (Märkige „jah“ ka juhul, kui isikuandmed uurimistöö käigus anonüümitakse.)	<input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei	
3. INIMESE EMBRÜONAALSED TÜVIRAKUD		

Issue	Relevant in my proposal	Description of the ethical issue and planned mitigative measures
JA EMBRÜO: kas uurimistöös kasutatakse inimese embrüonaalseid tüvirakke või inimese embrüot?	<input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei	
4. INIMESE KOED JA RAKUD: kas uurimistöös kasutatakse inimese rakke, kudesid või kehavedelikke?	<input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei	
5. LOOMAD: kas uurimistöös kasutatakse loomi?	<input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei	
6. GENEETRILISED RESSURSID ja nendega seotud teadmine: kas uurimistöös kasutatakse taimset, loomset (v.a. inimesed), mikroobset või muud päritolu geneetilisi ressursse või nendega seotud traditsioonilisi teadmisi?	<input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei	

Issue	Relevant in my proposal	Description of the ethical issue and planned mitigative measures
<p>7. EUROOPA LIIDU VÄLISED RIIGID: kas uurimistöö toimub täielikult või osaliselt mõnes EL-i välises riigis või edastatakse isikuandmeid või muid uuringumaterjale sellisesse riiki?</p>	<p> <input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei </p>	
<p>8. KESKKOND, TERVIS JA OHUTUS: kas uurimistöös plaanitavad tegevused või kasutatavad materjalid võivad kahjustada keskkonda või inimeste tervist?</p>	<p> <input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei </p>	
<p>9. TEHISINTELLEKT: kas uurimistöö raames kasutatakse või arendatakse tehisintellekti süsteeme või meetodeid?</p>	<p> <input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei </p>	
<p>10. TEADUSTULEMUSTE VÄÄRKASUTUS: kas uurimistöö raames luuakse materjale, meetodeid, tehnoloogiaid või teadmist, mida on võimalik kasutada ebaeetilistel või kahjulikel eesmärkidel?</p>	<p> <input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei </p>	

Issue	Relevant in my proposal	Description of the ethical issue and planned mitigative measures
<p>11. MUUD EETILISED TEEMAD: kas uurimistöö raames esineb muid eetilisi küsimusi, mida eelnevad küsimused ei käsitlenud? (Näiteks võib uurimisteema olla poliitiliselt tundlik või polariseeriv).</p>	<p> <input type="radio"/> Jah <input checked="" type="radio"/> Ei </p>	

Hea teadustava järgimine

Hea teadustava järgmise kinnitus

Kinnitame, et projekti läbiviimisel järgitakse Eesti Teadusagentuuri hea teadustava (2023) põhimõtteid.

Kas projekti raames läbi viidav uuring või uuringud vajavad eetikakomitee kooskõlastust?

Jah
 Ei

Selgitus eetikakomitee kooskõlastuse kohta

Kas geneetilisi ressursse käsitlevad teadusuuringud kuuluvad Nagoya protokollile ja ELi ABS-määruse reguleerimisalasse?

Jah
 Ei

Selgitus projekti Nagoya protokollile vastavuse kohta

Avatud teadus ja teadusandmete haldamine

Ülevaade teadusandmete

haldamisest

Projekti käigus kogutud andmed hoiustatakse Tallinna Tehniaülikooli serveritel, kus on tagatud varukoopiad ning ligipääs ainult volitatud isikutele.

Andmeid hoiustatakse üldtuntud formaatides (XLSX, CSV jms), et tagada nende pikaajaline säilimine.

Kui uuringu tellija soovib, siis avaldatakse andmed avalikult TalTechi andmehoidlas "TalTechData".

Andmehalduse eest vastutab projektijuht koos kogu meeskonnaga.

Avatud

teadusandmed: kas
teadusandmed või osa
neist tehakse kõigile
tasuta kättesaadavaks
ja vabalt
kasutatavaks?

Jah Ei

Selgitus avatud
teadusandmete kohta

Uuringuga kogutud andmed ja teadmised avaldatakse vahe- ja lõppraportites. Kuna rahastus on avalik, siis järgitakse tellija/rahastaja suuniseid.

Piiratud

juurdepääsuga
andmed: kas projekti
käigus luuakse
teadusandmeid, mida
ei saa avatult
kättesaadavaks teha?

Jah Ei

Selgitus piirangute
kohta

Jagatud

intellektuaalomandi
õigused: kas projekti
raames loodud
intellektuaalse omandi
õigused jagunevad
mitme teadusasutuse
või juriidilise isiku
vahel?

Jah Ei

Selgitus jagatud
intellektuaalomandi
õiguste kohta

Lisainfo

Uurimisrühm on hetkel arvestanud, et katendite arvutusmudeli saab lahendada digitaalselt vaid juhul kui uuringu I etapis välja valitava meetoodika põhineb juba digitaalsel tööriistal, mida on võimalik kolmandatel osapooltel kasutada ilma litsentsitasudeta. Kui rakenduse lähtekoodile võimaldatakse rakenduse autorite või omanike poolt ligipääs, siis sellisel juhul on võimalik muuta rakendus eestikeelseks ning lisada sellesse käesoleva uuringu käigus kogutud andmed. Kui I etapis valitav arvutusmeetoodika on unikaalne või puudub ligipääs olemasoleva rakenduse lähtekoodile, siis on pakkumuses arvestatud, et välja töötatav katendite arvutusmeetoodika põhineb Excel formaadil. LCA ja LCCA osa lahendatakse katendite arvutamisest eraldiseisvana Excel formaadis. Unikaalse digitaalse rakenduse loomine ei kuulu käesoleva taotluse sisse, sest sellisel juhul ületaks taotluse kogumaksumus ettenähtud maksimaalset maksumuse piirmäära. Lisaks ei ole nii lühikese ajaga võimalik leida usaldusväärset partnerit kõikide uuringu moodulite ühtseks integreerimiseks.