Maalihked Pärnu maakonnas

Volli Kalm, Tiit Hang, Alar Rosentau,
Peeter Talviste ja Marko Kohv

Tartu Ülikooli geoloogia instituut

Tartu 2002

PÄPL-39

Sisukord

Sissejuhatus 2
1. Teoreetiline ülevaade probleemist 2
1.1. Eeldused maalihete tekkeks 4
1.1.1. Morfoloogilised (geomorfoloogilised) eeldused 4
1.1.2. Hüdroloogilised eeldused 5
1.1.3. Geoloogilised eeldused 5
1.1.4. Muud soodustavad tegurid 6
2.Uuritud alade lihkeohtlikkuse hindamise metoodika 9
2.1. Välitööd 9
2.2. Geotehniline modelleerimine 9
2.3. Reljeefianalüüs 10
3. Ülevaade uuritud piirkonnast 10
4. Uuritud maalihete levik, morfoloogia ja geotehniline iseloomustus 11
4.1. 'Audru 1' maalihe 11
4.2. 'Sauga 1' maalihe 13
4.3 'Pärnu 1' maalihe 13
4.4. 'Reiu 1' maalihe 21
4.5. 'Reiu 2' maalihe 21
4.6. 'Reiu 3' maalihe 22
5. Maalihkeohtlikkuse hinnang 31
5.1. Lihete klassifikatsioon 31
5.2. Uuritud alade lihkeohtlikkuse kaardid 31
5.2.1. Audru jõgi 31
5.2.2. Sauga jõgi 32
5.2.3. Pärnu jõgi 32
5.2.4. Reiu jõgi 32
6. Järeldused ja soovitused 45
Kokkuvõte 46
Kirjandust maalihete kohta: 46

©Tartu Ülikool

Sissejuhatus

Maalihked on levinud nõlvaprotsessid, mille käigus paigutub raskusjõu mõjul ümber olulisel hulgal setteid ning muutub nõlva kallakus. Maalihetel võivad olla geoloogilised, morfoloogilised, hüdroloogilised ja inimtekkelised põhjused. Lihete tagajärgedel võib olla oluline mõju inimtegevusele. 2002. aasta varakevadel toimus Pärnu maakonnas Pärnu, Reiu ja Audru jõe alamjooksuosas mitu märkimisväärset maalihet. Audru jõe lihke tagajärjel paigutati ümber osa vanast Audru-Lihula maanteest. Pärnu jõe lihe Tammistes toimus vaid mõnekümne meetri kaugusel suvilatest, jättes nendevahelise tee vahetult lihke pervele. Kuna Pärnu jõe orust on maalihkeid teada ka varasemast ajast, siis on Pärnu linnas lihkeohtlikkuse hindamine insenertehniliste tööde möödapääsmatu osa. Millistel jõelõikudel ja kui suure tõenäosusega looduslikke maalihkeid üldse võib kujuneda, see küsimus on oluline igasuguse majandustegevuse planeerimisel piirkonnas. Sel eesmärgil tellis Pärnu Maavalitsus Tartu Ülikooli geoloogia instituudilt lihkeohtlikkuse hinnangu Pärnu, Reiu, Audru ja Sauga jõe alamjooksuosade (Joonis 1) kohta.

Käesolev aruanne sisaldab ülevaadet nimetatud jõelõikude geoloogilisest ehitusest, viimastel aastatel esinenud maalihete mõõtmistulemusi ja geotehnilisi arvutusi ning nende alusel koostatud maalihkeohtlikkuse kaarte.

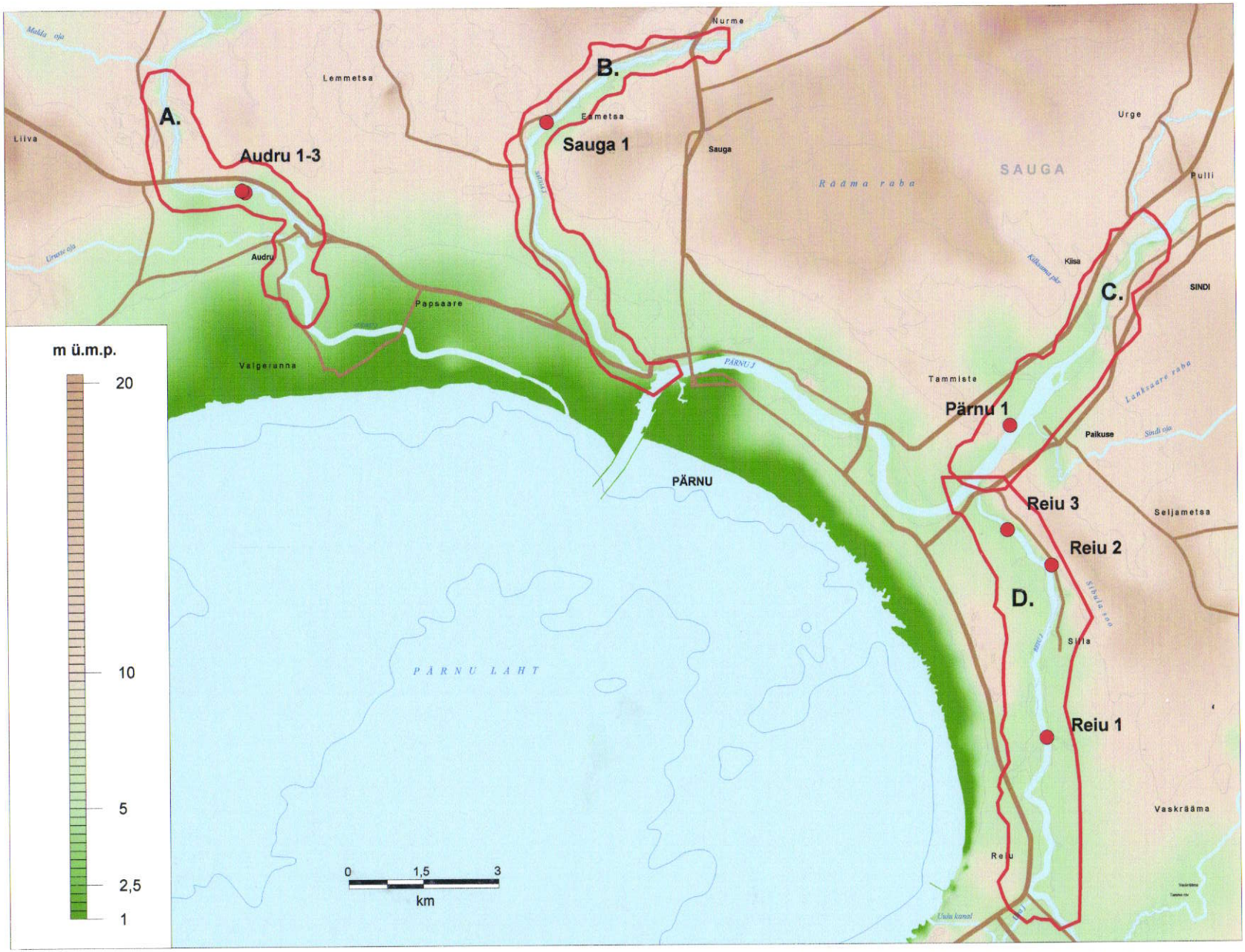
1. Teoreetiline ülevaade probleemist

Nõlvad (nõlvaks loetakse suurema kui 2^0 kallakusega pinda) on looduses enim levinud reljeefielemendid, millised annavad pinnavormidele nende iseloomulikud jooned. Nõlva morfoloogiat mõjutavate protsesside liikumapanevaks jõuks on gravitatsioon. Viimase mõjulepääsu eeldusteks on eelkõige nõlvakalle, aga ka nõlva pikkus ja ulatus, samuti geoloogiline ehitus, pinnase niiskusesisaldus ning temperatuurireziim.

Eespoolmainitud eeldustest tulenevalt omavad nõlvaprotsessid erinevat iseloomu, toimuvad erineva kiirusega ja põhjustavad erinevaid tagajärgi. Nii toimuvad kõige kiiremad protsessid suurte nõlvakallete puhul, kus nõlva ülemises osas lahtimurdunud materjal võib kukub või veereb nõlva jalami suunas (varisemine). Väga aeglased ja suhteliselt tagasihoidlike tagajärgedega on maavoole (solifluktsioon) ja maanihe (defluktsioon), milliste puhul gravitatsioon toimib täiendavate tegurite, milleks on eelkõige korduv pinnase külmumine ja sulamine ning sellest tingitud pinnase veega küllastumine taustal. Toimumise kiiruse ja intensiivsuse ning ka tagajärgede alusel mahuvad varisemise ja maavoole vahele **maalihked**.

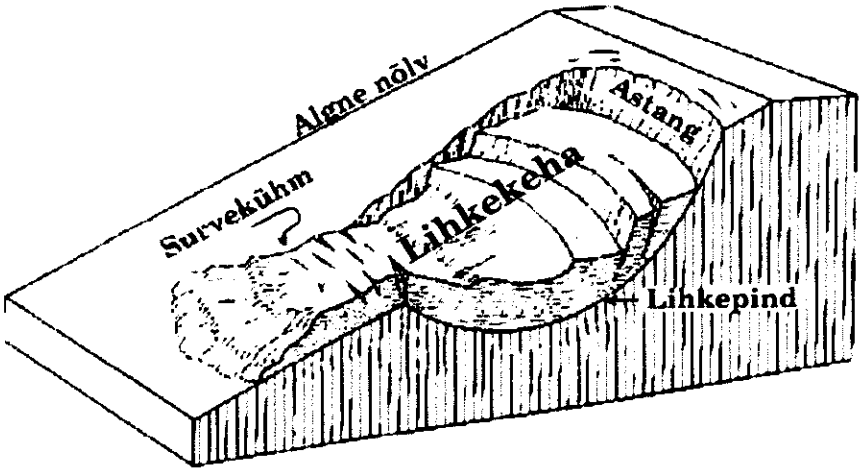
Maalihkeks nimetame nähtust, kus settekeha või monoliitsetest kivimitest plokk liigub suure kiirusega (äkiliselt) nõlva kallakuse suunas, kusjuures liikumine toimub mööda kindlat lihkepinda nii, et settekehas endas (erilisi) muutusi ei toimu. Lihkepind on tavaliselt nõgusa kujuga. Lihete iseloomustaamisel kasutatakse erinevaid termineid, millest annab ülevaate Joonis 2.

©Tartu Ülikool



Joonis 1. Uuritud jõelõikude (punane joon; A - Audru jõgi; B - Sauga jõgi; C - Pärnu jõgi; D - Reiu jõgi) ja mõõdistatud maalihete (punane punkt) paiknemine. Kaardil on esitatud kõrgusjooned iga 5m tagant ning 2m ja 5m mere sügavusjooned.

©Tartu Ülikool



Joonis 2. Maalihete kirjeldamisel kasutatavad terminid.

1.1. Eeldused maalihete tekkeks

Teatud geoloogilise ehituse, niiskusreziimi ja klimaatiliste tingimuste juures saavutavad varem või hiljem kõik nõlvad nn tasakaaluoleku – seisundi, kus nõlva morfoloogias erilisi muutusi ei toimu, sest setted ei allu välisele kulutusele. Nõlvakalle selle nn tasakaaluoleku puhul sõltub konkreetsetest tingimustest – pinnase omadustest nõlvas ja hüdroloogilisest režiimist. Olulist rolli nõlvade tasakaalustamisel etendab taimejuurte toimimine pinnaseankrutena. Selleks, et nõlval hakkaksid toimuma mingisugused morfoloogilised muutused, peab nõlv sellest nn tasakaaluolekust välja viidama. Teisisõnu peab muutuma nõlva morfoloogiat määravate tegurite suhe. Näiteks suurendab sette küllastumine veega oluliselt settekeha massi, mis võib kriitilise nõlvakalde korral saada ka maalihke põhjuseks. Samale tulemusele võib viia nõlva alumise osa kallakuse suurenemine vee erosiooni tõttu nõlva jalamil. Eeldused maalihete kujunemiseks jagunevad mitmesse rühma.

1.1.1. Morfoloogilised (geomorfoloogilised) eeldused

Maalihke toimumise tõenäosus on seda suurem, mida suurem on nõlvakalle ja mida raskem (suurema tihedusega) on nõlva moodustav materjal. Maalihete toimumise tõenäosus on suurem 10 – 40^0 nõlvade puhul. Mainitud teguritest olenevalt eristub teatud sügavusel nõlva moodustavas materjalis teoreetiline lihkepind, kus pinnaseosakeste hõõrdejõust (sisehõõrdenurk) ja nakkest (nidusus) moodustunud summaarne tugevus pinnal on väiksem, kui samal pinnal mõjuvate nihutavate jõudude summa.

Küllalt sagedane maalihete põhjus on kas looduslike protsesside või inimtegevuse tagajärjel tasakaaluolekule omase nõlvakalde muutmine. Nii võib näiteks jõe loodusliku erodeeriva (setteid kulutava, kaasa haarava) tegevuse tagajärjel muutuda järsemaks nõlva (oru veeru) alumine osa, mistõttu suureneb seal ka maalihke oht. Ära erodeeritud materjali arvelt muutub setete massi tasakaal – nõlva ülemise osa setetele puudub alumise osa setete näol vastukaal, mis on üheks tavalisemaks maalihete põhjuseks.

Jõeorgude näitega kaasneb vajadus mõista jõe, kui vooluveekogu nn geoloogilist tegevust. Looduslikku sängivoolu iseloomustab sängi ja veeosakeste vahelisest hõõrdest tingitud turbulentne vool. Väiksemadki ebatasasused sängi põhjas

©Tartu Ülikool

põhjustavad voolu kaldumist ühe või teise kalda suunas, mille tagajärjeks on jõgede looklemine ehk meandreerumine. Nimetatud turbulentne vool süvendab pidevalt looklemist. Looke põrkeveerust kantakse järjest materjali ära ja piltlikult öeldes tungib põrkeveer järjest peale. Selle tagajärjel muutub põrkeveer järsemaks. Osa äraerodeeritud setetest kantakse looke siseküljele, kuhu kujuneb madal liivane ala (kaldamadal), mistõttu see oruveer muutub reeglina järjest laugemaks. Kirjeldatud protsess määrab ära jõelõigud, millised on teatud geoloogilise ehituse korral eriti maalihkeohtlikud. Esiteks põhjustab jõe erosioon põrkeveerul selle oruveeru püsivalt suure kallakuse. Teiseks viiakse põrkeveeru jalamilt äraerodeeritud materjali arvel nõlv kergesti tasakaalust välja. Siia lisandub olulise täiendava tegurina vahe jõe veetaseme ja pinnasevee taseme vahel ehk hüdroloogilised eeldused.

1.1.2. Hüdroloogilised eeldused

Jõeorgude näitel on maalihete seisukohalt olulised nii veetase jões kui ka põhjavee tase ümbritsevas pinnases. Õigemini selle olulised ja kiired muutused. Veetase jões määrab ära ühelt poolt põhjavee taseme pinnases, teisalt on ka veemass jões oluliseks vastukaaluks pinnase massile nõlval. Niiskusesisalduse perioodilised muutused võivad seega üsna oluliselt muuta väljakujunenud tasakaalu nõlvadel. Eriti kui niiskusega küllastumine toimub äkiliselt (näiteks kiire lumesulamise või sadude tagajärjel). Kui kujutada ette väga kiiret veetaseme alanemist jões, siis see võib põhjustada esiteks põhjavee liikumist, teiseks vähendada vastukaalu veega küllastunud setetele, mille tagajärjel võivad viimased raskusjõu mõjul hakata nõlval liikuma. Näiteks võib tuua 1966 aastal toimunud nn 'Viisnurga' maalihke Pärnu linnas, mis järgnes kiirele Pärnu jõe veetaseme alanemisele miinimumtasemeni. Päris kaalude tasakaalule aga lihkeohtlikkuse arvutusi viia ei saa. Näiteks on teatud Pärnu ja Reiu jõe oru lõigud, millised on moodustunud osaliselt savisse ja mida katab peeneteraline liiv. Selliste nõlvade veega küllastumise korral hakkab vesi liikuma liivakihis mööda savi pinda (sest savi filtratsioonimoodul on väike) jõeoru suunas. Selline vee liikumine on nimetatud jõelõikudes põhjustanud väiksemaid lihkeid liivastes setetes, sõltumata jõe veetasemest. Seega on lihete tekkemehanismis olulised ka setete geotehnilised omadused.

1.1.3. Geoloogilised eeldused

Nõlva geoloogiline ehitus on oluline maalihete tekke eelduste selgitamisel. Nii võivad maalihked kujuneda ka monoliitsetes kivimites, kui need lasuvad kergesti deformeeruvatel, näiteks savistel setetel. Antud uurimuse seisukohalt on aga tähtsam Eesti pinnakatet moodustavate erinevate setete, eelkõige liiva, aleuriidi ja savi geotehnilised omadused. Viimaste hulgas on tähtsamad pinnase tugevust määratlevad näitajad sisehõõrdenurk ja nidusus, filtratsioonimoodul ja mahukaal.

Lihtsustatult määrab pinnase tugevuse osakeste vaheline hõõrde- ja nakkejõud. Kuna hõõrdejõud sõltub pinnaseosakesi omavahel kokkusuruvate jõudude suurusest, siis on pinnase tugevus määratletud tema lasumissügavuse ja lasuvate pinnaste massiga.

Filtratsioonimoodul on pinnase veeläbilaskvust iseloomustav suurus ja sõltub eelkõige lõimisest ehk pinnast moodustavate osakeste suurusest. Liivade filtratsioonimoodul on kümneid ja sadu kordi suurem kui märksa peenematest saviosakestest moodustunud savipinnasel. Hüdraulilise gradiendi korral voolab vesi liivas kiiresti ja pinnaseosakestele mõjub täiendav lihkejõud.

©Tartu Ülikool

Uuritud piirkonnas on maalihete seisukohalt olulisemad järgmised setted:
Liiv – liivaks (Foto 1) loetakse purdsetet valdava terajämedusega 0,06-1 mm. Pärnu ümbruse merelise tekkega liivade sisehõõrdenurk (φ') on vahemikus 30-40°, nidusus (c') 0-10 kPa, mahukaal (γ) 18-20 kN/m^3 ja filtratsioonimoodul 1-10 m/ööpäevas.
Aleuriit (geotehnikas möll) on liiva ja savi vahepealne sete valdava terajämedusega 0,002-0,06 mm. Selle geotehnilised näitajad uuritud piirkonnas on suurusjärgus: sisehõõrdenurk (φ') 25-35°, nidusus (c') 0-25 kPa, mahukaal (γ) 18-21 kN/m3 ja filtratsioonimoodul 0,05-0,5 m/ööp.
Savi – kõige peenemad setteosakesed läbimõõduga <0,002 mm. Savi (Fotod 2,3) geotehnilised näitajad uuritud piirkonnas on suurusjärgus: sisehõõrdenurk (φ') 25-35°, nidusus (c') 0-25 kPa, mahukaal (γ) 15-18,5 kN/m^3 ja filtratsioonimoodul ~0,0003 m/ööp.
Moreen - Eesti pinnakattes väga levinud liustikust väljasulanud sete (Foto 4), mida iseloomustab terajämeduse suur varieeruvus (savist kuni suurte rahnudeni). Moreeni, milles lihete toimumine on vähetõenäoline, vastavad geotehnilised näitajad on järgmised: sisehõõrdenurk (φ') 35-45°, nidusus (c') 25-100 kPa, mahukaal (γ) 20-22 kN/m^3 ja filtratsioonimoodul 0,003-0,5 m/ööp.
Turvas – madala mereveetaseme ajal kujunenud organogeenne sete (Foto 5), mis ei suurenda maalihke ohtlikkust.

Maalihete seisukohalt muutub eriti oluliseks nimetatud erinevate omadustega setete järjestus maapinnas ehk lasuvus. Lihke toimumise tõenäosuse seisukohalt on oluline, kas lihke toimumise määravad savi- või liivpinnase omadused. Nii võib savis toimuda suureulatuslik maalihe juba 5-7° nõlvuse korral, liivas esineb lihkeid 15-20° nõlvuse korral ja nende mõõtmed on oluliselt väiksemad.

1.1.4. Muud soodustavad tegurid
Looduslike, maalihkeid soodustavate tegurite kõrval on oluliseks ka inimtegevus, mille juures võib esile tuua järgneva:

a- nõlva stabiliseeriva taimkatte hävitamine. Eriti suuremate puude juurestik tungib suhteliselt sügavale setetesse. Selle hävitamine muudab nõlva ebastabiilsemaks;

b- nõlva moodustava pinnase loodusliku veesisalduse muutmine ning pinna- ja pinnasevee liikumise takistamine;

c- loodusliku nõlvakalde muutmine, millega viiakse nõlv tasakaalust välja. Üsna tavaline on näiteks kaldalähedase jõesangi süvendamine paadisadamaks. Sellega muudetakse väljakujunenud kallakust nõlva alumises osas. Kui süvendamisega kaasneb ka väljakaevatud materjali paigutamine nõlvale (oru veerule), siis lisandub suurenenud nõlva kaldele ka nõlva moodustava pinnase massi suurendamine;

d- ehitiste näol lisatakse lisaraskust nõlvale. Ehitiste rajamine nõlvale või selle pervele eriti koos sellega kaasneva pinnase planeerimise ja/või pinnase täitmisega lisab oluliselt raskust nõlvale, mis võib olla maalihke põhjuseks ka ilma oluliselt nõlvakallet muutmata;

e- nõlvade stabiilsuse rikkumine ehk osakestevahelise nakke vähendamine vibratsiooni tagajärjel (teed, tööstusmehanismid jne.).

©Tartu Ülikool

Foto 1.Uuritud alal esineva merelise liiva lihkeohtlikkus on tunduvalt väiksem kui savil. Lihkeid võib kutsuda esile intensiivne pinnasevee voolamine liivas.

Foto 2. Audru 1 maalihke poolt väljasurutud viirsavi Audru jõe kaldal.Viirsavi on piirkonna kõige lihkeohtlikum sete.

Foto 3. Viirsavis vahelduvad savikihid (tumedamad kihid) aleuriidi- (tolmja liiva) kihtidega.

Foto 4. Moreen on kive sisaldav savikas-liivane sete, milles maalihete esinemine on Eesti tingimustes vähetõenäoline.

©Tartu Ülikool

Foto 5. Mitmel pool uuritud alal esineb liivastes meresetetes turba vahekihte, mis lihete loodusliku tekkimise seisukohast tähtsust ei oma.

Fotod 6-7. 'Audru 1' maalihe (asukoht vt. joonis 1). Parempoolsel fotol on näha 1,2m kõrgune lihkeastang. Selle ees olev lõhe viitab lihke järk-järgulisele toimumisele. Vasakpoolsel fotol on näha sama lihke jõepoolne osa koos viirsavist surveküngaga.

©Tartu Ülikool

2.Uuritud alade lihkeohtlikkuse hindamise metoodika

2.1. Välitööd

Uuritud jõelõigud valiti välja koos Pärnu MV Majandusosakonna Planeeringutalituse esindajatega. Valitud jõelõikude (Joonis 1) geoloogiline ehitus kirjeldati 2002. a. augustis ja septembris toimunud välitööde käigus paljandites ja käsipuurimiste andmetele tuginedes. Lisaks jõeorgude geoloogilise ehituse kirjeldamisele identifitseeriti ja mõõdistati viimastel aastatel toimunud nn 'värsked' maalihked ning koostati lihete plaanid.

2.2. Geotehniline modelleerimine

Välitöödel kogutud geoloogiliste andmete ja lihete plaanide põhjal modelleeriti viimasel ajal toimunud maalihkeid (vt. ptk. 4) eesmärgiga selgitada lihete tekkemehhanisme ja tingimusi ning luua kriteeriumid lihkeohtlikkuse hindamiseks. Arvutusteks vajalik settekihtide lasumus ja paksused määrati üldjuhul välitöödel. Kui pinnaste paksust ei olnud võimalik otseselt määrata, siis koostati mudel varasemale üldgeoloogilisele andmestikule tuginedes.

Pinnaste geotehnilised omadused – tugevust iseloomustavad parameetrid sisehõõrdenurk (φ') ja nidusus (c') ning mahukaal (γ) määrati vastavalt nende setete teadaolevatele keskmistele omadustele Pärnu linnas ja selle lähiümbruses (vt. ptk. 4). ülesande lihtsustamiseks iseloomustati pinnase tugevust ainult sisehõõrdenurga kaudu. Liivpinnase juures on see vaieldamatult korrektne, savipinnase korral võib maalihe toimuda ka mingi "kriitilise seisundi tugevuse" (iseloomustatud φ-ga) ja "maksimaalse tugevuse" (iseloomustatud φ' ja c' ga) vahepealse tugevuse juures ja arvutustel väljendus see savipinnase korral väga erinevate tugevusparameetri φ väärtustena lihke toimumise hetkel. Arvestati ka liivpinnase ülemise osa võimaliku nn. "armeeritusega" taimede juurte poolt. Savipinnase korral arvestati paljandumise korral võimaliku kuivamiskoorikuga ülaosas. Mõlema võimaluse modelleerimiseks lisati pinnasekihtide maapinna lähedasele osale nidusust ehk kujutati seda ette keskmisest veidi tugevamana.

Hüdrogeoloogiliste tingimuste mõju selgitamiseks seoti kõik mõõdetud maalihked jõe veetasemega, pinnasevee tase nõlva veerul võeti umbes 1m sügavusele maapinnast nagu see võiks olla kõrgvee perioodil.

Muutujatena kasutati mudelis pinnase tugevusparameetrid φ' ja c' ja põhjavee taset oru veerul. Neid parameetreid võimalikus muutumispiirkonnas varieerides otsiti mudeli parameetreid, mille juures nõlva püsivus ei ole tagatud (püsivustegur F<=1.0), ning teoreetilise lihkepinnaga määratud liikuva pinnase kogus oleks vastavuses tegelikult lihkunud pinnasemassiga ja teoreetilise lihkepinna algus- ja lõpp-punkt oleks vastavuses looduses jälgitavaga.

Selline lähenemine maalihete tekkemehhanismi selgitamiseks on praktikas olnud piisav. Pinnaseomaduste ja kasutatud arvutusmeetodite adekvaatsuse hindamiseks tuleks aga pinnaseomadused iga toimunud lihke kohal määrata eraldi uuringutega.

Analüüsil ja tulemuste vormistamisel kasutati tarkvara "SLIDE" (Rockscsience Inc., Kanada). Arvutati ringsilindrilise lihkepinna meetodil Janbu korrigeeritud arvutuskeemi järgi. Hüdrogeoloogilisi tingimusi modelleeriti pinnasevee tasemena nõlvas või lõplike elementide meetodil arvestatud voolujõududena nõlvas.

©Tartu Ülikool

2.3. Reljeefianalüüs

Geotehnilise modelleerimise tulemusena esitati lihkeohtlike nõlvakallakuste klassifikatsioon sõltuvalt settetüübist (vt. ptk. 5.2). See võimaldab analoog-modelleerimise põhjal anda lihkeohtlikkuse hinnangu nõlvadele ka väljaspool konkreetset lihke toimumise kohta. Ülesande teostamiseks on vajalik lisaks geoloogilisele ehitusele ja ohtlike nõlvade määratlemisele igal konkreetsel juhul hinnata kogu uuringuala nõlvakallakused, milleks kasutati reljeefi arvutimodelleerimist. Selleks digitaliseeriti piirkonna N.Liidu aegsetelt topokaartidelt (mõõtkava 1: 10 000, kõrgusjoonte vahe 0,5-1 m.) kõrgusjooned ja –punktid ning koostati kõrgusandmete alusel digitaalsed kõrgusmudelid. Kasutades reljeefianalüüsi vahendeid genereeriti kõrgusmudeli põhjal nõlvakallakuste mudel, kus on vahemikena esitatud erinevad nõlvakallakuse tsoonid kraadides. Interpolatsioonitehnika on valitud selliselt, et oleks välistatud ülekõrgendused, mis muidu võiksid viia tegelikust mõnevõrra järsemate nõlvadeni. Jõeorgude kõrgus- ja nõlvakallakusmudelid on esitatud 4×4 meetrise piksliga rastrina. Kasutades nõlvakallakuse mudelit, orgude geoloogilist andmestikku ja lihkeohtlike nõlvakallakuste klassifikatsiooni on koostatud Audru, Pärnu, Reiu ja Sauga alamjooksuosade lihkeohtlikkuse kaardid. Lihkeohtlikkuse kaardid on kantud rasterformaadis Katastri aluskaardile (mõõtkava 1: 10 000).

3. Ülevaade uuritud piirkonnast

Uuritud Pärnu, Reiu, Sauga ja Audru jõgede alamjooksud (Joonis 1) paiknevad Pärnu madalikul. See on tekkelt meretasandik, mida iseloomustavad suhteliselt tasane reljeef ja väikesed kõrgusvahemikud (Joonis 1). Uuritud piirkonnas ulatusid maapinna kõrgusvahed maksimaalselt 12-15 m ü.m.p. Väikesed kõrgusvahed põhjustavad ka suhteliselt tagasihoidliku jõgede langu (Pärnu jõe lang Sindi paisust suudmeni on alla 2 m) ja sellest tuleneva väikese voolukiiruse.

Pärnu madaliku pinnakattes (pinnakatte moodustab kõige noorem settekompleks, mis antud piirkonnas on kujunenud valdavalt viimase jäätumise ja sellele järgnenud u. 13000 aasta jooksul) võib eristada vahetult aluspõhjal lasuvat liustikusetet – moreeni, selle peal lamavat, kohati kuni paarikümne meetri paksust jääjärvelise savi ja/või peeneteralise liiva kihti. Nimetatud setted on valdavalt kaetud nooremate mereliste liivadega. Mereliivade paksus on erinev, ulatudes kuni 10 m ja vaid üksikutes piirkondades on taanduva Läänemere lained kulutanud paljaks jääjärveliste või isegi liustikusetete (moreeni) pealispinna. Seda soodustab asjaolu, et nimetatud setete pealispind ei ole ühtlaselt tasane vaid on märkimisväärselt liigestatud.

Uuritud orulõikude geoloogiline ehitus on üldjoontes sarnane. Säng on lõikunud kas jääjärvelisse nn viirsavisse (Fotod 2,3) või kohati ka moreeni (Foto 4). Viimase näiteks Pärnu jõgi alates u. 0.5 km Paikuse Politseikoolist ülesvoolu kuni Sindi paisuni, Audru jõgi alevi piires, Sauga jõgi Sauga kooli ja Rehe vahel, Reiu jõgi vanast Valga mnt.-sillast ülesvoolu. Oru veerudel on viirsavi kaetud peeneteralise merelise liivaga. Keerukam on geoloogiline läbilõige mõningatel Sauga ja Pärnu jõe lõikudel. Nimelt on geoloogilises minevikus esinenud perioode, kus Läänemere veetase on oluliselt alanenud - võimalik, et isegi langenud madalamale praegusest meretasemest. Nendel perioodidel oli meid huvitav piirkond ilmselt liigniiske ala, kus algas turba tekkimine. Sellele viitab kohati kuni 0.8 m paksune kokkupressitud turba kiht jääjärveliste savide ja mereliste liivade kontaktil (Foto 5) ja teine märksa õhem turbakiht kõrgemal merelistes liivades.

©Tartu Ülikool

4. Uuritud maalihete levik, morfoloogia ja geotehniline iseloomustus

Uuritud jõelõikudel (Joonis 1) fikseeriti 8 'värsket' (toimunud viimastel aastatel ja morfoloogia on veel selgelt jälgitav) erineva suurusega maalihet ning piiritleti jõelõigud, kus oli võimalik jälgida varemtoimunud maalihete jälgi (Joonis 21). Maalihkeid mõõdistati Pärnu jõel - 1, Reiu jõel - 3, Sauga jõel - 1 ja Audru jõel - 3. Nende paiknemisest ja mõnedest parameetritest annavad ülevaate joonis 1 ja tabel 1.

Tabel 1: Uuritud maalihete asukoht ja tähtsamad karakteristikud.

Lihe	Koordinaadid	Laius (m)	Pikkus (m)	Kaugus jõest min/max (m)	Toimumise aeg	Lihke tüüp (vt. ptk. 5.1.)
Audru 1	E:24°20,09` N:58°25,26`	75	36	0/33	Veebruar 2002	A
Audru 2	E:24°19,89` N:58°25,28`	3,5	8,4	0/3,5	Kevad 2002?	C
Audru 3	E:24°19,89` N:58°25,28`	4,3	16,2	0,3/4,7	Kevad 2002?	C
Sauga 1	E:24°26,41` N:58°25,72`	7	9,3	3,7/11,5	Kevad 2002	A
Pärnu 1	E:24°36,29` N:58°22,70`	202,5	337	0/135	Aprill 2002	A
Reiu 1	E:24°36,21` N:58°21,60`	22	32	0/32	2000?	A
Reiu 2	E:24°37,09` N:58°21,21`	28,8	47,5	0/28,8	Veebruar 2002	B
Reiu 3	E:24°36.93` N:58°19,39`	21,8	10	3/25,1	2000	B

4.1 'Audru 1' maalihe

Maalihe (Fotod 6,7) toimus Audru jõe kaldal, vana Pärnu-Lihula mnt. ääres Rebasefarmi bussipeatuse juures 11.-12.mail 2002.a. Lihke tulemusena paigutus ümber osa sõiduteest (Foto 6).

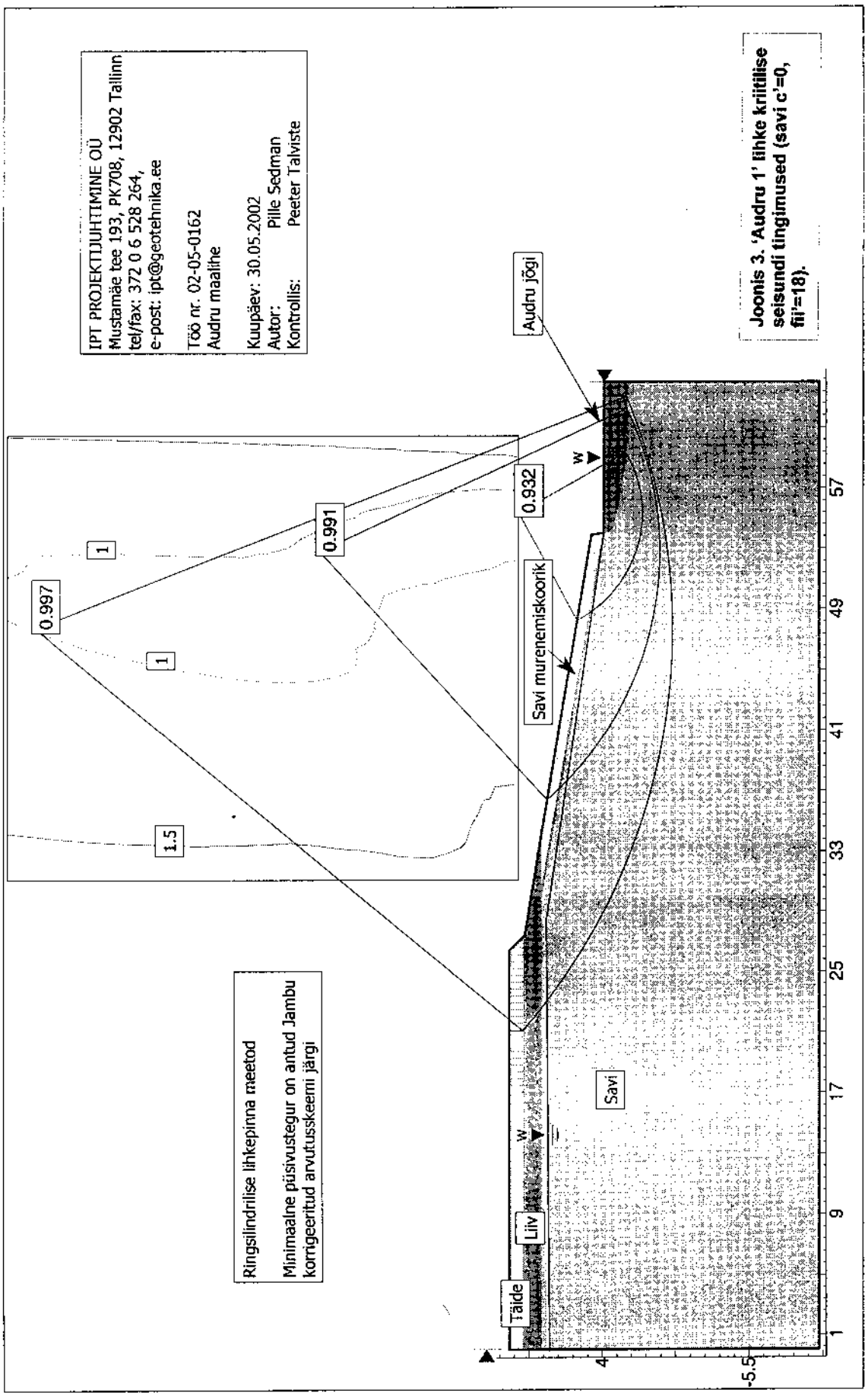
'Audru 1' maalihet on uurinud OÜ IPT Projektijuhtimine (aruanne nr.02-05-0162, 04.juuni 2002.a.) Maanteeameti Pärnu Teedevalitsuse tellimusel.

Nimetatud piirkonnas on maalihkeid toimunud korduvalt. Tee ja jõe vahelisel alal on näha arvukalt väikeste maalihete jälgi. Samuti on jõe sängi kaldal selgelt jälgitavad suhteliselt värsked väiksemad lihked, milliseid ka antud töö käigus mõõdistati ('Audru 2' ja 'Audru 3'; Tabel 1). Uuritud suurem maalihe toimus umbes 75-80 m pikkusel lõigul, lihke amplituudiks mõõdeti tema ülaserval nii vertikaal- kui horisontaalsuunas maksimaalselt 1,1...1,2 m. Lihkekeha alaosas on toimunud libisemine jõe suunas umbes 1,2 m ulatuses, liikumine fikseeriti rippsilla toe konstruktsiooni poolt maapinnale jäetud lohisemisjälje pikkusena. Allalibisenud materjal suruti lihke käigus jõkke, osaliselt ulatus savi veest välja (Foto 7).

Pärnu Teedevalitsuse juhataja hr. Enn Raadiku sõnade kohaselt hakkasid praod teesse ilmuma 4-5 aastat tagasi, 2002.a. veebruaris tekkis asfaltkattesse umbes 10 cm pragu. Maalihe toimus maikuus, kui veetase jões alanes ja selle tõttu vähenes lihke vastukaal.

Arvutused mudelis (pöördarvutused) näitavad, et maalihe toimus antud nõlva kriitilise seisundi tingimustes, s.t. savi nidusus $c'=0$. Arvutades $c'=0$ ja $\varphi'=18°$ (Joonis 3), saadi minimaalse püsivusteguriga lihkepind, mida mööda visuaalsel hinnangul võis toimuda ka uuritud maalihe. Visuaalselt hinnati tegelikult liikunud pinnasemahtu pöördarvutusel leitud teoreetilise väikseima püsivusteguriga lihkepinna poolt liigutatavate massidega.

©Tartu Ülikool



©Tartu Ülikool

Lihkepinna tegelikku sügavust saaks täpsustada puurimisega, vajadusel on võimalik täpselt määrata ka savipinnase tegelikud tugevusparameetrid.

Maalihe toimus savipinnases, jõe kalda nõlvus oli umbes 7°. Audru jõe kallastel avaneb jääjärvelise tekkega viirsavi. Maalihke tekkimise mehhanism seisnes mitme väikese maalihke toimumises nõlva alumises osas, mis vähendasid suurema ulatusega nõlva püsivust nii, et jõkke surutud pinnase ära kandmise järgselt said võimalikuks üha suuremate mõõtmetega lihked. Tee ehitusega nõlvale lisatud koormus ei olnud selle protsessi algatamiseks oluline, konkreetse suuremastaapse maalihke kujunemisel aga küll.

4.2. 'Sauga 1' maalihe

Maalihe (Foto 8) toimus Sauga kooli lähedal Sauga jõe paremal kaldal 2002. a. varakevadel. Lihke toimumise täpne aeg ei ole teada. Maalihe kirjeldati ja mõõdeti välitööde käigus augustis/septembris 2002. aastal aruande esitajate poolt (Joonis 4). Varasemaid lihkeid piirkonnas ei ole täheldatud.

Geoloogilistest eeldustest oli määravaks see, et jõgi on sellel lõigul lõikunud viirsavisse, mida katab kuni 1 m paksune turbakiht, mille peal omakorda lasub merelise liiva kiht. Lihe toimus jõe põrkeveerul, milline on jõe erosiooni tõttu tunduvalt järsem kui vastaskallas. Lihke tulemusena liikus allapoole nõlv umbes 5 m amplituudiga (Joonis 4; Foto 8). Lihe ise kutsus ilmselt kaasa ka nõlva ülemise osa libisemise, kus on jälgitav väiksem lihkekeha liivas.

Arvutused näitavad, et maalihe võis toimuda kriitilise seisundi tingimustes, sisehõõrdenurga $\varphi'=25°$ juures (Joonis 4). Sellise savi tugevust iseloomustava sisehõõrdenurga korral saadi minimaalse püsivusteguriga lihkepind, mida mööda visuaalsel hinnangul võis toimuda ka uuritud maalihe. Visuaalselt hinnati tegelikult liikunud pinnasemahtu pöördarvutusel leitud teoreetilise väikseima püsivusteguriga lihkepinna poolt liigutatavate massidega.

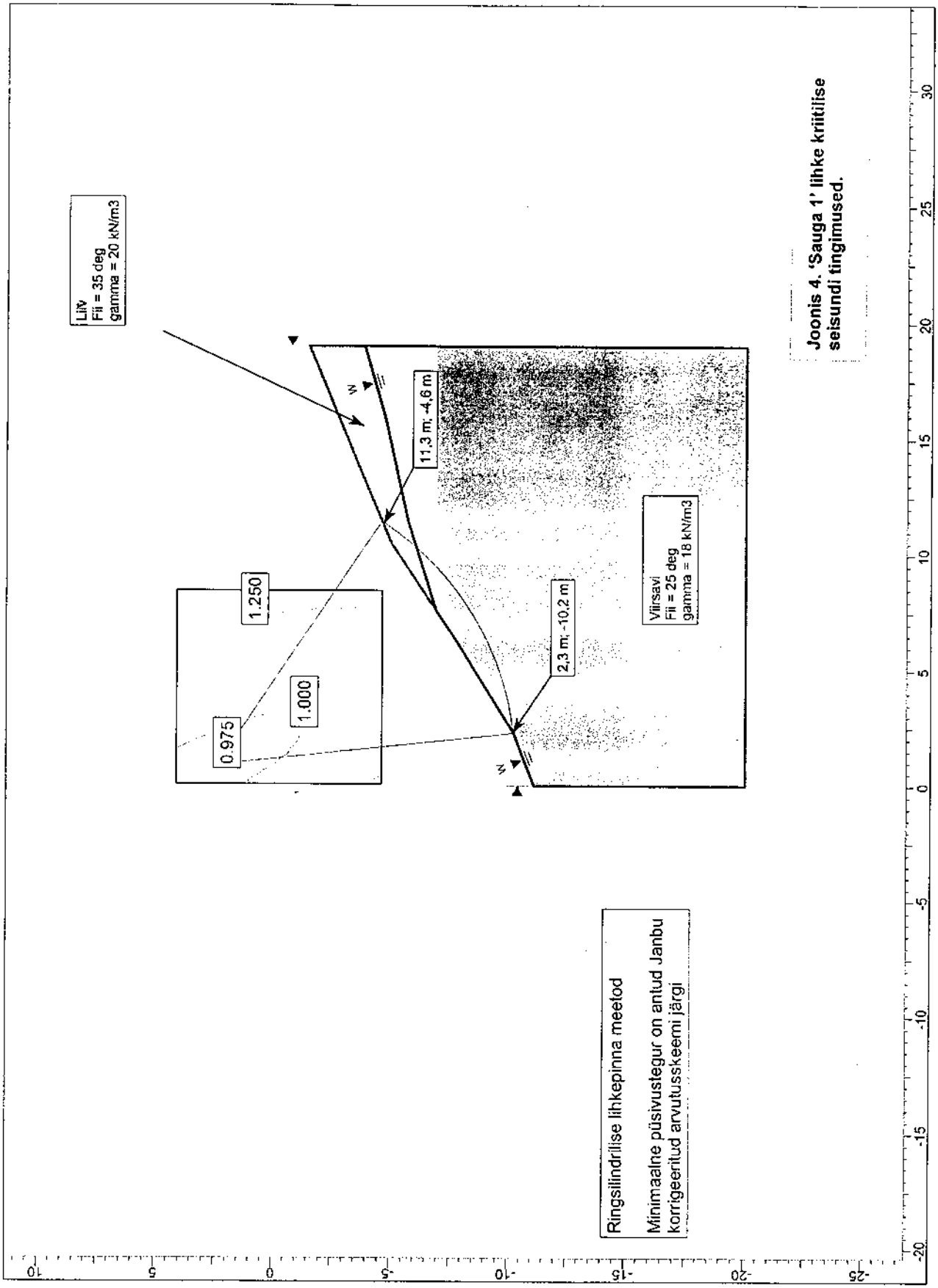
Sisehõõrdenurga väärtus 25° võib olla viirsavi jaoks üle hinnatud ning lihe võis toimuda ka mingi sisehõõrdenurga ja nidususe kombinatsiooni juures, mis iseloomustab ületihenenud savipinnast. Vajalik oleks savipinnase tugevusparameetrid määrata väli- või laboriuuringutega.

Maalihe toimus savipinnases, nõlvus oli umbes 22°. Lihke tekkimise põhjuseks võis olla ühelt poolt kõrge veetase nõlva veerul (efektiivpingete ja sellega pinnase tugevuse vähenemine) ja vee voolamise poolt esile kutsutud, lihke tekkimisele soodsalt mõjunud filtratsioonijõud pinnases, samuti savipinnase tugevuse vähenemine nihkedeformatsiooni kasvamisel. Analoogse geoloogilise ehituse ja kriitiliselt järskude põrkeveerudega on küllalt pikk Sauga jõe lõik (Joonis 19).

4.3 'Pärnu 1' maalihe

Maalihe (Fotod 9,10) toimus Pärnu jõe paremal kaldal Tammistes (Joonis 1), suvilarajoonis, rajoonisisese Jõekalda tänava ääres. Lihke tulemusena liikus nõlv allapoole umbes 30 m (Joonis 5). Lähima suvilani jääb lihkepervest u 30 m ning lihke tagajärjel jäi Jõekalda tänava lõik vahetult lihke pervele. Lihe toimus 2002. a. aprillis kolmes järgus. Esimene järk toimus lihke selles osas, mis jääb jõe suunas ülesvoolu. Selle tagajärjel tekkis kuni 4 m kõrgune vertikaalne lihkeastang ning surveküm moodustas jões saare. Teine järk toimus lihke keskosas nii, et väga selget lihkekeha ei kujunenud, kuid selle tagajärjel libises kaldast alla ka elektripost ja suured puud. Järsul lihkeastangul toimus veel omakorda väiksem libisemine juba hiljem. Kolmas järk oli esimestest väiksem, kujunes selge lihkekeha ja surveküm tekitas jões madala saare. Lähima maja peremehe sõnul toimusid lihked mõnepäevaste vahedega.

©Tartu Ülikool



Joonis 4. 'Sauga 1' lihke kriitilise seisundi tingimused.

©Tartu Ülikool

Foto 8. Vaade 'Sauga 1' maalihkele (asukoht vt. joonis 1). Lihe toimus viirsavis, mis paljandub lihkeastangul. Viltused puud tähistavad lihkekeha.

Foto 9. Vaade 'Pärnu 1' maalihkele (asukohta vt. joonis 1) Pärnu jõe vasakult kaldalt. Viltused kased asuvad lihke poolt jõkke surutud survekühmul.

©Tartu Ülikool

Maalihe kirjeldati välitööde käigus 2002. a. septembris aruande esitajate poolt. Sellel jõelõigul (linna piirist kuni moreeni avamuseni Paikuse kohal) võib jõe kallastel jälgida hulgaliselt vanade maalihete jälgi (Foto 11, Joonis 21). Kaks värsket (toimunud 2002. a.) lihet, kirjeldatavast u. 100m ja 500m allavoolu, on küll märkimisväärselt suured, kuid ebaselge morfoloogiaga, mistõttu neid ei mõõdistatud. Vanemad lihked on erineva suurusega nn 'savilihke tüüpi' (vt. ptk. 5.1.-A). Suuremate puhul on libisemisele allunud järsk oru kallas ning on kujunenud ka iseloomulikud lihkekehad. Väiksemad lihked on toimunud jõe veetaseme lähedal ilmselt jõe erodeeriva tegevuse tagajärjel. Kohaliku elaniku sõnul on '... *siin kallas kogu aeg varisenud....*', mistõttu kogu jõelõiku tuleb pidada looduslike lihete toimumise võimalikkuse seisukohalt ohtlikuks.

Arvutused näitavad, et I etapi maalihe võis toimuda kriitilise seisundi tingimustes sisehõõrdenurga $\varphi'=29°$ juures (Joonis 6). Sellise savi tugevust iseloomustava sisehõõrdenurga korral saadi minimaalse püsivusteguriga lihkepind, mida mööda visuaalsel hinnangul võis toimuda ka uuritud maalihe. Visuaalselt hinnati tegelikult liikunud pinnasemahtu pöördarvutusel leitud teoreetilise väikseima püsivusteguriga lihkepinna poolt liigutatavate massidega.

Samas võib sisehõõrdenurga väärtus 29° olla viirsavi jaoks üle hinnatud ning lihe võis toimuda ka mingi sisehõõrdenurga ja nidususe kombinatsiooni juures, mis iseloomustab ületihenenud savipinnast. Selle viitab ka kujunenud lihkenõlv, mis on kohati iseloomulikult järsk ja viitab sügavamale lihkele. Sügavam ja ülaosas järsem lihkepind kujuneb siis kui pinnase tugevus on määratud ka pinnase nidususkomponendi poolt. Suurema selguse huvides on vajalik savipinnase tugevusparameetrite määramine väli- või laboriuuringutega.

I etapi maalihe kuhjas pinnase jõe kaldale, kalda nõlvus suurenes ja kutsuti esile maalihke II etapp jõe vahetus kaldatsoonis ning osa materjali lihkus jõkke (Joonis 7). Nõlvade ülekoormamisega kaasnevatele lihetele on iseloomulik nende kiire toimumine peale koormuse suurenemist. Seetõttu toimuski II etapi lihe vahetult peale esimese lihke toimumist nõlva ülaosas.

Maalihe toimus savipinnases, nõlvus oli umbes 16.7°. Esimese lihke tekkimise põhjuseks võis olla peamiselt savipinnase tugevuse vähenemine nihkedeformatsiooni kasvamisel, vähemal määral ka kõrge veetase nõlva veerul (efektiivpingete ja sellega pinnase tugevuse vähenemine) ja vee voolamise poolt esile kutsutud, lihke tekkimisele soodsalt mõjunud filtratsioonijõud pinnases. Teise etapi lihe kutsuti esile nõlva ülekoormamisega esimese lihke poolt nõlva alaosale kuhjatud materjali poolt.

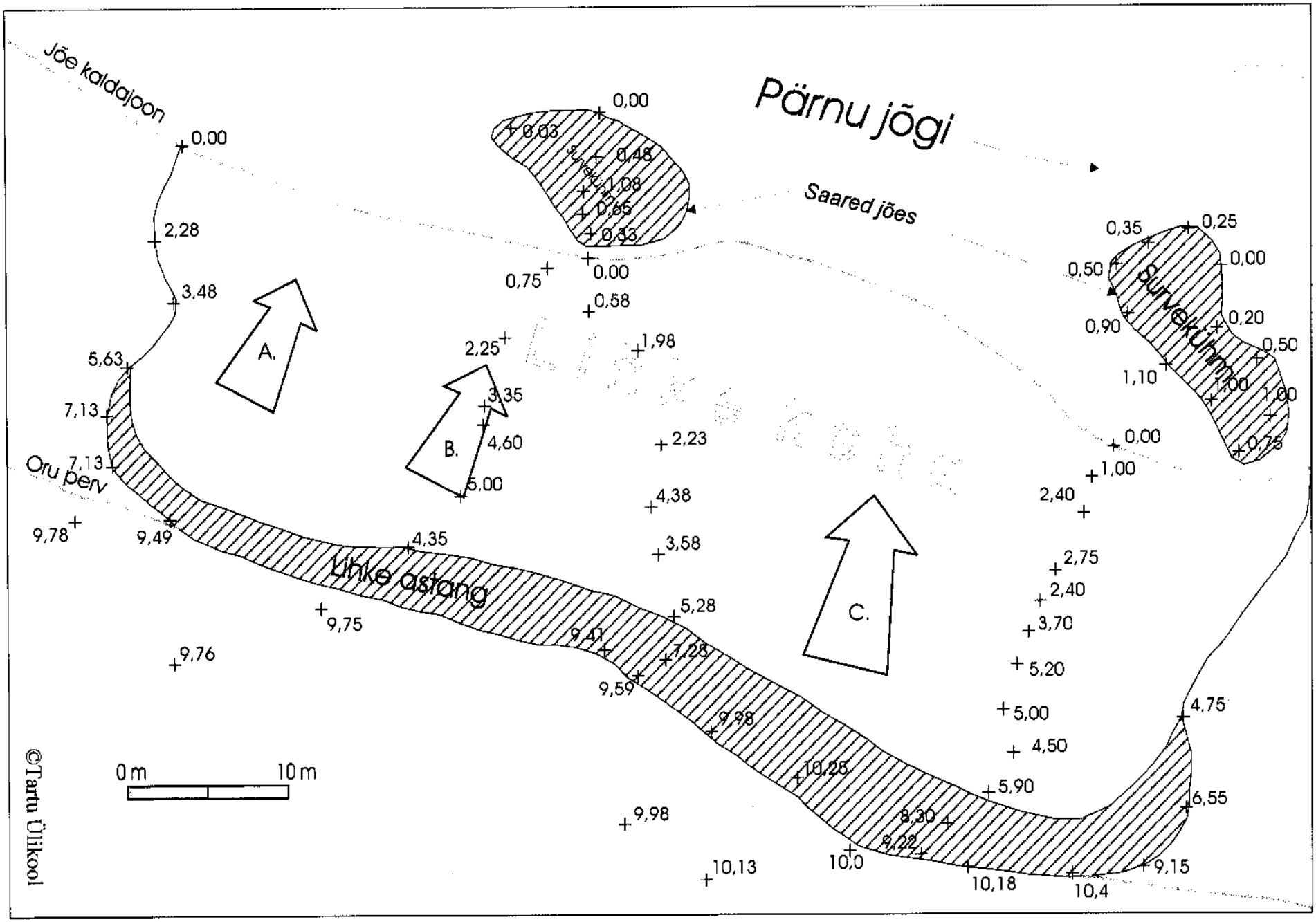
Antud lihke juures tuleb soodustava tegurina arvestada ka veetaseme kiiret muutust Pärnu jões (Joonis 8). Joonisel 8 on näidatud veetaseme muutus Pärnu lahes, mis Pärnu jõe väga väikese langu tõttu (lihke toimumise piirkonnas on jõe veetase vähem kui 0.5 m üle meretaseme) mõjutab ka jõe alamjooksu veetaset. Graafikult ilmneb, et keskmine veetase Pärnu lahes on märtsist aprillini 2002. a. alanenud u 0.75 m. Sellest olulisem on aga veetaseme muutus märtsi maksimumtasemest aprilli miinimumini (1.65 m). Peaaegu kahemeetrine veetaseme alanemine omab tähtsust nii nõlva vastukaalu kui ka pinnasevee liikumise seisukohalt ja võib olla lihke toimumise oluliseks põhjuseks.

©Tartu Ülikool

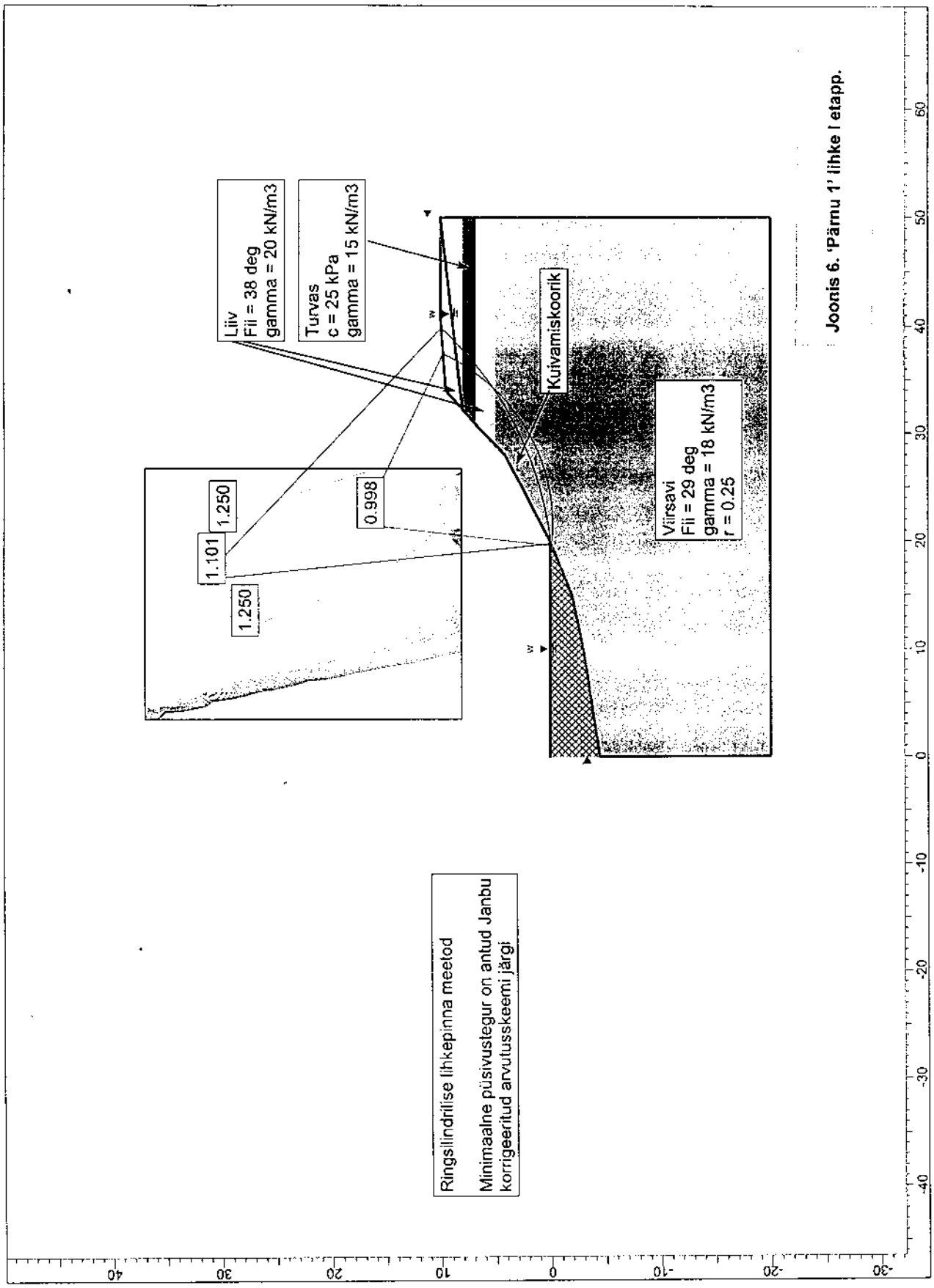
Fotod 10. Vaade 'Pärnu 1' maalihke lõunapoolsemale osale (asukohta vt joonis 1) Pärnu jõe vasakult kaldalt. Viltused kased asuvad lihke poolt jõkke surutud survekühmul.

Foto 11. Vana maalihe Tammiste lähedal, Pärnu jõe paremal kaldal.. Fotolt võib näha kunagist lihkeastangut ja lihkekeha. Jõelõik on kõrge maalihkeohtlikkusega ning metsa raiumine nõlvalt on kõrvaldanud taimejuurte, kui pinnaseankrute tasakaalustava osa ning avanud kaldalähedase pinnase jõeerosioonile. Sellisel, looduslikult väga lihkeohtlikkus piirkonnas on ehitustegevuse planeerimisel vajalikud detailsemad uuringud.

©Tartu Ülikool

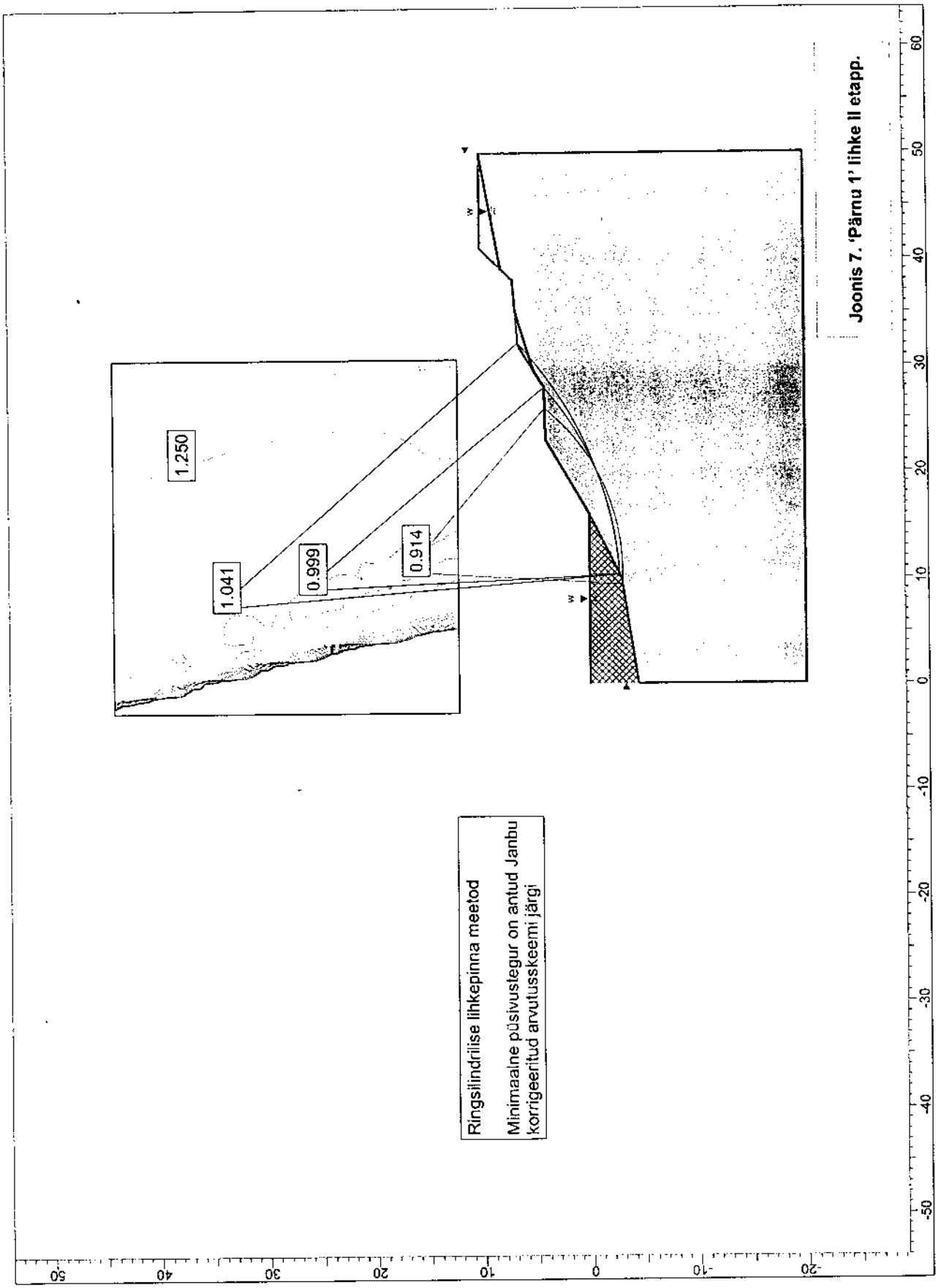


Joonis 5. 'Pärnu 1' maalihke plaan koos lihkeelementide ja kõrgusandmetega. Kõrguste süsteemi nullpunktiks on võetud Pärnu jõe veetase. Lihe toimus mõnepäevaste vahedega, kolmes etapis, mis on joonisel tähistatud vastavalt toimumise ajale: A- esimene,B-teine ja C-kolmas etapp.



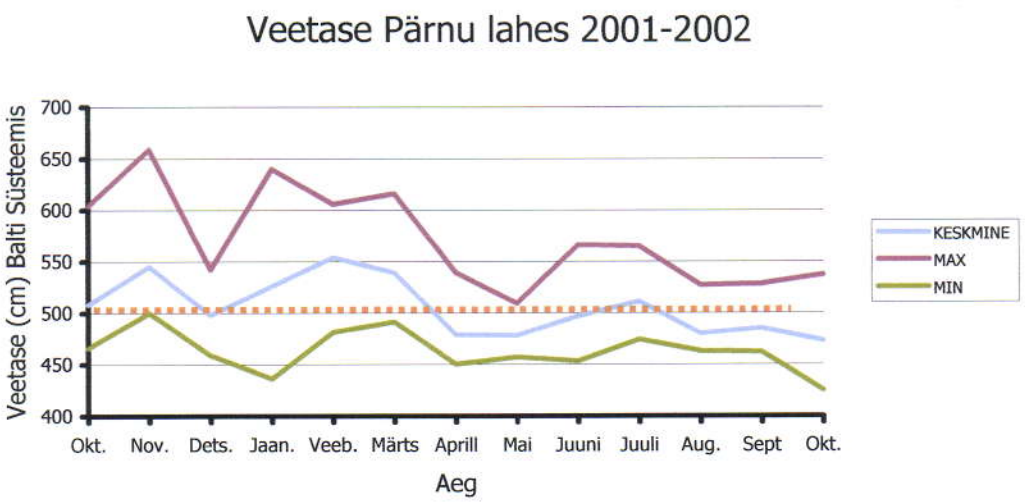
Joonis 6. 'Pärnu 1' lihke I etapp.

©Tartu Ülikool



Joonis 7. 'Pärnu 1' lihke II etapp.

©Tartu Ülikool



Joonis 8. Kuu keskmise, miinimum ja maksimum veetaseme muutus Pärnu lahes (EMHI andmetel), mis peegeldab ka veetaseme muutust Pärnu jõe alamjooksul. Punktiir tähistab keskmist veeseisu Pärnu lahes.

4.4. 'Reiu 1' maalihe

Maalihe (Fotod 12,13) toimus Reiu jõe vasakul kaldal raudteesilla kõrval. Lihke vastaskaldal Reiu puhkebaasi kõrval paikneb 'suveteatri plats' istepinkidega. Lihke täpset toimumise aega ei ole fikseeritud aga teadaolevalt toimus see 2000. aastal. Lihke ulatus jõe voolu suunas on 21.8 m ja laius 10 m. Lihke kuni 2.5 m (keskm. 1m) kõrgune astang on isegi kaks aatat hiljem selgesti nähtav. Osaliselt võib see olla seotud sekundaarse varisemise või väiksemate lihetega, sest savipinna peal voolas ka uurimise aegsel kuival perioodil vesi, mis uuristas astangu jalamit. Lihke piirkonnas on Reiu jõe säng erodeeritud viirsavisse, mille pind ulatub kuni 2,5 m üle veetaseme. Savi omakorda on kaetud kuni 1,5 m paksuse merelise ja eoolse liiva kihiga. Lihe on toimunud savipinnases. Kuna selget lihkekeha eraldada ei olnud võimalik, võib oletada, et lihe võis olla toimunud kahes järgus. Kuigi lihke tagajärjel kujunenud surveküm liigestab praegust kaldajoont (Fotod 12,13), on seda lihkesündmusest möödunud aja jooksul kindlasti oluliselt väiksemaks kulutatud. Selgete morfoloogiliste elementide puudumise ja lihke mitmekordse toimumise võimaluse tõttu, seda maalihet geotehniliste arvutuste tegemiseks ei kasutatud.

4.5. 'Reiu 2' maalihe

Maalihe (Fotod 14,15) toimus Reiu jõkke suubuva sügava ja järsuveerulise sälkoru nõlval 2002.a. veebruaris. Lihke tulemusena liikus allapoole settekaev ja nõlv umbes 9 m kaugusel elumaja seinast (Joonis 9; Foto 14).

Maalihe kirjeldati välitööde käigus 2002. a. augustis aruande esitajate poolt. Varasemaid lihkeid piirkonnast teada ei ole aga sama külgoru veeru morfoloogia järgi võib arvata, et värskest lihkest allavoolu on toimunud ka varem umbes sama suurusjärgu maalihe. Mõõdetud 'värske' maalihe toimus 23 m pikkusel lõigul ja lihke amplituudiks mõõdeti selle ülaosas 1,5 m. Allalibisenud materjal on surunud oja sängi kitsamaks konkreetset survekühmu tekitamata.

Lihke toimumise ajal toimus intensiivne lume sulamine ja sadas vihma. Lihkekehas kaasalibisenud settekaev lubab oletada, et kriitiliselt niiskesse pinnasesse võis sattuda lisavett ka settekaevust, mis võis olla üheks põhjuseks konkreetse lihke

©Tartu Ülikool

tekkimisel. Lihkekehaga on alla libisenud suured männid (Fotod 14,15). Kuigi nende juurestik mõjub pigem pinnase stabiliseerijana, võis antud juhul lihke vallandada või vähemalt sellele kaasa aidata tugev tuul, mis pani puud suure amplituudiga liikuma.

Arvutused näitavad, et lihe sai toimuda vaid pinnasevee kõrgtaseme ajal. Seejuures vaid pinnasevee kõrgtaset arvestades, oli nõlval piisav tugevusvaru (Joonis 10). Oluliseks sai vee voolu poolt esile kutsutud filtratsioonijõud, mille arvestamisel lihe võis toimuda liiva sisehõõrdenurga $\varphi'=33°$ juures (Joonis 11). Arvutatud püsivuse seisukohalt ebasoodsaima nõlva teoreetilise lihkepinna poolt liigutatav pinnasemass on heas kooskõlas toimunud maalihke poolt liigutatud pinnasehulgaga.

Maalihe toimus liivpinnases, sälkoru nõlvus oli umbes 25°. Lihke tekkimise mehhanismiks oli kõrge veetase nõlva veerul (efektiivpingete ja sellega pinnase tugevuse vähenemine) ja vee voolamise poolt esile kutsutud, lihke tekkimisele soodsalt mõjunud filtratsioonijõud pinnases. Kuigi lihe toimus liivpinnases, paljandus oja põhjas ning Reiu jõe veerudel kohati savi, mis viitab sellele, et siin on võimalikud ka savilihked.

4.6. 'Reiu 3' maalihe

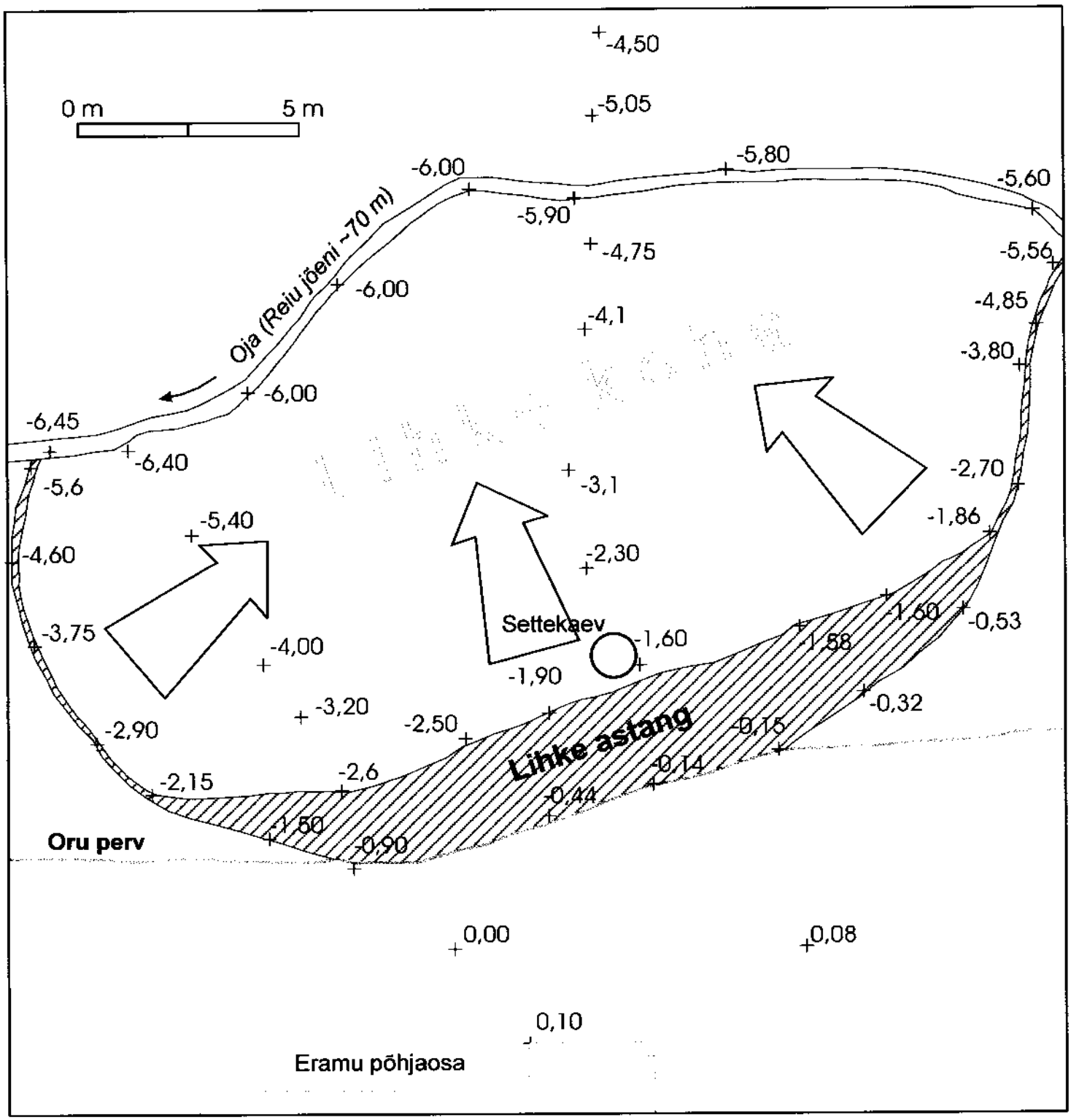
Maalihe Reiu jõe paremal kaldal (Joonis 1) toimus 2000. a. Lihke tulemusena liikus allapoole nõlv umbes 10 m amplituudiga (Joonis 12). Maalihe kirjeldati välitööde käigus 2002.a. septembris. aruande esitajate poolt. Varasemaid lihkeid vaadeldaval jõelõigul teada ei ole.

Lihe (Foto 16) toimus liivapinnases oru veeru ülemises osas. Väga selgelt on jälgitavad lihkeastang (Foto 15) ja perv ning lihkekeha (Joonis 12). Oru veerule on lihkekeha tekitanud surveühmu (Joonis 12). Teistest kirjeldatud lihetest eristub seetõttu, et kogu oru veeru ulatuses avaneb peeneteraline liiv (ka vähemalt 1 m allpool septembri alguse Reiu jõe veetaset) ning lihe on toimunud veeru ülemises osas nii, et veeru alumine osa on säilitanud esialgse morfoloogia.

Pöördarvutused näitavad, et lihe sai toimuda vaid pinnasevee kõrgtaseme ajal. Seejuures vaid pinnasevee kõrgtaset arvestades oli nõlval piisav tugevusvaru (Joonis 13). Oluliseks sai vee voolu poolt esile kutsutud filtratsioonijõud, mille arvestamisel lihe võis toimuda liiva sisehõõrdenurga $\varphi'=33°$ juures (Joonis 14). Arvutatud püsivuse seisukohalt ebasoodsaima nõlva teoreetilise lihkepinna poolt liigutatav pinnasemass on heas kooskõlas toimunud maalihke poolt liigutatud pinnasehulgaga.

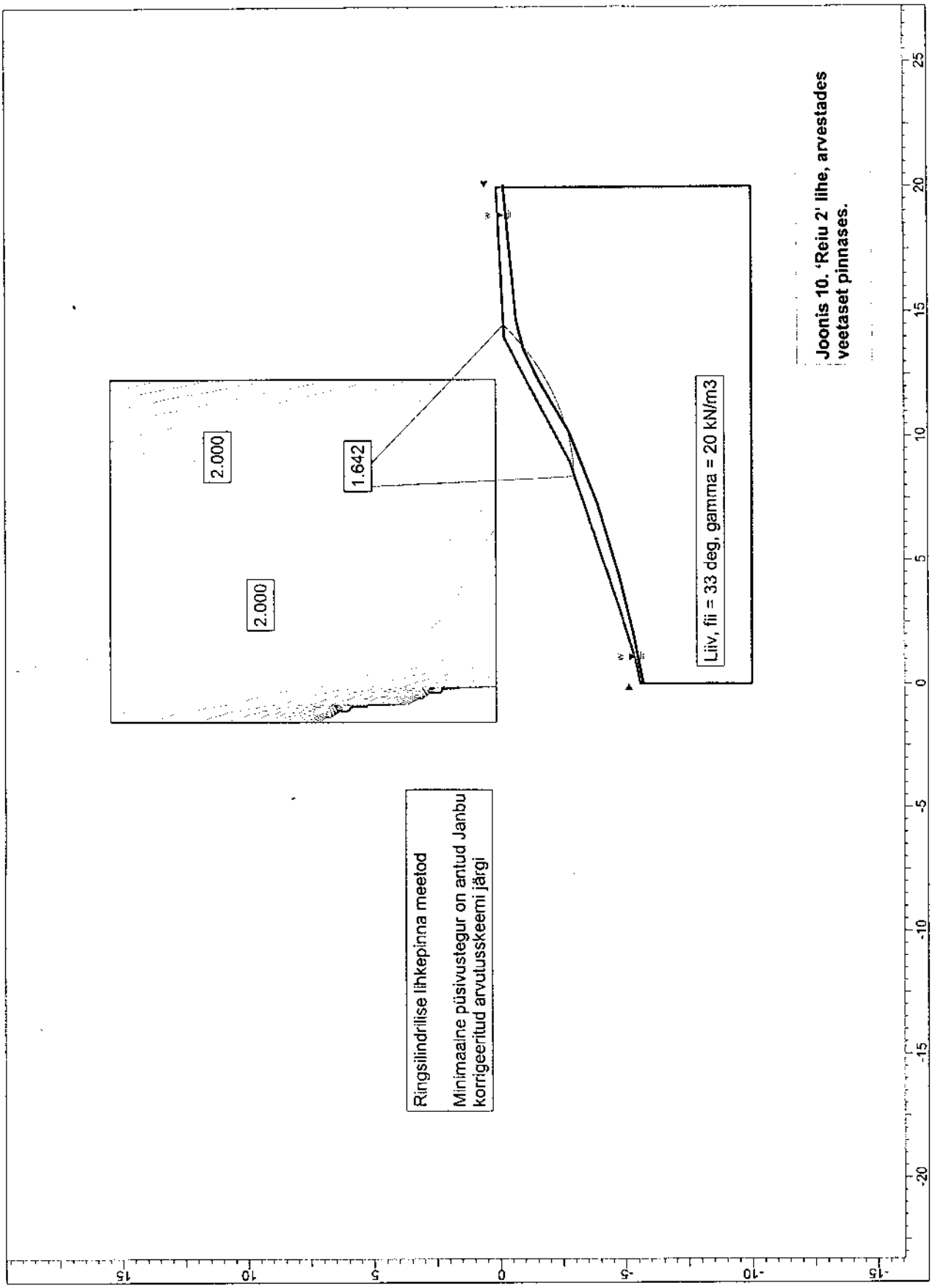
Maalihe toimus liivpinnases, oru nõlvus oli umbes 31°. Lihke tekkimise põhjuseks oli kõrge veetase nõlva veerul (efektiivpingete ja sellega pinnase tugevuse vähenemine) ja vee voolamise poolt esile kutsutud, lihke tekkimisele soodsalt mõjunud filtratsioonijõud pinnases.

©Tartu Ülikool



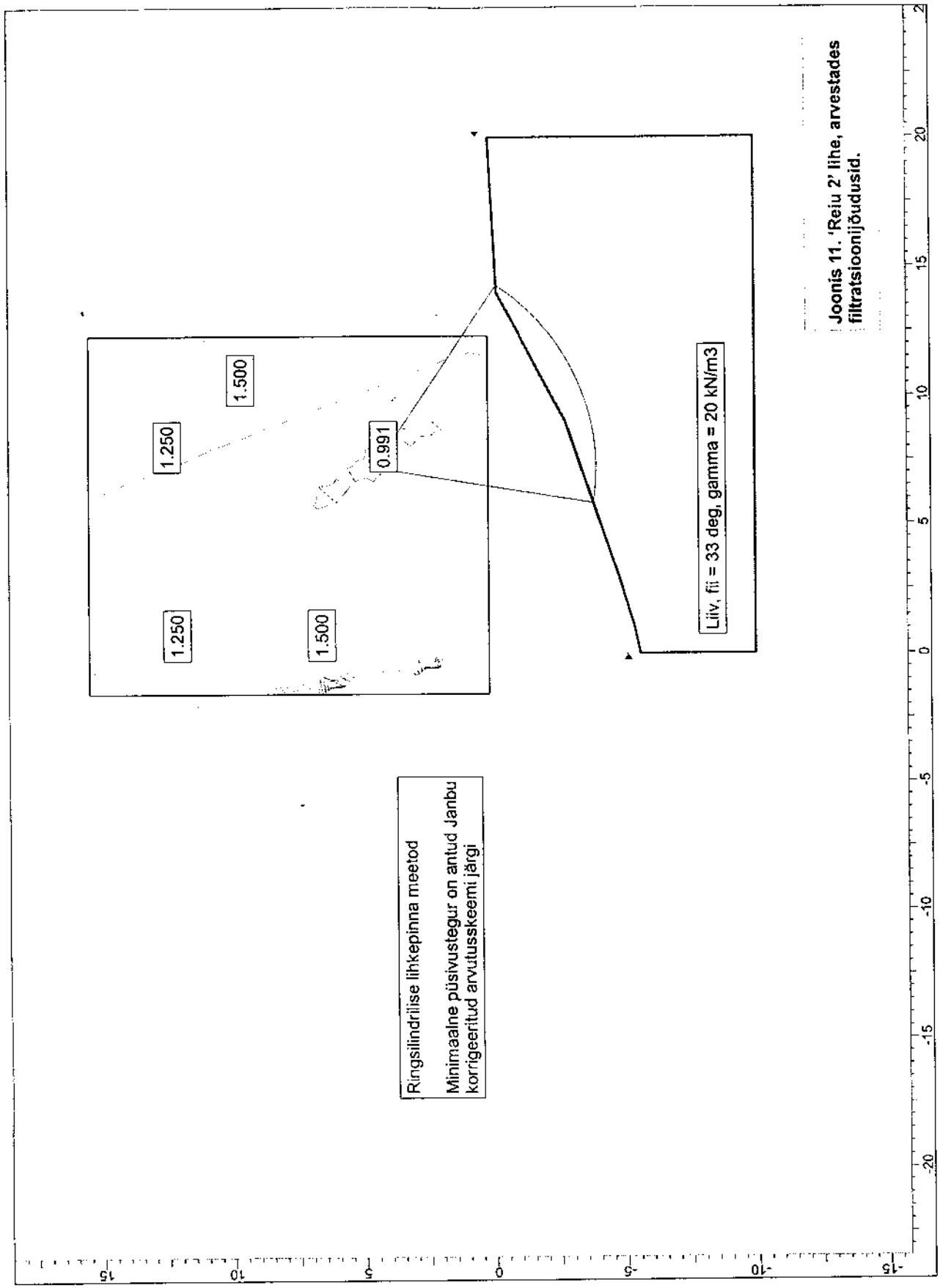
Joonis 9. 'Reiu 2' maalihke plaan koos lihkeelementide ja kõrgusandmetega. Kõrgused nullpunkti (punkt oru pervel) suhtes.

©Tartu Ülikool



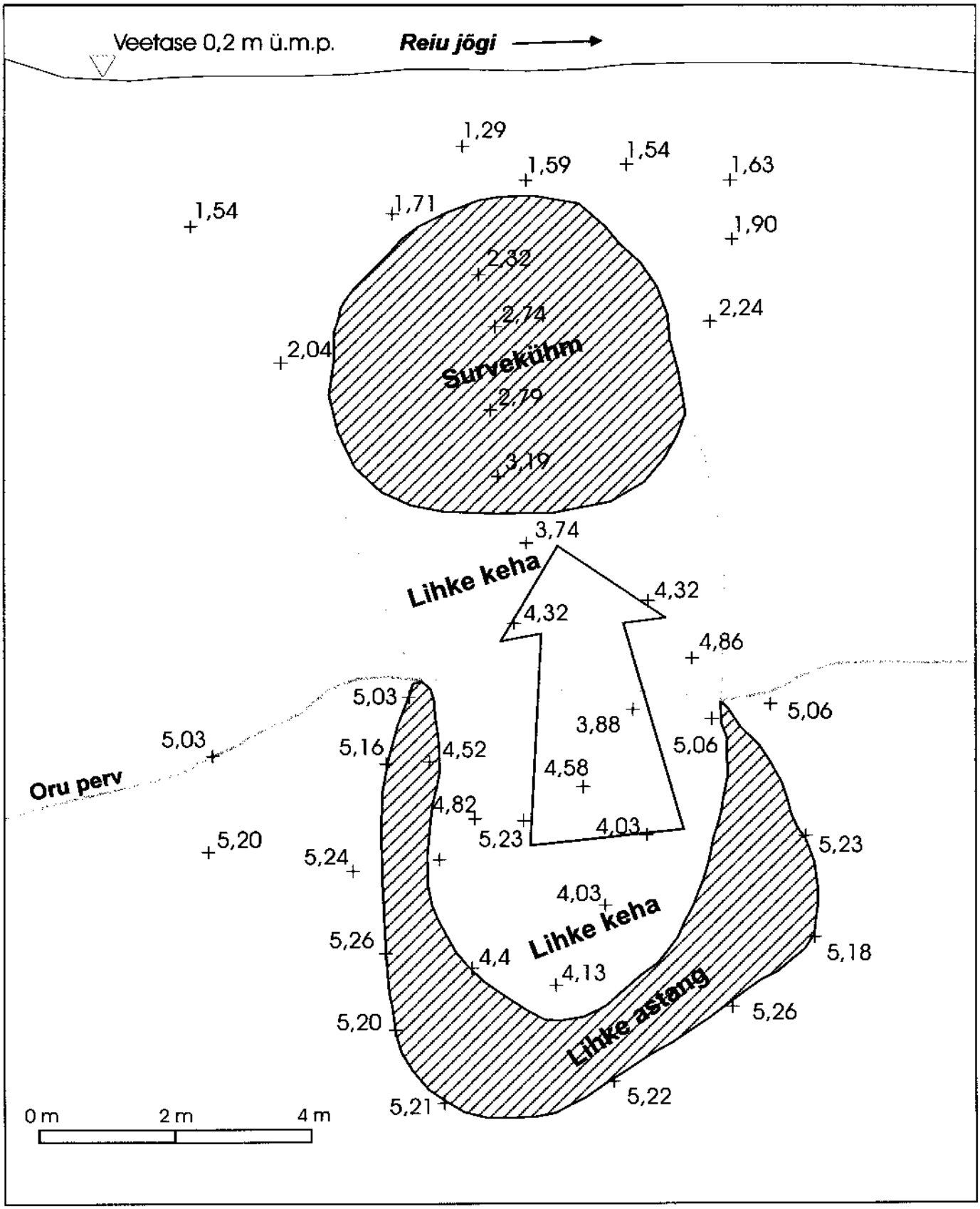
Joonis 10. 'Reiu 2' lihe, arvestades veetaset pinnases.

©Tartu Ülikool



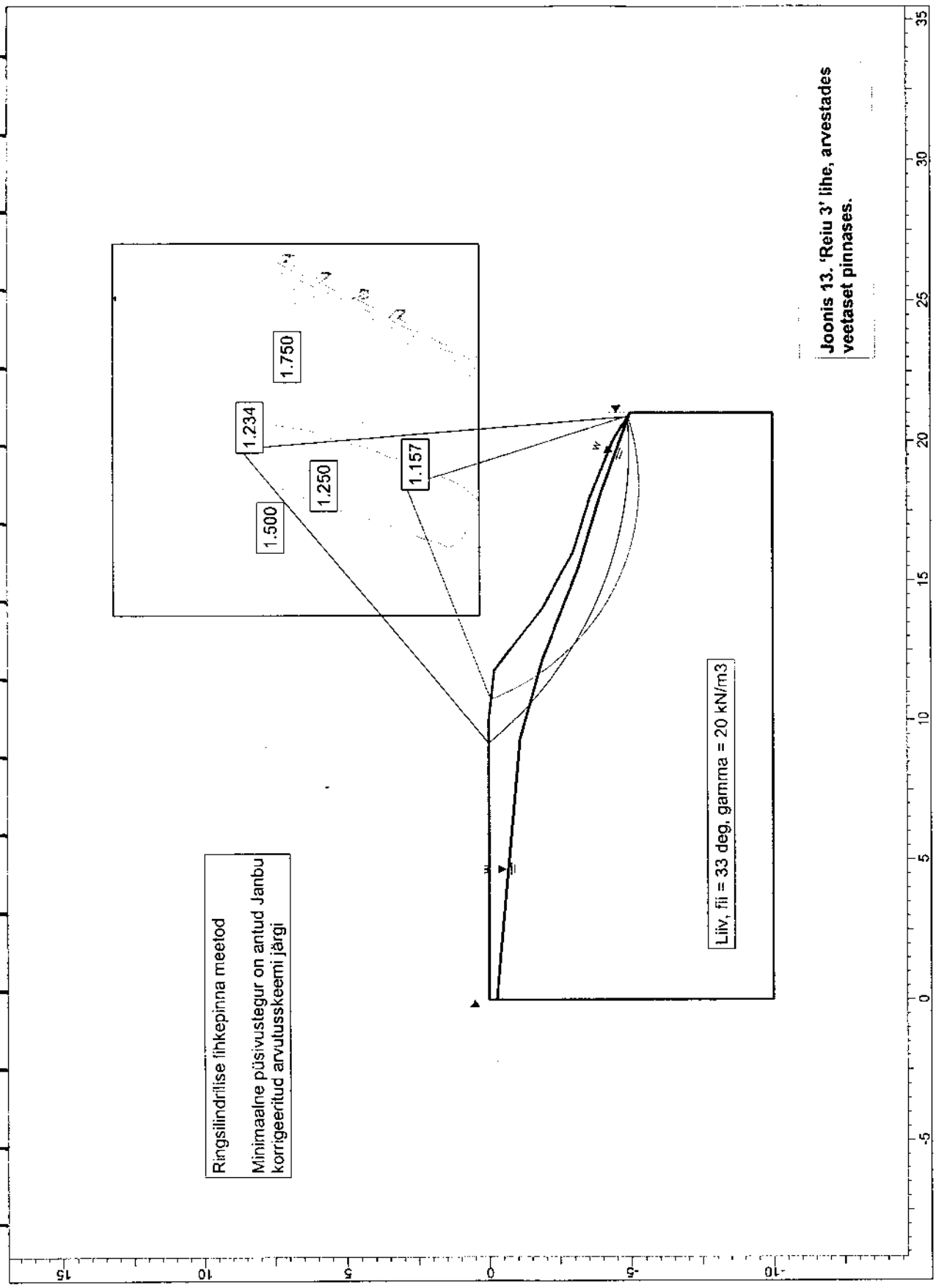
Joonis 11. 'Reiu 2' lihe, arvestades filtratsioonijõudusid.

©Tartu Ülikool



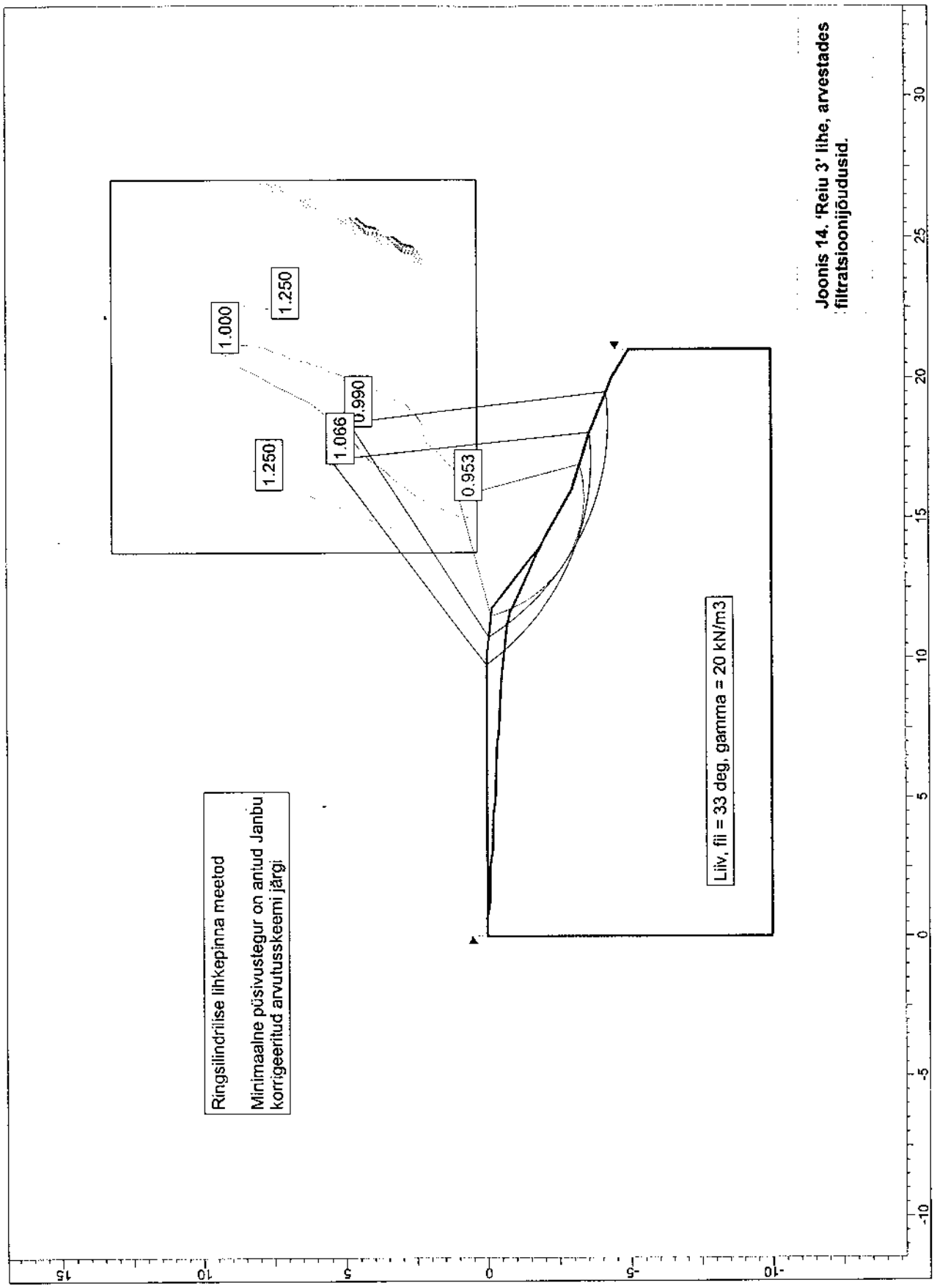
Joonis 12. 'Reiu 3' maalihke plaan koos lihkeelementide ja kõrgusandmetega. Jõe veetaseme absoluutkõrguseks on võetud 0,2 m ning ülejäänud kõrgused on seotud jõetasemega.

©Tartu Ülikool



Joonis 13. 'Reiu 3' lihe, arvestades veetaset pinnases.

©Tartu Ülikool



Joonis 14. 'Reiu 3' lihe, arvestades filtratsioonijõudusid.

©Tartu Ülikool

Fotod 12-13. Vaated 'Reiu 1' maalihkele (asukoht vt joonis 1) ülesvoolu jäävalt vanalt raudteesillalt. Alumisel fotol on näha 4 m pikkune mõõdulatt. Lihkekeha liigestab jõe kaldajoont.

©Tartu Ülikool

Fotod 14-15. Vaated 'Reiu 2' maalihkele (asukoht vt joonis 1). Ligikaudu 1m kõrgune lihkeastang kujunes ainult 10 m kaugusel eramust. Koos lihkekehaga libisesid nõlva jalami suunas suured männid ja nõlval paiknenud settekaev.

Settekaevu väljavool

Foto 16. Vaade 'Reiu 3' maalihkele (asukoht vt. joonis 1). Lihe toimus liivas, jõe suunas filtreerunud põhjavee toimel. Lihe on teistest, mõõdistatud nn savilihetest väiksem ja on toimunud jõe veetasemest sõltumatult.

©Tartu Ülikool

5. Maalihkeohtlikkuse hinnang

5.1. Lihete klassifikatsioon

Käesoleva uuringu käigus teostatud välitööde ja maalihete geotehnilise modelleerimise tulemused lubavad Pärnu piirkonnas toimunud maalihked jaotada 3 rühma:

A-maalihked savis ehk nn 'savilihked' toimuvad savipinnases või tingimustes, kus lihke toimumise määravad savi geotehnilised omadused (iseeneslikud lihked $\geq 7°$ ja inimmõjulised $\geq 10°$). Lihked võivad toimuda kas läbinisti savisse kujunenud nõlvadel või ka õhukese (kuni 3m) liivakattega savistel nõlvadel (nt. 'Audru 1' lihe). Väga oluliseks selliste lihete vallandumisel on pinnase niiskusrežiim aga ka näiteks inimtegevusest põhjustatud vibratsioon;

B-maalihked liivas ehk nn. 'liivalihked' toimuvad pinnasevee liikumise tagajärjel tingimustes, kus suure filtratsioonikoefitsiendiga liivpinnase filtratsiooni intensiivsus nõlvas suureneb vee liikumise gradiendi kasvamise tõttu. Sellised lihked toimuvad suhteliselt suure nõlvakalde (iseeneslikud lihked $\geq 20°$ ja inimmõjulised $\geq 15°$) korral ning need on mõõtmetelt savilihetest väiksemad. Nende lihete tekkimine ei ole seotud jõe veetasemega ning võivad kujuneda ka nõlva ülemises osa või pervel (nt. 'Reiu 2' lihe);

C-'väikesed lihked savipinnases', mis toimuvad jõe sängi kaldal seetõttu, et voolav vesi erodeerib kalda kriitiliselt järsuks. Omavad tähtsust niipalju, et muudavad oruveerude alumist osa järsemaks ja teatud kriitilise kalde juures võivad põhjustada suurema lihke vallandumise. Näiteks 'Audru 1 ja 2' maalihete tekkimise üheks eelduseks oli kirjeldatud väiksemate lihete korduv kujunemine sängi pervel.

5.2. Uuritud alade lihkeohtlikkuse kaardid

Kõigi nelja uuritud jõelõigu kohta on koostatud kolmest kaardist koosnev komplekt (Joonised 15-26), mis sisaldab ala kõrgusmudelit, nõlvakallakuste kaarti ja maalihkeohtlikkuse kaarti. Viimane lähtub jõeoru geoloogilisest ehitusest (setete levikust ja nende järjestusest), nõlvakallakusest ja eespool esitatud lihete klassifikatsioonist (vt. Ptk 5.1). Lihkeohtlikkuse kaartidel on ohtlikud nõlvad eristatud värvidega, kus 'savitüüpi' (A-tüüpi vt. Ptk. 5.1) ohtlikud nõlvad on tähistatud punaste toonidega ja 'liivatüüpi' (B-tüüpi vt. Ptk. 5.1) ohtlikud nõlvad pruunide toonidega. Juhul, kui maalihke seisukohalt ohtlikul alal on võimalikud mõlemat tüüpi lihked (näiteks liiva- ja savilihked – 'Reiu 2' lihe), siis on ohtlike tsoonide eristamisel arvestatud suurema ohuteguriga pinnase nõlvsust (reeglina siis väiksemat nõlvakallet). Väikesed lihked savipinnases (C-tüüp vt. Ptk. 5.1), mis toimuvad jõe sängi kaldal on väga väikese pindalalise levikuga, mis ei võimalda neid kaartidel näidata ning nende esinemine on ära mainitud tekstis (Ptk 5.2.1-5.2.4) ja tabelis 1.

5.2.1. Audru jõgi

Vaadeldud Audru jõe alamjooksualal (Joonised 15-16) eraldati välja kaks lihkeohtlikku piirkonda (Joonis 17). Esimene 2,4 km jõelõik vana veskitammi ja Audru kooli vahelisel alal (Joonis 17) on ohtlik 'savitüüpi' (A-tüüpi vt Ptk. 5.1) lihete seisukohalt. Ohtliku ala keskele jääb eespoolkirjeldatud 'Audru 1' (Fotod 6-7) maalihe savis. Samal jõelõigul on täheldatav mitmete väiksemate C – tüüpi (Ptk. 5.1.; Tabel 1) ja samuti vanade maalihete jälgi. Teine, ülesvoolu jääv 1,6 km pikkune

©Tartu Ülikool

jõelõik (Joonis 17) on ohtlik liivas toimuvate lihete seisukohalt. Reljeefianalüüs näitab, et lisaks Audru jõe oru veerudele võivad ohtlikuks osutuda ka mõned Audru jõkke suubuvate külgorgude veerud, näiteks Malda asula ümbruses. Jõelõigud Audru kooli juures oleva Pärnu-Lihula maantesilla ümbruses ning vanast veskitammist allavoolu (ka Audru alevis) on looduslike maalihete seisukohalt praktiliselt ohutud kuna seal on jõesäng erodeeritud moreeni.

5.2.2. Sauga jõgi

Uurimuse tulemusena eristati kaks savilihete (A-tüüpi vt. Ptk. 5.1) seisukohalt ohtlikku jõelõiku. Lihete tõenäosus on suurem jõe põrkeveerudel. Esimese, 2,2 km pikkuse, lõunapoolsema, ohtliku jõelõigu keskele jääb 'Sauga 1' maalihe (Joonis 20). Teine, 0,8 km pikkune ohtlik jõelõik asub 1 km eelmisest ülesvoolu (Joonis 20). Mõlemal lõigul esineb kuni 200 m pikkuseid, ohtlikult järskude veerudega kõrvalorge.

Uuringute põhjal eristuvad lisaks eeltoodud ohtlikele lõikudele veel ka mõningad, kuni 200 m pikkused orulõigud (alates Raudteesilla bussipeatusest kuni Nurme sillani), kus võivad esineda 'liivatüüpi' (B) lihked (Joonis 20). Siiski on need alad oluliselt piiratuma levikuga, kui 'savilihke' (A) alad ning paiknevad hajutatult. Jõelõik, alates Raudteesilla bussipeatusest kuni Pärnu linna piirini on maalihete seisukohalt paraktiliselt ohutu, kuna oru veerudel lihkeohtlikke nõlvu ei esine.

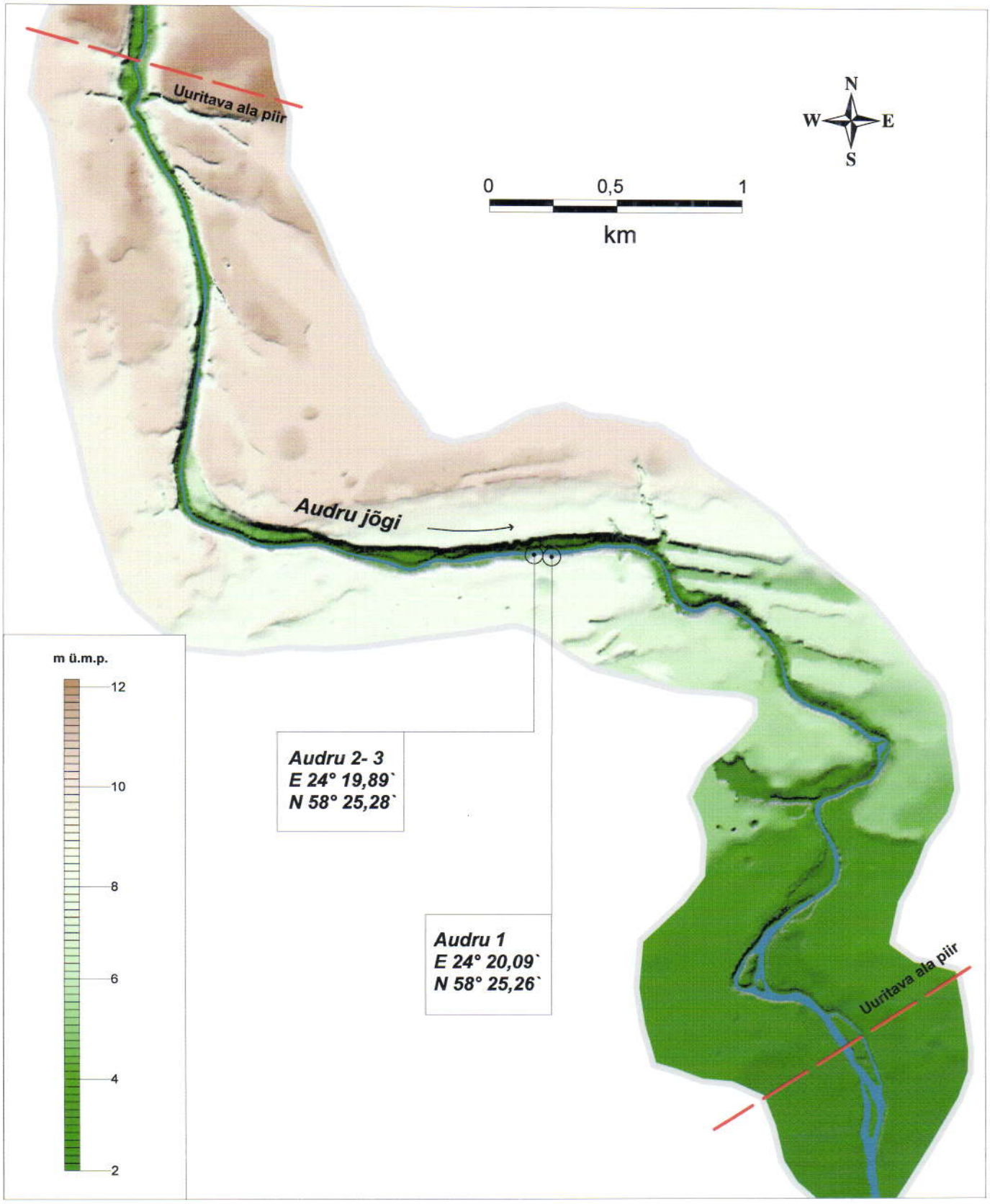
5.2.3. Pärnu jõgi

Pärnu jõe alamjooksuosa Reiu jõe suudmest kuni Paikuse politseikoolini on uuritud jõelõikudest kõige selgema lihkeohtlikkusega (Joonis 21). Siin on jõgi erodeerunud savipinnasesse mida katab mõne meetri paksune liivakiht ja esinevad savitüüpi (A-tüüpi vt. Ptk. 5.1) lihkeohtlikud nõlvad (Joonis 23). Kogu nimetatud lõigu ulatuses esineb vanade, erineva suurusega maalihete (savilihked ja väikesed lihked sängi pervel) jälgi. Nimetatud jõelõigul paikneb ka 'Pärnu 1' maalihe ning kaks 'värsket' lihet, mis küll nende ebaselge morfoloogia tõttu jäid käesoleva töö käigus mõõdistamata. Lisaks ohtlikele Pärnu jõe veerudele, võib lihkeohtlikeks lugeda ka kahe Pärnu jõkke suubuva oja veerusid (Joonis 21). Kirjeldatud ohtlikust jõelõigust ülesvoolu jääv ala kuni Sindi tammini, on looduslike maalihete seisukohalt praktiliselt ohutud, kuna seal on jõesäng erodeeritud moreeni. Kõige selgemini tõestab seda suurte rahnude esinemine sängi põhjas.

5.2.4. Reiu jõgi

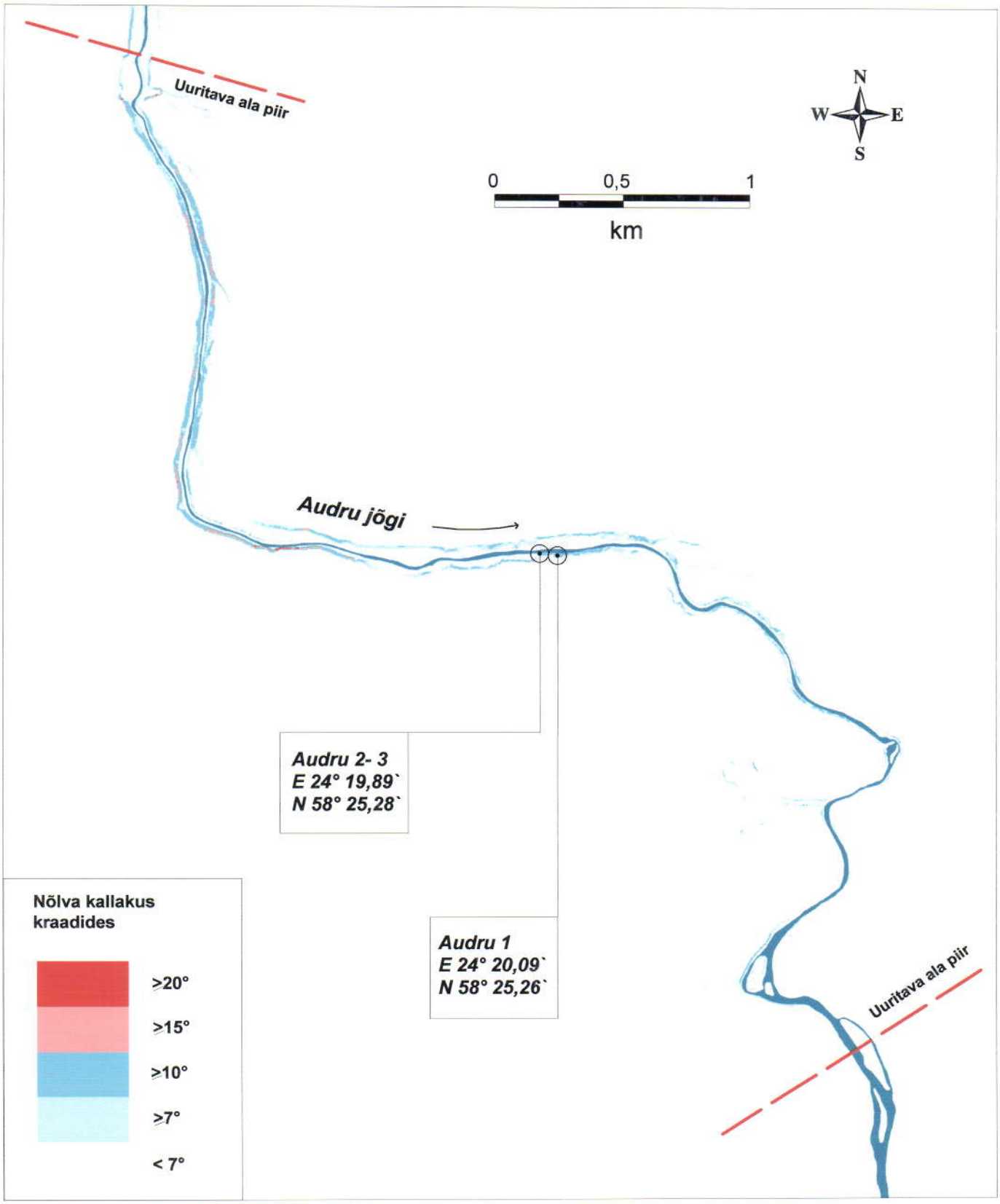
Uurimuse tulemusena selgus et, alates 1,4 km Silla asulast allavoolu kuni Reiu jõe suudmeni esineb jõe mõlema oru veerul 4,2 km ulatuses savitüüpi (A-tüüpi vt. Ptk. 5.1) lihkeohtlike nõlvu (Joonis 26). Nimetatud jõelõigul paiknevad 'Reiu 1'ja 'Reiu 2' maalihked. Lisaks Reiu jõe orule võib lihkeohtlikeks lugeda ka mitmete jõkke suubuvate külgorgude veerusid (Joonised 25 ja 26). Alates Silla külast kuni 1,2 km ülesvoolu esineb mõningaid, kuni 200 m pikkuseid jõelõike, kus võib esineda liivatüüpi lihkeid (B –tüüpi vt. Ptk. 5.1 ja Joonis 26). Sellest jõelõigust ülesvoolu jääv ala kuni uuringuala piirini ning Silla külast ülesvoolu jääv 1,4 km pikkune jõelõik on looduslike maalihete seisukohalt praktiliselt ohutud, kuna jõeorg, mis paikneb merelises liivas või moreenis, on nii laugete veerudega, et lihkeohtlikke nõlvu ei esine (Joonised 25 ja 26).

©Tartu Ülikool



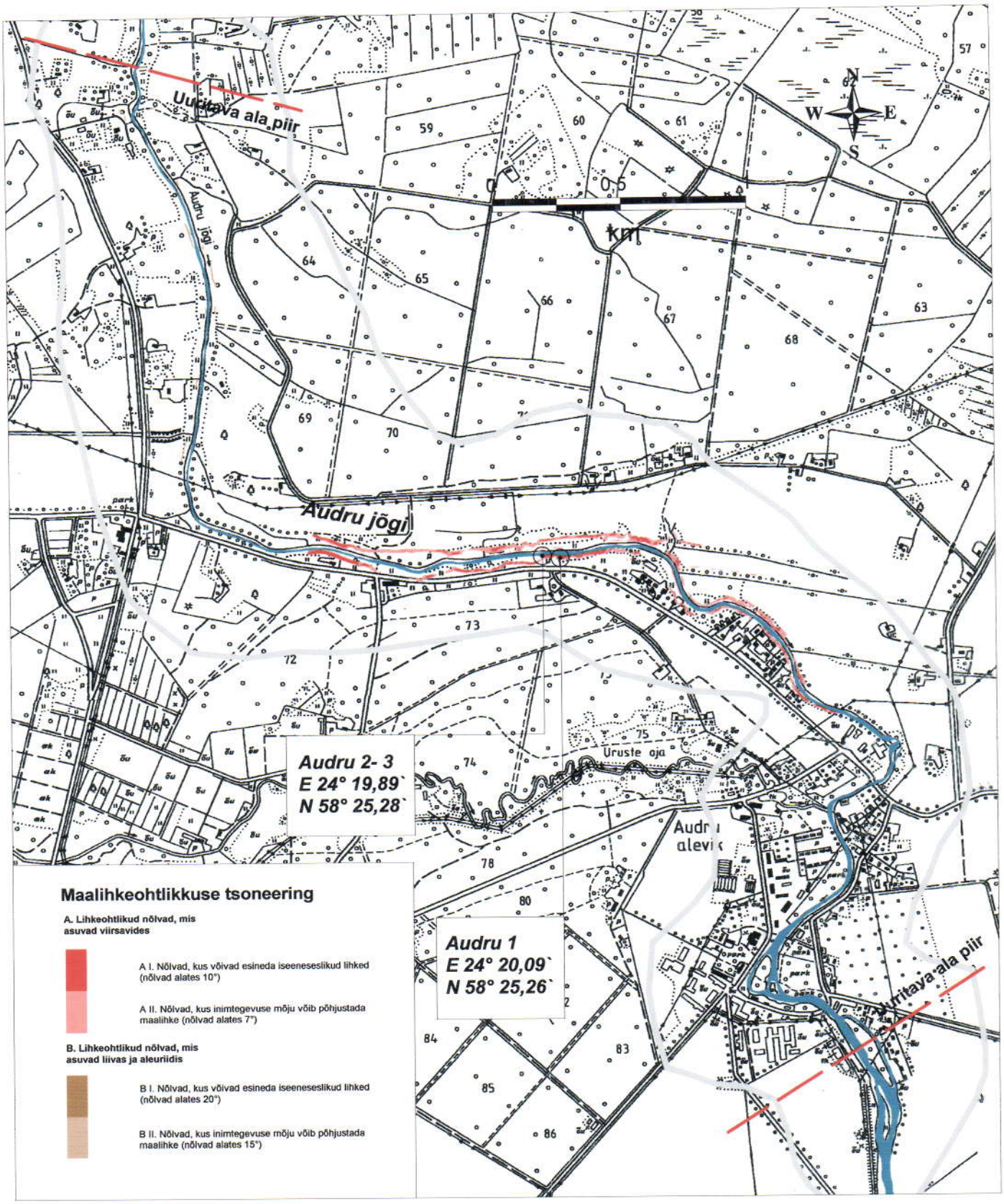
Joonis 15. Audru jõe alamjooksu kõrgusmudel (grid 4*4 m).

©Tartu Ülikool



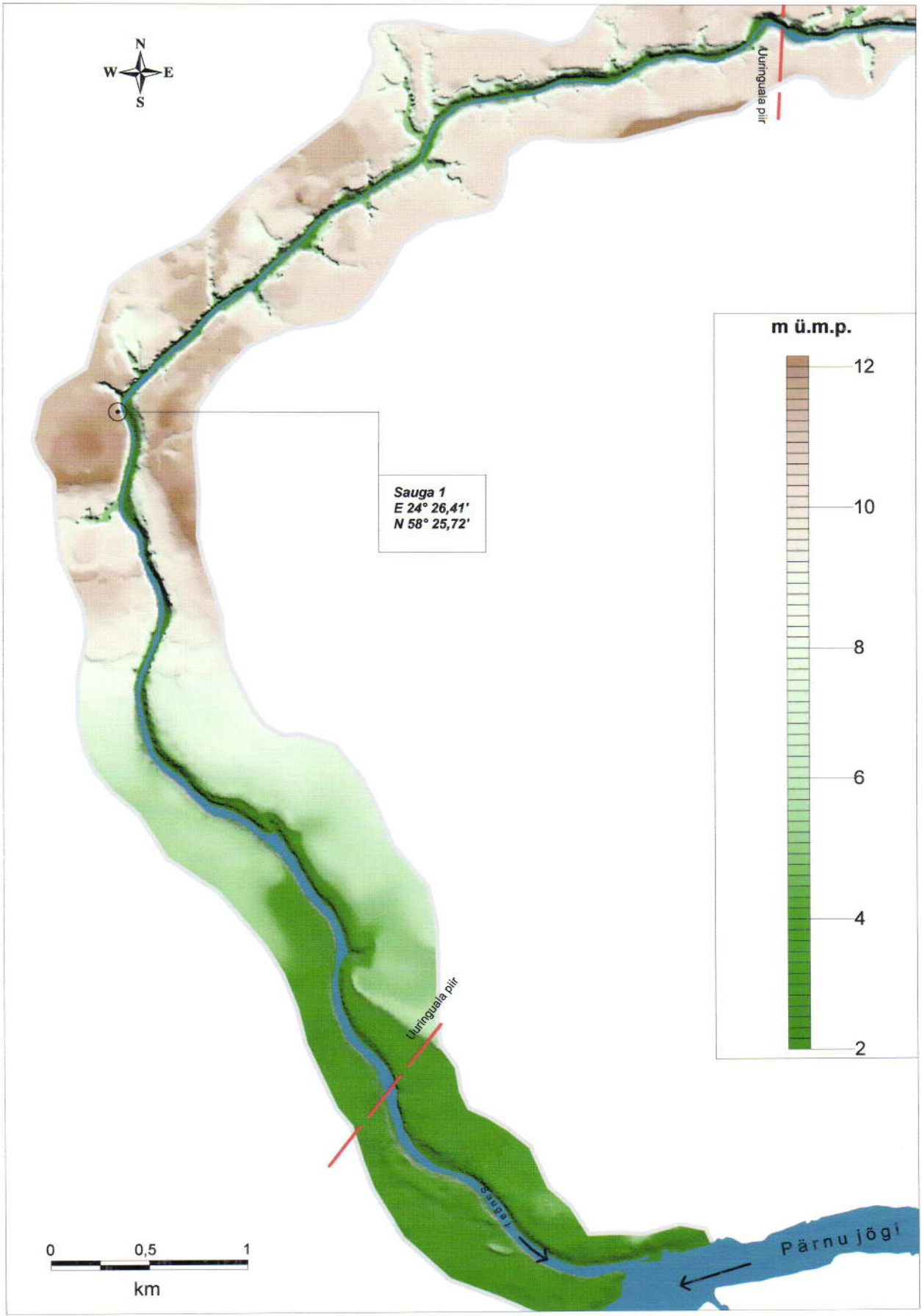
Joonis 16. Audru jõe alamjooksu nõlvakallakuste kaart (grid 4*4 m).

©Tartu Ülikool



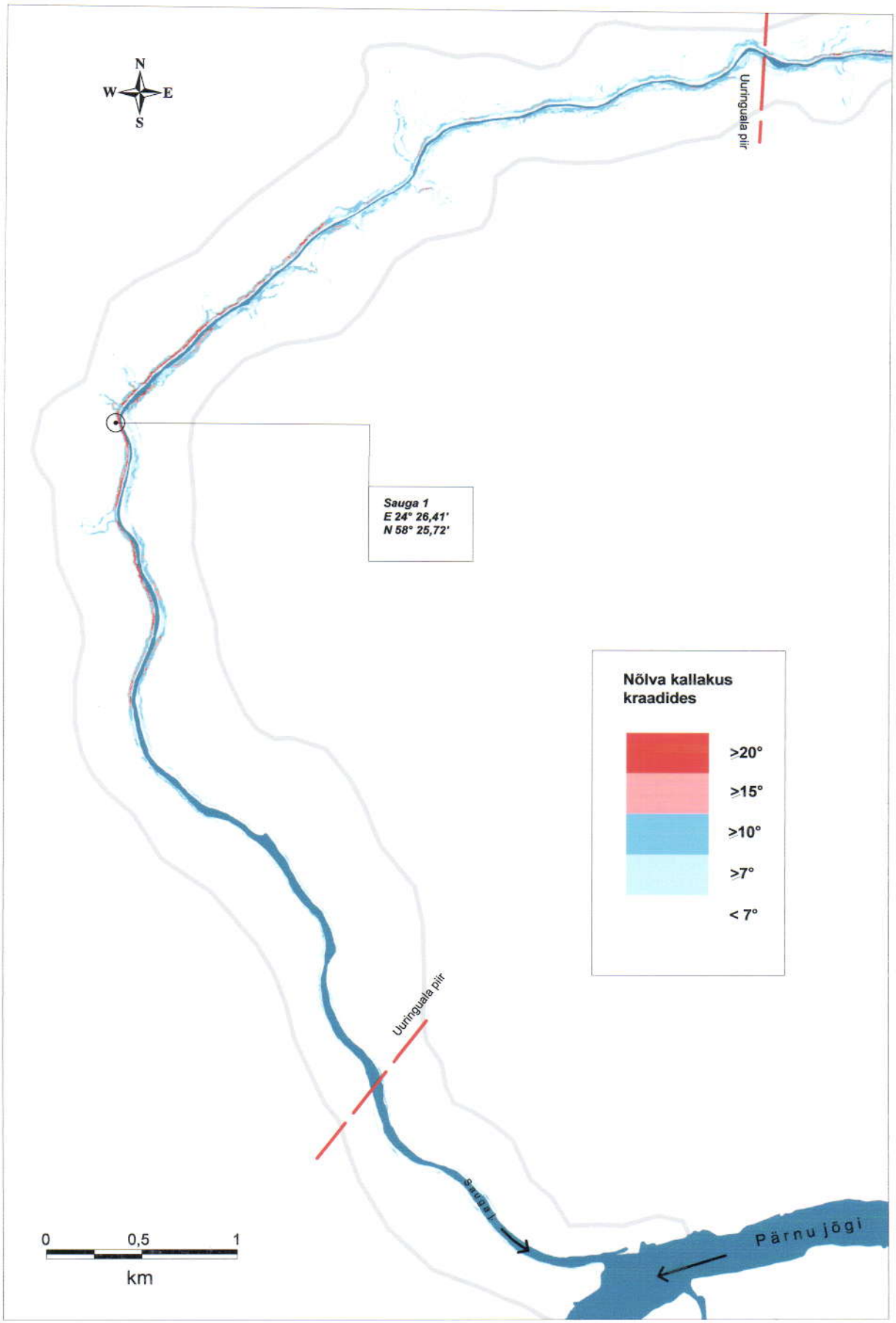
Joonis 17. Audru jõe alamjooksu maalihkeohtlikkuse kaart.

©Tartu Ülikool



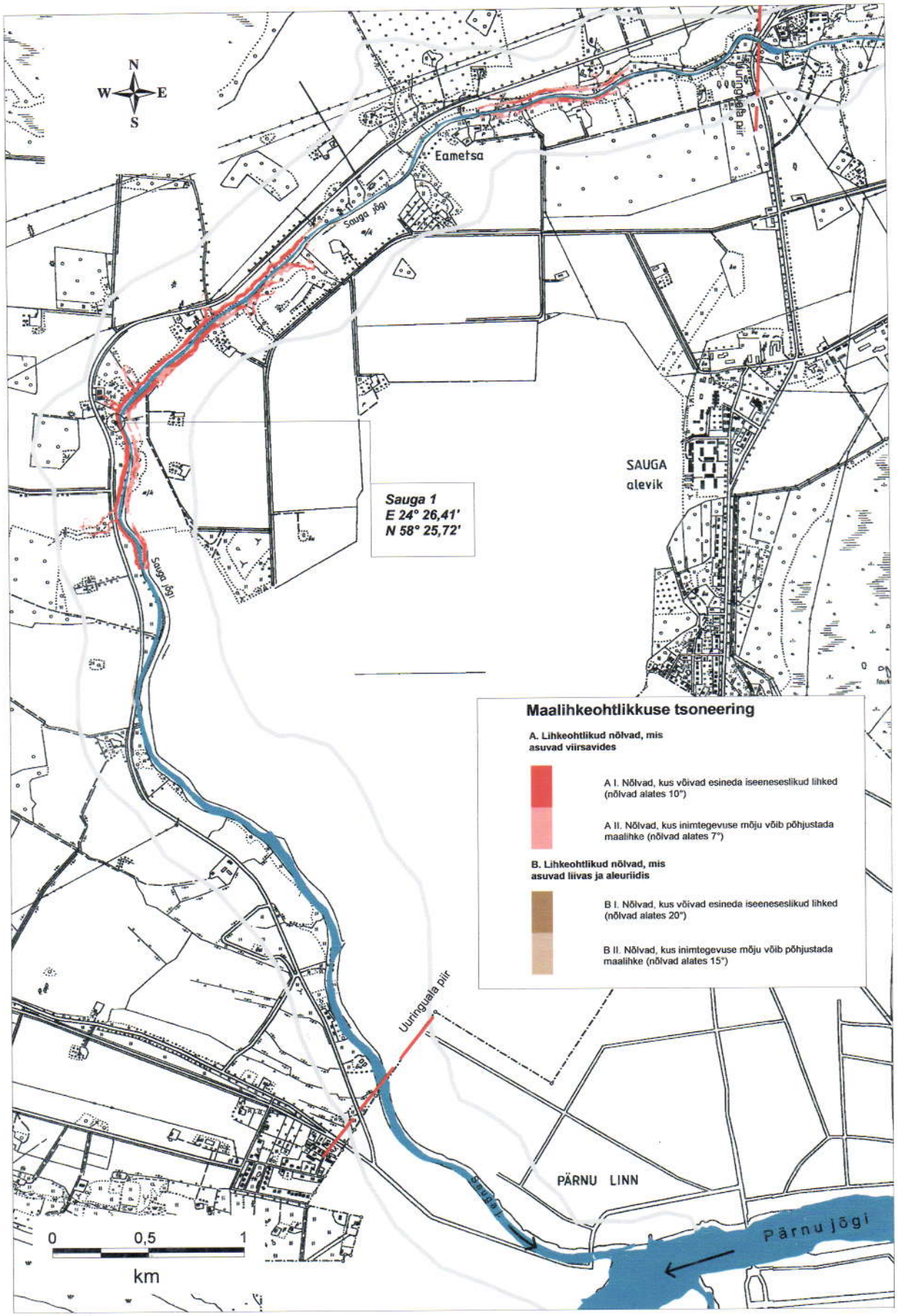
Joonis 18. Sauga jõe alamjooksu kõrgusmudel (grid 4*4m).

©Tartu Ülikool



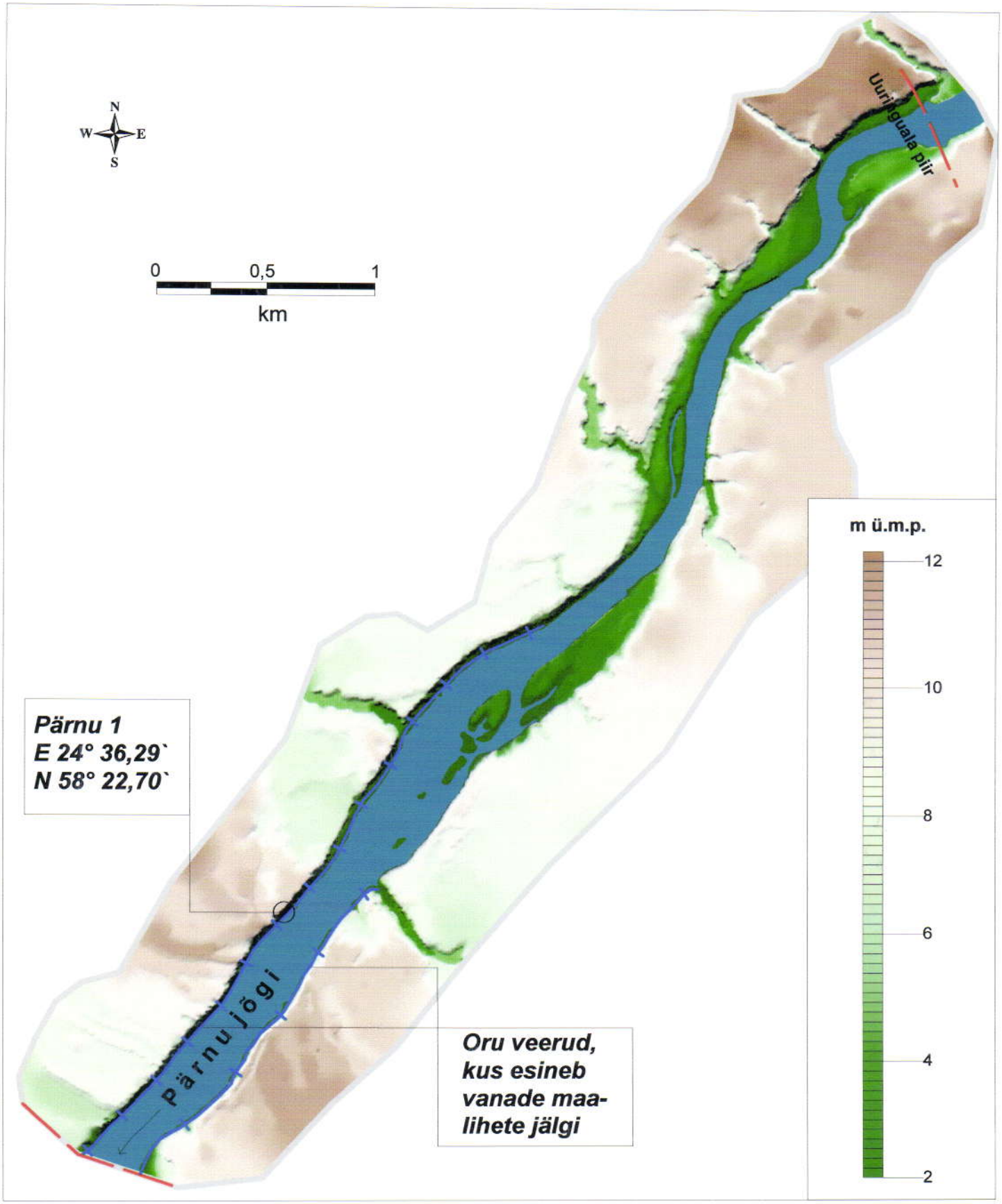
Joonis 19. Sauga jõe alamjooksu nõlvakallakuste kaart (grid 4*4m).

©Tartu Ülikool



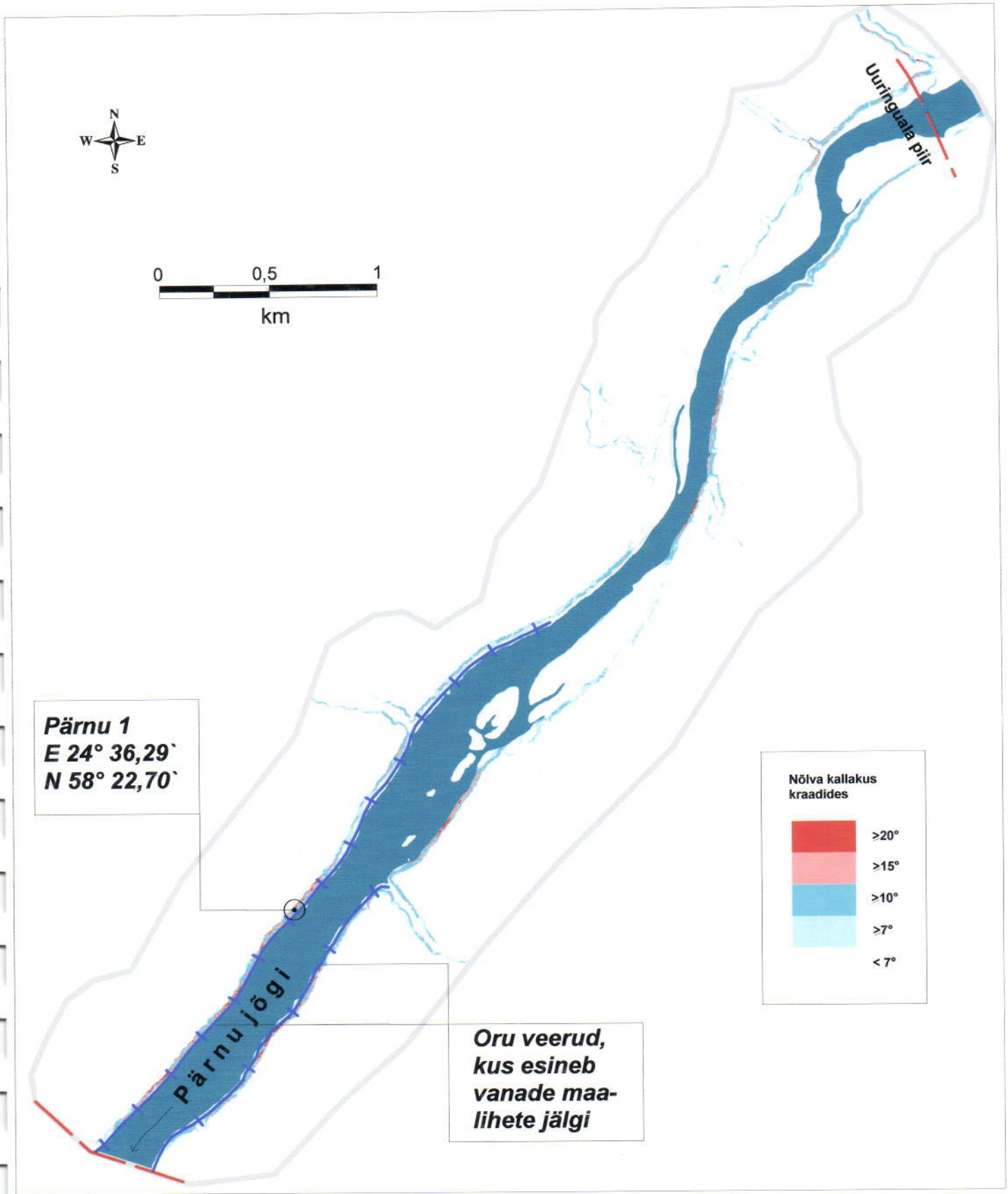
Joonis 20. Sauga jõe alamjooksu maalihkeohtlikkuse kaart.

©Tartu Ülikool



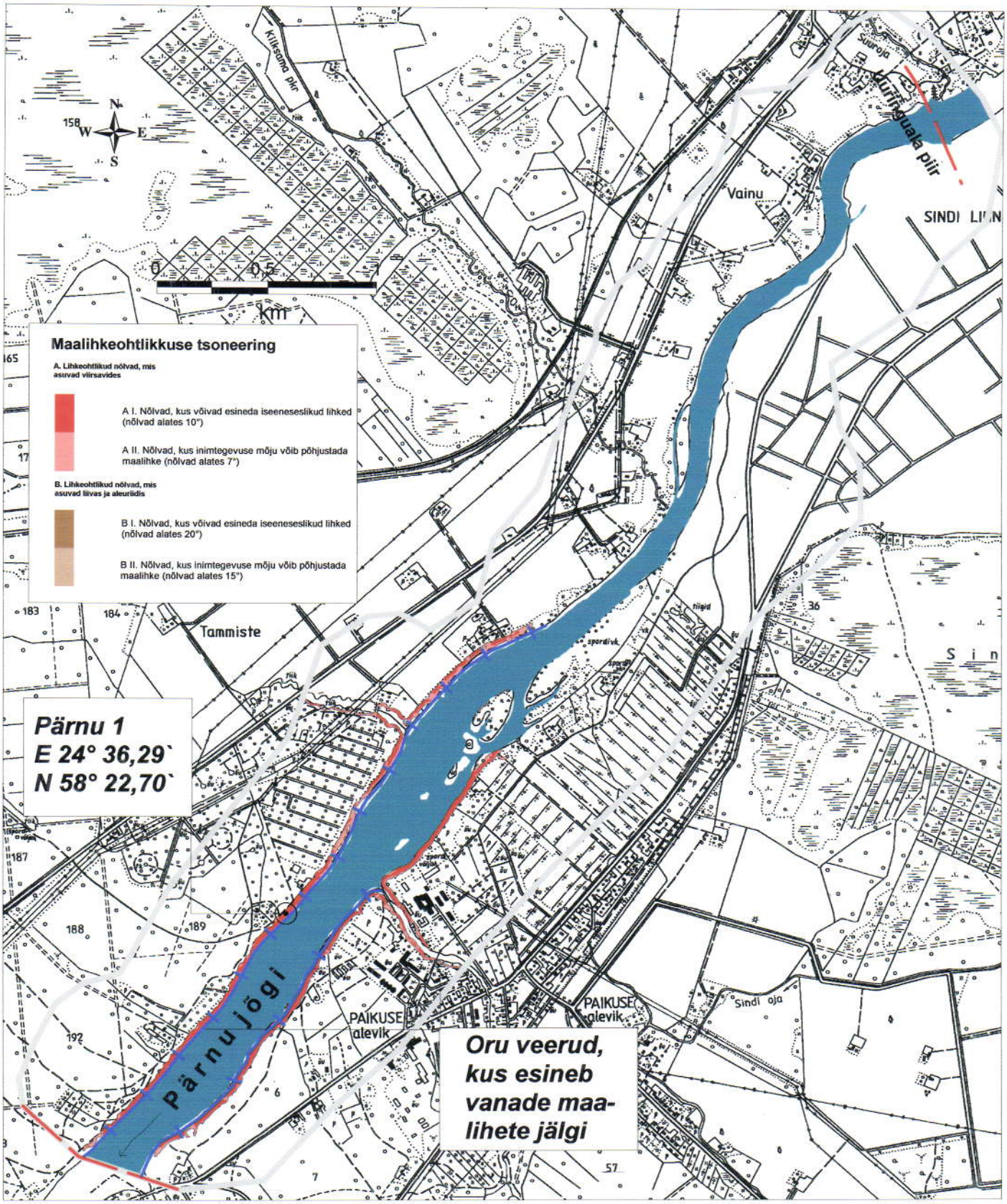
Joonis 21. Pärnu jõe alamjooksu kõrgusmudel (grid 4*4m).

©Tartu Ülikool



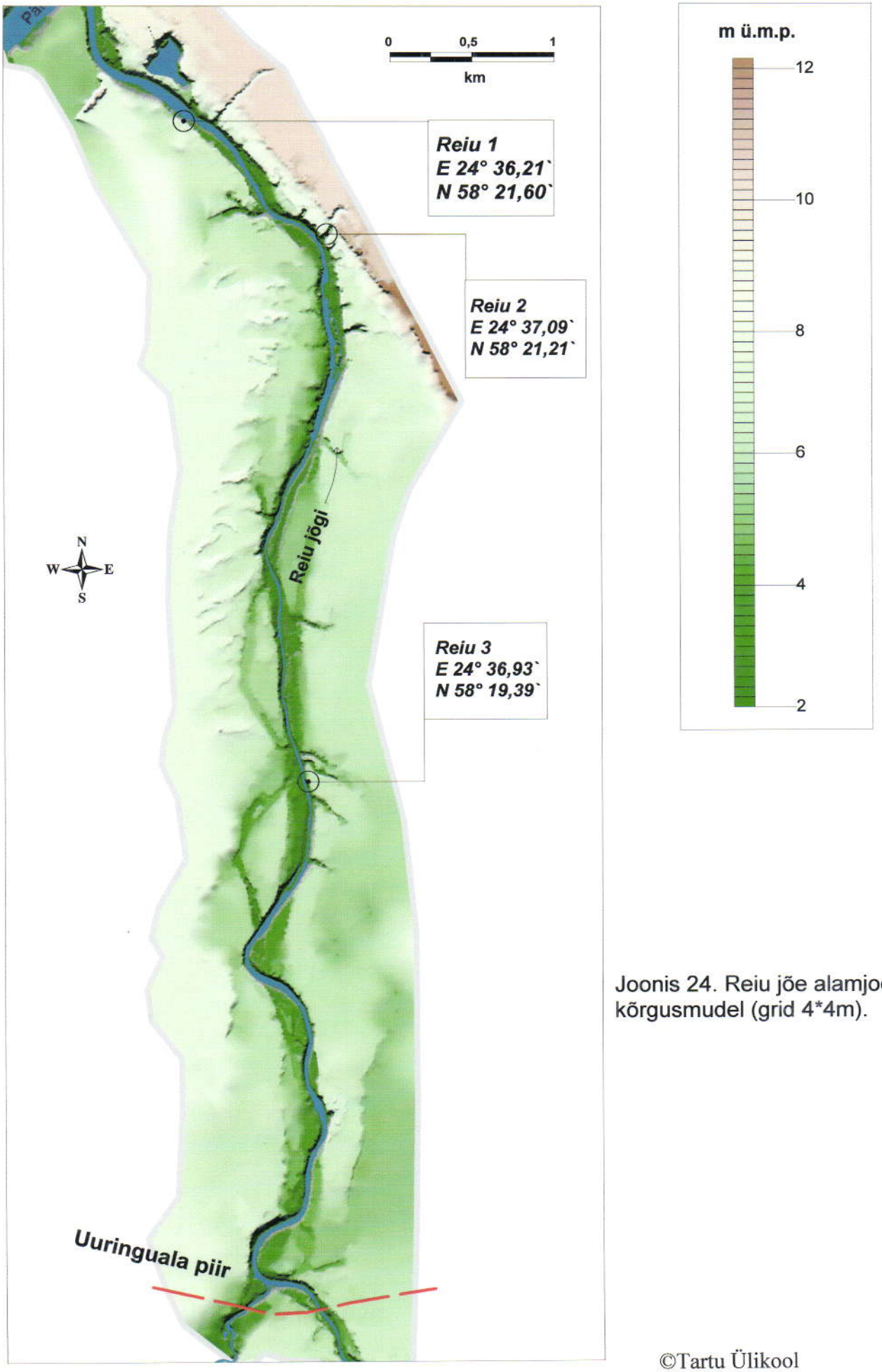
Joonis 22. Pärnu jõe alamjooksu nõlvakallakuste kaart (grid 4*4m).

©Tartu Ülikool



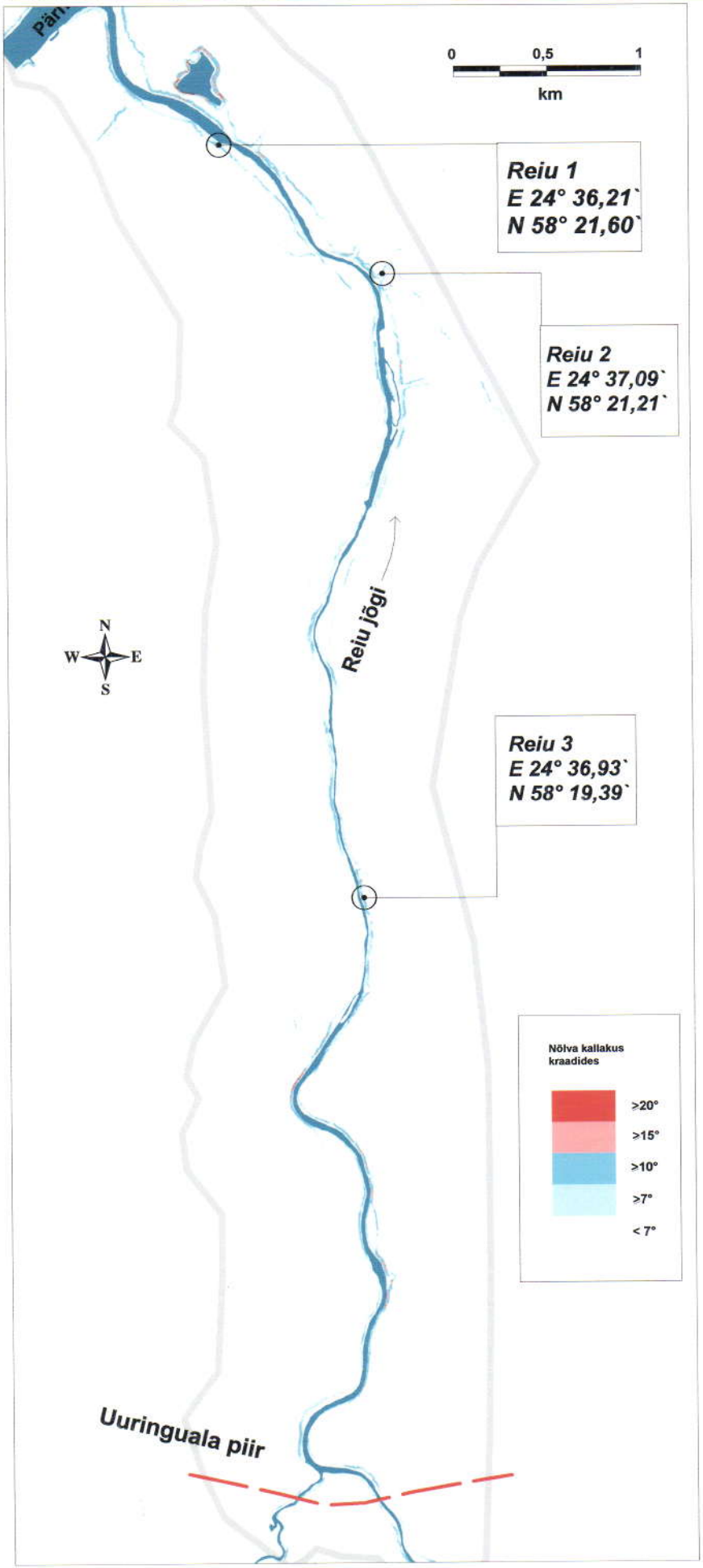
Joonis 23. Pärnu jõe alamjooksu maalihkeohtlikkuse kaart.

©Tartu Ülikool



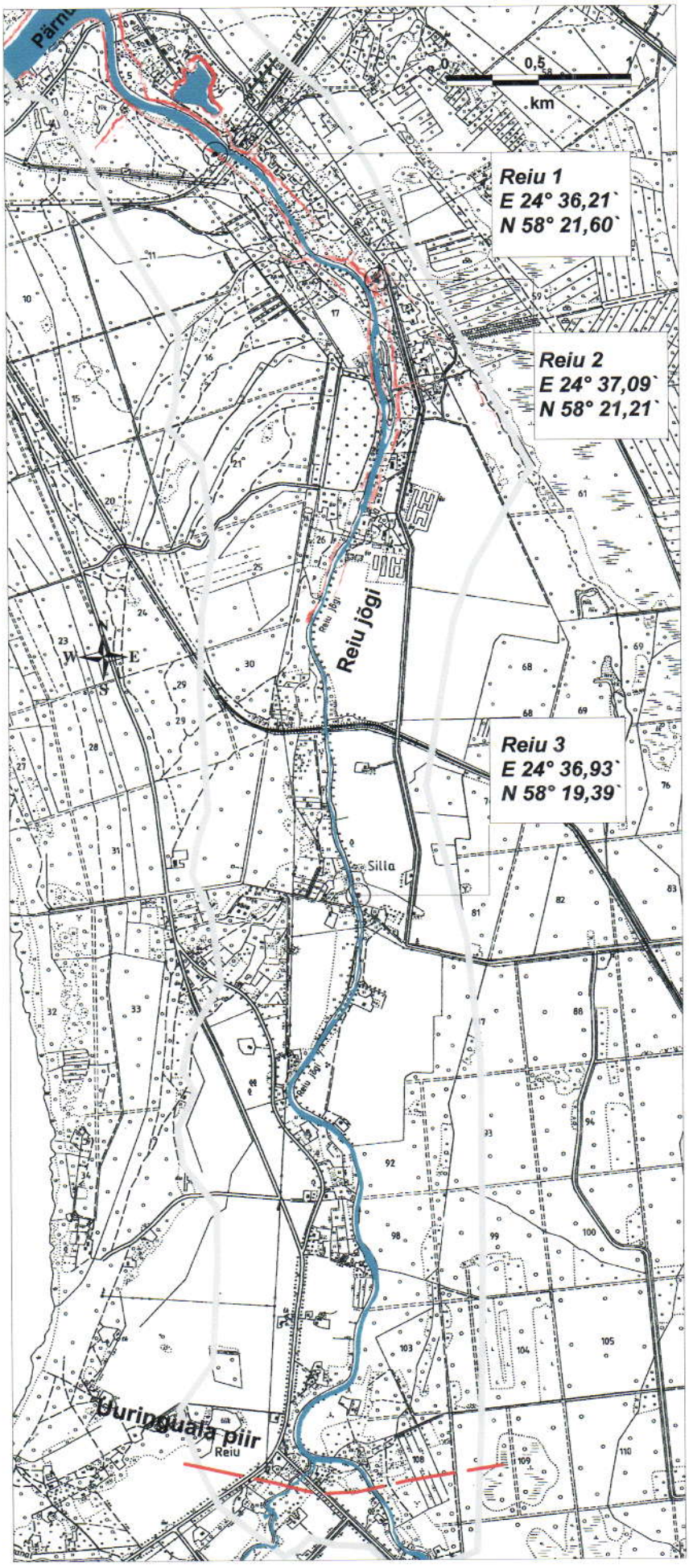
Joonis 24. Reiu jõe alamjooksu kõrgusmudel (grid 4*4m).

©Tartu Ülikool



Joonis 25. Reiu jõe nõlva-kallakuste kaart (grid 4*4m).

©Tartu Ülikool



Joonis 26. Reiu jõe alam-jooksu maalihkeohtlikkuse kaart.

©Tartu Ülikool

6. Järeldused ja soovitused

Olulisemad järeldused on järgmised:

- uuritud Audru, Sauga, Pärnu ja Reiu jõgede alamjooksudel toimunud maalihete näol on tegemist looduslike protsessidega;
- inimtegevus ei ole olnud maalihete protsessi toimumise/algatamise põhjuseks, küll aga on täiendava tegurina soodustanud konkreetsete lihete ('Audru 1', võimalik, et ka 'Pärnu 1' maalihke korral) toimumist;
- toimunud maalihete eeldusteks uuritud alal on pinnaste suhteliselt madalad tugevusomadused, oruveerude suur kallakus, jõgede erosioon ning jõe ja pinnasevee taseme olulised ja kiired muutused;
- loetletud maalihete toimumise eeldused kombineeruvad erinevatel jõelõikudel erinevalt;
- toimunud maalihked kuuluvad kolme eri tüüpi – lihked savipinnases, lihked liivapinnases ja väikesed savilihked jõe sängi pervel
- vastavalt lihke tüübile määrati nende toimumise kriitilised nõlvakalded (savipinnase korral $5\text{-}7^0$ ja liivapinnase korral $15\text{-}20^0$);
- liivapinnastes võib looduslik maalihe tekkida sõltumatult jõe veetasemest. Siin on määravaks pinnase küllastumine veega ja pinnasevee liikumine. See muudab võimalikuks nn liivalihete tekkimise ka oru veeru ülemises osas või oru pervel;
- nõlvakallete analüüs uuritud alal lubas eristada lihkeohtlikud orulõigud;
- insenertehniliselt on võimalik ehitustegevus ka lihkeohtlikel nõlvadel, mis aga nõuab lisakulutusi nii ehitusgeoloogilisteks uuringuteks kui ka vundamendi kindlustamiseks, drenaazi ehitamiseks jne.;
- olemasolevate ehitiste/rajatiste kindlustatuse hinnangut saab anda igal konkreetsel juhul eraldi täiendavate uuringutega.

Uurimuse tulemustest tulenevad soovitused:

- eristatud lihkeohtlikel lõikudel soovitame arvestada sellega, et savipinnaste korral võib looduslik maalihe tekkida kuni 50 m kaugusel jõe veepiirist. Inimtegevuse lisandudes tuleb väga ohtlikuks pidada ala kuni 70 m jõe veepiirist;
- orulõigus, kus võib toimuda lihe liivas, soovitame arvestada sellega, et lihked võivad looduslikult vallanduda 5-10 m kaugusel oru pervest. Inimtegevuse lisandudes aga kuni 20 m kaugusel oru pervest;
- eristatud lihkeohtlikel orulõikudel tuleks igasuguse ehitustegevuse planeerimisel oru pervele lähemale kui eespoolmainitud kriitilised kaugused arvestada maalihete toimumise võimalikkusega;
- lihkeohtlikes piirkondades on soovituslik enne detailplaneerimist või ehituslubade väljastamist nõuda konkreetse ala maalihkeohtlikkuse detailset uuringut;
- lihete võimalikkuse analüüsiks, eriti Pärnu jõel, oleks oluline sängi veealuse osa (jõe põhja) iseloomu ja reljeefi tundmine.

©Tartu Ülikool

Kokkuvõte

Kokkuvõtteks tuleks rõhutada, et maalihete näol ei ole uuritud alal tegemist inimtegevusest põhjustatud ega ulatusliku inimtegevust halvava või määrava riskiga, vaid pigem protsessiga, mille kujunemise nii looduslikud kui inimtekkelised eeldused ja põhjused on prognoositavad. Looduslike tingimuste mitmekesisuse tõttu ei ole riskifaktor kogu uuritud alal ühesugune. Selgelt eristuvad suurema lihkeohtlikkusega alad, kus detailplaneerimisel ja/või igasugusel jõeorgude lähedusse planeeritava ehitustegevuse korral on vaja konsulteerida erialaspetsialistidega. Sellistes piirkondades juba eksisteerivate rajatiste kindlustatuse küsimus (prognoos) tuleb lahendada igal konkreetsel juhul eraldi. Käesoleva uuringu raames oli võimalik detailsem uurimine üksikute hiljutitoimunud lihete osas. Täpsema analüüsi ja prognoosi saamiseks oleks vajalik piirkonnas toimuvate lihete pidev jälgimine ja analüüs. Selleks oleks soovitav, et Pärnu MV Planeeringutalitus ja kohalikud omavalitsused teavitaksid toimunud maalihetest Tartu Ülikooli geoloogia instituuti (Vanemuise 46; Tartu; tel:375836). See võimaldaks koheselt uurida toimunud maalihkeid ning luua omalaadse andmebaasi või monitooringu süsteemi, mis omakorda võimaldaks täpsemaid hinnanguid tulevikuks.

Kirjandust maalihete kohta:

- Audru maalihe. T-19105 Audru tee km 3,0...3,3 2002 aasta kevadel. (AS Teede Tehnokeskus, 2002).
- IPT Projektijuhtimine töö nr. 00-05-0001. Pärnu ja Sauga jõe kallaste püsivus. Geotehnika aruanne. Tallinn, 2000.
- IPT Projektijuhtimine töö nr. 02-05-0162. Audru maalihe. Geotehniline analüüs. Tallinn, 2002.
- E. Kaljund. Maalihe Pärnus 1966. aastal. Ehitusgeoloogia kogumik II. Tallinn, 1967.
- E. Kaljund, A. Vilo. Maalihkeoht Eestis. Ehitusgeoloogia kogumik II, Tallinn, 1967.
- "Maalihe rebis Pärnumaal elumaja järsaku servale" *Postimees* 20.02.2002.
- "Maalihe vedas elumaja kaldu" *Eesti Päevaleht Online* 20.02.2002.
- "Pärnumaal Audrus varises laste koolitee sügavusse" *Postimees* 14.05.2002.
- "Pärnumaal võib lihkeid tekitada vettinud maapind" *Eesti Päevaleht Online* 21.02.2002.
- "Uus maalihe lõhkus Pärnumaal maantee" *Postimees* 21.02.2002.
- USA Geoloogiakeskuse ulatuslik maalihete teemaline internetilehekülg koos viidetega: http://landslides.usgs.gov/index.html
- Valik aerofotosid maalihetest: http://www.landslides.com/
- USA valitsuse (Washington State Department of Ecology) infolehekülg maalihete riskidest ja nende vähendamisest: http://www.ecy.wa.gov/programs/sea/landslides/index.html
- Rootsi Geoloogiakeskuse lühiülevaade Rootsi maalihetest: http://www.sgu.se/verksamhet/tillampa_index_e.htm

©Tartu Ülikool