



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**TALLINNA KESKLINNA MATTUNUD ÜRGORU
PIIRIDES ASUVA KÕRGHOONE
VERTIKAALLIIKUMISE ANALÜÜS**

**VERTICAL MOVEMENT ANALYSIS OF A HIGH-RISE
BUILDING COMPLEX SITUATED WITHIN THE
BOUNDARIES OF A PRIMEVAL VALLEY BURIED IN THE
CITY CENTRE OF TALLINN**
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: **Taavi Limperk**

Üliõpilaskood: 110587EATI

Juhendaja: **Vello Kala, lektor**

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on _____
(juhendaja nimi)

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

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

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

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

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala:(kood ja nimetus)
Juhendaja(d): (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tallinna Kesklinna mattunud ürgoru piirides asuva kõrghoone vertikaallikumise analüüs

(inglise keeles) Vertical movement analysis of a high-rise building complex situated within the boundaries of a primeval valley buried in the city centre of Tallinn

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.
- 2.
- 3.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

Töö keel: **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....20.....a

Üliõpilane: ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Tabelite loetelu	6
Jooniste loetelu	7
Graafikute loetelu	9
Lühendite ja tähiste loetelu.....	10
1.UURIMISTÖÖ EESMÄRK	11
2.ÜLEVAADE DEFORMATSIOONIDE VAATLUSE ÜLESANNETEST JA ALUSTEST	12
3.PROBLEEMID ORIGINAL SOKOS VIRU HOTELL JA VIRU KESKUSE VAJUMISVAATLUSTEL	17
4.ALUSPINNASE EHITUS JA HÜDROGEOLOOGILISED TINGIMUSED	25
5.HOONE VUNDAMENTIDE ERIPÄRA JA DEFORMATSIOONIDE ARVUTUSLIKUD VÄÄRTUSED	31
6.VAJUMISVAATLUSTE GEODEETILISE ALUSE KIRJELDUS.....	36
6.1 Süvareeperid.....	36
6.2 Vajumisreeperid	46
7.EKSPLUATATSIOONIPERIOODI KIRJELDUS, VAREM TEHTUD VAJUMISVAATLUSED .	49
8.XIII TSÜKLI VAJUMISVAATLUSED	57
8.1 Vajumisvaatluste kirjeldus	57
8.2 Vajumisreeperite nivelleerimise täpsushinnang	64
8.3 Lähterepeerite kontroll-sidumiskäik.....	65
9.VAJUMISVAATLUSTE ANALÜÜS	66
9.1 Aluspinnase ehitus ja vundamentide eripära	66
9.2 Lähterepeerite seisukord	67
9.3 Original Sokos Hotell Viru vajumisvaatlused	69
9.4 Viru Ärikeskuse vajumisvaatlused	70
KOKKUVÕTE	76
SUMMARY.....	78
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	80
Lisa 1 Korrelatsiooniarvutused.....	83
Lisa 2 Viru keskuse rostvargi ja puurvaiade skeem.....	99
Lisa 3 Viru keskuse vajumisreeperite graafikud.....	101
Lisa 4 Geodeesia Lõputööd 1993 – 2020.....	103

Tabelite loetelu

Tabel 4.1 Viru keskuse alla jääva pinnase geoloogiline läbilõige [18].....	30
Tabel 7.1 Aastal 1983 teostatud vajumisvaatluste võrdlus varasemate mõõdistustega. [23].....	50
Tabel 7.2 Viru reeperkambri reeperid koos kõrguste ja maapinda ulatuvate ankrute sügavustega. [23]	51
Tabel 7.3 Vajumisreeperite võrdlustabel [22]	53
Tabel 8.1 Digitaalnivelliir Trimble DiNi 0.3 tehnilised andmed [23]	59

Jooniste loetelu

Joonis 3.1 Hotell Viru ehitustööd aastal 1970 [12]	17
Joonis 3.2 Hotelli fuajees välja vahetatud vajumisreeper (üleval) ning vana reeper, mis jäi hoone renoveerimistöde käigus lühikeseks (all).	19
Joonis 3.3 Väikese polügooni skeem [11]	20
Joonis 3.4 Kontroll-nivelleerimine 2021. aasta märtsis Viru2-Rp7-Rp8-Viru2.	22
Joonis 3.5 Viru Ärikeskuse vajumisreeperite asendiplaan keldrikorrusel. [12]	23
Joonis 3.6 Viru keskuse ja Hotell Viru plaaniline asukoht koos korruste skeemiga. [12]	24
Joonis 4.1 Tallinna hüdrogeoloogiline aluskaart, kus punase viirutusega on tähistatud mattunud orud. [15]	26
Joonis 4.2 Tallinna kesklinna hüdrogeoloogiline aluskaart, kus punase viirutusega on tähistatud mattunud orud. Hoonekompleks asub punase ringiga tähistatud ala keskel. [15]	27
Joonis 4.3 Tallinna osaline hüdrogeoloogiline läbilõige A – B. Viru hotell ja Viru keskus asuvad vertikaalil nr 15 [16]	28
Joonis 4.4 Viru reeperite kambri sügavaima reeperi nr 2 läbilõige koos ümbritseva pinnasekihtidega. [17]	29
Joonis 5.1 Hotelli ja selle rostvargi pikilõige. Kõrgplokist vasakule jääb vestibüüliplokk, aga paremale kohvikuplokk. [11]	32
Joonis 5.2 Viru keskuse ehitusjärjekord. Esimesena ehitati telgede vahe 6-21 ning teises järgus ehitati 21-29. [19]	32
Joonis 5.3 Viru keskuse ja selle rostvargi pikilõige. 1* on samaväärne teljega [19] ...	33
Joonis 5.4 Puurvaia nr 500 skeem. Algselt projekteeritud 500 mm läbimõõduga vai ei sobinud Viru keskuse ehituseks. [20]	34
Joonis 5.5 Puurvaia nr 620 skeem. Paigalduse skeemilt on näha, et vaiad peaksid projekti järgi ulatuma peentolmliivsesse kihti. [20]	35
Joonis 6.1 Süvareeperite asendiskeem. Viru hotelli vajumiste jälgimiseks rajati kolmnurkselt hoone ümber süvareeperite süsteem. Vaatlusjaam I koos kuue süvareeperiga, asub hotellist ida-kirde suunal (tänapäeval Viru keskuse keldrikorrusel). Süvareeper 7 asub läänesuunal ja süvareeper 8 asub hotellist lõunasuunal. [17]	36
Joonis 6.2 Viru kambrireeperi rp nr 1 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur rammiti 47,5 meetri sügavusele. [17]	37
Joonis 6.3 Viru kambrireeperi Rp nr 2 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur rammiti 48,15 meetri sügavusele. [17]	38

Joonis 6.4 Viru kambrireeperi Rp nr 3 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb peeneteralistes liivades 28,15 meetri sügavusel. [17].....	39
Joonis 6.5 Viru kambrireeperi rp nr 4 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb tolmsedes liivades 26,45 meetri sügavusel. [17]	40
Joonis 6.6 Viru kambrireeperi rp nr 5 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb voolavates saviliivades 8,50 meetri sügavusel. [17]	41
Joonis 6.7 Viru kambrireeperi rp nr 6 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb tolmsedes liivades 4,50 meetri sügavusel. [17]	42
Joonis 6.8 Hotell Viru vajumiste lähterepeer Rp7, mis asub kaitsekatteta sillutuskivide all.....	43
Joonis 6.9 Viru2-Rp7-Rp8-Viru2 kontrollmöödistus 2021. aasta märtsis.....	45
Joonis 6.10 Reeperite asendiskeem. Hotelli „Viru“ kõrgplokis paiknevad vajumisreeperid R41, R42 ja R43. Antud vajumisreeperid on taastatud 2017. aastal. [22].....	46
Joonis 6.11 Reeperite asendiskeem. Viru keskuse ja hotell „Viru“ keldriruumides paikneb 25 vajumisreeperit, mis paigaldati koos Viru keskuse ehitusega 2003. aastal kuid erinevatel kuudel. [22].....	47
Joonis 6.12 Viru keskuse ja hotelli kandvate postide külge paigaldatud reeperitüüp. Messingust peaga M8x22. [12].....	48
Joonis 6.13 Viru keskuse ja hotelli kandvate postide külge paigaldatud reeperitüüp Roostevabast terasest ümara peaga M22x130. [12].....	48
Joonis 8.1 XIII tsükli vajumisvaatlused 2019. aastal	57
Joonis 8.2 Reeperi R24 kohale rajatud konstruktsioon, mille tõttu ei olnud võimalik seda kasutada.	58
Joonis 8.3 Trimble DiNi 0.3 koos invarvöötkoodlatiga Viru fuajees paikneva reeperi R42 juures.	59
Joonis 8.4 Nivelliiri kontrollimine Näbaueri meetodil.	60
Joonis 8.5 XIII tsükli vajumisvaatluse nivelleerimiskäik nr I. Lähterepeerina on kasutatud Viru kambrireeperit nr 2. Käik kulgeb Viru keskuse bussiterminali ulatuses ning hõlmab endas 13 vajumisreeperi mõõtmist. [22]	61
Joonis 8.6 XIII tsükli vajumisvaatluse nivelleerimiskäik nr II. Lähterepeerina on kasutatud Viru kambrireeperit nr 2. Käik kulgeb läbi Viru keskuse ja Viru hotelli keldrikorrust ning hõlmab endas 9 vajumisreeperi mõõtmist. [22]	62
Joonis 8.7 XIII tsükli vajumisvaatluse nivelleerimiskäik nr III. Lähterepeerina on kasutatud Viru kambrireeperit nr 2. Käiguga minnakse läbi Hotell “Viru” fuajee, kus paikneb kolm vajumisreeperit. [22]	63
Joonis 9.1 Viru reeperitekamber koos kuue reeperiga.....	68

Graafikute loetelu

Graafik 7.1 Viru hotelli kõrguosa 1. korrusel paikneva vajumisreeperi R42 vajumisgraafik 1974 a. -2019 a.	54
Graafik 7.2 Viru hotelli kõrguosa 1. korrusel paikneva vajumisreeperi R43 vajumisgraafik 1974 a. -2019 a.	54
Graafik 7.3 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R1 vajumisgraafik 2003 a. -2019 a.	55
Graafik 7.4 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R5 vajumisgraafik 2003 a. -2019 a.	55
Graafik 7.5 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R7 vajumisgraafik 2003 a. -2019 a.	56
Graafik 7.6 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R23 vajumisgraafik 2003 a. -2019 a.	56

Lühendite ja tähiste loetelu

E – edasivaate lugem

E_0 – kompressiooni-deformatsioonimoodul

GUGK – NSVL Geodeesia ja kartograafia Peavalitsus

H – korrelatsiooniarvutustes reeperi kõrguste kolm viimast kohta, st kümned millimeetrid, millimeetrid, kümnendikud millimeetrid.

k – mõõtmiste arv

KRV – keskmine ruutviga

L – nivelleerimiskäigu pikkus

n – nivelleerimiskäigu jaamade arv

n – korrelatsiooniarvutustes mõõtmiste arv

r – korrelatsioonikordaja

R_p – reeper

T – tagasivaate lugem

t – Studenti kordaja

Y – korrelatsiooniarvutustes regressioonivõrrandiga arvatud kõrgus

Δ – korrelatsiooniarvutustes hälbed regressioonisirgest

1. UURIMISTÖÖ EESMÄRK

Uurimistöo eesmärgiks on hinnata mattunud ürgorgude kohale rajatud ehitiste käitumist ja leida selle võimalikke tekkepõhjuseid, kuna Tallinnas ja selle läheduses on mitmeid mattunud ürgorgusid (Kesklinna, Kakumäe, Kopli, Pirita), kus on toimunud ja võib tulevikus toimuda ehitustegevus.

Uurimistöo sooritati Original Sokos Hotel Viru ja Viru Ärikeskuse baasil, kuna need hooned asuvad kõrgehitiste rajamiseks ebasoodsa geoloogilise aluspinnasega piirkonnas – sügava ja nõrkade settekihtidega mattunud Tallinna kesklinna läbiva ürgoru kohal. Ehitised on geodeetilise jälgimise all olnud nende hoonete valmimisest alates, st vastavalt kõrgosa 1969. aastast ja Viru keskus 2003. aastast. Viimased mõõtmisandmed näitavad hoonete ebakorrapärasest vajumist, hoolimata nende põhjalikust fundeerimisest.

2. ÜLEVAADE DEFORMATSIOONIDE VAATLUSE ÜLESANNETEST JA ALUSTEST

Hoonete ja rajatiste deformatsioonide uurimine võimaldab lahendada suure hulga tähtsaid ehituslikke küsimusi, mis on tekkinud antud kompleksi rajamisel ja võivad tekkida analoogilistes tingimustes rajatavate objektide puhul Tallinnas või mujalgi.

- Ehitiste eksploatatsiooni perioodil on oluline teha kindlaks selle vajumise suurus, ebaühtlust ja kiirust, selleks et hinnata nende nähtuste mõju ehituse vastupidavusele ja õigel ajal töötada välja vajalikke abinõusid ehitise tugevdamiseks. Ühtlane vajumine ei pruugi alati olla ohtlik, aga kui see toimub kiiresti, võib see ühel momendil kergesti muutuda ebaühtlaseks, mis on juba ohtlik. Ka võib suur, kuid ühtlane vajumine halvendada mõningaid eksploatatsiooni mõjutavaid tegureid. Kõrghoonete puhul võib näiteks juba väike kalle vertikaalist halvendada liftide tööd. Antud hoonetekompleksi uuring on tähtis ka sellest seisukohast.
- Ehitise rekonstrueerimise kavandamisel nii pealehitise, juurdeehituste või sisekoormuse muutumise teel on oluline juba varem teada hoone vajumise näitajaid õigete otsuste langetamiseks.
- Vajumiste ja teiste deformatsioonide vaatluste tulemused võimaldavad tähistada ja täpsustada analoogilistes tingimustes kavandavate sarnaste ehitiste projektlahendusi.

P. Brait järgi võib rajatiste vajumise ja deformatsioonide põhjused jaotada kahte gruppi [1]:

1. Looduslikud põhjused, mis on seotud ehitusgeoloogiliste ja hüdrooloogiliste tingimustega ning pinnaste füüsikalise-mehaaniliste omadustega:

- Pinnaste kalduvus koormuse mõjul elastsetele ja plastilistele deformatsioonidele (äkkvajumine, lihked, karst jms),
- Aluse ebaühtlane geoloogiline ehitus, mis ehitise koormuse mõjul tingib ebaühtlase vajumise või nihke,
- Veega küllastunud kihtide paisumine külmumisel ja vajumine sulamisel,
- Sesonsetest ja mitmeaastastest temperatuuri ja pinnasevete taseme kõikumisest tingitud hüdrotermaalse seisundi muutus.

2. Inimtekkelised põhjused, mis on seotud ehitusuuringute ja projekteerimise vigadega, ehitustööde tehnoloogia eripäradega ja rajatiste eksploatatsiooniga:

- Ehitusplatsi halb planeering ja drenaaž,
- Ehitus- ja hüdrogeoloogiliste uuringute ebatäpsused ja puudujäägid,
- Pinnasevete taseme liigne või ebaküllaldane vähendamine,
- Uute raskete ehitiste rajamine endiste vahetus lähedusse või olemasoleva ehitise koormamine uute korruste või raskete seadmetega, ehitusmaterjali ladustamine ehitatava hoone korrustel,
- Ehitiste rajamine allmaakaevõõnsuste kohale,
- Rajatiste astmeline konstruktsioon,
- Vundamendi nõrk konstruktsioon ja vähene jäikus,
- Mitmesuguste mehhanismide tööst tingitud vundamendi vibratsioon.

Ehitiste deformatsioonide uurimise ajalugu ei ole väga pikk. Sellega alustati Euroopas ja Ameerikas ligikaudu ühel ajal – möödunud sajandi 20. aastail, kusjuures tõsise teadusliku aluse töötas välja professor K. Terzaghi. [1]

Ehitiste deformatsioonidest on üheks levinumaks ehitiste vajumine, kusjuures esialgu kasutati selle uurimiseks eeskätt kõrgtäpset geomeetrilist nivelleerimist, kuid ajapikku on lisandunud ka teisi meetodeid.

Olulise panuse on lisanud möödunud sajandi keskel deformatsioonide vaatluste teooriasse vene koolkond (P. Brait, V. Ganšin, S. Marfenko, M. Piskunov jt). Kuivõrd Venemaal on mitu suurt linna, eeskätt Peterburg ja Moskva rajatud halbadel pinnaseoludes, on nad tõsiselt tegelenud deformatsioonide uurimise teooriaga, sealhulgas uurinud deformatsioone liivades ja savides, lössides, igikeltsades, puistepinnastes ja paisuvates pinnastes.

Tähtsaimad lahendused vajumisvaatluste ettevalmistamisel on lähtereeperite konstruktsioon, arv, ja asukoht. Põhilised seisukohad selles suhtes on järgmised [2]:

- Lähtereeperid peab olema vähemalt 3,
- Reeperid peavad asuma väljaspool rajatise vajumiskoonust, väljaspool transpordi poolt tekitatava vibratsiooni piirkonda,
- **Lähtereeperite püsivust tuleb kontrollida igas vaatlustsükli,**
- I ja II klassi nivelleerimise lähtereeperid peavad olema süvareeperid.

P. Brait [1] toob välja järgmised olulised arvamused:

- Süvareeperi kaugus hoonest peaks vastama mitte vähem kui poole ankru süvistuse kaugusele.
- Süvareeperi ankur peaks asuma kaljulistes tardkivimites (graniit, süeniit, gabro, basalt, diabaas, porfülliit, andesiit, trahhüüt), moondekivimites (kristalne kiltkivi, gneiss, kvartsiit, fülliid jms) või settekivimeis (räniliivakivi, lubjakivi, dolomiit, savikas liivakivi, konlomeraat). Kui kaljukivimid on sügaval, võib süvareeperi ankru rajada ka tertsiaari aluspõhjakeivimeisse, näiteks juura ajastu savidesse. Viimaste püsikindlus jätab siiski soovida, näiteks Varssavis on selline 80 meetri sügavusele rajatud süvareeper vajunud 10 aastaga mitu millimeetrit.

Bolšakov ja Levtsuk [3] leiavad, et süvareeper võib olla rajatud ka uuritava hoone keldrisse, kuid nende ankrud peaksid asuma siis mittekokkusurutavais aluspõhja kivimeis või allpool hoone poolt kokkusurutavat kihtkonda.

Süvareepereid peaks olema objekti kohta vähemalt kaks, kuid eriti vastutusrikaste ehitiste puhul vähemalt kolm. II ja madalama klassi täpsusega vaatluse korral võib lähtereeperiks kasutada ka pinnasereepereid, mida oleks vähemalt kolm. Teisalt võib kasutada ka seinareepereid, kuid sellisel juhul peaks neid olema vähemalt neli.

US Army Corps of Engineers [4] konstateerib, et lähtereepereid peaks olema vähemalt kolm, aga soovitatavalt neli.

Ka Building Research Establishment [5] leiab, et lähtereepereid võiks olla kolm, soovitatavalt süvareeperid. Võib kasutada ka seinareepereid üle 20 aasta vanades hoonetes liivpinnases, mille ligidal ei ole puid (puu kõrguse kaugusel või puude grupi 1,5 kordse kõrguse kaugusel). Puud võivad põhjustada hoone vajumise, kui nad kuivatavad pinnast ja kui nad langetada, siis pinnase taasmärgumisel võib esineda tõus.

Üks viimase aja suurematest rahvusvahelistest üritustest deformatsioonide uurimise osas oli Rahvusvahelise Geodeesia Ühingu sümposium Hispaanias 2005. aastal, kus käsitleti deformatsioonide geodeetilise seire olulisi probleeme alates geofüüsikalistest kuni rakenduslike rollideni, mis näitab, et deformatsioonide vaatlustele on hakatud üha rohkem tähelepanu pöörama.

Oluline on jälgida hoone ja selle osade liikumisi piirkonnas, mida hoone omanik või arhitekt peab kriitiliselt tähtsaks. Varasemate sarnaste objektide põhjal saab kontrollida liikumise tolerantse.

Õigete ja täpsete mõõdistustööde tagamiseks, mille tulemusel tehakse andmetöötlus, analüüs ja tulemuste esitamine, on oluline mõista konstruktsiooni toimimist ning võimaliku deformatsiooni tekkimist. Kogutud andmed võimaldavad:

- hoone elutsükli planeerimist ja ennetavaid remonditöid,
- hoone paigutiste trendi analüüs, mille abil saab teha mudelarvutusi edaspidiseks käitumiseks,
- õnnetusjuhtumite ennetamist,
- hoone kõrval asuvate objektide kaitsmist,
- hoone omanike meelerahu,
- hoone väärtuse säilitamist.

The Survey Liaison Group [6] leiab, et vaatluste ulatuse kirjeldamiseks on oluline teada:

- Mis on objekti mõõtmed ja kui suur on selle mõjuala?
- Kui suur täpsus on nõutud ning kui suurte ajaliste intervallidega peaks teostama mõõtmisi?
- Kui suur on eeldatav objekti paigutis?
- Kui pikk on objekti jälgimise aeg?
- Kui pikk peab olema esimese mõõtmise periood?
- Kas on olemas mõõtmiste ja riski vähendamise plaan enne ning pärast ehitustegevust?
- Kas on olemas pikemaajalisem hoone jälgimise plaan, et näha hilisemaid paigutisi?
- Milline on mõõtmistehnoloogia ning millist varustust kasutatakse?
- Millistele regulatsioonidele peab mõõtmine vastama?
- Millist tarkvara ning failiformaate kasutatakse?
- Millises formaadis on mõõtmisaruanne? Kas see on saadaval ka veebi kaudu?
- Milliseid mõõtmisvahendeid peab objektile kasutama?

Oluline on läbi mõelda ka riskid, mis seonduvad ajalise venivusega, suureneda võivate kulutustega ning töötajate haigestumiste ja turvalisusega.

Riskijuhtimine ja ennetustööde tegemine aitab vältida ennenägematuid kulutusi. Objektiga kaasnevad kohustused ning võimalik paigaldiste tuvastamine tuleks läbi mõelda.

Objekti vaatlusel tuleks jälgida pikemaajalist tervikliku struktuuri muutumist. Näiteks hoonet võivad mõjutada vältimatud tegurid, eeskätt ilmastik, kus vihm, tuul, temperatuur ja päike võivad mõjutada hoone deformatsioone. Samas võib liikumist mõjutada ka pinnaseveetaseme muutused. Esimese mõõtmise teostamisel on oluline teada taolist taustinformatsiooni, mis aitab mõista hoone edasisi deformatsioone. Ettenägematud loodusjõud nagu üleujutused, tormid, põuad võivad samuti mõjutada olulisel määral hoone seisukorda, kuid neid ei saa mõõtmistööde planeerimisel arvesse võtta ning nendest tulenevaid mõjutusi saab analüüsida vaid hilisemalt.

Hoone deformatsioone võivad mõjutada ka kõrval asuva hoone ehitus- või lammutustööd selles osas mis jääb uuritava hoone mõjusfääri.

Hotell Viru kohta on koostatud Eesti Projekti poolt 1970. a vajumiste jälgimise projekt, kus on toleaegeid normatiivdokumente arvesse võetud. Selle projekti osadele on viidatud käesoleva töö peatükkides (ptk 3, ptk 5, ptk 6).

Peab märkima, et normatiivset või poolnormatiivset (pooleldi soovituslikku) kirjandust vajumisvaatluste tehnoloogia kohta ei ole eriti palju. Eeskätt võiks nimetada GOST 24846-81 [2] (mille uusväljaanded, näiteks 2019.a. küll tööde tehnoloogia osas midagi uut ei paku, aga täpsusnõudeid võiks ikkagi arvestada), US Army Corps [4] käsitleb vesiehitisi (paisud, tammid, lüüsid, sadamakaid jms.) Nende vaatlused jaotatakse kahte gruppi: betonehitised, kus lubatav viga on ± 2 mm ja muldehitised, mille puhul on lubatav viga ± 10 mm. Survey Liaison Group [6] lubab vajumisvaatluste veaks ± 2 ja ± 4 mm, täpsemalt määratlemata, milliste ehitistega on tegemist.

On olemas küll Eesti standard EVS-EN ISO 18674-1:2015. Geotechnical investigation and testing – Geotechnical monitoring by field instrumentation – Part 1: General rules. Geotehniline uuring ja testimine – Geotehniline seire välimõõtevahendite abil. Osa 1. Üldreeglid [7], kuid geodeetilise seire kohta ei paku see peaaegu midagi.

Lähtudes eeltoodust on täpsusnõuete osas otstarbekas kasutada juhendina GOST 24846-2019. [2]

Kuigi uuritavate ehitiste aluspinnas on valdavalt savikas, siis vastavalt arvutuslikule vajumile 170 mm, oli Hotell Viru puhul lubatav nivelleerimisviga ± 2 mm ja seega tuli kasutada II klassi nivelleerimist ja lähte-reeperiteks vähemalt kolme süvareeperit nagu ka projekt ette nägi.

Kuivõrd Eesti Projekti poolt 1970. a koostatud vajumisvaatluste projekt vastab põhimõtteliselt GOST 24846-2019 [2] nõuetele, siis tõenäoliselt projektis viidatud *Rukovodstvo po nabljudeniam za deformatsiami fundamentov zdaniy i sooruzheniy* (Hoonete ja rajatiste vundamentide deformatsioonide vaatluste juhend) [8] nimetatud GOST-ist mainimisväärselt ei erinenud ja Eesti Projekti koostatud projekti nõuded on tänapäevalgi aktsepteeritavad.

3. PROBLEEMID ORIGINAL SOKOS VIRU HOTELL JA VIRU KESKUSE VAJUMISVAATLUSTEL

Hotelli „Viru“ ehitus algas 1969. a (vt Joonis 3.1). Seda võis lugeda Tallinna esimeseks kõrghooneks, kuivõrd oli poole kõrgem kui eelmised kõrgemad hooned. Seejuures peakonstruktor U. Palli andmetel [9] oli enne vaid üks lõpule viimata katse projekteerida 14-korruseline elumaja Tõnismäele. Hotelli asukoht ei olnud geoloogiliselt kõige õnnestunum. Juba sellel ajal oli R. Lutsari ja G. Želnini [10] uuringuist teada, et hotell on projekteeritud mattunud ürgoru settekihtidele ja selles piirkonnas vajuvad maapinna kihid väga intensiivselt (kuni 35 mm/aastas). L. Vallner ja R. Lutsar eeldasid vajumise põhjuseks intensiivset veekasutust kambrium-vendi veekompleksist [10]. Kvaternaari veekompleks toidab küll mõnevõrra kambrium-vendi veekompleksi, kuid möödunud sajandi suurtööstuse intensiivset veetarvidust see katta ei suutnud.



Joonis 3.1 Hotell Viru ehitustööd aastal 1970 [12]

Hotelli vajumisvaatluste jaoks koostati 1970. a vaatluste projekt [11]. Selles märgiti, et piirkonna vajumiste intensiivsus on pidevalt suurenenud ja veehorisondi piesomeetiline tase depressioonilehtri tsentris on langenud 30 m võrra ning kõrgemal lasuvad pinnasekihid tihenevad 29,4 N/cm² surve all.

Projektis nähti ette vajumisvaatluste sooritamine 2. klassi nivelleerimise meetodika järgi. Kavandati 8 süvareeperi rajamine, millest 6 asuvad ühises reeperikambris, kuid on süvistatud erinevatesse kihtidesse. Neile lisaks tuli kasutada viis 1968. aasta lõpul RPI „Eesti Projekt“ rajatud pinnasreeperit, viis linna kõrgusvõrgu seinareeperit ning 56 hoone vajumisreeperit. Viimastest 6 olid vundamentide alusplaati betoneeritud sfäärilise peaga reeperid ja 50 olid 1. korruse postidesse betoneeritud sisekeermega terastorud, milledesse sai mõõtmiste ajaks sisse keerata sfäärilise reeperipea. Vaatlusi tuli alustada vahetult peale kõrgosa alusplaadi valmimist selle reeperite nivelleerimisega (1. tsükkel). Teine tsükkel samade reeperitega oli kavandatud korrata peale 1. korruse valmimist.

Peale esimese korruse kandepostidesse asetatud vaatlusreeperite raketisest vabastamist tuli jätkata esimese korruse reeperitest koosneva „väikese polügooni“ nivelleerimisega (vt Joonis 3.3), korrates vaatlusi kõrgosa iga kahe korruse valmimise järel.

Peale kõrgosa karkassi valmimist oli kavandatud jätkata 1970. a vaatlusi kolmekuulise intervalliga ja 1971. a 4-kuulise intervalliga.

Tõsisemaid probleeme on kolm:

Vajumisvaatlusi objektidel sooritasid paljud organisatsioonid (Eesti Projekt, REI, Geodeesia AP OÜ, Geo S.T. OÜ), mis ilmselt ei tulnud kasuks mõõtmiste järjepidevusele. Tänapäeval nõuab EVS EN ISO 18674-1:2005 [7], et rajatiste vajumisvaatlusi peaks sooritama kogu vaatluste perioodil **üks ja sama geodeet** ja kui see peaks osutama mingil põhjusel võimatuks (näiteks töötaja lahkumisel töölt või mõnel teisel põhjusel), siis peaks vaatlusi sooritama **vähemalt sama firma**. Võttes aga arvesse kompleksi vaatluste kestvust – käesolevaks ajaks 52 aastat ja seda, et vaatluste ajal on toimunud riigikorra ja majandussüsteemi muutus, siis see nõue on liiga range, kuid isegi antud juhul on järjestikku rakendatud firmade arv liiga suur.

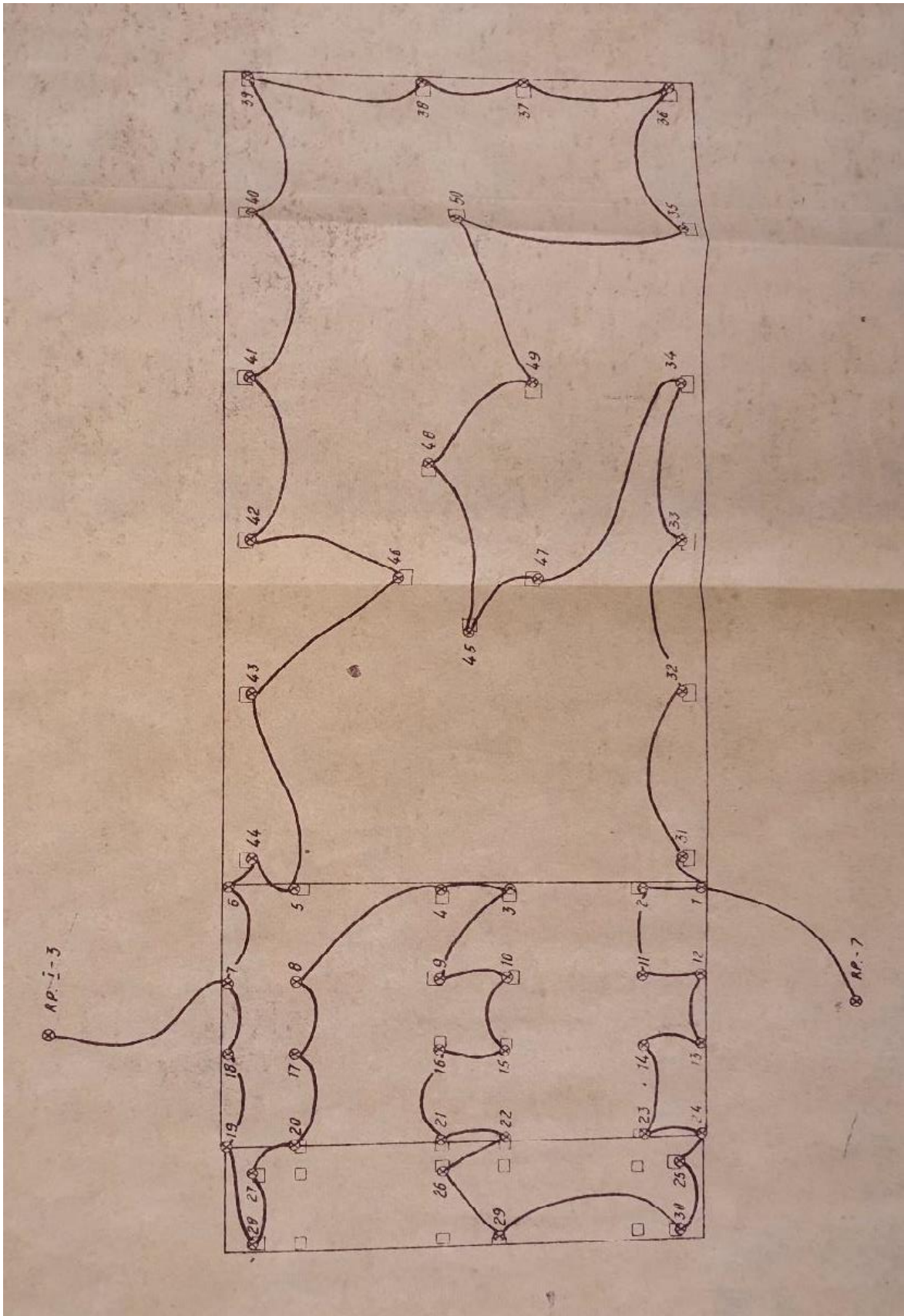
Teiseks lähtepunktide võrk mõõdistatakse ja tasandatakse kui eraldiseisev võrk. [4] See tähendab, lähtereeperid tuleb mõõtmiste alguses soovitatavalt siduda riikliku süsteemiga ja enam nende **kõrgusi mitte muuta**. On tõsiseid kahtlusi, et alates

1980. aastast on seoses Tallinna kõrgusvõrgu ümbertasandamisega ka Viru lähtereeperite kõrgusi muudetud.

Kolmandaks on Sokos Hotel Viru kõrgosas **kõik reeperid hävinenud**. Kahekorruselises fuajees asendati kolm reeperit, paigutades nad olemasolevatesse avadesse (vt Joonis 3.2), mis annab parimal juhul mõnemillimeetrilise täpsuse (hea kui seegi). Seega on kõrgosa vajumisvaatluste järjepidevus katkenud.



Joonis 3.2 Hotelli fuajees välja vahetatud vajumisreeper (üleval) ning vana reeper, mis jäi hoone renoveerimistöde käigus lühikeseks (all).



Joonis 3.3 Väikese polügooni skeem [13]

Lisaks tuleb mainida järgmisi probleeme:

Viru Hotelli kõrgosa vajumisvaatluste projektis oli ette nähtud kolme liiki vajumite määramine: kõrgosa koormusest tingitud vundamendi aluse kihi vajumine, ürgoru täitva pinnase vajumine veehorisondi piesomeetrilise taseme languse tõttu ja absoluutne vajumine, mis oli kahe eelmainitu summa. Tänapäeval kõiki kolme nimetatud vaatlusliiki ilmselt ei saa enam sooritada vajumisvaatluste järjepidevuse katkemise tõttu, hea kui saab mingil määral taastada absoluutse vajumise määramise teatud perioodiks.

Viru hotelli vajumisvaatluste projekti kohaselt rajati lähtereeperite süsteem (reeperite kambri reeperid Viru1...Viru6, reeper 7 Tammsaare pargis ja reeper 8 Estonia pst1/Kaubamaja tn 4 sisehoovis. On kahtlusi, et seda süsteemi ei ole ringkäiguga Viru2-Rp7-Rp8-Viru2 varem kunagi kontrollitud.

Väidetavalt lõpetati Tammsaare pargis asuva reeperi nr 7 kasutamine lähtereeperina, 1983. aastal, kuna see olevat vajunud. Selle väite põhjendus on kaheldav, sest 1986. aastast pärineva Rp8 kõrguse 7,083 m ja 1979/80. aastast pärineva Rp7 kõrguse 6,158 m vahe oli 0,925 m ning aastast 2010 pärineva Planserk AS töös saadud samade reeperite kõrguste vahe oli 0,926 m. Ka autori poolt sooritatud lähtereeperite kontroll-nivelleerimine 2021. a märtsis (Joonis 3.4) andis peaaegu sama tulemuse 0,9254 m.

Viru Hotell on ehitatud kokku Viru Ärikeskusega, mis on küll hotelli osaga võrreldes suhteliselt madal, kuid teisalt massiivne ehitis. Võib eeldada, et nad mingil määral mõjutavad teineteise vajumise kulgu.

Viru Ärikeskus on monoliitse raudbetoonkarkassiga rajatis, põhilise postide sammuga 8x8 meetrit ning jäigastavateks elementideks on monoliitsed trepikojad ja liftišahtid. Kõrgeim hooneosa on kümnekorruseline (vt Joonis 3.6)

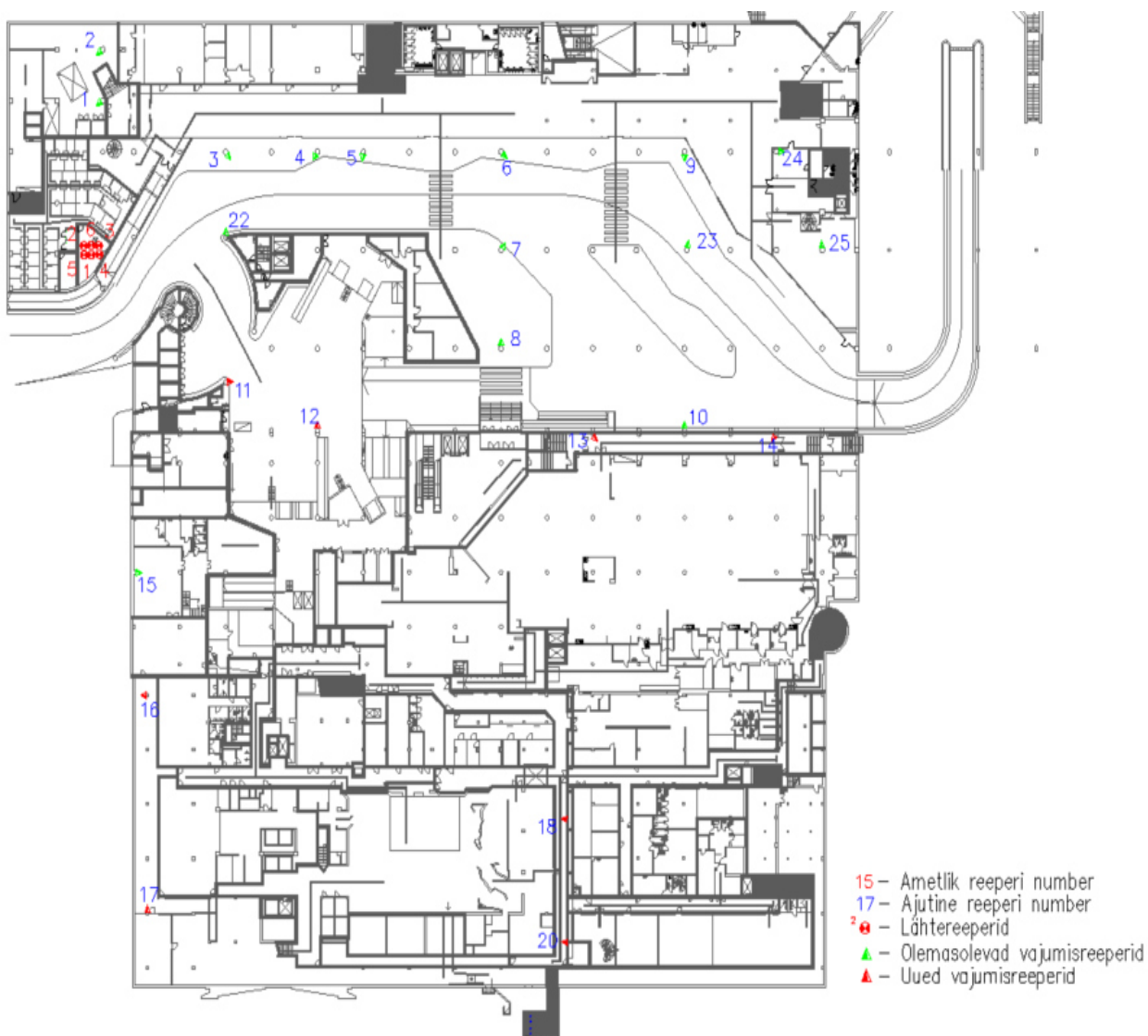
Ka ärikeskuse vajumisvaatlusi sooritas kahjuks kaks ettevõtet. Perioodil 2003 - 2004 mõõdistas Geodeesia AP OÜ ning perioodil 2017 kuni siamaani (ametlikult küll kuni 2019. a) Geo S.T. OÜ.

Olgugi et ehitus toimus kõigest 17 aastat tagasi, ei õnnestunud tellijalt ega ehitajalt projektdokumentatsiooni hoone vundamentide kohta saada, kuid siin aitas lõpuks hädast välja eelmine geodeetiliste tööde ettevõtja Geodeesia AP OÜ.

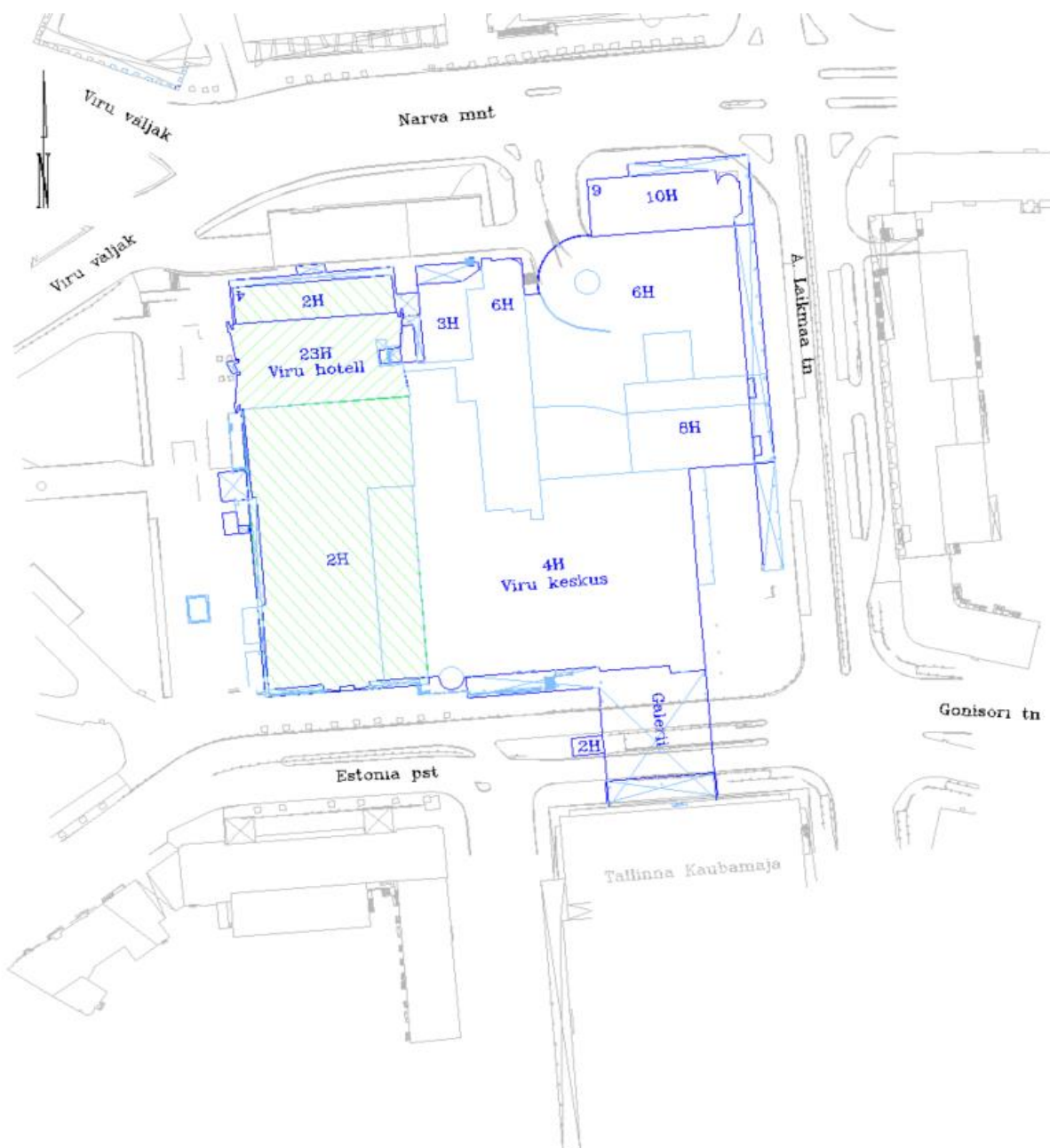


Joonis 3.4 Kontroll-nivelleerimine 2021. aasta märtsis Viru2-Rp7-Rp8-Viru2.



Ärikeskuse vajumine on toimunud võrdlemisi ebaühtlaselt. Grupp reeperid bussiterminalis, autobusside põhilisel sõiduteel (NN 3; 4; 5; 7, 22) on vajunud 19 – 25 mm, samuti bussiterminalis (NN 6, 8) 15 – 16 mm, terminali kaubamajapoolses otsas (NN 9; 10; 23; 24) 7 – 12 mm, kuid korpuse NE nurgas reeperid 1 ja 2 on vajunud vastavalt 51 ja 40 mm. 2017. aastal, mil vajumisvaatlused võttis üle ettevõtte Geo S.T, paigaldati Viru Ärikeskuse keldrikorrusele juurde 8 vajumisreepereid (NN 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20), mis paigaldati varasemalt hävinud vajumisreepereite vahetusse lähedusse. Antud reeperid vajusid kahe aasta jooksul 2 – 4 mm. Reeperite plaaniline asukoht on välja toodud Joonis 3.5.



Joonis 3.5 Viru Ärikeskuse vajumisreepereite asendiplaan keldrikorrusel. [14]



LEPPEMÄRGID:

- 23H – korruste arv, nt 23-korruseline hoone osa
-  – 1972. aastal valminud Hotell Viru hooneosa
-  – Viru keskuse ja Viru hotelli hoonekompleksi kontuur

Joonis 3.6 Viru keskuse ja Hotell Viru plaaniline asukoht koos korruste skeemiga. [14]

4. ALUSPINNASE EHITUS JA HÜDROGEOLOOGILISED TINGIMUSED

Valdava osa Tallinna pinnakattest moodustavad peene- ja eriteraline liiv ning kruus, mis on sademevee imbumiseks soodsad. Kesklinna linnaosas omaette sademevalgala ei ole välja arendatud. Sademevesi juhitakse ühisvoolsesse kanalisatsioonisüsteemi. Paraku leiavad just keskkinnas aset kõige suuremad intensiivsetest sadudest põhjustatud üleujutused. Kuna suur osa keskkinnast on asfaltkattega, on sobivaid kohti sademevee immutamiseks raske leida. [15]

Viru keskus ja hotell asuvad keskklinna mattunud ürgoru läänenõlval, mille aluspõhjas asub sinisavi. Sinisavi asub antud hoonete piirkonnas umbes 42 meetri sügavusel ning aluspõhja pind langeb idasuunal 1 meeter 10 meetri kohta. Piirkonnas esinevad merelised peeneteralised liivad ja tolmliid, mis sisaldavad orgaanilisi aineid. Need omakorda asuvad jääjärvelistel setetel. Pinnakate on moodustunud glatsiaalsettest, jääjõesetest, jääjärvesetest, meresetetest ja täitepinnasest. Sinisavi peal on kuni 4 meetrine kiht kõvaplattset saviliivmoreeni. Moreeni peal paikneb tihedalt kokkupakituna jääjõe peenliiv, milles leidub keskliiva vahekihte, kruusa ja veeriseid. Jääjärveliste setete kompleks lasub jääjõe liivadel. Jääjärveliste setete alumiseks kihiks on kõva peentolme saviliiv, mille paksus on 0,2 – 2,2 meetrit. Peentolmu kohal paikneb 1,4 – 2,4 meetrine erineva plastsusastmega viirsavi. Jääjärve setted koosnevad peamiselt plastsetest saviliivadest, mille vahekihtideks on tolmne liiv ja savi. Geoloogilise lõike ülemises osas paiknevad meresetted ning täitepinnas. Merelise settekompleksi kogupaksus on 9,5 – 12,5 meetrit ning see koosneb tolmsest liivast, voolavast saviliivast ja voolavast liivsavist.

Üldiselt asub Viru keskus ja Viru hotell geoloogiliselt raskete tingimustega pinnastel. Pinnase ülemises osas on kuni 9 – 12 meetri paksune tugevasti kokkusurutavaid pinnasekihte. Hea kandevõimega möll asub umbes 18 – 22 meetri sügavusel. Joonisel 4.4 on välja toodud reeperi nr 2 (Viru2) pinnaseläbilõige, mis iseloomustab kogu hoonekompleksi ümbritsevat pinnast.

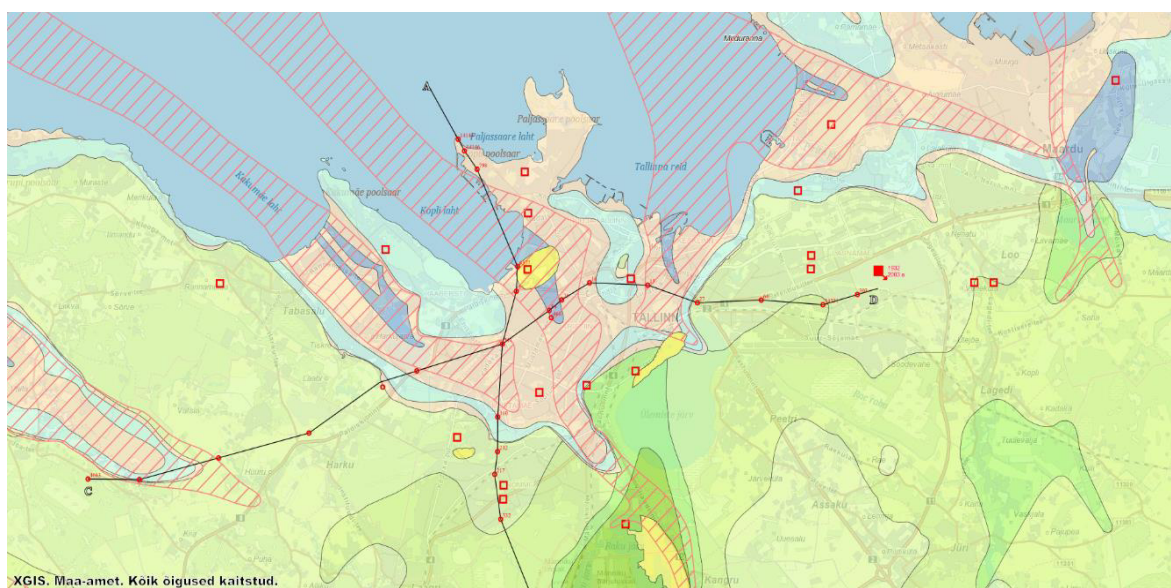
Viru keskuse ja Viru hotelli piirkonnas omavad hüdroteoloogiliste tingimuste poolest suurt rolli kvaternaari ja kambrium-vendi veekompleksid. Kvaternaari veekompleksi ülemises osas on tehispinnasest ja mereliivast koosnev vabapinnaline pinnaseveekiht, mis imab endasse sademevett. Suurte sadude ajal võib pinnaseveetase tõusta ning mullasele-mudasele pinnasele võib koguneda ülavett. Pinnasevee tase järgib maapinna reljeefi, voolates mere suunas. Pinnasevee režiimi mõjutavad hoonete drenaažisüsteemid.

Jääjõelistes liivades ja kruusades esineb kvaternaari survealine põhjavesi ning see on filtratsioonilises ühenduses kambrium-vendi veekompleksiga. [16]

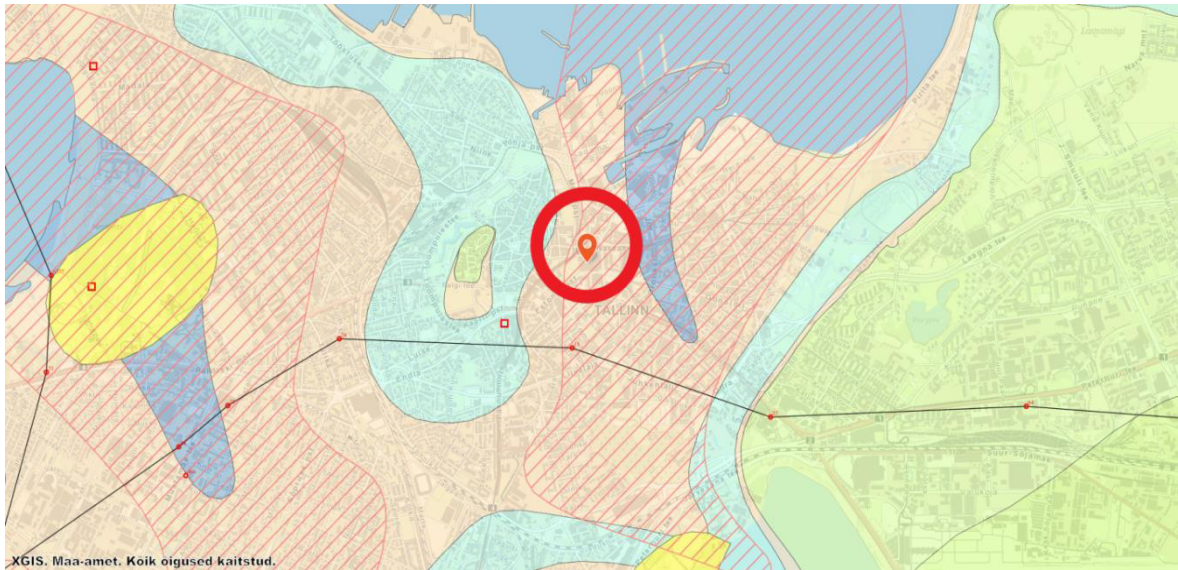
Surveline põhjaveetase oli intensiivse veetarbimise tagajärjel alanenud alla merepinna ning see oli Tallinna kesklinnas kujundanud ulatusliku alanduslehtri. 1980ndatel aastatel oli survealine põhjaveetase langenud Tallinnas alla 28 meetri merepinnast, mis oli kuni 30 meetrit madalam esialgsest tasemest. Kuna veetarbimine on viimase kümne aasta jooksul oluliselt vähenenud, on see kergitanud ka põhjavee taset. Viimastel aastatel on alanduslehtri sügavaim osa liikunud Tallinna kesklinna osast Laagrisse ja Männikule. [15]

Tallinna kesklinna hüdrogeoloogiline aluskaart on välja toodud Joonis 4.1, kus on kujutatud punase viirutusega Tallinna kesklinna mattunud orud.

Viru keskuse ja Viru hotelli asukoht on ära märgitud Joonis 4.2 mis on Joonis 4.1 keskosa suurendatud kaardivaade.



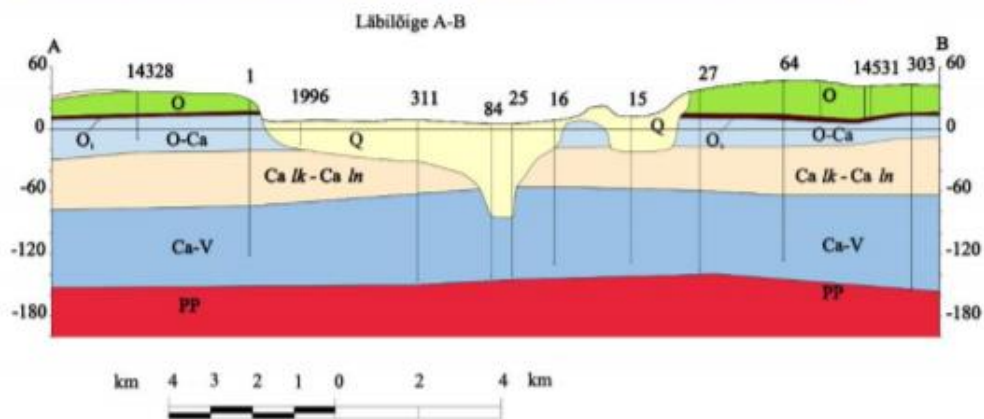
Joonis 4.1 Tallinna hüdrogeoloogiline aluskaart, kus punase viirutusega on tähistatud mattunud orud. [17]










Joonis 4.2 Tallinna kesklinna hüdrogeoloogiline aluskaart, kus punase viirutusega on tähistatud mattunud orud. Hoonekompleks asub punase ringiga tähistatud ala keskel. [17]

Joonis 4.3 on näha Tallinna hüdrogeoloogiline läbilõige. Viru keskuse ja hotelli ligikaudne asukoht on vertikaali nr 15 juures. Selgelt on näha, et objekt asub geoloogilises mõttes "kausi" sees ning sademete voolamine toimub "kausi põhja" suunas. Nagu eelpool mainitud, asub uuritav hoonete kompleks asukohas, kus ümberringi on pinnakatteks kas asfalt või muu vett mitte läbilaskev teekate. Viru Hotelli kõrval asuv Tammsaare park (jäab vertikaalist nr 15 vahetult läänepoole) on lähiümbruses ainsaim vihmavett läbilaskva pinnase piirkond, mis toidab aluskihte.

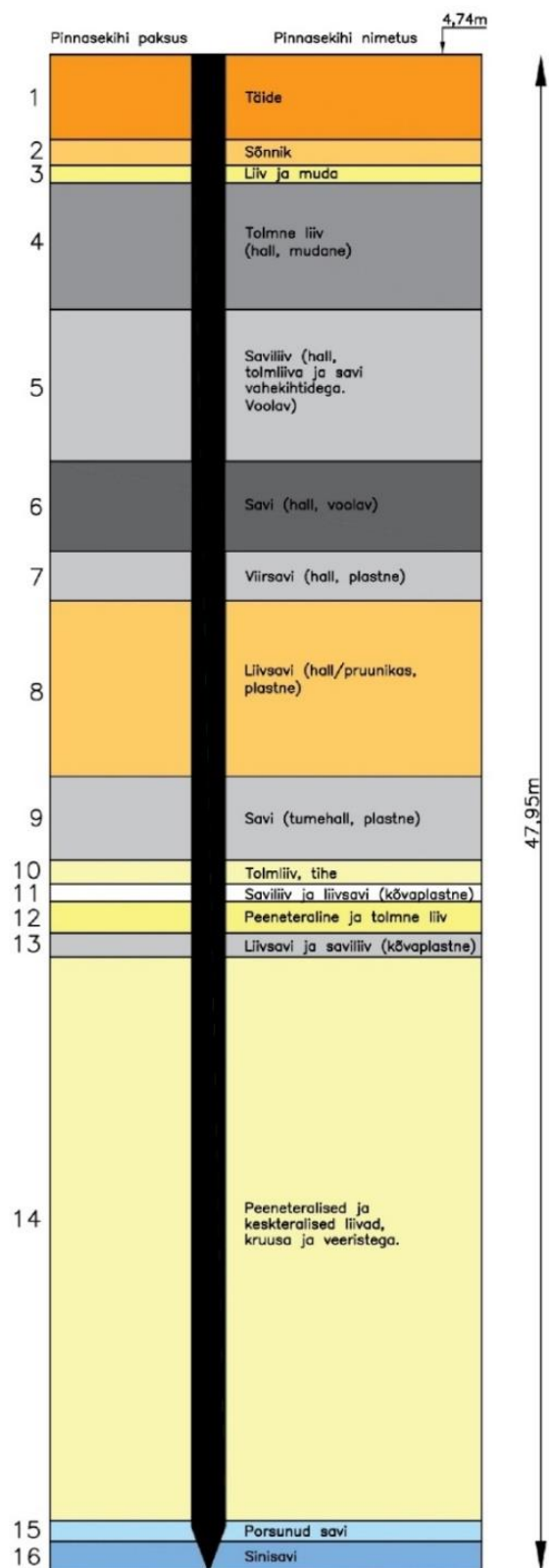
Reeperkambri reeperi nr 2 pinnaselõige iseloomustab kõige rohkem hoonekompleksi all asuvat pinnast (vt Joonis 4.4). Reeperi ankur asub savipinnases, millest vahetult ülespoole jäävad valdavalt liivpinnased.



LEGEND

	Kvaternaari veekompleksi alternatiivse veekasutusallikana		Lükati-Lontova veepide		Kambriumi-Vendi veekompleksi hüdroisopiesid
	Ordoviitsiumi veekompleks		Kambriumi-Vendi veekompleks		puurauk (puurkaev) ning number Eesti Põhjaveekatastris
	Alam-Ordoviitsiumi veepide		kristalse aluskorra põhjavesi		läbilõike joon
	Ordoviitsiumi-Kambriumi veekiht		Ordoviitsiumi veekompleksi hüdroisohüpsid		Läbilõikel sporaadiliselt vettsisaldav Kvaternaari veekompleks
					puurauk (puurkaev): ülal - number kaardil ja Eesti Põhjaveekatastris

Joonis 4.3 Tallinna osaline hüdrogeoloogiline läbilõige A – B. Viru hotell ja Viru keskus asuvad vertikaalil nr 15 [18]



Joonis 4.4 Viru reeperite kambri sügavaima reeperi nr 2 läbilõige koos ümbritseva pinnasekihtidega. [19]

Hotelli projekteerimiseks vajalikud raudbetoonvaiade dünaamilise koormamise katsed näitasid hoone all paikneva pinnase väga muutlikku tihedust. Katses koormati kahte kuue meetri pikkust 0,3 x 0,3 ristlõikega vaia, mille koormamiseks kasutati ekskavaatorile monteeritud rammimisseadet. Tulemused mõõdeti geomeetrilise nivelleerimisega. Katse käigus selgus, et vaste muutus suurtes intervallides. Kui arvutuslik vaste oli $e=1,87$ cm, siis näiteks 9 meetri sügavusel oli vaste $e=4,41$ cm ja 0,6 meetrit sügavamal $e=1,53$ cm ning sellest sügavamale vaste kasvas. Projekteeritud sügavusel (7,2 m) oli vaste suurus 3,13 cm. Mõlema vaia rammimisel ilmnedid sarnased vaste muutused. Vaia süvistamise sügavusest ja vaste omavahelisest sõltuvusest järeldus, et vaiade arvutuslik kandevõime erinevatel projekteeritud sügavustel ei ole tagatud. Seetõttu tuli muuta algselt kavandatud vaiatüüpi ja selle süvistussügavust. [19]

Viru Ärikeskuse tehnilises projektis oli ette nähtud vaiade süvistussügavuse täpsustamine proovivaiadega, kusjuures eeldati vaiade süvistussügavuseks 19 kuni 22 m kuid hilisematel vaiatöödel saavutati nõutav vaste pinnase ebaühtluse tõttu väga erinevatel sügavustel, isegi kuni 50 m sügavusel (objektil tegutsenud AP Geodeesia OÜ ehitusgeodeedi suusõnaline ütlus, 2021 märts). Viru keskuse alla jääva pinnase läbilõige on välja toodud Tabelis 4.1

Tabel 4.1 Viru keskuse alla jääva pinnase geoloogiline läbilõige [20]

0...2,0m	ehitusprahti sisaldav täitepinnas
2,0...4,5m	prahti sisaldav liivmuda
4,5...8m	tolmliiv
8...10m	voolav saviliiv
10...15m	voolav liivsavi
15...21m	plastne saviliiv
21...23m	sitkeplastne saviliiv
23...26m	kõva saviliiv
26m...	peenliiv

5. HOONE VUNDAMENTIDE ERIPÄRA JA DEFORMATSIOONIDE ARVUTUSLIKUD VÄÄRTUSED

Hoonetekompleksi esimene järjekord, mille kohta oli koostatud vajumisvaatluste projekt, koosnes 2-korruselisest osast ja 23-korruselisest kõrgplokist. Kõrgploki kandekonstruktsiooni moodustab monoliitsetest raudbetoonist karkass ning sellest väljapoole jääv osa on lahendatud monoliitsete kandvate seintega. Kahekorruselise osa kandekonstruktsiooniks on monteeritav 8 m sammuga karkass. Kõrgosa toetub 1,20 m läbimõõduga koorikvaiadega (toruvaiadega) roostvargile. Vaiad on süvistatud 20...24 m sügavusele ja toetuvad tihedatele tolmsete ($E_0 = 2 \text{ kN/cm}^2$) kuni keskteriste liivade ($E_0 = 3 \text{ kN/cm}^2$) kihile, mis on ca 5,5° kaldu Laikmaa tn poole.

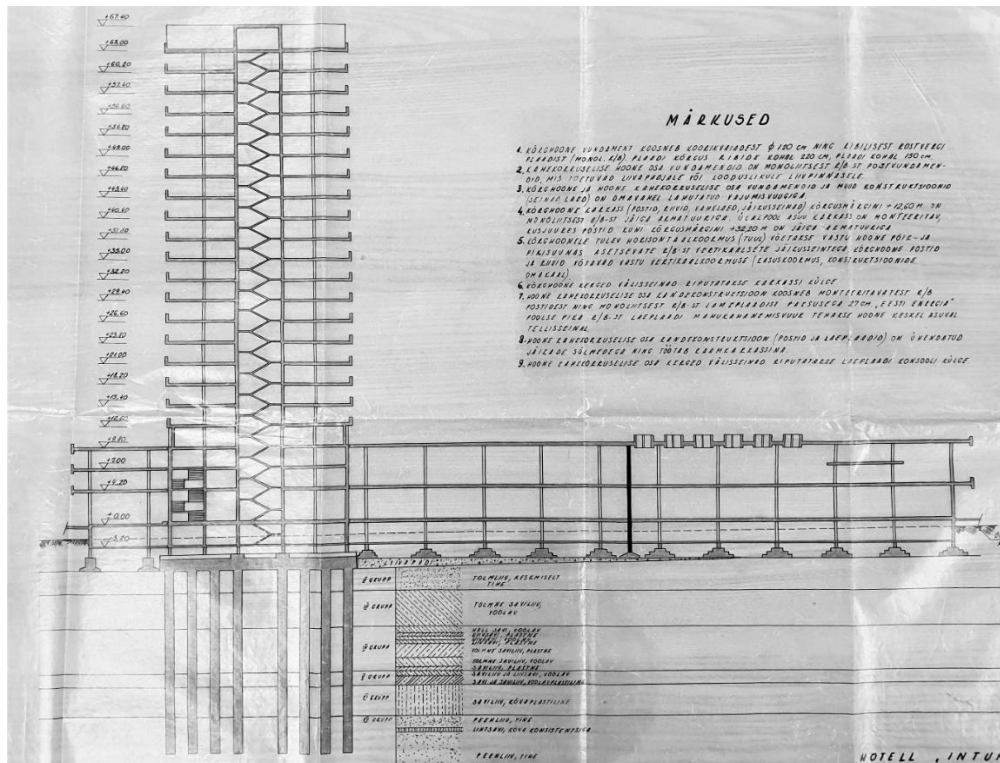
Kõrgosa kõige võimsamatele M ja K telje postidele toetub 4. korruse piirides jäigastatud riividega vägev talastik, mis võtab vastu tuulekoormuse. See võimaldas peakonstruktor U. Palli andmetel luua esimestel korrustel aatriumi. [9] Terve hoone ja selle roostvärkide pikilõige on välja toodud Joonis 5.1.

Hoone kahekorruselise osa 3...4 m sügavusel asuvatele eraldiseisvatele tolmlüvivakihil ($E_0 = 1 \text{ kN/cm}^2$) lasuvatele vundamentidele toetuvad karkassi postid (vt joonis 5.1).

Kõrgosa arvutuslik vajum on 170 mm ja kahekorruselise osa arvutuslik vajum on 70 mm.

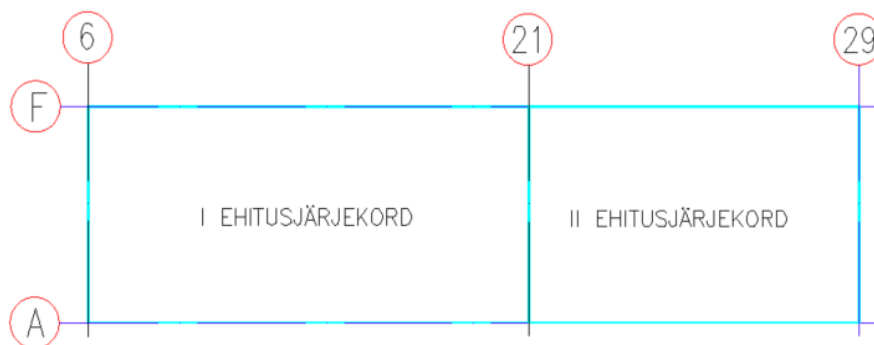
Ärikeskus koosnes kahest vajumisvuugiga eraldatud plokist – esimene ehitusjärjekord telgede 6 kuni 21 vahe (telgede samm 8 m) ja teine ehitusjärjekord telgede 21 kuni 29 vahe, telgede sammuga põhiliselt 8 m, vaid telgede 27 ja 29 vahe oli 6 m (vt Joonis 5.2). Iga kandeposti all on eraldi plaatroostvärk, mis toetub Baueri meetodil valmistatud puurvaiadele. Vaiad on süvistatud erinevatele sügavustele (üldjuhul alates 22 m kuni 50 m) kuni nõutava vaste saavutamiseni.

Ärikeskuse arvutuslik vajum ei ole kättesaadav ja seetõttu võetakse nõutav täpsus Sokos Hotell Viru järgi.

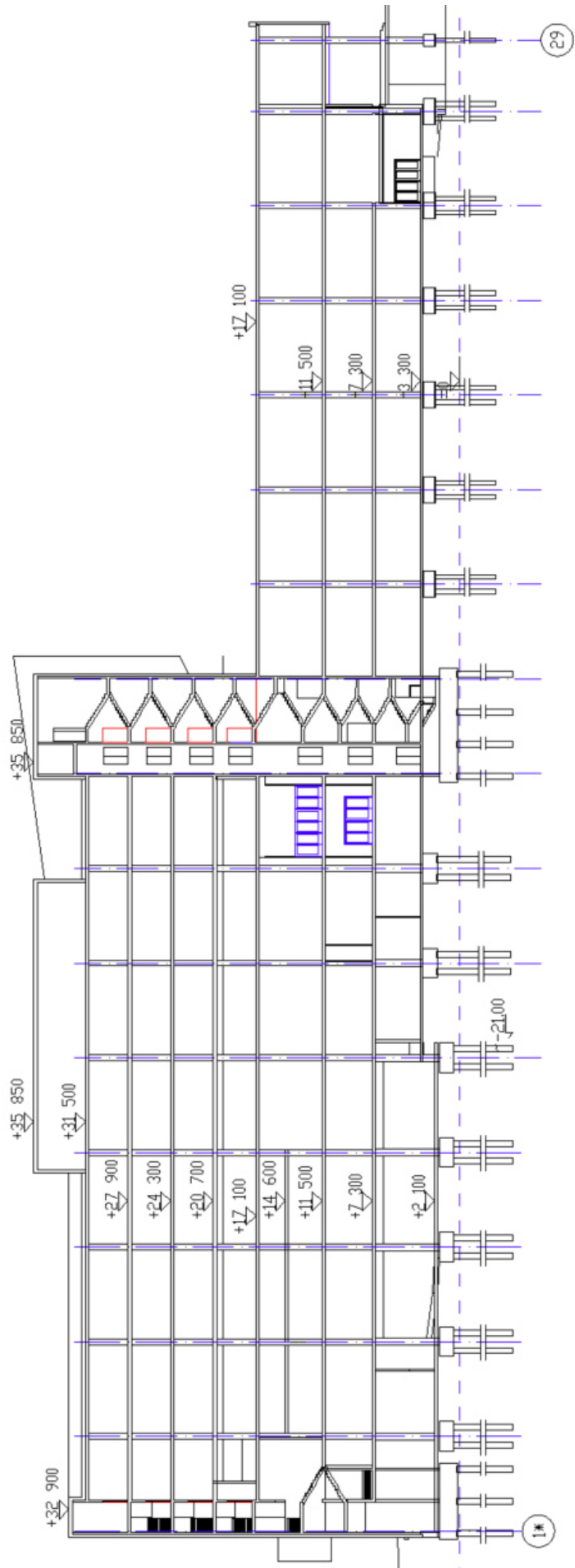


Joonis 5.1 Hotelli ja selle rostvõrgi pikilõige. Kõrgplokkist vasakule jääb vestibüüliplakk, aga paremale kohvikuplokk. [13]

Viru keskuse hoone karkass (vt Joonis 5.3) on monoliitsest raudbetoonist ning toetub rostvõrkidele, mis on omakorda Baueri meetodil rajatud puurvaiadele. Vaiad on süvistatud umbes 0,5 – 2 meetri sügavusele peenliiva kihti. Geoloogilise lõike (vt Tabel 4.5) alusel asub peenliiva kiht umbes 26 meetri sügavusel. Ehitusgeodeedina objekti teenindanud geodeedi Aigar Orubi sõnul on Narva mnt ja A. Laikmaa tn ristmiku poolses otsas vaiad süvistatud väidetavalt ligi kaks korda sügavamale kui projekt ette nägi, kuna antud piirkonnas oli kandev pinnasekiht tunduvalt sügavamal. Rostvõrkide skeemid on koostatud E-Inseneribüroo 2002. aasta projektide EK-TJ-004 ja EK-TJ-006 põhjal [21] – vt Lisa nr 2.

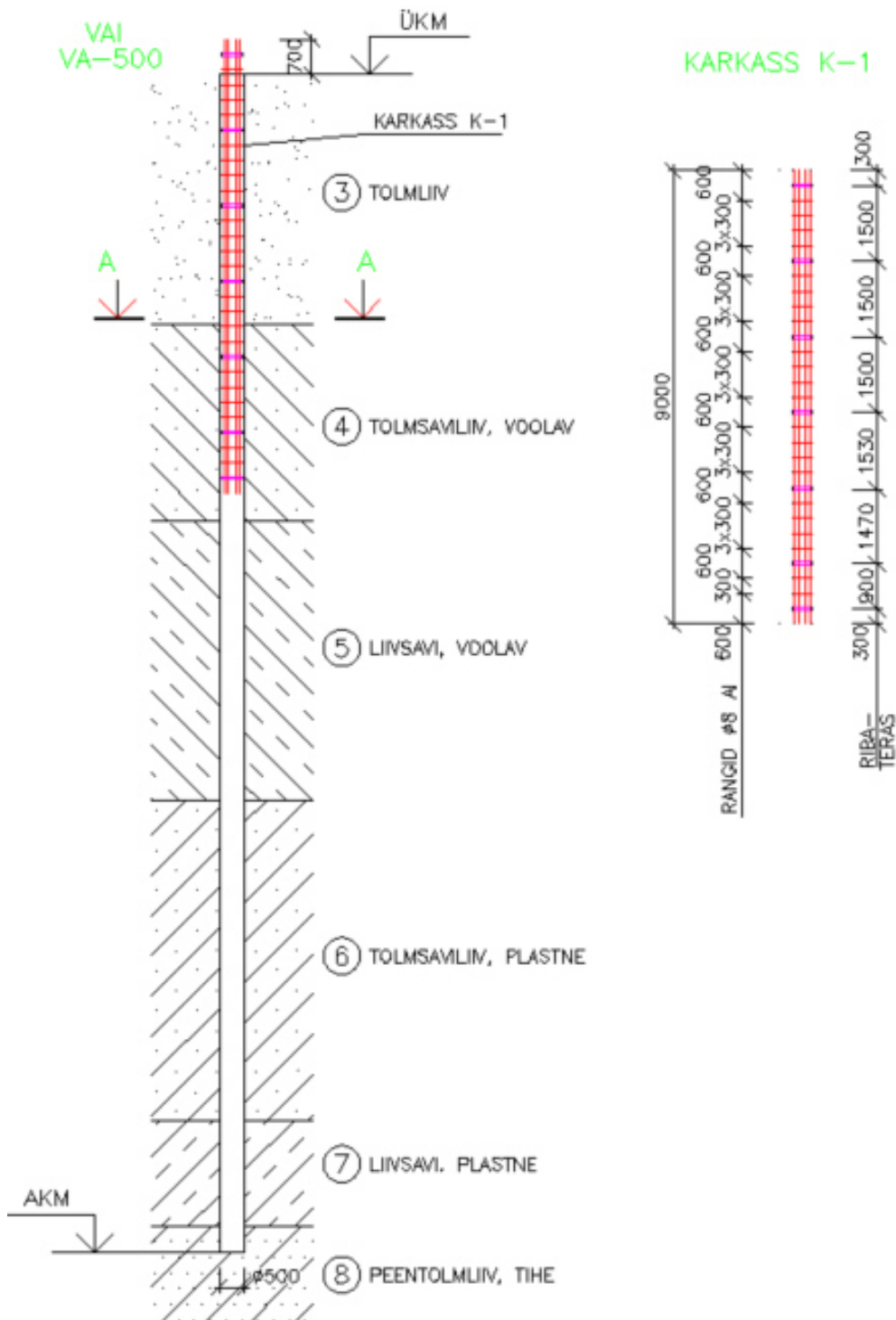


Joonis 5.2 Viru keskuse ehitusjärjekord. Esimesena ehitati telgede vahe 6-21 ning teises järgus ehitati 21-29. [21]

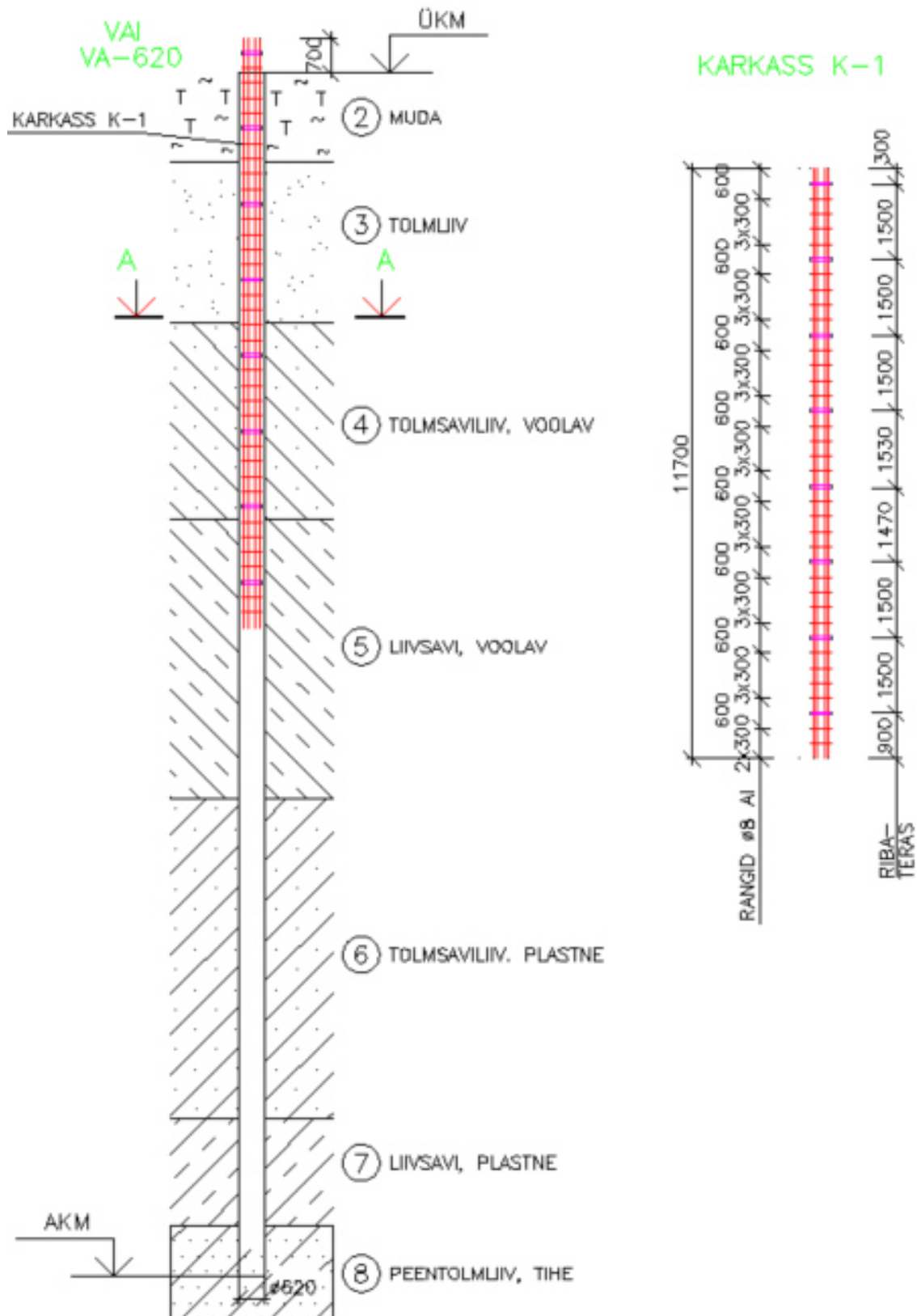


Joonis 5.3 Viru keskuse ja selle roostvärgi pikilõige. [21]

Viru keskuse vaiade lõigete skeemidelt (vt Joonis 5.4 ja Joonis 5.5) on näha vaiade süvistuse skeem. Puurvaiad olid projekti kohaselt ette nähtud ulatuma vähemalt meetri sügavusele kaheksandas kihis (peentolmliiv). Terasest karkass oli vastavalt vaia tüübile kas 9 meetrit või 11,7 meetrit. Vaiad olid ette nähtud valmistada Baueri meetodil.



Joonis 5.4 Puurvaia nr 500 skeem. Algselt projekteeritud 500 mm läbimõõduga vai ei sobinud Viru keskuse ehituseks. [22]

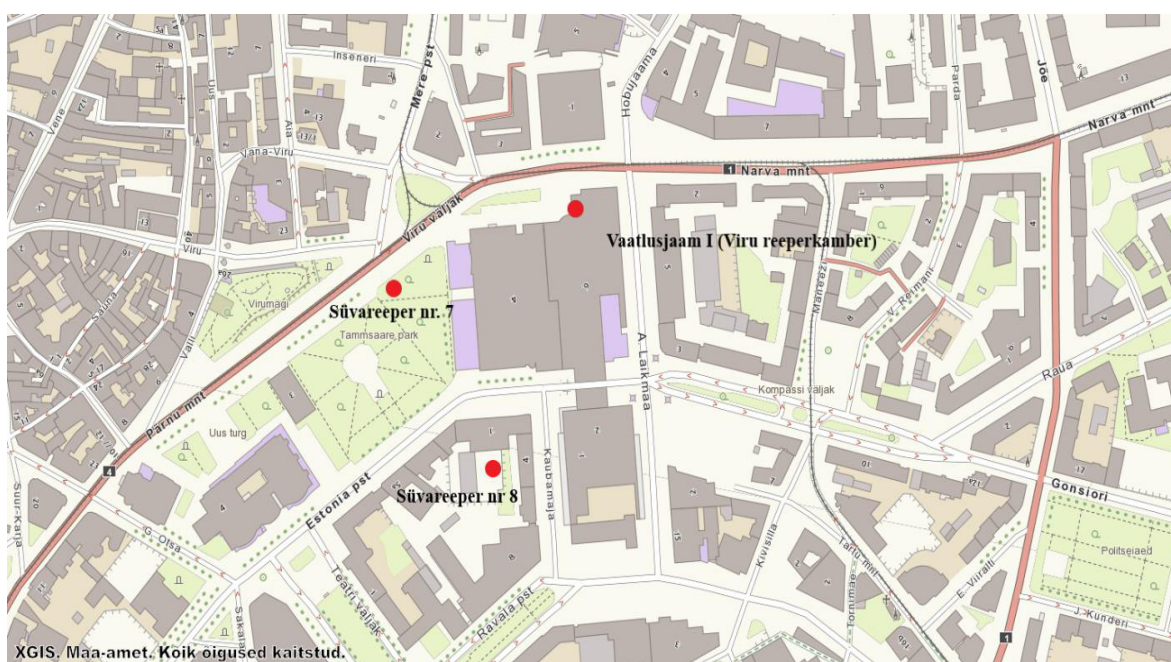


Joonis 5.5 Puurvaia nr 620 skeem. Paigalduse skeemilt on näha, et vaiad peaksid projekti järgi ulatuma peentolmliivsesse kihti. [22]

6. VAJUMISVAATLUSTE GEODEETILISE ALUSE KIRJELDUS

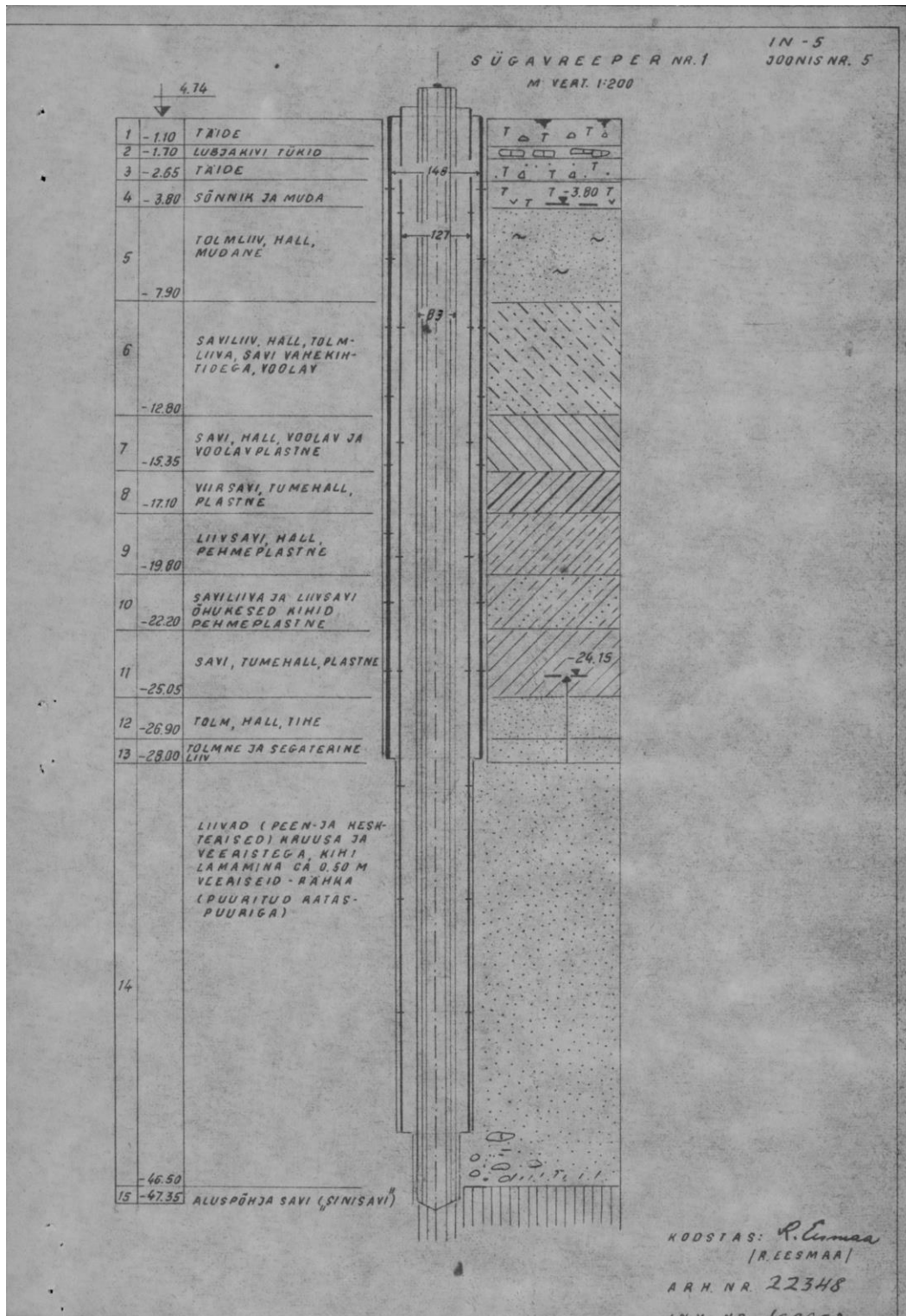
6.1 Süvareeperid

Aastal 1969 esitati "Eesti Projekt" uurimistööde osakonnale tellimus koostada Hotell Viru vajumiste jälgimise projekt ning paigaldada vajalikud süvareeperid. Hoone kõrgusliku käitumise uurimiseks paigaldati hotelli ümber kolmnurkselt reeperite süsteem. Vaatlusjaam I rajati praeguse asukohaga Viru keskuse bussiterminali loodepoolsele küljele. Reeperkambris paiknevad kuus süvareeperit. Kamber asub nüüd Viru keskuse keldrikorrusel, autobusside terminalist väljasõidutee kõrval. Hotellist lääne poole, praegusesse Tammsaare parki, rajati süvareeper nr 7 ning sügavreeper nr 8 paigaldati praeguse aadressi järgi Estonia pst 1 // 3 sisehoovi (vt Joonis 6.1).

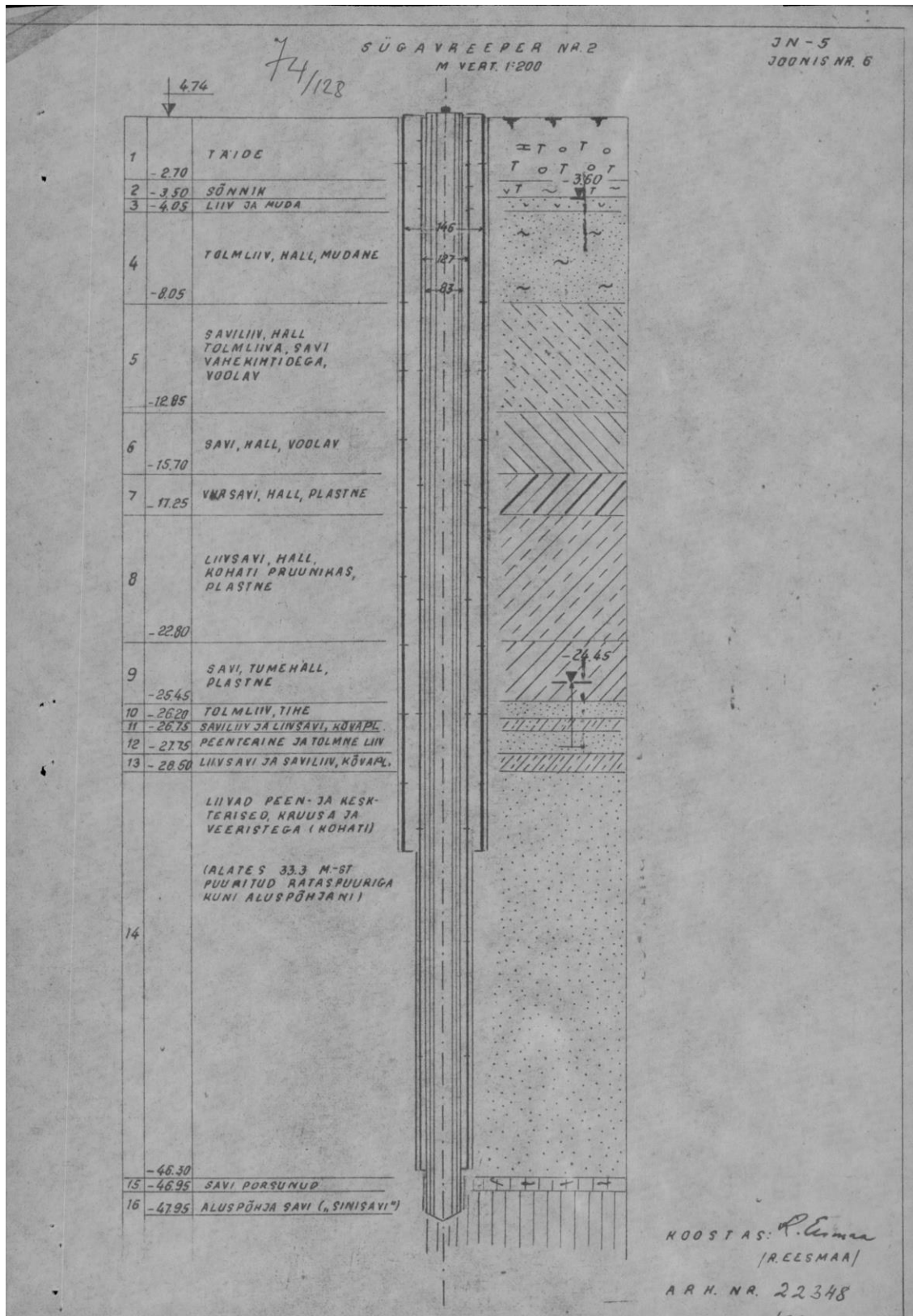


Joonis 6.1 Süvareeperite asendiskeem. Viru hotelli vajumiste jälgimiseks rajati kolmnurkselt hoone ümber süvareeperite süsteem. Vaatlusjaam I koos kuue süvareeperiga, asub hotellist ida-kirde suunal (tänapäeval Viru keskuse keldrikorrusel). Süvareeper 7 asub läänesuunal ja süvareeper 8 asub hotellist lõunasuunal. [17]

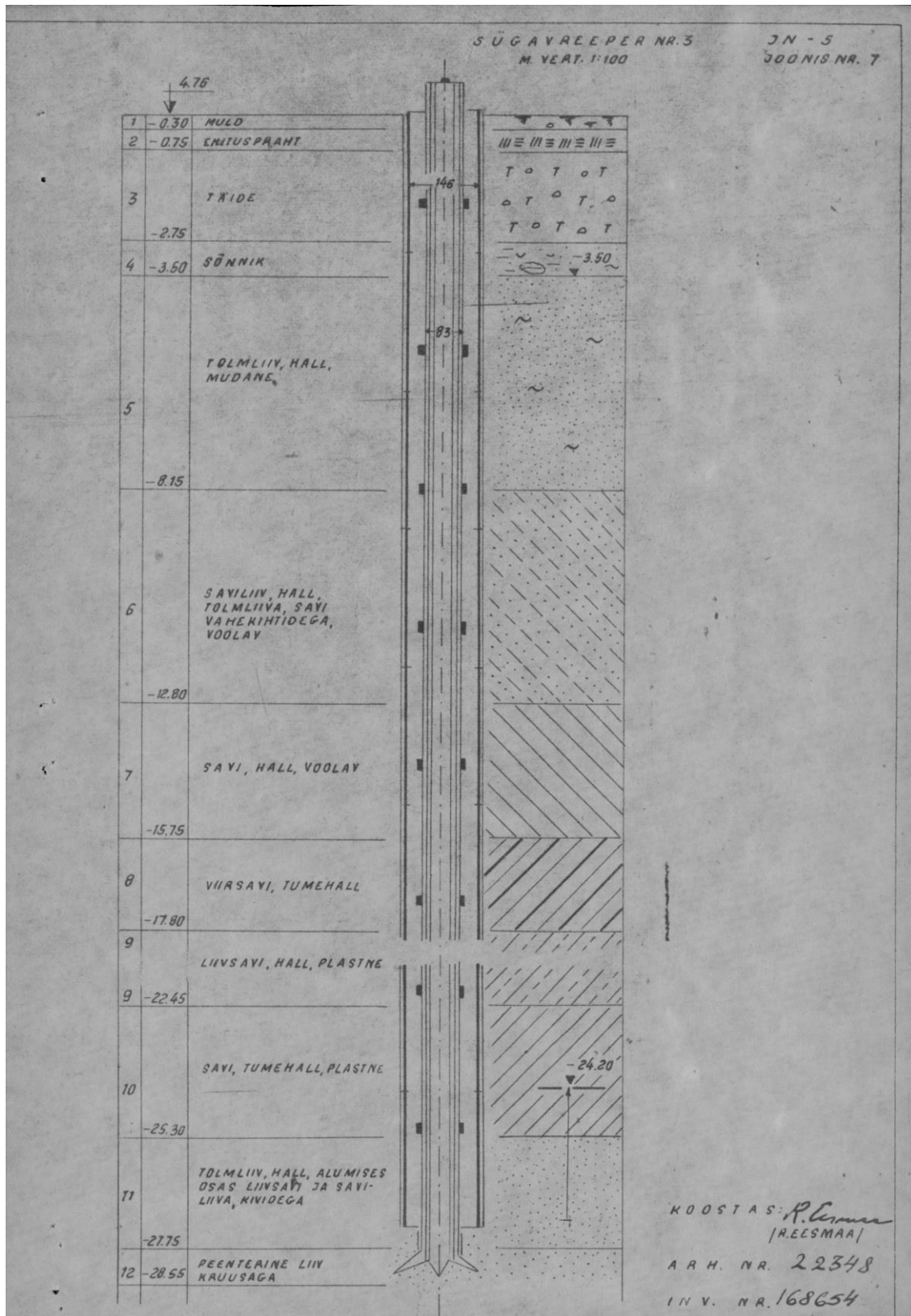
Vaatlusjaama I süvareeperite ankrud on asetatud erinevatesse pinnasekihtidesse nende võimalike paigutiste jälgimiseks. Sügavareeperite nr 1 ja nr 2 ankrud süvistati aluspõhja liivsavidesse maapinnast vastavalt 47,50 ja 48,15 meetri sügavusse.



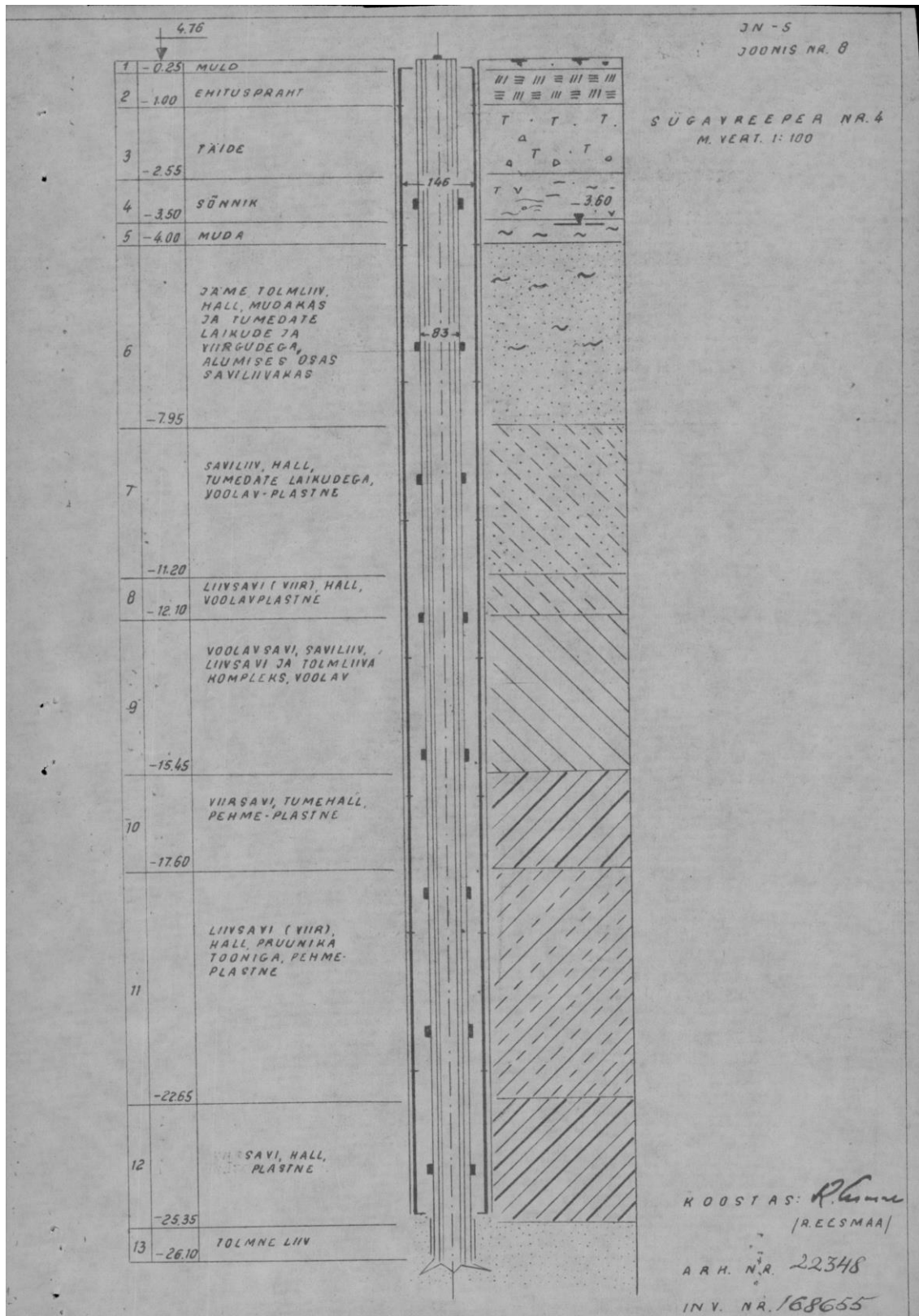
Joonis 6.2 Viru kambireeperi rp nr 1 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur rammiti 47,5 meetri sügavusele. [19]



Joonis 6.3 Viru kambireeperi Rp nr 2 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur rammiti 48,15 meetri sügavusele. [19]



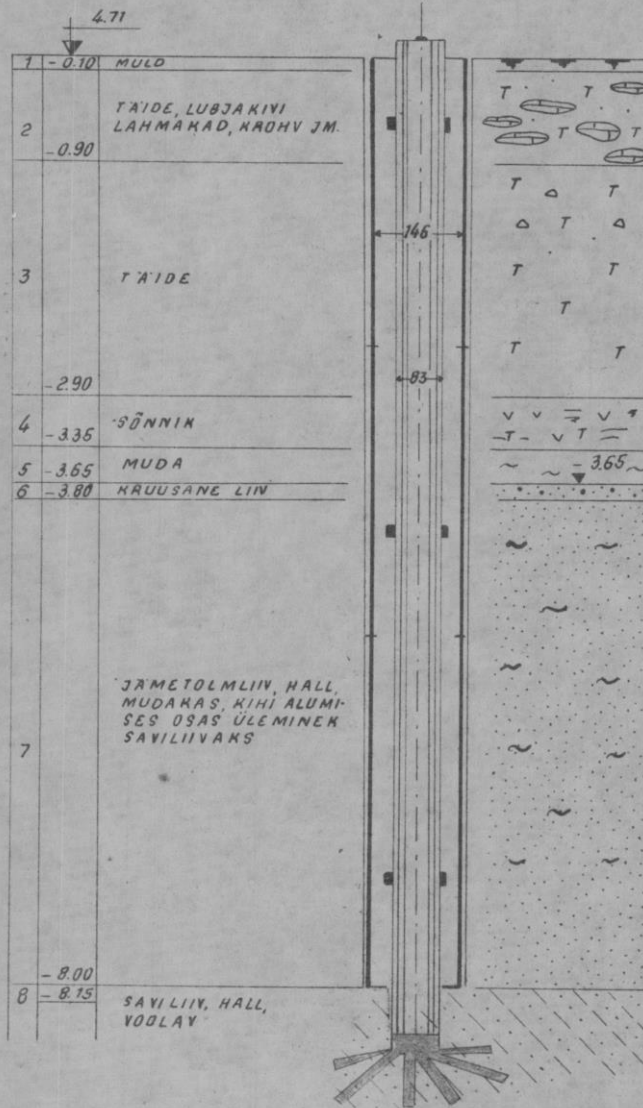
Joonis 6.4 Viru kambrireeperi Rp nr 3 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb peeneteralistes liivades 28,15 meetri sügavusel. [19]



Joonis 6.5 Viru kambrireeperi rp nr 4 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb tolmetsetes liivades 26,45 meetri sügavusel. [19]

JN - 5
 JOONIS NR. 9

SÜGAVREEPER NR. 5
 M VEERT. 1:50

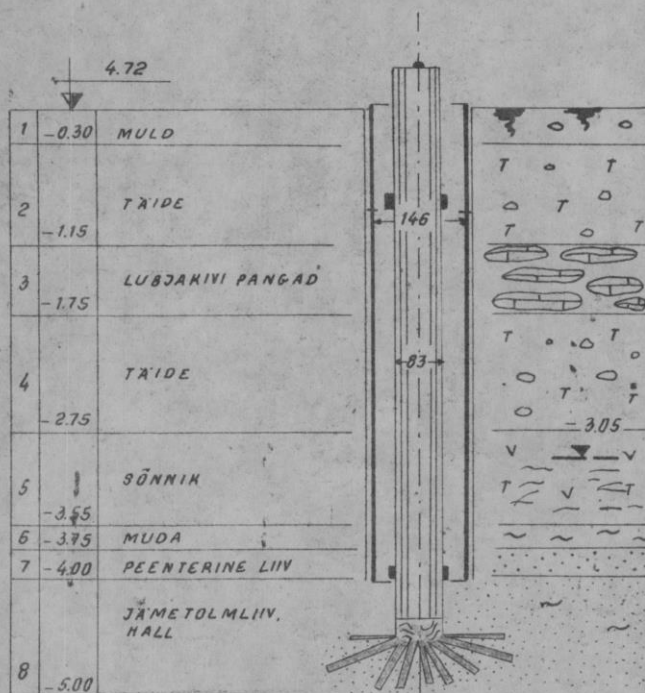


KOOSTAS: *P. Lemas*
 (REESMAA)
 A.R.H. NR. 22348
 INV. NR. 168656

Joonis 6.6 Viru kambireeperi rp nr 5 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb voolavates saviliivades 8,50 meetri sügavusel. [19]

SÜGAVREEPER NR. 6
M VERT. 1:50

JN - 5
JONNIS NR. 10



KOOSTAS: *P. Luoma*
(REESMAA)

A. H. NR. 22348

INV. NR. 168652

Joonis 6.7 Viru kambireeperi rp nr 6 lõige koos pinnasekihtidega. Reeperi ankur asetseb tolmetsetes liivades 4,50 meetri sügavusel. [19]

Vastavalt projektile [19] puuriti sügavreeperite ehitamiseks südamikpuuridega puuraugud, mis manteldati kaitsetorudega. Kaitsetoruna kasutati 146 millimeetrise läbimõõduga nippelühendusega raudtoru. Läbi kaitsetoru, loodusliku struktuuridega pinnasesse paigaldati reepertoru ankur.

Reepertoruna kasutati 83 millimeetrise läbimõõduga muhvühendusega raudtoru, mis kaeti eelnevalt bituumeniga. Reepertorule keevitati 3 meetrise vahega 10 sentimeetri pikkused lattraua tükid. Sügavreeperite nr 1 ja nr 2 reepertoru ülemine osa on kahekordses kaitsetorus, kus sisemise toru diameeter on 127 millimeetrit. Nendel reepertorudel puuduvad "ribid". Sügavreeperite ankrud on erikujulised. Ankrude konstruktsioonis on lähtunud pinnasekihtide omadustest. Aluspõhja kõva konsistentsiga liivsavidesse rammiti koonilise otsaga ankrud (nr 1 ja nr 2). Liivadesse süvistatud sügavreeperite nr 3, 4, 7 ja 8 ankrude otsad lõhestati 60 sentimeetri pikkuselt harudeks. Kohevasse liiva ja voolavasse saviliiva paigaldatud sügavreeperi (nr 5 ja nr 6) ankrute otsale keevitati 0,2 x 3 sentimeetri laiuse raudpleki ribad, pikkusega 60 sentimeetrit. Sügavreeperite nr 7 ja nr 8 ankrud on tsementeeritud liivadesse.

Reepertorude ülemises osas on reeperi pea sfäärilise pronksist nupuga. Kaitsetoru otsa on keevitatud torust kuppel. Sügavreeperite nr 7 ja nr 8 reeperipead asuvad kaanega kaetud kaevudes [19]. Tänapäevaks on Rp7 kaitsekaev likvideeritud ning kõrgusmärk asub Tammsaare pargis betoneeritud hülsis, mida katab metallkaas. Sillutustööde tõttu on Rp8 kaitsekaev koos kaanega hävinenud ja reeper asub lihtsalt ühe sillutiskivi all, mis ei tule püsikindlusele kasuks. Linnavalitsusel tuleks kaitsekaev taastada (vt Joonis 6.8)



Joonis 6.8 Hotell Viru vajumiste lähtereeper Rp7, mis asub kaitsekatteta sillutuskivide all.

Autorile kättesaadavad väljaspool objekti asuvate süvareeperite kõrgused (Maa-amet) on järgmised: Rp7 – 6,158 m (1979/80) ja Rp 8 – 7,083 (1986), st reeperite vaheline kõrguskasv oli 0,925 m. REI andmetel olevat küll Rp7 vajunud ja see olla tulnud 1983. aastal vaatlustest kõrvaldada, kuid see vajumise väide on kaheldav, sest nii Planserk AS poolt 2010. a tehtud Tallinna kõrgusvõrgu nivelleerimisel kui ka autori poolt reeperite süsteemi Rp2 – Rp7 - Rp8 kontrollnivelleerimisel saadud reeperite Rp7 ja Rp8 vahelised kõrguskasvud olid vastavalt 0,926 m (ilma millimeetri kümnendiketa) ja 0,9254 m, st vastavad lõigu alguses toodud Rp7 ja Rp8 kõrguste vahele. Kuivõrd aga süvareeperile 2 on omistatud mitu erinevat kõrgust nt 3,4940 (1974), 3,4760 (1983), 3,4910 (2003), 3,5000 (2017), siis võib eeldada just viimase kõrguste ebakorrektsust. Küsimus seisab vaid selles, kuidas suhtuda Rp2 põhinevatesse mõõtmistesse.

Siin võiks konstateerida:

- 1969 – 1982 sooritati hotelli Viru vajumisvaatlusi lähtudes reeperist 7, seega olid selle perioodi vajumisvaatluste tulemused korrektsed.
- Aprioorsetl võib eeldada ka, et Rp2 erinevad kõrgused ei tekkinud mitte reeperi tegelike kõrguste muutustest vaid Tallina kõrgusvõrgu ümbertasandamistest. Siinkohal peab mainima, et vajumisreeperite kõrguste muutmine suurema süsteemi ümbertasandamisel on lubatav vaid nii, et vajumise lähtereeperitele jäetakse kaks kõrgust – esialgne kõrgus vajumisvaatluste tarbeks ja linna süsteemi kõrgus kasutamiseks väljaspool vajumisvaatlusi.
- 2003. aastal tehti eelmistest sõltumatud Viru Ärikeskuse vajumisvaatlused, mis põhinesid Rp2 kõrgusel 3,4910 m. Ka 2017 – 2019 vaatluste andmed arvutati autori poolt ümber eeltoodud Rp2 kõrgusele. Sellele Rp2 kõrgusele tuleks ka edaspidi jääda, kuid edaspidistel vaatluste kordustsüklitel tuleks Viru Ärikeskuse puhul kindlasti sooritada kontrollkäik Rp2-Rp7-Rp8-Rp2 [2], [4]. Antud juhul see aitaks kindlaks teha, kas Rp2 oli/on püsiv. Siinjuures tuleks selle kõrguse juurde jääda, kui järjekordsed kõrguskasvud Rp7-Rp2 ja Rp8-Rp2 ei muutu üle lubatava väärtuse (2 mm). Viimase võib saada Ganšini [23] pakutud valemi järgi:

$$m = m_h \sqrt{2n} \quad (6.1)$$

kus:

m_h - nivelliiri jaama kõrguskasvu keskmise ruutvea asendame 2. klassi

vajumisvaatluste nivelliiri jaama lubatud veaga 0,5 mm:

n – käigu jaamade arv (11)

See annab nii käigu Rp7 – Rp2 kui ka käigu Rp8 – Rp7 jaoks 2,3 mm

2021. aasta kontrollkäigust (vt Joonis 6.9) saadud kõrguskasvud annavad küll Rp2 kõrguseks 3,486 m, kuid antud juhul on otstarbekas kasutada Viru Ärikeskuse andmete töötlusel tinglikku kõrgust 3,491 m (vähemalt esialgu), aga Hotell Viru vajumisvaatluste andmete töötlusel tinglikku kõrgust 3,494 m. Lähtereeperitele tingliku kõrguse andmine on lubatud nende kaugusel riikliku süsteemi reeperitest üle 2 km, kuid antud juhul (olgugi väiksemal kaugusel) on see otstarbekas ja võib lugeda lubatavaks.



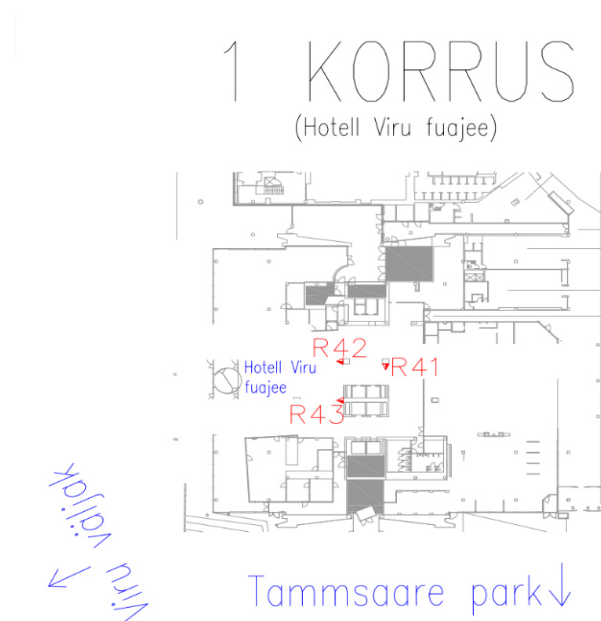
Joonis 6.9 Viru2-Rp7-Rp8-Viru2 kontrollmöödistus 2021. aasta märtsis.

6.2 Vajumisreeperid

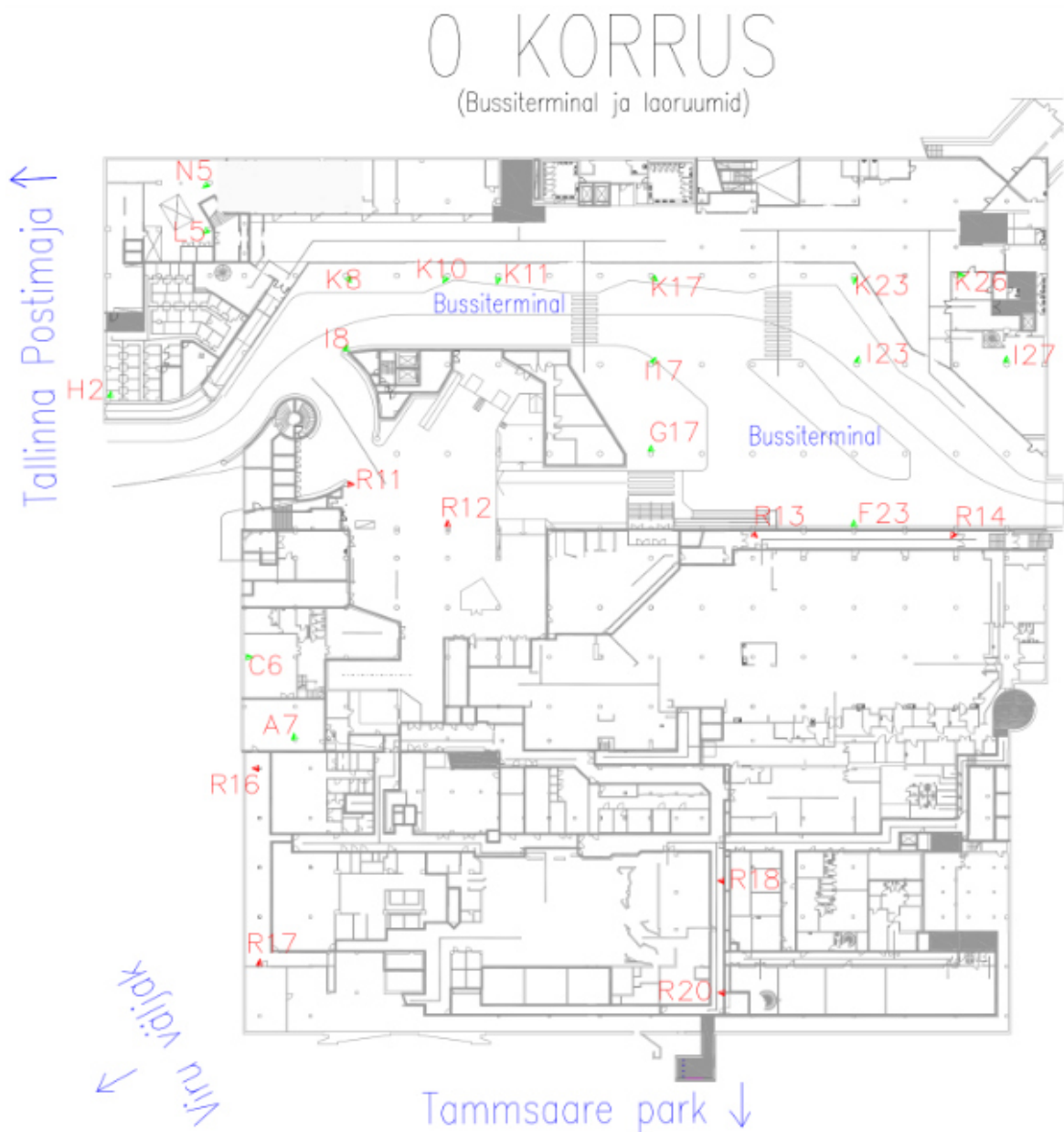
Viru hotelli ja Viru Ärikeskuse kandvate postide külge paigaldati vajumisreeperid, millest vanimad (Viru hotelli ehituse aastatest) on enamikus hävinud. Viimased säilinud vajumisreeperid asendati 2017. aastal uute märkidega, kuna hotelli renoveerimistöde käigus olid need muudetud kasutuskõlbmatuks. Koos Viru Ärikeskuse ehitusega, paigaldati sellesse hoonesse esimesed reeperid 2003. aasta jaanuaris. Vastavalt reeperite hävimisele on aastate jooksul pidanud neid asendada uute kõrgusmärkidega ning seetõttu on pikemaajalisem vajumisvaatluse järjepidevus terve Viru hotelli ja Viru keskuse lõikes olnud häiritud.

Hoonetekompleksi kõrgusliku vajumise jälgimiseks on paigaldatud 2003. aastal 39 vajumisreeperit, millest tänaseni on säilinud 16. Sellele lisaks paigaldati 2017. aastal lisaks juurde 11 reeperit. Reeperite paigutuses on lähtutud sellest, et nad paikneksid kandev-konstruktsioonides ning oleksid mõõdistustöödeks ligipääsetavad.

Kõrgiplokis 2017. aastal taastatud reeperite ja enne 2017. aastal rajatud vajumisreeperite asendiskeemid on toodud joonistel 6.10 ja 6.11. Käesoleval ajal kajastavad kõrgploki vajumist reeperid Rp41, Rp42 ja Rp43.



Joonis 6.10 Reeperite asendiskeem. Hotelli „Viru“ kõrgplokis paiknevad vajumisreeperid R41, R42 ja R43. Antud vajumisreeperid on taastatud 2017. aastal. [24]



Joonis 6.11 Reeperite asendiskeem. Viru keskuse ja hotell „Viru“ keldriruumides paikneb 25 vajumisreeperit, mis paigaldati koos Viru keskuse ehitusega 2003. aastal kuid erinevatel kuudel. [24]

Viru hotelli ja Viru keskuse vundamendi postide külge on paigaldatud kahte tüüpi vajumisreeperid (messingist peaga M8x22 ja roostevabast terasest ümara peaga M22x130).

Messingust peaga vajumisreeperid on paigaldatud asukohta nr R11, R12, R13, R14, R16, R17, R18, R19 ja R20. Vt. Joonis 6.12.



Joonis 6.12 Viru keskuse ja hotelli kandvate postide külge paigaldatud reeperitüüp. Messingust peaga M8x22. [14]

Roostevabast terasest ümara peaga vajumisreeperid on paigaldatud asukohta nr R41, R42 ja R43. Vt joonis 6.13.



Joonis 6.13 Viru keskuse ja hotelli kandvate postide külge paigaldatud reeperitüüp. Roostevabast terasest ümara peaga M22x130. [14]

7. EKSPLOATATSIOONIPERIOODI KIRJELDUS, VAREM TEHTUD VAJUMISVAATLUSED

Vanimad mõõdistusandmed pärinevad 1969. aastast, kui RPI „Eesti Projekt“ määras Hotell Viru vundamendis paiknevatele reeperitele esimesed kõrgused. Korpuste vajumiste võrdluseks kasutati põhiliselt kolme reeperit, milleks olid Rp 28 (vestibüüli korpuse piirkond), Rp 32 (kohviku piirkond) ja RP 19 (kõrghoone piirkond). Antud reeperid tänaseni säilinud ei ole.

1972. aastal, kui esimesest baasmõõtmisest oli möödas 2,2 aastat, näitasid tulemused, et vestibüüli plokki (nimetatud ka terrassiks) piirkond oli vajunud 75 millimeetrit, kohviku piirkond 52 millimeetrit ning kõrghoone piirkond 41 millimeetrit. Sellest järeldus, nagu arvatagi võis, et kõrghoone osa, mille vundament ulatub kõige sügavamale, oli ka kõige vähem vajunud. Kõige suurem vajumine toimus just hotelli valmimise esimestel aastatel, mis on hoonete ehitusel tavapärane.

1975. aasta andmed näitavad selget vajumiste vähenemist. Suurim vajumine toimus taas vestibüüli korpuse osas, mis ligikaudu 4 aasta jooksul vajus 45 millimeetrit. Kohviku piirkond vajus 30 millimeetrit ning kõrghoone osa kõigest 13 millimeetrit (vt Tabel 7.1).

1983. aastal võttis Hotell Viru vajumite uurimise enda kanda Riiklik Ehitusuuringute Instituut. Eelmisest vajumisuuringust oli möödas juba 7,4 aastat. Vajumisvaatlus viidi läbi vastavalt II klassi nivelleerimisnõuetele. Instrumendina kasutati Zeiss Ni 007 nivelliiri koos 1,8 meetrise invarlatiga. Nivelleerimiskäigud olid kinnised ning tasandati prof. Popovi meetodiga. Lubatud sulgematus määrati valemiga:

$$\pm 0,5\sqrt{n} \quad (\text{mm}) \text{ kus } n \text{ on jaamade arv.}$$

[Riiklik Ehitusuuringute Instituut, 1983] väitis, et kui eelnevate aastate vajumiste lähtereeperina oli kasutatud süvareeperit nr 7, siis 1983. aastal tuli antud reeper Viru Hotelli vajumiste uurimisest välja jätta, kuna varasemad andmed (1969. kuni 1983. aasta), viitavad antud reeperi vajumisele. Seetõttu kasutati lähtereeperina reeperitekambris paiknevat süvareeperit nr 2. Edaspidi kasutati kõigi vajumisuuringute lähtereeperiks sama reeperkambriga süvareeperit. Teiselt poolt on teada, et 1980. a toimus GUGK egiidi all ülelinnalise II klassi kõrgusvõrgu rajamine [11], mille käigus said olemasolevad reeperid, tõenäoliselt rp7, rp8 ja ka kõik Viru kambris olevad reeperid uued kõrgused. Selle võrgu parameetreid kontrollida ei saa, sest andmetele puudub juurdepääs. Siinjuures on aga teada, et rp7 kõrgus 1979/80 andmetel oli 6,158 m ja Rp8 kõrgus 1986 andmetel oli 7,083 m, st kõrguskasv h_{7-8} oli +0,925 m,

aga Planser AS 2010. aastal saadud kõrgused EH2000 süsteemis olid vastavalt 6,407 m ja 7,333 m, st kõrguskasv h_{7-8} oli +0,926 m. **Seega näib, et reeperid 7 ja 8 olid siiski vähemalt perioodil 1979 kuni käesoleva ajani püsivad.**

1983. aasta mõõdistustulemustest selgus, et Hotell Viru on vajunud 1969. aastaga võrreldes järgnevalt: vestibüülikorpus oli taas suurima vajumiga, 34 millimeetrit. Kohvikupiirkond vajus 26 millimeetrit ja kõrghoone osa 15 millimeetrit.

Tabel 7.1 Aastal 1983 teostatud vajumisvaatluste võrdlus varasemate mõõdistustega. [25]

Mõõtmise aeg	Terrass Rp. 28		Kohvik Rp. 32		Kõrghoone Rp. 19	
	Vajum (mm)	Vajumiskiirus (mm/a)	Vajum (mm)	Vajumiskiirus (mm/a)	Vajum (mm)	Vajumiskiirus (mm/a)
01.11.1969 kuni 06.01.1972	75	34,1	52	23,6	41	18,6
06.01.1972 kuni 26.12.1975	45	11,5	30	7,7	13	3,3
26.12.1975 kuni 19.05.1983	34	4,6	26	3,5	15	2,0

Märkus: Rp. 19 esimene ajavahemik on 09.09.1969 kuni 06.01.1972

Viru hotelli kõrvale parkla asemele hakati uut kaubanduskeskust (Viru Ärikeskust, edaspidi Viru keskust) rajama 2002. aasta suvel ning 2003. aastal võttis Viru keskuse vajumisvaatlused enda kanda AP Geodeesia OÜ. Ettevõtte paigaldas kokku 40 vajumisreeperit, millest vundamendipostide külge pandi 19 reeperit, postidele 7 reeperit ja rostvärkidele 14 reeperit. Kokku teostati 2003. kuni 2004. aastal kaheksa tsükli jagu mõõtmisi.

Lähiajal on Viru keskuse ja Viru hotelli vajumisreeperite uuringut läbi viidud Geo S.T. OÜ ning seda kolmel korral: 2017. aasta aprill, 2018. aasta aprill ning 2019. aasta juuli.

Tabel 7.2 Viru reeperkambri reeperid koos kõrguste ja maapinda ulatuvate ankrute sügavustega. [26]

Rp nr	Sügavus (m)	H(Balti77)* (m)
Viru1	47.50	3.4875
Viru2	48.15	3.5004
Viru3	28.15	3.4695
Viru4	26.45	3.4750
Viru5	8.50	3.4957
Viru6	4.50	3.4882

*Reeperite teoreetilised kõrgused Balti77 kõrgussüsteemis (transformeeritud EH2000-st)

2017. aasta möödustööde käigus selgus, et hotell Viru fuajee kaasajastamisel olid reeperitega (nr. R41-R43) kandepostid kaetud kiviplaatidega ja reepereid ei saanud enam latiga mööta. Reeperite koonused ei ulatunud piisavalt välja, et sinna mõttelatti saaks asetada. Vanad reeperid eemaldati ja paigaldati uued, kuid pikemad roostevabast terasest koonuspeaga vajumisreeperid. Lugemid fikseeriti uutelt reeperitelt ja tulevastes vajumisvaatlustes jäävad saadud mõõtmisandmed esmasteks e. 0 mõõtmisteks. Viru Keskuse keldris oli säilinud 15 reeperit, millest 13 olid mõõdetavad. Suurimad vajumid tuvastati reeperitel R1, R2 vastavalt 51 mm ja 40 mm, st ~ 3 mm/a, ülejäänud reeperid on vajunud 7 – 24 mm, st kuni 1,5 mm/a, kusjuures perioodil 2017-2018 reeperid vajusid võrdlemisi ühtlaselt 4 – 5 mm, aga vahemikus 2018 – 2019 näitavad tõusu 0,5 – 2,0 mm. **Tulemus jääb juba mõõtmisvigade piirimaile ja näib, et vajumine on stabiliseerumas.**

Vajumisreeperite võrdlustabel vt Tabel 7.3. Vajumisgraafikud vt Graafikud 7.1 – 7.6 ning Lisa 3.

Reeperid asuvad hoone kandepostides, mis toetuvad puurvaiadega üksikroostvärkidele. Kõrgosa toetub roostvärgile, mille vaiad ulatuvad 20 meetri sügavusele; vestibüül ja kahekorruseline hooneosa toetuvad vundamendile. Objekti geodeedi suulisest seletusest selgus, et vaiad süvistati ettenähtud vaste saavutamiseni mitmesugusele sügavusele (kuni 50 m). Võib eeldada, et R1 ja R2 piirkonnas, mis asub reeperikambri vahetus ligiduses, kartes reeperikambri süvareepereid kahjustada, ei puuritud vaiasid väga sügavale, ja selle tõttu nende reeperite vajumid on teistest tunduvalt suuremad. Teiseks asub R1 ja R2 kohal Ärikeskuse kõrgeim plokk, mis samuti võib põhjustada suuremat vajumist.

Täpsemaid järeldusi saab teha siis, kui on sooritatud vaatlusi ka edaspidi. Sügavaimad reeperid nr Viru1 ja Viru2, vastavalt 47,5 m ja 48,15 m sügavusel on aga tõenäoliselt stabiilsed ja ajas märkimisväärseid mõjutusi ei ole saanud.

Suurema usaldusväarsusega andmete saamiseks tuleks vaatlusi kindlasti jätkata kusjuures igas tsüklis siduda ka reeperid Rp2, Rp7 ja Rp8 ringkäiguga ja selgitada vajadusel nende püsivust Costacheli meetodil. Teiseks tuleks igas tsüklis ka siduda omavahel kõik reeperikambri reeperid.

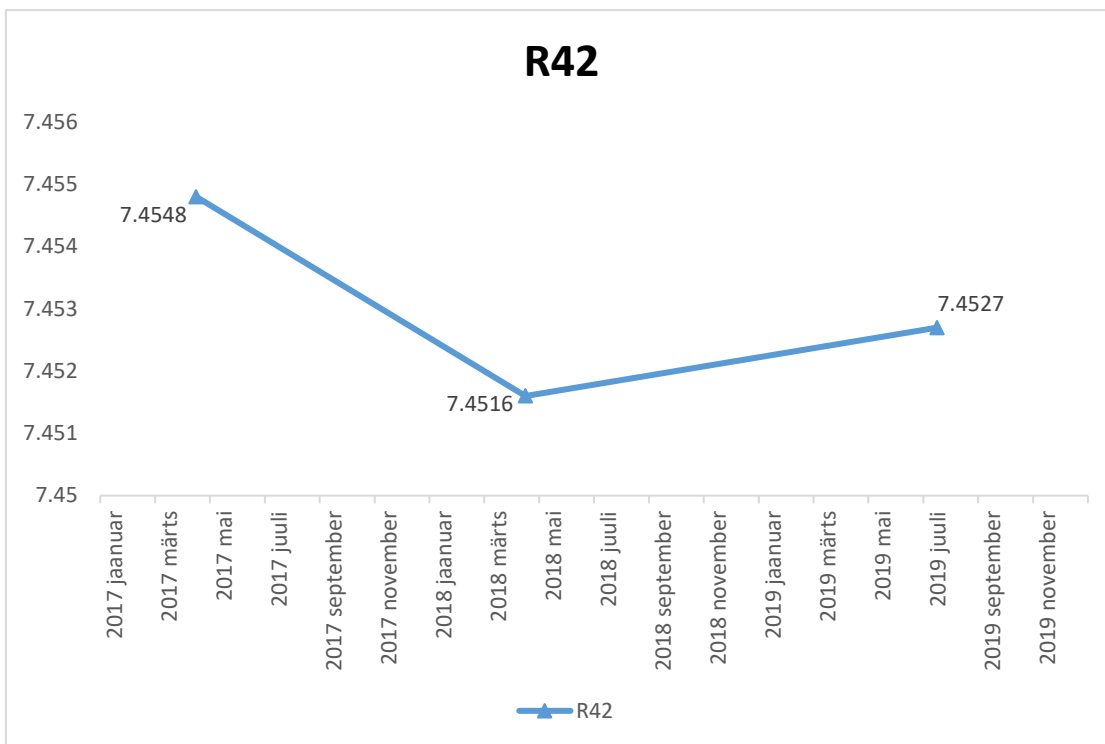
Vajumisreeperite võrdlustabel

Jrk nr	RP nr (ajutine)	VAJUMID												RP nr (ametlik)	Asukoht											
		I 1974 dets H (m)	II 1983 mai H (m)	III 2003 jaan H (m)	IV 2003 veeb H (m)	V 2003 märts H (m)	VI 2003 mai H (m)	VII 2003 juuli H (m)	VIII 2003 aug H (m)	IX 2003 okt H (m)	X 2004 okt H (m)	XI 2017 apr H (m)	XII 2018 apr H (m)			XIII 2019 juuli H (m)	uus XII -VII uues XII -VIII uues XII -IX uues XII -X uues XII -XI uues XIII-XII 2018-2017 2019-2018 (mm)									
1	RP 2	3.4940	3.4760	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	3.4910	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RP 2	Reeperkamber	
2	R1					1.94504	1.86787	1.94504	1.9403	1.9083	1.9031	1.9042	1.9042	1.9042	-51.0	-46.2								L5		
3	R2					1.86787	1.8639	1.8639	1.8639	1.8413	1.8365	1.8376	1.8376	1.8376	-40.4	-36.4									N5	
4	R3					2.22686	2.2248	2.2248	2.2248	2.2169	2.2126	2.2147	2.2147	2.2147	-23.2	-21.1	-11.4								K8	
5	R4					2.08024	2.0778	2.0778	2.0778	2.0688	2.0648	2.0664	2.0664	2.0664	-24.4	-21.9									K10	
6	R5					1.95266	1.9505	1.9505	1.9505	1.9477	1.9428	1.9448	1.9448	1.9448	-18.8	-16.6	-11.2								K11	
7	R6					1.96428	1.9614	1.9614	1.9614	1.9585	1.9568	1.9581	1.9581	1.9581	-16.5	-13.5	-10.7								K17	Viru Keskus (kelder)
8	R7					1.94953	1.9455	1.9455	1.9455	1.9401	1.9376	1.9389	1.9389	1.9389	-19.1	-16.9	-11.5								I17	
9	R8					2.05903	2.0575	2.0575	2.0575	2.0588	2.0530	2.0554	2.0554	2.0554	-15.0	-13.5	-10.3								G17	
10	R9					2.01176	2.0098	2.0098	2.0098	2.0138	2.0091	2.0102	2.0102	2.0102	-11.7	-9.7	-7.8								K23	
11	R10					2.06628	2.0655	2.0655	2.0655	2.0731	2.0684	2.0700	2.0700	2.0700	-6.9	-6.2									F23	
12	R11									2.3262	2.3217	2.3234	2.3234	2.3234											R11 (uus)	
13	R12					2.0148	2.0148	2.0148	2.0148	2.2508	2.2467	2.2484	2.2484	2.2484											R12 (uus)	
14	R13					2.0257	2.0257	2.0257	2.0257	3.4424	3.4381	3.4395	3.4395	3.4395											R13 (uus)	
15	R14					3.5747	3.5747	3.5747	3.5747	3.4103	3.4066	3.4078	3.4078	3.4078											R14 (uus)	
16	R15																								C6	
17	R16									3.3701	3.3661	3.3668	3.3668	3.3668											R16 (uus)	Viru Hotell (kelder)
18	R17									3.3457	3.3415	3.3420	3.3420	3.3420											R17 (uus)	
19	R18									4.2261	4.2217	4.2231	4.2231	4.2231											R18 (uus)	
20	R20									4.2297	4.2247	4.2259	4.2259	4.2259											R20 (uus)	
21	R22									2.1199	2.1144	2.1159	2.1159	2.1159											I8	
22	R23									1.9478	1.9451	1.9448	1.9448	1.9448											I23	
23	R24									2.0076	2.0036	2.0076	2.0076	2.0076											K26	Viru Keskus (kelder)
24	R25									2.02104	2.01754	2.01457	2.01457	2.01457											I27	
25	R30									4.4895	4.488	4.488	4.488	4.488											A7	Viru Hotell (kelder)
26	R41									8.0358	8.0328	8.0330	8.0330	8.0330											R41 (uus)	
27	R42									7.4548	7.4516	7.4527	7.4527	7.4527											R42 (uus)	Viru Hotell (I krs.)
28	R43									7.4503	7.4473	7.4482	7.4482	7.4482											R43 (uus)	
29	H2									1.99245	1.9882	1.99245	1.99245	1.99245											H2	Viru Keskus (kelder)

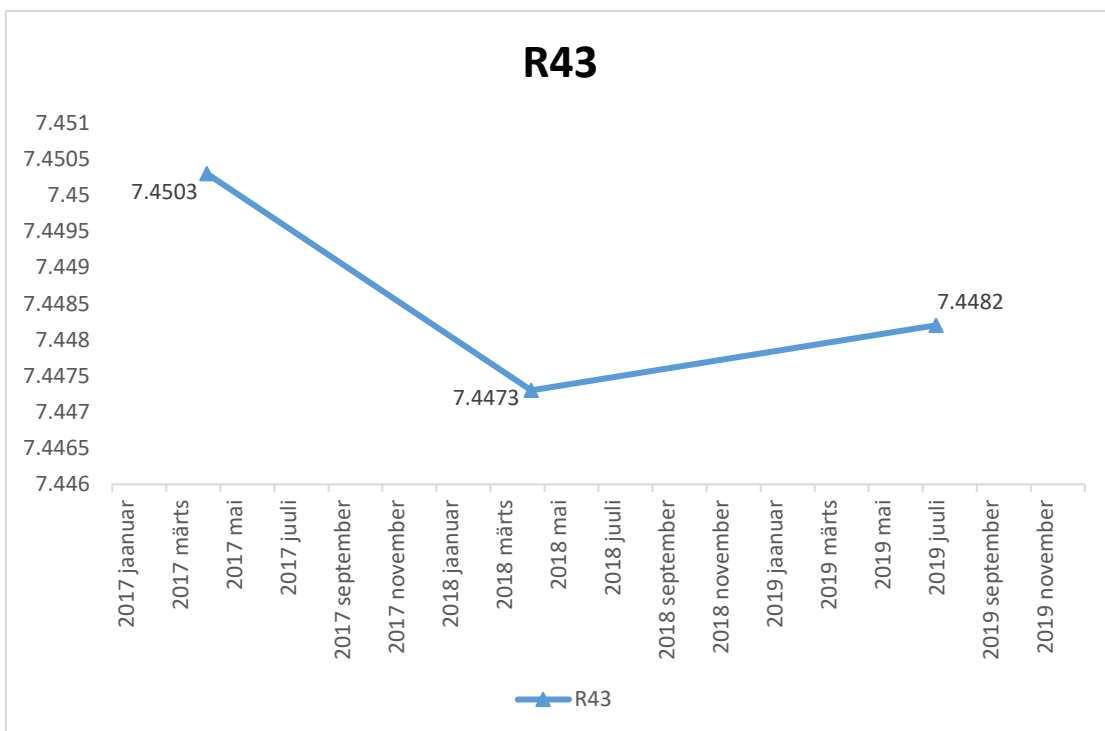
Tabel 7.3 Vajumisreeperite võrdlustabel [24]

EKSPLIKATSIOON:

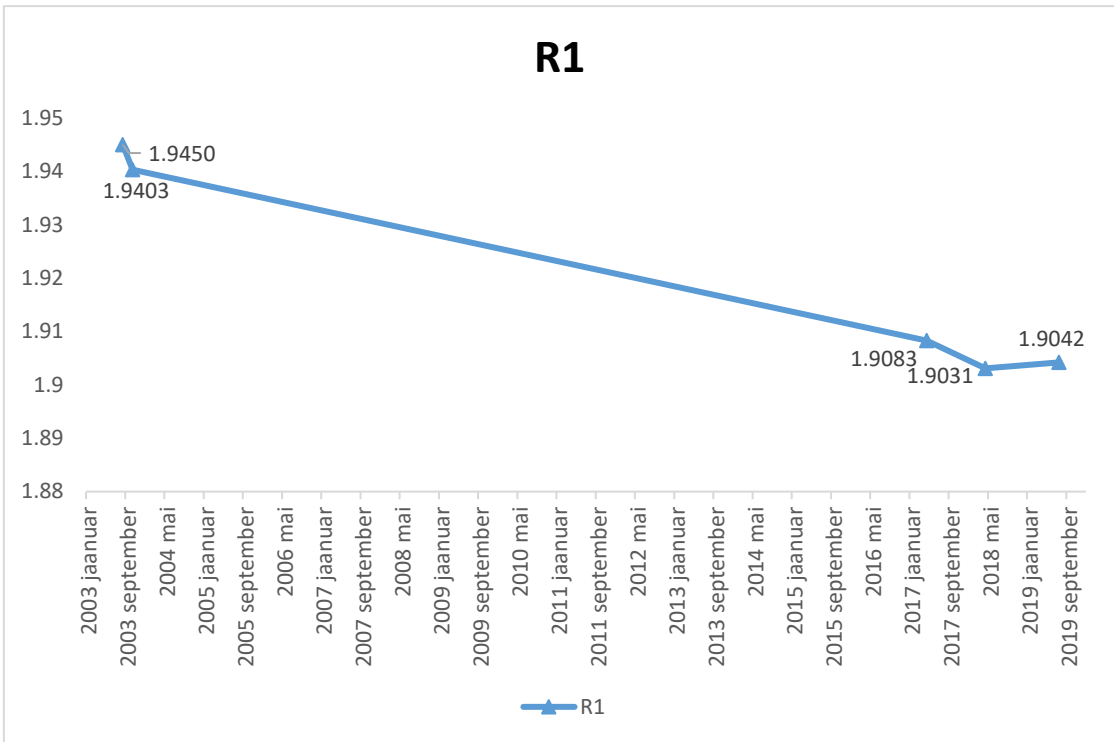
- 3.4910 Lähtereperi kõrgus (Balti 1977a. kõrguste süsteemis)
- 22.6 Vajum (võrdlus viimase ja varasema mõõtmiste vahel)
- 1.9173 Vajumisreeperi kõrgus (Balti 1977a. kõrguste süsteemis)



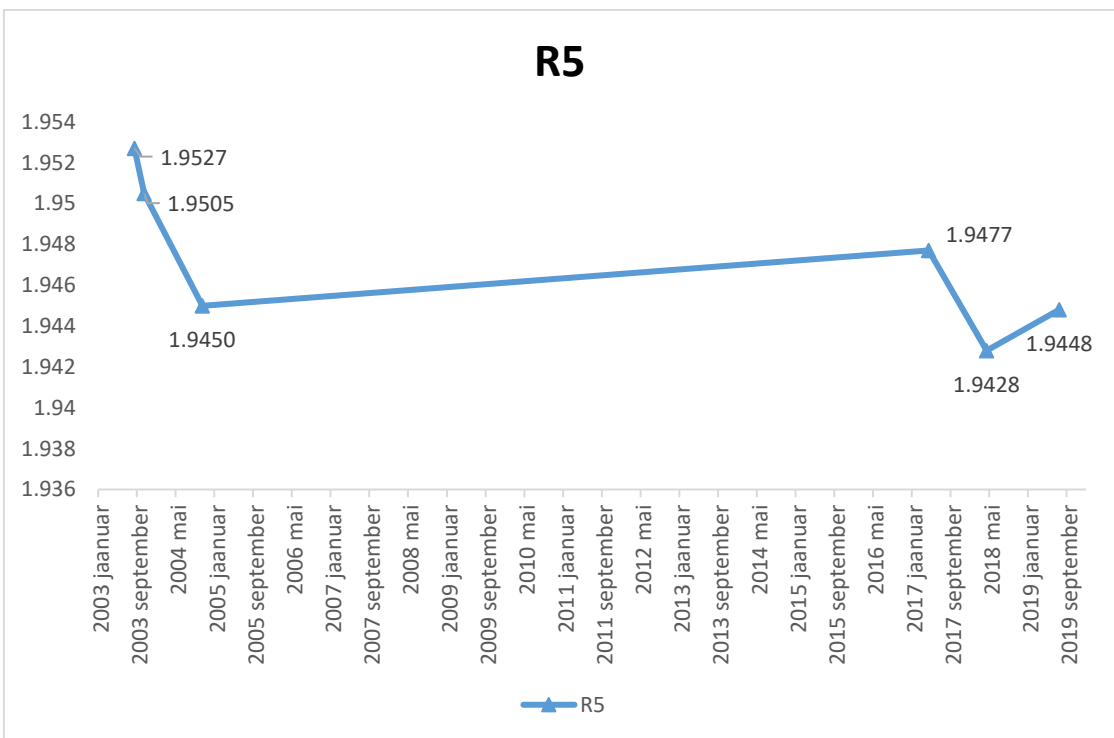
Graafik 7.1 Viru hotelli kõrgosa 1. korrusel paikneva vajumisreeperi R42 vajumisgraafik 1974 a. -2019 a.



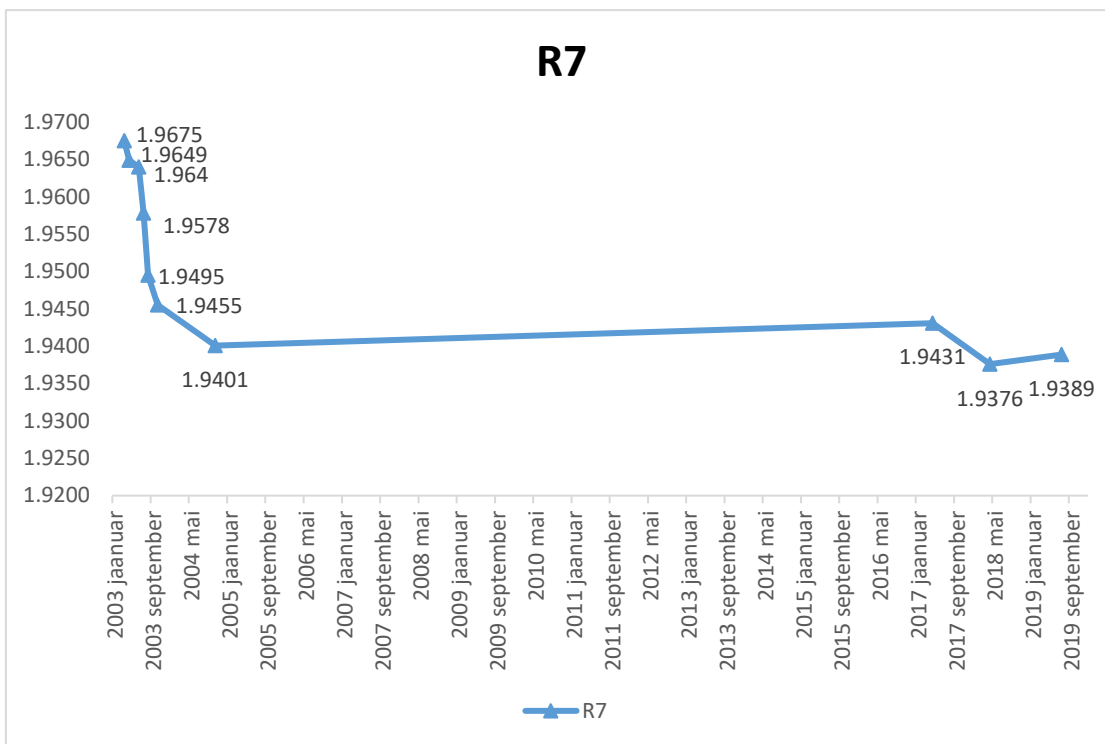
Graafik 7.2 Viru hotelli kõrgosa 1. korrusel paikneva vajumisreeperi R43 vajumisgraafik 1974 a. -2019 a.



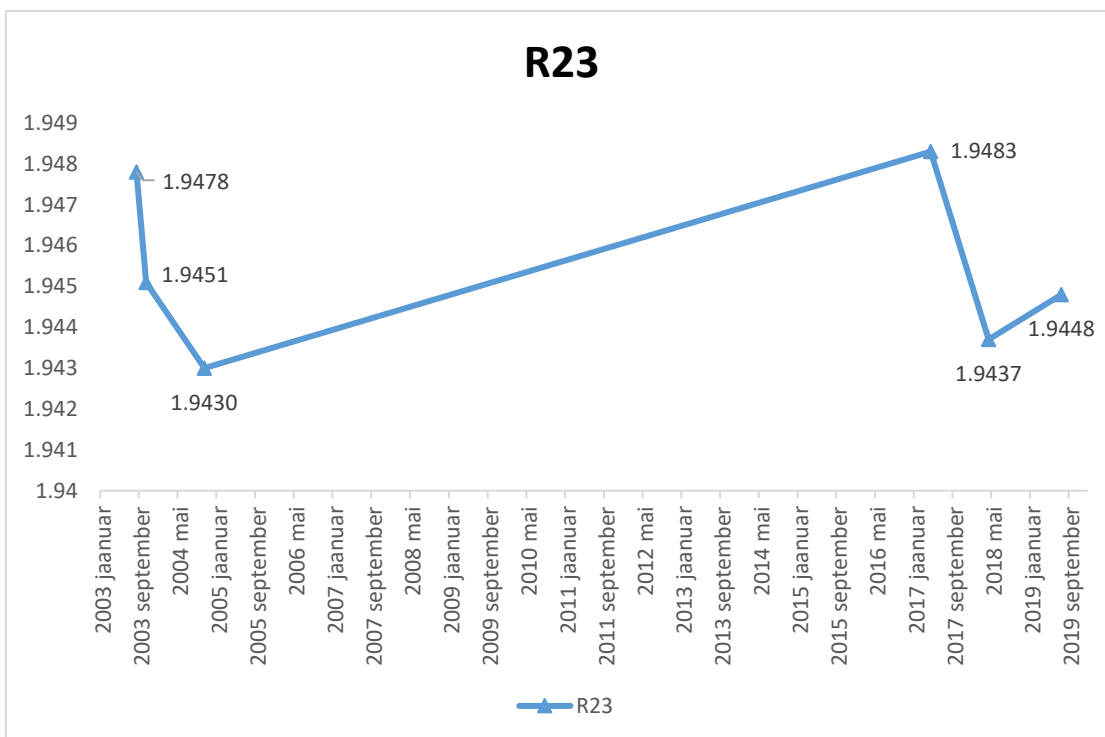
Graafik 7.3 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R1 vajumisgraafik 2003 a. –2019 a.



Graafik 7.4 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R5 vajumisgraafik 2003 a. –2019 a.



Graafik 7.5 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R7 vajumisgraafik 2003 a. –2019 a.



Graafik 7.6 Viru keskuse keldrikorrusel paikneva vajumisreeperi R23 vajumisgraafik 2003 a. –2019

8. XIII TSÜKLI VAJUMISVAATLUSED

8.1 Vajumisvaatluste kirjeldus

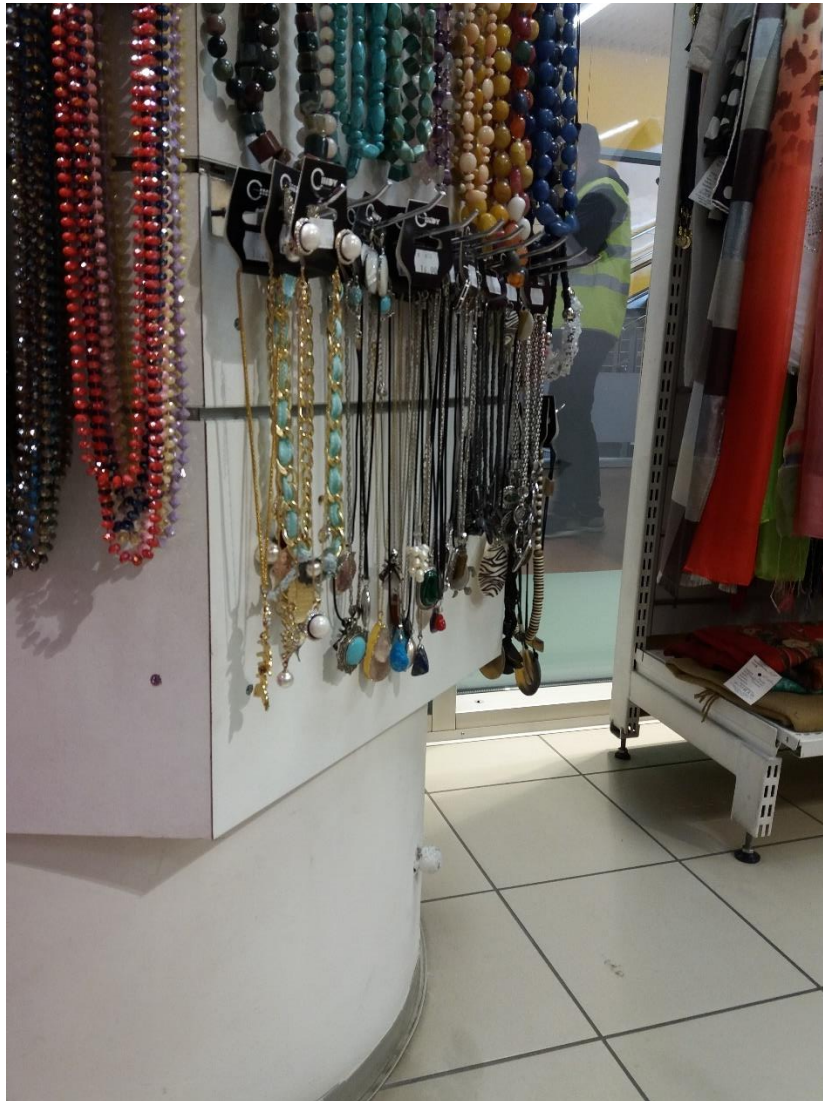
Käesolevas peatükis käsitletakse viimaseid mõõdistusandmeid, mis pärinevad aastast 2019, XIII tsükli vaatluse käigus (vt Joonis 8.1) teostati kolm kinnist nivelleerimiskäiku, kus lähtereeperina kasutati Viru reeperite kambris paiknevat süvareeperit nr 2 (edaspidi nimega Viru2). Kui 2017. ja 2018. aasta mõõtmised toimusid autori osavõtul, kuid vanema töötäitja juhendamisel, siis XIII tsükkel toimus autori juhtimisel.



Joonis 8.1 XIII tsükli vajumisvaatlused 2019. aastal

2019. aastal oli kõrgusmärkidest säilinud ning mõõdetavad 24 reeperit, millest 21 asetsevad Viru keskuse keldriruumides. Kõrgosa esimesele korrusele jäävad reeperid 41, 42 ja 43.

Tulenevalt eksploateeritava hoone kandekonstruktsioonides paikivate reeperite asukohtadest, olid mõõdistuse ajal neli reeperit ligipääsmatud. Reeperid C6 (Rp 15) ja H2 asusid mõõdistustööde ajal lukustatud ligipääsmatus ruumis. Reeper I27 (R25) kohale oli ehitatud torusüsteem ning reeperi K26 (R24), kohale oli paigaldatud rippkonstruktsioon, mistõttu ei olnud võimalik lugemilatti reeperi peal loodis hoida (vt Joonis 8.2).



Joonis 8.2 Reeperi R24 kohale rajatud konstruktsioon, mille tõttu ei olnud võimalik seda kasutada.

Möödistustööd viidi läbi digitaalnivelliiriga Trimble DiNi 0.3 koos 2 meetriste invarvöötkoodlattidega LD11 ja LD12. Käigu lubatud sulgematus arvutati valemiga:

$$f = \pm 0,5\sqrt{n}, \text{ kus } n \text{ on jaamade arv.} \quad (8.1)$$

Sidepunktides kasutati lattide alustena nivelleerimiskonnasid. Arvestades tööd järgal alusel oli see lubatav. Vaatluste järjekord jaamas oli TEET (Tagasi – Edasi – Edasi – Tagasi).

Möödistustulemused tasandati Trimble DiNi 0.3 (vt Joonis 8.3) instrumenti sisseehitatud tarkvara abil.



Joonis 8.3 Trimble DiNi 0.3 koos invarvötkoodlatiga Viru fuajees paikneva reeperi R42 juures.

Tabel 8.1 Digitaalnivelliir Trimble DiNi 0.3 tehnilised andmed [26]

Digitaalnivelliir	Trimble DiNi 0.3
Pikksilma suurendus	32×
Ümarvesiloe tundlikus	8' / 2mm
Kompensaatori tööpiirkond	± 15'
Kompensaatori täpsus	± 0,2"
Kõrgusmõõtmise täpsus	0,01 mm
Kaugusmõõtmise täpsus	1 mm
1 km edasi-tagasi keskmine ruutviga	± 0,3 mm
Möödistamisaeg	3 sek
Temperatuuri tööpiirkond	- 20°C kuni + 50°C
Niiskus- ja veekindlus	IP55
Seerianumber	706338

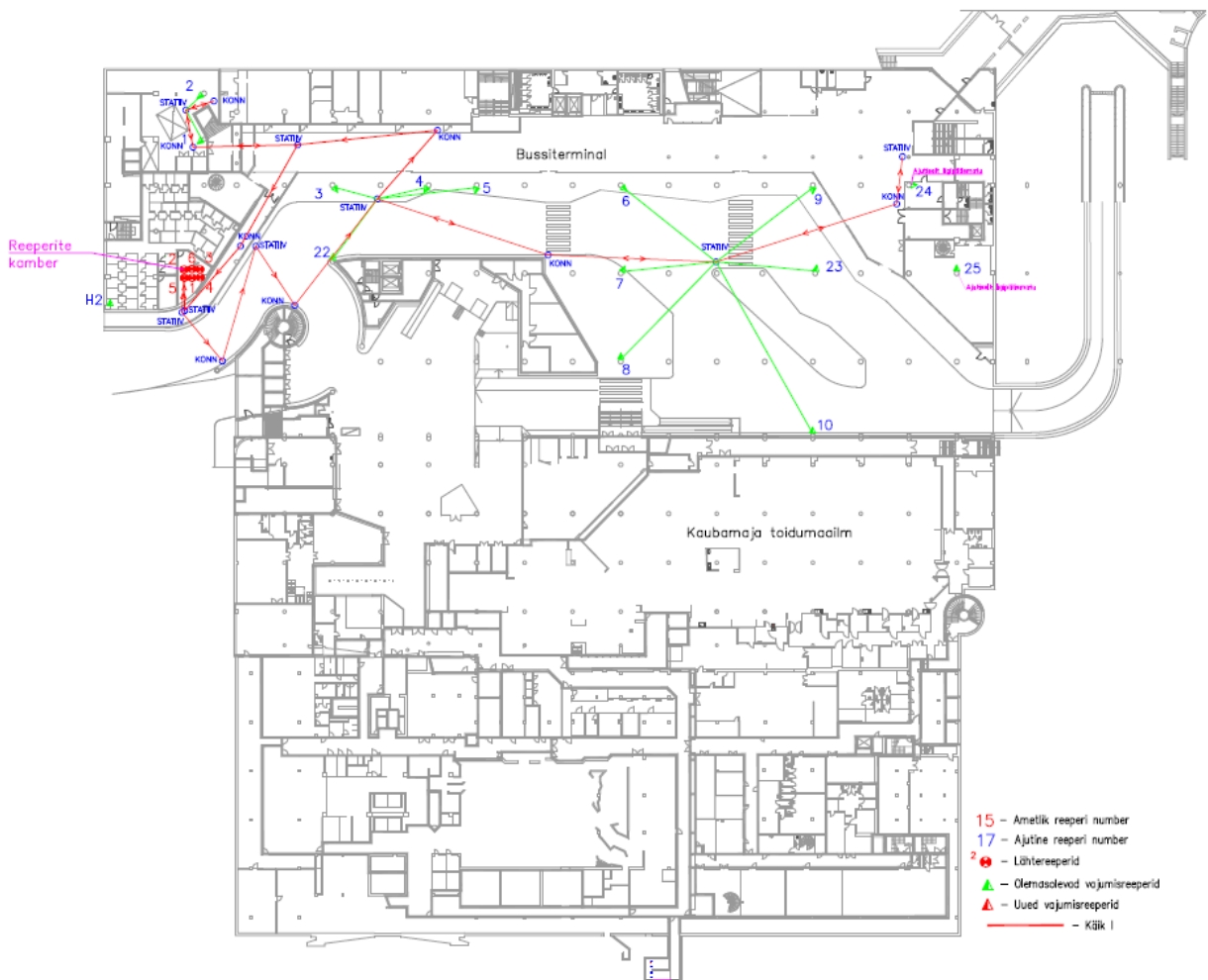
Enne iga nivelleerimistöo algust teostati instrumendile (Trimble DiNi 0.3) ning invarvöotkoodlattice (LD11 ja LD12) ülevaatus, mille käigus kontrolliti:

- nivelliiri ja statiivi üldist seisukorda,
- nivelliiri ja lattice paigaldamise vesiloodide õigsust,
- nivelliiri viseerimiskiire automaatse horisonteerimise keskmise ruutvea ja kompensatori täpsuse määramist. Kasutati Näbaueri meetodit (vt Joonis 8.4).



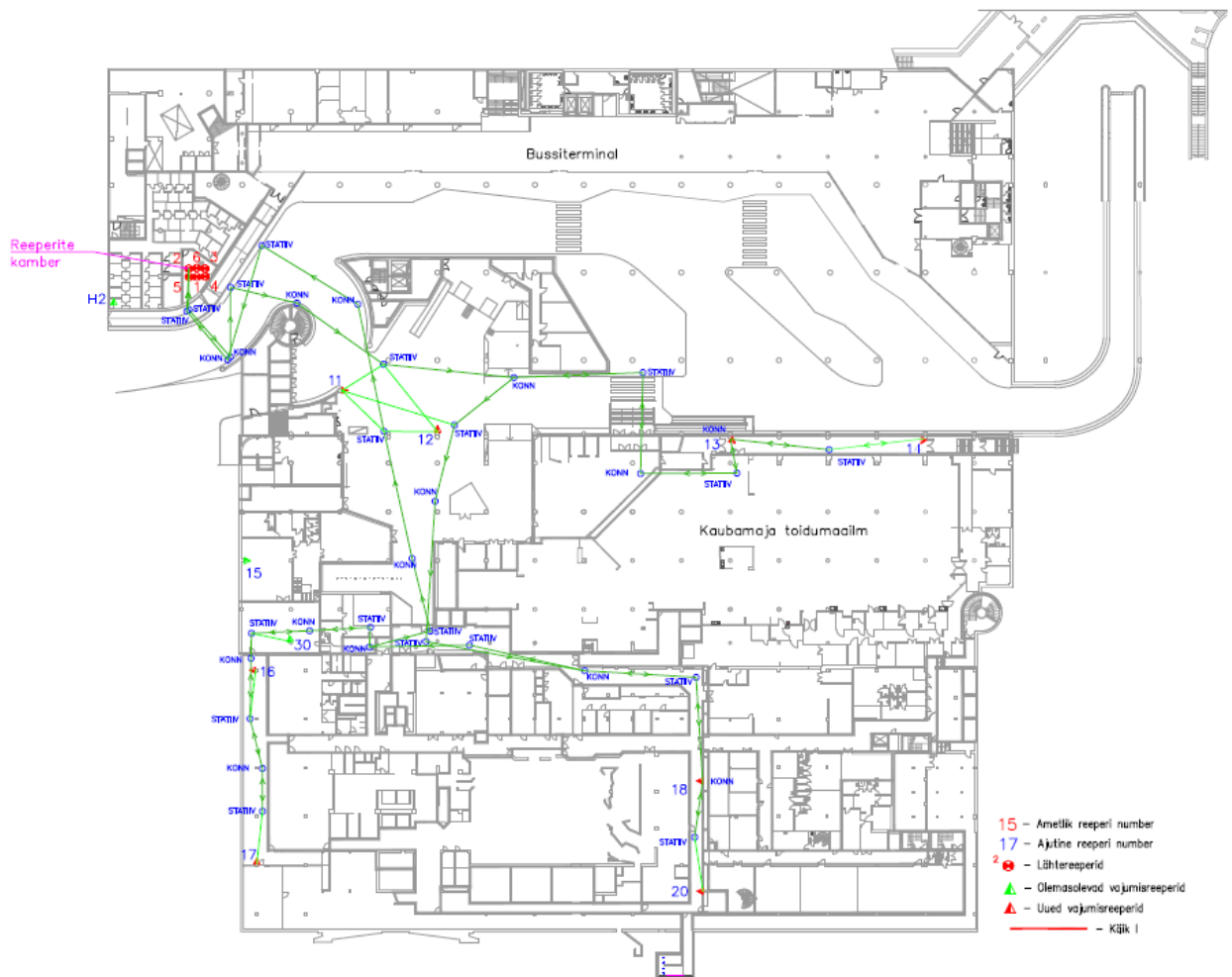
Joonis 8.4 Nivelliiri kontrollimine Näbaueri meetodil.

Käigu I abil mõõdeti Viru keskuse keldriruumides ja bussiterminalis paiknevad reeperite kõrgused. Käigu sulgematus oli +1,22 millimeetrit (Lubatud sulgematus $\pm 1,73$ millimeetrit). Jaamade arv polügoonis oli 12. Käigu I mõõtmise skeem – vt Joonis 8.5.



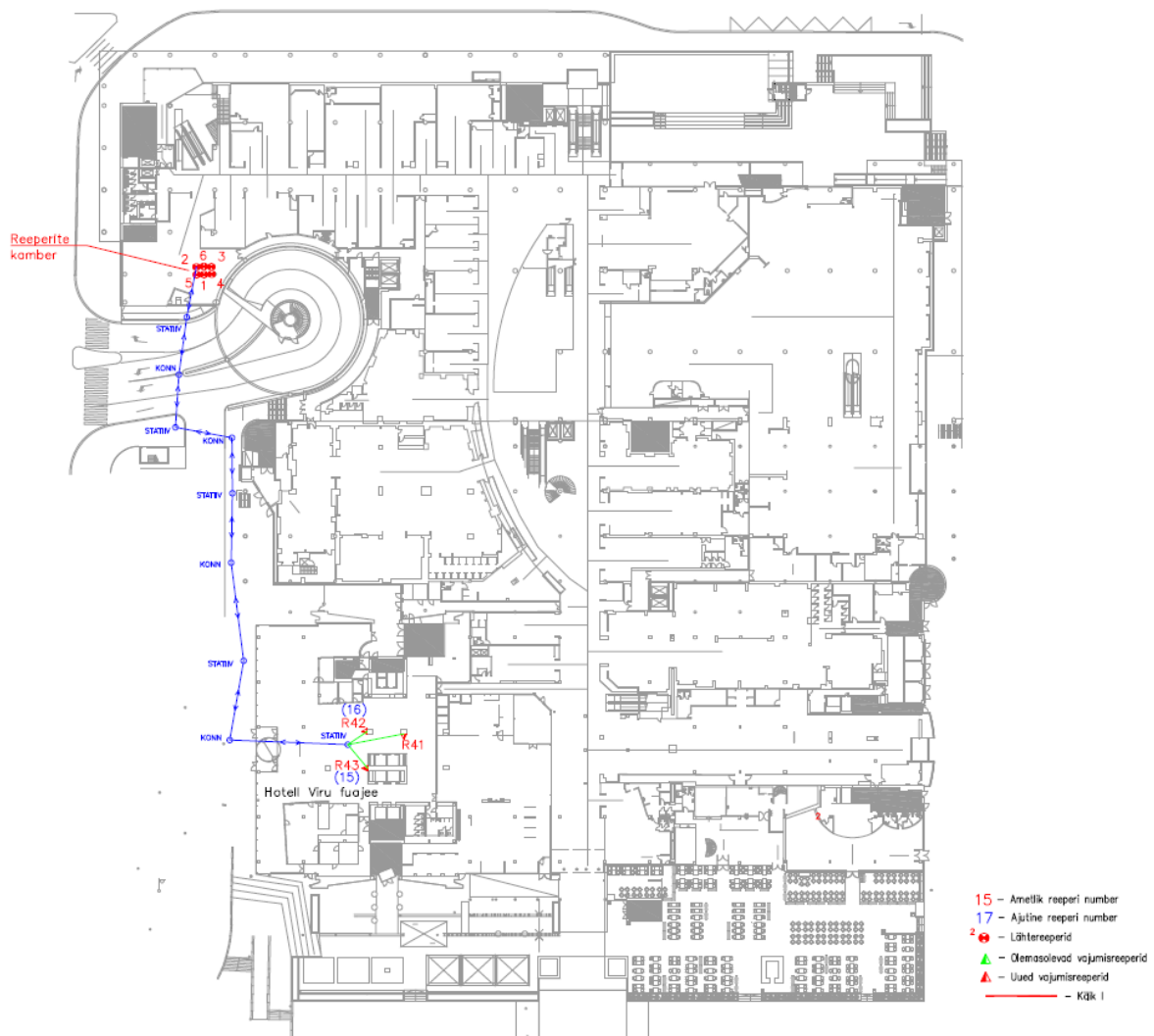
Joonis 8.5 XIII tsükli vajumisvaatluse nivelleerimiskäik nr I. Lähtereeperina on kasutatud Viru kambriereperit nr 2. Käik kulgeb Viru keskuse bussiterminali ulatuses ning hõlmab endas 13 vajumisreeperi mõõtmist. [24]

Käigu II abil mõõdeti Viru hotelli keldriruumides paiknevad reeperid. Käigu sulgematus oli -0,47 millimeetrit (Lubatud sulgematus $\pm 2,65$ millimeetrit). Jaamade arv polügoonis oli 28. Käigu II mõõtmise skeem – vt Joonis 8.6



Joonis 8.6 XIII tsükli vajumisvaatluse nivelleerimiskäik nr II. Lähterepeerina on kasutatud Viru kambriereperit nr 2. Käik kulgeb läbi Viru keskuse ja Viru hotelli keldrikorrust ning hõlmab endas 9 vajumisreepere mõõtmist. [24]

Käigu III abil mõõdeti „Viru“ hotelli 1. korruse fuajees paiknevad kolm reeperit. Käigu sulgematus +0,35 millimeetrit (Lubatud sulgematus $\pm 1,5$ millimeetrit). Jaamade arv polügoonis oli 9. Käigu III mõõtmise skeem – vt Joonis 8.7.



Joonis 8.7 XIII tsükli vajumisvaatluse nivelleerimiskäik nr III. Lähtereeperina on kasutatud Viru kambriereperit nr 2. Käiguga minnakse läbi Hotell "Viru" fuajee, kus paikneb kolm vajumisreeperit. [24]

2019. aasta mõõtmistulemustest selgub, et vaatlusreeperid ei ole aastase perioodi jooksul vajunud. Kõik reeperid on 2018. aasta mõõdistuse suhtes tõusnud vahemikus 0,5 – 2,3 millimeetrit (lähtereeperi Viru2 suhtes), mis võib olla tingitud erinevatel aastaegadel toimunud sademetest ja ka mõõtmisvigadest, mille suurusjärku nad suures osas jäävad.

2017.-2018. aastal viidi mõõdistused läbi kevadel (aprill kuni mai). 2019. aastal aga suvel (juuli). Ärikeskuse reeperid asuvad hoone kandepostides, mis omakorda roostvärkidel, mille vaiad on süvistatud kuni nõutava vaste saamiseni, kohati kuni 50 meetri sügavuseni. (AP Geodeesia OÜ geodeedi suuline ütlus). Sügavaimad Viru kambriereeperid nr Viru1 ja Viru2, ankrutega vastavalt 47,5 meetri ja 48,15 meetri

sügavusel on aga tõenäoliselt stabiilsed ja ajas märkimisväärseid mõjutusi ei ole saanud. Võib eeldada, et kõik tulemused, mis on mõõdetud kasutades lähtereeperit nr Viru2 on antud ajahetkel ka usaldusväärsed ja täpsed, sellegipoolest tuleks sooritada veel mõned tsüklid kontrollnivelleerimisi polügoonil Rp2-Rp7-Rp8-Rp2.

2018. aasta kevadel on olnud vajumine võrreldes 2017. aastaga 4-5 millimeetrit. Arvestades juurde 2019. aasta mõõtmised on vajum taandunud 3 millimeetrile kahe aasta lõikes ning **arvestades ~1 mm mõõdistusviga võib täheldada kogu hoone ulatuses 1-2 millimeetrit ühtlast vajumist aastas, mis annab märku stabiliseerumisest** [3].

8.2 Vajumisreeperite nivelleerimise täpsushinnang

Vajumisreeperite nivelleerimise täpsushinnang sooritatakse käikude sulgemisvigade ja nivelliiri jaamade arvu järgi [25] (vt ka alajaotis 8.1).

$$m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \frac{f^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{1,22^2}{12} + \frac{0,47^2}{28} + \frac{0,35^2}{9} \right)} = 0,22 \text{ mm} \quad (8.2)$$

kus: N- käikude arv; n – jaamade arv käigus; f - käigu sulgemisviga

Käigu kõige nõrgema vajumisreeperi maksimaalse vea peale tasandamist saame valemiga 8.3 [27]:

$$\Delta = \frac{2,5}{2} m \sqrt{n} \quad (8.3)$$

mille alusel on kõige nõrgema reeperi maksimaalne viga 1. käigus 0,95 mm, 2. käigus 1,46 mm ja 3. käigus 0,82 mm.

8.3 Lähtereperite kontroll-sidumiskäik

2020. aasta märtsis sooritati lähtereperite Rp2, Rp7, Rp8 sidumiskäik. See oli küll planeeritud 2019. aasta lõpupoole, kuid jäi siis halbade ilmastikutingimuste tõttu tegemata.

GOST 24846-2019 [2] näeb ette arvutusliku vajumi 170 mm ja ekspluateeritava hoone puhul savistes pinnastes II klassi vajumisvaatlused. II klassi puhul näeb sama dokument ette – kinnise või edasi tagasi käigu ühe horisondiga, instrumendi kompensatori KRV 0,3", invarlati, viseerimisjoone kuni 40 m. Joonte ebavõrdsus lubatakse seisus 0,4 m, ja nende kuhjumise sektsioonis 2,0 m, sulgemisviga $0,5\sqrt{n}$; 1 km, kahekordse käigu KRV 1,5 mm.

Täpsustavalt SP 126.13330.2012 [28] soovib vajumisvaatlusi sooritada lühikeste vaatekiirtega pikkusega ≤ 18 m, kusjuures ≤ 6 m vaatekiirte puhul **tuleb** kasutada ühte latti. US Army Corps of Engineers [4] lubab jaama kõrguskasvude erinevuseks 0,25 mm. Brait [1] soovib peaaegu analoogiliselt keskmiselt 10 – 15 m pikkuseid vaatekiiri ja üldjuhul kasutada ühte latti. Kui statiivi jalgade all on jäik alus ja latipunktid on kindlustatud asfaldinaeltega, siis kasutatakse programmi: paaritu arvulisel seisul T, T, E, E ja paarisarvulisel seisul E, E, T, T.

Neid soovitusi kontrollkäigus ka järgiti. Vaatekiirte pikkused, ulatusid, olenevalt lati pikkusest ja reljeefist minimaalsete vaatekiirtega seisus 8,6 m, maksimaalsete vaatekiirtega seisus 33,1 m ja keskmiselt 21,5 m. Kontrollkäik lahendati ringkäiguna Rp2-Rp7-Rp8-Rp7-Rp2, kokku 22 jaama. Sulgemisviga $f = 0,14$ mm, lubatud sulgemisviga oli $\pm 2,35$ mm $\Sigma s_t - \Sigma s_e = 0,34$ m. Statiivi asetati alati jäigale alusele (asfalt, kiviparkett) ja latipunktid olid kindlustatud asfaldinaeltega.

9. VAJUMISVAATLUSTE ANALÜÜS

Töö tulemuste analüüsi võib jagada nelja ossa:

- Aluspinnase ehitus ja vundamentide eripära;
- Lähtereeperite seisukord;
- Kõrghotelli Original Sokos Hotell Viru vajumisvaatlused;
- Viru Ärikeskuse vajumisvaatlused.

9.1 Aluspinnase ehitus ja vundamentide eripära

Aluspinnas on nii geoloogiliselt kui hüdrogeoloogiliselt keerukas. Tegemist on mattunud ürgoru läänenõlva settekihtidega. Ülaosa 9..12 m sügavuseni koosneb tugevasti kokkusurutavatest kihtidest, hea kandevõimega möll, millele toetuvad kõrgploki toruvaiad, asub 18...22 m sügavusel. Enne hotelli ehitust, ehituse ajal ja peale ehitust esines suurtööstuse intensiivne veetarvidus, mistõttu kambrium-vendi veekompleksis langes depressioonilehtri piesomeetriline tase ~30 m ja tekkis piirkonna intensiivne vajumine. Hiljem, ligikaudu aastal 2000 vajumine stabiliseerus.

Kompleks Original Sokos Hotell Viru ja Viru Ärikeskus on mitme kõrgusjärguga rajatis, alates kohviku kahekorruselisest osast kuni Hotell Viru 23-korruselise kõrgplokin. Viimane toetub 1,20 m läbimõõduga ja 20 – 24 m sügavuseni süvistatud toruvaiadega plaatroostvärgile. Ainuüksi kõrgosa jaoks suruti maa sisse 112 raudbetoonist toruvaia. Rostvärkide ja vajumisvuukide kasutamine on tasakaalustanud erinevate koormustega hoonete vajumisi. Suurima koormusega ehitus – kompleksi esimene järjekord (kõrgplokki, 3-korruselise vestibüüli korpus ja 2-korruselise kohvikuploki ehitati aastatel 1969...1971, Viru Ärikeskus 2003...2004. Võib eeldada, et kõrgploki osas oli ehituse algusest möödunud 30 aasta jooksul valdav osa võimalikust vajumist juba toimunud. Siinjuures oli selle roostvärgi konstruktsioon oodatust efektiivsem, sest esimese 14 aastaga oli selle vajum vaid 69 mm (alla poole arvutuslikust 170 mm-st), kusjuures perioodil 1975 – 1983 oli vajumiskiirus kahanenud 2 mm/a, mis Brait [1] järgi peaks liivades ja savides tähendama stabiliseerunud vajumist. Perioodi 1983 – 2017 osas ei saa midagi täpset öelda, kuivõrd ainsad reeperid, mis hotelliosasse jäänud on (Rp41, Rp42, Rp43) on rikutud ja 2017. a taastatud, kuid täpsete vaatluste järjepidevus oli katkenud. Võib vast eeldada, et vajumiskiirus oli vähenenud 0,5 – 1,0 mm/aastas. 2017 - 2018 fikseeriti vajumine küll 3 mm, aga perioodil 2018 - 2019

tõus 0,7 mm. Viimane jääb 9 statiiviga sidumiskäigu keskohta ja seega maksimaalse vea ($\Delta = \pm 0,83$ mm) piiridesse, nii et see tõus võib olla ka olematu.

Korrektse rostvarkide konstruktsiooni puhul, nagu näitab Original Sokos Hotell Viru näide, võib kirjeldatud tingimustes küllaltki kõrgeid ehitisi rajada ja nende vajumine võib olla väiksem kui palju väiksema erisurvega ehitistel. Küsimus seisab vaid selles, kui kaua võib vajumine kesta, sest antud töö ajalimiidi puhul ei ole seda võimalik lahendada.

Ärikeskuse postid toetuvad $\varnothing 620$ mm ja $\varnothing 880$ mm Bauer puurvaiadega üksikrostvarkidele. Nõutava vaste saamiseks olid vaiad süvistatud mitmesugustele sügavustele (kuni 50 m). Kuivõrd Ärikeskuse vajumid ei ole väga suured ja väga ebahütlased, võib eeldada, et sarnastes tingimustes, kui puurvaiad süvistada hoolikalt ettenähtud vasteni, võib hütlase kõrgusega mittekõrghooneid rajada. Vaiade kulu võib aga olla ettearvamatu.

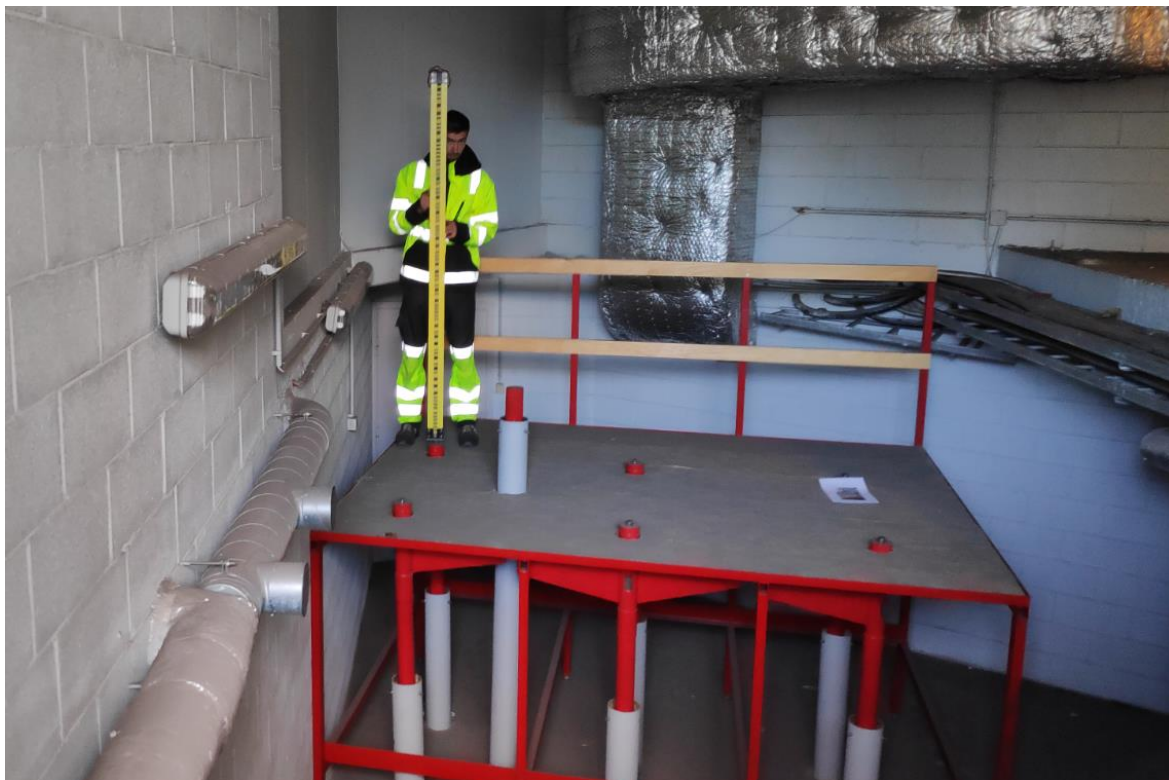
9.2 Lähtereeperite seisukord

Vastavalt projektile [13] kavandati 8 süvareeperi rajamine, millest 6 (Rp1-Rp6) olid süvistatud erinevatesse kihtidesse, kuid asusid ühises reeperikambris (vt Joonis 9.1) hotellist 50 m ida pool, Rp7 asus hotellist ~65 m lääne pool Tammsaare pargis ja Rp8 asus hotellist lõunas Estonia pst1/Kaubamaja 4 sisehoovis. Projektis nähti ette vaatluste sidumine reeperikambri ja Rp7-ga ja kolme liiki vajumite määramine:

- kõrgploki koormusest tingitud rostvargi aluse kihi vajumine,
- ürgorgu täitva pinnase vajumine veehorisondi piesomeetrilise languse tõttu,
- kahe eelnimetatu summana saadud absoluutne vajumine.

Hotelli vaatlusi sooritas kuni 1983. aastani Eesti Projekt, selle järel kuni 2003. a REI, edasi 2003...2004. a mõõtis põhiliselt Viru Ärikeskuses olevaid reepereid Geodeesia AP OÜ ja selle tööd jätkas 2017. aastast Geo S.T. OÜ. Tööde väljastamine praktiliselt ühel objektil nii paljudele organisatsioonidele ei tulnud ilmselt kasuks vaatluste järjepidevusele. Näiteks EVS EN ISO 18674-1:2015 [7] nõuab, et vajumisvaatlusi peaks kogu vaatluste perioodil sooritama üks ja sama geodeet ja kui see peaks osutama mingil põhjusel võimatuks, siis vähemalt üks ja sama firma. Kuna antud juhul keetsid ehitustööd ja edasised vaatlused 50 aastat, mille jooksul vahetus

riigikord ja majandussüsteem, siis osutus võimatuks nimetatud EVS EN nõudeid täita, aga edaspidi peaksid need olema siiski täitmiseks.



Joonis 9.1 Viru reeperitekamber koos kuue reeperiga.

1983. aastal lõpetati Rp7 kasutamine lähtereeperina, kuna see olevat vajunud. Selle väite põhjendus on kaheldav, sest 1986. a pärineva Rp8 kõrguse 7,083 m ja 1979/80 pärineva Rp7 kõrguse 6,158 m vahe oli 0,925 m, ning aastast 2010 pärineva Planserk AS töös saadud samade reeperite kõrguste vahe oli 0,926 m. Ka autori poolt sooritatud samade reeperite kontrollnivelleerimine andis peaaegu sama tulemuse 0,9254 mm.

Viru kambri reeperite kontrollnivelleerimisel Maa-ameti poolt 2018. ja 2019. aastal tuvastati madalamatesse kihtidesse süvistatud Rp3...Rp6 kerkimine Rp1 ja Rp2 suhtes 1,3...2,5 mm. Teiselt poolt Rp2 sidumine autori poolt kontrollkäigus Rp2-Rp7-Rp8-Rp2 andis Rp2-le kõrguseks 3,486 m, mis erineb Rp2 kõrgusest 1974. a -8 mm, 1983. a +10 mm ja 2003. a +5 mm. On kahtlus et Rp2 erinevad kõrgused saadi selle kõrguste ümbertasandamisel Tallinna kõrgusvõrgus ligikaudu samadel aastatel, nii et reeperi tegelik kõrgus ei muutunud. Kahtlus siiski jääb. Süvarepereid lubatakse küll rajada ehitatava hoone piiridesse, kuid nad peaksid siis tuginema

mittekokkusurutavatele aluspõhja kivimitele või olema allpool hoone poolt kokkusurutavat kihtkonda [3]. Esimesest nõudest ei ole Viru kambri reeperite Viru1 ja Viru2 puhul täiel määral kinni peetud ja vastavus teisele nõudele ei ole ka päris usaldatav. Seega oleks soovitatav nende reeperite püsivust edaspidi nivelleerimiskäiguga Rp2-Rp7-Rp8-Rp2 perioodiliselt kontrollida ja lõplikke järeldusi on veel vara teha.

Kuivõrd Viru kõrghotelli vajumisvaatluste järjepidevus on käesolevaks ajaks katkenud, sest valdav enamus kõrghotelli reepereid on hävinud, siis isegi kõrghotelli vaatluste taastamisel ei oma enam tähtsust, milliste Rp2 kõrgustega nüüd alustataks. Oluline on vaid see, et selle reeperi tegelik kõrgus ja sellele vastav kõrgusarv ei muutuks. Ilmselt oleks otstarbekas kasutada kõrgust 3,486 m, mis vastab süsteemile Rp2-Rp7-Rp8-Rp2.

Üldjuhul on lähtereeperite kaugusel monitooritavast hoonest mitmeid soovitusi: Brait [1] 30 – 40 m, Bolšakov, Levtsuk [3] – 70 – 80 m, SP 126.13330.2012 [28]– 150 m. Meie juhusel Rp7 kaugus Viru hotellist vastas viimasele ja kõige autoriteetsemale soovitusele, aga reeperikamber asus vahetult Viru Ärikeskuse piires, millel on loomulikult nii eelised (lähedus) kui puudused (Ärikeskuse vajumise võimalikud mõjud), kuid see on kontrollitav süsteemis Rp2-Rp7-Rp8-Rp2.

Teiselt poolt, kui kasutada Rp2 Viru Ärikeskuse vajumisvaatluste aluseks, siis selle töö jaoks tuleb talle jätta kõrgus 3,491 m, sest seda on kasutatud selle objekti jaoks alates 2003.a. ja ebaotstarbekas oleks kogu andmestiku ümberarvutamine mingile teisele lähtekõrgusele. Selle reeperi kõrgus 3,491 tuleks lugeda õigeks, kui kontrollkäigust Rp2-Rp7-Rp8-Rp2 saadud kõrgus jääb piiridesse $3,4864 \pm 0,0046$ m – vt valemiga (6.1) saadud kahekordset keskmist viga. Edasiste vaatluste puhul tuleks vastavalt GOST 24846-2012 nõuetele sooritada alati ka nimetatud kontrollkäik, mis aitab meil tuvastada, kas Rp2 on ikka tõesti püsiv.

Nende reeperite kõrguste mittevastavus Tallinna kõrgusvõrgule ei ole vajumisvaatluste seisukohalt oluline, sest vajumiste lähtereeperitel lubatakse kasutada ka suhtelisi kõrgusi [24]. Reeperite 2, 7 ja 8 kasutamiseks teisteks otstarveteks võib neile anda lisaks ka Tallinna kõrgusvõrguga ühtivad kõrgused.

9.3 Original Sokos Hotell Viru vajumisvaatlused

Hotell Viru vajumisvaatlusi oleks soovitatav veel mõned tsüklid jätkata, arvestades lähtereeperite osas alajaotise 9.2 soovitusi. Reeperid 41, 42 ja 43 kajastavad

kõrgosa 4. telje vajumisi, kuid neist jääb väheks, et selle ploki vajumist iseloomustada ja kõrgosa 9. telje piirkonda tuleks veel paar reeperit rajada. Kuivõrd 1983. a saadud Rp2 kõrgus oli äärmiselt kahtlane, elimineeriti ka 1983. a saadud R42 ja R43 kõrgused, näib Viru hotelli vajumine olevat stabiliseerunud (keskmiselt 0,5 mm aastas) kuid segadust tekitab 3 mm vajum perioodil 2017. – 2018. ja järgnev millimeetrine tõus perioodil 2018 – 2019 (olguigi viimast võiks küll põhjendada ka mõõtmisveaga). Seega vaatlusi oleks veel soovitatav jätkata.

9.4 Viru Ärikeskuse vajumisvaatlused

Nagu eespool märgitud, on Viru Ärikeskus rajatud Tallinna kesklinna mattunud vagumuse läänenõlva piiresse, kus aluspõhjas avaneb keskmiselt 42 m sügavusel alamkambriumi Lontova kihistu sinisavi, mille pind alaneb itta ligikaudu 10% kaldega.

Pinnasevesi asub ülemises meretekkelises liivakompleksis, mis ulatub ligikaudu 13 m sügavuseni maapinnast. Kihindi filtratsioonikoefitsient on keskmiselt 1 m/d [30]. Ülemine põhjaveekihind jääb alumisse (liustikujõetekkelisse) liivakompleksi paksusega kuni 2,5 m, mis ulatub ligikaudu 22 m maapinnast. Aluspõhjaline põhjaveekihind asub peaaegu 20 m paksuses peen- ja keskliiva kompleksis ja ulatub ligikaudu 46 m sügavuseni.

Hotellist lääne poole jääb Tammsaare park, millele langevad sademed võivad jõuda mööda vagumuse kaldanõlva Viru Ärikeskuse alustesse pinnasekihtidesse. Pargi piirkonnas võib alumine liivakompleks puududa ja liivakompleksid võivad olla omavahel seotud, nii et pinnasevee taseme muutused võivad ulatuda ka alumistesse põhjavee kihinditesse ning põhjustada ka seal kivimite konsolidatsiooni muutusi.

L. Vallneri ja R. Lutsari poolt on tehtud kindlaks, et vee pumpamine vettkandvatest kihtidest, st kihtide veesisalduse vähenemine, on põhjustanud Tallinna kesklinna intensiivset vajumist perioodil 1951...1964 ja väheneva intensiivsusega ka edaspidi [11]. Alates 1990. aastast on aga Kambrium-Vendi veekompleksi Tallinna veehaardel põhjavee survetase tõusnud, mis on endaga kaasa toonud alates 2000. aastast Tallinna kesklinna mõningase tõusu [31]. Seega võiks eeldada ka käesoleval ajal kumulatiivse sademete hulga ja reeperite vertikaalnihete vahelist korrelatsioon.

Peale sademete mõjul toimunud kivimite konsolidatsiooni muutuste võivad kirjanduse andmetel esineda ka teised tegurid. Näiteks, naabervundamentidest põhjustatud vajum võib moodustada rohkem kui 50% vaadeldava vundamendi koguvajumist [32]. Pavliv ja Pnevskii [33] andmetel tekitasid sademetest (kuni 111 mm kuus)

põhjustatud raskusjõu variatsioonid Ukraina loodeosas kuni 0,12 mm suurusi reeperite kõrguste muutusi. T. Kall [34] lisab tegurite nimestikku veel õhurõhu muutuse mõju ja sademete hulgast tingitud hüdroloogilise koormuse muutuse mõju.

Naabervundamentidest põhjustatud vajum on tõenäoliselt olulisemaid ja võib põhjustada pinnase konsolidatsiooni muutustest tingitud vertikaalnihete esmapilgul seletamatuid muutusi. Raskusjõu variatsioonidest tingitud hälbed on tühised ja õhurõhu muutused omavad nii laialdase mõju, et väikesel objektil võib neid lugeda konstantseteks. Hüdroloogilise koormuse mõju T. Kalli [34] andmetel põhjustab Eestis maapinna kõikumist kuni 10 mm.

Käesolevas töös on püütud vaadelda eeskätt sademetest tingitud kivimite konsolidatsiooni muutuse ning vajumisreeperite kõrguse muutuse korrelatsiooni, kusjuures eeldatakse, et vajumise põhiteguriteks on iga kandevsamba vundamendile mõjuv ehitise osaraskus ja naabervundamentide põhjustatud vajum.

Kuivõrd Tammsaare pargi kese jääb uuritavast objektist ligikaudu 150 m kaugusele ja liivakompleksi filtratsioonikoefitsient on keskmiselt 1 m/d siis võib eeldada sademete jõudmist uuritava objekti alla ligikaudu 5 - 6 kuu jooksul.

Esmalt vaadeldi sademete ja reeperite vertikaalnihete vahelist korrelatsiooni üksikute reeperite kaupa.

Arvestades asukohta, vaatluste perioodilisust ja vaatluste kestvust, on otstarbekas vajumisreeperite vaatluste tulemused jaotada kahte gruppi:

1. Bussiterminali reeperid R6, R7, R8, R24 ja R25 vaatluste kestvusega jaanuar 2003...oktoober 2003, 7 vaatlust perioodilisusega 1..2 kuud;
2. Bussiterminali reeperid R1, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R22, R23, vaatluste kestvusega august 2003...juuli 2019, ebaühtlase perioodilisusega 1 kuu, 1 aasta, 13 aastat (st vaheajaga oktoober 2003...aprill 2017). Sellesse gruppi kuulub ka osa esimese grupi reepereid, väljaarvatud R24 ja R25.

Esimese ja teise grupi reeperitele arvutati järgmised korrelatsioonid:

- A. eelneva 6 kuu kumulatiivsete sademete ja vertikaalnihete hälvete vahel vertikaalnihete regressioonisirgest;
- B. eelneva 6 kuu kumulatiivsete sademete ja vertikaalnihete hälvete vahel vertikaalnihete regressioonikõverast.

Eelneva 6 kuu kumulatiivsed sademed arvatati näiteks juuli jaoks eelneva jaanuari kuni juuni sademete summana, augusti jaoks – eelneva veebruari kuni juuli sademete summana.

Korrelatsiooni arvutustabelid asuvad Lisas nr 1.

Variandi A puhul rakendati esmalt regressioonikoefitsientide a ja b saamiseks EXCEL'i käsklusi vastavalt INTERCEPT ja SLOPE. Järgnevalt leiti regressioonivõrrandi

$$Y' = a + bX \quad (9.1)$$

abil vajumisreeperite modelleeritud kõrgused Y' ja edasi vahed mõõdetud ja modelleeritud kõrguste vahel $\Delta Y = Y - Y'$. Ühe eeldusena need vahed kajastavad reeperite vajumitele lisandunud vertikaalnihkeid, mis on põhjustatud sademetest tingitud põhjavee taseme variatsioonidest ja sellest tulenenud kivimite konsolidatsiooni muutustest.

Edasi leiame lineaarse korrelatsiooni teatud perioodi sademete hulga ja väärtuse ΔY vahel, kasutades EXCEL'i käsku CORREL. Tulemuse usaldusväarsuse hindame kõigepealt korrelatsiooni keskmisel ruuthälbel põhineva valemiga

$$|r| \geq 3 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} \quad (9.2)$$

kus: r - korrelatsioonikordaja; n - mõõtmiste arv.

Kuivõrd korrelatsioon omas üldjuhul keskmisi väärtusi ja iga üksiku reeperi puhul oli mõõtmisi vähe, siis rakendati korrelatsiooni usaldatavuse määramiseks ka veel Fisheri kriteeriumi, kasutades [35] Fisheri kriteeriumi väärtuste tabeleid. Fisheri kriteeriumi keskmise ruuthälbe leidsime valemiga 9.3 [35]:

$$s(z) = \frac{1}{\sqrt{n - 3}} \quad (9.3)$$

Varianti B rakendati juhul kui näis, et lineaarne korrelatsioon ei sobi. Sellel puhul tuli leida regressioonikõvera parameetrid. Eesmärgiks oli rakendada andmekogumi puhul

paraboolse regressiooni kõverat, mille saamiseks kasutasime ruutpolünoomi valemit 9.4 [36]

$$Y' = a_0 + a_1X + a_2X^2 \quad (9.4)$$

Valemi (9.4) koefitsientide saamiseks kasutasime normaalvõrrandite süsteemi [37], mille lahendasime EXCEL'i käsuga MDETERM()

$$\begin{aligned} na_0 + a_1\Sigma X + a_2\Sigma X^2 &= \Sigma Y \\ a_0\Sigma X + a_1\Sigma X^2 + a_2\Sigma X^3 &= \Sigma XY \\ a_0\Sigma X^2 + a_1\Sigma X^3 + a_2\Sigma X^4 &= \Sigma X^2Y \end{aligned} \quad (9.5)$$

Järgnevalt leidsime jälle vahed mõõdetud ja modelleeritud kõrguste vahel $\Delta Y = Y - Y'$ ja edasi teatud perioodi kumulatiivsete sademete hulga ning ΔY vahelise korrelatsiooni.

Teise reeperite grupi puhul rakendati samuti eelpool kirjeldatud korrelatsiooni arvutuse kahte varianti, kusjuures kõigi reeperite puhul oli sademete osas optimaalseimaks argumendiks kuue kuu kumulatiivsed sademed.

Variandi A puhul käsitlesime korrelatsiooni usaldusväarsuse seisukohalt esmalt eraldi 5 ja 6 vaatlusega reepereid, leides korrelatsioonikordaja kumulatiivsete sademete ja vertikaalnihete hälvete vahel vertikaalnihete regressioonisirgest.

R6 puhul (6 vaatlust, $r = 0,68$) saime vastavalt $0,68 > 0,66$ (kusjuures kontrollväärtus 0,66 leiti siin valemiga 9.2), st korrelatsioon oli napilt tõenäoline. Fisheri kriteeriumi järgi $z = 0,83$. $s(z)$ leidsime valemiga (9.3). Antud juhul $s(z) = 0,57$. Seega saime z tõenäolised piirid 0,26...1,40 ja vastavalt Fisheri kriteeriumi väärtuste ja korrelatsiooni seose tabelile [35] asub r piirides 0,25...0,88, st usaldatavuse intervall on 0,63. See on väiksem kui 0,68 ja seega korrelatsioon on tõenäoline usaldatavusega 0,68 (kuivõrd kontrollväärtuste saamiseks kasutati korrelatsiooni (9.2) ja Fisheri kriteeriumi keskmise ruuthälbe (9.3) väärtuseid).

Seega võib eeldada, et neljal reeperil R10 (0,53), R5(0,55), R23(0,61) ja R8(0,65), mille korrelatsioonikordajad olid väiksemad kui R6 puhul, on korrelatsioon vähe

tõenäoline, olgugi saadud korrelatsioonikordajad jäävad keskmise korrelatsiooni väärtuste piiridesse.

R1 puhul (5 vaatlust, $r = 0,70$) saime analoogiliselt tegutsedes $0,70 > 0,68$, st korrelatsioon on tõenäoline, aga Fisheri kriteeriumi järgi $z = 0,87$, $s(z) = 0,71$, usaldatavuse intervall $0,76$ oli suurem kui $0,70$ st korrelatsioon ei ole ikkagi tõenäoline. Analoogiliste menetlustega tuvastati, et $R_9(0,75)$ puhul on korrelatsioon tõenäoline ja seega ka $R_4(0,82)$ puhul.

Väiksema korrelatsioonikordajaga reeperite puhul ($R_5, R_8, R_9, R_{10}, R_{23}$) rakendati ka paraboolse regressiooni graafikuid, mis üldjuhul andis paremaid tulemusi, väljaarvatud R_8 puhul ja R_5 puhul (viimase tulemustel praktilist vahet ei olnud).

Esimese ja teise reeperite grupi puhul võib korrelatsioonide usaldatavuse täpsustamiseks leida ka gruppide keskmised korrelatsioonid, kasutades kaalutud ruutkeskmise valemit 9.6 [36]

$$x_{rk} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 p_i}{\sum p_i}} \quad (9.6)$$

kus antud juhul x_i on üksiku reeperi korrelatsioonikordaja ja p_i selle reeperi kaal, mida võib väljendada antud reeperile tehtud vaatluste arvuga.

Teades nüüd korrelatsioonikordajat küllalt suure arvu mõõtmiste järgi, võib korrelatsioonikordaja kriitilise väärtuse saada valemiga [36]:

$$r_{kr} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{n-2}{t^2_{n-2, \frac{\alpha}{2}}}}} \quad (9.7)$$

kus: n - üldine mõõtmiste arv; t - Studenti kordaja argumentide $\alpha/2$ ja $n-2$ järgi. Siin α on olulisuse nivoo.

Esimese grupi puhul oli otstarbekas leida keskmine korrelatsioon üksikutel vaatlustel saadud kõrguste hälvete regressioonisirgest ja eelneva kuue kuu kumulatiivsete sademete vahel. Kaalutud ruutkeskmiseks korrelatsioonikordajaks saadi valemiga (9.6) $0,62$. Valemiga (9.7) abil leiame $r_{kr}(0,005; 30) = 0,48 < 0,62$. Järelikult keskmise

tugevusega korrelatsioon on olemas tõenäosusega 0,99 ja tõenäoliselt reeperite omavajumisele lisandus vastupidine paigaldis hüdroloogilise koormuse pinnase konsolideerumise tõttu.

Teise reeperite grupi puhul oli otstarbekas leida keskmine korrelatsioon eelneva kuue kuu kumulatiivsete sademete ja üksikute vaatluste hälvete vahel regressioonijoonest kusjuures neljal juhul oli otstarbekas kasutada sirget ja viiel juhul ruutpolünoomi. Kaalutud ruutkeskmine korrelatsioonikordaja oli 0,73. Valemi 9.7 abil leiame $r_{kr}(0,005;50) = 0,34 < 0,73$. Järelikult on olemas tugev korrelatsiooniseos tõenäosusega 0,99, st teise grupi reeperite omavajumisele lisandusid kumulatiivsete sademete fluktuatsioonidest tingitud pinnase konsolideerumise muutuste mõjud.

KOKKUVÕTE

Hotell Viru ja Viru Ärikeskuse hooned asuvad kõrgehitistele ebasoodsa geoloogilise aluspinnasega piirkonnas: sügava ja nõrkade settekihtidega mattunud Tallinna kesklinna läbiva ürgoru kohal. Antud hooned on geodeetilise jälgimise all olnud nende ehitusest alates, st vastavalt kõrgosa 1969. aastast ja Viru Ärikeskus 2003. aastast. Mõõtmisandmed näitavad hoonete mõneti ebakorrapärasest vajumist, hoolimata nende põhjalikust fundeerimisest.

Uurimistöo eesmärgiks on hinnata mattunud ürgorgude kohale rajatud ehitiste käitumist ja leida selle võimalikke tekkepõhjuseid, kuna Tallinnas ja selle läheduses on ka teisi mattunud ürgorgusid.

Probleemid Hotelli Viru ja Viru Ärikeskuse ehitusel:

- Hotell ja Ärikeskus on rajatud mattunud ürgoru nõrkadele settekihtidele.
- Vajumisvaatlusi on sooritanud paljud organisatsioonid, olgugi et EVS EN ISO 18674 näeb ette, et objekti vaatlusi peaks sooritama üks ja sama geodeet või vähemalt sama firma.
- Vaadeldes Viru reeperikambri Rp2 ebaloomulikult suuri kõrguste kõikumisi (1974.a. 3,494; 1983.a. 3,476 (st -18 mm); 2003.a. 3,491 (st +15 mm)), tekivad kahtlused, et selle kõrgusi on ümbertasandatud koos Tallinna kõrgusvõrgu perioodiliste mõõtmiste ja tasandamistega. Nõutav on aga, et lähtepunktide võrk mõõdistatakse ja tasandatakse kui iseseisev võrk. Lähtereeperite kõrgusi ei tohi muuta.
- Viru hotelli kõik esialgsed vajumisreeperid on hävinenud või rikunud.
- On kahtlus, et lähtereeperite kontroll-ringkäiku Rp2-Rp7-Rp8-Rp7-Rp2 ei ole kunagi varem tehtud.

1972. aastaks (st 2 aasta jooksul) oli kõrghotell vajunud 41 mm, kohvik 52 mm ja vestibüül 75 mm. 1975. aastaks olid edasised vajumid vastavalt 13 mm, 30 mm, 45 mm ja 1983.a. veel lisaks 15 mm, 26 mm ja 34 mm. Järgmise 34 aasta jooksul (määratud taastatud reeperite järgi, nii et tulemus ei ole päris korrektne) ligikaudu 17 mm, st 0,5 mm aastas ja lõpuks 2017 – 2019 ligikaudu 2,5 mm.

Viru Ärikeskus on rajatud puurvaiadele tuginevatele üksikroostvärkidele. Vaiad, mis olid ette nähtud süvistada 20 – 22 m sügavusele, on nõutava vaste saavutamiseks süvistatud väga mitmesugusele sügavusele (kuni 50 m). Ärikeskuse plokid on mitmesuguse kõrgusega. Reeperid on vajunud perioodil 2003 – 2019 7 – 51 mm. Kõige enam (40 – 50 mm) on vajunud Ärikeskuse NE nurk, mis on ka kõige kõrgema ploki piires.

Viru Ärikeskuse vajumisvaatluste alusel võib eeldada, et vajumiste mõningast ebaühtlust võib põhjustada ka pinnasevee taseme muutus, mis tekitab aluskivimite konsolidatsiooni muutusi. Igatahes leiti paigutiste fluktuatsioonide ja pooleaastaste kumulatiivsete sademete vahel küllaltki tugev korrelatiivne seos.

Mattunud ürgorgude piiridesse rajatud kõrgehitiste vajumisvaatlusi tuleks sooritada olgugi pikema, aga ühtlase perioodiga ja pidevalt, kusjuures tuleb võtta meetmed vajumismärkide säilivuseks. Näiteks tuleks kasutada keeratava korgiga reeperipesasid, kusjuures sinna keeratavad reeperid peaksid olema täpselt ühepikkused.

Samuti tuleks nõuda, et teatud objekti vajumisvaatlusi sooritaks pidevalt üks ja sama firma [7].

Kindlasti tuleks nõuda, et lähtepunktide võrk mõõdistatakse ja tasandatakse kui iseseisev võrk. Lähtereeperite kõrgusi ei tohi muuta. Vajumisvaatluste lähtereeperid Tallinna ürgorgude piirkonnas peaksid olema süvareeperid ja objekti kohta peaks olema võimalik kasutada kolme lähtereeperit (GOST 24846:2019), mille ankrud peaksid asetsema väljaspool hoone vajumiskoonust, üldjuhul kaugusel hoonest 80 m [3]

Siiski näib, et korrektse rostvärkide konstruktsiooni puhul, nagu näitab Original Sokos Hotell Viru ja Viru Ärikeskuse näide, võib kirjeldatud tingimustes küllaltki kõrgeid ehitisi rajada ja korrektsel fundeerimisel võib nende vajumine siis olla isegi väiksem kui palju väiksema erisurvega ehitistel. Lõplikke järeldusi siiski teha ei saa Hotell Viru vajumisreeperite hävimise või rikutuse tõttu, sest ei saa täie kindlusega väita, et Hotell Viru vajumine on lõppenud ning praegusel ajal on Viru vaatlused kahjuks lõpetatud tellija huvi kadumise tõttu.

SUMMARY

Hotel Viru and Viru Business Centre are located in an area with unfavourable geological soil – above the primeval valley that is buried under weak sedimentary layers in the city centre of Tallinn. These buildings have been under geodetic observation since their construction – the high-rise hotel part since 1969 and the Viru Business Centre since 2003. The measurements show a somewhat irregular subsidence of the buildings, despite their thorough foundation.

The aim of the research is to evaluate the behaviour of buildings constructed on top of buried primeval valleys and to find possible causes, as there are other buried primeval valleys in and around Tallinn.

Problems in the construction of Hotel Viru and Viru Business Centre:

- The hotel and business centre are built on the weak sedimentary layers of a buried primeval valley.
- Subsidence surveys have been carried out by many organizations, although EVS-EN ISO 16874-1:2015 [7] stipulates that surveys of an object should be carried out by the same surveyor or at least by the same company.
- Looking at the unusually large elevation fluctuations of the Viru fundamental benchmark Rp2 (3.494 in 1974; 3.476 in 1983 (ie -18 mm); 3.491 in 2003 (i.e. +15 mm)), doubts arise that its heights have been re-levelled together with periodic levelling of the Tallinn geodetic levelling network. However, it is required that the network of fundamental benchmarks that are used to track the buildings' vertical movement must be levelled as an independent network. The elevations of the fundamental benchmarks used for vertical movement tracking must not be changed.
- All the original height benchmarks for vertical movement tracking of Viru Hotel have been destroyed or damaged.
- There are doubts that the Rp2-Rp7-Rp8-Rp7-Rp2 control levelling run has never been performed.

By 1972 (meaning, in 2 years), the high-rise part of the Hotel Viru had sunk by 41 mm, the cafe complex by 52 mm and the lobby by 75 mm.

By 1975, further subsidence was respectively 13 mm, 30 mm, 45 mm, and by 1983 an additional 15 mm, 26 mm and 34 mm. Over the next 34 years (determined by restored benchmarks, so the result is not precisely accurate) about 17 mm, meaning 0.5 mm per year and finally in 2017 - 2019 the subsidence was about 2.5 mm.

Viru business centre has rig drilled pile foundation that are laying on separate plates. The deep pile foundation was designed to be drilled to 20-22 meters into the ground (in reality up to 50 m). Viru Business Centre is a multi-storey building. The benchmarks in various parts of the building have sunk 7-51 mm in the period of 2003 – 2019. The most critical area where the business centre has sunk the most (40-50mm) is the northeast corner.

Based on the vertical movement observation on Viru Business Centre, it can be assumed that the inconsistent movement is partly caused by the change in groundwater level that changes in the consolidation of bedrock. A fairly strong correlation between the vertical movement of benchmarks and 6 month cumulative precipitation was found.

It is strongly recommended that the observation of vertical movement of a high-rise building situated above the buried primeval valley is carried out over a longer period of time. Also, observations should be consistent and measures must be taken to make sure the benchmarks are not destroyed. For example, it is recommended to use same length screw-in benchmarks.

Vertical movement observations should be done by the same surveyor or at least the same company. [7]

It must be required that the network of reference benchmarks is measured and levelled as an independent network. The elevations of the reference benchmarks must not be changed.

Reference benchmarks for the vertical movement observation in the range of primeval valleys should be deep benchmarks. It is recommended that there are at least three reference benchmarks [2], the anchors of which should be outside of the area affected by the subsidence of the building. Therefore, the distance of the reference benchmarks from the building under observation should be about 80 meters [3].

Observations of Hotel Viru and Viru Business Centre show that with the correct foundation fairly tall buildings can be built on problematic geological soil.

Final conclusions cannot be made for the vertical movement analysis of Hotel Viru and Viru Business Centre due to the fact that the original benchmarks have been destroyed or damaged. Therefore, it cannot be said with certainty that the sinking of the Viru complex has stopped. However, further observations are not to be carried out due to lack of interest by the owners.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] P. Brait, Geodezitšeskie metodõ izmerenija deformatsiy osnovaniy i sooruženiy (Aluste ja rajatiste deformatsioonide uurimise geodeetilised meetodid), Moskva: Nedra, 1965.
- [2] GOST, „Gruntõ. Metodõ izmerenija deformatsiy osnovaniy i sooruženiy. (Pinnased. Hoonete ja rajatiste aluste deformatsioonide uurimise meetodid.),“ GOST 24846-2019.
- [3] V. Bolšakov, G. Levštuk, Spravotšnoje rukovodstvo po inženerno-geodezitšeskim rabotam (Rakendusgeodeetiliste tööde käsiraamat-juhend), Moskva: Nedra, 1980.
- [4] US Army Corps of Engineering, „Structural Deformation Surveying. Engineer Manual,“ 2018.
- [5] Building Research Establishment Ltd, Monitoring building and ground movement by precise levelling, BRE Electronic Publications, 1983.
- [6] The Survey Liaison Group, „Client Guide. Instrumentation and Monitoring,“ 2017.
- [7] EVS-EN ISO, „Geotechnical investigation and testing – Geotechnical monitoring by field instrumentation – Part 1: General rules. (Geotehniline uuring ja testimine – Geotehniline seire välimõõtevahendite abil. Osa 1. Üldreeglid,“ EVS-EN ISO 18674-1:2015.
- [8] „Rukovodstvo po nabljudeniam za deformatsiami fundamentov zdaniy i sooruženiy,“ Moskva, 1967.
- [9] V. Kulbach jt., Ehitusinsenerid Tallinna Polütehnilisest Instituudist, Tallinn: Valgus, 1986.
- [10] R. Lutsar, Maapinna vajumisest Kopli ja Mustamäe vahelisel alal. Ehitusgeoloogia kogumik II, 1967.
- [11] T. Kall, A. Torim, „Maapinna vertikaalliikumised Tallinnas. Geodeet nr.25,“ p. 49, 2002.
- [12] V. Salmre, *Viru hotelli ehitus*, Tallinn: Eesti Rahva Muuseumi fotokogu ERM Fk 2644:8059, 1970.
- [13] Eesti Projekt, „Inturist-i Tallinna hotelli vajumiste jälgimise projekt,“ Tallinn, 1970.
- [14] Geo S.T. OÜ, „Original Sokos Hotel Viru ja Viru keskuse vajumis-vaatlused. XI tsükkel. Tehniline aruanne,“ Tallinn, 2017.
- [15] Rein Perens, Anto Raukas, „Sademevee immutamisest pinnasesse Tallinna

- kesklinna haldusterritooriumil," TTÜ Kirjastus, Tallinn, 2018.
- [16] OÜ Hendrikson & KO, „Töö 872/06, Viru väljak 4 hotelli juurdeehituse eelprojekti realiseerimisega kaasneva keskkonnamõju hindamine," Tallinn, 2007.
- [17] Maa-amet, „Maa-ameti geoportaal," 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2>.
- [18] R. Perens, 2010.
- [19] Eesti Projekt, „Inturisti Tallinna hotelli „Viru" sügavreeperite ehitustööde vahearuanne," Tallinn, 1969.
- [20] E-Inseneribüroo, „Viru keskuse laiendus. Tehniline projekt," 2002, Tallinn.
- [21] E-Inseneribüroo, „Viru keskuse ehitusprojekt," 2002.
- [22] Civen OÜ, „Viru keskuse vundamendi projekt," 2002.
- [23] V. Ganšin jt., „Geodezitšeskie metodõ izmerenija vertikalnõh smeštšenyi sooruženyi i analiz ustoitšivosti reperov. (Ehitiste vertikaalsete paigutiste mõõtmise meetodid ja reeperite püsivuse analüüs)," Nedra, Moskva, 1991.
- [24] Geo S.T. OÜ, „Original Sokos Hotel Viru ja Viru keskuse vajumis-vaatlused. XIII tsükkel. Tehniline aruanne," Tallinn, 2019.
- [25] REI, „Hotell Viru vajumisvaatlused," Tallinn, 1983.
- [26] Geo S.T. OÜ, „Original Sokos Hotel Viru ja Viru keskuse vajumis-vaatlused. XII tsükkel. Tehniline aruanne," Tallinn, 2018.
- [27] V. Kala, Ehitusgeodeesia, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2021.
- [28] Geodezitšeskie raboty v stroitelstve (Hoonete geodeetilised tööd), SP 126.13330.2012.
- [29] GOST, Gruntõ. Metodõ izmerenija deformatsiy osnovaniy i sooruženyi. (Pinnased. Hoonete ja rajatiste aluste deformatsioonide uurimise meetodid.), GOST 24846-2012.
- [30] K.-H. Riet, „Tallinn lennuki tn 22 // Maakri tn 29, lennuki tn 24 hüdrogeoloogiline eksperthinnang," Tallinn, 2015.
- [31] M. Ojamäe, „Tallinna kesklinna piirkonna reeperite vajumine 2000. ja 2008.a nivelleerimisandmete põhjal," *Geodeet Nr40*, p. 64, 2010.
- [32] V. Jaanisoo, Naabervundamendi mõjul tekkiva vajumi arvutuse lihtsustamine. Ehitusgeoloogia kogumik III, Tallinn: Valgus, 1976.
- [33] P. Pavliv, P. Pnevski, Issledovanie vlijaniya izmenenija urovnei gruntovõh vod na rezultatõ võsokototšnovo nivelirovaniya. (Pinnasevete taseme muutuse mõju kõrgtäpse nivelleerimise tulemustele uuring), Vištša škola, 1987.
- [34] T. Kall, „Maapinna vertikaalnihked Navesti ja Põltsamaa - Lelle geodünaamilistel

- polügoonidel ja nende seos õhurõhu ja sademete hulga muutusega," *Geodeet 31*, p. 55, 2005.
- [35] V. Kala, *Geodeetiliste mõõtmiste andmetöötuse teooria alused*, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2009.
- [36] Sauga, *Statistika*, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2017.
- [37] R. Arbeiter, Tallinna ehitusgeoloogilise rajoniseerimise visand. Ehitusgeoloogiline kogumik I, Tallinn, 1962.
- [38] K. S. Bronštein, *Spravotšnik po matematike dlja inženerov i utšaštšihsjaja vtuz-ov (Matemaatika teatmik inseneridele ja üliõpilastele)*, Moskva: Nauka, 1964.
- [39] V. Kala, Hotelli Inturist karkassi 1. korruse ülemiste otste plaaniline asend. Teostusjoonis, Tallinn: Tallinna Ehitustrust, 1969.
- [40] V. Kala, *Geodeetiliste mõõtmiste andmetöötuse teooria alused*, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2009.
- [41] AP Geodeesia OÜ, „Viru keskuse laienduse/Ärikeskuse vajumisvaatlused,“ 2004.
- [42] G. Klein, N. Doroskevitš, P. Smirenkin, *Alused ja vundamendid*, Tallinn: Valgus, 1970.
- [43] K. Orviku jt, *Vene-eesti geoloogia sõnastik*, Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1963.
- [44] V. Buš, V. Kalugin, A. Saar, *Geodezitšeskie rabotõ pri stroitelstve sooruženiy bašennovo tipa (Geodeetilised tööd torni tüüpi ehitiste rajamisel)*, Moskva: Nedra, 1985.
- [45] E. Kaljund, M. Mets, *Vaiade kandevõime Tallinna Teenindusmaja maa-alal. Ehitusgeoloogia kogumik III*, 1976.

LISA 1

Korrelatsiooniarvutused

Variant A – bussiterminali reeperid R6, R7, R18, R24, R25

Reeper 8

Vajum 15,4 mm

Tabel L1.1

H (mm)	2003. a. vaatluskuu jrk nr	Y	Δ	6 kuu sademed (mm)
70.8	1	71.5692	-0.7692	287.2
70.3	2	69.9077	0.3923	248.2
68.4	3	68.2462	0.1538	232.7
66.8	5	64.9231	1.8769	190.3
60.0	7	61.6000	-1.6000	232.2
59.0	8	59.9385	-0.9385	281.1
57.5	10	56.6154	0.8846	321.1

H - Reeperi kõrguste kolm viimast
kohta (mm)

Y - Regressioonivõrrandiga arvatud kõrgus

Δ - Hälbed regressioonisirgest

intersept	73.2308
slope	-1.6615
Δ correl	-0.2635
H correl	-0.3904

Reeper 25

Vajum 12,9 mm

Tabel L1.2

H (mm)	2003. a. vaatluskuu jrk nr	Y	Δ	6 kuu sademed (mm)
25.7	1	24.3470	1.3530	287.2
21.0	3	21.4554	-0.4554	232.7
17.5	5	18.5639	-1.0639	190.3
14.6	7	15.6723	-1.0723	232.2
14.0	8	14.2265	-0.2265	281.1
12.8	10	11.3349	1.4651	321.1

H - Reeperi kõrguste kolm viimast
kohta (mm)

Y - Regressioonivõrrandiga arvutatud kõrgus

Δ - Hälbed regressioonisirgest

intersept	25.7928
slope	-1.4458
Δ correl	0.8785
H correl	-0.1291

Reeper 24

Vajum 11,2 mm

Tabel L1.3

H (mm)	2003. a. vaatluskuu jrk nr	Y	Δ	6 kuu sademed (mm)
14.8	1	14.6675	0.1325	287.2
14.4	2	13.4581	0.9419	248.2
11.7	3	12.2487	-0.5487	232.7
9.1	5	9.8299	-0.7299	190.3
7.2	7	7.4111	-0.2111	232.2
5.9	8	6.2017	-0.3017	281.1
4.5	10	3.7829	0.7171	321.1

H - Reeperi kõrguste kolm viimast
kohta (mm)

Y - Regressioonivõrrandiga arvatud kõrgus

Δ - Hälbed regressioonisirgest

intersept	15.8769
slope	-1.2094
Δ correl	0.6181
H correl	-0.2432

Reeper 6

Vajum 16,2 mm

Tabel L1.4

H (mm)	2003. a. vaatluskuu jrk nr	Y	Δ	6 kuu sademed (mm)
74.3	2	74.1986	0.1014	248.2
71.4	3	72.6381	-1.2381	232.7
71.0	5	69.5171	1.4829	190.3
66.9	7	66.3961	0.5039	232.2
64.3	8	64.8356	-0.5356	281.1
61.4	10	61.7146	-0.3146	321.1

H - Reeperi kõrguste kolm viimast
kohta (mm)

Y - Regressioonivõrrandiga arvutatud kõrgus

Δ - Hälbed regressioonisirgest

intersept	77.3196
slope	-1.5605
Δ correl	-0.5453
H correl	-0.7417

Reeper 7

Vajum 28,6 mm

Tabel L1.5

H (mm)	2003. a. vaatluskuu jrk nr	Y	Δ	6 kuu sademed (mm)
67.5	2	68.9797	-1.4797	248.2
64.9	3	66.1676	-1.2676	232.7
64.0	5	60.5434	3.4566	190.3
57.8	7	54.9192	2.8808	232.2
49.5	8	52.1071	-2.6071	281.1
45.5	10	46.4829	-0.9829	321.1

H - Reeperi kõrguste kolm viimast
kohta (mm)

Y - Regressioonivõrrandiga arvatud kõrgus

Δ - Hälbed regressioonisirgest

intersept	74.6039
slope	-2.8121
Δ correl	-0.6742
H correl	-0.8123

Regressioonikõvera arvutus ruutpolünoomi järgi:

Reeper 24

Tabel L1.6

Y	X	Sademed, mm
14.8	1	287.2
14.4	2	248.2
11.7	3	232.7
9.1	5	190.3
7.2	7	232.2
5.9	8	281.1
4.5	10	321.1

Tabel L1.7

X	Y	XY	X ²	X ² Y	X ³	X ² X ²
1	14.8	14.8	1	14.8	1	1
2	14.4	28.8	4	57.6	8	16
3	11.7	35.1	9	105.3	27	81
5	9.1	45.5	25	227.5	125	625
7	7.2	50.4	49	352.8	343	2401
8	5.9	47.2	64	377.6	512	4096
10	4.5	45	100	450	1000	10000
36	67.6	266.8	252	1585.6	2016	17220

Σ

Tabel L1.8

7	36	266.8	67.6
36	266.8	2016	266.8
266.8	2016	17220	1585.6

7	36	67.6	67.6
36	266.8	266.8	266.8
266.8	2016	1585.6	1585.6

Tabel L1.9

D	1128292
Di	-201974
Di/D	-0.1790
a0	14.3131
a1	0.4213
a2	-0.1790

Tabel L1.10

X	Y	Y'	ΔY	Sademed (6 kuu), mm
1	14.8	14.5554	0.2446	287.2
2	14.4	14.4397	-0.0397	248.2
3	11.7	13.9660	-2.2660	232.7
5	9.1	11.9446	-2.8446	190.3
7	7.2	8.4912	-1.2912	232.2
8	5.9	6.2275	-0.3275	281.1
10	4.5	0.6261	3.8739	321.1

Kuu kuu perioodi kumulatiivsete sademete hulga ning ΔY vaheline korrelatsioon on järgmine:

$$\Delta(\text{RP24})_{\text{correl}} = \mathbf{0.91081}$$

Üldine korrelatsioon kuue kuu sademetega

Tabel L1.11 näitab üldist korrelatsiooni kuue kuu sademetega, kasutades kaalutud ruutkeskmist:

Tabel L1.11

Rp nr	H correl	Vaatlusi	x ² p
R8	-0.39	7	1.0647
R25	-0.13	6	0.1014
R24	-0.91	7	5.7967
R6	-0.74	6	3.2856
R7	-0.81	6	3.9366
Σ		32	14.1850

Kaalutud ruutkeskmise korrelatsioonikordaja saame:

$$\sqrt{\frac{14.1850}{32}} = 0.6658$$

Leiame kriitilise väärtuse olulise nivooga 0.01

Leiame kahepoolse piiranguga Studenti t-jaotise pöördfunktsiooni väärtuse MS EXCEL TINV abil:

$$\text{tinv}(0,005;32-2) = 3.0298$$

Arvutustest järeldub, et korrelatsioon esineb:

$$r_{kr} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1+30}{3.0298^2}}} = 0.4840$$

$$r_{kr} = 0.4840 < 0.6658$$

Variant B korrelatsiooniartvutused

Reeperite grupi R1,R3, R4, R5, R6, R7, R8, R22 vajumine 2003 (X) ... 2019 (VIII)

Tabel L1.12

Reeper 1	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	45.0	0	42.8466	2.15338
X2003	321.1	40.3	0.2	42.3378	-2.03780
IV2017	238.4	8.3	13.7	7.9945	0.30553
IV2018	304.9	3.1	14.7	5.4505	2.35050
VII2019	252.2	4.2	15.9	2.2706	1.92943

a 42.8466
b -2.5440
correl -0.6990

Tabel L1.13

Reeper 3	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	26.9	0	22.6890	4.21096
X2003	321.1	24.8	0.2	22.5787	2.22128
X2004	627.5	15.0	1.2	22.0272	-7.02720
IV2017	238.4	16.9	13.7	15.1326	1.76744
IV2018	304.9	12.6	14.7	14.5810	-1.98100
VII2019	252.2	14.7	15.9	13.8915	0.80847

a 22.689
b -0.5516
correl -0.8581

Tabel L1.14

Reeper 4	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	80.2	0	79.1029	1.09708
X2003	321.1	77.8	0.2	78.9345	-1.13450
IV2017	238.4	68.8	13.7	67.5664	1.23356
IV2018	304.9	64.8	14.7	66.7244	-1.92440
VII2019	252.2	66.4	15.9	65.6718	0.72823

a 79.1029
b -0.8421
correl -0.8283

Tabel L1.15

Reeper 5	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	52.7	0	49.6498	3.05024
X2003	321.1	50.5	0.2	49.6266	0.87344
X2004	627.5	45.0	1.2	49.5105	-4.51050
IV2017	238.4	47.7	13.7	48.0601	-0.36010
IV2018	304.9	51.9	14.7	47.9441	3.94595
VII2019	252.2	44.8	15.9	47.7990	-2.99900

a 49.6498
b -0.1160
correl -0.5518

Tabel L1.16

Reeper 6	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	64.3	0	61.6499	2.65013
X2003	321.1	61.4	0.2	61.6110	-0.21100
X2004	627.5	58.5	1.2	61.4164	-2.91640
IV2017	238.4	61.9	13.7	58.9850	2.91503
IV2018	304.9	56.8	14.7	58.7904	-1.99040
VII2019	252.2	58.1	15.9	58.5473	-0.44730

a 61.6499
b -0.1945
correl -0.6818

Tabel L1.17

Reeper 7	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	49.5	0	44.9608	4.53921
X2003	321.1	45.5	0.2	45.0388	0.46124
X2004	627.5	40.1	1.2	45.4286	-5.32860
IV2017	238.4	52.1	13.7	50.3016	1.79838
IV2018	304.9	46.6	14.7	50.6915	-4.09150
VII2019	252.2	53.8	15.9	51.1788	2.62124

a 44.9608
b 0.3898
correl -0.7327

Tabel L1.18

Reeper 8	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	59.0	0	57.1257	1.87428
X2003	321.1	57.5	0.2	57.1049	0.39507
X2004	627.5	54.3	1.2	57.0010	-2.70100
IV2017	238.4	58.8	13.7	55.7020	3.09798
IV2018	304.9	53.0	14.7	55.5981	-2.59810
VII2019	252.2	55.4	15.9	55.4682	-0.06820

a 57.1257
b -0.1039
correl -0.6544

Tabel L1.19

Reeper 22	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	41.1	0	33.5838	7.51623
X2003	321.1	38.3	0.2	33.3507	4.94925
X2004	627.5	18.6	1.2	32.1857	-13.58600
IV2017	238.4	19.9	13.7	17.6221	2.27789
IV2018	304.9	14.4	14.7	16.4570	-2.05700
VII2019	252.2	15.9	15.9	15.0007	0.89933

a 33.5838
b -1.1651
correl -0.8669

Tabel L1.20

Reeper 23	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	47.8	0	45.6730	2.12697
X2003	321.1	45.1	0.2	45.6414	-0.54140
X2004	627.5	43.0	1.2	45.4832	-2.48320
IV2017	238.4	48.3	13.7	43.5055	4.79447
IV2018	304.9	43.7	14.7	43.3473	0.35268
VII2019	252.2	38.9	15.9	43.1496	-4.24960

a 45.6730
b -0.1582
correl -0.4069

Reeper 23 hälbed regressioonik verast

Tabel L1.21

X	Y	XY	X ²	X ² Y	X ³	X ² X ²
0	47.8	0	0	0	0	0
0.2	45.1	9.02	0.04	1.80	0.01	0.002
1.2	43	51.6	1.44	61.92	1.72	2.074
13.7	48.3	661.7	187.69	9065.43	2571.35	35227.540
14.7	43.7	642.4	216.09	9443.13	3176.52	46694.890
15.95	38.9	620.46	254.40	9896.26	4057.72	64720.630
45.75	266.8	1985.18	659.66	28468.50	9807.33	146645.10

Σ

Tabel L1.22

6.00	45.75	659.66	266.80
45.75	659.66	9807.33	1985.18
659.66	9807.33	146645.10	28468.50

6.00	45.75	266.80	266.80
45.75	659.66	1985.18	1985.18
659.66	9807.33	28468.54	28468.50

Tabel L1.23

D	1284450.6
D _i	-202554.8
D _i /D	-0.157698
a ₀	-1.06947
a ₁	0.101633
a ₂	-0.1577

Tabel L1.24

X	Y	Y'	ΔY	Sademed (6 kuu), mm
0	47.8	-1.070	48.86947	281.0
0.2	45.1	-1.056	46.15545	321.1
1.2	43.0	-1.175	44.17460	627.5
13.7	48.3	-29.276	77.57581	238.4
14.7	43.7	-33.653	77.35286	304.9
15.9	38.9	-39.568	78.46770	252.2

Kuu kuu perioodi kumulatiivsete sademete hulga ning ΔY vaheline korrelatsioon on järgmine:

$$\Delta(\text{RP23})_{\text{correl}} = -0.6067$$

Reeper 10

Tabel L1.25

R10	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	66.3	0	66.27926	0.02074
X2003	321.1	65.5	0.2	66.33532	-0.83530
X2004	627.5	67.2	1.2	66.61564	0.58436
IV2017	238.4	73.1	13.7	70.11959	2.98041
IV2018	304.9	68.4	14.7	70.39990	-1.99990
VII2019	252.2	70.0	15.9	70.75030	-0.75030

a	66.2793
b	0.28032
correl	0.01279
Hcorrel	-0.3866

Tabel L1.26

X	Y	XY	X ²	X ² Y	X ³	X ² X ²
0	66.3	0	0	0	0	0
0.2	65.5	13.1	0.04	2.62	0.01	0
1.2	67.2	80.6	1.44	96.77	1.73	2.07
13.7	73.1	1001.5	187.69	13720.10	2571.35	35227.54
14.7	68.4	1005.5	216.09	14780.60	3176.52	46694.89
15.9	70.0	1116.5	254.40	17808.20	4057.72	64720.63
45.7	410.5	3217.2	659.66	46408.30	9807.33	146645.10

Tabel L1.27

6.00	45.75	659.66	410.50
45.75	659.66	9807.33	3217.19
659.66	9807.33	146645.10	46408.30

6.00	45.75	410.50	410.50
45.75	659.66	3217.19	3217.19
659.66	9807.33	46408.26	46408.30

Tabel L1.28

D	1284450.6
Di	-117178.1
Di/D	-0.091228
a0	-1.51876
a1	0.050398
a2	-0.09123

Tabel L1.29

X	Y	Y'	ΔY	Sademed (6 kuu), mm
0	66.3	-1.51876	67.8188	281.0
0.2	65.5	-1.51233	67.0123	321.1
1.2	67.2	-1.58965	68.7897	627.5
13.7	82.1	-17.95127	100.0510	238.4
14.7	77.4	-20.49180	97.8918	304.9
15.9	79.0	-23.92405	102.9240	252.2

Kuu kuu perioodi kumulatiivsete sademete hulga ning ΔY vaheline korrelatsioon on järgmine:

$$\Delta(RP10)_{\text{correl}} = -0.5303$$

Reeper 9

Tabel L1.30

R9	6 kuu sademed	Hmm y	aasta x	y'	D
VIII2003	281.0	11.8	0	10.90398	0.89602
X 2003	321.1	9.8	0.2	10.90118	-1.10120
IV2017	238.4	13.0	13.7	10.71249	2.28751
IV2018	304.9	9.1	14.7	10.69851	-1.59850
VII2019	252.2	10.2	15.7	10.68384	-0.48380

a	10.904
b	-0.014
correl	-0.7547
Hcorrel	-0.714

Tabel L1.31

X	Y	XY	X ²	X ² Y	X ³	X ² X ²
0	11.8	0	0	0	0	0
0.2	9.8	1.96	0.04	0.39	0.01	0
13.7	13.0	178.10	187.69	2439.97	2571.35	35227.54
14.7	9.1	133.77	216.09	1966.42	3176.52	46694.89
15.7	10.2	160.65	248.06	2530.24	3906.98	61535.00
44.4	53.9	474.48	651.88	6937.02	9654.87	143457.40

Tabel L1.32

5.00	44.35	651.88	53.90
44.35	651.88	9654.87	474.48
651.88	9654.87	143457.40	6937.02

5.00	44.35	53.90	53.90
44.35	651.88	474.48	474.48
651.88	9654.87	6937.02	6937.02

Tabel L1.33

D	580451.27
Di	-46718.91
Di/D	-0.080487
a0	10.70205
a1	1.191837
a2	-0.08049

Tabel L1.34

X	Y	Y'	ΔY	Sademed (6 kuu), mm
0	11.8	10.7021	1.09795	281
0.2	9.8	10.9372	-1.13720	321.1
13.7	22.8	11.9230	10.87695	238.4
14.7	18.1	10.8290	7.27103	304.9
15.7	19.2	9.50693	9.69307	252.2

Kuu kuu perioodi kumulatiivsete sademete hulga ning ΔY vaheline korrelatsioon on järgmine:

$$\Delta(RP9)_{\text{correl}} = \mathbf{-0.7771}$$

Üldine korrelatsioon kuue kuu sademetega

Tabel L1.35 näitab üldist korrelatsiooni kuue kuu sademetega, kasutades kaalutud ruutkeskmist:

Tabel L1.35

Rp nr	H correl	Vaatluste arv	x^2p
R1	-0.70	5	2.4430
R3	-0.86	6	4.4185
R5	-0.55	6	1.8269
R6	-0.68	6	2.7889
R4	-0.83	5	3.4307
R7	-0.73	6	3.2214
R8	-0.65	6	2.5698
R22	-0.87	6	4.5093
R23	-0.61	6	2.2086
sum		52	27.4171

Kaalutud ruutkeskmise korrelatsioonikordaja saame:

$$\sqrt{\frac{27.4171}{52}} = 0.7261$$

Leiame kriitilise väärtuse olulise nivooga 0.01

Leiame kahepoolse piiranguga Studenti t-jaotise pöördfunktsiooni väärtuse MS EXCEL TINV abil:

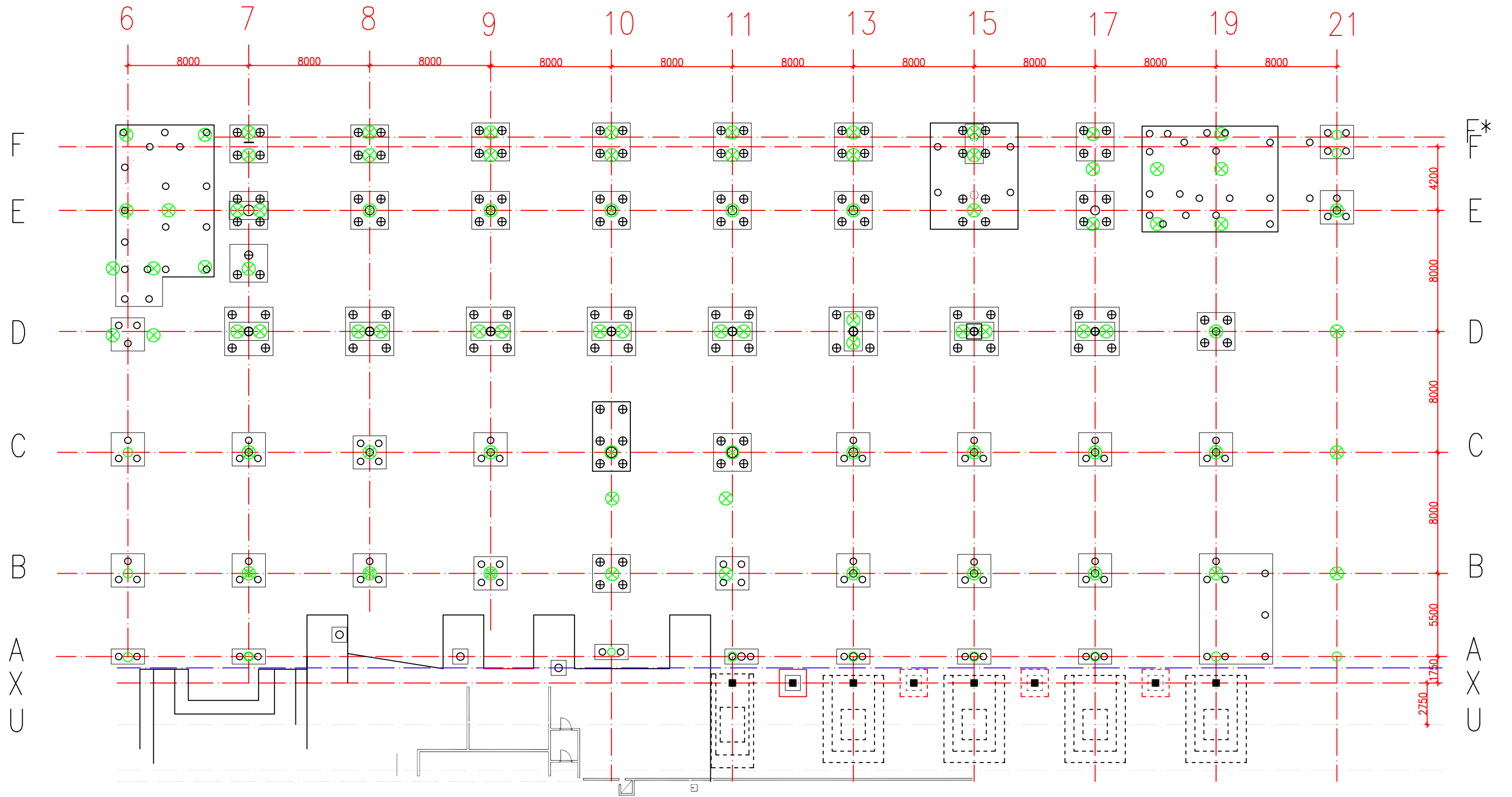
$$\text{tinv}(0,005;50) = 2.9370$$

Arvutustest järeldub, et korrelatsioon esineb:

$$r_{kr} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1+50}{2.9370^2}}} = 0.3836$$

$$r_{kr} = 0.3836 < 0.7261$$

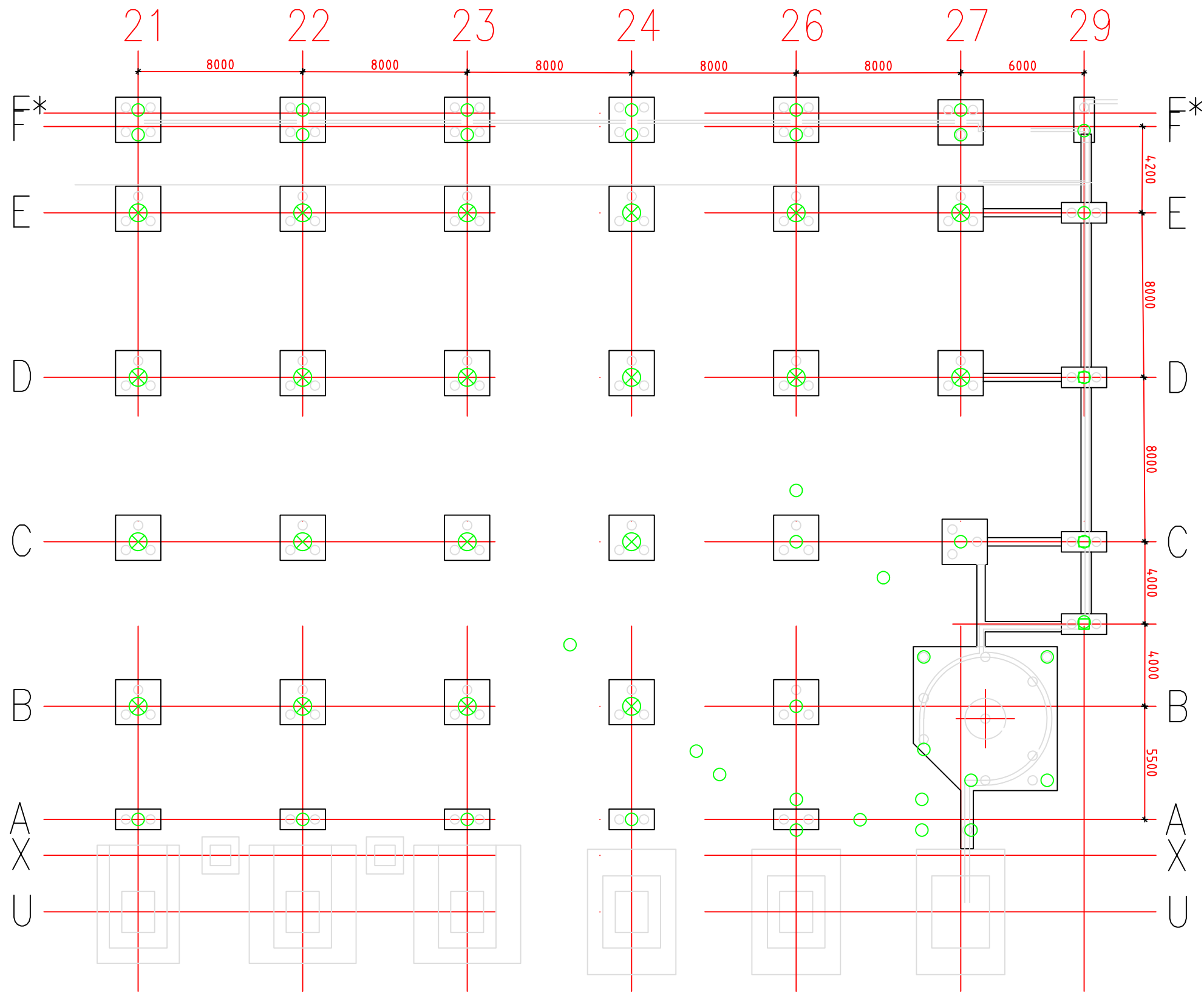
Rostvärkide ja puurvaiade plaan - I ehitusjärg



BAUER TEHNOLOOGIAGA PUURVAIAD

- ⊕ VAIAD Ø880 575T KANDEVÕIME
- VAIAD Ø620 285T KANDEVÕIME

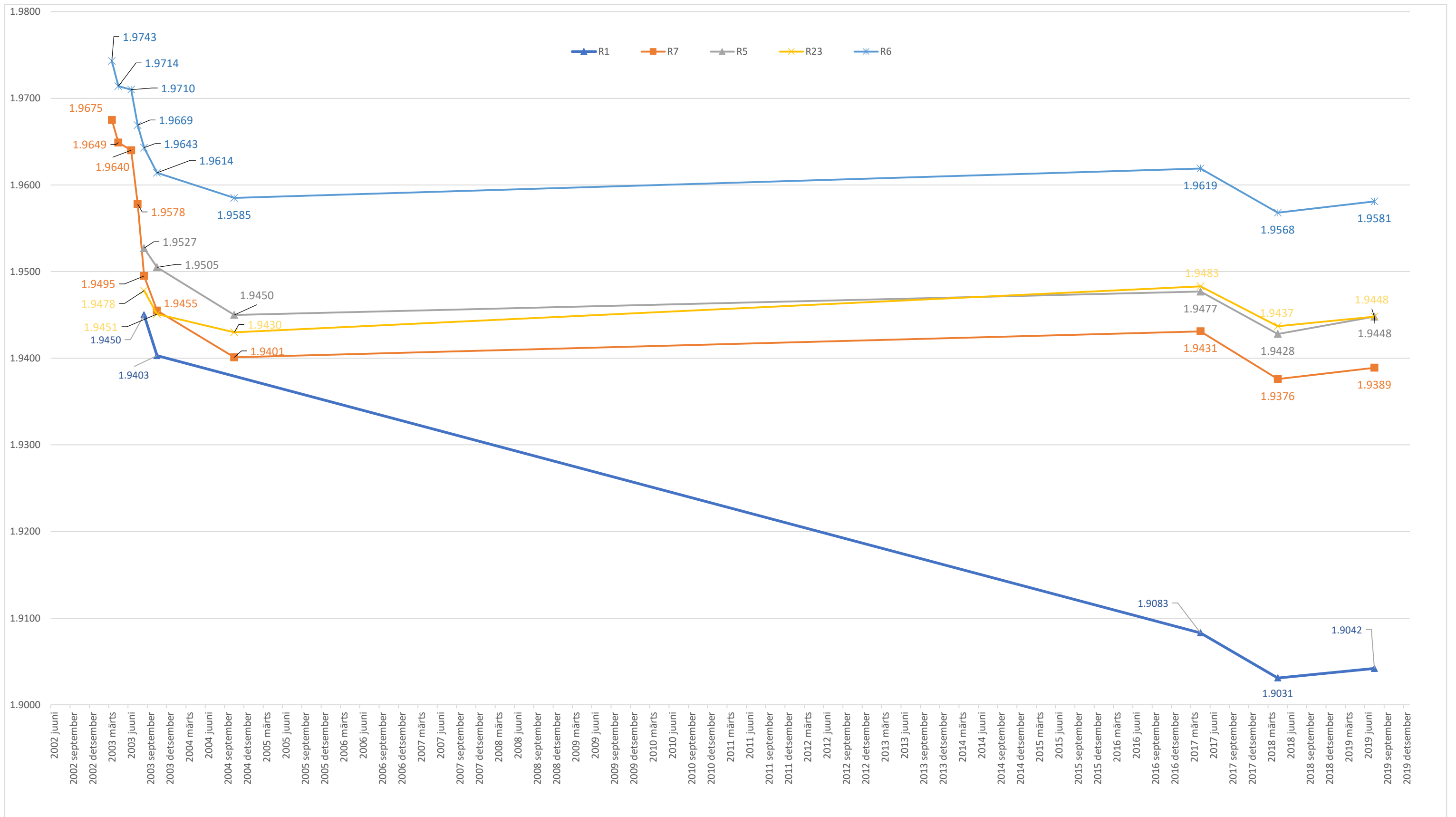
Rostvärkide ja puurvaiade plaan - I ehitusjark



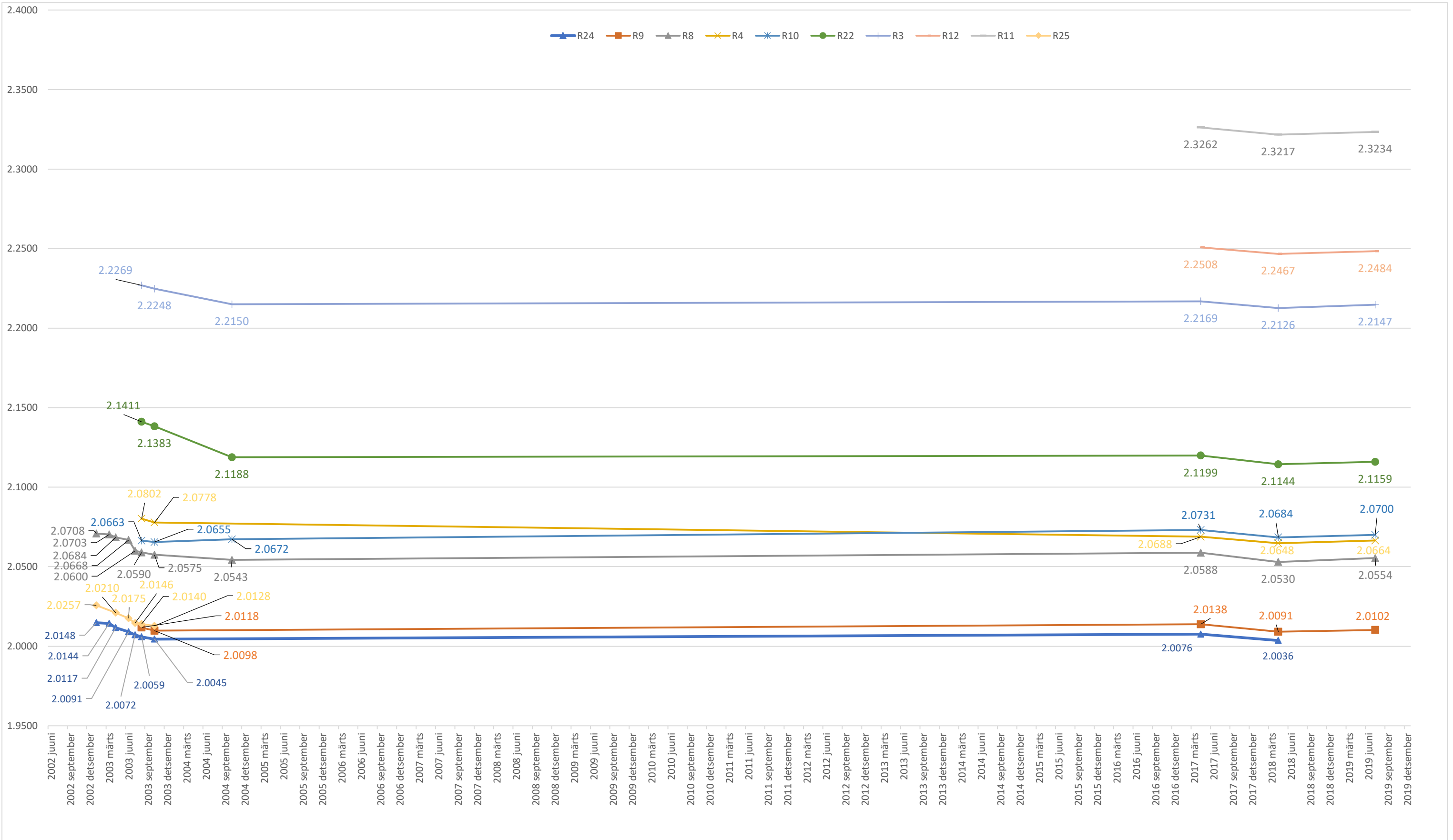
BAUER TEHNOLOOGIAGA PUURVAIAD

- ⊕ VAIAD $\varnothing 880$ 575T KANDEVÕIME
- VAIAD $\varnothing 620$ 285T KANDEVÕIME

Lisa 3. Viru keskuse vajumisreeperite graafik 2003. - 2019. a (1.9 m < H < 2.0 m)



Lisa 3. Viru keskuse vajumisreeperite graafik 2003. - 2019. a ($2.0\text{ m} < H < 2.4\text{ m}$)



LISA 4

Geodeesia lõputööd Tallinna Tehnikaülikoolis alates 1993

TEEDEEHITUSE JA GEODEESIA õppekava (vastuvõtt alates 2017)

TRANSPORDIEHITUSE õppekava (1992-2017)

RAKENDUSGEODEESIA õppekava (1998-2007)

Tähistused

	Teadusmagistri lõputöö
	4 või 5 aastase õppe lõputöö (bakalaureus, diplomiinsener või magister)
	Rakendusgeodeesia eriala lõputöö

Üliõpilane	Aasta	Töö teema
Mairolt Kakko	1993	Tallinna linnahalli geotehniline uurimine
Tauno Saks	1993	Suuremõõtkavaline stereofotogramm-meetriline mõõdistamine
Mati Oja	1993	GPS mõõdistamine Eesti piirialade näitel
Risto Pomerants	1993	Eesti Vabariigi 2. klassi geodeetiline põhivõrk Türi objekti näitel
Peep Kirsimäe	1995	Jätkuvtala- pingbetoonsilla (36+54+36m) projekt koos geodeetiliste töödega
Valdar Tammin	1995	Sillamäe linna plaanilise põhivõrgu ülevaatus ja selle rekonstrueerimise projekt
Marja Talvari	1996	Territoriaalandmete kogumine ja digitaalkaardistus
Arvi Taru	1996	Tallinna geodeetiliste koordinaatsüsteemide võrdlus
Karin Kollo	1996	GPS kontseptsioonid ja nende kasutamine Eesti tihendusvõrgus
Vello Kala	1997	Monteeritavate karkasshoonete rajamise geomeetrilise täpsuse tagamiseks tehtavate geodeetiliste tööde tehnoloogilise kompleksi väljatöötus ja täpsuse analüüs (magistritöö)
Rannala, Marek	2000	Teegeomeetria mõõdistamine reaalaraja kinemaatilise GPS abil
Vallo Padari	2000	Raudtee rekonstrueerimisprojekti geodeetilised uurimistööd Tapa- Nõmmküla objektil
Karin Kollo	2000	Ida-Viru maakonna tihendusvõrgu objekti tasandamine ja arvutustulemuste analüüs (magistritöö)
Arvi Taru	2000	Tallinna kohaliku koordinaatide süsteemi ja Lambert-Est koordinaatide süsteemi sidemest (magistritöö)
Aidi Pank	2002	Koidula raudtee piiriületuspunkti maa-ala topogeodeetilised uurimistööd (rakendusgeodeesia)
Tatjana Belova	2003	Kõrgelasuvate ehituskonstruksioonide kõrguste mõõdistamine muudetud trigonomeetrilisel meetodil (rakendusgeodeesia)
Kert Rebane	2003	Uuringud programmeerimiskeele JAVA kasutamiseks geodeetilise mõõdistussüsteemi loomisel (rakendusgeodeesia)

Andrei Anissimov	2003	Lasernivelliiri QL310 DS täpsuse uurimine (rakendusgeodeesia)
Laura Salumaa	2003	Kohaliku geodeetilise põhivõrgu eelarvutused (rakendusgeodeesia)
Kersti Peetersoo	2003	Muhu vald, Lõetsa ja Tupenurme küla maade tagastamine (rakendusgeodeesia)
Kirsika Koitjärv	2003	Maa raskuskiirenduse mõju hinnang nivelleerimistulemustele Eesti kõrguselise põhivõrgu valitud käikudel (rakendusgeodeesia)
Laura Ulla	2003	Kaalude mõju hindamine Eesti gravimeetrilise põhivõrgu tasandamistulemustele (rakendusgeodeesia)
Kristi Käär	2003	Pakterminali geotehniline kontroll (rakendusgeodeesia)
Kristi Kõiva	2003	Elektro-optilise kaugsmõõtja kalibreerimistulemuste ja mõõtmisandmete redutseerimise vajalikkus kohalike geodeetiliste põhivõrkude tasandamiseks (rakendusgeodeesia)
Kersti Lohvart	2004	Ekvivalentse projektsiooni kasutamine katastrimõõtmisel (rakendusgeodeesia)
Kadi Vahuri	2004	Polügonomeetria mõõtmiste täpsustest kohalike plaaniliste geodeetiliste põhivõrkude rekonstrueerimisel ja rajamisel (rakendusgeodeesia)
Toomas Marrandi	2004	Aerolaserskaneerimise mõõdistusmetoodika ja kasutatav tehnoloogia (rakendusgeodeesia)
Sirle Sink	2004	Geodeetilisi probleeme hüdrograafilisel mõõdistamisel (rakendusgeodeesia)
Riho Võigemast	2004	Uued nõuded projekteerimise geodeetiliste uurimistöodele (1:500-1:2000) (rakendusgeodeesia)
Maido Ridalaan	2004	Balti-Kiisa 330kV ülekandeliini trassi L504 geodeetilised kompleksuuringud, metoodika optimiseeritud lahendused (rakendusgeodeesia)
Raivo Ranne	2004	Geodeesia aluste õppematerjalid (teadusmagister)
Annika Hussar	2005	Kaardilehe servade ühildamine. Probleemid ja lahendused Eesti põhikaardi näitel (rakendusgeodeesia)
Rait Riim	2005	Daatumite transformatsioon ja transformeerimisparameetrite määramine vabavara programmidega (rakendusgeodeesia)
Tuuli Viljamaa	2005	Tallinna teletorni deformatsioonide vaatlused (rakendusgeodeesia)
Kaja Liik	2005	Tornimäe 3 kõrgosa ehituse geodeetilise teenindamise projekt (rakendusgeodeesia)
Ülle Turner	2005	Pääsküla prügila vertikaalsete ja horisontaalsete deformatsioonide kontrollmõõtmised (rakendusgeodeesia)
Erkki Mäekivi	2005	Raskuskiirenduse andmete interpoleerimine Eesti kõrgusvõrgu reeperitele Tartu piirkonnas ning tulemuste analüüs (rakendusgeodeesia)

Gabriela Kotsulim	2005	Uuringud sadamaehitiste rajamisel (magistritöö)
Lauri Lilja	2006	Sangaste-Valga raudteelõigu, pikett 498,87-503,76 geodeetilise alusvõrgu rajamine ja ballasti puhastamise ehitusgeodeetiline teenindamine (rakendusgeodeesia)
Tatjana Belova	2006	Valguskaugusmõõtuuri töö uurimine (magistritöö)
Kristi Kõiva	2006	Välistingimuste mõju GPS mõõtmistulemustele (magistritöö)
Kersti Lohvart	2006	Nivelliiri Leica NA2002 põhitingimuse muutus temperatuuri mõjul (magistritöö)
Ardo Kollo	2006	Geodeetilised tööd naftaplatvormide X ja Y ehitamisel (rakendusgeodeesia)
Martin Loosaar	2007	Tallinna lauluväljaku mõõdistamise analüüs (rakendusgeodeesia)
Andrei Anissimov	2007	Refraktsiooni mõju trigonomeetrilisel nivelleerimisel keskmise pikkusega madalate vaatekiirtega (magistritöö)
Angeelika Sepp	2007	Geodeetiliste tööde probleemid Mercedes-Benz Kuressaare teeninduskeskuse ehitamisel (rakendusgeodeesia)
Kristi Käär	2007	Pakterminali vajumisvaatluste problemaatika ja graafiline kujutamine (magistritöö)
Marju Lember	Kevad 2008	Narva mnt 5 ehitusaegne naaberhoonete geotehniline kontroll
Tarvo Mill	2008	Erinevate mõõtmistehnika võrdlus silla geodeetilisel mõõdistamisel (magistritöö)
Erkki Mäekivi	2008	Raskuskiirenduse andmete võrgustamine ja interpoleerimine Eesti kõrgusvõrgu reeperitele (magistritöö)
Anti Gruno	Kevad 2011	Läänemere valgala hoojaliste massivariatsioonide arvutamine satelliitgravimeetriliste andmete põhjal
Kirill Šapošnitšenko	Juuni 2012	Refraktsiooni ja kalibreerimisparandite arvestamisest täppisnivelleerimisel reeperite stabiilsuse uurimiseks
Silja Talvik	Juuni 2012	Astanguliste pinnavormide mõjust Maa raskuskiirenduse väljale ja täppisnivelleerimise tulemustele Põhja-Eesti klintranniku näitel
Erkko Grünthal	Juuni 2013	Rannaprotsesside monitooring aerolaserskaneerimise kordumõõtmistest
Kalev Julge	Juuni 2013	Aerolaserskaneerimise andmetest maapinna tuvastamine erinevate filtreerimisalgoritmidega
Eigo Kärdi	Juuni 2013	Deformatsioonide uuringud Kiviõli vanal tuhamäel
Aleksandra Kolõganova	Jaanuar 2014	Pinnasetööde mahuarvutused erinevate GIS tarkvarapakettidega Kohtla-Järve poolkoksi ladestu sulgemistöde näitel
Liis Elmi	Juuni 2014	Fassaadide võrdlev mõõdistus tahhümeetria, maapealse fotogramm-meetria ja laserskaneerimisega

Merle Kivistik	Juuni 2014	Korterimaja vajumise uuring kõrgtäpse nivelleerimisega ja invarlattice lihtsustatud kalibreerimise aprobeerimine
Hannes Lõhmus	Juuni 2014	Terrestrilise laserskaneerimise kaasamine sildade koormuskatsetuste geodeetilistel uuringutel
Sander Saarik	Juuni 2014	Elektrontahhümeetrite ja laserskanneri kaugusmõõduri täpsuse hindamine
Martin Sobak	Juuni 2014	Pinnavormide terrestriline laserskaneerimine ja 3D modelleerimine
Katrin Uueküla	Juuni 2014	Terrestrilise laserskaneerimise andmete baasil loodud 3D mudelite kvaliteedi analüüs
Annika Urbel	Jaan 2015	Aerolaserskaneerimise andmetest jõgede pikiprofiilide määramine keila jõe näitel
Taavi Talver	Jaan 2015	Trigonomeetiline nivelleerimine ja laserskaneerimine teede külmaakergete uurimisel
Silver Aule	Jaan 2015	Mittestandardse kujuga ehitiste laserskaneerimine ja punktipilve põhjal modelleerimine TTÜ veetorni näitel
Simo Rebane	Juuni 2015	Mittestandardsete hoonete rajamise geodeetiline teenindamine kaasaegsete mõõdistustehnoloogiate kaasamisega
Aidi Sula	Juuni 2015	UAV mõõdistuse kõrgusliku ja plaanilise täpsuse valideerimine
Jaanus Metsar	Juuni 2015	Riiklik GNSS püsijaamade võrk, selle aegridade kasutamine jääajajärgse maadõusu täpsustamisel"
Priidu-Evert Pärna	Juuni 2017	Laohoone karkassi teostusmõõdistamise meetodite võrdlus
Martti Putnik	Jaan 2018	Mobiilse laserskaneerimise tehnoloogia rakendamine teekatendite mõõdistamisel
Romet Kõök	Jaan 2018	Mehitamata lennumasinade (UAV) fotogramm-meetrite mõõdistuste põhjal koostatavate pinnamudelite täpsus tee-ehituslike rakenduste näitel
Sander Varbla	Juuni 2019	Meregeoidi mudelite valideerimine laeval mõõdetud GNSS ning aerolaserskaneerimise kõrgusprofiilidega
Kaia Malberg	Juuni 2019	Siseruumide ja allmaakaevõõnte ruumikuju määramine mobiilse laserskaneerimisega
Jürgen Resev	Juuni 2019	UAV fotogramm-meetria kasutamine hoone välisgeomeetria ja deformatsioonide mõõdistamisel Tallinna Lennusadama näitel
Kevin Reimann	Juuni 2019	GNSS-RTK võimekusega mehitamata lennumasinatega saavutatava mõõdistustäpsuse evalveerimine
Emil Haljend	Jaanuar 2020	Sildkraanatee laserskanneri mõõdistamise täpsuse aprobeerimine