

**ERINEVATE VUNDEERIMISLAHENDUSTE  
PROJEKTEERIMINE, ANALÜÜS JA VÕRDlus ÜHE  
KORTERMAJA NÄITEL**

**DESIGN, ANALYSIS AND COMPARISON OF DIFFERENT  
FOUNDATION SOLUTIONS ON THE EXAMPLE OF ONE  
APARTMENT BUILDING**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristin Raudla

Üliõpilaskood: 153818EAEI

Juhendaja: Lehar Leetsaar

Tartu, 2020

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"....." ..... 201.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Kristin Raudla (sünnikuupäev: 12.04.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Erinevate vundeerimislahenduste projekteerimine, analüüs ja võrdlus ühe kortermaja näitel“, mille juhendajad on Lehar Leetsaar,

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.

---

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

\_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Kristin Raudla, 153818EAEI

**Õppekava, peeriala:** Ehitiste projekteerimise ja ehitusjuhtimise eriala projekteerimise ja arhitektuuri peeriala

**Juhendaja(d):** Lehar Leetsaar (lektor)

**Konsultant:** -

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) Erinevate vundeerimislahenduste projekteerimine, analüüs ja võrdlus ühe kortermaja näitel

(inglise keeles) Design, analysis and comparison of different foundation solutions on the example of one apartment building

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Arvutada hoonest tulenevad koormused nii kande- kui ka kasutuspiirsesundis
2. Geotehniliste arvutuste teostamine ning üksik-, plaat ja vaivundamendi analüüsimine
3. Arvutusmodeli koostamine plaatvundamendi sisejõudude hindamiseks
4. Vundeerimislahenduste maksumuse võrdlus

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

| Nr | Ülesande kirjeldus                                                                                                                       | Tähtaeg |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. | Koormuste leidmine kande- ja kasutuspiirsesundis                                                                                         | 01.03   |
| 2. | Üksik- ja plaatvundamendi kandevõime kontroll ning vajumite leidmine                                                                     | 31.03   |
| 3. | Vaia kandevõime arvutus ja roostvärgi armatuuri dimensioneerimine                                                                        | 12.04   |
| 4. | Arvutusmodeli koostamine analüüsitarkvaras Autodesk Robot Structural Analysis sisejõudude hindamiseks ning armatuuri dimensioneerimiseks | 31.04   |
| 5. | Plaat- ja vaivundamendi jooniste koostamine                                                                                              | 10.05   |
| 6. | Maksumuse võrdlus ja töö lõplik vormistamine                                                                                             | 25.05   |

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** 29.05.2020

**Üliõpilane:** Kristin Raudla ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Lehar Leetsaar ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

# SISUKORD

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRAAFILINE OSA.....                                                                 | 8  |
| SISSEJUHATUS .....                                                                  | 9  |
| 1. HOONE KIRJELDUS .....                                                            | 11 |
| 2. GEOLOOGIA.....                                                                   | 12 |
| 2.1 Üldosa .....                                                                    | 12 |
| 2.2 Pinnaste geotehnilised omadused ja maa-ala hüdrogeoloogiline iseloomustus ..... | 12 |
| 2.3 Ehitusgeoloogilised tingimused ja soovitud vundeerimiseks .....                 | 16 |
| 3. KOORMUSED.....                                                                   | 18 |
| 3.1 Omakaalukoormus .....                                                           | 18 |
| 3.2 Lumekoormus.....                                                                | 18 |
| 3.3 Piirseisundid .....                                                             | 19 |
| 3.3.1 Kandepiirseisund .....                                                        | 19 |
| 3.3.2 Kasutuspiirseisund .....                                                      | 20 |
| 4. ARVUTUSMETOODIKAD .....                                                          | 22 |
| 4.1 Üksikvundament .....                                                            | 22 |
| 4.1.1 Kandevõime .....                                                              | 22 |
| 4.1.2 Nõrga kihi kontroll .....                                                     | 25 |
| 4.1.3 Vajumid.....                                                                  | 26 |
| 4.1.4 Piirvajumid ja deformatsioonid .....                                          | 29 |
| 4.2 Plaatvundament .....                                                            | 30 |
| 4.2.1 Mõõtmel .....                                                                 | 30 |
| 4.2.2 Kandevõime .....                                                              | 30 |
| 4.2.3 Vajumid.....                                                                  | 31 |
| 4.3 Plaatvundamendi armeerimine .....                                               | 31 |
| 4.4 Läbisurumiskandevõime arvutus .....                                             | 33 |
| 4.5 Vaivundament .....                                                              | 36 |
| 4.5.1 Üldised põhimõtted .....                                                      | 36 |
| 4.5.2 Kandevõime pinnase tunnuseomaduste alusel .....                               | 38 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 4.5.3 Vaia armeerimine .....                         | 38 |
| 5. ÜKSIKVUNDAMENT .....                              | 40 |
| 5.1 Taldmiku laiused ja kandevõime kontroll .....    | 40 |
| 5.2 Nõrga kihi kontroll .....                        | 43 |
| 5.3 Üksikvundamendi vajumid .....                    | 44 |
| 5.3.1 Vajumid ja pinged üksikvundamendi all .....    | 44 |
| 5.2.3 Vajumite suhteline erim .....                  | 45 |
| 6. PLAATVUNDAMENT .....                              | 47 |
| 6.1 Plaatvundamendi koormused ja mõõtmised .....     | 47 |
| 6.2 Plaatvundamendi kandevõime arvutus .....         | 48 |
| 6.3 Plaatvundamendi vajumi arvutus .....             | 50 |
| 6.4 Armeerimine .....                                | 52 |
| 6.4.1 Konstruktiivsed nõuded .....                   | 52 |
| 6.4.2 Põhivõrgud plaadi üla- ja alapinnas .....      | 52 |
| 6.5 Läbisurumiskandevõime kontroll .....             | 57 |
| 7. VAIVUNDAMENT .....                                | 61 |
| 7.1 Vaia kandevõime arvutus .....                    | 61 |
| 7.2.1 Kandevõime pinnase tunnusomaduste alusel ..... | 62 |
| 7.3 Vaia armeerimine .....                           | 63 |
| 7.3.1 Pikiarmatuur .....                             | 63 |
| 7.3.2 Põikarmatuur .....                             | 64 |
| 7.4 Rostvärk .....                                   | 64 |
| 7.4.1 Rostvärgi tõmbearmatuur .....                  | 64 |
| 7.5 Parklakorruse põrandaplaat .....                 | 66 |
| 8. MAKSUMUSE VÕRDLUS .....                           | 67 |
| 8.1 Plaatvundamendi maksumus .....                   | 67 |
| 8.2 Vaivundamendi maksumus .....                     | 67 |
| KOKKUVÕTE .....                                      | 69 |
| SUMMARY .....                                        | 71 |
| KASUTATUD KIRJANDUS .....                            | 73 |
| LISAD .....                                          | 74 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Lisa 1 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta .....               | 74 |
| Lisa 1.1 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta .....             | 75 |
| Lisa 1.2 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta .....             | 76 |
| Lisa 2 Vundamentidele mõjuvad koormused .....                              | 77 |
| Lisa 3 Tegurid $\alpha$ pinge leidmiseks vundamenditalla keskme all.....   | 78 |
| Lisa 3.1 Tegurid $\alpha$ pinge leidmiseks vundamenditalla keskme all..... | 79 |

## GRAAFILINE OSA

| Lehekülg | Joonise nimetus       |
|----------|-----------------------|
| 1        | Vaiade plaan          |
| 2        | Rostvärkide plaan     |
| 3        | Plaatvundamendi plaan |

## SISSEJUHATUS

Hooneid on väga mitmesuguseid. Üldjuhul ei vali arendajad ja tellijad oma investeringute paigutamist ehitistesse just pinnase või ehitisele vajaliku vundamendi järgi. Täpselt ühesugune hoone võib geograafilisest asukohast lähtuvalt vajada erinevat vundeerimislahendust, eriti Põhja- Eesti piirkonnas. Tallinna linna alune ehitusgeoloogiline kaart on väga mitmekesine. Sellistes mitmekesistes ehitusgeoloogilistes tingimustes on esinenud olukordi, kus üks osa ehitatava hoone vundamendist rajatakse madalvundamendina tugevale paekivi alusele, teine osa hoone vundamendist aga vaiadele. Geotehnilisi olusid tuleb põhjalikult analüüsida, et projekteerida hoonele sobilik vundament.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on leida optimaalseim vundeerimislahendus Tallinnasse, Nafta tänavale ehitatavale kortermajale. Vundament on hoone üks oluliseimaid osasid, sest ta peab olema võimeline vastu võtma kogu hoonest tulenevat koormust ning kandma selle pinnasele. Vundamendi piisav kandevõime, optimaalne suurus ning kuju on ehitise püsivuse ja stabiilsuse aluseks kogu eksploatatsioonaja vältel.

Projekteeritava hoone näol on tegemist viiekorruselise hoonega, mis toetub postidele ja jäikusseintele ning mille maa-alusel korrusel asub parkla. Magistritöö aluseks on võetud arhitektuurne eelprojekt ning projekteeritava hoone naaberkrundil tehtud ehitusgeoloogiline uuring. Ehitusgeoloogiline uuring on väga oluline, et teada saada ehitise projekteerimiseks, planeerimiseks ja ehitamiseks vajalikke pinnase omadusi. Ehitusgeoloogilised tingimused vundamendi rajamiseks on keerulised, sest ülemistes kihtides paiknevate liivpinnaste all lasub palju kokkusurutav savimõll suures paksuses ning veetase võib tõusta kõrgemale planeeritavatest vundamentidest.

Tellijal lähteülesandeks oli rajada hoone plaatvundamendile. Lähtudes geoloogilisest uuringust tuleks vaivundamendi kasutamise korral vaia ligikaudseks pikkuseks 35 -40 m, mis võib maksumuse seisukohalt üpriski kulukas olla. Magistritöö eesmärgiks on analüüsida nii madalvundamente kui ka vaivundamenti ning jõuda selgusele, missugune lahendus on ökonoomsem ja rahaliselt soodsam.

Madalvundament on üks enimkasutatavaid vundamentitüüpe. Madalvundament jaguneb kolmeks suuremaks põhigrupiks: lintvundament, üksikvundament ning plaatvundament. Käesolevas magistritöös analüüsitakse üksikvundamentide ja plaatvundamendi

kasutamise võimalikkust. Vundamendi tüübi valik sõltub pinnaseoludest. Üksikvundamenti ei ole mõistlik kasutada, kui ehitusgeoloogilised tingimused nõuavad liiga suuri taldmikke, mille laiused muutuvad suureks, kattuvad omavahel või tekivad suured vajumite erimid, mis ei mahu lubatud piirmäära. Plaatvundamenti kasutatakse, kui geoloogiliselt lasub hoone all suhteliselt nõrk pinnas või hoonest tulev koormus on suur. Plaatvundament vähendab nii survet pinnasele kui ka vajumite erimeid hoone erinevate konstruktsiooni osade vahel.

Vaivundamente kasutatakse, kui madalvundamendi vajumid osutuvad liiga suureks või ei ole võimalik tagada selle piisavat kandevõimet. Vaivundamenti kasutatakse samuti keeruliste geoloogiliste tingimuste korral, näiteks kõrge pinnasevee taseme korral. Vaiad kannavad ehitisest tuleva koormuse läbi nõrkade pinnasekihtide sügavamale asetsevatele tugevamatele pinnasekihtidele.

Magistritöös on leitud hoonest tulenevad koormused nii kande- kui ka kasutuspiirsesundis (Lisa 2). Seejärel on analüüsitud geoloogiat, mille tulemusena on arvatud üksikvundamendi aluse kandevõime ning vajum. Samuti on võrreldud vajumite erimeid üksikvundamendi taldmike vahel. Erinevate üksikvundamentide vajumid peavad jääma lubatud piirmäära, sest suur suhteline vajum põhjustab deformatsioone ja täiendavaid pingeid konstruktsioonides ning nende sõlmedes. Lisaks eelnevale on leitud plaatvundamendi kandevõime, vajum ning dimensioneeritud armatuur. Seejärel on teostatud vaivundamendi kandevõime arvutus ning dimensioneeritud vaia ja roostvärgi armatuur.

Magistritöö viimane etapp keskendub vundeerimislahenduste võrdusele maksumuse alusel. Maksumuse hindamiseks on võetud kolme erineva ettevõtte pakutavate hindade keskmine. Hinnad sisaldavad nii materjali kulu kui ka tööraha.

# 1. HOONE KIRJELDUS

Projekteeritav hoone on ristikülikukujulise põhiplaaniga. Hoone on viiekorruseline, kogukõrgusega maapinnast 17,2 meetrit, korruste kõrguseks on 3,08 meetrit. Lisaks maapealsetele korrustele on hoonel maa-alune korrus, kus asub parkla. Parklasse pääseb autodega mööda kaldteed, mis asub hoone küljel. Hoone keskteljel paikneb trepikoda ning liftisaht läbi kõigi korruste.

Hoone jäikus ja stabiilsus tagatakse vahelaeplaatide ja jäikusseinte koostööna. Hoone kandeskeleti moodustavad raudbetoon-paneelid ning osaliselt nende vahele toetuvad terastalad. Vahe- ja katuselae konstruktsiooni moodustavad seinapaneelidele toetuvad raudbetoonist õõnespaneelid. Parkimiskorrusel on õõnespaneelid toetatud raudbetoonist karkassile. Parkimiskorruse postid ja trepikoja kandeveinad on paigalvalu betoonist.



Joonis 1.1 Korterelamu arhitektuurne vaade

## **2. GEOLOOGIA**

### **2.1 Üldosa**

Ehitusgeoloogilised uuringud teostati naaberkrundil Nafta 3 1 PARTNER ADVISORY OÜ tellimusel. Uuringute eesmärgiks oli geotehniliste lähteandmete saamine nelja viiekorruselise keldriga korterelamu projekteerimiseks ja ehitamiseks. [1]

Välitöid teostati ajavahemikul 12.-30. detsembril 2014. aastal ja 9. jaanuaril 2015. aastal. Välitööde käigus puuriti multifunktsionaalse agregaadiga GM-65 GTT seitse puurauku maksimaalse sügavusega 10 m ja kogumahus 63 m ja tehti üheksa löökpenetratsiooni (DPSH-A) katset (vasara kaal 63,5 kg, tõstekõrgus 0,5 m, koonuse otsa ristlõikepindala 16 m<sup>2</sup>) maksimaalse sügavusega 39,4 m ja kogumahus 335,2 m. Seade vastab standardile EN ISO 22476-2:2005. Löökpeneratsiooni katsete andmetest arvutati vastavalt GOST 19912-74-le dünaamiline eritakistus ( $q_d$ ). Puuraugust võeti kolm rikutud struktuuriga pinnaseproovi, mis teimiti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Geotehnikalaboris laborijuhata U. Lembergi juhendamisel. [1]

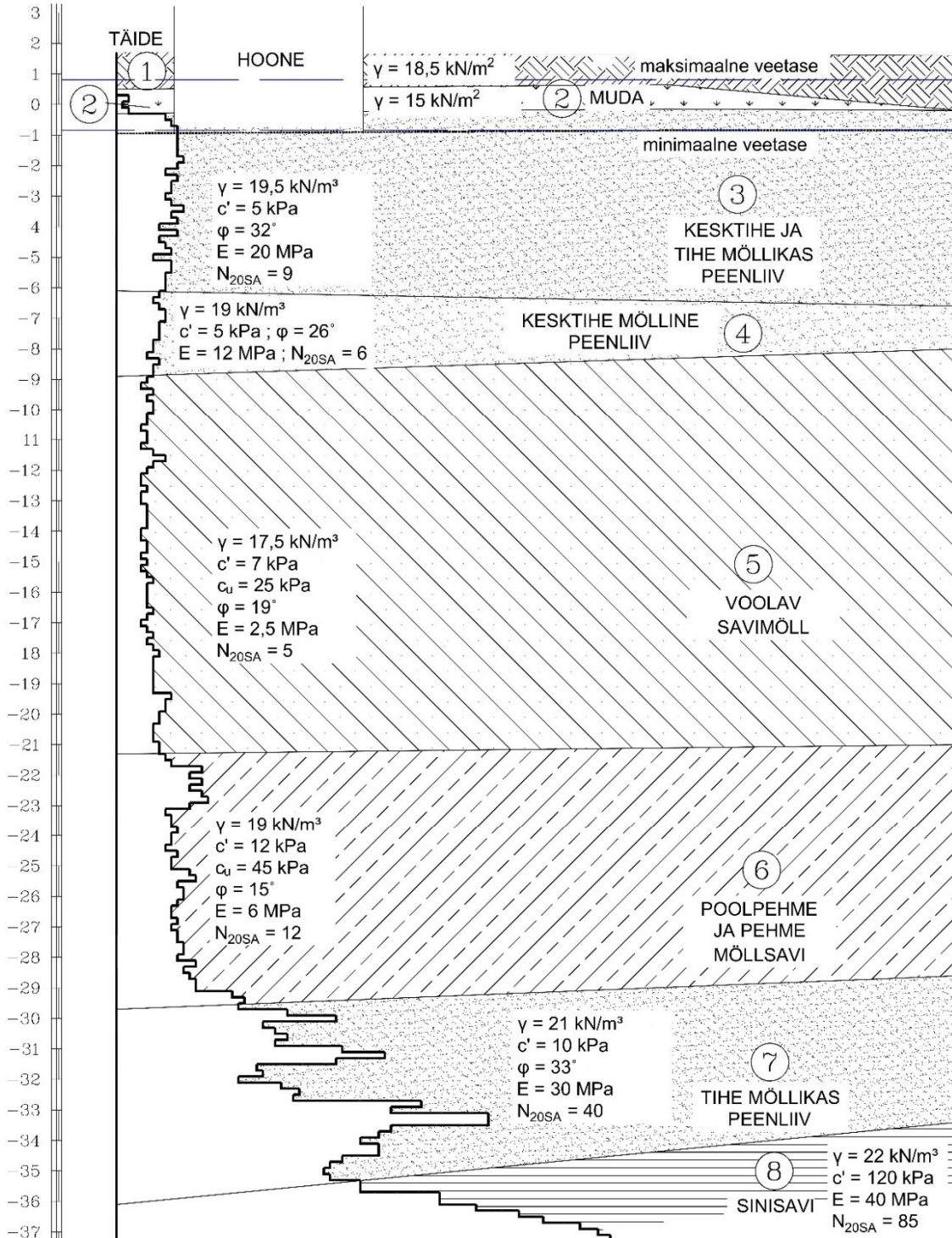
Plaanis seoti uuringupunktid kohaliku situatsiooniga ja kõrguslikult kindelpunktidega maa-ala plaanil. Alusplaanina kasutati geodeesiafirma Viageo OÜ 2014. Aastal koostatud maa-ala plaani mõõdus 1:500 (töö nr VGT 145). [1]

### **2.2 Pinnaste geotehnilised omadused ja maa-ala hüdrogeoloogiline iseloomustus**

Uuritav piirkond jääb Tallinna kesklinna läbiva kirde-edelasuunalise aluspõhjavagumuse kaguveeru asukohta. Alam-Kambriumi Lontova lademe sinisavi jääb käesoleva uuringu andmeil 33,2-38 m sügavusele maapinnast. Vagumust täitvad kvaternaarisetted on esindatud täide, muda, holotseeni ja pleistotseeni mereliste ning jääjärveliste liiv-, möll-

ning savipinnastega. Kvaternaarisetete paksuse üldine suurenemine on loodesse, aluspõhjavagumuse sügavama osa suunas.

Geoloogilist ehitust on käsitletud kihtide kaupa ülalt alla. [1] Pinnase geoloogiline lõige on esitatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Pinnase geoloogiline lõige [1]

Jooniselt 2.1 mõõdetud pinnasekihtide keskmised kõrgused on esitatud tabelis 2.1.

Joonis 2.1 Pinnasekihtide keskmised kõrgused

| Kihi nr | Keskmine kõrgus (m) |
|---------|---------------------|
| 1       | 1,18                |
| 2       | 0,8                 |
| 3       | 5,7                 |
| 4       | 2,55                |
| 5       | 12,5                |
| 6       | 8,25                |
| 7       | 6,1                 |

Pinnaste normatiivsed näitajad on esitatud tabelis 2.2. Nende esitamisel on lähtutud esmajoones löökpenetratsiooni katsete ning puurimisandmete ja laboriteimidega saadud tulemuste korrelatsioonist varasemate töödega. Pinnased on liigitatud vastavalt EVS 1997-1:2003 lisa 1 nõuetele. [1]

Tabel 2.2 Pinnase normatiivsed näitajad [1]

| Kiht | Pinnas                              | $\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $e_n$ | $c_u$<br>(kPa) | $c$<br>(kPa) | $\phi$<br>(kraadi) | $E$<br>(MPa) | $q_d$<br>(MPa) | $q_s$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
|------|-------------------------------------|----------------------------------|-------|----------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|-------------------------------|
| 1    | Täide                               | 18,5                             |       |                |              |                    |              |                |                               |
| 2    | Muda                                | 15                               |       |                |              |                    |              |                |                               |
| 3    | Keskthiie ja tihe möllikas peenliiv | 19,5                             | 0,6   |                | 5            | 32                 | 20           | 4,8            | 22                            |
| 4    | Keskthiie mölliline peenliiv        | 19                               | 0,7   |                | 5            | 26                 | 12           | 2,9            | 17                            |
| 5    | Voolav savimöll                     | 17,5                             | 0,85  | 25             | 7            | 19                 | 2,5          | 1,4            | 15                            |
| 6    | Poolpehme ja pehme möllsavi         | 19                               | 0,95  | 45             | 12           | 15                 | 6            | 2,8            | 25                            |
| 7    | Tiie möllikas peenliiv              | 21                               | 0,5   |                | 10           | 33                 | 30           | 10,6           | 70                            |
| 8    | Sinisavi                            | 22                               | 0,55  |                | 120          | 0                  | 40           | 20,0           | 120                           |

Maa-alal on osaliselt säilinud varasemad hooned, maa sees esineb varem hävinud hoonete vundamente. Hoonete vahel on asfaltkattega teid ja platse. Maa-alal on 3-4 meetri kõrguseid täitepinnase hunnikuid ja valle ning kasvab lehtpuid. Projekteeritava hoone läheduses täitepinnase hunnikud puuduvad. Kinnistu läheduses paiknes kuni aastani 2015 madalvundamentidele projekteeritud 1-korruseline kuur. Lammutatud kuur

projekteeritavat hoonet ei mõjuta, kuna antud hoone ei asu projekteeritava hoone vahetus läheduses. [1]

Asfalt on teede ja platside katendiks PA-4, LP-2 ja 3 asukohas paksusega 0,04...0,12 m. [1]

Täide (kiht 1) on pindmiseks kihiks kogu maa-alal paksusega 1,0...2,3 m. Täite koostises esineb liiv, muld, kruus, veerised ja ehituspraht. Täites on ka betooni- ja müüritükke, tuhka ja puidujäänuseid. Täite ülaosa on enamasti tihenenud, sügavamal aga kohev ja mudane. [1]

Muda (kiht 2) levib täite all maa-ala kesk- ja kaguosas (PA-2, 4, 7 ja LP-3, 8, 9) 0,3...0,8 m paksuse kihina. Jäädes pinnavee mõjutsooni ei ole muda oluliselt tihenenud. [1]

Täite või muda all lasuvad merelised liivpinnased, mis moodustavad 7,7...8,8 m paksuse kompleksi. Geotehniliste omaduste järgi saab mereliivad jagada kaheks kihiks. [1]

Möllikas peenliiv (kiht 3) lasub 1,8...2,3 m sügavusel maapinnast 5,8...6,3 m paksuse kihina. Liiv on halli värvusega ja veega küllastunud. See on liivpinnastest kõige paremate geotehniliste omadustega kiht ja sellele kihile on enamasti rajatud ümbruskonna hoonete madalvundamendid. Möllikas peenliiv on heade geotehniliste omadustega vähe kokkusurutav pinnas. [1]

Mölline peenliiv (kiht 4) on liivakompleksi alumiseks 1,4...3,0 m paksuseks kihiks. Kihi pealispind jääb 7,6...8,4 m sügavusele maapinnast. Liiv on hall ja veeküllastunud. Sügavuse suurenedes kasvab möllisisaldus ja väheneb liivafraktsiooni sisaldus, mistõttu valdavaks muutub mölline peenliiv. Mölline peenliiv on keskmiselt kokkusurutav pinnas. [1]

Mereliivade all, maapinnast 9,6...10,6 m sügavusel algab mereliste ja jääjärveliste palju ja keskmiselt kokkusurutaate möll- ja savipinnaste kompleks kogupaksusega 18,8...22,8 m. Kompleks jaguneb kaheks kihiks. Iseloomulik on sauefraktsiooni kasv sügavuse suurenedes. [1]

Savimöll (kiht 5) moodustab 11,0...13,2 m paksuse kihi. Geoloogilise löike järgi on see kõige nõrgemaks kihiks. Pinnas on tumehall, väheplastne, sisaldab kolloidset orgaanilist

ainet, alates 16 m sügavuselt on värvilise tekstuuriga. Pinnas on voolava konsistentsiga ja palju kokkusurutav, [1]

Möllsavi (kiht 6) lasub savimölli all, 20,8...23,6 m sügavusel maapinnast 6,2...11,4 m paksuse kihina. Pinnas on pruunikashall, keskpastne, värvilise tekstuuriga, poolpehme ja pehme konsistentsiga. Kiht ei ole homogeenne, esineb tihedaimaid savimölli ja peenliiva vahekihte. Võrreldes lasuva savimölliga on möllsavi geotehnilised omadused paremad. [1]

Möllikas peenliiv (kiht 7) jääb maapinnast 28,6...32,8 m sügavusele ja kihi paksus on 3,2...6,4 m. Liiv on tihe ja veeküllastunud. Pinnase geotehnilised omadused paranevad sügavuse suurenedes, kuid kihis on nõrgemaid savimölli ja möllsavi vahekihte. Möllikas peenliiv on heade geotehniliste omadustega vähe kokkusurutav pinnas. [1]

Sinisavi (kiht 8) lasub 33,2...38,0 meetri sügavusel maapinnast. Aluspõhjavagumuse veerust tingitult on sinisavi pealispind ebatasane üldise loodesuunalise kallakusega. Sinisavi on geoloogilise lõike parimate geotehniliste omadustega pinnaseks. [1]

Pinnaseveetase oli välitööde ajal 30.12.2014 1,9...2,45 m sügavusel maapinnast, absoluutkõrgusel -0,2...-0,85 m. Suuremate sadude järgselt võib veetase tõusta 0,5...1,0 m kõrgemale registreeritust. Vettkandvateks pinnasteks on täide ja mereliivad. Pinnase geoloogiline lõige on esitatud joonisel 2.1. [1]

## **2.3 Ehitusgeoloogilised tingimused ja soovitud vundeerimiseks**

Ehitusgeoloogilised tingimused on keerulised, sest maa-ala paikneb Tallinna kesklinna läbiva aluspõhjavagumuse piirkonnas, kus geoloogilise lõike ülaosas aktiivsooni piires esinevad tihedad-kesktihedad liivad ja nende all palju kokkusurutav savimölli suures paksuses. [1]

Projekteerimise aluseks on geoloogilises uuringus antud järgmised vundeerimissoovitused. Kui rajada hoone madalvundamendile, tuleb eelnevalt eemaldada vundamenditaldmike alt halbade geotehniliste omadustega täite- ja mudakiht (kihid 1 ja 2). Säilitada tuleks heade

geotehniliste omadustega möllikas peenliiv (kiht 3) kogu paksuses, arvestades, et kihi ülaosa on parimate geotehniliste omadustega. Kuni ca 20 m sügavuseni maapinnast on liiv- ja möllpinnased rõhtsa lasumusega, sügavamal aga on kihid vagumuse keskosa poole loodesuunaliselt kallutatud. Hoonetest põhjustatud koormuste ühtlasel jaotumisel savimölli kihi (kiht 4) kokkusurumisest põhjustatud vajumites suuri erinevusi ei teki. Vajumid on suurimad peale täiskoormuse rakendamist. Vajumite vaibumine toimub ca 10 aasta jooksul.

Raskendavaks asjaoluks vundamentide rajamisel on kõrge pinnaseveetase, mille alandamiseks looduslikud eeldused puuduvad. Pinnaseveealandus tuleb teha väljaspool vundamendisüvendit ja süvend hoida vundamentide ehitamise ajal kuiv. Keldrite kuivana hoidmiseks on vajalik rajada drenaaž. Süvendi kaevamisel on veeküllastunud möllikas peenliiv tundlik struktuuri rikkumisele. Kaevetöödel vee all omandab ta ebavesiliiva omadused ja allub dünaamilistele mõjutustele. Seetõttu võib pinnase kandevõime oluliselt väheneda. Madalvundamentide sobivust tuleb kontrollida geotehniliste arvutustega. [1]

Kui madalvundament ei peaks tehnilistel või majanduslikel põhjustel hoonete vundeerimiseks sobima, saab hooned rajada ka vaivundamendile. Vaiad tuleks süvistada sinisavisse (kiht 8) ca 1,5 m ulatuses, sügavusele, kus löökpenetreerimise dünaamiline takistus ( $q_d$ ) on üle 20 MPa. Antud magistritöös on arvestatud, et vaiad süvistatakse 1 m ulatuses sinisavisse. Vaia puurimisel saab mõõta vaia puurimise takistust ning puurmeisterid peavad vastavalt puurimise andemetele jälgima, et oleks saavutatud vajalik dünaamiline takistus 20 MPa. Vaiade orienteeruv pikkus maapinnast on suur, sõltuvalt hoonete paiknemisest vagumuse veeru suhtes vahemikus 35...40 m. [1]

## 3. KOORMUSED

### 3.1 Omakaalukoormus

Konstruksioonide omakaalukoormus on määratud projektmõõtmete ja materjalide mahukaalu järgi. Normatiivsete omakaalukoormuste leidmiseks on kasutatud materjali kihtide summeerimist lähtuvalt materjali paksusest ning mahukaalust. Arvutuste lihtsustamiseks on kergvaheseintest tulenev koormus  $1 \text{ kN/m}^2$  liidetud juurde vahelae koormusele. Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta on esitatud (Lisa 1).

### 3.2 Lumekoormus

Lumekoormuse leidmine toimub vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016. Maapinna lumekoormuse normatiivne väärtus  $s_k$  määratakse lumekoormuse kaardilt. [3]

Vastavalt standardile leitakse lumekoormus valemiga [3]:

$$s = \mu_i \cdot s_k \quad (3.1)$$

kus  $s_k$  – lumekoormuse normsuurus maapinnal,  
 $\mu_i$  – lumekoormuse kujutegur.

Vastavalt lumekoormuse kaardile on Tallinnas lumekoormuse normsuurus maapinnal  $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ . Lamekatuse korral on kujutegur  $\mu_i = 0,8$ . [3]

$$s = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### 3.3 Piirseisundid

Konstruktsooniarvutustega kontrollitakse, et ei ületataks konstruktsioonidele ette seatud piirseisundi tingimusi. Kontrollitakse nii kõiki võimalikke arvutusolukordi kui ka arvutusolukordadele vastavaid võimalikke koormusjuhte. Üldjuhul eristatakse kahte põhilist piirseisundit, milleks on kande- ja kasutuspiirseisund. [4]

#### 3.3.1 Kande- ja kasutuspiirseisund

Kande- ja kasutuspiirseisund seostub konstruktsiooni purunemise, staatilise tasakaalu kaotusega, stabiilsuse kaotusega või muude kahjustustega, mille tõttu tekib konstruktsiooni kande- ja kasutuspiirseisund ning tekib oht inimeste turvalisusele ja tervisele. [4] Kande- ja kasutuspiirseisund vastab konstruktsiooni või selle osa suurimale kande- ja kasutuspiirseisundile. Vundamentidele mõjuvad koormused kande- ja kasutuspiirseisundis on esitatud lisas 2. Kande- ja kasutuspiirseisundis leitud koormusi kasutatakse taldmiku laiuste määramisel ning kande- ja kasutuspiirseisundi kontrollil. Alaliste või ajutiste arvutusolukordade koormuskombinatsioon on [4]:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.2)$$

kus "+" ja  $\Sigma$  tähistavad mõjumist samaaegselt ühes kombinatsioonis,

$\gamma$  – koormuse osavarutegur vastavalt indeksile,

$Q_{k,1}$  – domineeriv muutuvkoormus,

$Q_{k,i}$  – muu muutuvkoormus

$\psi$  – kombinatsioonitegur

Arvutuskõormused kande- ja kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonides on esitatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2 Arvutuskõormused kande- ja kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonides [4]

| Arvutusolukord     | Alalised koormused $G_d$       |                                | Sõltumatud muutuvkoormused |                                   |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                    | Ebasoodne mõju                 | Soodne mõju                    | Domineerivad               | Muud                              |
| Alaline ja ajutine | $\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ | $\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$ | $\gamma_{Q,i} Q_{k,1}$     | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

Osavarutegurid kandepiirseisundis alalises ja ajutises arvutusolukorras, väljaarvatud pinnase tugevuse ja vajumitega seotud kandepiirseisundis on esitatatud tabelis 3.3.

Tabel 3.3 Osavarutegurid kandepiirseisundis alalises ja ajutises arvutusolukorras [4]

| Koormuse liik                                                                                                   | Osavaruteguri tähis | Osavaruteguri väärtus |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>Alalised koormused</b><br>Kandevõime kaotus (sõltub materjali tugevusest – purunemine ja stabiilsuse kaotus) |                     |                       |
| Ebasoodne mõju                                                                                                  | $\gamma_{G,sup}$    | 1,2                   |
| Soodne mõju                                                                                                     | $\gamma_{G,inf}$    | 1,0                   |
| <b>Muutuvkoormused</b>                                                                                          |                     |                       |
| Ebasoodne mõju                                                                                                  | $\gamma_Q$          | 1,5                   |
| Soodne mõju                                                                                                     | $\gamma_Q$          | 0,0                   |

### 3.3.2 Kasutuspiirseisund

Kasutuspiirseisundi ületamisel ei ole konstruktsioon või tema osa enam suuteline täitma talle esitatud eksploatatsiooni-nõudeid nagu inimeste mugavus ja ehitise välimus. Kasutuspiirseisund on jaotatud kaheks – taastuv ja taastumatu. Juhul kui koormuse põhjustatud tagajärjed jäävad alles ka pärast koormuse eemaldamist on tegemist taastumatu kasutuspiirseisundiga. Kui tagajärjed kaovad pärast koormuse eemaldamist on tegemist taastuva kasutuspiirseisundiga. [4] Vajumite arvutamisel kasutatakse kasutuspiirseisundis leitud koormusi. Käesolevas magistritöös on arvestatud normkombinatsiooniga, mida kasutatakse taastumatute kasutuspiirseisundite puhul ning mis avaldub kujul [4]:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "Q_{k,1}" + " \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.3)$$

Arvutuskormused kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonides on esitatud tabelis 3.4.

Tabel 4.4 Arvutuskormused kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonides [4]

| Kombinatsioon | Püsikoormused | Muutuvkoormused |                      |
|---------------|---------------|-----------------|----------------------|
|               |               | Domineeriv      | Muud                 |
| Normatiivne   | $G_k$         | $Q_{k,1}$       | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

Kombinatsioonitegurid kasutuspiirseisundis on esitatud tabelis 4.5.

Tabel 4.5 Kombinatsioonitegurid [4]

| <b>Koormuse liik</b>                      | <b><math>\Psi_0</math></b> |
|-------------------------------------------|----------------------------|
| Kasuskoormus<br>- klass A (eluruumid jms) | 0,7                        |
| Lumekoormus                               | 0,5                        |

Kasutuspiirseisundis leitud koormused on esitatud tabelis (Lisa 2).

## 4. ARVUTUSMETOODIKAD

### 4.1 Üksikvundament

#### 4.1.1 Kandevoime

Vundamendi mõõtmel peab määrama nii, et oleks täidetud tingimus [5]:

$$V_d \leq R_d$$

kus  $V_d$  – kandepiirseisundis vundamendi tallale mõjuv arvutuslik normaaljõud, sealhulgas vundamendi ja tagasitäite omakaal,

$R_d$  – pinnase tugevusest ja vundamendi mõõtmetest sõltuv vundamendi kandevoime talle normaali suunas. Kandevoime arvutamisel tuleb kasutada pinnaseparameetrite arvutussuursusi.

EVS-ENV 1997-1 järgi võib kasutada kolme erineva osavarutegurite süsteemiga arvutusvarianti, mida tähistatakse AV. Antud magistritöös on kasutatud arvutusvarianti AV2, mille korral rakendatakse osavarutegurid nii koormustele kui ka kandevoimele. Valitud arvutusvariant on eelistatuim, sest koormuse arvutusväärtus pinnasest tingitud kandevoime arvutusel on samasugune kui vundamendi materjali tugevuse kontrollimisel. Osavarutegurid tähistatakse koormustele  $\gamma_F$ , pinnase omadustele  $\gamma_M$  ja kandevoimele  $\gamma_R$ . Jaotusvundamendi kandevoime osavarutegurid  $\gamma_R$  on esitatud tabelis 4.1. [5]

Tabel 4.1 Jaotusvundamendi kandevoime osavarutegurid  $\gamma_R$  [5]

|              | Arvutusvariant |
|--------------|----------------|
| Vastupanu    | AV2            |
| Kandevoimele | 1,5            |
| Lihkele      | 1,2            |

Tsentriselt surutud üksikvundamendi kandevõime dreeneeritud tingimustes avaldub kujul [5]:

$$R_d = B^2 \cdot \frac{(0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma + q' \cdot N_q \cdot s_q + c' \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_R} \quad (4.1)$$

kus  $B$  – taldmiku laius, m,  
 $\gamma$  – tallast allpool asuva pinnase efektiivmahukaal, kN/m<sup>3</sup>,  
 $N_q, N_\gamma, N_c$  – pinnase kandevõime tegurid,  
 $s_q, s_\gamma, s_c$  – talla kuju arvestavad tegurid dreeneeritud tingimustes,  
 $q'$  – pinnase omakaalust tingitud efektiivsurve talla tasapinnas, kN/m<sup>2</sup>,  
 $c'$  – efektiivniidusus, kPa.

Tsentriselt surutud üksikvundamendi kandevõime dreeneerimata tingimustes avaldub kujul [5]:

$$R_d = \frac{B^2 \cdot [(\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c + q']}{\gamma_R} \quad (4.2)$$

kus  $c_u$  – dreeneerimata nihketugevus, kPa,  
 $s_c$  – talla kuju arvestav tegur dreeneerimata tingimustes.

Pinnase omakaalust tingitud efektiivsurve talla tasapinnas avaldub kujul [5]:

$$q' = d \cdot \gamma'_1 \quad (4.3)$$

kus  $d$  – vundamendi süvis, m,  
 $\gamma'_1$  – tallast ülalpool asuva pinnase keskmine mahukaal, kN/m<sup>3</sup>.

Kogu koormus koos vundamendi omakaaluga avaldub kujul [5]:

$$V_d = \Delta V + V_{1d} \quad (4.4)$$

kus  $\Delta V$  – vundamendi omakaal, kN.

Vundamendi omakaalu võib määrata seosega [5]:

$$\Delta V_d = B^2 \cdot d_k \cdot \gamma_k \cdot \gamma_G \quad (4.5)$$

kus  $\gamma_k$  – vundamendi ja selle tallale jääva pinnase efektiivmahukaal  $\gamma_k = 22$  kN/m<sup>3</sup>.

Talla kuju arvestavad tegurid dreenitud tingimustes leitakse valemitega [5]:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi' \quad (4.6)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \quad (4.7)$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad (4.8)$$

kus  $\varphi'$  – efektiivsisehõõrdenurk, °.

Talla kuju arvestav tegur dreenimata tingimustes leitakse valemiga [5]:

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B'}{L'} \quad (4.9)$$

Pinnase kandevõimetegurid leitakse valemitega [5]:

$$N_q = e^{\tan \varphi' \cdot \tan^2 \cdot \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)} \quad (4.10)$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi' \quad (4.11)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi' \quad (4.12)$$

Tingimusest  $R_d = V_d$  saab kuupvõrrandi  $a_3 \cdot B^3 + a_4 \cdot B^2 - V_1 = 0$  [5].

Abisuurused  $a_3$  ja  $a_4$  leitakse valemitega [5]:

$$a_4 = \frac{(q' \cdot N_q \cdot s_q + c' \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_R} - d_k \cdot \gamma_K \cdot \gamma_G \quad (4.13)$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot \gamma' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma}{\gamma_R} \quad (4.14)$$

Kuupvõrrandi saab lahendada järk-järgulise lähenemise teel ning selleks kasutatakse võrrandit kujul [5]:

$$B_{i+1} = \sqrt{\frac{V_{1d}}{a_3 \cdot B_i + a_4}} \quad (4.15)$$

kus  $B_i$  – alglahend, m,

$B_{i+1}$  – iteratsiooniga täpsustatud lahend, m.

Esimesel sammul võib alglähendiks võtta [5]:

$$B_1 = \sqrt{\frac{V_d}{a_4}} \quad (4.16)$$

#### 4.1.2 Nõrga kihi kontroll

Kui vundamendi all esineb 3...4 talla laiuse sügavusel nõrgemaid pinnasekihte kui vahetult talla all, tuleb kandevõimet täiendavalt kontrollida. Sõltuvalt pinnasekihtide asendist ja omadustest võib ebaühtlasel pinnasel asuva vundamendi kandevõime olla väiksem või suurem kui ühtlase pinnase puhul. Vundamendi kandevõime koosneb alumise nõrgema kihi kandevõimest ja ülemise, tugevama kihi läbilõikamiseks vajalikust jõust. Täidetud peab olema tingimus, kus nõrgema kihi tugevus on väiksem ülemise (kandva) kihi tugevusest. [5] Nõrga kihi arvestamise arvutusskeem on esitatud joonisel 4.1. Vertikaalselt koormatud riskülikulise vundamendi kandevõime drenitud tingimustes saab leida valemiga [5]:

$$R_{k;d} = R_{2d} + \frac{h \cdot (B' + L') \cdot [1,5 \cdot c'_1 + (h \cdot \gamma'_{1h} + 2 \cdot d \cdot \gamma'_{1d}) \cdot K_s \cdot \tan \varphi']}{\gamma_R} - h \cdot B' \cdot L' \cdot \gamma'_{1h} \cdot \gamma_G \quad (4.17)$$

kus  $R_{2d}$  – arvutuskandevõime juhul, kui vundament oleks rajatud alumisele kihile, kN,

$h$  – talla ja nõrga kihi vahele jääv paksus, m,

$B'$  ja  $L'$  – talla efektiivlaius ja -pikkus, m,

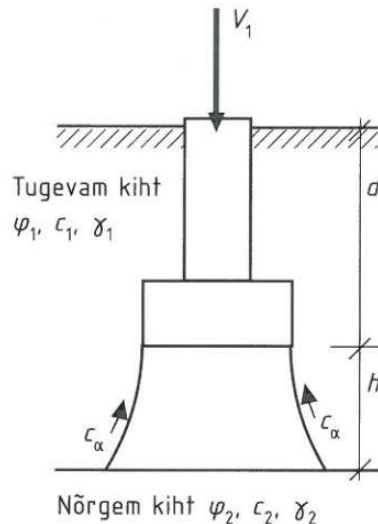
$\gamma'_{1h}$  ja  $\gamma'_{1d}$  – pinnase keskmine mahukaal vastavalt  $h$  ja  $d$  ulatuses, kN/m<sup>3</sup>,

$K_s$  – lõiketegur, mille suurus sõltub ülemise ja alumise kihi kandevõimest.

Lõiketeguri  $K_s$  saab leida valemiga [5]:

$$K_s = 3 - 0,23 \cdot \varphi + 0,0065 \cdot \varphi^2 \quad (4.18)$$

kus  $\varphi$  – ülemise tugevama kihi sisehõõrdenurk, °.



Joonis 4.1 Nõrga kihi arvestamise arvutuskeem [5]

### 4.1.3 Vajumid

Ehitise ja ehitist teenindavate kommunikatsioonide töökindluse tagamiseks on vajalik vajumi õige prognoosimine. Vajumite arvutusega kontrollitakse kasutuspiiriseisundi nõuete täitmist. Kasutuspiiriseisundi ületamisel võivad tekkida ehitiste normaalset kasutamist segavad kahjustused – välimust kahjustavad praod, takistused avatäidete avamisel ning seadmete kasutamisel. Vajumi õigest hindamisest sõltub nii vundamendi konstruktsioon kui ka tüübi valik. Võimalikult täpseks tulemuseks on vaja pinnase kokkusurutavust õigesti hinnata ning kontrollida arvutusmodeli vastavusest tegelikele pinnaseoludele. Arvutatud vajumid on vaid ligikaudsed hinnangud, mitte täpsed suurused. [5]

EVS-EN 1997-1 lisa F soovitab vajumi arvutamiseks elastsusteooria meetodit ja deformatsioonide summeerimismeetodit. Mõlema meetodi jaoks on oma soovitatav kasutuspiirkond. [5]

Elastusteooria puuduseks on suhteliselt piiratud kasutusala. Meetodit saab kasutada, kui geoloogiline lõige on lihtne ning reaalsed pinnasetingimused vastavad arvutusmodeli

eeldustele. Lihtsa geoloogilise lõike korral toetub vundament suhtelist õhukesele pinnasekihile, mille all on praktiliselt kokkusurumatu pinnas ning ühtlase pinnasekihi paksus on talla laiusest vähemalt 2...4 korda suurem ning ühtlasest pinnasekihist allpool ei ole vähem jäika pinnast. [5]

Antud magistritöös on mõistlik kasutada summeerimismeetodit, mis on teoreetilises mõttes vähem range kui lahendus elastsusteooria järgi. Summeerimismeetod põhineb mitmel arvutust hõlbustaval eeldusel ning suurimaks eeliseks on universaalsus. Kihilise pinnase korral on võimalik vajumit arvutada erineva kokkusurutavusega üksikkihtide puhul ning arvestada ka naabervundamentide mõju. Üksikute kihtide deformatsioonid summeeritakse ning leitakse koguvajum. Summeerimismeetod on inseneripraktikas üks enamkasutatav. [5]

Vundamendi koormusest põhjustatud tihendav vertikaalpinge elementaarkihitide eralduspindadel leitakse valemiga [5]:

$$\sigma'_{pz} = \alpha \cdot p_t \quad (4.19)$$

kus  $\alpha$  – rõhujaotustegur,  
 $p_t$  – tihendav pinge, kPa.

Rõhujaotustegur  $\alpha$  leitakse vundamendi keskpunkti all Boussinesq'i meetodi järgi [7]:

$$\alpha_1 = \frac{P}{2\pi} \cdot \left[ \frac{nm(1 + n^2 + 2m^2)}{(1 + m^2)(n^2 + m^2)\sqrt{1 + n^2 + m^2}} + \arctan \frac{n}{m\sqrt{1 + n^2 + m^2}} \right] \quad (4.20)$$

mille suurus võetakse (Lisa 3) toodud tabelist olenevalt vaadeldava punkti suhtelisest sügavusest  $m = 2z/B$  ja talla külgede suhtest  $n = L/B$ .

Survepinge vundamendi taldmiku all  $\sigma_{p0}$  leitakse valemiga:

$$\sigma_{p0} = \frac{V_k}{A} \quad (4.21)$$

Tihendav survepinge taldmiku all enne ehituse algust  $\sigma'_{g0}$  leitakse valemiga [7]:

$$\sigma'_{g0} = \sum (\gamma \cdot h) \quad (4.22)$$

kus  $h$  – elementaarkihi kõrgus, m,

$\gamma$  – vastava elementaarkihi mahukaal, kN/m<sup>3</sup>.

Tihendav survepinge vundamendi taldmiku sügavusel leitakse valemiga [7]:

$$\sigma'_{p0} = \sigma_{p0} - \sigma'_{g0} \quad (4.23)$$

Erinevate omadustega pinnasekihid jaotatakse elementaarkihideks, mille paksus  $\Delta h$  peaks vajaliku summeerimistäpsuse saavutamiseks olema talla laiuse sügavuseni 0,2...0,3B, sügavusel 1...3 talla laiust 0,4...0,6B ning sügavamate kihtide korral ligikaudu B. Iga kihi deformatsioon leitakse valemiga [5]:

$$s_i = \frac{\sigma'_{pzi} \cdot \Delta h_i}{E_i} \quad (4.24)$$

kus  $\sigma'_{pzi}$  – keskmine pinge elementaarkihis  $i$ , kPa,

$\Delta h_i$  – kihi  $i$  paksus, m,

$E_i$  – kihi  $i$  deformatsioonimoodul, MPa.

Vajum leitakse elementaarkihide deformatsioonide summana [5]:

$$s = \sum_{i=1}^{i=j} s_i \quad (4.25)$$

kus  $j$  – elementaarkihide arv.

Vajumeid leitakse kuni sügavuseni, kus vundamendile mõjuva koormuse põhjustatud lisapinge  $\sigma'_{pz}$  on viis korda väiksem kui pinnase omakaalupinge  $\sigma'_{gz}$ . Juhul, kui sellisele sügavusele on pinged leitud, aga allapoole jääb veel pinnasekihte, mille deformatsioonimoodul on alla 5 MPa, siis tuleb pingete leidmist jätkata selliste kihtide terves ulatuses. [7]

#### 4.1.4 Piirvajumid ja deformatsioonid

Kui ehitis vajub ühtlaselt, ei kahjusta see üldjuhul konstruktsioone. Ohtlik on ebaühtlane vajumine, mis võib halvendada ehitise normaalset kasutamist ning põhjustada avariiohtliku olukorda. Headeks näideteks on nii Tartus Raekoja platsil asuv viltune maja kui ka Itaalias asuv Pisa torn, mis on pehme ning ebaühtlase pinnase tõttu viltu vajunud.

Oluline on vundamenti projekteerida nii, et ehitiste paigutised ja deformatsioonid jääksid esitatud piirväärtustest väiksemaks. Tabelis 4.2 on esitatud piirväärtused vastavalt standardile EVS-EN 1997-1:2005+A1:2013+NA:2014 [8]. Kortermaja parklakkoruse postid ja seinad on monoliitbetoon karkassil, pealmised korrused aga kandvate paneelseintega. Ebaühtlastest vajumitest põhjustatud deformatsioonide korral jaotavad monoliitbetoon elemendid pingeid paremini ümber kui monteeritavad elemendid. Sellest lähtuvalt on magistritöös valitud rangem kriteerium ning lähtutud raudbetoonkarkassiga hoonetele esitatavatest nõuetest.

Tabel 4.2 Piirväärtused enamesinevate ehitiste liikide kohta [8]

| Ehitise liik                                                                | $\theta$ | $\omega$ | $S_k (s_{max})$ cm |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|----------|--------------------|
| Raudbetoonkarkassiga                                                        | 0,002    | -        | (8)                |
| Teraskarkassiga                                                             | 0,004    | -        | (12)               |
| Kandvate paneelseintega                                                     | 0,0016   | 0,005    | 10                 |
| Tellis- ja plokksentega                                                     | 0,002    | 0,005    | 10                 |
| Armatuur- või raudbetoonvöödega tugevdatud tellis- ja plokksentega ehitised | 0,0024   | 0,005    | 15                 |
| Staatiliselt määratud konstruktsiooniga ehitised                            | 0,006    | -        | (15)               |
| Jäigad kuni 100 m kõrgused ehitised, v.a korstnad                           | -        | 0,004    | 20                 |
| Kuni 100 m kõrgused korstnad                                                | -        | 0,005    | 40                 |

Suhtelise erimi  $\theta$  saab leida valemiga [5]:

$$\theta = \frac{\Delta s}{L} \quad (4.26)$$

kus  $\Delta s$  – kahe vundamendi vajumite vahe, m,

$L$  – vundamentide vahekaugus, m.

## 4.2 Plaatvundament

### 4.2.1 Mõõtmed

Plaatvundamendi mõõtmete määramisel tuleb arvestada nii läbisurumist kui ka pingete jaotust plaadi koormuste all. Vundamendiplaadi laius ja pikkus on valitud optimaalsed. Plaat peab ulatuma hoone gabariitidest piisavalt välja poole, et jaotada hoone koormusest põhjustatud pinged ühtlaselt pinnasele. Liigselt hoone gabariitidest väljaulatuv osa aga märkimisväärset tulemust vajumite vähendamisel ei anna, kuid võib põhjustada lisatööd plaadi konsoolse osa armeerimisel. Plaatvundamendi sisejõudude ja pingete leidmiseks koostati arvutusmudel analüüsitarkvaras Autodesk Robot Structural Analysis. Programmi sisestati plaadi mõõtmed ning betooniklassile vastavad karakteristikud. Seejärel lisati koormused, mis mõjuvad läbi hoone kandvate seinte ja postide vundamendiplaadile. Analüüsitarkvara võimaldab defineerida ka pinnasekihid koos pinnase normatiivsete näitajatega. Lõplikud plaadi mõõtmed määrati lähtudes pingajaotusest. Konstruktsiooni kõrguse valikul sai määravaks kandevõime kontroll läbisurumisele. Plaatvundamendi plaan on esitatud graafilises osas joonisel 3.

### 4.2.2 Kandevõime

Plaatvundamendi kandevõime on leitud kõige nõrgema pinnasekihi omadusi kasutades. Selline lähenemine annab tulemuse tagavara kasuks. Kõige nõrgemaks pinnasekihiks on kiht 5 ehk voolav savimöll. Plaatvundament on lisaks hoonest tulenevate koormustega, koormatud kasuskoormusega  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .

Kandevõime leidmiseks on arvatud kogu hoonest tulenev arvutuslik koormuste summa, mis läbi kandvate seinte ja postide mõjuvad vundamendi plaadile, kasutades kandepiiriseisundi koormuskombinatsiooni. Lisaks sellele on arvestatud maa-aluse korruse sokliseinte poolt lisanduva koormusega ning kaldteega. Kaldtee juures on arvesse võetud ainult seda osa, mis jääb plaatvundamendi peale. Plaatvundamenti ei pikendata kaldtee kandmiseks, sest kaldtee koormused võrreldes hoonest tulenevate koormustega on suhteliselt väikesed. Suur koormuste erinevus võib põhjustada erinevaid deformatsioone

kaldtee ja hoonet kandva vundamendi plaadi vahel, seetõttu tuleb need üksteisest eraldada deformatsioonivuugiga. Pinnasevee tase võib tõusta kõrgemale parkla põrandast, seega on vajalik kogu vundamendi ja maa-aluste konstruktsioonide hüdroisoleerimine, seal hulgas deformatsioonivuugid, mis peavad olema vett pidavad. Kandevõime arvutamisel leitakse pinnase kandevõimetegurid ning talla kuju arvestavad tegurid vastavalt alajaotises 4.1.1 esitatud valemitele ja kontrollitakse, kas on täidetud tingimus  $V_d \leq R_d$ . Plaatvundamendi kandevõime leitakse valemiga [5]:

$$R_d = A \cdot \frac{(0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma + c' \cdot N_c \cdot s_c)}{\gamma_R} \quad (4.27)$$

### 4.2.3 Vajumid

Plaatvundamendi vajumiarvutuse põhimõtted on sarnased alajaotises 4.1.3 kirjeldatud üksikvundamendi vajumi arvutamise põhimõtetele. Vajumid arvutatakse summerimismeetodit kasutades. Vajumite leidmiseks on summeeritud kõik hoonest tulenevad normatiivsed vertikaalkoormused plaadile. Kuna plaatvundamendi mõõtmed on suured, jaotatakse ainult paksemad pinnasekihid vastavalt kaheks või kolmeks. Vajumeid leitakse kuni nõrga kihi lõpuni. Tabelis 4.3 on esitatud piirmäärad üldvajumi kohta.

Tabel 4.3 Üldvajumi piirväärtused enamesinevate ehitiste liikide kohta [5]

| Ehitise liik                     | Üldvajum (mm) |
|----------------------------------|---------------|
| Massiivsed jäigad ehitised       | 100...150     |
| Staatiliselt määratud ehitised   | 100...150     |
| Puitehitised                     | 100...150     |
| Terasehitised                    | 80...100      |
| Tellisehitised                   | 40...80       |
| Raudbetoonehitised               | 60...100      |
| Monteeritavad raudbetoonehitised | 40...80       |
| Raudbetoonraamidega              | 30...60       |

### 4.3 Plaatvundamendi armeerimine

Armatuuri vähim rislõikepindala leitakse valemiga [12]:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_w \cdot d \quad (4.28)$$

kus  $f_{ctm}$  – betooni keskmine tõmbetugevus, MPa,  
 $f_{yk}$  – armatuuri normtõmbetugevus, MPa,  
 $b_w$  – tõmbetsooni keskmine laius, m,  
 $d$  – ristlõike kasuskõrgus, m.

Kui  $A_s < A_{s,min}$ , siis tuleks ristlõiget vaadelda armeerimata lõikena. Nii tõmbe- kui ka survearmatuuri ristlõikepindala ei tohiks väljaspool ülekattejätku olla suurem, kui  $0,04A_c$ , kus  $A_c$  on betoonristlõike pindala. [12] Betoonristlõike pindala leitakse valemiga [12]:

$$A_c = b_w \cdot h \quad (4.29)$$

kus  $h$  – plaadi kogupaksus, m.

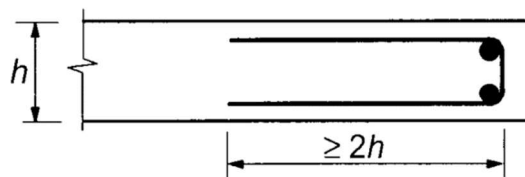
Ühes suunas töötavas plaadis tuleks ette näha jaotusarmatuur, mille ristlõige peaks olema vähemalt 20% töötava armatuuri ristlõikepindalast. [12] Varraste suurim vahekaugus võib olla [12]:

- töötaval armatuuril  $3h \leq 400$  mm,
- jaotusarmatuuril  $3,5h \leq 450$  mm.

Suurimate paindemomentide piirkonnas ning koondatud koormuste korral võib varraste suurim vahekaugus olla [12]:

- töötaval armatuuril  $2h \leq 250$  mm,
- jaotusarmatuuril  $3h \leq 400$  mm.

Tavaliselt tuleks plaadi vaba või toetamata serv armeerida piki- ja põikiarmatuuriga vastavalt joonisele 4.2. Serva armatuuriks võib kasutada plaadis ette nähtud tavalist armatuuri. [2]



Joonis 4.2 Plaadi vaba serva armeerimine [2]

Tõmbearmatuur leitakse valemiga [12]:

$$A_{s1} = \frac{\omega \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_1}{f_{yd}} \quad (4.30)$$

kus  $\omega$  – survetsooni suhteline arvutuskõrgus,  
 $\eta$  – survetsooni efektiivsuse tegur,  
 $f_{cd}$  – betooni survetugevuse arvutusväärtus, MPa.

Tegur  $\mu$  leitakse valemiga [12]:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d_1^2} \quad (4.31)$$

Survetsooni suhteline arvutuskõrgus leitakse valemiga [12]:

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} \quad (4.32)$$

## 4.4 Läbisurumiskandevõime arvutus

Plaadi läbisurumiskandevõime määrab vundamendi plaadi paksuse. Põikjõupurunemist põhjustavaks läbisurumiskoormuseks on vundamendiplaadile toetuva posti sisejõud. Läbisurumise arvutuse käigus kontrollitakse läbisurumispinget posti servas ja baaskontrollperimeetril olevas lõikes. [12] Käesolevas magistritöös tehakse läbisurumiskandevõime kontroll enimkoormatud postile. Posti või koormatud ala perimeetril peab olema täidetud tingimus [12]:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} \quad (4.33)$$

kus  $v_{Ed}$  – suurim nihkepinge kontroll-lõikes, MPa,  
 $v_{Rd,max}$  – plaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime, MPa.

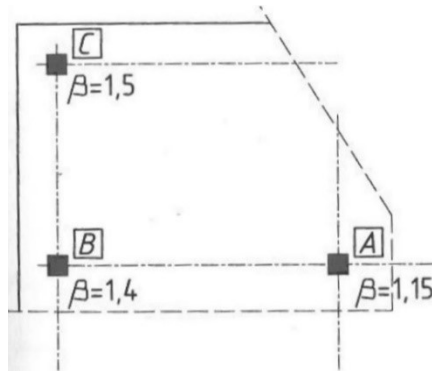
Suurim nihkepinge  $v_{Ed}$  kontroll-lõikes leitakse valemiga [12]:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} \quad (4.34)$$

kus  $u_i$  – vaadeldava kontrollperimeetri pikkus, m,  
 $V_{Ed}$  – üldine arvutuslik põikjõud kontrollperimeetril, kN,

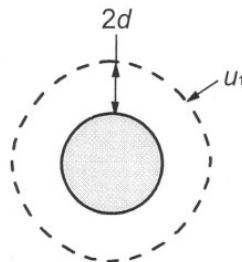
$\beta$  – koormuse ekstsentrilisust arvestav tegur.

Teguri  $\beta$  ligikaudsed väärtused on esitatud joonisel 4.3, kus A on sisemine post, B äärepõst ja C nurgapõst. [12]



Joonis 4.3 Teguri  $\beta$  ligikaudsed väärtused sõltuvad posti asukohast [12]

Kontrollperimeetri skeem ümar posti kohta on esitatud joonisel 4.4



Joonis 4.4 Ümarposti baaskontrollperimeeter [12]

Plaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime leitakse valemiga [12]:

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \quad (4.35)$$

Tegur  $v$  leitakse valemiga [12]:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (4.36)$$

Läbisurumisarmatuur ei ole vajalik, kui kontrollperimeetril on täidetud tingimus [12]:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad (4.37)$$

kus  $v_{Rd,c}$  – põikarmatuurita plaadi arvutuslik läbisurumiskandevõime, kN.

Läbisurumisarmatuuri vajalikkust tuleb kontrollida erinevatel kontrollperimeetritel, mis jäävad posti servast kaugusele kuni  $2d$  tingimusega [12]:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud} \quad (4.38)$$

Vundamendiplaadis tuleks üldist põikjõudu vähendada seespool kontrollperimeetrit mõjuva pinnase surve arvel, seega leitakse läbisurumisjõud tsentriliselt koormatud vundamendi korra [12]:

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad (4.39)$$

kus  $\Delta V_{Ed}$  – seespool vaadeldavat kontrollperimeetrit mõjuv pinnase rõhk koormusest  $V_{Ed}$ .

Põikarmatuurita plaadi arvutuslik läbisurumiskandevõime leitakse valemiga [12]:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,1 \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \geq v_{min} + 0,1 \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \quad (4.40)$$

kus  $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c},$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0,$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02,$$

$\rho_{ly}, \rho_{lz}$  – armeerimistegurid suundades y ja z,

$f_{ck}$  – silindriline normsurvetugevus, MPa,

$a$  – vaadeldava kontrollperimeetri kaugus posti servast, m,

$\sigma_{cy}, \sigma_{cz}$  – normaalpinged kriitilistes lõikes suundades y ja z, kPa,

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}.$$

## 4.5 Vaivundament

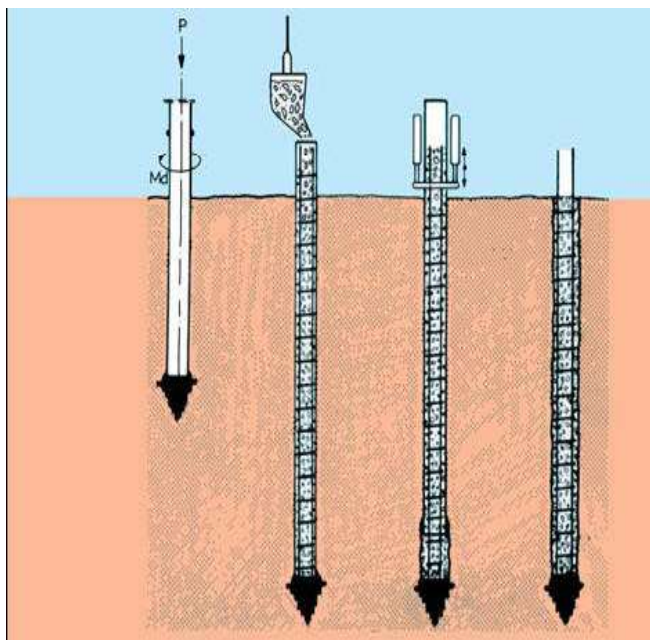
### 4.5.1 Üldised põhimõtted

Vaivundamente kasutatakse enamasti siis, kui madalvundamentidega ei ole võimalik tagada piisavat kandevõimet. Samuti ka juhul, kui madalvundamentide vajum osutub liiga suureks. Vaivundament koosneb kahest osast – vaiadest ning rostvārgist. Vaiade ülesanne on läbides nõrku pinnasekihte, kanda koormus üle sügavamal asuvatele tugevamatele pinnasekihtidele. Rostvārgi ülesandeks on võtta vastu ehitiselt tulev koormus ning jaotada see ühtlaselt vaiadele.

Eestis kasutatakse peamiselt Fundex tüüpi puurvaiasid piirkondades, kus esineb nõrkasid savikihte. [13] Fundex vaiasid saab valmistada erineva pikkusega. Seetõttu osutus valikuks just see vaiatüüp. Vaiad tuleb süvistada sinisavisse (kiht 8) vähemalt ühe meetri ulatuses. Vaia orienteeruv sügavus maapinnast on 38,2 m ning vaia pikkus ca 36 m.

Fundex puurvai on pinnast väljatõrjuv kohtvai. Fundex vaia valmistamiseks kruvitakse mantelтору vajalikule sügavusele pinnasesse. Mantelтору otsas paikneb malmvalust kruviotsik, et vaia oleks võimalik pinnasesse süvistada. Kruviotsiku läbimõõt on mõnevõrra suurem kui mantelтору läbimõõt. Manteltorusse paigaldatakse armatuurkarkass ning seejärel alustatakse mantelтору täitmist betooniga. Samaaegselt betoneerimisega tõstetakse mantelтору ülespoole. Malmvalust kruviotsik jääb pinnasesse vaia põhjaks. Fundex vaia valmistamise skeem on esitatud joonisel 4.5. [10]

Fundex vaiadel on rida eeliseid teiste vaiatüüpide ees. Erinevalt tehases valmistatud vaiadest jäävad ära kulutused transpordile ja hoiustamisele. Fundex vaiad valmistatakse ehitusplatsil. Fundex vaiade paigaldamine ei tekita vibratsiooni, mis kaasneb rammvaiade kasutamisel. Vibratsiooni vältimine on oluline kõrvalasuvate hoonete turvalisuse pärast, eriti kitsates ehitustingimustes. Antud vaiatüübi puhul on võimalik säilitada pinnase looduslikku ja naturaalselt olekut ilma nõrgestamata pinnase füüsikalisi-mehaanilisi omadusi. Fundex vaiadel on hea kandevõime pinnases, mis on tingitud vaia paigaldamise käigus ümbritseva pinnase kokkusurumisest. Samuti puudub vajadus eemaldada pinnas kohast, kuhu vaia süvistatakse ning vaiade paigaldamisel on väga minimaalne müratase. [9]



Joonis 4.5 Fundex vaia valmistamine ja malmist kruviotsik [9]

Eraldiseisvate postide all kasutatakse üksikvaiu. Seinte all määratakse vaia samm  $c$  tingimusest [10]:

$$c = \frac{R_d}{V} \quad (4.41)$$

kus  $R_d$  – vaia arvutuskandevõime, kN,

$V$  – seinalt tulenev arvutuskoormus 1 meetri kohta, kN/m.

Puurvaiade korral võib vaiade samm olla väiksem kui kolm läbimõõtu, kuid mitte alla 1 meetri. Rostvärgi laius valitakse tingimusest, et vaia küljest kuni rostvärgi ääreni jääks piisavalt ruumi pikiarmatuuri paigutamiseks. Samuti tuleb arvestada vajaliku betooni kaitsekihi paksusega. Tavaliselt jäetakse vaia külje ja rostvärgi serva vaheks 10-20 cm. Samuti tuleb arvestada vaia võimalikku kõrvalekallet projektikohasest asendist. Kui vaiad asetsevad üherealiselt ei tohiks vaia kõrvalekalle olla suurem kui 0,02 vaia keha läbimõõtu. Juhul kui vaiad asetsevad kahe- või enamarealiselt ei tohi kõrvalekalle olla suurem kui 0,03 vaia keha läbimõõtu. Vaiad tuleks jaotada ühtlase sammuga. Kindlasti tuleb vai asetada hoone nurkade alla ning soovituslikult ka seinte ristumiskohtadesse. [10]

### 4.5.2 Kandevõime pinnase tunnuseomaduste alusel

Vaia normkandevõime leitakse valemiga [2]:

$$R_{c;k} = q_b \cdot A + O_p \cdot \sum_{i=1}^{i=n} q_{si} \cdot h_i \quad (4.42)$$

kus  $A$  – vaia ristlõike pindala,  $m^2$ ,

$O_p$  – vaia ümbermõõt,  $m$ ,

$h_i$  – pinnasekihi paksus,  $m$ ,

$n$  – vaia poolt läbitavate pinnasekihtide arv,

$q_b$  – pinnase erivastupanu vaia otsa all,  $kN/m^2$ ,

$q_s$  – vaia külje erivastupanu,  $kN/m^2$ .

Vaia arvutuslik kandevõime leitakse valemiga [2]:

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{1,4} - G_k \quad (4.43)$$

kus  $G_k$  – vaia omakaal  $kN$ .

### 4.5.3 Vaia armeerimine

Pikiarmatuuri diameeter peaks olema vähemalt 8 mm. Ümarristlõikega postides on minimaalne varraste arv 4. Pikiarmatuuri kogupindala ei tohiks olla väiksem kui [12]:

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c \quad (4.44)$$

kus  $A_c$  – betooni ristlõikepindala,  $mm^2$ ,

või

$$A_{s,min} = \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \quad (4.45)$$

kus  $f_{yd}$  – armatuurterase arvutusvoolavustugevus,  $MPa$ .

Samuti tuleb kontrollida tingimust:

$$A_s < 0,06 \cdot A_c \quad (4.46)$$

kus  $A_s$  – pikiarmatuuri koguristlõikepindala,  $mm^2$ .

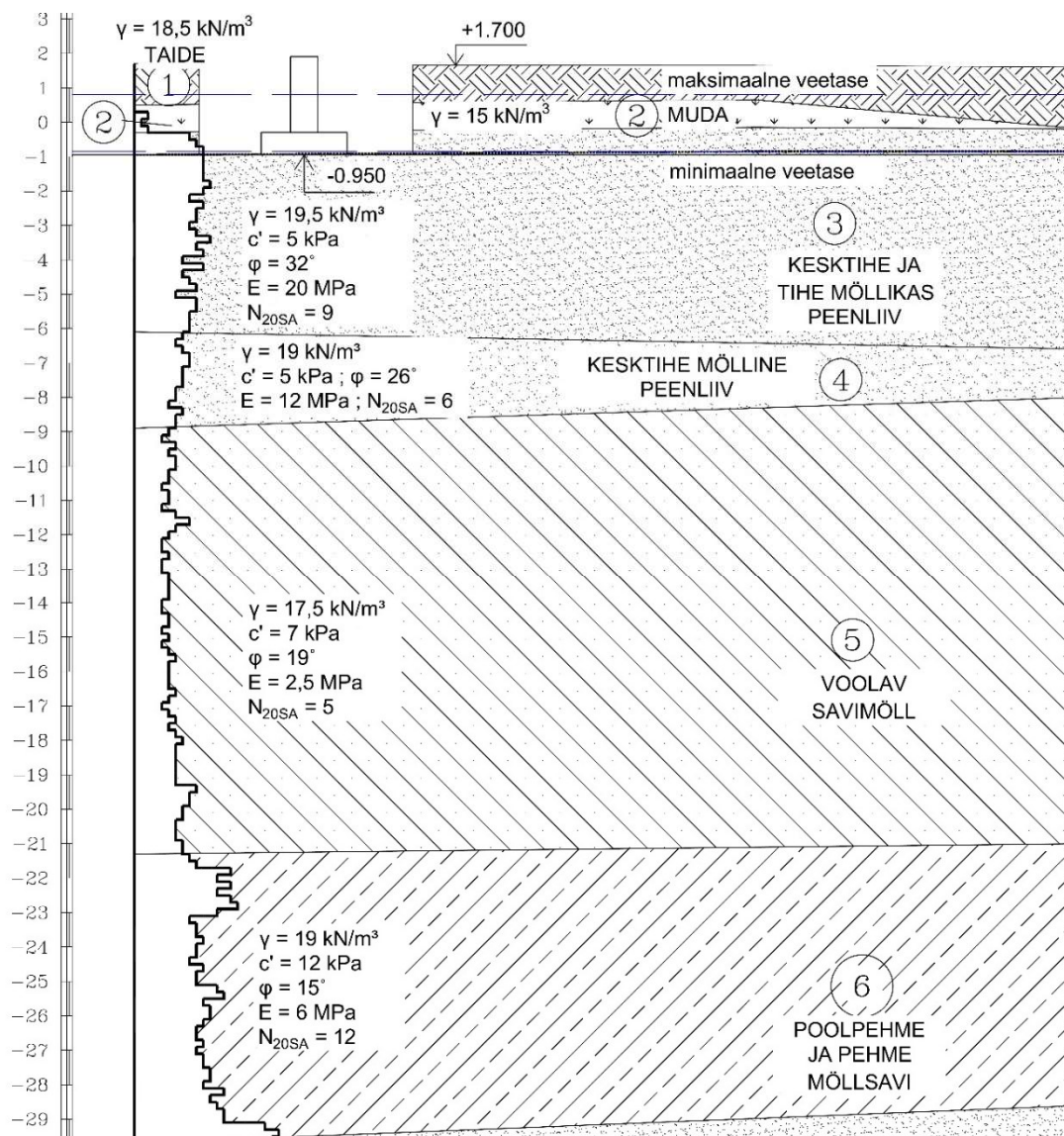
Põikiarmatuuri läbimõõt peaks olema vähemalt 6 mm ja vähemalt  $\frac{1}{4}$  pikiarmatuuri suurimast läbimõõdust. Põikiarmatuuri samm piki posti ei tohiks olla suurem kui [12]:

- 15-kordne pikivarda minimaalne diameeter,
- posti ristlõike vähim mõõde,
- 400 mm.

## 5. ÜSIKVUNDAMENT

### 5.1 Taldmiku laiused ja kandevõime kontroll

Üksikvundamendi taldmiku laiuste määramisel ning kandevõime kontrollil kasutatud pinnase normatiivsed näitajad on esitatud joonisel 5.1. Lisaks pinnase normatiivsetele näitajatele on joonisel näidatud minimaalne ja maksimaalne veetaseme kõrgus, maapinna pealmine kõrgusmärk ning taldmiku alumine kõrgusmärk.



Joonis 5.1 Üksikvundamendi rajamise skeem ja kõrguslik paiknemine [1]

Üksikvundamendi arvutus on teostatud enimkoormatud taldmikule, millele mõjuv vertikaalkoormus  $V_d = 2180 \text{ kN}$  (Lisa 2). Vundamendi ja selle tallale jääva pinnase keskmine efektiivmahukaal  $\gamma_k = 22 \text{ kN/m}^3$ . Vundamendi süviseks on 0,7 m.

Sisehõõrdenurgale  $\varphi' = 32^\circ$  vastavad kandevõimetegurid vastavalt valemitele (4.10 – 4-12):

$$N_q = e^{\tan 32} \cdot \tan^2 \cdot \left( 45^\circ + \frac{32}{2} \right) = 23,18$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (23,18 - 1) \cdot \tan 32 = 27,72$$

$$N_c = (23,18 - 1) \cdot \cot 32 = 35,49$$

Ruudukujulise vundamendi kujutegurid kui  $L' = 1$ ,  $B' = L'$ , vastavalt valemitele (4.6 – 4.7):

$$s_q = 1 + \frac{1}{1} \cdot \sin 32 = 1,53$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{1}{1} = 0,7$$

$$s_c = \frac{1,53 \cdot 23,18 - 1}{23,18 - 1} = 1,55$$

Pinnase omakaalust tingitud efektiivpinge talla tasapinnas vastavalt valemile (4.3):

$$q' = 0,034 \cdot (15 - 10) + 0,666 \cdot (19,5 - 10) = 6,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Abisuurused  $a_3$  ja  $a_4$  vastavalt valemitele (4.13 – 4.14):

$$a_4 = \frac{(6,5 \cdot 23,18 \cdot 1,53 + 5 \cdot 35,49 \cdot 1,55)}{1,5} - 0,7 \cdot 22 \cdot 1,2 = 318,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$a_3 = \frac{0,5 \cdot (19,5 - 10) \cdot 27,72 \cdot 0,7}{1,5} = 61,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Vastavalt valemile (4.16) leitakse alglähend  $B_1$ :

$$B_1 = \sqrt{\frac{2180}{318,57}} = 2,62 \text{ m}$$

Vastavalt valemile (4.15) leitakse täpsustatud lahendid:

$$B_2 = \sqrt{\frac{2180}{61,44 \cdot 2,62 + 318,57}} = 2,132 \text{ m}$$

$$B_3 = \sqrt{\frac{2180}{61,44 \cdot 2,132 + 318,57}} = 2,202 \text{ m}$$

$$B_4 = \sqrt{\frac{2180}{61,44 \cdot 2,202 + 318,57}} = 2,191 \text{ m}$$

Ümardatult valitakse taldmiku laiuseks  $B = 2,2 \text{ m}$ .

Vundamendi omakaal vastavalt valemile (4.4):

$$\Delta V_d = 2,2^2 \cdot 0,7 \cdot 22 \cdot 1,2 = 89,4 \text{ kN}$$

Kogu koormus koos vundamendi omakaaluga vastavalt valemile (4.5):

$$V_d = 89,4 + 2180 = 2269,4 \text{ kN}$$

Üksikvundamendi kandevõime vastavalt valemile (4.1):

$$R_d = 2,2^2 \cdot \frac{(0,5 \cdot 2,2 \cdot (19,5 - 10) \cdot 27,72 \cdot 0,7 + 6,5 \cdot 23,18 \cdot 1,53 + 5 \cdot 35,49 \cdot 1,55)}{1,5} = 2285,6 \text{ kN}$$

$$V_d = 2269,4 \text{ kN} \leq 2285,6 \text{ kN}$$

Tugevustingimus on täidetud ning kandevõime on tagatud, valitud suurusega taldmik sobib.

## 5.2 Nõrga kihi kontroll

Jooniselt 5.1 on näha, et kahe tugevama liivakihi all lasub nõrk savikiht suures ulatuses ning seetõttu on vajalik teostada nõrga kihi kontroll. Vundamendi süvis  $d = 0,7$  m ning talla ja nõrga kihi vahele jääva kihi paksus  $h = 8,25$  m. Järgnevalt on teostatud kandevõime kontroll, kui vundament oleks rajatud nõrgale kihile. Nõrga kihi dreanimata nihketugevus on  $c_u = 25$  kPa.

Ruudukujulise vundamendi kujutegur kui  $L' = 1$ ,  $B' = L'$ , vastavalt valemile (4.9):

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{1}{1} = 1,20$$

Pinnase omakaalust tingitud efektiivpinge talla tasapinnas vastavalt valemile (4.3):

$$q' = 0,034 \cdot (15 - 10) + 0,666 \cdot (19,5 - 10) + 5,72 \cdot (19,5 - 10) + 2,55 \cdot (19 - 10) = 83,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kandevõime, kui vundament oleks rajatud nõrgemale kihile vastavalt valemile (4.2):

$$R_2 = \frac{2,2^2 \cdot [(\pi + 2) \cdot 25 \cdot 1,2 + 83,8]}{1,5} = 768,1 \text{ kN}$$

Lõiketegur vastavalt valemile (4.18):

$$K_s = 3 - 0,23 \cdot 29 + 0,0065 \cdot 29^2 = 1,8$$

Vastupanu lõikele liivakihis vastavalt valemile (4.17):

$$R_L = \frac{8,25 \cdot (2,2 + 2,2) \cdot [1,5 \cdot 5 + 8,25 \cdot 9,25 + 2 \cdot 0,7 \cdot 7,25] \cdot 1,8 \cdot \tan 29}{1,5} = 2268,8 \text{ kN}$$

Kandevõime kokku kui vundament oleks rajatud nõrgemale kihile:

$$R_d = R_2 + R_L = 768,1 + 2268,8 = 3036,9 \text{ kN}$$

Täiendav koormus liivakihist:

$$\Delta V_L = 8,25 \cdot 2,2 \cdot 2,2 \cdot 9,25 \cdot 1,2 = 443,3 \text{ kN}$$

Arvestades täiendavat koormust liivakihist on tugevama kihi kandevõime:

$$V_d = 2269,4 + 443,3 = 2712,7 \text{ kN}$$

$$R_d = 3036,9 \text{ kN} > V_d = 2712,7 \text{ kN}$$

Tingimus on täidetud ning valitud taldmiku suuruseks jääb  $2,2 \cdot 2,2 \text{ m}$ .

## 5.3 Üksikvundamendi vajumid

### 5.3.1 Vajumid ja pinged üksikvundamendi all

Kasutuspiirseisundis on enimkoormatud vundamendi tallale mõjuv ümardatud vertikaalkoormus  $V_k = 1710 \text{ kN}$  (Lisa 2).

Survepinge vundamendi taldmiku all vastavalt valemile (4.21):

$$\sigma_{p0} = \frac{1710}{2,2 \cdot 2,2} = 353,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tihendav survepinge taldmiku all enne ehituse algust:

$$\sigma'_{g0} = \sum (\gamma \cdot h) = 0,9 \cdot 18,5 + 0,284 \cdot (18,5 - 10) + 0,8 \cdot (15 - 10) + 0,666 \cdot (19,5 - 10) = 29,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tihendav survepinge vundamendi taldmiku sügavusel:

$$\sigma'_{p0} = \sigma_{p0} - \sigma'_{g0} = 353,3 - 29,39 = 323,91 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Järgnevalt on jaotatud erinevate omadustega pinnasekihid elementaarkihtideks. Kuni talla sügavuseni  $B = 2,2$  m jagatakse elementaarkiht paksuseks  $0,2...0,3B$  ehk  $0,44...0,66$  m. Sügavuseni  $B = 2,2$  m... $3B = 6,6$  m jagada elementaarkihi paksus  $0,4...0,6B$  ehk  $0,88...1,32$  m. Ning sügavamal kui  $3B = 6,6$  m arvestatakse elementaarkihi paksuseks ligikaudu  $2,2$  m. Enimkoormatud üksikvundamendi vajum summeerimismeetodil on esitatud tabelis 5.1.

Tabel 5.1 Taldmiku  $B = 2,2$  m vajum elementaarkihtide kaupa

| <b>E<br/>(MPa)</b> | <b>Kihi nr</b> | <b>m</b> | <b>z (m)</b> | <b><math>\Delta h</math></b> | <b><math>\alpha</math></b> | <b><math>\sigma'_{pz}</math><br/>(kPa)</b> | <b><math>0,2 \sigma'_{gz}</math><br/>(kPa)</b> | <b>s (m)</b> |
|--------------------|----------------|----------|--------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|
| 20                 | 3              | 0,00     | 0,00         | 0,50                         | 1,000                      | 323,9                                      | 2,5                                            |              |
|                    | 3              | 0,455    | 0,50         | 0,50                         | 0,944                      | 305,7                                      | 4,5                                            | 0,008        |
|                    | 3              | 0,909    | 1,00         | 0,60                         | 0,746                      | 241,6                                      | 6,4                                            | 0,006        |
|                    | 3              | 1,450    | 1,60         | 0,60                         | 0,503                      | 163,0                                      | 8,8                                            | 0,005        |
|                    | 3              | 2,000    | 2,20         | 0,85                         | 0,336                      | 108,9                                      | 11,1                                           | 0,003        |
|                    | 3              | 2,773    | 3,05         | 0,90                         | 0,204                      | 66,1                                       | 14,4                                           | 0,003        |
|                    | 3              | 3,591    | 3,95         | 0,90                         | 0,131                      | 42,5                                       | 17,9                                           | 0,002        |
|                    | 3              | 4,409    | 4,85         | 0,85                         | 0,091                      | 29,4                                       | 21,4                                           | 0,001        |
|                    | 3              | 5,180    | 5,70         | 0,90                         | 0,067                      | 21,8                                       | 24,8                                           | 0,001        |
| 12                 | 4              | 6,000    | 6,60         | 1,65                         | 0,051                      | 16,4                                       | 27,8                                           | 0,001        |
|                    | 4              | 7,500    | 8,25         | 2,20                         | 0,033                      | 10,7                                       | 33,9                                           | 0,001        |
| 2,5                | 5              | 9,500    | 10,45        | 2,20                         | 0,021                      | 6,7                                        | 42,2                                           | 0,006        |
|                    | 5              | 11,500   | 12,65        | 2,20                         | 0,014                      | 4,7                                        | 46,8                                           | 0,004        |
|                    | 5              | 13,500   | 14,85        | 2,20                         | 0,011                      | 3,4                                        | 54,5                                           | 0,003        |
|                    | 5              | 15,500   | 17,05        | 2,20                         | 0,008                      | 2,6                                        | 62,2                                           | 0,002        |
|                    | 5              | 17,500   | 19,25        | 1,50                         | 0,006                      | 2,0                                        | 69,9                                           | 0,002        |
|                    | 5              | 18,860   | 20,75        | 2,20                         | 0,005                      | 1,7                                        | 75,1                                           | 0,001        |

Vajum kokku  $0,050$  m =  $5,0$  cm

Vastavalt tabelis 4.2 esitatud piirväärtustele on raudbetoonkarkassiga ehitise vajumi piirväärtus maksimaalselt  $8$  cm. Seega leitud vajum enimkoormatud taldmikule rahuldab seda tingimust.

### 5.2.3 Vajumite suhteline erim

Vajumite suhtelise erimi hindamiseks leiti enimkoormatud taldmiku vahetuses läheduses paiknevate taldmikute suurused ning arvutati nende vajumid. Sarnaselt enimkoormatud taldmiku laiuse arvutamisele ja nõrga kihi kandevõime kontrollile, leiti taldmiku suurus postile number 3, milleks saadi  $1,45$  m. Vajum elementaarkihtide kaupa on esitatud tabelis 5.2. Postide asukohad on esitatud graafilises osas joonisel 2.

Tabel 5.2 Taldmiku  $B = 1,45$  m vajum elementaarkihtide kaupa

| <b>E<br/>(MPa)</b> | <b>Kihi nr</b> | <b>m</b> | <b>z (m)</b> | <b><math>\Delta h</math></b> | <b><math>\alpha</math></b> | <b><math>\sigma'_{pz}</math><br/>(kPa)</b> | <b><math>0,2 \sigma'_{gz}</math><br/>(kPa)</b> | <b>s (m)</b> |
|--------------------|----------------|----------|--------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|
| 20                 | 3              | 0,000    | 0,00         | 0,35                         | 1,000                      | 288,8                                      | 2,5                                            |              |
|                    | 3              | 0,483    | 0,35         | 0,35                         | 0,935                      | 270,1                                      | 3,9                                            | 0,005        |
|                    | 3              | 0,966    | 0,70         | 0,35                         | 0,718                      | 207,4                                      | 5,3                                            | 0,004        |
|                    | 3              | 1,450    | 1,05         | 0,40                         | 0,503                      | 145,3                                      | 6,6                                            | 0,003        |
|                    | 3              | 2,000    | 1,45         | 0,70                         | 0,336                      | 97,1                                       | 8,2                                            | 0,002        |
|                    | 3              | 2,967    | 2,15         | 0,70                         | 0,183                      | 52,8                                       | 10,9                                           | 0,002        |
|                    | 3              | 3,931    | 2,85         | 0,75                         | 0,112                      | 32,3                                       | 13,6                                           | 0,001        |
|                    | 3              | 4,966    | 3,60         | 0,75                         | 0,073                      | 21,0                                       | 16,6                                           | 0,001        |
|                    | 3              | 6,000    | 4,35         | 1,35                         | 0,051                      | 14,6                                       | 19,5                                           | 0,001        |
|                    | 3              | 7,862    | 5,70         | 1,40                         | 0,030                      | 8,7                                        | 24,8                                           | 0,001        |
| 12                 | 4              | 9,793    | 7,10         | 1,15                         | 0,020                      | 5,7                                        | 30,2                                           | 0,001        |
|                    | 4              | 11,379   | 8,25         | 1,45                         | 0,015                      | 4,2                                        | 33,9                                           | 0,000        |
| 2,5                | 5              | 13,379   | 9,70         | 1,45                         | 0,011                      | 3,1                                        | 39,4                                           | 0,002        |
|                    | 5              | 15,380   | 11,15        | 1,45                         | 0,008                      | 2,3                                        | 44,9                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 17,380   | 12,60        | 1,45                         | 0,006                      | 1,8                                        | 46,6                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 19,380   | 14,05        | 1,45                         | 0,005                      | 1,5                                        | 51,7                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 21,380   | 15,50        | 1,45                         | 0,005                      | 1,4                                        | 56,8                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 23,380   | 16,95        | 1,45                         | 0,005                      | 1,4                                        | 61,8                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 25,380   | 18,40        | 1,45                         | 0,005                      | 1,4                                        | 66,9                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 27,380   | 19,85        | 0,90                         | 0,005                      | 1,4                                        | 72,0                                           | 0,001        |
|                    | 5              | 28,620   | 20,75        | 1,40                         | 0,005                      | 1,4                                        | 75,1                                           | 0,000        |

Vajum kokku 0,028 m = 2,8 cm

Vajumite erim leitud taldmike vahel  $\Delta s = 50 - 28 = 22$  mm. Vundamentide vahekaugus tsentrist mõõdetuna on 5350 mm. Seega suhteline erim on:

$$\theta = \frac{22}{5350} = 0,0041$$

Kuna antud hoone maa-alune korrus on monoliitsel raudbetoonkarkassil ning ülemised korrused kandvate paneelseintega, valitakse piirväärtuse kontrollimiseks suhteline erim nõrgima lüli järgi. Vastavalt tabelis 2.2 toodud piirväärtusele võib kandvate paneelseintega hoone vajumite suhteline erim olla maksimaalselt 0,0016. Arvutuste teel saadud väärtus 0,0041 ei mahu antud piirmäära ning sellest saab järeldada, et hoonet ei saa üksikvundamentidele projekteerida. Variant oleks erinevate taldmike laiuseid suurendada, et ei tekiks ebaühtlast vajumist, kuid see ei ole antud juhul mõistlik.

## 6. PLAATVUNDAMENT

### 6.1 Plaatvundamendi koormused ja mõõtmed

Plaatvundamendi laiuks on valitud  $B = 20$  m, pikkuseks  $L = 26$  m ja kõrguseks  $h = 0,7$ .

Plaadi pindala:

$$A = B \cdot L = 20 \cdot 26 = 520 \text{ m}^2$$

Plaadi ruumala:

$$V = B \cdot L \cdot h = 20 \cdot 26 \cdot 0,7 = 364 \text{ m}^3$$

Hoonest tulenev arvutuslike koormuste summa, mis läbi kandvate postide ja seinte mõjuvad vundamendi plaadile (Lisa 2):

$$V_{d,hoone} = \sum V_d = 19971,6 \text{ kN}$$

Maa-aluse korruse sokliseinte poolt tulev arvutuslik koormus, mis mõjuvad vundamendi plaadile:

$$V_{d,sokliseinad} = \sum (L \cdot h \cdot g_k) \cdot \gamma_G = (11,67 \cdot 2 \cdot 3,12 + 16,98 \cdot 2 \cdot 3,12 + 23 \cdot 2 \cdot 3,12 + 5,18 \cdot 2 \cdot 3,12 + 2,12 \cdot 2 \cdot 3,12 + 5,81 \cdot 2 \cdot 3,87) \cdot 1,2 = 495,4 \text{ kN}$$

Panduse tugiseinte poolt tulev arvutuslik koormus, mis mõjuvad vundamendi plaadile:

$$V_{d,tugiseinad} = \sum (L \cdot h \cdot g_k) \cdot \gamma_G = (2,68 \cdot 2 \cdot 3,75 + 11,66 \cdot 2 \cdot 3,75) \cdot 1,2 = 107,6 \text{ kN}$$

Allasõidu panduse poolt tulev arvutuslik koormus:

$$V_{d,pandus} = A \cdot d \cdot \gamma \cdot \gamma_G = 39,7 \cdot 0,2 \cdot 25 \cdot 1,2 = 238,2 \text{ kN}$$

Allasõidu panduse kergkruusa täite poolt tulev arvutuslik koormus:

$$V_{d,kruusatäide} = A \cdot d \cdot \gamma \cdot \gamma_G = 39,7 \cdot 0,06 \cdot 13 \cdot 1,2 = 37,2 \text{ kN}$$

Plaadi omakaalukoormus:

$$V_{Gd,plaat} = V \cdot \gamma \cdot \gamma_G = 364 \cdot 25 \cdot 1,2 = 10920 \text{ kN}$$

Plaadi kasuskoormus:

$$V_{Qd,plaat} = A \cdot q_k \cdot \gamma_Q = 520 \cdot 2 \cdot 1,5 = 1560 \text{ kN}$$

Kandepiirseisundis vundamendile mõjuv arvutuslik koormus:

$$V_d = V_{d,hoone} + V_{d,sokliseinad} + V_{d,tugiseinad} + V_{d,pandus} + V_{d,kruusatäide} + V_{Gd,plaat} + V_{Qd,plaat} = 33330 \text{ kN}$$

## 6.2 Plaatvundamendi kandevõime arvutus

Vundamendi plaadi kandevõime kontrollil kasutatud pinnase normatiivsed näitajad on esitatud joonisel 6.1. Lisaks pinnase normatiivsetele näitajatele on joonisel näidatud minimaalne ja maksimaalne veetaseme kõrgus, maapinna pealmine kõrgusmärk ning vundamendi plaadi alumine kõrgusmärk.

Sisehõõrdenurgale  $\varphi' = 19^\circ$  vastavad kandevõimetegurid vastavalt valemitele (2.8 - 2.10):

$$N_q = e^{\tan 19} \cdot \tan^2 \cdot \left( 45^\circ + \frac{19}{2} \right) = 5,80$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (5,80 - 1) \cdot \tan 19 = 3,30$$

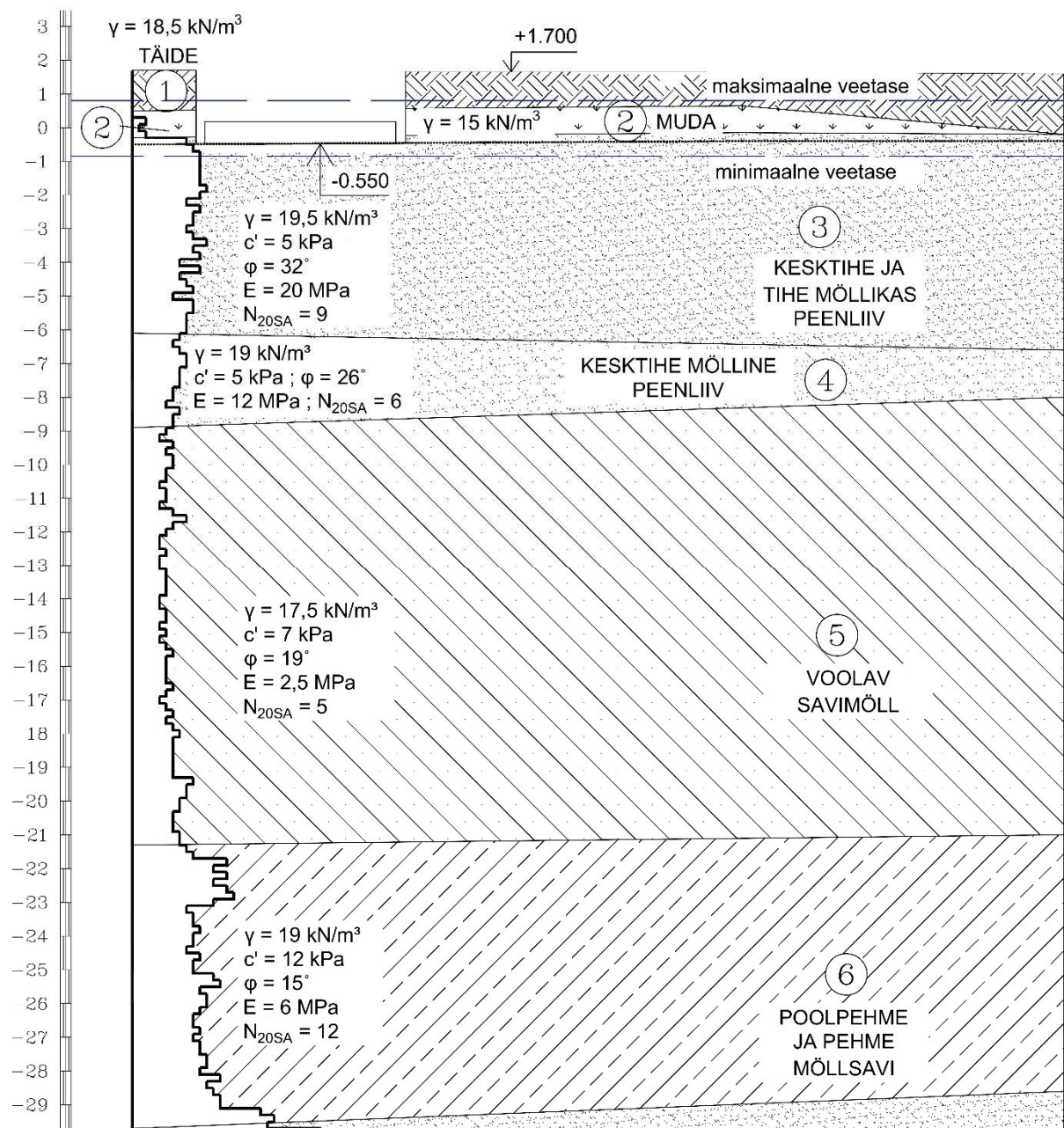
$$N_c = (5,80 - 1) \cdot \cot 19 = 13,93$$

Ristkülikujulise vundamendi kujutegurid kui  $L' = 24 \text{ m}$  ja  $B' = 20 \text{ m}$ , vastavalt valemitele (4.6 - 4.8):

$$s_q = 1 + \frac{20}{24} \cdot \sin 19 = 1,27$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{20}{24} = 0,75$$

$$s_c = \frac{1,27 \cdot 5,80 - 1}{5,80 - 1} = 1,33$$



Joonis 6.1 Plaatvundamendi rajamise skeem ja kõrguslik paiknemine [1]

Plaatvundamendi kandevõime vastavalt valemile (4.27):

$$R_d = 520 \cdot \frac{(0,5 \cdot (17,5 - 10) \cdot 20 \cdot 3,30 \cdot 0,75 + 7 \cdot 13,93 \cdot 1,33)}{1,2} = 136635,8 \text{ kN}$$

$$R_d = 136635,8 \text{ kN} > V_d = 33330 \text{ kN}$$

Tingimus on täidetud ning kandevõime on tagatud suure varuga.

## 6.3 Plaatvundamendi vajumi arvutus

Hoonest tulenev normatiivsete koormuste summa mis läbi kandvate postide ja seinte mõjuvad vundamendi plaadile (Lisa 2):

$$V_{k,hoone} = \sum V_k = 15702 \text{ kN}$$

Maa-aluse korruse sokliseinte poolt tulenev normatiivne koormus, mis mõjub vundamendi plaadile:

$$V_{k,sokliseina} = \sum(L \cdot h \cdot g_k) = 11,67 \cdot 2 \cdot 3,12 + 16,98 \cdot 2 \cdot 3,12 + 23 \cdot 2 \cdot 3,12 + 5,18 \cdot 2 \cdot 3,12 + 2,12 \cdot 2 \cdot 3,12 + 5,81 \cdot 2 \cdot 3,87 = 412,8 \text{ kN}$$

Panduse tugiseinte poolt tulenev normatiivne koormus, mis mõjub vundamendi plaadile:

$$V_{k,tugiseinad} = \sum(L \cdot h \cdot g_k) = 2,68 \cdot 2 \cdot 3,75 + 11,66 \cdot 2 \cdot 3,75 = 107,6 \text{ kN}$$

Allasõidu panduse poolt tulenev normatiivne koormus:

$$V_{k,pandus} = A \cdot d \cdot \gamma = 39,7 \cdot 0,2 \cdot 25 = 198,5 \text{ kN}$$

Allasõidu panduse kergkruusa täite poolt tulenev arvutuslik koormus:

$$V_{k,kruusatäide} = A \cdot d \cdot \gamma = 39,7 \cdot 0,06 \cdot 13 = 31,0 \text{ kN}$$

Plaadi omakaalukoormus:

$$V_{Gk,plaat} = V \cdot \gamma = 364 \cdot 25 = 9100 \text{ kN}$$

Plaadi kasuskoormus:

$$V_{Qk,plaat} = A \cdot q_k = 520 \cdot 2 = 1040 \text{ kN}$$

Kasutuspiiriseisundis vundamendile mõjuv vertikaalne koormus:

$$V_k = V_{k,hoone} + V_{k,sokliseinad} + V_{k,tugiseinad} + V_{k,pandus} + V_{k,kruusatäide} + V_{Gk,plaat} + V_{Qk,plaat} = 26591,9 \text{ kN}$$

Survepinge vundamendi taldmiku all:

$$\sigma_{p0} = \frac{V_k}{A} = \frac{26591,9}{20 \cdot 26} = 51,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tihendav survepinge taldmiku all enne ehituse algust:

$$\sigma'_{g0} = \sum (\gamma \cdot h) = 0,9 \cdot 18,5 + 0,284 \cdot 18,5 + 0,8 \cdot 15 + 0,205 \cdot 19,5 = 37,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tihendav survepinge vundamendi taldmiku sügavusel:

$$\sigma'_{p0} = \sigma_{p0} - \sigma'_{g0} = 51,1 - 37,9 = 13,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Plaatvundamendi mõõtmed on suured ning seetõttu on vajumiarvutuseks jaotatud ainult paksemad pinnasekihid vastavalt kaheks või kolmeks. Talla külgede suhe  $n = L/B = 26/20 = 1,3$ . Plaatvundamendi vajumi arvutamine on esitatud tabelis

Tabel 6.1 Plaatvundamendi vajum elementaarkihtide kaupa

| <b>E<br/>(MPa)</b> | <b>Kihi nr</b> | <b>m</b> | <b>z (m)</b> | <b>Δh</b> | <b>α</b> | <b>σ'pz<br/>(kPa)</b> | <b>0,2 σ'gz<br/>(kPa)</b> | <b>s (m)</b> |
|--------------------|----------------|----------|--------------|-----------|----------|-----------------------|---------------------------|--------------|
| 20                 | 3              | 0,000    | 0,00         | 2,85      | 1,000    | 13,2                  | 2,7                       |              |
|                    | 3              | 0,285    | 2,85         | 2,85      | 0,987    | 13,0                  | 13,8                      | 0,002        |
|                    | 3              | 0,570    | 5,70         | 2,55      | 0,925    | 12,2                  | 25,0                      | 0,002        |
| 12                 | 4              | 0,830    | 8,25         | 4,20      | 0,827    | 10,9                  | 34,9                      | 0,002        |
| 2,5                | 5              | 1,250    | 12,45        | 4,20      | 0,648    | 8,5                   | 51,3                      | 0,014        |
|                    | 5              | 1,665    | 16,65        | 4,10      | 0,494    | 6,5                   | 67,7                      | 0,011        |
|                    | 5              | 2,075    | 20,75        | 4,10      | 0,380    | 5,0                   | 83,7                      | 0,008        |
| 6                  | 6              | 2,485    | 24,85        | 4,15      | 0,296    | 3,9                   | 99,6                      | 0,001        |
|                    | 6              | 2,900    | 29,00        | 3,00      | 0,234    | 3,1                   | 115,8                     | 0,001        |

Vajum kokku 0,041 m = 4,1 cm

## 6.4 Armeerimine

### 6.4.1 Konstruktiivsed nõuded

Armatuuri vähim ristlõikepindala vastavalt valemile (4.28)

:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 642 = 968,1 \text{ mm}^2 \geq 0,0013 \cdot 1000 \cdot 642 = 834,6 \text{ mm}^2$$

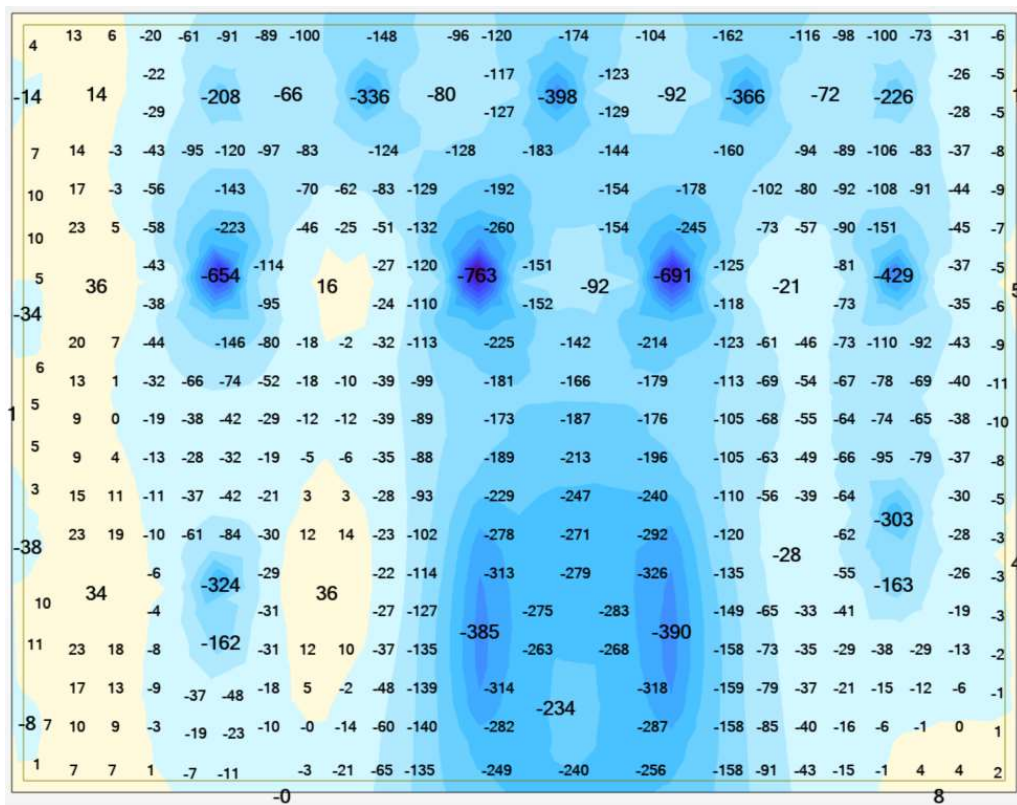
Maksimaalne tõmbe- ja survearmatuuri pindala väljaspool ülekattejätku valemiga (4.29):

$$A_c = 1000 \cdot 700 = 700000 \text{ mm}^2$$

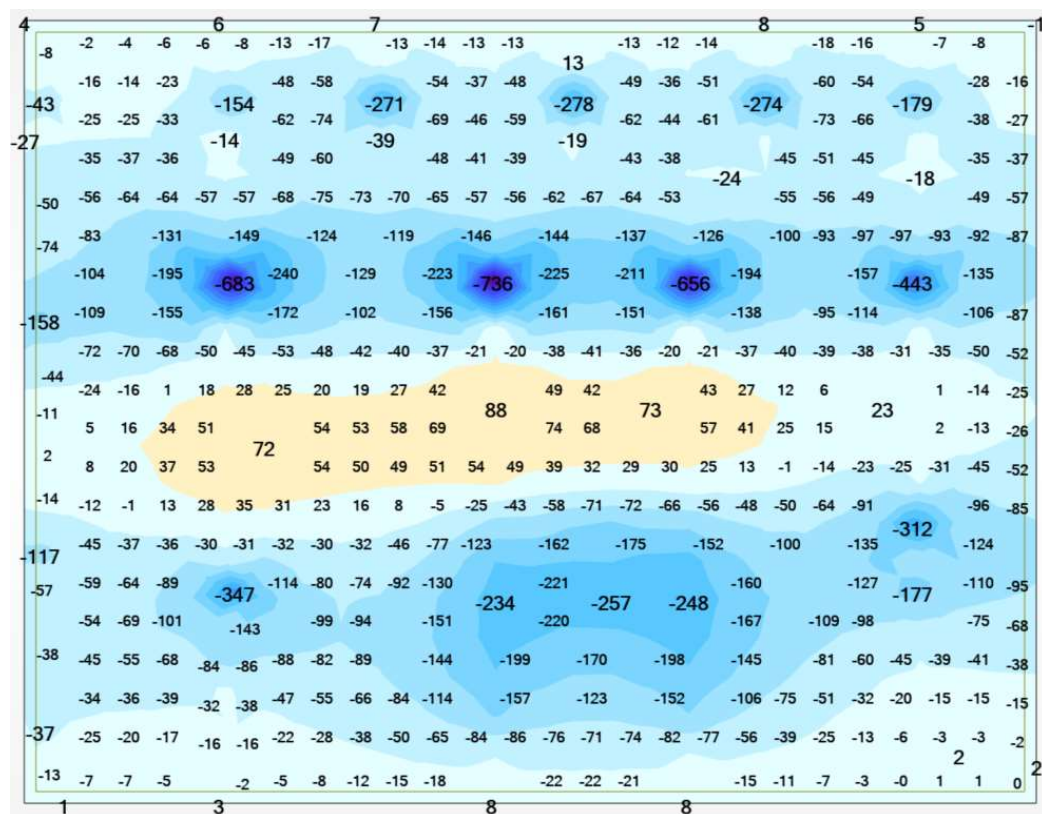
$$A_{s,max} = 0,4 \cdot 700000 = 280000 \text{ mm}^2$$

### 6.4.2 Põhivõrgud plaadi üla- ja alapinnas

Plaatvundamendi üla- ja alapinna võrkude suuruste dimensioneerimiseks kasutati analüüsitarkvarast leitud arvutusmudeli sisejõudusid. Joonistel 6.2 ja 6.3 on esitatud paindemomentide graafikud  $M_x$  ja  $M_y$ . Tumesinised alad tähistavad suurimaid paindemomente. Miinusmärk paindemomendi ees näitab, et ristlõikes on tõmmatud pool vastu maapinda. Kollastel aladel on paindemomentide väärtused plussmärgiga. Nendel aladel on ristlõike tõmmatud pool üleval ning surutud pool vastu maapinda.

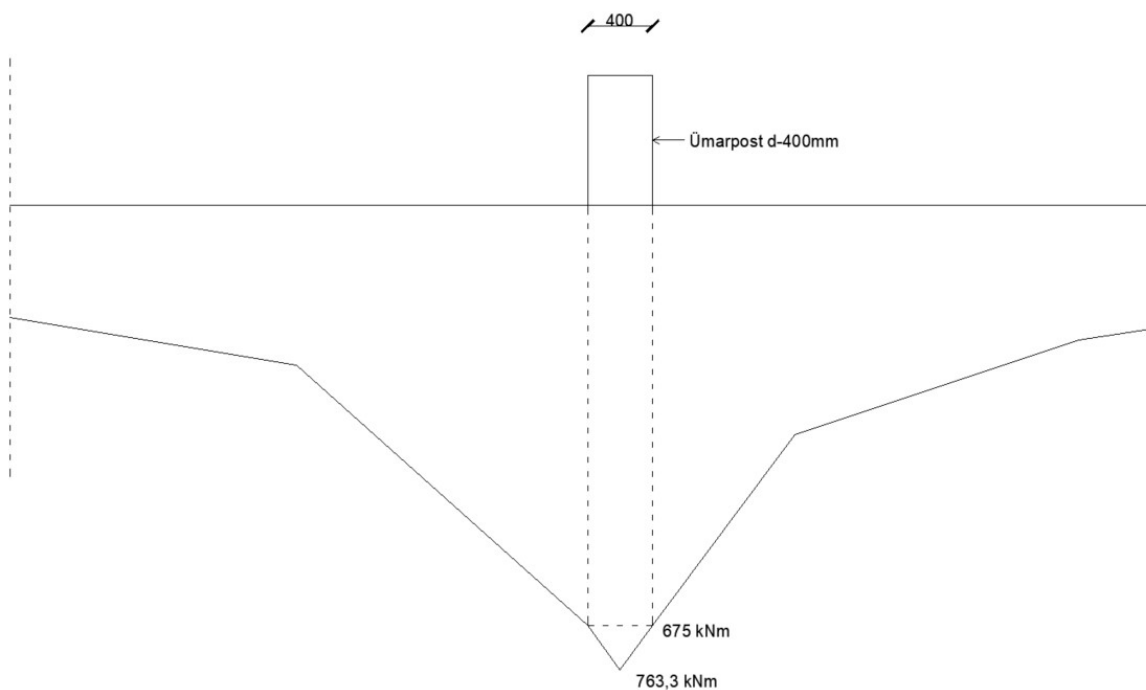


Joonis 6.2 Painedemoment  $M_x$  kandepiirseisundis



Joonis 6.3 Painedemoment  $M_y$  kandepiirseisundis

Järgnevalt on leitud võrgu suurus ja samm  $x$  suunal. Maksimaalne paindemoment vastavalt joonisele 6.2 on 763,3 kNm. Arvutustes kasutatakse maksimaalse paindemomendi redutseeritud väärtust, milleks on 675 kNm. Sisejõudude ekstreemumeid saab tinglikult vähendada posti laiuse ulatuses läbi mille plaatvundamenti koormatakse. Joonisel 6.4 on esitatud paindemomendi epüür maksimaalse ja redutseeritud väärtuse kohta.



Joonis 6.4 Paindemomendi epüür  $M_x$

Plaatvundamendis kasutatakse betooni C35/45 ning armatuuri klassiga B500B. Tabelis 6.2 ja 6.3 on esitatud kasutatava betooniklassi ja terase tugevusomadused.

Tabel 6.2 Betoon C35/45 tugevus- ja deformatsiooniomadused

|           | Väärtus  |
|-----------|----------|
| $f_{ck}$  | 35 MPa   |
| $f_{cd}$  | 23,3 MPa |
| $f_{cm}$  | 43 MPa   |
| $f_{ctm}$ | 3,2 MPa  |
| $E_{cm}$  | 34 MPa   |

Tabel 6.3 Armatuuri B500B tugevus- ja deformatsiooniomadused

|                    | Väärtus |
|--------------------|---------|
| $f_{yk}$           | 500 MPa |
| $f_{yd} = f_{ycd}$ | 435 MPa |
| $\mu_c$            | 0,3717  |
| $\omega_c$         | 0,4934  |

Tegur  $\mu$  vastavalt valemile (4.31):

$$\mu = \frac{675 \cdot 10^6}{23,3 \cdot 1000 \cdot 640^2} = 0,0707$$

Tegur  $\omega$  vastavalt valemile (4.32):

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0707} = 0,0734$$

$$\mu = 0,0707 < \mu_c = 0,3717$$

$$\omega = 0,0734 < \omega_c = 0,4934$$

Ristlõige on normaalarmeeritud. Vajalik armatuuri pindala vastavalt valemile (4.30):

$$A_{s1} = \frac{0,0734 \cdot 23,3 \cdot 1000 \cdot 640}{435} = 2516,2 \text{ mm}^2$$

Lähtudes vajalikust armatuuri pindalast on sobilik armatuur  $\emptyset 20$  sammuga 120mm, mille pindala on:

$$A_{s1} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot \frac{1000}{120} = 2618,0 \text{ mm}^2$$

Leitud armatuuriga ristlõike kandevõime kontroll:

$$\omega = \frac{2618 \cdot 435}{23,3 \cdot 1000 \cdot 640} = 0,0763$$

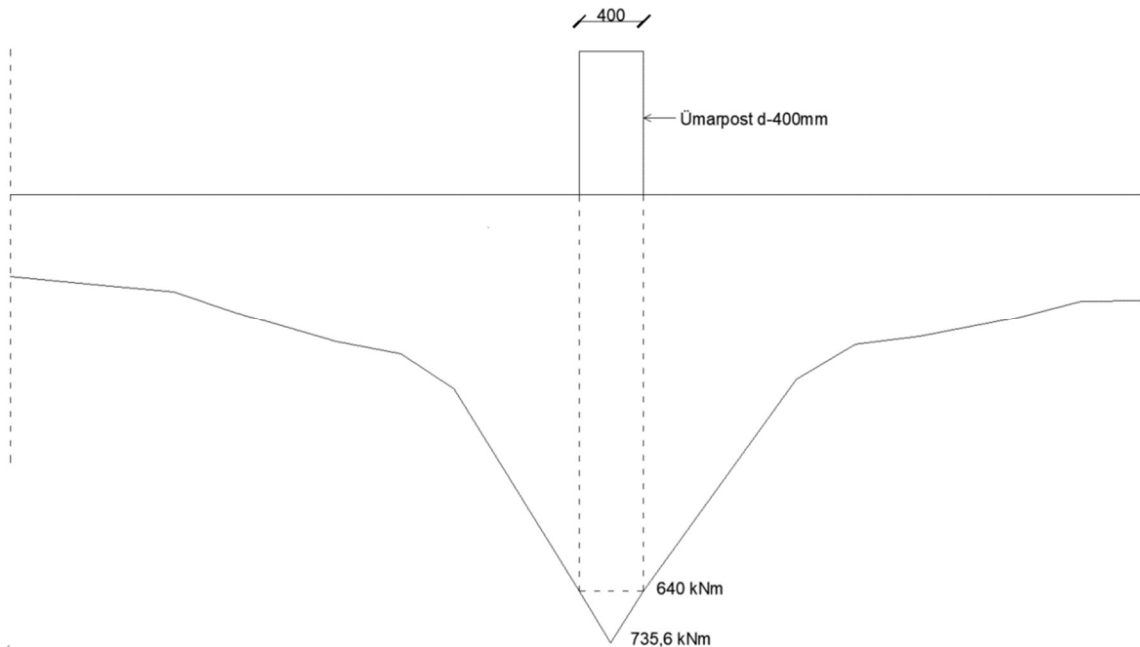
$$\mu = 0,0763 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,0763) = 0,0734$$

$$M_{Rd} = 0,0734 \cdot 23,3 \cdot 1000 \cdot 640^2 \cdot 10^{-6} = 700,5 \text{ kNm}$$

Arvutuslik kandevõime  $M_{Rd} = 700,5 \text{ kNm}$  on suurem kui paindemoment  $M_{Ed} = 675 \text{ kNm}$ , kandevõime on tagatud.

Samasugune arvutus on viidud läbi ka y suunal võrgu suuruse ja sammu leidmiseks. Maksimaalne paindemoment vastavalt joonisele 6.3 on 735,6 kNm, redutseeritud väärtus

640 kNm. Joonisel 6.5 on esitatud paindemomendi epüür maksimaalse ja redutseeritud väärtuse kohta.



Joonis 6.5 Paindemomendi epüür  $M_y$

Tegur  $\mu$  vastavalt valemile (4.31):

$$\mu = \frac{640 \cdot 10^6}{23,3 \cdot 1000 \cdot 640^2} = 0,067$$

Tegur  $\omega$  vastavalt valemile (4.32):

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,067} = 0,0694$$

Ristlõige on normaalarmeeritud. Vajalik armatuuri pindala vastavalt valemile (4.30):

$$A_{s1} = \frac{0,0694 \cdot 23,3 \cdot 1000 \cdot 640}{435} = 2379,1 \text{ mm}^2$$

Lähtudes vajalikust armatuuri pindalast on sobilik armatuur  $\varnothing 20$  sammuga 125 mm, mille pindala on:

$$A_{s1} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot \frac{1000}{125} = 2513,3 \text{ mm}^2$$

Leitud armatuuriga ristlõike kandevõime kontroll:

$$\omega = \frac{2513,3 \cdot 435}{23,3 \cdot 1000 \cdot 640} = 0,0733$$

$$\mu = 0,0733 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,0733) = 0,0706$$

$$M_{Rd} = 0,0706 \cdot 23,3 \cdot 1000 \cdot 640^2 \cdot 10^{-6} = 673,8 \text{ kNm}$$

Arvutuslik kandevõime  $M_{Rd} = 673,8 \text{ kNm}$  on suurem kui paindemoment  $M_{Ed} = 640 \text{ kNm}$ , kandevõime on tagatud. Plaadi ülapinnas on sobilik armatuur  $\emptyset 16$  sammuga 200 mm. Plaatvundamendi ja plaadi armeerimise plaan on esitatud graafilises osas joonisel 3.

## 6.5 Läbisurumiskandevõime kontroll

Posti või koormatud ala perimeetril peab olema täidetud tingimus vastavalt valemile (4.33), kus suurim nihkepinge kontroll-lõikes on väiksem või võrdne kui plaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime. Järgnevalt tehakse läbisurumiskandevõime kontrolli enimkoormatud posti perimeetril.

Kontrollperimeetri pikkus:

$$u_i = \pi \cdot d = \pi \cdot 0,4 = 1,26 \text{ m}$$

Ristlõike kasuskõrgus:

$$d = 0,7 - 0,05 - \frac{0,020}{2} = 0,64 \text{ m}$$

Suurim nihkepinge kontroll-lõikes vastavalt valemile (4.34):

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{2180}{1,26 \cdot 0,64} = 3108,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3,1 \text{ Mpa}$$

Tegur  $\nu$  vastavalt valemile (4.36):

$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

Vundamendiplaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime vastavalt valemile (4.35):

$$\nu_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 = 5,28 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed} = 3,1 \text{ MPa} \leq \nu_{Rd,max} = 5,28 \text{ MPa}$$

Posti perimeetril on maksimaalne läbisurumispinge väiksem kui vundamendi plaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime. Tingimus on täidetud. Järgnevalt kontrollitakse kõige kriitilisemal lõikel 1,3d, kas läbisurumisarmatuur on vajalik.

Vaadeldava kontrollperimeetri kaugus posti servast:

$$a = 1,3 \cdot d = 1,3 \cdot 0,64 = 0,832$$

Kontrollperimeetri pikkus

$$u_i = \pi \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot a = \pi \cdot 0,4 + 2 \cdot \pi \cdot 0,832 = 6,48 \text{ m}$$

Läbisurumispüramiidi põhja pindala:

$$A = \pi \cdot r^2 + 4 \cdot b \cdot a + \pi \cdot a^2 = \pi \cdot 0,2^2 + 4 \cdot 0,4 \cdot 0,832 + \pi \cdot 0,832^2 = 3,63 \text{ m}^2$$

Keskmine pinge talla all on leitud lihtsustatud meetodil, kus pindalaks on arvestatud ala, mis jääb vaadeldava posti mõjutsooni.

$$\sigma_{Ed} = \frac{2180}{32,7} = 66,7 \text{ kPa}$$

Läbisurumisjõud vastavalt valemile (4.39):

$$V_{Ed,red} = 2180 - 3,63 \cdot 66,7 = 1938 \text{ kN}$$

Läbisurumispinge vastavalt valemile (4.34):

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{1938}{6,48 \cdot 640} = 0,54 \text{ MPa}$$

Põikarmatuurita plaadi arvutuslik läbisurumiskandevõime vastavalt valemile (4.40):

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{640}} = 1,56 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot 1,56^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,37$$

$$v_{Rd,c} = 0,37 \cdot \frac{2 \cdot 0,64}{0,832} = 0,57 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,54 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 0,57 \text{ MPa}$$

Läbisurumiskandevõime vaadeldavas kontroll-lõikes kaugusel 1,3d on tagatud. Läbisurumisarmatuur ei ole vajalik. Erinevate kontroll-perimeetrite arvutus on esitatud tabelites 6.4 ja 6.5.

Tabel 6.4 Läbisurumiskandevõime kontrolli kontrollperimeetril 0,5d...1,2d

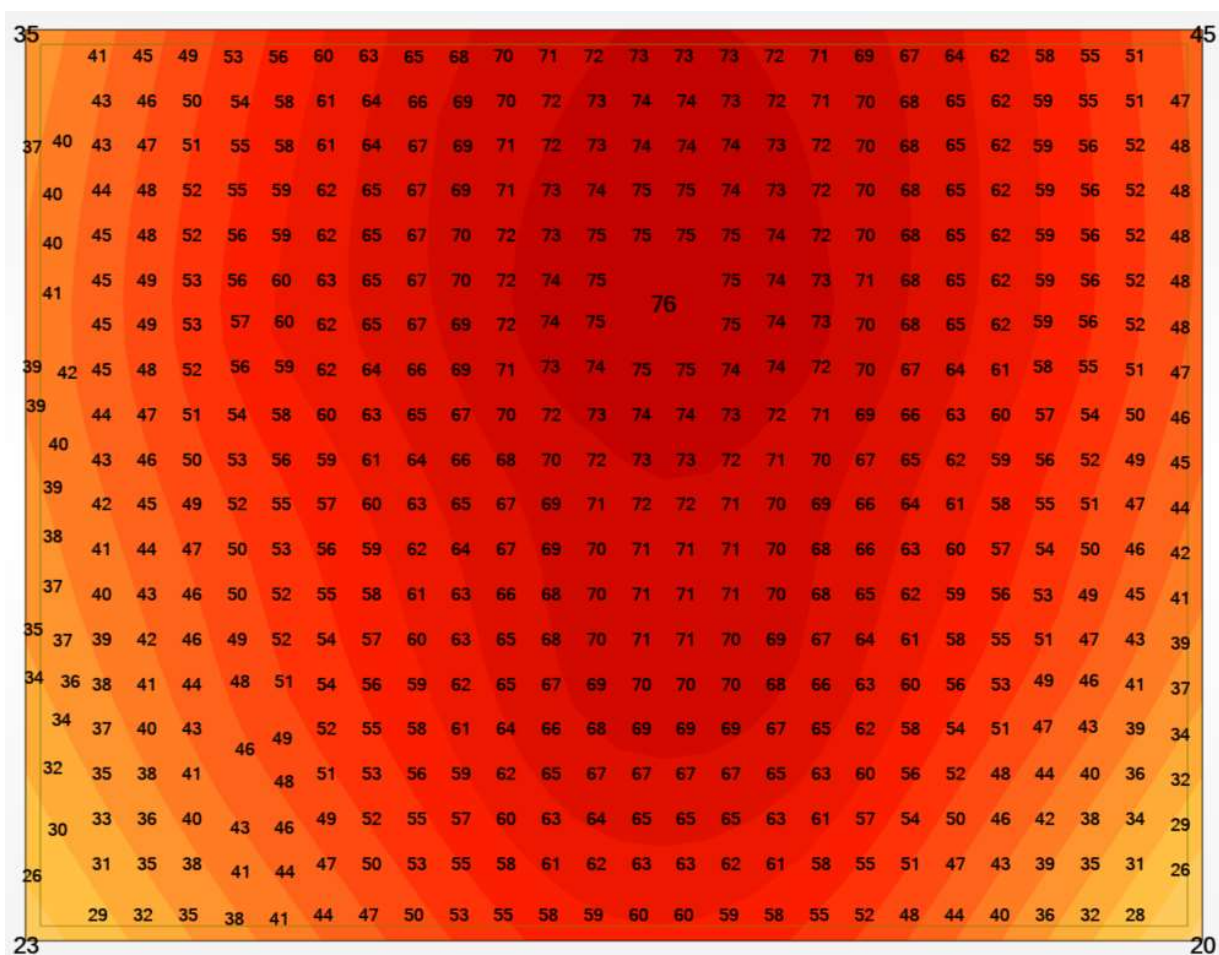
|                           | <b>0,5</b> | <b>0,6</b> | <b>0,7</b> | <b>0,8</b> | <b>0,9</b> | <b>1,0</b> | <b>1,1</b> | <b>1,2</b> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>a</b>                  | 0,320      | 0,384      | 0,448      | 0,512      | 0,576      | 0,640      | 0,704      | 0,768      |
| <b>u<sub>i</sub></b>      | 3,27       | 3,67       | 4,07       | 4,47       | 4,88       | 5,28       | 5,68       | 6,08       |
| <b>A</b>                  | 0,96       | 1,20       | 1,47       | 1,77       | 2,09       | 2,44       | 2,81       | 3,21       |
| <b>V<sub>Ed,red</sub></b> | 2116       | 2100       | 2082       | 2062       | 2041       | 2017       | 1993       | 1966       |
| <b>v<sub>Ed</sub></b>     | 1,16       | 1,03       | 0,92       | 0,83       | 0,75       | 0,69       | 0,63       | 0,58       |
| <b>v<sub>Rd,c</sub></b>   | 1,49       | 1,24       | 1,07       | 0,93       | 0,83       | 0,75       | 0,68       | 0,62       |
| <b>%</b>                  | 78,0       | 82,7       | 86,2       | 88,8       | 90,7       | 92,0       | 92,9       | 93,4       |

Tabel 6.5 Läbisurumiskandevõime kontrolli kontrollperimeetril 1,3...2,0d

|                           | <b>1,3</b> | <b>1,4</b> | <b>1,5</b> | <b>1,6</b> | <b>1,7</b> | <b>1,8</b> | <b>1,9</b> | <b>2,0</b> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>a</b>                  | 0,832      | 0,896      | 0,960      | 1,024      | 1,088      | 1,152      | 1,216      | 1,280      |
| <b>u<sub>i</sub></b>      | 6,48       | 6,89       | 7,29       | 7,69       | 8,09       | 8,49       | 8,90       | 9,30       |
| <b>A</b>                  | 3,63       | 4,08       | 4,56       | 5,06       | 5,59       | 6,14       | 6,72       | 7,32       |
| <b>V<sub>Ed,red</sub></b> | 1938       | 1908       | 1876       | 1843       | 1807       | 1771       | 1732       | 1692       |
| <b>v<sub>Ed</sub></b>     | 0,54       | 0,50       | 0,46       | 0,43       | 0,40       | 0,37       | 0,35       | 0,33       |
| <b>v<sub>Rd,c</sub></b>   | 0,57       | 0,53       | 0,50       | 0,47       | 0,44       | 0,41       | 0,39       | 0,37       |
| <b>%</b>                  | 93,5       | 93,4       | 93,0       | 92,3       | 91,4       | 90,3       | 89,1       | 87,6       |

Analüüsitarkvaras koostatud mudelis vaadeldi ka pingete jaotust. Vundamendi plaadi pingete jaotus on esitatud joonisel 6.6. Suurimad pinged tekivad enimkoormatud aladel,

mis on kujutatud tumepunase värviga. Ääretsoonides pinged vähenevad. Jooniselt on näha, et enimkoormatud alas on pinge vundamendi plaadi all üle 70 kPa. Arvutuslikul teel leitud pinge enimkoormatud posti juures jääb võrdlemisi samasse suurusjärku, kui analüüsimudelis saadud väärtused.

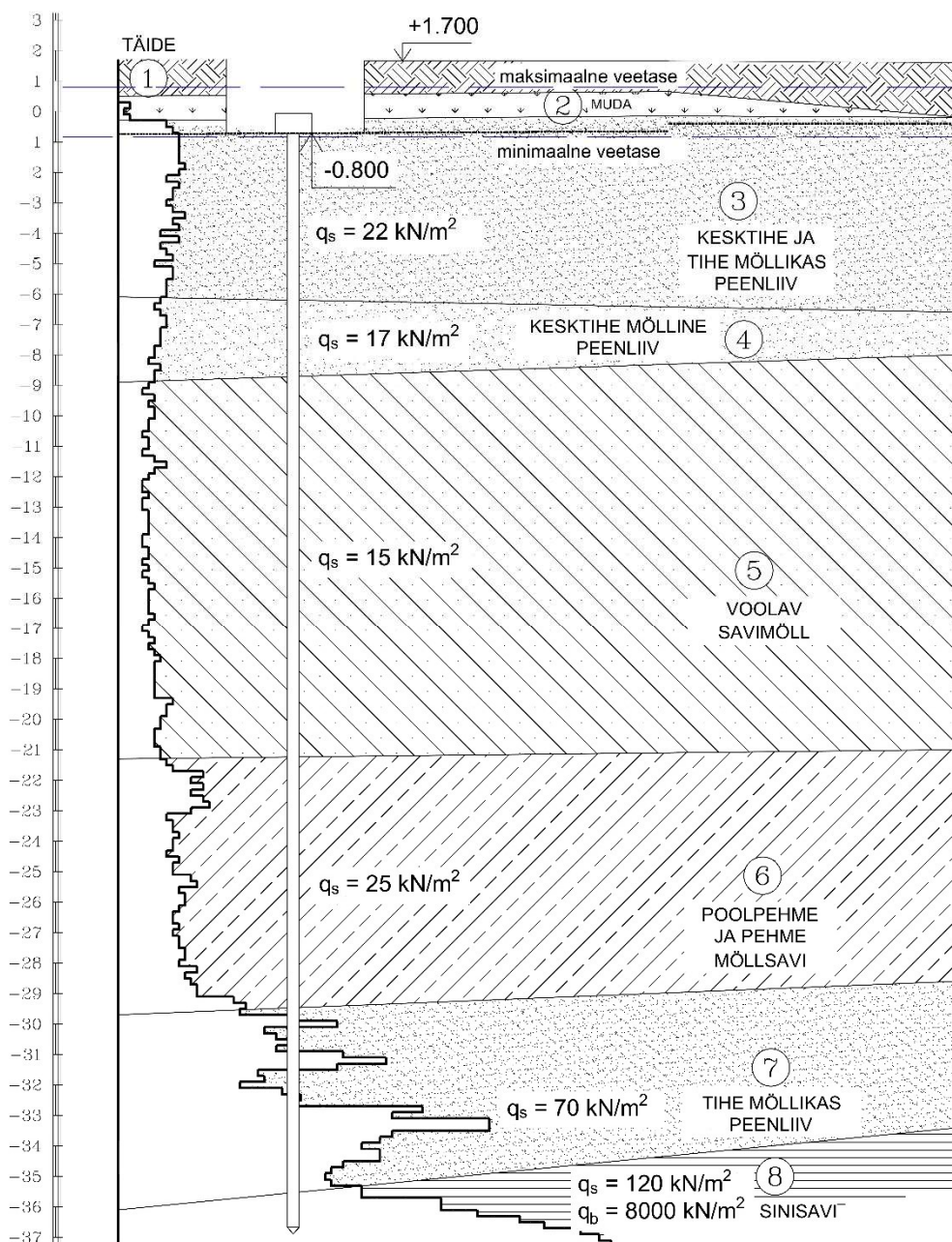


Joonis 6.6 Pingete jaotus vundamendi plaadi all

## 7. VAIVUNDAMENT

### 7.1 Vaia kandevõime arvutus

Vaia kandevõime kontrollil kasutatud pinnase normatiivsed näitajad on esitatud joonisel 7.1. Lisaks pinnase normatiivsetele näitajatele on joonisel näidatud külje erivastupanu  $q_s$ , pinnase erivastupanu vaia otsa all  $q_b$  ning rostvargi alumine kõrgusmärk.



Joonis 7.1 Vaivundamendi rajamise skeem ja kõrguslik paiknemine [1]

## 7.2.1 Kandevoime pinnase tunnusomaduste alusel

Fundex 324 ja 368 vaiade iseloomustavad suurused on esitatud tabelis 7.1 [11]:

Tabel 7.1 Fundex vaia iseloomustavad suurused [11]

| Vaia tüüp  | Manteltoru Ø (mm) | Vaia alla jääva otsiku Ø (mm) | Vaia tüve ligikaudne Ø (mm) |
|------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Fundex vai | 324               | 450                           | 350                         |
|            | 368               | 550                           | 450                         |

Vaia normkandevoime vastavalt valemile (4.42):

$$R_{c;k368} = 8000 \cdot 0,159 + 1,1 \cdot [(5,45 \cdot 22) + (2,55 \cdot 17) + (12,5 \cdot 15) + (8,25 \cdot 25) + (6,1 \cdot 70) + (120 \cdot 1)] \\ = 2486,4 \text{ kN}$$

$$R_{c;k324} = 8000 \cdot 0,238 + 1,41 \cdot [(5,45 \cdot 22) + (2,55 \cdot 17) + (12,5 \cdot 15) + (8,25 \cdot 25) + (6,1 \cdot 70) + (120 \cdot 1)] \\ = 3460,6 \text{ kN}$$

Vaia ristlõike pindala A:

$$A_{324} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,45^2}{4} = 0,159 \text{ m}^2$$

$$A_{368} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,55^2}{4} = 0,238 \text{ m}^2$$

Vaia ümbermõõt  $O_p$ :

$$O_{p324} = \pi \cdot d_{\text{nom}} = \pi \cdot 0,35 = 1,10 \text{ m}$$

$$O_{p368} = \pi \cdot d_{\text{nom}} = \pi \cdot 0,45 = 1,41 \text{ m}$$

Vaia omakaal:

$$G_{k,vai324} = \frac{350^2 \cdot \pi}{4 \cdot 10^6} \cdot 36 \cdot 25 = 86,59 \text{ kN}$$

$$G_{k,vai368} = \frac{450^2 \cdot \pi}{4 \cdot 10^6} \cdot 36 \cdot 25 = 143,12 \text{ kN}$$

Vaia arvutuslik kandevõime vastavalt valemile (4.43):

$$R_{c;d324} = \frac{2486,4}{1,4} - 86,59 = 1593,77 \text{ kN}$$

$$R_{c;d368} = \frac{3460,6}{1,4} - 143,12 = 2328,73 \text{ kN}$$

Vaiade ning rostvargi plaan on esitatud graafilises osas joonistel 1 ja 2.

## 7.3 Vaia armeerimine

### 7.3.1 Pikiarmatuur

Betooni ristlõike pindala:

$$A_{c324} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 350^2}{4} = 96211,28 \text{ mm}^2$$

$$A_{c368} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 450^2}{4} = 159043,13 \text{ mm}^2$$

6 pikivarda korral, läbimõõduga 20 mm on ristlõike pindala  $A_{s324} = 1884,96 \text{ mm}^2$ .

8 pikivarda korral, läbimõõduga 20 mm on ristlõike pindala  $A_{s368} = 2513,27 \text{ mm}^2$ .

Vastavalt valemile (4.44):

$$A_{s324} = 1884,96 \text{ mm}^2 \geq 0,002 \cdot 96211,28 = 192,42 \text{ mm}^2$$

$$A_{s368} = 2513,27 \text{ mm}^2 \geq 0,002 \cdot 159043,13 = 318,09 \text{ mm}^2$$

Vastavalt valemile (4.45):

$$A_{s324} = 1884,96 \text{ mm}^2 \geq \frac{0,1 \cdot 1593,77}{435 \cdot 10^{-3}} = 366,38 \text{ mm}^2$$

$$A_{s368} = 2513,27 \text{ mm}^2 \geq \frac{0,1 \cdot 2234,31}{435 \cdot 10^{-3}} = 513,63 \text{ mm}^2$$

Vastavalt tingimusele (4.46):

$$A_{s324} = 1884,96 \text{ mm}^2 \leq 0,06 \cdot 96211,28 = 5772,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{s368} = 2513,27 \text{ mm}^2 \leq 0,06 \cdot 159043,13 = 9542,59 \text{ mm}^2$$

Valitud pikivardad rahuldavad tingimusi.

### 7.3.2 Põikarmatuur

Lähtuvalt konstruktiivsetest nõuetest ei tohiks põikiarmatuuri samm piki posti olla suurem kui:

- 15-kordne pikivarda minimaalne diameeter,  $15 \cdot 20 = 300 \text{ mm}$
- posti ristlõike vähim mõõde,  $350 \text{ mm}$
- $400 \text{ mm}$

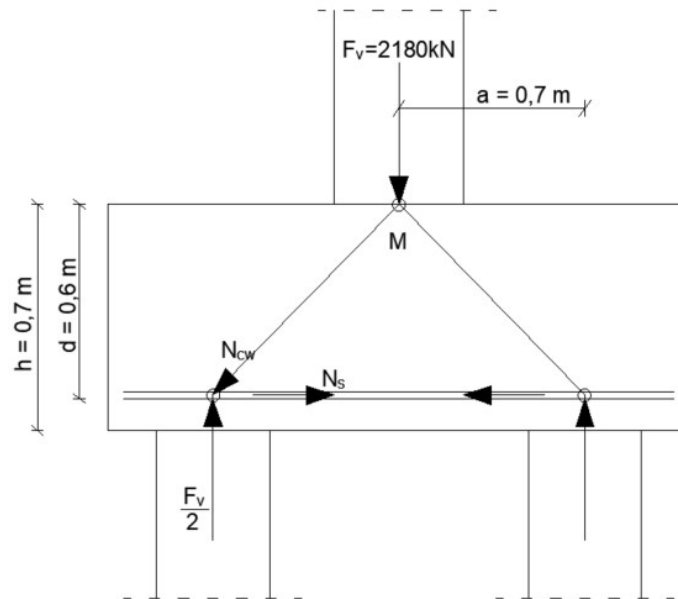
Vaiade põikarmatuuriks valiti rangid sammuga  $300 \text{ mm}$  ja diameetriga  $10 \text{ mm}$ . Armatuuri kaitsekiht on  $50 \text{ mm}$  [13].

## 7.4 Rostvärk

### 7.4.1 Rostvärgi tõmbearmatuur

Tõmbearmatuuri leidmiseks on koostatud varrasskeem momendipunkti võtet kasutades, et leida tõmbearmatuuris tekkiv tõmbejõud  $N_s$ . Skeem on esitatud joonisel 7.2, kus  $a$  on vaia

kaugus posti tsentrist ning  $d$  roostvärgi kasuskõrgus. Seejärel koostati tasakaaluvõrrand, millest saab avaldada otsitavat tõmbejõudu.



Joonis 7.2 Varraskeem tõmbejõu  $N_s$  leidmiseks

Tasakaaluvõrrand tõmbejõu  $N_s$  leidmiseks:

$$N_s \cdot d - \frac{F_v}{2} \cdot a = 0$$

$$N_s = \frac{F_v \cdot a}{2 \cdot d} = \frac{2180 \cdot 700}{2 \cdot 600} = 1271,6 \text{ kN}$$

Vajalik armatuuri pindala:

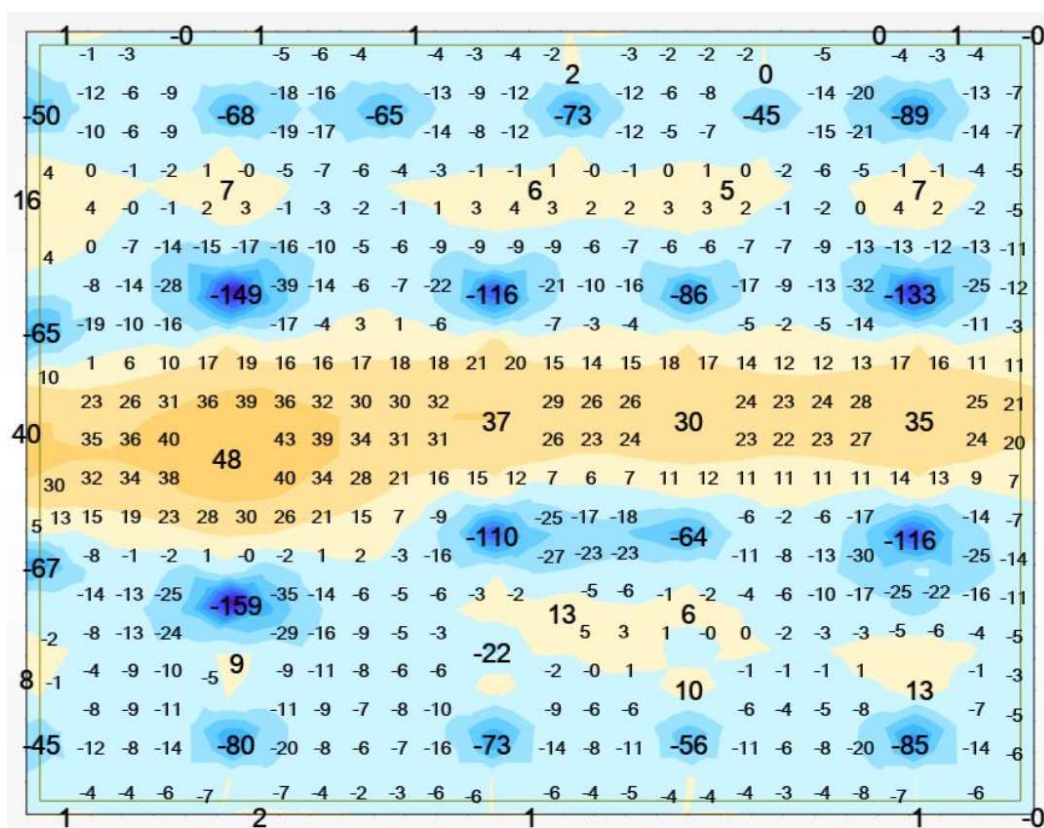
$$A_s = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{1271,6 \cdot 10^3}{435} = 2920,9 \text{ mm}^2$$

Sobivaks armatuuriks on valitud 6 Ø 25 varrast, mille pindala on:

$$A_s = \frac{6 \cdot \pi \cdot 25^2}{4} = 2945,2 \text{ mm}^2$$

## 7.5 Parklakkoruse põrandaplaat

Rostvärgid seotakse horisontaalsuunas põrandaplaadiga. Põrandaplaadi kõrguse leidmiseks koostati uus arvutusmodel analüüsitarkvaras Autodesk Robot Structural Analysis, milles arvestati põranda omakaalukoormuse ning veeüleslükkejõuga. Vesi on muutuvkoormus ning osavaruteguriks arvestati 1,5, omakaalukoormuse osavaruteguriks on 1,0. Miinusmärgiga väärtused näitavad paindemomendi tekkimist plaadi alapinnas, plussmärgiga väärtuste korral tekib paindemoment plaadi ülapinnas. Tugede vahel tekkiv maksimaalne paindemoment vee üleslükkejõust on 50 kNm. Määravaks saab aga toe moment rostvärgi servas, milleks on 100 kNm. Sobivaks plaadi kõrguseks on 250 mm. Joonisel 7.3 on esitatud paindemomentide väärtused  $M_x$ . Paindemoment ümber x telje on plaadile ebasoodsam suund.



Joonis 7.3 Paindemoment  $M_x$  kandepiiriseisundis

## 8. MAKSUMUSE VÕRDLUS

Hinnapakkumised vundeerimislahenduste võrdluseks küsiti neljast erinevast ettevõttest – E-Eelarvestus OÜ, Remondimees OÜ, SA.MET AS ja SAVI OÜ. Koondtabel ühikhindade kohta on esitatud tabelis 8.1. Hinnad sisaldavad tööraha ning ühikhinnaks on arvestatud erinevate hinnapakkumiste keskmine. Hindadele lisandub käibemaks. Maksumuse võrdlus esitatakse põhiosade kohta, armatuuri kogust ei ole eraldi välja arvestatud.

Tabel 8.1 Ühikhinnad

|                    | <b>Maksumus</b>       |
|--------------------|-----------------------|
| Vai d-350mm        | 46 €/jm               |
| Vai d-450mm        | 50 €/jm               |
| Vaia pea piikamine | 80 €/tk               |
| Rostvärk           | 360 €/m <sup>3</sup>  |
| Vundamenditala     | 340 €/m <sup>3</sup>  |
| Vundamendi plaat   | 300 €/m <sup>3</sup>  |
| Liivaalus          | 15,5 €/m <sup>3</sup> |
| EPS 10 150mm       | 14 €/m <sup>2</sup>   |

### 8.1 Plaatvundamendi maksumus

Plaatvundament on ette näha rajada rikkumata struktuuriga aluspinnasele. Arvestatud on 10 cm kõrguse liivaalusega, et aluspind oleks võimalikult ühtlane. Plaatvundamendi rajamise maksumuse muudab kalliks suur betoonikogus, sest vundamendiplaadi kõrgus on 700 mm. Plaatvundamendi maksumuse kalkulatsioon on esitatud tabelis 8.2.

Tabel 8.2 Plaatvundamendi maksumus

|                                         | <b>Maksumus</b>                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Vundamendi plaat                        | $20 \cdot 26 \cdot 0,7 \cdot 300 = 109200 \text{ €}$ |
| Liivaalus vundamendi plaadi all ca 10cm | $20 \cdot 26 \cdot 0,1 \cdot 15,5 = 806 \text{ €}$   |
| <b>Kokku</b>                            | <b>110006€</b>                                       |

### 8.2 Vaivundamendi maksumus

Lähtuvalt ehitusgeoloogilisest uuringust tulevad vaiad väga pikad ning moodustavad suurema osa vaivundamendi maksumusest. Arvestatud on ka vaia pea piikamisega.

Väiksem kulu on erinevate mõõtmetega roostvärkidel. Rostvärgid seotakse parklakorruse põrandaplaadiga, paksusega 250 mm. Põrand soojustatakse alt EPS 100 soojustusplaadiga paksuses 150 mm. Vaivundamendi maksumuse kalkulatsioon on esitatud tabelis 8.3.

Tabel 8.3 Vaivundamendi maksumus

|                                                                 | <b>Maksumus</b>                                                   |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Vai d-350mm, vaia pikkus 35,85 m (22 tk)                        | $35,85 \cdot 22 \cdot 46 = 36280,2 \text{ €}$                     |
| Vai d-350mm, vaia pikkus 35,80 m (4 tk)                         | $35,8 \cdot 2 \cdot 46 = 3293,6 \text{ €}$                        |
| Vai d-350mm, vaia pikkus 35,45m (3 tk)                          | $35,45 \cdot 3 \cdot 46 = 4892,1 \text{ €}$                       |
| Vai d-450mm, vaia pikkus 35,85 m (1 tk)                         | $35,85 \cdot 50 = 1792,5 \text{ €}$                               |
| Vaia pea piikamine (30 tk)                                      | $30 \cdot 80 = 2400 \text{ €}$                                    |
| Rostvärk RV-1 2050x750x700 mm (2 tk)                            | $2,05 \cdot 0,75 \cdot 0,70 \cdot 2 \cdot 360 = 774,9 \text{ €}$  |
| Rostvärk RV-2 2250x750x600 mm (1 tk)                            | $2,25 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 360 = 364,5 \text{ €}$           |
| Rostvärk RV-3 2470x750x600 mm (1 tk)                            | $2,47 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 360 = 400,1 \text{ €}$           |
| Rostvärk RV-4 750x750x600 mm (19 tk)                            | $0,75 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 19 \cdot 360 = 2308,5 \text{ €}$ |
| Rostvärk RV-5 2150x2200x600 mm (1 tk)                           | $2,15 \cdot 2,2 \cdot 0,6 \cdot 360 = 1021,7 \text{ €}$           |
| Põrandaplaat 250 mm                                             | $20 \cdot 26 \cdot 0,25 \cdot 300 = 39000 \text{ €}$              |
| Põrandaplaadi soojustamine EPS 100 150 mm<br>498 m <sup>2</sup> | $498 \cdot 14 = 6972 \text{ €}$                                   |
| <b>Kokku</b>                                                    | <b>99500,1 €</b>                                                  |

Kahe vundamenditüübi maksumuse vahe:

$$110006 - 99500,1 = 10505,9 \text{ €}$$

Järgnevalt on leitud, mitu % on vaivundament soodsam kui plaatvundament:

$$\frac{10505,9}{110006} \cdot 100\% \approx 9,6\%$$

Võrreldes kahe vundamenditüübi maksumust selgub, et vaivundament tuleb hinnanguliselt 9,6% soodsam, kui plaatvundament. Tihti eeldatakse, et vaivundament on oma ressursimahukuselt kallim kui mõni teine vundamenditüüp, kuid praeguses olukorras tuleks vaivundamenti kasutades rahaline võit.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö peamiseks eesmärgiks oli analüüsida ja võrrelda erinevaid vundeerimislahendusi mitmekorruselise kortermaja jaoks. Vundamendi peamine ülesanne on vastu võtta kogu hoonest tulenevat koormust. Seega lähtudes geoloogilistest tingimustest ning ehitise konstruktsioonist tuleb valida vundamenditüüp, mis on piisava kandevõimega ning kauakestev kogu ehitise eluea vältel.

Magistritöö koosneb mitmest erinevast etapist. Esmalt arvutati hoonest tulenevad koormused vastavalt kehtivatele standarditele nii kande- kui ka kasutuspiirseisundis. Seejärel analüüsiti üksikvundamendi kasutamise võimalikkust. Kontrolliti üksikvundamendi aluse kandevõimet ning teostati nõrga kihi kandevõime kontroll. Üksikvundamendi vajum leiti summeerimismeetodit kasutades. Saadud vajum mahtus raudbetoonehitistele kehtestatud vajumi piirväärtusesse. Ühtlane vajumine ei kahjusta üldjuhul konstruktsioone. Probleemid tekivad, kui ehitise erinevate osade vahel on suur vajumite erim, mis võib viia konstruktsioonide purunemiseni. Seetõttu võrreldi erinevate üksikvundamentide vajumeid ning selgus, et saadud väärtused ei mahu lubatud piirmääradesse. Seega antud hoone korral ei saa üksikvundamente kasutada.

Välistades üksikvundamendi kasutamise võimalikkuse teostati vajalikud arvutused plaatvundamendi dimensioneerimiseks. Esmalt kontrolliti plaatvundamendi aluse kandevõimet ning leiti kogu hoonest tulenev koormus vajumi arvutamiseks. Plaatvundamendi koguvajumiks saadi 4,1 cm, mis rahuldab piirväärtust. Plaadi kõrguse valikul sai määravaks läbisurumiskandevõime kontroll. Sisejõudude leidmiseks koostati arvutusmudel analüüsitarkvaras Autodesk Robot Structural Analysis, mille kaudu teostati arvutused põhivõrkude dimensioneerimiseks üla- ja alatasapinnas.

Maksumuse võrdluseks teostati ka vaia kandevõime arvutus. Valituks osutusid Fundex tüüpi puurvaiad, mis on üks enimkasutatavaid vaiatüüpe Eestis. Lisaks dimensioneeriti enimkoormatud posti juures rostvargi tõmbearmatuur. Parklakorruse põrandaplaad seotakse omavahel rostvarkidega. Põrandaplaadi kõrgusel lähtuti asjaolust, et plaat suudaks avaldada vastupanu veeüleslükkejõu mõjule. Graafilises osas on esitatud nii vaia-, rostvargi-, kui ka plaatvundamendi plaan.

Sageli eeldatakse, et vaivundament on kõige kallim vundamenditüüp, kuid sõltuvalt konkreetse objekti pinnaseoludest võib tulemus muutuda. Keerukates oludes tuleks geoloogiline uuring teha ka projekteeritava hoone alla, mitte kasutada naaberkinnistu geoloogilist uuringut. Vaatamata vaiade suurele pikkusele tuli antud kortermajal vaivundament 9,6% soodsam võrreldes plaatvundamendiga.

Projekteerimise hind moodustab kogu ehituse hinnast küllaltki väikse osa. Ehitusseadustikuga on reguleeritud milliste projekti staadiumite järgi tohib ehitada. Vaatamata sellele proovitakse tihti hakkama saada põhiprojekti või koguni eelprojekti staadiumis projektide järgi ehitamisega. Lõplikud lähteandmed selguvad sageli alles tööprojekti staadiumis, mis võib põhjustada rahaliselt ebasoodsama vundamenditüübi valiku. Kõige ökonoomsemate vundeerimislahenduste leidmiseks peaks iga projekti korral teostama põhjaliku ehitusgeoloogilise uuringu ning vundeerimislahenduste analüüsi.

Magistritöö eesmärgid said täidetud ning töö autor omandas läbi praktiliste arvutuskäikude vajaliku kogemuse vundamentide projekteerimiseks. Kinnistasid nii varasemad teadmised kui ka erinevate programmide kasutamise oskus.

## SUMMARY

The aim of this master's thesis was to analyze and compare different foundation solutions for a multi-storey apartment building. The main purpose of the foundation is to take the entire load coming from the building. Therefore, it is important to choose right type of foundation which has sufficient load bearing capacity while taking into consideration geological conditions and building's structure. The foundation must be long-lasting throughout the lifetime of a building.

The Master's thesis is divided into several different stages. Firstly, the loads from the building were calculated according to current standards in load-bearing and limit states. Thereupon, the possibility of using a spread footing foundation was analyzed. The bearing capacity of a spread footing foundation and bearing capacity of a weak layer was checked. The subsidence of a spread footing foundation was then found using the layered summation method. The subsidence was within the subsidence limit set for reinforced concrete buildings. Even subsidence generally does not damage the structures. Problems occur when the subsidence differences between different parts of the building are too large. This can lead to collapse of the structures. Therefore, the subsidence differences of different spread footing foundations were compared, and it was found out that the differences are out of permitted limits. Therefore, spread footing foundations cannot be used.

Excluding the possibility to use spread footing foundation the calculations were made to dimension the slab foundation. At first, the bearing capacity of a slab foundation base was checked and the total load from a building was found to calculate the subsidence. The subsidence of the slab foundation was 4,1cm which is within the allowed limits. The check of a foundation penetration resistance was decisive for choosing the height of slab foundation. To find the internal forces, a calculation model was created in the analysis software Autodesk Robot Structural Analysis, through which the calculations were performed for dimensioning of main reinforcement grid in upper and lower layer.

In order to compare the costs, the bearing capacity of a pile was also calculated. Fundex type 324 and 368 piles were chosen with the height of a 36 m. Fundex is one of the most commonly used pile types in Estonia. In addition, the grade beam reinforcement was dimensioned at the most heavily loaded columns. The floor slab of the parking floor is connected to grade beams. In the graphic part are shown pile, grade beam and slab

foundation plan. Height of the floor slab was chosen so it would be able withstand the effect of water buoyancy.

It is often assumed that the pile foundation is the most expensive type of foundation but depending on the soil conditions the results may vary. In case of complex situations it is mandatory to carry out the geological survey under the exact building, rather than using a geological survey of a neighboring property. Despite the length of the piles, the pile foundation turned out to be 9.6% cheaper compared to slab foundation.

The cost of designing the building is rather small part of the total construction price. The Building Code regulates by which stages of a project may be built. Nevertheless, attempts are often made to build by the main project or even by the preliminary design. The final information is often revealed at the stage of a work project. This can lead to choosing financially less favorable type of foundation. In order to find the most optimal foundation solution, a thorough geological survey and analysis of foundation solutions must be carried out.

The objectives of this thesis were achieved, and the author gained the necessary experience for designing foundations. The knowledge gained from lectures and ability to use different programs were consolidated.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne: Nafta tn 3 viiekorruselised hooned, Tallinn, kesklinna linnaosa, Nafta tn 3, töö nr GE-1789. / REIB OÜ. Tallinn, jaanuar 2015.
- [2] Masso, T. (2014). *Ehituskonstruktori käsiraamat*. 4. trükk. Tallinn: Ehitame.
- [3] EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:206+NA:2016. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus.
- [4] EVS-EN 1990:2002+NA:2002. Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused.
- [5] Jaaniso, V. (2014). *Madalvundamendi arvutus: abiks EVS-EN 1997-1 kasutajale*. Tallinn: Ehitame, 2014.
- [6] V, Jaaniso. *Vundamendid*. Õppematerjal.  
<http://staff.ttu.ee/~aldur/Vundament/4%20Jaotusvundamendid%20D.pdf> (20.04.2020)
- [7] V, Jaaniso. *Pinnasemehaanika*. Õppematerjal.  
<http://staff.ttu.ee/~aldur/Vesiehitised/Pinnasemehaanika.pdf> (02.05.2020)
- [8] EVS-EN 1997-1:2005+A1:2013+NA:2014. Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 1: Üldeeskirjad.
- [9] *Fundex grupi koduleht*. <http://www.fundexgroup.com/> (28.04.2020)
- [10] A, Parts. 5.2.4 *Kohtvaiad*. Õppematerjal.  
<http://staff.ttu.ee/~aldur/Vundament/5-2%20Vaivundamendid%20D.pdf> (12.02.2020)
- [11] *Savi OÜ koduleht*. <http://savi.ee/> (28.04.2020)
- [12] Otsmaa, V. (2015). *Betoonkonstruktsioonide arvutamine: õpik kõrgkoolidele*. Teine, parandatud trükk. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.
- [13] Mets, M (1997). The bearing capacity of a single pile – Experience in Estonia.

## LISAD

### Lisa 1 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta

Tabel L1.1 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta

#### Soklisein SKS01

| Materjal          | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Raudbetoon        | 120              | 25                            | 3                                               |
| Soojustus EPS 200 | 100              | 0,35                          | 0,04                                            |
| Krohv             | 5                | 16                            | 0,08                                            |
| <b>Kokku 3,12</b> |                  |                               |                                                 |

#### Soklisein SKS02

| Materjal          | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Raudbetoon        | 150              | 25                            | 3,75                                            |
| Soojustus EPS 200 | 100              | 0,35                          | 0,04                                            |
| Krohv             | 5                | 16                            | 0,08                                            |
| <b>Kokku 3,87</b> |                  |                               |                                                 |

#### Sisesein SS01

| Materjal          | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Krohv             | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| R/b paneel        | 200              | 25                            | 5                                               |
| Krohv             | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| <b>Kokku 5,31</b> |                  |                               |                                                 |

#### Sisesein SS02

| Materjal          | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Krohv             | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| Fibo 3            | 200              | 7                             | 1,4                                             |
| Krohv             | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| <b>Kokku 1,72</b> |                  |                               |                                                 |

#### Sisesein SS03

| Materjal          | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Krohv             | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| Fibo 3            | 150              | 7                             | 1,05                                            |
| Krohv             | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| <b>Kokku 1,37</b> |                  |                               |                                                 |

## Lisa 1.1 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta

### Sisesein SS04

| Materjal                  | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Krohvi                    | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| Fibo 3                    | 200              | 7                             | 1,4                                             |
| Min. vill + metallkarkass | 50               | 0,8                           | 0,04                                            |
| 2x kipsplaat              | 25               | 8                             | 0,2                                             |
| <b>Kokku 1,8</b>          |                  |                               |                                                 |

### Sisesein SS05

| Materjal                  | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| 2x kipsplaat              | 25               | 8                             | 0,2                                             |
| Min. vill + metallkarkass | 50               | 0,8                           | 0,04                                            |
| Fibo 3                    | 200              | 7                             | 1,4                                             |
| Min. vill + metallkarkass | 50               | 0,8                           | 0,04                                            |
| 2x kipsplaat              | 25               | 8                             | 0,2                                             |
| <b>Kokku 1,88</b>         |                  |                               |                                                 |

### Sisesein SS06/07

| Materjal                  | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Kipsplaat                 | 13               | 8                             | 0,1                                             |
| Min. vill + metallkarkass | 95               | 0,8                           | 0,08                                            |
| Kipsplaat                 | 13               | 8                             | 0,1                                             |
| <b>Kokku 0,28</b>         |                  |                               |                                                 |

### Välissein VS01

| Materjal              | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| R/b paneel            | 200              | 25                            | 5                                               |
| Soojustus Isover FC-5 | 150              | 0,35                          | 0,05                                            |
| Krohvi                | 10               | 16                            | 0,16                                            |
| <b>Kokku 5,21</b>     |                  |                               |                                                 |

### Välissein VS02

| Materjal                | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| R/b paneel              | 200              | 25                            | 5                                               |
| Soojustus Kingspan TP10 | 140              | 0,35                          | 0,05                                            |
| Õhkvahe                 | 44               |                               |                                                 |
| Laudis + roov           | 21               | 5                             | 0,11                                            |
| <b>Kokku 5,16</b>       |                  |                               |                                                 |

## Lisa 1.2 Normatiivsed omakaalukoormused ruutmeetri kohta

### Välissein VS03

| Materjal                | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| R/b paneel              | 150              | 25                            | 3,75                                            |
| Soojustus Kingspan TP10 | 140              | 0,35                          | 0,05                                            |
| Õhkvahe + roov          | 44               |                               |                                                 |
| Laudis + roov           | 21               | 5                             | 0,11                                            |
| <b>Kokku 3,91</b>       |                  |                               |                                                 |

### Vahelagi VL1

| Materjal                 | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Õõnespaneel              | 220              |                               | 3,1                                             |
| Sammumüratõke ISOVER FLO | 60               | 1                             | 0,06                                            |
| R/b pealevalu            | 80               | 25                            | 2                                               |
| Põrandakate              | 20               | 15                            | 0,3                                             |
| <b>Kokku 5,46</b>        |                  |                               |                                                 |

### Katuslagi KL1

| Materjal                  | Kihi paksus (mm) | Mahukaal (kN/m <sup>3</sup> ) | Normkoormus g <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Õõnespaneel               | 220              |                               | 3,1                                             |
| Soojustus EPS 60          | 250              | 1                             | 0,25                                            |
| Soojustus EPS 60 (kalded) | 150              | 1                             | 0,15                                            |
| SBS kate                  | 5                |                               | 0,05                                            |
| <b>Kokku 3,55</b>         |                  |                               |                                                 |

## Lisa 2 Vundamentidele mõjuvad koormused

Tabel L2.1 Vundamentidele mõjuvad koormused

| Post/sein         | Kasutuspiirseisund (kN) | Kandepiirseisund (kN) |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Post 1            | 61,1                    | 80,0                  |
| Post 2            | 401,8                   | 505,3                 |
| Post 3            | 669,1                   | 845,8                 |
| Post 4            | 739,9                   | 932,7                 |
| Post 5            | 700,6                   | 880,9                 |
| Post 6            | 464,8                   | 575,5                 |
| Post 7            | 163,9                   | 210,5                 |
| Post 8            | 142,7                   | 183,8                 |
| Post 9            | 39,9                    | 53,3                  |
| Post 10           | 57,8                    | 75,0                  |
| Post 11           | 231,6                   | 295,7                 |
| Post 12           | 777,0                   | 1006,7                |
| Post 13           | 1467,7                  | 2005,4                |
| Post 14           | 1706,8                  | 2176,7                |
| Post 15           | 1580,4                  | 2015,0                |
| Post 16           | 655,0                   | 831,6                 |
| Post 17           | 279,9                   | 345,6                 |
| Post 18           | 1027,1                  | 1294,8                |
| Sein teljel 3     | 1793,1                  | 2265,7                |
| Sein teljel 4     | 1652,9                  | 2087,1                |
| Sein teljel A     | 90,3                    | 108,1                 |
| Liftisahti seinad | 998,6                   | 1196,6                |

## Lisa 3 Tegurid $\alpha$ pinge leidmiseks vundamenditalla keskme all

Tabel L3.1 Tegurid  $\alpha$  pinge leidmiseks vundamenditalla keskme all [5]

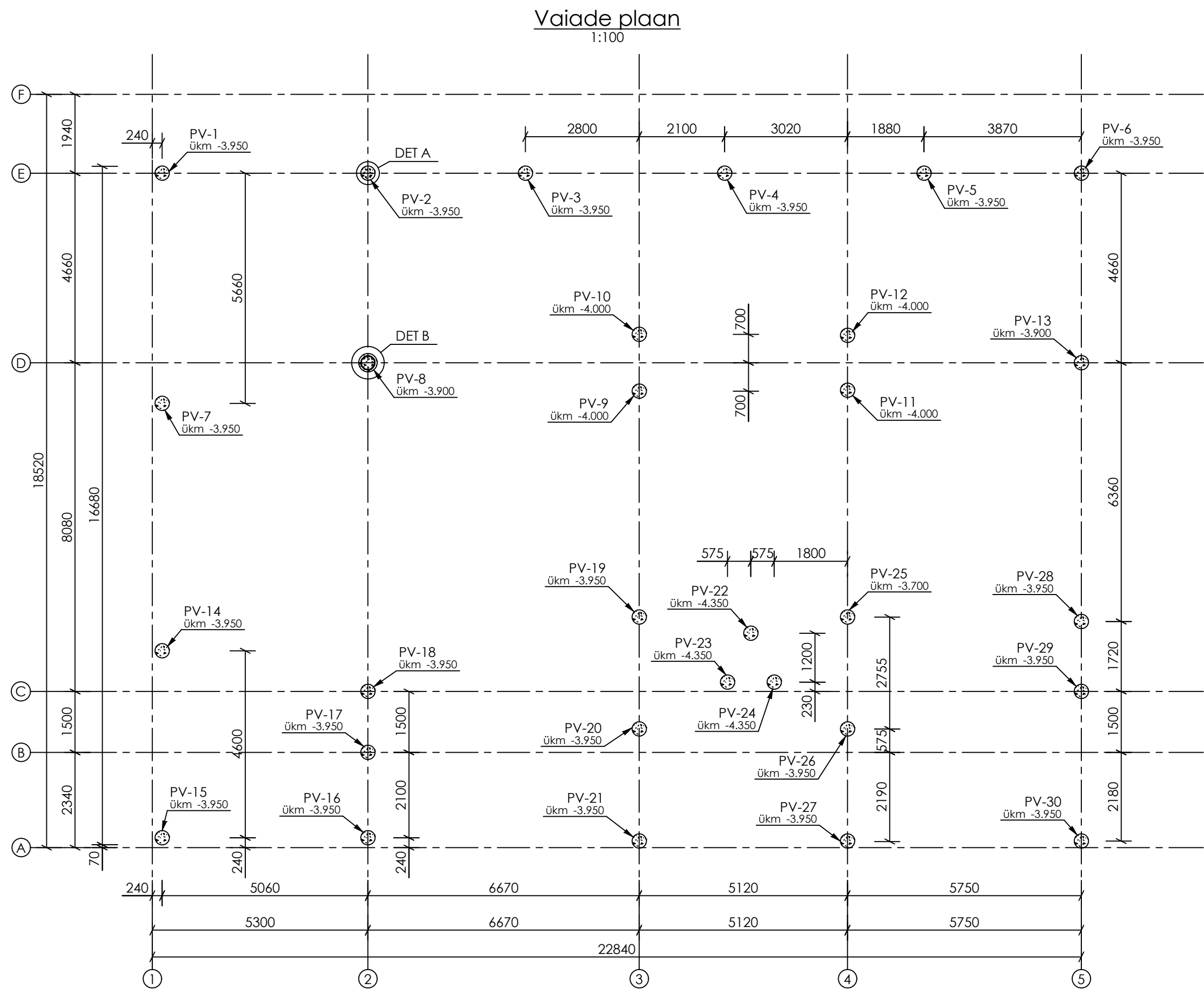
$n = L/B, m = 2z/B$

| $m$  | $n$    |        |        |        |        |        |        |        |        |        | $m$  |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
|      | 1.0    | 1.1    | 1.2    | 1.3    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | 2.2    | 2.4    |      |
| 0.0  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.0  |
| 0.1  | 0.9993 | 0.9993 | 0.9994 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.1  |
| 0.2  | 0.9943 | 0.9950 | 0.9954 | 0.9958 | 0.9960 | 0.9963 | 0.9965 | 0.9966 | 0.9966 | 0.9967 | 0.2  |
| 0.3  | 0.9819 | 0.9840 | 0.9854 | 0.9864 | 0.9872 | 0.9881 | 0.9887 | 0.9890 | 0.9892 | 0.9893 | 0.3  |
| 0.4  | 0.9604 | 0.9648 | 0.9678 | 0.9700 | 0.9717 | 0.9737 | 0.9750 | 0.9757 | 0.9762 | 0.9765 | 0.4  |
| 0.5  | 0.9299 | 0.9372 | 0.9425 | 0.9463 | 0.9492 | 0.9529 | 0.9551 | 0.9565 | 0.9574 | 0.9579 | 0.5  |
| 0.6  | 0.8916 | 0.9022 | 0.9101 | 0.9159 | 0.9202 | 0.9261 | 0.9296 | 0.9318 | 0.9333 | 0.9342 | 0.6  |
| 0.7  | 0.8475 | 0.8615 | 0.8720 | 0.8800 | 0.8860 | 0.8944 | 0.8995 | 0.9027 | 0.9049 | 0.9063 | 0.7  |
| 0.8  | 0.7997 | 0.8169 | 0.8300 | 0.8401 | 0.8480 | 0.8589 | 0.8658 | 0.8703 | 0.8733 | 0.8753 | 0.8  |
| 0.9  | 0.7503 | 0.7701 | 0.7856 | 0.7978 | 0.8074 | 0.8211 | 0.8299 | 0.8356 | 0.8396 | 0.8422 | 0.9  |
| 1.0  | 0.7009 | 0.7228 | 0.7403 | 0.7543 | 0.7656 | 0.7819 | 0.7926 | 0.7998 | 0.8047 | 0.8081 | 1.0  |
| 1.1  | 0.6526 | 0.6762 | 0.6953 | 0.7109 | 0.7235 | 0.7423 | 0.7549 | 0.7635 | 0.7694 | 0.7737 | 1.1  |
| 1.2  | 0.6064 | 0.6310 | 0.6514 | 0.6682 | 0.6821 | 0.7030 | 0.7174 | 0.7274 | 0.7344 | 0.7395 | 1.2  |
| 1.3  | 0.5628 | 0.5880 | 0.6092 | 0.6270 | 0.6418 | 0.6646 | 0.6806 | 0.6920 | 0.7001 | 0.7059 | 1.3  |
| 1.4  | 0.5220 | 0.5475 | 0.5692 | 0.5876 | 0.6032 | 0.6276 | 0.6450 | 0.6576 | 0.6667 | 0.6734 | 1.4  |
| 1.5  | 0.4842 | 0.5096 | 0.5315 | 0.5503 | 0.5664 | 0.5921 | 0.6108 | 0.6244 | 0.6345 | 0.6420 | 1.5  |
| 1.6  | 0.4492 | 0.4743 | 0.4962 | 0.5153 | 0.5317 | 0.5583 | 0.5780 | 0.5927 | 0.6037 | 0.6119 | 1.6  |
| 1.7  | 0.4171 | 0.4417 | 0.4634 | 0.4825 | 0.4991 | 0.5263 | 0.5469 | 0.5624 | 0.5742 | 0.5832 | 1.7  |
| 1.8  | 0.3877 | 0.4117 | 0.4330 | 0.4519 | 0.4686 | 0.4962 | 0.5174 | 0.5337 | 0.5462 | 0.5558 | 1.8  |
| 1.9  | 0.3608 | 0.3840 | 0.4049 | 0.4235 | 0.4401 | 0.4679 | 0.4896 | 0.5065 | 0.5195 | 0.5297 | 1.9  |
| 2.0  | 0.3361 | 0.3586 | 0.3789 | 0.3972 | 0.4136 | 0.4414 | 0.4634 | 0.4807 | 0.4943 | 0.5050 | 2.0  |
| 2.2  | 0.2929 | 0.3138 | 0.3328 | 0.3503 | 0.3661 | 0.3934 | 0.4156 | 0.4335 | 0.4479 | 0.4594 | 2.2  |
| 2.4  | 0.2568 | 0.2759 | 0.2937 | 0.3101 | 0.3251 | 0.3516 | 0.3735 | 0.3916 | 0.4065 | 0.4186 | 2.4  |
| 2.6  | 0.2264 | 0.2440 | 0.2604 | 0.2757 | 0.2899 | 0.3152 | 0.3366 | 0.3546 | 0.3696 | 0.3821 | 2.6  |
| 2.8  | 0.2007 | 0.2168 | 0.2320 | 0.2462 | 0.2595 | 0.2835 | 0.3042 | 0.3218 | 0.3368 | 0.3495 | 2.8  |
| 3.0  | 0.1789 | 0.1936 | 0.2076 | 0.2208 | 0.2332 | 0.2559 | 0.2757 | 0.2929 | 0.3076 | 0.3203 | 3.0  |
| 3.2  | 0.1603 | 0.1738 | 0.1867 | 0.1989 | 0.2105 | 0.2318 | 0.2507 | 0.2672 | 0.2816 | 0.2942 | 3.2  |
| 3.4  | 0.1443 | 0.1567 | 0.1685 | 0.1799 | 0.1907 | 0.2107 | 0.2286 | 0.2445 | 0.2585 | 0.2708 | 3.4  |
| 3.6  | 0.1305 | 0.1419 | 0.1528 | 0.1633 | 0.1734 | 0.1921 | 0.2090 | 0.2242 | 0.2378 | 0.2498 | 3.6  |
| 3.8  | 0.1185 | 0.1290 | 0.1391 | 0.1488 | 0.1582 | 0.1757 | 0.1917 | 0.2062 | 0.2192 | 0.2309 | 3.8  |
| 4.0  | 0.1081 | 0.1177 | 0.1271 | 0.1361 | 0.1448 | 0.1612 | 0.1764 | 0.1901 | 0.2026 | 0.2139 | 4.0  |
| 4.5  | 0.0871 | 0.0951 | 0.1028 | 0.1104 | 0.1177 | 0.1317 | 0.1447 | 0.1568 | 0.1680 | 0.1782 | 4.5  |
| 5.0  | 0.0716 | 0.0783 | 0.0848 | 0.0911 | 0.0974 | 0.1093 | 0.1206 | 0.1312 | 0.1411 | 0.1503 | 5.0  |
| 5.5  | 0.0598 | 0.0655 | 0.0710 | 0.0764 | 0.0817 | 0.0920 | 0.1018 | 0.1111 | 0.1199 | 0.1281 | 5.5  |
| 6.0  | 0.0507 | 0.0555 | 0.0603 | 0.0649 | 0.0695 | 0.0784 | 0.0870 | 0.0952 | 0.1030 | 0.1104 | 6.0  |
| 6.5  | 0.0435 | 0.0476 | 0.0518 | 0.0558 | 0.0598 | 0.0676 | 0.0751 | 0.0823 | 0.0893 | 0.0959 | 6.5  |
| 7.0  | 0.0377 | 0.0413 | 0.0449 | 0.0485 | 0.0520 | 0.0588 | 0.0655 | 0.0719 | 0.0781 | 0.0840 | 7.0  |
| 7.5  | 0.0330 | 0.0362 | 0.0393 | 0.0424 | 0.0455 | 0.0516 | 0.0575 | 0.0632 | 0.0688 | 0.0741 | 7.5  |
| 8.0  | 0.0291 | 0.0319 | 0.0347 | 0.0375 | 0.0402 | 0.0456 | 0.0509 | 0.0561 | 0.0610 | 0.0659 | 8.0  |
| 8.5  | 0.0258 | 0.0284 | 0.0309 | 0.0333 | 0.0358 | 0.0406 | 0.0454 | 0.0500 | 0.0545 | 0.0589 | 8.5  |
| 9.0  | 0.0231 | 0.0254 | 0.0276 | 0.0298 | 0.0320 | 0.0364 | 0.0407 | 0.0449 | 0.0489 | 0.0529 | 9.0  |
| 9.5  | 0.0208 | 0.0228 | 0.0248 | 0.0268 | 0.0288 | 0.0328 | 0.0367 | 0.0405 | 0.0442 | 0.0478 | 9.5  |
| 10.0 | 0.0188 | 0.0206 | 0.0225 | 0.0243 | 0.0261 | 0.0297 | 0.0332 | 0.0367 | 0.0401 | 0.0434 | 10.0 |
| 11.0 | 0.0156 | 0.0171 | 0.0186 | 0.0201 | 0.0217 | 0.0247 | 0.0276 | 0.0305 | 0.0334 | 0.0362 | 11.0 |
| 12.0 | 0.0131 | 0.0144 | 0.0157 | 0.0170 | 0.0183 | 0.0208 | 0.0233 | 0.0258 | 0.0282 | 0.0306 | 12.0 |
| 13.0 | 0.0112 | 0.0123 | 0.0134 | 0.0145 | 0.0156 | 0.0178 | 0.0199 | 0.0221 | 0.0242 | 0.0263 | 13.0 |
| 14.0 | 0.0097 | 0.0106 | 0.0116 | 0.0125 | 0.0135 | 0.0154 | 0.0172 | 0.0191 | 0.0209 | 0.0227 | 14.0 |
| 15.0 | 0.0084 | 0.0093 | 0.0101 | 0.0109 | 0.0118 | 0.0134 | 0.0150 | 0.0167 | 0.0183 | 0.0199 | 15.0 |
| 16.0 | 0.0074 | 0.0081 | 0.0089 | 0.0096 | 0.0103 | 0.0118 | 0.0132 | 0.0147 | 0.0161 | 0.0175 | 16.0 |
| 17.0 | 0.0066 | 0.0072 | 0.0079 | 0.0085 | 0.0092 | 0.0105 | 0.0118 | 0.0130 | 0.0143 | 0.0156 | 17.0 |
| 18.0 | 0.0059 | 0.0064 | 0.0070 | 0.0076 | 0.0082 | 0.0093 | 0.0105 | 0.0116 | 0.0128 | 0.0139 | 18.0 |

## Lisa 3.1 Tegurid $\alpha$ pinge leidmiseks vundamenditalla keskme all

Tabel L3.2 Tegurid  $\alpha$  pinge leidmiseks vundamenditalla keskme all [5]

| $m$  | $n$    |        |        |        |        |        |        |        |        |        | $m$  |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
|      | 1,0    | 1,1    | 1,2    | 1,3    | 1,4    | 1,6    | 1,8    | 2,0    | 2,2    | 2,4    |      |
| 19,0 | 0,0053 | 0,0058 | 0,0063 | 0,0068 | 0,0074 | 0,0084 | 0,0094 | 0,0105 | 0,0115 | 0,0125 | 19,0 |
| 20,0 | 0,0048 | 0,0052 | 0,0057 | 0,0062 | 0,0066 | 0,0076 | 0,0085 | 0,0095 | 0,0104 | 0,0113 | 20,0 |
| 0,0  | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0  |
| 0,1  | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,1  |
| 0,2  | 0,9967 | 0,9967 | 0,9967 | 0,9967 | 0,9967 | 0,9968 | 0,9968 | 0,9968 | 0,9968 | 0,9968 | 0,2  |
| 0,3  | 0,9894 | 0,9895 | 0,9895 | 0,9896 | 0,9896 | 0,9896 | 0,9897 | 0,9897 | 0,9897 | 0,9897 | 0,3  |
| 0,4  | 0,9767 | 0,9768 | 0,9769 | 0,9771 | 0,9772 | 0,9772 | 0,9773 | 0,9773 | 0,9773 | 0,9773 | 0,4  |
| 0,5  | 0,9583 | 0,9586 | 0,9588 | 0,9591 | 0,9593 | 0,9594 | 0,9594 | 0,9595 | 0,9595 | 0,9595 | 0,5  |
| 0,6  | 0,9349 | 0,9354 | 0,9357 | 0,9362 | 0,9364 | 0,9367 | 0,9367 | 0,9368 | 0,9368 | 0,9368 | 0,6  |
| 0,7  | 0,9073 | 0,9080 | 0,9085 | 0,9093 | 0,9097 | 0,9100 | 0,9102 | 0,9102 | 0,9103 | 0,9103 | 0,7  |
| 0,8  | 0,8767 | 0,8777 | 0,8784 | 0,8796 | 0,8801 | 0,8806 | 0,8808 | 0,8809 | 0,8810 | 0,8810 | 0,8  |
| 0,9  | 0,8441 | 0,8455 | 0,8465 | 0,8480 | 0,8488 | 0,8495 | 0,8498 | 0,8499 | 0,8500 | 0,8500 | 0,9  |
| 1,0  | 0,8106 | 0,8123 | 0,8136 | 0,8156 | 0,8167 | 0,8176 | 0,8180 | 0,8182 | 0,8183 | 0,8183 | 1,0  |
| 1,1  | 0,7767 | 0,7789 | 0,7805 | 0,7831 | 0,7844 | 0,7857 | 0,7861 | 0,7864 | 0,7865 | 0,7866 | 1,1  |
| 1,2  | 0,7431 | 0,7458 | 0,7478 | 0,7510 | 0,7527 | 0,7542 | 0,7548 | 0,7552 | 0,7553 | 0,7554 | 1,2  |
| 1,3  | 0,7103 | 0,7134 | 0,7159 | 0,7197 | 0,7217 | 0,7236 | 0,7243 | 0,7248 | 0,7250 | 0,7251 | 1,3  |
| 1,4  | 0,6784 | 0,6821 | 0,6849 | 0,6894 | 0,6919 | 0,6942 | 0,6951 | 0,6957 | 0,6958 | 0,6960 | 1,4  |
| 1,5  | 0,6476 | 0,6519 | 0,6551 | 0,6604 | 0,6633 | 0,6660 | 0,6671 | 0,6678 | 0,6680 | 0,6681 | 1,5  |
| 1,6  | 0,6182 | 0,6229 | 0,6266 | 0,6326 | 0,6359 | 0,6391 | 0,6404 | 0,6413 | 0,6416 | 0,6417 | 1,6  |
| 1,7  | 0,5900 | 0,5953 | 0,5994 | 0,6061 | 0,6100 | 0,6137 | 0,6152 | 0,6162 | 0,6165 | 0,6167 | 1,7  |
| 1,8  | 0,5632 | 0,5689 | 0,5735 | 0,5810 | 0,5853 | 0,5895 | 0,5913 | 0,5925 | 0,5928 | 0,5931 | 1,8  |
| 1,9  | 0,5377 | 0,5439 | 0,5488 | 0,5571 | 0,5620 | 0,5667 | 0,5687 | 0,5701 | 0,5705 | 0,5708 | 1,9  |
| 2,0  | 0,5135 | 0,5201 | 0,5254 | 0,5345 | 0,5398 | 0,5451 | 0,5474 | 0,5490 | 0,5495 | 0,5498 | 2,0  |
| 2,2  | 0,4687 | 0,4762 | 0,4822 | 0,4927 | 0,4990 | 0,5055 | 0,5083 | 0,5103 | 0,5110 | 0,5114 | 2,2  |
| 2,4  | 0,4285 | 0,4366 | 0,4432 | 0,4550 | 0,4623 | 0,4700 | 0,4734 | 0,4760 | 0,4768 | 0,4773 | 2,4  |
| 2,6  | 0,3925 | 0,4010 | 0,4082 | 0,4211 | 0,4293 | 0,4382 | 0,4423 | 0,4453 | 0,4463 | 0,4470 | 2,6  |
| 2,8  | 0,3601 | 0,3691 | 0,3766 | 0,3905 | 0,3996 | 0,4096 | 0,4143 | 0,4179 | 0,4191 | 0,4200 | 2,8  |
| 3,0  | 0,3311 | 0,3402 | 0,3480 | 0,3628 | 0,3726 | 0,3837 | 0,3891 | 0,3933 | 0,3947 | 0,3957 | 3,0  |
| 3,2  | 0,3050 | 0,3143 | 0,3223 | 0,3376 | 0,3481 | 0,3602 | 0,3662 | 0,3711 | 0,3727 | 0,3740 | 3,2  |
| 3,4  | 0,2815 | 0,2908 | 0,2989 | 0,3147 | 0,3257 | 0,3388 | 0,3455 | 0,3510 | 0,3529 | 0,3543 | 3,4  |
| 3,6  | 0,2603 | 0,2696 | 0,2777 | 0,2939 | 0,3053 | 0,3193 | 0,3265 | 0,3327 | 0,3349 | 0,3365 | 3,6  |
| 3,8  | 0,2412 | 0,2504 | 0,2585 | 0,2748 | 0,2866 | 0,3013 | 0,3091 | 0,3160 | 0,3184 | 0,3203 | 3,8  |
| 4,0  | 0,2240 | 0,2330 | 0,2410 | 0,2574 | 0,2694 | 0,2848 | 0,2932 | 0,3007 | 0,3034 | 0,3056 | 4,0  |
| 4,5  | 0,1876 | 0,1961 | 0,2037 | 0,2199 | 0,2322 | 0,2488 | 0,2583 | 0,2674 | 0,2708 | 0,2738 | 4,5  |
| 5,0  | 0,1588 | 0,1667 | 0,1739 | 0,1894 | 0,2017 | 0,2189 | 0,2293 | 0,2398 | 0,2440 | 0,2478 | 5,0  |
| 5,5  | 0,1359 | 0,1431 | 0,1498 | 0,1644 | 0,1764 | 0,1937 | 0,2048 | 0,2165 | 0,2215 | 0,2261 | 5,5  |
| 6,0  | 0,1173 | 0,1239 | 0,1301 | 0,1438 | 0,1552 | 0,1724 | 0,1839 | 0,1966 | 0,2022 | 0,2078 | 6,0  |
| 6,5  | 0,1022 | 0,1082 | 0,1138 | 0,1266 | 0,1374 | 0,1543 | 0,1659 | 0,1793 | 0,1856 | 0,1922 | 6,5  |
| 7,0  | 0,0897 | 0,0951 | 0,1003 | 0,1121 | 0,1223 | 0,1386 | 0,1503 | 0,1642 | 0,1711 | 0,1786 | 7,0  |
| 7,5  | 0,0793 | 0,0842 | 0,0890 | 0,0999 | 0,1095 | 0,1251 | 0,1366 | 0,1509 | 0,1583 | 0,1668 | 7,5  |
| 8,0  | 0,0706 | 0,0751 | 0,0794 | 0,0895 | 0,0984 | 0,1133 | 0,1246 | 0,1391 | 0,1469 | 0,1563 | 8,0  |
| 8,5  | 0,0631 | 0,0673 | 0,0712 | 0,0805 | 0,0889 | 0,1031 | 0,1140 | 0,1286 | 0,1367 | 0,1470 | 8,5  |
| 9,0  | 0,0568 | 0,0606 | 0,0642 | 0,0728 | 0,0807 | 0,0941 | 0,1047 | 0,1192 | 0,1276 | 0,1387 | 9,0  |
| 9,5  | 0,0514 | 0,0548 | 0,0582 | 0,0661 | 0,0735 | 0,0861 | 0,0963 | 0,1107 | 0,1193 | 0,1312 | 9,5  |
| 10,0 | 0,0467 | 0,0498 | 0,0529 | 0,0603 | 0,0671 | 0,0791 | 0,0889 | 0,1030 | 0,1117 | 0,1244 | 10,0 |
| 11,0 | 0,0390 | 0,0417 | 0,0443 | 0,0507 | 0,0566 | 0,0673 | 0,0763 | 0,0898 | 0,0986 | 0,1126 | 11,0 |
| 12,0 | 0,0330 | 0,0353 | 0,0376 | 0,0432 | 0,0484 | 0,0579 | 0,0661 | 0,0788 | 0,0875 | 0,1025 | 12,0 |
| 13,0 | 0,0283 | 0,0303 | 0,0323 | 0,0372 | 0,0418 | 0,0502 | 0,0577 | 0,0696 | 0,0781 | 0,0939 | 13,0 |
| 14,0 | 0,0245 | 0,0263 | 0,0280 | 0,0323 | 0,0364 | 0,0440 | 0,0508 | 0,0619 | 0,0701 | 0,0865 | 14,0 |
| 15,0 | 0,0215 | 0,0230 | 0,0246 | 0,0283 | 0,0320 | 0,0388 | 0,0450 | 0,0553 | 0,0632 | 0,0799 | 15,0 |
| 16,0 | 0,0189 | 0,0203 | 0,0217 | 0,0250 | 0,0283 | 0,0344 | 0,0401 | 0,0497 | 0,0572 | 0,0741 | 16,0 |
| 17,0 | 0,0168 | 0,0180 | 0,0193 | 0,0223 | 0,0252 | 0,0308 | 0,0359 | 0,0448 | 0,0519 | 0,0689 | 17,0 |
| 18,0 | 0,0150 | 0,0161 | 0,0172 | 0,0200 | 0,0226 | 0,0277 | 0,0324 | 0,0406 | 0,0474 | 0,0642 | 18,0 |
| 19,0 | 0,0135 | 0,0145 | 0,0155 | 0,0180 | 0,0204 | 0,0250 | 0,0293 | 0,0370 | 0,0433 | 0,0600 | 19,0 |
| 20,0 | 0,0122 | 0,0131 | 0,0140 | 0,0163 | 0,0184 | 0,0227 | 0,0266 | 0,0338 | 0,0398 | 0,0562 | 20,0 |

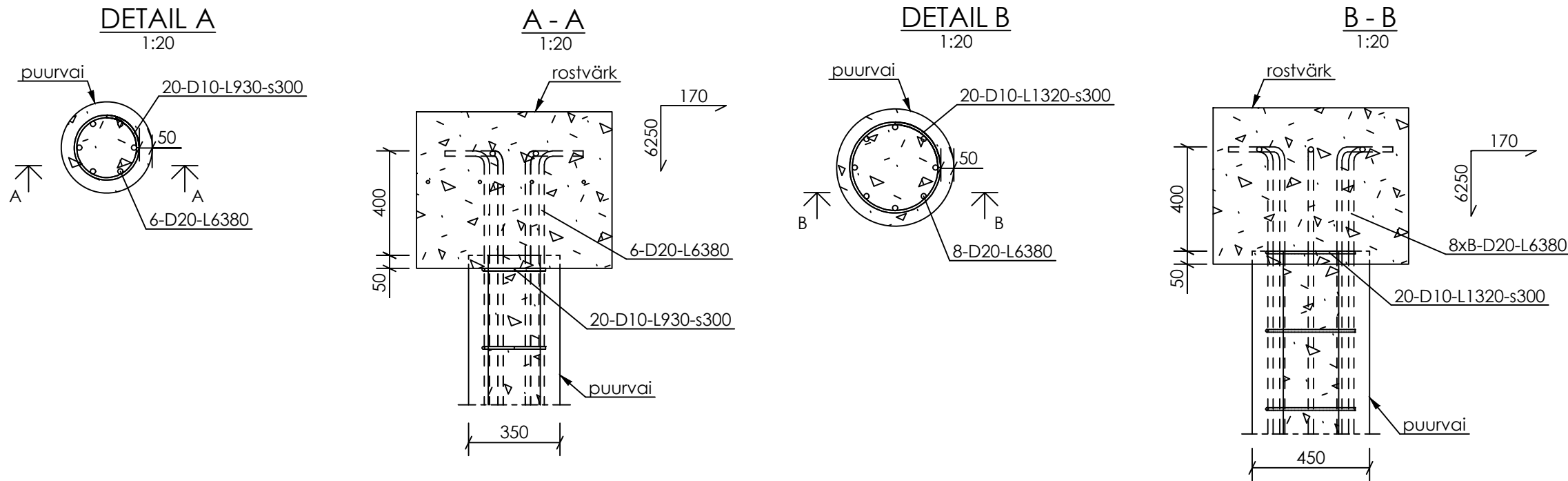


| Vaiade spetsifikatsioon |            |                |
|-------------------------|------------|----------------|
| Vaia nr                 | Vaia tüüp  | Vaia pikkus, m |
| 1                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 2                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 3                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 4                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 5                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 6                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 7                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 8                       | Fundex 324 | 35,85          |
| 9                       | Fundex 324 | 35,80          |
| 10                      | Fundex 324 | 35,80          |
| 11                      | Fundex 324 | 35,80          |
| 12                      | Fundex 324 | 35,80          |
| 13                      | Fundex 368 | 35,85          |
| 14                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 15                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 16                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 17                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 18                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 19                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 21                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 22                      | Fundex 324 | 35,45          |
| 23                      | Fundex 324 | 34,45          |
| 24                      | Fundex 324 | 35,45          |
| 25                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 26                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 27                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 28                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 29                      | Fundex 324 | 35,85          |
| 30                      | Fundex 324 | 35,85          |

Fundex 324 vaiade pikkus kokku 1035,25 m  
Fundex 368 vaia pikkus kokku 35,85 m

Tähised

PV - puurvai



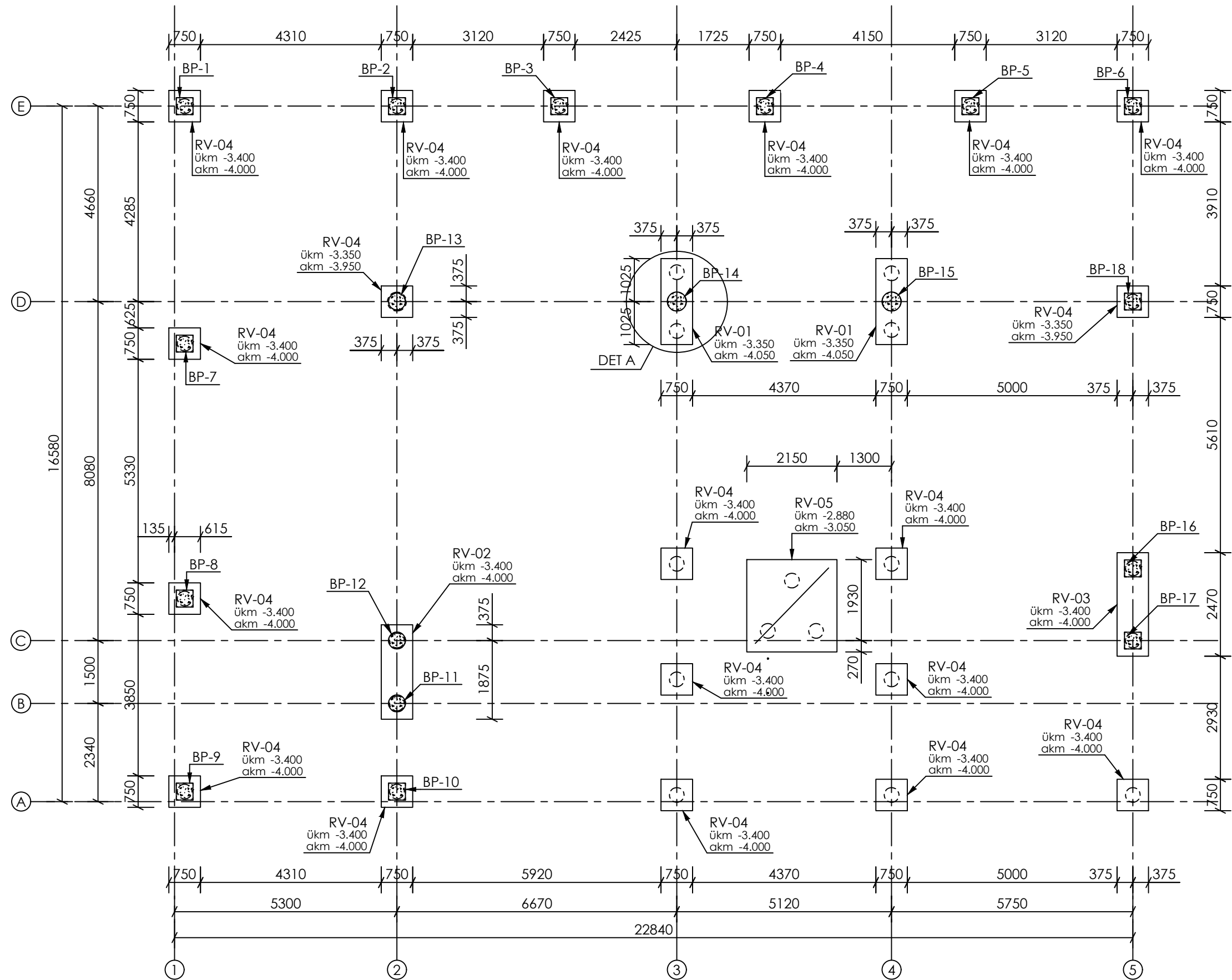
Märkused

- Kõrgusmärgid joonisel on suhtelised:  $\pm 0,00 = 3,2$  m abs;
- Vundamendid on projekteeritud lähtuvalt REIB OÜ ehitusgeoloogia aruandele nr. GE-1789;
- Kogu hoone alt eemaldada ja vedada välja täite- ja mudakiht (eh.geol. aruandes kihid 1 ja 2);
- Vundamendid rajatakse looduslikule rikkumata struktuuriga liivapinnasele (kiht 3), vajadusel teha tagasitäide peeniliivaga
- Eeldatav püsiv pinnaseveetase ulatub absoluutkõrgusele -0.20...-0,85 m (1.90...2.45 m allpool maapinda);
- Materjalid:  
betoon - C35/45 XC4 XD3  
sarrus - B500B  
sarruse kaitsekiht 50mm
- Konstruksiooniklass S4.

|                            |                |                                                                                           |                                  |
|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| TalTech INSENERITEADUSKOND |                | Magistritöö                                                                               | Leht: 1/3                        |
| Teostas:                   | Kristin Raudla | Joonise pealkiri:                                                                         | Möötkava/formaat: 1:20 ;1:100 A2 |
| Juhendaja:                 | Lehar Leetsaar | Vaiaplaan                                                                                 | Kuupäev: 29.05.2020              |
| Tartu Kolledž              |                | Erinevate vundeerimislahenduste projekteerimine, analüüs ja võrdlus ühe kortermaja näitel |                                  |

Rostvärkide plaan

1:100



Tähised

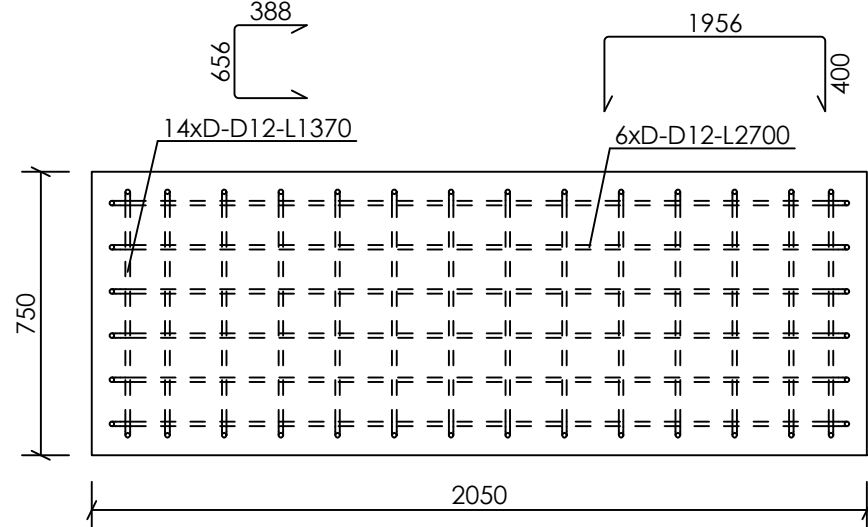
BP - betoonpost

RV - rostvärk

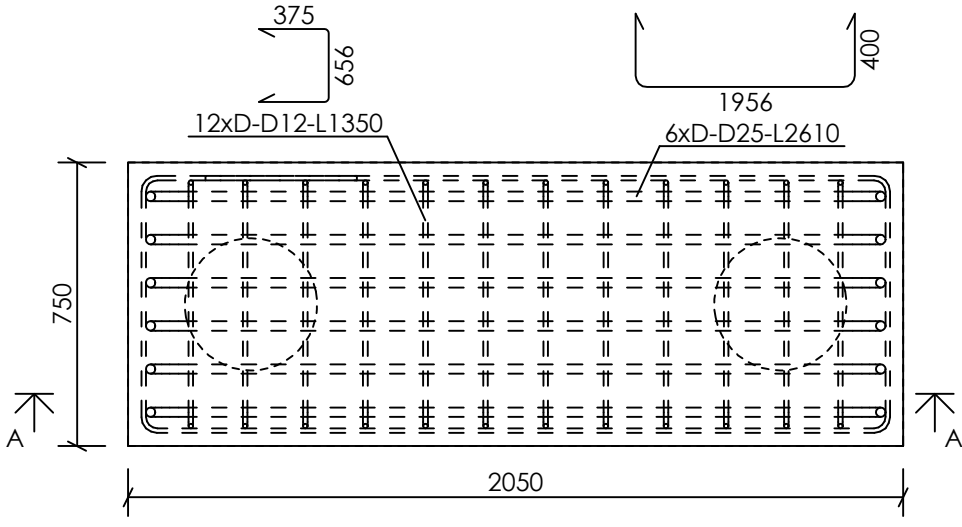
Märkused

- Kõrgusmärgid joonisel on suhtelised:  $\pm 0,00 = 3,2$  m abs;
- Vundamendid on projekteeritud lähtuvalt REIB OÜ ehitusgeoloogia aruandele nr. GE-1789;
- Kogu hoone alt eemaldada ja vedada välja täite- ja mudakiht (eh.geol. aruandes kihid 1 ja 2);
- Vundamendid rajatakse looduslikule rikkumata struktuuriga liivapinnasele (kiht 3), vajadusel teha tagasitäide peenliivaga
- Eeldatav püsiv pinnaseveetase ulatub absoluutkõrgusele  $-0,20 \dots -0,85$  m (1.90...2.45 m allpool maapinda);
- Materjalid:  
betoon - C35/45 XC4 XD3  
sarrus - B500B  
sarruse kaitsekiht 50mm all, külgedel 35mm;
- Konstruksiooniklass S4.

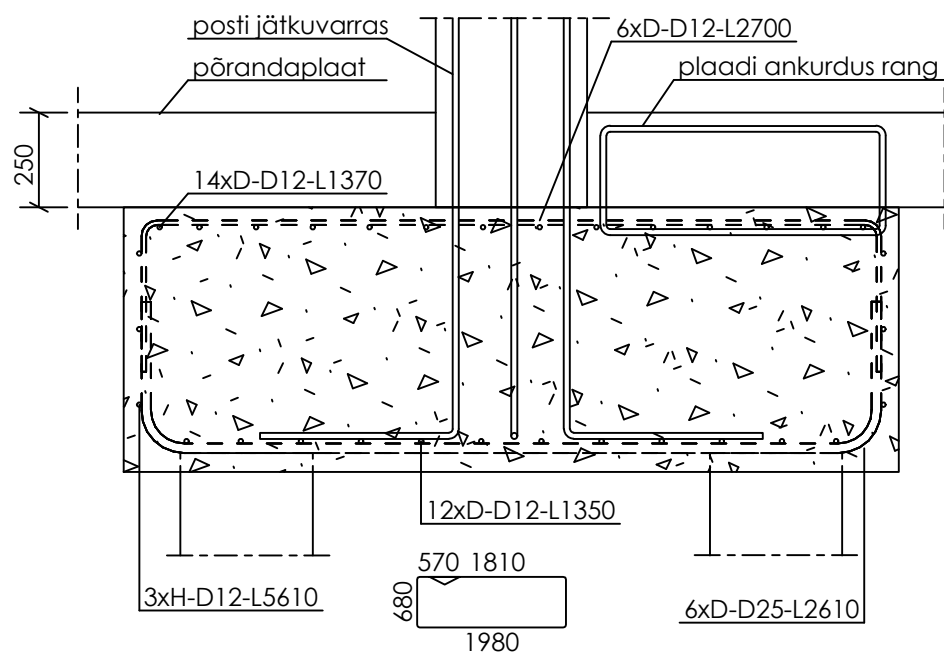
DETAIL A  
ÜLAPINNA SARRUSTAMINE  
1:20



DETAIL A  
ALAPINNA SARRUSTAMINE  
1:20



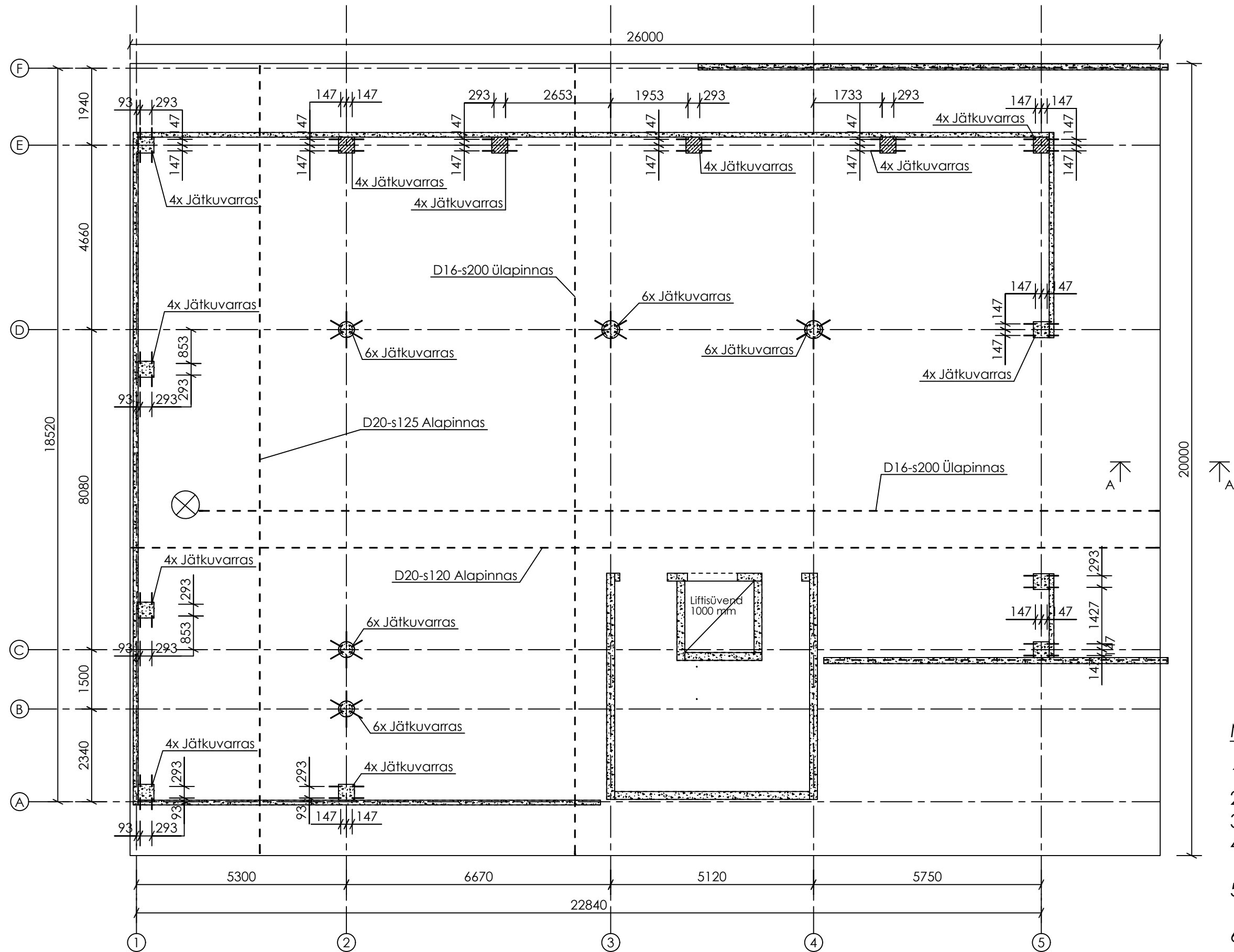
A - A  
1:20



|                            |                |                                                                                           |                                   |
|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| TalTech INSENERITEADUSKOND |                | Magistritöö                                                                               | Leht: 2/3                         |
| Teostas:                   | Kristin Raudla |                                                                                           | Mõõtkava/formaat: 1:20 ; 1:100 A2 |
| Juhendaja:                 | Lehar Leetsaar | Rostvärkide plaan                                                                         |                                   |
| Tartu Kolledž              |                | Erinevate vundeerimislahenduste projekteerimine, analüüs ja võrdlus ühe kortermaja näitel |                                   |

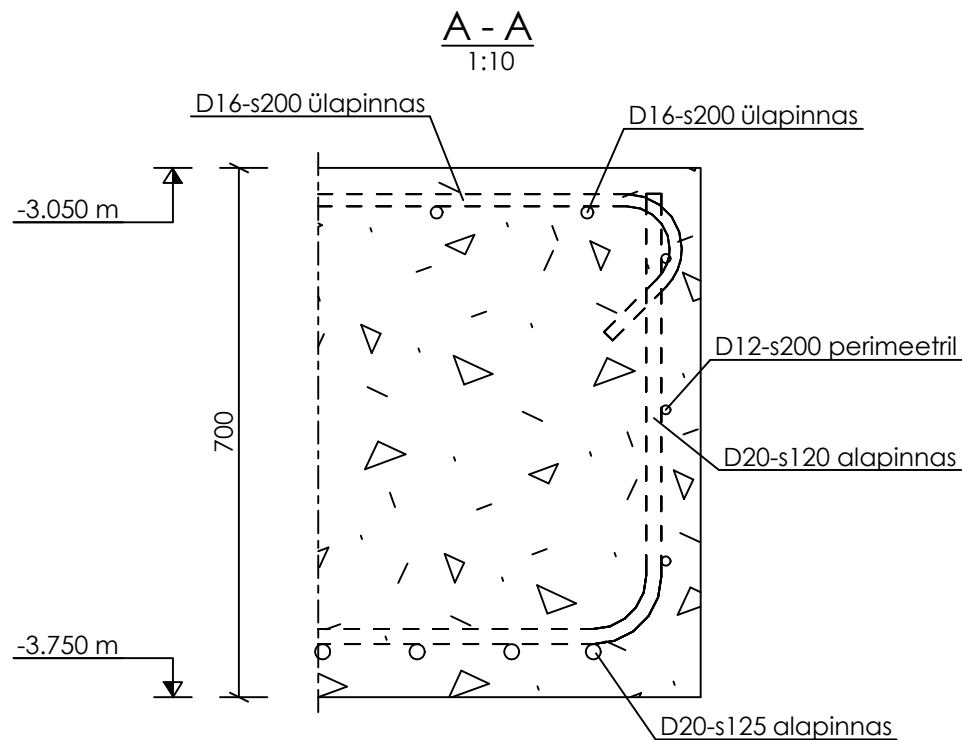
Plaatvundamendi plaan

1:100



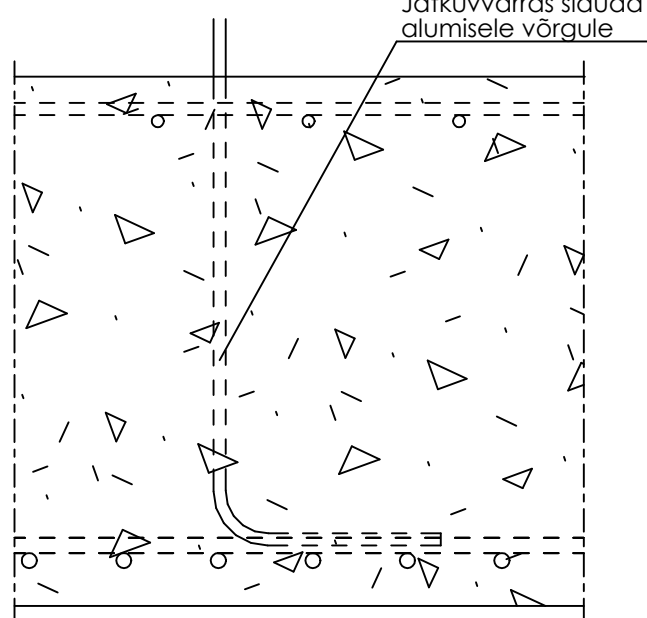
Märkused

- Kõrgusmärgid joonisel on suhtelised:  $\pm 0,00 = 3,2$  m abs;
- Vundamendid on projekteeritud lähtuvalt REIB OÜ ehitusgeoloogia aruandele nr. GE-1789;
- Kogu hoone alt eemaldada ja vedada välja täite- ja mudakiht (eh.geol. aruandes kihid 1 ja 2);
- Vundamendid rajatakse looduslikule rikkumata struktuuriga liivapinnasele (kiht 3), vajadusel teha tagasitäide peenliivaga
- Eeldatav püsiv pinnaseveetase ulatub absoluutkõrgusele  $-0,20 \dots -0,85$  m ( $1,90 \dots 2,45$  m allpool maapinda);
- Materjalid:  
betoon - C35/45 XC4 XD3  
sarrus - B500B  
sarruse kaitsekiht 50mm all, külgedel 35mm;
- Konstruksiooniklass S4;



Jätkuvarda paigutus

1:10



|                            |                |                                                                                           |                    |
|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| TalTech INSENERITEADUSKOND |                | Magistritöö                                                                               | Leht:              |
| Teostas:                   | Kristin Raudla |                                                                                           | 3/3                |
| Juhendaja:                 | Lehar Leetsaar | Joonise pealkiri:                                                                         | Mõõtkaava/formaat: |
| Tartu Kolledž              |                | Plaatvundamendi plaan                                                                     | 1:10 ; 1:100       |
|                            |                |                                                                                           | A2                 |
|                            |                |                                                                                           | Kuupäev:           |
|                            |                |                                                                                           | 29.05.2020         |
|                            |                | Erinevate vundeerimislahenduste projekteerimine, analüüs ja võrdlus ühe kortermaja näitel |                    |