



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut  
Maaehituse ja veemajanduse õppetool

**Janek Kuld**

**MUDELKIILVAIA UURIMINE  
VERTIKAALKOORMUSE JA MOMENDI  
KOOSMÕJUL**

**INVESTIGATION OF WEDGED PILE DUE TO THE  
INTERACTION OF VERTICAL LOAD AND MOMENT**

Ehitusinseneriõppe magistritöö  
Maaehituse õppekava

Juhendajad: Villu Leppik;  
Roomelt Needo

**Tartu 2020**

Eesti Maaülikool		<b>Magistritöö lühikokkuvõte</b>	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Janek Kuld		Õppekava: Maaehitus (382)	
Pealkiri: Mudelkiilvaia uurimine vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul			
Lehekülgi: 129	Jooniseid: 47	Tabeleid: 4	Lisaid: 2
Osakond:	Maaehituse ja veemajanduse õppetool		
Uurimisvaldkond:	Tsiviilehitus (T220)		
Juhendajad:	Villu Leppik, Roomelt Needo		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2020		
<p>Kiilvaiasid on valdavalt kasutatud Eestis. Ehitussektori konservatiivsuse tõttu mujal maailmas lühikesi kiilvaid ei kasutata. Kiilvaiadega on varasemalt katseid tehtud, kuid arvutusmetoodika erinevate koormusolukorade kohta puudub. Uuringuid vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul ei ole tehtud. Sellest probleemist tulenevalt on töö eesmärk uurida mudelkiilvaia käitumist vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul.</p> <p>Magistritöös analüüsitakse katseliselt mudelkiilvaia käitumist. Katsed viidi läbi Maaülikooli konstruktsioonide labori liivakastis. Mudelkiilvaia viidi läbi staatilised- ja dünaamilised koormuskatsed. Katsetes kasutati mudelkiilvaia, mis on praktikas kasutatust leidnud kahe meetrise kiilvaia viiekordne vähendatud mudel.</p> <p>Vertikaalkoormusega koormati vaiaid viiel koormusastel, iga astmega teostati kolm katset. Momenti suurendati igal koormusastmel kuni kandevõime ammendumiseni. Katsetulemusi protokolliti, koostati graafikud ja analüüsiti. Staatilise ja dünaamilise kandevõime katse tulemusi võrreldi varasemate uurimistöö tulemustega. Momendi kandevõimet võrreldi praktikas kasutatust leidnud arvutusmodeliga. Katsetulemusi analüüsides selgus, et arvutusvalem ülehindab momendi kandevõimet väikesel vertikaalkoormusel ja alahindab suurematel koormustel.</p>			
Märksõnad: kiilvai, vaivundament, kandevõime, mudelkatsetused.			

Estonian University of Life Sciences		<b>Abstract of Master's Thesis</b>	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Janek Kuld		Speciality: Rural building	
Title: Investigation of wedged pile due to the interaction of vertical load and moment			
Pages: 129	Figures: 47	Tables: 4	Appendixes: 2
Department:	Institute of Forestry and Rural Engineering		
Field of research:	Civil engineering (T220)		
Supervisors:	Villu Leppik; Roomelt Needo		
Place and date:	Tartu 2020		
<p>Wedged piles are mostly used in Estonia, as other countries have more conservative approach to construction. There is some research about using wedge piles, but the problem is lack of calculating methodology to assess different load conditions. There is no research about interaction of vertical load and moment. Thus, the aim of this thesis is to analyze behavior of wedge pile under the interaction of vertical load and moment.</p> <p>Behavior of wedge pile is analyzed through experiments. The experiments were held in sand pit at laboratory in Estonian University of Life Sciences. Experiments included research of the effects of static and dynamic load to wedge pile placed in sand. All experiments were carried out with the model pile, which is five times reduced model of a commonly used 2 m long wedge pile.</p> <p>To assure the reliability of the results, the model piles were loaded with vertical load in five levels, each level was tested three times. The moment was increased in every load level until exhaustion of load capacity. All experiments were recorded, drawn up in graphs and analyzed. The results of static and dynamic tests were compared to results of research made earlier. The load capacity of moment was compared with calculating methodology which is most used. The analysis of the experiment revealed that present calculating methodology overestimates the load capacity at small amount of vertical load and underestimates at larger amount of vertical load.</p>			
Keywords: wedged pile, pile foundation, load capacity, model tests.			

# Sisukord

SISSEJUHATUS .....	6
1. TEEMAALASE KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	8
1.1 Kiilvaiade kasutamisest lühidalt .....	8
1.2 Kiilvaiade kandevõimest lühidalt .....	11
1.3 Dünaamiline kandevõime .....	12
1.4 Staatileine kandevõime .....	15
1.5 Kandevõime hindamine osavarutegurite abil.....	17
1.6 Kiilvaiadega läbiviidud katsetused. ....	18
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED .....	25
3. MATERJAL JA METOODIKA.....	26
3.1 Kiilvaimudeli kirjeldus .....	26
3.2 Katsetel kasutatud pinnase kirjeldus .....	27
3.3 Katseseadmestik.....	28
3.3.1 Pinnasekast ja talastik .....	28
3.3.2 Vaiapea sõlm koormuste rakendamiseks ja mõõtmisteks. ....	30
3.3.3 Hüdraulika mudelkiilvaial vertikaalkoormuse hoidmiseks. ....	32
3.3.4 Koormamis- ja mõõtmisseadmed .....	33
3.4 Katsete meetodika .....	39
3.4.1 Katseplaan .....	39
3.4.2 Tegevuskava .....	40
4. KATSETULEMUSED JA ANALÜÜS .....	43
4.1 Dünaamiline kandevõime mudelkiilvaial .....	43
4.2 Staatileine kandevõime mudelkiilvaial.....	44
4.3 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju mudelkiilvaial .....	46
5. ARUTELU .....	54

5.1	Staatiliste ja dünaamiliste koormuskatse analüüs .....	54
5.2	Vaste ja momendikandevõime vahelise seose analüüs.....	55
	KOKKUVÕTE .....	62
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	64
	LISAD .....	66
	Lisa 1. Katseprotokollid .....	67
	Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	129

## SISSEJUHATUS

Madalvundamentide ehitamine sügisel oli raskendatud, selleks otsiti alternatiivseid lahendusi. Selleks sobis väga hästi kiilvai, mida on arendanud Võru KEK ja hiljem üks tema järeltulijatest AS Kurmik. Konservatiivsuse tõttu ehitussektoris, pole kiilvai laialt levinud ja seega ka puuduvad ehitajatel ning projekteerijatel kogemused ja teadmised selle kasutamiseks. Kiilvaial on palju eeliseid traditsiooniliste vundamendiliikide ees. Suurim neist on pinnasetööde mahu vähesus, kerge ladustamine ja transportimine. Sobilikud on nad ennekõike suure pinnaga karkassehitiste vundamentidena. Kiilvaivundamente on vähe uuritud. Momendikatseid kiilvaiadega ega ka mudelkiilvaiadega pole tehtud. Uuritud on varasemalt Nursi katsepolügonil horisontaalkandevõimet täissuuruses kiilvaiadega ja vaia külgtahkude kandevõimed plaatkoormuskatsetega. 2015. aastal kaitstud magistritöös tegi E. Vares järelduse, et mudelkiilvaiu saab kasutada kandevõime järelduste tegemisel täissuuruses kiilvaiadel, et nende vahel valitsevad seosed. See on tähtis järeldus, kuna võimaldab aega ja raha kokku hoida katsete pealt. Esmalt saab katsetused läbi viia mudelkiilvaiadega, et hiljem sama rakendada täissuuruses kiilvaiadega. Enne praktilise osaga tegelemist oli teemaalase kirjandusega tutvumine.

Magistritöös uuriti katseliselt mudelkiilvaia käitumist liivapinnases erinevatel vertikaalkoormusastmetel, muutes mudelkiilvaiale rakendatavat momenti. Kasutati mudelkiilvaia KV40/6T, mis on 2m kiilvaia viie kordne vähendatud mudel. Tööd viidi läbi Maaülikooli ehituskonstruksioonide laboris. Seal oli olemas vajaminev pinnasekast liivaga ja vastavad seadmed koormamiseks ja tulemuste mõõtmiseks.

Enne katsete alustamist töötati välja katseseade, millega oleks mudelkiilvaiale võimalik rakendada samaaegselt vertikaalkoormust ja momenti. Vertikaalkoormusastmeid oli viis. Esmalt toimus dünaamiline koormuskatse, siis staatiline koormuskatse ja lõpuks vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul katse. Katsetulemused mõõdeti ja märgiti katseprotokollis. Lõpuks koostati katsegraafikud, mis iseloomustasid vaia kandevõimet liivas. Vaadeldi vaia paigutist erinevates koormusolukordades.

Suurt huvi katsetulemuste kohta tunneb AS Kurmik, kes projekteerib ja ehitab kiilvaivundamente üle terve Eesti. Tema esmane huvi on rakendada saadud tulemusi

praktikas ja saada teadmine, et kas seni kasutatud meetodika kiilvaiade momendikandevõime määramisel alahindab või ülehindab kandevõime tulemust.

Käesolevas magistritöös on uuritud mudelkiilvaia dünaamilise- ja staatilise kandevõime vahelisi seoseid, kuna need on tähtsad hindamiseks vaia kandevõimet. Samuti on uuritud dünaamilise kandevõime ja vertikaalkoormuse ja momendikatse vahelisi seoseid. On otsitud seoseid vertikaalkoormuse ja momendikandevõime vahel.

Põhjalikult käsitletakse kandevõimemuutusi vertikaalkoormuse ja momendi rakendamisel mudelkiilvaial. Viimases peatükis arutletakse katsetulemuste üle, võrreldakse varasemate töödega ja tehakse järeldused. Töö lisades on toodud katseprotokollid ja katsegraafikud.

# 1. TEEMAALASE KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Kiilvaiade kasutamisest lühidalt

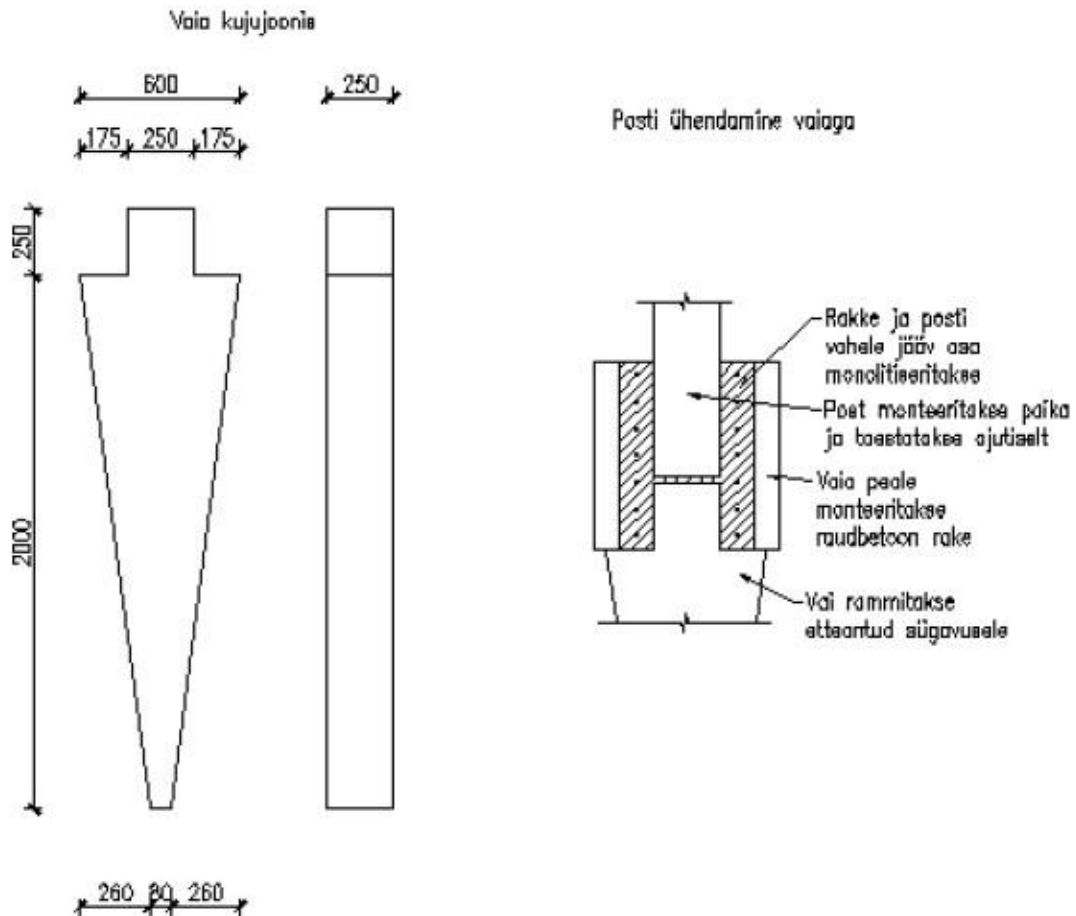
Kiilvai võeti esmakordselt kasutusele 1977a. Võru KEK poolt, kui hakati otsima alternatiive praktikas laialdaselt kasutusel olnud lintvundamendile. Loodi inseneride töörühm, isikkooseisus Mait Mets ja Ago Kuddu, kellede ülesanne oli leida alternatiivid lintvundamendile, et pääseda vundamendikaevikutest. Õige pea jõuti kiilvaivundamendini, mis võimaldas vundamendiehituse tuua maa seest maa peale. Tavapärane praktika oli, et vundamendi rajamised toimusid sügisel, mis on sademete rohke aeg. Raskete ehitusmasinatega vundamentide rajamised Lõuna-Eesti moreenpinnastel muutsid ehitusplatsi raskesti läbitavaks poriväljakuks, kus löögi alla sattus ehitustööde kvaliteet. Ehitus muutus kulukamaks ja oli ka ajamahukam. Päästerõngana nähti selles olukorras lühikesi rammitavaid paindejäikaseid vaiu nagu püramidaal- ja trapetsvaiad. Esialgu võeti Võru KEK poolt kasutusele püramidaalvaiad. Nende vaiade kasutamisel, aga selgus rida probleeme, mis tulenesid nende vaiade valmistamisel vajaminevast suurest tootmispinnast, vaiu oli keeruline antud kuju tõttu transportida ja ka rammimine oli aeganõudev. Antud insenerid jõudsid kiilvaia ideeni, millel on vaid kaks kaldtahku ja ülejäänud kaks külge on vertikaalsed. [2]

Suureks eeliseks kiilvaiadel püramidaalvaiade ees on asjaolu, et neid saab tasapinnalises vormis valmistada, mis ei võta palju tootmisruumi. Ka on materjalikulu vormi valmistamiseks antud juhul väiksem. Selliseid tasapinnalisi vaiu on kergem transportida ja ladustada, neid saab ladustada üksteise peale. Kiilvaia kaal on väiksem ja transpordiks ei ole vaja eriveokit. [2]

1981. aastal hakkas Võru KEK'i eksperimentaalosakond tegelema põhjalikumalt kiilvaivundamendi väljatöötamise ja praktikas juurutamisega. Esmalt töötati välja kiilvaia ja posti jäik sõlm, mis saavutati sõlme monolitiseerimisega (Joonis 1.1). Paraku see aga ajamahukuse tõttu edasist kasutust ei leidnud. Töötati välja kiilvaia ühendussõlm, kus karkassipost ühendati keevisliitega kiilvaia külge. Sealt edasi arendati välja spetsiaalne sõlm, kus keevisliitega ühendati kiilvaia külge spetsiaalne ankrupakett. Töötati välja meetodika kiilvaiade kandevõime määramiseks, seoti see tollel ajal kehtinud normidega, loodi tehniline baas kiilvaiade toomiseks ja hangiti rammimisseade. Lisaks töötati välja

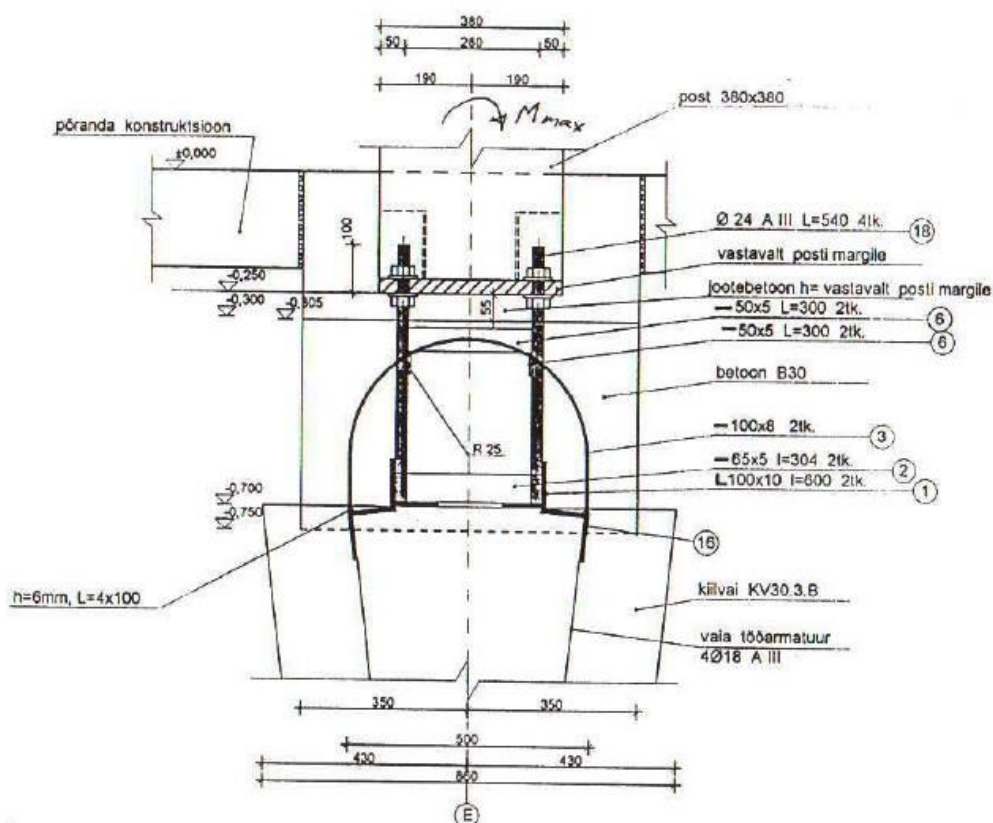


kiilvaiade nomenklatuur ja rajati hulga katseobjekte, milledest paljud on siiani kasutusel. Põhiliselt rajati põllumajandushooneid. [2]



**Joonis 1.1.** M. Metsa ja A. Kuddu välja pakutud kiilvaia jäik ühendussõlm postiga. [2]

1991a. riigikorra vahetusega sai tõsise löögi ehitussektor. Hakati vähem ehitama uusehitisi ja eriti just põllumajandushooneid, mis oli kiilvaia peamine sihtgrupp. Lagunes Võru KEK ja tekkis asemele rida väiksemaid ettevõtteid. 1992 asutas Andri Needo ehitusettevõtte AS Kurmik, kes taastas kiilvaiade tootmise ja kasutamise ehitussektoris. Esmalt leidis see peamiselt kasutust Lõuna-Eesti väiksematel ehitusobjektidel ja peagi laienes Tallinna suurematele objektidele. AS Kurmik töötas välja uue lahenduse, kus keevisliitega teraskaarte abil ühendati kiilvaia peale pandav ankrupakett karkassipostiga (Joonis 1.2). Selle lahenduse eeliseks oli väiksem keevistöõde maht ehitusobjektidel. [2]



**Joonis 1.2.** A. Needo poolt välja töötatud posti ja kiilvaia jäik ühendussõlm. [2]

Kiilvaiade projekteerimine ei erine oluliselt tavapärase vaiade projekteerimisest, samas teatud omapäradega arvestamist eeldab see siiski. Vaiade rammimisel on vaja saavutada suur täpsus, mis eeldab geodeedi olemasolu ehitusbrigaadis. [3]

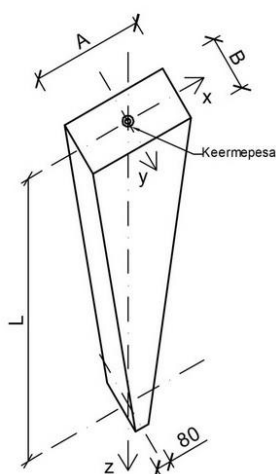
Pinnase suhtes on kiilvai vähenõudlik. Kiilvaiu on kasutatud nii savipinnases, liivas, kui ka erinevates anorgaanilistes täitepinnastes. Parima majandusliku efekti saavutab kiilvaia kasutamisega moreenpinnastes ja suure veesisaldusega liivades. Sobilikud pinnased kiilvaia kasutamiseks on: liivad, moreen, kõvad savid, savisisaldusega pinnased ja liivapinnased, mis paiknevad pehmetel savidel. [4]

Kiilvaivundamentide arvutamise, projekteerimise ja ehitamise instruksioonis VEN on välja toodud soovitus kasutada kiilvaiu savipinnastes konsistentsinäitajaga  $0 \leq I_L \leq 0,75$  ja deformatsioonimooduliga  $E > 3\text{MPa}$ . Selliste näitajatega pinnastel on vajalik teostada ka täiendav külmakerkelisuse kontroll. Liivapinnase, välja arvatud koheva liiva deformatsioonimooduliks pakutakse  $E < 5\text{MPa}$ . Pinnases, mis ei vasta ülaltoodud nõuetele

ja mille all paikneb pinnas deformatsioonimooduliga  $E < 3 \text{ MPa}$  on lubatud kasutada kiilvaiu vaid eripõhjustusega. [5]

AS Kurmik on aja jooksul välja töötanud erinevate mõõtmete ja armeeringuga kiilvaiu, mis on ka tootmises. Antud vaiad on näidatud joonisel 1.4 [6]

VAIA TÜÜP	A	B	L
KV15.3F	470	300	1500
KV20.3F	600	300	2000
KV25.3F	730	300	2500
KV30.3F	860	300	3000
KV15.3M24	470	300	1500
KV20.3M24	600	300	2000
KV25.3M24	730	300	2500
KV30.3M24	860	300	3000
KV30.3M2x24-5	860	300	3000



Tähised:

- A - Vaiapea laius (mm)
- B - Vaia paksus (mm)
- L - Vaia pikkus (mm)

Vaia tähise selgitused:

- KV - Kiilvai
- 15,20,25,30 - Vaia pikkused (dm)
- 3 - Vaia paksus (dm)
- F - Fiiiberbetoon toevai
- M24 - Keermestatud pesaga M24 paindevai
- M2x24-5 - Paindevai kahe keermestatud pesaga (vahekaugus 5dm)

**Joonis 1.4.** AS Kurmik poolt toodetavad kiilvaiad. [6]

Välja töötatud kiilvaia külgtahu kaldenurk on ligikaudu 1:7,7, selle tulemuseni jõuti katsete tulemusena. AS Kurmikul on kasutusel kaks rammimisseadet, üks neist on diiselhaamriga ja teine hüdrohaamriga.

## 1.2 Kiilvaiade kandevõimest lühidalt

Vaia kandevõimet on rammimise tulemuste järgi võimalik küllaltki täpselt määrata. Peale proovivaia rammimist ja kandevõime hindamist, saab koostada suhteliselt täpse vaiavälja plaani. Selline lahendus annab võimaluse vältida üledimensioneerimist. SniP 2.02.03-85 lähtub, et vaia kandevõime määramise aluseks on ehitise piirvajumi suurus. Kiilvaivundamendi vajum arvutatakse lihtsustatud arvutusmudeli järgi. Probleemne on see, et see skeem on nõrgalt seotud pinnase ja vaia tegeliku koostööga. Palju paremini, aga iseloomustab vaia koormamisel toimuvat proportsionaalsuspiiri ( $N_{pr}$ ), mis on tinglik piir, mille ületamisel domineerivad pinnaseomadused vaia vajumi põhjustajatena. [7]

Antud meetodikat kasutades tekivad probleemid, kui ehitise on ebaühtlaste vajumite suhtes tundlik. Katsed näitasid, et koormuse tõstmisel kuni proportsionaalsuspiirini, olid vajumite

erinevused olematud või väga väikesed. Koormuse kasvades üle proportsionaalsuspiiri, muutus vajumite hajuvus 4 kuni 5 kordseks. Kiilvai oma tööomaduste poolest on vahepealne variant tavavaia ja tavalise madalvundamendi vahel, kuna tal esineb mõlemaid tööjooni. Vaia kandevõime juures on määravaks pinnase omadused ja muutused, mis toimuvad vaia rammimisel. Väidetakse, et tihedas liivas vaia sisserammimisel surutakse pinnast intensiivselt välja ja see omakorda tekitab kobestumise, seevastu kohevas liivas kaasneb vaia rammimisega pinnase tihenemine. Veeküllastunud savipinnases pinnas ei tihene. Tihenemistsooni mõõtmed vaia ümber on sõltuvuses pinnase sisehõrdenurgast. Välja tõrjutud pinnase mahte võrreldes vaia mahuga, tehti järeldus, et pikematel vaiadel on pinnase tihenemise osakaal suurem, kui lühematel vaiadel. [7]

Arvutusliku kandevõime määramiseks on leitud seosed vaia koormuskatsete rammimistulemuste ja surupenetratsiooni vahel. Üks vanemaid viise vaia arvutusliku kandevõime leidmiseks rammimistulemustest on selle leidmine N. M. Gersevanovi valemiga, mis toimib väga hästi ka kiilvaia juures. [7]

### **1.3 Dünaamiline kandevõime**

Dünaamiline meetod on üheks vanemaks meetodiks vaia kandevõime määramisel. Eesti tingimustes on sobilikud 20 valemist kahesajast. [9]

Suure panuse tegi N. M. Gersevanov, kes püüdis arvestada vaia käitumist pinnases. Tema jõudis oma uurimustega selleni, et dünaamiliste meetoditega on võimalik määrata üksnes vaia proportsionaalsuspiir koormusest. Omapärane on, et Gersevanovi enda valem on ka kasutatud vaid vaia piirkoormuse leidmiseks. Kõige rohkem on Eestis kasutatud Gersevanovi valemist. Järgmisena on kasutust leidnud Gate'i valem, mille kasutamisel leitud väärtused langevad enim kokku staatilise proovikoormamise andmetega. [9]

Kui Gersevanovi valemist kasutatakse proportsionaalsuspiiri leidmiseks, siis peab arvestama, et see toimib vastete vahemikus 2 kuni 15mm. Kui vasted on väiksemad, kui 2mm, siis peab arvestama, et antud valem ülehindab ja suuremate vastete, kui 15mm puhul alahindab tegeliku kandevõimet. Uurimistega on leitud, et alla 2mm vastete puhul külghõõret ei ületata ja vaia süvistamiseks kulub enam energiat. [9]

Gersevanovi valem [8]:

$$R_{c,m} = \frac{\eta \times A_k}{2} \times \left[ \sqrt{1 + \frac{4 \times m_1 \times H}{\eta \times A_K \times s_e} \times \frac{m_1 + 0,2 \times m_2}{m_1 + m_2}} - 1 \right], \quad (1)$$

kus  $R_{c,m}$  on vaia kandevõime kN;

$A_k$  – vaia ristlõikepindala, m<sup>2</sup>;

$m_1$  – vasara kaal, t;

$m_2$  – vaia ja kaitsepea kaal, t;

$s_e$  – vaia vajum ühest löögist, m;

$H$  – vasara langemiskõrgus, m;

$\eta$  – vaia materjalist sõltuv tegur, t/m<sup>2</sup> (kaitsepeata puitvai:  $\eta = 100$  t/m<sup>2</sup>, kaitsepeaga raudbetoonvai:  $\eta = 150$  t/m<sup>2</sup>, kaitsepeaga terasvai:  $\eta = 500$  t/m<sup>2</sup>).

Valemiga saadud vastus on tonnides, kilonjuutonistes saadava vastuse saamiseks tuleb tulem läbi korrutada raskuskiirendusega  $g=9,81$  m/s<sup>2</sup>

Proportsionaalsuspääri leidmiseks on parimaid tulemusi uurimistulemuste järgi andnud Gate'i valem rammimisandmete järgi. Vaia staatilise proovikoormamise tulemused ja Gate'i valemiga leitud proportsionaalsuspääri langevad kokku, kui on arvestatud löögienergiat ja vaia ning vasara kaalu. Antud valem on osutunud sobilikuks kasutada nii raudbetoon-, kui ka terastoruvaia arvutamise juures. Gate'i valemit on Eesti pinnaste jaoks kohendanud E. Killar. Seda täiustatud valemit nimetatakse ka Gate-Killar valemiks.

Kui raudbetoonvaia vastus on väiksem, kui 5mm, on tegur  $K=3$  ja kui suurem, siis  $K=2$ . Kui terastoruvaia vastus jääb vahemiku 5 kuni 40mm on  $K=1,5$ . Vastete vahemikus 1 kuni 5mm on tegur  $K=3$  ja vastete vahemikus 1 kuni 2mm on tegur  $K=4$ . [9]

Gate-Killari valem [7]:

$$N_G = K \times \sqrt{0,07 \times G \times H} \times \log \frac{25}{S_a}, \quad (2)$$

kus  $N_G$  on vaia kandevõime kN;

$K = 2$ , kui  $S_a > 0,5$  cm; ja  $K = 3$ ; kui  $S_a < 0,5$  cm;

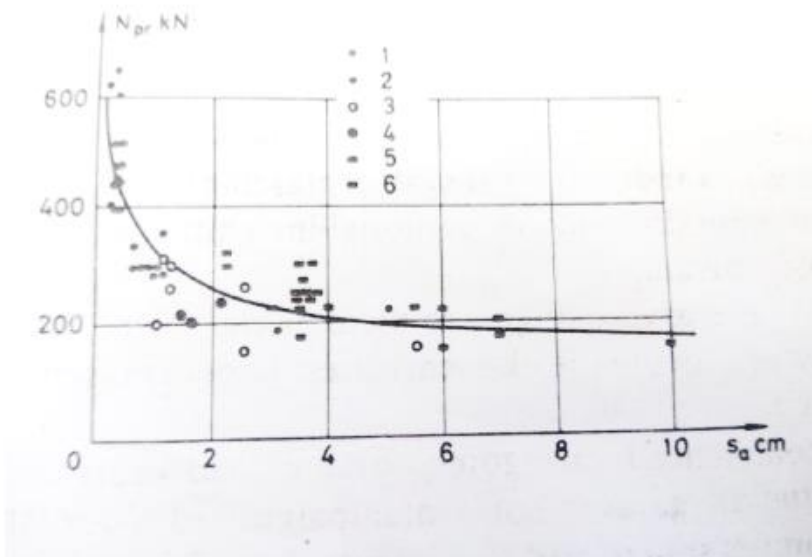
$H$  - löögiosa efektiivne kukkumiskõrgus, cm;

$S_a$  - vaia vaste, cm;

$G$  - löögiosa kaal, kN.

On ehitusgeoloogilisi tingimusi, kus dünaamikavalemid vaia kandevõime hindamiseks ei sobi. Muutuva nihketugevuse tõttu on sellisteks kõva konsistentsiga paleosoikumi savid või klindiesine moreen. Sobimatuks on osutunud ka voolava konsistentsiga saviliiv, kus dünaamilise katse vaste on kas alla 3mm või üle 15mm. Veel on sobimatuks osutunud orgaanilist ainet sisalduvad liivad ja kruusad, aga ka tolmu- ja peenliivad, kus esineb survevõime. Viimase puhul saadaks tegelikult suurem kandevõime. [9]

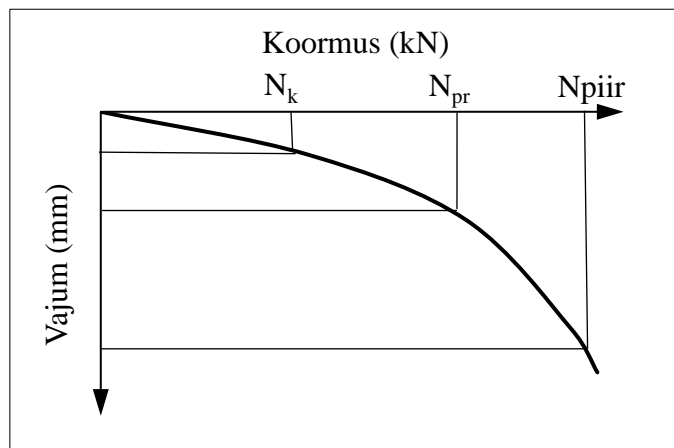
Enamasti on rammitud sama diiselrammiga, seetõttu on parameetrid olnud muutumatud, vasara kaal  $G=12,5$  kN, vaia kaitsepea kaal  $q=1$  kN, vasara efektiivne kukkumiskõrgus  $H=1,1$  m, on olnud lihtne leida vaia vastest proportsionaalsuspiiri. Joonisel 1.4 on see erinevate pinnastega kohtades ära toodud. [7]



**Joonis 1.4.** Kiilvaia proportsionaalsuspiiri sõltuvus vastetest, veeküllastunud tolmu-liiv: 1- Pärnu Niidu t.; 2-Riia mnt.; saviliivmoreen: 3- Turval; 4- Obinitsas; 5- Kuldres; 6- Rõuges. [7]

## 1.4 Staatiline kandevõime

Staatiline kandevõime kontroll tehakse mõne aja pärast, kui vaiad on rammitud. Vaiu koormatakse kuni purunemiskiirini. Staatilise koormuskatse tulemiks on graafik (joonis 1.5). Graafikult on võimalik välja lugeda iseloomulikud punktid nagu vaia küljevastupanu piir ( $N_k$ ), vaia proportsionaalsuspiir ( $N_{pr}$ ) ja purunemiskiir ( $N_{piir}$ ). Küljevastupanu piir iseloomustab vaia kandevõime piiri, milleni toimuvad pinnases elastsed deformatsioonid. Proportsionaalsuspiiri võib veel nimetada roomepiiriks, mille saavutamisel esmalt hakatakse pinnast tihendama ning siis vaia alt pinnast välja suruma ja millest alates toimuvad plastised deformatsioonid. Vaia piiriseisundi saavutamist iseloomustab purunemiskiir. [7]



**Joonis 1.5.** Staatilise kandevõime graafik ja selle iseloomulikud punktid.

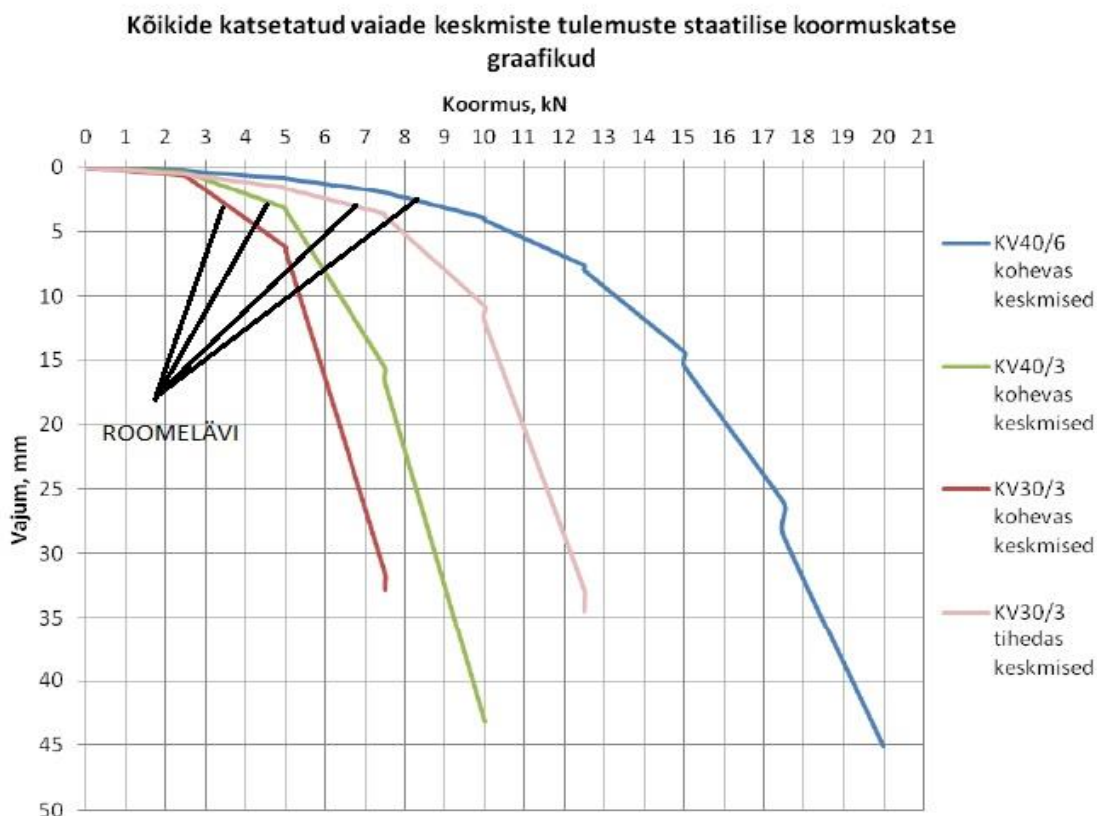
Proportsionaalsuspiir iseloomustab kõige paremini vaia kandevõimet. See eraldab vaia kandevõime kahte etappi, kus esmalt toimub vaia aluse pinnase tihendamine ja siis järgmises etapis pinnas puruneb ja seega surutakse see vaia alt välja. Elastsusteooriat saab kasutada kuni proportsionaalsuspiirini toimuva kirjeldamiseks, sealt edasi suurematel koormustel on vaja kasutada juba empiirilisi võtteid ja elastsusteooria rakendamine on välistatud. [9]

Koormamisgraafikult proportsionaalsuspiiri leidmine on raske, kuna graafik on ühtlaselt kumer, puuduvad iseloomulikud punktid. Paremini tuleb see esile, kui kasutada vajumise ajalisust iseloomustavat meetodikat, kus katse käiku pikendades, ilmneb paremini vaia käitumise muutus. Koormuskatsete tulemused on näidanud, et proportsionaalspiiri juures on kiilvaia vajumid väga ühtlased, seda siis vastavalt liivpinnastes 5 kuni 7,5 mm piirides ja moreenpinnastes 7,5 kuni 10 mm piirides. Kuni proportsionaalsuspiiri koormuseni on vajum

tingitud mõjutsooni jääva pinnase elastsest deformatsioonist ja sealt edasi on suur osa vaia vajumist tingitud vaia otsa plastsusaladest. [7]

Tingliku külghõõrde juures on kiilvaia vajum 0,75 kuni 2,0 mm, sõltumata tingliku külghõõrde suurusest. Kusjuures vaia mõõtmest ei sõltu ka erikülghõõre. Maksimaalne on erikülghõõrde väärtuste hajuvus 2m kiilvaiade juures ja minimaalne 3m kiilvaiadel. See on tingitud maapinnalähedase kuni ühe meetri ulatuses pinnasekihi suurema heterogeensusega ning puudulikust meetodikast tingliku külghõõrde määramisel aga samuti pinnase ja vaia ülemise osas pilu tekkimisega, mis on tingitud vaia rammimisest. [7]

Varasemalt laboris tehtud mudelkiilvaiade kohta saab sama moodi välja tuua kandevõimegraafikud. Katsetatud on erinevate mõõtmetega ja erinevates pinnastes (kohevas ja tihedas liivas) mudelkiilvaiu, millede kohta on koostatud kandevõimegraafikud (joonis 1.6). Mudelkiilvaiade graafikult on võimalik välja lugeda vajumi intensiivsemat kasvu peale roomeläve (proportsionaalsuspiiri) ületamist. [1]



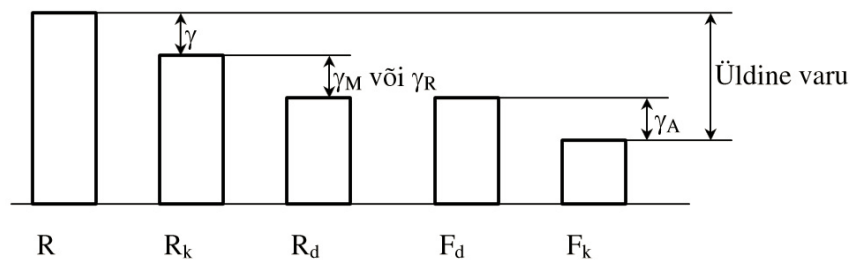
**Joonis 1.6.** Erinevate kiilvaimudelite koormuskatsete graafikud. [1]



Vaia koormamine üle proportsionaalsuspiiri saab toimuda vaid arvutustele ja piisava geotehnilisele kontrollile tuginevalt. Täissuuruses kiilvaiade katsetusel on saavutatud piirkandevõime tolmliidadel vajumi juures 20 kuni 30 mm ja moreenpinnastel 30 kuni 50 mm. [7]

## 1.5 Kandevõime hindamine osavarutegurite abil

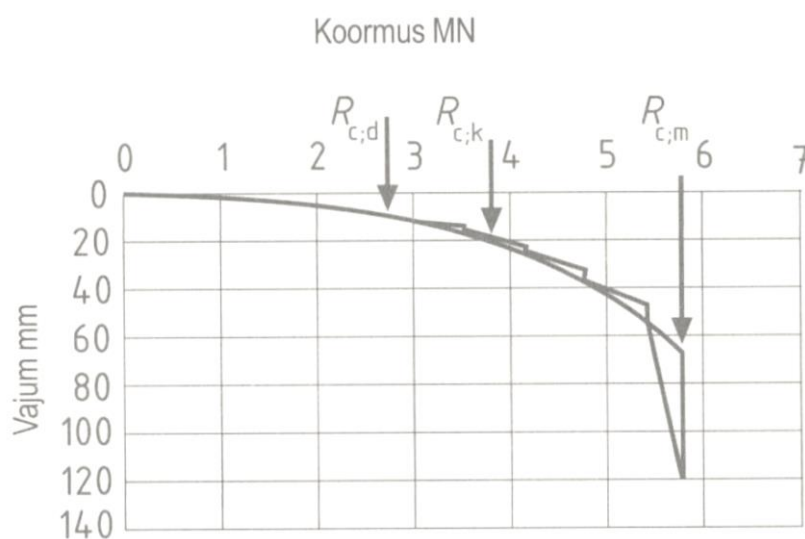
Kui ehitised on koormatud ühtlase koormusega ja alused on koormatud piirkandevõimeni, siis edasise koormuse lisamisel võib tekkida kandevõime kaotus. Piisava koormusvaruta võivad vaialused puruneda, kui toimub muutuvkoormuse suurenemine. Selleks tagatakse piisav koormusvaru. Projekteerimisstandardis on antud olukorra vältimiseks kehtestatud vastavad osavarutegurid. Koormates vaia katseliselt ja kasutades erinevaid arvutamise meetodikaid, on võimalik leida vaia piirkandevõime. Siit tulenevalt on võimalik leida osavaruteguriga normkandevõime ja sealt edasi arvutuskandevõime. Geotehnilisel projekteerimisel lähtutakse kahest seisundist, kandepiirseisund ja kasutuspiirseisund. Osavarutegurite ja kandevõimenäitajate paremaks arusaamiseks on esitatud diagramm joonisel 1.7 [10]



**Joonis 1.7.** Osavarutegurite ja koormuste vahelised seosed,  $R$  – materjali keskvärtusega määratud kandevõime;  $R_k$  – materjali normvärtusega leitud kandevõime;  $R_d$  – materjali arvutusvärtusega leitud kandevõime;  $F_k$  – normkoormus;  $F_d$  – arvutuskooormus. [10]

Varutegurid omistatakse pinnasematerjalidele sellised, et ülekoormamine toimuks väga väikese tõenäosusega. Ehitise iseloom määrab ära koormuse ja materjalide osavarutegurid. [10]

Arvutusväärtusega leitud kandevõime, kus on kasutatud osavarutegureid ei ühti proportsionaalsuspiiriga, mis on välja loetud ajalise meetodikaga koormusgraafikult, küll, aga asuvad need koormusvajumi graafikul ligikaudselt samal kohal. Seda olukorda on iseloomustatud joonisel 1.8. On loomulik, et erineva meetodikaga leitud vaia kandevõimed võivad erineda. Iseloomulike punktide välja lugemiseks koormuskatsegraafikutelt on olemas mitmeid variante. Varasemalt on olnud kasutusel piirpingete meetod, kus graafikult loetakse välja, proportsionaalsupiir, küljevastupanu piir ja purunemispriir. Kaasaegsem arvutusvariant on normatiivse- ja arvutusliku kandevõime leidmine osavarutegurite kaudu purunemispriirist. [11]



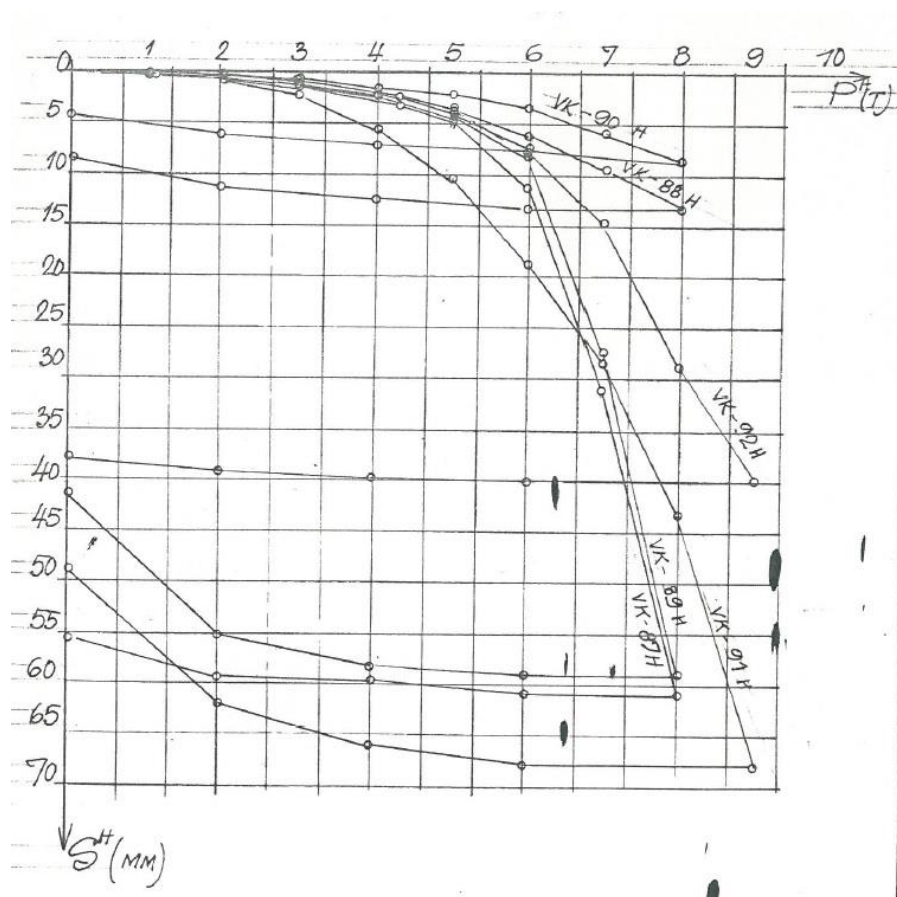
**Joonis 1.8.** Vaia staatilise koormuskatsega määratavad piir-, norm- ja arvutuskandevõime [11]

## 1.6 Kiilvaiadega läbiviidud katsetused.

Varasemates peatükkides on mainitud, et kiilvai on võimeline vastu võtma erinevaid koormusi, vertikaal- ja horisontaalsuunalist koormust ja momenti. Katsetusi kiilvaiadega on tehtud väga vähe ja need on raskesti kättesaadavad. Momendikatset kiilvaiadega pole varasemalt läbi viidud.

Kiilvaiade horisontaalkandevõime katseid on tehtud 1987. aastal Nursi katsepolügonil, kus eesmärgiks oli kiilvaiade horisontaalkandevõime uurimine ja vastavate hindamiskriteeriumite väljaselgitamine vaiade kaldkülgedes suunas mõjuvate horisontaaljõudude mõjul vertikaalkoormusi ja momenti rakendamata. Tulemuste põhjal,

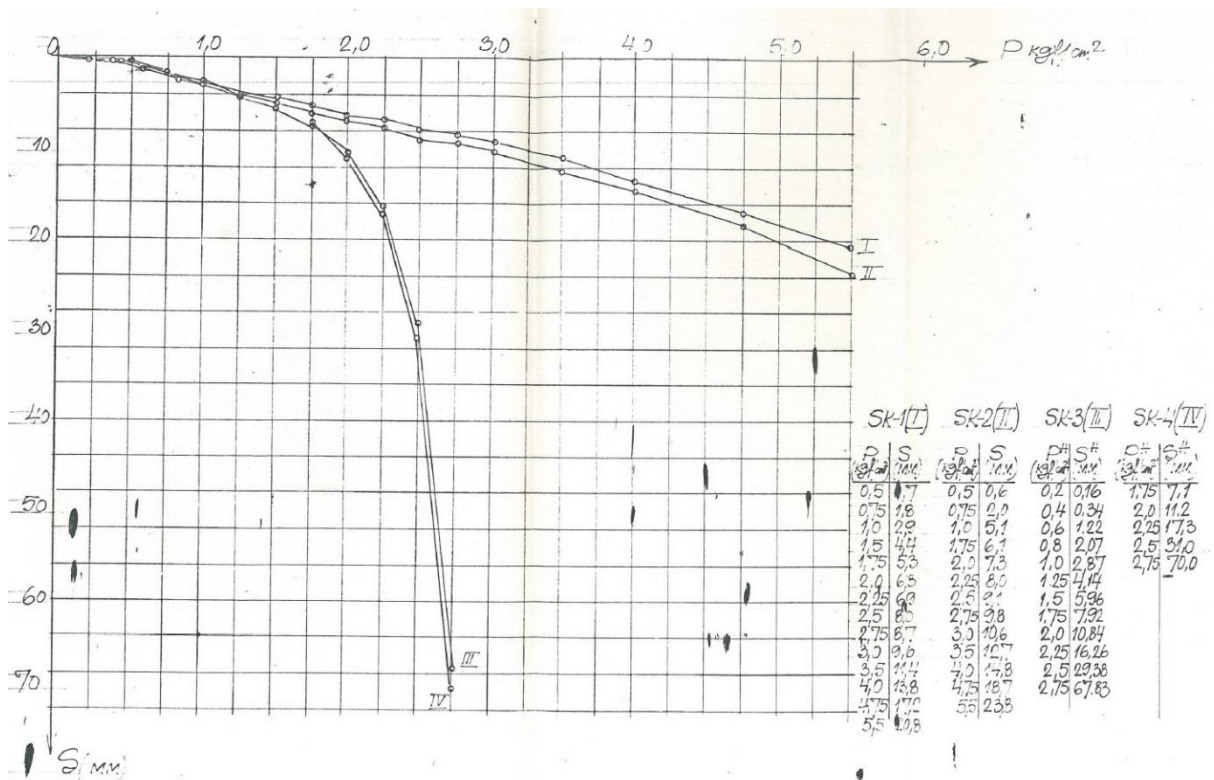
koostati graafikud, mis on ära toodud joonisel 1.9. Enamus vaiadega oli eelnevalt läbi viidud vertikaalkoormuskatsed. Katsetati paariviisi 2,0 meetri pikkuseid kiilvaiu, mis oli (vahega 2,0 m) sisse rammitud. Koormamisel kasutati kahe vaia vahele paigaldatud 10 tonnist hüdrosilindrit, kus koormust lisati ühe tonniste astme kaupa. Katsepinnasele tehti geoloogilised uuringud. Katsepolügonil oli kahekihiline pinnas, peal oli peenliiv, kihipaksusega 0,9 kuni 1,1 m ja all saviliivmoreen. Kiilvaiakatsete analüüsil lähtuti seosest  $SH = f(FH)$ . Esimesel kolmesel vaiagrupil, kuni koormuseni 1t ja ülejäänutel, kuni 2t, olid paigutised väga väikesed (0,4 kuni 0,7mm). Edasisel koormamisel jäi koormuse ja paigutise suhe lineaarseks ja paigutised suurenesid. Antud hetkel hakkab realiseeruma vaia külghõõre, see saavutab maksimumi jõu 2 kuni 4t juures on siire 2,2 kuni 3,0mm. Edasisel koormuse kasvu juures paigutised suurenevad intensiivsemalt ja koormuse ja siirde sõltuvus on jätkuvalt lineaarse iseloomuga. Kõik see toimub kuni paigutisteni 4,1 kuni 6,1mm jõu 3,0 kuni 7,0t juures. Sealt edasisel koormamisel paigutise kasv oli suurem ja jõu ja paigutise vaheline sõltuvus ei olnud enam lineaarne. [12].



**Joonis 1.9.** Kiilvaiade horisontaalkoormuskatsete tulemused. [12]

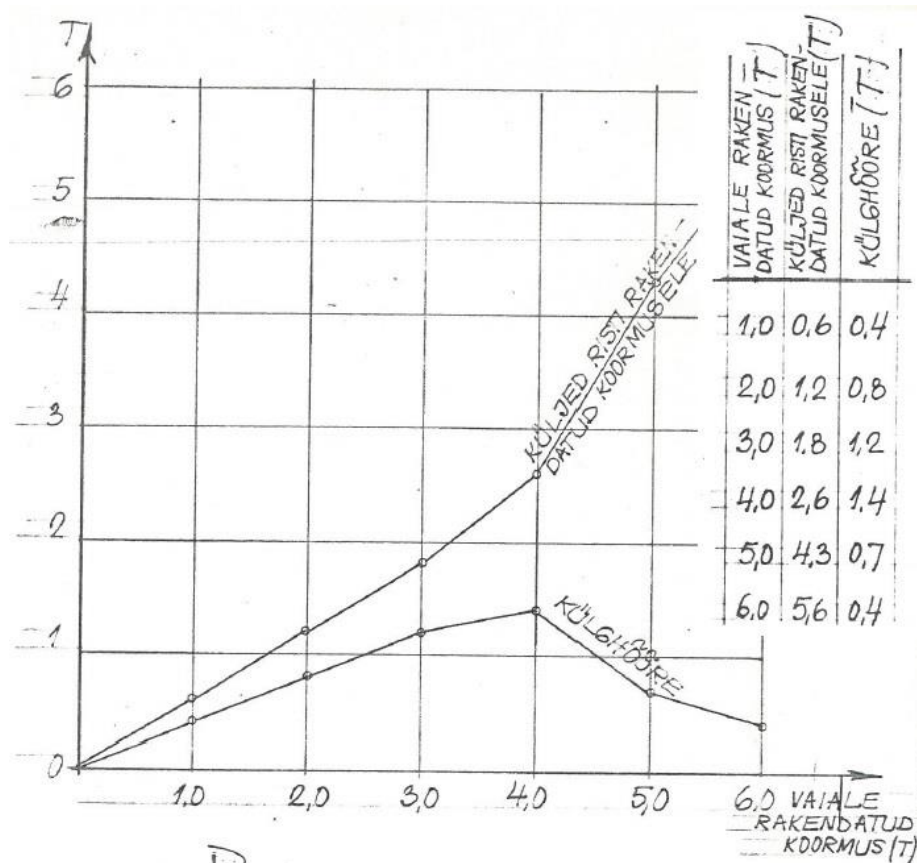
Kiilvaia paigutis antud koormuse all loeti lõppenuks, kui 1 tunni möödudes see ei ületanud 0,1mm. Katse lõpetati, kui ühe vaia paigutis oli üle 50mm. Saadud katsetulemusi võrreldi VEN 57-86 pakutud valemitega ja leiti, et need on hästi kasutatavad, kuna on pigem tagavara kasuks, kui kahjuks. Uurimistulemused leidsid, et vaiade suured siirdeerinevused on tingitud pinnase heterogeensusest (eriti liivas). [12]

Imiteerimaks nende vaiatahkude tööd, mis on risti vaiale mõjuvate jõududega, tehti täiendavalt kõrval proovikatseid plaatidega. Liivas tehti katsed kahe plaadiga, millede mõõtmed olid 14x300x400mm. Plaadid suruti pinnasesse ja nende vahele kaevatud kanalisse asetati hüdrosilinder koos mõõtekellaga. Selliselt hakati antud plaate koormama. Koormuse tsenter asus maapinnast 500 kuni 550mm sügavusel. Paigutised loeti vaibunuks, kui need ei suurenenud üle 0,1mm ühe tunni jooksul. Saviliivmoreenis tehti kahte tüüpi katset sügavustel 1,1 ja 1,2m maapinnast 100cm<sup>2</sup> sõõrplaatidega. Plaatide koormati vertikaalsuunas. Vajumi vaibumise kriteeriumiks oli kuni 0,1mm ühe tunni jooksul. Plaadikatsete tulemused on ära toodud joonisel 1.10 [12]



Joonis 1.10. Plaatide horisontaalkoormuskatsed. [12]

Arvutuste aluseks võeti plaadi katsete kindlal koormusastmel saadud paigutiste keskmised tulemused. Üksikpaigutisele vastav koormuse muutus võeti plaadikatsete graafikus arvutatavas intervallis. Antud andmete põhjal arvutati välja koormusega risti olevate külgpindade kandevõime, mis lahutati omakorda vaiale antavast horisontaalkoormusest. Seda vahet vaadati kui kiilvaia vertikaalkülgede külghõõret. See on kujutatud joonisel 1.11 [12]

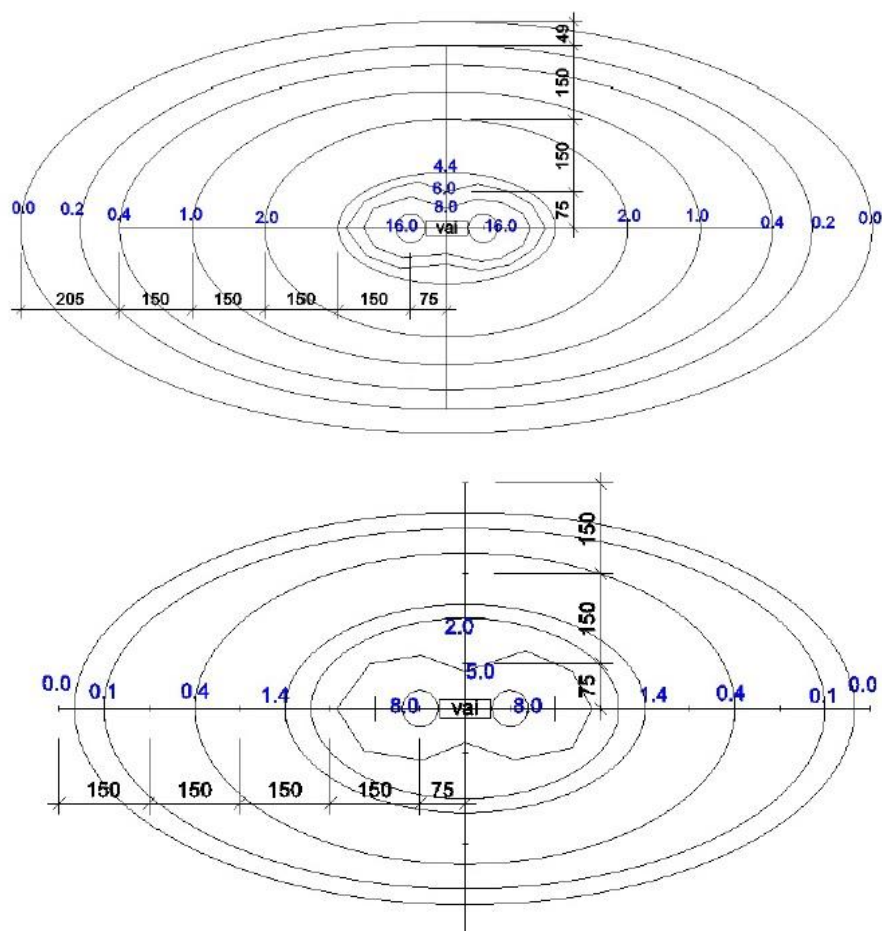


**Joonis 1.11.** Vaia külghõõrde sõltuvus vaiale rakendatud koormusest. [12]

Selgus, et külghõõre suurenes lineaarselt kuni jõuni 4 tonnini. Seda jõudu ületades, toimus vertikaalkülgedega kontaktis oleva pinnase nihe, külghõõrde osatähtsus langes ja vai peaks hakkama selle mõjul konstantse hõõrdega pinnases liikuma. [12]

Kiilvau on uurinud 2015 aastal kaitstud Erko Varese magistritöös „Kiilvaimudelite kandevõime liivas ja süvistamisel toimuvad pinnasemuutused“, kus lisaks vaia vertikaalkandevõimele uuriti ka pinnase tiheduse muutumist vaia rammimise tagajärjel. Katsetati kolme eri kujuga mudelit ja kahes erineva tihedusega liivas. Katsetulemusi võrreldi Gate-Killari valemiga, millele pakuti välja parandustegur, millega saavutati

suhteliselt täpne tulemus. Võrdlus Gersevanovi valemiga andis kiilvaimudelite kandevõime hindamiseks sarnase tulemuse katsetustel saaduga. Antud töös tehti järeldus, et vähendatud mõõtkavaga mudelvaiaid käituvad sarnaselt täissuuruses vaiadega, mis tagab selle, et saadud katsetulemusi on võimalik edasi kanda täissuuruses vaiadele. Intensiivsem pinnase väljasurumisest tingitud pinnasetõus toimus vaia pea läheduses ja kaugemad muutused fikseeriti kuni kolme vaiapikkuse kaugusel vaiast. Suurt tähtsust omas pinnase ettevalmistus. Sellest sõltuvalt võis kandevõime vahe olla ligi kahekordne. Sellest tingitud pinnasetõusude erinevusest saab ülevaate jooniselt 1.12. Uuringu käigus selgus tõsiasi, et otstarbekas pole mitte kasvatada kandevõime suurendamiseks vaia pikkust vaid pigem vaia laiust. [1]



**Joonis 1.12.** Pinnasetõusu mahu muutused tihedas (ülal) ja kohevas (all) liivas. [1]

2015. aastal on kaitsnud Erik Vares magistritöö „Kiilvaialuse kandevõime kujunemine ja käitumishinnang“ kus uuriti eraldi plaadi, kiilvaimudeli ja plaadi koos vaiamudeliga tööd.

Katsetati erineva laiusega vaiu vaialuses. Kui saavutati pinnase roomelävi, amendus ka vaiade kandevõime. Rostvärgi kontakti saavutamisel pinnasega lõppes ka vaia vajumine. Edasi rakendus tööle rostvärk ja koormus jagunes ühtlaselt vaiade ja rostvürgi vahel. Leiti, et parima tulemuse andis vaiagrupp koos plaadiga. Katsetulemused näitasid, et vaialus oli parema kandvõimega, kui vaiad ja plaat eraldi. [13]

2017. aastal kaitses Meelis Linde magistr töö „Kiilvaiade horisontaalkandevõime uurimine“. Esmalt katsetati erineva paksusega 2m kiilvaia viiekordset vähendatud mudelit horisontaalkoormusele, mis oli valmistatud raudbetoonist. Raudbetoonist vaiamudelid purunesid koormamisel, seetõttu mindi üle terasest vaiamudelitele. Erinevus varem Nursi katsepolügonil tehtu vahel seisnes selles, et Nursis, kui suruti kahte vaia teineteisest eemale, oli võimalik vaia pinnases pöördumine, kus vaia keskmel tekkis punkt, ümber mille vai pöördus. Antud töös see võimalus välistati ja selliselt oli võimalik leida jõud, mis vaia küljelt tekkis. Leiti, et vertikaal- ja horisontaalkandevõime vahel valitses kuni 60% proportsionaalsuspääri erinevus. Vertikaalkoormuse lisades, pinnase kandevõime kasvas ühtlaselt vaia süvistamisel, horisontaalsel koormamisel see oli aga ettearvamatu. Horisontaalse koormamise jooksul, kus ületati pinnase kandevõime, tekkis olukord, kus väiksemagi jõu lisades tekkisid suuremad siirded, kui esmalt piirkoormuse ületamise ajal. Jõuti järeldusele, et suuremat efekti annab kiilvaia pikkuse suurendamine, kui vaia laiuse suurendamine. [14]

Kiilvaiu on uurinud veel Tarko Jõgis, 2017 aastal kaitsitud magistr töö „Vertikaal- ja horisontaalkoormuse koormõju uurimine mudelkiilvaia katsetes“, kus uuriti vaia pöördumise võimaluseta vertikaal- ja horisontaalkoormuse koormõju. Katsetati mudelvaia KV40/6T, mis on täissuuruses 2,0 meetrise kiilvaia viiekordne vähendatud mudel. Teostati staatiline- ja dünaamiline katse ning horisontaal- ja vertikaalkoormuse koormõjuga katse. Kõik katsed viidi läbi tihedas pinnases. Lõputöö näitas, et kiilvaia mudel käitus erinevalt võrreldes sellega, mida alguses eeldati. Selgus, et vertikaalkoormuse suurenedes suurenes ka horisontaalkandevõime. Katsetulemuse võrreldi Gate-Killari valemiga, millele pakuti välja parandustegur, millega saavutati suhteliselt täpne tulemus. Võrdlus Gersevanovi valemiga andis kiilvaimudelite kandevõime hindamiseks sarnase tulemuse katsetustel saaduga. Antud töös tehti järeldus, et vähendatud mõõtkavaga mudelvaiad käituvad sarnaselt täissuuruses vaiadega, mis tagab selle, et saadud katsetulemuse on võimalik edasi kanda

täissuuruses vaiadele. Intensiivsem pinnase väljasurumisest tingitud pinnasetõus toimus vaia pea läheduses ja kaugemad muutused fikseeriti kuni kolme vaiapikkuse kaugusel vaiast. [15]

Väljatöötamise lõppfaasis on tehniline spetsifikatsioon „Kiilvaivundamentide projekteerimise alused“. Kõnealusel dokumendis on käsitletud ka kiilvaia momendikandevõimet. [10]



## 2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

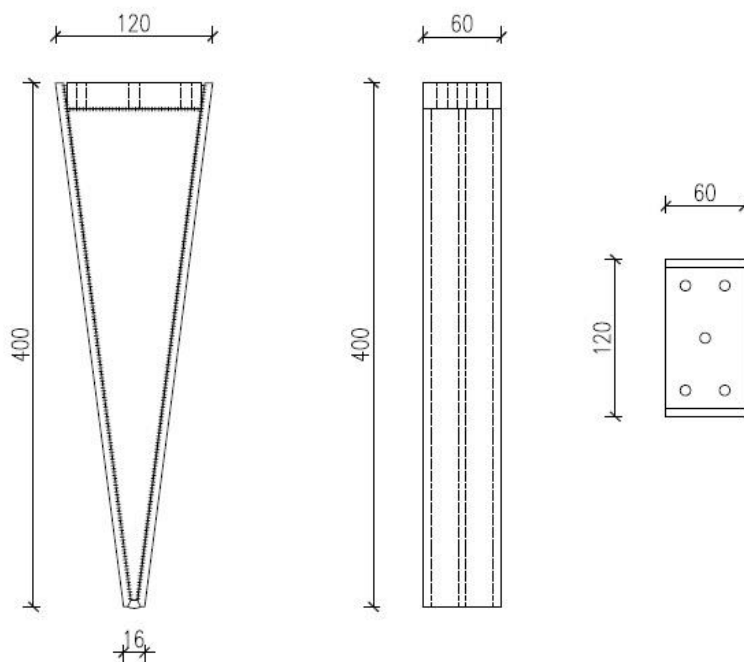
Eesti on eriline selle tõttu, et üksnes siin on vundamentide rajamisel kasutust leidnud kiilvaiad. Antud valdkonda on vähe uuritud. Varajasemad mudelkiilvaiadega läbiviidud uuringud omavad selle tõttu suurt tähtsust, et nende tulemused on võimalik üle kanda täissuuruses kiilvaiadele. Selline mudeli kasutus annab võidu nii ajas, kui ka rahas. Edaspidi täissuuruses vaiu katsetades, on teada, et milliste takistustega tuleb tegeleda. Töö eesmärk on uurida mudelkiilvaia käitumist liivpinnases vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul. Eesmärgiks on uurida, kas vertikaalkoormuse muutmisel muutub momendikandevõime. Kas see suureneb, väheneb või ei oma üldse mingit mõju? Seniselt on oletatud, et vertikaalkoormuse kasvades kasvab ka momendikandevõime ja mingist maast alates see väheneb. Eesmärk on uurida veel vaia paigutist vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul ning anda hinnang praktikas kasutusel oleva momendikandevõime valemile, et kas see alavõi ülehindab kandevõimet.

Ülesandeks on uurida mudelkiilvaia vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju vahelist seost mudelkiilvaia käitumises. Kui katsetulemustest selgub, et momendikandevõime kasvab vertikaalkoormuse mõjul, siis annab see võimaluse rakendada seda ka täissuuruses kiilvaiadel. See annaks suuremat efekti läbi selle, et kiilvaiu on võimalik koormata senisest enam või kasutada saaks väiksemaid vaiu. Kõrval eesmärgiks on kontrollida dünaamilisel katsetusel saadud vastete kaudu vaia kandevõimet ja staatilisest koormuskatsest saadud vaia kandevõime vahelist seost. Dünaamilise katse tulemused on kontrollitavad kahe valemiga, Gate-Killar ja Gersevanovi valemiga. Neid võrrelda staatilise koormuskatse andmetega. Käesoleval ajal kasutatakse neid valemeid kiilvaia kandevõime hindamiseks. Antud valemite rakendamiseks saame esmalt andmed dünaamilisel katsetusel saadud mudelkiilvaia katsetuse vastetest. Järgneva staatilise katse abil saab hinnata rammimise valemite kehtivust.

### 3. MATERJAL JA METOODIKA

#### 3.1 Kiilvaimudeli kirjeldus

Labori katsetel kasutati olemasolevat kiilvaia mudeli tüüpi KV40/6T. Antud mudel on tootmises oleva 2m kiilvaia viie kordne vähendatud mudel. Mudelkiilvai on teraslehtedest kokku keevitatud. Materjalile viitab markeeringus suur täht T, mis tähistab terasvaia, tähis KV kiilvaia, 40 pikkust sentimeetrites ja number 6 vaia paksust. Pinnasekasti mõõtmed said määravaks mudeli suuruse valikul, kuna eelmise teraskest ei tohtinud mõju avaldada pinnasdeformatsioonidele. Mõõtmatega kiilvaia mudelit on kujutatud joonisel 3.1 ja valmis mudelit näeb joonisel 3.2.



Joonis 3.1. Kiilvaia mudel mõõtmatega



**Joonis 3.2.** Katses kasutatud mudelkiilvaia KV40/6T ots ja külgvaade

Vaiapeas on neli ava, mis on keermestatud keermega M8. Antud avadesse kinnitatakse katseseade. Katseseadme peale käib post, läbi mille koormatakse vaia vertikaaljõuga ja katseseadme küljes on kang momendi tekitamiseks. Paigaldatud post ja kang paiknevad vaia suhtes tsentriliselt. Vaia tsentris on ava, kuhu kinnitub juhtvarras dünaamilise katse läbiviimiseks. Peab mainima, et terasest mudelvaial on külghõõre väiksem, kui analoogsel betoonist mudelvaial. Tuginedes varasematele katsetustele betoonist ja terasest mudelvaiaid, olgu ära märgitud, et külghõõre terasmudelvaial on ligikaudu 6% väiksem, kui betoonist mudelvaial. Arvestades betooni krobelist ja terase siledat pinda, on antud väide ka loogiline.

### 3.2 Katsetel kasutatud pinnase kirjeldus

Katselabori pinnasekastis on Aardlapalu karjäärast pärinev sõelutud ja pestud liiv. Varasemates töödes on antud pinnast põhjalikult uuritud, seega toon välja põhilised pinnase omadused. On määratud peenliiva lõimis, veesisaldus, nihketugevus ja tihedusaste. Vastavalt standardile EVS 1997-1:2003, on antud liiv liigitatud peenliivaks. Liiv on väga ühtlane. Liiva keskmine looduslik veesisaldus on  $w_n=2,4\%$ . Protectorteimi järgi on keskmine maksimaalne tihedus  $\rho_{dmax} = 1,59 \text{ g/cm}^3$  ja Terzaghi teimi järgi  $\rho_{dmax} = 1,64 \text{ g/cm}^3$ . Tihedaimas olekus on poorsustegur  $e_{min} = 0,62$  ja kohevaimas  $e_{max} = 0,92$ . Antud liiva

sisehõrdenurgaks saadi nihketeimi katsete järgi  $\phi = 31^\circ$  ja nidususeks  $c = 3$  kPa. Pinnase sõelanalüüsi tulemused on toodud all olevas tabelis 3.1. [1]

**Tabel 3.1.** Katsetel kasutatud pinnase lõimise jaotumine fraktsiooni läbimõõdu järgi [1]

Pinnas	Fraktsiooni läbimõõt mm, sisaldus %															$C_u$	
	Veeris	Kruus				Liiv				Möll			Sau	$d_{60} / d_{10}$			
		Jäme	Kesk	Peen		Jäme	Kesk	Peen		Jäme	Kesk	Peen					
EVS 1997-1:2003	>60	60...20	20...6	6...2	kokku	2...0,6	0,6...0,2	0,2...0,06	kokku	0,06...0,02	0,02...0,006	0,006...0,002	kokku	<0,002	<0,06	<0,002 / <0,06	
peenliiv	0	0	0	0	0	0,7	35,8	62,4	98,9	0,8	0,1	0,1	1,0	0,1	1,1	9,1	1,9

### 3.3 Katseseadmestik

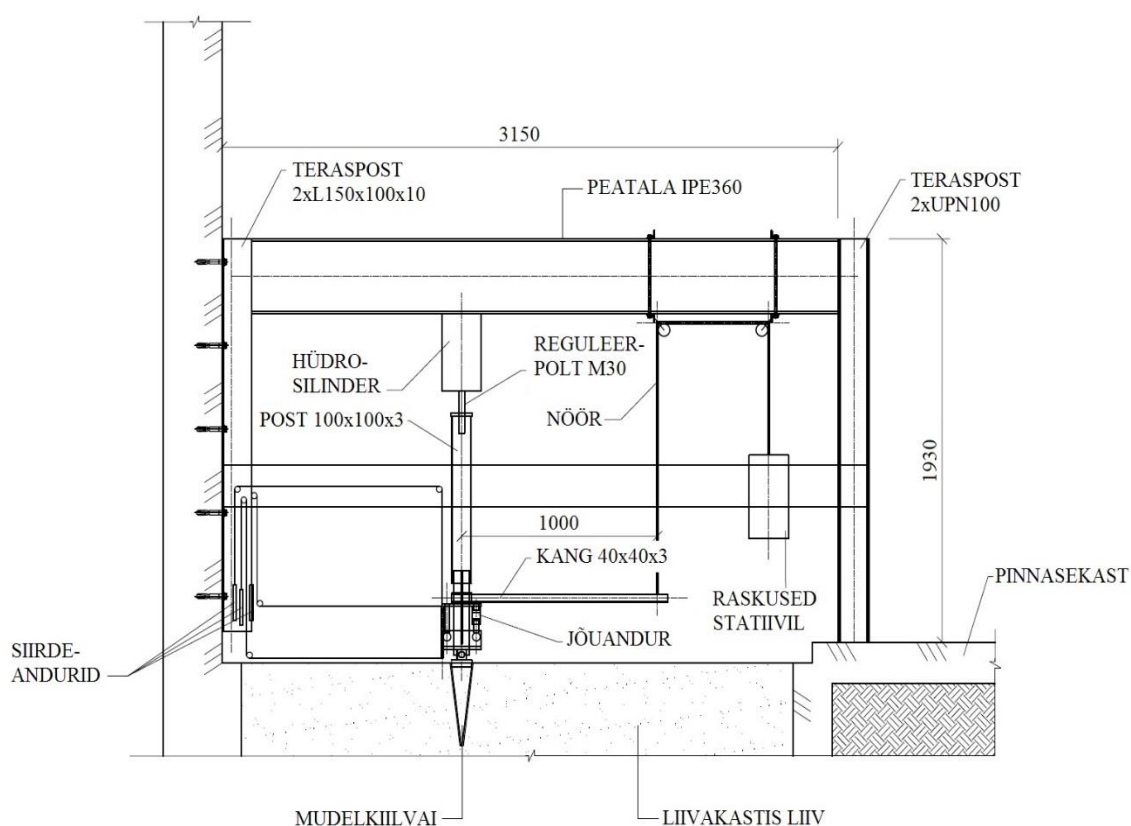
#### 3.3.1 Pinnasekast ja talastik

Mudelvaia katsetuste läbiviimiseks oli kasutusel liivaga täidetud pinnasekast mõõtmetega 3,5x2m. Sügavust ei õnnestunud mõõta, aga antud mudelvaia katsetuste läbiviimiseks on see igati piisav. Mudelkiilvaia koormamise läbiviimiseks oli pinnasekasti kohale monteeritud talastik, mis koosnes kiilankrutega M16 seinä külge kinnitatud kahest nurkterastest L150x100x10, teises otsas põranda külge kinnitatud postist, mis oli koostatud karpterastest UPN 160 ja nende kahe posti vahele poltliitega kinnitatud peatalast IPE360. Terastala IPE360 küljes oli keermelattidega abil kinnitatud alusraam hüdro silindri kinnituseks. Hüdro silindriga tekitatud vertikaaljõud vaiale kanti üle nelikanttorust postiga 100x100x3 ja läbi vaiapea. Momendi tekitamiseks kinnitus vaiapea külge nelikanttorust 40x40x3 kang, pikkusega 500mm. Selliselt tehti esmane proovikoormamine, kus selgus, et käsipumbaga pole võimalik katse käigus hoida ühtlast survet ehk vertikaalkoormust. Kuna varem pole mitte keegi mudelkiilvaiaaga momendi rakendamiseega katseid teinud, ei olnud ka aimu, et mis suurusjärgus momenti on mudelkiilvai võimaline taluma. Esmane vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse toimus selliselt, kus nelikanttorust 40x40x3 kangile rakendati läbi puitprussi moment ja käsipumbaga üritati hoida vertikaalkoormust tekitaval silindril survet. Katset kirjeldab joonis 3.3



**Joonis 3.3.** Esmane proovikatse pinnasekastis.

Sealt edasi analüüsi, kuidas katsetoodikat parandada. Momendi kandevõime suurusjärgust aru saades leiti, et kang momendi tekitamiseks võiks olla kaks korda pikem, sedasi on kasutatav nõör koos plokirastega vähem koormatud ja sellest tulenevalt peaks vähem koormust astmetena lisama. Teraspostide vahele paigaldati liivakasti kohale puittala, kuhu kinnitus vertikaalsiiret mõõtva anduri traadi plokirattad. Nurkraudadest postide külge kinnitati täiendav puitplank, mille küljes olid horisontaal- ja vertikaalsiirde mõõtmise andurid ja plokirattad. Täiustatud katseseade on tootud joonisel 3.4.

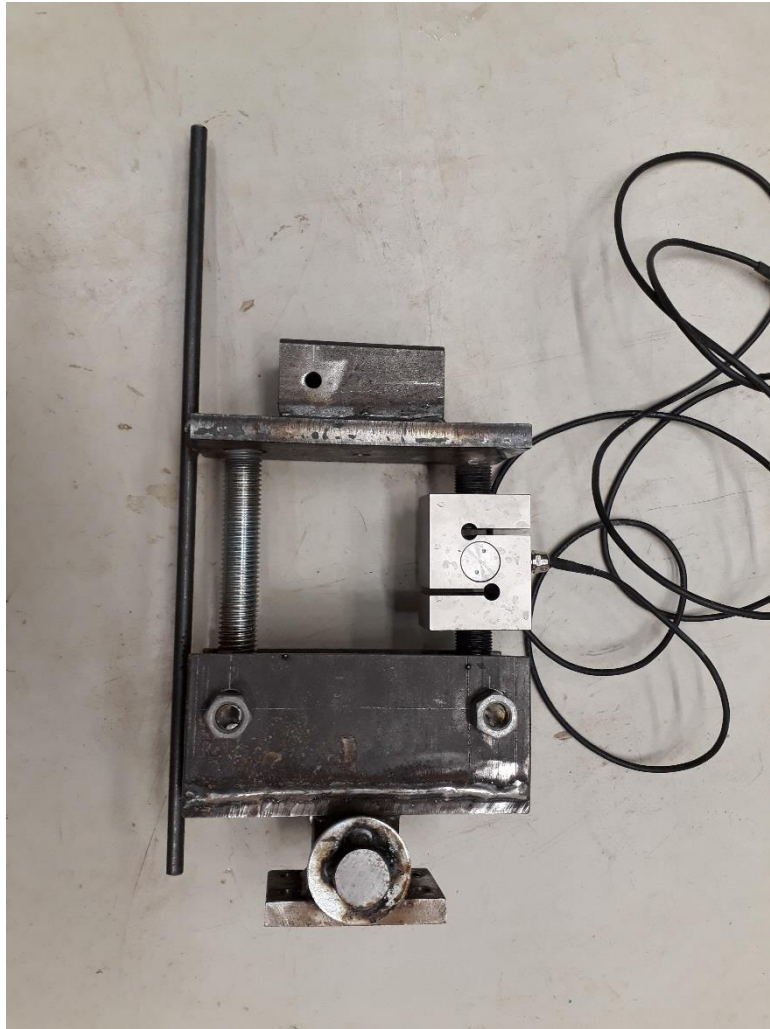


**Joonis 3.4.** Täiustatud katseseade.

### 3.3.2 Vaiapea sõlm koormuste rakendamiseks ja mõõtmisteks.

Töötati välja lahendus kuidas rakendada mudelkiilvale pikikoormus ja moment ning kuidas nende väärtusi mõõta. Kangmehhanism vertikaalkoormuse rakendamiseks oli ohtlik, sest koormusplaatide võimalik maha kukkumine võib põhjustada vigastusi. Vertikaalkoormus plaaniti rakendada hüdrauliliselt ja moment mehhaanilise ülekandega. Koormusanduri abil mõõdeti jõupaaris tekkivat jõudu, sellest tuletati moment.

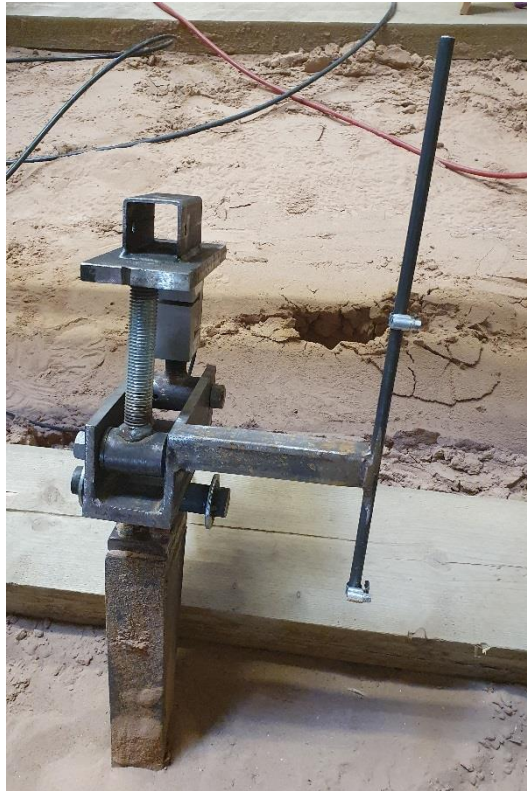
Tehti katseseadme ja selle kinnitamise joonised, mille järgi valmistati katsemudel. Viimane kinnitati vaia külge nelja M8 poldiga. Katseseadme külge kinnitus poltliitega ka kang ja koormusandur, mille abil sai määrata momendi suurust. Katseseadme küljes oli ka varras, millest sai siirdeanduriga mõõta vaia horisontaalseid ja vertikaalseid liikumisi ning pöördumist. Antud vaiapea koormamise ja mõõtesõlmega saab tutvuda joonisel 3.5.



**Joonis 3.5.** Esmane väljatöötatud mudelkiilvaiapea sõlm koormuste rakendamiseks ja mõõtmiseks.

Kui mudelkiilvaiale oli külge monteeritud katseseade, toimus esmane koormamine. Katse käigus selgus, et selliselt ülemise flantsi külge kinnitatud terasvarras ei toimi, kuna antud osas on lõtkud sees ja see moonutab katsetulemusi. Antud varras siirete mõõtmiseks viidi nurkterase vahendusel katseseadme küljele ja kinnitati alumise flantsi külge. Selline paigutus oli veel vajalik selleks, et saaks siirdeandurid kinnitada. Täiustatud katseseade ja selle külge kinnitatud vai on kujutatud joonisel 3.6.





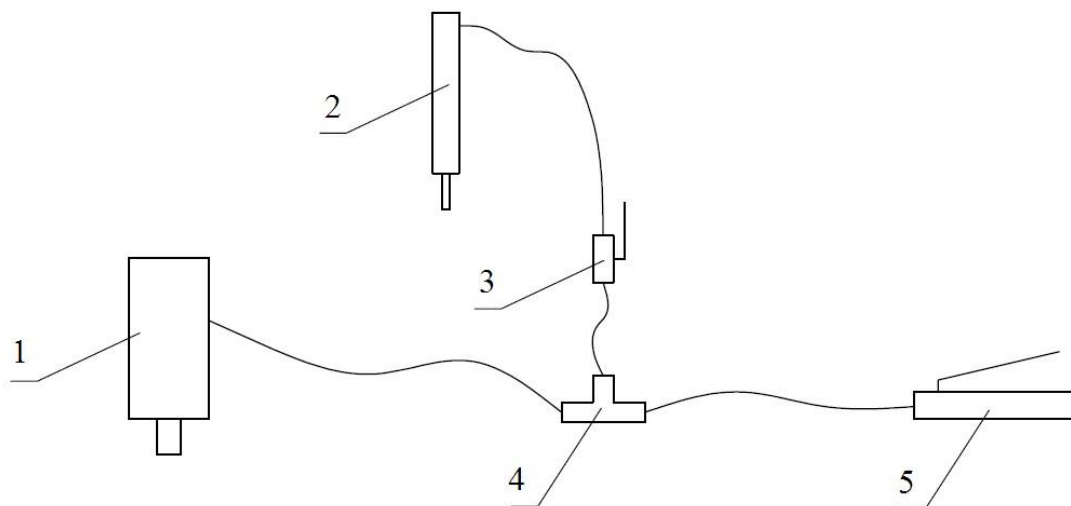
**Joonis 3.6.** Täiustatud vaiapea sõlm monteerituna mudelkiilvaia külge.

### **3.3.3 Hüdraulika mudelkiilvaial vertikaalkoormuse hoidmiseks.**

Kuna eelneva katsetusega sai selgeks, et Lukas käsipumbaga on väga raske süsteemis rõhku hoida, et säiliks konstantne vertikaalkoormus, siis tuli leida süsteem, mis ise suudaks rõhku säilitada kogu katse jooksul. Esmasest staatilisest koormuskatses selgus mudelkiilvaia orienteeruv vertikaalkandevõime suurusjärk 10kN. Kuna kasutusel oli hüdrocilinder Lukas LZM 25/200, mille silindri kolvi pindala on 50,3cm<sup>2</sup>, tuli leida võimalikult väikese pindalaga väike silinder, aga mis oleks suure kolvikäiguga, mille külge rakendada koormus, mis süsteemis kogu katse käigu aja rõhku hoiaks. Väikese kolvi pindalaga silinder oli vajalik selleks, et koormused silindri küljes liiga suureks ei läheks. Sai tellitud hüdrocilinder 25/40, mille kolvikäik on 1500mm ja hüdrocilindri kolvi pindalaks kujunes 7,65cm<sup>2</sup>. Seega väiksema silindri pindala on suurema omast ligikaudu 6,6 korda väiksem. Suur ja väike hüdrocilinder ning hüdropump ühendati omavahel kolmiku ja hüdrovoolikute abil ühtseks süsteemiks selliselt, et suurt silindrit, mis otseselt koormas mudelkiilvaia, oli võimalik süsteemist välja lülitada kuulkraaniga. See oli vajalik selleks, et kui katse käigus oli väike silinder koormuse all liialt ära vajunud (hakkas vastu põrandat vajuma), oleks võimalik



katset mõjutamata seda tagasi algasendisse viia ja katset jätkata. Ülevaate mudelkiilvaiale vertikaalkoormust tekitavast hüdro süsteemist saab jooniselt 3.7.



**Joonis 3.7.** Mudelkiilvaiale vertikaalkoormust tekitava hüdro süsteemi skeem: 1 – hüdro silinder Rehobot vertikaaljõu tekitamiseks; 2 – hüdro silinder 25/40 hüdro süsteemis rõhu hoidmiseks; 3 – kraan; 4 – kolmik; 5 – käsipump Lukas.

### 3.3.4 Koormamis- ja mõõtmisseadmed

Juhtvardale kinnituva terasest vasara abil viidi läbi dünaamiline koormuskatse. Löökseade koosnes vasarast ja selle külge kinnitatud käepidemest ning raskusetastest. Löökseadme kaal kokku oli 7,5kg. Löökseadme käepidemes oli ava, läbi mille see kinnitus juhtvardale. Juhtvarda ots sobis mudelkiilvaia peas paiknevasse avasse. See võimaldas löögi viimise vaia tsentrisse. Selleks, et tagada vasara konstantne kukkumiskõrgus 600mm, oli varda külge kinnitatud vastavale kõrgusele piiraja. Löökkõormusseade on näidatud jooniselt 3.8.



**Joonis 3.8.** Dünaamilise koormuskatse vasar ja juhtvarras

Laserlood Dewalt DW088K oli kasutusel dünaamilistel katsetustel mudelkiilvaia vastete mõõtmisel. Mõõdeti kolmest löögist tekkinud mudelkiilvaia vajum.

Katseandmed mõõdeti ja salvestati seadmega ALMEMO 5690-2 AHLBORN. Mõõte- ja salvestusseade on näidatud joonisel 3.9. Antud seade sai andmed hüdrorõhu andurilt, mis näitas hüdroüsteemis olevat õlirõhku baarides. Antud seade näitas veel jõuanduri näitu kN, mis oli tekitatud momendikangiga. Sinna kuvati veel vertikaal- ja horisontaalsiirdeandurite näidud ja ka pinnase liikumist mõõtvate siirdeandurite näidud.



**Joonis 3.9.** ALMEMO 5690-2 AHLBORN, mis salvestas katseandmed.

Kiilvaimudelile tekitab vertikaalkoormuse hüdrocilinder 25/40, mis omab kolvikäiku 1500mm. Antud süsteemi oli ühendatud hüdropump Lukasele, mille küljes paiknes rõhuandur. Hüdropump võimaldas väikestes piirides korrigeerida rõhku süsteemis. Hüdrostsüsteemi kuulusid veel hüdrocilinder Lukas LZM 25/200, mida iseloomustab silindrikäik 200mm ja mis suudab arendada maksimaalselt jõudu 250kN. Hüdropump Lukas on näidatud joonisel 3.10 ja hüdrocilinder Lukas LZM 25/200 joonisel 3.11



**Joonis 3.10.** Lukas hüdropump koos surveanduriga.



**Joonis 3.11.** Paigaldatud hüdrocilinder Lukas LZM 25/200 vertikaalkoormuse rakendamiseks reguleeritavale tugipostile.

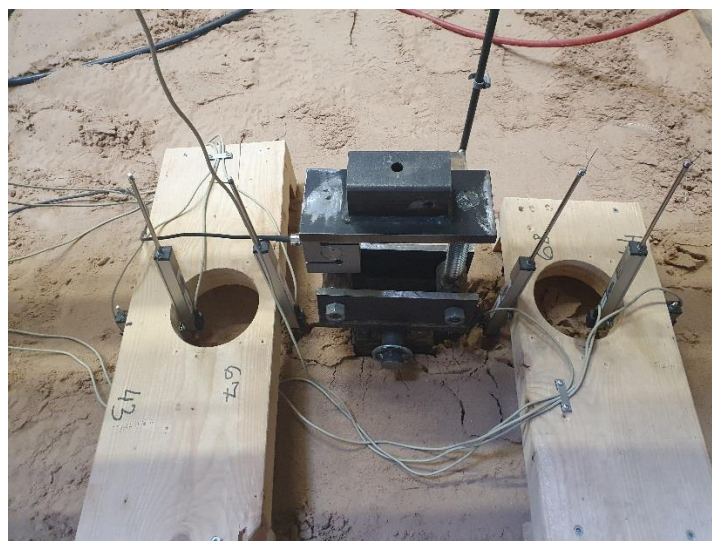
Mudelkiilvaia verikaal- ja horisontaalsiirete mõõtmisel kasutati siirdeandureid ALMEMO FWA100T AHLBORN. Antud siirdeandurite mõõtmistäpsus on 0,01mm. Staatilisel koormuskatsel oli neist kasutusel vaid üks, vertikaalsiiret mõõtev andur. Siirdeandurite paigaldamisel oli tähtis, et mõõdetavad tulemused oleksid moonutusteta ja võimalikult täpsed. Esmalt paigutati need otse mudelkiilvaia taha, aga kuna hilisemalt vajaduse tekkimisel tekkis vajadus paigutada sinna pinnase siirdeid mõõtvad andurid, tuli neile leida uus koht. Selleks paigaldati horisontaalne tala teraspostide vahele, kuhu kinnitusid kruviliitega plokirattad vertikaalsiirdeanduri traadi tarbeks. Siirdeandurid ise paiknesid paremal pool külje peal eraldi paigaldatud puitplangul. Siirdeandurid ja plokirattad kinnitusid sellele terasklambrite ja puidukruvide vahendusel. Antud siirdeandurite töökäik oli maksimaalselt 200mm. Siirdeandurite paigaldus on toodud joonisel 3.12. Selleks, et siirdeandurit ja mudelkiilvaia ühendav traat oleks pingul, paigaldati siirdeandurite otsa raskused. Selline süsteem oli lihtsa ehitusega ja toimis edukalt.





**Joonis 3.12.** Mudelkiilvaia vertikaal- ja horisontaalsiirete mõõtmise siirdeandurid.

Katse käigus mõõdeti pinnase liikumisi vaia ümber. Selleks paigaldati puitprussi külge andurid, ühele poole vaia, vaia tsentrist 150; 290 ja 370mm kaugusele ja täpselt sama asetusega teisele poole vaia. Siirdeandurid kinnitusid puitprussi külge terasklambrate ja puidukruvide vahendusel. Siirdeandurite ja pinnase vahele paigaldati 50x50mm 4mm paksused vineerplaadid, et vältida siirdeandurite terasvarraste tungimine pinnasesse. Ülevaate pinnase siirdeanduritest annab joonis 3.13



**Joonis 3.13.** Andurid pinnasesiirete mõõtmiseks

Süsteemi õlirõhku aitas hoida hüdrocilinder 25/40 kolvikäiguga 1500mm. Selleks oli antud silinder riputatud kraana konksu otsa ja koormarihmade vahendusel lisati sellele koormuseid malmrestide näol. Reste oli kokku kasutusel 13 tükki ja neist igäüks kaaluga ca 15kg. Nii saadi erinevad koormusastmed. Ülevaate antud süsteemist saab jooniselt 3.14.



**Joonis 3.14.** Mudelkiilvaiale vertikaalkoormust hoidev hüdrocilinder 25/40

Moment tekitati mudelkiilvaiale nelikanttorust 40x40x3 kangiga, mis kinnitus mudelkiilvaia külge poltliitega ühendatud vaiapea pesa sisse. Antud kangi koormati statiivile paigaldatavate raskustega. Statiivi ja kangi vahel oli nõör, mis toimis läbi plokirataste. Momendi suuruse leidmise eest kandis hoold vaia peas paiknev jõuandur, mis oli suuteline mõõtma maksimaalset jõudu 50kN. Momendi tekitamise mehhanismiga saab tutvuda joonisel 3.15



**Joonis 3.15.** Mudelkiilvaiale momendi tekitamise mehhanism.

## **3.4 Katsete meetodika**

### **3.4.1 Katseplaan**

Katsete läbiviimisel oli suureks abiks juhendaja kogemus antud valdkonnas. Samuti tuli kasuks eelnev vastavasisulise kirjandusega tutvumine ja selle sisu analüüs. Esmalt hinnati mudelkiilvaia KV40/6T staatilist kandevõimet ja hiljem dünaamilist kandevõimet. Peale seda toimus momendi uurimine erinevatel vertikaalkoormusetel. Liivpinnas katsete läbiviimiseks oli eelnevalt tihendatud. Iga koormusastmega katset tehti kolm korda, et oleks tagatud katseandmete usaldusväarsus. Koormusastmeid oli kokku 5 ja kokku tehti 16 katset.

#### **Katsete järjekord :**

1. Staatiline katse
2. Dünaamiline katse
3. Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul katse

Magistritöö lisades on esitatud katsete tulemused katseprotokollidena (lisa 1), samuti on esitatud laboripäevik (lisa 2) ja katsetega seotud fotod (lisa 3).

### 3.4.2 Tegevuskava

Esmase katsega selgitati mudelkiilvaia vertikaalkoormuse ja momendi suurusjärgud. Saadud tulemuste põhjal koostati tegevuskava järgnevate katsete läbiviimiseks.

**1. Pinnasekasti ettevalmistus.** Selleks kaevati pinnasekasti liiv labida sügavuselt läbi. Samal ajal toimus pinnase niisutamine veega. Mudelkiilvaia katsealale kaevati auk sügavusega 600mm, mõõtmetega 500 x 700mm. Pinnast kasteti, lasti seista, tihendati tambiga 10 sentimeetriste kihtidena. Lõpuks pinnas siluti puitlatiga tasaseks.

**2. Mudelkiilvaia rammimine pinnasesse ja dünaamiline koormuskatse.** Mõõdeti välja koht, et mudelkiilvai asuks täpselt vertikaalkoormust rakendava hüdrotsilindri Lukas LZM 25/200 tsentris. Mudelkiilvai paigaldati katsekohale ja suruti 30-40 mm pinnasesse. Edasi paigutati löökvasara juhtlattu mudelkiilvaia tsentris olevasse avasse. Juhtlatile oli eelnevalt paigaldatud löökvasar. Löökvassar tõsteti 600mm kõrgemal paikneva piirajani ja lasti tal vabalt langeda mudelkiilvaiale. Sedasi rammiti mudelkiilvai pinnasesse, kuni selle väljaulatus pinnasest oli 60mm. Seati ülesse laserlood. Juhtlatile märgiti laserjoone asukoht, seejärel tehti 600mm kõrguselt löökvasaraga kolm kukkumist. Mõõdeti eelnevalt märgitud koha ja uue saadud laserjoone punkti vahe. Sedasi toimus dünaamiline katse. Peale katsetust eemaldati rammimisseadmed ja kinnitati poltidega vaia peale vertikaalkoormuse ja momendi tekitamise seade. Vertikaalkoormuse ülekandmiseks paigaldati seadme ja silindri vahele nelikanttorust 100x100x3 teraspost. Kiilvaia ette ja taha paigaldati pinnase siirdeandurid.

**3. Staatiline koormuskatse.** Telfri konksu külge riputati hüdrotsilinder 25/40, millele külge omakorda riputati rõhu tekitamiseks koormarihmadele toetatud malmpaadid. Esmase proovikoormamisega selgus, et katseseade hakkas tööle alates kahest malmplaadist koormuste alusel. See tulenes hüdroüsteemi takistusest. Seetõttu kasutati esimesel koormusastmel kahte malmplaati. Ühe koormusastme kestus oli 5min. Esmalt fikseeriti algnäidud, siis näidud 2 min möödudes ja lõpuks näidud 5 min möödudes. Mudelkiilvaia koormati kriitilise siirdeni, milleks oli 40 mm. Kui mudelkiilvaia pea oli koormuse all surutud pinnasega tasa, lõpetati koormamine ja eemaldati koormusplaadid. Antud katse põhjal koostati staatilise koormuse graafik, kust on võimalik hinnata mudelkiilvaia kandevõimet. Dünaamilistel katsetel mõõdetud vastete abil on võimalik arvutusmodeliga arvutada vaia kandevõime ja võrrelda seda staatilise koormuskatse väärtustega.

**4. Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse.**



Väike silinder 25/40 koos koormusalusega riputati ülesse. Vaiapea katseseadme pesasse paigaldati momenti tekitav nelikanttorust kang 40x40x3. Silindrile riputati koormus esimese vertikaalkoormusastme tekitamiseks, esimesel katsel koormust ei muudetud. Kangpressi abil hakati vaiale rakendama erinevaid momente kuni vaia pöördumiseni 1 kraad. Andurite näidud fikseeriti katse alguses, seejärel kahe ja viie minuti möödumisel. Märkimisse läksid vertikaal- ning horisontaalsiirde andurite näidud, rõhk hüdrostsüsteemis ja jõud, mille tekitas kangmehhanism katseseadmele. Edasi toimus momendi suurendamine koormusastmete kaupa ja näitude fikseerimine. Sedasi toimiti, kuni pinnas purunes ehk kandevõime ammendus. Peale kandevõime ammendumist eemaldati vertikaalkoormus ja momenti tekitav koormus mudelkiilvaialt. Eemaldati vertikaal- ja horisontaalsiirdeandurite traadid katseseadme küljest. Teisaldati post, mis kandis üle vertikaalkoormust hüdrosilindrilt mudelkiilvaiale. Eemaldati pinnasesiirdeandurid pinnasekastist ja demonteeriti katseseade vaiapea küljest. Lõpuks eemaldati mudelkiilvai pinnasekastist. Toimus pinnase uus ettevalmistus ja hakati kõike otsast peale kordama: mudelkiilvaia rammimine pinnasesse ja dünaamiline koormuskatse, staatiline koormuskatse ja lõpuks vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse. Sedasi toimiti iga vertikaalkoormusastmega kolm korda. Hea ülevaate toimunust annavad katseprotokollid, mis on ära toodud lisas 1. Viimane vertikaalkoormusaste oli 8,80 kN ja momendi koormusaste 0,75 kNm. Kokku toimus 15 katset. Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katsest annab ülevaate joonis 3.16



**Joonis 3.16.** Mudelkiilvaial vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju rakendamine.

## 4. KATSETULEMUSED JA ANALÜÜS

### 4.1 Dünaamiline kandevõime mudelkiilvaial

Praktikas on täissuuruses kiilvaiade puhul enam kasutust leidnud oma usaldusväärsuse tõttu Gersenanovi valem, kus mõõdetakse vaia pinnasesse rammimisel vajum ühest löögist ja läbi selle arvutatakse proportsionaalsuspiir. Saadud kiilvaiamudeli dünaamilise koormuskatse vasted on ära toodud tabelis 4.1, kus on esitatud ka staatilisel koormuskatsel leitud mudelkiilvaia proportsionaalsuspiir.

Mudelkiilvaia kandevõime on leitud ka Gersevanovi valemit (valem 1, lk 10) kasutades. Saadud tulemusi on võrreldud staatilise koormuskatsete tulemustega. Antud valem annab kandevõime väärtuse tonnides, selleks, et see saada kilonjuutonites (kN), tuleb antud väärtust korrutada raskuskiirendusega  $g$ .

Näitena on ära toodud ühe mudelkiilvaia kandevõime leidmine esimeses peatükis toodud Gersevanovi valemiga, kasutades dünaamilisel koormuskatsel saadud andmeid.

Vaia ristlõike pindala oli  $636 \text{ cm}^2$ ; vasara kaal  $0,0075$  tonni; vaia kaal  $0,0072$  tonni; vaia vajum ühest löögist  $0,4 \text{ cm}$ ; vasara langemiskõrgus  $60 \text{ cm}$ ;  $\eta = 500 \text{ t/m}^2$ .

Gersevanovi valemiga leitud mudelkiilvaia kandevõime (proportsionaalsuspiir  $N_{pr}$ )

$$R_{c,m} = \frac{500 \times 636}{2} \times \left[ \sqrt{1 + \frac{4 \times 0,0075 \times 60}{500 \times 636 \times 0,4} \times \frac{0,0075 + 0,2 \times 0,0072}{0,0075 + 0,0072}} - 1 \right] \times 9,81 = 6,69 \text{ kN}$$

Võrdluseks, et mudelkiilvaiale staatilisest koormuskatsel leitud proportsionaalsuspiir ( $N_{pr}$ )  
 $= 6,22 \text{ kN}$

Katsetulemustest selgub, et Gersevanovi valem alahindab keskmiselt  $0,4 \text{ kN}$  kandevõimet võrreldes staatilisel koormuskatsel saadud tulemustest. Põhjuseid võib olla mitu, näiteks muutlikud pinnaseomadused ja mittedobilikud vaia ja vasara kaalu suhe. Kunagi on Gersevanov ise öelnud, et antud valemiga ei saagi leida piirkoormust ja sellega on leitav üksnes vaia proportsionaalsuspiir ( $N_{pr}$ ). Proportsionaalsuspiiri leidmine staatilise koormuskatse graafikutelt ei ole kõige täpsem viis selle leidmiseks ja siin mängib rolli

inimlik faktor vea tekkimisel. Staatilisest- ja dünaamilisest koormuskatsest leitud vaia kandevõimet iseloomustavad suurused on ära tabelis 4.1

**Tabel 4.1.** Mudelkiilvaia dünaamilise- ja staatilise koormuskatse proportsionaalsuspiiri ( $N_{pr}$ ) väärtused

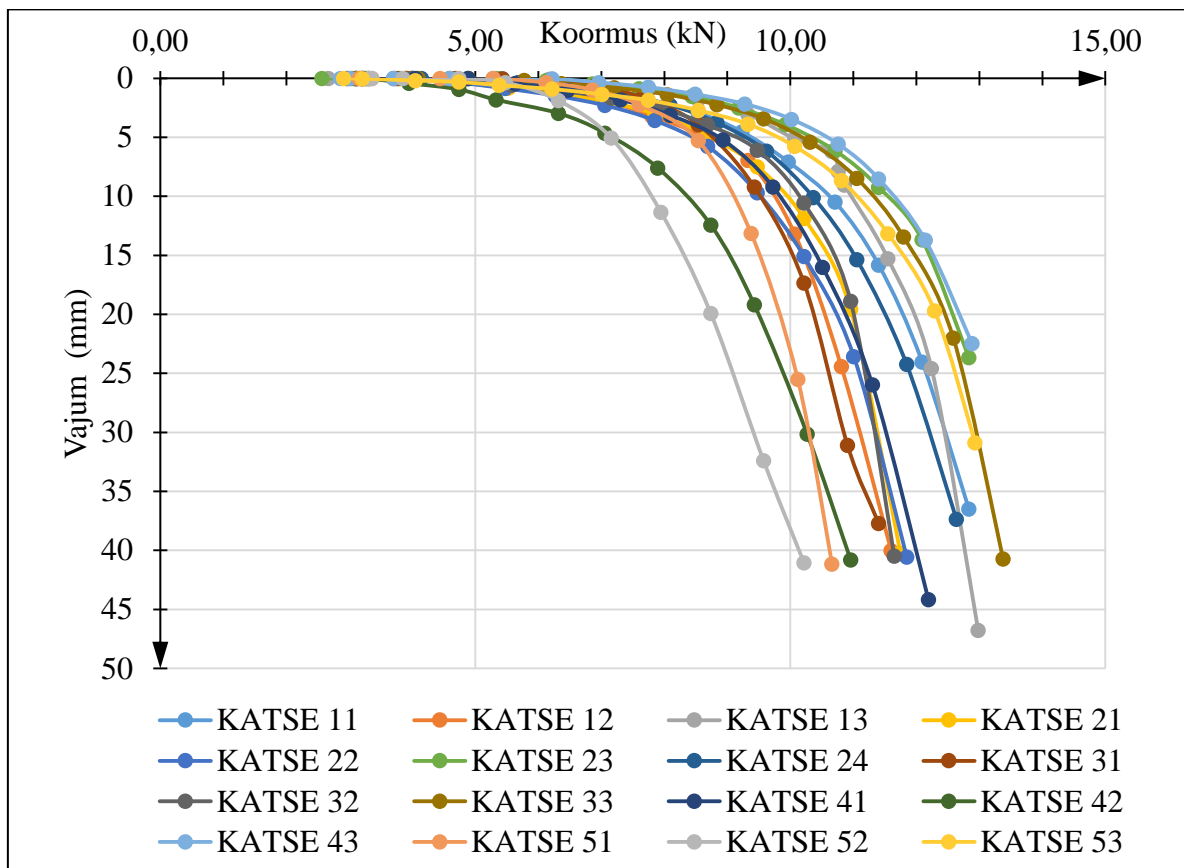
Katse number	Mudelkiilvaia vaste (cm)	Staatilise koormuskatse proportsionaalsuspiir ( $N_{pr}$ )	Dünaamilise koormuskatse proportsionaalsuspiir ( $N_{pr}$ )	Staatilise- ja dünaamilise koormuskatse erinevus (kN)
11	0,40	6,22	6,22	0,00
12	0,43	7,06	6,22	0,84
13	0,37	7,75	7,23	0,52
21	0,33	8,64	8,11	0,53
22	0,43	6,27	6,22	0,05
23	0,33	8,44	8,11	0,33
24	0,40	8,09	6,69	1,40
31	0,33	7,65	8,11	-0,46
32	0,37	7,95	7,23	0,72
33	0,33	8,84	8,11	0,73
41	0,40	6,47	6,69	-0,22
42	0,33	7,06	8,11	-1,05
43	0,37	7,75	7,23	0,52
51	0,40	6,86	6,69	0,17
52	0,37	6,32	7,23	-0,91
53	0,33	8,54	8,11	0,43

## 4.2 Staatiline kandevõime mudelkiilvaial

Tegevuskava kohaselt toimus peale dünaamilist katsetust staatiline koormuskatse. Staatilisi koormuskatseid tehti kokku 16 korda. Staatilise koormuskatsega määratakse mudelkiilvaia tegelik kandevõime tihendus liivas. Katsetulemused on ära toodud tabelite ja graafikutena katseprotokollides, mis on esitatud lisa 1 ja ka tabelis 4.1. Koormusastme kestvus oli 5 minutit, vajumi näidud fikseeriti katse alguses, 2 ja 5 minuti möödumisel. Katsetust hakati läbi viima, kui vai oli rammitud pinnasesse selliselt, et vaiapea ulatus pinnasest välja 4-5cm. Koormustena kasutati 15kg raskusi malmplaat, mis olid riputatud hüdrosilindri otsa, mis ise omakorda rippus kraana otsas. Üks malmplaat andis koormusastmeks keskmiselt 0,7 kN. Peale 5 min täitumist lisati uus koormusplaat ja kõik kordus sama moodi. Koormusastmeid

tehti kuni vaia vajumini 30 mm, mida loeti kandevõime piiriks. Kõigi staatiliste koormuskatsete vajumisgraafikud on toodud joonisel 4.1. Graafikult on näha esimene lineaarne tsoon, kus vajum jääb 3-4mm piiridesse ja vaia külgpinnad töötavad hõõrdele. Katsegraafikutelt joonistused välja iseloomulikud punktid nagu vaia külgede vastupanu ( $N_k$ ), proportsionaalsuspiir ( $N_{pr}$ ) ja vaia piirkandevõime ( $N_{piir}$ ). Esimeses lineaarses piirkonnas, koormuseni kuni 4,5kN ja siiretel kuni 4mm, toimus vaia siire lineaarselt koormuse kasvades. Selles piirkonnas toimis vaia külgede vastupanu ( $N_k$ ).

Teist lõiku, mis on iseloomult mittelineaarne, iseloomustab proportsionaalsuspiir. Selles piirkonnas vajumid ületasid 4mm. Proportsionaalsuspiir loetakse graafikult välja ja on seega isikupärase iseloomuga. Antud graafikult, kus kõik koormuskatsed on koos, on väga raske välja lugeda mudelkiilvaia proportsionaalsuspiiri, aga võimalik on seda teha lisas 1 toodud üksikkatsete graafikutelt. Võib väita, et mudelkiilvaia KV40/6T ja tihendatud liivpinnase puhul jääb  $N_{pr}$  siirete vahemiku 4-6mm. Minimaalne  $N_{pr}$  on 6,22 kN ja maksimaalne 8,84kN.

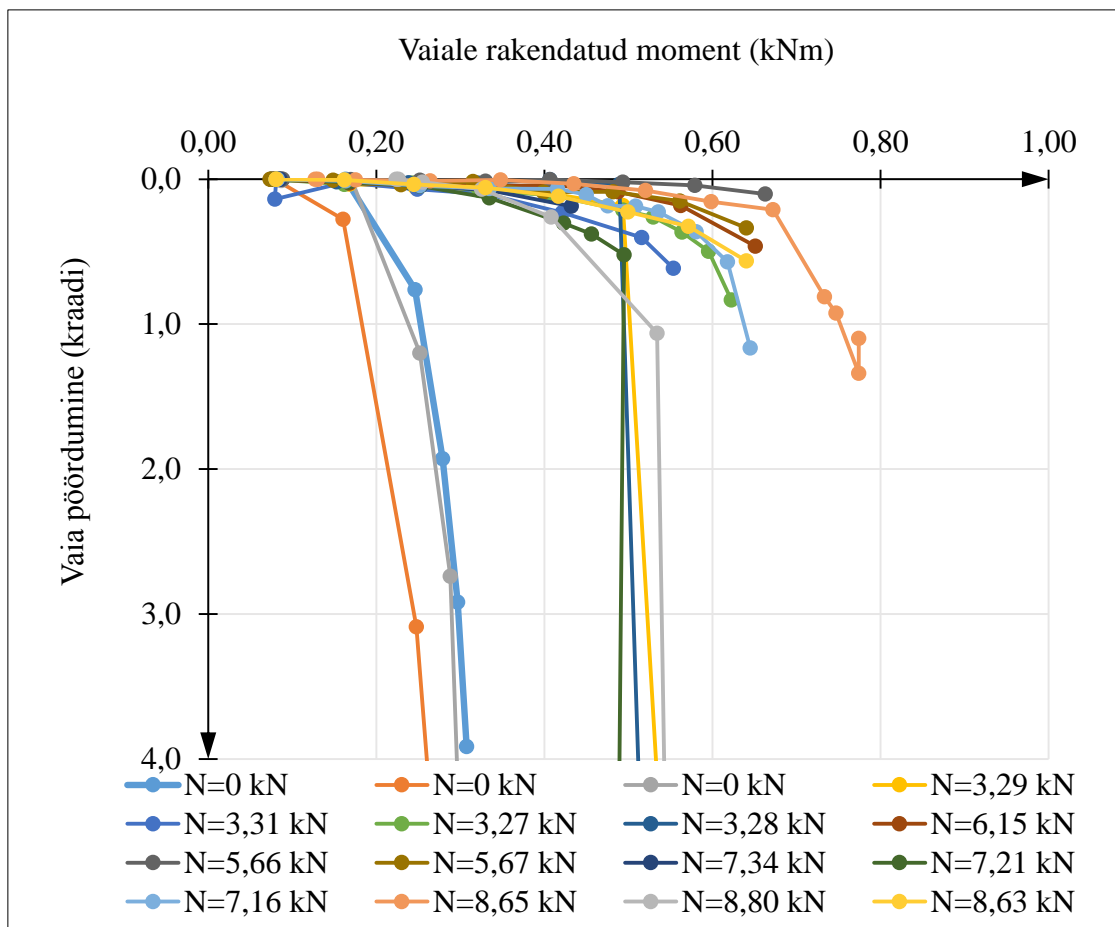


**Joonis 4.1.** Mudelkiilvaia KV40/6T staatiliste koormuskatsete graafikud tihedas liivpinnases.

Kolmandat piirkonda iseloomustab järsk langus. Selles piirkonnas toimub kandevõime kaotus, mida iseloomustab  $N_{\text{piir}}$ . Minimaalne  $N_{\text{piir}}$  on siirde 30mm juures 9,42kN ja maksimaalne 13,78kN.

### **4.3 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju mudelkiilvaial**

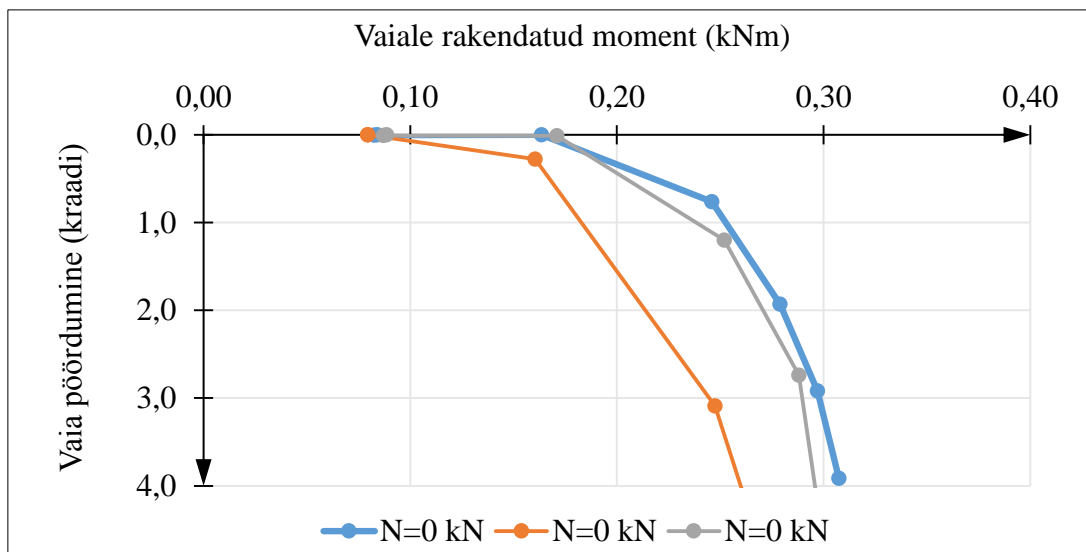
Peale staatilist koormuskatset vai suruti pinnasesse selliselt, et vaiapea oleks maapinnaga tasa. Mudelkiilvaia koormati edasi vertikaalkoormusega ja momendiga. Vertikaalkoormusastmed, mida püsivalt peal hoiti valiti 5 astet, minimaalselt selline, kus vertikaalkoormus puudus ja maksimaalselt selline, kus koormus oli maksimaalse vertikaalkandevõime lähedal. Kokku toimus 16 katset, kus minimaalne vertikaalkoormus oli 0kN ja maksimaalne 8,80kN. Iga koormusastmega tehti kolm katset, va teine koormuskatse, kus tehti neli katset. Katsetulemustest tehti graafikud ja andmed märgiti tabelitesse, mis on ära toodud lisas 1. Katsetulemuste põhjal on võimalik koostada erinevad graafikud. Kuna ehitiste puhul on määrava tähtsusega ka siire, mis ei saa väga suur olla, on esmalt väga oluline näitaja mudelkiilvaia pöördnurk, kuigi vaia kandevõime ammendumine võib toimuda oluliselt suurema siirde juures, kui lubatud siire. Lubatud siirdeks sai võetud vaia pöördumine 1 kraad. See siire sai oluliseks leidmaks vaia tinglik momendikandevõime, milleks oli väärtus koormusolukorra juures kuni üks kraad. Katseseeriat tähistab markeeringu esimene number. Esimene katseseeria sai läbi viidud vertikaalkoormustega 0 kN. Teisel katseseerial oli vertikaalkoormus keskmiselt 3,29kN, mis on vaia kandevõimest ca 27%. Kolmanda katseseeria vertikaaljõud oli keskmiselt 5,83kN, mis on vaia kandevõimest ca 50%. Neljas katseseeria viidi läbi vertikaalkoormusega keskmiselt 7,24kN, mis on kandevõimest ca 61% ja viienda katseseeria vertikaalkoormus oli ca 8,69kN, mis oli vaia kandevõimest ca 80%. Maksimaalsel vertikaalkoormusel ei olnud mõtet momendikatset läbi viia, kuna vai poleks koormust kandnud ja oleks lihtalt pinnasesse ära vajunud. Esmalt uuriti vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katsel vaia pöördnurga sõltuvust erinevatest koormustest. Sellest annab ülevaate joonis 4.2



**Joonis 4.2.** Mudelkiilvaia KV40/6T pöördnurga ja momendi vaheline sõltuvus erinevatel vertikaalkoormustega.

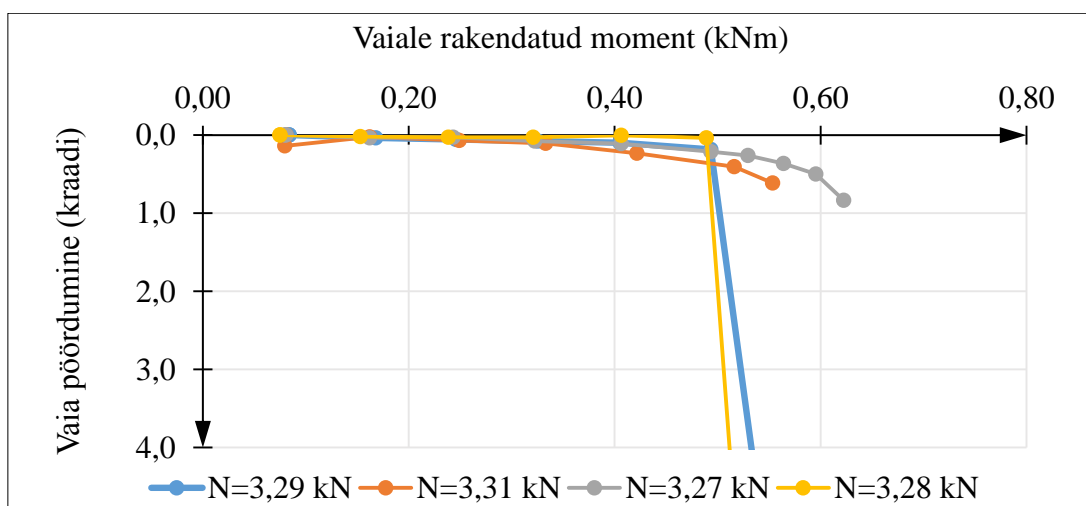
Üldgraafikult on raskesti välja loetav pöördnurga sõltuvus momendi ja vertikaalkoormuse koosmõjust, esitatakse need eraldi koormusastmete kaupa gruppidena.

Esimeses grupis on vertikaalkoormus  $N=0$  kN. Antud grupp on suhteliselt ühtlase iseloomuga. Katseseeria KATSE 12, mis on tähistatud graafikul oranziga on suurima dünaamilise koormuskatse vastega 0,4cm ja sealt tulenevalt on loogiline, et tema momendikandevõime on ka väikseim. Anomaaliaks on KATSE 11, graafikul tähistatud sinisega. Mudelkiilvaia tinglik moment, on antud grupis maksimaalne, samas dünaamilise koormuskatse vaste jälle keskmise väärtusega. KATSE 13 on oma näitajate poolest ootuspärane. Antud katsegrupi mudelkiilvaia tinglikuks momendikandevõimeks kujunes  $M_{keskmine}=0,19$  kNm. Katsegrupi graafik on ära toodud jooisel 4.3



**Joonis 4.3.** Mudelkiilvaia KV40/6T pöördnurga ja momendi vaheline sõltuvus esimesel koormusastmel  $N=0$  kN.

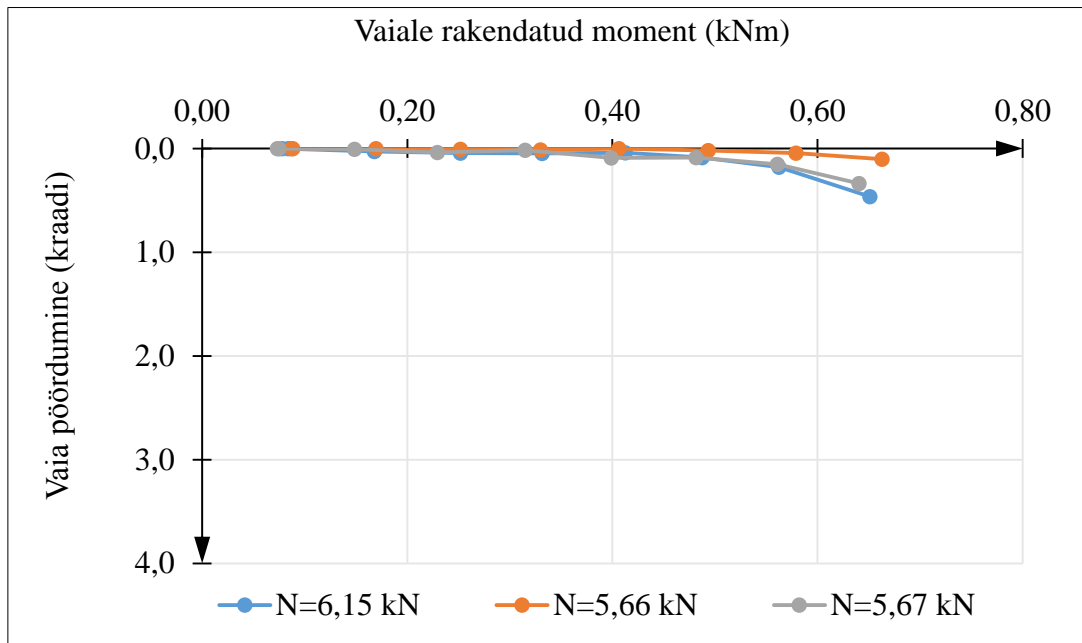
Teises katsegrupis on vertikaalkoormusel  $N_{\text{keskmine}}=3,29$  kN momendikandevõimed ja dünaamilisel koormuskatsel saadud vasted ootuspärased. Dünaamilisel koormuskatsel saadud vaia vasted ja momendi kandevõimed on omavahel loogilises seoses, et mida väiksem vaste, seda parem vaia kandevõime ja vastupidi. Antud katsegrupi mudelkiilvaia tinglikuks momendikandevõimeks kujunes  $M_{\text{keskmine}}=0,54$  kNm. Antud grupist annab ülevaate joonis 4.4



**Joonis 4.4.** Mudelkiilvaia KV40/6T pöördnurga ja momendi vaheline sõltuvus teisel koormusastmel  $N_{\text{keskmine}}=3,29$  kN.

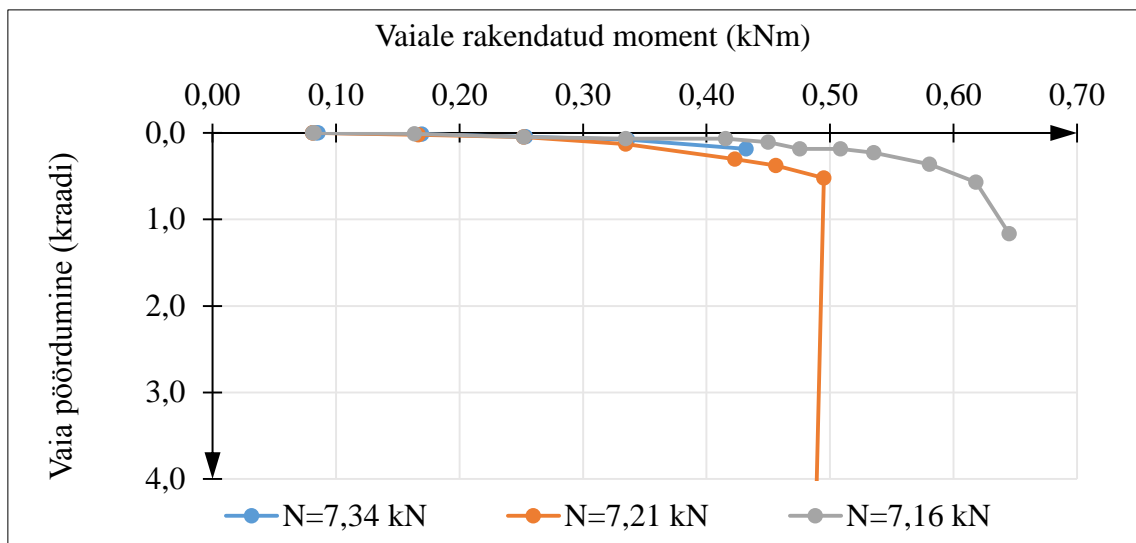


Kolmanda grupi tulemused on sama moodi loogilise ülesehitusega, et dünaamilisel koormuskatsel saadud mudelkiilvaia vasted ja mudelkiilvaia tinglikud momendikandevõimed on loogilises seoses, et mida väiksem vaia vaste, seda suurem vaia tinglik momendikandevõime. Antud katsegrupis viidi katsed läbi vertikaalkoormusel  $N_{\text{keskmine}}=5,83$  kN. Antud katsegrupi mudelkiilvaia tinglikuks momendikandevõimeks kujunes  $M_{\text{keskmine}}=0,65$  kNm. Ülevaate kolmandast koormuskatsegrupist annab joonis 4.5.



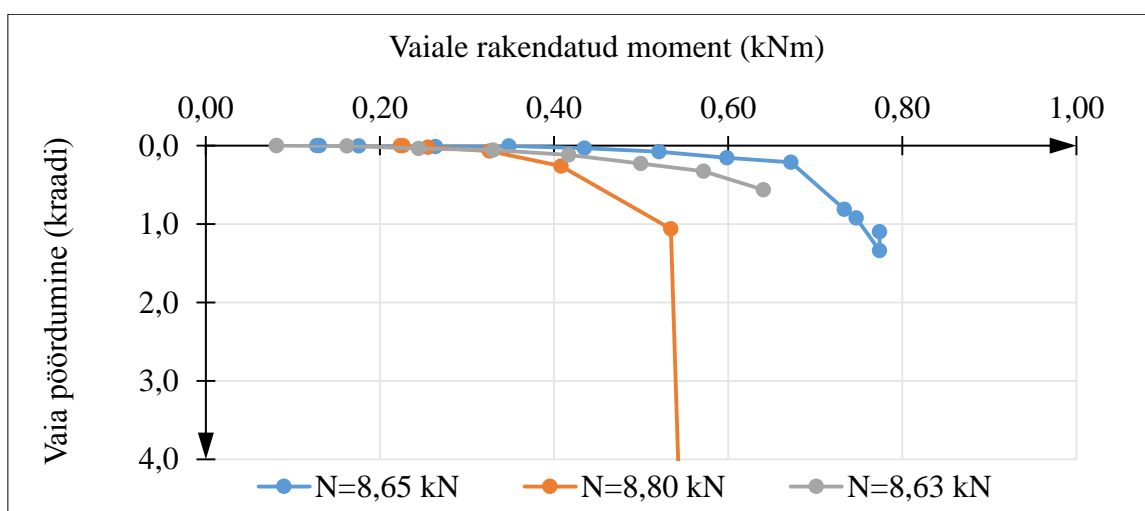
**Joonis 4.5.** Mudelkiilvaia KV40/6T pöördnurga ja momendi vaheline sõltuvus kolmandal koormusastmel  $N_{\text{keskmine}}=5,83$  kN.

Neljandas katsegrupis toimusid koormuskatsed vertikaalkoormuse  $N_{\text{keskmine}}=7,24$  kN juures. Selles katsegrupis esineb üks erisus. Katse 43 tulemused erinevad olulislt teise sama rühma katsetst, graafikul tähistatud halliga. Selle katse dünaamilise koormuskatse saadud vaste on keskpärane 0,37cm, aga tinglik vaia momendikandevõime on antud grupis maksimaalne 0,57kNm. Antud katsegrupi mudelkiilvaia tinglikuks momendikandevõimeks kujunes  $M_{\text{keskmine}}=0,52$  kNm. Ülevaate neljandast koormuskatsegrupist annab joonis 4.6



**Joonis 4.6.** Mudelkiilvaia KV40/6T pöördnurga ja momendi vaheline sõltuvus neljandal koormusastmel  $N_{keskmine}=7,24$  kN.

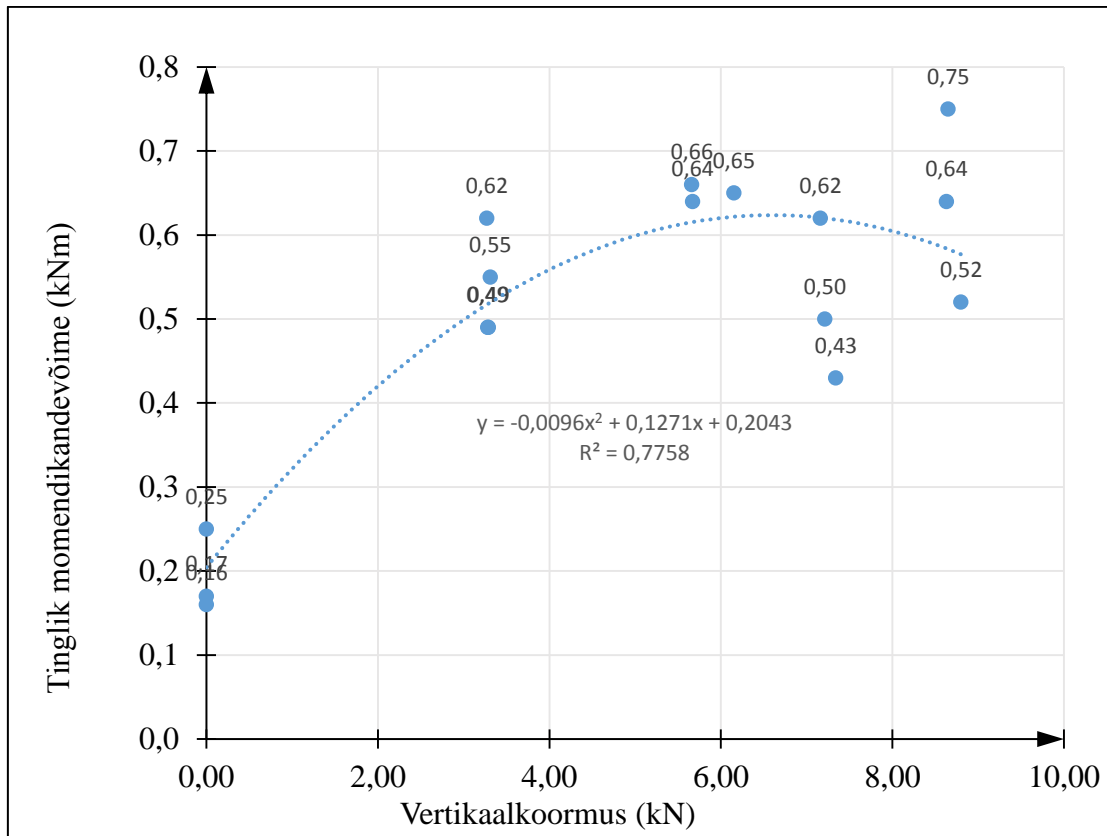
Viiendas katsegrupis toimusid koormuskatsed vertikaalkoormuse  $N_{keskmine}=8,69$  kN juures. Esineb erisus võrredes teiste sama grupi andmetega, selleks on katse nr 51, graafikul tähistatud sinisega. Selle katse dünaamilise koormuskatse saadud vaste on maksimaalse väärtusega 0,4cm, aga tinglik vaia momendikandevõime on antud grupis maksimaalne 0,75kNm. Antud katsegrupi mudelkiilvaia tinglikuks momendikandevõimeks kujunes  $M_{keskmine}=0,64$  kNm. Ülevaate viiendast koormuskatsegrupist annab joonis 4.7



**Joonis 4.7.** Mudelkiilvaia KV40/6T pöördnurga ja momendi vaheline sõltuvus viiendal koormusastmel  $N_{keskmine}=8,69$  kN.

Katsetulemustest saab teha järelduse, et mida suurem vertikaalkoormus mudelkiilvaial, seda järsemalt toimub kandevõime kaotus. Koormusolukorras, kus puudub vertikaaljõud, seal on olukord elastsem ja vai saab suure paigutise enne, kui toimub lõplik kandevõime kaotus.

Momendi kandevõime ja vertikaalkoormuse vahel valitseb huvitav seos, kus suurema vertikaalkoormuse juures momendi kandevõime ei vähene nii oluliselt, kui eeldatud on. Sellest annab ülevaate graafik 4.8



**Joonis 4.8.** Mudelkiilvaia KV40/6T vertikaalkoormuse ja tingliku momendikandevõime vaheline seos.

Katsete koondandmed on ära toodud tabelis 4.2. Katsetabelis tärniga märgitud katsed on kõrvalekalletega, kus momendikandevõime pole vastavuses dünaamilisel kandevõimel saadud vastega.

**Tabel 4.2.** Mudelkiilvaia vertikaalkoormuse ja momendikatsete koondandmed

Seeria nr	Katse nr	Vaia maksimaalne pöördenuk (kraadi)	Vaia pöördenuk tingliku momendikandevõime juures (kraadi)	Vertikaalkoormus vaial (kN)	Vaia tinglik momendikandevõime (kNm)	Staatiline kandevõime (kN)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Vert. koormuse protsent vertikaalkandevõimest (%)
1. katseseeria	KATSE 13	5,15	0,01	0,00	0,17	12,46	0,37	0,00
	KATSE 11*	3,91	0,76	0,00	0,25	12,44	0,40	0,00
	KATSE 12	3,09	0,28	0,00	0,16	11,09	0,43	0,00
	kesk- väärtused			0,00	0,19	12,00		0,00
2. katseseeria	KATSE 23	0,83	0,83	3,27	0,62	13,11	0,33	24,94
	KATSE 21	0,20	0,18	3,29	0,49	11,36	0,33	28,96
	KATSE 24	0,04	0,04	3,28	0,49	12,20	0,40	26,89
	KATSE 22	0,61	0,61	3,31	0,55	11,30	0,43	29,29
	kesk- väärtused			3,29	0,54	11,99		27,41
3. katseseeria	KATSE 31	0,46	0,46	6,15	0,65	10,82	0,33	56,84
	KATSE 33	0,35	0,34	5,67	0,64	12,96	0,33	43,75
	KATSE 32	0,11	0,10	5,66	0,66	11,31	0,37	50,04
	kesk- väärtused			5,83	0,65	11,70		49,81
4. katseseeria	KATSE 42	0,52	0,52	7,21	0,50	10,26	0,33	70,27
	KATSE 43*	1,16	0,57	7,16	0,62	13,78	0,37	51,96
	KATSE 41	0,19	0,19	7,34	0,43	11,50	0,40	63,83
	kesk- väärtused			7,24	0,52	11,85		61,09
5. katseseeria	KATSE 53	0,56	0,56	8,63	0,64	12,88	0,33	67,00
	KATSE 52	4,69	0,78	8,80	0,52	9,42	0,37	93,42
	KATSE 51*	1,34	0,92	8,65	0,75	10,31	0,40	83,90
	kesk- väärtused			8,69	0,64	10,87		79,98

\*Tähistatud katse andmetes esineb suuri kõrvalekaldeid.

Pinnase purunemispildid katsete viisi olid erinevad. Katsel, kus vertikaalkoormus puudus, olid pinnase purunemisjooned ühes suunas, risti vaia kahe nurgaga. Sellest annab ülevaate joonis 4.9.



**Joonis 4.9.** Pinnase deformatsioonid momendiga koormamisel, kus oli väike vertikaalkoormus.

Katsetel, kus oli vertikaalkoormus märgatavalt suurema osatähtsusega, seal vertikaalkoormuse mõjul mudelkiilvaia suruti pinnasesse, sellest tulenevalt toimus pinnase kandevõime kasv ja ka purunemispilt on teine, risti vaia nelja vaia nurgaga toimusid pinnase deformatsioonid. Sellest annab ülevaate joonis 4.10

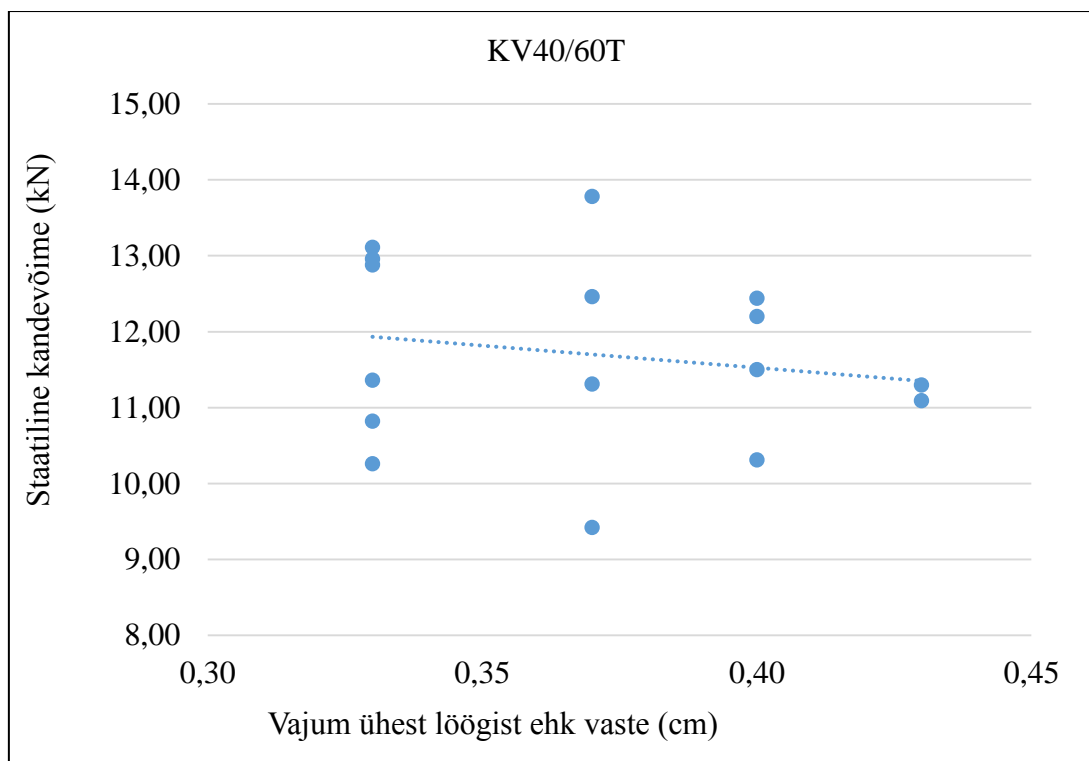


**Joonis 4.9.** Pinnase deformatsioonid momendiga koormamisel, kus vertikaalkoormus oli olulise tähtsusega.

## 5. ARUTELU

### 5.1 Staatiliste ja dünaamiliste koormuskatse analüüs

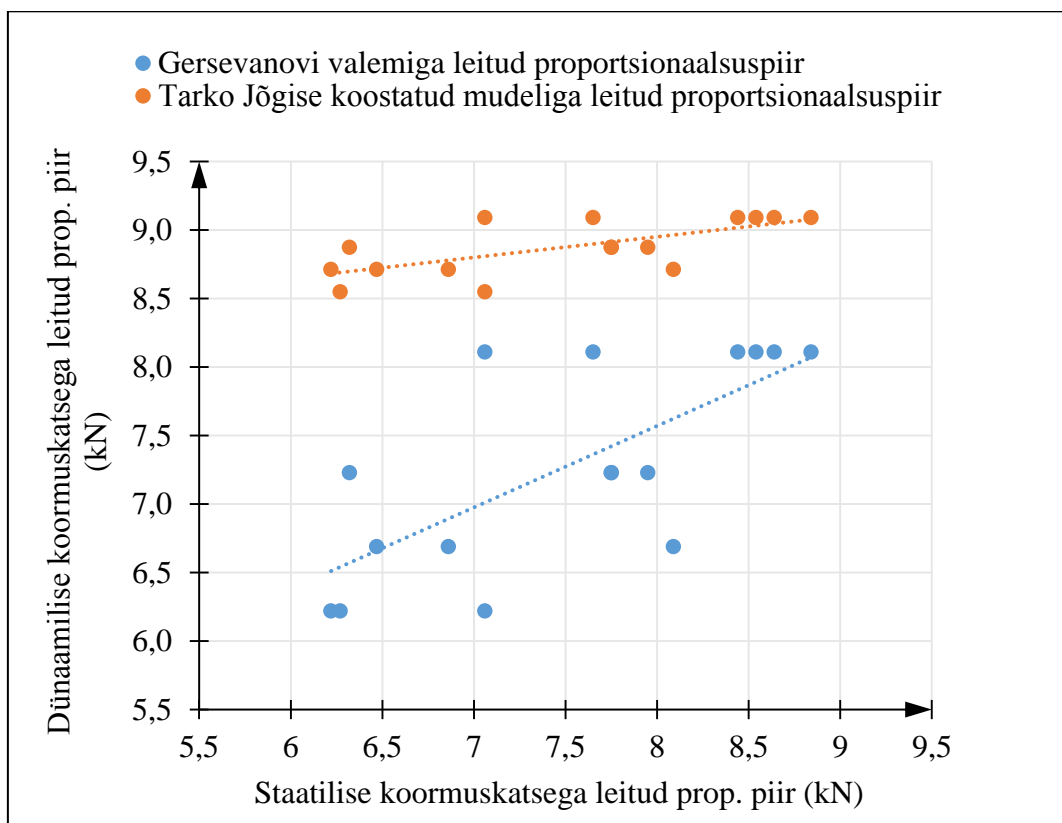
Võrreldi staatilise koormuskatsega saadud kandevõime ja dünaamilise koormuskatsega leitud mudelkiilvaia vastet. Analüüsiti seost kahe tunnuse vahel. Seost ei leitud. Seose võrdlus on antud joonisel 5.1



**Joonis 5.1.** Staatilise koormuskatsega leitud mudelkiilvaia KV40/60T kandevõime ja dünaamilise koormuskatsega saadud vaste seosed.

Graafiku vasakul serval on ära toodud väiksema vastega katsed, kus eeldatavalt peavad paiknema suurema staatilise koormuskatse kandevõime näitajad. Varasemates uurimistöodes pole seda seda seost uuritud. Küll aga on uuritud 2017. a Tarko Jõgis oma magistritöös dünaamilise koormuskatsega leitud vaia vaste ja staatilise koormuskatsega saadud proportsionaalsuupiiri vahelist seost mudelkiilvaial ja ka sealt nähtub, et seos puudub. Joonisel 5.2 võrreldakse staatilise koormuskatse tulemusi dünaamilise koormuskatse tulemustega. Dünaamilise katsega kandevõime hindamiseks kasutame Tarko Jõgise arvutusmudelit ja Gersevanovi arvutusvalemit. Dünaamilise kandevõime leidmiseks kasutame uurimistöös tehtud rammimisandmete vasteid. Tarko valemiga leitud tulemused

on kujutatud joonisel oranži tähisega, Gersevanovi valemiga leitud kandevõimed sinise tähisega. Tulemusi analüüdises saame väita, et Tarko mudel ülehindab kandevõimet proportsionaalsus piiril, ainult mõned punktid lähevad kokku staatilise kandevõime graafikult leitud proportsionaalsuspiiriga. Gersevanovi valemiga saadud tulemused on suurema hajuvusega, kuid iseloomustavad paremini tegelikku olukorda.



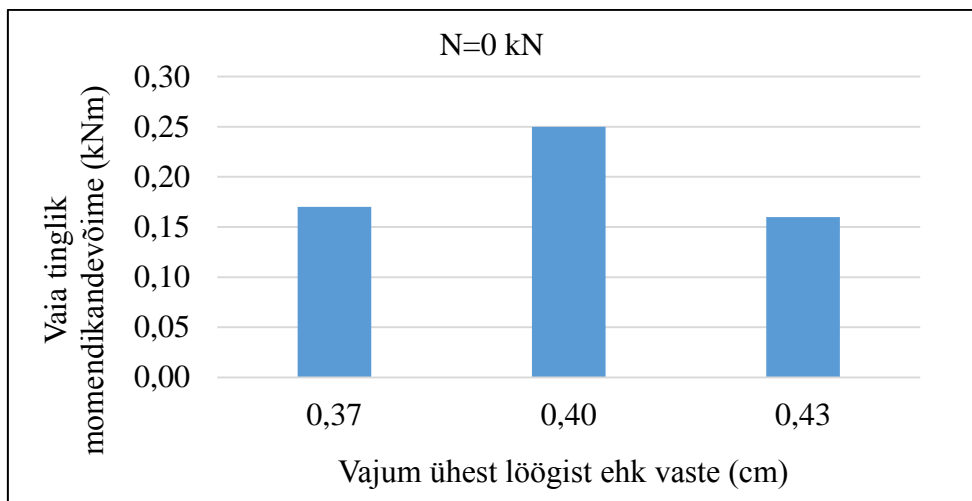
**Joonis 5.2.** Staatilise koormuskatsega leitud mudelkiilvaia KV40/60T proportsionaalsuspiir ja dünaamilise koormuskatsest arvatud proportsionaalsuspiir.

## 5.2 Vaste ja momendikandevõime vahelise seose analüüs

Järgmiseks uuriti seost dünaamilise koormuskatsega saadud mudelkiilvaia vaste ja tingliku momendikandevõime vahel koormusgrupil. Selleks vaatleme igat koormusgruppi eraldi.

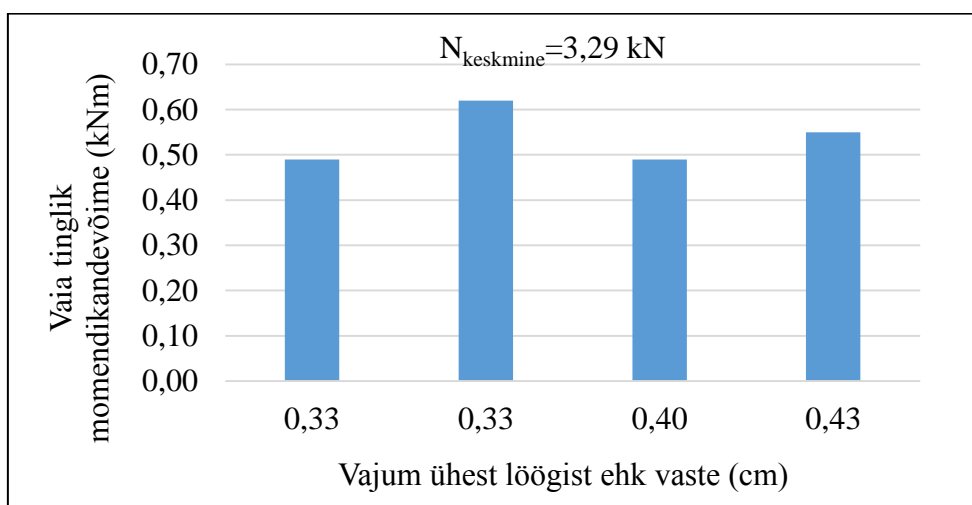
Esmalt oli vaatluse all koormusgrupp, kus puudus vertikaalkoormus,  $N=0$  kN.

Kahe viimase vaste vahel on seos, aga esimene, mis peaks olema parima momendikandevõimega, pole seda. Seda näitab joonis 5.3



**Joonis 5.3.** Mudelkiilvaia KV40/6T dünaamilises koormuskatses saadud vaste ja tingliku momendikandevõime vaheline sõltuvus koormusastmel  $N=0$  kN.

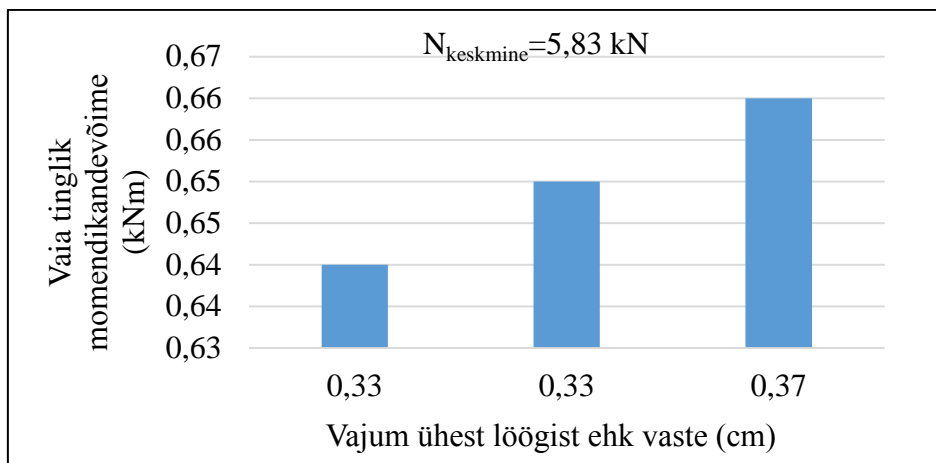
Teises koormusgrupis on vertikaalkoormus keskmiselt  $N_{keskmine}=3,29$  kN. Selles grupis puudub seos dünaamilise koormuskatse vaste ja mudelkiilvaia tingliku momendikandevõime vahel. Ülevaate sellest annab joonis 5.4



**Joonis 5.4.** Mudelkiilvaia KV40/6T dünaamilises koormuskatses saadud vaste ja tingliku momendikandevõime vaheline sõltuvus koormusastmel  $N_{keskmine}=3,29$  kN.

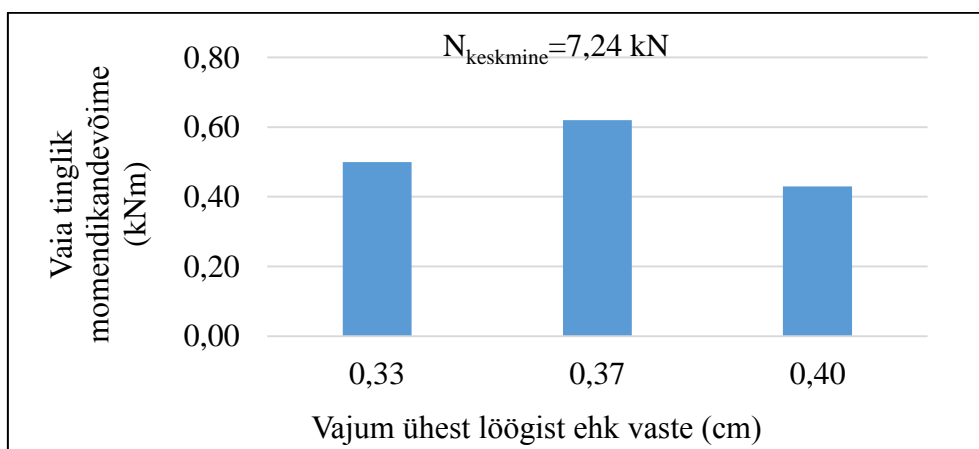
Kolmandas koormusgrupis on vertikaalkoormus keskmiselt  $N_{keskmine}=5,83$  kN. Selles grupis puudub seos dünaamilise koormuskatse vaste ja mudelkiilvaia tingliku momendikandevõime vahel. Ülevaate sellest annab joonis 5.5 Tinglik momendikandevõime vastupidises seoses eeldatuga.





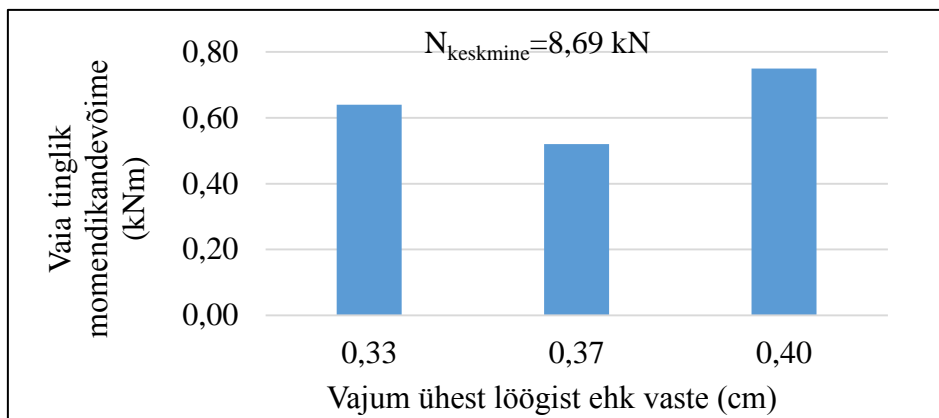
**Joonis 5.5.** Mudelkiilvaia KV40/6T dünaamilises koormuskatses saadud vaste ja tingliku momendikandevõime vaheline sõltuvus koormusastmel  $N_{\text{keskmine}}=5,83$  kN.

Neljandas koormusgrupis on vertikaalkoormus keskmiselt  $N_{\text{keskmine}}=7,24$  kN. Selles grupis on väike seos olemas dünaamilise koormuskatse vaste ja mudelkiilvaia tingliku momendikandevõime vahel. Ülevaate sellest annab joonis 5.6 Keskpärase tulemusega vaste on maksimaalse tingliku vaia momendikandevõimega.



**Joonis 5.6.** Mudelkiilvaia KV40/6T dünaamilises koormuskatses saadud vaste ja tingliku momendikandevõime vaheline sõltuvus koormusastmel  $N_{\text{keskmine}}=7,24$  kN.

Viiendas koormusgrupis on vertikaalkoormus keskmiselt  $N_{\text{keskmine}}=8,69$  kN. Selles grupis on väike seos olemas dünaamilise koormuskatse vaste ja mudelkiilvaia tingliku momendikandevõime vahel. Ülevaate sellest annab joonis 5.7 Eelduse, et mida väiksem vaste, seda suurem momendi kandevõime, kehtib kahe esimese katse korral, kolmandast katsest saab teha vastupidise järelduse.



**Joonis 5.7.** Mudelkiilvaia KV40/6T dünaamilises koormuskatses saadud vaste ja tingliku momendikandevõime vaheline sõltuvus koormusastmel  $N_{\text{keskmine}}=8,69$  kN.

Järgnevalt võrdleme katsetulmusi Norde Centrumis uurimistöös kasutatud arvutusmodeliga. Andmed on ära toodud tabelis 5.1

**Tabel 5.1** Mudelkiilvaia vertikaalkoormuse ja momendikatsete andmed.

Vertikaal-koormus vaial (kN)	Katses leitud momendi kandevõime (kNm)	Momendi kandevõime arvutusmodeli järgi (kNm)	Vert. koormuse protsent vertikaalkandevõimest (%)
0,00	0,17	0,25	0,00
0,00	0,25	0,25	0,00
0,00	0,16	0,22	0,00
3,27	0,62	0,50	24,94
3,29	0,49	0,48	28,96
3,28	0,49	0,49	26,89
3,31	0,55	0,48	29,29
6,15	0,65	0,53	56,84
5,67	0,64	0,64	43,75
5,66	0,66	0,57	50,04
7,21	0,50	0,43	70,27
7,16	0,62	0,69	51,96
7,34	0,43	0,53	63,83
8,63	0,64	0,57	67,00
8,80	0,52	0,12	93,42
8,65	0,75	0,28	83,90

Norde Centrum vaialuse uurimistööde aruandes on toodud valem momendikandevõime leidmiseks. [16]

$$M_{Rd} = \begin{cases} \frac{L_v \times R_{cd}}{20} \text{ kui } \frac{N_{Ed}}{R_{cd}} \leq 0,103 \\ \frac{L_v}{2} \times \frac{N_{Ed}}{R_{cd}} \times (R_{cd} - N_{Ed}) + \gamma_m \times \frac{L_v \times R_{cd}}{20} \text{ kui } 0,103 \leq \frac{N_{Ed}}{R_{cd}} \leq 0,5, \\ \frac{L_v}{2} \times \frac{N_{Ed}}{R_{cd}} \times (R_{cd} - N_{Ed}) \text{ kui } 0,5 \leq \frac{N_{Ed}}{R_{cd}} \end{cases} \quad (3)$$

kus:  $M_{Rd}$  - vaia arvutuslik momendikandevõime kNm;

$N_{Ed}$  - vaiale mõjuv arvutuslik koormus kN;

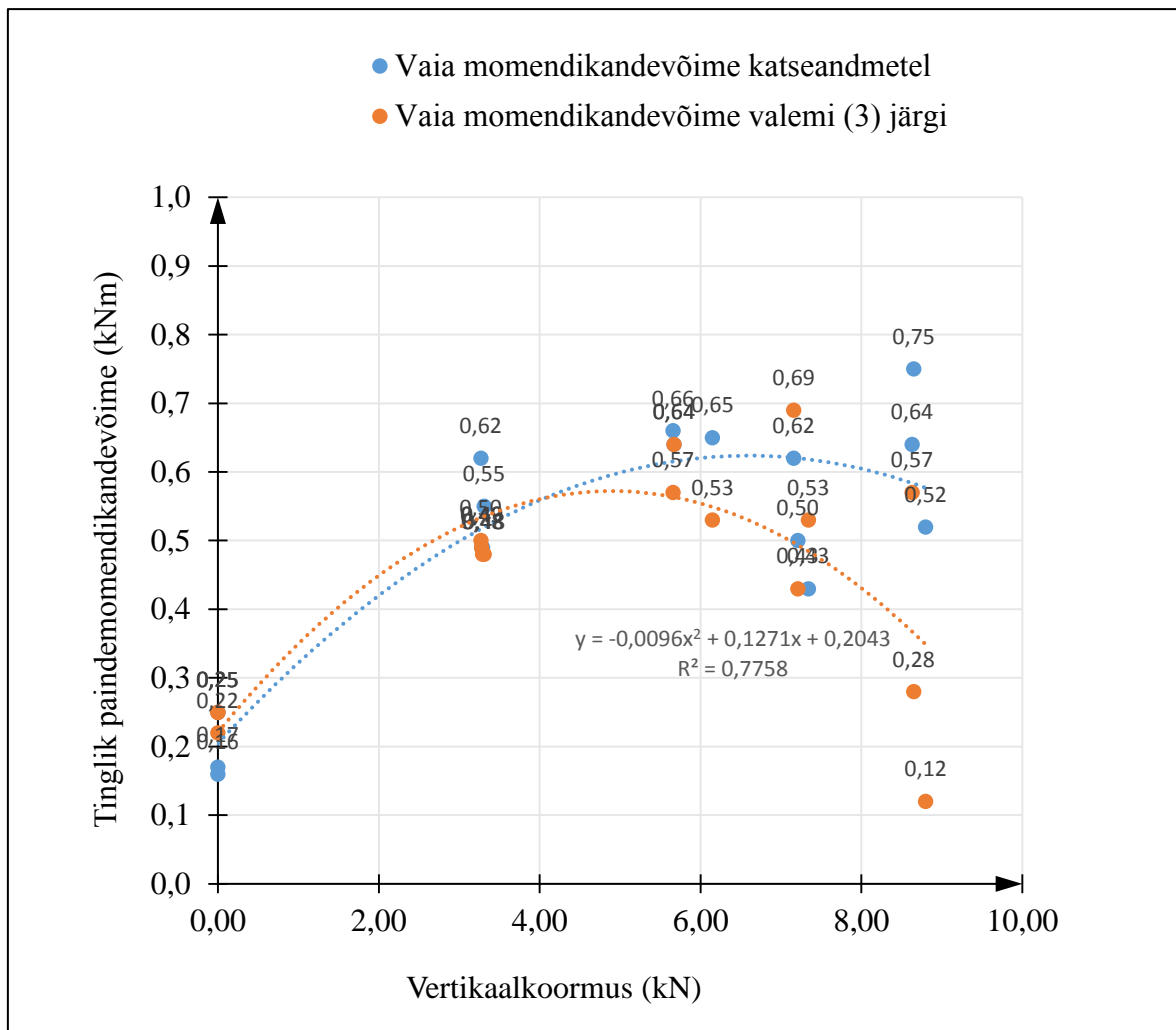
$R_{cd}$  - vaia arvutuslik verikaalkandevõime kN;

$L_v$  - kiilvaia pikkus m;

$\gamma_m$  - kaalumistegur, mis leitakse allpool toodud valemiga.

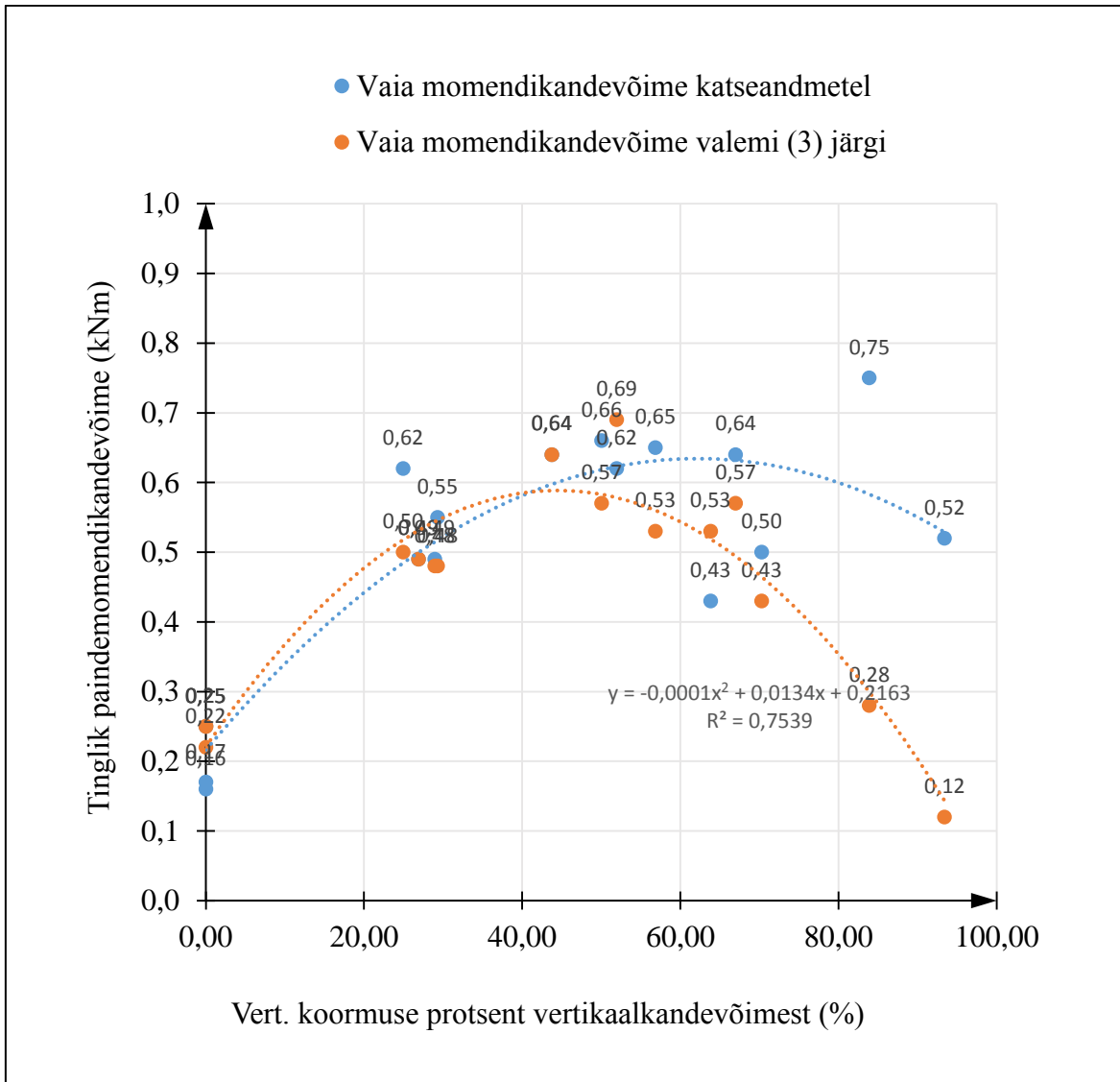
$$\gamma_m = 0,2 \times \left( 0,5 - \frac{N_{Ed}}{R_{c.d}} \right). \quad (4)$$

Arvutusmudeli abil leitud momendikandevõime näitajad on toodud eespool tabelis 5.1. Antud tabeli näitajate järgi on tehtud graafik, mida iseloomustab joonis 5.8. Graafikut uurides võib järeldada, et seni praktikas kasutusel olev momendikandevõime leidmise valem ülehindab kandevõimet, osas, kus koormus on väike ja alahindab kandevõimet, kus vertikaalkoormus on suurema osatähtsusega. Vaadates graafikul katsepunktide hajusust, siis tuleb esile, et piirkonnas, kus vertikaalkoormus on üle proportsionaalsuspiiri on katsepunktid hajusamad. Proportsionaalsuspiiri ületades on pinnas ettearvamatu käitumisega.



**Joonis 5.8.** Mudelkiilvaia KV40/6T vertikaalkoormuse ja tingliku momendikandevõime ning vertikaalkoormuse ja arvutusmodeli järgi leitud momendikandevõime vaheline sõltuvus.

Tehes aga uue graafiku, kus vertikaalkoormus on asendatud pinnase kandevõimele hinnangu andmiseks protsendiga, mis iseloomustab kasutatud koormuse suurust piirkandevõimest. Piirkandevõime on staatilise koormuskatsega leitud pinnase tegelik kandevõime. Sellisel juhul on koormuspunktide hajusus väiksem. Ülevaate sellest olukorrast annab joonis 5.9



**Joonis 5.9.** Mudelkiilvaia KV40/6T vertikaalkoormuse protsent vertikaalkandevõimest ja tingliku momendikandevõime ning vertikaalkoormuse protsent vertikaalkandevõimest ja arvutusmodeli järgi leitud momendikandevõime vaheline sõltuvus.

## KOKKUVÕTE

Kiilvaiadega pole varem läbi viidud katsetusi, kus oleks uuritud vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju. Antud töös valiti katseline lähenemine, kus uuriti Maaülikooli ehituskonstruksioonide labori liivakastis mudelkiilvaia käitumist vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul. Kiilvaia uuringute aluseks on staatiline ja dünaamiline koormuskatse, tehti ka need. Katsetes kasutati ühte ja sama mudelkiilvaia KV40/6T, mis on praktikas kasutatust leidnud 2m kiilvaia viiekordne vähendatud mudel. Enne katseseeria algust pinnasekasti liiv kaevati eelnevalt läbi ja tihendati kihtide kaupa. Iga koormusastmega tehti kolm katset. Katsetulemused mõõdeti, märgiti katseprotokollis, tehti iseloomulikke graafikuid, analüüsiti tulemusi ja anti hinnangud.

Põhieesmärk oli uurida mudelkiilvaia käitumist vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul, selgitada välja, et kas vertikaalkoormuse lisamine mõjutab momendikandevõimet ja mis piirides see toimub. Kõrval eesmärgiks oli uurida mudelkiilvaia dünaamilisel koormuskatsel saadud vasteid, staatilisel koormuskatsel leitud mudelkiilvaia tegelikku kandevõimet ja antud andmete võimalikku sidusust. Uuriti ka seost, kas dünaamilisel koormuskatsel saadud vaia vasteid on võimalik siduda momendi kandevõimega.

Katsetulemusetaga saime osadele eeldustele kinnitust ja osa saime ümber lükata. Kiilvaimudeli momendikandevõime suurenes, kui suurendati vertikaalkoormust ja jäi suuremaks suurematel koormusastmetel. Samas koormusastmel, kus vertikaalkoormus puudus, osutus tegelik kandevõime väiksemaks eeldatud kandevõimest. Mudelkiilvaia momendikandevõime oli maksimaalne, kui rakendatav vertikaalkoormus oli ca 50% staatilise koormuskatsega leitud kandevõimest. Oluliseks ülesandeks oli välja selgitada momendi graafiku kuju erinevatel vertikaalkoormusastmetel. Selleks kujunes teise astme polünoom. Töös leiti, et 2001. aastal Norde Centrum uurimustöös välja pakutud kiilvaia momendikandevõime leidmise valem on suuresti sobilik ka mudelkiilvaiade puhul. Katsetulemustest selgus, et väiksemate vertikaalkoormusastmete juures oli momendikandevõime kaotus elastsema iseloomuga, samas suurematel vertikaalkoormusastmete juures toimus kandevõime kaotuse kiirema iseloomuga. See oli näha ka pinnase purunemispiltidelt.

Täissuuruses kiilvaiadel on oluline näitaja dünaamilises koormuskatses leitud vaia vaste, siis oli üheks kõrval eesmärgiks selgitada, kas mudelkiilvaiadel on võimalik siduda dünaamilisel koormusastmel leitud vaia vaste staatilisel koormuskatsel saadud mudelkiilvaia tegeliku kandevõimega ning momendikandevõimega erinevatel vertikaalkoormusastmetel. Andmete analüüs näitas, et mudelkiilvaia puhul need seosed puuduvad.

Antud tööst saab kiilvaia kasutaja praktikasse võtta olulisi tugipunkte. Väga suure tähtsusega on hinnang Norde Centrum uurimustöös leitud vaia momendikandevõime valemile.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Vares, E., juh. doktor. Mets, M. (2015). *Kiilvaimudelite kandevõime liivas ja süvistamisel toimuvad pinnasemuutused*. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž. Säätva tehnoloogia õppetool.
2. Needo, R., juh. prof. Kaevats, Ü. (2008). *Kiilvaivundamendid – mis oli, on ja mis võiks olla*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Humanitaar- ja Sotsiaalteaduste Instituut, Filosoofia õppetool.
3. Needo, A., Mets, M., Kärk, J., Kuddu, A.-A. (1991). *Kiilvaivundamendid. Ehitusgeoloogia kogumik, V. T: Masso, T., K: Soonurm, E., Vilo, A. Tallinn: „Valgus“. lk. 138-145.*
4. Таммемяе, О. / Tammemäe, O., Листра, Э. / Listra, E., Кильдер, П. / Kilder, P., Тальвисте, П. / Talviste, P., Нийн, А. / Niin, A. Нийн / A.Niin. (1987). *Инженерно геологический отчёт. Рекомендации по оценке инженерно-геологических свойств слабых разновидностей морен для целей строительства на примере Эстонской ССР (слабые моренные грунты)*. Работа № 4266X/4456X. Таллин: Государственный институт инженерных изысканий.
5. Needo, A., Väli, T., Needo, E., Jaaniso, V., Kuddu, A., Mets, M., Kark, J. (1986). *Kiilvaivundamendite arvutamise, projekteerimise ja ehituse instruksioon, VEN 57-86*. Tallinn: ENSV Ministrite Nõukogu Riiklik Ehituskomitee.
6. Kiilvaivundamendid. AS Kurmik <http://www.kurmik.ee/page2.html#header2-16> (04.03.2020)
7. Tammemäe, O., Listra, E., Väli, T., Ong, H. (1991). *Kiilvaiade kandevõime. Ehitusgeoloogia kogumik, V. T: Masso, T., K: Soonurm, E., Vilo, A. Tallinn: „Valgus“, lk 146-156.*
8. Бахолдин, Б.В., Ильичев, В.А., Сорочан, Е.А., Багдасаров, Ю.А., Мамонов, В.М., Мариупольский, Л.Г., Федоровский, В.Г., Эжимян, Н.Б., Джантимиров, Х.А., Трофименков, Ю.Г., Шаевич, В.М., Лешин, Г.М., Ханин, Р.Е., Глотов, Н.М., Тюленев, Е.А., Школьников, И.Е. (1987). СНИП 2.02.03-85. Свайные фундаменты.
9. Killar, E., Mets, M., Vares, J. (1977). *Vaia kandevõime määramise võimalustest rammimisandmeil. - Ehitusgeoloogia kogumik IV. /Toim. Olli, V., Vilo, A., Masso, T. Tallinn. „Valgus“. Lk 176-182.*
10. *Geotehniline projekteerimine, EVS-EN 1997-1:2006. Eurokoodeks 7, osa 1: Üldeeskirjad*. K: Jaaniso, V. Tallinna Tehnikaülikool, Ehitiste Projekteerimise Instituut, Eesti Standardikeskus. 2006.
11. *Ehituskonstruktori käsiraamat. 9.6.2. Üksikvaia kandevõime*. K: Rohusaar, J., Mägi, R., Masso, T., Talvik, I., Jaaniso, V., Otsmaa, V., Voltri, V., Loorits, K., Peipmann, T., Pukk, O., Õiger, K., Just, E., Just, A., Hartšuk, V. Tallinn: „Ehitame“. 2014. lk 242-243.
12. Kaadra, V. *Kiilvaiade horisontaalkandevõime uurimine Nursi katsepolügonil*. Geoloogilise uurimustöö aruanne. Tartu. 1987.
13. Vares, E., juh. doktor. Mets, M. (2015). *Kiilvaialuse kandevõime kujunemine ja käitumishinnang*. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž. Säätva tehnoloogia õppetool.
14. Linde, M., juh. lektor. Leppik, V. (2017). *Kiilvaiade Horisontaalkandevõime uurimine*. Magistritöö. Eesti Maaülikool. Metsandus- ja maehitusinstituut.
15. Jõgis, T., juh. lektor. Leppik, V. (2017). *Vertikaal- ja horisontaalkoormuse koosmõju uurimine mudelkiilvaia katsetes.* Magistritöö. Eesti Maaülikool. Metsandus- ja maehitusinstituut.



16. Needo, A. *Norde Centrum, Lootsi tn. 5/7, Vaialuse uurimistöõde aruanne. AS Kurmik, 2001.*

**LISAD**

**Lisa 1. Katseprotokollid****KATSE 11****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

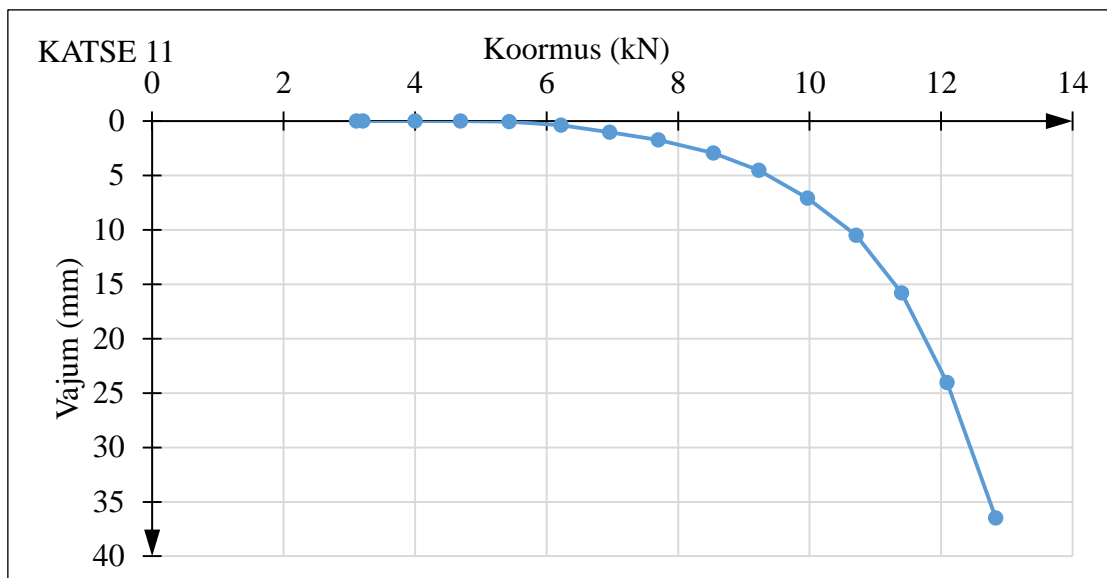
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kande- võime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,2	0,4	6,22

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,11	110,37	0
	2	3,16	110,37	0
	5	3,21	110,37	0
2	0	3,85	110,37	0
	2	3,90	110,37	0
	5	4,00	110,37	0
3	0	4,10	110,37	0
	2	4,59	110,37	0
	5	4,69	110,37	0
4	0	5,28	110,37	0
	2	5,38	110,34	0,03
	5	5,43	110,32	0,05
5	0	5,43	110,31	0,06
	2	6,07	110,08	0,29
	5	6,22	109,98	0,39
6	0	6,81	109,55	0,82

	2	6,96	109,36	1,01
	5	6,96	109,33	1,04
7	0	7,26	109,24	1,13
	2	7,65	108,8	1,57
	5	7,70	108,65	1,72
8	0	8,14	108,48	1,89
	2	8,44	107,71	2,66
	5	8,54	107,44	2,93
9	0	8,84	107,28	3,09
	2	9,18	106,19	4,18
	5	9,23	105,84	4,53
10	0	9,67	105,51	4,86
	2	9,92	103,93	6,44
	5	9,97	103,28	7,09
11	0	10,46	102,8	7,57
	2	10,66	100,88	9,49
	5	10,71	99,88	10,49
12	0	11,11	99,17	11,2
	2	11,30	96,69	13,68
	5	11,40	94,56	15,81
13	0	11,85	93,51	16,86
	2	11,99	89,2	21,17
	5	12,09	86,34	24,03
14	0	12,54	85,2	25,17
	2	12,59	80	30,37
	5	12,83	73,87	36,5



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$   kN

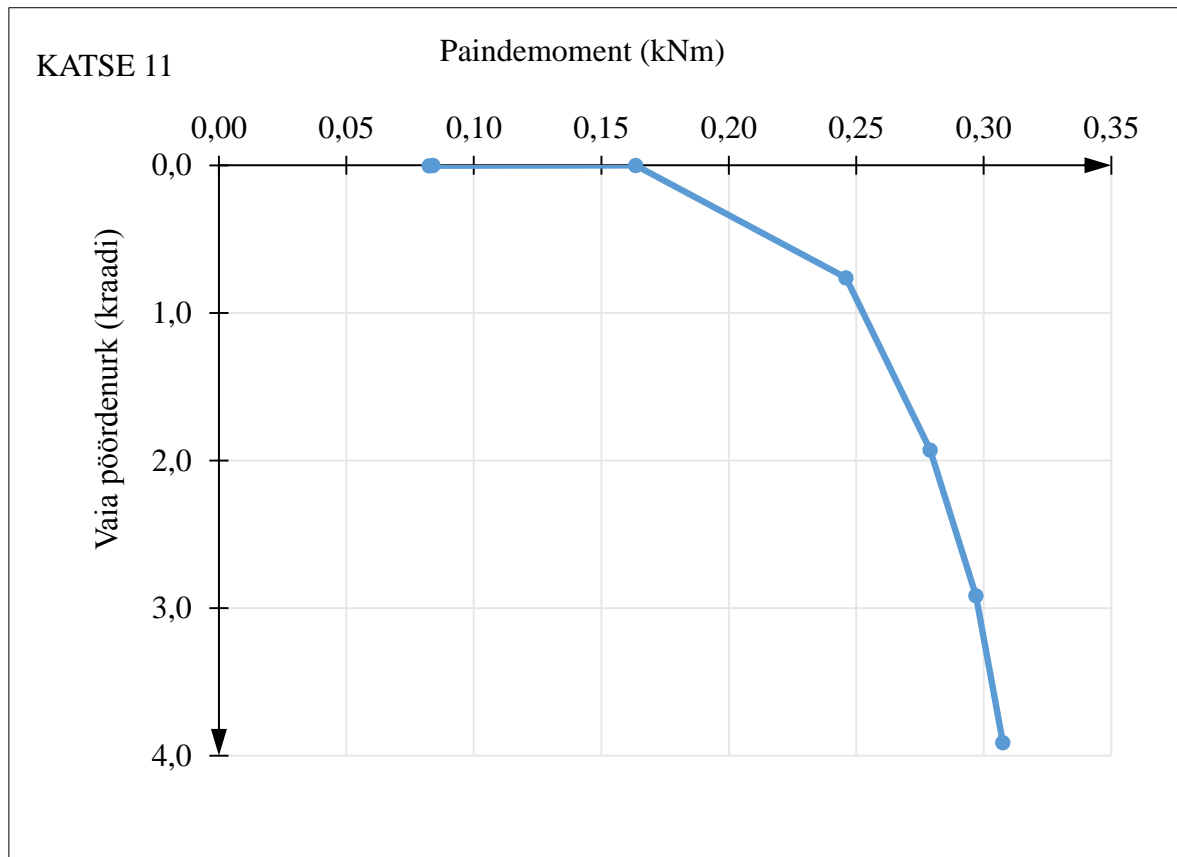
### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus  kN

**Tabel 3.1** Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused

Järjekorranr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	72,32	0	79,26	0	37,91	0	0,00
	2	0,08	72,34	-0,02	79,27	0,01	37,91	0	0,00
	5	0,08	72,34	-0,02	79,27	0,01	37,91	0	0,00
2	0	0,17	72,76	-0,44	79,68	0,42	38,42	0,51	0,02
	2	0,17	72,76	-0,44	79,76	0,5	38,42	0,51	0,00
	5	0,16	72,76	-0,44	79,78	0,52	38,43	0,52	0,00
3	0	0,25	73,81	-1,49	83,06	3,8	44,99	7,08	0,75
	2	0,25	73,83	-1,51	83,27	4,01	45,3	7,39	0,77
	5	0,25	73,83	-1,51	83,32	4,06	45,3	7,39	0,76

4	0	0,28	74,49	-2,17	87,9	8,64	54,75	16,84	1,88
	2	0,28	74,49	-2,17	88,34	9,08	55,35	17,44	1,92
	5	0,28	74,49	-2,17	88,47	9,21	55,54	17,63	1,93
5	0	0,30	74,56	-2,24	92,79	13,53	64,03	26,12	2,88
	2	0,30	74,56	-2,24	93,3	14,04	64,74	26,83	2,93
	5	0,30	74,58	-2,26	93,43	14,17	64,82	26,91	2,92
6	0	0,31	74,58	-2,26	97,53	18,27	72,99	35,08	3,85
	2	0,31	74,58	-2,26	97,89	18,63	73,52	35,61	3,89
	5	0,31	54,58	17,74	98,03	18,77	73,78	35,87	3,91



Joonis 3.1 Paindemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 12****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

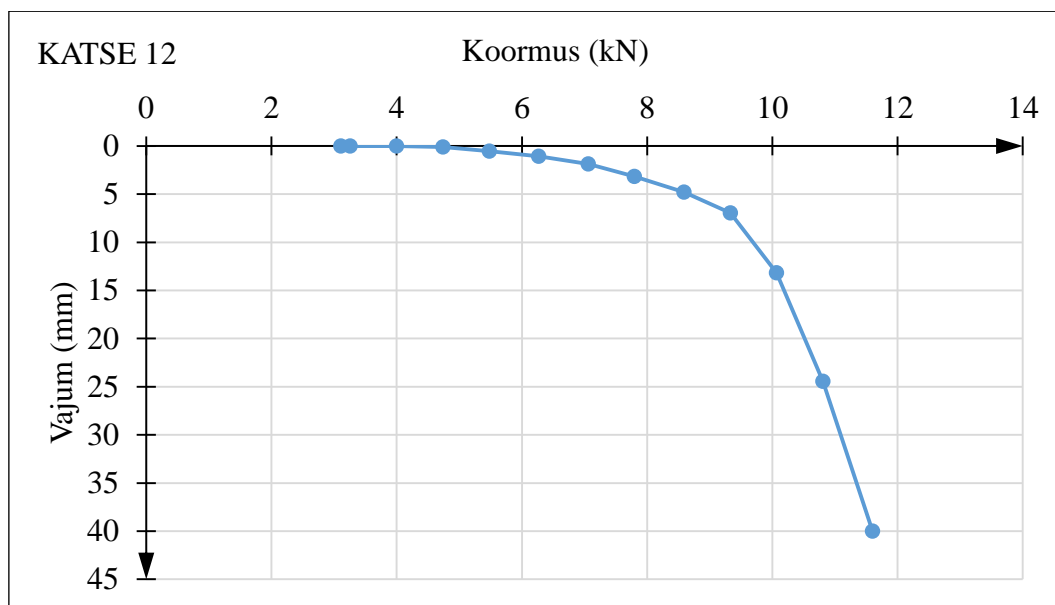
Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,3	0,43	6,22

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,11	120,54	0
	2	3,21	120,54	0
	5	3,26	120,54	0
2	0	3,90	120,54	0
	2	3,95	120,53	0,01
	5	4,00	120,53	0,01
3	0	4,20	120,53	0,01
	2	4,64	120,48	0,06
	5	4,74	120,44	0,1
5	0	5,23	120,21	0,33
	2	5,43	120,05	0,49
	5	5,48	119,99	0,55
6	0	5,82	119,93	0,61
	2	6,17	119,58	0,96
	5	6,27	119,46	1,08
7	0	6,81	119,06	1,48
	2	6,96	118,83	1,71
	5	7,06	118,66	1,88
8	0	7,35	118,55	1,99
	2	7,70	117,81	2,73
	5	7,80	117,36	3,18



9	0	8,19	117,14	3,4
	2	8,49	116,19	4,35
	5	8,59	115,74	4,8
10	0	9,03	115,41	5,13
	2	9,23	114,6	5,94
	5	9,33	113,58	6,96
11	0	9,77	112,9	7,64
	2	9,92	109,65	10,89
	5	10,07	107,35	13,19
12	0	10,46	106,17	14,37
	2	10,66	100,12	20,42
	5	10,81	96,11	24,43
13	0	11,25	94,53	26,01
	2	11,40	87,44	33,1
	5	11,60	80,53	40,01



Joonis 2.1 Staatilise koormuskatse graafik

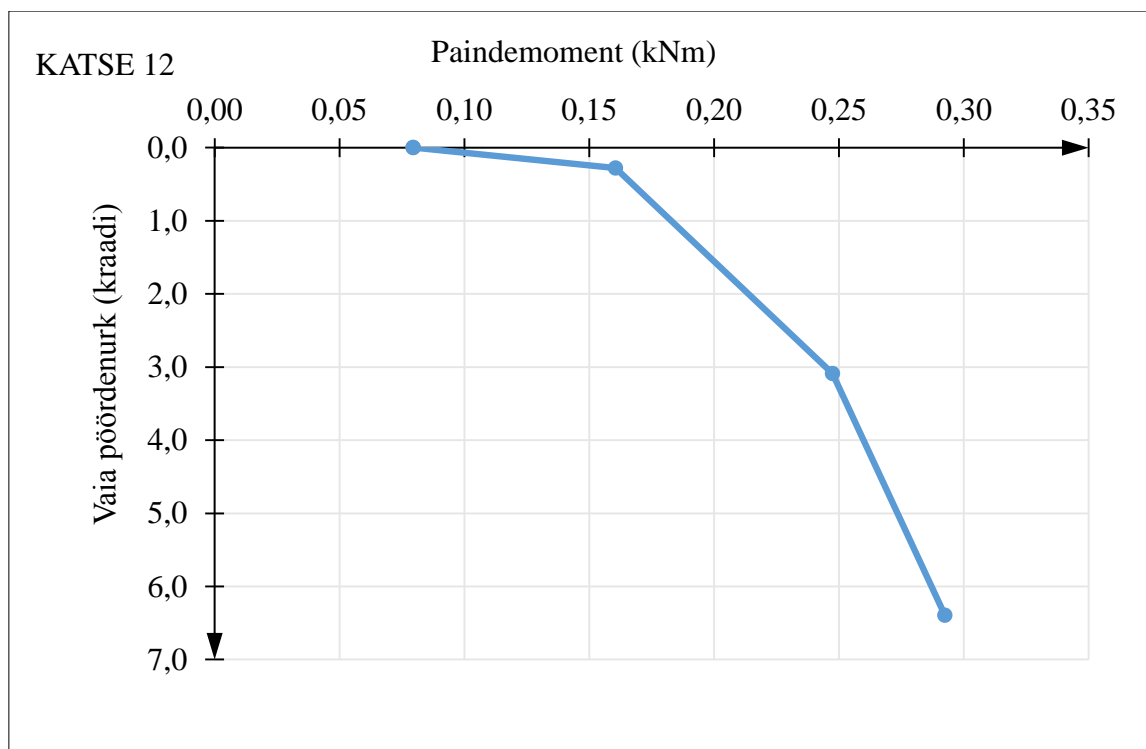
Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$   kN

### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus  kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorranr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	81,53	0	52,73	0	52,69	0	0,00
	2	0,08	81,53	0	52,73	0	52,69	0	0,00
	5	0,08	81,53	0	52,73	0	52,69	0	0,00
2	0	0,16	81,53	0	53,77	-1,04	54,88	-2,19	0,26
	2	0,16	81,53	0	53,84	-1,11	55,04	-2,35	0,28
	5	0,16	81,53	0	53,87	-1,14	55,04	-2,35	0,28
3	0	0,25	81,82	-0,29	67,54	-14,81	80,71	-28,02	3,02
	2	0,25	81,74	-0,21	68,08	-15,35	81,4	-28,71	3,06
	5	0,25	81,72	-0,19	68,23	-15,5	81,68	-28,99	3,09
4	0	0,29	78,03	3,5	86,11	-33,38	114,09	-61,4	6,40

**Joonis 3.1** Paindemomendi ja vaia pöördenurga graafik

**KATSE 13****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

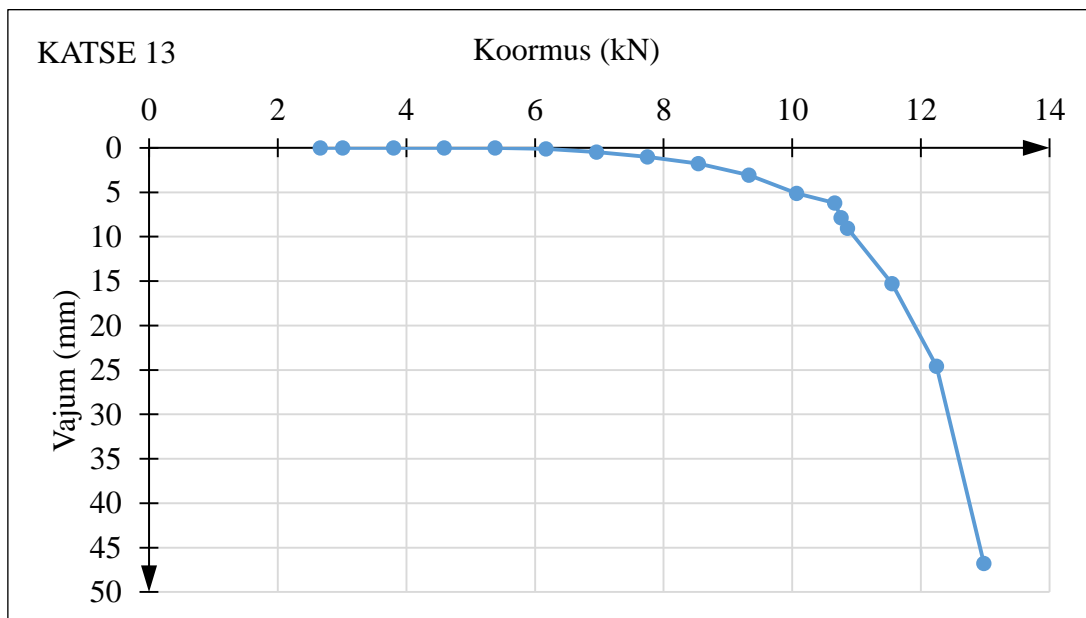
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,1	0,37	7,23

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	2,67	114,93	0
	2	2,91	115,01	-0,08
	5	3,01	115,04	-0,11
2	0	3,60	115,55	-0,62
	2	3,70	115,71	-0,78
	5	3,80	115,75	-0,82
3	0	4,20	115,84	-0,91
	2	4,49	115,97	-1,04
	5	4,59	116	-1,07
5	0	4,89	116,06	-1,13
	2	5,28	116,15	-1,22
	5	5,38	116,15	-1,22
6	0	5,48	116,15	-1,22
	2	6,12	116,11	-1,18
	5	6,17	116,05	-1,12
7	0	6,22	116,05	-1,12
	2	6,86	115,75	-0,82
	5	6,96	115,68	-0,75
8	0	7,06	115,64	-0,71
	2	7,70	115,24	-0,31
	5	7,75	115,14	-0,21
9	0	7,90	115,14	-0,21
	2	8,44	114,55	0,38

	5	8,54	114,36	0,57
10	0	8,84	114,23	0,7
	2	9,28	113,38	1,55
	5	9,33	113,09	1,84
11	0	9,77	112,4	2,53
	2	10,02	111,62	3,31
	5	10,07	111,03	3,9
12	0	10,66	109,95	4,98
	2	10,76	108,28	6,65
	5	10,86	107,1	7,83
13	0	11,30	105,05	9,88
	2	11,55	102,82	12,11
	5	11,55	100,87	14,06
14	0	11,94	99,92	15,01
	2	12,14	95,3	19,63
	5	12,24	91,57	23,36
15	0	12,69	89,2	25,73
	2	12,88	79,6	35,33
	5	12,98	69,38	45,55

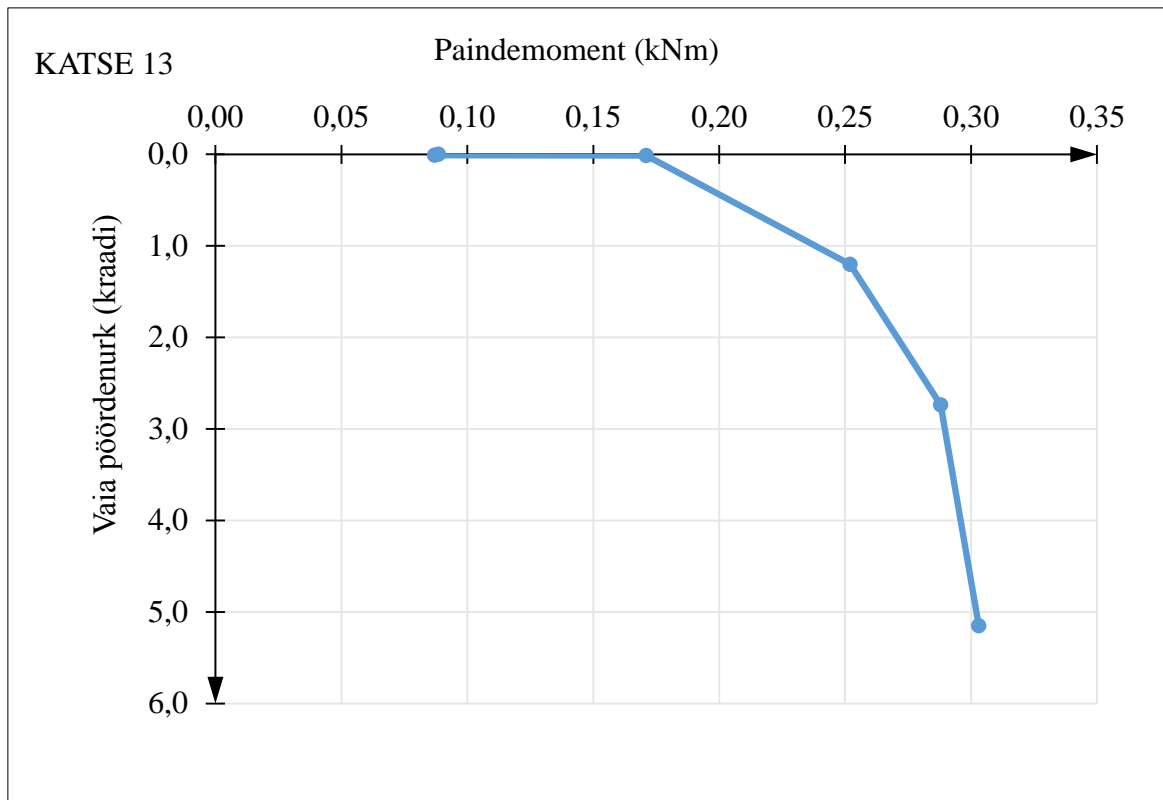


**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c;m}$  12,46 kN

**3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine**Vertikaalkoormus  kN**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,09	70,4	0	55,74	0	35,21	0	0,00
	2	0,09	70,42	-0,02	55,78	-0,04	35,21	0	0,01
	5	0,09	70,42	-0,02	55,78	-0,04	35,21	0	0,01
2	0	0,17	70,59	-0,19	56,24	-0,5	35,74	-0,53	0,01
	2	0,17	70,64	-0,24	56,31	-0,57	35,81	-0,6	0,01
	5	0,17	70,65	-0,25	56,31	-0,57	35,83	-0,62	0,01
3	0	0,26	71,87	-1,47	60,8	-5,06	45,34	-10,13	1,16
	2	0,25	71,95	-1,55	61,1	-5,36	45,78	-10,57	1,19
	5	0,25	71,95	-1,55	61,19	-5,45	45,9	-10,69	1,20
4	0	0,29	72,26	-1,86	66,58	-10,84	57,48	-22,27	2,62
	2	0,29	72,26	-1,86	67,2	-11,46	58,48	-23,27	2,70
	5	0,29	72,26	-1,86	67,52	-11,78	58,95	-23,74	2,74
5	0	0,31	71,6	-1,2	77,43	-21,69	79,04	-43,83	5,06
	2	0,31	71,42	-1,02	78,22	-22,48	80,13	-44,92	5,13
	5	0,30	71,39	-0,99	78,25	-22,51	80,26	-45,05	5,15



Joonis 3.1 Paindemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 21****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

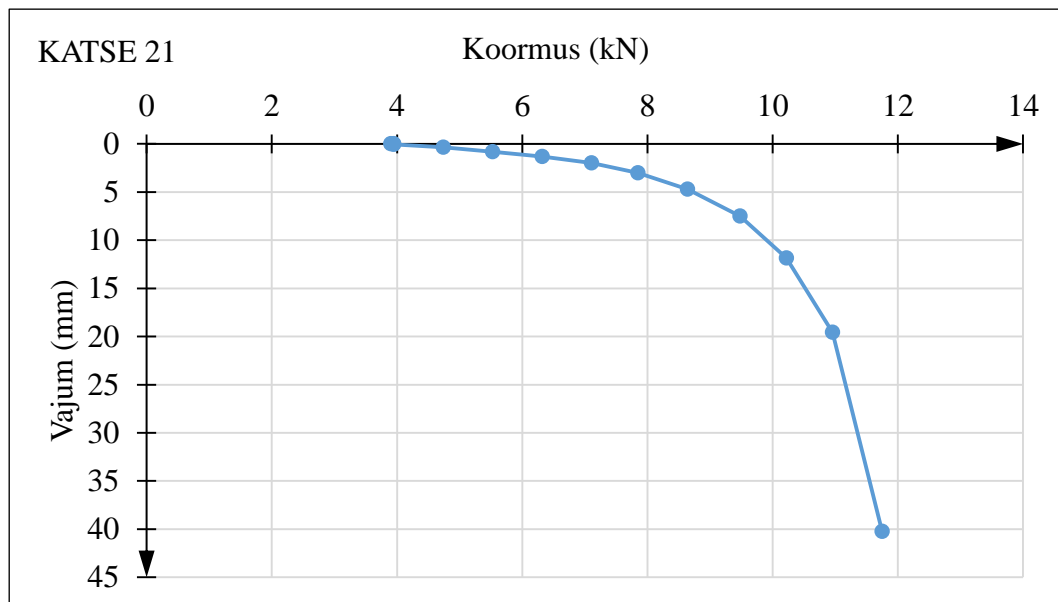
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,0	0,33	8,11

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,90	116,86	0
	2	3,90	116,84	0,02
	5	3,95	116,82	0,04
2	0	4,15	116,78	0,08
	2	4,74	116,53	0,33
	5	4,74	116,51	0,35
3	0	5,33	116,25	0,61
	2	5,53	116,1	0,76
	5	5,53	116,04	0,82
5	0	5,97	115,9	0,96
	2	6,27	115,64	1,22
	5	6,32	115,55	1,31
6	0	6,47	115,55	1,31
	2	7,06	114,97	1,89
	5	7,11	114,87	1,99
7	0	7,26	114,72	2,14
	2	7,85	114,04	2,82
	5	7,85	113,84	3,02
8	0	8,09	113,67	3,19
	2	8,64	112,58	4,28
	5	8,64	112,15	4,71
9	0	9,13	111,82	5,04

	2	9,43	110,15	6,71
	5	9,48	109,36	7,5
10	0	9,97	108,76	8,1
	2	10,12	106,56	10,3
	5	10,22	105,01	11,85
11	0	10,76	103,85	13,01
	2	10,91	100,07	16,79
	5	10,96	97,28	19,58
12	0	11,40	95,15	21,71
	2	11,55	87,7	29,16
	5	11,75	80,14	36,72
	7	11,75	76,62	40,24



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  11,36 kN

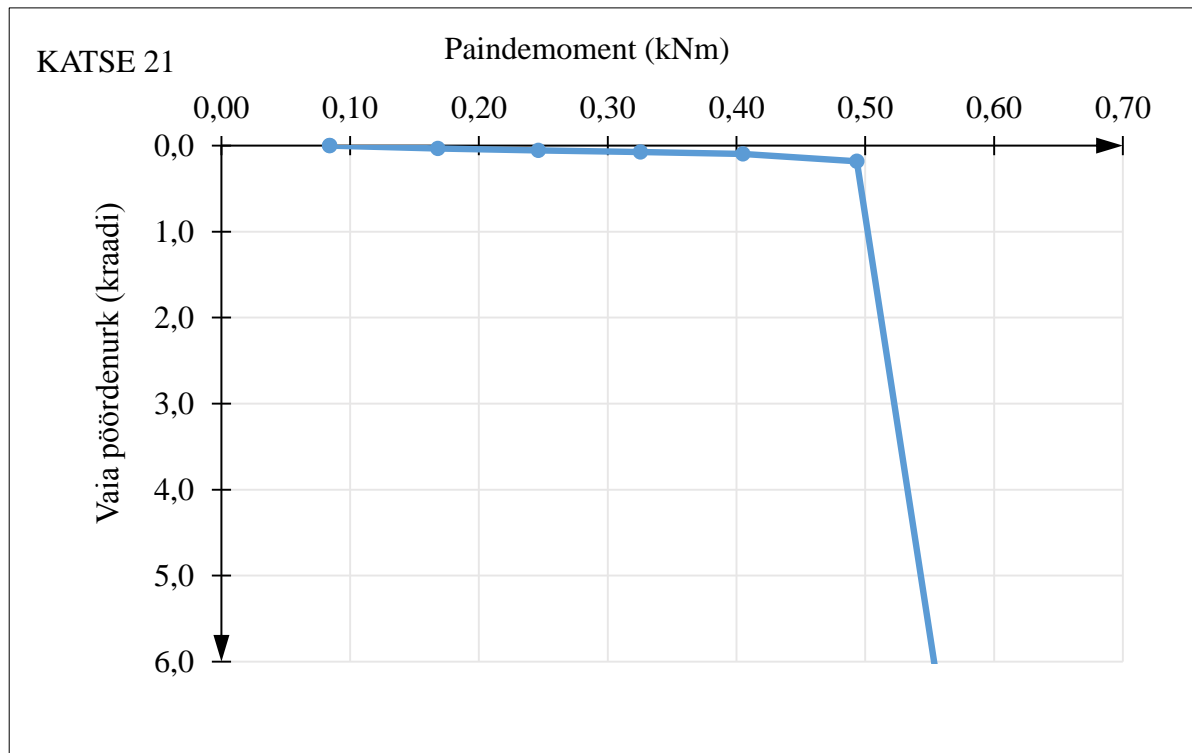
### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 3,29 kN



**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	72,76	0	59,38	0	41,28	0	0,00
	2	0,08	72,76	0	59,38	0	41,28	0	0,00
	5	0,08	72,76	0	59,38	0	41,28	0	0,00
2	0	0,17	72,76	0	59,38	0	41,47	-0,19	0,04
	2	0,17	72,76	0	59,42	-0,04	41,47	-0,19	0,03
	5	0,17	72,76	0	59,42	-0,04	41,47	-0,19	0,03
3	0	0,25	72,76	0	59,49	-0,11	41,63	-0,35	0,06
	2	0,25	72,76	0	59,49	-0,11	41,63	-0,35	0,06
	5	0,25	72,76	0	59,49	-0,11	41,63	-0,35	0,06
4	0	0,33	72,75	0,01	59,59	-0,21	41,82	-0,54	0,08
	2	0,33	72,75	0,01	59,59	-0,21	41,82	-0,54	0,08
	5	0,33	72,75	0,01	59,59	-0,21	41,82	-0,54	0,08
5	0	0,41	72,7	0,06	59,72	-0,34	42,04	-0,76	0,10
	2	0,41	72,7	0,06	59,72	-0,34	42,04	-0,76	0,10
	5	0,41	72,7	0,06	59,72	-0,34	42,04	-0,76	0,10
6	0	0,50	72,59	0,17	60,19	-0,81	42,95	-1,67	0,20
	2	0,49	72,57	0,19	60,21	-0,83	42,95	-1,67	0,19
	5	0,49	72,56	0,2	60,26	-0,88	42,95	-1,67	0,18
7	0	0,60	42,59	30,17	111,58	-52,2	139,94	-98,66	10,53



**Joonis 3.1** Paandemomendi ja vaia pöördenurga graafik

**KATSE 22****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

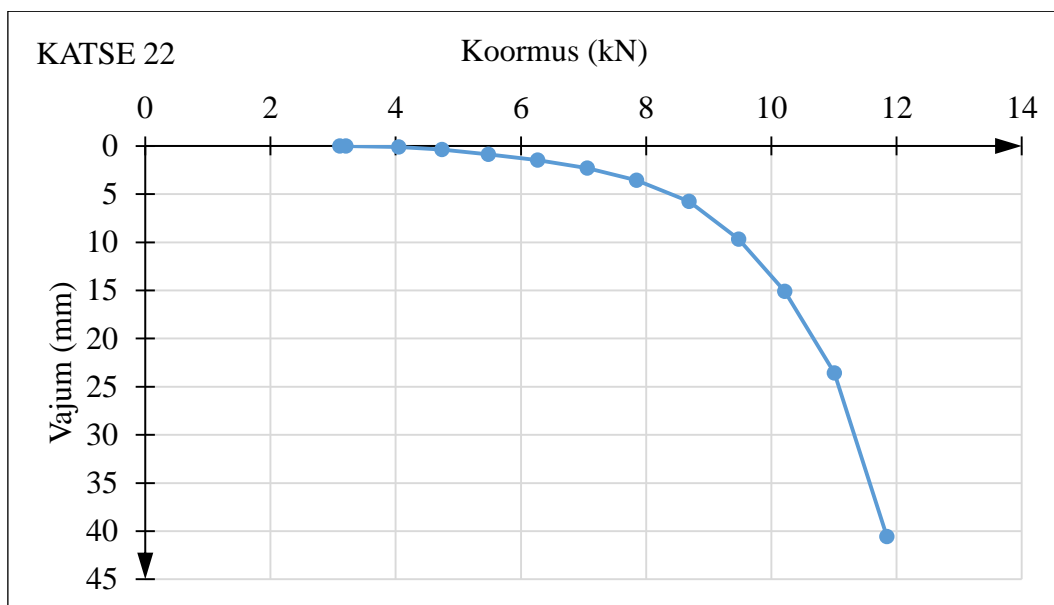
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,3	0,43	6,22

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,11	109,21	0
	2	3,16	109,21	0
	5	3,21	109,21	0
2	0	3,95	109,14	0,07
	2	4,00	109,12	0,09
	5	4,05	109,11	0,1
3	0	4,29	109,04	0,17
	2	4,69	108,9	0,31
	5	4,74	108,84	0,37
5	0	5,28	108,56	0,65
	2	5,43	108,42	0,79
	5	5,48	108,35	0,86
6	0	5,82	108,27	0,94
	2	6,22	107,86	1,35
	5	6,27	107,74	1,47
7	0	6,66	107,61	1,6
	2	6,96	107,06	2,15
	5	7,06	106,91	2,3
8	0	7,50	106,73	2,48
	2	7,80	105,95	3,26
	5	7,85	105,64	3,57
9	0	8,39	105,31	3,9

	2	8,59	104,11	5,1
	5	8,69	103,44	5,77
10	0	9,18	102,87	6,34
	2	9,38	100,6	8,61
	5	9,48	99,52	9,69
11	0	9,97	98,58	10,63
	2	10,12	95,88	13,33
	5	10,22	94,11	15,1
12	0	10,66	92,99	16,22
	2	10,86	89	20,21
	5	11,01	85,64	23,57
13	0	11,45	84	25,21
	2	11,60	78,75	30,46
	5	11,75	73,09	36,12
	9	11,85	68,66	40,55



Joonis 2.1 Staatilise koormuskatse graafik

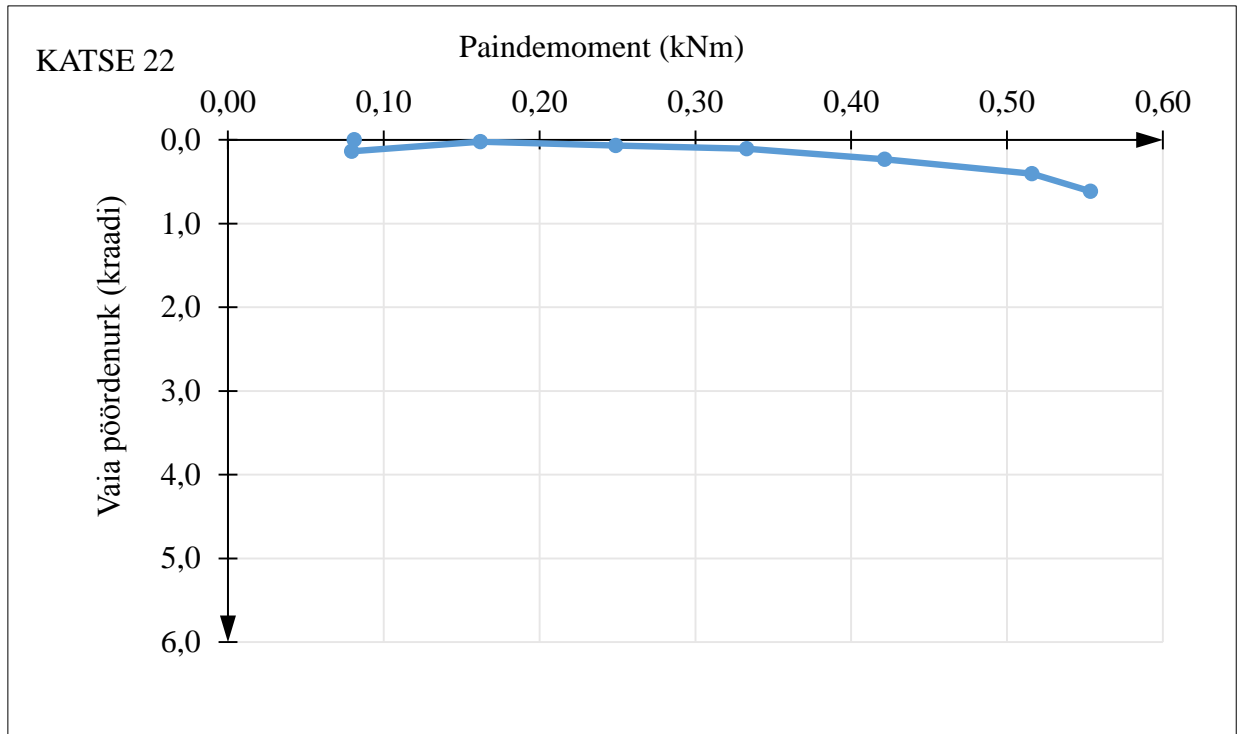
Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  11,33 kN

### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 3,31 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaal - siirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaal siirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaal siirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	68,17	0	70,57	0	38,76	0	0,00
	2	0,08	68,17	0	70,57	0	38,76	0	0,00
	5	0,08	68,17	0	70,58	-0,01	38,17	0,59	0,14
2	0	0,17	68,17	0	70,6	-0,03	38,89	-0,13	0,02
	2	0,16	68,17	0	70,6	-0,03	38,89	-0,13	0,02
	5	0,16	68,17	0	70,6	-0,03	38,89	-0,13	0,02
3	0	0,25	68,17	0	70,66	-0,09	39,12	-0,36	0,06
	2	0,25	68,17	0	70,66	-0,09	39,15	-0,39	0,07
	5	0,25	68,17	0	70,66	-0,09	39,15	-0,39	0,07
4	0	0,33	68,17	0	70,78	-0,21	39,44	-0,68	0,11
	2	0,33	68,17	0	70,81	-0,24	39,47	-0,71	0,11
	5	0,33	68,17	0	70,82	-0,25	39,47	-0,71	0,11
5	0	0,42	68,11	0,06	71,05	-0,48	40,28	-1,52	0,24
	2	0,42	68,1	0,07	71,13	-0,56	40,36	-1,6	0,24
	5	0,42	68,1	0,07	71,16	-0,59	40,36	-1,6	0,23
6	0	0,51	67,95	0,22	71,82	-1,25	41,73	-2,97	0,39
	2	0,52	67,87	0,3	71,98	-1,41	41,96	-3,2	0,41
	5	0,52	67,87	0,3	72,08	-1,51	42,03	-3,27	0,40
7	0	0,55	67,82	0,35	72,41	-1,84	43,02	-4,26	0,55
	2	0,55	67,73	0,44	72,77	-2,2	43,51	-4,75	0,58
	5	0,55	67,68	0,49	73	-2,43	43,87	-5,11	0,61



Joonis 3.1 Paindemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 23****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

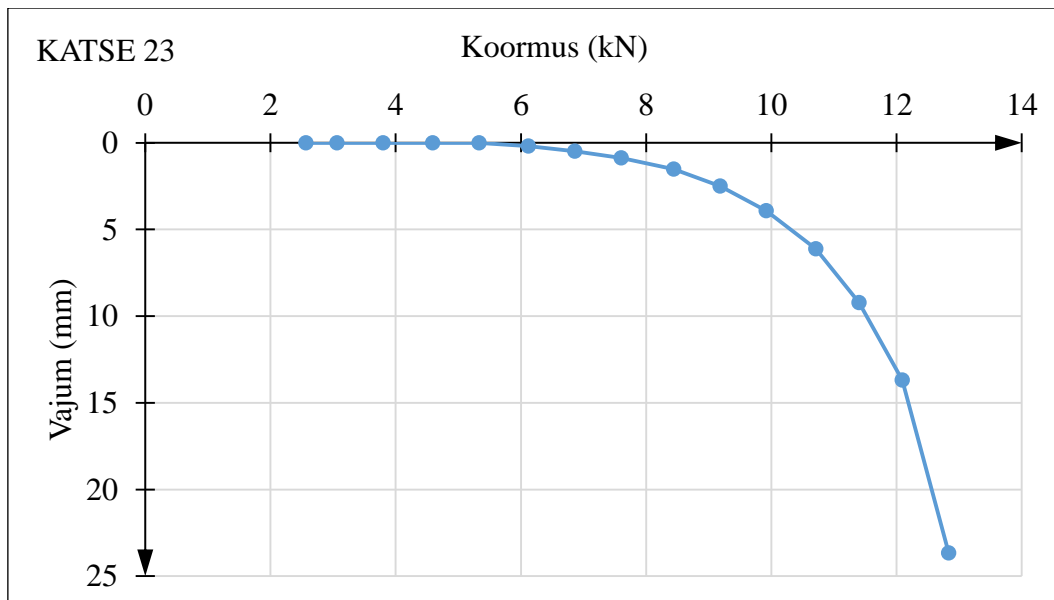
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,0	0,33	8,11

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	2,57	126,07	0
	2	3,01	126,47	-0,4
	5	3,06	126,52	-0,45
2	0	3,41	126,95	-0,88
	2	3,70	127,62	-1,55
	5	3,80	127,67	-1,6
3	0	4,15	127,82	-1,75
	2	4,54	127,88	-1,81
	5	4,59	127,88	-1,81
5	0	4,79	127,88	-1,81
	2	5,28	127,88	-1,81
	5	5,33	127,88	-1,81
6	0	5,43	127,88	-1,81
	2	6,07	127,73	-1,66
	5	6,12	127,68	-1,61
7	0	6,27	127,67	-1,6
	2	6,81	127,46	-1,39
	5	6,86	127,4	-1,33
8	0	6,91	127,4	-1,33
	2	7,55	127,09	-1,02
	5	7,60	127	-0,93
9	0	7,75	126,98	-0,91
	2	8,39	126,48	-0,41

	5	8,44	126,35	-0,28
10	0	8,74	126,26	-0,19
	2	9,18	125,65	0,42
	5	9,18	125,38	0,69
11	0	9,53	125,26	0,81
	2	9,92	124,38	1,69
	5	9,92	123,96	2,11
12	0	10,22	123,8	2,27
	2	10,66	122,45	3,62
	5	10,71	121,75	4,32
13	0	11,06	121,46	4,61
	2	11,30	119,79	6,28
	5	11,40	118,66	7,41
14	0	11,90	118,04	8,03
	2	11,99	115,92	10,15
	5	12,09	114,19	11,88
15	0	12,44	113,35	12,72
	2	12,59	110,43	15,64
	5	12,73	107,12	18,95
	10	12,83	104,21	21,86



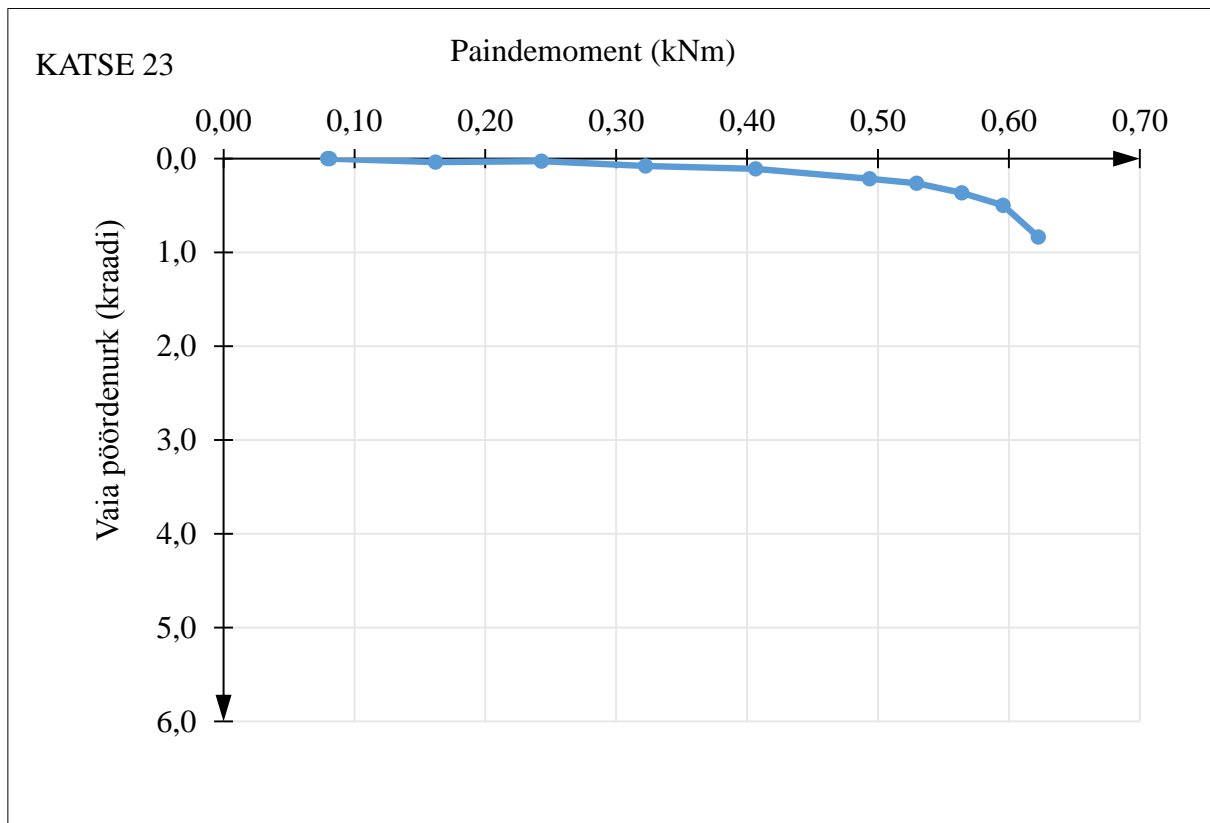
**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  13,11 kN



**3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine**Vertikaalkoormus 3,27 kN**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	86,32	0	79,88	0	36,87	0	0,00
	2	0,08	86,32	0	79,88	0	36,87	0	0,00
	5	0,08	86,32	0	79,88	0	36,87	0	0,00
2	0	0,16	86,32	0	79,93	-0,05	37,08	-0,21	0,04
	2	0,16	86,32	0	79,93	-0,05	37,08	-0,21	0,04
	5	0,16	86,32	0	79,93	-0,05	37,08	-0,21	0,04
3	0	0,25	86,32	0	79,98	-0,1	37,08	-0,21	0,03
	2	0,24	86,32	0	79,98	-0,1	37,08	-0,21	0,03
	5	0,24	86,31	0,01	79,97	-0,09	37,08	-0,21	0,03
4	0	0,33	86,31	0,01	80,06	-0,18	37,39	-0,52	0,08
	2	0,33	86,31	0,01	80,06	-0,18	37,39	-0,52	0,08
	5	0,32	86,31	0,01	80,06	-0,18	37,39	-0,52	0,08
5	0	0,41	86,31	0,01	80,15	-0,27	37,62	-0,75	0,11
	2	0,41	86,31	0,01	80,15	-0,27	37,62	-0,75	0,11
	5	0,41	86,31	0,01	80,15	-0,27	37,62	-0,75	0,11
6	0	0,50	86,31	0,01	80,32	-0,44	38,27	-1,4	0,22
	2	0,50	86,31	0,01	80,35	-0,47	38,27	-1,4	0,21
	5	0,49	86,3	0,02	80,35	-0,47	38,27	-1,4	0,21
7	0	0,53	86,3	0,02	80,45	-0,57	38,55	-1,68	0,25
	2	0,53	86,29	0,03	80,48	-0,6	38,66	-1,79	0,27
	5	0,53	86,29	0,03	80,53	-0,65	38,66	-1,79	0,26
8	0	0,57	86,25	0,07	80,64	-0,76	39,01	-2,14	0,32
	2	0,57	86,21	0,11	80,74	-0,86	39,13	-2,26	0,32
	5	0,56	86,21	0,11	80,74	-0,86	39,32	-2,45	0,36
9	0	0,60	86,14	0,18	80,97	-1,09	40	-3,13	0,47
	2	0,60	86,09	0,23	81,1	-1,22	40,3	-3,43	0,51
	5	0,60	86,08	0,24	81,14	-1,26	40,3	-3,43	0,50
10	0	0,63	85,96	0,36	81,57	-1,69	41,79	-4,92	0,74
	2	0,63	85,8	0,52	81,93	-2,05	42,46	-5,59	0,81
	5	0,62	85,74	0,58	82,04	-2,16	42,67	-5,8	0,83



Joonis 3.1 Paandemomendi ja vaia pöördenurga graafik

**KATSE 24****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

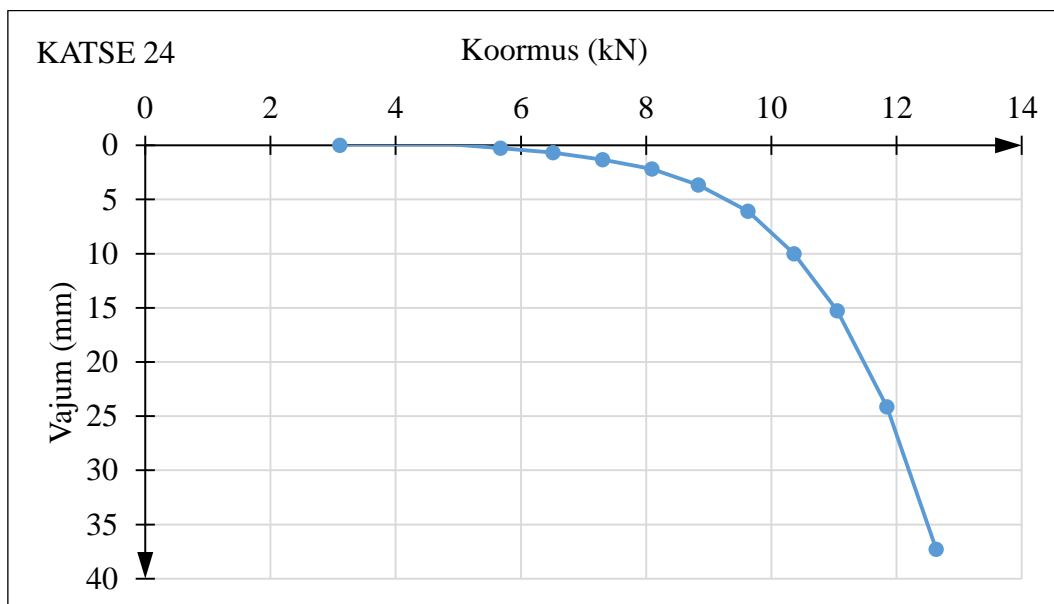
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,2	0,40	6,69

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,11	126,84	0
	2	3,21	126,93	-0,09
	5	3,31	126,93	-0,09
2	0	4,05	126,93	-0,09
	2	4,10	126,93	-0,09
	5	4,15	126,93	-0,09
3	0	4,44	126,93	-0,09
	2	4,79	126,93	-0,09
	5	4,89	126,93	-0,09
5	0	5,43	126,72	0,12
	2	5,48	126,61	0,23
	5	5,68	126,58	0,26
6	0	6,17	126,45	0,39
	2	6,37	126,24	0,6
	5	6,52	126,15	0,69
7	0	7,11	125,82	1,02
	2	7,21	125,63	1,21
	5	7,31	125,51	1,33
8	0	7,60	125,4	1,44
	2	8,00	124,92	1,92
	5	8,09	124,65	2,19
9	0	8,64	124,15	2,69
	2	8,74	123,61	3,23

	5	8,84	123,18	3,66
10	0	9,33	122,88	3,96
	2	9,53	121,6	5,24
	5	9,62	120,75	6,09
11	0	10,12	120,19	6,65
	2	10,32	117,99	8,85
	5	10,37	116,84	10
12	0	10,86	116,1	10,74
	2	10,96	113,41	13,43
	5	11,06	111,57	15,27
13	0	11,55	110,63	16,21
	2	11,75	105,93	20,91
	5	11,85	102,69	24,15
14	0	12,29	101,38	25,46
	2	12,49	94,9	31,94
	5	12,64	89,56	37,28



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

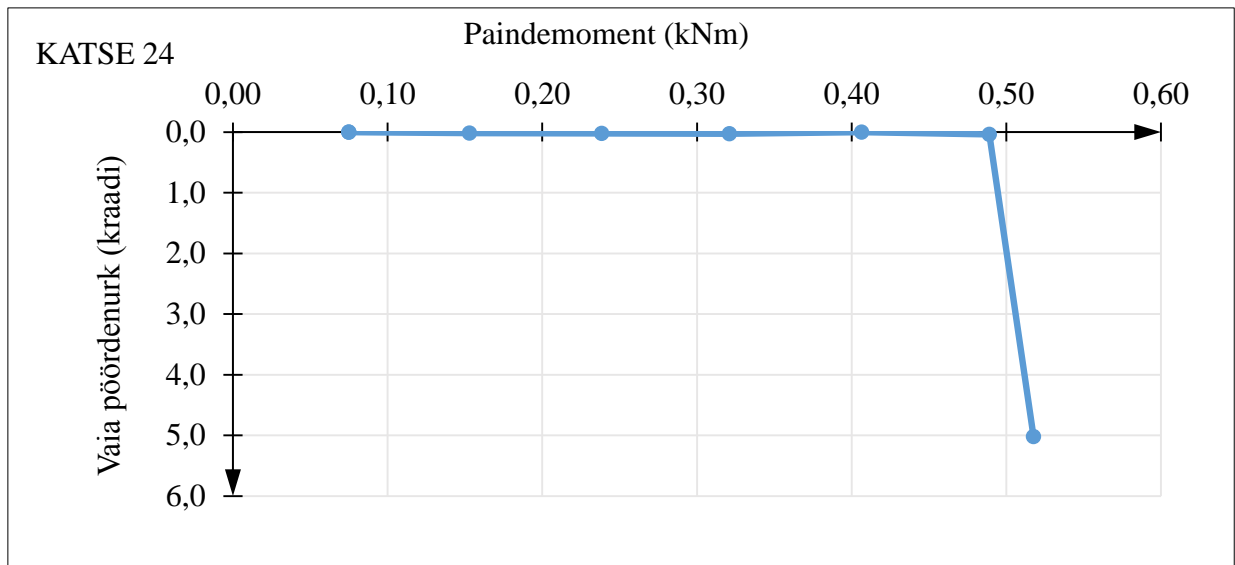
Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  12,20 kN

### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 3,28 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	88,51	0	41,09	0	33,54	0	0,00
	2	0,08	88,51	0	41,09	0	33,54	0	0,00
	5	0,08	88,51	0	41,09	0	33,54	0	0,00
2	0	0,16	88,51	0	41,15	-0,06	33,54	0	0,01
	2	0,16	88,51	0	41,15	-0,06	33,54	0	0,01
	5	0,15	88,51	0	41,17	-0,08	33,54	0	0,02
3	0	0,24	88,51	0	41,26	-0,17	33,61	-0,07	0,02
	2	0,24	88,51	0	41,27	-0,18	33,61	-0,07	0,03
	5	0,24	88,51	0	41,27	-0,18	33,61	-0,07	0,03
4	0	0,32	88,51	0	41,44	-0,35	33,78	-0,24	0,03
	2	0,32	88,51	0	41,45	-0,36	33,78	-0,24	0,03
	5	0,32	88,51	0	41,45	-0,36	33,78	-0,24	0,03
5	0	0,41	88,5	0,01	41,7	-0,61	34,05	-0,51	0,02
	2	0,41	88,51	0	41,73	-0,64	34,05	-0,51	0,03
	5	0,41	88,51	0	41,78	-0,69	34,24	-0,7	0,00
6	0	0,49	88,42	0,09	42,4	-1,31	34,96	-1,42	0,03
	2	0,49	88,42	0,09	42,45	-1,36	34,96	-1,42	0,01
	5	0,49	88,41	0,1	42,5	-1,41	35,11	-1,57	0,04
7	0	0,51	79,78	8,73	69,7	-28,61	83,62	-50,08	4,91
	2	0,52	79,1	9,41	70,66	-29,57	85,08	-51,54	5,02



Joonis 3.1 Paindemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 31****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

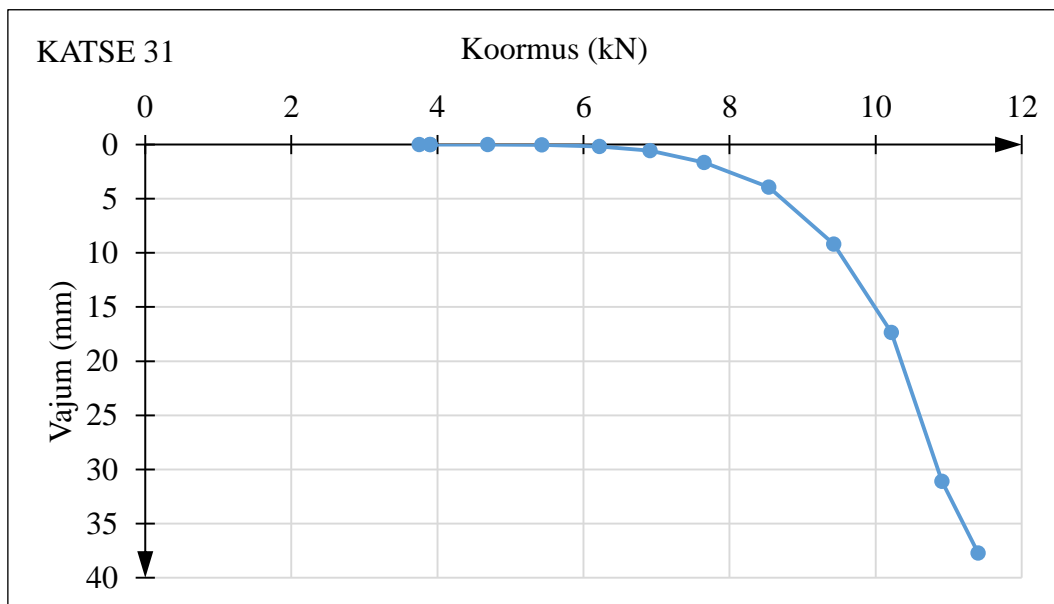
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,0	0,33	8,11

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,75	126,47	0
	2	3,85	126,47	0
	5	3,90	126,47	0
2	0	4,10	126,47	0
	2	4,64	126,47	0
	5	4,69	126,47	0
3	0	4,94	126,47	0
	2	5,38	126,43	0,04
	5	5,43	126,42	0,05
5	0	6,02	126,37	0,1
	2	6,17	126,34	0,13
	5	6,22	126,29	0,18
6	0	6,52	126,25	0,22
	2	6,86	125,98	0,49
	5	6,91	125,9	0,57
7	0	7,50	125,6	0,87
	2	7,60	125,09	1,38
	5	7,65	124,82	1,65
8	0	8,34	124,05	2,42
	2	8,49	122,77	3,7
	5	8,54	122,54	3,93
9	0	9,18	121,65	4,82
	2	9,43	118,4	8,07

	5	9,43	117,27	9,2
10	0	9,97	114,51	11,96
	2	10,17	112,03	14,44
	5	10,22	109,12	17,35
11	0	10,71	106,51	19,96
	2	10,81	99,71	26,76
	5	10,91	95,37	31,1
12	0	11,40	88,75	37,72



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  10,82 kN

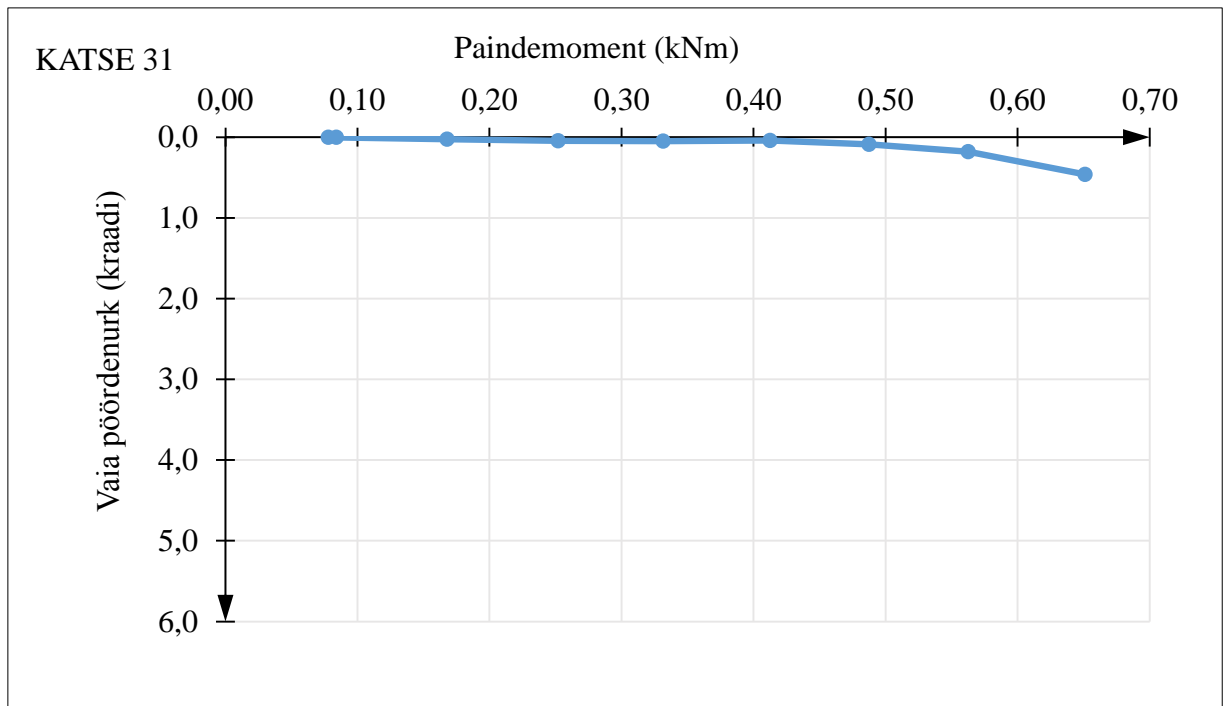
### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 6,15 kN



**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	78,5	0	87,07	0	47,19	0	0,00
	2	0,08	78,5	0	87,07	0	47,19	0	0,00
	5	0,08	78,5	0	87,07	0	47,19	0	0,00
2	0	0,17	78,5	0	87,13	-0,06	47,37	-0,18	0,03
	2	0,17	78,5	0	87,13	-0,06	47,37	-0,18	0,03
	5	0,17	78,5	0	87,13	-0,06	47,37	-0,18	0,03
3	0	0,26	78,5	0	87,22	-0,15	47,53	-0,34	0,04
	2	0,26	78,5	0	87,22	-0,15	47,53	-0,34	0,04
	5	0,25	78,5	0	87,22	-0,15	47,53	-0,34	0,04
4	0	0,34	78,49	0,01	87,31	-0,24	47,66	-0,47	0,05
	2	0,33	78,49	0,01	87,32	-0,25	47,66	-0,47	0,05
	5	0,33	78,49	0,01	87,33	-0,26	47,66	-0,47	0,05
5	0	0,42	78,38	0,12	87,49	-0,42	47,82	-0,63	0,05
	2	0,42	78,38	0,12	87,51	-0,44	47,82	-0,63	0,04
	5	0,41	78,38	0,12	87,52	-0,45	47,82	-0,63	0,04
6	0	0,49	78,28	0,22	87,7	-0,63	48,26	-1,07	0,10
	2	0,49	78,26	0,24	87,76	-0,69	48,27	-1,08	0,09
	5	0,49	78,24	0,26	87,77	-0,7	48,27	-1,08	0,09
7	0	0,57	78,12	0,38	88	-0,93	48,87	-1,68	0,17
	2	0,57	78,07	0,43	88,15	-1,08	49,1	-1,91	0,19
	5	0,56	78,5	0	88,19	-1,12	49,1	-1,91	0,18
8	0	0,66	77,65	0,85	89,18	-2,11	51,09	-3,9	0,41
	2	0,66	77,44	1,06	89,65	-2,58	51,72	-4,53	0,45
	5	0,65	77,4	1,1	89,76	-2,69	51,9	-4,71	0,46



Joonis 3.1 Paindemomendi ja vaia pöördenuka graafik

**KATSE 32****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

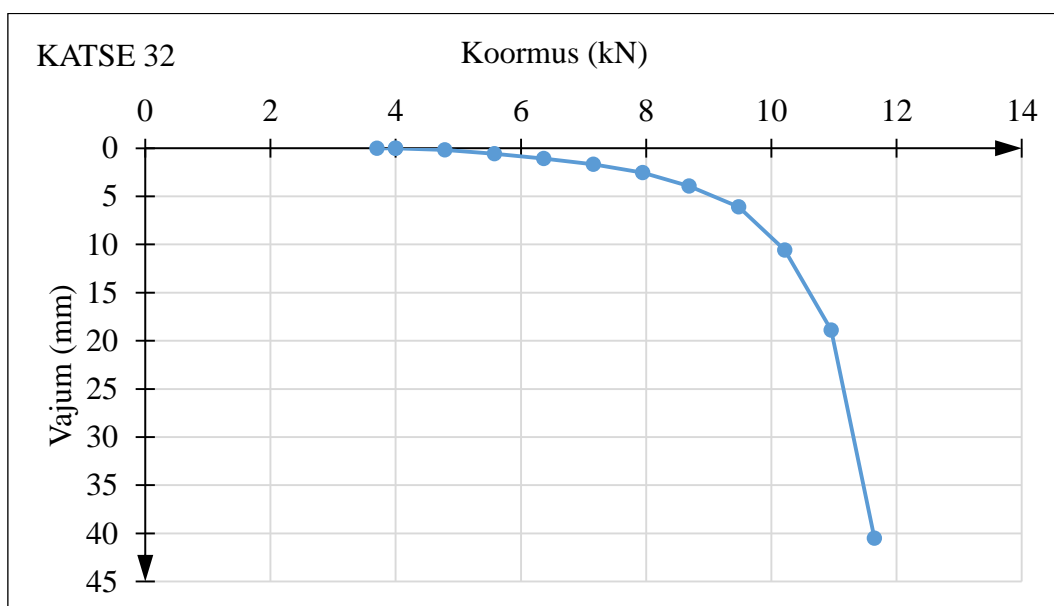
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,1	0,37	7,23

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,70	127,35	0
	2	3,95	127,35	0
	5	4,00	127,35	0
2	0	4,59	127,28	0,07
	2	4,74	127,22	0,13
	5	4,79	127,17	0,18
3	0	4,99	127,03	0,32
	2	5,58	126,8	0,55
	5	5,58	126,76	0,59
5	0	5,63	126,67	0,68
	2	6,37	126,34	1,01
	5	6,37	126,29	1,06
6	0	6,61	126,26	1,09
	2	7,11	125,76	1,59
	5	7,16	125,68	1,67
7	0	7,90	124,92	2,43
	2	7,90	124,92	2,43
	5	7,95	124,82	2,53
8	0	8,34	124,5	2,85
	2	8,69	123,6	3,75
	5	8,69	123,4	3,95
9	0	9,33	122,45	4,9
	2	9,43	121,98	5,37

	5	9,48	121,27	6,08
10	0	10,07	120,39	6,96
	2	10,17	118,26	9,09
	5	10,22	116,78	10,57
11	0	10,71	115,44	11,91
	2	10,81	110,79	16,56
	5	10,96	108,45	18,9
12	0	11,40	105,44	21,91
	2	11,55	95,6	31,75
	5	11,65	86,86	40,49



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

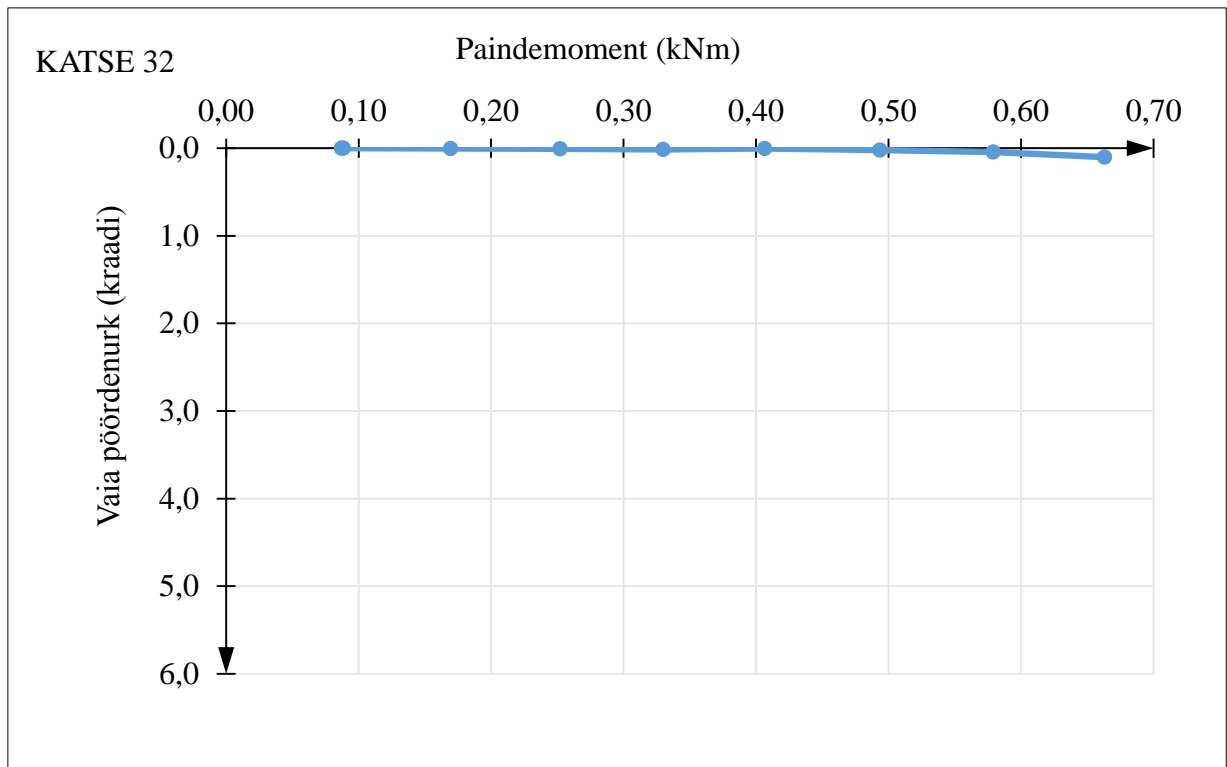
Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  11,31 kN

### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 5,66 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,09	84,3	0	89,58	0	49,78	0	0,00
	2	0,09	84,3	0	89,58	0	49,78	0	0,00
	5	0,09	84,3	0	89,58	0	49,78	0	0,00
2	0	0,17	84,27	0,03	89,58	0	49,78	0	0,00
	2	0,17	84,26	0,04	89,58	0	49,78	0	0,00
	5	0,17	84,26	0,04	89,59	-0,01	49,78	0	0,00
3	0	0,25	84,17	0,13	89,61	-0,03	49,78	0	0,01
	2	0,25	84,14	0,16	89,61	-0,03	49,78	0	0,01
	5	0,25	84,14	0,16	89,61	-0,03	49,78	0	0,01
4	0	0,34	84,06	0,24	89,68	-0,1	49,82	-0,04	0,01
	2	0,33	84,06	0,24	89,68	-0,1	49,82	-0,04	0,01
	5	0,33	84,06	0,24	89,68	-0,1	49,82	-0,04	0,01
5	0	0,41	84,03	0,27	89,74	-0,16	49,95	-0,17	0,00
	2	0,41	84,03	0,27	89,74	-0,16	49,95	-0,17	0,00
	5	0,41	84,03	0,27	89,74	-0,16	49,95	-0,17	0,00
6	0	0,50	83,98	0,32	89,83	-0,25	50,13	-0,35	0,02
	2	0,50	83,95	0,35	89,84	-0,26	50,13	-0,35	0,02
	5	0,49	83,95	0,35	89,84	-0,26	50,13	-0,35	0,02
7	0	0,59	83,84	0,46	90,05	-0,47	50,44	-0,66	0,04
	2	0,58	83,81	0,49	90,07	-0,49	50,46	-0,68	0,04
	5	0,58	83,81	0,49	90,07	-0,49	50,46	-0,68	0,04
8	0	0,67	83,65	0,65	90,48	-0,9	51,1	-1,32	0,10
	2	0,67	83,55	0,75	90,7	-1,12	51,37	-1,59	0,11
	5	0,66	83,52	0,78	90,72	-1,14	51,37	-1,59	0,10



Joonis 3.1 Paindemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 33****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

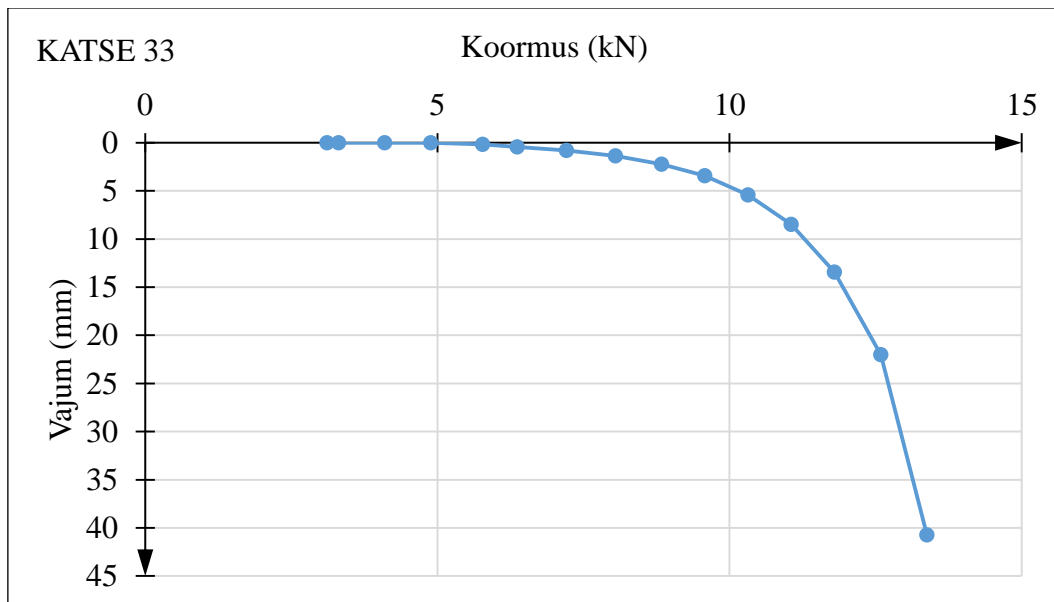
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,0	0,33	8,11

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,11	126,74	0
	2	3,21	126,87	-0,13
	5	3,31	126,92	-0,18
2	0	3,85	127,35	-0,61
	2	4,00	127,43	-0,69
	5	4,10	127,43	-0,69
3	0	4,39	127,43	-0,69
	2	4,79	127,42	-0,68
	5	4,89	127,42	-0,68
5	0	5,38	127,42	-0,68
	2	5,58	127,36	-0,62
	5	5,77	127,25	-0,51
6	0	6,27	127,17	-0,43
	2	6,37	127,1	-0,36
	5	6,37	126,98	-0,24
7	0	6,96	126,88	-0,14
	2	7,11	126,7	0,04
	5	7,21	126,63	0,11
8	0	7,50	126,56	0,18
	2	7,95	126,23	0,51
	5	8,05	126,05	0,69
9	0	8,44	125,94	0,8
	2	8,74	125,44	1,3

	5	8,84	125,19	1,55
10	0	9,18	125,07	1,67
	2	9,48	124,37	2,37
	5	9,58	124,01	2,73
11	0	10,07	123,73	3,01
	2	10,22	122,71	4,03
	5	10,32	122,01	4,73
12	0	10,81	121,52	5,22
	2	10,96	120,09	6,65
	5	11,06	118,96	7,78
13	0	11,55	118,28	8,46
	2	11,70	115,51	11,23
	5	11,80	113,99	12,75
14	0	12,29	112,6	14,14
	2	12,44	109,03	17,71
	5	12,59	105,43	21,31
15	0	13,03	103,42	23,32
	2	13,18	98,12	28,62
	5	13,33	92,6	34,14
	10	13,38	86,7	40,04



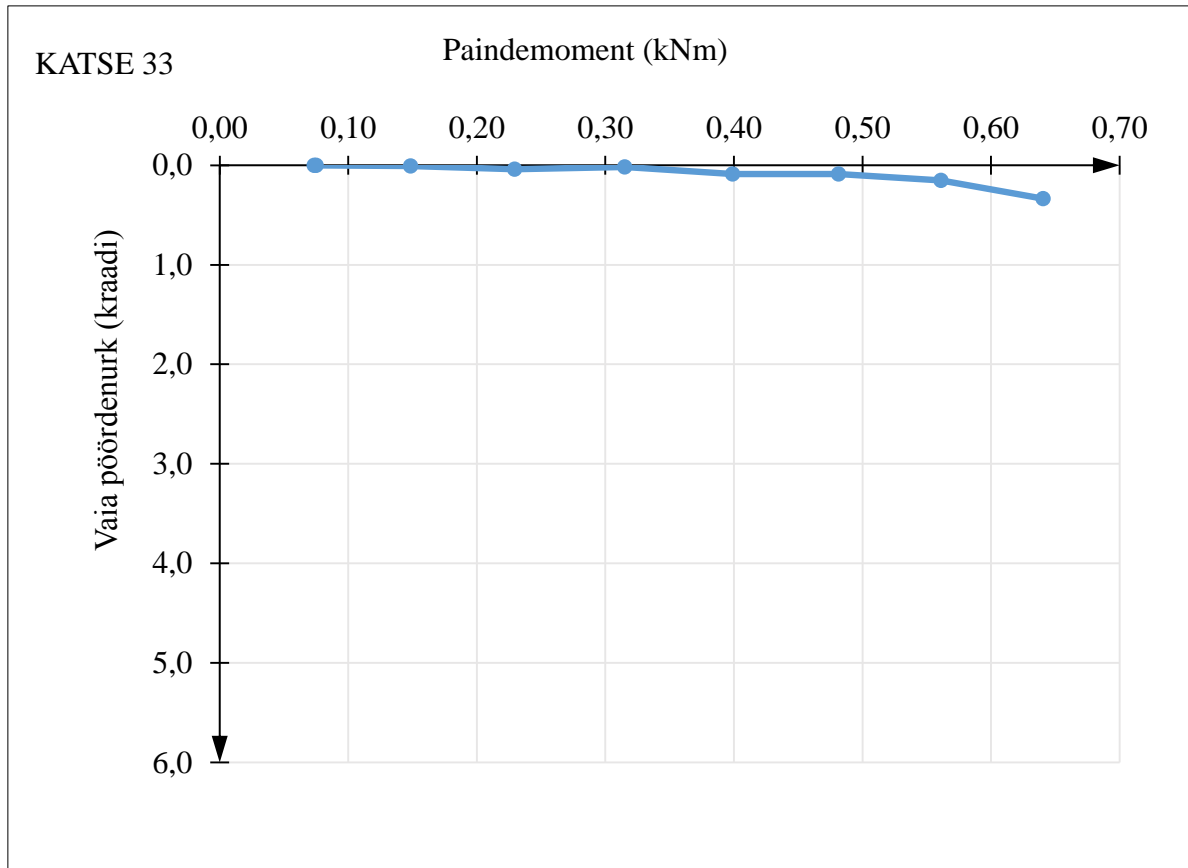
**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  12,96 kN



**3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine**Vertikaalkoormus 5,67 kN**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	86,2	0	58,45	0	43,44	0	0,00
	2	0,07	86,2	0	58,45	0	43,44	0	0,00
	5	0,07	86,2	0	58,45	0	43,44	0	0,00
2	0	0,15	86,16	0,04	58,48	-0,03	43,44	0	0,01
	2	0,15	86,16	0,04	58,48	-0,03	43,44	0	0,01
	5	0,15	86,16	0,04	58,48	-0,03	43,44	0	0,01
3	0	0,23	86,16	0,04	58,53	-0,08	43,69	-0,25	0,04
	2	0,23	86,16	0,04	58,53	-0,08	43,69	-0,25	0,04
	5	0,23	86,16	0,04	58,53	-0,08	43,69	-0,25	0,04
4	0	0,32	86,11	0,09	58,63	-0,18	43,69	-0,25	0,02
	2	0,32	86,11	0,09	58,63	-0,18	43,69	-0,25	0,02
	5	0,32	86,11	0,09	58,63	-0,18	43,69	-0,25	0,02
5	0	0,40	86,06	0,14	58,69	-0,24	44,07	-0,63	0,09
	2	0,40	86,06	0,14	58,69	-0,24	44,07	-0,63	0,09
	5	0,40	86,06	0,14	58,69	-0,24	44,07	-0,63	0,09
6	0	0,48	86,02	0,18	58,85	-0,4	44,28	-0,84	0,10
	2	0,48	86,02	0,18	58,91	-0,46	44,28	-0,84	0,09
	5	0,48	86,02	0,18	58,91	-0,46	44,28	-0,84	0,09
7	0	0,56	85,96	0,24	59,15	-0,7	44,73	-1,29	0,14
	2	0,56	85,91	0,29	59,26	-0,81	44,93	-1,49	0,16
	5	0,56	85,91	0,29	59,28	-0,83	44,93	-1,49	0,15
8	0	0,65	85,7	0,5	60,11	-1,66	46,42	-2,98	0,30
	2	0,64	85,62	0,58	60,31	-1,86	46,83	-3,39	0,35
	5	0,64	85,59	0,61	60,37	-1,92	46,83	-3,39	0,34



**Joonis 3.1** Paindemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 41****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

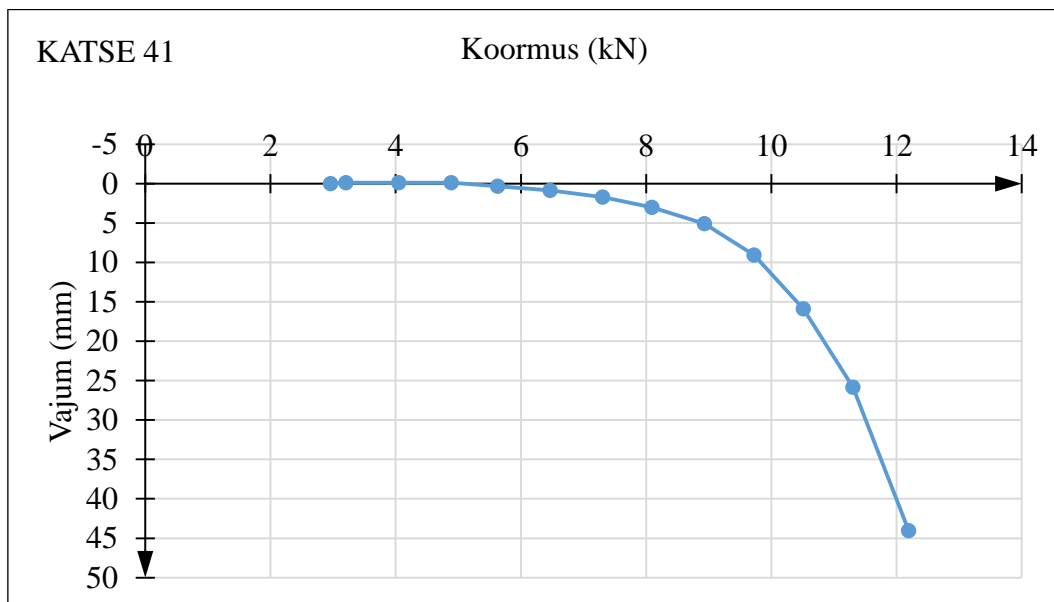
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,2	0,40	6,69

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	2,96	137,32	0
	2	3,11	137,41	-0,09
	5	3,21	137,42	-0,1
2	0	3,85	137,45	-0,13
	2	4,00	137,45	-0,13
	5	4,05	137,45	-0,13
3	0	4,44	137,45	-0,13
	2	4,69	137,44	-0,12
	5	4,89	137,44	-0,12
5	0	5,43	137,19	0,13
	2	5,58	137,07	0,25
	5	5,63	137	0,32
6	0	6,27	136,75	0,57
	2	6,37	136,56	0,76
	5	6,47	136,45	0,87
7	0	6,91	136,24	1,08
	2	7,26	135,8	1,52
	5	7,31	135,63	1,69
8	0	7,65	135,4	1,92
	2	8,05	134,61	2,71
	5	8,09	134,32	3
9	0	8,69	133,75	3,57
	2	8,84	132,83	4,49

	5	8,93	132,22	5,1
10	0	9,48	131,35	5,97
	2	9,67	129,38	7,94
	5	9,72	128,25	9,07
11	0	10,22	126	11,32
	2	10,46	123,41	13,91
	5	10,51	121,44	15,88
12	0	11,01	120,45	16,87
	2	11,20	115,67	21,65
	5	11,30	111,47	25,85
13	0	11,85	109,44	27,88
	2	12,04	100,45	36,87
	5	12,19	93,27	44,05



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

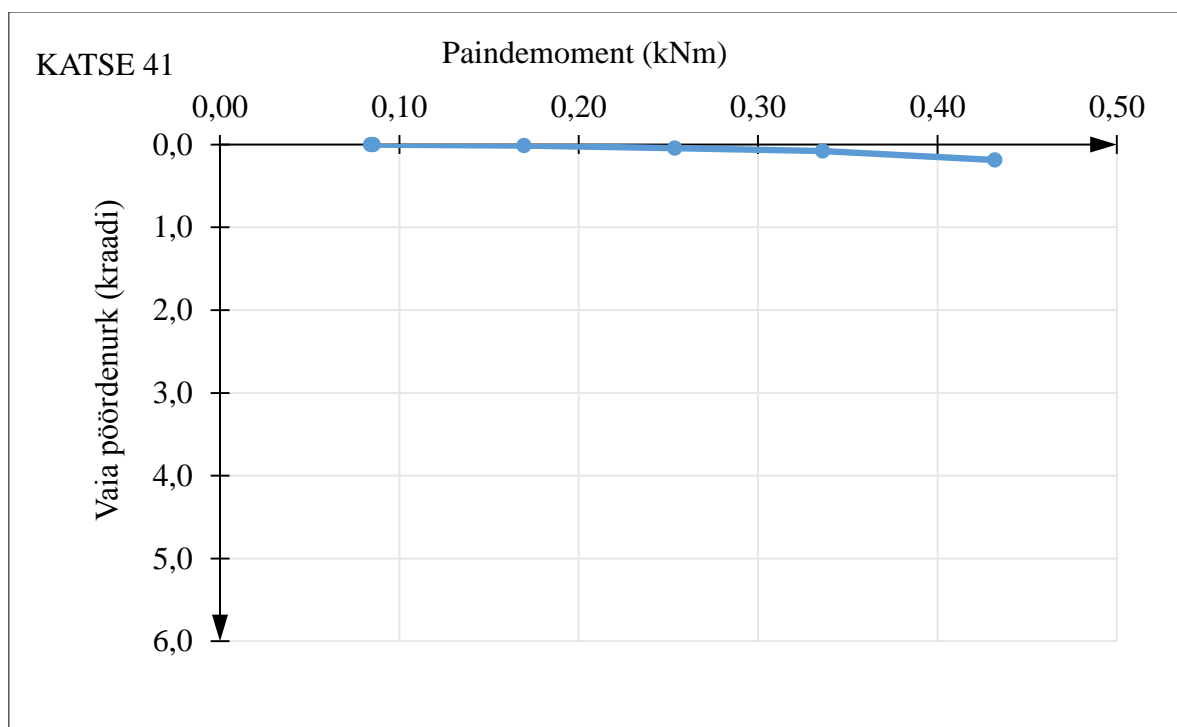
Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c;m}$  11,50 kN

### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 7,34 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,09	92,24	0	71,61	0	39,39	0	0,00
	2	0,09	92,24	0	71,61	0	39,39	0	0,00
	5	0,08	92,24	0	71,61	0	39,39	0	0,00
2	0	0,17	92,24	0	71,64	-0,03	39,48	-0,09	0,01
	2	0,17	92,24	0	71,64	-0,03	39,48	-0,09	0,01
	5	0,17	92,24	0	71,64	-0,03	39,48	-0,09	0,01
3	0	0,26	92,24	0	71,74	-0,13	39,7	-0,31	0,04
	2	0,26	92,24	0	71,76	-0,15	39,76	-0,37	0,05
	5	0,25	92,24	0	71,76	-0,15	39,73	-0,34	0,04
4	0	0,34	92,24	0	71,93	-0,32	40,04	-0,65	0,08
	2	0,34	92,24	0	71,98	-0,37	40,07	-0,68	0,07
	5	0,34	92,24	0	71,99	-0,38	40,11	-0,72	0,08
5	0	0,43	92,18	0,06	72,39	-0,78	40,85	-1,46	0,16
	2	0,43	92,16	0,08	72,47	-0,86	41,01	-1,62	0,17
	5	0,43	92,16	0,08	72,51	-0,9	41,1	-1,71	0,19

**Joonis 3.1** Paindemomendi ja vaia pöördenurga graafik

**KATSE 42****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

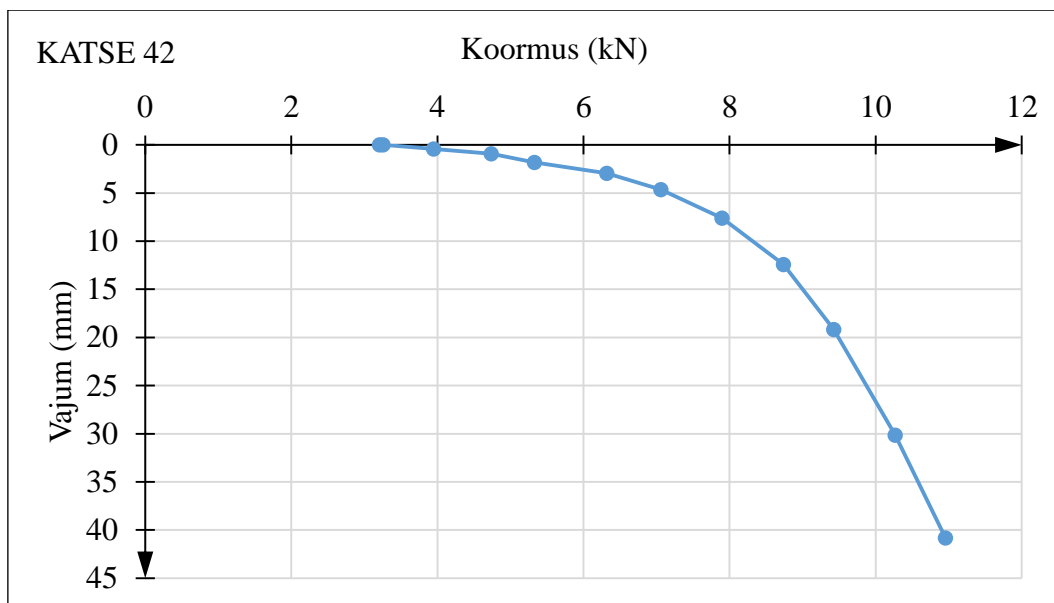
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,0	0,33	8,11

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,21	125,33	0
	2	3,21	125,33	0
	5	3,26	125,33	0
2	0	3,80	125,01	0,32
	2	3,90	124,95	0,38
	5	3,95	124,91	0,42
3	0	4,34	124,8	0,53
	2	4,64	124,48	0,85
	5	4,74	124,39	0,94
5	0	5,28	123,94	1,39
	2	5,43	123,62	1,71
	5	5,33	123,51	1,82
6	0	5,97	123,24	2,09
	2	6,32	122,37	2,96
	5	6,32	122,37	2,96
7	0	6,91	121,63	3,7
	2	7,01	121,03	4,3
	5	7,06	120,69	4,64
8	0	7,55	120,24	5,09
	2	7,85	118,53	6,8
	5	7,90	117,73	7,6
9	0	8,44	117,04	8,29
	2	8,64	114,35	10,98

	5	8,74	112,91	12,42
10	0	9,18	111,95	13,38
	2	9,33	108,56	16,77
	5	9,43	106,15	19,18
11	0	9,87	104,52	20,81
	2	10,07	98,93	26,4
	5	10,27	95,19	30,14
12	0	10,71	92,9	32,43
	2	10,96	84,52	40,81



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  10,26 kN

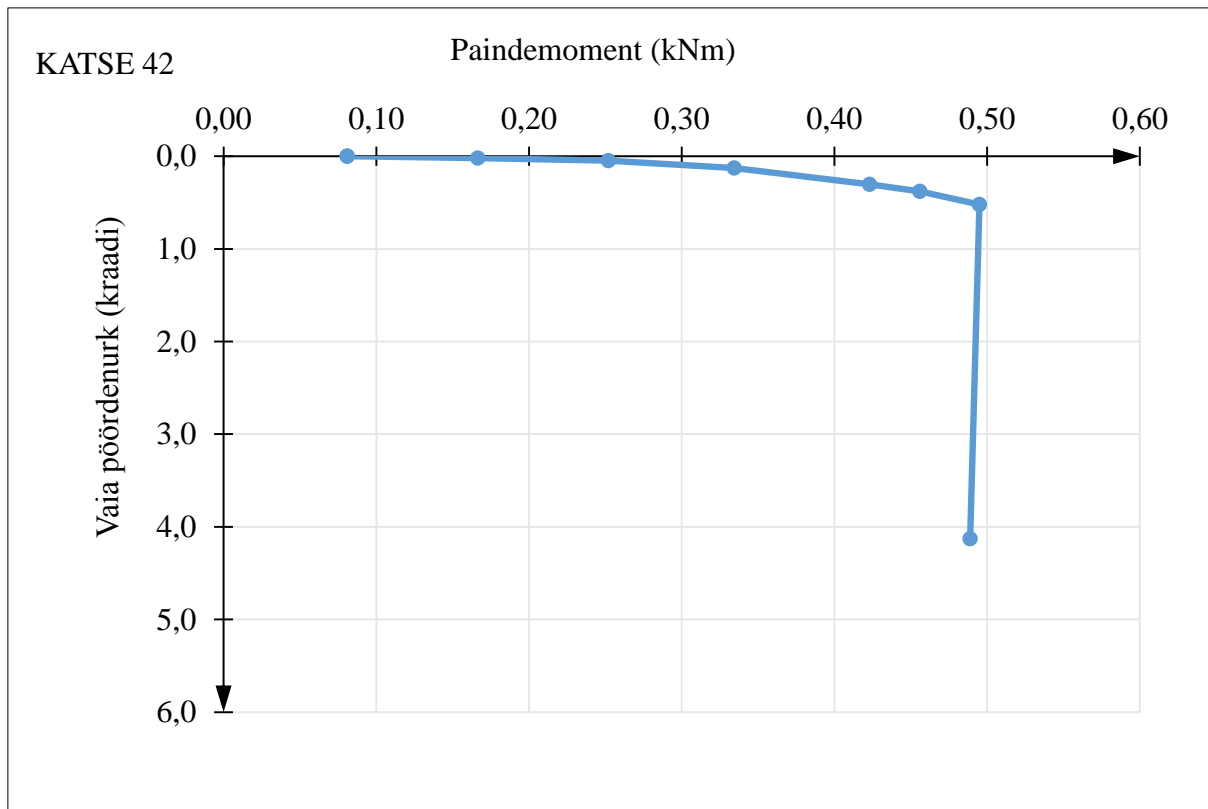
### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 7,21 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	81,52	0	87,23	0	55,75	0	0,00
	2	0,08	81,47	0,05	87,23	0	55,75	0	0,00
	5	0,08	81,46	0,06	87,23	0	55,75	0	0,00
2	0	0,17	81,41	0,11	87,26	-0,03	55,87	-0,12	0,02
	2	0,17	81,4	0,12	87,26	-0,03	55,87	-0,12	0,02
	5	0,17	81,38	0,14	87,26	-0,03	55,87	-0,12	0,02
3	0	0,26	81,33	0,19	87,31	-0,08	56,03	-0,28	0,05
	2	0,25	81,3	0,22	87,32	-0,09	56,05	-0,3	0,05
	5	0,25	81,26	0,26	87,32	-0,09	56,05	-0,3	0,05
4	0	0,34	81,04	0,48	87,46	-0,23	56,48	-0,73	0,11
	2	0,34	81,01	0,51	87,48	-0,25	56,53	-0,78	0,12
	5	0,33	80,98	0,54	87,48	-0,25	56,56	-0,81	0,13
5	0	0,43	80,62	0,9	87,78	-0,55	57,5	-1,75	0,28
	2	0,42	80,46	1,06	87,85	-0,62	57,68	-1,93	0,30
	5	0,42	80,4	1,12	87,87	-0,64	57,71	-1,96	0,30
6	0	0,46	80,2	1,32	88	-0,77	58	-2,25	0,34
	2	0,46	80	1,52	88,18	-0,95	58,29	-2,54	0,36
	5	0,46	79,93	1,59	88,2	-0,97	58,37	-2,62	0,38
7	0	0,50	79,7	1,82	88,43	-1,2	58,95	-3,2	0,46
	2	0,50	79,32	2,2	88,57	-1,34	59,34	-3,59	0,52
	5	0,50	78,88	2,64	88,95	-1,72	59,75	-4	0,52
8	0	0,54	78,51	3,01	89,49	-2,26	61,36	-5,61	0,77
	2	0,49	84,88	-3,36	103,63	-16,4	90,2	-34,45	4,13





**Joonis 3.1** Paandemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**KATSE 43****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

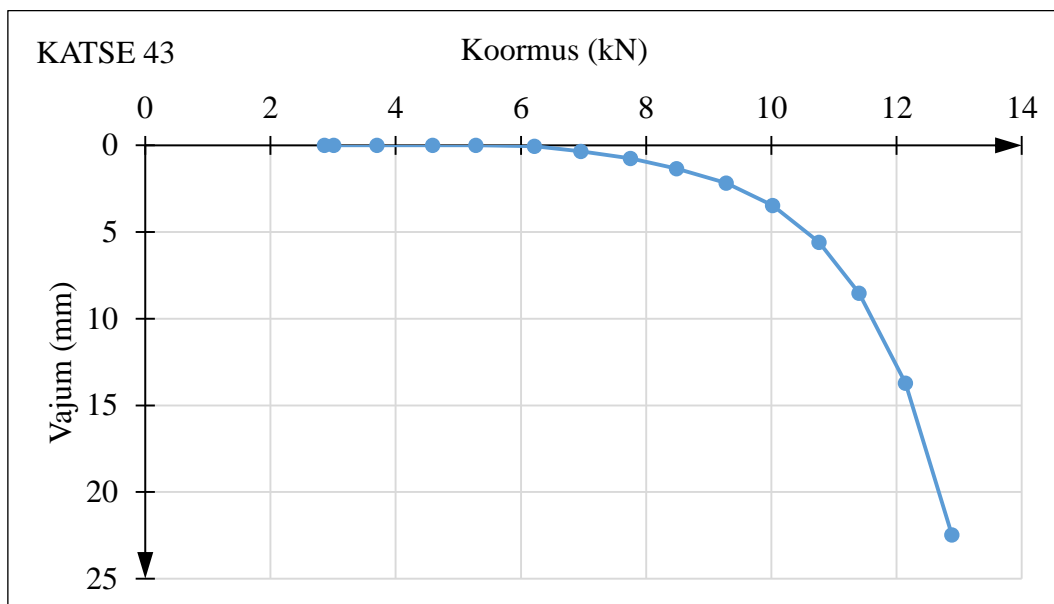
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,1	0,37	7,23

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	2,86	120,65	0
	2	2,91	120,74	-0,09
	5	3,01	120,82	-0,17
2	0	3,46	121,7	-1,05
	2	3,70	122,2	-1,55
	5	3,70	122,35	-1,7
3	0	4,10	122,69	-2,04
	2	4,44	123,46	-2,81
	5	4,59	123,76	-3,11
5	0	4,99	123,76	-3,11
	2	5,33	123,76	-3,11
	5	5,28	123,76	-3,11
6	0	5,63	123,76	-3,11
	2	6,12	123,76	-3,11
	5	6,22	123,72	-3,07
7	0	6,37	123,7	-3,05
	2	6,86	123,48	-2,83
	5	6,96	123,41	-2,76
8	0	7,16	123,4	-2,75
	2	7,65	123,11	-2,46
	5	7,75	123,01	-2,36
9	0	8,14	122,91	-2,26
	2	8,44	122,59	-1,94

	5	8,49	122,41	-1,76
10	0	8,93	122,31	-1,66
	2	9,23	121,76	-1,11
	5	9,28	121,58	-0,93
11	0	9,82	121,17	-0,52
	2	9,97	120,58	0,07
	5	10,02	120,29	0,36
12	0	10,46	120,05	0,6
	2	10,66	119,03	1,62
	5	10,76	118,18	2,47
13	0	11,15	117,87	2,78
	2	11,35	116,21	4,44
	5	11,40	115,24	5,41
14	0	11,85	114,77	5,88
	2	12,09	112,16	8,49
	5	12,14	110,05	10,6
15	0	12,64	108,83	11,82
	2	12,83	104,31	16,34
	5	12,88	101,29	19,36



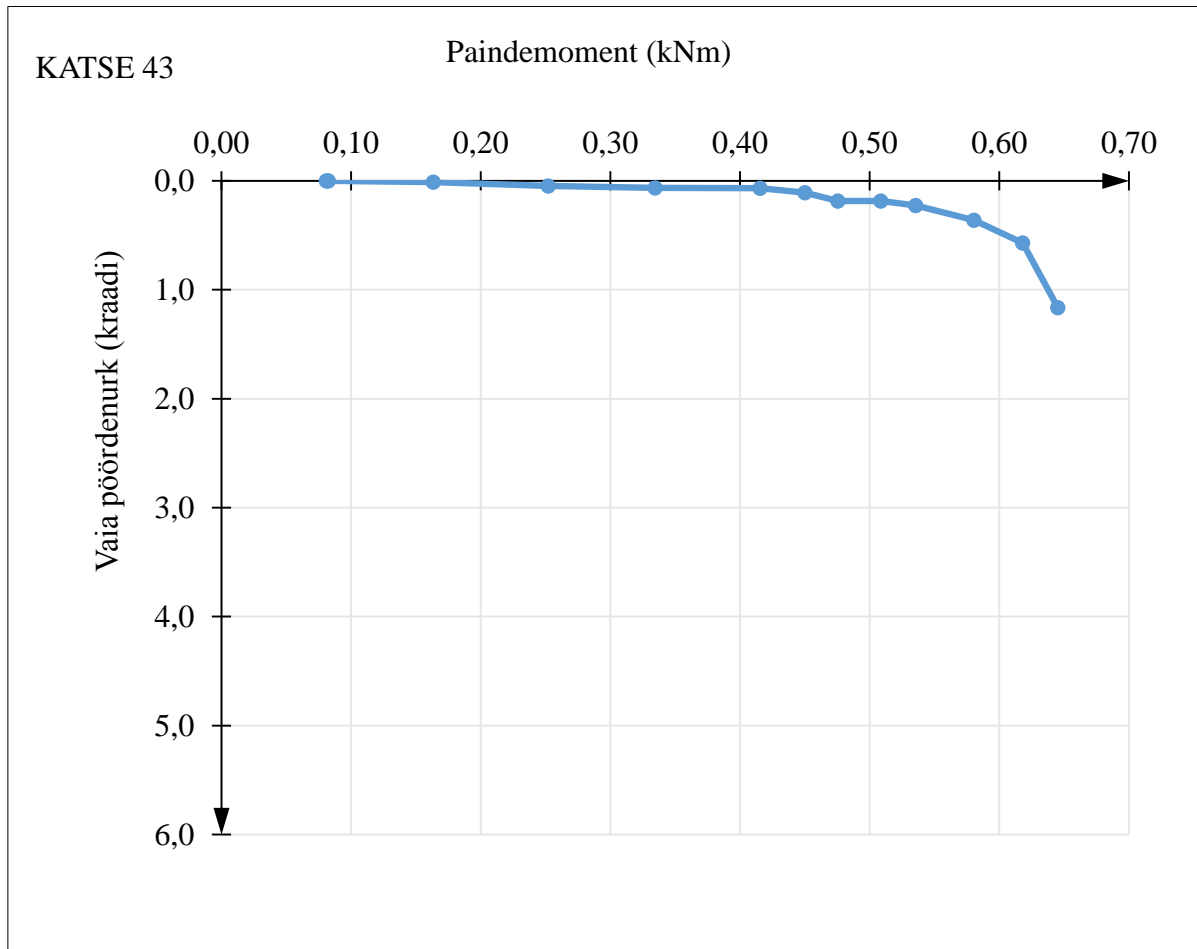
**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  13,78 kN

**3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine**Vertikaalkoormus 7,16 kN**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	87,8	0	62,36	0	48,73	0	0,00
	2	0,08	87,8	0	62,36	0	48,73	0	0,00
	5	0,08	87,8	0	62,36	0	48,73	0	0,00
2	0	0,17	87,8	0	62,41	-0,05	48,73	0	0,01
	2	0,17	87,8	0	62,41	-0,05	48,73	0	0,01
	5	0,16	87,8	0	62,41	-0,05	48,73	0	0,01
3	0	0,26	87,8	0	62,46	-0,1	49,03	-0,3	0,05
	2	0,25	87,8	0	62,46	-0,1	49,03	-0,3	0,05
	5	0,25	87,8	0	62,46	-0,1	49,03	-0,3	0,05
4	0	0,34	87,71	0,09	62,56	-0,2	49,21	-0,48	0,06
	2	0,34	87,71	0,09	62,56	-0,2	49,21	-0,48	0,06
	5	0,33	87,71	0,09	62,56	-0,2	49,21	-0,48	0,06
5	0	0,42	87,62	0,18	62,73	-0,37	49,45	-0,72	0,08
	2	0,42	87,62	0,18	62,73	-0,37	49,45	-0,72	0,08
	5	0,42	87,62	0,18	62,79	-0,43	49,45	-0,72	0,07
6	0	0,45	87,57	0,23	62,85	-0,49	49,77	-1,04	0,13
	2	0,45	87,54	0,26	62,88	-0,52	49,77	-1,04	0,12
	5	0,45	87,53	0,27	62,93	-0,57	49,77	-1,04	0,11
7	0	0,48	87,5	0,3	63,01	-0,65	50,04	-1,31	0,15
	2	0,48	87,49	0,31	63,04	-0,68	50,04	-1,31	0,14
	5	0,48	87,49	0,31	63,1	-0,74	50,27	-1,54	0,18
8	0	0,51	87,38	0,42	63,17	-0,81	50,43	-1,7	0,20
	2	0,51	87,38	0,42	63,25	-0,89	50,43	-1,7	0,19
	5	0,51	87,38	0,42	63,25	-0,89	50,43	-1,7	0,19
9	0	0,54	87,31	0,49	63,31	-0,95	50,66	-1,93	0,22
	2	0,54	87,28	0,52	63,37	-1,01	50,78	-2,05	0,24
	5	0,54	87,26	0,54	63,42	-1,06	50,78	-2,05	0,23
10	0	0,58	87,1	0,7	63,66	-1,3	51,42	-2,69	0,32
	2	0,58	87,04	0,76	63,78	-1,42	51,67	-2,94	0,35
	5	0,58	87,01	0,79	63,86	-1,5	51,81	-3,08	0,36
11	0	0,62	86,94	0,86	64,14	-1,78	52,45	-3,72	0,44
	2	0,62	86,74	1,06	64,61	-2,25	53,35	-4,62	0,54

	5	0,62	86,64	1,16	64,86	-2,5	53,72	-4,99	0,57
12	0	0,65	86,48	1,32	65,42	-3,06	55,38	-6,65	0,82
	2	0,65	85,74	2,06	66,75	-4,39	57,57	-8,84	1,02
	5	0,65	85,23	2,57	67,3	-4,94	58,75	-10,02	1,16



**Joonis 3.1** Paindemomendi ja vaia pöördenuurga graafik

**KATSE 51****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

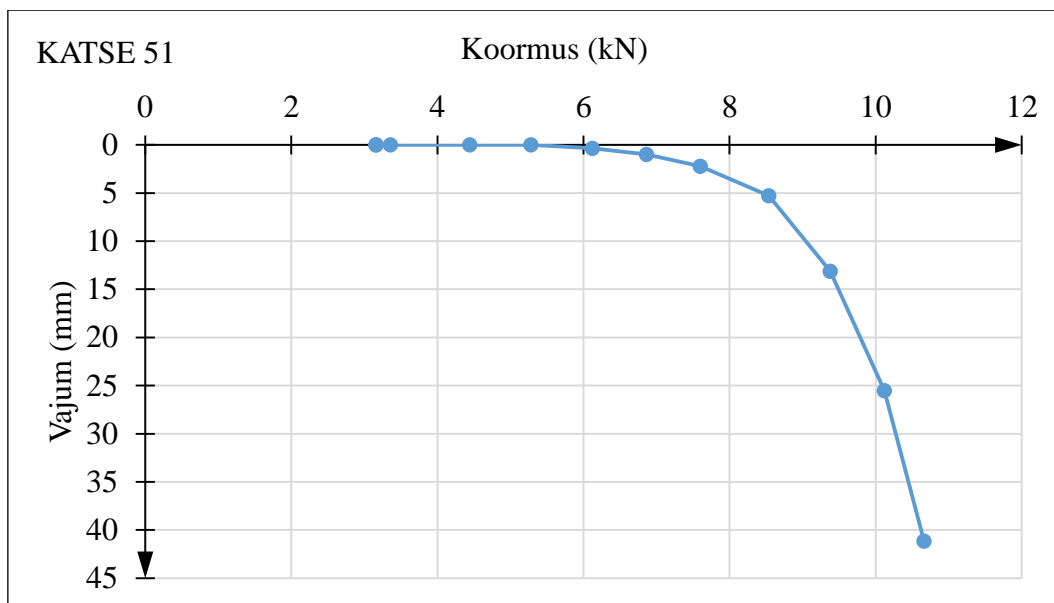
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,2	0,40	6,69

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,16	104,75	0
	2	3,16	104,75	0
	5	3,16	104,75	0
2	0	3,21	104,75	0
	2	3,26	104,79	-0,04
	5	3,36	104,83	-0,08
3	0	4,39	105,71	-0,96
	2	4,39	105,75	-1
	5	4,44	105,77	-1,02
5	0	5,18	105,91	-1,16
	2	5,23	105,91	-1,16
	5	5,28	105,91	-1,16
6	0	5,77	105,84	-1,09
	2	6,07	105,64	-0,89
	5	6,12	105,55	-0,8
7	0	6,66	105,31	-0,56
	2	6,76	105,04	-0,29
	5	6,86	104,93	-0,18
8	0	7,40	104,55	0,2
	2	7,55	103,93	0,82
	5	7,60	103,7	1,05
9	0	8,24	103,01	1,74
	2	8,44	101,52	3,23

	5	8,54	100,63	4,12
10	0	9,03	99,62	5,13
	2	9,38	94,69	10,06
	5	9,38	92,77	11,98
11	0	9,87	91,06	13,69
	2	9,97	85,62	19,13
	5	10,12	80,4	24,35
12	0	10,51	77,28	27,47
	2	10,66	68,46	36,29



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  10,31 kN

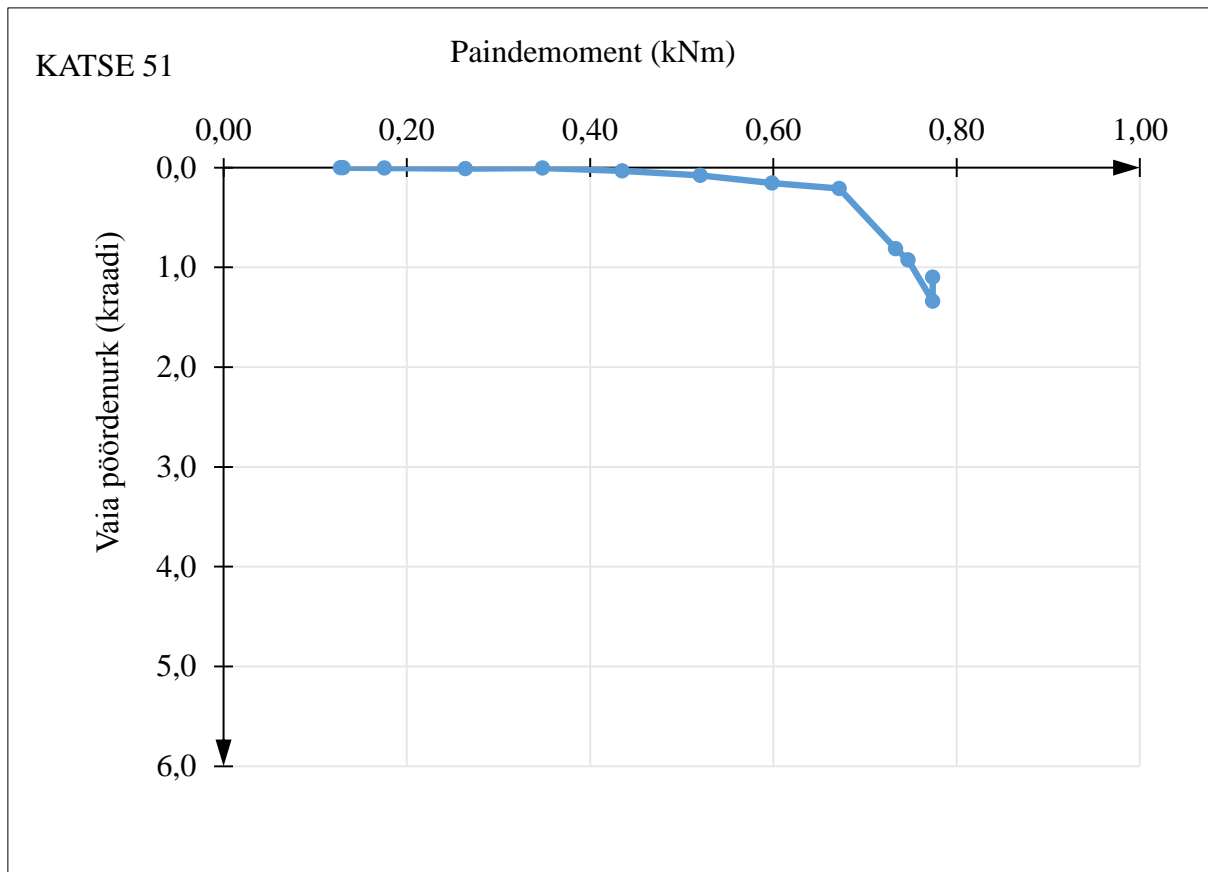
### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 8,65 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,13	63,79	0	56,73	0	20,54	0	0,00
	2	0,13	63,79	0	56,73	0	20,54	0	0,00
	5	0,13	63,79	0	56,73	0	20,54	0	0,00
2	0	0,18	63,75	0,04	56,75	-0,02	20,54	0	0,00
	2	0,18	63,75	0,04	56,75	-0,02	20,54	0	0,00
	5	0,18	63,75	0,04	56,75	-0,02	20,54	0	0,00
3	0	0,27	63,71	0,08	56,78	-0,05	20,54	0	0,01
	2	0,26	63,71	0,08	56,78	-0,05	20,54	0	0,01
	5	0,26	63,71	0,08	56,78	-0,05	20,54	0	0,01
4	0	0,35	63,67	0,12	56,85	-0,12	20,68	-0,14	0,00
	2	0,35	63,67	0,12	56,85	-0,12	20,68	-0,14	0,00
	5	0,35	63,66	0,13	56,85	-0,12	20,68	-0,14	0,00
5	0	0,44	63,54	0,25	56,93	-0,2	20,91	-0,37	0,04
	2	0,44	63,52	0,27	56,96	-0,23	20,91	-0,37	0,03
	5	0,44	63,52	0,27	56,96	-0,23	20,91	-0,37	0,03
6	0	0,53	63,23	0,56	57,13	-0,4	21,32	-0,78	0,09
	2	0,52	63,21	0,58	57,17	-0,44	21,32	-0,78	0,08
	5	0,52	63,18	0,61	57,17	-0,44	21,32	-0,78	0,08
7	0	0,61	62,79	1	57,4	-0,67	21,86	-1,32	0,15
	2	0,60	62,69	1,1	57,46	-0,73	21,9	-1,36	0,14
	5	0,60	62,59	1,2	57,5	-0,77	21,99	-1,45	0,16
8	0	0,68	61,92	1,87	57,99	-1,26	22,74	-2,2	0,22
	2	0,67	61,39	2,4	58,17	-1,44	22,92	-2,38	0,22
	5	0,67	61,18	2,61	58,23	-1,5	22,96	-2,42	0,21
9	0	0,76	58,62	5,17	60,45	-3,72	26,76	-6,22	0,57
	2	0,74	55,23	8,56	61,74	-5,01	28,53	-7,99	0,68
	5	0,73	53,65	10,14	62,33	-5,6	29,68	-9,14	0,81
10	0	0,76	52,98	10,81	62,7	-5,97	30,35	-9,81	0,88
	2	0,75	52,46	11,33	62,89	-6,16	30,65	-10,11	0,91
	5	0,75	51,95	11,84	63,03	-6,3	30,87	-10,33	0,92
10	0	0,78	51,44	12,35	63,5	-6,77	31,76	-11,22	1,02
	2	0,78	50,63	13,16	63,99	-7,26	32,97	-12,43	1,18
	5	0,77	48,53	15,26	64,87	-8,14	34,52	-13,98	1,34
11	0	0,77	38,72	25,07	64,31	-7,58	32,91	-12,37	1,10





**Joonis 3.1** Paindemomendi ja vaia pöördnurga graafik

**KATSE 52****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

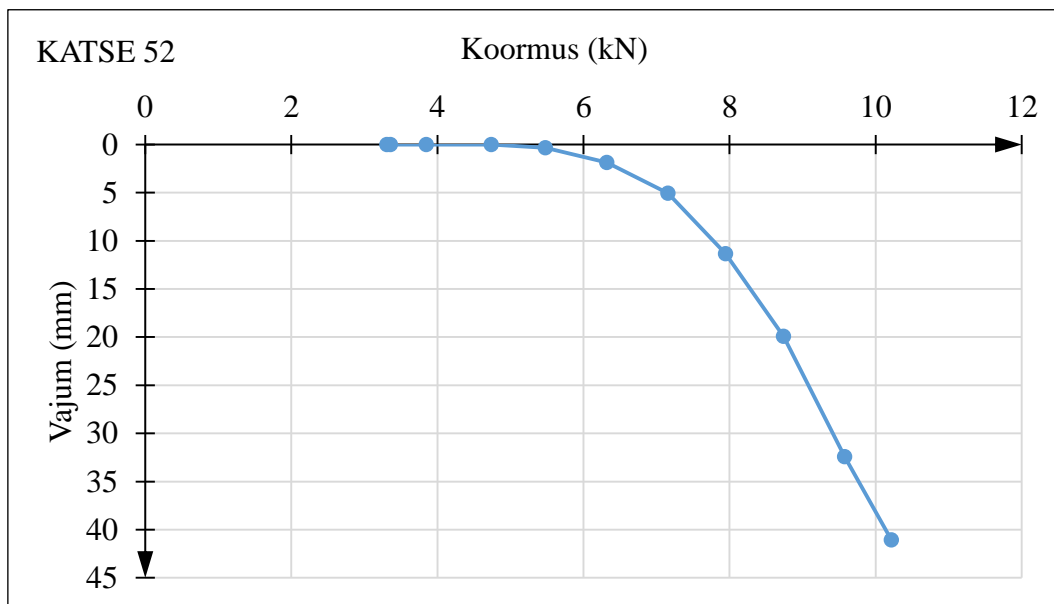
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,1	0,37	7,23

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	3,31	143,96	0
	2	3,36	143,94	0,02
	5	3,36	143,94	0,02
2	0	3,41	143,94	0,02
	2	3,70	143,94	0,02
	5	3,85	143,94	0,02
3	0	4,69	143,94	0,02
	2	4,74	143,94	0,02
	5	4,74	143,94	0,02
5	0	5,23	143,8	0,16
	2	5,43	143,66	0,3
	5	5,48	143,61	0,35
6	0	6,07	143,17	0,79
	2	6,32	142,35	1,61
	5	6,32	142,08	1,88
7	0	6,91	141,3	2,66
	2	7,16	139,45	4,51
	5	7,16	138,91	5,05
8	0	7,65	137,88	6,08
	2	7,90	133,8	10,16
	5	7,95	132,61	11,35
9	0	8,44	130,26	13,7

	2	8,69	125,6	18,36
	5	8,74	124,05	19,91
10	0	9,18	122,16	21,8
	2	9,48	114,24	29,72
	5	9,58	111,55	32,41
11	0	10,02	110,14	33,82
	2	10,22	104,69	39,27
	5		102,9	41,06



**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

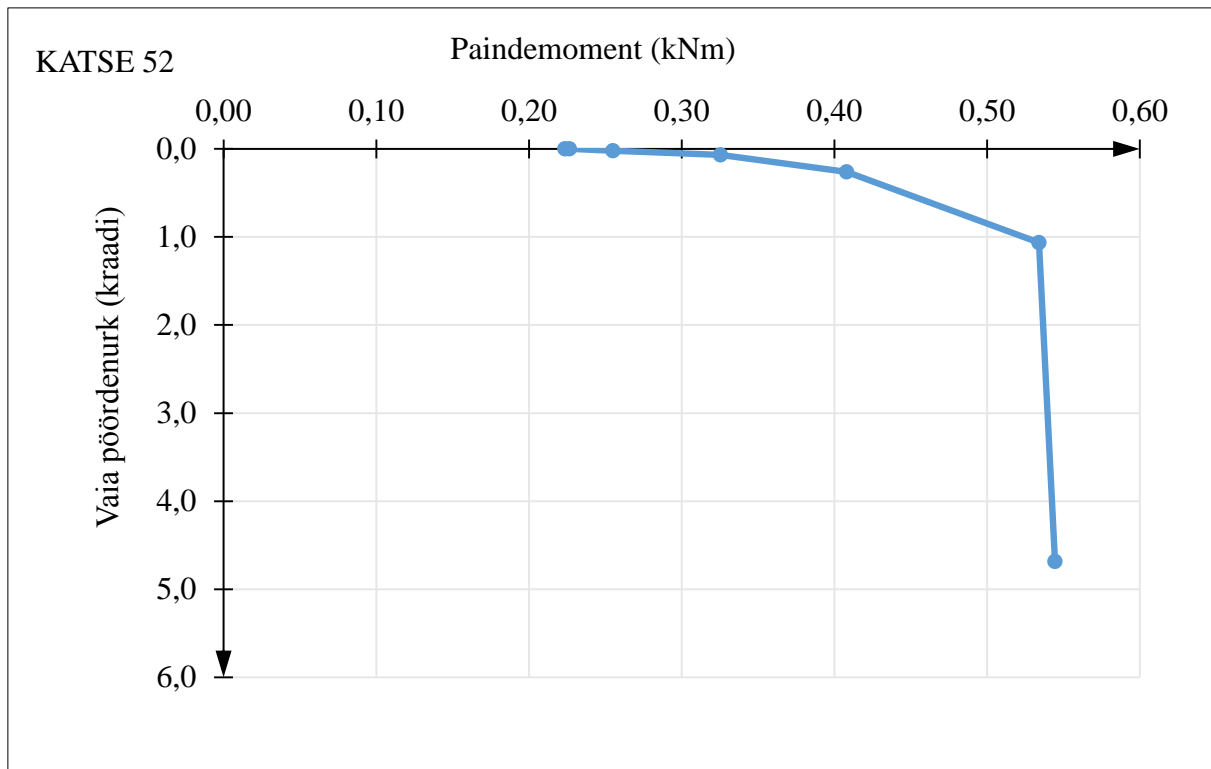
Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  9,42 kN

### 3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine

Vertikaalkoormus 8,80 kN

**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,22	102,87	0	20,31	0	20,31	0	0,00
	2	0,23	102,82	0,05	20,31	0	20,31	0	0,00
	5	0,23	102,8	0,07	20,31	0	20,31	0	0,00
2	0	0,25	102,79	0,08	20,31	0	20,47	-0,16	0,04
	2	0,25	102,74	0,13	20,38	-0,07	20,47	-0,16	0,02
	5	0,26	102,67	0,2	20,38	-0,07	20,47	-0,16	0,02
3	0	0,31	102,58	0,29	20,55	-0,24	20,7	-0,39	0,03
	2	0,32	102,4	0,47	20,61	-0,3	20,83	-0,52	0,05
	5	0,33	102,21	0,66	20,68	-0,37	20,98	-0,67	0,07
4	0	0,37	101,84	1,03	20,97	-0,66	21,57	-1,26	0,14
	2	0,39	101,23	1,64	21,29	-0,98	22,15	-1,84	0,20
	5	0,41	100,47	2,4	21,59	-1,28	22,73	-2,42	0,26
5	0	0,48	98,28	4,59	23,23	-2,92	23,58	-3,27	0,08
	2	0,52	95,35	7,52	25,23	-4,92	28,63	-8,32	0,78
	5	0,53	92,36	10,51	26,99	-6,68	31,63	-11,32	1,06
6	0	0,57	88,9	13,97	29,44	-9,13	36,37	-16,06	1,59
	2	0,58	80,16	22,71	35,21	-14,9	46,5	-26,19	2,59
	5	0,54	53,76	49,11	48,17	-27,86	68,66	-48,35	4,69



Joonis 3.1 Paandemomendi ja vaia pöördenurga graafik

**KATSE 53****1. Dünaamiline katse**

Vasara kaal  g. Vaia kaal koos juhtvardaga  g.

Vasara langemiskõrgus  cm.

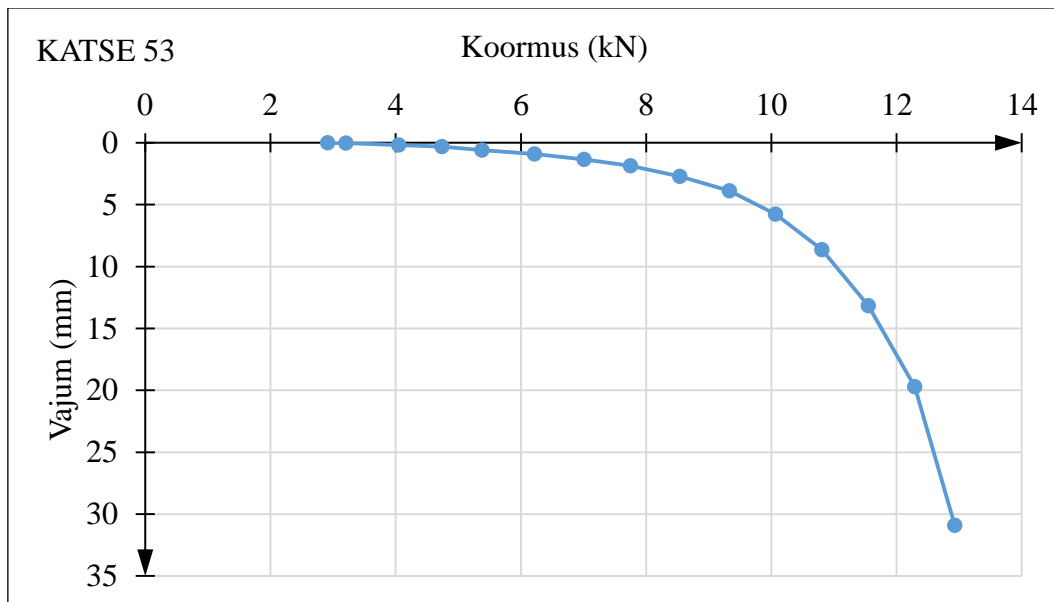
**Tabel 1.1 Dünaamilise katsetuse katsetulemused**

Järjekorra nr	Löökide arv	Mõõdetud vajum (cm)	Vajum ühest löögist ehk vaste (cm)	Arvutatud kandevõime $R_{c,m}$ (kN)
1	3	1,0	0,33	8,11

**2. Staatiline koormuskatse****Tabel 2.1 Staatiline koormuskatse katsetulemused**

Koormus astme nr	Aeg (min)	Koormus aste (kN)	Nihkeanduri lugem (mm)	Siire (mm)
1	0	2,91	122,22	0
	2	3,11	122,2	0,02
	5	3,21	122,19	0,03
2	0	4,05	122,03	0,19
	2	4,05	122,03	0,19
	5	4,05	122,03	0,19
3	0	4,54	121,93	0,29
	2	4,69	121,91	0,31
	5	4,74	121,91	0,31
5	0	5,28	121,7	0,52
	2	5,43	121,66	0,56
	5	5,38	121,63	0,59
6	0	5,77	121,58	0,64
	2	6,17	121,39	0,83
	5	6,22	121,31	0,91
7	0	6,81	121,06	1,16
	2	6,91	120,93	1,29
	5	7,01	120,86	1,36
8	0	7,26	120,8	1,42
	2	7,65	120,46	1,76
	5	7,75	120,36	1,86
9	0	8,34	119,97	2,25

	2	8,44	119,7	2,52
	5	8,54	119,51	2,71
10	0	8,88	119,41	2,81
	2	9,23	118,76	3,46
	5	9,33	118,34	3,88
11	0	9,87	117,92	4,3
	2	9,97	117,15	5,07
	5	10,07	116,45	5,77
12	0	10,56	116,07	6,15
	2	10,76	114,57	7,65
	5	10,81	113,57	8,65
13	0	11,30	113,03	9,19
	2	11,45	111,07	11,15
	5	11,55	109,05	13,17
14	0	12,04	108,43	13,79
	2	12,24	103,86	18,36
	5	12,29	102,51	19,71
15	0	12,73	101,11	21,11
	2	12,83	96,13	26,09
	5	12,93	91,33	30,89



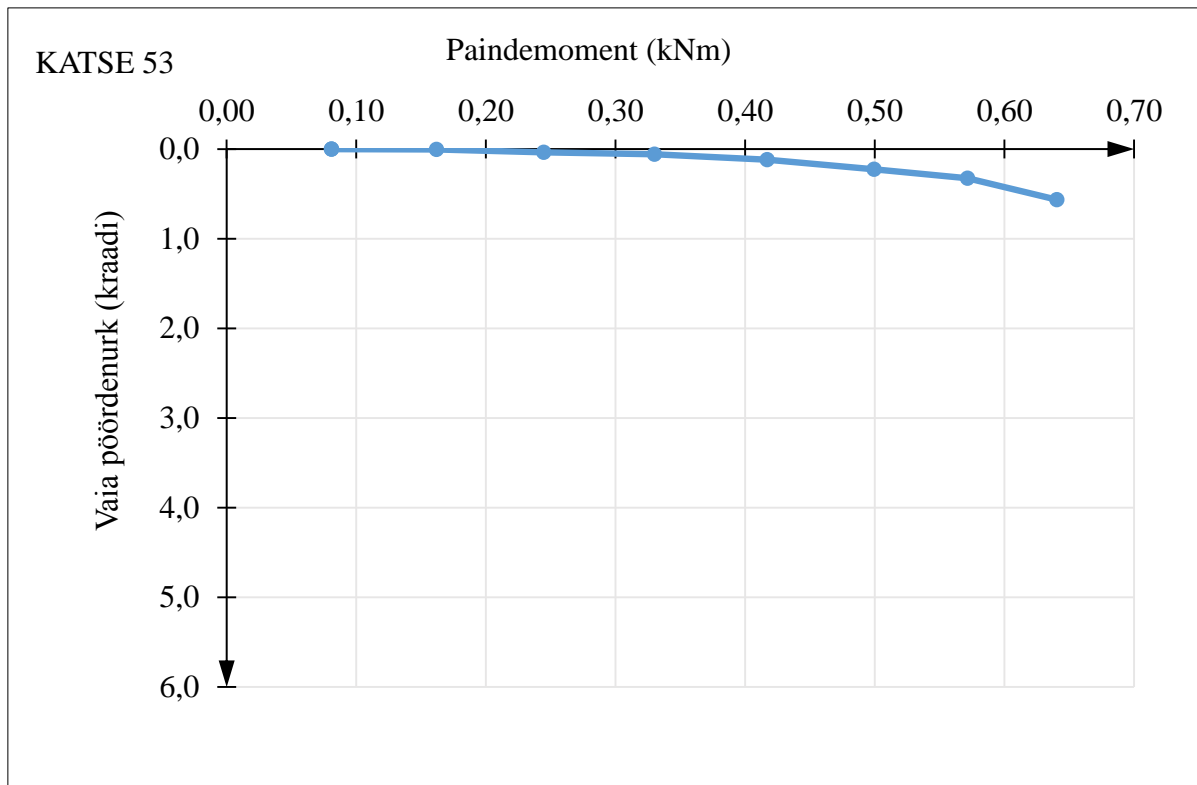
**Joonis 2.1** Staatilise koormuskatse graafik

Staatiline kiilvaia kandevõime  $R_{c,m}$  12,88 kN

**3. Kiilvaia vertikaal koormuse ja paindemomendiga katsetamine**Vertikaalkoormus  kN**Tabel 3.1 Vertikaalkoormuse ja momendi koosmõju katse tulemused**

Järjekorra nr	Aeg min	Paindemoment (kNm)	Vaia vertikaalsiirde lugem mm	Vaia vajum mm	Vaia alumine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 1 mm	Vaia ülemine horisontaalsiirde lugem mm	Siire 2 mm	Vaia pöördenurk (kraadi)
1	0	0,08	87,8	0	63,45	0	45,01	0	0,00
	2	0,08	87,78	0,02	63,45	0	45,01	0	0,00
	5	0,08	87,75	0,05	63,45	0	45,01	0	0,00
2	0	0,16	87,72	0,08	63,47	-0,02	45,01	0	0,00
	2	0,16	87,71	0,09	63,47	-0,02	45,01	0	0,00
	5	0,16	87,7	0,1	63,47	-0,02	45,01	0	0,00
3	0	0,25	87,67	0,13	63,5	-0,05	45,22	-0,21	0,04
	2	0,25	87,63	0,17	63,5	-0,05	45,22	-0,21	0,04
	5	0,24	87,62	0,18	63,5	-0,05	45,22	-0,21	0,04
4	0	0,33	87,55	0,25	63,58	-0,13	45,39	-0,38	0,06
	2	0,33	87,54	0,26	63,58	-0,13	45,39	-0,38	0,06
	5	0,33	87,54	0,26	63,58	-0,13	45,39	-0,38	0,06
5	0	0,42	87,44	0,36	63,71	-0,26	45,83	-0,82	0,13
	2	0,42	87,43	0,37	63,78	-0,33	45,9	-0,89	0,13
	5	0,42	87,39	0,41	63,83	-0,38	45,9	-0,89	0,12
6	0	0,50	87,25	0,55	64,09	-0,64	46,53	-1,52	0,20
	2	0,50	87,13	0,67	64,24	-0,79	46,75	-1,74	0,22
	5	0,50	87,07	0,73	64,28	-0,83	46,83	-1,82	0,23
7	0	0,58	86,82	0,98	64,68	-1,23	47,61	-2,6	0,31
	2	0,57	86,62	1,18	65,12	-1,67	48,02	-3,01	0,31
	5	0,57	86,51	1,29	65,19	-1,74	48,17	-3,16	0,33
8	0	0,64	85,79	2,01	67	-3,55	50,43	-5,42	0,43
	2	0,64	85,17	2,63	67,89	-4,44	51,83	-6,82	0,55
	5	0,64	84,96	2,84	68,16	-4,71	52,18	-7,17	0,56





Joonis 3.1 Paidemomendi ja vaia pöördenuga graafik

**Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Janek Kuld,

sünnipäev 08.03.1978 37803085728

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Mudelkiilvaia uurimine vertikaalkoormuse ja momendi koosmõjul,

mille juhendaja on Villu Leppik ja Roomelt Needo,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 11.06.2020

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_ Villu Leppik \_\_\_\_\_

*(juhendaja nimi ja allkiri)*

\_\_\_\_\_ 11.06.2020 \_\_\_\_\_

*(kuupäev)*

\_\_\_\_\_ Roomelt Needo \_\_\_\_\_

*(juhendaja nimi ja allkiri)*

\_\_\_\_\_ 11.06.2020 \_\_\_\_\_

*(kuupäev)*