



**CHALMERS**

# **Verkliga krafter kontra beräkningar enligt norm i byggställningar**

En undersökning av spirlaster och förankringskrafter  
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Julius Carlsson Johansson

Isak Enoksson

**INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# Abstract

This technical report presents a comprehensive investigation of wind loads and anchoring forces in scaffolding, with a focus on comparing measured values with calculations according to the standard.

The purpose of this report is to gain a better practical understanding of measured forces in scaffolding and how they relate to calculated values in accordance with Swedish standards.

The methodology for the study is described in detail. It includes measurements of anchoring forces at different heights in scaffolding, the use of trendlines to analyze data, and a comparison of measured forces with calculations according to the standard. Special attention is given to factors such as anchoring height and cladding type.

The results of the study are presented and discussed in detail. A general observation is that the measured anchoring forces generally do not correlate well with the calculations. The anchoring forces for the highest anchorage are found to be either constant or have a slight linear slope. Additionally, it was noted that the measured forces were either lower than the calculations or did not increase as rapidly with increasing wind speeds. This deviation suggests that the calculations according to the standard do not align with the reality for the conditions within this measurement study.

Part of the analysis showed that the anchoring forces vary depending on the cladding type. Plastic cladding generates greater anchoring forces than net cladding, challenging the theoretical assumptions and emphasizing the importance of considering the cladding type in the assessment of structural stability. Furthermore, the analysis also reveals that there is no clear trend for anchoring forces with respect to the height of the anchorage in the scaffolding.

In conclusion, this report demonstrates that there is room for improvement in the calculations according to the standard for anchoring forces in scaffolding. Further research and measurements are needed to optimize the calculation models and thereby increase understanding of the forces that arise in scaffolding. The results emphasize the importance of adapting the calculations for various factors that are currently not considered, as well as considering different cladding types.

# Sammanfattning

Denna tekniska rapport presenterar en omfattande undersökning av vindlaster och förankringskrafter i byggställningar, med fokus på att jämföra uppmätta värden med beräkningar enligt norm.

Syftet med denna rapport är att erhålla en större praktisk förståelse för verkliga krafter och hur de förhåller sig till framräknade värden med beräkningsmetoder enligt svensk standard för ställningsbyggande.

Metodiken för studien beskrivs detaljerat. Det inkluderar mätningar av förankringskrafter på olika höjder i byggställningar, användning av trendlinjer för att analysera data samt jämförelse av uppmätta krafter med beräkningar enligt norm. Särskild vikt läggs vid att beakta faktorer som förankringshöjd och inklädnadstyp.

Resultaten av studien presenteras och diskuteras detaljerat. En övergripande iakttagelse är att de uppmätta förankringskrafterna i allmänhet inte överensstämmer väl med beräkningarna. Förankringskrafterna för den högsta förankringen visar sig vara antingen konstanta eller ha en liten linjär lutning. Dessutom noterades att de uppmätta krafterna antingen var lägre än beräkningarna eller ökade inte lika snabbt vid ökande vindhastigheter. Denna avvikelse tyder på att beräkningarna enligt norm inte överensstämmer med verkligheten för de förhållandena inom den här mätstudien.

En del av analysen visade att förankringskrafterna varierar beroende på inklädnadstyp. Plastinklädnad genererar större förankringskrafter än nätinklädnad, vilket utmanar de teoretiska antagandena och betonar vikten av att beakta inklädnadstypen vid bedömningen av strukturell stabilitet. Ytterligare visar analysen även att det inte finns en tydlig trend för förankringskrafter med avseende på förankringens höjd i byggställningen.

Sammanfattningsvis visar denna rapport att det finns utrymme för förbättring av beräkningarna enligt norm för förankringskrafter i byggställningar. Vidare forskning och mätningar behövs för att optimera beräkningsmodellerna och därmed öka förståelsen av de krafter som uppstår i byggställningar. Resultaten betonar vikten av att anpassa beräkningarna för olika faktorer som i dagsläget inte beaktas samt ta hänsyn till olika inklädnadstyper.

# Förord

Denna rapport är skriven under vårterminen 2023 som ett examensarbete för Chalmers Tekniska Högskola på högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik. Examensarbetet omfattar 15 HP och utfördes i samarbete med Tekniska Byggnadsställningar i Göteborg AB (TBS).

Vi har lärt oss mycket genom detta arbete och fått en god förståelse för hur mätstudier och undersökningar kan gå till. Vi har fått insikt i hur man effektivt planerar och prioriterar för att maximera tiden som läggs ned på projektet. Det har också varit en rolig resa och gett oss värdefull kunskap.

Ett stort tack till TBS för möjligheten att göra examensarbetet hos dem. Ett särskilt tack till verkställande direktör Mattias Dahlgren och konstruktör Oday Muslem som har hjälpt oss genom projektet och alltid varit till tjänst när vi har behövt hjälp med beräkningar, mätningar och mätutrustning.

Tack även till Jim Brouzoulis från Chalmers som har agerat som examinator och intern handledare, som har bidragit med mycket värdefull återkoppling på rapporten och alltid hjälpt oss när vi haft funderingar kring examensarbetet.

# Contents

1. Inledning .....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Precisering av frågeställningar.....	1
1.4 Avgränsningar.....	1
1.5 Metod .....	1
2. Byggställningar .....	2
2.1 Underlag.....	2
2.2 Referensobjekt .....	2
2.2.1 Mejerigatan .....	2
2.2.2 Regnbågen.....	2
2.2.3 Stamparna .....	2
2.2.4 Gården.....	2
3. Konstruktionsberäkningar enligt norm .....	3
3.1 Teoretiskt ramverk.....	3
3.1.1 Spirkraft .....	3
3.1.2 Förankringskraft.....	4
3.1.3 Nätinklädnad kontra plastinklädnad med avseende på förankringskrafter .....	7
4. Mätdata .....	8
4.1 Utförande .....	8
4.1.1 Spirlaster .....	8
4.1.2 Förankringskrafter.....	8
4.1.3 Vindhastighet .....	8
4.2 Resultat .....	8
4.2.1 Spirlaster .....	8
4.2.2 Förankringskrafter och vindhastighet .....	9
4.2.3 Gården.....	12
5. Beräkningsresultat.....	15
5.1 Spirlast .....	15
5.2 Vindlast.....	15
6. Analys .....	19
6.1 Spirlast .....	19
6.1.1 Beräkningar kontra mätvärden med avseende på spirlast.....	19
6.2 Vindlast.....	21

6.2.1 Beräkningar kontra mätvärden med avseende på vindlast.....	21
6.2.2 Förankringskraft i höjdled med avseende på vindlast.....	29
6.2.3 Skillnader mellan nät- och plastinklädnad med avseende på vindlast .....	33
6.3 Slutsats .....	34
6.3.1 Spirlaster .....	34
6.3.2 Förankringskrafter.....	35
6.3.2 Förankringskrafter på olika höjder.....	35
6.3.3 Förankringskraft för nät- kontra plastinklädd byggställning .....	36
7. Diskussion.....	37
Källförteckning .....	39
Bilagor.....	40

# Beteckningar

<b>Beteckningar</b>	<b>Beskrivning</b>
Spira	Vertikala stänger som håller upp egenvikten av byggställningen
Förankring	Horisontala stänger som förankrar byggställningen mot en fasad eller byggnad.
Spirpar	Ytter- och innerspira som ligger jämte varandra i djupled.
Nyttolast	Last av personer, material och verktyg som ger upphov till ytterligare krafter i spira.
Inklädnad	Kan vara av plast eller nät. Fästs på sidorna av byggställningar. Skyddar mot nederbörd.
Referensobjekt	Byggställningar som har använts som mätobjekt i denna mätstudie.
Väggfästestag	Ett provisoriskt stag som fästs i fasad eller byggnad och används som en förankringspunkt för förankringen.
Fotplatta	En platt yta som sitter längst ner på spiran och är i kontakt med marken.
Väderskydd	En temporär skyddsanordning som skyddar mot nederbörd och sträcker sig runt om byggställningen och fasad och kan täcka både sidor och tak.

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Inom ställningsbyggnation har kraven på beräkningar ökat år för år. Detta tillsammans med nya standarder inom dimensionering och säkerhet har inneburit att de krafter som anses påverka ställningen är betydligt högre än tidigare använda schablonvärden. Framför allt gäller detta krafter från vind och väder. Här spelar även användningen av Boverkets terrängtyper och topografiska förhållanden en stor roll. Boverkets terrängtyper är en uppdelning av olika typer av terräng som påverkar vindhastigheten och används för att kunna anta vindhastigheten i en specifik plats såsom för ett kustområde eller storstadsområde. Det råder även lite delade meningar om hur stort luftgenomsläpp en nät-inkladd byggställning har jämfört med en plast-inkladd byggställning och vad detta har för konsekvenser på byggställningen med avseende på vindlast. Det är även av intresse att se hur förankringskrafterna i ställningen skiljer sig åt beroende på dess höjd.

## 1.2 Syfte

Syftet är att få en större praktisk förståelse för hur verkliga uppmätta krafter förhåller sig till framräknade värden med teoretiska konstruktionsberäkningar enligt norm för ställningsbyggande.

## 1.3 Precisering av frågeställningar

- Skiljer sig teoretiska värden från mätdata? I så fall hur mycket och varför?
- Hur varierar förankringskrafter i byggställningen beroende på vindhastighet och höjd? I så fall hur mycket och varför?
- Förekommer det en skillnad mellan en nätinkladd byggställning jämfört och en plastinkladd byggnadsställning med avseende på förankringskrafter? I så fall hur mycket och varför?
- Vad för inverkan har ovanstående punkter för byggställningar och dess komponenter med avseende på dimensionering, hållfasthet och säkerhet?

## 1.4 Avgränsningar

En avgränsning är att fyra byggställningar kommer att behandlas i detta arbete. Detta medger att inte alla varianter och storlekar av byggnadsställningar kommer att täckas av denna beräknings- och mätstudie. Mängden mätvärden är också en begränsning på grund av ett begränsat antal mätverktyg och därför kan inte varenda förankringspunkt och spira mätas samtidigt.

## 1.5 Metod

Först uppmätts förankringskrafter med en kraftmätare samtidigt som tillhörande vindhastigheter uppmäts med en väderstation. Därefter utförs beräkningar enligt norm vid de vindhastigheter som har uppmätts för att möjliggöra en direkt jämförelse mellan verkliga och beräknade förankringskrafter. Spirlaster mäts med en lastcell som monteras under spirorna. Därefter jämförs de uppmätta spirlaster med beräknade spirlaster. Därefter jämförs samtliga beräkningar gentemot uppmätta krafter genom grafisk analys.

## 2. Byggställningar

I det här kapitlet presenteras grundläggande information och terminologi för byggställningar samt en beskrivning av de referensobjekt som har studerats i den här mätningsstudien.

### 2.1 Underlag

Byggställningar är temporära konstruktioner som möjliggör arbete på högre nivåer genom att tillhandahålla arbetare och material en arbetsyta där diverse arbetsmoment utförs som till exempel byggnation, renovering eller reparation av fasader och andra byggnader.

Byggställningar består av många olika komponenter, där de av mest intresse för den här mätningsstudie är spiror och förankringar. (PlusEight Technology AB [PlusEight], 2016).

Där:

*Spira* är de vertikala stängerna som håller upp egenvikten av byggställningen

*Förankring* är de horisontala stängerna som förankrar ställningen mot en fasad eller byggnad.

### 2.2 Referensobjekt

I den här mätstudie har ett flertal olika utförande av byggställningar använts som referensobjekt för beräkningar och mätningar. För att öka trovärdighet på resultat och även minska felkällor har flera referensobjekt använts.

#### 2.2.1 Mejerigatan

Referensobjekt mejerigatan är en byggställning som är cirka 30 m hög och 50 m lång och är delvis inklädd med plast. Referensobjekt mejerigatan har även ett väderskydd på sig och är den enda av samtliga referensobjekt som har det. Väderskydd är en anordning som skyddar arbetare på taket av byggnaden mot nederbörd och påverkar spirlaster genom att öka byggställningens egenvikt.

För referensobjekt mejerigatan har spirlaster och förankringskrafter studerats både på en oinklädd och inklädd sektion. För den inklädda sektionen har även förankringskrafter på olika höjder studerats.

#### 2.2.2 Regnbågen

Referensobjekt regnbågen är en byggställning som är cirka 21 m hög och 90 m lång och är helt inklädd med nät. För referensobjekt regnbågen har spirlaster och förankringskrafter studerats. Här har förankringskrafter på olika höjder studerats.

#### 2.2.3 Stamparna

Referensobjekt stamparna är en byggställning som är cirka 20 m hög och 150 m lång och är helt inklädd i plast. För referensobjekt stamparna har endast förankringskrafter studerats. Även här har förankringskrafter på olika höjder studerats.

#### 2.2.4 Gården

Referensobjekt gården är ett specialfall som har monterats på *Tekniska Byggnadställningar i Göteborg AB's* materialgård endast för denna mätstudie. Referensobjekt gården är en byggställning som är cirka 5,5 m hög och 2,75 m med endast en förankring och har som syfte att möjliggöra jämförelse av förankringskrafter för en nätinklädd kontra plastinklädd byggställning för samma referensyta och förhållanden.

## 3. Konstruktionsberäkningar enligt norm

### 3.1 Teoretiskt ramverk

Krafterna som verkar på en byggställning kan delas in i spirkrafter och förankringskrafter. Spirkrafter är de vertikalkräftade krafterna som uppstår i spirorna på grund av egenvikten av byggställningens komponenter och eventuell nyttolast. Förankringskrafter är de horisontalkräftade krafterna som uppstår i byggställningens förankringar på grund av vinden. Nedan förklaras tydligare hur de olika krafterna uppstår och hur de beräknas enligt norm. (Svenska Institutet för Standarder [SIS], 2004).

#### 3.1.1 Spirkraft

Spirlaster är krafter som uppkommer i spirorna på grund av självikten av samtliga ställningskomponenter och nyttolasten. Nyttolast är den maximala lasten som byggställningen får bära utöver sin egenvikt och delas in i olika lastklasser. När beräkning av spirlaster utförs väljs det spirparet där den största krafterna kommer att uppstå. Spirpar är en benämning på ytterspiran och innerspiran som har samma position längs byggställningens längd, det vill säga de två spiror som tillsammans håller upp våningen ovan. Det spirpar där spirkraften blir som högst förekommer oftast i den mittersta delen av byggställningen, och där facklängden bredvid spirparen är som längst. Men den största spirlasten kan även förekomma i andra delar i byggställningen än förutom mitten, exempelvis där ställningen är som högst eller där det finns särskild tunga objekt – som en hiss. (PlusEight, 2016). Om ställningen är helt likformig längdvis kommer krafterna i alla spirpar blir lika, förutom i ändhörnerna av byggställningen där krafterna blir mindre.



**Figur 1:** Bild som visar ett spirpar.

Anledningen till att det spirpar som belastas mest väljs som beräkningsobjekt är för att om detta spirpar kan motstå de krafter som uppstår i spirorna kommer resten av spirorna i ställningen också att göra det. Eftersom alla spiror har samma tvärsnitt. Att beräkna krafterna i varenda spira i hela byggställningen är därför onödigt. (PlusEight, 2016).

Trots att ett spirpar väljs som beräkningsobjekt ska ändå krafterna i både inner- respektive ytterspira beräknas. För varje spira bestäms en utnyttjande area, denna area är hälften av facklängden multiplicerad med hälften av fackbredden. Om facklängden bredvid spirorna är olika måste detta ta hänsyn till. Dessutom om en konsol med inplankning förekommer på innerspiran måste även detta ta hänsyn till. (SIS, 2004), (PlusEight, 2016).

För att beräkna kraften som uppstår från självvikten på en spira antags att varenda komponent eller del av komponent som är inom den utnyttjande arean belastar spiran med sin tyngdkraft. Varenda komponent i höjddled måste beaktas. (PlusEight, 2016).

Utöver självvikten för alla komponenter måste även nyttolasten ta hänsyn till. Nyttolasten antags vara jämnt fördelad på den utnyttjande arean för ett bomlag - enligt svensk föreskrift får bara ett bomlag belastas åt gången. Summering av självvikten och nyttolasten ger den karakteristiska spirlasten. Detta görs för både inner- och ytterspira. Vanligtvis är den tillåtna spirlasten den genomsnittliga spirlasten från inner- och ytterspiran, men för att möjliggöra jämförelse av mätdata mot beräkningsdata kommer inner- och ytterspiralast särskiljas. (PlusEight, 2016).

### 3.1.2 Förankringskraft

Förankringskrafter är de krafter som uppstår i förankringarna som förankrar byggställningen mot en fasad eller byggnad. Då all kraft från byggställningens egenvikt tas upp av spirorna är det endast vindlasten på byggställningen som bidrar till förankringskraften, det vill säga de horisontala krafterna som uppstår av att vinden trycker på ställningen. Magnituden på förankringskraften beräknas enligt följande (SIS, 2004), (Svenska Institutet för Standarder [SIS], 2005):

$$F_w = c_s \sum_i (c_{f,i} \cdot q_{p,i}(z) \cdot A_i) \quad (1)$$

Där:

$F_w$  är den resulterande kraften i förankringen.

$c_{f,i}$  är formfaktorn.

$A_i$  är referensytan som vindlasten verkar på för en förankring.

$q_{p,i}(z)$  är det karakteristiska hastighetstrycket på höjden  $z$ .

$c_s$  är lägesfaktorn.

Det karakteristiska hastighetstrycket  $q_p$  erhålls genom följande ekvation:

$$q_{p,i}(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

där:

$$c_e(z) = 1 + 7 \cdot I_v(z)$$

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 \quad (2)$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (3)$$

och:

$I_v(z)$  är turbulensintensitet på höjden  $z$

$\rho$  är luftens densitet

$v_m$  är medelvindhastigheten

$c_r(z)$  är råhetsfaktor

$c_0(z)$  är topografifaktorn

$v_b$  är referensvindhastigheten

Turbulensintensitet  $I_v$  beräknas enligt följande:

$$I_v = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ för } z_{min} < z < z_{max}$$

eller:

$$I_v = I_v(z_{min}) \text{ för } z < z_{min}$$

där:

$k_i$  är turbulensfaktor

$z_0$  är råhetslängd

$z_{min}$  är minsta höjd

$z$  är höjden på byggställningen

$z_{max}$  är föreskriven maximal höjd

Råhetsfaktorn  $c_r$  beräknas enligt följande:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ för } z_{min} < z < z_{max}$$

eller:

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \text{ för } z \leq z_{min}$$

där  $k_r$  är terrängfaktorn och går att beräkna enligt följande:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

där  $z_{0,II}$  är råhetslängd för terrängtyp II

Formfaktorn och lägesfaktorn har bestämda värden för byggställningar. Den maximala tillåtna höjden är föreskriven. Siffervärden för råhetslängd och minsta höjd erhålls genom tabellvärde beroende på vilken terrängtyp byggställningen befinner sig i. Även turbulensfaktor och topografifaktorn kan anses som konstanter då vissa förhållanden stämmer. Det vill säga, för byggställningar gäller följande:

$$c_f = 1.3$$

$$c_s = 1.3 \text{ för tryckkraft}$$

$$c_s = 0.25 \text{ för dragkraft}$$

$$c_0 = 1 \text{ för plan mark}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

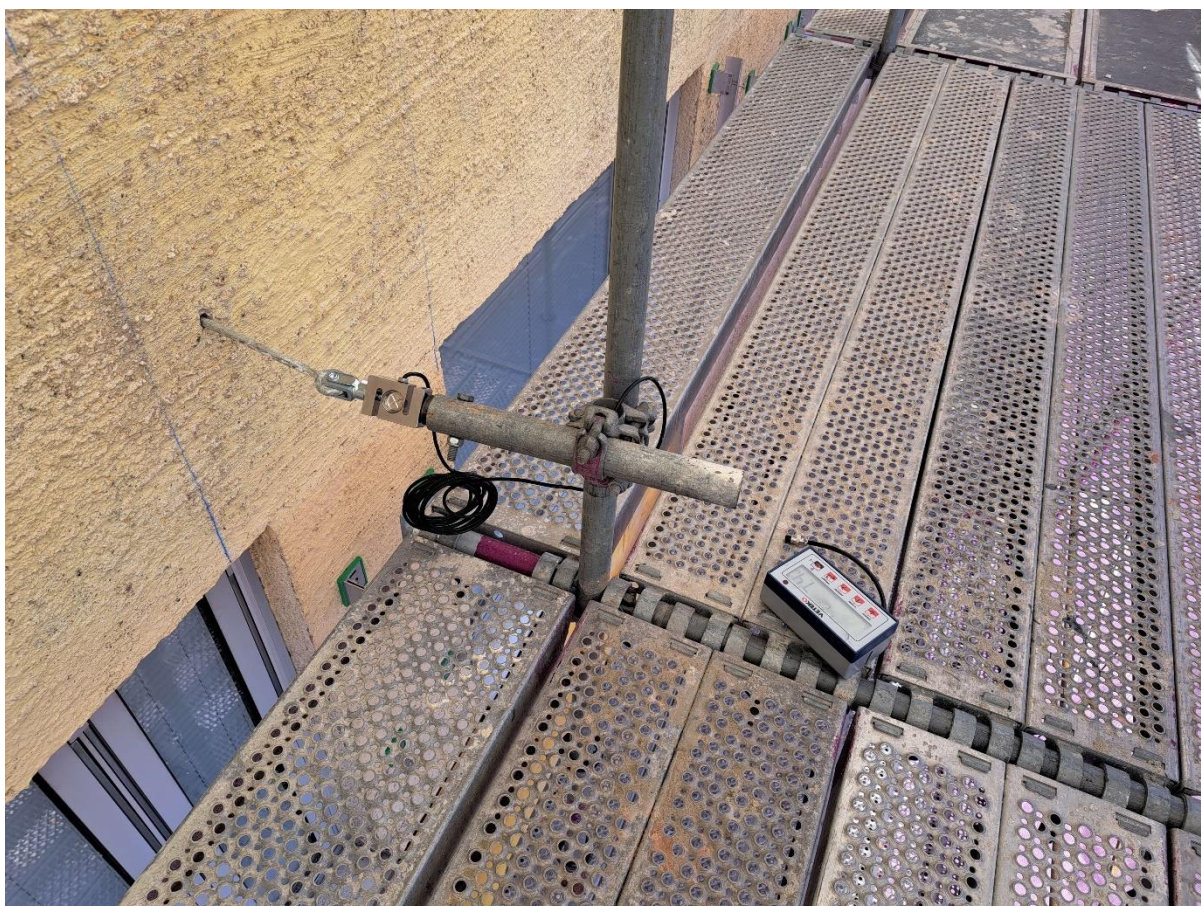
$$z_0 = 1,0 \text{ för terrängtyp IV}$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

$$z_{min} = 10 \text{ m för terrängtyp IV}$$

$$k_i = 1$$

När förankringskrafter beräknas används en referensvindhastighet  $v_b$ , som varierar beroende på platsen i Sverige. I Göteborg och de omkringliggande områdena är referensvindhastigheten satt till 25 meter per sekund. Referensvindhastigheten definieras som vindhastigheten för terrängtyp II vid en höjd på 10 meter. För att få medelvindhastigheten  $v_m$  multipliceras referensvindhastigheten med råhetsfaktorn  $c_r(z)$  och topografifaktorn  $c_0(z)$  enligt ekvation (3) (SIS, 2004). För att möjliggöra jämförelse av uppmätta förankringskrafter vid lägre vindhastigheter än 25 meter per sekund sätts de uppmätta vindhastigheterna som medelvindhastigheten  $v_m$  vid teoretisk beräkning.



**Figur 2:** Kraftmätare vid en förankring.

### 3.1.3 Nätinklädnad kontra plastinklädnad med avseende på förankringskrafter

Enligt svensk standard (SIS, 2004) antas att vindlasten fördelas på hela inklädnadens yta, oavsett om inklädnaden är av nät eller heltäckande plast. Enligt ekvation (1) ökar krafterna i en byggställnings förankringar då referensytan samt vindhastigheten ökar. Detta innebär att enligt svensk standard (SIS, 2004) är det lika stora krafter i förankringarna oavsett om inklädnaden är av nät eller plast. Men i verkligheten är nät poröst och därav har i praktiken en mindre referensyta gentemot plast som vindlasten verkar på. Därför är det av intresse att mäta eventuella skillnader i förankringskrafter beroende på vilken typ av inklädnad som används. I detta kapitel förklaras hur mätdata samlas in som därefter analyseras och jämförs.

För att kunna avgöra om det förekommer en skillnad på förankringskrafterna som verkar på en nätinklädd byggställning gentemot en plastinklädd ställning användes referensobjektet *Gården*. Metodik och resultat för referensobjekt gården presenteras under Avsnitt 4.2.3.

## 4. Mätdata

I det här avsnittet presenteras utrustning som har använts, metodik för mätning och resultat för uppmätning av samtliga krafter.

### 4.1 Utförande

Här presenteras mätutrustning och metodik som har använts för uppmätning av mätresultat för att ge en insikt i hur mätningarna utfördes.

#### 4.1.1 Spirlaster

För att möjliggöra mätning av spirlaster användes lastceller (*Lastcell lågprofil 3ton, rostfri*, 2017) av typen sträckningsmätare som monterades under fotplattorna (se Bilaga C.1). Dessa lastceller mäter upp kraften i spirorna som uppkommer på grund av egenvikten och nyttolasten. Spirlasten uppmättes flera gånger per spira (se Tabell 1, Tabell 2 och Tabell 3). Anledningen till att spirlasten uppmättes flera gånger är för att minimera risken av potentiella felkällor, till exempel om en person över spiran då mätningar utförs, med flera uppmätningar visas denna avvikelse tydligt.

#### 4.1.2 Förankringskrafter

För att mäta förankringskrafterna som uppkommer på grund av vindlasten användes en kraftmätare (*S-Lastcell för tryck och drag 1 ton. IP68. Rostfritt stål*, u.å.) av typen sträckningsmätare som monterades emellan förankring och väggfästestag (se Bilaga C.2). För att läsa av uppmätta värden användes en vågindikator (*Vågindikator multifunktion IP68, laddbart batteri*, u.å.).

#### 4.1.3 Vindhastighet

För att bestämma vindhastigheten vid förankringarna användes en vindmätare (*Trådlös väderstation med USB*, 2019) som monterades högst upp i byggställningarna så nära förankringarna som möjligt (se Bilaga C.3). Vindmätaren mäter medelvindhastighet och den maximala vindhastigheten (vindpust) under ett visst tidsbelopp.

## 4.2 Resultat

I det här kapitlet presenteras mätresultat för spirlaster och förankringskrafter för samtliga referensobjekt.

### 4.2.1 Spirlaster

Här presenteras uppmätta spirlaster för samtliga referensobjekt.

Mejerigatan utan väderskydd	Ytterspira [kg]	Innerspira [kg]
Mätning 1	303.5	750
Mätning 2	313	745
Mätning 3	336	754
Mätning 4	385	654
Medelvärde	334	726
Mejerigatan med väderskydd	Ytterspira [kg]	Innerspira [kg]
Mätning 1	755	956
Mätning 2	647	805
Mätning 3	652	812
Mätning 4	668	823
Medelvärde	681	849

**Tabell 1:** Uppmätta spirlaster för referensobjekt mejerigatan med och utan väderskydd.

Regnbågen	Ytterspira [kg]	Innerspira [kg]
Mätning 1	320,5	294,5
Mätning 2	310,5	322,0
Mätning 3	323,1	320,2
Mätning 4	232,0	223,5
Medelvärde	296,5	290,1

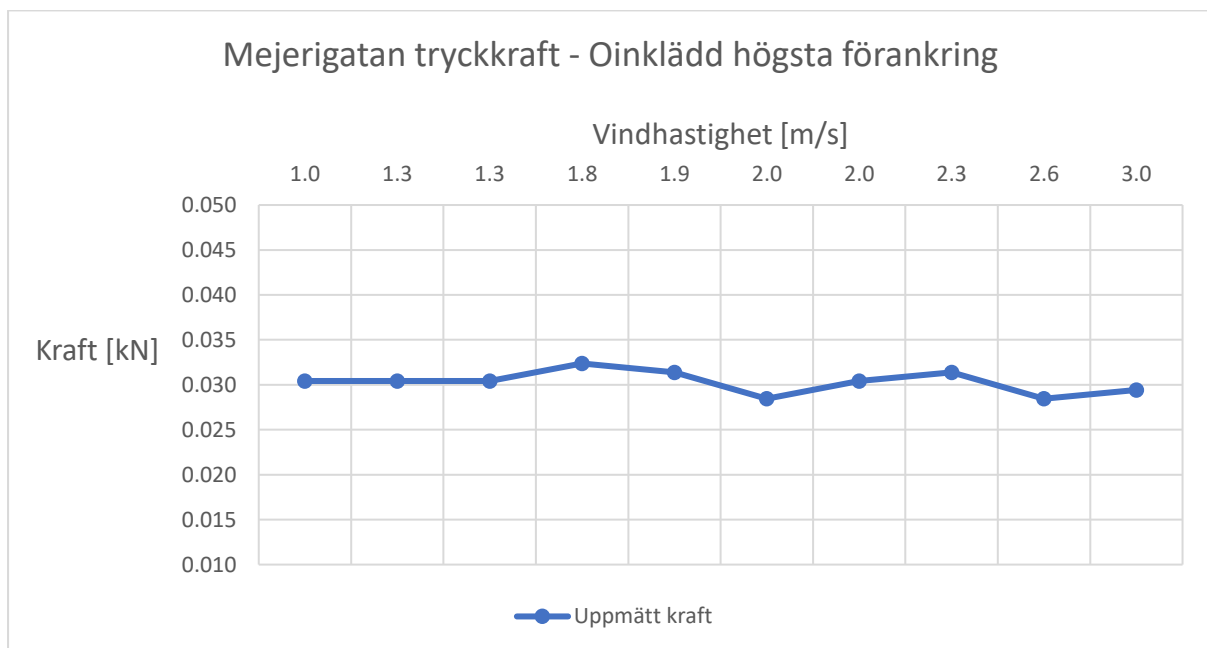
**Tabell 2:** Uppmätta spirlaster för referensobjekt regnbågen.

Gården	Ytterspira [kg]	Innerspira [kg]
Mätning 1	126,0	82,0
Mätning 2	133,0	87,5
Mätning 3	132,2	88,4
Mätning 4	131,4	89,2
Medelvärde	130,7	86,8

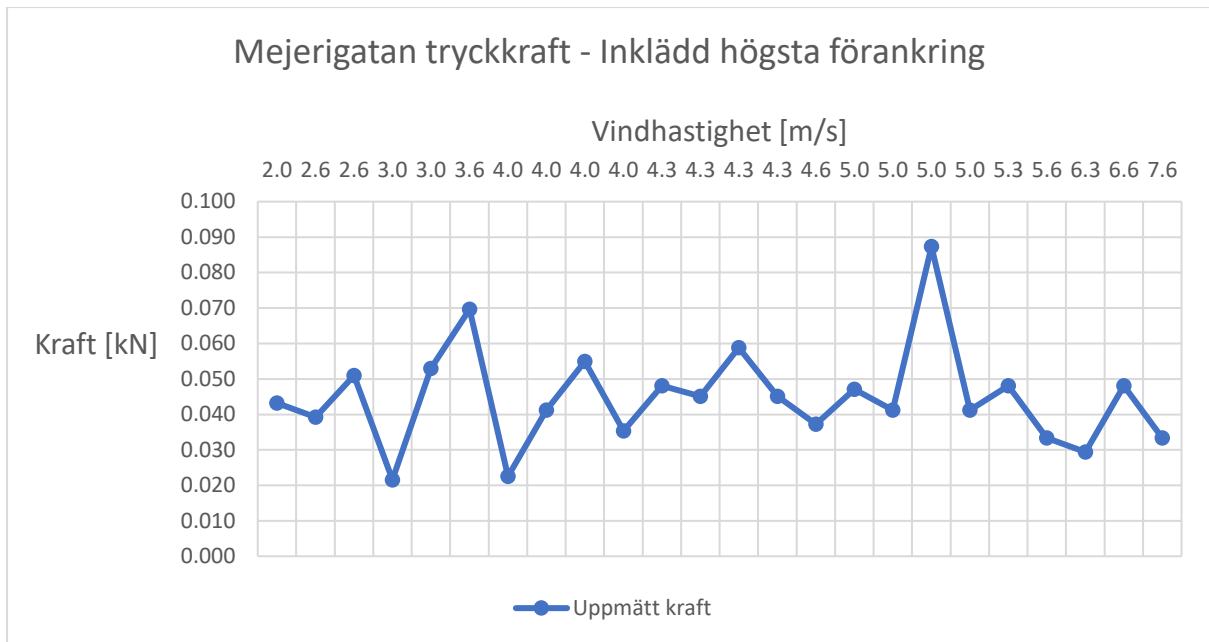
**Tabell 3:** Uppmätta spirlaster för referensobjekt gården.

#### 4.2.2 Förankringskrafter och vindhastighet

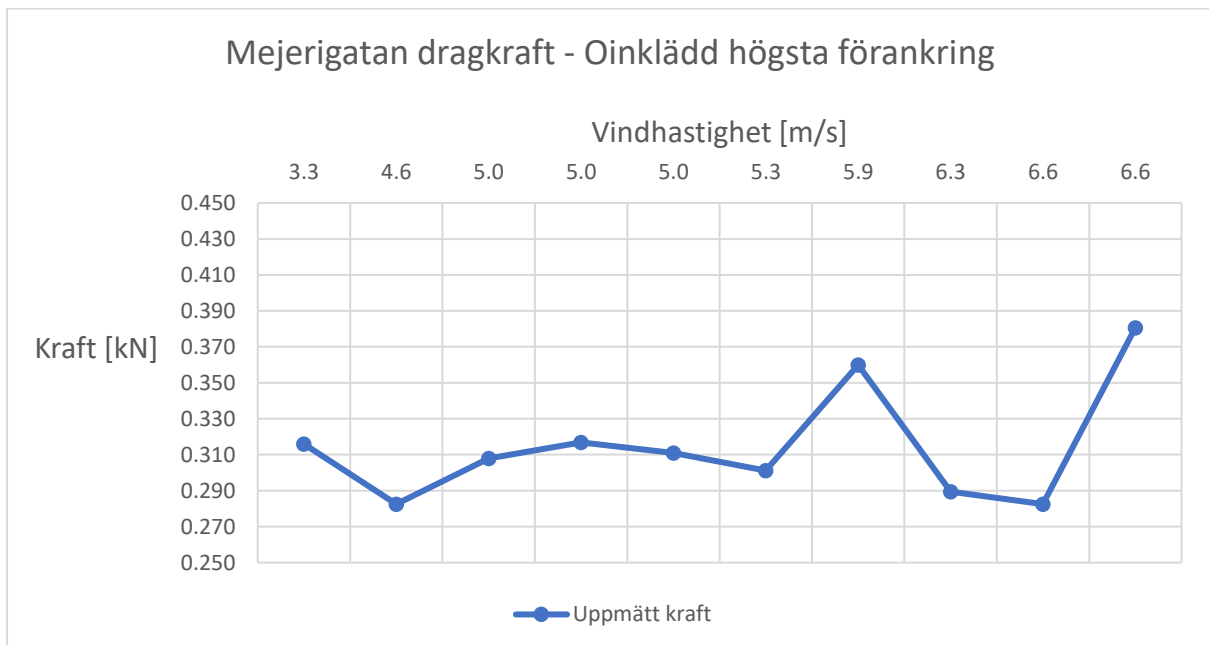
Här presenteras uppmätta förankringskrafter och vindhastigheter för samtliga referensobjekt. För exakta tabellvärden se Bilaga B.1.



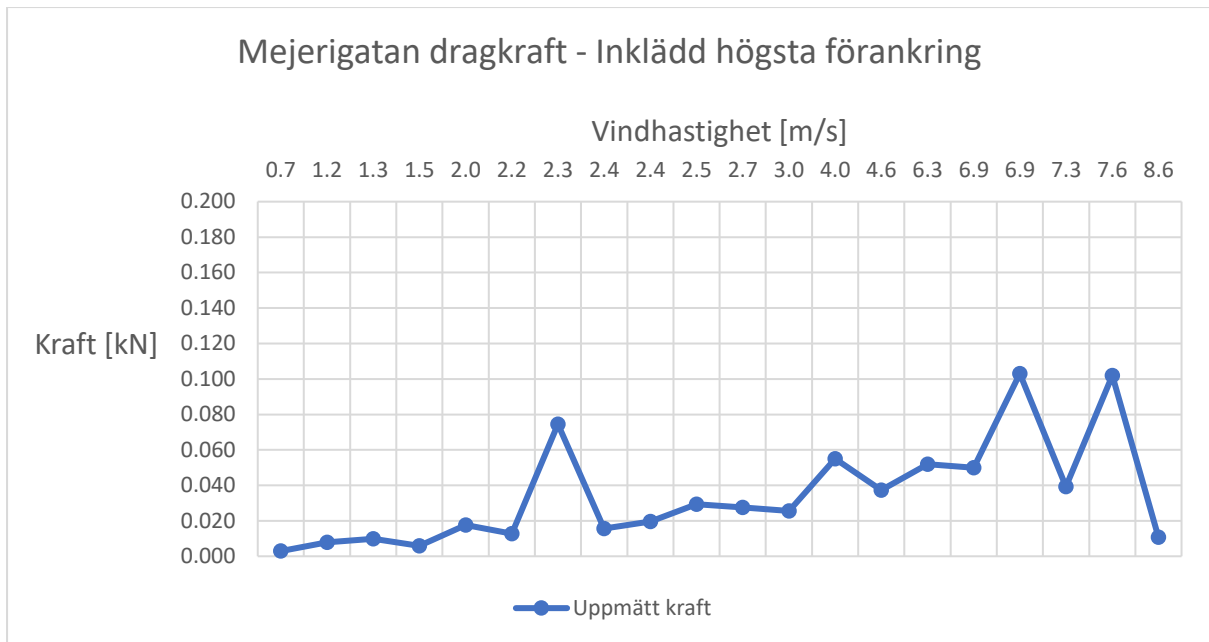
**Figur 3:** Graf som visar uppmätta tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan vid uppmätta vindhastigheter.



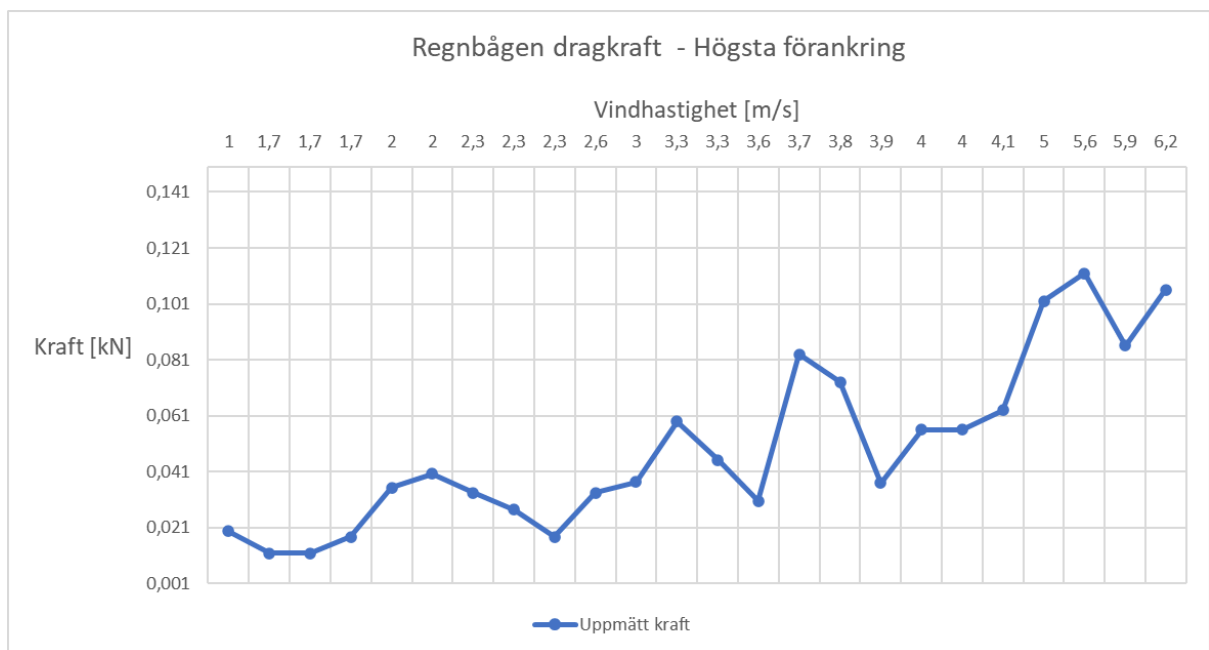
**Figur 4:** Graf som visar uppmätta tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan vid uppmätta vindhastigheter med inklädnad.



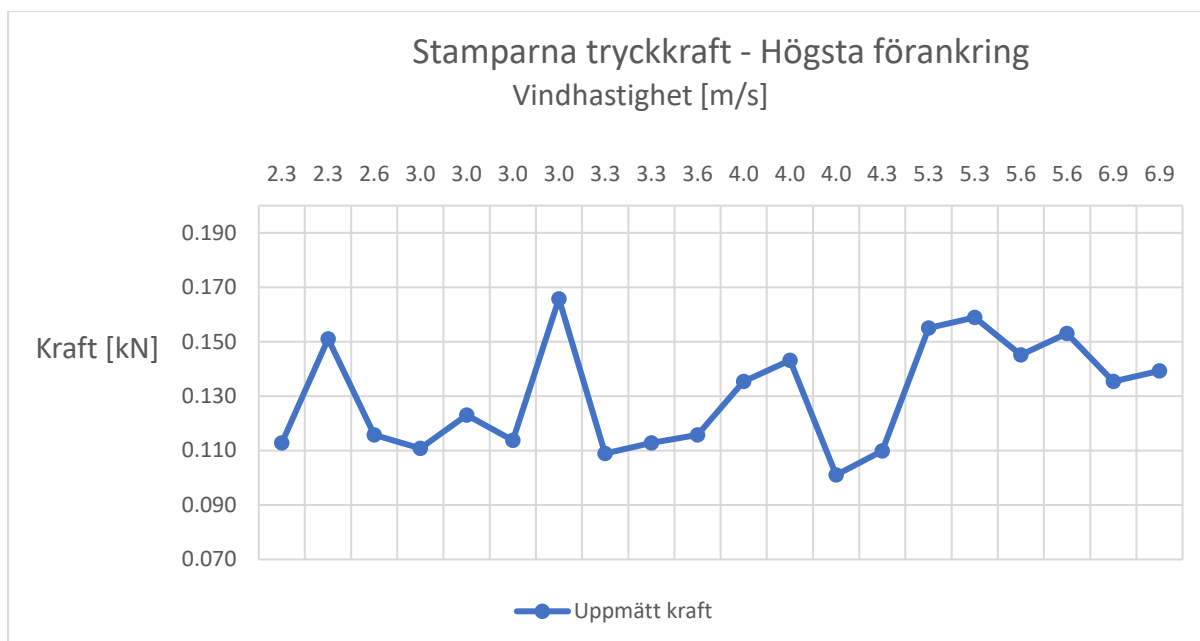
**Figur 5:** Graf som visar uppmätta dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan vid uppmätta vindhastigheter.



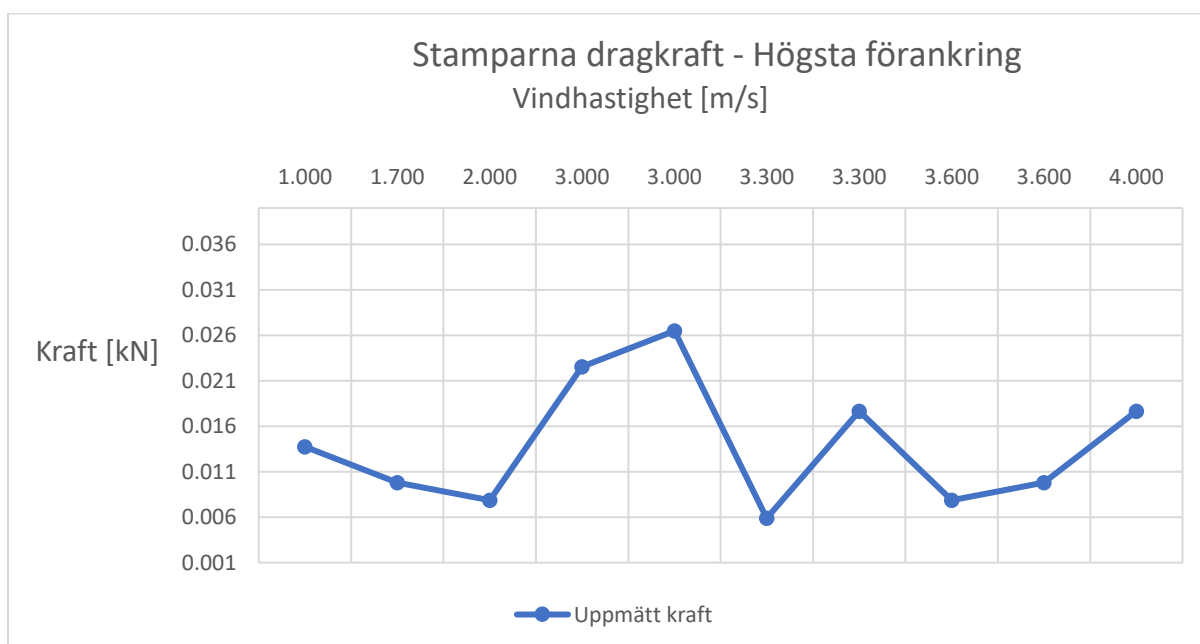
**Figur 6:** Graf som visar uppmätta dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan vid uppmätta vindhastigheter med inkläddnad.



**Figur 7:** Graf som visar uppmätta dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt regnbågen vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 8:** Graf som visar uppmätta tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 9:** Graf som visar uppmätta dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna vid uppmätta vindhastigheter.

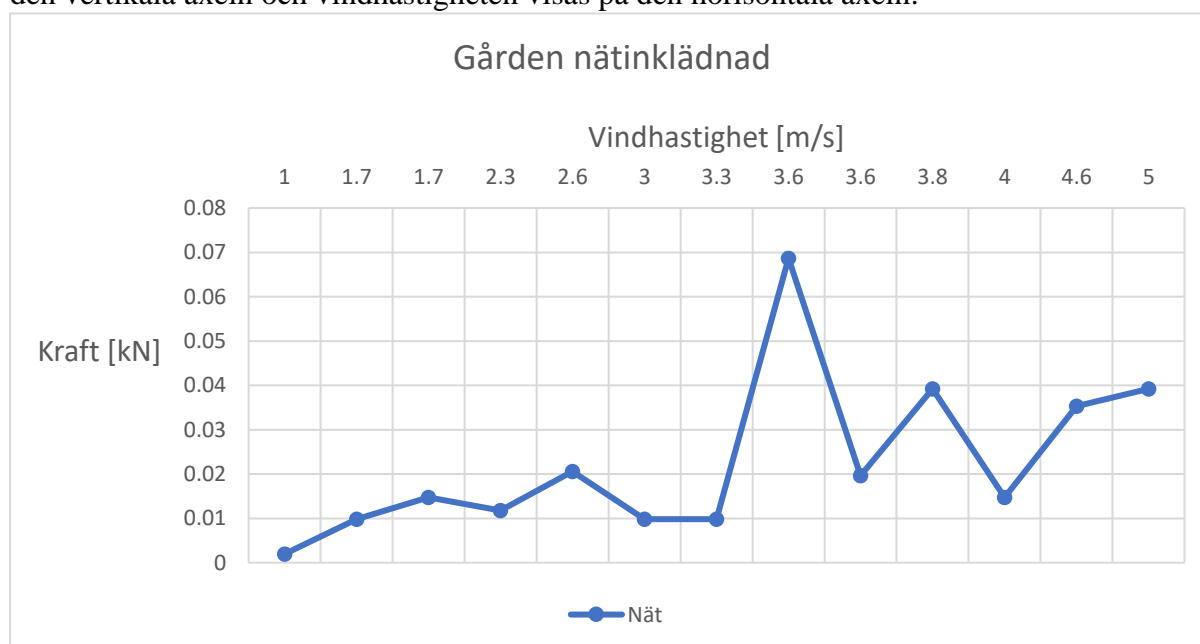
#### 4.2.3 Gården

För att mäta förankringskrafterna har byggställningen förankrats i marken med ett rep, en kraftmätare som har en ögla i sina ändar sitter fast i mitten av repet på så vis att när vinden verkar på byggställningen tar förankringen upp dragkraften som verkar på byggställningen på grund av vindlastens tryck (se Bilaga C.4). Eftersom kraftmätaren endast kan mäta

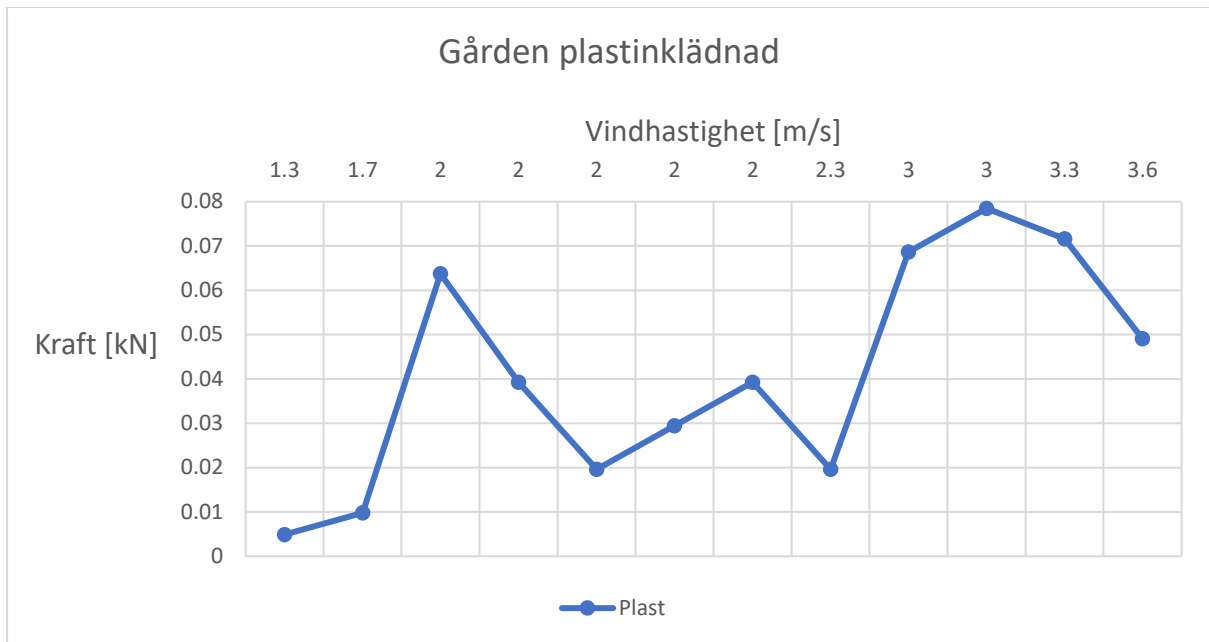
dragkrafter i den här konfigurationen kan mätanordningen flyttas till andra sidan byggställningen för att möjliggöra mätning för motsatt vindriktning. För att undvika momentkrafter som kan uppstå vid en vanlig förankringsmetod, valdes det att fästa kraftmätaren i ett rep. Genom att använda repet som en förankring erhålls endast dragkrafter i kraftmätaren.

Mätningar på förankringskraften utfördes först då referensobjekt gården var inklädd i nät, därefter byttes nätinklädnaden till en plastinklädnad så fort som möjligt och därefter mättes förankringskrafterna igen. Under mätningarna mättes även vindens hastighet med vindmätaren för att kunna säkerställa att skillnader i krafter mellan nät-inklädda ställningar och plast-inklädda ställningar inte uppstod på grund av olika vindhastigheter under mätningarna. Mätningarna gjordes bara då vinden blåste rakt på byggställningen, då olika vindriktningar kan påverka förankringskrafterna och målet är att förutsättningarna för nät-mätningarna och plast-mätningarna ska vara så lika som möjligt. På så sätt erhöles mätvärden över förankringskrafterna för en nät-inklädd ställning och en plast-inklädd ställning och värdena användes sedan för analys och jämförelser.

Resultatet av mätningarna visas i Figur 10 och Figur 11 där de uppmätta krafterna visas på den vertikala axeln och vindhastigheten visas på den horisontala axeln.



**Figur 10:** Graf som visar förhållandet mellan förankringskraft och vindhastighet för referensobjekt gården vid nätinklädnad.



**Figur 11:** Graf som visar förhållandet mellan förankringskraft och vindhastighet för referensobjekt gården vid plastinklädnad.

## 5. Beräkningsresultat

### 5.1 Spirlast

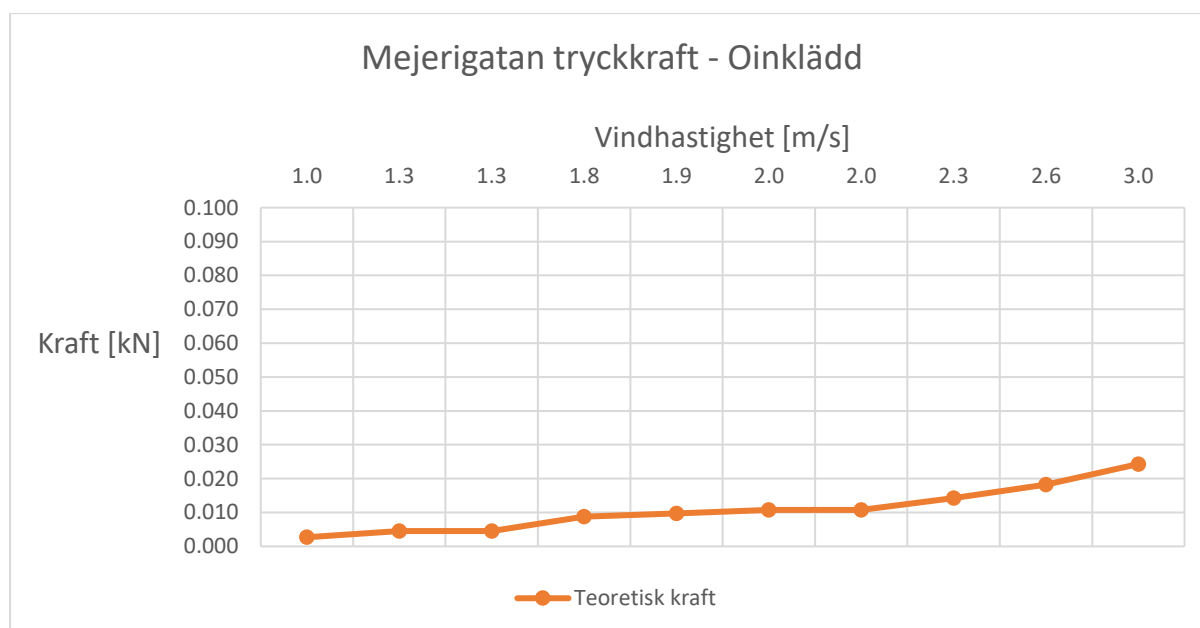
Resultat av spirlastberäkningar för referensobjekt mejerigatan, regnbågen och gården visas i Tabell 4. För detaljerade beräkningar se Bilaga A.1, A.2, A.3 och A.4.

Beräknade spirlaster				
Referensobjekt	Egenvikt		Egenvikt + nyttolast	
	Ytterspira [kg]	Innerspira [kg]	Ytterspira [kg]	Innerspira [kg]
Gården	139.5	90.0	326.8	277.3
Mejerigatan	673.8	716.6	1151.9	1423.0
Mejerigatan (väderskydd)	1239.3	1281.4	1717.1	1988.5
Regnbågen	668.8	641.3	1194.4	1419.2

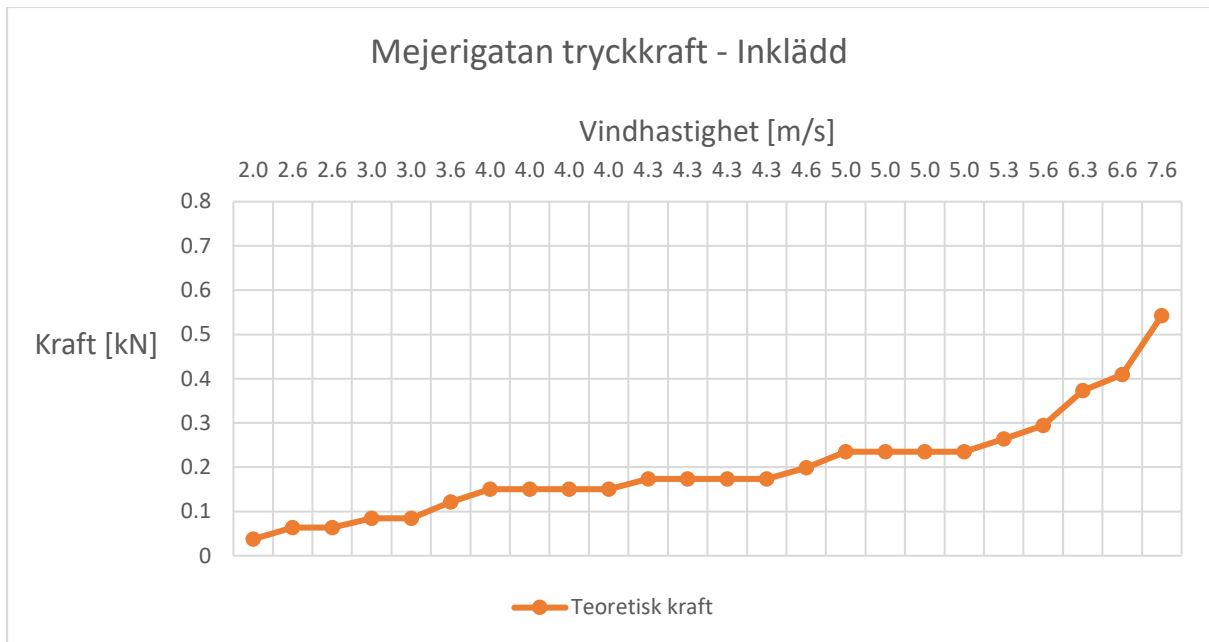
**Tabell 4:** Resultat av spirlastberäkningar för referensobjekt mejerigatan, regnbågen och gården.

### 5.2 Vindlast

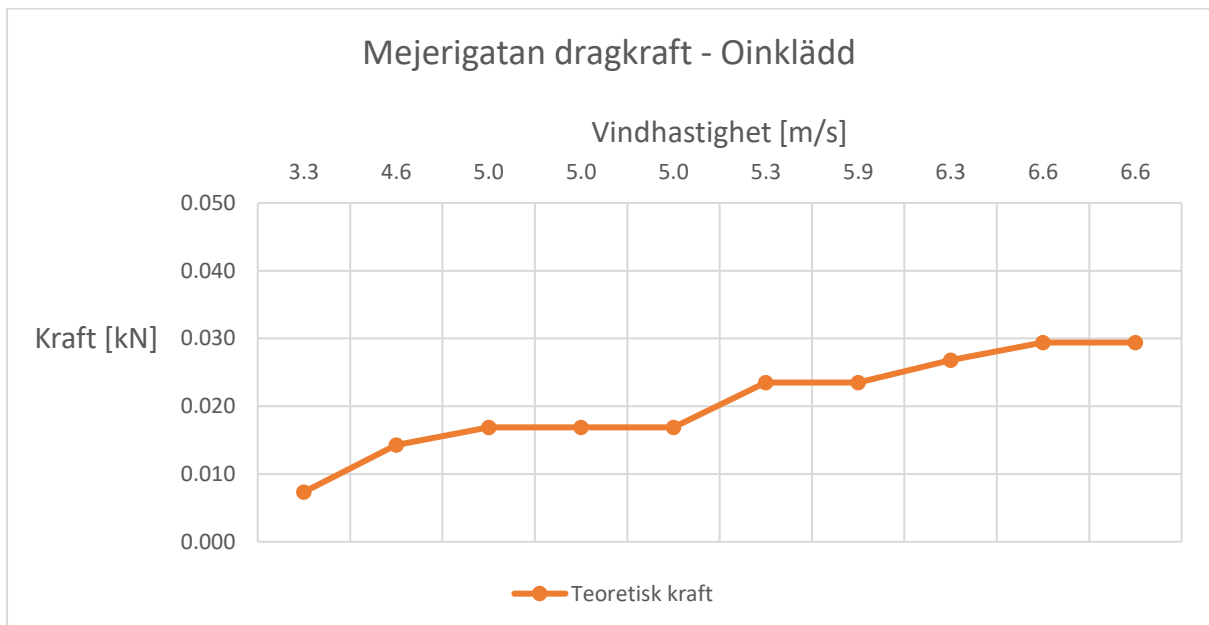
I det här kapitlet presenteras beräkningar enligt norm för de motsvarande uppmätta vindhastigheterna från Avsnitt 4.2.2. För exakta tabellvärden se Bilaga B.2.



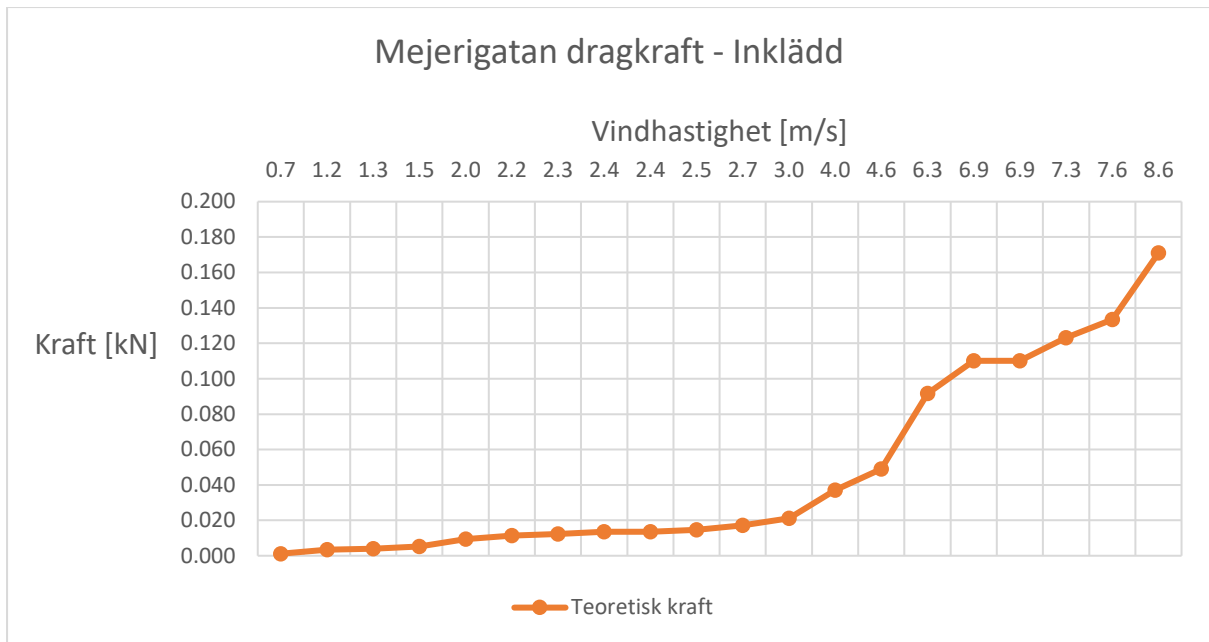
**Figur 12:** Graf som visar teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter.



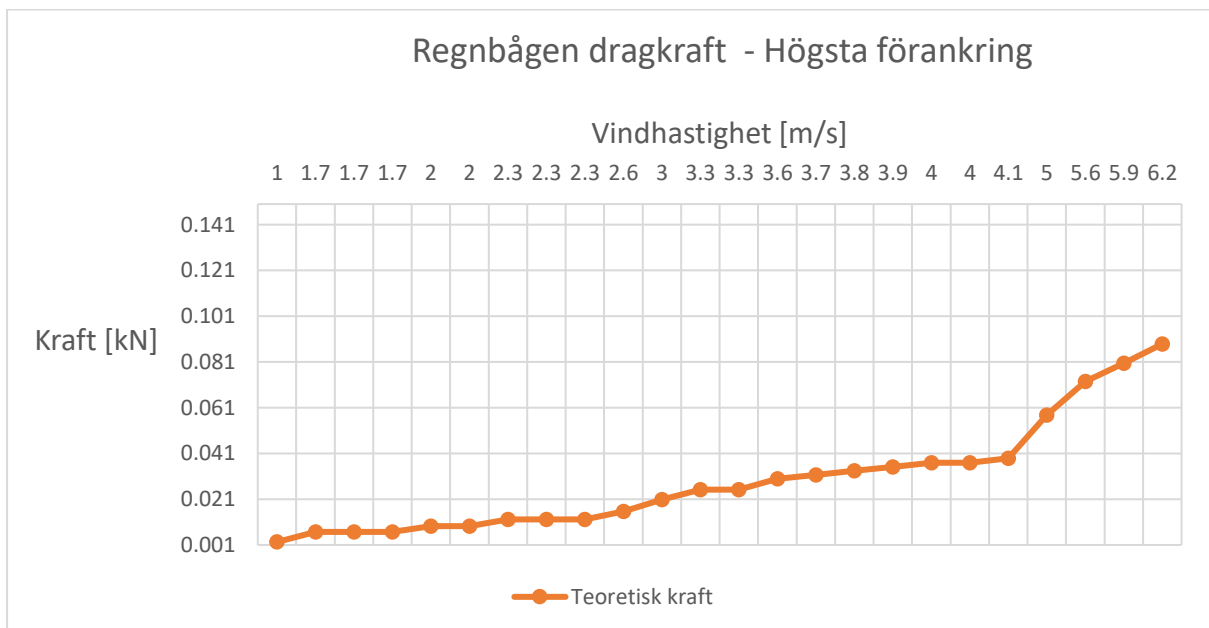
**Figur 13:** Graf som visar teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter med inklädnad.



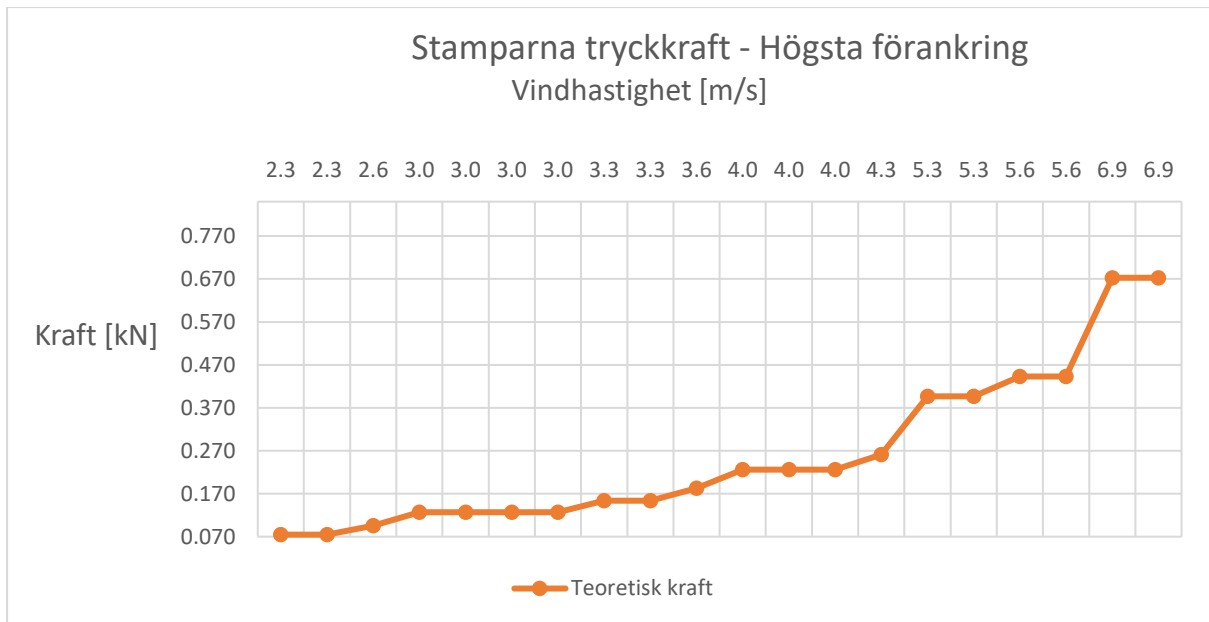
**Figur 14:** Graf som visar teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter.



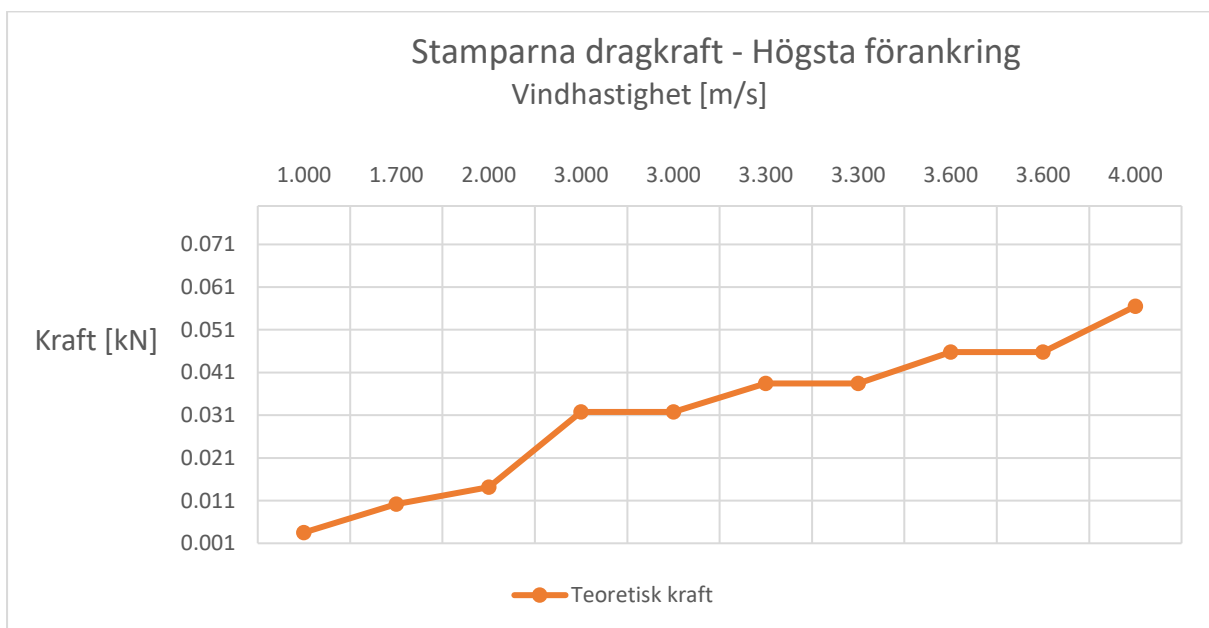
**Figur 15:** Graf som visar teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter med inklädd.



**Figur 16:** Graf som visar teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt regnbågen enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 17:** Graf som visar teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 18:** Graf som visar teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna enligt ekvation (1) vid uppmätta vindhastigheter.

## 6. Analys

Detta avsnitt syftar till att jämföra mätdata med beräkningar och dra slutsatser baserat på eventuella avvikelser mellan förväntade och uppmätta värden. Den primära analysmetod som har använts för den här jämförelsen är av typen grafisk analys. Denna analysmetod möjliggör en visuell utvärdering av mätdata gentemot teoretiska konstruktionsberäkningar där eventuella avvikelser och felkällor kan representeras visuellt.

Utöver den grafiska analysen har också en begränsad statistisk analys använts för att kvantifiera avvikelserna och bedöma deras signifikans. Det är viktigt att använda en kombination av olika analysmetoder för att få en helhetsbild av mätdata och beräkningar enligt norm.

### 6.1 Spirlast

Här presenteras och jämförs uppmätta och beräknade spirlaster med varandra. Tabellerna som presenteras nedan är tagna från Avsnitt 4.2.1 och Avsnitt 5.1. Syftet är att analysera eventuella skillnader och observera trender för att få en helhetsbild hur teoretiska spirlaster skiljer sig gentemot verkliga spirlaster. Skillnader mellan de teoretiska och uppmätta spirlaster kan indikera eventuella felkällor eller begränsningar i mätmetoderna eller beräkningsmodellerna.

Genom att analysera och förstå dessa skillnader kan noggrannheten och tillförlitligheten i spirlastberäkningar förbättras. På så sätt erhålls en bättre förståelse hur verkliga spirlaster förhåller sig till beräkningar.

#### 6.1.1 Beräkningar kontra mätvärden med avseende på spirlast

I detta avsnitt presenteras, jämförs och analyseras mätdata gentemot beräkningar för spirlaster för referensobjekt gården, regnbågen samt mejerigatan för med och utan väderskydd.

Tabellen som presenteras nedan är en sammanställning av Tabell 1, Tabell 2 och Tabell 3.

Referensobjekt	Beräknade		Mätdata	
	Ytterspira	Innerspira	Ytterspira	Innerspira
Gården	139.5	90.0	130.7	86.8
Regnbågen	668.8	641.3	296.5	290.1
Mejerigatan	673.8	716.6	334.4	725.8
Mejerigatan (väderskydd)	1239.3	1281.4	680.5	849.0
Referensobjekt	Skillnad [kg]		Kvot [Beräknade/Mätdata]	
	Ytterspira	Innerspira	Ytterspira	Innerspira
Gården	8.8	3.2	<b>1.07</b>	<b>1.04</b>
Regnbågen	372.3	351.2	<b>2.26</b>	<b>2.21</b>
Mejerigatan	339.4	-9.2	<b>2.01</b>	<b>0.99</b>
Mejerigatan (väderskydd)	558.8	432.4	<b>1.82</b>	<b>1.51</b>

**Tabell 4:** Tabell som visar skillnader mellan teoretiska och uppmätta spirlaster.

I den ovanstående tabellen jämförs medelvärdet av de uppmätta spirlasterna på byggställningen med de teoretiska värdena *utan nyttolast*, eftersom vid mätningstillfällena var byggställningarna nästintill helt obelastade.

För referensobjektet gården har de uppmätta värdena för spirlaster visat sig vara mycket nära de teoretiska värdena. Den största skillnaden observerades för ytterspiran, där den teoretiska spirlasten beräknas vara 7% högre än den uppmätta. Denna skillnad kan förklaras av olika faktorer, såsom felaktig montering, ojämn mark eller begränsningar i mätutrustningens noggrannhet. Det är dock fördelaktigt att den teoretiska kraften är större än den uppmätta kraften ur ett säkerhetsperspektiv.

För referensobjekt regnbågen förekommer det en betydande skillnad mellan de teoretiska och uppmätta spirlasterna. Denna skillnad varierar mellan en kvot på 2,21 för innerspiran och 2,26 för ytterspiran. Med andra ord är den uppmätta spirlasten mindre än hälften av den teoretiskt beräknade spirlasten. Denna skillnad kan bero på brister i konstruktionsberäkningar, mätverktyg, mätmetoder eller en kombination av dessa faktorer.

Även för referensobjekt mejerigatan framkommer det en betydande skillnad mellan de teoretiska och uppmätta spirlaster, både med och utan väderskydd. För referensobjekt mejerigatan med väderskydd förekommer det en kvotskillnad på 1.82 och 1.51 för ytterspiran respektive innerspiran, det vill säga den teoretiska kraften är mer än en och en halv gång större än den uppmätta kraften. Även detta gäller för referensobjekt mejerigatan utan väderskydd för ytterspiran, där en kvotskillnad på 2.01 uppstår. Däremot uppstår det en avvikelse för innerspiran på referensobjekt mejerigatan utan väderskydd gentemot resten av referensobjekten, där den teoretiska spirlasten är mindre än den uppmätta spirlasten. Den uppmätta spirlasten är 99% av den teoretiska spirlasten. Denna avvikelse kan ha uppstått för att kabeln som sitter fast på lastcellen gick sönder under mätprocessen. Detta är en möjlig förklaring till den relativa stora avvikelsen för innerspiran på referensobjekt mejerigatan utan väderskydd, men det finns även andra potentiella felkällor till denna avvikelse.

De konstruktionsberäkningar som används för spirlaster i byggställningar är förenklade och gör vissa antaganden för att förenkla beräkningarna. Till exempel tar beräkningar inte hänsyn till momentkrafter som olika komponenter kan ge upphov till. Om noggrannare beräkningar eftersträvas bör momentjämviktsberäkningar utföras, både för komponenter inom den utnyttjade arean och utanför.

En annan faktor som inte beaktas i beräkningarna för spirlaster är vindlasten. Spiror antas endast bära sin egen vikt vid beräkningar, men i verkligheten när vinden blåser på en byggställning genererar vindlasten ett kraftmoment som delvis tas upp av spirorna. Detta innebär att spirlasten för spirorna kan variera beroende på vindhastighet och vindriktning. Detta är en av anledningarna till att flera mätprov togs och därefter erhålls ett medelvärde.

Vidare bör det noteras att förankringarna som fäster byggställningen mot en fasad eller byggnad, antas bara motstå vindlaster vilket inte är fallet i verkligheten. Även förankringar kan bära en del av byggställningens egen vikt, på grund av hur förankringar monteras fast i spiror. Detta fenomen var väldigt tydligt vid uppmätningen av förankringskrafter, då en persons närvaro eller passage vid förankringarna märkbart förändrade förankringskraften.

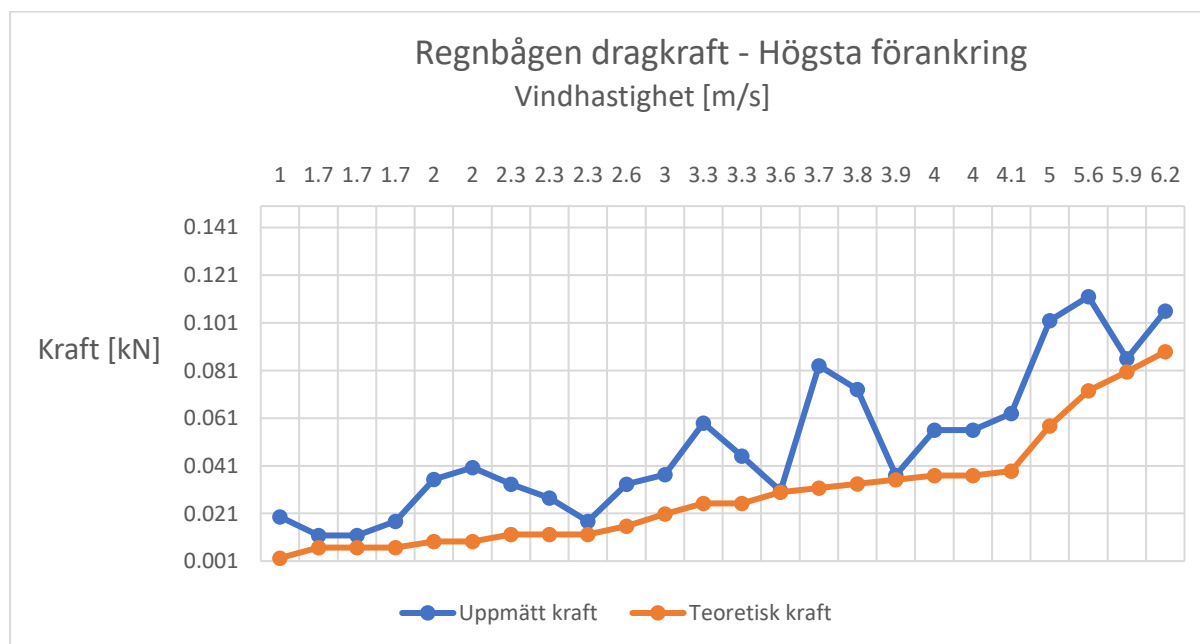
Utöver eventuella brister i beräkningsmodellen finns andra felkällor. Till exempel kan mätverktygen vara otillräckligt noggranna eller ha systematiska fel vid högre mätvärden. Även skador som förekommer på mätutrustningen kan leda till mätfel. Som tidigare nämnt gick en av lastcellerna sönder, och detta kan vara anledningen till avvikelser för innerspiran på referensobjekt mejerigatan utan väderskydd för Tabell 4. Efter mätningen av referensobjekt mejerigatan utan väderskydd användes endast en av lastcellerna för mätning, fram tills den andra mastcellen reparerades. Det är också av stor betydelse hur lastcellerna monteras under spirorna, eftersom en lastcell som inte är exakt centrerad under spiran kan ge felaktiga värden. Dessutom kan ojämn mark resultera i att byggställningen blir snedställd, vilket ger olika belastning på lastcellerna. Vid byggnation av byggställningar används en vattenvåg för att säkerställa en jämn konstruktion, men även mycket små snedställningar kan leda till betydande mätfel.

## 6.2 Vindlast

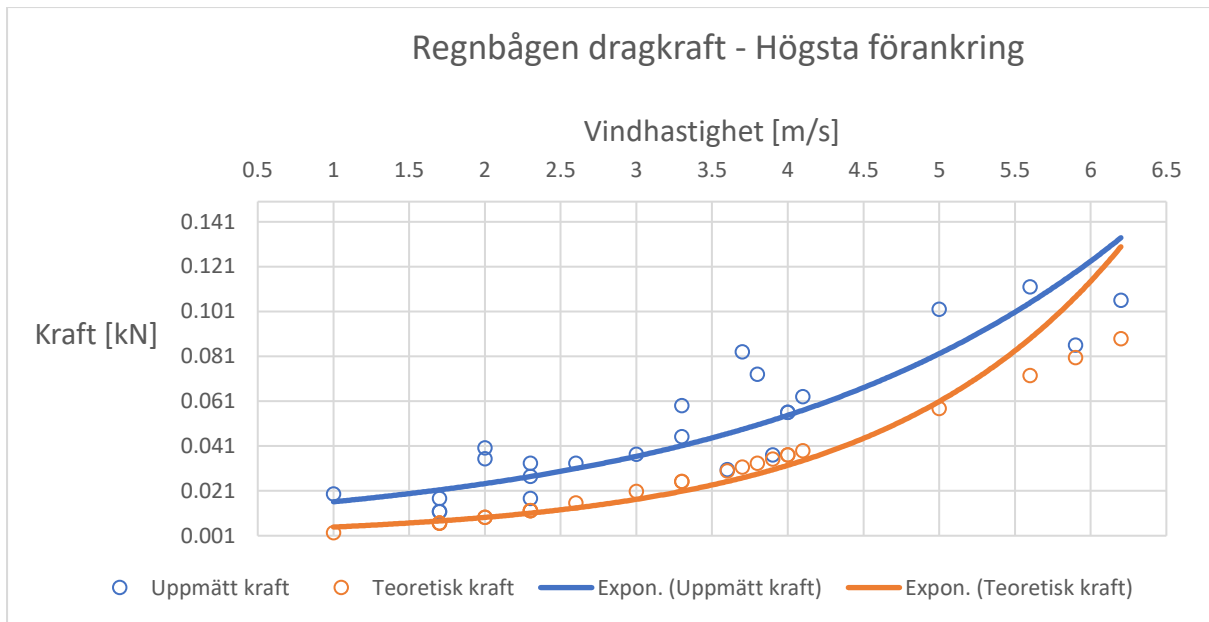
Graferna som presenteras nedan är en kombination av samtliga grafer från Avsnitt 4.2.2, Avsnitt 4.2.3 och Avsnitt 5.2. Även här presenteras ytterligare grafer med trendlinjer för att möjliggöra en visualisering över allmänna trender för förankringskrafter när vindhastigheten ökar. Trendlinjer är linjer som används i diagram och grafer för att visa den övergripande riktningen eller trenden inom en datamängd.

### 6.2.1 Beräkningar kontra mätvärden med avseende på vindlast

I detta avsnitt presenteras, jämförs och analyseras mätdata gentemot beräkningar för vindlaster på den högsta förankringen för referensobjekt gården, regnbågen, stamparna samt mejerigatan för med och utan väderskydd och utan inklädnad. Vid beräkningar används alltid den högsta förankringen för där antas den största förankringskraften uppstå. Syftet är att identifiera eventuella skillnader mellan uppmätta förankringskrafter och teoretiskt beräknade förankringskrafter.

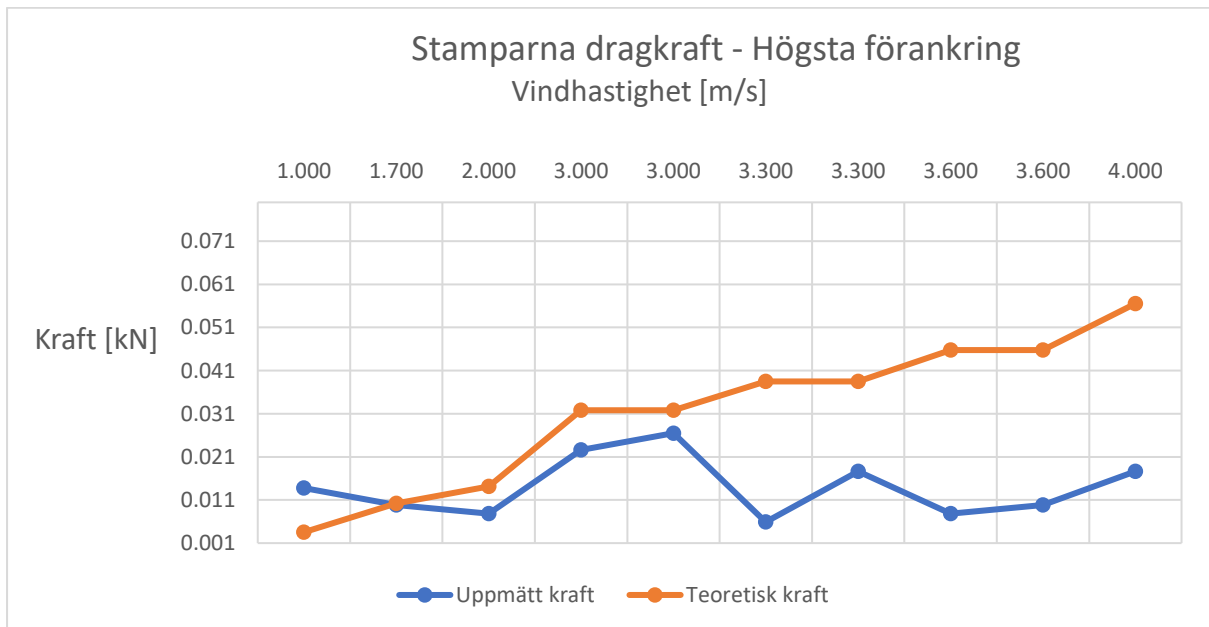


**Figur 19:** Graf som visar uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt regnbågen vid uppmätta vindhastigheter.

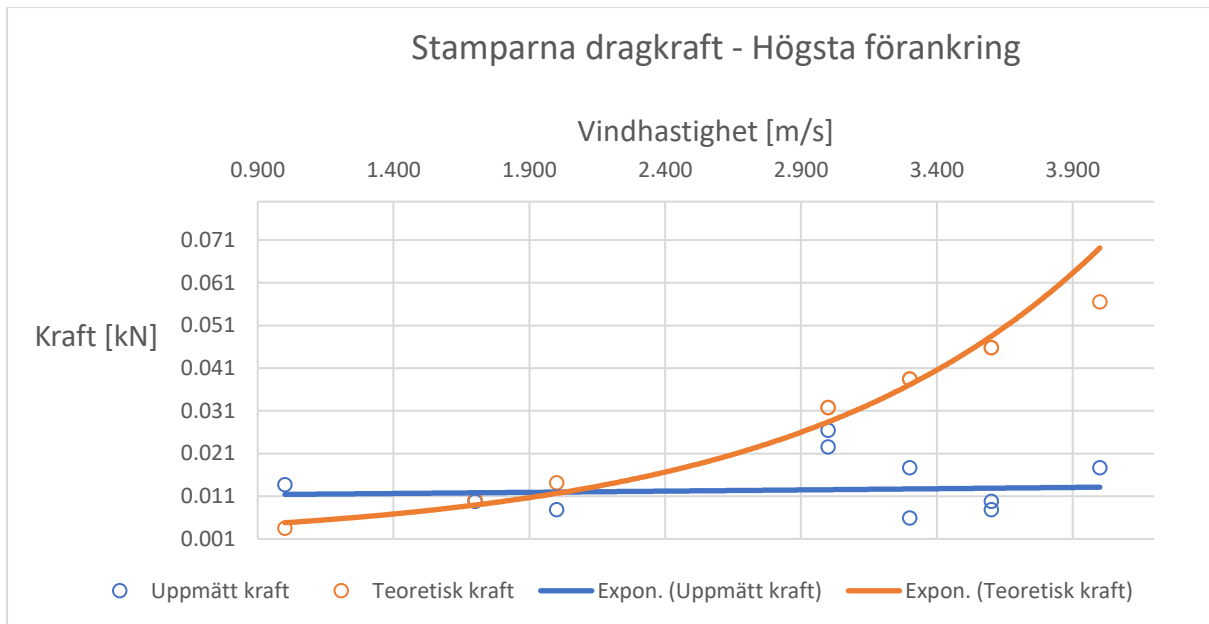


**Figur 20:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt regnbågen vid uppmätta vindhastigheter.

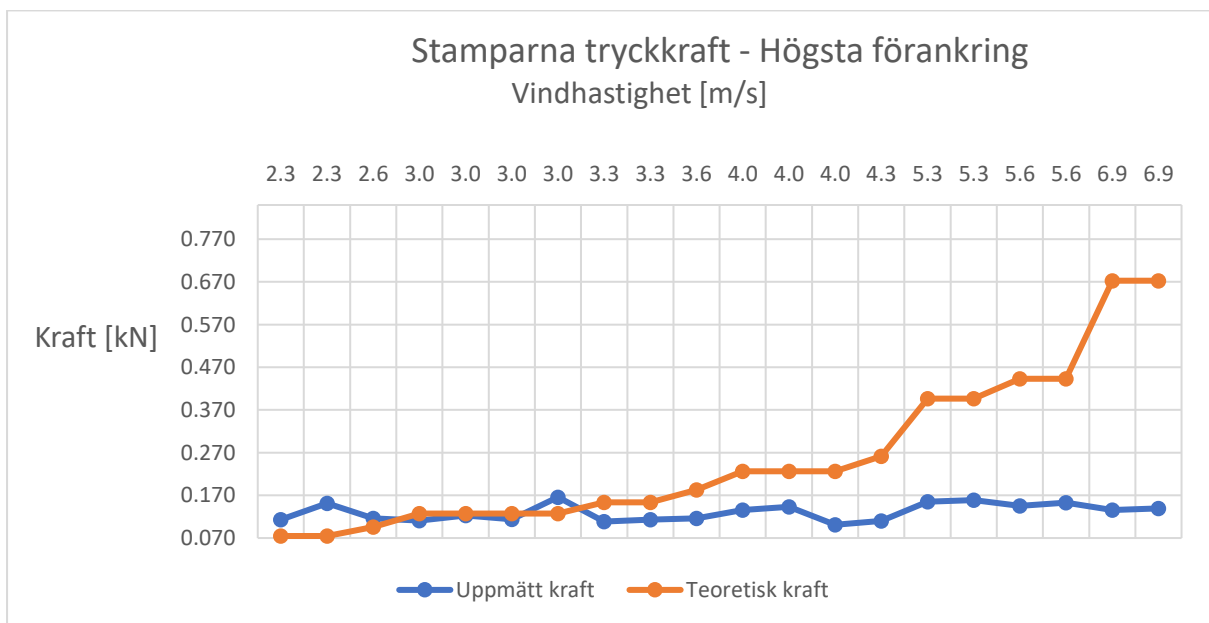
För referensobjekt regnbågen ökar förankringskraften exponentiellt med vindhastigheten, enligt beräkningar. Mätningar visar dock att förankringskraften är större än beräkningarna inom det undersökta vindhastighetsspannet. Med trendlinjer går det att se att vid högre vindhastigheter för det undersökta vindhastighetsspannet har beräkningarna en större lutning och det är möjligt att de teoretiska värdena hade blivit större vid högre vindhastigheter.



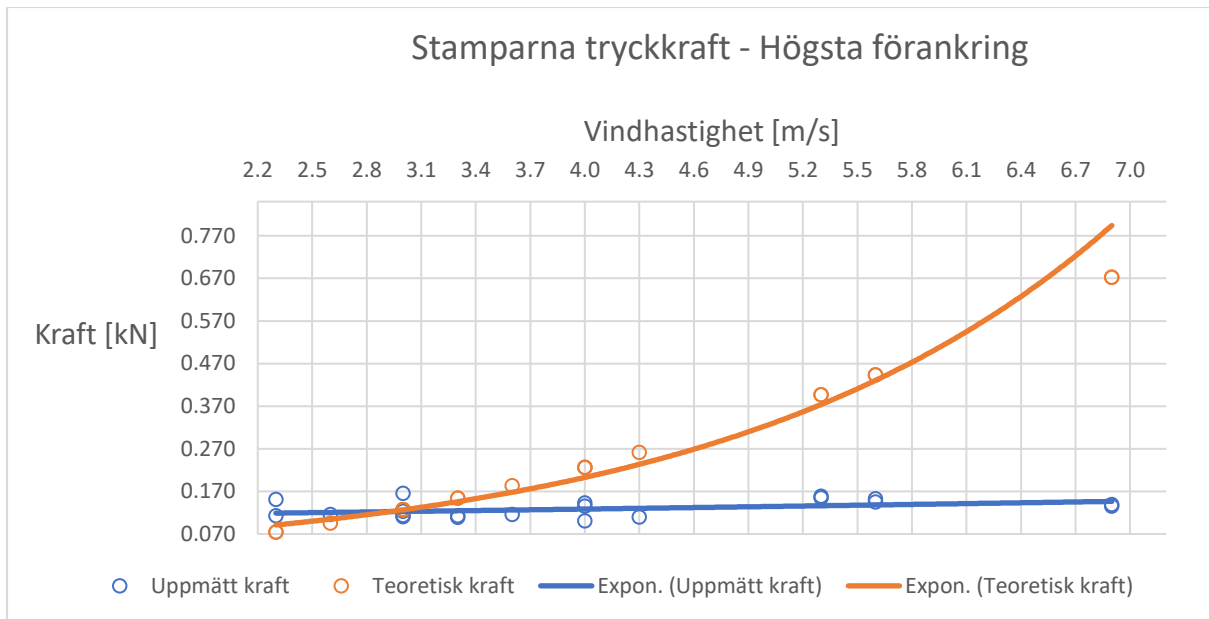
**Figur 21:** Graf som visar uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 22:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna vid uppmätta vindhastigheter.

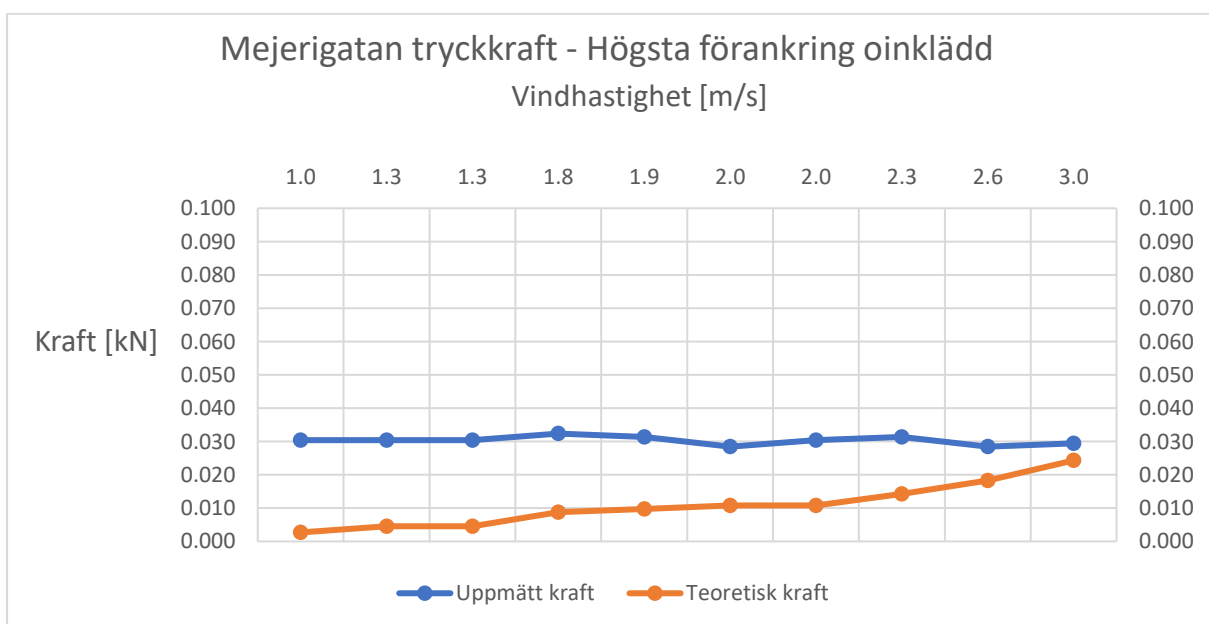


**Figur 23:** Graf som visar uppmätta och teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna vid uppmätta vindhastigheter.

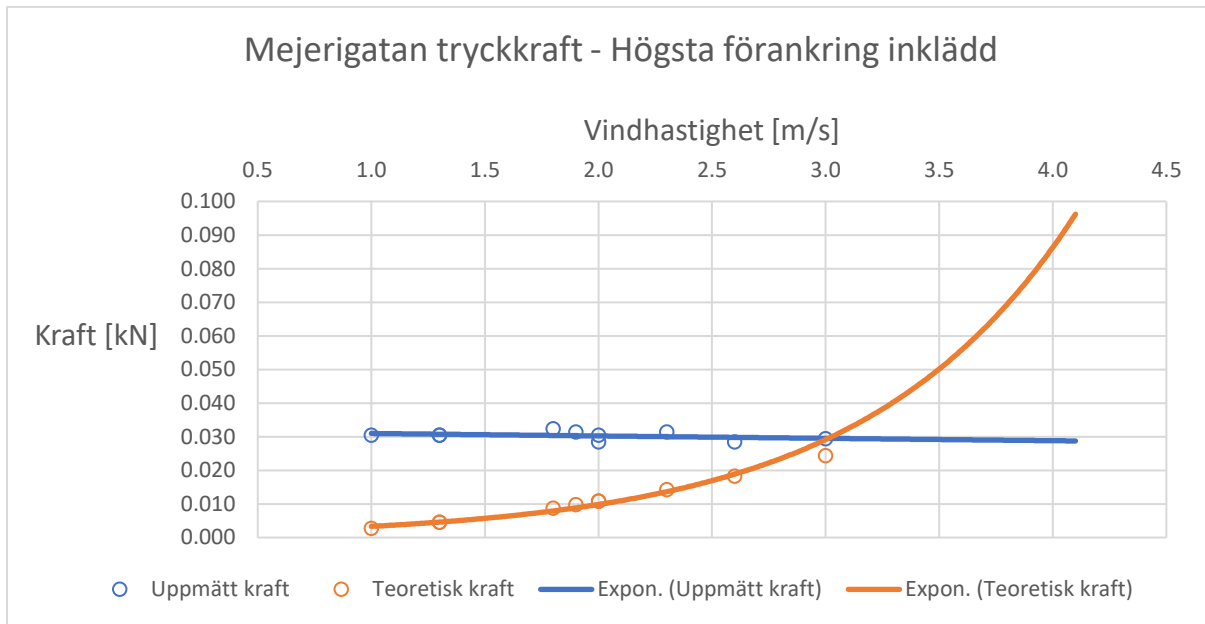


**Figur 24:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt stamparna vid uppmätta vindhastigheter.

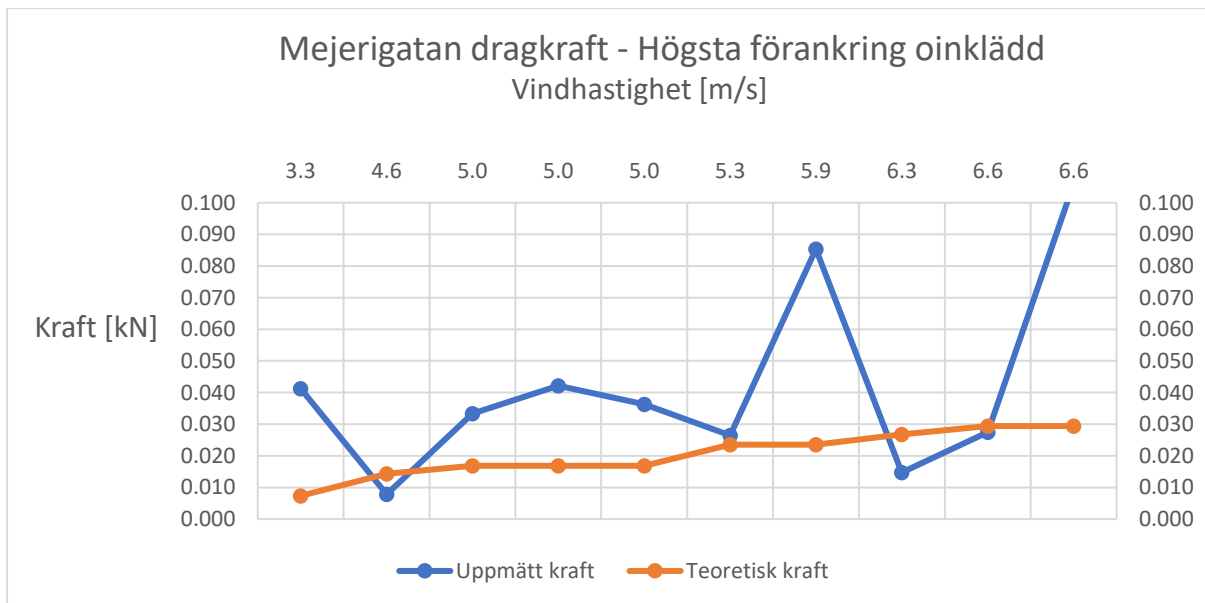
För referensobjekt stamparna är de uppmätta krafterna för den högsta förankringen, både för tryck- och dragkrafter, är relativt konstanta för alla vindhastigheter inom det undersökta området. Samtidigt ökar de teoretiska värdena exponentiellt med vindhastigheten enligt ekvation (1) och ekvation (2). Avvikelsen mellan de teoretiska och uppmätta krafterna kan bero på olika felkällor, som brister i teoretiska beräkningsmodeller, mätverktyg, mätmetoder eller en kombination av dessa faktorer. En felkälla som kan ligga bakom denna avvikelse är att vid mätningen av förankringskrafter blev det tydligt att förankringskraften inte bara beror på vinden utan också på hur hårt förankringen är fäst vid spiran - vilket kan ge en förspänningskraft som övervinner vindens påverkan. En annan faktor som påverkar förankringskraften i verkligheten, men som inte beaktas i beräkningarna, är närvaron av människor eller material nära förankringen, vilket kan påverka förankringskraften.



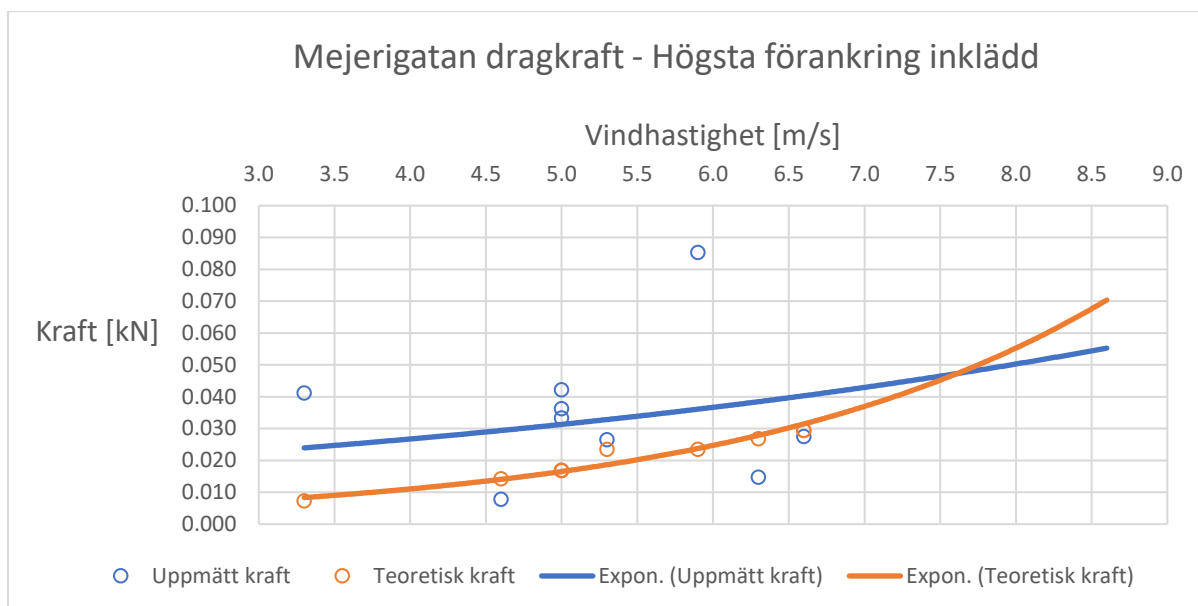
**Figur 25:** Graf som visar uppmätta och teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan utan inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 26:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan utan inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.



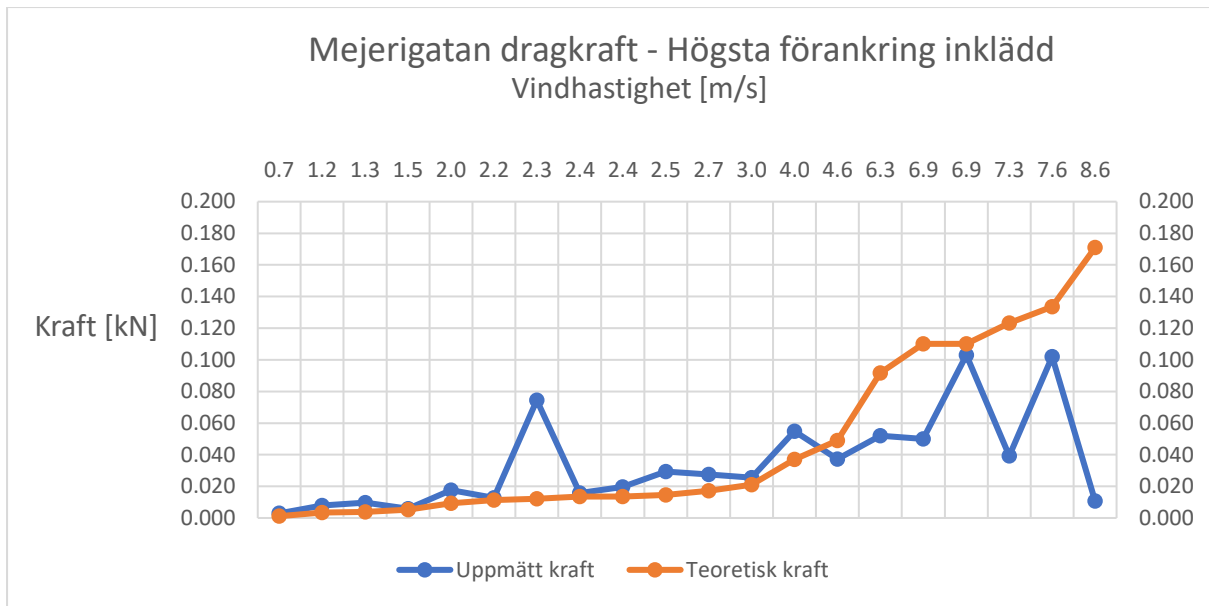
**Figur 27:** Graf som visar uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan utan inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.



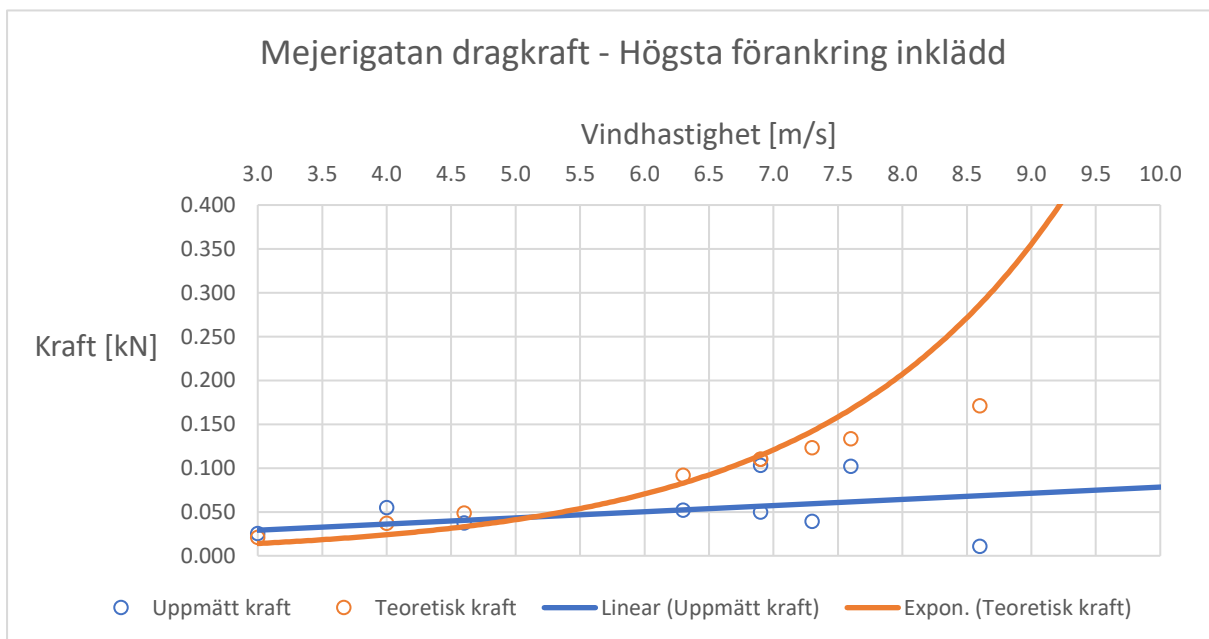
**Figur 28:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan utan inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.

Vid undersökningen av referensobjekt mejerigatan utan inklädnad vid dragkraft observerades att den uppmätta kraften översteg den teoretiska kraften för alla vindhastigheter inom det undersökta området. Det är dock viktigt att påpeka att de uppmätta vindhastigheterna var relativt låga, med en maximal hastighet på 3 meter per sekund. Detta kan möjligtvis innebära att andra faktorer som inte beaktas i beräkningarna, såsom förankringens förspänningskraft, som uppstår vid montering av förankringen mot strukturen, övervinner vindkraftens påverkan. En observation som kan göras med hjälp av trendlinjer är att ökningen av den uppmätta kraften förblir relativt konstant för alla vindhastigheter inom det undersökta området, medan den teoretiska vindkraften ökar exponentiellt med vindbelastningen. Om högre vindhastigheter hade mätts skulle det vara möjligt att fastställa om skillnaden mellan de teoretiska och uppmätta krafter konvergerar vid högre vindhastigheter eller om den teoretiska kraften skulle bli större vilket var fallet för referensobjekt regnbågen.

Vid undersökningen av dragkrafterna i referensobjektet mejerigatan utan inklädnad observerades liknande resultat. Den uppmätta kraften var större än den teoretiska kraften, men när vindhastigheten ökade växte den teoretiska kraften snabbare än den uppmätta. Det finns en möjlighet att de uppmätta och teoretiska krafterna antingen konvergerar eller att den teoretiska kraften övertar den uppmätta vid högre vindhastigheter liknande de resultat som observerades för referensobjekt regngården.



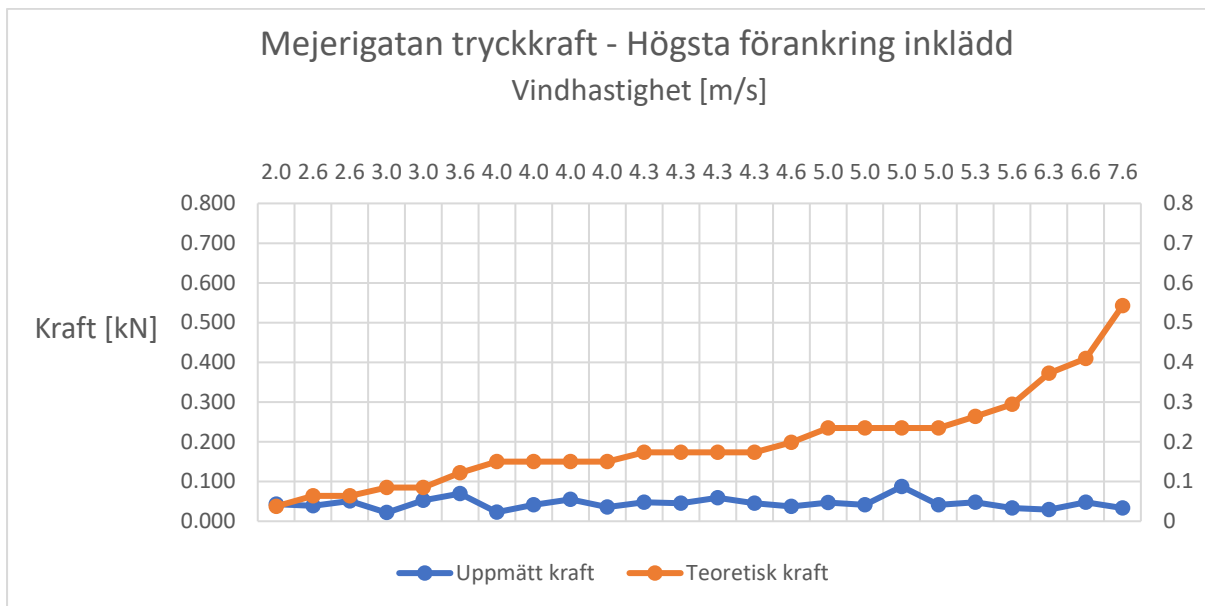
**Figur 29:** Graf som visar uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan med inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.



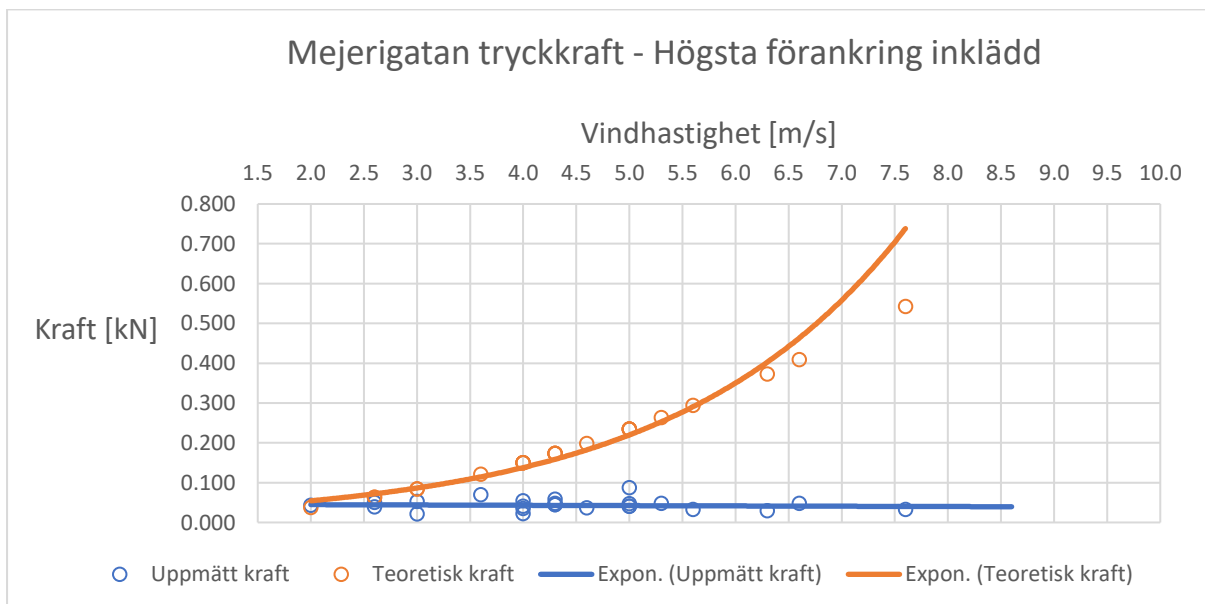
**Figur 30:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska dragkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan med inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.

För referensobjekt Mejerigatan med inklädnad visas liknande trender när det gäller skillnaden mellan teoretiska och uppmätta krafter, som tidigare observerades i samma referensobjekt utan inklädnad. Vid lägre vindhastigheter är de uppmätta krafterna liknande i storlek. Men till skillnad från tidigare, när byggställningen inte var inklädd, kan det här observeras att vid högre vindhastigheter överträffar de teoretiska krafterna de uppmätta krafterna som bara kunde spekuleras innan. Resultatet för detta referensobjekt indikerar att beräkningarna överskattar kraften som genereras i förankringen under de specifika måttförhållandena vid denna mätstudie. En orsak till skillnaden i resultaten kan vara att andra faktorer har en

betydligt större påverkan på förankringskraften än vindlasten vid låga vindhastigheter. Till exempel kan en del av byggställningens egenvikt tas upp av förankringen eller så kan moment från närvarande personal och material tas upp av förankringen.



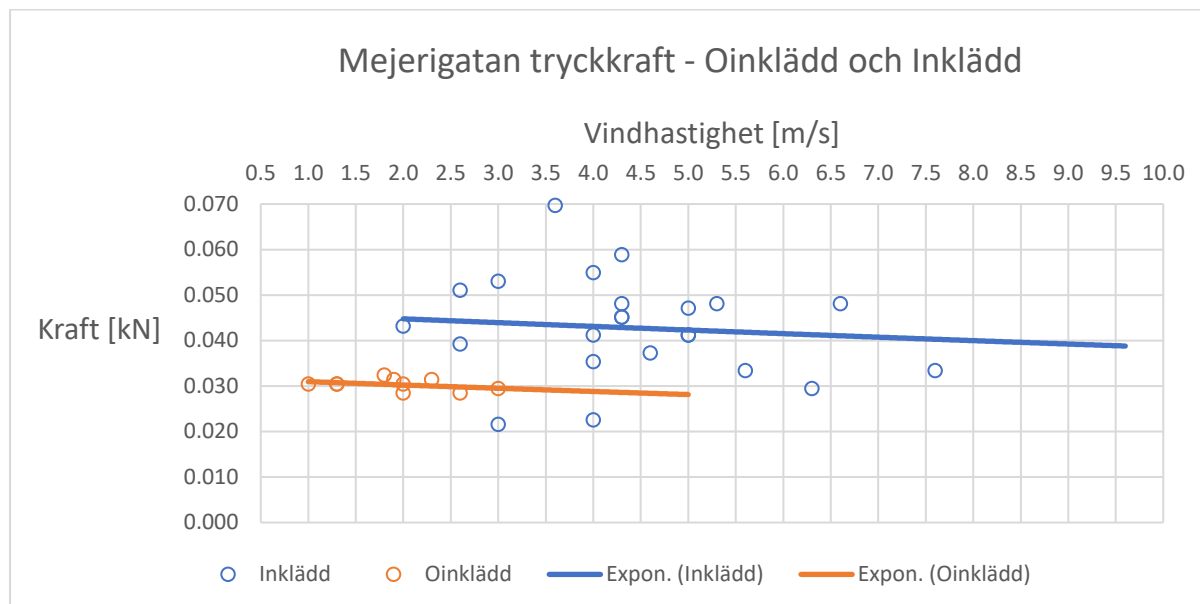
**Figur 31:** Graf som visar uppmätta och teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan med inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.



**Figur 32:** Graf som visar trendlinjer för uppmätta och teoretiska tryckkrafter för den högsta förankringen för referensobjekt mejerigatan med inklädnad vid uppmätta vindhastigheter.

Vid referensobjektet mejerigatan observerades liknande resultat för inklädnad vid den högsta förankringen som för tryckkrafter vid ett oinklätt tillstånd. Det vill säga att de uppmätta kraftvärdena förblev konstanta inom det undersökta vindhastighetsspannet. Trots att de

uppmätta krafterna inte överensstämmer med förväntade teoretiska värden, är resultatet konsekvent oavsett om byggställningen är inklädd eller inte. Detta är positivt ur en säkerhetssynpunkt att krafterna är mindre än förväntat - vilket betyder att om detta förhållande också gäller för högre vindbelastningar är förankringarna tillräckligt dimensionerade för att motstå vindlasten och undvika plastisk deformation eller brott.

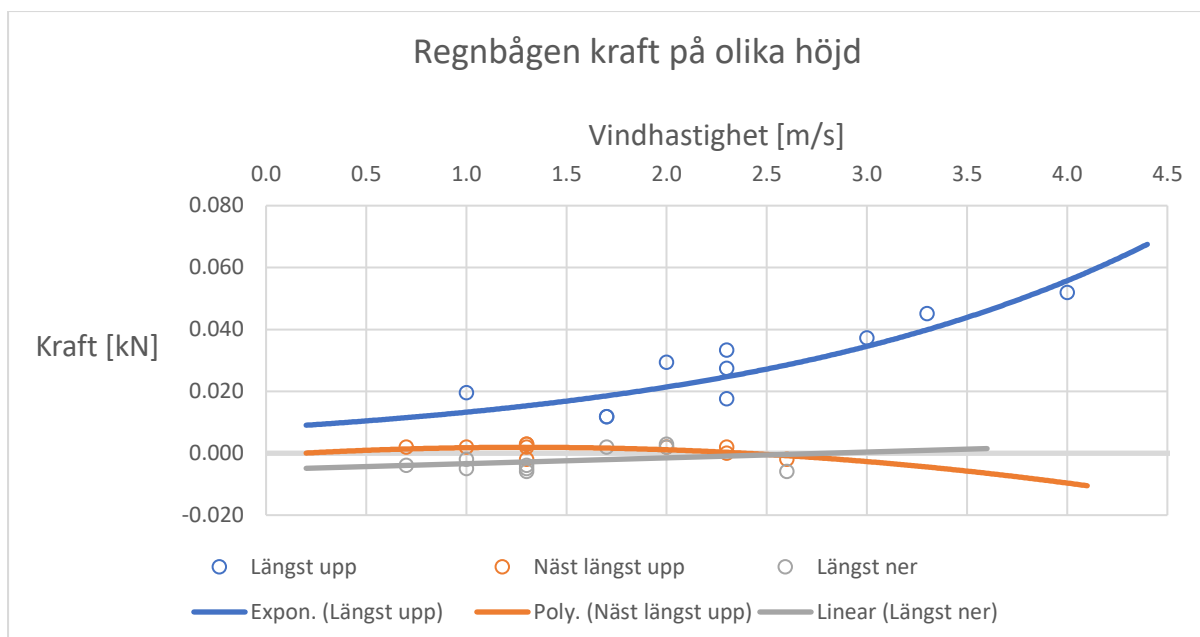


**Figur 33:** Graf som visar kraftskillnader för referensobjekt mejerigatan mellan en inklädd och oinklädd referensyta för den högsta förankringen.

Figuren visar tryckkrafter för projektet på Mejerigatan när det var inklätt och oinklätt. Det är svårt att dra en exakt slutsats om förankringskraftens skillnad mellan inklädd och oinklädd, eftersom kraften teoretiskt ökar exponentiellt med vindhastigheten. Den högsta vindhastigheten för den oinklädda ytan är tre meter per sekund, vilket inte är särskilt högt och kan ge upphov till felkällor som nämnts tidigare. Vid tre meter per sekund var kvoten i förankringskraft mellan inklädd och oinklädd lika med 1,83. Detta är lägre än förväntat, eftersom den oinklädda referensytan för den högsta förankringen har en area som är ungefär 20% av den inklädda byggställningens referensyta. Teoretiskt sett borde kvoten i förankringskraften mellan oinklädd och inklädd därför vara lika med 5. Det är möjligt att vid högre vindhastigheter, som vid referensvindhastigheter, närmar sig kvoten 1,82 den teoretiska kvoten som är ungefär lika med 5.

### 6.2.2 Förankringskraft i höjddled med avseende på vindlast

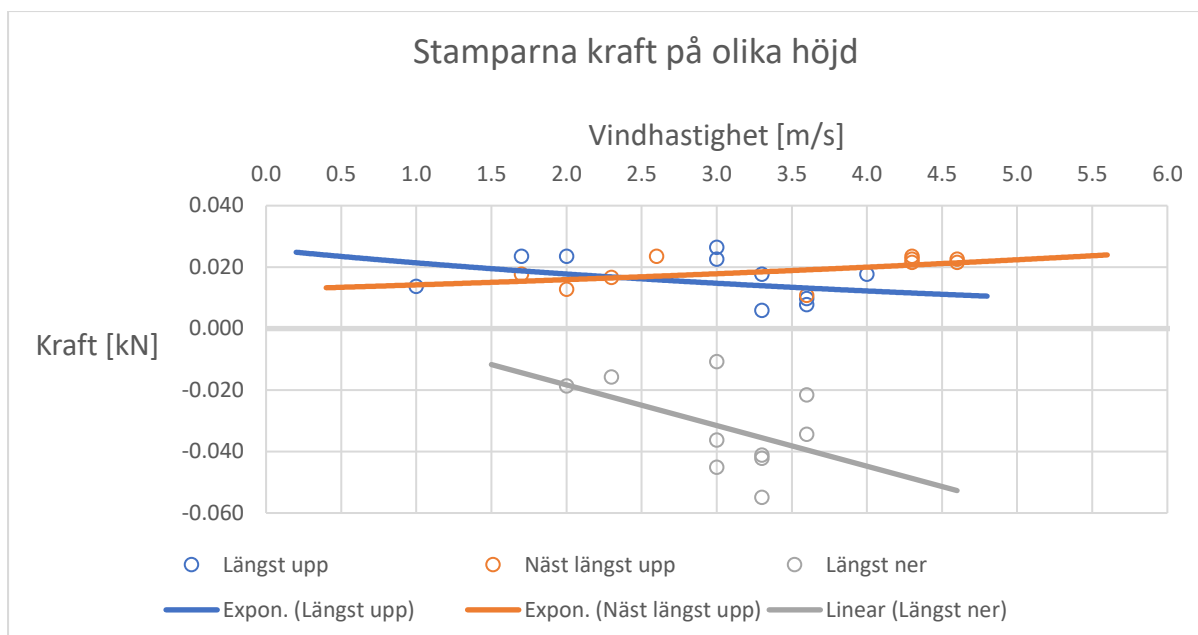
I detta avsnitt presenteras, jämförs och analyseras mätdata för förankringskrafter på olika höjder i byggställningen för referensobjekten regnbågen, stamparna och mejerigatan. Mätningarna har utförts för den högsta förankringen i byggställningen, förankringen som är näst högst upp och förankringen längst ner i byggställningen. Syftet är att identifiera eventuella skillnader i förankringskrafter beroende på höjd i byggställningen. För att underlätta förståelsen benämns förankringen högst upp i byggställningen som *förankring 1*, förankringen som är näst högst upp benämns som *förankring 2* och förankringen längst ner i byggställningen benämns som *förankring 3*.



**Figur 34:** Graf som visar uppmätta krafter för referensobjekt regnbågen då förankringen är längst upp, näst längst upp och näst längst ner i ställningen.

För referensobjekt regnbågen är det tydligt från mätresultaten att *förankring 1* mätts upp till en högre förankringskraft än *förankring 2* och *förankring 3*. Dessutom visar resultaten även att *förankring 1* påverkas av dragkrafter, medan *förankring 2* och *förankring 3* blev påverkade av både dragkrafter och tryckkrafter, där *förankring 3* hade fler uppmätta tryckkrafter än *förankring 2*. I det här fallet representeras tryckkrafter som negativa värden.

Resultaten av mätningarna visar också att krafterna i *förankring 3* var större än krafterna i *förankring 2*. Krafterna som uppmättes i *förankring 1* var även de enda som hade en tydlig exponentiell ökning till vindhastigheten, och för de andra höjderna var krafterna ungefär lika stora oavsett vindhastighet i det uppmätta intervallet.

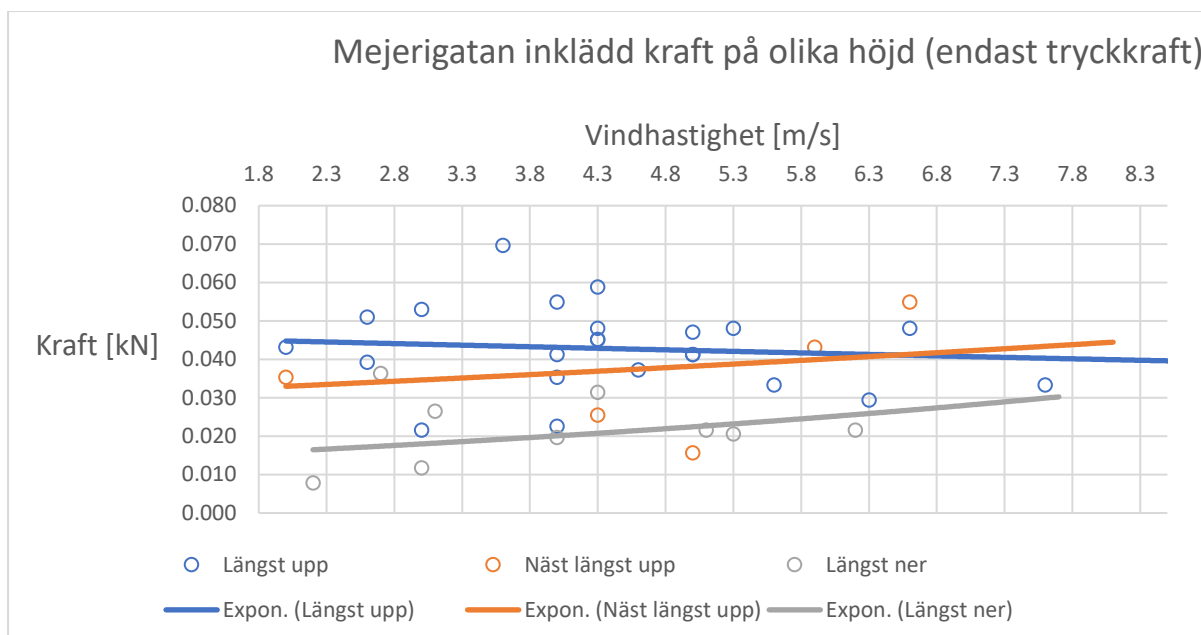


**Figur 35:** Graf som visar uppmätta krafter för referensobjekt stamparna då förankringen är längst upp, näst längst upp och näst längst ner i byggställningen.

För referensobjekt stamparna var det inte lika stora kraftskillnader mellan *förankring 1* och *förankring 2*, jämfört med referensobjekt regnbågen och till skillnad från referensobjekt regnbågen är det ingen av förankringskrafterna som har en tydlig exponentiell ökning i förhållande till vindhastigheten. I detta fall var det endast dragkrafter som verkade på *förankring 1* och *förankring 2* och endast tryckkrafter som verkade på *förankring 3*, tryckkrafterna representeras som negativa värden.

Resultaten visar att tryckkrafterna i *förankring 3* till viss del ökar med vindhastigheten, medan krafterna i *förankring 1* och *förankring 2* är mestadels konstant oavsett vindhastighet, med en relativt liten ökning i kraft med ökande vindhastighet för *förankring 2* och en relativt liten minskning i kraft med ökande vindhastighet för *förankring 1*.

Till skillnad från referensobjekt regnbågen uppstod de största krafterna i *förankring 3* och inte *förankring 1* för referensobjekt stamparna.



**Figur 36:** Graf som visar uppmätta krafter för referensobjekt mejerigatan då förankringen är längst upp, näst längst upp och näst längst ner i byggställningen.

I förankringarna för referensobjekt mejerigatan var det endast tryckkrafter som uppmättes, oavsett höjd. För *förankring 1*, *förankring 2* och *förankring 3* var det relativt små förändringar i krafter med avseende på vindhastighet, där krafterna i *förankring 1* minskade när vindhastigheten ökade, och krafterna i *förankring 2* och *förankring 3* ökade när vindhastigheten ökade.

Trots minskningen var krafterna i *förankring 1* störst för nästan hela mätintervall, krafterna i *förankring 2* var näst störst och krafterna i *förankring 3* var lägst. Detta visar att för referensobjekt mejerigatan hade förankringens höjd en direkt relation till de uppmätta krafterna, där ju högre förankringen var i byggställningen, desto högre var även krafterna i förankringen. Detta gäller bara för referensobjekt mejerigatan då mätningarna på de andra referensobjekten skiljer sig från detta mönster.

En annan skillnad mellan de olika referensobjekten är att krafterna i *förankring 1* var mer än tio gånger större än krafterna i *förankring 2* och *förankring 3* för referensobjekt regnbågen, vilket kan tyda på att den högsta förankringen tar upp majoriteten av dragkraften från vindlasten som verkar på byggställningen under låga vindhastigheter, då det i så fall skulle räcka med förankringarna högst upp i byggställningen för att den ska förbli stabil.

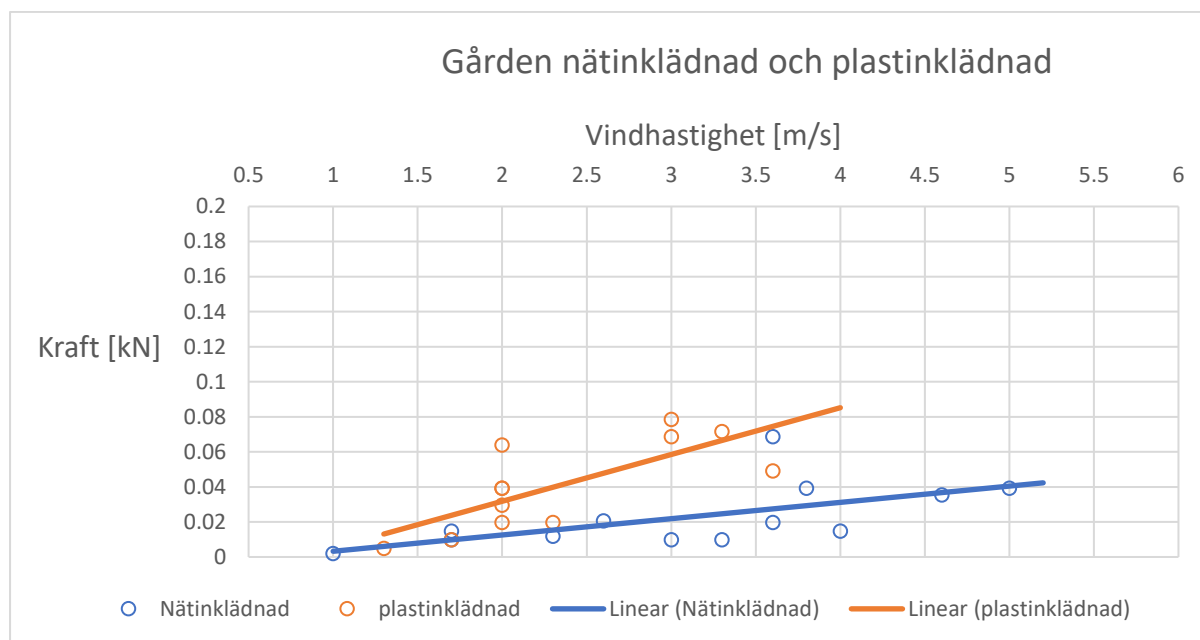
Däremot är det endast resultaten för referensobjekt regnbågen som stödjer detta då krafterna i *förankring 1* och *förankring 2* för både referensobjekt stamparna visar att inte bara den högsta förankringen tar upp stora delar av dragkrafterna vid låga vindhastigheter. Mätdata för högre vindhastigheter och mätningar på andra höjder i byggställningen hade behövts för att kunna dra en pålitlig slutsats kring detta.

Det finns flera felkällor som kan ha påverkat resultatet av dessa mätningar. En felkälla är vindmätarens placering. Då vindmätaren inte är placerad direkt på förankringen kan det leda till att det är skillnad i vindhastigheten som blåser på vindmätaren jämfört med vindhastigheten som blåser på förankringen, men i mätningarna har antagandet gjorts att

vindhastigheten vid förankringen är samma som vindmätaren mätt upp. Vid mätningar på olika höjder har denna felkälla ännu mer påverkan, då sträckan mellan förankringen och vindmätaren är större ju längre ner i byggställningen som mätningar har gjorts.

### 6.2.3 Skillnader mellan nät- och plastinklädnad med avseende på vindlast

I detta avsnitt presenteras, jämförs och analyseras mätdata för förankringskrafter för referensobjekten gården. Mätningarna har utförts både då referensobjekt gården har en inklädnad i nät och när referensobjekt gården har en inklädnad i plast. Syftet är att identifiera eventuella skillnader i förankringskrafter beroende på vilken typ av inklädnad som byggställningen har.



**Figur 37:** Graf som visar uppmätta krafter för referensobjekt gården inklädd i nät och inklädd i plast.

Enligt Figur 37 visas det tydligt att krafterna då referensobjekt gården var inklädd i plast är större och ökar mer med vindhastigheten än krafterna då referensobjekt gården var inklädd i nät. Skillnaderna i kraft blir tydligare vid högre vindhastigheter och vid de lägsta vindhastigheterna är det nästan ingen skillnad alls. Som nämnt tidigare antas förankringskrafterna vara lika stora oavsett om byggställningen är inklädd i nät eller plast enligt beräkningar.

En möjlig anledning till att krafterna är större vid plastinklädnad skulle kunna vara att det egentligen är olika krafter beroende på inklädnad, möjligtvis för att nät är poröst och således har en mindre referensyta för vinden att verka på. Detta innebär att antagandet som görs i beräkningar att förankringskraften är lika stor oavsett nätinklädnad eller plastinklädnad, inte stämmer i verkligheten.

## 6.3 Slutsats

I detta avsnitt presenteras en kort sammanfattning samt generella slutsatser kring de olika mätningarna jämfört mot beräkningar. Även potentiella bakomliggande felkällor presenteras och analyseras.

### 6.3.1 Spirlaster

Sammanfattningsvis överensstämmer inte teoretiska spirlaster bra överens med verkligheten, utan i nästan alla fall är den uppmätta spirlasten mindre än den teoretiska beräknade värdet. En observation som gjordes var att vid mindre byggställningar som har få förankringar, i detta fall referensobjekt gården, var den uppmätta spirlasten närmast den teoretiska. Detta kan bero på att en mindre byggställning inte ger stor möjlighet till felkällor som annars kan påverka spirlaster för större byggställningarna – som i vissa kan ha över femtio spiror och hundratals förankringar. Dessutom var referensobjekt gården byggd på jämn mark.

Vid de större byggställningarna var den uppmätta skillnaden mycket större än den teoretiska skillnaden. Skillnadsförhållandet varierade mellan en kvot på 1,51 och 2,26. Det är viktigt att notera att inga säkerhetsfaktorer användes i beräkningarna i denna mätstudie. När en säkerhetsfaktor tillämpas blir skillnaden ytterligare 1,5 gånger större. Ett undantag från denna trend observerades vid innerspiran på referensobjekt mejerigatan, där skillnaden var 0,99. Det vill säga den uppmätta spirlasten var större än den teoretiska. Detta kan bero på snedställning av byggställningen i djupled eller att lastcellen inte var korrekt monterad. Dock en möjlig förklaring kan också vara att lastcellen inte visade det korrekta värdet på grund av att lastcellen gick sönder under mätprocessen, men det är oklar ifall detta hade någon påverkan på mätvärdet.

Som tidigare nämnt, de konstruktionsberäkningar som används för spirlaster i byggställningar är förenklade och gör ett antal antaganden för att förenkla beräkningarna så att de kan göras för hand. Till exempel utförs inga momentjämviktsberäkningar utan varje spira antas ha en utnyttjande area där alla komponenter inom den area antas bara påverka den spiran som utnyttjande arean gäller för. Detta ger endast approximativa värden för spirlaster.

En ytterligare faktor som kan ligga bakom dessa avvikelser är att för beräkningar för spirlaster tas inte vindlasten i beaktande. I verkligheten genererar vindlasten ett kraftmoment på en byggställning när vinden blåser, vilket delvis tas upp av spirorna. Detta innebär att spirlasten för en spira kan variera beroende på vindhastighet och vindriktning. En annan faktor som påverkar spirlaster är att förankringskrafterna bär en viss del av egenvikten och nyttolasten. Detta kunde observeras när mätvärden togs.

Det kan förekomma andra felkällor. Otillräckligt noggranna mätverktyg eller mätverktyg som ger systematiska fel vid högre mätvärden kan leda till felaktiga resultat. Dessutom spelar monteringen av lastcellerna under spirorna en stor roll, eftersom en felaktig centrerad lastcell kan ge felaktiga värden. Ojämn mark kan ge upphov till en snedställning på byggställningen och resultera i olika belastningar på lastcellerna. Trots att en vattenvåg används vid byggnation av byggställningar för att säkerställa en jämn konstruktion, kan även små snedställningar leda till betydande mätfel. I verkligheten är det inte alltid perfekta förhållanden och det kan förekomma personal och material på flera våningar trots att beräkningar antar att bara en våning belastas.

### 6.3.2 Förankringskrafter

Sammanfattningsvis visar resultaten att uppmätta förankringskrafter inte stämmer väl överens med beräkningar. En tydlig slutsats är att förankringskrafter för den högsta förankringen är vanligtvis konstanta eller har en liten linjär lutning i relation till vinden. Detta bekräftas tydligt genom användning av trendlinjer. Dessutom observerades det att den uppmätta förankringskraften var antingen mindre än eller växte inte lika snabbt som de teoretiska krafterna vid nästan alla mätpunkter när vindhastigheten ökade. Detta indikerar att beräkningarna för förankringskrafter kan ha en viss medföljd säkerhetsfaktor, som leder till att riktiga krafter är lägre än de beräknade.

Ett undantag för detta är för referensobjekt regnbågen, där den uppmätta kraften växer exponentiellt och i takt med de beräknade värdena vid samma vindhastighet – dessutom är den större än den teoretiskt beräknade förankringskraften. Avvikelse från beräkningar kan bero på ett antal faktorer, som till exempel brister i konstruktionsberäkningar, mätverktyg, mätmetoder eller en kombination av dessa faktorer.

Vid beräkningar för förankringskrafter görs vissa antaganden som kan ge upphov till fel värden. Till exempel tar beräkningarna inte hänsyn till vindriktning, utan samma formel används oavsett om vinden blåser rakt på eller snett på. En annan faktor är att förankringskraften inte bara beror på vindlasten, utan kan även variera beroende på hur hårt förankringen är fäst i spiran. Dessutom kan eventuella arbetare och material i närheten av förankringen ge upphov till ett moment som delvis påverkar förankringskraften. Detta var väldigt tydligt under mätningen av förankringskrafterna, där en persons närvaro eller passage vid förankringarna märkbart påverkade förankringskraften. En ytterligare faktor är att förankringar kan monteras snett, vilket leder till ett böjmoment i förankringen. Dock kan de kraftmätare som användes i förankringen bara mäta drag- och tryckkrafter.

En annan möjlig felkälla är att beräkningarna som har använts inte är väl anpassade för de uppmätta vindhastigheterna. Normalt används ekvation (1) för att beräkna den maximala förankringskraften för den högsta förankringen. I denna mätstudie har formeln modifierats för att möjliggöra beräkningar vid mycket lägre vindhastigheter än de referensvindhastigheter som vanligtvis används i Sverige (21 till 26 meter per sekund). Detta har gjorts för att möjliggöra en direkt jämförelse mellan teoretiska och uppmätta krafter, eftersom vindar över 21 meter per sekund sällan uppstår förutom vid storm.

### 6.3.2 Förankringskrafter på olika höjder

En generell slutsats baserat på mätningarna för olika höjder är att det fanns tydliga variationer och skillnader i förankringskrafterna mellan olika referensobjekt och höjder i byggställningen. Resultaten visade inte ett tydligt mönster eller en konsekvent trend över referensobjekten när det gällde förankringskrafterna i förhållande till höjd.

En observation som kan göras är att i vissa fall hade den högsta förankringen den största kraften, medan i andra fall var den ingen tydlig korrelation mellan höjd och kraft, vilket gör det svårt att säga om höjden där förankringarna är fast i byggställningen har någon påverkan på hur mycket kraft som uppstår i förankringen. Därav hade det varit av intresse att samla in fler mätvärden under olika förhållanden, till exempel mätningar vid högre vindhastigheter.

### 6.3.3 Förankringskraft för nät- kontra plastinklädning

Mätningarna för referensobjekt gården visar på att det är större uppmätta krafter för plastinklädning, och dessutom ökar kraften också mer med vindhastigheten jämfört med nätinklädning. Det tyder på att inklädningstypen påverkar förankringskrafterna, vilket inte överensstämmer med antaganden som görs i beräkningar.

Då det är relativt få mätvärden för referensobjekt gården hade det varit av intresse att utvidga antalet mätvärden för att få mer pålitliga resultat. Dessutom hade det också varit av intresse att mäta med olika sorters nätinklädningar där skillnaden mellan olika mängd porositet kan undersökas för att ytterligare säkerställa ifall det är skillnader i förankringskraft beroende på inklädning.

## 7. Diskussion

I detta avsnitt presenteras subjektiv diskussion kring mätresultaten av mätningarna samt hela arbetet i helhet, som begränsningar i arbetet och rekommendationer som kan tillämpas i fortsatta studier kring förankringskrafter och spirlaster i byggnadsställningar.

Vid reflektion över resultaten av mätningarna och arbetet framkommer flera aspekter som väcker subjektiva diskussioner. Först och främst måste det noteras att vi blev besvikna över de inkonsekventa resultaten. Det var tydligt att för det mesta överensstämde beräkningarna inte väl bra med verkligheten. Detta kan bero på flera faktorer, till exempel brister i konstruktionsberäkningar, mätverktyg, mätmetoder eller en kombination av dessa faktorer.

Trots de inkonsekventa resultaten observerades vissa områden där mätningarna stämde bra överens med beräkningarna. Särskilt i fallet med förankringskrafter för referensobjekt regnbågen och spirlaster för referensobjekt gården. I alla referensobjekt förutom regnbågen så var de uppmätta förankringskrafterna mycket mindre än de beräknade värden. Och för alla referensobjekt förutom gården blev spirlaster oftast mer än dubbelt så stora än vad som hade beräknats. Ett undantag för detta var innerspiran på referensprojekt mejerigatan när byggställningen ej var inklädd, där blev vikten på spirlasten mindre än det beräknade värdet.

De uppmätta krafterna, både för spirlaster och förankringskrafter, är generellt sett mycket mindre än vad som hade beräknats. Vidare bör det noteras att inga säkerhetsfaktorer har använts vid beräkningarna för denna mätstudie för att möjliggöra en så detaljerad jämförelse som möjligt. När säkerhetsfaktorer används, vilket är nödvändigt vid dimensionering av byggställningar, blir skillnaden mellan de uppmätta och beräknade värden ännu större. Vid beräkningar används en säkerhetsfaktor på 1,5 för spirlaster och en reduktionsfaktor på 0,7 för förankringskraften. I verkliga förhållanden når man sällan den maximalt tillåtna kraften, även utan tillagda säkerhetsfaktorer. Detta tyder på att byggställningar generellt sett är väldigt överdimensionerade, vilket är positivt med avseende på säkerhet. Det är av yttersta vikt att inte förbise säkerheten, eftersom otillräckligt dimensionerade byggställningar kan kollapsa och orsaka allvarliga skador.

Ett annat resultat som vi var nöjda över är mätningarna på referensobjekt gården och att förankringskrafterna visade sig vara större för plastinklädnad än för nätinklädnad. Trots att det inte antas vara någon skillnad på nätinklädnad och plastinklädnad med avseende på förankringskrafter i beräkningsmodellen tyckte vi att det var mer sannolikt att förankringskrafterna minskar med nätinklädnad då det ger vinden en mindre yta att verka på, och enligt mätresultatet är detta fallet. Utifrån vårt resultat anser vi att inklädningsstyper bör tas hänsyn till i beräkningsmodellen för att ge upphov till mer noggrannare beräkningar för förankringskrafter, vilket i nuläget inte görs.

Under arbetsgången identifieras flera områden där förbättringar och åtgärder kan genomföras. Tidsramen för projektet var begränsad till endast cirka tre månader totalt, varav en och en halv månad för mätningar, vilket var otillräckligt för att genomföra omfattande mätningar och experiment. Detta ledde till att det inte uppstod många tillfällen där både vindhastighet och vindriktning passade för mätobjekten. Om mer tid hade varit tillgänglig kunde även förankringskrafter vid högre vindhastigheter mätas, vilket hade varit mycket intressant att jämföra mot teoretiska förankringskrafter. Eftersom förankringskrafter vanligtvis beräknas med en referensvindhastighet som ligger mellan 21 och 26 meter per sekund i Sverige.

En till sak som hade vara gynnsamt är om vi hade kunnat fokusera på en eller två byggställningar i stället för fyra, för då skulle vi ha kunnat utföra fler och mer djupgående mätningar som hade lett till mer tillförlitligt resultat. Dessutom skulle det ha varit fördelaktigt om de använda mätverktygen hade haft en sparfunktion för att undvika manuell datainsamling.

Vi stötte också på svårigheter vid montering av vindmätaren. Det var nödvändigt att fästa den på platser som låg långt bort från förankringen, vilket kan ha påverkat mätresultaten. En förbättring skulle vara att möjliggöra montering av vindmätaren precis vid förankringen för att få mer exakta vinddata.

För att förbättra och vidareutveckla studier om förankringskrafter och spirlaster i byggnadsställningar föreslås flera åtgärder och förbättringar. Först och främst rekommenderas att fler mätningar genomförs för att öka antalet mätdata och därmed förbättra tillförlitligheten i resultaten. Särskilt viktigt är att utföra mätningar för förankringskrafter vid högre vindhastigheter för att minimera att vissa felkällor påverkar mätresultatet.

För att effektivisera mätprocessen och möjliggöra parallella mätningar av flera förankringar och spiror samtidigt föreslås användning av flera mätverktyg, på så sätt hade det varit möjligt att undersöka hur krafterna i spirorna och förankringarna fördelas. Det är också viktigt att ha reserver av mätverktyg ifall det skulle behövas, till exempel ifall ett mätverktyg går sönder.

En noggrann planering och organisering från projektets början är avgörande för att undvika brådska och oplanerade situationer och om vi gjorde om projektet så hade vi definitivt gjort en mer detaljerad planering, och diskuterat olika sätt att utföra mätningarna på, så att vi kan mäta på bästa sätt redan från början. Till exempel genom att mäta förankringarna i olika höjder redan från början, i stället för att endast ta mätdata på de högsta förankringarna vid de första mättillfällena.

Vi funderade även över hur man hade kunnat fortsätta undersökningen och vi kom fram till några förslag. Att börja med tycker vi att man hade kunnat undersöka alternativa beräkningsmodeller för att erhålla noggrannare resultat. Till exempel att man kunnat jämföra alternativa beräkningsmodeller som tar hänsyn till momentkrafter i byggställningen genom momentjämväkt. Digitala verktyg hade kunnat användas för detta ändamål.

Genom att vidta dessa åtgärder och implementera förbättringar kan framtida forskning inom förankringskrafter och spirlaster i byggställningar erhålla ökad tillförlitlighet och bättre resultat som kan stärka förståelse och säkerhet inom byggindustrin.

## Källförteckning

Svenska Institutet för Standarder. (2004). *Temporära konstruktioner – Del 1: Ställningar – Krav och utförande* (SS-EN 12811-1:2004). Hämtad från

<https://www.sis.se/en/produkter/construction-materials-and-building/construction-technology/ssen12811120042/>

Svenska Institutet för Standarder. (2005). *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast*. (SS-EN 1991-1-4:2005). Hämtad från

<https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsindustrin/tekniska-aspekter/ssen19911420052/>

PlusEight Technology AB. (2016). *Monteringsinstruktion*. Hämtad från

<https://www.pluseight.com/dokument>

Vetek Weighing AB. (2017). *Lastcell lågprofil 3ton, rostfri*. [Mätinstrument]. Tillgängligt från

<https://www.vetek.se/article/lastcell-lagprofil-3ton-rostfri>

Vetek Weighing AB. (u.å.). *S-Lastcell för tryck och drag 1 ton. IP68. Rostfritt stål*.

[Mätinstrument]. Tillgängligt från <https://www.vetek.se/article/s-lastcell-for-tryck-och-drag-1-ton-ip68-rostfritt-stal>

Vetek Weighing AB. (u.å.). *Vågindikator multifunktion IP68, laddbart batteri*.

[Mätinstrument]. Tillgängligt från <https://www.vetek.se/article/vagindikator-multifunktion-ip68-laddbart-batteri>

Clas Ohlson AB. (2019). *Trådlös väderstation med USB*. [Mätinstrument]. Tillgängligt från

<https://www.clasohlson.com/se/Tradlos-vaderstation-med-USB-Cotech/p/36-7959>





## Bilaga B.1: Uppmätta förankringskrafter och tillhörande vindhastigheter.

Uppmätta förankringskrafter												
Mejerigatan (#1)				Stamparna (#1)				Regnbågen (#1 högst upp)				
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	
1	-0.028	1.2	2.6	1	-0.166	2.3	3.0	1	0.182	2.5	5.0	
2	-0.028	1.7	2.0	2	-0.139	4.2	6.9	2	0.186	4.5	6.2	
3	-0.031	1.9	1.9	3	-0.135	4.5	6.9	3	0.192	4.2	5.6	
4	-0.030	1.3	1.3	4	-0.145	4.0	5.6	4	0.166	4.1	5.9	
5	-0.032	1.8	1.8	5	-0.159	4.1	5.3	5	0.143	3.9	4.1	
6	-0.030	0.5	1.0	6	-0.155	4.1	5.3	6	0.136	3.9	4.0	
7	-0.030	1.4	2.0	7	-0.151	1.0	2.3	7	0.163	2.5	3.7	
8	-0.031	2.0	2.3	8	-0.135	2.4	4.0	8	0.139	3.0	3.3	
9	-0.030	0.9	1.3	9	-0.143	2.9	4.0	9	0.153	2.5	3.8	
10	-0.029	2.4	3.0	10	-0.153	4.2	5.6	10	0.117	3.8	3.9	
Mejerigatan (#2)				Stamparna (#2)				Regnbågen (#2 högst upp)				
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	
1	0.301	4.0	5.3	1	-0.123	2.0	3.0	1	-0.016	3.6	5.9	
2	0.283	4.2	4.6	2	-0.114	2.6	3.0	2	0.030	2.2	3.6	
3	0.308	4.0	5.0	3	-0.116	2.7	3.6	3	-0.023	1.1	1.7	
4	0.316	2.9	3.3	4	-0.109	2.3	3.3	4	0.049	1.7	2.6	
5	0.317	3.6	5.0	5	-0.113	2.2	2.3	5	0.062	1.4	2.3	
6	0.289	4.8	6.3	6	-0.116	2.3	2.6	6	0.040	1.6	2.0	
7	0.360	4.3	5.9	7	-0.101	3.1	4.0	7	0.035	1.3	2.0	
8	0.311	3.0	5.0	8	-0.110	3.7	4.3	8	-0.022	0.7	1.0	
9	0.283	4.0	6.6	9	-0.111	2.8	3.0	9	0.018	1.1	1.7	
10	0.381	4.0	6.6	10	-0.113	2.5	3.3	10	-0.015	1.1	1.7	
Mejerigatan (#3 - inklädd)				Stamparna (#3 högst upp)				Regnbågen (#3 högst upp)				
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	
1	0.037		4.6	1	0.010	2.9	3.6	1	0.027	2.0	2.3	
2	0.050		6.9	2	0.008	2.9	3.6	2	0.029	1.2	2.0	
3	0.039		7.3	3	0.006	2.7	3.3	3	0.012	1.2	1.7	
4	0.055		4.0	4	0.018	3.3	4.0	4	0.020	0.6	1.0	
5	0.052		6.3	5	0.018	2.7	3.3	5	0.012	1.1	1.7	
6	0.102		7.6	6	0.024	0.8	1.7	6	0.018	1.4	2.3	
7	0.103		6.9	7	0.024	1.9	2.0	7	0.033	1.9	2.3	
8	0.011		8.6	8	0.023	2.0	3.0	8	0.052	2.7	4.0	
9	0.010		1.3	9	0.026	2.0	3.0	9	0.045	2.6	3.3	
10	0.074556		2.3	10	0.014	0.7	1.0	10	0.037	2.1	3.0	
Mejerigatan (#4 - inklädd)				Stamparna (#4 näst högst upp)				Regnbågen (#4 näst högst upp)				
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	
1	0.013		2.2	1	0.017	1.0	2.3	1	0.002	0.7	1.0	
2	0.016		2.4	2	0.018	0.7	1.7	2	0.003	0.9	1.3	
3	0.006		1.5	3	0.013	1.4	2.0	3	0.002	0.4	0.7	
4	0.003		0.7	4	0.011	2.9	3.6	4	0.002	1.2	2.3	
5	0.018		2.0	5	0.023	2.8	4.6	5	0.002	1.3	2.0	
6	0.026		3.0	6	0.024	3.1	4.3	6	0.003	1.1	1.3	
7	0.027		2.7	7	0.023	3.0	4.3	7	0.002	1.0	1.3	
8	0.008		1.2	8	0.022	3.2	4.6	8	0.000	1.1	2.3	
9	0.029		2.5	9	0.024	2.0	2.6	9	-0.002	1.6	2.6	
10	0.020		2.4	10	0.022	2.9	4.3	10	-0.002	1.0	1.3	
Mejerigatan (#5 - inklädd)				Stamparna (#5 längst ner)				Regnbågen (#5 längst ner)				
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	
1	-0.043		2.0	1	-0.022	2.6	3.6	1	-0.006	2.3	2.6	
2	-0.039		2.6	2	-0.034	2.6	3.6	2	-0.005	0.8	1.3	
3	-0.051		2.6	3	-0.036	2.3	3.0	3	-0.004	0.3	0.7	
4	-0.022		3.0	4	-0.042	2.4	3.3	4	-0.005	0.7	1.0	
5	-0.053		3.0	5	-0.041	2.4	3.3	5	-0.006	0.9	1.3	
6	-0.070		3.6	6	-0.055	2.4	3.3	6	-0.002	0.9	1.0	
7	-0.023		4.0	7	-0.045	2.5	3.0	7	-0.004	0.8	1.3	
8	-0.041		4.0	8	-0.016	1.8	2.3	8	0.002	1.2	1.7	
9	-0.055		4.0	9	-0.011	2.1	3.0	9	0.003	1.5	2.0	
10	-0.035		4.0	10	-0.019	1.5	2.0	10	0.002	1.2	2.0	
Mejerigatan (#6 - inklädd)				Gården (#1 nätklädnad)								
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*					
1	-0.035		2.0	1	0.002		1.0					
2	-0.026		4.3	2	0.010		1.7					
3	-0.084		4.3	3	0.015		1.7					
4	-0.016		5.0	4	0.012		2.3					
5	-0.043		5.9	5	0.021		2.6					
6	-0.055		6.6	6	0.010		3.0					
Mejerigatan (#7 längst ner - inklädd)				Gården (#2 plastklädnad)								
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*					
1	-0.021		5.3	1	0.005		1.3					
2	-0.036		2.7	2	0.010		1.7					
3	-0.022		6.2	3	0.039		2.0					
4	-0.026		3.1	4	0.020		2.0					
5	-0.012		3.0	5	0.029		2.0					
6	-0.008		2.2	6	0.039		2.0					
7	-0.031		4.3	7	0.039		2.0					
8	-0.020		4.0	8	0.020		2.3					
9	-0.022		5.1	9	0.069		3.0					
				10	0.078		3.0					
				11	0.072		3.3					
				12	0.049		3.6					

\*Inga medelvindhastigheter togs för referensprojekt mejerigatan vid inklädnad eller för referensprojekt gården för det är vindstöten som används för samtliga beräkningar av förankringskrafter.

## Bilaga B.2: Teoretiskt beräknade förankringskrafter vid uppmätta vindhastigheter.

Teoretiska beräkningar för förankringskrafter vid uppmätta vindhastigheter											
Referensobjekt mejerigatan (#1 - oinklädd)				Referensobjekt stamparna (#1)				Referensobjekt regnbågen (#1)			
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*
1	-0.018	1.2	2.6	1	-0.127	2.3	3.0	1	0.058	2.5	5.0
2	-0.011	1.7	2.0	2	-0.673	4.2	6.9	2	0.089	4.5	6.2
3	-0.010	1.9	1.9	3	-0.673	4.5	6.9	3	0.072	4.2	5.6
4	-0.005	1.3	1.3	4	-0.443	4.0	5.6	4	0.080	4.1	5.9
5	-0.009	1.8	1.8	5	-0.397	4.1	5.3	5	0.039	3.9	4.1
6	-0.003	0.5	1.0	6	-0.397	4.1	5.3	6	0.037	3.9	4.0
7	-0.011	1.4	2.0	7	-0.075	1.0	2.3	7	0.032	2.5	3.7
8	-0.014	2.0	2.3	8	-0.226	2.4	4.0	8	0.025	3.0	3.3
9	-0.005	0.9	1.3	9	-0.226	2.9	4.0	9	0.033	2.5	3.8
10	-0.024	2.4	3.0	10	-0.443	4.2	5.6	10	0.035	3.8	3.9
Referensobjekt mejerigatan (#2 - oinklädd)				Referensobjekt stamparna (#2)				Referensobjekt regnbågen (#2)			
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*
1	0.019	4.0	5.3	1	-0.127	2.0	3.0	1	-0.322	3.6	5.9
2	0.014	4.2	4.6	2	-0.127	2.6	3.0	2	0.030	2.2	3.6
3	0.017	4.0	5.0	3	-0.183	2.7	3.6	3	-0.027	1.1	1.7
4	0.007	2.9	3.3	4	-0.154	2.3	3.3	4	0.016	1.7	2.6
5	0.017	3.6	5.0	5	-0.075	2.2	2.3	5	0.012	1.4	2.3
6	0.027	4.8	6.3	6	-0.096	2.3	2.6	6	0.009	1.6	2.0
7	0.024	4.3	5.9	7	-0.226	3.1	4.0	7	0.009	1.3	2.0
8	0.017	3.0	5.0	8	-0.261	3.7	4.3	8	-0.009	0.7	1.0
9	0.029	4.0	6.6	9	-0.127	2.8	3.0	9	0.007	1.1	1.7
10	0.029	4.0	6.6	10	-0.154	2.5	3.3	10	-0.027	1.1	1.7
Referensobjekt mejerigatan (#3 - inklädd)				Referensobjekt stamparna (#3 högst upp)				Referensobjekt regnbågen (#3 högst upp)			
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*
1	0.049	4.0	4.6	1	0.046	2.9	3.6	1	0.012	2.0	2.3
2	0.110	4.2	6.9	2	0.046	2.9	3.6	2	0.009	1.2	2.0
3	0.123	4.0	7.3	3	0.038	2.7	3.3	3	0.007	1.2	1.7
4	0.037	2.9	4.0	4	0.057	3.3	4.0	4	0.002	0.6	1.0
5	0.092	3.6	6.3	5	0.038	2.7	3.3	5	0.007	1.1	1.7
6	0.134	4.8	7.6	6	0.010	0.8	1.7	6	0.012	1.4	2.3
7	0.110	4.3	6.9	7	0.014	1.9	2.0	7	0.012	1.9	2.3
8	0.171	3.0	8.6	8	0.032	2.0	3.0	8	0.037	2.7	4.0
9	0.004	4.0	1.3	9	0.032	2.0	3.0	9	0.025	2.6	3.3
10	0.012	4.0	2.3	10	0.004	0.7	1.0	10	0.021	2.1	3.0
Referensobjekt mejerigatan (#4 - inklädd)				Referensobjekt mejerigatan #5 - inklädd							
Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*	Antal	Kraft [kN]	Vindhastighet [m/s]*	Vindstöt [m/s]*
1	0.011		2.2	1	-0.038		2.0	13	-0.174		4.3
2	0.014		2.4	2	-0.064		2.6	14	-0.174		4.3
3	0.005		1.5	3	-0.064		2.6	15	-0.199		4.6
4	0.001		0.7	4	-0.085		3.0	16	-0.235		5.0
5	0.009		2.0	5	-0.085		3.0	17	-0.235		5.0
6	0.021		3.0	6	-0.122		3.6	18	-0.235		5.0
7	0.017		2.7	7	-0.150		4.0	19	-0.235		5.0
8	0.003		1.2	8	-0.150		4.0	20	-0.264		5.3
9	0.015		2.5	9	-0.150		4.0	21	-0.295		5.6
10	0.014		2.4	10	-0.150		4.0	22	-0.373		6.3
				11	-0.174		4.3	23	-0.409		6.6
				12	-0.174		4.3	24	-0.543		7.6
*Inga medelvindhastigheter togs för referensprojekt mejerigatan vid inklädnad för det är vindstöten som används för samtliga beräkningar av förankringskrafter.											

**Bilaga C.1:** Lastcell monterad under en spira



## Bilaga C.2: Kraftmätare i en förankring



**Bilaga C.3:** Vindmätare monterad på toppen av en byggställning



**Bilaga C.4:** Kraftmätare monterad i förankring för referensobjekt gården





**CHALMERS**