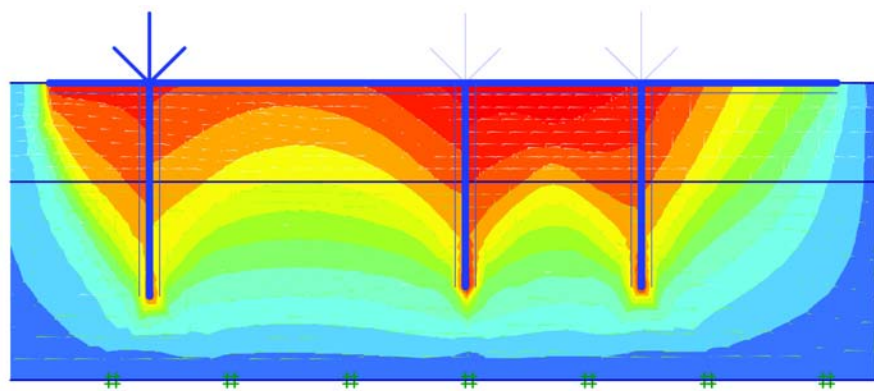




LUND  
UNIVERSITY



# SAMVERKANSGRUNDLÄGGNING I RELATION TILL SPETSBURNA PÅLAR

CHRISTOFFER SCHUNNESSON

Structural  
Mechanics

*Master's Dissertation*



*Department of Construction Sciences*  
Structural Mechanics

ISRN LUTVDG/TVSM--07/5148--SE (1-50)  
ISSN 0281-6679

# SAMVERKANSGRUNDLÄGGNING I RELATION TILL SPETSBURNA PÅLAR

Master's Dissertation by  
CHRISTOFFER SCHUNNESSON

Supervisors:

Ola Dahlblom, Professor,  
Div. of Structural Mechanics

Lars Johansson,  
Ramböll Sverige AB

Copyright © 2007 by Structural Mechanics, LTH, Sweden.  
Printed by KFS I Lund AB, Lund, Sweden, January, 2008.

For information, address:  
Division of Structural Mechanics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: <http://www.byggmek.lth.se>



## **Förord**

Detta examensarbete är utfört i vid avdelningen för Byggnadsmekanik vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Ramböll AB. Arbetet ingår som en del i civilingenjörsutbildningen Väg- och vattenbyggnad och motsvarar tjugo poäng.

Tack till Anders Sandgren på byggteknik på Ramböll som kom med förslaget till detta examensarbete och som även kommit med goda råd och idéer.

Ett stort tack till Lars Johansson på geo-avdelningen på Ramböll som har fungerat som handledare på Ramböll och som varit till ovärderlig hjälp.

Lund juni 2007

Christoffer Schunnesson

## **Abstract**

Below every building there is a different type of foundation work, it can comprise point carried piles or floating piles that pursues down the loads in the ground. A foundation work without piles could also be used, but big subsidence can arise in particular at bigger building constructions, it is however most important that the differentiate subsidence becomes too big. These subsidences can influence the buildings service life time, functionality and aesthetics. In those cases, where big subsidences are not acceptable piles are an excellent way to reduce subsidence.

Another alternative is to use a so called composite pile foundation, in this type of foundation work piles are used in a combination with a base slab, and the ground that the building lies on is used in a bigger degree and the number of piles can be reduced compared to a ground work where only piles are used in order to take up the building's load. In this case, a contact pressure is formed between the base slab and the ground, it leads to an increase of the cost for the base slab since it must be made stronger because more reinforcements and concrete is needed. The reason for using composite pile foundation instead of the other two alternatives where only piles take up the load from the building is that the total number of piles can be reduced which means an economic profitability.

The purpose with this diploma work is to compare two residential building where the foundation work only consists with point carried piles and see if it had been profitable if instead a composite pile foundation where used. The calculation methods have been limited to two computer programs that use the Finite element method and they are called PLAXIS and PLATE. With PLAXIS subsidence, contact pressure, pile force and how many piles that are needed is computed and PLATE is used to calculate the base slab.

The analysis has shown that although piles could be reduced for both the buildings so was it insufficient in order to be profitably with a composite pile foundation. What has affected negatively on a composite pile foundation in these both cases is the big point loads and that the number of piles that is saved isn't enough. Another parameter is that the reinforcement cost became very high with the choice of using a composite pile foundation.

## Sammanfattning

Under varje byggnad finns någon av grundläggningskonstruktion, de t.ex. kan bestå av spetsburna pålar eller mantelburna pålar som för ner lasterna i jorden. Att enbart använda en grundplatta utan pålar kan även vara tillräckligt, men stora sättningar kan uppstå speciellt vid större byggnadskonstruktioner, eller dåliga markförhållanden. Det viktigaste är dock att de differentiella sättningarna inte blir för stora. Dessa sättningar kan påverka byggandets livslängd, funktionalitet och estetik. I de fall där allt för stora sättningar inte är acceptabla är pålar ett utmärkt sätt att reducera sättningar.

Ett annat alternativ är att använda en så kallad samverkansgrundläggning. Vid denna typ av grundläggning används mantelburna pålar i kombination med en grundplatta, och marken som byggnaden ligger på utnyttjas i större grad och antalet pålmetrar kan reduceras i jämförelse med en grundkonstruktion där enbart pålar används för att ta upp byggnadens last. I detta fall bildas ett kontaktryck mellan grundplattan och marken, pållängder och grundplatta optimeras då för att klara av det högsta tillåtna kontaktrycket. Det leder till en fördyring eftersom grundplattan måste göras starkare genom att mer armering och betong behövs. Anledningen till att en samverkansgrundläggning används istället för något av de andra två alternativen där endast pålarna tar upp lasten från byggnaden är att det totala antalet pålmetrar kan reduceras, vilket innebär en ekonomisk lönsamhet.

Syftet med det här examensarbetet är att jämföra två stycken bostadshus som är grundlagda med spetsburna pålar och se om det hade varit lönsamt om de istället hade grundlagts med samverkansgrundläggning. Beräkningsmetoderna har begränsats till två stycken datorprogram som använder sig av finita elementmetoden och de heter PLAXIS och PLATE. Med PLAXIS beräknas sättningar, kontaktryck, pålkraft och hur många pålar som behövs och PLATE används till att beräkna hur plattan skall dimensioneras.

Analysen har visat att även om pålarna kunde reduceras för båda byggnaderna så var det inte tillräckligt mycket för att det skulle vara lönsamt med en samverkansgrundläggning. Det som inverkar negativt på samverkansgrundläggning i de här båda fallen är de stora punktlaster och att antalet pålmetrar som sparas in inte är tillräckligt många. En annan parameter är att armeringskostnaden blev mycket högre vid valet av en samverkansgrundläggning.

# Innehållsförteckning

<b>FÖRORD</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>III</b>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE.....	1
1.3 AVGRÄNSNINGAR .....	1
1.4 GENOMFÖRANDE .....	2
<b>2 GRUNDLÄGGNINGSELEMENT</b> .....	<b>2</b>
2.1 PÅLAR – ALLMÄNT .....	2
2.2 SPETSBURNA PÅLAR .....	4
2.3 MANTELBURNA PÅLAR.....	5
2.4 GRUNDPLATTAN.....	5
<b>3 SAMVERKANSGRUNDLÄGGNING</b> .....	<b>6</b>
3.1 PRINCIPEN.....	6
3.2 KONTAKTRYCK MELLAN GRUNDPLATTA OCH MARK.....	7
<b>4 BERÄKNINGSMETODER</b> .....	<b>7</b>
4.1 PLAXIS.....	8
4.1.1 <i>PLAXIS 2D- allmänt</i> .....	8
4.1.2 <i>Pålar och grundplatta</i> .....	9
4.1.3 <i>Jordmodell</i> .....	10
4.1.4 <i>Odränerad analys vs dränerad analys</i> .....	11
4.2 PLATE.....	11
4.2.1 <i>Modellering av plattan</i> .....	12
<b>5 OBJEKT</b> .....	<b>13</b>
5.1 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN .....	13
5.1.1 <i>Dockterrassen</i> .....	14
5.1.2 <i>Havsfrun</i> .....	15
<b>6 BERÄKNINGSGÅNG</b> .....	<b>18</b>
6.1 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH FÖRENKLINGAR .....	18
6.1.1 <i>Pålar och sättningar</i> .....	18
6.1.2 <i>Grundplatta och kontaktryck</i> .....	19
6.1.3 <i>Laster</i> .....	19
6.1.4 <i>Materialkostnader</i> .....	20



<b>7</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>20</b>
7.1	DOCKTERRASSEN, MALMÖ .....	20
7.2	HAVSFRUN, MALMÖ .....	26
<b>8</b>	<b>SLUTSATS OCH DISKUSSION</b> .....	<b>32</b>
8.1	SAMMANFATTNING.....	32
8.2	SLUTSATSER.....	32
	<b>REFERENSER</b> .....	<b>34</b>
	<b>BILAGOR</b> .....	<b>35</b>
	<b>A LASTER OCH SNITT TILL DOCKTERRASSEN</b> .....	<b>36</b>
	<b>B LASTER OCH SNITT TILL HAVSFRUN</b> .....	<b>37</b>
	<b>C ÖVRIGA RESULTAT PÅ DOCKTERRASSEN</b> .....	<b>38</b>
	<b>D ÖVRIGA RESULTAT PÅ HAVSFRUN</b> .....	<b>41</b>
	<b>E URSPRUNGLIG PÅLPLAN PÅ HAVSFRUN</b> .....	<b>42</b>
	<b>F URSPRUNGLIG PÅLPLAN PÅ DOCKTERRASSEN</b> .....	<b>43</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Vid grundläggning av byggnader finns det ett antal alternativ som kan användas, de vanligaste vid grundläggning av byggnader är att använda spets- eller mantelburna pålar som skall ta upp lasterna från byggnaden eller så kan en grundplatta utan pålar användas. Ett annat alternativ är att använda en samverkansgrundläggning, vid en sådan grundläggningsmetod utnyttjas mantelburna pålar, grundplattan och framför allt så utnyttjas den omgivande jorden för att bära upp bygganden.

Syftet med att använda en samverkansgrundläggning istället för traditionell pålning är att på detta sätt kan antalet pålar reduceras och göras kortare än vad de spetsburna pålarna hade blivit. En viktig parameter som tillkommer vid en samverkansgrundläggning är det kontakttryck som uppstår mellan grundplattan och marken som måste beaktas, jämfört med traditionell dimensionering av pålgrundläggning. Vilket leder till att grundplattan måste göras tjockare. Eftersom grundläggningsarbeten är dyra att genomföra så är valet av grundläggningsmetod viktigt då det kan spara in pengar.

Det är redan känt att en samverkansgrundläggning är lönsam där spetsburna pålar hade blivit allt för långa d.v.s. där avståndet till fast botten är allt för långt för att spetsburna pålar skall vara lönsamt. I Malmö där avståndet till fast botten, i detta fall kalkberget, är mellan 6 och 10 meter är valet mellan en samverkansgrundläggning och en spetsburna konstruktion inte lika självklart då vinsten med antal pålar inte blir lika stor som det blir för konstruktioner med ett större avstånd till fast botten.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att med finita elementmetoden studera två stycken byggnader som ligger i Malmö och som har grundlagts med spetsburna pålar och jämföra denna grundläggningskonstruktion med en samverkansgrundläggning. Syftet är att se hur en samverkansgrundläggning fungerar men även vilken grundläggningsmetod som hade varit mest lönsam med hänsyn till grundplattans tjocklek och antalet pålar som behövs för att uppnå ett tillfredsställande resultat.

## 1.3 Avgränsningar

Detta examensarbete har avgränsats till två stycken bostadshus som har grundlagts med spetsburna pålar. För att beräkna dessa objekt har enbart numeriska metoder använts, och det är två stycken beräkningsprogram som använder sig av finita element metoden: PLAXIS och Plate. Där PLAXIS räknar ut sättningar, kontakttryck samt kraften i en påle och Plate beräknar grundplattans tjocklek och den armering som behövs. Vidare har endast betongpålar med dimensionen 270x270 millimeter använts på grund av att de är den typ som till största delen förekommer i Sverige.

## **1.4 Genomförande**

Genomförandet av detta examensarbete har omfattat en litteraturstudie av de konstruktionselement som en samverkansgrundläggning består av. Vidare har beräkningsprogrammen studerats för att kunna användas korrekt så att rättvisande resultat uppnås. Analysen kommer att ske i PLAXIS som är ett program för geotekniska problem och PLATE som används till att beräkna grundplattan. Först har kontakttryck och sättningar beräknats med PLAXIS och sedan har kontakttrycket använts för att optimera grundplattan i Plate. Resultaten har sedan jämförts med det ursprungliga tillvägagångssättet.

## **2 Grundläggningselement**

Valet av grundläggningsmetod beror på vilka jordförhållanden som råder där byggnaden skall byggas och de metoder som är vanligast vid grundläggning av stora byggnader är i princip tre stycken. Antingen slås pålar ner i marken, dessa pålar kan vara mantelburna eller spetsburna, och ovanpå den gjuts en grundplatta av betong. Lasterna förs sedan över till pålarna som för ner lasten längre ner i marken eller ett berg där hållfastheten är högre.

Grundläggningen kan även ske med en hel bottenplatta utan några pålar som för ner laster till hållfastare jordlager eller med en såkallad samverkansgrundläggning, i dessa fall uppstår ett kontakttryck mellan mark och grundplattan.

Att välja rätt grundläggningsmetod är mycket viktigt eftersom den ska klara av att bära byggnaden under hela dess livslängd, att göra förbättringar i efterhand är ett mycket dyrt och komplicerat förfarande.

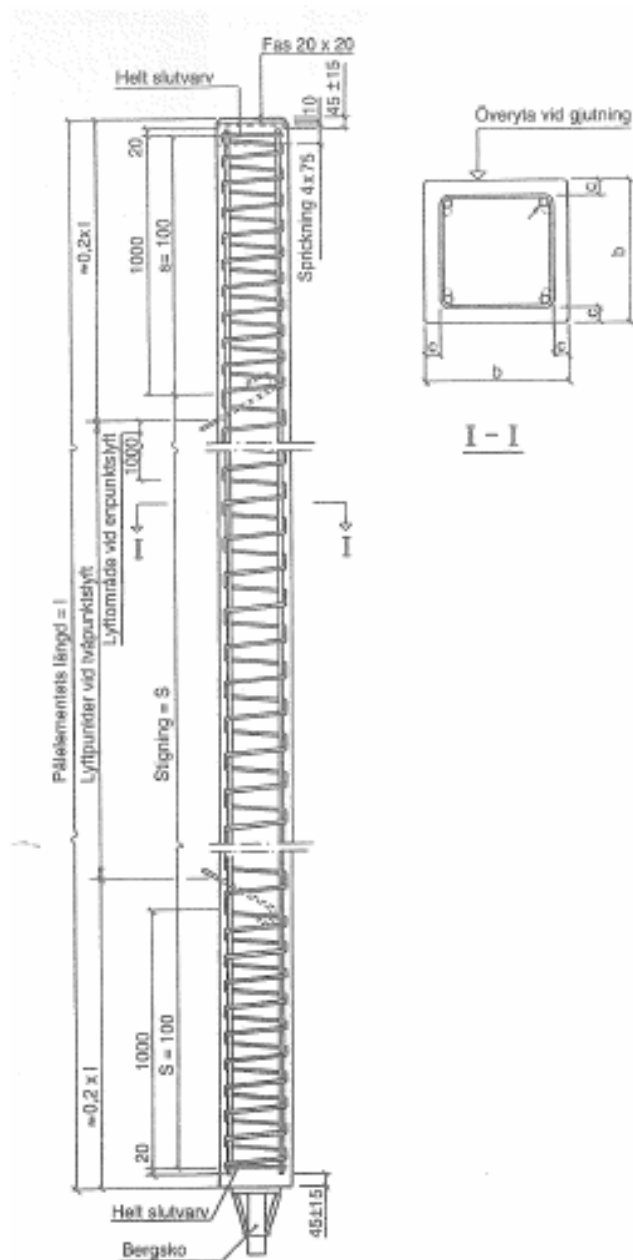
### **2.1 Pålar – allmänt**

Pålar kan bestå av trä, stål och betong och utformas på olika sätt. De pålar som i huvudsak används vid grundläggning i Sverige idag är slagna förtillverkade betongpålar som varierar mellan längderna 3 och 13 meter och vanligtvis görs kvadratiska med måtten 235 eller 270 millimeter, men tvärsnittet kan också vara runt, trekantigt eller åttakantigt. Pålarna är skarvbara och gjuts i högvärdig betongkvalité och armeras för att klara den kraft som de utsätts för, dels under sin livslängd men också med hänsyn till den påfrestning som en påle utsätts för när den drivs ner i marken. Pålarna kan drivas ner i marken med hjälp av en pålmaskin som använder en hejare och som har en vikt på 3 till 5 ton, för att slå ner pålen i marken. En sådan maskin ses i figur 1. Pålarna kan även drivas ner i marken med hjälp av en vibrationshejare, den metoden används mest till att driva ner spontplank eller stålplålar. I figur 2 ses exempel på hur en påle armeras (*Olsson, C. & Holm, G.1993*)



*Figur 1 Pålmaskin i arbete på Dockterrassen*

Pålarnas uppgift är att föra ner laster till högre hållfast jord eller berg och är antingen spetsburna eller mantelburna beroende på vilket sätt som pålarna överför lasten till omgivande jord. Mantelburna pålar delas in i två klasser, friktionspålar om de slås ner i friktionsjord (t.ex. sand) eller kohesionspålar om de slås ner i kohesionsjord (t.ex. ler eller silt). I detta examensarbete behandlas endast förtillverkade betongpålar med kvadratisk tvärsnitt med måtten 270 mm.



Figur 2 Armering i en standardiserad betongpåle.  
(Olsson, C. & Holm, G.1993)

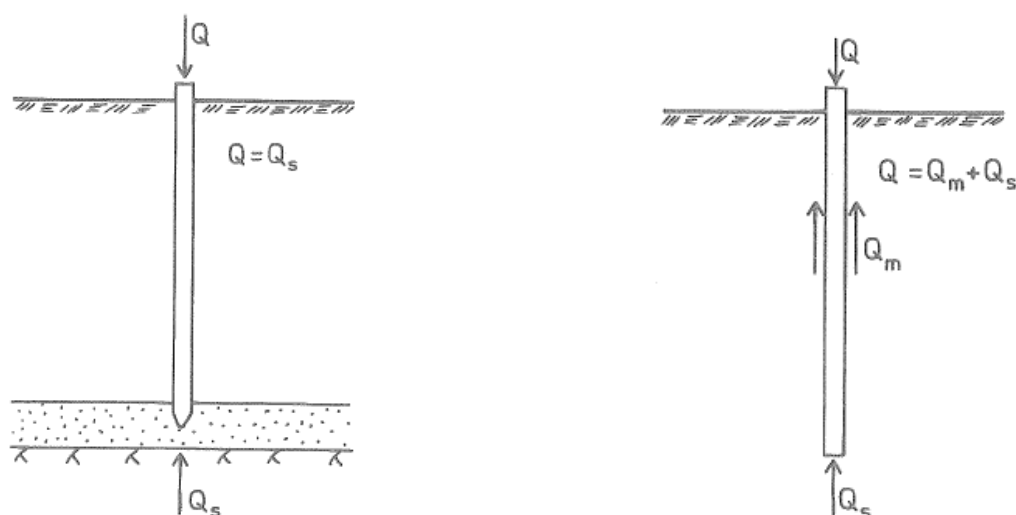
## 2.2 Spetsburna pålar

En spetsburen påle fungerar på så sätt att den först drivs ner antingen till fast berg eller till jordlager med högre hållfasthet som klarar av att ta upp lasterna som förs ner i pålen. I det fall när pålen drivs ner till ett fast jordlager så blir det en kombination av en spetsburen och mantelburen påle även om den i huvudsak är spetsburen och den friktion som uppstår mellan pålens mantelyta och jorden försummas. De främsta egenskaperna som påverkar pålens last-deformations-egenskaper är de elastiska egenskaperna i pålen, spetsarean och egenskaperna på hos jorden eller berget under den. (Olsson, C. & Holm, G.1993)

## 2.3 Mantelburna pålar

Principen för hur en mantelburen påle ska fungera är att den drivs ner i en friktions- eller kohesionsjord och överför huvuddelen av lasterna genom skjuvspänningar i kontaktytan mellan jorden och mantelytan på pålen. Skjuvspänningar uppkommer längs pålens mantelyta genom friktion och beror därför på hur stort normaltrycket är mot pålen från omgivande jordlager, mantelytans skrovlighet och jordens inre friktionsvinkel. Bärförmågan för en mantelburen påle ökar därför med längden på den eftersom mantelarean blir större.

Jorden runt pålen blir störd direkt efter att den slagits ner och pålens bärförmåga kommer därför att tillväxa med tiden. Bärförmågan kan påverkas negativt av att nya pålar placeras intill pålar som redan är nerslagna. Detta beror på att jorden under den redan nerslagna pålen kommer att luckras upp och minskar på så sätt bärförmågan för den pålen. För pålar som drivs ner i friktionsjord kvarstår jordens sidostöd, varför pålen efter slagning blir inspänd i jorden med kvarstående inbyggda spänningar i pålen. I figur 3 ses en princip på hur de olika pålarna verkar. (Olsson, C. & Holm, G.1993)



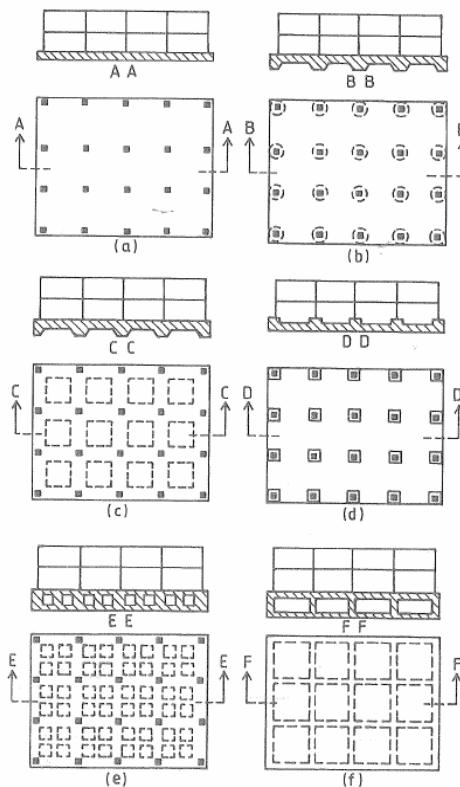
Figur 3 t.v. spetsburen påle och t.h. mantelburen påle  
(Olsson, C. & Holm, G.1993)

## 2.4 Grundplattan

Grundplattan är den betongplatta som byggnaden skall stå på och den gjuts på plats med erforderlig armering. Traditionellt gjuts en grundplatta ovanpå ett antal pålar som redan har slagits ner i marken och de för sedan ner lasterna från väggar och pelare till ett hållfastare jordlager eller berg. Vid en sådan konstruktion så räknas det inte med att något större moment uppstår i plattan eller att plattan utnyttjas till att föra över laster till underliggande jord som den ligger på.

Det finns de fall där man vill använda sig av enbart en bottenplatta utan några pålar där markförhållandena tillåter det. Vid dimensionering av en sådan grundplatta kan den göras jämntjock eller förses med förstövningar där stomlast kommer ner från pelare eller bärande

väggar. Plattan kan göras så styv att grundtrycken kan antas vara jämnt fördelade mot plattan. Yttre laster förs ned längs plattans ränder och påverkar kontaktrycksfördelning och moment i plattan. (Bergdahl, U. Ottosson, E. & Malmberg, B. 1993)



Figur 4  
Exempel på bottenplatta utan pålar  
(Olsson, C. & Holm, G.1993)

### 3 Samverkansgrundläggning

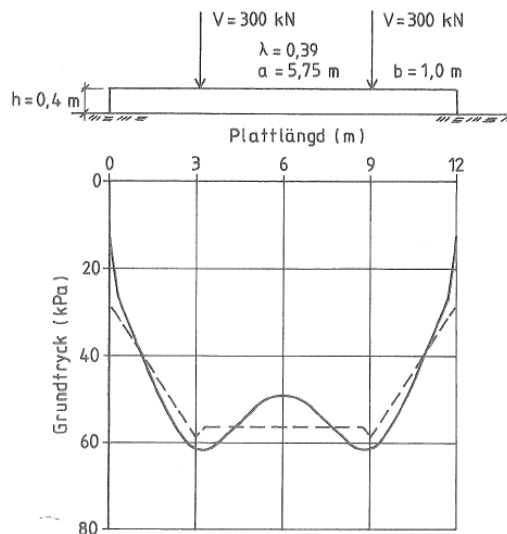
#### 3.1 Principen

Vid en samverkansgrundläggning utnyttjas samtliga ingående konstruktionselement dvs. grundplattan, pålarna och den omkringliggande jorden för att ta upp lasten från byggnaden. Till skillnad från traditionell dimensionering av pålgrundläggningar, utnyttjas vid samverkansgrundläggning att grundplattan i sig även kan föra över last direkt till jorden via ett kontaktryck mellan marken och grundplattan, och inte bara till pålarna. En förutsättning för detta är dock att mantelburna pålar används eftersom det krävs att pålarna sätter sig något så att det uppstår ett tryck mellan plattan och marken, även kallat kontaktryck. Vid samverkansgrundläggning används således mantelburna pålar också vid måttliga jorddjup, där spetsburna pålar förmodligen traditionellt skulle ha valts. Vinsten med detta angreppssätt är att antalet pålar kan minskas vilket sparar både tid och pengar. Samtidigt måste grundplattan göras styvare, det görs genom att göra plattan tjockare och lägga in mer armering, vilket innebär att grundplattan blir dyrare att göra. Anledningen till att grundplattan måste göras styvare är att momenten i plattan ökar på grund av kontaktrycket.

### 3.2 Kontaktryck mellan grundplatta och mark

Kontaktrycket som uppstår mellan grundplattan och marken kan vara mycket svårt att exakt beräkna p.g.a. att jorden under plattan ofta är inhomogen och det är svårt att ta fram en modell som är realistisk och enkel och som kan beskriva tryckets beteende. Grundplattans böjstyvhet påverkar hur tryckfördelningen ser ut under grundplattan men även överbyggnadens styvhet och styvhetsförändringar under tiden t ex krympning, krypning och uppkomst av plastiska leder. (Hansbo, S. 1990)

För att göra en realistisk modell används i detta examensarbete ett numeriskt beräkningsprogram, PLAXIS, en mer omfattande beskrivning av det programmet ses i kapitel 4.1. I figur 5 ses exempel på hur kontaktrycket kan verka under en grundplatta.



Figur 5  
Exempel på kontaktryck under en grundplatta  
(Olsson, C. & Holm, G.1993)

## 4 Beräkningsmetoder

För att kunna dimensionera en samverkansgrundläggning kan olika beräkningsmetoder användas, både enkla handberäkningsmetoder och mer avancerade numeriska beräkningar. I ett examensarbete som jämför olika handberäkningsmetoder och finita elementmetoden så visade det sig att vid samverkansgrundläggning med enkel geometri så rekommenderas en enkel handberäkningsmetod och vid en mer komplicerad geometri så är finita elementmetoden att föredra. Finita elementmetoden tar även hänsyn till faktorer som inte handberäkningsmetoderna gör. Beräkning av kontaktrycket visade sig stämma bättre överens i jämförelse med ett redan byggt hus än vad handberäkningsmetoderna gjorde. (Staafl, T. & Svensson, H. 2005)

Grundat på detta resultat som framgick av det examensarbetet så kommer endast finita element metoden att tillämpas i detta arbete då geometrin för dessa objekt anses komplicerad. De program som kommer att användas är PLAXIS och Strusofts program Plate. PLAXIS används för att beräkna hur sättningar, kontaktryck och hur många pålar som behövs. För att



beräkna grundplattan används Plate. Båda programmen används aktivt av dagens ingenjörer vid dimensionering av grundläggning och bjälklag.

## 4.1 PLAXIS

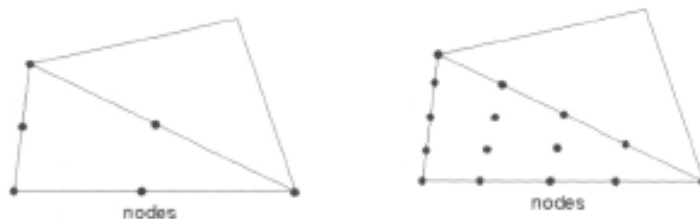
PLAXIS började utvecklas år 1987 vid det Tekniska universitetet i Delft i Holland. Det första målet var att utveckla ett 2D program som använde Finita elementmetoden för att analysera flodbänkar i låglandet i Holland. Under de följande åren utvecklades programmet till att täcka de flesta områden inom geoteknik.

Prestanda och noggrannheten i PLAXIS har noggrant testats genom att analysera geotekniska problem som har en känd analytisk lösning, de problem som omfattas är elastiska, plastiska och grundvattnets inverkan samt konsolidering. (D, Waterman & R.B.J Brinkreave & W.Broere 2001)

### 4.1.1 PLAXIS 2D - allmänt

För varje nytt projekt som skall analyseras är det viktigt att modellera en rättvisande modell av jorden först. I PLAXIS 2D, som gör beräkningar per meter, görs en 2 dimensionell modell av ett 3 dimensionellt problem och modellen görs med hjälp av punkter, linjer och ”clusters”. Clusters bildas av linjerna som dras mellan varje punkt som sätts ut i programmet och dessa clusters kan ges olika egenskaper t.ex. jord eller betong. I den geometriska modellen skall det finnas jordlager och eventuella konstruktionsdelar, konstruktionssteg och yttre laster. En viktig sak att tänka på är att göra modellen tillräckligt stor för att randeffekter inte ska inverka på resultatet.

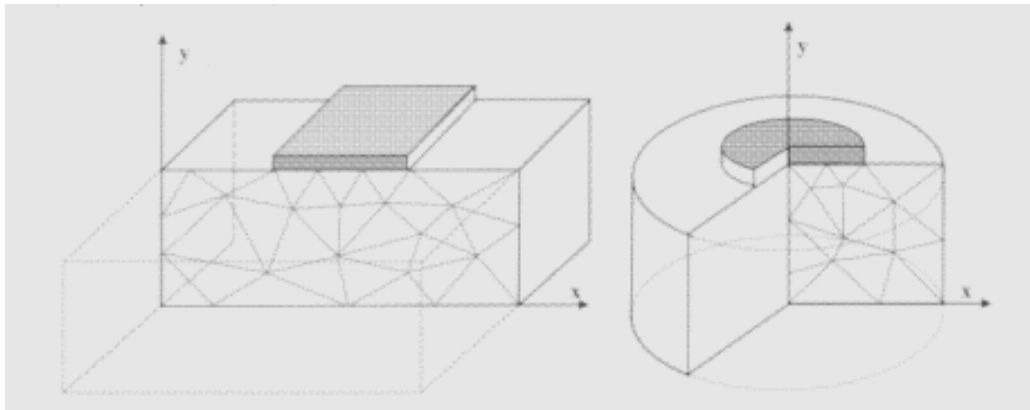
När den geometriska modellen är klar kan en finita elementmodell skapas genom att generera ett ”nodnät”. Nodnät skapas genom att clustret delas in i triangulära element som är sammanlänkade i noder. Beroende på hur noggrann beräkningen skall vara kan nodnätet byggas upp av element med antingen 6 noder eller 15 noder, där den noggrannaste beräkningen fås med 15 noder, beräkningstiden är längre vid valet av 15 noder än vid valet av 6 noder. I figur 6 ses exempel på noderna. När ett nodnät är skapat genereras begynnelsevillkoren först i form av grundvattennivå och jordens spänningstillstånd. Beräkningen kan sedan utföras i fler steg om det är önskvärt, till exempel kan yttre laster, schaktsteg och konstruktionsdelar aktiveras eller avaktiveras stegvis, därefter kan de stegen beräknas.



Figur 6 Exempel på 15 noder och 6 noder  
(D, Waterman & R.B.J Brinkreave & W.Broere 2001)

Programmet kan modellera *Plan töjning* och *Axialsymmetri*. Plan töjning modellen används för 2-dimensionella töjningsproblem där töjningar i z-led är antagna vara lika med noll. En axialsymmetrisk modell används för en cirkulär struktur där yttre laster och geotekniska egenskaper är symmetriska kring en vertikal axel och där deformationer och spänningstillstånd är antagna att vara lika i alla radiella riktningar. I figur 7 ses exempel på plan töjning och axialsymmetri (D, Waterman & R.B.J Brinkreve & W.Broere 2001)

I detta examensarbete används plan töjningsmodellen.



*Figur 7 Exempel på plan töjning och axialsymmetriskt problem*  
(D, Waterman & R.B.J Brinkreve & W.Broere 2001)

PLAXIS kommer att användas för att beräkna det kontaktryck som uppstår mellan plattan och marken som den ligger på samt även sättningar av pålarna och hur stor lasten blir i en påle. När kontaktrycket är beräknat med PLAXIS kommer detta tryck att användas i Plate.

#### 4.1.2 Pålarna och grundplatta

För att modellera pålar och grundplatta används ett *balk* - element. För att ge detta balk element de egenskaper som en påle och grundplatta har beräknas tröghetsmomentet, arean och vikten per meter för både pålen och grundplattan. Tröghetsmomentet och arean multipliceras sedan med elasticitetsmodulen för betong, i detta fall används en elasticitetsmodul på 20 GPa, anledningen till att inte elasticitetsmodul inte sätts till det angivna värdet för den betongkvalité som pålen och betongplattan görs av är att man råkar ut för numeriska problem om där är stora skillnader i styvhet mellan element intill varandra, i detta fall har betongen mycket högre styvhet än vad marken som omger pålen har.

Tyngden per meter beräknas genom att multiplicera tyngden för betong, som är 24 kN/m<sup>3</sup>, med tvärsnittsarean. De värden som har beräknats skrivs sedan in i PLAXIS som räknar ut en ekvivalent storlek på både påle och grundplatta. (L, Johansson 2007)

När pålar slås ner i marken kommer jorden runt dem att bli störd och därmed får jorden sämre hållfasthet. För att låta programmet förstå detta läggs så kallade *interface*- element in mellan jorden och pålen, sedan skrivs ett värde in som beskriver hur *hårt* pålen sitter i jorden, detta värde varierar beroende på vilket jordlager som omger pålen. (L, Johansson 2007)

Vidare så räknar PLAXIS på en 1 meter bred strimla, vilket är en konsekvens av att plant töjningstillstånd antas, som kan göras i princip hur lång som helst och de laster som kan definieras är ytlaster och linjelaster. Detta innebär att punktlaster får räknas om till ytlast.

### 4.1.3 Jordmodell

För att beskriva jordens egenskaper finns olika materialmodeller i PLAXIS. Den som används i detta examensarbete är Mohr-Coulombs modell. Denna modell involverar fem olika parametrar: friktionsvinkeln, Poissons tal, skjuvhållfastheten, elasticitetsmodul och dilationsvinkeln.

Friktionsvinkeln och skjuvhållfastheten är värden som varierar beroende på vilket slags jord som behandlas. För att PLAXIS skall kunna räkna ut ödometermodulen och skjuvmodulen för jord använder PLAXIS sig av följande två ekvationer:

$$\text{Ekv.4.1} \quad E_{oed} = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)}$$

$$\text{Ekv.4.2} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Där:

$E$  = elasticitetsmodul

$G$  = Skjuvmodul

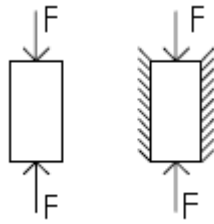
$E_{oed}$  = Ödometermodul

$\nu$  = Poissons tal

Poisson's tal varierar mellan 0,3 och 0,35 för jordmaterial under dränerade förhållanden. Under odränerade förhållanden så är Poisson's tal 0.5. För betong är det 0.2.

Skillnaden på ödometermodul och elasticitetsmodulen är på vilket sätt som jordproven testas i laboratorium. Jordprovet belastas axiellt i båda provmodellerna men det som skiljer dem åt är att vid bestämning av elasticitetsmodulen tillåts sidoutvidning medan sidoutvidning förhindras med förstövningar vid sidorna vid bestämning av ödometermodulen. I figur 8 ses en princip på detta.

Vidare beskrivs jordens egenskaper med tunghet och permeabilitet som även de skrivs in i PLAXIS.



*Figur 8*  
*T.v. Elasticitetsprovmodellen*  
*T.h. Ödometerprovmodellen*

#### 4.1.4 Odränerad analys vs dränerad analys

Kohesionsjorden kan antingen beräknas med en dränerad - eller odränerad analys. Där en dränerad analys innebär att jorden belastas under en lång tid och att vattnet i jorden hinner pressas ut från jorden och därmed uppstår inget porvattentryck, i motsats till den odränerade analysen som tillåter att ett porvattenövertryck uppstår i jorden och därefter avklingar under en längre tid. I detta fall kommer endast det dränerade fallet att beräknas eftersom belastningen på jorden kommer att vara långvarig.

## 4.2 Plate

Plate har tagits fram av svenskt företag vid namn Structural Design Software in Europe AB, StruSoft. Detta företag bildades 2002 efter att tidigare varit en del av Skanska. StruSofts kärnverksamhet består i att tillverka datorprogram för byggbranschen. De har utvecklat ett flertal program utöver Plate som använder sig av finita element metoden.

I programmet Plate, som är ett 3-dimensionellt program, kan helt godtyckliga plattor analyseras och dimensioneras och upplag definieras som pelare, väggar och balkobjekt som ansluts med rätt styvhet till plattan.

Generell belastning fördelas i lastkombinationer och ger max- och minimumresultat för snittkrafter och erforderlig armering. Programmet tar också hänsyn till att plattan spricker och utför en iterativ beräkning för att finna rätt styvhetsfördelning, varvid nya resultat erhålls för bland annat deformationer. I denna beräkning tas även hänsyn till krympning och krypning i plattan.

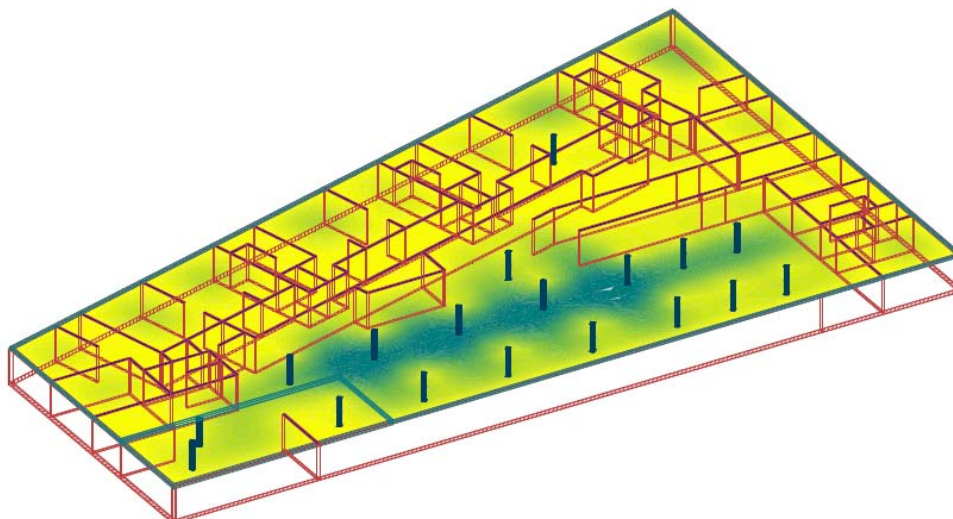
Det ges också möjlighet att definiera egen armering, t ex minimiarmering eller utökad böjarmering, för att optimera plattan med avseende på deformationer, sprickor och genomstansningskapacitet. Egendefinierad armering ger också möjlighet att kontrollera kapaciteten i en befintlig platta. Plate är ett mycket kraftfullt och enkelt program som används flitigt av dagens konstruktörer.

## 4.2.1 Modellering av plattan

Att rita upp en platta i Plate är inte alls lika omständligt som i PLAXIS. När plattan skall modelleras upp anges följande egenskaper som påverkar plattan: betongkvalité, säkerhetsklass, livslängd, vattencementtal, exponeringsklass, kryptal och krympning. Därefter ritas plattan upp i den storlek som önskas 3-dimensionellt.

De stöd som behövs kan vara pelare, väggar, balkar eller så kan vanliga stöd läggas in som inte definieras av något av de redan nämnda stöden utan är just bara stöd. Dessa stöd har inget material och kan föreskrivas en styvhet.

När plattan och de stöd eller upplag som behövs är uppritade kan de aktuella lasterna läggas in, de kan vara en punkt-, linje- eller ytlast, dessa laster kan sedan kombineras i valfria lastkombinationer. Programmet genererar ett nodnät som består av fyrkantiga element som har 8 noder, i detta program kan användaren inte själv bestämma hur många noder ett element skall byggas upp med, däremot kan elementens storlek justeras. Efter det så kan valfri armering läggas in i plattan i både x- och y-led och i överkant och underkant, därefter beräknar programmet plattan och i resultatet kan det kontrolleras om armeringen som har definierats är tillräcklig. Även storleken på sprickorna som uppstår i plattan kan kontrolleras. Sprickorna brukar vara det som styr storleken på plattan och den mängd armering som behövs. ([www.strusoft.com](http://www.strusoft.com), 2007) I figur 9 ses en platta som är beräknad i Plate.



*Figur 9 Platta med pelare och väggar som upplag.*

## 5 Objekt

De objekt som kommer att behandlas i detta examensarbete är *Dockterrassen* som är ett 8 våningar högt bostadshus och *Havsfrun* som även detta är bostadshus men med 6 våningar. Dessa två objekt är under uppbyggnad och de beräknas vara färdigbyggda under 2008 samt 2007. Byggnaderna ligger i Malmö, närmare bestämt på Dockan där Kockumskranen gick tidigare. Dessa två byggnader är grundlagda med spetsburna pålar som slagits ner till kalkberget, avsikten med undersökningen av de här två objekten är att göra en jämförelse mellan hur många pålar som hade behövt användas om de hade grundlagts med samverkansgrundläggning istället och hur tjock plattan hade behövt göras med de jordförhållanden som råder där. Båda dessa byggnader har en innergård där jord ligger ovanpå garagebjälklaget. I följande kapitel beskrivs de jordförhållanden som råder i Malmö.

### 5.1 Geotekniska förhållanden

För att överhuvudtaget kunna veta om en byggnad går att bygga så måste markens bärigheten utredas så att den håller för tänkt belastning och sedan kontrollera sättningarna om bärformågan är klara av att bära byggnaden. För att veta vad som döljer sig under jordens markyta och vilka jordarter som finns samt deras hållfasthet måste en geoteknisk undersökning göras. En sådan görs för varje byggnad som skall byggas eftersom jordarten och jordlagerföljden varierar beroende på var byggnaden är belägen geografiskt och de kan även skilja sig rent lokalt. De parametrar som tas fram i en geoteknisk undersökning är som sagt jordlagerföljden med början från markytan och vilka jordarter som förekommer, samt deras mäktighet och egenskaper som friktionsvinkel, skjuvhållfasthet, tunghet och ödometermodul. Dessa egenskaper skrivs sedan in i en så kallad RGeo där jordlager med respektive egenskap står i samma ordning som de har påträffats i undersökningen. Ödometermodulen och skjuvhållfastheten beror på hur hårt lagrad jorden är, det vill säga hur hög konsolideringsgrad som jorden har. Skjuvhållfastheten anges för kohesionsjord som t.ex. lermorän och friktionsvinkel anges för friktionsjord som t.ex. sand. De värden som står i RGeo för varje byggnad är de karakteristiska värdena och dessa har i detta fall räknats om till de dimensionerande värdena och det är de dimensionerande värdena som anges som indata till PLAXIS.

För att räkna om friktionsvinkel,  $\phi_k$  till  $\phi_d$ , används följande ekvation:

$$\text{Ekv: 5.1} \quad \phi_d = \arctan(\tan \phi_k / \gamma_m \gamma_n)$$

Där:

$\phi_d$  = Dimensionerande friktionsvinkel

$\phi_k$  = Karakteristisk friktionsvinkel

$\gamma_m$  = Partialkoefficient som beaktar osäkerheten i en materialegenskap.

$\gamma_n$  = Partialkoefficient som beaktar säkerheten.

För att räkna om den karakteristiska elasticitetsmodulen  $E_k$  till  $E_d$  samt den karakteristiska kohesionen  $c'_k$  till  $c'_d$  används följande ekvation:

$$\text{Ekv. 5.2} \quad f_d = f_k / \gamma_m \gamma_n$$

Där:

$f_d$  = Dimensionerande skjuvhållfasthet eller elasticitetsmodul

$f_k$  = Karakteristisk skjuvhållfasthet eller elasticitetsmodul

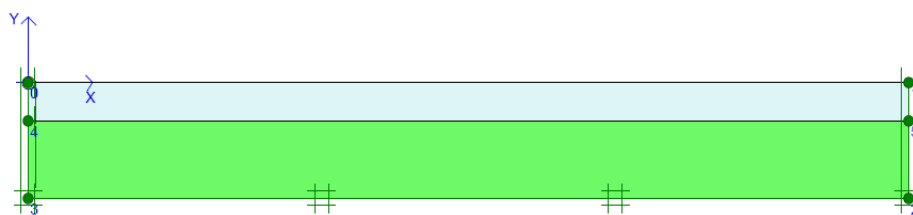
De geotekniska undersökningar och dimensionering av grundkonstruktion som gjorts för de objekt som analyseras i detta examensarbete är utförda av geoteknikavdelningen på Ramböll AB.

### 5.1.1 Dockterrassen

De geologiska förhållandena under Dockterrassen består i princip av tre jordlager med olika mäktighet. De första 2 metrarna består av fyllning som utgörs av sand, lermorän samt byggrester. Under fyllningen ligger ett ca 0,1 meter mäktigt sandlager, detta sandlager vilar i sin tur på lermorän. Lermoränen är fast lagrad och har en odränerad skjuvhållfasthet kring 120 kPa och den vilar på kalkberget som ligger mellan -6 och -7 meter. De två första metrarna har schaktats bort då det skall vara ett garage under markytan. Dockterrassen grundläggs på nivån -0,06 meter vilket är under grundvattenytan som ligger på +0,04, detta medför att ett konstant vattentryck kommer att trycka på grundplattan som motsvarar medelhavsnivån, dessutom tillkommer ett variabelt vattentryck som motsvarar högsta högvattennivå, den ligger på + 1,13 meter.

Tabell 1 Utdrag från RGeo för Dockterrassen

Material	Nivå	Hållfasthets parametrar	Moduler	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )
Befintlig fyllning	my - -2	$\phi'_k = 32^\circ$ , $\gamma_m = 1,3$	$E_k = 10 \text{ MPa}$ , $\gamma_m = 1,8$	$\gamma_k = 18$ $\gamma'_k = 11$
Packad fyllning av grus	my - -2	$\phi'_k = 35^\circ$ , $\gamma_m = 1,1$	$E_k = 40 \text{ MPa}$ , $\gamma_m = 1,4$	$\gamma_k = 18$ $\gamma'_k = 11$
Lermorän	-2 till -6	Odränerat $c_{uk} = 120 \text{ kPa}$ , $\gamma_m = 1,6$ Dränerat $\phi'_k = 32^\circ$ , $\gamma_m = 1,3$ $c'_k = 15 \text{ kPa}$ , $\gamma_m = 1,3$	$E_k = 30 \text{ MPa}$ , $\gamma_m = 1,6$	$\gamma_k = 21$ $\gamma'_k = 12$
Kalkberg	< -6	$\phi'_k = 38^\circ$ , $\gamma_m = 1,3$	$E_k = 50 \text{ MPa}$ , $\gamma_m = 1,6$	$\gamma_k = 21$ $\gamma'_k = 11$



*Figur 10 Jordlagren under Dockterrassen i Malmö  
uppritade i PLAXIS*



*Figur 11 Grundläggningsarbete på Dockterrassen*

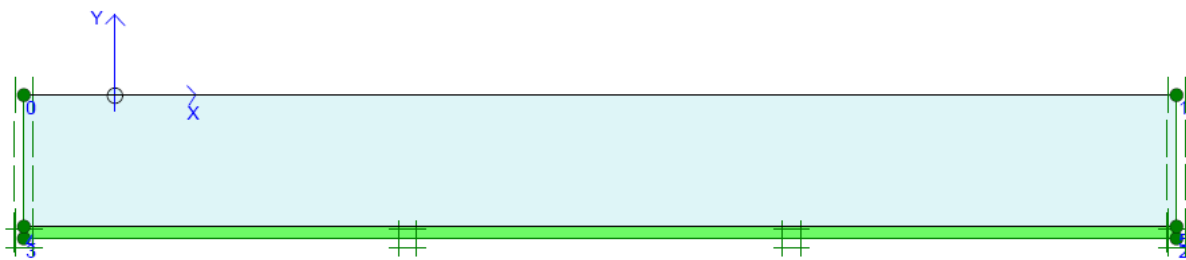
### 5.1.2 Havsfrun

De geologiska förhållanden som råder under Havsfrun skiljer sig en aning från Dockterrassen trots att de båda byggnaderna ligger relativt nära varandra. Jordlagren består av en övre fyllning på en undre fyllning som underlagras av gyttja på berg. Den övre fyllningen består av stenig grusig sand eller grusig sand och har en mäktighet på 0,4-2,3 meter. Den undre fyllningen har en mäktighet som varierar mellan 8 och 9 meter och består främst av sand men lokalt har inslag av grus och sten påträffats. Gyttja kan förekomma med inslag av sand och grus och har en mäktighet på 0-0,8 meter och har en mycket låg hållfasthet. Den aktuella byggnaden har grundlagts på nivån  $\pm 0,00$  ö h, medelvattenytan ligger på + 0,11 och högsta högvattennivån ligger på + 1,6 meter.



Tabell 2 Utdrag från RGeo för Havsfrun

Material	Nivå	Hållfasthetsparametrar	Moduler	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )
Övre fyllning (endast i områdets västra del)	+0,5-+2,2	$\varphi'_k=36^\circ$ , $\gamma_m=1,2$	$E_k=30$ MPa $\gamma_m=1,5$	$\gamma_k=18$ $\gamma'_k=10$
Undre fyllning	-8,0—9,0	$\varphi'_k=27^\circ$ , $\gamma_m=1,2$	$E_k=5$ MPa $\gamma_m=1,6$	$\gamma_k=17$ $\gamma'_k=10$
Gyttja	-8,0—9,5	$\varphi'_k=27^\circ$ , $\gamma_m=1,2$	$E_k=2$ MPa $\gamma_m=1,5$	$\gamma_k=17$ $\gamma'_k=7$



Figur 12 Jordlagren under Havsfrun i Malmö  
uppritade i PLAXIS



*Figur 13 Pålar för Havsfrun*

## 6 Beräkningsgång

För varje objekt väljs några snitt där lasterna från huset är som störst. Lasterna hämtas från redan utförda lastnedräkningar som gjorts av byggt teknikavdelningen på Ramböll AB i Malmö och även de är gjorda i programmet Plate. Dessa snitt modelleras upp i PLAXIS precis som det är tänkt från början, det vill säga med ursprunglig grundläggningsmetod, pålstorlek och placering av pålarna. Efter det ersätts de spetsburna pålarna med mantelburna pålar och storlek på kontaktryck, kraften i en påle och sättningar samt längden på pålarna kan beräknas. Pålarna reduceras sedan i etapper tills ett tillfredställande resultat har uppnåtts. Det som styr de resultat som nås i PLAXIS är de differentiella sättningarna, kontaktrycket och kraften i pålarna. Dessa tre parametrar får inte bli för stora och maximal storlek på dessa finns angivna i nästa kapitel. Antalet pålar som behövs jämförs med de det ursprungliga antalet och ett förhållande mellan de båda resultaten kan räknas fram. Med hjälp av detta förhållande kan det totala antalet pålar som behövs räknas fram ungefärligt med tanke på att det är endast de snitt där lasterna är som störst som antagandet av hur många pålar som behövs grundar sig på. Att göra en beräkning för varje vägg och göra en fullständig grundläggningsdimensionering anses ligga utanför ramen för detta examensarbete.

När kontaktrycket har beräknats kan det läggas in i Plate där sedan grundplattan kan beräknas och dimensioneras. Resultaten kommer sedan att jämföras med den ursprungliga grundläggningsmetoden.

De snitt och laster som har använts finns i bilaga A för Dockterrassen och i Bilaga B för Havsfrun. De snitt som har varit dimensionerad redovisas även i kapitel 7.

### 6.1 Förutsättningar och förenklingar

I följande kapitel beskrivs dels de krav som gäller för längden på pålar, kraften på en påle, sättningar och kontaktryck. Dessutom beskrivs de förenklingar och laster som påverkar grundplattan.

#### 6.1.1 Pålar och sättningar

De förutsättningar som beräkningarna utgår från är att pålarna inte görs i mindre längder än 4 meter på grund av att det inte är ekonomiskt försvarbart att använda pålar vid mindre längder och en helt vanlig platta på mark hade kunnat användas istället. Pålarna görs enbart med påldimension 270x270 millimeter och minimumavståndet mellan pålarna är 1 meter. För Dockterrassen och Havsfrun kan inte pålarna göras mer än 5 meter respektive 9 meter långa p.g.a. att pålarna skall tillåtas sätta sig. Skulle de mantelburna pålarna göras för långa är risken att de sjunker ner till kalkberget och skulle då verka som spetsburna pålar vilket skulle leda till att pålarna tar all last från byggnaden och grundplattan skulle inte överföra den kraft till marken som det var tänkt.

Den maximala last som en mantelburen påle tillåts ta upp är 600 kN, pålarnas längd beror även på detta krav då en mantelburen påle tar upp last per meter av sin längd innebär det att desto längre pålen görs desto högre blir lasten den tar upp.

De differentiella sättningarna för byggnader mellan 6-8 våningar får inte överstiga en vinkeländring på motsvarande 1:60 (0,017) och de totala sättningarna kan uppgå till max 20 cm. De sättningar som räknas fram är de som har uppstår efter 50 år då denna tidsperiod räknas som byggnadens livslängd.

### 6.1.2 Grundplatta och kontaktryck

Plattan kommer att göras jämntjock av rent praktiska skäl för när den gjuts så ska det gå smidigt och snabbt att göra. Att göra plattan olika tjock längs med hela plattan skulle inte bara ta lång tid utan även kosta mer pengar. Grundplattan kommer för övrigt att dimensioneras för det största kontaktryck som uppstår under plattan oberoende av var detta kontaktryck inträffar och för kontaktrycket sätts en övre gräns på  $100 \text{ kN/m}^2$ . Detta tryck beror på jordens egenskaper och varierar beroende på hur hållfast jorden är. Anledningen till att det sätts en övre gräns är att om jorden belastas för hårt så den nästan går till brott behövs ingen större lastökning för att brott sedan ska inträffa. Detta kan medföra stora sättningar vilket i sin tur kan medföra stora skador på byggnaden.

Grundplattans material som matas in i Plate:

Betongkvalitén C35/45

V<sub>ct</sub> 0.4

Livslängd 100 år

Kryptal 1

Krympning 0,10 ‰

Säkerhetsklass 3

Exponeringsklass S3

Armeringen som används är B500B

Kryptal och krympning har hämtats från Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK.

Livslängden på själva byggnaden och grundplattan skiljer sig åt, det beror på att grundplattans undersida dimensioneras för 100 år då den är svårare är förbättra i efterhand.

Krav för betongen i grundplattan:

Maximal sprickbredd är 0.15 mm på undersidan och 0.2 mm på ovansidan. Dessa krav beror på vilken exponeringsklass betong befinner sig i och den livslängd som den skall dimensioneras för.

### 6.1.3 Laster

Pålarna dimensioneras för långtidslast och då har lastkombination 9 använts enligt Boverkets konstruktionsregler, BKR. De laster som påverkar grundplattorna på Havsfrun respektive Dockterrassen är kontaktrycket och vattentrycket. Vattentrycket för medelhavsnivån uppgår till 4 kPa för Dockterrassen respektive 4,6 kPa för Havsfrun. Vattentrycket för högsta högvattennivån uppgår till 14,9 kPa för dockterrassen respektive 16 kPa för Havsfrun. Vattentrycket som kommer från det vatten som ligger på medelhavsnivån räknas som en permanent last,  $G_k$ , och högsta högvattnet som en variabel last,  $Q_k$ . Kontaktrycket räknas även det som en permanent last liksom själva grundplattans egentyngd.

Lastkombination 9

$G_k + \psi Q_k$

Punktlaster som nämndes i kapitel 4.1.2 räknas som sagt om till en ytlast. Den yta som lasten antagits sprida sig på är 2x2 meter, detta är för enkelhetens skull. Eftersom PLAXIS räknar på en 1 meter bred strimla så kan endast halva arean av den antagna ytan beräknas. Detta innebär att punktlasten halveras. Det medför i sig att antalet pålar som behövs för att ta upp hela punktlasten givetvis blir det dubbla.

#### **6.1.4 Materialkostnader**

De kostnader som anges är hämtade från PEAB som bygger Havsfrun och är ungefärliga. (Tomaz, B. 2007).

Betong av kvalitén C35/45 som skall användas i grundplattan kostar ca 950 SEK/m<sup>3</sup>, armeringen kostar ca 8,50 SEK/kg och en nedslagen påle kostar runt 530 SEK/m och i den kostnaden ingår även kostnaden för att slå ner pålen i marken. Den arbetskostnad som går åt för att gjuta plattan blir högre vid samverkansgrundläggning, detta är dock en marginell skillnad i dessa två fall och har därför inte beaktats i detta examensarbete.

## **7 Resultat**

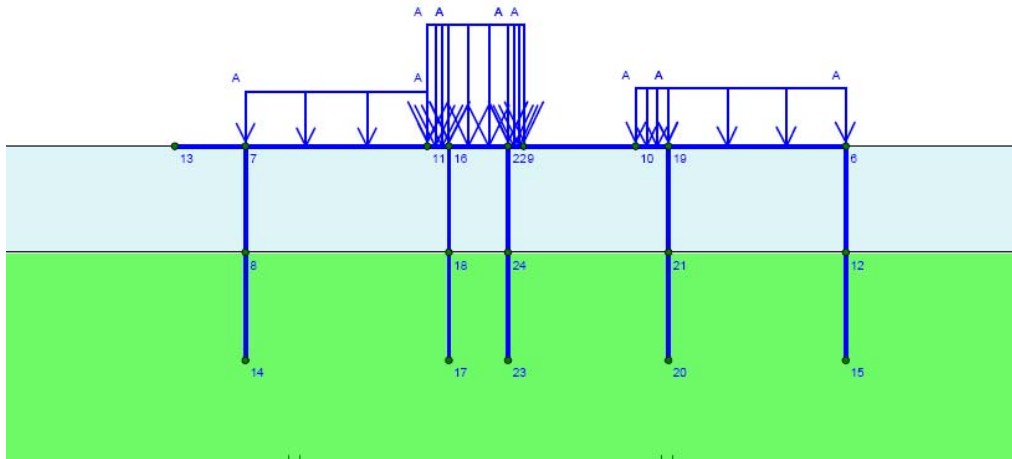
Resultaten har redovisats på följande sätt, först kommer pålarna som tar upp linjelasterna under själva huset, det dimensionerande kontaktrycket, pålarna som tar upp punktlasterna under gårdsbjälklaget, därefter kommer grundplattans resultat. Och sist kommer en jämförelse mellan samverkansgrundläggningen och den spetsburna grundläggningsmetoden.

### **7.1 Dockterrassen**

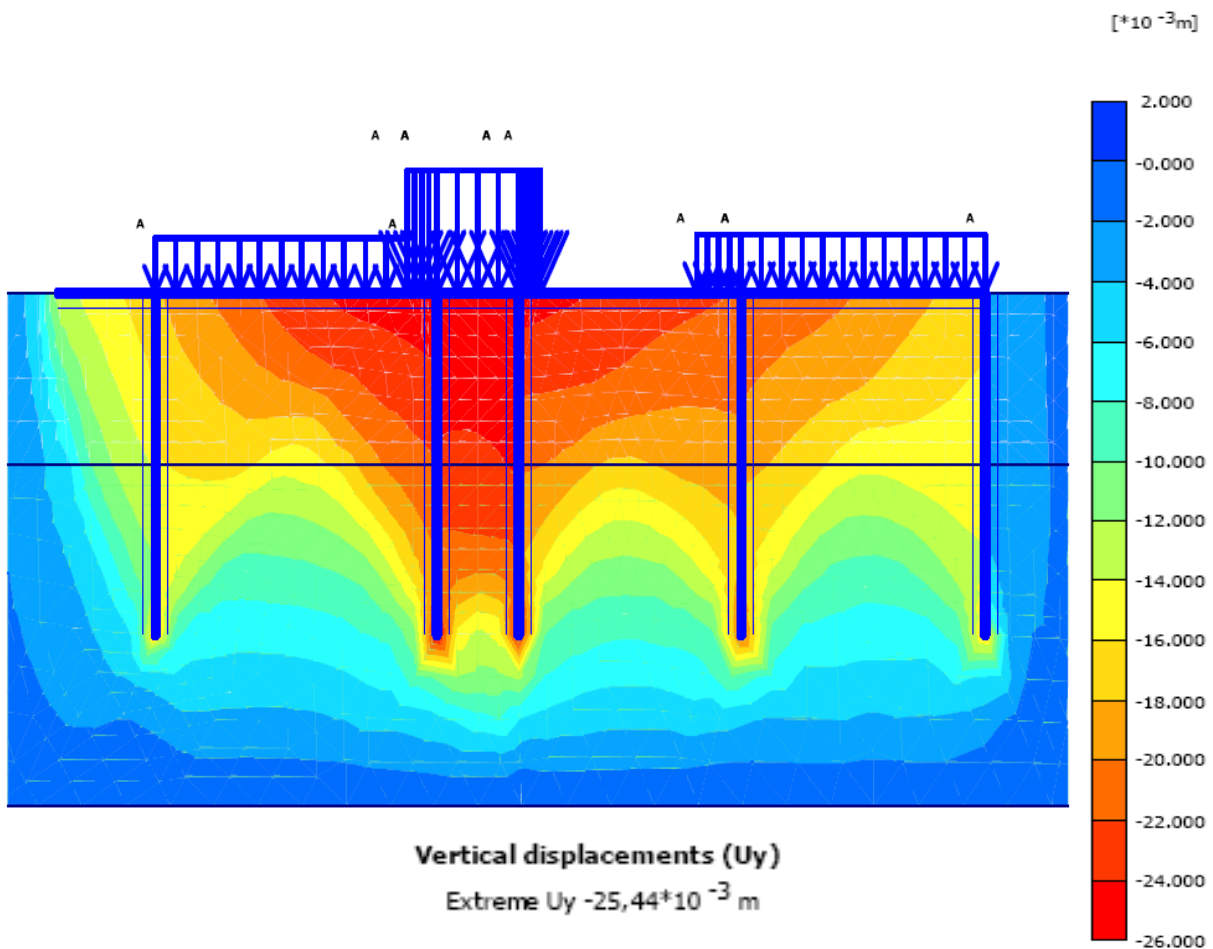
Dockterrassen har från början grundlagts på 266 spetsburna pålar med en längd av 6 meter där 33 stycken pålar ligger under gårdsbjälklaget, alltså de som tar upp punktlasterna. Vidare har grundplattan en tjocklek på 350 mm använts och den har armerats med  $\varnothing 16$  järn med ett c/c-avstånd på 200 mm i både över- och underkant av grundplattan. För en spetsburna konstruktion blir där inga nämnvärda sättningar då pålarna verkar som pelare som står på kalkberget. De snitt som har varit dimensionerande för hur stort antalet pålar som behövs är snitt 1, samt snitt 3 och för kontaktrycket har snitt 2 varit dimensionerande. Snitt 1 har varit dimensionerande för antalet pålar som behövs under själva bostadsdelen och det är då linjelaster som tas upp av de pålarna, snitt 3 har varit dimensionerande för antalet pålar under själva gårdsbjälklaget vilka tar upp punktlasterna. Resultat från de övriga snitten kan ses i bilaga C och ursprungligt pålplan finns i bilaga F. Var snitten är tagna kan ses i bilaga A.

I snitt 1 har från början 7 stycken pålar använts och de kan reduceras med 2 stycken pålar detta ger ett förhållande på 29 % vilket leder till att antalet pålar som kan reduceras under själva bostadsdelen blir ca 68 stycken, detta är som sagt en ungerfärlig siffra men den bör inte vara långt ifrån det antalet som hade behövts om byggnaden hade beräknats mer noggrant. Beräkningarna från PLAXIS visar att pålarnas längd inte bör överstiga 4,3 meter för att inte ta upp en större last än 600 kN. Snitt 1 uppritat i PLAXIS redovisas i figur 14 och sättningar i samma snitt i figur 15.

Sättningarna under själva bostadsdelen blir som högst 2,5 cm vilket blir i snitt 1 och som lägst 1,2 cm vilket inträffar i snitt 5. En differentiellsättning mellan snitt 1 och 5 blir 0,6 % vilket är under de tillåtna på 1,7 %.



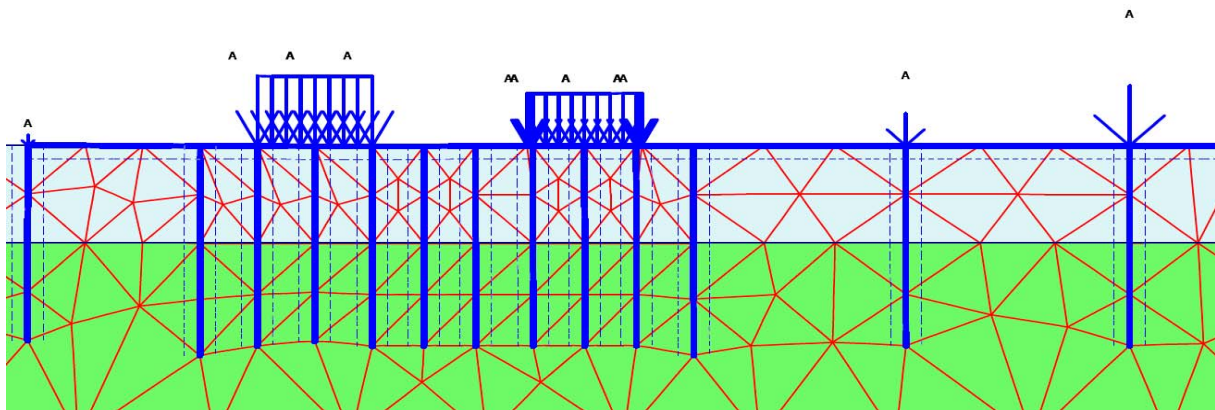
Figur 14 Snitt 1



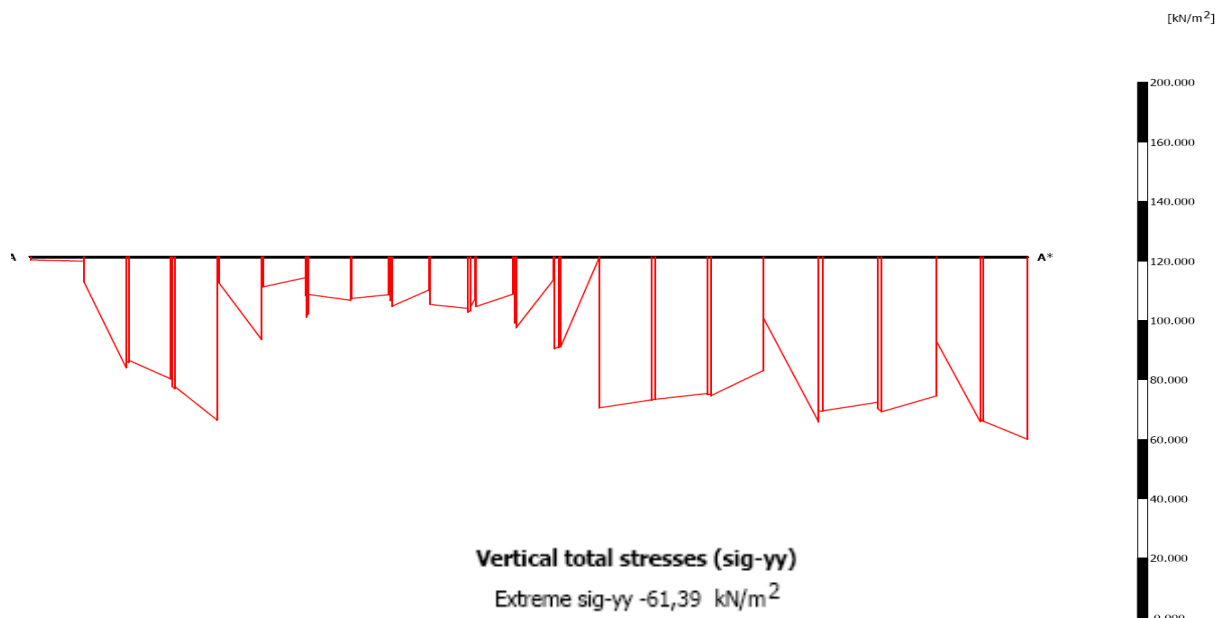
Figur 15 Sättningar i snitt 1

För pålarna som ligger under gårdsbjälklaget och som skall ta upp punktlaster som förs ned från gårdsbjälklaget behöver pålarna ökas. Antalet pålar som behövdes för att ta upp punktlaster när det var spetsburna pålar var 33 stycken. Detta antal ökar till 110 stycken pålar när det blir mantelburna. Pålarnas längd varierar mellan 4 och 4,3 meter.

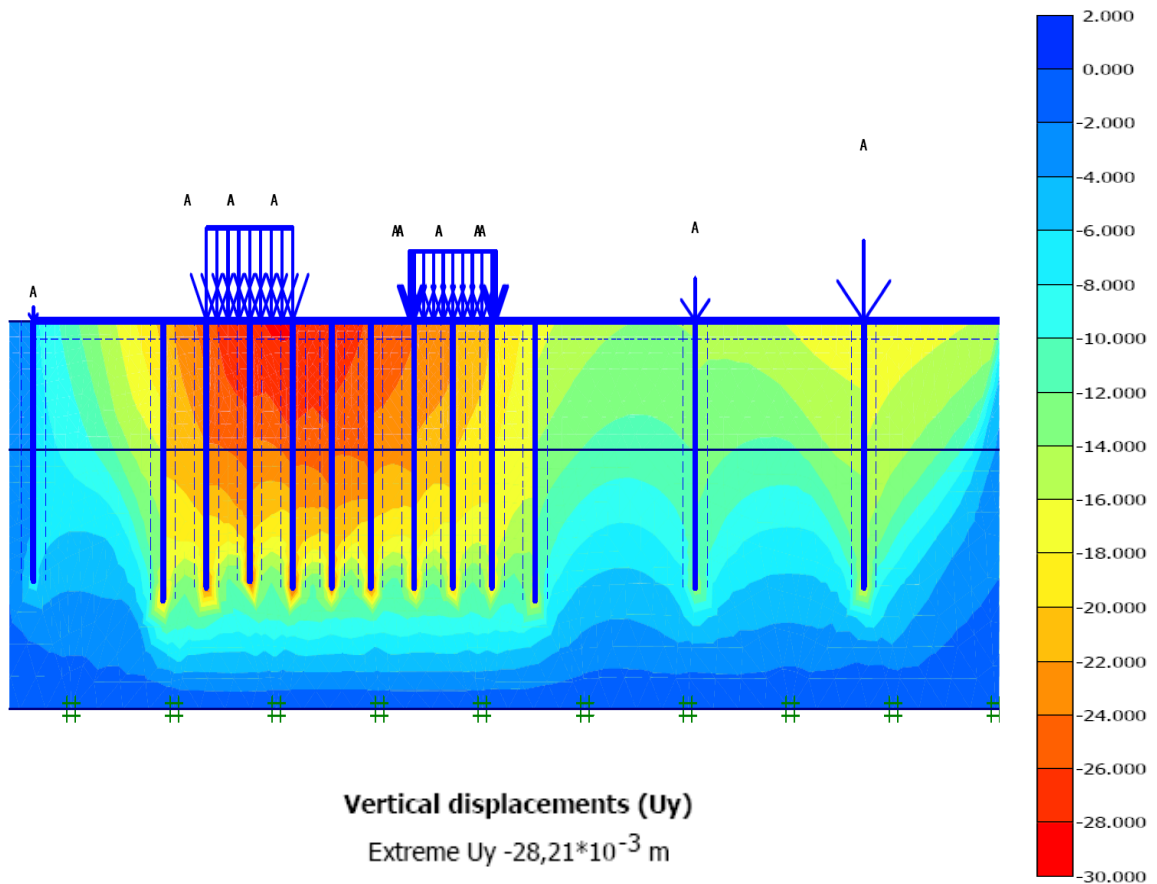
Det som har varit det dimensionerande i detta fall är inte kontakttrycket utan det är den tillåtna kraften på 600 kN som en påle tillåts ta upp. Då kraften blir för stor, även om pålen görs med minimum längd på 4 meter, så måste fler pålar läggas till för att kunna fördela krafterna. Sättningarna blir som störst 2.8 cm och differentiellsättningarna mellan pålarna blir som högst 0.3 % och kontakttrycket blir 61 kN/m<sup>2</sup>. I figur 16 visas pålarnas placering och i figur 17 syns kontakttrycksfördelningen, och i figur 18 sättningsarna.



Figur 16 Snitt 3



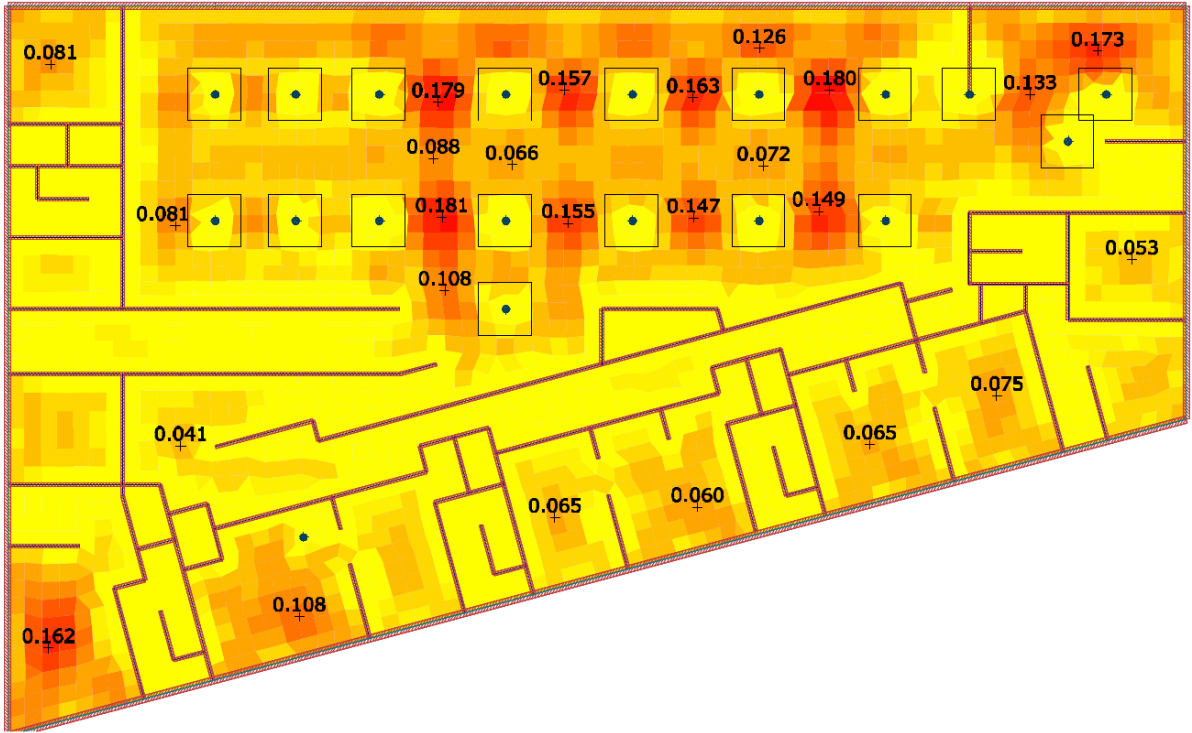
Figur 17 Kontakttryck i snitt 3



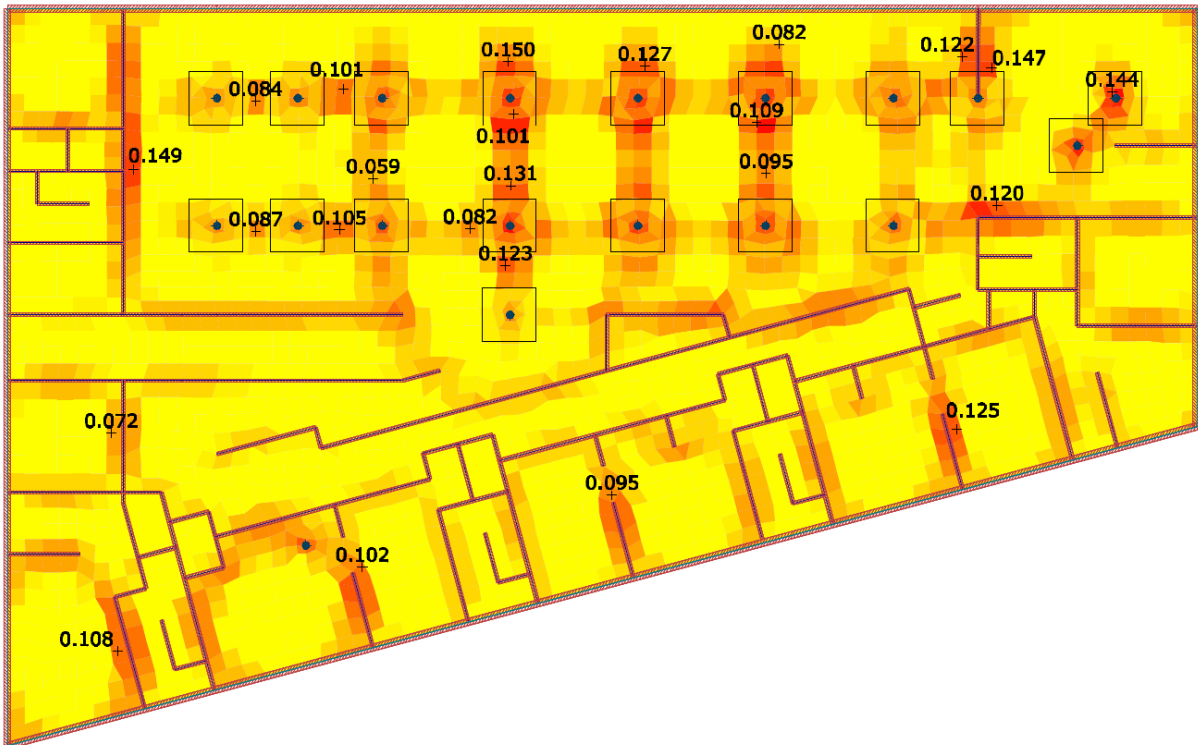
*Figur 18 Sättningar i snitt 3*

I snitt 2 blir kontakttrycket 85 kPa vilket är det högsta som uppstår under plattan, för att grundplattan skall klara av detta tryck måste den göras 450 mm tjock och måste armeras med  $\varnothing 25$  järn med ett c/c-avstånd på 100 mm i både överkant och underkant, vilket är en ökning jämfört med om spetsburna pålar används. Sprickbredderna i plattan visas i figur 19 och figur 20. Hur kontakttrycket verkar under plattan i snitt 2 ses i figur 21.





Figur 19 Sprickbredd i plattans överkant i millimeter



Figur 20 Sprickbredd i plattans underkant i millimeter



Figur 21 Kontakttryckfördelningen i snitt 2

I jämförelse med den spetsburna metoden så måste alltså armeringen ökas från 0,01148 (m<sup>3</sup> stål/m<sup>3</sup> betong) till 0,0392 (m<sup>3</sup> stål/m<sup>3</sup> betong). Med en densitet på 7800 kg/m<sup>3</sup> för stålet så blir det 89 kg/m<sup>3</sup> betong respektive 306 kg/m<sup>3</sup> betong.

Betongvolymen måste ökas från 763 m<sup>3</sup> till 981 m<sup>3</sup> vilket blir en ökning på 218 m<sup>3</sup>. Antalet pÅlar som antas behövas för att ta upp punktlaster blir 110 stycken och 165 stycken som tar upp linjelaster, alltså 275 stycken totalt. Det är en ökning med 9 stycken pÅlar men samtidigt blir det en minskning av längden på pÅlarna med ca 2 meter på pÅlarna som tidigare var 6 meter. Den totala längden på pÅlarna vid det spetsburna fallet blir 1 596 meter och för samverkans princip blir längden 1 127 meter vilket är en minskning på 469 meter.

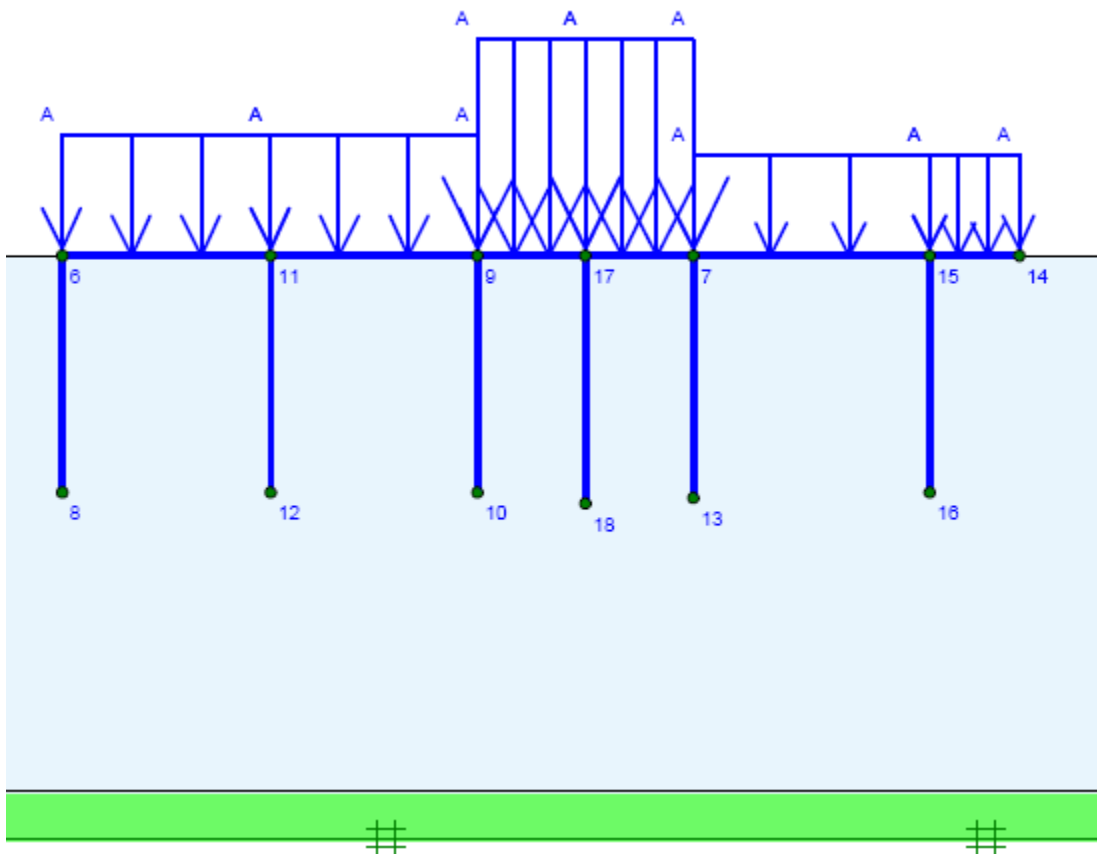
Kostnaderna för pÅlarna i det spetsburna fallet blir då med en kostnad på 530 kr å pÅlmeter med 266 pÅlar på 6 meter: 845 880 kr för pÅlarna, 724 850 kr för betongen och 577 200 kr för armeringen. Totalt blir det 2 147 930 kr

Med samverkansgrundläggning blir kostnaderna för 275 stycken pÅlar med en längd på ca 4,1 meter 597 575 kr, 931 950 kr för betongen och armeringen kostar 2 557 000 kr. Totalt blir det 4 086 525 kr, alltså en ökning av kostnaden på hela 1 938 600 kr.

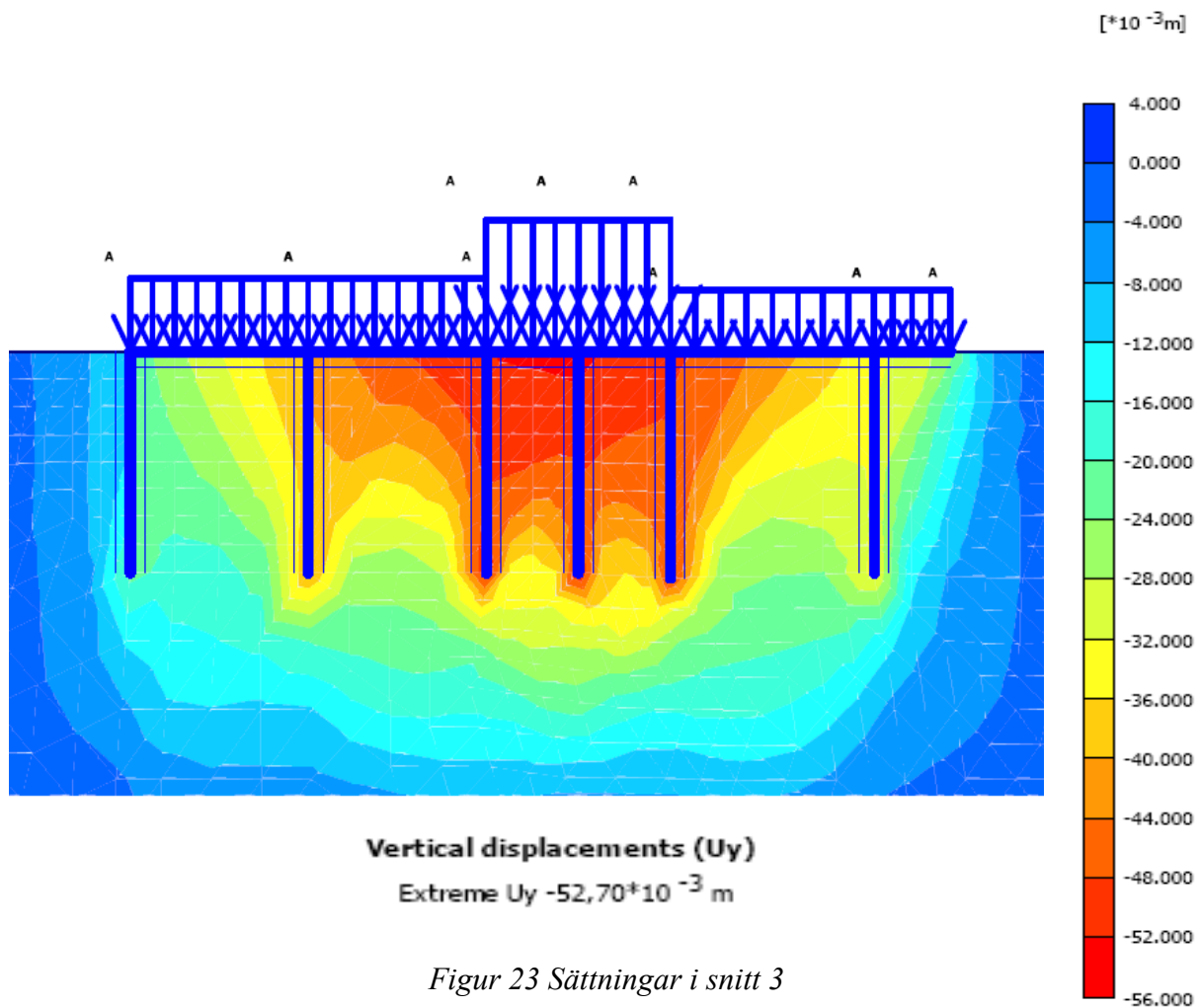
## 7.2 Havsfrun

Havsfrun har grundlagts på 304 stycken spetsburna pålar varav 82 stycken tar upp last från de största punktlaster, grundplattan har gjorts 350 mm tjock och har armerats med  $\varnothing 16$  järn med ett c/c-avstånd på 200 mm i både över och underkant, pålarna är 10 meter långa. De snitt som har varit dimensionerande i detta fall är snitt 2 för pålarna som tar upp punktlaster och snitt 3 för pålar under bostadsdelen som då tar upp linjelasterna. För kontaktrycket har snitt 1 varit dimensionerande. Övriga resultat finns i bilaga D och ursprunglig pålplan finns i bilaga E. Var snitten är tagna kan ses i bilaga B.

I snitt 3 har från början 8 stycken pålar behövts och kan reduceras med 2 stycken pålar, alltså 25 % under själva bostadsdelen. Det leder till att antalet pålar som kan reduceras blir ca 56 stycken och pålarnas längd blir runt 4 meter för att klara av kravet på en dimensionerande bärförmåga på 600 kN. Sättningarna blir som störst även i snitt 3 och de uppgår till 5,2 cm. I snitt 1 blev sättningen 3,7 cm som störst och de differentiella sättningarna mellan de snitten blir som störst 0,15 %, vilket är under det tillåtna på 1,7 %.

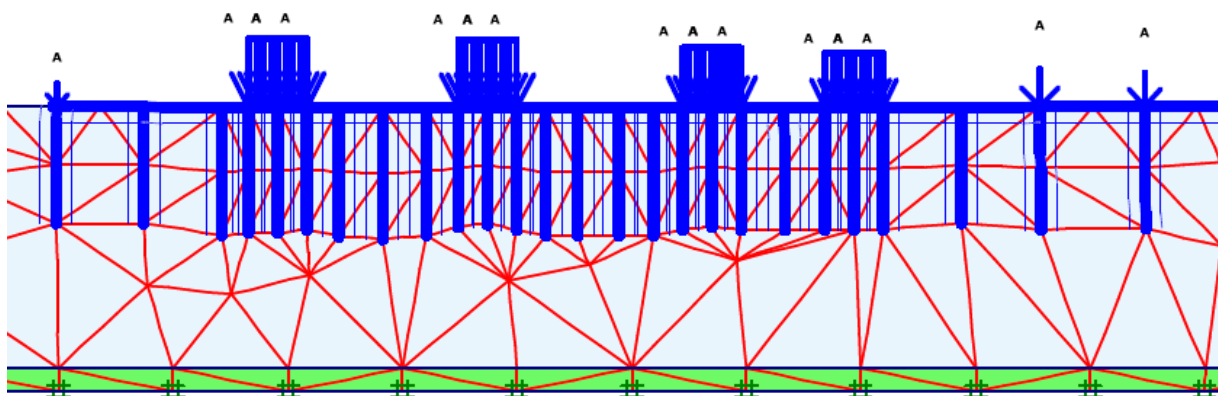


Figur 22 Snitt 3 pålplacering

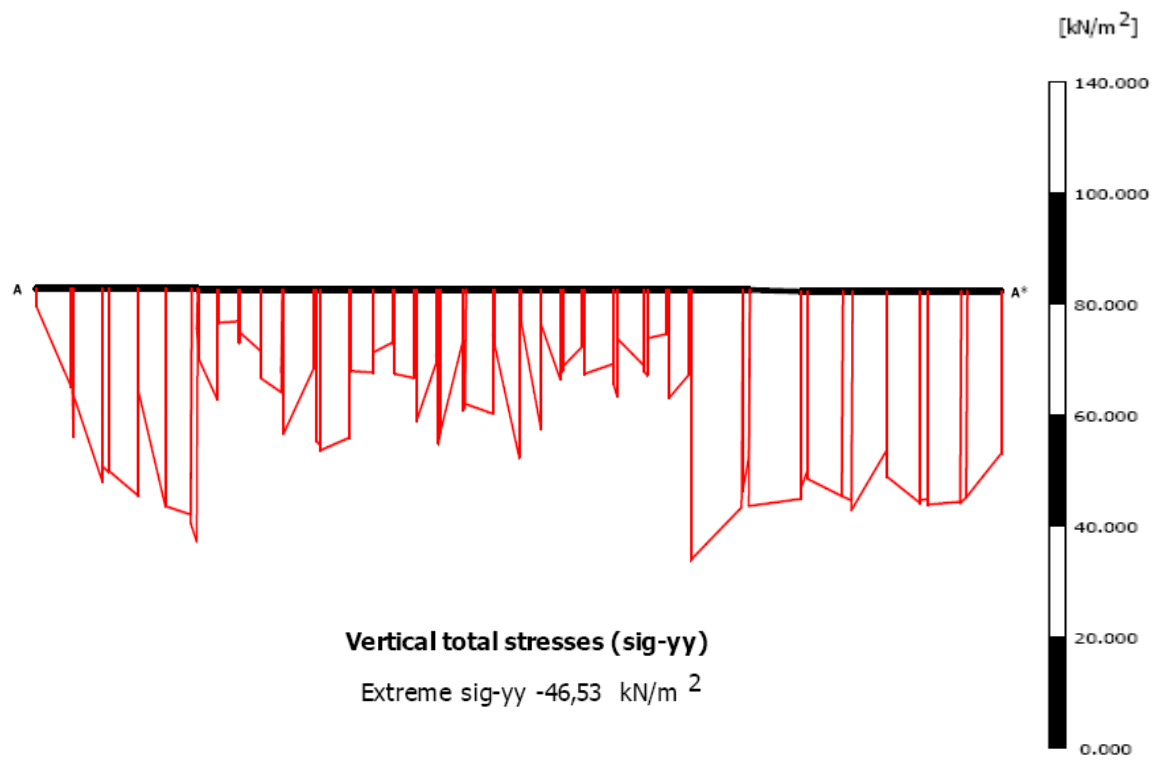


Figur 23 Sättningar i snitt 3

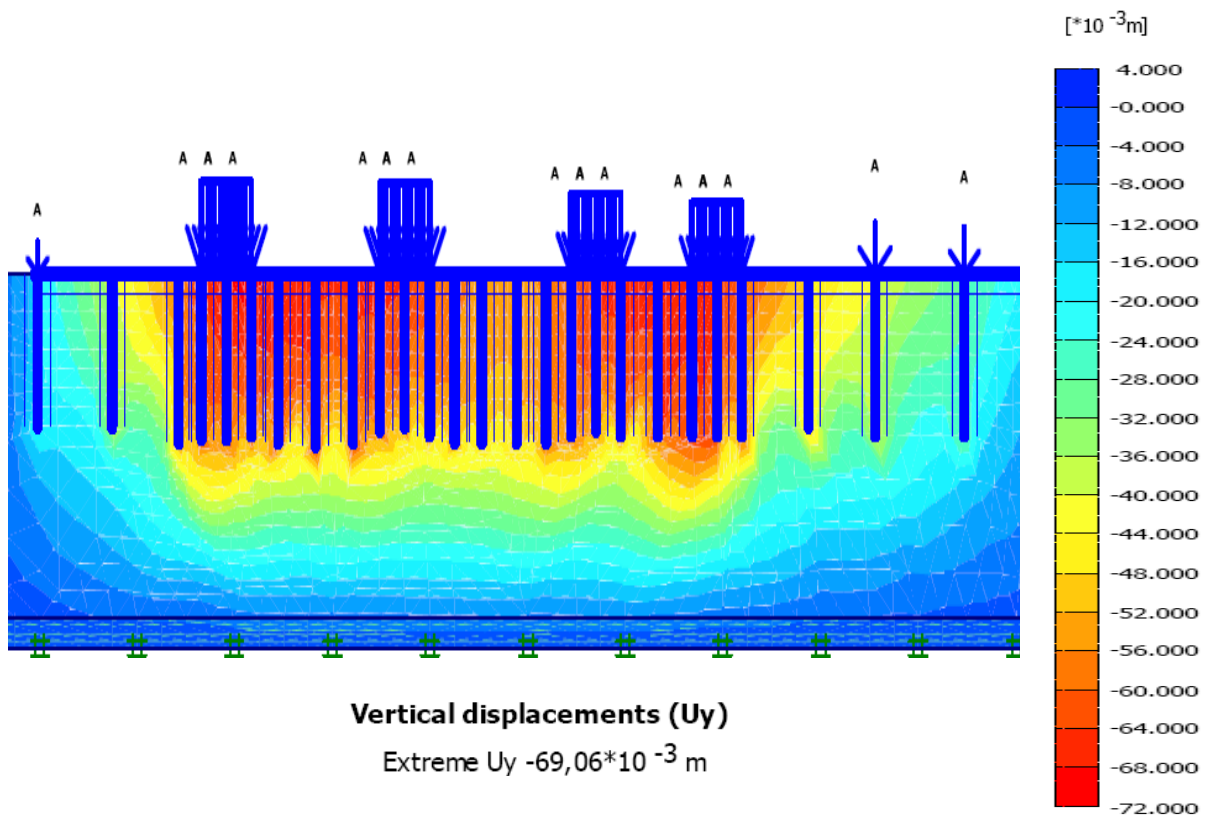
Antalet pålar som behövs under gårdsbjälklaget, d.v.s. de som skall ta upp punktlasterna, blir ca 220 stycken, vilket är en kraftig ökning från det ursprungliga antalet på 82 stycken. Även i detta fall är det kraften i pålarna som har varit det dimensionerande, sättningar blir som högst 7 cm och differentiellsättningarna mellan pålarna blir som högst 0,6 % och kontaktrycket blir 46 kPa. I figur 24 visas pålarnas tänkta placering och i figur 25 och 26 visas kontaktrycksfördelningen och sättningarna.



Figur 24 Snitt 2



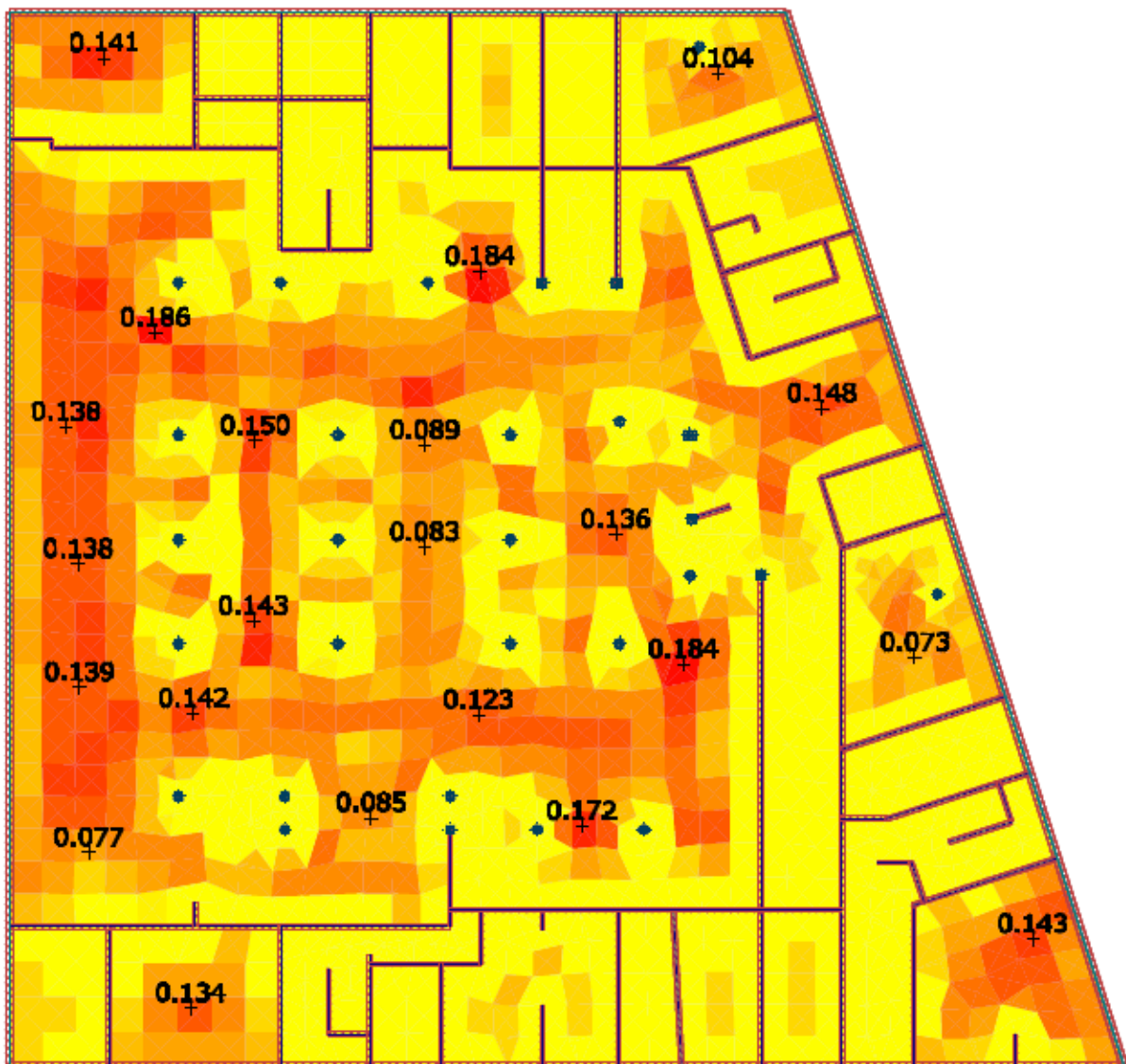
*Figur 25 Kontakttryck i snitt 2*



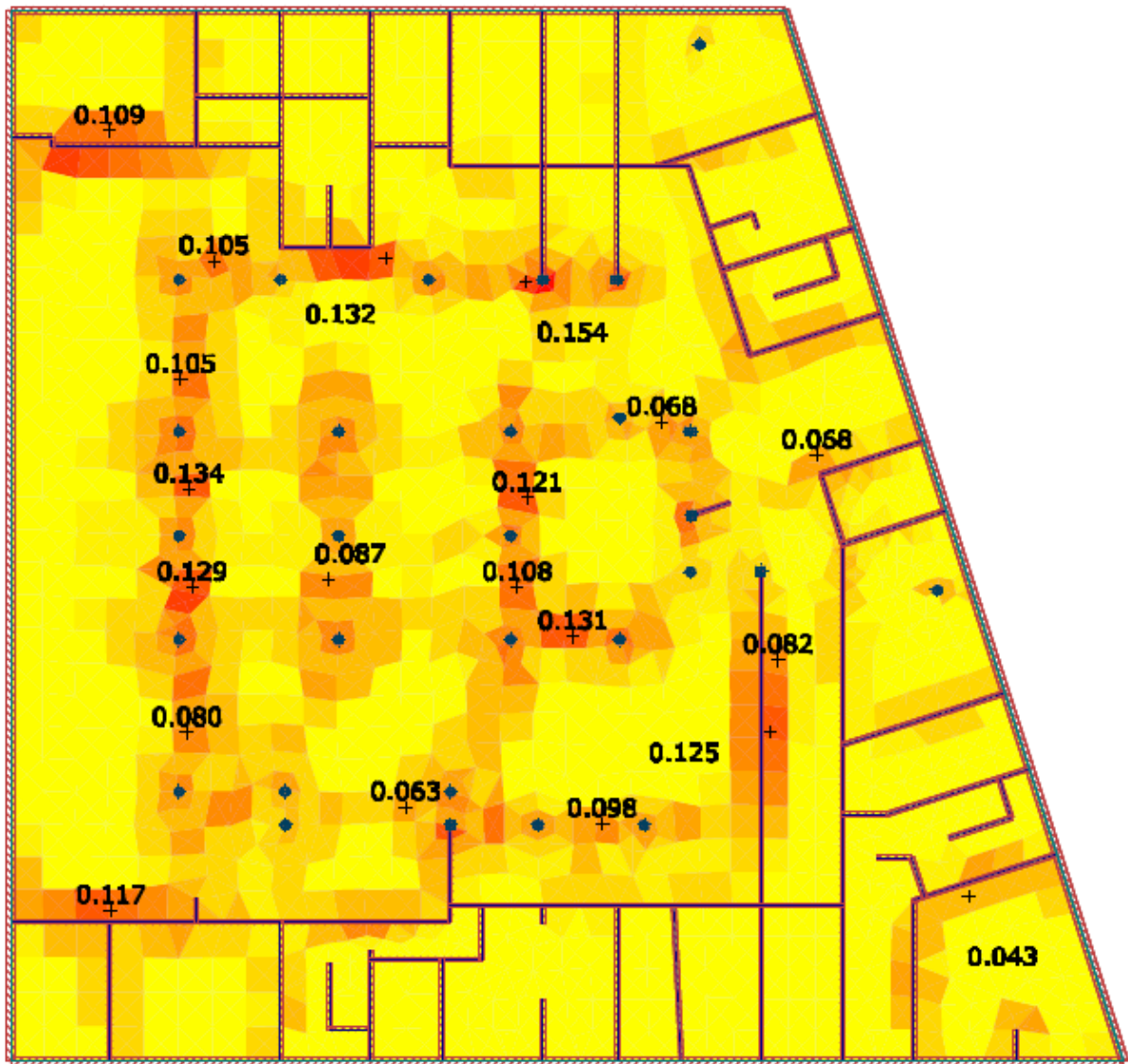
*Figur 26 Sättningar i snitt 2*

Kontakttrycket som uppstår i snitt 1 blir 70 kPa, för att grundplattan skall klara av detta tryck behöver den göras med en tjocklek på 450 mm trots det minskade trycket. Armeringen i överkant blir  $\varnothing 20$  c/c-avstånd 100 mm och i underkant  $\varnothing 25$  c/c-avstånd 100 mm, vilket är en stor ökning i jämförelse med när Havsfrun grundlades med spetsburna pålar.

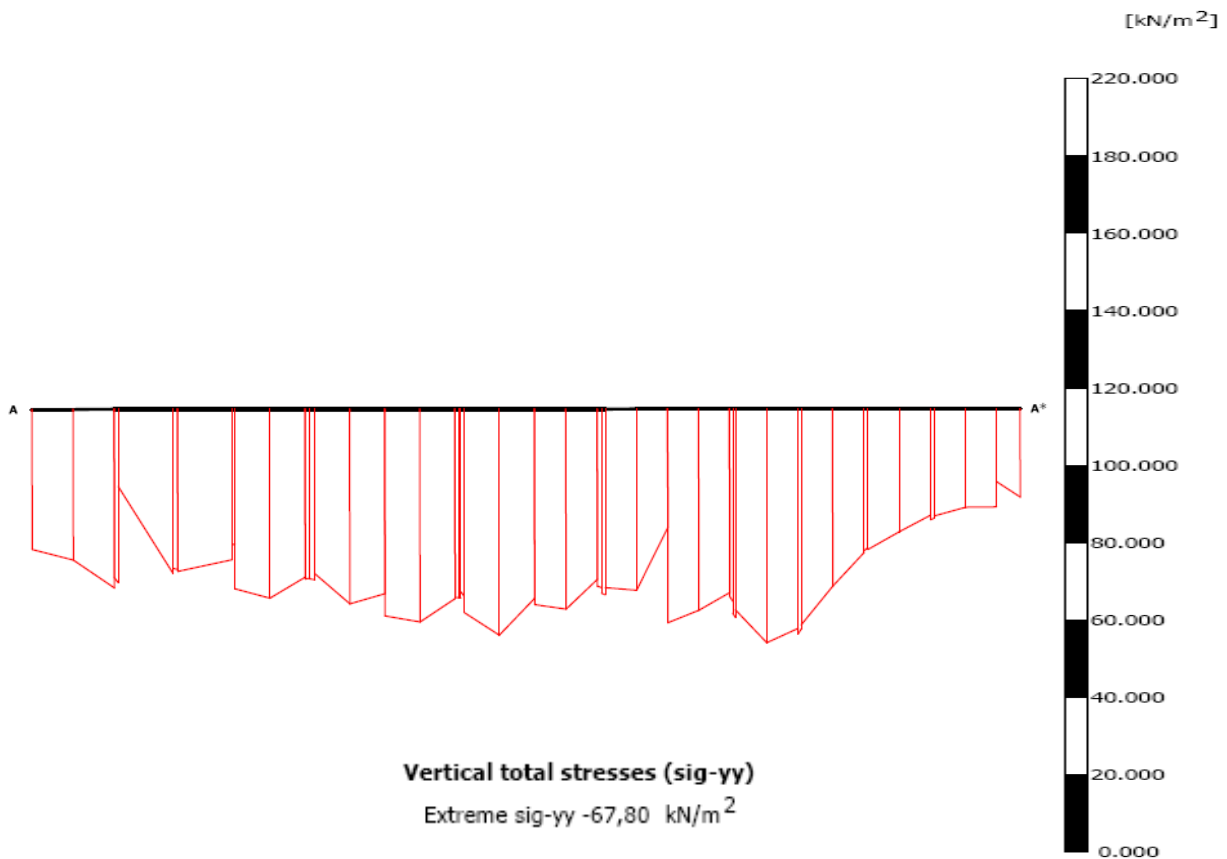
Sprickorna som uppstår i plattan visas i figur 27 och figur 28. Figur på hur kontakttrycket verkar under plattan i snitt 1 ses i figur 29



Figur 27 Sprickbredd i överkant i millimeter.



Figur 28 Sprickbredd i underkant i millimeter



*Figur 29 Kontaktrycksfördelning i snitt 1*

Jämfört med grundläggning på spetsurna pålar så måste alltså armeringen ökas från 0,01148 (m<sup>3</sup> stål/m<sup>3</sup> betong) till 0,0322 (m<sup>3</sup> stål/m<sup>3</sup> betong), Med en densitet på 7800 kg/m<sup>3</sup> för stålet så blir det 89 kg/m<sup>3</sup> betong respektive 251 kg/m<sup>3</sup> betong.

Betongvolym var i det spetsburna fallet 708 m<sup>3</sup> och med samverkansgrundläggning blev volymen 911 m<sup>3</sup> vilket är en ökning med 203 m<sup>3</sup>. Antalet pålar som behövs under bostadsdelen som tar upp linjelaster blir ca 222 stycken och antalet för de pålar som tar upp punktlaster blir ca 220, alltså totalt 442 stycken pålar när samverkansgrundläggningen används. Detta är en ökning i antal pålar med 138 stycken, men dessa pålar är endast ca 4 meter långa till skillnad från de 304 stycken pålarna som var 10 meter långa. Den totala längden på alla pålar vid en samverkansgrundläggning blir 1 812 meter och för det spetsburna fallet blir den totala längden 3 040 meter, en minskning på 1 228 meter.

Kostnaderna för det spetsburna fallet blir för 304 stycken pålar med en längd på 10 meter: 1 611 200 kr för pålarna, 672 600 kr för betongen och armeringen kostar 535 602 kr. Den totala kostnaden blir 2 819 400 kr.

Kostnaderna för samverkansgrundläggningen blir för 442 stycken pålar med en längd på ca 4,15 meter: 972 180 kr, betongen kostar 865 450 kr och armeringen kostar 1 943 620 kr. Totalt en kostnad på 3 781 250 alltså en ökning på 961 850 kr.



## 8 Slutsats och diskussion

### 8.1 Sammanfattning

Uppgiften med detta examensarbete har varit att komma fram till hur en samverkansgrundläggning fungera och samtidigt jämföra två stycken byggnader som har grundlagts med spetsburna pålar med det hypotetiska fallet att byggnaderna istället hade grundlagts med samverkansgrundläggning. För att analysera detta har PLAXIS använts för att räkna ut sättningar, kontakttryck och kraften i pålarna, för att beräkna hur själva grundplattan skall dimensioneras har programmet PLATE använts. Det som är intressant att veta är hur mycket det skulle skilja i kostnader mellan de olika grundläggningsmetoderna. Arbetet har genomförts i tre olika delar

- En litteraturstudie om de olika elementen som används vid en samverkansgrundläggning och en studie om hur beräkningsprogrammen fungerar.
- Handhavande av beräkningsprogrammen och de funktioner som behövs för att kunna utföra beräkningar med dem.
- Själva beräkningen av objekten och en jämförelse mellan de båda grundläggningsmetoderna.

### 8.2 Slutsatser

Att en samverkansgrundläggning inte hade varit gynnsam för varken Havsfrun eller Dockterrassen står klart då kostnaderna för båda byggnaderna blir högre. Dock så ökar kostnaderna inte fullt lika mycket för Havsfrun som de gjorde för Dockterrassen. Detta beror främst på att längden på pålarna under Havsfrun är mycket längre än de blev under Dockterrassen och den totala pållängden som kan sparas in blir då högre för Havsfrun än vad de blev för Dockterrassen. I dessa två fall har den totala pållängden reducerats med ca 29 % på Dockterrassens pålar och med ca 40 % på Havsfruns pålar. Men det som också har en stor inverkan på kostnaderna är den mängd armering som behövs i grundplattan för att klara av kraven på maximal sprickvidd. Armeringen som behövs beror i sin tur på hur stort kontakttrycket under grundplattan blir, desto högre detta blir desto mer armering behövs. Även en tjockare grundplatta kommer att behöva göras vilket även det ökar kostnaderna, dock inte lika mycket som armeringen gör. Kontakttrycket och antalet pålar beror på hur tung byggnaden är.

Det finns speciellt tre faktorer som har inverkan på om en samverkansgrundläggning skall vara lönsam.

Den första faktorn är hur många pålmetrar som kan sparas in d.v.s. längden på en spetsburen påle skall vara en bra bit längre än vad de mantelburna pålarna blir. I dessa två fall kunde antalet pålmetrar reduceras med 29 % på Dockterrassens och 40 % på Havsfruns pålar.

Den andra faktorn är hur lasterna från bygganden förs ned till pålarna och hur stora dessa är. De laster som har en speciellt negativ inverkan är punktlaster, detta märks tydligt i resultatet då antalet pålar som tog upp punktlaster för Havsfrun vara dubbelt så många som för Dockterrassen vid valet av en samverkansgrundläggning. Antalet punktlaster som fanns på Havsfrun var också många fler än de var för Dockterrassen vilket tydligt visar de höga punklasternas negativa inverkan. Det som leder till att antalet pålar måste ökas är inte kontaktrycket mot grundplattan, då detta är lägre än det största kontaktrycket som får uppstå under plattan, utan det som är dimensionerande är den kraft som en påle tillåts ta upp.

Den tredje faktorn är armeringskostanden, som blir mycket högre vid en samverkansgrundläggning och är den kostnad som ökar mest. Armeringskostnaden beror i sin tur på kontaktrycket som beror på hur tung bygganden är. Vid de båda byggnaderna skiljde sig kontaktrycket med 15 kPa vilket ledde till att mängden armering kunde minskas en aning i Havsfruns grundplatta i jämförelse med Dockterrassens.

Om en samverkansgrundläggning skall vara ekonomiskt lönsam får utredas för varje byggnad för sig då förutsättningarna är annorlunda för varje fall. Det som är klart däremot och som har visat sig i detta examensarbete är att byggnaden ej bör vara alltför tung för att kontaktrycket inte skall bli för stort vilket leder till en ökad armeringskostnad, alltså grundplattans fördyring får inte bli högre än vinsten med reduceringen av pålarna. Dessutom har byggnadens geometri vad berör hur lasterna förs ned till grunden spelat en stor roll. Framför allt de stora punktlasterna bör reduceras, helst bör inte några finnas överhuvudtaget, går det att få ner lasterna via linjelaster är det ett bättre alternativ. Reduceringen av den totala pållängden bör i dessa fall överstiga 40 % för att det skall vara lönsamt.

## Referenser

*Hansbo, S. (1989), "Grundläggning av byggnader och maskinfundament"*

*D, Waterman & R.B.J Brinkreave & W.Broere (2001) "PLAXIS- Finite element code for soil and rock analyses"*

*Bergdahl, U. Ottosson, E & Stigson malmberg, B.(1993) "Pålgrundläggning". Linköping.*

*Olsson, C. & Holm, G.(1993) "Plattgrundläggning" Linköping.*

*StAAF, T. & Svensson, H.( 2005) "Samverkansgrundläggning med kohesionspålar - En jämförelse mellan olika beräkningsmodeller"*

*Johansson, L. (2007) Geotekniker Ramböll AB, Muntlig kommunikation*

*Tomaz, B. (2007) Inköpare, PEAB. Muntlig kommunikation*

*Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK*

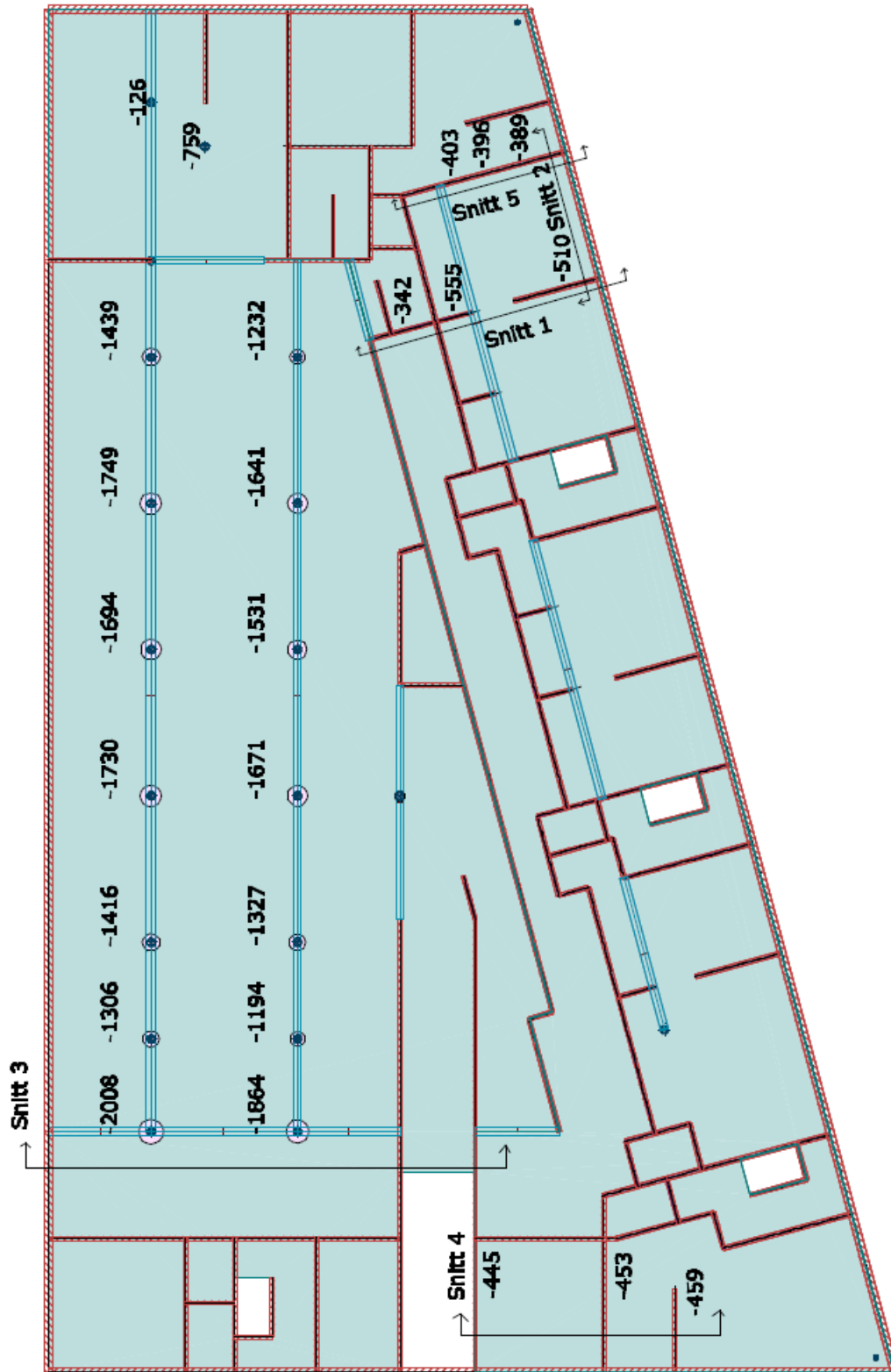
*Regelsamling för konstruktioner- Boverkets konstruktionsregler, BKR*

[www.strusoft.com](http://www.strusoft.com)

## **Bilagor**

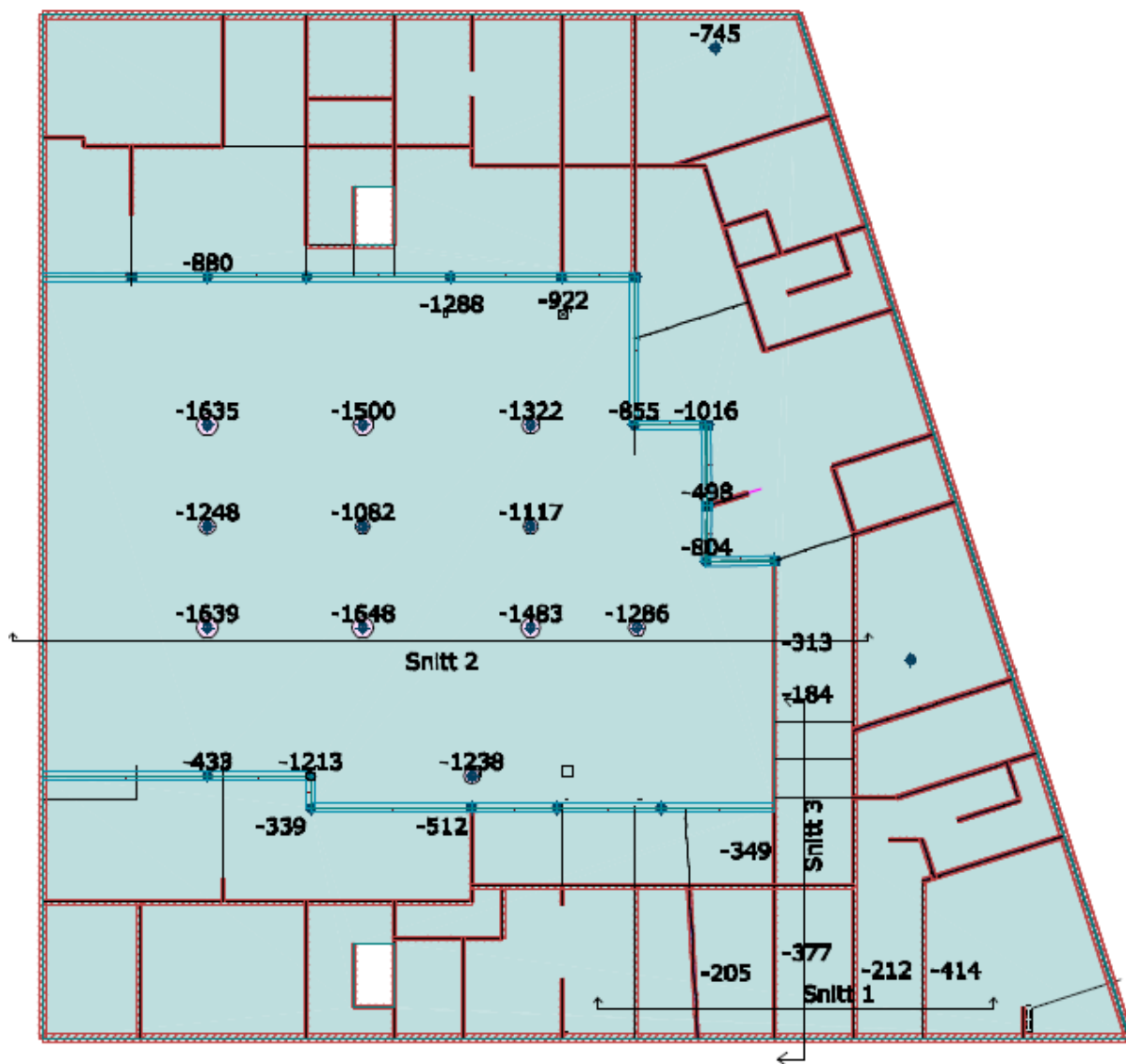
# A Laster och snitt till Dockterrassen

S Långtid - Reaction/Code : Swedish (BBK 04:2004, BSK 99:2000)/Units : [kN, kNm, kN/m, kNm/m, kN/m2]

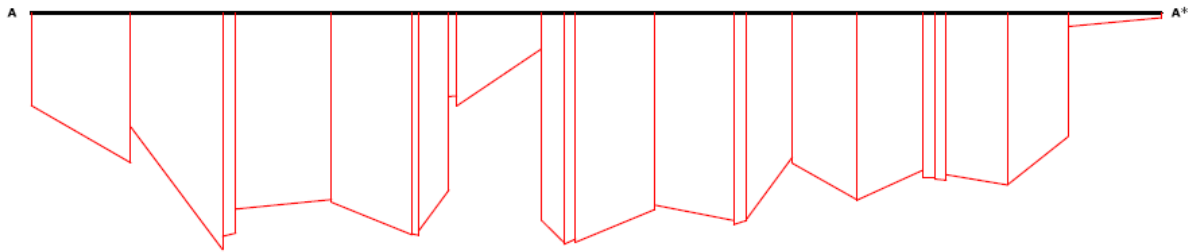


## B Laster och snitt till Havsfrun

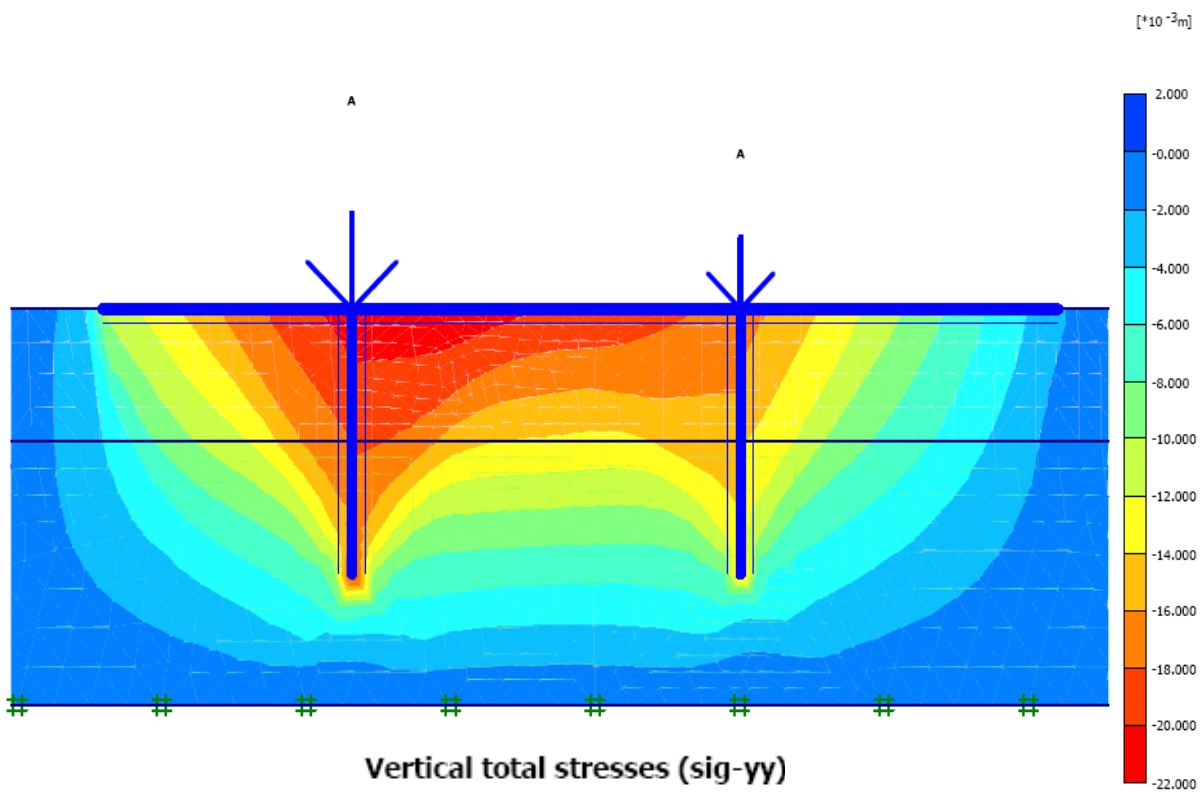
S Bruk långtif - Reaction/Code : Swedish (BBK 04:2004, BSK 99:2000)/Units : [kN, kNm, kN/m, kNm/m, kN/m<sup>2</sup>]



## C Övriga resultat på Dockterrassen



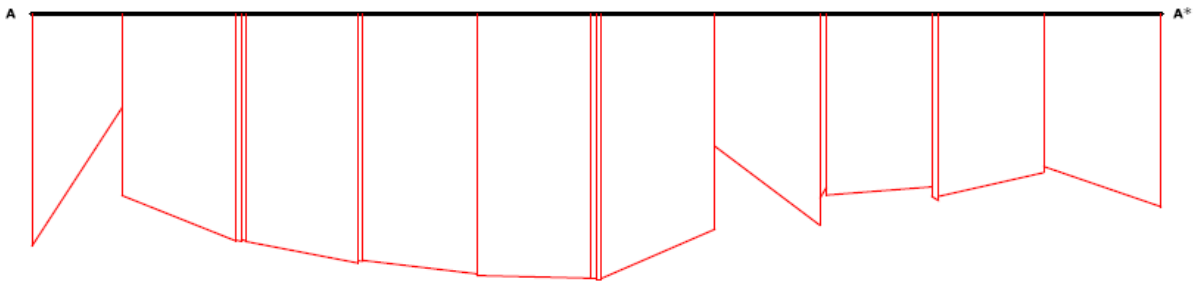
Kontakttrycks fördelning i snitt 1



Vertical total stresses ( $\sigma_{yy}$ )

Extreme  $\sigma_{yy}$  -68,95  $\text{kN/m}^2$

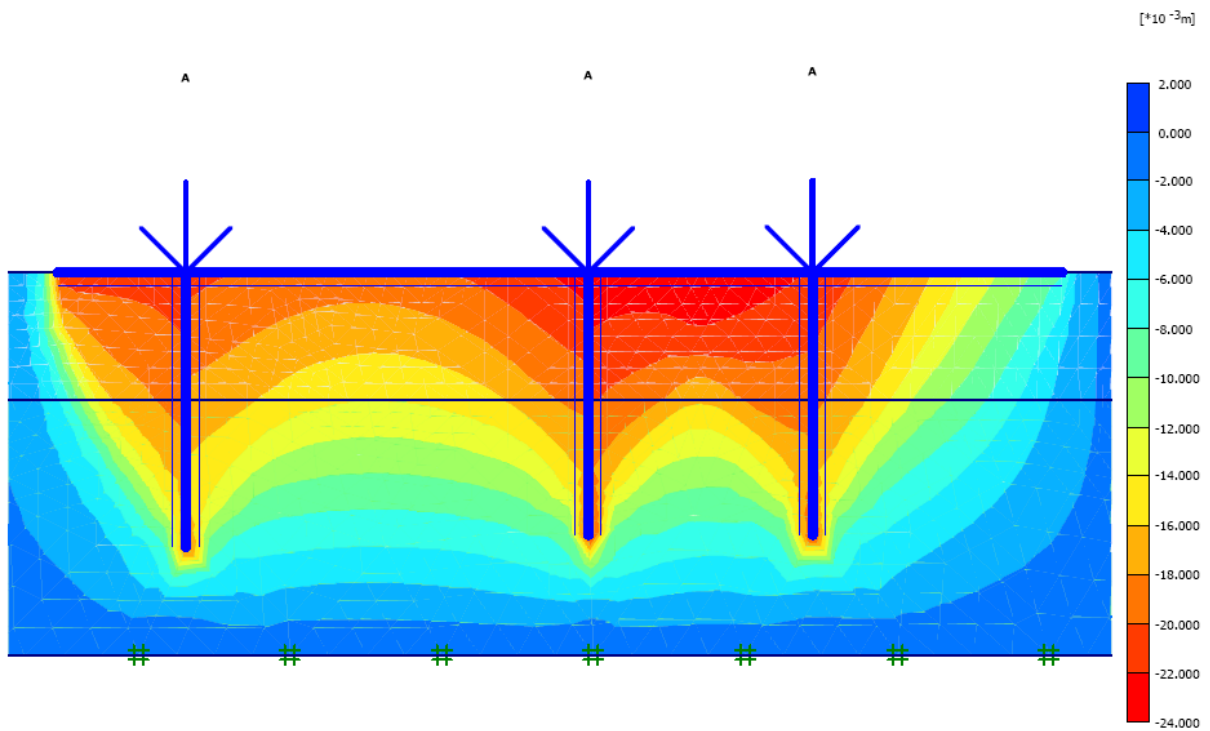
Sättningar i snitt 2



**Vertical total stresses (sig-yy)**

Extreme sig-yy -80,29 kN/m<sup>2</sup>

Kontakttrycksfördelning i snitt 4

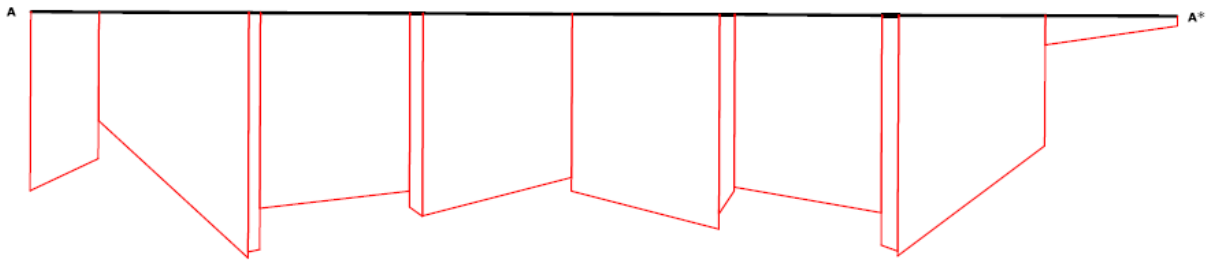


**Vertical displacements (Uy)**

Extreme Uy -23,65\*10<sup>-3</sup> m

Sättningar i snitt 4

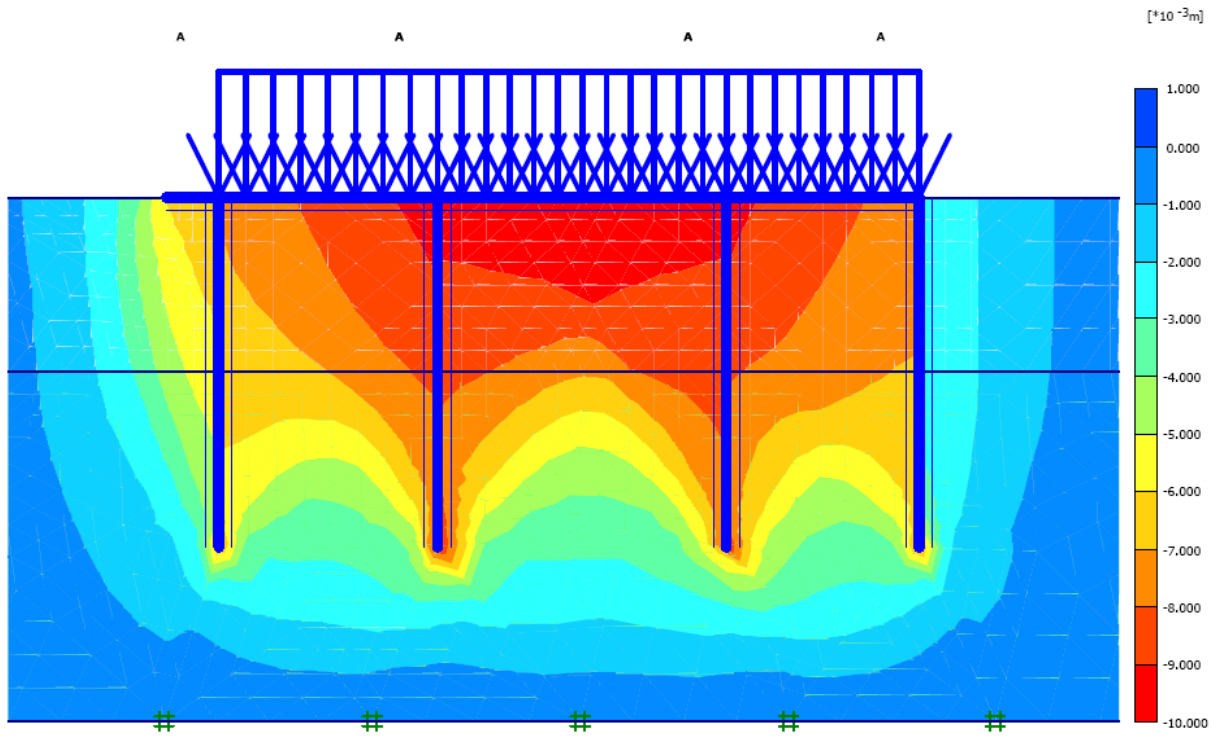




**Vertical total stresses (sig-yy)**

Extreme sig-yy -35,90 kN/m<sup>2</sup>

**Kontakttrycksfördelning i snitt 5**

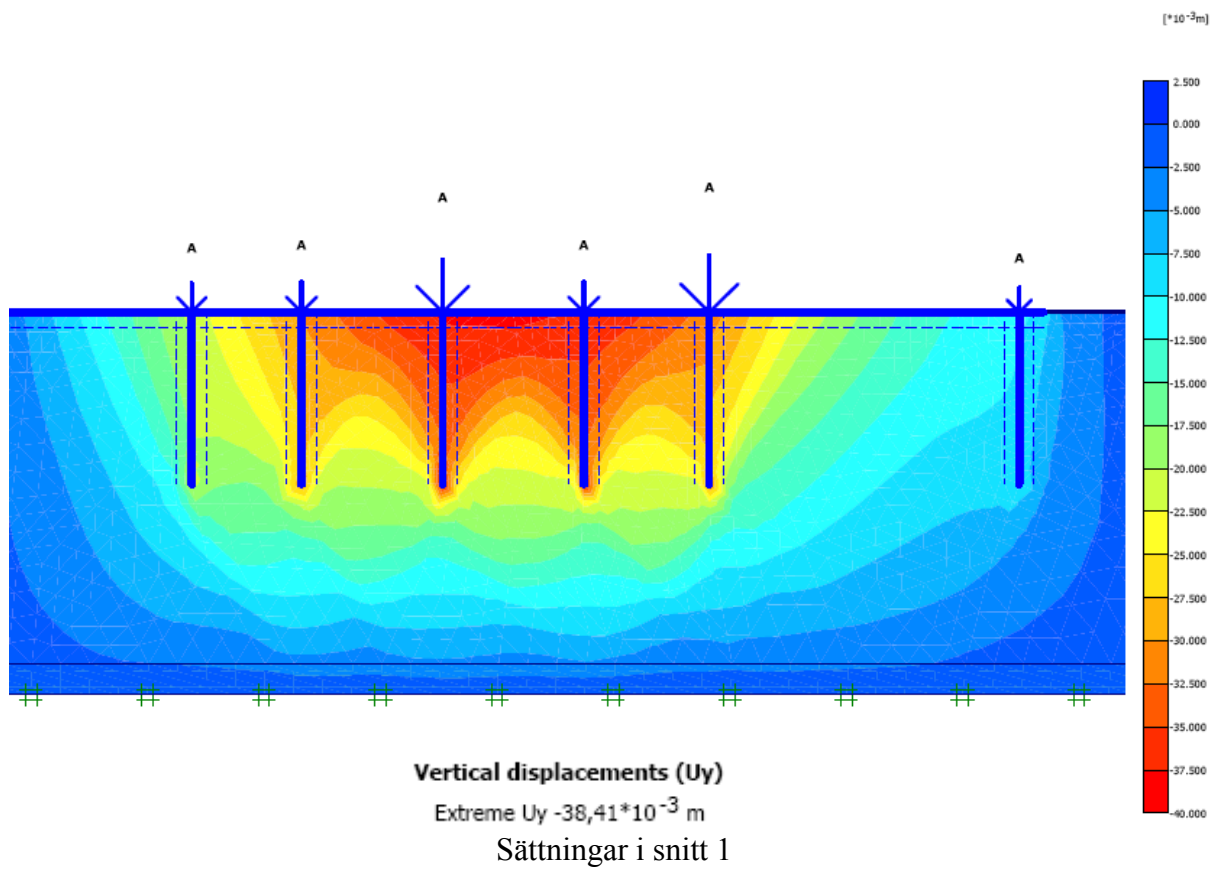


**Vertical displacements (Uy)**

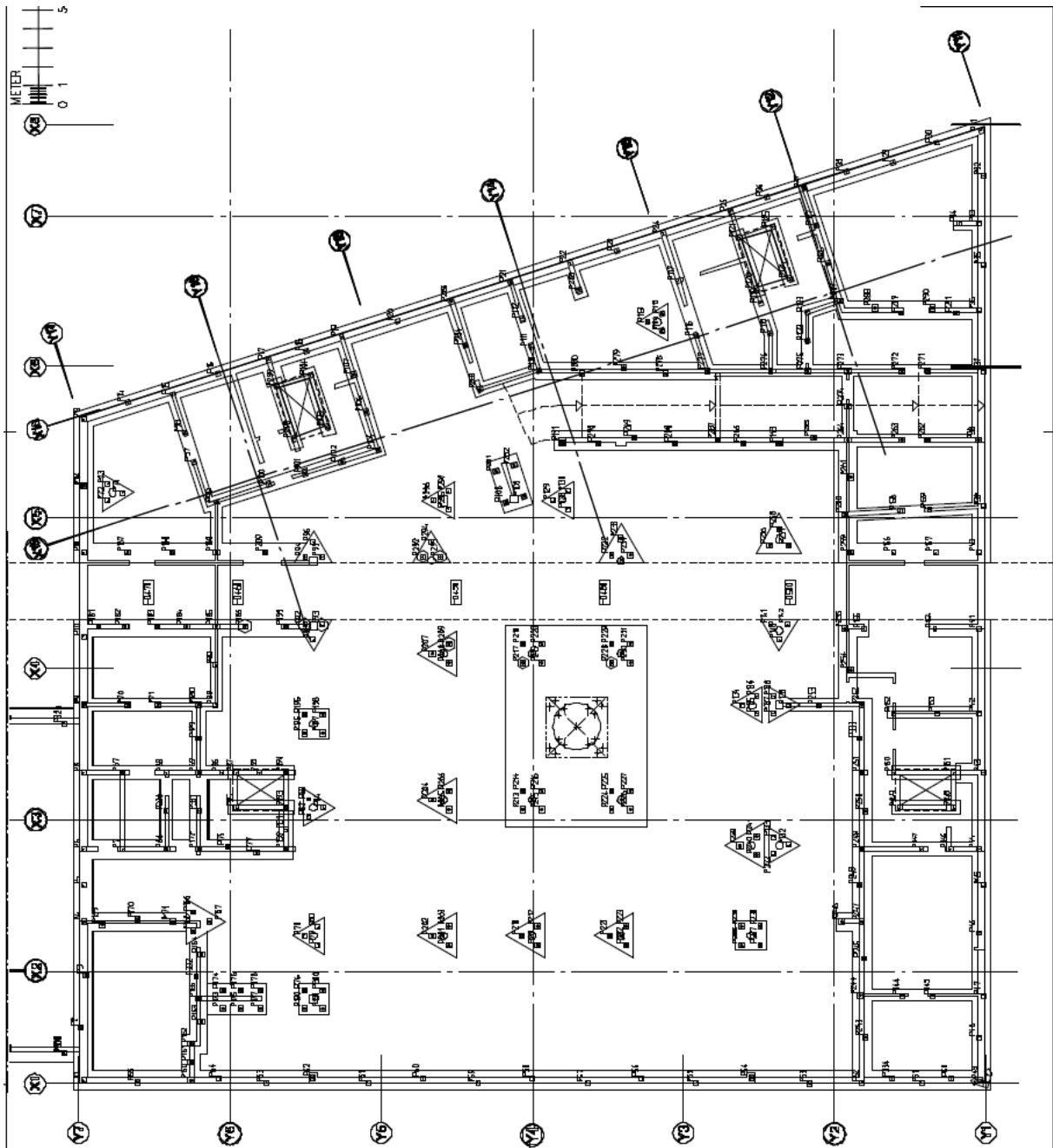
Extreme Uy -9,86\*10<sup>-3</sup> m

Sättningar i snitt 5

## D Övriga resultat på Havsfrun



# E Ursprunglig pålplan på Havsfrun



# F Ursprunglig pålplan på Dockterrassen

