

**Svenska Bostäder**

# Deformationsberäkning runt tunnlar under Sabbatsberg 18

**Luleå 2015-09-17**

# Deformationsberäkning runt tunnlar under Sabbatsberg 18

Datum 2015-09-17  
Uppdragsnummer 1320007726/1320016324

Ivan Edeblom  
Uppdragsledare

Christer Andersson/Rickard Sundström  
Granskare

Ramböll Sverige AB  
Box 17009, Krukmakargatan 21  
104 62 Stockholm

Telefon 010-615 60 00  
Fax 010-615 20 00  
[www.ramboll.se](http://www.ramboll.se)

Unr 1320007726/1320016324

Organisationsnummer 556133-0506

## Sammanfattning

Rambøll har på uppdrag av Svenska Bostäder gjort en tredimensionell numerisk analys med syfte att bedöma deformationer som uppkommer runt befintliga tunnlar vid byggnation av en 11 våningar hög fastighet.

Deformationerna som uppkommer kring tunnarna pga. fastigheten underskrider 1 mm. Detta bör endast påverka tunnarnas stabilitet marginellt och slutsatsen är därför att fastigheten kan grundläggas på bergytan. Innan fastigheten byggs bör bergytan under fastigheten karteras, detta för att studera sprickligheten och se om svaghetszoner eller lerzoner finns vilket kan orsaka större deformationer än beräknat.

Sprängningsarbete bör ske med försiktighet då vibrationerna kan orsaka skada på tunnlar och slänt.

För att förhindra eventuella rörelser längs sprickplan som kan uppkomma pga. fastigheten bör en grundlig kartering utföras med en efterföljande kilanalys. Beroende på kilanalysens resultat kan förstärkande åtgärder vidtas såsom bultning av bergytan och slänten.

Bron på Hälsobrunnsgatan är placerad bredvid området för den nya fastigheten. Brostöden är placerade på bergmassan och deformationerna som uppkommer i bergmassan under brostöden pga. den nya fastigheten underskrider 1 mm vilket inte kommer att påverka brons stabilitet.

## Innehållsförteckning

<b>1.</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund .....	1
1.1.1	Avgränsningar .....	1
<b>2.</b>	<b>Numerisk analys.....</b>	<b>2</b>
2.1	Geometri och beskrivning av modellen .....	2
2.2	Indata i modellen .....	5
2.2.1	Randvillkor.....	5
<b>3.</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>Slutsatser.....</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>Rekommendationer .....</b>	<b>12</b>
<b>7.</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>12</b>
	<b>FOTOBILAGA .....</b>	<b>13</b>

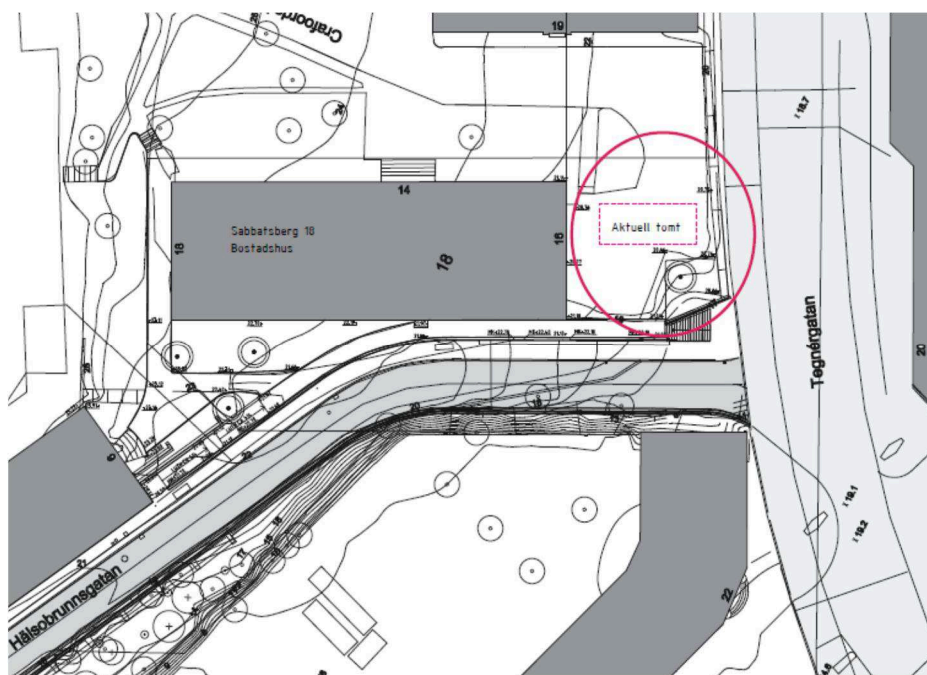
## 1. Inledning

Ramböll har på uppdrag av Svenska Bostäder gjort en tredimensionell numerisk analys med syfte att ta fram deformationer som uppkommer runt befintliga tunnlar vid byggnation av en 11 våningar hög fastighet.

Den tredimensionella analysen slutfördes i Juni 2014 och i Augusti 2015 kom en fråga om fastigheten kan påverka brokonstruktionen för Hälsobrunnsgatan som byggdes ca 2013. För att svara på detta utfördes ett fältbesök 2015-09-08.

### 1.1 Bakgrund

Svenska bostäder har för avsikt att uppföra en ny fastighet i Sabbatsbergsområdet intill Barnhusbron och den nya bron som ansluter till Barnhusbron (Figur 1). Under den tilltänkta fastigheten finns två tunnlar med tunneltak 5-7 m under bergytan.



Figur 1 Placering av ny fastighet.

#### 1.1.1 Avgränsningar

Tunnlarna under fastigheten ligger nära markytan samtidigt som geometrierna inte möjliggör användandet av tvådimensionella modeller. Det beslutades därför att en tredimensionell modell skulle utföras med fokus på deformationer runt tunnelgeometrierna.

Inga bergmekaniska undersökningar som ger de parametrar som krävs för plastiska beräkningar fanns tillgängliga för närområdet. Därför utfördes endast elastiska beräkningar.

I modellerna ingår endast bergmassa av samma kvalitet helt igenom. Inga sprickor är inlagda.  
Slänterna studeras ej.

## 2. Numerisk analys

Den numeriska analysen har genomförts i FLAC3D (Itasca, 2013). Modellen är tredimensionell och modellgeometrin har definierats av en tredimensionell bergyta över närområdet och av en tredimensionell tunnelgeometri. Geometrin har bearbetats i Rhinoceros 5 (Rhino, 2014) där den sedan importerats till KUBRIX (KUBRIX, 2014) för att sedan importeras till FLAC3D för beräkning. Den numeriska analysen är utförd med ett elastiskt beräkningsförfarande.

### 2.1 Geometri och beskrivning av modellen

Beräkningstiden är knuten till storleken av modellen. För att kunna ha en rimlig beräkningstid samt att modellen ska gå fortare att bygga har modellen förenklats genom att delar av tunnlar som inte har någon nämnvärd påverkan på resultaten tagits bort, i Figur 2 visas geometrin på tunnarna i modellen tillsammans med fastighetens placering. Endast delar av den västra tunneln är inmätt varför den östra tunneln samt nödutgången mellan tunnarna är ritade utifrån en horisontell ritning. Placeringen av tunneln är därför inte exakt och kan skilja så mycket som ett par meter mot verkligheten.

Markgeometrin är till största delen modellerad som en horisontell markyta förutom närområdet som anpassats till en bergyta tagen från ritning 0045:14XJ07-0001 (Figur 3) men även från tredimensionella inmätningar av frilagd bergyta som utfördes i samband med inmätningarna av den västra tunneln.

Bergmassan har även förenklats genom att anta att bergmassan endast består av ett intakt material med samma egenskaper i hela modellen, dvs. inga sprickor eller svaghetszoner är inlagda.

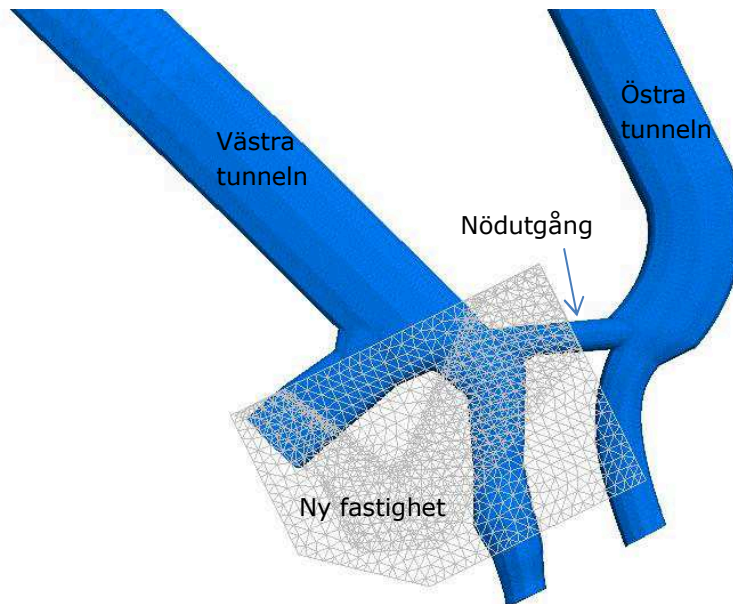
Blocket som motsvarar bergmassan i modellen motsvarar en bergvolym med dimensionen 950x950 m med en höjd på ca 200 m.

Modellen har delats upp i olika regioner med olika elementstorlek på tunnelränderna och markytan närmast tunnarna. Som minst är elementen ca 0,5 m och som störst ca 25 m på ränderna.

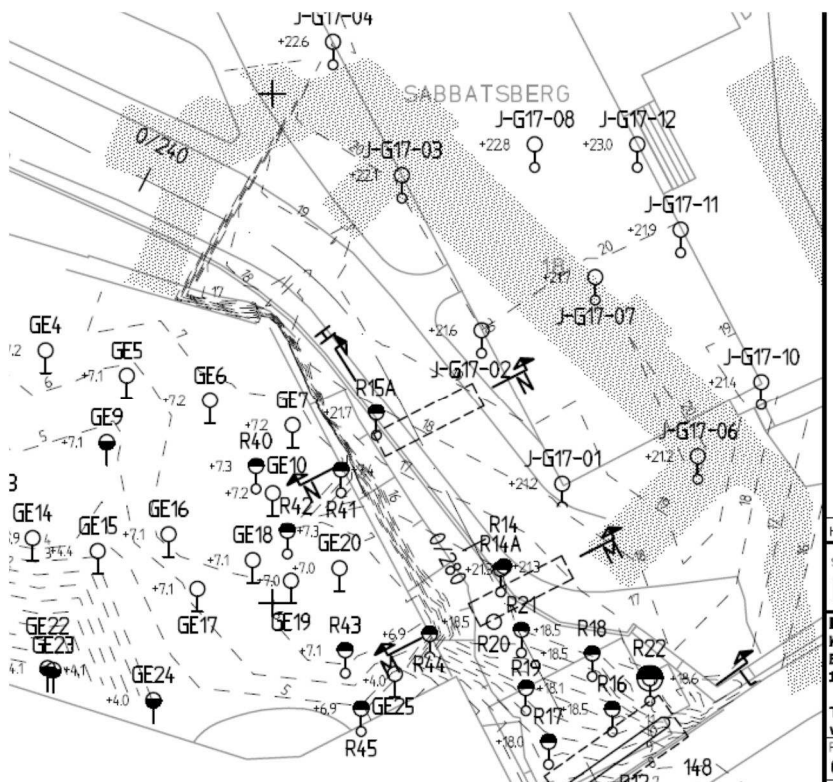
Modellen beräknas enligt stegen nedan:

1. Markmodellen beräknas till jämvikt
2. Tunnarna tas bort och modellen beräknas till jämvikt

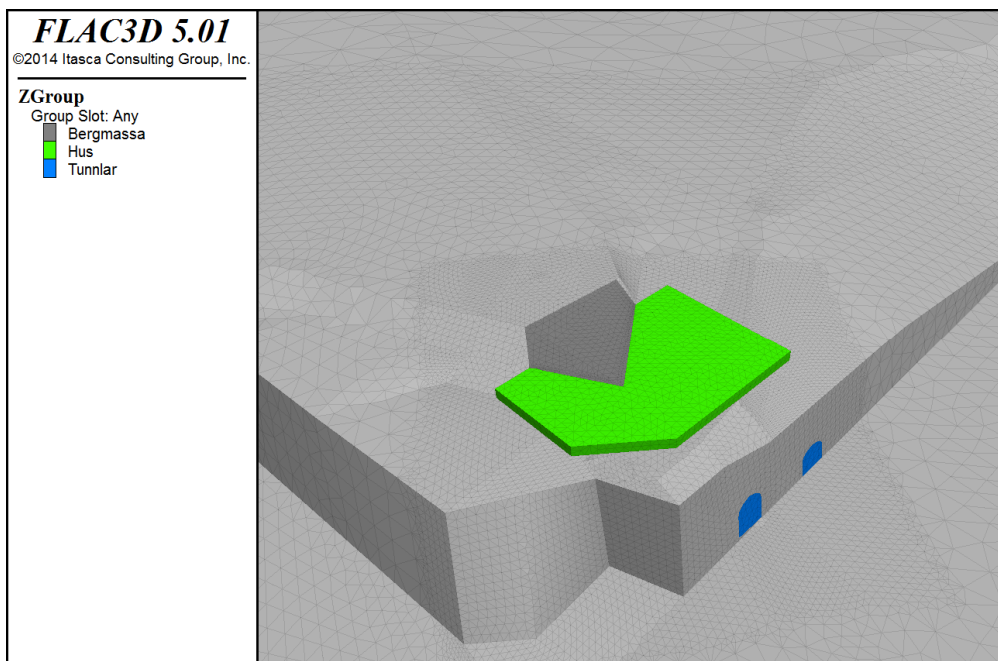
3. Deformationerna nollställs
4. Bergmassan schaktas bort där huset är placerat (gröna och det mörgråa området i Figur 4)
5. Tyngden av fastigheten läggs på



Figur 2 Placering över befintliga tunnlar (blåa) i förhållande till fastigheten (rutnät).



Figur 3 Höjdkurvor som modellen anpassats efter.



Figur 4 Figur över husets placering och bergmassan i närområdet. Det gröna är husets placering, det blåa är tunnelöppningarna och det mörkgråa är bergmassa som tas bort vid schaktning.



## 2.2

### Indata i modellen

De materialparametrar som använts i modellen redovisas i Tabell 1. Det som främst påverkar deformationerna tillsammans med bergspänningarna är elasticitetsmodulen. Då elasticitetsmodulen för bergmassan i närområdet är okänd valdes två olika elasticitetsmoduler i beräkningarna. Elasticitetsmodulerna som valdes är tagna från Lindfors & Tornéus (2009) som bland annat redovisar elasticitetsmodulen för Norrmalm. Elasticitetsmodulen redovisas för olika bergtyper med Min, Typ och Max värden. För Bergtyp B som motsvarar RMR 50-69 är Typ värdet 40 GPa och för Bergtyp C som motsvarar RMR 30-49 är Typ värdet 9 GPa.

I Perman & Sjöberg (2007) sammanställs bergspänningsmätningar som utförts i Stockholmsområdet. Nära Sabbatsberg är tre mätningar utförda varav två av dessa tolkas som tillförlitliga i rapporten. Dessa två mätningar är utförda i Humlegården som ligger ca 1,4 km från Sabbatsberg 18 och T-Blå som ligger ca 700-800 m från Sabbatsberg 18. En sammanställning av resultaten från de två bergspänningsmätningarna visas i Tabell 2 där även valt spänningsfält redovisas. Spänningsfältet som valdes är främst baserat på T-blås värden då dessa ligger närmast. Eftersom Humlegården visar på en något högre magnitud på spänningsfältet valdes Humlegårdens minsta värde på  $\sigma_H$  och  $\sigma_h$  sattes till 2,5 MPa.

Tabell 1 Använda materialparametrar.

Parameter	Värde
Densitet	2700 kg/m <sup>3</sup>
Poissons tal	0,25
Tyngd på hus	150 kPa
Elasticitetsmodul	9 och 40 GPa

Tabell 2 Resultat från två bergspänningsmätningar utförda nära Sabbatsberg samt använt spänningsfält i modellen.

Område	$\sigma_H$ [MPa]	$\sigma_h$ [MPa]	$\sigma_v$ [MPa]	Orientering på $\sigma_H$ [°]
Humlegården	5 – 6	4	$\rho gz$	90 – 110
T-blå	4,0 + 0,0677z	2,1 + 0,0284z	$\rho gz$	100 – 140
Valt spänningsfält i modellen	5 + 0,0677z	2,5 + 0,0284z	$\rho gz$	110

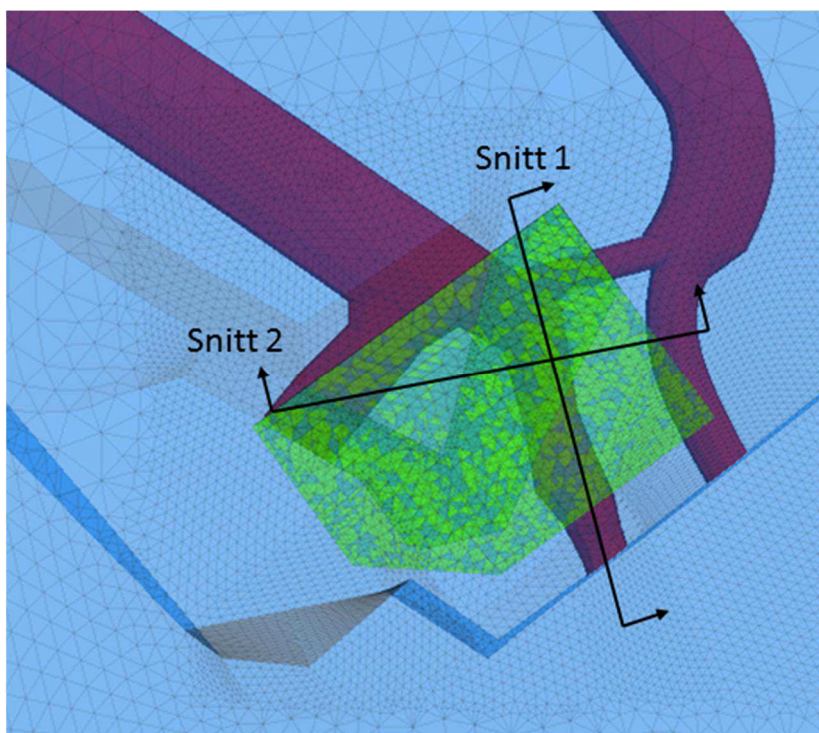
### 2.2.1

#### Randvillkor

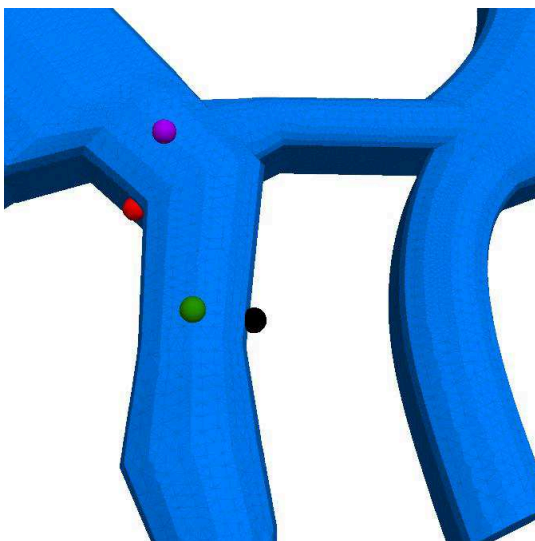
Bortsett från modellens överyta är samtliga ränder i modellen låsta i vinkelrät riktning mot modellranden. Rörelser längs dessa ränder kan alltså endast ske parallellt med dessa.

### 3. Resultat

I detta kapitel presenteras resultat från de numeriska analyserna. Resultaten presenteras i två olika vertikala snitt enligt placeringen i Figur 5 samt i tre punkter placerade enligt Figur 6.



Figur 5 Illustrering var vertikalsnitten är placerade.



Figur 6 Placering av punkter där resultat redovisas. Punkterna är placerade ca 1 dm från tunnelranden. Den svarta punkten är i anfanget.

I Figur 7 visas deformationsvektorer när bergmassan är schaktad men innan fastigheten är på plats. Eftersom bergmassan inte är helt rak utan sluttande sker deformationerna uppåt och ut mot slänten. När sedan fastigheten är byggd (Figur 8) ändras deformationsriktningen mot slänten. Om fastigheten hade varit tyngre hade deformationerna riktats mer nedåt.

Deformationerna som sker i bergmassan runt tunneln är låga, de underskrider 1 mm både när elasticitetsmodulen är 9 GPa (Figur 9 och Figur 11) och 40 GPa (Figur 10 och Figur 12). Runt den västra tunneln uppkommer de högsta deformationerna.

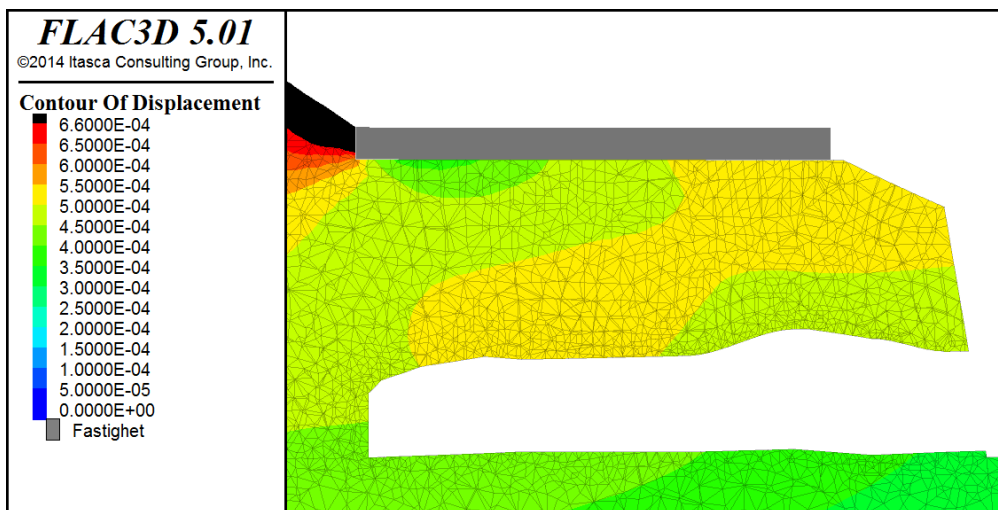
I Figur 13 och Figur 14 redovisas en graf över hur huvudspänningarna ändras i tre punkter när bergmassan schaktas bort och fastighetens tyngd läggs på modellen. Spänningsförändringen från nuvarande spänningstillstånd jämfört med när fastigheten är på plats är lägre än 8 % i dessa punkter.



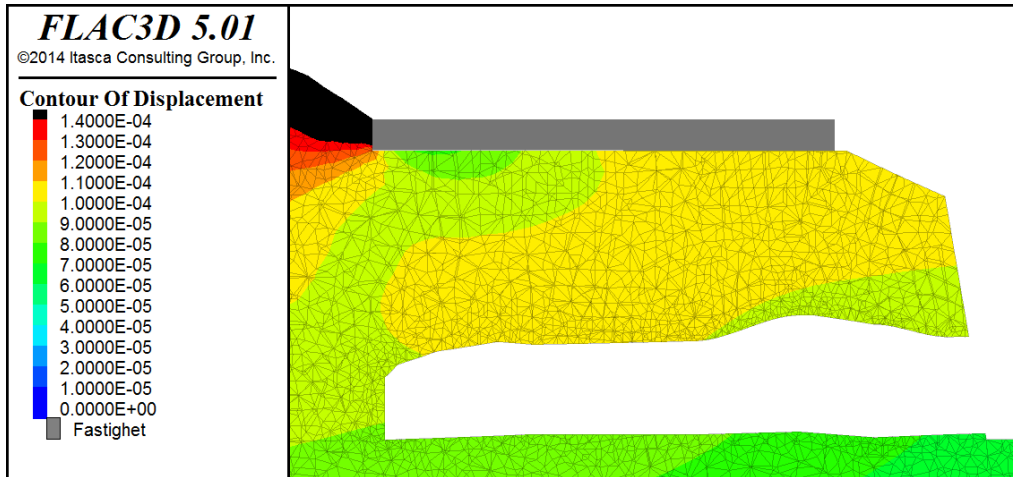
Figur 7 Deformationsvektorer. Vertikalsnitt 1 när bergmassan är schaktad men innan fastigheten är på plats. Spänningsvektorerna är skalade och maximala deformationen i figuren är 0,6 mm.



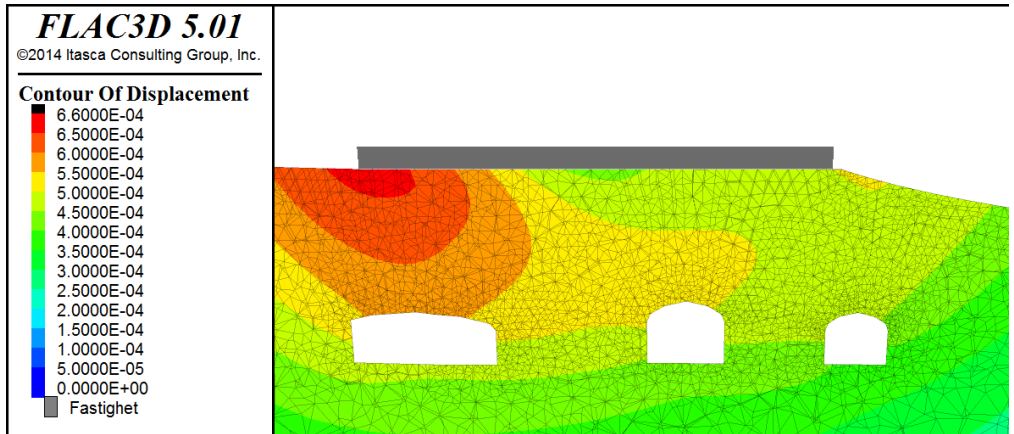
Figur 8 Deformationsvektorer. Vertikalsnitt 1 när fastigheten är på plats. Spänningsvektorer är skalade och maximala deformationen i figuren är 0,8 mm.



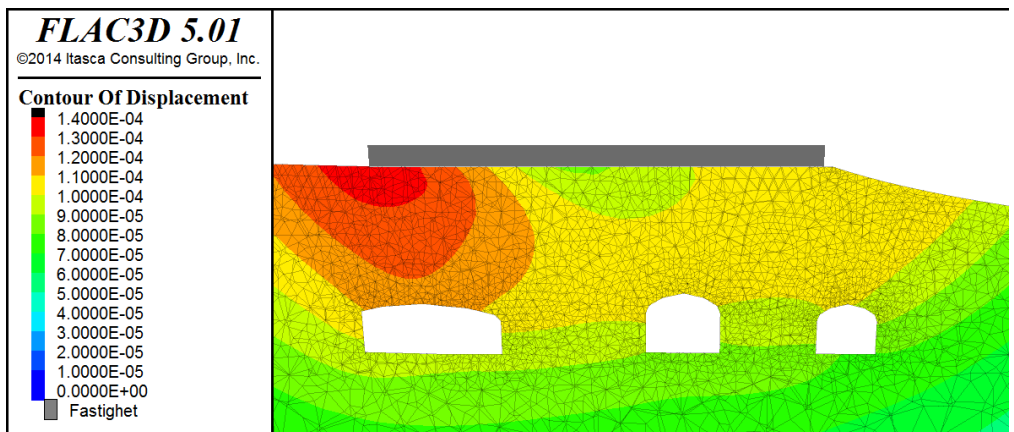
Figur 9 Total deformation. Vertikalsnitt 1, elasticitetsmodul 9 GPa.



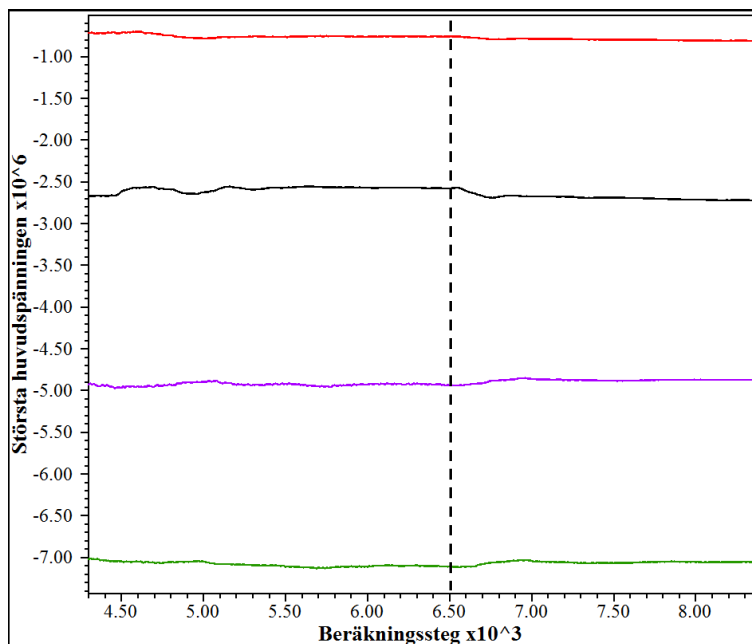
Figur 10 Total deformation. Vertikalsnitt 1, elasticitetsmodul 40 GPa.



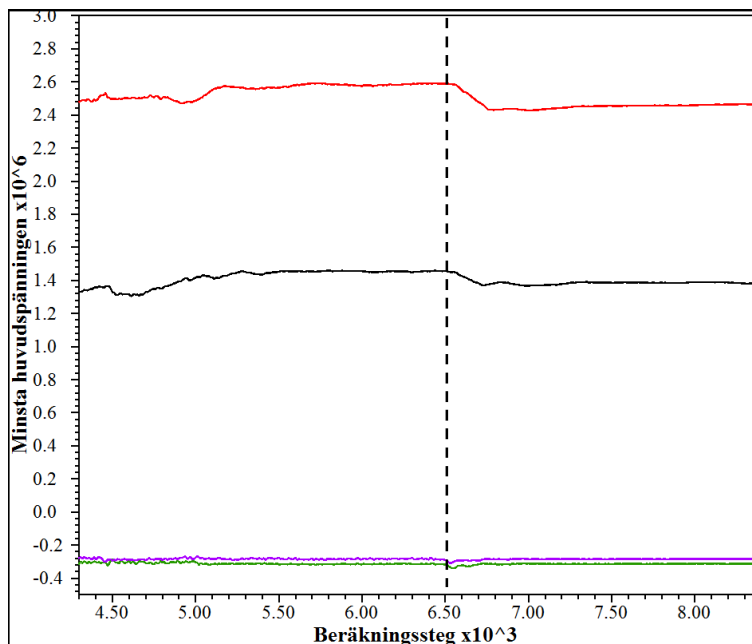
Figur 11 Total deformation. Vertikalsnitt 2, elasticitetsmodul 9 GPa.



Figur 12 Total deformation. Vertikalsnitt 2, elasticitetsmodul 40 GPa.



Figur 13 Graf över hur största huvudspänningen ( $\sigma_1$ ) i fyra punkter (se Figur 6) ändras när bergmassan schaktas och fastigheten byggs. I början av grafen (steg 4300) schaktas bergmassan bort och vid streckade linjen läggs fastighetens tyngd på. Observera att negativt värde är tryck.



Figur 14 Graf över hur minsta huvudspänningen ( $\sigma_3$ ) i fyra punkter (se Figur 6) ändras när bergmassan schaktas och fastigheten byggs. I början av grafen (steg 4300) schaktas bergmassan bort och vid streckade linjen läggs fastighetens tyngd på. Observera att negativt värde är tryck.



## 4. Diskussion

Deformationerna som uppkommer runt tunnlarna pga. bygget av fastigheten underskrider 1 mm enligt beräkningarna då elasticitetsmodulen är 9 GPa vilket ger de största deformationerna. Spänningsförändringen runt tunnlarna blir under 10 %. Kvalitén på förstärkningen i tunnlarna är okänd, men vid antagande att det är bult och sprutbetong som fortfarande har kvar sin ursprungliga funktion bedöms pålastningen som blir av fastigheten endast påverka tunnlarnas stabilitet marginellt.

De deformationer som är beräknade bygger på uppskattad indata, om bergmassan är väldigt uppsprucken eller om svaghetszoner finns under fastigheten kan deformationerna bli högre. Om svaghetszoner med ogynnsam orientering finns under fastigheten bör dessa antingen förstärkas eller så grundläggs fastigheten på ett sådant sätt att svaghetsplanet inte kan glida.

Geometrin av den östra tunneln är inte helt säkerställd då den inte kunde mätas in. Exakt hur mycket det påverkar resultaten beror på hur mycket det skiljer från verkligheten, men bedömningen är att det endast är marginell påverkan på resultaten om tunnelns placering avviker omkring 1 m. Speciellt då tunneln endast delvis är under fastigheten.

Fastigheten byggs nära en hög slänt. Om det finns svaghetszoner i slänten kan rörelser ske i dessa när tyngden av fastigheten trycker på ovensidan av slänten.

Två broar, Barnhusbron och brokonstruktionen för Hälsobrunnsgatan, ligger i anslutning till slänterna som är nära den nya fastigheten. Barnhusbron ligger inte i direkt anslutning av slänterna och kommer därmed inte påverkas av deformationer eller rörelser i bergmassan. Däremot kan ett släntbrott påverka brostödens stabilitet. Förstärkande åtgärder i slänten kan därför vara nödvändiga. Brofundamenten för Hälsobrunnsgatan ligger ett fåtal meter ifrån fastigheten och påverkas därför av denna. Deformationerna som uppkommer är mindre än 1 mm och påverkan är därför minimal. Även här finns en risk att rörelser uppkommer längs sprickplan i slänten och förstärkande åtgärder kan vara nödvändiga.

## 5. Slutsatser

- Tunnlarna under fastigheten påverkas endast marginellt av fastighetens tyngd
- Grundläggningen kan ske på bergytan. Eventuella svaghetszoner med ogynnsam orientering under fastigheten måste dock förstärkas innan grundläggning

## 6. Rekommendationer

Innan och under byggnationen av fastigheten bör tunnlarna inspekteras. Dels för att bedöma förstärkningsmängd och i vilket skick den befintliga förstärkningen är i, men även för att se om skador uppkommer som beror på fastighetens tyngd eller vibrationer från sprängningsarbeten.

Om fastigheten byggs direkt på bergytan utan pålar ner till tunnelns bottennivå bör bergytan rensas och karteras. Vid eventuell förekomst av svaghetszoner med ogynnsam orientering eller lerzoner bör förstärkande åtgärder alternativt pålning övervägas.

Sprängningsarbete bör ske med försiktighet då vibrationerna kan orsaka skada på tunnlar, brofundament och slänt.

På grund av den ökande last fastigheten ger på släntkrönet och vibrationerna som uppkommer från sprängningsarbete finns det risk att rörelser uppkommer längs sprickor i slänten. Eventuella rörelser i sprickplan kan orsaka sättningar eller blockutfall. För att förhindra detta bör en grundlig kartering av bergytan under fastigheten och slänterna utföras. En efterföljande kilanalys bör utföras som tar hänsyn till fastighetens tyngd. Beroende på kilanalysens resultat kan förstärkande åtgärder vidtas såsom bultning av bergytan och slänten.

## 7. Referenser

- Itasca, 2014. FLAC3D. Version 5.01. Manual. Minneapolis: ICG.
- Linfors U. & Tornéus L., 2009. Dimensioneringsrapport, Typförstärkning. Citybanan i Stockholm. 9523-13-025-035.
- Perman F. & Sjöberg J., 2007. Initiala bergspänningar I Stockholmsområdet – Underlag för projektering av Citybanan.
- KUBRIX, 2013. KUBRIX. Version 12.1.2 <http://www.itascacg.com/software/kubrix-geo> (2014-01-21).
- Rhino. 2014. Rhinoceros 5. [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com) (2014-06-03).



## FOTOBILAGA

Fotona nedan visar placeringen av brofundamenten på Hälsobrunnsgatan.



