



Author
Mehdi Bagheri

Phone

Mobile
+46706123459

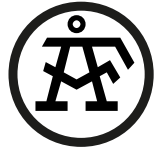
E-mail
Mehdi.bagheri@afconsult.com

Date
11/08/2016

Project ID
725936

Recipient
Nacka kommun

Bergundersökning vid utbygge av Stadshuset Nacka



Innehållsförteckning

1	Sammanfattning.....	3
2	Inledning	3
3	Underlag.....	3
4	Objekt beskrivning	3
5	Geologin	4
5.1	Sprickgrupper	7
5.2	Sprickuthållighet.....	9
5.3	Intakt berg	9
5.4	Bergkvalitet	9
6	Bergmassans egenskaper	10
7	Sprickegenskaper	11
7.1	Friktionsvinkeln	11
7.2	Sprickyornas råhetskoefficient (JRC).....	12
7.3	Sprickyornas tryckhållfasthet (JCS)	13
7.4	Sprickstyvhet	13
8	Numerisk analys	14
9	Numerisk modell för bergslänt.....	16
10	Slutsats	19
	Referenser	20



1 Sammanfattning

PM:et beskriver huvudsakliga resultat från den geologiska undersökningen vid Nacka stadshus och resultaten av bergmekaniska 2-dimensionella beräkningar med UDEC. PM:et innefattar också en stabilitets uppskattning av sandfickan och bergslänt vid utbyggnaden av Nacka stadshus och rekommendationer under sprängningsarbete.

2 Inledning

ÅF Infrastructure AB utreder på uppdrag av Nacka Kommun stabilitet ur bergteknisk synpunkt under planerad utbyggnad av Nacka stadshus. Idag ligger det ett sandtag på platsen, Figur 1, med bergutrymme under den planerade anläggningen. Fältarbete, bergkvalitet beskrivning och kartering av sprickor har utförts vid planerad anläggning. Utifrån resultaten har bergegenskaper bedömts och stabilitet uppskattats.

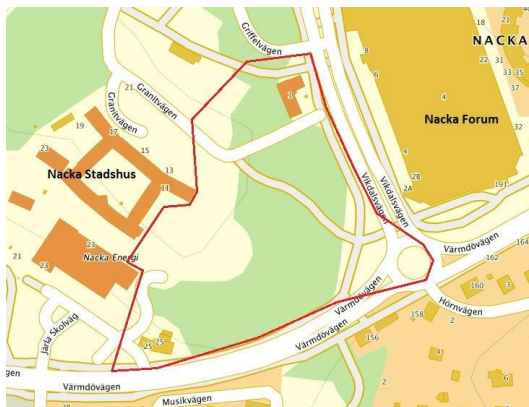
Syftet med uppdraget är att säkerställa byggbarhet, bedöma deformationer och storskalig stabilitet samt ta fram risker och begränsningar ur bergmekaniska synpunkter.

3 Underlag

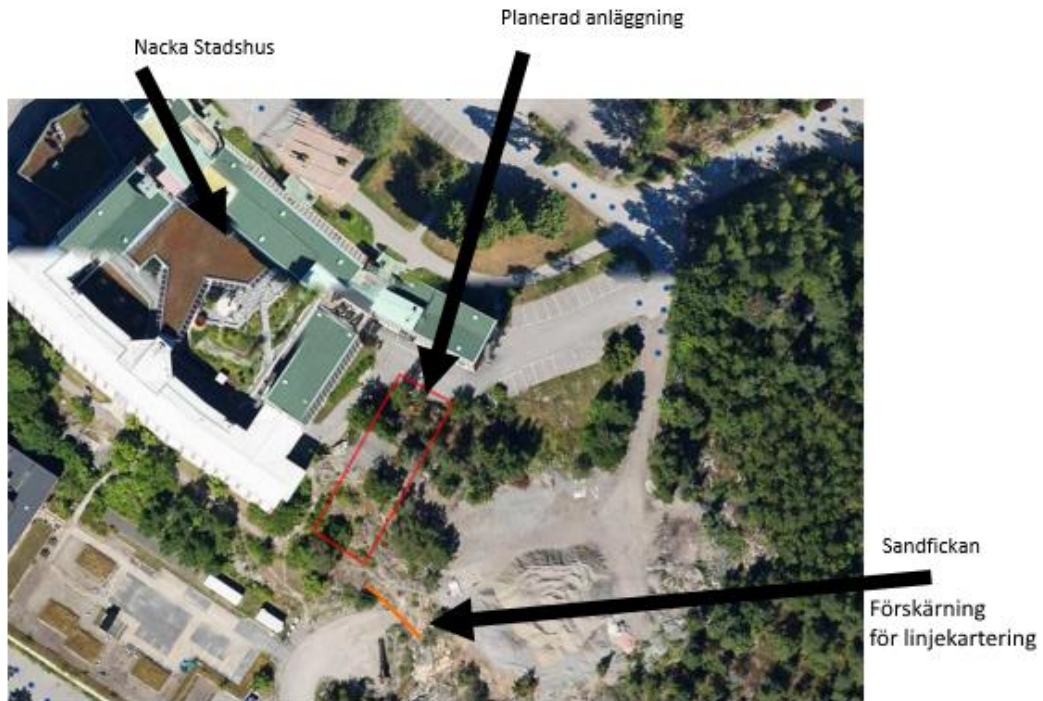
Förstudie parkeringsgarage stadshuset, 2015

4 Objekt beskrivning

I samband med bygget av området 'Nya Gatan' kommer Nacka kommun att bygga ut stadshuset, se Figur 1.



a)

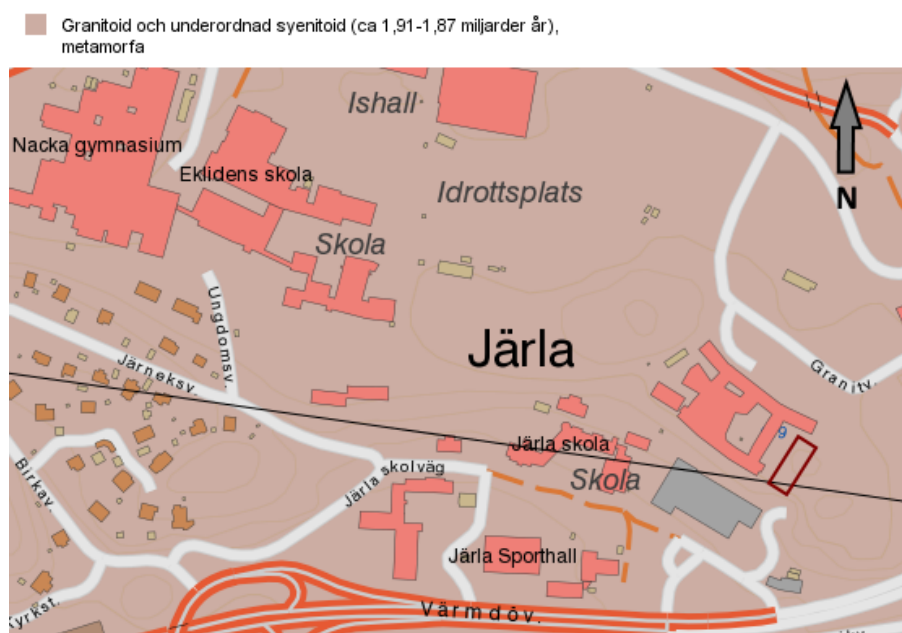


b)

Figur 1 Översiktsbild, planerat område a) gränsområdet visas med rött, b) utbyggnad av stadshuset inom fyrkantig röd gräns. Orange linje visar läget för linjekarteringen.

5 Geologin

Berggrunden består övervägande av grå granit. Graniten är fin- till medelkornig med svag foliation. Enligt SGU består berggrunden i området av granitoid med underordnad syentoid, se Figur 2.



Figur 2 SGU's berggrunds karta i undersökningsområdet



En fyrkantig tunnel som används till sandficka finns sydöst om stadshuset, Figur 3. Tunneln är ca 4 m bred, 4 m hög och 20 m lång. Det är 4-5 m bergtäckning över tunneln som går i riktning 056, se Figur 3. Tunneln är systematisk oförstärkt, men det finns enstaka bultar i påslaget (ca 5-6 stycken) och i den västra väggen av tunneln (2-3 stycken).

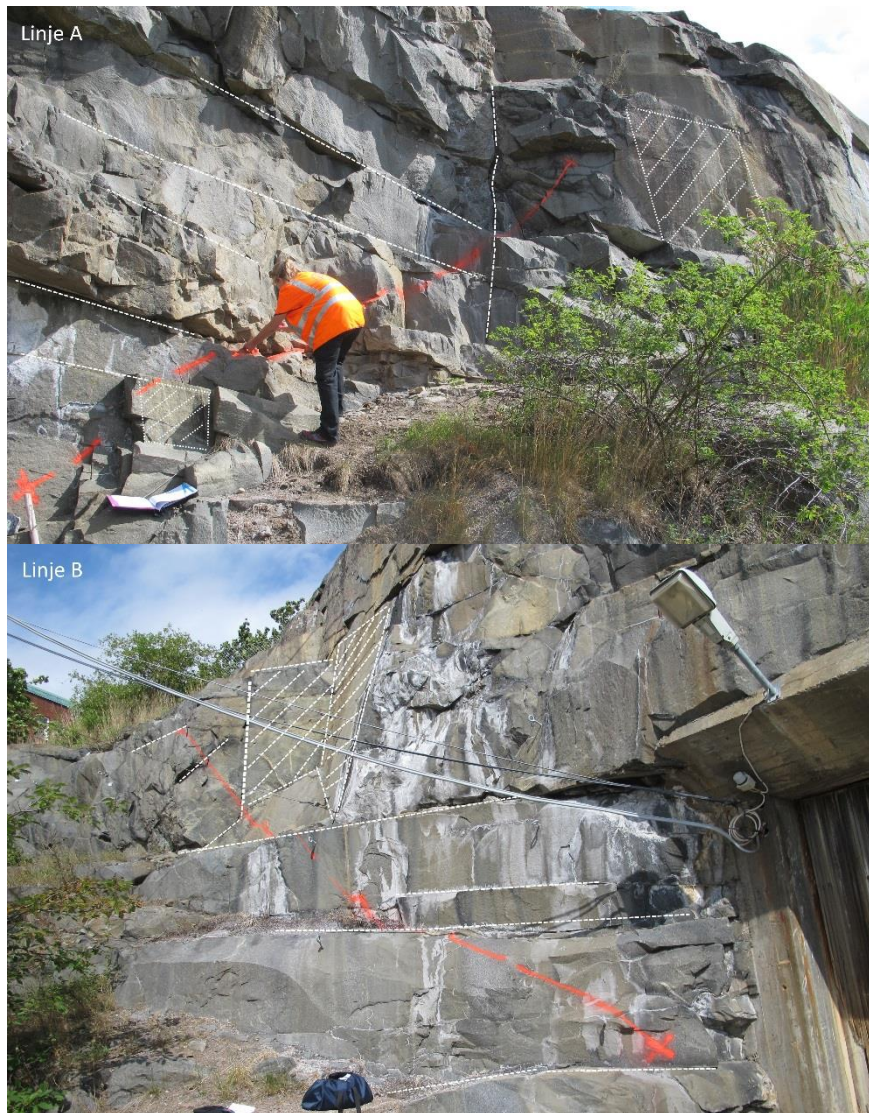
Sprickytor är generellt medelmåttigt vittrade med beläggning av rost och salt. Beläggningar av klorit, lera och sand har även observerats på sprickytor. Sprickornas råhet bedöms generellt som vågig till trappiga med få plana sprickor. I bergrummet observerades även en slira av pegmatit i graniten.



Figur 3 Förskärningen



Två linjekarteringar utfördes på bergslänten som är belägen öster om och nedanför området för den planerade anläggningen, se Figur 1 och 4. Sprickor karterades med avseende på läge längs linjen, riktning, lutning, sprickuthållighet, råhet, vittring och sprickfyllnader, se Bilaga 1. Alla sprickor som bedömdes längre än en meter längs med linjen karterades. Sprickorienteringsdata samlades in med högerhandsregeln dvs. angiven riktning för sprickplanens utbredning är 90 grader mindre än riktningen planen lutar ner mot. Terzaghi korrektion har utförts på sprickdata innan sprickgruppsanalys.



Figur 4. linjekarteringen av bergskärningen tillsammans med prominenta sprickplan. Linje A stupar/lutar i riktning 320 och linje B i riktning 120.



Figur 5 Högra väggen av tunneln

Västra väggen av tunneln är mer sprängskadad, se Figur 6.



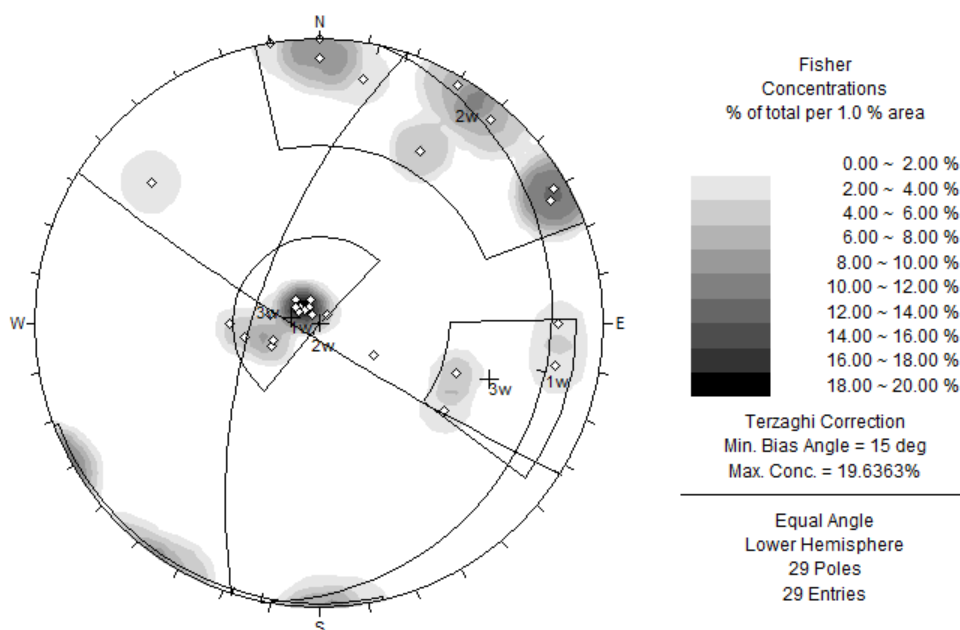
Figur 6 Västra väggen av tunneln är mer sprängskadad

5.1 Sprickgrupper

Utifrån linjekarteringens resultat finns två tydliga sprickgrupper i området och en mindre frekvent grupp, se Figur 7 och Tabell 1. En subhorisontell sprickgrupp dominerar med övervägande nordostlig strykning. Strykningen varierar mellan nordvästlig till sydostlig och stupningen mellan 0-35°. Den andra sprickgruppen är mindre frekvent och har stor spridning i strykning som varierar mellan nordostlig till sydostlig och



stupning mellan 65-90°. Den mindre frekventa gruppen har kring syd-sydvästlig till sydlig strykning och stupning mellan 40-85°.



Figur 7 Polanalys av karterade sprickor efter Terzaghi korrektion. Den dominanta sprickgruppen är horisontell med övervägande nordostlig strykning. Sprickgrupp 2 är mindre frekvent, har brant stupning och har stor spridning i riktning. Strykningen varierar mellan nordostlig till sydostlig.

Tabell 1. Tabell över bedömda sprickgrupper. Strykningsriktning är angiven enligt högerhandsregeln, se ovan.

Sprickgrupp	Strykning variation	Stupning variation	Medelvärde strykning	Medelvärde stupning
Grupp 1	320-140	1-34	012	12
Grupp 2	080-160	64-89	122	84
Grupp 3	220-180	40-85	198	64



5.2 Sprickuthållighet

Figur 8 visar sprickuthållighetens fördelning. Generellt är den observerade sprickuthålligheten kort. 60 % (12 st) av sprickorna är mellan 1-4 meter långa. Ett mindre antal sprickor, totalt 5 sprickor, är över 10-12 meter långa.



Figur 8. Histogram över sprickornas uthållighet dvs. observerad längd.

5.3 Intakt berg

Baserad på litteratur så har granit en elasticitetsmodul på 60 GPa och ett poisson tal på 0,25. Kohesion och friktionsvinkeln är 28 MPa respektive 60 grader. Draghållfastheten är 13 MPa (Lanaro F. och Fredriksson A, 2005).

5.4 Bergkvalitet

Bergkvalitet bedöms i sandfikan eftersom där finns tillgång till bergets djupdimension som är mindre påverkad av ytvittringen. Bergrummet karakteriserades enligt RMR systemet. Sandfickan delades i två delar med hänsyn till bergkvalitet. Den första hade bättre kvalitet och andra hade sämre kvalitet och mer fuktiga förhållanden dvs. vatten droppade. Följande tabell redovisar bergkvalitet baserad på RMR systemet (Rock Mass Rating)



Tabell 2 RMR klassifikation av bergmassan

RMR⁸⁹-systemet Karaktärisering					
	Hållfasthet (σ_c)	RQD (%)	Sprickavstånd	Sprickegenskaper	RMR _{Bas}
Minimivärde	100 MPa	60 (%)	<60 mm	Råa sprickytor, separation <1 mm, Kraftig vittrade sprickytor	
Min RMR-poäng	7	13	5	20	45
Medelvärde	170 MPa	70 (%)	60-200 mm	medel vittrade	
Medel RMR-poäng	9	16	8	22,5	55,5
Maxvärde	250 MPa	85 (%)	200-600 mm	Svagt vittrade	
Max RMR-poäng	12	17	10	25	64

Minvärde för RMR är 45 och maxvärde är ca 65. Bergmassan klassas som "fair" och "good rock".

6 Bergmassans egenskaper

Deformations modul av bergmassan bedöms genom Ek 1 (Bieniawski, 1978) och 2 (Serafim och Pereria, 1983) beroende på RMR värde.

$$E_m = 2RMR - 100 \quad RMR > 50 \quad \text{Ek. 1}$$

$$E_m = 10^{(RMR-10)/40} \quad RMR < 50 \quad \text{Ek. 2}$$

Baserad på RMR värde och rekommendationer från Bieniawski (1979), se tabell 3, så bedöms kohesion och friktionsvinkeln, se tabell 4 för resultat.



Tabell 3 Kohesion och friktionsvinkeln av bergmassan baserad på RMR system (Bieniawski, 1979)

S. No.	Parameter/ Properties of Rock Mass	Rock Mass Rating (Rock Class)				
		100-81 (I)	80-61 (II)	60-41 (III)	40-21 (IV)	<20 (V)
1.	Classification of rock mass	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
2.	Average stand-up time	10 years for 15 m span	6 months for 8m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5m span	30 min. for 1 m span
3.	Cohesion of rock mass (MPa)*	> 0.4	0.3-0.4	0.2-0.3	0.1-0.2	<0.1
4.	Angle of internal friction of rock mass	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	15°

Tabell 4 Bergmassans egenskaper baserad på RMR värde

Parameter	Min	Typ	Max
Kohesion (Kpa)	200	250	300
Friktionsvinkel (grader)	25	30	35
Modul (GPa)	7,5	11	28

7 Sprickegenskaper

Sprickornas egenskaper har uppskattats m. h.a. Barton Bandis brottvillkor (Barton et.al., 1983). Sprickors skjuvhållfasthet beskrevs av parametrarna φ_r , JRC och JCS, se Ek 3.

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left[\varphi_r + JRC \cdot \text{Log} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad \text{Ek. 3}$$

Där

σ_n = normalspänning i sprickytan

φ_r = residual friktionsvinkel

JRC =sprickytornas råhetskoefficient (Joint Roughness Coefficient)

JCS = Sprickornas tryckhållfasthet (Joint Compressive Strength)

7.1 Friktionsvinkeln

Sprickor observerades från fall B till D, se Tabell 5. Därför har friktionsvinkeln ett min-, max- och typvärde på 20, 30 respektive 25 grader.



Tabell 5 Residual friktionsvinkel som funktion av vittring och fyllning (Barton, 2002)










Sprickomvandlingstal, J_a	Beskrivning	ϕ_r [°]	J_a
a) Bergkontakt vid skjuvning (inga fyllnadsmineral, endast ytbeläggning).			
A	Tät, läkt, hård, ej deformationsmjuknande, impermeabel fyllning, dvs. kvarts eller epidot.	-	0.75
B	Opåverkade (ej omvandlade) sprickytor, endast missfärgning av sprickytan (beläggning).	25-35	1.0
C	Svagt omvandlade sprickytor. Ej deformationsmjuknande mineralbeläggning, sandiga partiklar, lerfritt krossat berg, etc.	25-30	2.0
D	Siltig eller sandig lerbeläggning, låg lerfraktion (ej deformationsmjuknande).	20-25	3.0
E	Deformationsmjuknande eller lågfriktionsbeläggning av lermineral, dvs. kaolin och glimmer. Även klorit, talk, gips, och grafit m.m., och små kvantiteter av svällande lera.	8-16	4.0
b) Bergkontakt uppnås före 10 cm skjuvdeformation (tunn mineralfyllning).			
F	Sandiga partiklar, lerfritt sönderdelat berg, etc.	25-30	4.0
G	Kraftigt överkonsoliderad, ej deformationsmjuknande lermineralfyllning (kontinuerlig, < 5 mm tjocklek).	16-24	6.0
H	Medel- eller lågt överkonsoliderad, deformationsmjuknande, lermineralfyllning (kontinuerlig, < 5 mm tjocklek).	12-16	8.0
J	Fyllning av svällare, dvs. montmorillonit (kontinuerlig, < 5 mm tjocklek). Värdet av J_a beror på andel (%) av svällande lerpartiklar och tillgång till vatten, etc.	6-12	8-12
c) Ingen bergkontakt uppnås vid skjuvning (tjock mineralfyllning).			
KLM	Zoner eller band av krossat eller sönderdelat berg och lera (se G, H, J för beskrivning för lerförhållanden).	6-24	6, 8, eller 8-12
N	Zoner eller band av siltig eller sandig lera (ej deformationsmjuknande).	-	5
OPR	Tjocka, kontinuerliga zoner eller band av lera (se G, H, J för beskrivning för lerförhållanden).	6-24	10, 13 eller 13-20

7.2 Sprickytoras råhetskoefficient (JRC)

Sprickytoras råhet har noterats i fält, enligt skala i Tabell 6. 29 stycken sprickor har observerats i två linjer. Medelvärde för JRC bedöms till 8 och standardavvikelsen är 1,8.



Tabell 6 Sprickytornas råhet

Relation Between Jr and JRCn Subscripts Refer to Block Size (cm)		Jr	JRC ₂₀	JRC ₁₀₀
I	Rough 	4	20	11
II	Smooth 	3	14	9
III	Slickensided  Stepped	2	11	8
IV	Rough 	3	14	9
V	Smooth 	2	11	8
VI	Slickensided  Undulating	1.5	7	6
VII	Rough 	1.5	2.5	2.3
VIII	Smooth 	1.0	1.5	0.9
IX	Slickensided  Planar	0.5	0.5	0.6

7.3 Sprickytornas tryckhållfasthet (JCS)

JCS uppskattas baserat på det intakta bergets tryckhållfasthet och vittring. JCS uppskattas med hänsyn till tryckhållfasthet av intakt berg och ändring av densitet, enligt Barton och Choubey (1977), se Tabell 7.

Tabell 7 Uppskattning av JCS baserad på vittring

Ändring i densitet [%]	σ_{ci}/JCS_{200}
0	1-2
-5	2-3
-10	3-4
-20	4-10

Baserat på observationer i fält uppskattats maximalt 5 % ändring av densiteten. Med tanke på tryckhållfasthetens medelvärde av intakt berg, 170 MPa, uppskattats medelvärdet för JCS till 55 MPa.

7.4 Sprickstyvhet

Sprickornas styvhet, normal-och skjuvstyvhet, se Tabell 8, har uppskattats från litteratur (Staub m.fl., 2002; Bandis m.fl., 1983).

Tabell 8 Sprickornas styvhet

Parameter	Min	Typ	Max
Kn (GPa/m)	10	50	100
Ks(GPa/m)	5	25	50

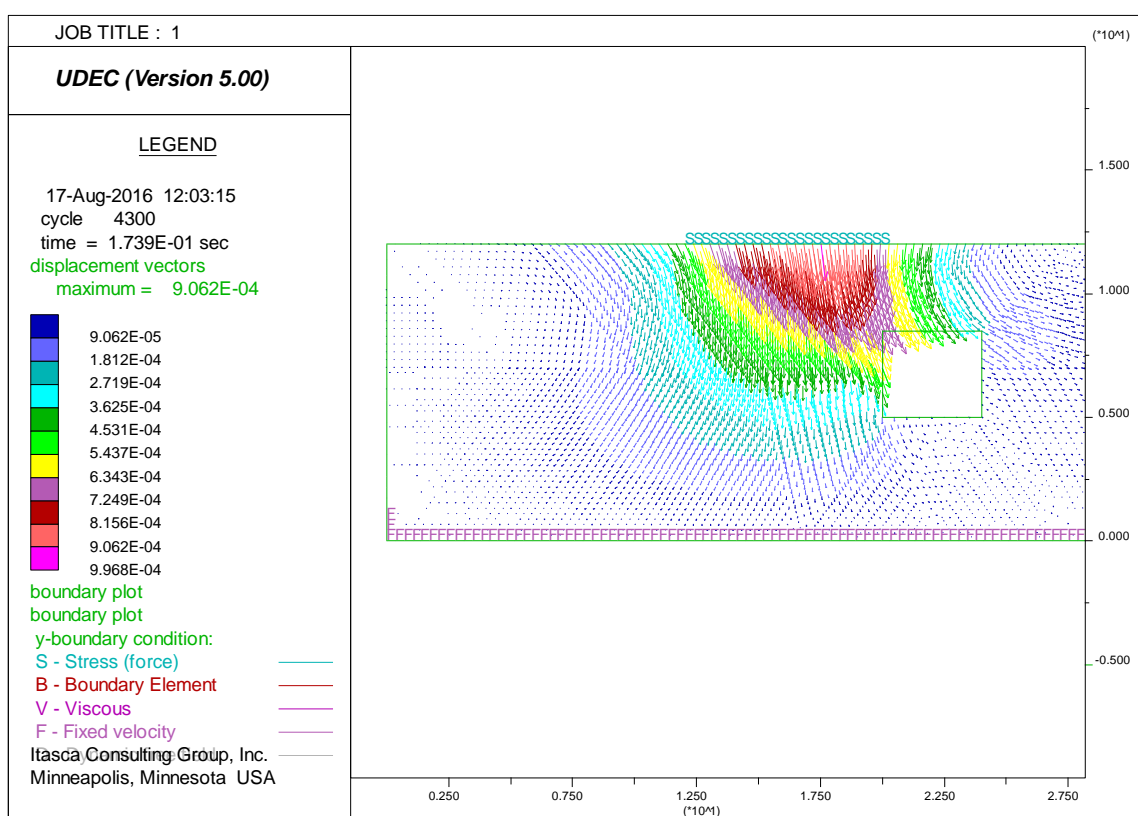


8 Numerisk analys

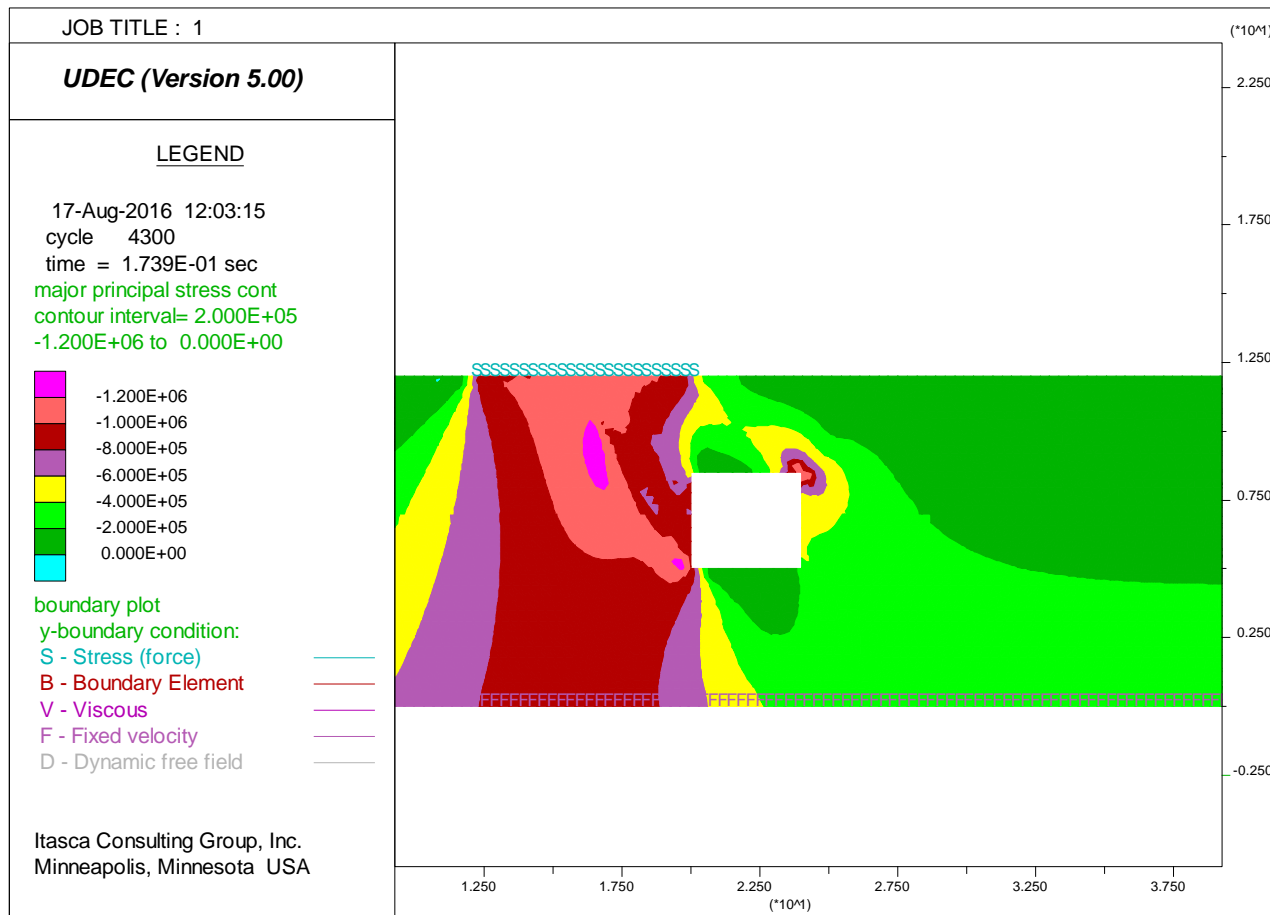
En 2D kontinuum modell har använts för att utvärdera de deformationer som uppstår vid bygget av stadshuset. Bergtäckningen vid området är som minst ca 4 m, Figur 3. Geometrin och belastningen väljs så att den två-dimensionella modellen ger en konservativ bedömning av deformationen av berget. Det är inte specificerat från beställaren hur många våningar byggnaden kommer att ha eller hur djup grundläggningen ska vara, därför är lasten osäker. En stor last lika med 1 MPa antogs vilket är på säkert sidan och i verkligheten kommer att byggnaden lastar berget mindre. Modellen är 45 m i bredd (X-led) och 12 m i höjd (Y-led). Modellen är tillräckligt stor att får ingen randeffekt.

En initial spänningssituation med gravitationsbelastning har antagits som kritiskt fall för sandfickan och bergslänten. En numerisk modell med typvärden för bergmassans egenskaper har körts och resultaten visar följande:

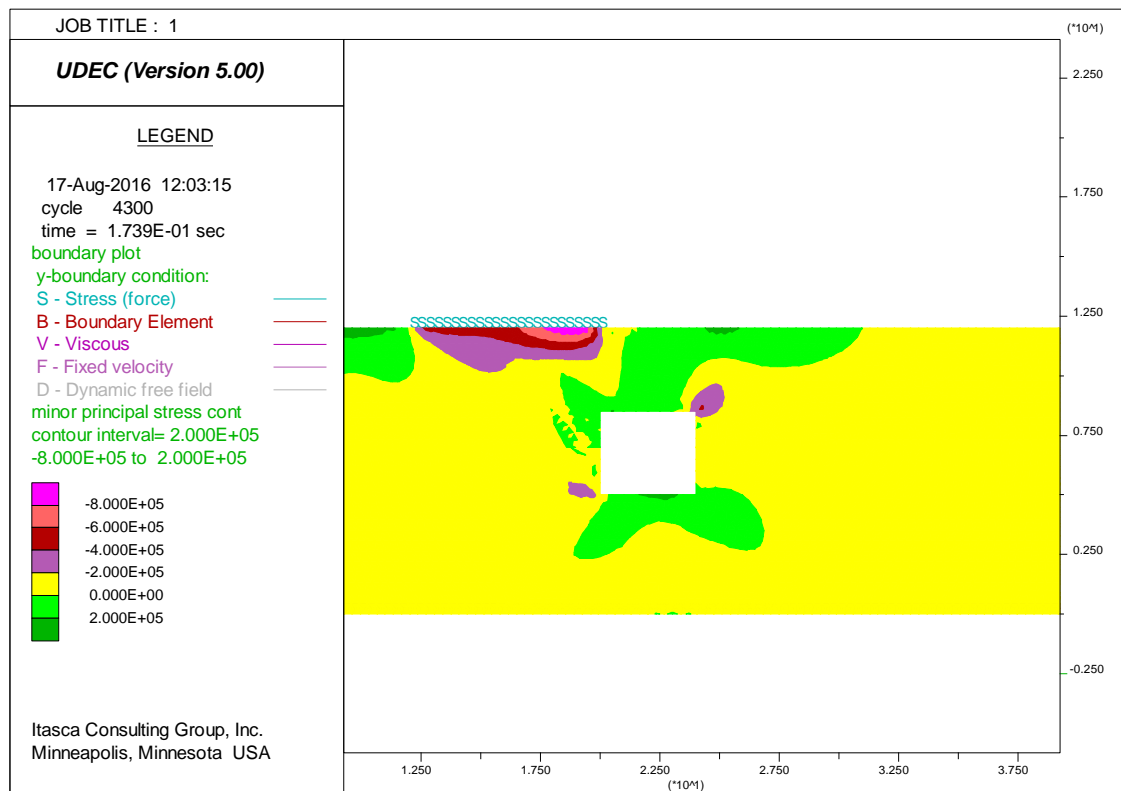
Maximal deformation bedöms till 1 mm och maximal dragspänning som sker i sandfickan är ca 0,2 MPa, vilket är mindre än draghållfastheten.



Figur 9 Deformation runt sandfickan p.g.a. byggnadens last.



Figur 10 Största huvudspänningar p.g.a. byggnadens last.

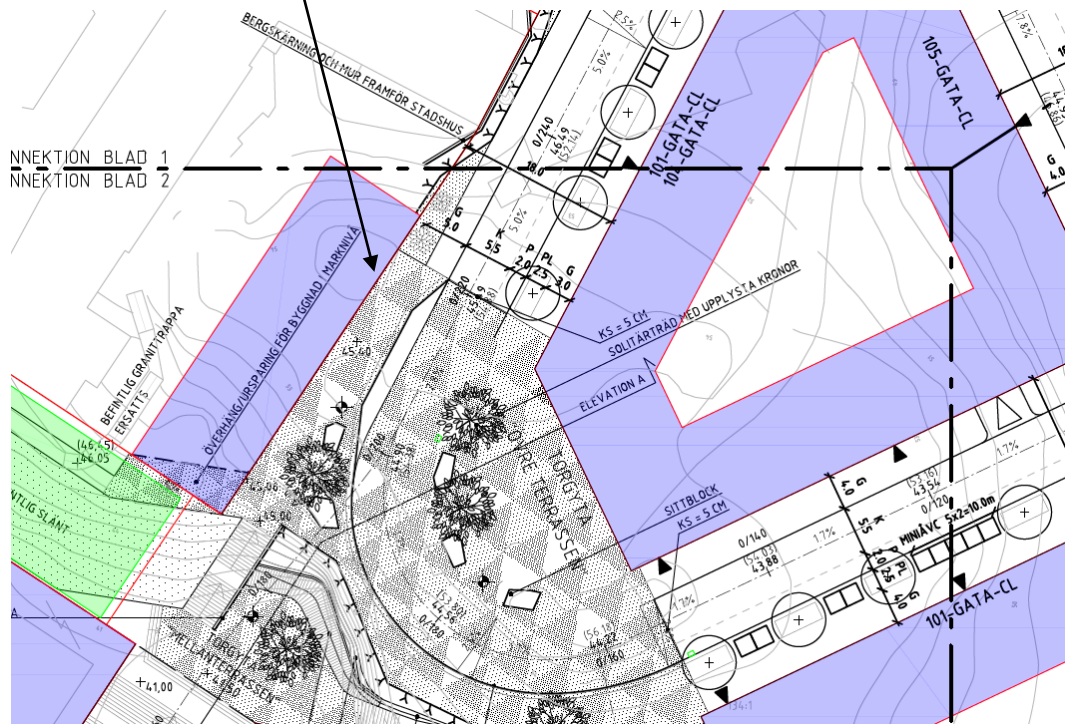
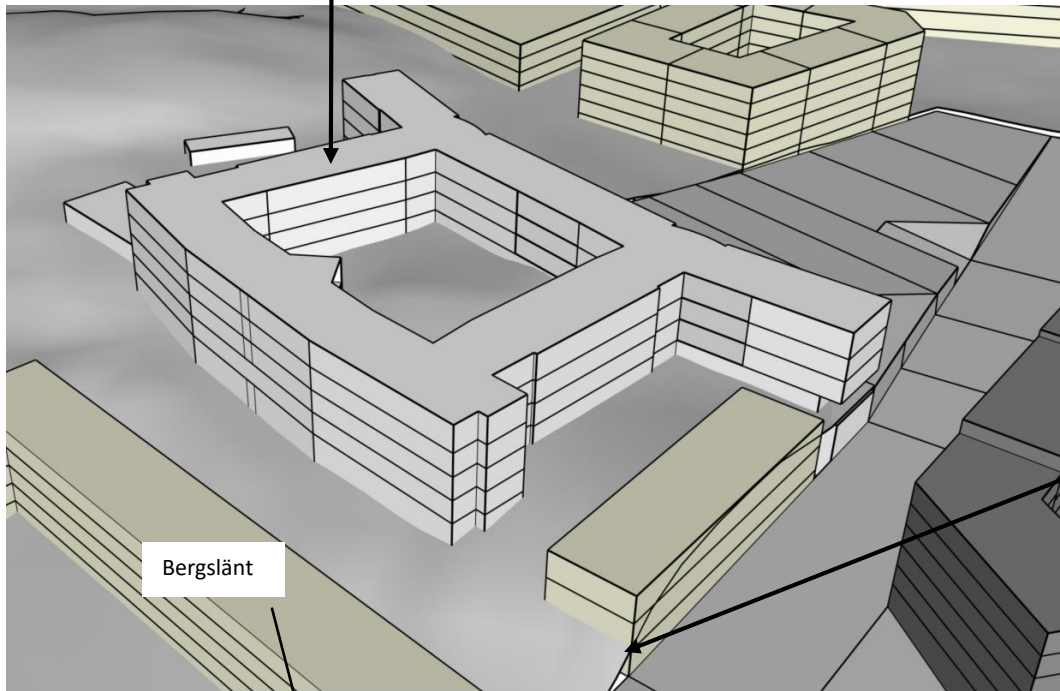


Figur 11 Minsta huvudspänningar runt sandfickan p.g.a. byggnadens last.

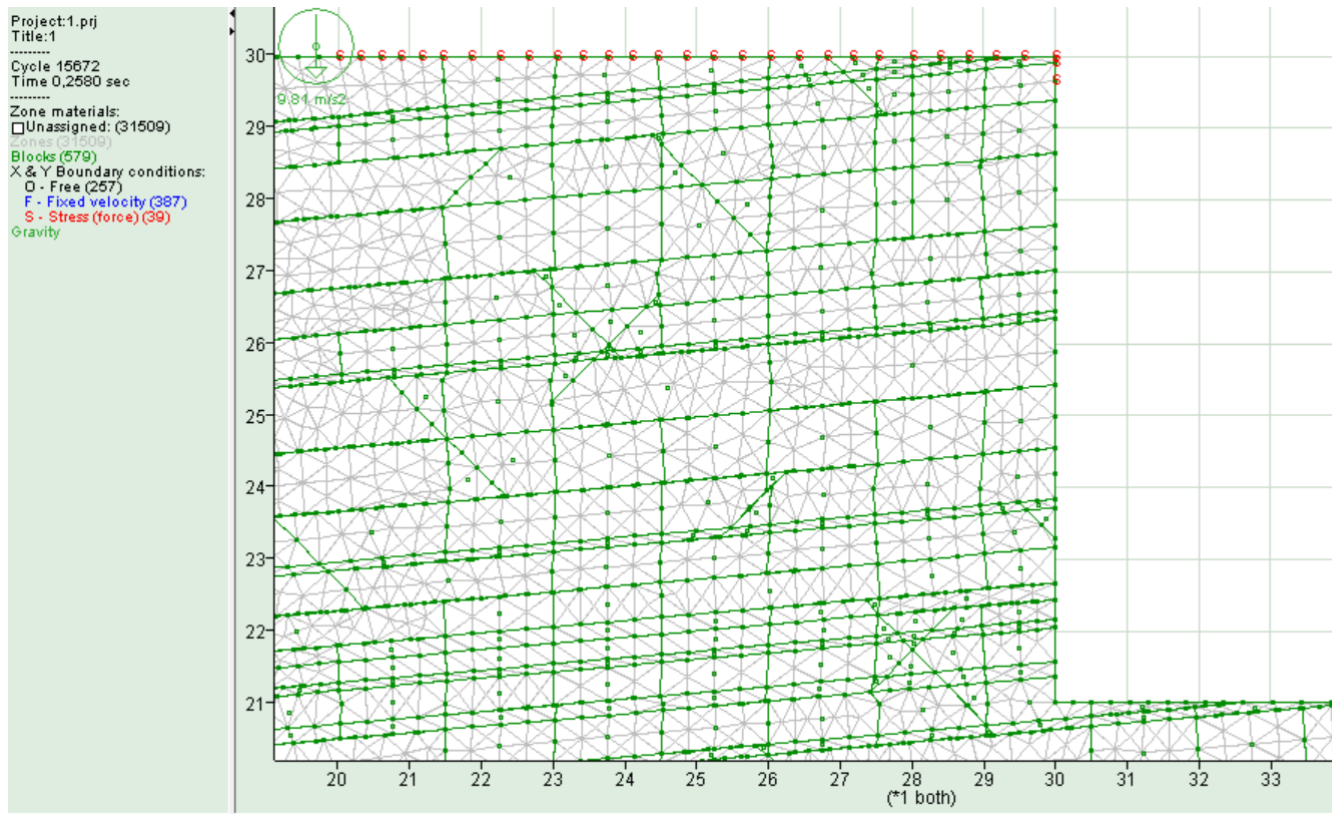
9 Numerisk modell för bergslänt

Med tanke på utschaktning av berget framför planerat stadshus, Figur 12, släntens stabilitet ska utredas. En numerisk modell DEM (Discontinuum Element Method) används för stabilitetsberäkningar av bergslänten. Bergslänt har en höjd på ca 9 m och schaktas vertikal. Sprickor modelleras i modellen, se Figur 13. Deformation på bergslänten bedöms till ca 1 mm.

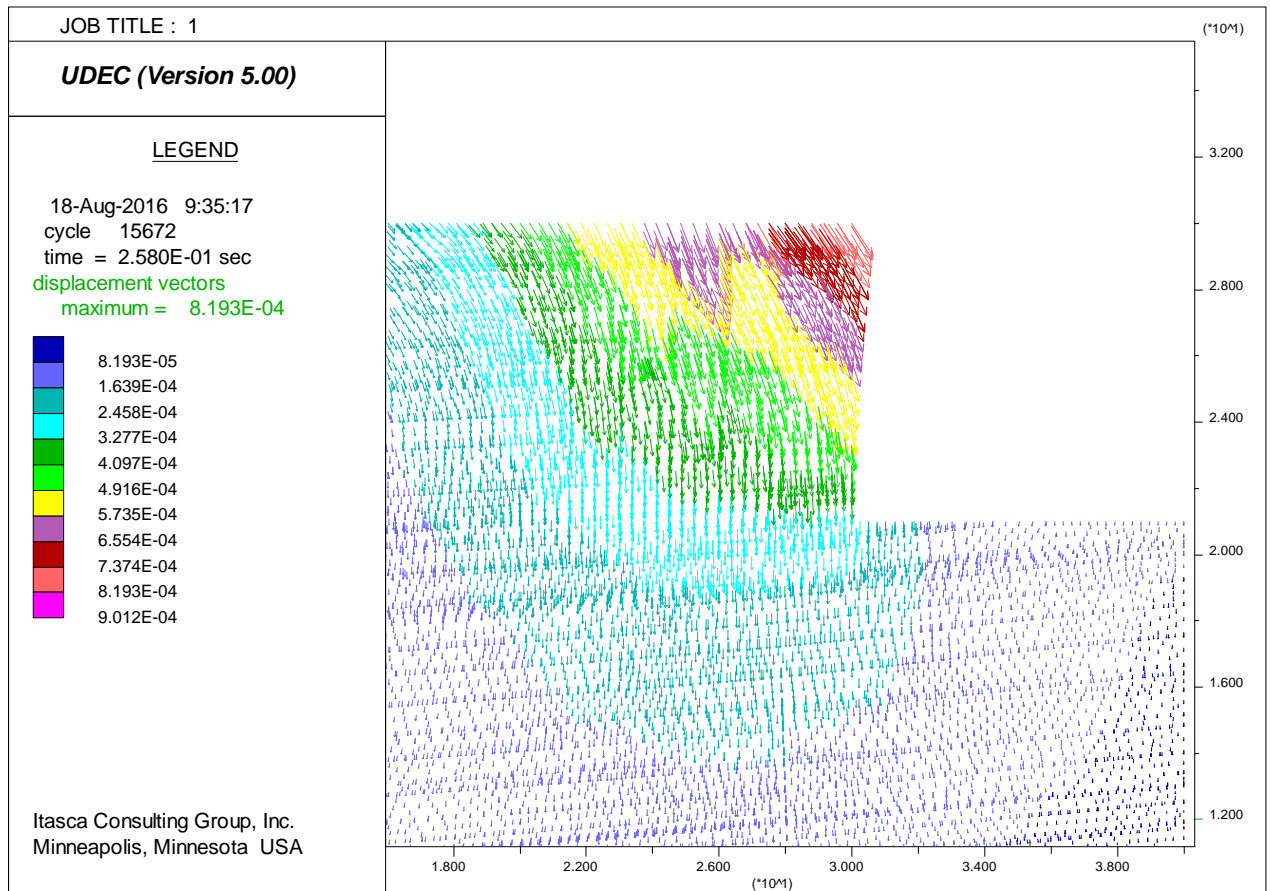
Befintligt stadshus



Figur 12 3D modell och plan för planerad anläggning och bergslänt



Figur 13 Numerisk diskontinuum modell för bergskärning



Figur 14 Deformation för bergslänt max ca 1 mm

Resultaten från analyserna tyder på att det inte finns risk för storskalig instabilitet, men att det finns lokala instabila bergblock som ska åtgärdas med bergbult med hjälp av en bergsakskuning på plats. Innan utschaktning av bergslänten påbörjas ska berget i slänt krönen förbultas.

10 Slutsats

Vid byggnationen ovanpå sandfickan är det inte någon risk för instabilitet i berget då bergtäckningen bedöms tillräcklig. Minsta bergtäckning ovanpå tunneln är halva tunnelbredden ca 2 m. Det finns enstaka rostiga bergbultar vid tunnelpåslaget och västra väggen av tunneln. Det finns lösa bergblock och det behövs skrotas och förstärkas med nya bultar.

Det finns ingen stor risk för storskalig stabilitet vid utschaktning av bergslänt framför planerade anläggning. Dock måste det förbultas innan utschaktning påbörjas. Selektiv bultning ska markeras på instabila block m. h. a. bergsskuning på plats. Även bergmekaniska analys är på säkert sidan, rekommenderas vidare bergmekanisk utredning eftersom last från byggnaden och djupet för grundläggning är oklart i detta skede.



Sprängningsarbete kan genomföras hur nära som helst till befintlig byggnaden. I sådana fall kan inledas en slits mot befintlig byggnad innan sprängarbeten påbörjas för att dämpa ner vibrationer. Ett annat alternativ är att använda wiresågning istället för sprängning.

Referenser

Barton N. 2002, Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*; 39(2):185–216

Barton, N.R. and Bandis, S. (1983). Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock. *Issues in Rock Mechanics - Proc. 23rd US Symp. on Rock Mechanics*, Berkeley, CA, Soc. Mining Eng. of AIME, 739-60.

Barton, N.R. and Choubey, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mech.* 10(1-2), 1-54.

Bieniawski Z. T. 1978, determining Rock Mass Deformability, experience from case histories, *Int. Jr. Rock Mech. And Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Pergamon, 15, pp. 237-247.

Bieniawski Z. T. 1979, A comparison of rock deformability measurement by Petite Seismic, the Goodman Jack and Flat Jacks, *Rapid Excavation and Tunnelling Conference*, Atlanta

Itasca Consulting Group Inc. 2015, UDEC universal Distict Element Method User's Manual

Lanaro F. Fredriksson A. 2005, Rock mechanics model summary of the primary data, R-05-83, SKB

Serafim, J. L. and Pereira, J. P. 1983, considerations of the geomechanics classification of Bieniawski, *Int. Symp. Eng. Geol. Underground constr.* LNEC, Lisbon, Vol 1. Pp. II. 33-II.42.

Staub I, Fredriksson A, Outters N, 2002. Strategy for a Rock Mechanics Site Descriptive Model: Development and Testing of the Theoretical Approach. SKB Report R-02-02. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.