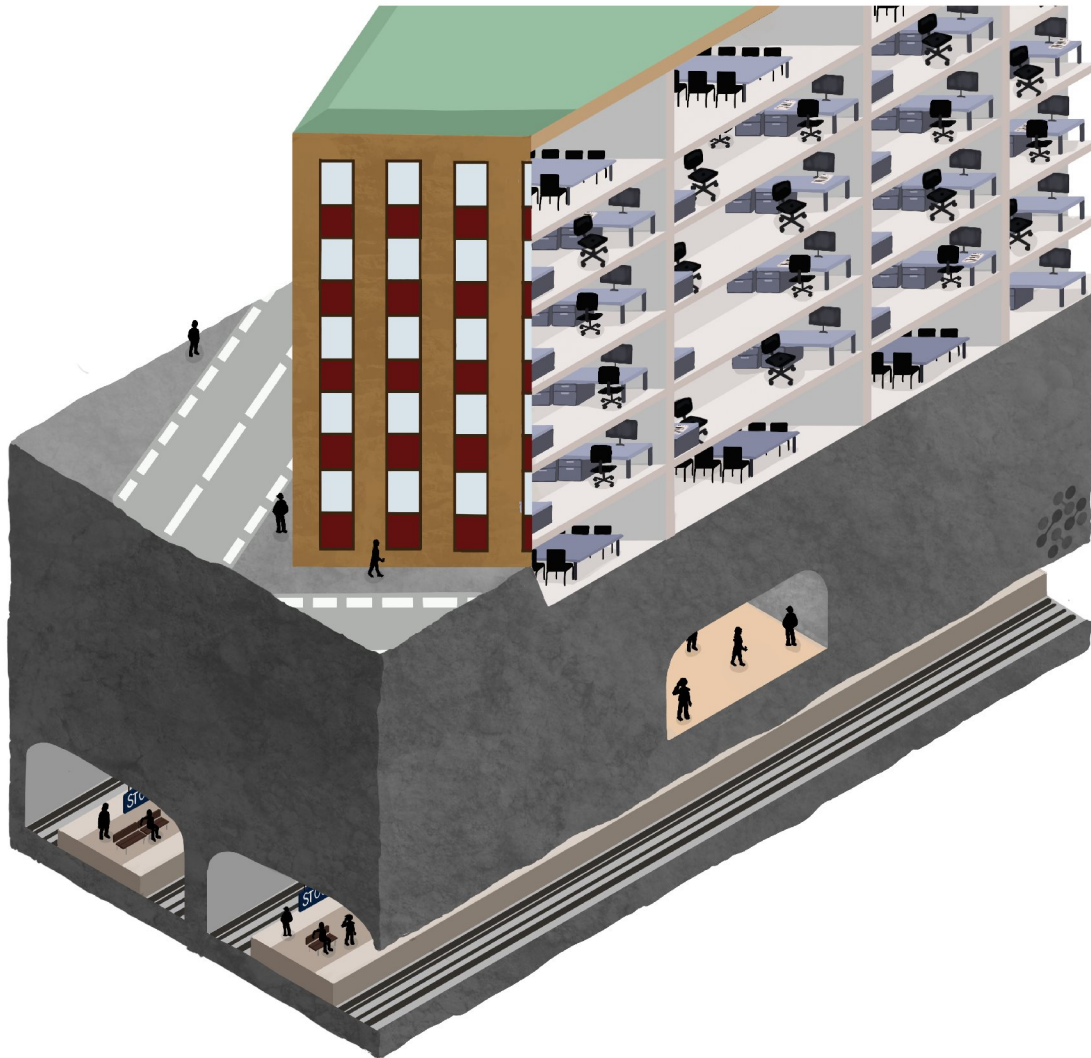


PM Berg
ORGELPIPAN 7 - PÅBYGGNAD



UTREDNING
2020-01-16

Uppdrag: 298444, Orgelpipan 7 - Påbyggnad

Titel på rapport: Orgelpipan 7 - Påbyggnad

Status: Utredning

Datum: 2020-01-16

Medverkande:

Beställare: Hufvudstaden AB

Kontaktperson: Karl Palm

Konsult: Tyréns AB

Uppdragsansvarig: Niklas Karlsson

Handläggare: Chunling Shan

Kvalitetsgranskare: Rikard Gothäll

Revideringar:

Revideringsdatum: ÅR-MÅN-DAG

Version: Granskningsnummer

Initialer: Namn, Företag

Författare:

Datum: ÅR-MÅN-DAG

Handlingen granskad av:

Datum: ÅR-MÅN-DAG

Tyréns AB

Tel: 010 452 20 00

www.tyrens.se

Säte: Stockholm

Org.Nr: 556194-7986

SAMMANFATTNING

Inledning

Hufvudstaden AB planerar att bygga på och utveckla fastigheten Orgelpipan 7. Detta PM beskriver förutsättningarna för denna påbyggnad med avseende på underliggande berganläggningar till pendeltågstation Stockholm City, och syftar till att utgöra underlag i detaljplaneprocessen för Orgelpipan 7.

Bergtekniska förutsättningar

Orgelpipan 7 är grundlagd med plintar på berg, och fastigheten är lokaliserad direkt ovanför det centrala mellanplanet i Citybanan, där minsta bergtäckningen dem emellan är ca 7,5 m. Aktuellt påbyggnadsförslag för innebär ökade grundläggningslaster om ca 10–70 % på plintar och väggar gentemot befintliga. Den begränsade bergtäckningen i kombination med komplex tunnelgeometri har föranlett behov av en numerisk beräkning för att undersöka effekten av en ökad pålastning på bergmassan, samt eventuella konsekvenser i Citybanan.

Metodik

En numerisk beräkning har gjorts genom en 3D finita elementanalys i programvaran Comsol Multiphysics, vilket syftar till att dels utreda inverkan av ökade grundläggningslaster på befintliga bergrum, och dels inverkan på befintlig förstärkning i det centrala mellanplanet.

Resultat

Påbyggnad av Orgelpipan 7 ger störst lastpåkänning i fastighetens norra del mot Mäster Samuelsgatan, vilket ovanligger Citybanans spår tunnlar och tillhörande rulltrappsschakt. Uppkomna förändringar i bergmassans spänningstillstånd är små och tillskottsdeformationen är som mest omkring 0,1 mm. Modellen visar även att belastningsförändringarna i befintlig förstärkning till det centrala mellanplanet är mycket små.

Diskussion

Den totala tilltagande deformationen i konturen kring centrala mellanplanet efter pålastning är genomgående så liten att det bedöms sakna betydelse för befintlig förstärknings dimensionering. Bergets bärförmåga är avsevärt större än den pålastning som tre tillkommande våningsplan orsakar, men bergmassans bärighet kan däremot influeras av den rörelsezon som är dokumenterad i området kring rulltrappsschaktet. I rörelsezonerna skapas tilltagande skjuvspänningar, men vilket inte bedöms som kritiskt för bergmassans bärighet.

Den numeriska beräkningen grundas på de projekteringsförutsättningar som nyttjats vid projekt Citybanan, och skulle det verkliga spänningstillståndet vara sådant att modellen inte håller borde detta ha visat sig i form av stora rörelser i Orgelpipans grundläggning i samband med bygget av Citybanan. I det fall att mätresultat från övervakningsprogram för Orgelpipan 7 tillgängliggörs i senare skede bör dessa utvärderas.

Sammanfattning

Bergmassans bärighet anses oförändrad efter pålastning och genomförbarheten för den planerade påbyggnaden är god. Gällande eventuella försvars- och förstärkningsåtgärder, såväl som kontrollprogram för Citybanan bör tidigare upprättade avtal återopas. Det är Tyréns bedömning att lastförändringarna är så små att försvarsåtgärder inte är nödvändiga, men det behöver verifieras i byggskedet med ett kontrollprogram som måste utformas i samråd med anläggningsägarens driftsavdelning.

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Syfte	6
1.2	Tidigare utredningar	6
1.3	Områdesbeskrivning och lastsituation	6
1.4	Underlag	8
2	Bergtekniska förutsättningar	9
2.1	Allmänt	9
2.2	Bergspänningsförhållanden	9
2.3	Bergtäckning	10
3	Metodik	12
3.1	Allmänt	12
3.2	Modellgeometri	12
3.3	Randvillkor	12
3.4	Mesh	13
3.5	Materialegenskaper	14
3.6	Initialspänningsförhållanden	14
3.7	Yttre laster	15
4	Resultat	19
4.1	Allmänt	19
4.2	Utvärdering av stabilitet kring det centrala mellanplanet	19
4.2.1	Huvudspänningar kring det centrala mellanplanet	19
4.2.2	Deformationer i centrala mellanplanet	20
4.2.3	Tryckspänningsförändringar kring det centrala mellanplanet	24
4.3	Utvärdering av rörelsezon RZ2	25
4.3.1	Tryckspänningsförändringar kring RZ2	26
4.3.2	Total deformation i rörelsezon RZ2	27
4.3.3	Laständringar i bultarna	28
5	Diskussion	30
6	Sammanfattning	31

Förkortningar

FEA	Finite Element Analysis
PM	ProMemoria
RZ2	Rörelsezon 2

Symboler

σ_1	Första huvudspänning
σ_2	Andra huvudspänning
σ_3	Tredje huvudspänning
σ_H	Största horisontalspänningen i bergmassan (Initialspänning)
σ_h	Minsta horisontalspänningen i bergmassan (Initialspänning)
σ_v	Vertikalspänning i bergmassan (Initialspänning)
θ_{σ_H}	Vinkel som anger bäringen på σ_H , definierad medurs från norr
σ_{cm}	Enaxiell tryckhållfasthet för bergmassa
E	Bergmassans elasticitetsmodul
ν	Bergmassans tvärkontraktionstal (Poissons tal)
ρ	Bergmassans densitet

Definitioner

Det globala koordinatsystemet i programvaran Comsol Multiphysics är kartesiskt, högerorienterat med z-riktningen vertikal och med positiv riktning definierad uppåt. Positiv riktning på y-axeln är mot norr. Comsol Multiphysics definierar tryckspänningar som negativa, vilket innebär att den största tryckspänningen är den tredje huvudspänningen σ_3 .

1 Inledning

1.1 Syfte

Hufvudstaden AB planerar att utveckla fastigheten Orgelpipan 7 i centrala Stockholm med en påbyggnad av nya våningsplan. Det påbyggnadsalternativ som är aktuellt för Orgelpipan 7 i dagsläget innefattar tre nya våningsplan som utförs med indragen fasad över hela fastigheten. Det befintliga husets indrag mot Mäster Samuelsgatan avses byggas igen med våningsbjälklag. På uppdrag av Hufvudstaden AB utreder Tyréns konstruktionsavdelning förutsättningar för planerad påbyggnad med hänsyn till befintlig stomme och grundläggning, och har tillhandahållit preliminära lastnedräkningar som underlag till en bergmekanisk utredning av bergmassans bärighet och eventuell påverkan på närliggande berganläggning.

Orgelpipan 7 är grundlagd med plintar på berg, och fastigheten är lokaliserad direkt ovanför det centrala mellanplanet tillhörande pendeltågstation Stockholm City. Det aktuella påbyggnadsförslaget innebär sammantaget en tillkommande lastökning om ca 10–70 % på plintar och väggar gentemot dagens befintliga laster. På uppdrag av Hufvudstaden AB utreder Tyréns de bergtekniska förutsättningarna för denna påbyggnad med avseende på underliggande berganläggningar, med syfte att utgöra underlag till detaljplaneprocessen

1.2 Tidigare utredningar

2018 utförde Tyréns en bergteknisk utredning åt Hufvudstaden AB av då gällande, och mer omfattande, påbyggnadsalternativ innefattande 3 respektive 9 våningar i olika sektioner av fastigheten Orgelpipan 7 (alternativ +55), daterat 2018-03-29. Summariskt resulterade tidigare utredning i att den totala tilltagande deformationen efter pålastning enligt alternativ +55 (9 våningar) orsakar mycket små deformationer i konturen kring det centrala mellanplanet. Där den största risken bedömdes bestå i att ytorna kring förekommande rörelsezon RZ2 snedbelastas och orsakar en skjuvrörelse mellan sprickytorna, vilken skulle kunna orsaka hävning och/eller rotation av block i bergmassan, och därmed påverka bergmassans bärighet ovan centrala mellanplanet.

Analysresultatet påvisade tilltagande skjuvspänningar i rörelsezonerna efter pålastning, men som ej ansågs kritiskt för bergmassans bärighet. Sammantaget bedömdes bergmassan under Orgelpipan 7 som fortsatt stabil efter pålastning enligt alternativ +55. Föreliggande utredning i detta PM utgår från den tidigare framtagna analysmodellen, men med uppdaterade plintlaster samt komplettering av befintlig bergförstärkning i det centrala mellanplanet. Information har hämtats från de relationshandlingar som tillhandahållits av Trafikverket i tidigare utredningsskede.

1.3 Områdesbeskrivning och lastsituation

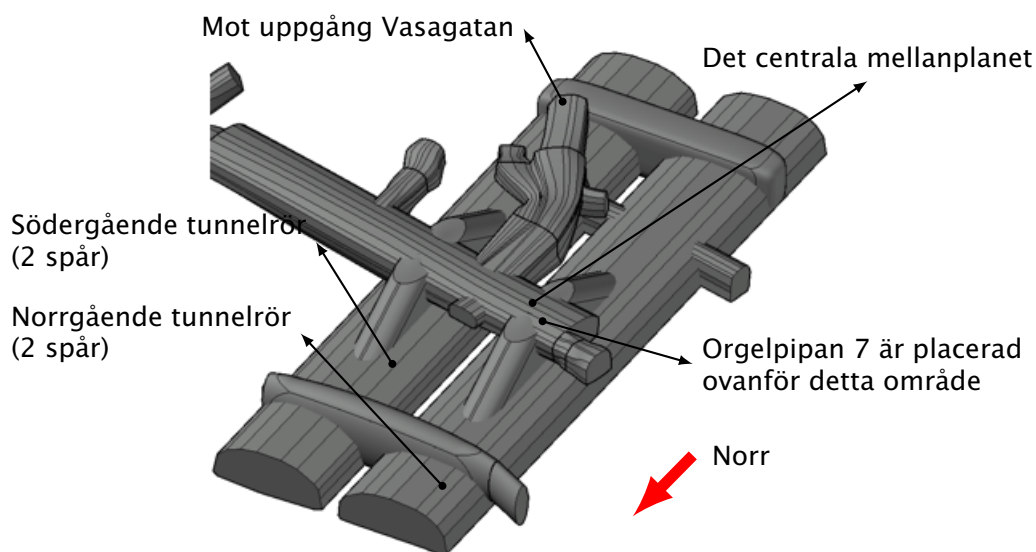
Station Stockholm City är en pendeltågsstation som ligger under T-centralen. Stationen togs i drift 2017 och består av två stationstunnlar, två perronger och fyra spår. Det centrala mellanplanet sammanbinder Citybanans två pendeltågsperronger via rulltrappsschakt, se beskrivning i Figur 1.

Minsta bergtäckningen mellan teoretiskt tak i det centrala mellanplanet och källarplan i Orgelpipan 7 uppskattas till cirka 7,5 m i fastighetens västra del närmast Vasagatan, vilket tidigare även sammanföll med de högst belastade plintarna i planerad 9-vånings

påbyggnad. I nuvarande 3-våningspåbyggnad hamnar de största lastförändringarna däremot på plintar som ovanligger rulltrappsschakten till det centrala mellanplanet. Det centrala mellanplanet har en spännvidd på cirka 16 m och en höjd på ungefär 6,5 m. Den begränsade bergtäckningen i kombination med en komplex tunnelgeometri i Citybanan (dvs. relativt stora spännvidder, fleraxliga korsningspunkter och rulltrappsschakt) föranledde, i tidigare skede, behov av en numerisk lastnedräkning för att undersöka effekten av en ökad pålastning på bergmassan.

Innevarande påbyggnadsalternativ om 3 våningar medför störst lastpåökning i fastighetens norra del mot Mäster Samuelsgatan, där lasten ökar med 30–70 %, och således överstiger de laster som utretts i tidigare skede för aktuella plintar. De grundläggningsfundament som berörs av detta har däremot en mindre kritisk placering i förhållande till det centrala mellanplanet i Citybanan. Lasten ovanligger där spårtunnlarna som ligger på en betydligt djupare nivå i berget och bergtäckningen därmed är större, men den betydligt djupare grundläggningsnivån i fastighetens nordöstra hörn behöver beaktas. Det bör även noteras att området angränsar mot tillhörande rulltrappsschakt, som av geometriska skäl inte bör försummas.

I detta dokument utreds de bergmekaniska förutsättningarna för påbyggnaden med hjälp av strukturanalys genom FEA (Finite Element Analysis) av undermarksanläggningen. Arbetet i detta PM grundas bland annat på Tyréns tidigare bergutredning och konstruktions-PM, se Ref. 6 och 7 i Kapitel 1.4.



Figur 1: Illustration över delar av Station Stockholm City och det centrala mellanplanet.

1.4 Underlag

Följande dokument utgör underlag för arbetet:

1. Information om befintliga plintar under Orgelpipan 7 har hämtats från detta dokument: Tyréns, "Pendeltågstunnel Tomtebodavägen - Stockholms Södra, Station City, Orgelpipan 7, Grundläggning Befintlig Byggnad", ritningsnummer: 0228-30-820
2. Följande dokument har använts som källa för initialspänningar och initialspänningsriktningar: Vattenfall Power Consultant, "Initiala bergspänningar i Stockholmsområdet - Underlag för projektering av Citybanan", 2007-04-10
3. Förvaltningsdata gällande centrala mellanplanet och Norrströmstunneln har hämtats från följande dokument: Trafikverket, "Citybanan i Stockholm, Dimensioneringsunderlag Station City", dokumentnummer: 9523-13-025-023
4. Grundläggningslaster som använts i analyserna har hämtats från följande dokument: Tyréns, "Orgelpipan 7 - Linjelaster och laster från viadukt.pdf", email "SV: Orgelpipan 7: Lastnedräkning" 2018-02-01
5. Lasermoln som använts vid modelletablering: Relationshandling med laserskannat punktmoln för Norrströmstunneln, Citybanan, har tillhandahållits av Trafikverket, 2017-10-27
6. En av Tyréns tidigare bergutredningar som bland annat använts för information gällande rörelsezon RZ2: Tyréns, "Orgelpipan 7 - Bergutredning", 2017-11-07
7. De konstruktionsmässiga detaljerna för en påbyggnad diskuteras i följande PM: Tyréns, "Orgelpipan 7 - Förutsättning för påbyggnad, underlag till parallella uppdrag", 2017-02-07

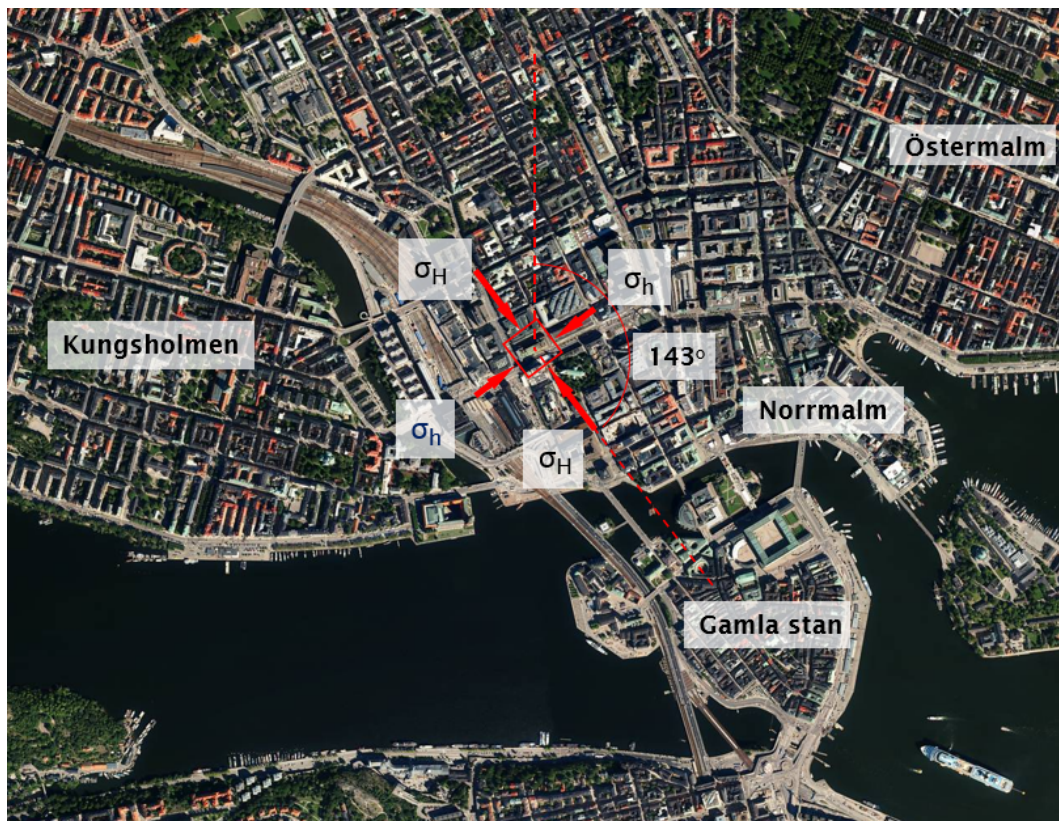
2 Bergtekniska förutsättningar

2.1 Allmänt

I detta kapitel beskrivs de bergtekniska förutsättningarna för analysarbetet. Tyréns har utgått från projekteringsunderlaget för Citybanan i utvärderingen av bergmassans initialspänningar, Ref. 2.

2.2 Bergspänningsförhållanden

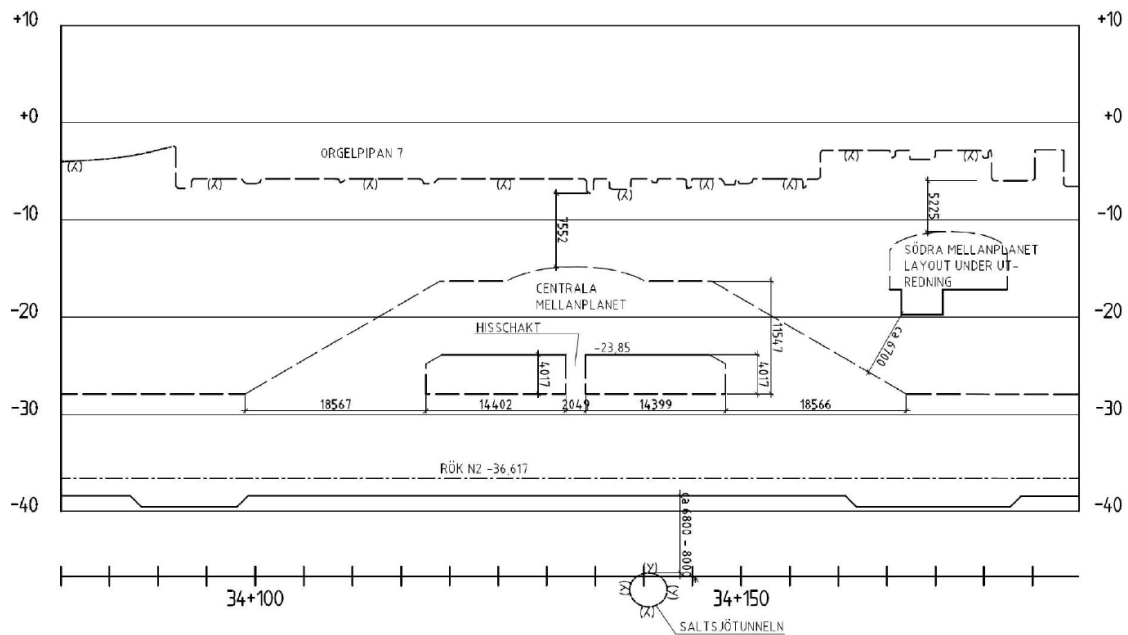
De bergspänningsförhållanden som antas råda i bergmassan i området presenteras i Figur 2. Spänningsmagnituderna och riktningarna är typvärden hämtade från projekteringen av Citybanan och bedöms ge en realistisk bild av spänningssituationen. Detta grundar sig på antagandet att om initialspänningarna varit betydligt lägre (typiskt lägre än 1 MPa) kunde exempelvis blockutfall ha varit ett svårhanterligt problem vid byggandet av Citybanan. Våldigt stora spänningar skulle i sin tur kunna ha orsakat påtagliga rörelser i befintliga undermarksanläggningar. Vid bygget av Citybanan har inga observationer som skulle kunna tyda på avvikande spänningsmagnituder rapporterats. Magnituder på σ_h och σ_H redovisas i Kapitel 3.6.



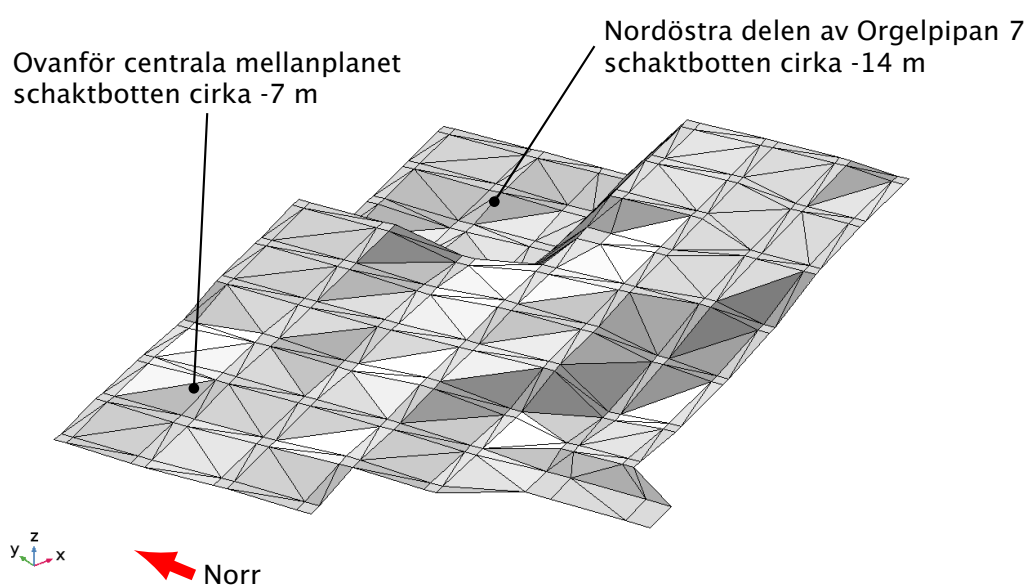
Figur 2: Illustration av initialspänningar i bergmassan runt kvartetet Orgelpipan.

2.3 Bergtäckning

Bergtäckningen mellan det centrala mellanplanet och Orgelpipan 7 uppskattas till cirka 7,5 m, se ritning över centrala mellanplanet i Figur 3. Den begränsade bergtäckningen i kombination med en komplex tunnelgeometri har föranlett behov av en numerisk lastnedräkning för att undersöka effekten av en ökad pålastning på bergmassan. En 3D modell över schaktbotten under Orgelpipan 7 visas i Figur 4. Den del av byggnaden som ligger över det centrala mellanplanet har en något grundare grundläggning.



Figur 3: Teoretisk bergtäckning mellan centrala mellanplanet och grundläggning för Orgelpipan 7, Ref. 3.



Figur 4: 3D modell över schaktbotten illustrerar det varierande grundläggningsdjupet.

3 Metodik

3.1 Allmänt

Comsol Multiphysics v. 5.5 har använts för 3D FEA (Finite Element Analysis) av centrala mellanplanet och Orgelpipan 7:s grundläggning med omkringliggande bergmassa. Analyserna har utförts i två steg för att dokumentera inverkan av ökade grundläggningslaster på befintliga bergrum. Befintlig förstärkning i det centrala mellanplanet betraktas också i analyserna, där bultar och sprutbetong har inkluderats i modellen i andra beräkningssteget. Bultarna simuleras som endimensionella (1D) balkelement om 5 m i längd (se Figur 6) och sprutbetongen modelleras som ett skal med tjocklek 75 mm på insidan av tunnelkonturen. Underlag på utförd bergförstärkning i anläggningen hörör från Citybanans relationshandlingar.

Den valda metodiken är lämplig då lasthistoriken för det centrala mellanplanet är mycket komplex. Den tekniska beräkningen syftar endast till att visa hur ökade grundläggningslaster inverkar på bergmassan under Orgelpipan 7. Modellen visar därför inte förväntad belastning i förstärkningselementen utan bara förändringarna i densamma vid förändrad ovanlast. Hur bygget av Citybanan och det centrala mellanplanet har påverkat Orgelpipan 7 innefattas inte i detta dokument. Beräkningsstegen presenteras i Tabell 1.

Tabell 1: Beskrivning av beräkningssteg

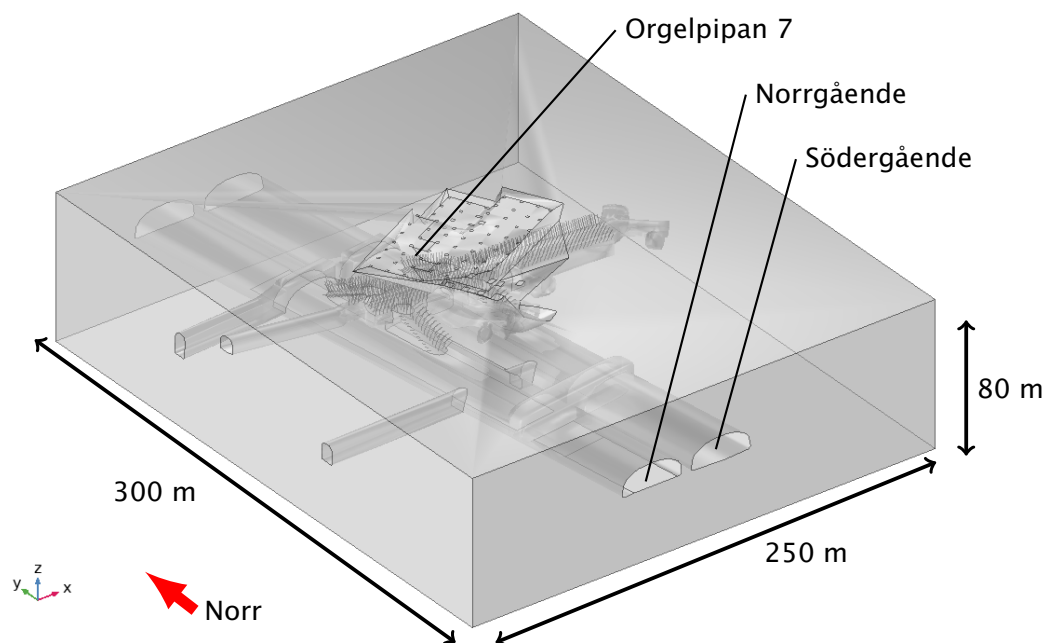
Beräkningssteg	Beskrivning
1.	Beräkningssteget inkluderar bergmassa, sprutbetong och befintlig undermarksanläggning inklusive laster från befintliga plintar, väggar och horisontalspänningar, det vill säga spänningssituationen <i>in-situ</i> .
2.	Beräkningssteget inkluderar bergmassa, befintlig undermarksanläggning med uppdaterade grundläggningslaster och förstärkning i det centrala mellanplanet med bultar och sprutbetong.

3.2 Modellgeometri

Den globala analysmodellen har dimensionerna 300·250·80 m. Bergöverytan har förenklats som plan utanför grundläggningsområdet i modellen. Denna metodik bedöms inte påverka riktigheten i resultaten och är gjord av modelleringstekniska skäl. I Figur 5 visas den numeriska modellen av bergmassa och intresseområdet. De raka linjer som visas i figuren mellan grundläggning och modellens ytterkanter orsakas av triangulering vid inläsning av geometrin.

3.3 Randvillkor

Modellens fyra sidor har modellerats med väggar som är fria att röra sig vertikalt (i global z-riktning) och de är fixerade i x- och y-riktning. Modellens botten är fixerad i x-, y- och z-riktning och är låst för rotationer.

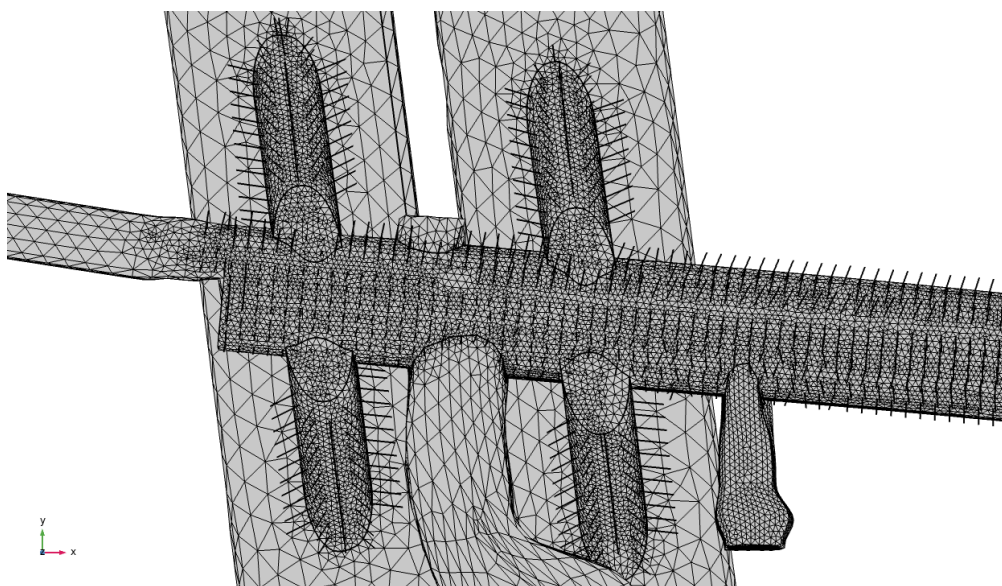


Figur 5: Illustration av modellgeometri.

3.4 Mesh

I beräkningsmodellen har bergmassan diskretiserats i så kallade *finita element* kopplade till noder. Den diskretiserade bergmassan bildar ett *finita elementnät* - mesh.

Den numeriska modellen utgörs i huvudsak av tetraederelement och består av cirka 850 000 element. Elementtypen medger en hög meshdensitet i kritiska områden av centrala mellanplanet och elementstorleken har justerats upp i områden med låga spänningsgradients för att reducera beräkningstiden. Varje bult i geometrin representeras av 10 element. Ett exempel på meshdensiteten kring intresseområdet visas i Figur 6.



Figur 6: Meshdensitet kring centrala mellanplanet, där bultförstärkning i anläggningen redovisas som balkelement om vardera 5 m.

3.5 Materialegenskaper

I de numeriska analyserna har bergmassan betraktats som ett kontinuum, det vill säga att berg och sprickor samverkar som ett isotropt material. Kontinuumapproximationen är giltig för små spänningsförändringar i bergmassa med hög inspänning. Det villkoret är väl uppfyllt i detta projekt. Bergmassan, bultar och sprutbetongs mekaniska egenskaper visas i Tabell 2.

3.6 Initialspänningsförhållanden

De initialspänningar som använts för bergmassan i analyserna redovisas i Tabell 3. Den vertikala spänningen antas vara rent gravitativ.

Tabell 2: Materialparametrar.

Berg	Värde
Elasticitetsmodul, E [GPa]	30
Poissons tal, ν [-]	0,25
Densitet, ρ [kg/m ³]	2700
Enaxiell tryckhållfasthet, σ_{cm} [MPa]	200
Bultar	Värde
Elasticitetsmodul, E [GPa]	200
Poissons tal, ν [-]	0,30
Densitet, ρ [kg/m ³]	7850
Sprutbetong	Värde
Elasticitetsmodul, E [GPa]	25
Poissons tal, ν [-]	0,20
Densitet, ρ [kg/m ³]	2300

Tabell 3: Initialspänningar.

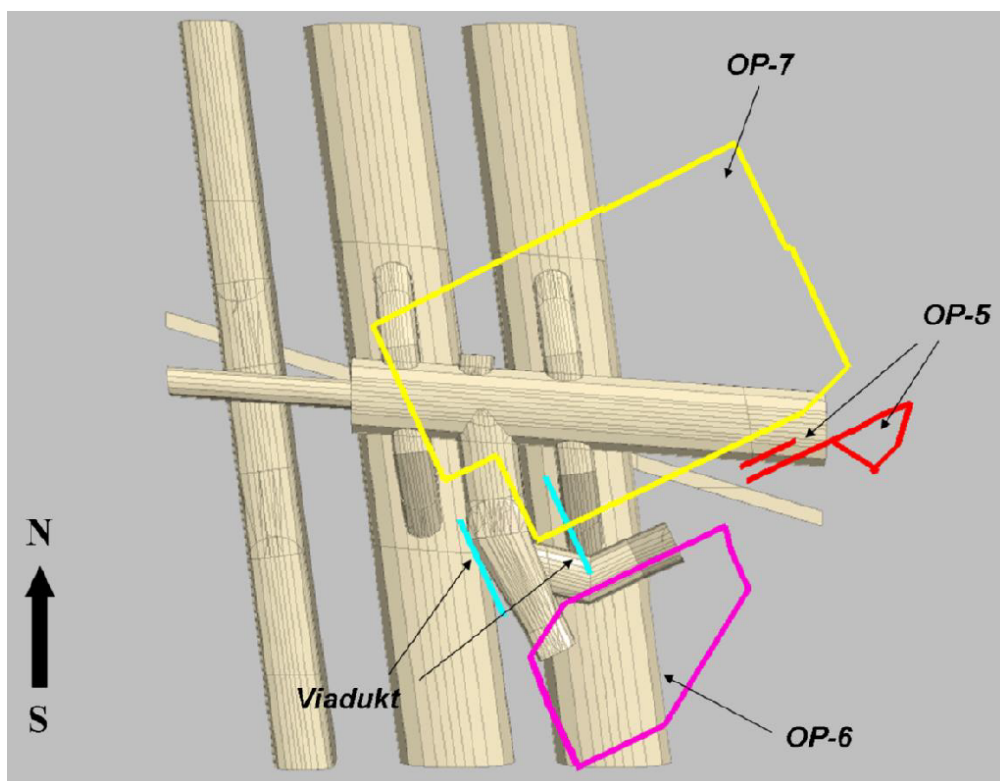
Beteckning	Initialspänning
Vertikalspänning i bergmassan, σ_v [MPa]	$\rho \cdot g \cdot z$
Största tryckspänning i bergmassan, σ_H [MPa]	4,7
Minsta tryckspänning i bergmassan, σ_h [MPa]	2,3
Orientering på σ_H , θ_{σ_H} [°]	143

3.7 Yttre laster

Påbyggnadsalternativet som behandlas i detta PM innebär att Orgelpipan 7 byggs på med 3 våningar över hela fastigheten. De eventuella influenserna från Orgelpipan 6 på det centrala mellanplanet bedöms vara försumbara i denna studie. En skiss över byggnader angränsande till Orgelpipan 7 visas i Figur 7.

Enligt preliminära lästnedräkningar för påbyggnadsförslaget fås en tillkommande lastökning om ca 10–70 % på plintar och väggar gentemot dagens befintliga laster. Där inbyggnad av den tidigare öppna delen längs Mäster Samuelsgatan mot norr står för de procentuellt högsta förändringarna i belastning (30–70%) gentemot befintliga laster. Medan övriga delar av fastigheten, där 3 våningar byggs på, får en procentuell ökning om endast 10–14 %. Det är den västra delen av fastigheten, närmast Vasagatan, som är placerad direkt över det centrala mellanplanet, se Figur 8. Medan den norra delen mot Mäster Samuelsgatan snarare ovanligger rulltrappsschakten och de djupare belägna spårtunnlarna.

Grundläggningsslaster från Orgelpipan 7 utgörs av plint- och vägglaster, dessa redovisas i Tabell 4. Lasterna är hämtade från Ref. 4.



Figur 7: Principskiss, befintliga byggnader ovanför Citybanan, Ref. 3.

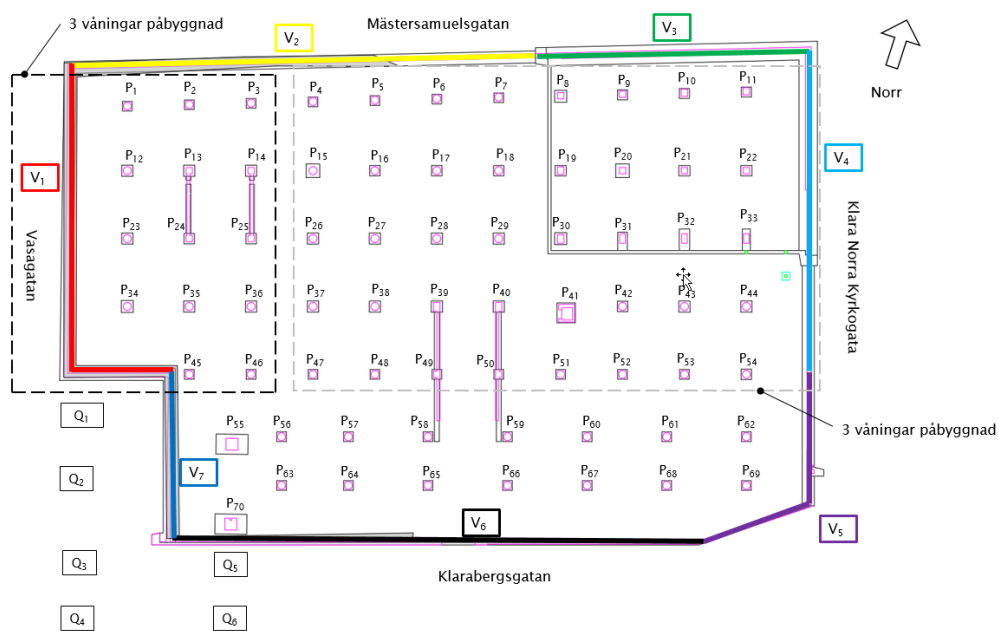
Tabell 4: Grundläggning, befintliga samt projekterade laster.

Plint	Befintlig last [kN]	Projekterad last [kN]	Plint	Befintlig last [kN]	Projekterad last [kN]
P ₁	-8856	-10082	P ₄₃	-13203	-14741
P ₂	-9249	-10512	P ₄₄	-13203	-14741
P ₃	-8089	-10789	P ₄₅	-11538	-12819
P ₄	-6399	-10949	P ₄₆	-11130	-12412
P ₅	-6487	-11037	P ₄₇	-10776	-12057
P ₆	-6576	-11126	P ₄₈	-10776	-12057
P ₇	-6426	-10976	P ₄₉	-11017	-12298
P ₈	-9317	-13867	P ₅₀	-11017	-12298
P ₉	-12113	-14813	P ₅₁	-10776	-12057
P ₁₀	-13748	-15132	P ₅₂	-11465	-12746
P ₁₁	-13926	-15325	P ₅₃	-11465	-12746

Fortsätter på nästa sida.

Tabell 4: Fortsättning från förra sidan.

Plint	Befintlig last [kN]	Projekterad last [kN]	Plint	Befintlig last [kN]	Projekterad last [kN]
P ₁₂	-12807	-14276	P ₅₄	-11465	-12746
P ₁₃	-14247	-16202	P ₅₅	-10700	-10700
P ₁₄	-14385	-17495	P ₅₆	-9479	-9479
P ₁₅	-11440	-16122	P ₅₇	-11848	-11848
P ₁₆	-11523	-16205	P ₅₈	-12847	-12847
P ₁₇	-11088	-15405	P ₅₉	-12847	-12847
P ₁₈	-11466	-16098	P ₆₀	-12847	-12847
P ₁₉	-14798	-19430	P ₆₁	-12847	-12847
P ₂₀	-18986	-22096	P ₆₂	-11455	-11455
P ₂₁	-19162	-21239	P ₆₃	-9334	-9334
P ₂₂	-19339	-21431	P ₆₄	-11558	-11558
P ₂₃	-13207	-14719	P ₆₅	-12531	-12531
P ₂₄	-14419	-16393	P ₆₆	-12531	-12531
P ₂₅	-14419	-16393	P ₆₇	-12531	-12531
P ₂₆	-13444	-14982	P ₆₈	-12531	-12531
P ₂₇	-13444	-14982	P ₆₉	-9499	-9499
P ₂₈	-14419	-16393	P ₇₀	-8300	-8300
P ₂₉	-14419	-16393	Q ₁	-10700	-10700
P ₃₀	-16173	-18147	Q ₂	-17300	-17300
P ₃₁	-17179	-19154	Q ₃	-17300	-17300
P ₃₂	-17179	-19154	Q ₄	-10700	-10700
P ₃₃	-17179	-19154	Q ₅	-8300	-8300
P ₃₄	-13304	-14826	Q ₆	-10700	-10700
P ₃₅	-13444	-14982	V ₁	-930 [kN/m]	-1080 [kN/m]
P ₃₆	-13444	-14982	V ₂	-460 [kN/m]	-460 [kN/m]
P ₃₇	-13444	-14982	V ₃	-620 [kN/m]	-620 [kN/m]
P ₃₈	-13444	-14982	V ₄	-1130 [kN/m]	-1280 [kN/m]
P ₃₉	-13685	-15223	V ₅	-780 [kN/m]	-780 [kN/m]
P ₄₀	-13685	-15223	V ₆	-940 [kN/m]	-940 [kN/m]
P ₄₁	-14049	-15715	V ₇	-350 [kN/m]	-350 [kN/m]
P ₄₂	-13203	-14741			



Figur 8: Principskiss, Tyréns förteckning över grundläggningsplintar i FEA.

4 Resultat

4.1 Allmänt

I detta kapitel redovisas resultaten från analyserna. Då den numeriska modellen har ett material med kontinuumegenskaper visar den inte på instabilitet hos enskilda block längs tunnelkonturernas ränder. Förekomsten av stora dragavlastade partier längs tunnelränder kan dock indikera på risk för blockutfall.

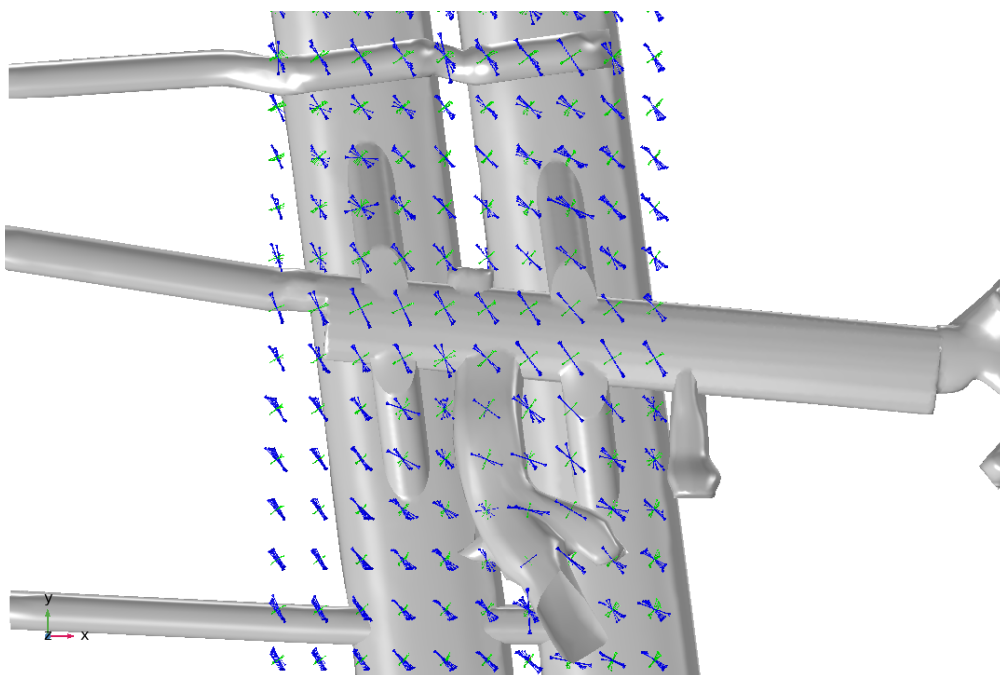
Mellan hjässan på det centrala mellanplanet och grundläggningen för Orgelpipan 7 finns en svaghetszon som benämns rörelsezon 2 (RZ2). Denna zon integrerades i Tyréns tidigare utredning (2018), där den approximerats som ett vertikalt stupande plan orienterat enligt Figur 15. Resultaten från analyserna har utvärderats utifrån pålastningens inverkan på berganläggningarnas valvspänningar samt deformationerna kring det centrala mellanplanet.

4.2 Utvärdering av stabilitet kring det centrala mellanplanet

I detta kapitel har bergmassans stabilitet kring det centrala mellanplanet utvärderats vid ökad pålastning från Orgelpipan 7.

4.2.1 Huvudspänningar kring det centrala mellanplanet

I Figur 9 visas valvspänningarna över det centrala mellanplanet som en vektorplott och de sammanfaller i stort med riktningen hos den största horisontalspänningen. Spänningsbilden har en gynnsam inverkan på valvbildningen ovanför det centrala mellanplanet.



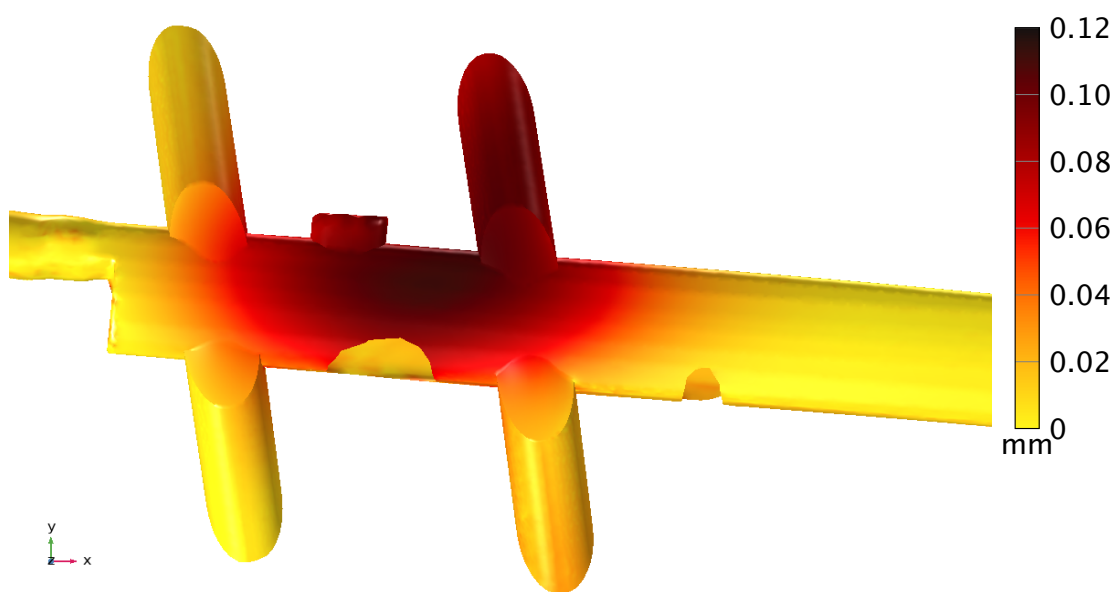
Figur 9: Vy från ovan. Pilarna anger riktningen på huvudspänningarna. Blå pilar visar de tredje huvudspänningarna.

4.2.2 Deformationer i centrala mellanplanet

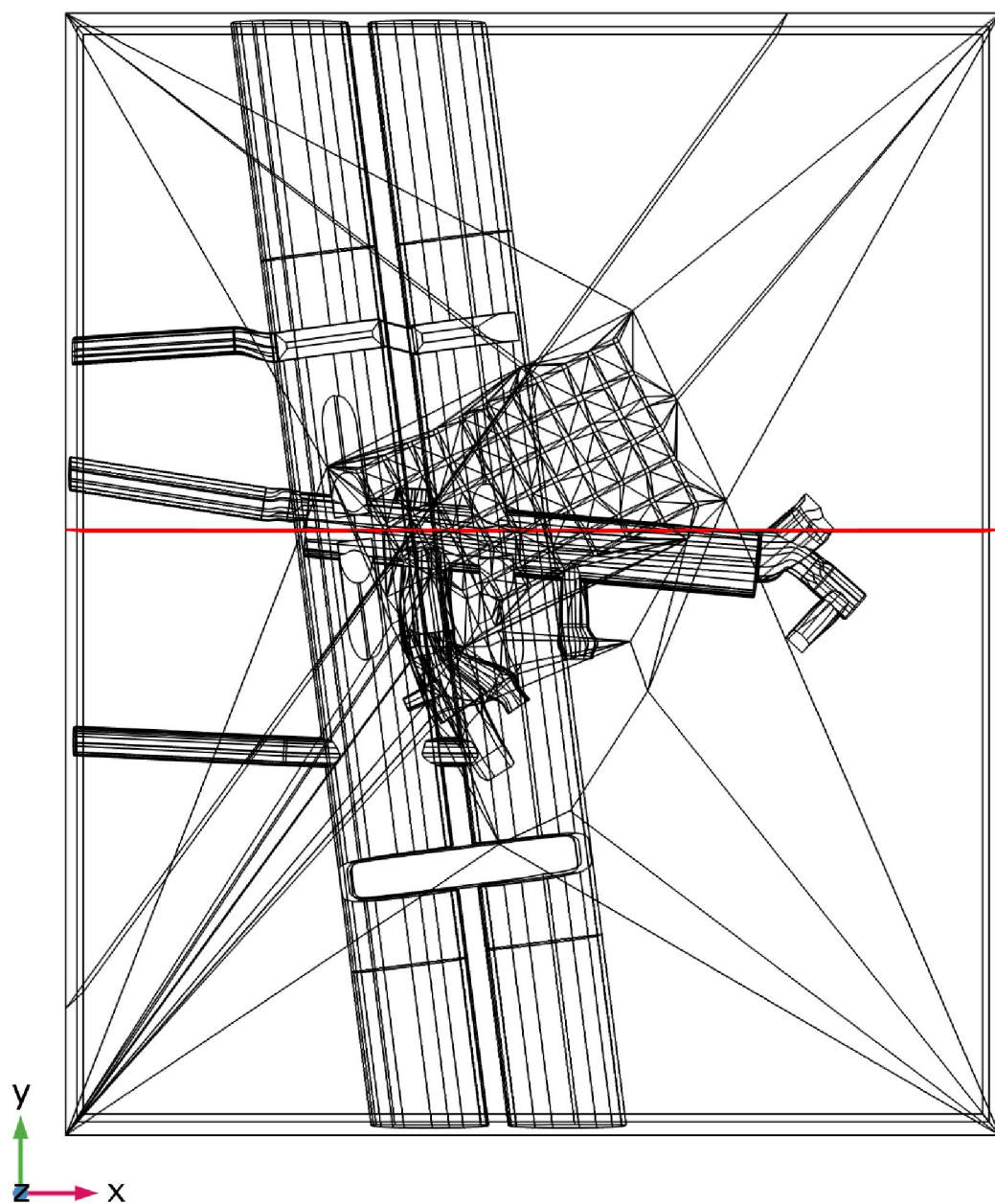
Deformationen efter lastökning visas i Figur 10. Figuren visar tillkommande rörelse i konturen för det centrala mellanplanet och tillhörande rulltrappsschakt med förstärkning. Rörelsen uppgår som mest till en tiondels millimeter och är nedåtriktad.

Resultatet är rimligt sett till den begränsade bergtäckningen i kombination med lastökningen från det projekterade trevåningskomplexet. Lasten från varje plint sprids "koniskt" ner i bergmassan med ökat djup och det är därför det inte syns några punktförskjutningar i plotten. Resultatet visar på mycket små förskjutningar.

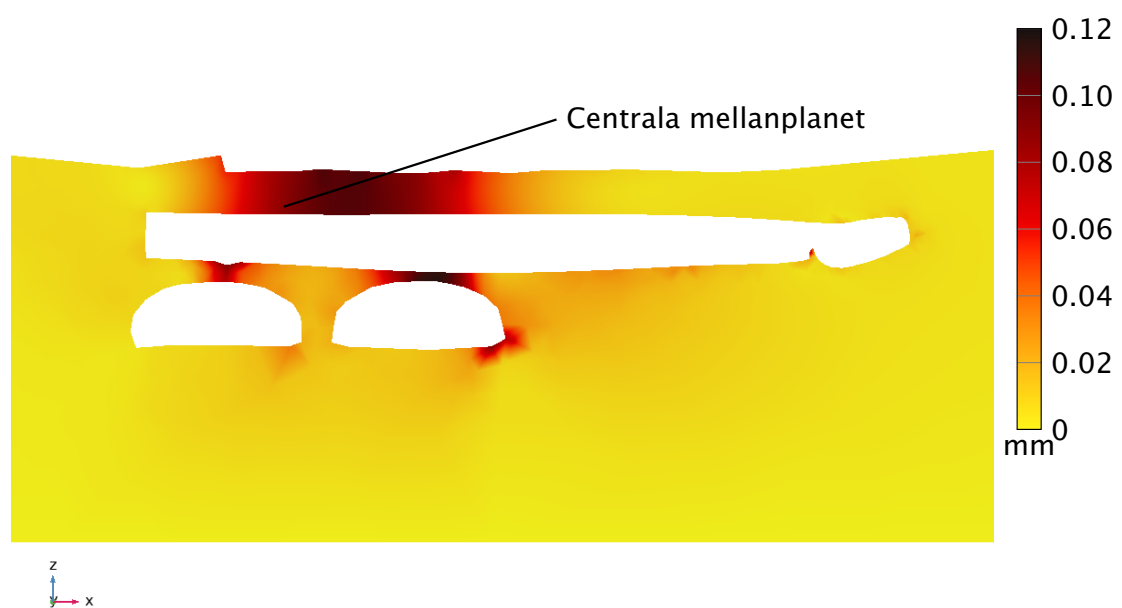
För att ytterligare åskådliggöra deformationerna i hjässan av det centrala mellanplanet har ett snitt parallellt med den globala x-axeln analyserats, se Figur 11. Det är de tillkommande totaldeformationerna efter pålastning som visas i Figur 12. Resultatet visar på en tillkommande totaldeformation på mindre än 1 mm i centrala mellanplanets hjässan och deformationerna är huvudsakligen vertikala.



Figur 10: Total deformation i tunnelkontur [mm].



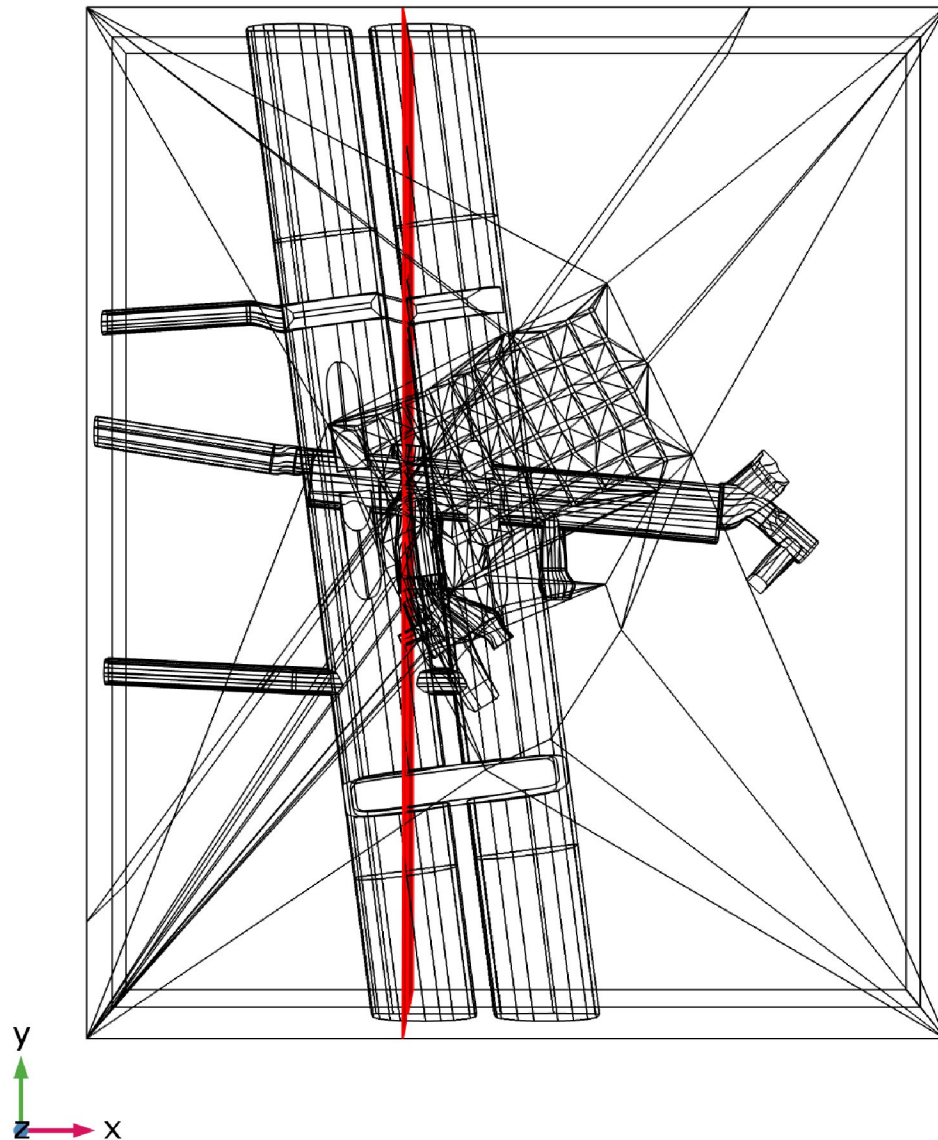
Figur 11: Vy från ovan. Figuren visar ett snittplan parallellt med det globala xz -planet som skär det centrala mellanplanets hjässa.



Figur 12: Totala deformationer kring centrala mellanplanets hjässa efter pålastning [mm].

4.2.3 Tryckspänningsförändringar kring det centrala mellanplanet

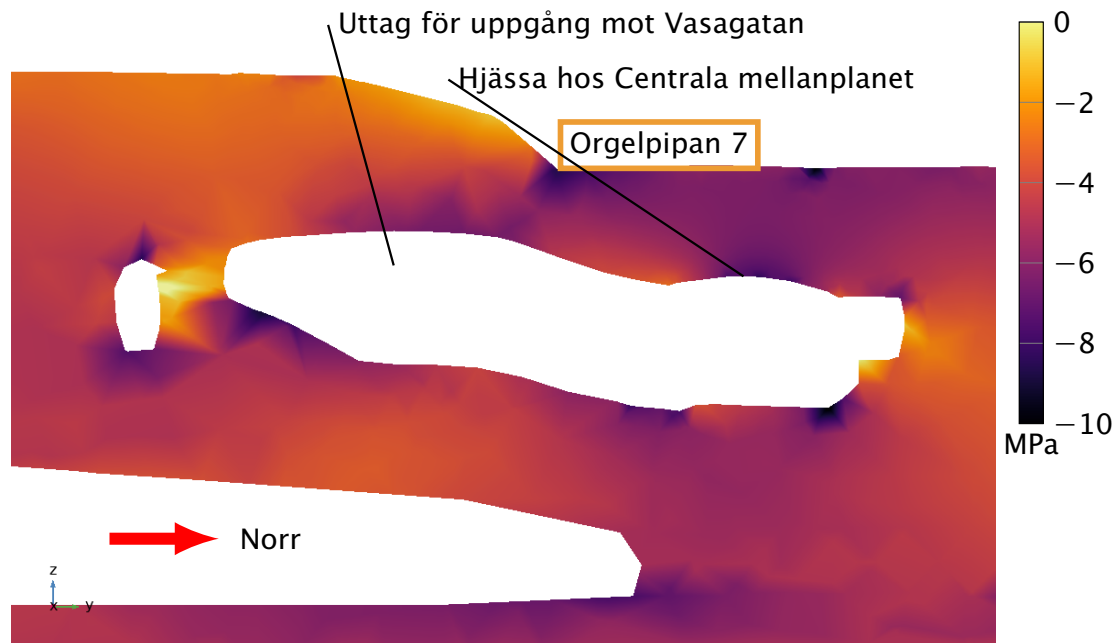
För att undersöka inverkan på bergmassan av den ökade pålastningen har spännings-tillskottet för de första huvudspänningarna plottats för ett snittplan enligt Figur 13. Snittplanet är parallellt med det globala yz-planet och skär det centrala mellanplanet i hjässan.



Figur 13: Vy från ovan. Figuren visar ett snittplan parallellt med det globala yz-planet som skär det centrala mellanplanets hjässa.

De första huvudspänningarna är de största tryckspänningarna och utgör ett viktigt bidrag till valvbildningen ovanför en undermarksanläggning. Resultatet i Figur 14 visar att det sker en avlastning kring det centrala mellanplanets hjässa och sula då grund-

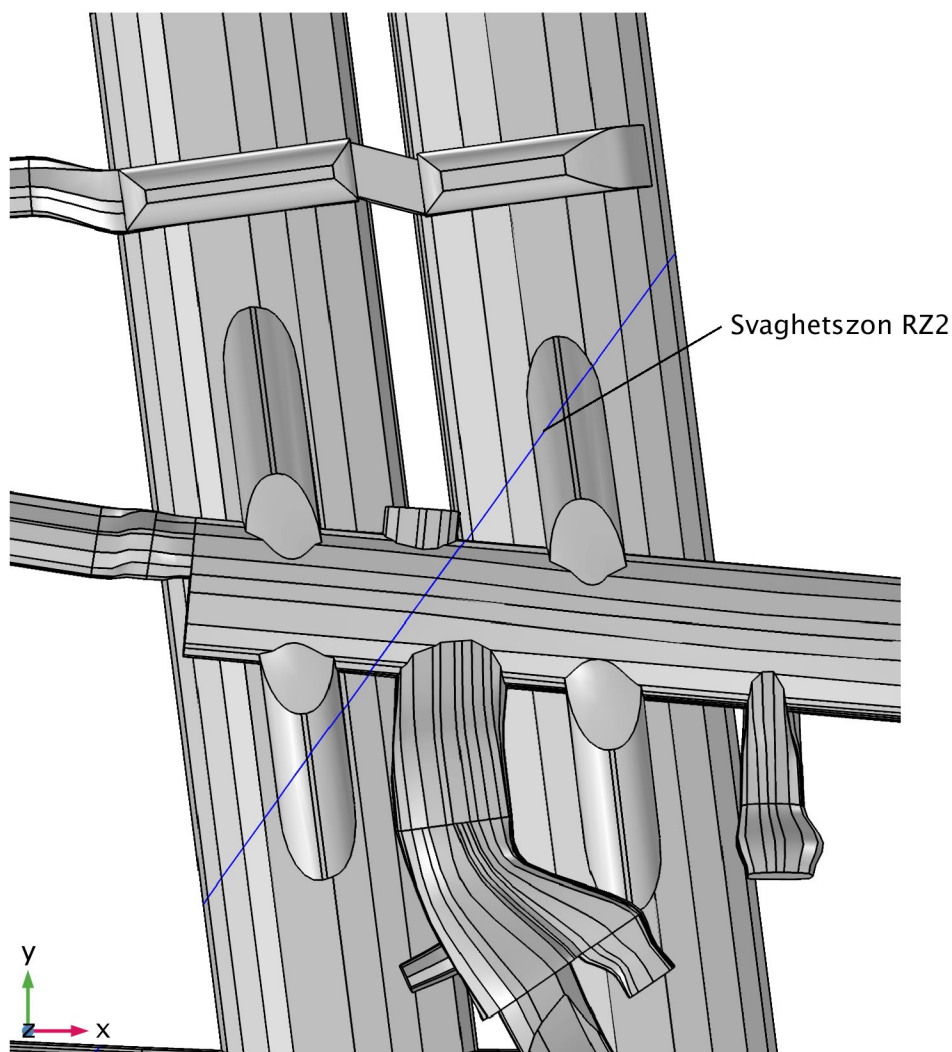
läggningslasterna ökar. Det ska förtydligas att även om det sker en avlastning för σ_3 då pelarlasterna appliceras så är bergmassan fortfarande inspänd, dvs. har tryckspänningar. Vid bergöverytan ovanför det centrala mellanplanet appliceras plintlasterna varför tryckspänningarna ökar.



Figur 14: Snittplan genom det centrala mellanplanet. Första huvudspänning σ_1 vid pålastning om tre våningar [Pa]. Negativa värden innebär ökade tryckspänningar.

4.3 Utvärdering av rörelsezon RZ2

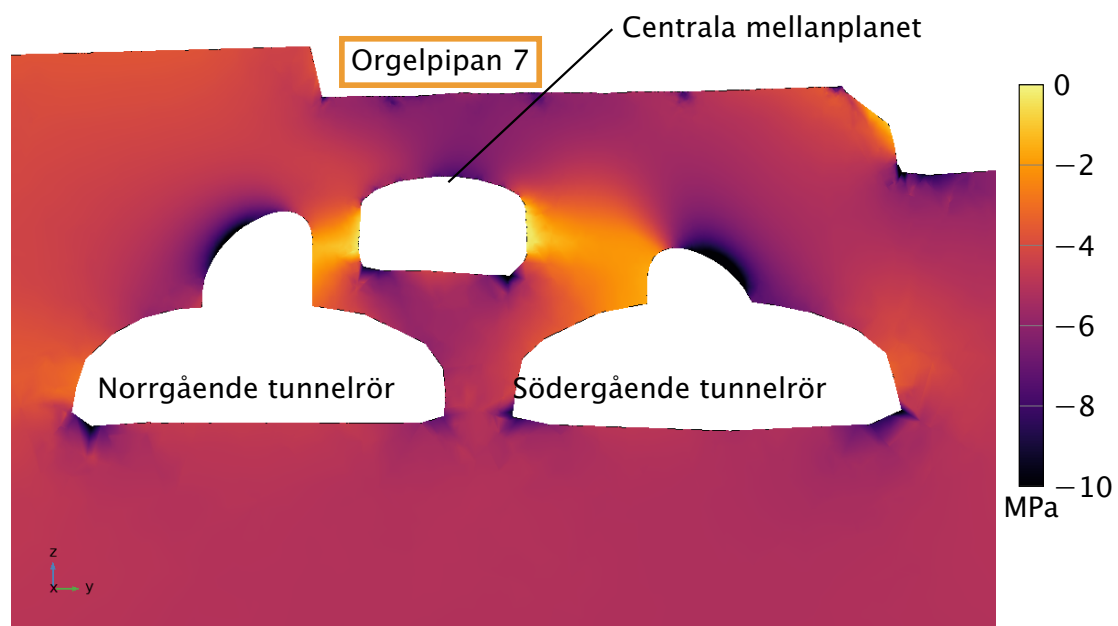
Mellan hjässan på det centrala mellanplanet och grundläggningen för Orgelpipan 7 finns en svaghetszon som benämns rörelsezon 2 (RZ2). För mer information se Ref. 6. RZ2 kan ha en stor inverkan på stabiliteten för bergmassan vid den projekterade lastökningen. Denna zon är inte explicit modellerad med avseende på materialegenskaper, men har nyttjats i modellerandet som snittplan för utvärdering av spänningar. Detta då zonen skär rulltrappschaktet i ett kritiskt snitt. Den första huvudspänningen genom RZ2 visas i Figur 16.



Figur 15: Vy från ovan. Figuren visar rörelsezon RZ2 som skär det centrala mellanplanet.

4.3.1 Tryckspänningsförändringar kring RZ2

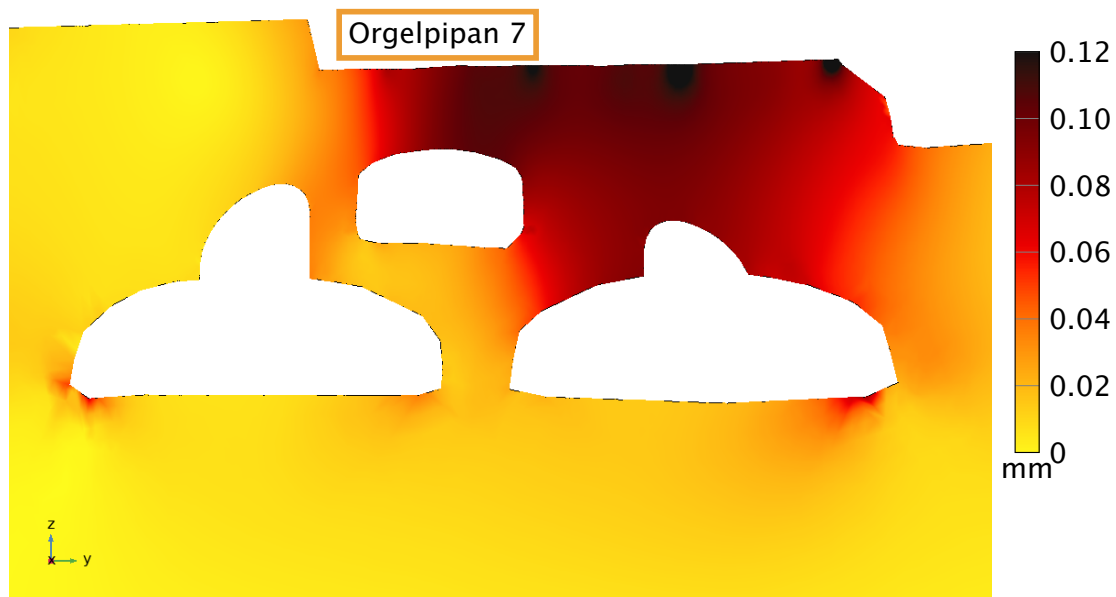
I Figur 16 har tryckspänningsförändringarna i RZ2 plottats för σ_1 . Figuren visar tydligt på den komplexa geometrin med de relativt stora spännvidderna och hur lasten förs ner i befintliga bergpelare. σ_1 är den största tryckspänningen och resultatet visar att σ_1 ökar i väggarna kring det centrala mellanplanet. I hjässan och sulan sker en avlastning.



Figur 16: Snittplan genom RZ2. Första huvudspänning σ_1 i RZ2 vid pålastning om tre våningar [Pa].

4.3.2 Total deformation i rörelsezon RZ2

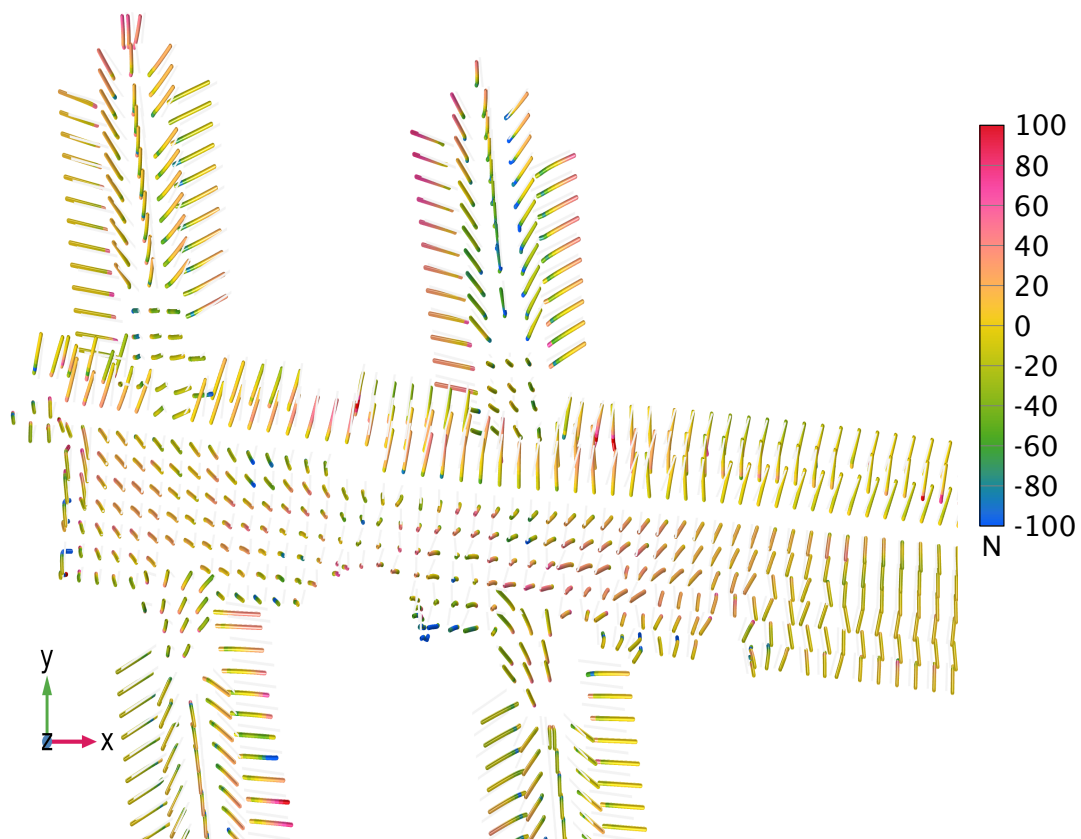
Den totala deformationen i planet som representerar RZ2 är under 1 mm och visas i Figur 17.



Figur 17: Snittplan genom RZ2. Total deformation i RZ2 vid pålastning om tre våningar [m].

4.3.3 Laständringar i bultarna

I beräkningen har förstärkning från bultarna betraktas som 1D-balkelement. Bultarna är 5 m långa och placerade i tunneltaket med 2 meters bultavstånd, de är orienterade vinkelrätt mot tunneltakets ytor. Bultarnas diameter är 25 mm och totalt finns det cirka 1300 bultar som är utspridda över hela centrala mellanplanet. Figur 18 visar hur kraften längs bultarna ändras av den ändrade överlasten. De flesta bultarna har dragpåverkas i änden närmast plintarna och komprimeras i änden mot tunnelväggen, där valvet motverkar överlasten. Maximal kraftändring i bultarna är cirka 100 N, vilket är helt försumbart i sammanhanget.



Figur 18: Förändring i belastning i bultarna kring centrala mellanplanet [N].

5 Diskussion

Tyréns har studerat en ökad pålastning för grundläggningen under Orgelpipan 7 kring rulltrappsschaktet, där det också är karterat en rörelsezon. En sådan belastning skulle kunna orsaka en hävning och/eller rotation av block i bergmassan och därmed påverka bärigheten ovan centrala mellanplanet. Resultaten visar på tilltagande skjuvspänningar i området efter ökad pålastning men spänningsökningen är ringa och bedöms inte vara kritisk för bergmassans bärighet.

Den totala tilltagande deformationen efter pålastning om tre våningar orsakar mycket små deformationer i konturen kring centrala mellanplanet. Analysen visar att det sker lastförändringar på förväntat sätt i de områden som ligger närmast de grundläggningspunkter med störst lastökning. Förändringarna är dock genomgående så små att de bedöms sakna betydelse för befintlig förstärknings dimensionering.

Underlag från projekt Citybanan har inhämtats och beaktats i modellarbetet under projektets gång. Det har kommit till Tyréns kännedom att det vid bergschakt för centrala mellanplanet uppstod omfattande sprickbildning i förstärkningen i östra plattformsrummet. Enligt det underlag som Tyréns tagit del av så är sprickbildningens orsaker inte helt klarlagda men kompletterande förstärkning är utförd i östra plattformsrummet så anläggningen är att betrakta som väl förstärkt. Uppkomsten tyder dock på att någon av de projekteringsförutsättningar som antagits vid projekt Citybanan kan vara annorlunda än förväntat. En avvikelse skulle emellertid behöva vara mycket påtaglig för att kunna påverka giltigheten i modelleringsresultatet för detta projekt.

Bärförmågan i bergmassan kring det centrala mellanplanet bygger på att bergmassan är självbärande och att bärförmågan, som skapas av inspänningarna i bergmassan, har hög kapacitet. Modelleringsresultatet visar att bärförmågan hos berget är avsevärt större än den pålastning som tre tillkommande våningsplan orsakar. Skulle spänningstillståndet vara sådant att denna slutsats inte håller borde detta ha visat sig i form av stora rörelser i Orgelpipans grundläggning i samband med bygget av Citybanan. Tyréns har inte fått tillgång till mätresultat från det övervakningsprogram som fanns under byggtiden, men har heller inte fått några indikationer på att mätningarna skulle ha registrerat några anmärkningsvärda rörelser. Om mätresultatet blir tillgängligt i senare skede är det angeläget att utvärdera detta tillsammans med de observationer som gjorts i östra plattformsrummet, såväl som kommande lastsituation för Orgelpipan 7.

6 Sammanfattning

Påbyggnad av tre våningsplan på Orgelpipan 7 ger störst lastpåkänning i fastigheten norra del mot Mäster Samuelsgatan, vilket ovanligger Citybanans spårtunnlar och tillhörande rulltrappsschakt. Den numeriska bergmekaniska modellen av lastsituationen påvisar att uppkomna förändringar i bergmassans spänningstillstånd är små och tillskottsdeformationen är som mest omkring 0,12 mm. Modellen visar även att belastningsförändringarna i befintlig förstärkning är mycket ringa.

Med underlag av utförd bergmekanisk analys av bergmassans bärighet under Orgelpipan 7, kan den anses oförändrad efter pålastning och genomförbarheten för den planerade påbyggnaden är därför god. Med avseende på eventuella försvars- och förstärkningsåtgärder, såväl som kontrollprogram för Citybanan bör tidigare upprättade avtal åberopas. Det är Tyréns bedömning att lastförändringarna är så små att några försvarsåtgärder inte är nödvändiga. Detta behöver verifieras i byggskedet med ett kontrollprogram som måste utformas i samråd med anläggningsägarens driftsavdelning.

Chunling Shan
Geofysiker

Sylvia Berg
Geolog

Rikard Gothäll
Bergmekaniker

Tyréns AB
118 86 Stockholm
Besök:
Peter Myndes Backe 16
118 86 Stockholm

Tel: 010 452 20 00
www.tyrens.se

Säte: Stockholm
Org.Nr: 556194-7986