

BeFo-projekt #350

Tunneldrivning i heterogena förhållanden

Översiktlig studie av styrande egenskaper avseende deformationer

Magnus Eriksson, SGI (nuv. Trafikverket)

Rebecca Bertilsson, SGI

Jonny Sjöberg, Itasca

Diego Mas Ivars, Itasca (nuv. SKB)

Diego Lope Álvarez, Itasca

Sammanfattning

Rapporten presenterar en studie som gjorts avseende tunneldrivning i heterogena förhållanden. Med heterogena förhållanden avses då tunneln delvis ligger i berg, delvis i jord och där jord och berg har stor skillnad i hållfasthet, såsom ofta är fallet för svenska förhållanden.

Syftet med studien är att öka kunskapen och förståelsen om brott- och deformationsmekanismer vid tunneldrivning i heterogena förhållanden. Denna förståelse är viktig för att kunna göra rätt bedömningar om förutsättningar, analysmetoder, drivningsmetoder och risker för omgivningspåverkan vid byggande av tunnlar i heterogena förhållanden. Studien omfattar två delar – en principstudie med analys av typfall, och en praktikfallsstudie omfattande analys av ett utvalt praktikfall. I principstudien ingår en litteraturstudie för att utreda internationella erfarenheter följt av en känslighetsanalys på ett antal parametrar. I praktikfallsstudien utförs en analys av passage av Maria Magdalena kyrka på Citybanan.

De huvudsakliga slutsatserna är att jordens stratigrafi och jordlagrets egenskaper är de faktorer som i högst grad styr hur stora deformationer som uppkommer vid markytan. Resultaten visar vidare att bergets egenskaper och spänningarnas magnitud och riktning har liten påverkan på de deformationer som uppkommer vid markytan, givet att det är betydande skillnad mellan jord- och bergmaterialets hållfasthet. Avseende vatten har en statisk vattennivå studerats. Grundvattenytans läge har betydelse för deformationerna i fall med kohesionsjord men liten betydelse i fall med friktionsjord. Uttagssekvensen framkommer som mindre betydelsefull men hänsyn till deformationernas storlek. I praktikfallsstudien kunde en god korrelation med mätta deformationer erhållas när modellen kalibrerades utifrån en variation i värdet på kohesionen. Deformationerna på markytan är dock mycket känsliga för variationer i hållfasthetsparameterna. I praktikfallsstudien framkom också betydelsen av spiling för deformationerna samt jordinjekteringens betydelse för att undvika kollaps i modellen.

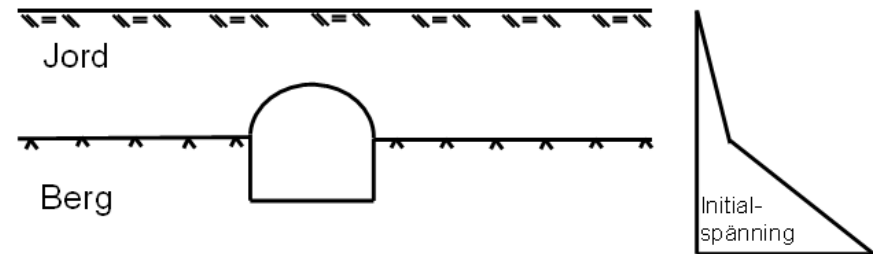
Rekommendation till fortsatt arbete är att komplettera studien med ytterligare teori och praktikfall för att precisera och validera de resultat som framkommit i denna studie. Värdefullt vore om studien kunde kompletteras med mer detaljerade beräkningar som visar hur variationer i parameterområdet av hållfasthets- och deformationsegenskaper påverkar beräknade deformationer.

Motiv till studien

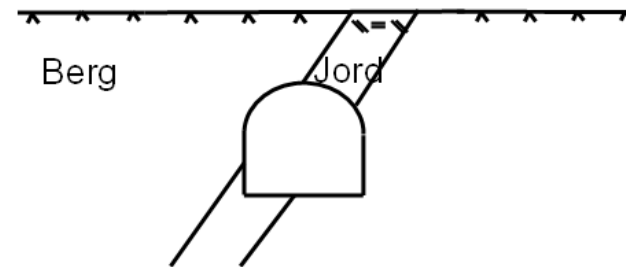
- Avsnitt av tunnlar med tvärsnitt i både jord och berg förekommer med jämna mellanrum och kan bli vanligare när fler tunnlar anläggs i stadsmiljö.
- Det finns behov av att kunna förutsäga omgivningspåverkan och välja lämplig byggteknik och för detta behövs en grundläggande kunskap.
- Förståelse för vilka faktorer som påverkar deformationerna är betydelsefulla vid planering av undersökningar.

Analysmetodik Principstudie

- Två fall av geometri
 - Horisontell bergyta överlagrad av jord
 - En jordfylld zon parallell med tunneln
- Med numerisk modellanalys har deformationerna studerats i fall med olika:
 - typ av jordmaterial (friktionsjord kontra lerjord),
 - jordlagertjocklek,
 - initialspänning i bergmassan,
 - tunneldjup,
 - läge på grundvattenyta (statisk vattennivå),
 - uttagssekvens för tunneln.



Typfall A



Typfall C

Resultat principstudie

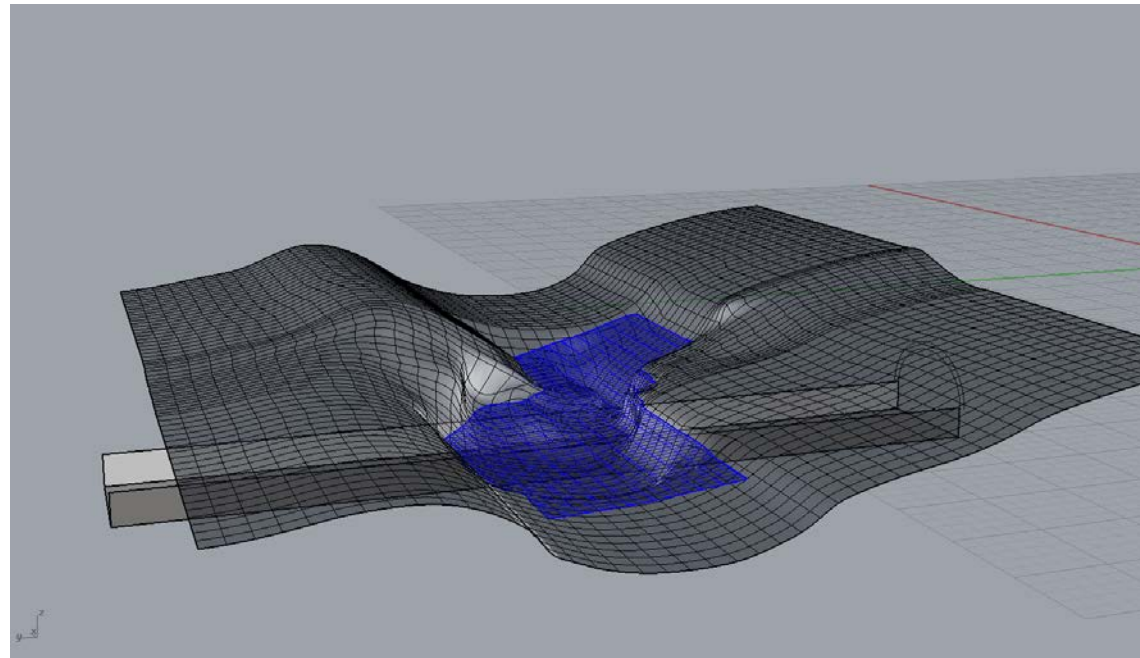
- Resultaten av principstudien sammanfattas enligt tabellen avseende enskilda faktorer påverkan på deformationerna:

Faktor	Gränssnittets placering	Jordmaterial-egenskaper	Tjocklek jordlager	Vatten-tryck	Berg-spänningar	Uppdelat uttag
Påverkan	Stor	Stor	Stor	Varierande	Liten	Liten

- Resultaten visar således att kännedom om jordens stratigrafi och materialegenskaperna är viktiga att känna till vid tunneldrivning i heterogena förhållanden. Indikativt, inom de variationer som studien omfattar, är stratigrafin den mest betydelsefulla egenskapen följt av materialegenskaperna. För de fall där skillnaden i egenskaper (hållfasthet och styvhet) är stor mellan jord och berg så har bergförhållanden mycket liten inverkan på deformationer och stabilitet kring tunneln.

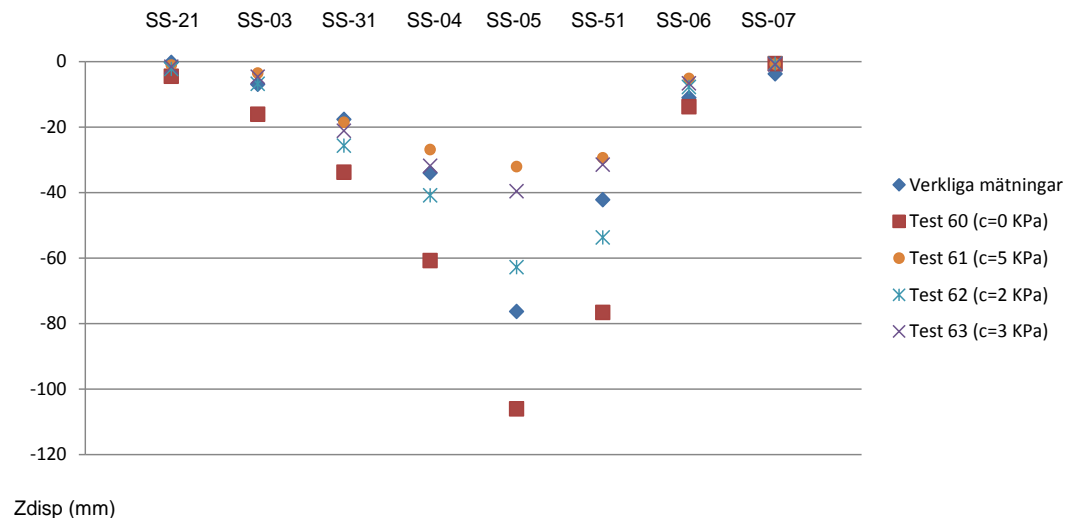
Analysmetodik Praktikkfallstudie

- En fallstudie på passage av Maria Magdalena kyrka på Citybanan i Stockholm utfördes med avseende på uppkomna deformationer. Bilden illustrerar tunneln och den jordfyllda svackan.
- Värderna på berg och jordmaterialets egenskaper togs så långt som möjligt från handlingar från Citybanan.
- Modellen kalibrerades mot kohesion enligt Mohr-Coulombs brottmodell.
- Två alternativa fall på förstärkning studerades



Resultat praktikfallsstudie

- Kalibrering av modellen med hjälp av en variation i kohesion gav en kvantitativ god överensstämmelse med mätta deformationer. Figuren visar den kalibrering som utfördes.
- Deformationer på markytan är mycket känsliga för variationer i jordlagrens skjuvhållfasthet. Detta gäller särskilt för fallen med låg kohesion, där en ändring från 2,0 till 0 kPa leder till ökade deformationer på markytan med upp till 100 % för detta praktikfall.
- Tunnelförstärkningen påverkar i hög grad resultaten. Att inte ha spiling i modellen leder till ökade deformationer på markytan med upp till 140 %. Att inte simulera injektering i modellen orsakar en omfattande kollaps i tunneln.



Sammanfattande slutsatser

- Litteraturstudien visar att det är mycket begränsat med internationell erfarenhet som är tillämpbar på den typ av problematik som studerats.
- Studien visar att det huvudsakligen är jordens stratigrafi och jordlagrets egenskaper som styr hur stora deformationer som uppkommer, både runt tunneln och på markytan.
- Praktikfallstudien illustrerade att en god anpassning till mätta värden kunde uppnås. Det framkommer vidare hur känslig modellen är för val av beräkningsparametrar vilket gör att känslighetsanalyser bör utföras inom ett relevant intervall.
- Den beräkningsmetodik som nyttjats bedöms generellt sett lämplig och ge tillförlitliga resultat vad gäller deformationsmönster, generell tunnelstabilitet, samt läget för uppkomna större deformationer och/eller överbelastning.