

Långtidsdeformationer i lösa jordar (12537)

Bakgrund

Långtidssättningar utgör ett problemområde vid väg- och järnvägsutbyggnad i områden med mäktiga lager av lösa jordar. Förstärkningsåtgärder för att begränsa sättningar utgör ofta en betydande andel av projektkostnaden vid nybyggnation. Avvägningar behöver därför göras mellan kostsamma grundförstärkningar i byggskedet kontra ständigt återkommande beläggningsarbeten. För att kunna göra detta på ett optimalt sätt finns ett behov av att kunna prognostisera långtidssättningarna med hög tillförlitlighet.

Men att prognostisera långtidssättningar är inte en lätt uppgift. I dag finns det en mängd olika numeriska verktyg för att prognostisera långtidssättningarna. Även om dessa numeriska verktyg har utvecklats och har möjlighet att kunna representera jordens komplexa beteende på ett mer detaljerat sätt, så måste ingenjören balansera detta mot kvalitén hos de jordparametrar som bestämts.

En förbättrad förståelse om krypning i lösa leror och utnyttja detta i material modeller i numeriska program ger möjlighet till bättre prognoser för komplexa situationer. Dessa mer avancerade modeller behöver kompletteras med nödvändiga indata för att verkliga kunna utnyttjas ordentligt.

Utöver krypparametrar så är också jordtryckskoefficienten, K_0 , väldigt viktig att etablera eftersom inverkan på spänningsvägen är väldigt stor vid pålastning eller avlastning. Rådande praxis i Sverige är att använda sig av en empirisk relation mht konflytgränsen för att bestämma jordtryckskoefficienten. För att kunna förbättra prognoserna för både vertikala och horisontella rörelser mha materialmodeller implementerade i FE program förbättrad kunskap om jordtryckskoefficienten, K_0 , är nödvändig.

Syfte

Det övergripande syftet med projektet är skapa förutsättningar för bättre och säkrare prognoser avseende långtidsdeformationer samt öka kunskapen och förståelsen om sättningar i lösa leror, med fokus på krypningseffekter, så att osäkerheter vid prognostisering av långtidssättning är väsentligt reducerade. För att uppnå detta syfte följande mål är formulerade

- Konstruera en ny K_0 -triaxial utrustning för att utvärdera K_0 värden mer noggrant som en funktion av spänning och dess utveckling med tiden.
- Utveckla, eller anpassa en befintlig materialmodell, som innehåller alla nödvändiga formuleringar för kryp, anisotropi och struktur.
- Implementera materialmodellen i ett användarvänligt finita element program och validera modellen mot laborieförsök.
- Beskriva nödvändiga laborieförsök som behövs utföras för att etablera nödvändiga indata parametrar till modellen.

Genomförande

Med stöd från SBUF, Trafikverket, NCC och Chalmers har arbetet utförts av Mats Olsson som ett industri doktorandprojekt vid Chalmers tekniska högskola på avdelning Geologi och Geoteknik. I och med den externa finansieringen har omfattande laboratorieförsök kunnat genomföras. Under projektet har också ett samarbete med NTNU (Norge) pågått med utbyte av kunskap och erfarenheter.

En litteraturstudie har genomförts med avseende på bland annat:

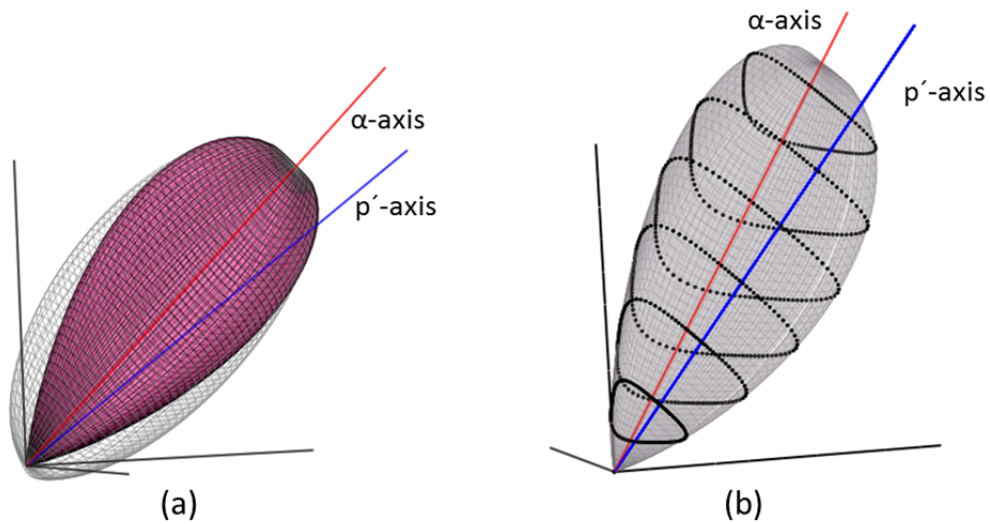
- Effekten av töjningshastigheten mht flytytan.
- Formerna av flytytan för anisotropiskt konsoliderade leror.
- Formerna av flytytan i det deviatoriska planet.
- Utvecklingen av horisontal spänning.
- Olika materialmodeller som inkluderar krypeffekter, anisotropi och struktur.

Den implementerade materialmodellen valideras mot ett antal valda laboratorieförsök för att belysa dess kapacitet.

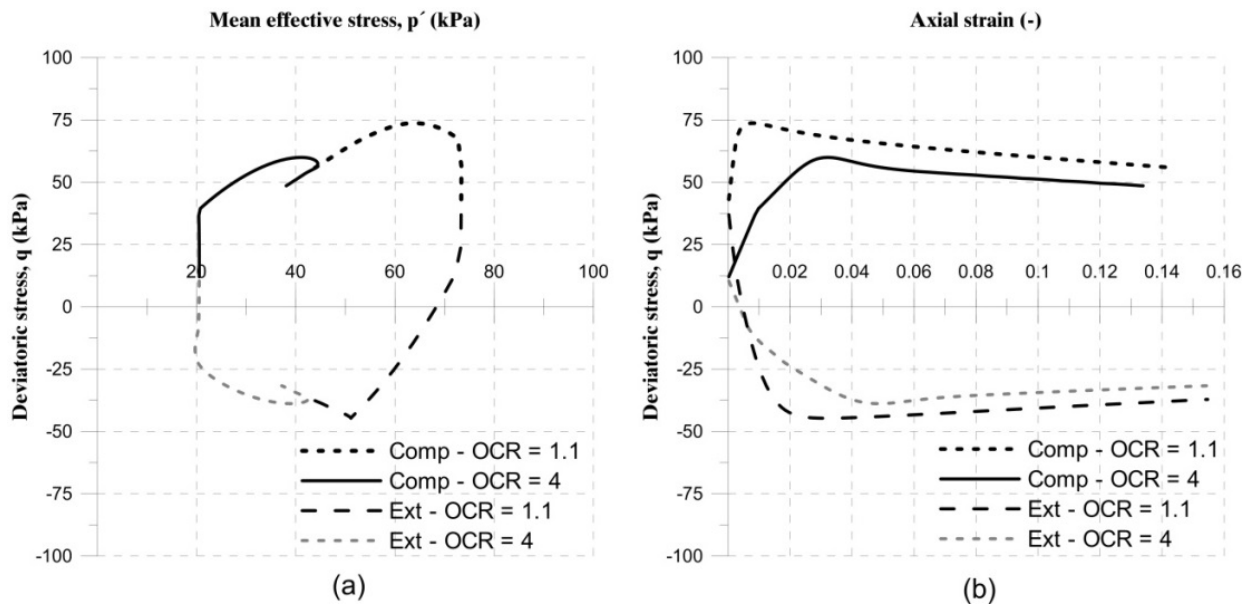
Resultat

Utveckling av en ny materialmodell

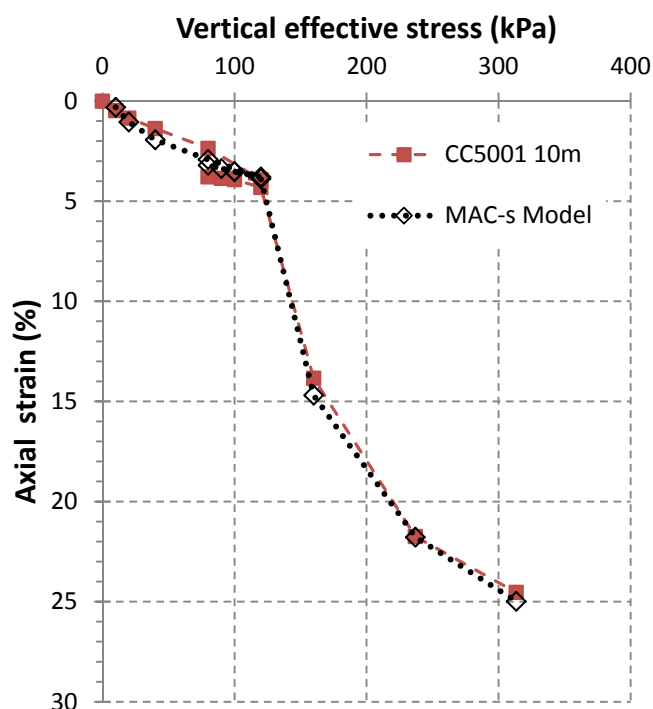
För att kunna modellera komplexa situationer och geometrier behövs materialmodeller och finita element program som är kapabla representera detta. I detta projekt har en ny 3-dimensionell materialmodell som inkluderar både krypning, anisotropi och struktur implementerats i ett kommersiellt FE program, COMSOL Multiphysics v.4.3a. Materialmodellen som utvecklats och implementerats kallas MAC-s modellen, (Modified Anisotropic Creep model with Structure). MAC-s modellen är baserad på CREEP-SCLAY1S och n-SAC modellen utvecklade av Karstunen et al. (2005) och Grimstad & Degago (2010). Huvudsyftet med utvecklingen av MAC-s modellen vara att anpassa den till fånga svenska lerors beteende samt att även ge möjlighet att kunna modellera med mer flexibilitet även för överkonsoliderade leror, dvs. modellen ger bl.a. mer flexibilitet på vad som normalt kallas "the dry side". I Figur 1 visualiseras både referensytan och den plastiska potentialytan i spänningsrymden. I Figur 2 visas typiska simuleringsresultat utförda av MAC-s modellen odränerad triaxialförsök och i Figur 3 redovisas jämförelse för ett stegvist ödometerförsök (IL) utfört i laboratoriet med en simulering av samma försök.



Figur 1. Visualisering av (a) referensytan (solid färg) och plastiska potentialytan (grå mesh) och i (b) visualisering av referensytan enbart.



Figur 2. Simulerade odränerad triaxial försök med olika OCR.



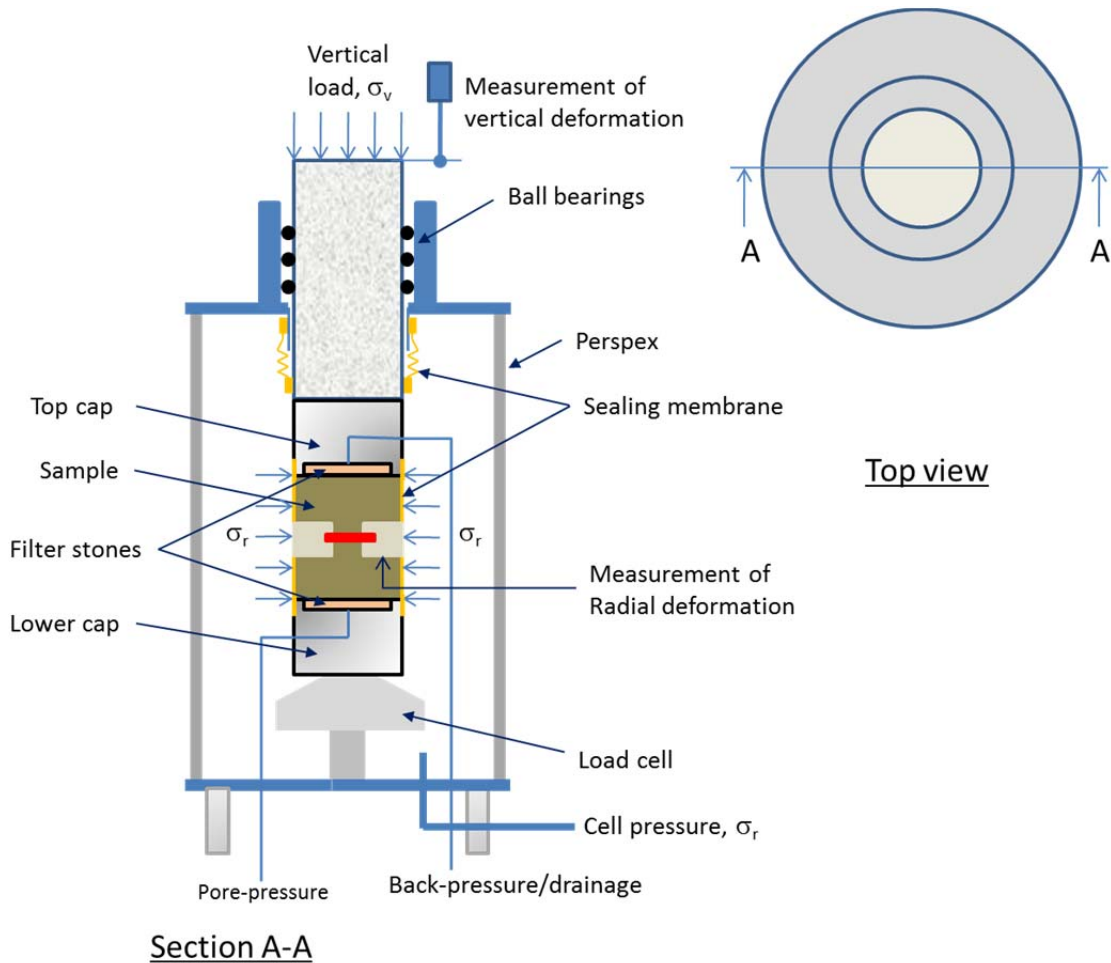
Figur 3. Jämförelse mellan laboratorieförsök och simulerad stegvisa ödometerförsök (a) effekten av destruktering och (b) olika töjningshastigheter.

Vid simulering av triaxialförsöken i Figur 2 ses att modellen är kapabel till att fånga det uppförande man normalt finner för olika OCR förhållande för leror. I Figur 3 kan ses att modellen kan fånga det mest förekommande försök, dvs ödometerförsöket, på ett mycket realistiskt sett. Mer information gällande MAC-s modellen samt fler simuleringar och valideringsförsök kan ses i Olsson (2013).

Utveckling av en ny K_0 -triaxialcell

Den nya K_0 -triaxial cellen byggdes med ett huvudsyfte att mäta förhållandet mellan horisontala effektiv spänningen och vertikala effektiv spänningen vid normal konsoliderade förhållanden, dvs K_0^{nc} värdet utan någon ringfriktion.

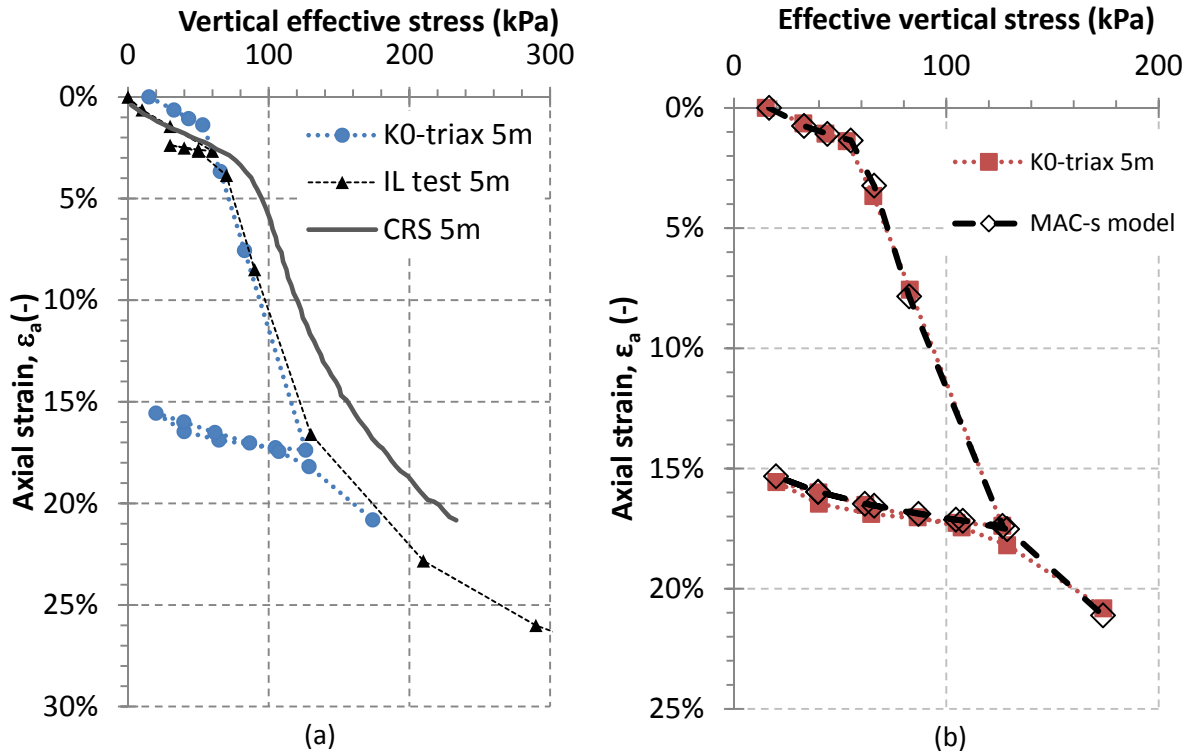
Den nya K_0 -triaxial cellen som konstruerades i detta projekt har för avsikt att användas för stegvisa belastningar för antingen dränerade eller odränerade förhållanden. Cellen kan enkelt utökas så att andra t.ex. töjningsstyrda system kan används. I Figur 4 visas en schematisk skiss över den nya K_0 -triaxialcellen med alla olika detaljer specificerade.



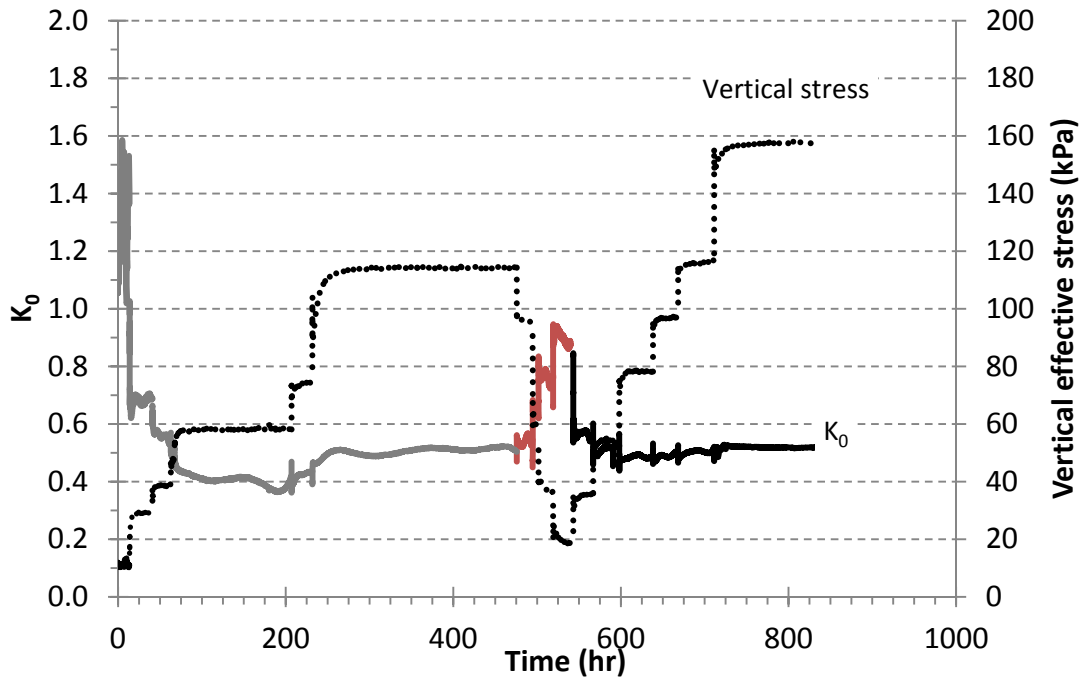
Figur 4. En schematisk skiss över den nya K_0 -triaxialcellen.

För att kontrollera att den horisontella deformationen, dvs. hållas konstant, användes en mätgivare för kontroller en pump som ökade eller minskade celltrycket. Givaren kalibrerades till en noggrannhet på mindre $<0.5\mu\text{m}$. Under projektet så utfördes en mängd försök med den nya cellen för att kalibrerar och verifiera dess funktioner. Utöver dessa försök så gjordes två skarpa försök på två olika djup. Nedan i Figur 5a redovisas resultat från försöket från 5m djup tillsammans med både CRS och IL ödometerförsök från samma djup och i Figur 5b redovisas försöksresultatet tillsammans med simulering av försöket med MAC-s modellen. I Figur 5a ses att resultaten är väldigt lika förutom att CRS kurvan mer eller mindre är parallell förflyttad åt höger i diagrammet, vilket är att förvänta då detta försök utförs på en dag medan de andra två försöken tar generellt en dag per laststeg.

I Figur 6 ses hur K_0 värdet förändras med hänsyn till rådande vertikal spänning. Här ses att vid första pålastningsserien går K_0 värdet från ca 1 till ett lågt värde på ca 0,4 för att sedan öka lite vid fortsatt belastning till ca 0,5-0,55. Vid avlastningsserien kan man se att K_0 värdet ökar för varje avlastning. Vid efterföljande pålastning ser man återigen att K_0 värdet sjunker fort ner till ett värde på ca 0.5-0.55 vid fort satt belastning.

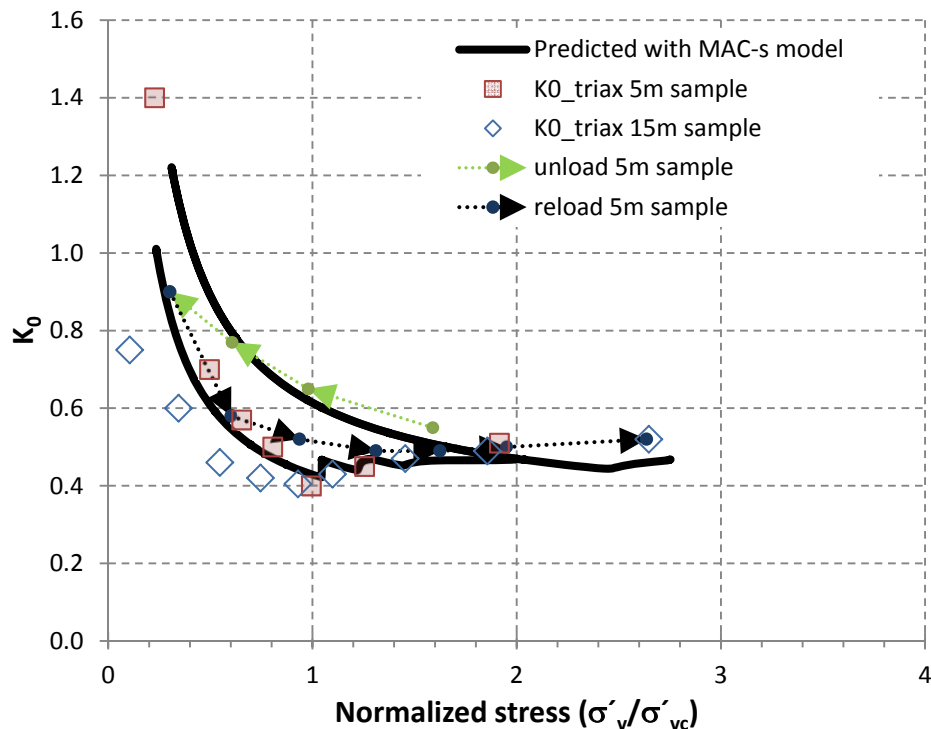


Figur 5. I (a) jämförelse av resultat från CRS, IL och K_0 -triax ödometerförsök och i (b) jämförelse mellan K_0 -triaxförsök med simulering av MAC-s modellen.



Figur 6. Förändring av vertikala effektiv spänningen (högra y-axeln) och K_0 (vänstra y-axeln) mot tiden.

I Figur 7 ses utvärderat K_0 mht normaliserad spänning för båda utförda försöken samt simuleringsresultat från MAC-s modellen. Baserat på Figur 7 är det bra överensstämmelse för K_0 värdet från MAC-s modellen för den första pålastningsserien medan av- och speciellt nästföljande pålastning inte matchar.



Figur 7. Utvärderat resultat från två försök utförda med den nya K_0 -triaxialcellen samt simulering av 5m provet med MAC-s modellen.

Slutsatser

Från simuleringsresultaten som presenterats ovan, och i Olsson (2013) visar att MAC-s modellen är kapabel till att fånga många av de viktiga egenskaper som den kryp benägna Göteborgsleran uppvisar. Men modellen i sin nuvarande form kan inte fånga av- och pålastning helt fullt ut, vilket är förvänta samt att den verkar underskatta K_0^{nc} värdet vid stora töjningar.

I sin nuvarande form MAC-s modellen anses vara ett värdefullt verktyg för geotekniker med intentionen att öka noggrannheten vid prognostisering av långtidssättningar, speciellt vid olika typer av förstärkningar som t.ex. Kalk-Cement pelare förstärkning. Detta är, givetvis, enbart applicerbart då indata är baserad på områdes specifika och hög kvalitativa laboratorieförsök.

Test resultaten från den nya K_0 -triaxialcellen visar för Göteborgsleran att förhållandet mellan den horisontella och vertikala effektiv spänningen vid normal konsoliderade förhållanden, dvs K_0^{nc} värdet, ligger inom 0.5-0,55. Detta stämmer också med tidigare mätningar som kan ses i Olsson (2013). Dessa resultat indikerar att den vanligen använda empiriska relation som är baserad på konflytgränsen ska användas med försiktighet, speciellt vid applicering vid beräkning med avancerade materialmodeller. Den nya K_0 -triaxialcellen ger värdeful information gällande spänningsförhållandet för ett prov i jämförelse med standard ödometerförsök som t.ex. CRS.

Referenser

Grimstad, G. and Degago, G. (2010). A non-associated creep model for structured anisotropic clay (n-SAC). Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE 2010), CRC Press, pp. 3-8.

Karstunen, M., Krenn, H., Wheeler, S. J., Koskinen, M. and Zentar, R. (2005). Effect of Anisotropy and Destructuration on the Behaviour of Murro Test Embankment International Journal of Geomechanics 5(2), pp. 87-97.

Olsson, M. (2013). On Rate-Dependency of Gothenburg Clay, Chalmers tekniska högskola. Ph.D thesis