

Reduktion af Brudstyrke i Silt ved Forskydning

Joachim M. Kirstein

August 13, 2019

1 Introduktion

Nærværende notat indeholder argumentation for anvendelse af materialemodel "Mohr Coulomb" som "Undrained A" for det geotekniske materiale, som er kategoriseret som sand/silt fra omtrent kote -20 i Skagen, i forbindelse med Udvidelse af Skagen Havn Etape 3.

I denne forbindelse er der fokuseret på argumentation for anvendelse af totalstabilitet.

2 Grundlæggende

Brudbetingelse Et tilladeligt brud i Plaxis optræder såfremt deformationer og spændinger overholder krav fra anvendte materialemodel, inden for den tilladte tolerance som er angivet i modellen. Materialemodellen angiver regler for forhold mellem tilvækst af tøjninger ift. tilvækst af spændinger. Disse afhænger eksempelvis af eksisterende spændinger og tøjninger. Ved anvendelse af en Mohr-Coulomb materialemodel i Plaxis, tages der udgangspunkt i elasticitetsteorien såfremt spændingstilstanden ikke medfører brud ift. Mohr-Coulombs brudkriterium (eller træk). Mohr-Coulombs brudkriterium i plan tilstand er givet ved ligning 1, [5] side 343.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \cdot \sin \varphi + c \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

(2)

I forhold til styrkeegenskaber for et udrænet materiale, kan dette enten defineres ved $c_{input} \rightarrow s_u$ og $\varphi_{input} \rightarrow 0$ eller ved $c_{input} \rightarrow c$ og $\varphi_{input} \rightarrow \varphi$. Førstnævnte udtryk svarer til "Undrained B" og andet udtryk svarer til "Undrained A".

Spændingsforhold Forholdene mellem totale spændinger, effektive spændinger og poretryk er defineret af ligning 3. Idet $p' = \sigma'_3 + q/3$ kan dette også beskrives ved 4. Idet der i denne sammenhæng ønskes at beskrive ændringen i spændinger som følge af ændring i forskydning og ikke normal-spændinger, holdes totalspændingerne konstante. Dette medfører ændringer i spændinger som givet af 5.

$$p = p' + u \quad (3)$$

$$p = \sigma'_3 + \frac{q}{3} + u \quad (4)$$

$$0 = \Delta \sigma'_3 + \frac{\Delta q}{3} + \Delta u \quad (5)$$

3 Skemptions Poretryk i Plaxis

Uanset om der regnes ved Undrained A eller Undrained B optræder opbygningen af poretryk i materialet på baggrund af Skemptions formel, [1], som angivet af ligning 6.

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (6)$$

Skemptions formel skaber en korrelation mellem ændring i poretryk med ændring i hhv. normal-spændinger samt forskydningsspændinger. Forud for diskussion af disse to bidrag kan ligning 6 med fordel angives som ligning 7 hvor Δu_a angiver bidraget fra normalspændinger og Δu_d angiver bidraget fra forskydningsspændinger. Begge bidrag er defineret af ligning 8 og 9.

$$\Delta u = \Delta u_a + \Delta u_d \quad (7)$$

$$\Delta u_a = B \cdot \Delta\sigma'_3 \quad (8)$$

$$\Delta u_d = B \cdot A \cdot \Delta q \quad (9)$$

Skemptions parameter B I Plaxis defineres parameteren B i Skemptions formel til tilnærmelsesvis 1 for både Undrained A og B, iht. [3]. Dette svarer til at stigning i volumenspændinger bæres af poretrykket og ikke kornskelettet. Således vil de totale volumenspændinger stige i takt med en stigning i poreovertryk, samtidig med at de effektive spændinger forbliver konstante. Under konsolidering vil poreovertrykket dissipere, hvilket medfører en sænkning af poreovertryk i takt med en stigning i effektive spændinger. I praksis medfører dette volumentøjning (under forudsætning af at E_{oed} for kornskelettet er lavere end E_{oed} for vand) og en styrkeforøgelse i materialet, såfremt dettes styrke er defineret af de effektive normalspændinger.

Skemptions parameter A Af ligning 9 fremgår det at ændringen i poretryk som følge af ændring i deviatorspændinger er lineært afhængig af A. Denne parameter kan variere iht. materiale samt spændingstilstand, [1]. Grundet dette er denne angivet således at ændring af forskydningsspændingerne i Plaxis ingen effekt har på ændring i poretrykket, [3]. Indflydelsen på dannelsen af poretryk som følge af forskydningsspændinger, er årsagen til at Plaxis ikke er tilstrækkeligt til at vurdere τ_{max} under en delvist udrænet situation (Undrained A), [5]. [4] side 24 og [5] side 176. Årsagen skyldes at spændingsstien ofte er forkert. Dog erkender Plaxis at der kan opstå store tilvækster i styrke, såfremt konsolidering tages i betragtning. I [3] verificere Plaxis at deres Mohr-Coulomb materialemodel regner iht. 6. Dog er A defineret således at $\Delta u_d = 0$. Plaxis regner altså Δu_a ud korrekt. I det følgende vurderes derfor effekten af Δu_d på τ_{max} for vurdering af den potentielle fejl som kan opstå i Plaxis.

4 Potentiel reduktion af τ_{max}

Ligning 1 definerer den tilladelige maksimale forskydningsspænding før der optræder brud i silten. I Plaxis vurderes effekten fra konsolidering og dermed bidraget til ændring i poretryk fra ændringen i normalspændinger.

Denne ligning anvendes i Plaxis og indeholder en potentiel fejl idet Plaxis ikke vurderer opbygning af poreovertryk, og dermed ændring i σ'_3 som følge af forskydninger. Ligning 5 benyttes til vurdering af mulig ændring i σ'_3 under en forøgelse af deviatorspændingerne. Idet der ikke forekommer nogle ændringer i totalspændingerne findes $\Delta p = 0$. Såfremt ændring i normalspændinger er 0 defineres Δu som Δu_d , hvorved Δu kan udskiftes med udtrykket fra ligning 9. Således

$$\Delta u = A \cdot \Delta q \quad (10)$$

$$\Delta\sigma'_3 = -A \cdot \Delta q \quad (11)$$

Implementering af poreovertrykket i ligningen kan gives ved ligning 13. Denne tager udgangspunkt i $B = 1$, som det er tilfældet for en udrænet beregning i Plaxis.

$$\tau_{max} = \left(\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3 + \Delta\sigma'_3}{2} \right) \cdot \sin \varphi \quad (12)$$

$$\tau_{max} = \left(\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3 - A\Delta q}{2} \right) \cdot \sin \varphi \quad (13)$$

$$\tau_{max} = \left[\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \cdot \sin \varphi \right] - \left[\frac{A\Delta q}{2} \cdot \sin \varphi \right] \quad (14)$$

Af ligning 14 fremgår det at den maksimale reduktion af τ_{max} ved forskydning er defineret ved højre led. Dette led er udeladt i Plaxis, hvor kun højre led indgår i vurderingen af τ_{max} .

For silten findes $\varphi = 30^\circ$, svarende til $\sin \varphi = 0.5$. Altså findes den reducerede τ_{max} ved ligning 15.

$$\tau_{max,red} = \tau_{max,Plaxis} - \frac{A\Delta q}{4} \quad (15)$$

I det følgende vurderes mulige værdier for Skemptions A samt ændring i deviatorspændinger.

Skemptions A A er typisk kun defineret for lerarter. I [1] er A defineret ml. -1/4 og 1/4 for ”compacted clay-gravels” og ml. 1/4 og 3/4 for ”Compacted sandy clays”. I [2] er A defineret ml. 1/2 og 1 for normalkonsolideret ler. En kritisk værdi for A vurderes at være omkring 0,5.

Ændring i Deviatorspændinger Ændringen i deviatorspændinger forekommer over den tid som det tager poreovertrykket at dissipere. Såfremt silten har en høj permeabilitet, vil opbygningen af poretryk ved ændring i deviatorspændinger dissipere i takt med at lasten påføres. Således svarer dette til at ændringen i deviatorspændinger til beregning af opbygning af poreovertryk aldrig bliver rigtig høj (med mindre meget last påføres utrolig hurtigt).

Der er udført beregninger i Plaxis, hvor al containerlast (50 kPa de første over 5 m) samt trafiklast (30 kPa bagud) påføres pludseligt. Dette medføre højeste mulig ændring i deviatorspændinger. Ved udtræk af resultater i Plaxis omkring brudfiguren viser dette en ændring i spænding på omtrent 10 kPa i silten. Ved anvendelse af ligning 15 opnås derved en reduktion af τ_{max} på 2,5 kPa, såfremt A meget konservativt sættes 1,0 og silten regnes med $\varphi = 30^\circ$.

5 Opsamling

Når Plaxis regner med Undrained A skyldes den potentielle fejl at Plaxis ikke medregner forøgelsen af poreovertryk under forskydning.

Iht. Skempton, vurderes dette på baggrund af ændringen i deviatorspændinger samt materialeparameteren A, som kan variere på baggrund af spændinger samt tøjninger.

Ved opslag i [1] og [2] vurderes værdien for A lav, hvilket medfører lave påvirkninger på τ_{max} som følge af ændring i deviatorspændinger.

Ved vurdering af mulig opbygning af poreovertryk som følge af ændring i deviatorspændinger bør permeabiliteten tages i betragtning. Såfremt denne er høj, reduceres muligheden for opbygning af poreovertryk som følge af ændring i deviatorspændinger. Dette vil ligeledes sænke muligheden for reduktion af τ_{max} . I dette tilfælde regnes der med en pludselig lastpåførsel fra 0 til fuld container+trafiklast, hvilket er konservativt.

6 Implementering i Beregninger

Ved beregning Undrained A i Plaxis undlades reduktion i τ_{max} som følge af forskydning. Denne kan dog vurderes via ovenstående metodik, og for implementering i Plaxis anvendes en reduceret friktionsvinkel som findes ved ligning 16.

$$\varphi_{red} = \arctan \left(\tan \varphi \cdot \frac{\tau_{max} - \tau_{max,red}}{\tau_{max}} \right) \quad (16)$$

På baggrund af effektive spændinger i Plaxis vurderes τ_{max} til omtrent 50 kPa. Ved ændring i deviatorspænding på 10 kPa findes $\tau_{max,red}$ til omtrent 2,5 kPa. Idet silten har φ på 30° , kræves denne reduceret til $28,8^\circ$ for implementering af forskydning.

7 References

- [1] A. W. Skempton, D.Sc, A. (1954). The pore-pressure coefficients a and b.
- [2] Harremoës, Krebs Ovesen, M. J. (1984). Lærebog i geoteknik 1, 5. udgave.
- [3] PLAXIS (2002). Plaxis bulletin 12, note on pore pressure.
- [4] PLAXIS (2016a). Plaxis 2d, material model manual.
- [5] PLAXIS (2016b). Plaxis 2d, reference manual.