

Analys av obundna materials resilienta beteende i syfte att förutsäga permanent deformationsbeteende

SBUF-projekt 1319 – modellering obundna lager

JAN ENGLUND

Skanska Sverige AB

Teknik och projekteringsledning – Väg och Asfalt

PI 6185

424 57 Gunnilse

BAKGRUND

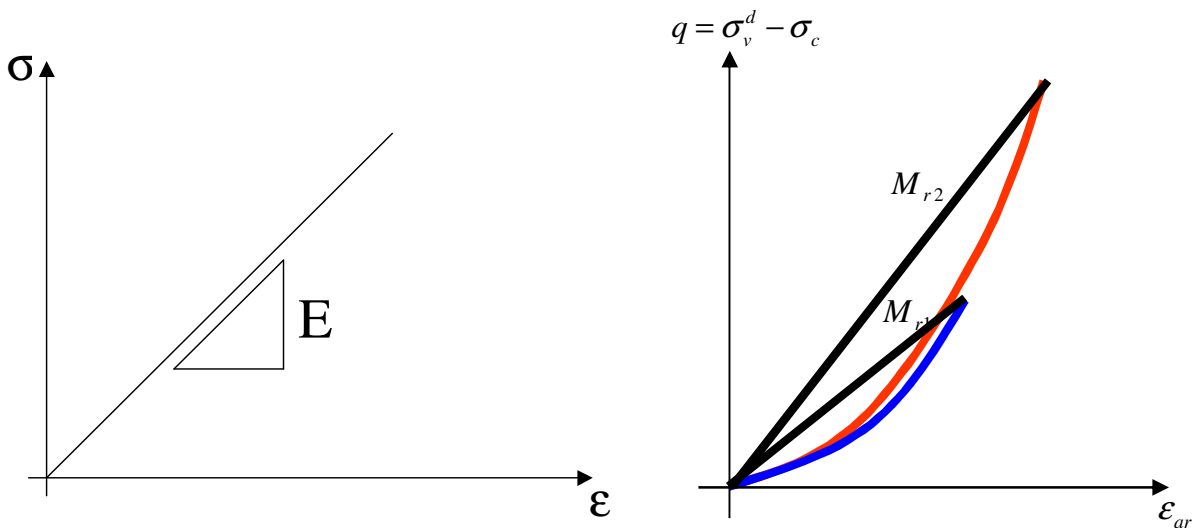
Efterpackning av obundna material är den oavsiktliga packningen som uppstår direkt efter att vägen tas i bruk och orsakas av att materialet får högre densitet (kompaktering). Analogier till efterpackning kan upptäckas både vid laboratorie- och fälttester. Den permanenta deformationen som efterpackningen orsakar, avstannar emellertid efter ett tag, men den spårbildning som detta orsakat förkortar emellertid vägens livslängd och är därför intressant minimera. Skjuvning i de obundna materialen orsakas av att lasterna på det obundna materialet är för stora. Den skapade permanenta deformationen avstannar inte och därför är det viktigt att förhindra att ett sådant tillstånd uppkommer. Det är viktigt att i byggnadsskedet ha en möjlighet att identifiera riskerna för att efterpackning eller skjuvning uppstår i vägkonstruktionens obundna lager.

MÅL OCH SYFTE

Målet och syftet med avhandlingen är att identifiera villkoren för efterpackning (kompaktivt beteende) och separera dem från permanent deformation orsakad av skjuvning/dilatation (skjuvbeteende) för att förenkla förståelsen av deformationsprocessen. I förlängningen är det önskvärt att finna en snabbare metod för att beskriva permanenta deformationsutvecklingen.

GENOMFÖRANDE

För att göra detta, analyseras förhållandet mellan permanent och resilient (återgående) deformation. Den resilienta deformationen beskrivs genom de obundna materialens spänningshårdnande egenskaper. Till skillnad från material med linjärelastiska egenskaper blir material med spänningshårdnande egenskaper svårare att deformera ju större lasten är, se Figur 1.

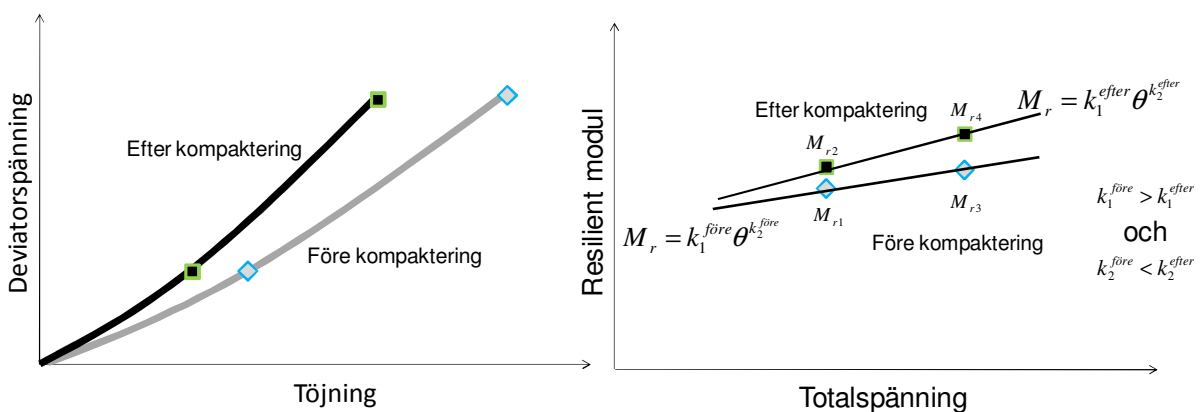


Figur 1. Jämförelse mellan linjärelastiskt material där elasticitetsmodulen E beskriver styvheten och ett spänningshårdnande material där resilienta modulen M_r beskriver styvheten.

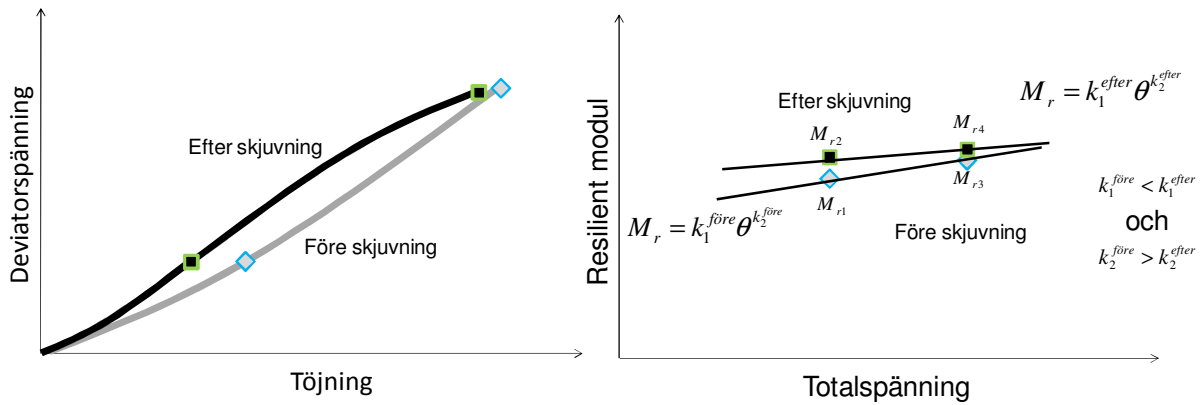
Spänningshårdnandet modelleras genom att använda den så kallade k - θ modellen, Ekvation 1.

$$M_r = k_1 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^{k_2} \quad (1)$$

Parameter k_1 beskriver resilienta spänningsberoende modulen M_r vid en totalspänning $\theta = 1$ kPa och parameter k_2 spänningshårdnandet. Ju högre k_2 -värde, desto större spänningshårdnande egenskaper. Den konceptuella modellen bygger på att de spänningshårdnande egenskaperna förändras genom kompaktering eller skjuvning. Kompaktering ökar de spänningshårdnande egenskaperna och skjuvning minskar dem. Detta kan utvärderas genom att kompaktering ger ett minskat k_1 -värde och ett ökat k_2 -värde medan skjuvning ökar k_1 -värdet och minskar k_2 -värdet, se Figur 2 och Figur 3.



Figur 2. Ökat spänningshårdnande till följd kompaktering vilket genererar ett minskat k_1 -värde och ett ökat k_2 -värde.



Figur 3. Ökat spänningshårdnande till följd kompaktering vilket genererar ett ökat k_1 -värde och ett minskat k_2 -värde.

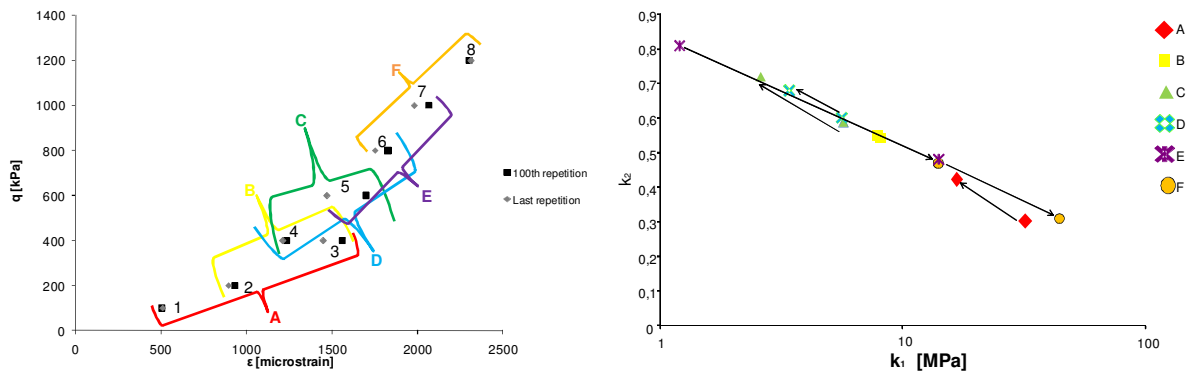
Indata till analysen för det spänningshårdnande beteendet och de permanenta deformationsegenskaperna kommer från småskaliga laborietester och fullskaliga fältförsök utförda av VTI. Laborietesterna utfördes i form av dynamiska triaxialförsök och i fält i form av accelererade belastningsförsök med HVS (simulering av tung trafik) och tung fallvikt (FWD). En konceptuell modell sattes upp för att beskriva påverkan av permanent deformation på de resilienta egenskaperna.

Vid triaxialförsöken belastades varje prov med åtta lastnivåer (från låg till hög) och lasten repeterades mellan 1000 och 100000 gånger beroende på lastnivå. De permanenta deformationsegenskaperna kunde därmed utvärderas för varje lastnivå. För utvärdering av de spänningshårdnande egenskaperna i triaxialförsöket beräknades elasticitetsmodulen för tre lastnivåer i taget. De tre modulerna relaterades därefter till totalspänning för beräkning av de spänningshårdnande egenskaperna genom att använda k - θ modellen. De spänningshårdnande egenskaperna analyserades före och efter uppstådd permanent deformation.

Vid fältförsöken användes FWD för att undersöka de spänningshårdnande egenskaperna och HVS för att skapa permanent deformation. FWD försök utfördes före och efter HVS försöket med tre lastnivåer och därmed kunde de spänningshårdnande egenskaperna utvärderas genom att använda k - θ modellen på samma sätt som vid triaxialförsöken. Effekten av permanent deformation på spänningshårdnandet kunde därmed även här utvärderas.

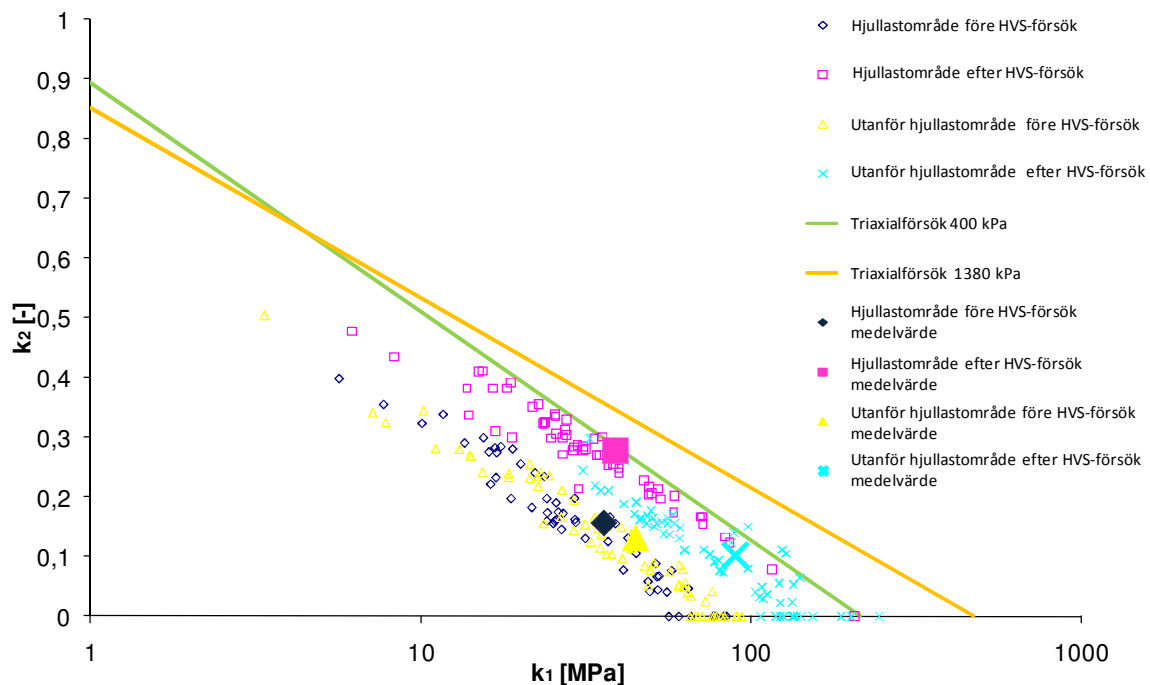
RESULTAT

Permanent deformationsutvecklingen och spänningstillståndet för triaxialförsökets olika laststeg studerades. Det fanns en samstämmighet att för de lägre laststegen (laststeg 1-6) orsakade kompaktering den permanenta deformation och för de högre (laststeg 7-8) skjuvning. De spänningshårdnande egenskaperna studerades genom regressionsanalys för tre lastnivåer i taget före och efter permanent deformation. Regressionsanalys A representerar lastnivå 1-3 och regressionsanalys B lastnivå 2-4 och så vidare upp till regressionsanalys F. Det visade sig att regressionsanalys A-D motsvarande last upp till laststeg 6 visade på ett minskat k_1 -värde och ett ökat k_2 -värde, vilket indikerar kompaktering. Regressionsanalys E och F motsvarande last upp till laststeg 8 visade på ökat k_1 -värde och minskat k_2 -värde vilket indikerar skjuvning. Detta ligger helt i linje med vad analysen av permanent deformationsutveckling och spänningsanalys påvisade. Detta sammanfattas i Figur 4.



Figur 4. Resultat av den spänningshårdnande analysen från triaxialförsöken. Beteckningen 1-8 visar laststegen som användes vid triaxialförsöken och A-F de olika regressionsanalyserna för bestämning av de spänningshårdnande egenskaperna. Pilarna anger påverkan av permanent deformation på parametrarna k_1 och k_2 .

Analys av permanenta deformationsutvecklingen och spänningsanalys på HVS-belastningen visar på att den permanenta deformationen orsakas av kompaktering. Analys av FWD-försöken visar att elasticitetsmodulen ökar både i hjullspår men även utanför hjullspår efter HVS-försöken. De spänningshårdnande egenskaperna visar på att den ökade elasticitetsmodulen i hjullspår orsakas av en ökning av k_2 -värdet. Detta indikerar kompaktering, vilket både analysen av permanenta deformationsutvecklingen och spänningsanalysen visade. Ökningen av elasticitetsmodulen utanför hjullspår orsakas av ett ökat k_1 -värde. Utanför hjullspår har materialet varken skjuvats eller kompakterats, bara vilat. Vilan orsakar bland annat en uttorkning av materialet, vilket i sin tur orsakar en ökning av elasticitetsmodulen. Detta sammanfattas i Figur 5.



Figur 5. Resultat av den spänningshårdnande analysen från fältförsöken. De heldragna linjerna anger triaxialförsökens resultat för lägsta och högsta lastnivå.

Det är stor spridning på resultaten men medelvärdena ger en god bild. De heldragna linjerna visar triaxialförsökens resultat för lägsta och högsta lastnivån. Det finns ett samband mellan k_1 och k_2 -parametrarna men detta samband är beroende av spänningsområdet parametrarna är utvärderade för samt den elasticitetsmodul som representerar aktuella spänningsområdet. Parametrarna framtagna i samband med triaxialförsöken kan användas som riktvärde för vad som bör uppnås i fält.

Provytorna uppfördes ungefär samtidigt men HVS-försöken utfördes under en period av fyra veckor (en yta per vecka), varför en del ytor fick vila efter HVS-försöket och en del före. Detta verkar dock inte ha påverkat resultatet vilket medför att vila och den ökning av elasticitetsmodulen som detta skulle kunna tänkas ge inte skyddar mot efterpackning. Däremot kan det tänkas att elasticitetsmodulökning genom vila har positiv effekt vid utläggning av de ovanliggande asfaltslagren.

SLUTSATSER OCH PRAKTISKA TILLÄMPNINGAR

Resultaten av analyserna beskrivna i avhandlingen visar på att det är möjligt att förutspå permanenta deformationsbeteendet genom att studera de spänningshårdnande egenskaperna. Det går även att skilja på om ökning av elasticitetsmodul har skett genom vila eller kompaktering/efterkompaktering.

Tung fallviktsutrustning används som kvalitetskontroll och det är möjligt att utföra tester direkt på obunden överyta enligt litteraturstudien. Därför bedöms behovet att utveckla ny utrustning som litet. Det är både på laboratorium och i fält möjligt genom ett snabbare elastiskt test förutse permanenta deformationsbeteendet och därmed kunna justera konstruktionen för att undvika skjuvning. Genom riktvärden på parametrarna k_1 och k_2 framtagna i laboratorium är det möjligt att på ett vassare sätt bedöma om en yta är färdigpackad eller inte jämfört med att bara utvärdera en elasticitetsmodul. I dagsläget används statisk plattbelastning eller densitetsmätning för att bedöma om en yta är färdigpackad samt om rätt bärighet är uppnådd. Detta skulle i så fall ersättas med tung fallviktsmätning kompletterat med laboratorieförsök på materialet. Det är därför viktigt att bedöma värdet av den extra kunskapen mot den extra kostnad som kan tillkomma.

Nyckelord: Tung fallvikt (FWD), simulator för tung trafik (HVS), modul, permanent deformation, efterpackning, resilient deformation, triaxialförsök, obundna material