

Ett **SBUF**-projekt

Datum

2007-09-18

Författare

Richard Nilsson

Skanska Sverige AB
Skanska Teknik
Teknik Väg och Asfalt
Box 9044
200 39 Malmö
Tel.: 040-14 49 87
Fax: 040-14 49 95

Beteckning

ID: 11580

OBUNDNA VÄGBYGGNADSMATERIAL

Materiallegenskaper utvärderade enligt SS-EN 13286-7:2004 – Del 7: Treaxialtest för obundna vägbyggnadsmaterial

Projekt ID: 11580

Skanska Sverige AB
Skanska Teknik
Teknik Väg & Asfalt
Box 9044
200 39 Malmö

OBUNDNA VÄGBYGGNADSMATERIAL
Materiallegenskaper utvärderade enligt SS-EN
13286-7:2004 – Del 7: Treaxialtest för obundna
vägbyggnadsmaterial

Ett SBUF-projekt

Richard Nilsson

Förord

Projektet har drivits av Skanska Sverige AB, Skanska Teknik Väg och Asfalt och har finansierats av Skanska och SBUF. I styr och referensgrupperna har det funnits representanter från Skanska, Lunds Tekniska Högskola och NCC. Författaren är tacksam för finansiärernas ekonomiska stöd samt för stödet från personerna som ingått i styr- och referensgrupperna.

Syftet med projektet har varit att bestämma obundna materials resilientmodul (M_r) och förmåga att stå emot permanenta deformationer genom att använda triaxialförsök utförda enligt SS:EN 13286-7:2004. Samma material som redan har testats med alternativa metoder har även testats med triaxialutrustning och därefter jämfördes resultaten med varandra. Vid testerna har resilientmoduler för de testade materialen bestämts. Modulerna kan användas vid analytisk (mekanistisk) dimensionering av vägkonstruktioner. Testerna kan även underlätta rangordningen av olika typer av material vilket är viktigt då alternativa material används i exempelvis sidoanbud.

Laboratorieförsöken har utförts vid Skanskas Vägtekniska Centrum – VTC Syd i Malmö. Författaren riktar ett stort tack till personalen, som har genomfört försöken på ett förtjänstfullt sätt.

Malmö september 2007

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	I
1 INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	2
2 METOD OCH MATERIAL.....	3
2.1 ARBETSGÅNG.....	3
2.2 MATERIAL.....	5
2.2.1 Bärlagermaterial från södra Sverige.....	5
2.2.2 Bärlagermaterial från västra Sverige.....	5
2.2.3 Bärlagermaterial med inblandning av 25 % resp. 50 % asfaltgranulat.....	5
2.3 METOD.....	6
2.3.1 Triaxialförsök.....	6
2.3.2 Utvärdering av permanenta deformationer ("Multi-stage" testing).....	7
2.3.3 Utvärdering av resilientmodulen (M_r).....	7
2.3.4 Monotoniska skjuvförsök.....	8
2.3.5 Friktionsvinkel och kohesion.....	8
3 RESULTAT OCH DISKUSSION.....	11
3.1 Laboratoriedata.....	11
3.2 Triaxialförsök.....	13
3.2.1 Bestämning av permanenta deformationer ("Multi-stage" testing).....	13
3.2.2 Bestämning av resilientmodulen (M_r).....	16
3.2.3 Monotoniska skjuvförsök.....	21
3.2.4 Friktionsvinkel och kohesion.....	23
3.2.5 Användning av resultaten.....	23
4 SLUTSATSER.....	25

REFERENSER

Bilaga 1: Kornfördelningskurva för bärlagermaterial från södra Sverige.

Bilaga 2: Kornfördelningskurva för bärlagermaterial från västra Sverige.

Bilaga 3: Kornfördelningskurva för bärlagermaterial med 25 % inblandning av asfaltgranulat.

Bilaga 4: Data för "Multi-stage" försöken utförda på material från södra Sverige.

Bilaga 5: Data för "Multi-stage" försöken utförda på material från västra Sverige.

Bilaga 6: Data för "Multi-stage" försöken utförda på material med 25 % respektive 50 % inblandning av asfaltgranulat.

Sammanfattning

I takt med att antalet funktionsentreprenader, PPM-projekt, BOT-projekt etc. förväntas öka ställer det även högre krav på att entreprenören kan utvärdera och beskriva vad som händer med de material som används i den aktuella konstruktionen. En analytisk (mekanistisk) dimensioneringsmodell består vanligtvis av två huvudmodeller; 1) materialmodeller för materialen i överbyggnaden och terrassen samt 2) en strukturell responsmodell. Den strukturella responsmodellen, som är uppbyggd av materialmodeller för de olika materialen, har till uppgift är att beräkna spänningar och töjningar i överbyggnaden. Dessa används sedan som indata till nedbrytningsmodellerna för att prediktera nedbrytningen av vägen, dvs. hur exempelvis utmattningsprickor, spår, ojämnheter etc. utvecklas över tiden. För att den strukturella responsmodellen ska ge realistiska resultat krävs att de ingående materialmodellerna och nedbrytningsmodellerna är baserade på fundamentalt riktiga antaganden samt är kalibrerade och validerade mot verklig nedbrytning observerad i fält.

Vid all analytisk (mekanistisk) dimensionering av vägkonstruktioner är de ingående materialens styvhetsmodul mycket viktig. Hos obundna material benämns styvhetsmodulen oftast resilientmodul (M_r). Utöver resilientmodulen är också materialets förmåga att stå emot permanenta deformationer viktig för att kunna rangordna och välja rätt material till den aktuella vägkonstruktionen. I takt med att naturresurserna förbrukas och blir dyrare är det också viktigt att alternativa material kan utvärderas på ett systematiskt och korrekt sätt för att sedan användas som alternativ till traditionella material. Exempelvis kan krossad betong/tegel användas som förstärkningsmaterial. Krossas asfalt kan blandas med bärlagermaterial i olika proportioner för att förbättra egenskaperna och reducera kostnaderna. Försök med olika typer av slaggar har också visat goda resultat.

Syftet med projektet är att bestämma obundna materials resilientmodul (M_r) och förmåga att stå emot permanenta deformationer genom att använda triaxialförsök utförda enligt SS-EN 13286-7:2004. Samma material som redan testats med alternativa metoder i tidigare projekt kommer även att testas med triaxialmetoden och därefter jämförs resultaten med varandra. Vid testerna kommer resilientmoduler för de testade materialen att bestämmas. Modulerna kan användas vid analytisk (mekanistisk) dimensionering av vägkonstruktioner. Testerna kan även underlätta rangordningen av olika typer av material vilket är viktigt då alternativa material används i exempelvis sidoanbud.

Totalt har fyra materialtyper testats i denna studie. Två vanliga bärlagermaterial (0-40 mm) enligt ATB VÄG:s specifikationer samt två material med olika mängd inblandat asfaltgranulat.

Efter avslutad packning tilläts provkroppen vila i klimatkammaren (25°C) i ca 4 timmar. Varje provkropp utsattes för tre typer av försök, s.k. ”multi-stage test”, resilientmodulförsök samt ett monotoniskt tryckförsök till brott som avslutning. Syftet med ”multi-stage” testet är att utvärdera materialets motståndskraft mot permanenta deformationer. Från ”multi-stage” testet erhålls resilientmodulen samt resilienta och permanenta axiella och radiella töjningar. Från resilientmodulförsöket bestäms materialets resilientmodulen (M_r) och från det monotoniska tryckförsöket erhålls data så att brottegenskaperna för materialet kan studeras.

Triaxialtesterna på obundet material utförda inom ramen för detta projekt har visat att metodiken, beskriven i SS-EN 13286-7:2004, för att utvärdera motståndskraften mot permanenta deformationer samt för att bestämma resilientmodulen (M_r) fungerar väl. Det är

möjligt att se tydliga skillnader mellan de testade materialen och resultaten från testerna är till stor hjälp då olika typer av material ska rangordnas samt för att bestämma var i konstruktionen placeringen av materialet kan vara mest lämplig. Det är även möjligt att använda data för analytisk dimensionering samt för att modellera spårutveckling.

Den största svårigheten är att packa in materialet till föreskriven packningsgrad och vattenkvot. Det krävs stor noggrannhet och det är en nödvändighet att material och vatten vägs in och därefter blandas väl för att komma i närheten av de önskade nivåerna.

Resultaten från triaxialförsöken visade att de rena bärlagermaterialen (dvs. utan inblandning av asfaltgranulat) som testades i denna studie hade markant bättre motståndskraft mot permanenta deformationer jämfört med bärlagermaterial med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat. En nackdel med att blanda in asfaltgranulat i bärlagermaterialet är att materialet blir något mera svårpackat, vilket skulle kunna förklara en del av skillnaderna.

Om resultaten från detta projekt jämförs med resultat från tidigare studier där alternativa testmetoder använts blir resultaten inte desamma. Resultat från körningar i en testlåda utvecklad vid LTH samt från CBR-bestämningar visar att en inblandning av 25 % asfaltgranulat i ett bärlagermaterial förbättrar motståndskraften mot permanenta deformationer jämfört med ett rent bärlagermaterial. Även en inblandning av 50 % asfaltgranulat uppvisade lovande resultat vid testerna i lådan.

Det är svårt att dra några långtgående slutsatser om anledningen till skillnaderna i resultat mellan testlådan och triaxialförsöken. Metoderna är mycket olika varandra och det är möjligt att testlådan efterliknar förhållandena som råder i fält på ett bättre sätt än vad triaxialförsöken gör. En annan förklaring till skillnaderna i resultat mellan metoderna skulle kunna vara att provkropparna som testades i triaxialutrustning inte tilläts vila i två dygn innan testerna påbörjades, vilket var fallet för materialet som testades i testlådan. Efter två dygns vila har en viss uttorkning skett, detta påverkar motståndskraften mot permanenta deformationer på ett positivt sätt. Det bör dock påpekas att inte heller de rena bärlagermaterialen tilläts vila innan triaxialförsöken påbörjades.

Resultaten med avseende på resilientmodulen (M_r) ser ut som förväntat för ett granulärt material. Resilientmodulen ökar med spänningen eftersom materialet är spänningsberoende. Som förväntat finns det även en viss variation mellan resilientmodulerna beroende på att vattenkvoten och packningsgraden inte är identisk för samtliga testade provkroppar. Det är även intressant att konstatera att materialen med inblandning av 25 % resp. 50 % asfaltgranulat hade likvärdiga eller högre resilientmoduler jämfört med ett rent bärlagermaterial trots att dessa material hade signifikant sämre motståndskraft mot permanenta deformationer.

Det är även mycket viktigt att veta om resilientmodulen har bestämts på en konditionerad provkropp eller om resilientmodulen har bestämts i samband med utvärderingen av permanenta deformationer. Enligt SS-EN 13286-7:2004 ska resilientmodulen bestämmas på en konditionerad provkropp. Om denna rekommendation följs erhålls en något högre resilientmodul jämfört med om resilientmodulen bestäms i samband med utvärderingen av permanenta deformationer. Skillnaden är relativt logiskt eftersom det sker en viss efterpackning i samband med att de permanenta deformationerna utvärderas. Då testerna utförs på en konditionerad provkropp är de permanenta deformationerna mycket små eller försumbara vilket också ger en högre resilientmodul.

Från de monotoniska skjuvförsöken framgår det att de rena bärlagermaterialen uppvisar en relativt brant lutning på kurvan efter att brottet har inträffat. Detta skiljer sig markant från utseendet på kurvorna för materialen med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat, som

har ett mycket flackare förlopp efter brottet. Från försöken framgår det även att restvärdet för de olika materialtyperna verkar plana ut mot ungefär samma nivå men toppvärdet, dvs. brottspänningen, är högre för de rena bärlagermaterialen. Slutsatsen blir att de rena bärlagermaterialen är starkare än materialen med inblandning av asfaltgranulat men när väl brottet har skett kommer nedbrytningen att bli mycket snabbare för dessa material.

Friktionsvinklarna för de rena bärlagermaterialen ligger i intervallet 37-41 grader. För materialen med inblandning av asfaltgranulat är intervallet 20-27 grader. Anledningarna till att friktionsvinklarna skiljer sig så kraftigt åt mellan materialen kan vara många, en betydande anledning är troligtvis packningen. Beräknas porundertrycken för de testade materialen hamnar dessa mellan ca 0-45 kPa för de testade materialen.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I takt med att antalet funktionsentreprenader, PPM-projekt, BOT-projekt etc. förväntas öka ställer det även högre krav på att entreprenören kan utvärdera och beskriva vad som händer med de material som används i den aktuella konstruktionen. Om materialens mekaniska egenskaper kan beskrivas med en fundamentalt riktig materialmodell minskar riskerna, för både entreprenör och beställare, vilket i sin tur minskar risken för att konstruktionen ska gå till förtida brott med kostsamma konsekvenser för de inblandade parterna som följd.

En analytisk (mekanistisk) dimensioneringsmodell består vanligtvis av två huvudmodeller; materialmodeller för materialen i överbyggnaden och terrassen samt en strukturell responsmodell. Den strukturella responsmodellen, som är uppbyggd av materialmodeller för de olika materialen, har till uppgift är att beräkna spänningar och töjningar i överbyggnaden. Dessa används sedan som indata till nedbrytningsmodellerna för att prediktera nedbrytningen av vägen, dvs. hur exempelvis utmattningssprickor, spår, ojämnheter etc. utvecklas över tiden. För att den strukturella responsmodellen ska ge realistiska resultat krävs att de ingående materialmodellerna och nedbrytningsmodellerna är baserade på fundamentalt riktiga antaganden samt är kalibrerade och validerade mot verklig nedbrytning som observerats i fält.

Vid all analytisk (mekanistisk) dimensionering av vägkonstruktioner är de ingående materialens styvhetsmodul mycket viktig. Hos obundna material benämns styvhetsmodulen oftast resilientmodul (M_r). Det är allmänt känt att bl.a. fukttinnehållet i en vägkonstruktion varierar med årstiden vilket också leder till att resilientmodulen varierar. Andra faktorer som också påverkar resilientmodulen är exempelvis torrdensiteten, vattenmättnadsgraden, packningsgrad, partikelstorlek, partikelform etc. Vid dimensionering är det därför viktigt att kunna beskriva hur resilientmodulen varierar när dessa faktorer förändras. Utöver resilientmodulen är också materialets förmåga att stå emot permanenta deformationer viktig för att kunna rangordna och välja rätt material till den aktuella vägkonstruktionen, *SAMARIS (2004)*, *Rabbira et al. (2006)*, *Locke, B., Lovén, J (2007)*.

I takt med att naturresurserna förbrukas och blir dyrare är det därför också viktigt att alternativa material kan utvärderas på ett systematiskt och korrekt sätt för att sedan användas som alternativ till traditionella material. Exempelvis kan krossad betong/tegel användas som förstärkningsmaterial. Krossas asfalt kan blandas med bärlagermaterial i olika proportioner för att förbättra egenskaperna och reducera kostnaderna, *Jacobsson, T. (2002, #1)*, *Jacobsson, T. (2002, #2)*. Försök med olika typer av slaggar har också visat goda resultat, *Arvidsson, Håkan (2001)*, *Arm, Maria (2003)*.

I samarbete med Lunds Tekniska Högskola (LTH) har både traditionella och alternativa material utvärderas, dels inom ramen för SBUF-projekt 11169 men även som ett examensarbete vid avdelningen för vägbyggnad (ej slutredovisat). Detta projekt kommer att vara en fortsättning/komplettering av SBUF-projekt 11169 ”Mekaniska egenskaper hos krossad asfalt och bergkross till obundna överbyggnadsmaterial”, *Parhamifer (2004)*

I SBUF-projekt 11169 har en testmetod, utvecklad vid LTH som ett alternativ till de traditionella metoderna, använts vid försöken. Materialet packas in i en låda och utsätts sedan för cykliska belastningar. Under försökets gång registreras deformationerna.

I examensarbetet användes CBR-metoden för att studera de aktuella materialen. CBR-metoden är utvecklad i USA och används fortfarande till viss del. I Sverige är den dock inte så vanlig idag.

Båda metoderna har sina för- och nackdelar (som alltid) men vid utvärdering av obundet material är triaxialförsök något av en standard inom branschen idag. I början av 2004 fastställdes också en ny EU-standard för metoden (SS-EN 13286-7:2004) och mycket av bakgrundsarbetet till metoden finns beskrivet i *Werkmeister, Sabine (2003)*. Detta gör det svårare att få acceptans för resultat framtagna med andra metoder om dessa inte har jämförts med resultat framtagna enligt triaxialmetoden. Triaxialförsökens starka ställning förstärks också av att amerikanerna i och med införandet Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (M-E PDG) (även kallad "AASHTO 2002 Design Guide") har gått över till triaxialförsök vid utvärdering av obundet material (även bundet material) och därmed helt eller delvis lämnat CBR-metoden.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att bestämma obundna materials resilientmodul (M_r) och förmåga att stå emot permanenta deformationer genom att använda triaxialförsök. Samma material som redan har testats med de alternativa metoderna kommer även att testas med triaxialmetoden och därefter jämförs resultaten med varandra. Vid testerna kommer moduler för de testade materialen att bestämmas. Modulerna kan användas vid analytisk (mekanistisk) dimensionering av vägkonstruktioner. Testerna kan även underlätta rangordningen av olika typer av material vilket är viktigt då alternativa material används i exempelvis sidoanbud.

2 Metod och material

I detta kapitel kommer de testade materialen samt arbetsgången att beskrivas kortfattat.

2.1 Arbetsgång

Bärlagermaterialet (0-40 mm) skickades till laboratoriet i tunnor eller på pallar. Efter ankomsten delades materialet ner till mindre provmängder (ca 20 kg) med hjälp av en nerdelare. Efter nerdelning utfördes en invibrering enligt VVMB607 (enkelprov) för att bestämma materialets maximala densitet och optimala vattenkvot. Denna bestämning låg till grund för vid vilken vattenkvot det övriga materialet sedan testades.

Efter torkning vägdes aktuell vattenmängd in och därefter blandades materialet så att vattnet fördelades homogent. Innan inpackningen tilläts materialet även vila ca 1-2 timmar så att vattnet fick möjlighet att helt absorberas.

Triaxialprovkropparna ($\varnothing 150 \times 300$ mm) packades in i en öppningsbar form som skruvades fast på ett vibrobord, se Figur 2-1. I botten och på toppen av provkroppen användes porösa plattor så att eventuellt överskottsvatten skulle kunna dräneras bort. Från ovansidan packades materialet med en vibrohammare. För att säkerställa tillräcklig packning lades materialet ner i formen i omgångar (ca 5-6 lager). Ett gummimembran användes på insidan av formen. Efter avslutad packning trädde ytterligare ett membran på eftersom det första vanligtvis punkterades av vassa stenar i samband med packningen. På insidan av formen fanns även givarhållare (s.k. ”studs”) som packades in i materialet i samband med packningen, se Figur 2-2.



Figur 2-1 Form och vibrobord som användes vid inpackningen av triaxialprovkroppar



Figur 2-2 Givarhållare (s.k. "studs") på insidan av formen innan materialet lagts ner

Efter avslutad packning vägdes form och provkropp så att den våta densiteten skulle kunna bestämmas. Därefter delades formen och givare monterades på provkroppen innan den placerades i testmaskinen. Vid försöken användes tre axiella givare (pin & core) och tre radiella givare (LVDT). Omgivningstrycket alstrades av luft och kraften applicerades med en invändig 25-kN lastcell, se Figur 2-3. En vanlig PC användes för att styra försöken samt för att samla in mätdata.



Figur 2-3 Triaxialprovkropp redo för testning

Innan försöken påbörjade tilläts provkroppen vila i klimatkammaren (25°C) i ca 4 timmar. Varje provkropp utsattes för tre typer av försök, s.k. "multi-stage test", resilientmodulförsök samt ett monotoniskt tryckförsök till brott som avslutning. Direkt efter avslutat försök

plockades gummimembranet, givarna och givarhållarna bort och materialet vägdes på nytt så att maximal och vattenkvot skulle kunna bestämmas.

2.2 Material

Totalt har fyra materialtyper testats i denna studie. Två vanliga bärlagermaterial (0-40 mm) enligt ATB VÄG:s specifikationer samt två material med olika mängd inblandat asfaltgranulat. Anledningen till att materialen valdes var för att dessa material redan testats och analyserats med andra metoder, exempelvis triaxialförsök i samband med provväg Sunninge *Carvahlo et al. (2003)*, *Hornych (2003)* och *Erlingsson (2003)*, testlådan som utvecklats vid Lundes Tekniska Högskola (LTH) *Parhamifer (1998)*, *Parhamifer (1999)* samt med CBR-metoden *Parhamifer (2004)*.

Triaxialförsöken, som utfördes i samband med testerna på provväg Sunninge, utfördes inte enligt SS-EN 13286-7:2004 vilket gör det intressant att studera och jämföra eventuella skillnader mellan resultaten. Resultaten från testlådan samt från CBR-försöken är också intressanta att jämföra med en allmänt accepterad metod som triaxialförsök anses vara.

2.2.1 Bärlagermaterial från södra Sverige

Som referensmaterial har ett 0-40 mm bärlagermaterial enligt ATB VÄG från Sydsten i Dalby använts, se bilaga 1. Sydstens täkt är belägen i Dalby vid Romeleåsen. Brytning av sten och produktion av makadam har pågått i området sedan 1893. Brytningstiden är beräknad till ytterligare 100 år. Bergarten är en blandning av ett flertal olika gnejstyper samt den svarta diabasen som korsar brottet med flera gånger SSÖ-NNV riktning.

2.2.2 Bärlagermaterial från västra Sverige

Materialet från västra Sverige kommer från Sunninge utanför Uddevalla och är likvärdigt med materialet som testats när provväg Sunninge utvärderades. Berg från linjen krossades ner i samband utbyggnaden av E6:an mellan Geddeknippen – Kallsås för användning som bärlager. Kornfördelningskurvan ska enligt uppgift följa kraven för bärlagermaterial enligt ATB VÄG, se bilaga 2. Kornfördelningskurvan ligger i detta fall något högt, en trolig förklaring är att ett för litet prov togs ut i samband med analysen.

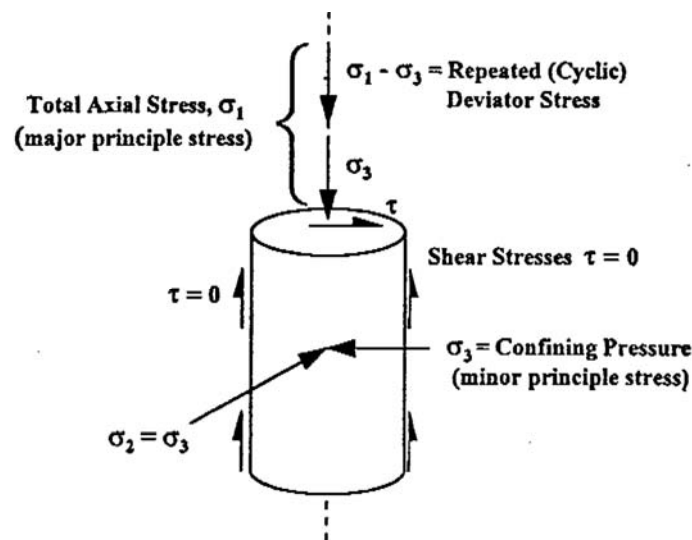
2.2.3 Bärlagermaterial med inblandning av 25 % resp. 50 % asfaltgranulat

De sista två varianterna består av bärlagermaterial från södra Sverige (Dalby) med 25 % respektive 50 % inblandning av asfaltkross (fräsmassor i detta fall). Dessa båda materialtyper har även testats i testlåda vid LTH samt utvärderats med CBR-metoden *Parhamifer (2004)*. En kornfördelningskurva för 25 % inblandning av asfaltgranulat redovisas i bilaga 3. Enligt denna framgår det att efter inblandning av asfaltgranulaten uppfylls inte längre ATB VÄG:s krav på ett bärlagermaterial.

2.3 Metod

2.3.1 Triaxialförsök

Triaxialförsök är en av de mest använda metoderna för att utvärdera obundna materials mekaniska egenskaper. I grova drag utsätts en cylindrisk provkropp för en statisk eller repeterad axiell last samtidigt som ett omgivningstryck alstras med hjälp av luft, vatten eller olja, se Figur 2-4. Används vatten eller olja för att skapa omgivningstrycket kan även detta cyklas, vilket inte är fallet då luft används. Vanligtvis brukar förhållandet mellan provkroppens höjd/diameter vara två. I denna studie har provkroppens diameter varit 150 mm och höjden lika med 300 mm. Förhållandet mellan diameter/maximal stenstorlek bör inte vara mindre än ca fyra till fem.



Figur 2-4 Principskiss av ett triaxialförsök (Källa: NCHRP Web Doc 14)

Ett antal spänningar brukar förekomma i en triaxialprovkropp, se Figur 2-4. Vanligtvis brukar σ_2 och σ_3 vara lika stora då luft används för att skapa ett omgivningstryck. Nedan följer en kort genomgång av de olika spänningarna.

Medelnormalspänningen, p , definieras enligt Ekv. 2-1:

$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad \text{Ekv. 2-1}$$

där

- σ_1 = Huvudspänningen (major principal stress)
- σ_3 = Omgivningstryck (minor principal stress)

Deviatorspänningen, q , definieras enligt Ekv. 2-2:

$$q = \sigma_D = \sigma_1 - \sigma_3 \quad \text{Ekv. 2-2}$$

Slutligen, totalspänningen, summan av huvudspänningarna eller bulkspänningen, θ , definieras enligt Ekv. 2-3:

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_D + 3 \cdot \sigma_3 = \sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3 \quad \text{Ekv. 2-3}$$

2.3.2 Utvärdering av permanenta deformationer ("Multi-stage" testing)

Syftet med "multi-stage" testet är att utvärdera materialets motståndskraft mot permanenta deformationer. Från "multi-stage" testet erhålls resilientmodulen samt resilienta och permanenta axiella och radiella töjningar. Från dessa data är det möjligt att bestämma materialets s.k. "Plastic Shakedown Limit" samt "Plastic Creep Limit". För detaljer hänvisas till SS-EN 13286-7:2004, Annex C. Observera att resilientmodulen skiljer sig från den moduls som bestäms enligt kapitel 2.3.3 eftersom ingen konditionering används vid "multi-stage" försöket.

"Multi-stage" testet kördes alltid innan resilientmodulförsöket eftersom det senare testet förutsätter att provkroppen inte längre utvecklar några permanenta deformationer. För "multi-stage" testet användes höga spänningsnivåerna enligt SS-EN 13286-7:2004. För testerna på material med inblandning av asfaltgranulat användes låga spänningsnivåer i de flesta fall.

För att förhindra att kolven lyfte från belastningsplattan under försökets gång användes en kontaktspänning lika med 2 kPa. Denna nivå användes för samtliga cykliska försök. Kontaktspänningen får enligt metoden ej överskrida 5 kPa.

För varje spänningsnivå kördes 10000 lastcykler innan nästa spänningsnivå lades på. Frekvensen var 5 Hz vid samtliga försök. Detta fortgick tills den permanenta axiella töjningen uppgick till 5000 μ strain (0.5%) eller tills alla spänningsnivåerna för den aktuella sekvensen hade körts klart. När något av föregående krav uppfyllts påbörjas nästa sekvens. Testet avslutas när alla önskade sekvenser hade körts klart. Efter testet sparades data i en fil för senare analys och bearbetning.

2.3.3 Utvärdering av resilientmodulen (M_r)

Från resilientmodulförsöket bestäms materialets resilientmodulen (M_r). Enligt testmetoden ska 20 000 konditioneringspulser köras innan resilientmodulerna för de olika spänningskombinationerna bestäms. Eftersom resilientmodulerna bestäms på samma provkropp som "multi-stage" försöket redan körts på anses de permanenta deformationerna vara försumbara. Av denna anledning reducerades antalet konditioneringspulser till 1 000 st.

Resilientmodulen för ett obundet granulärt material är spänningsberoende, dvs. modulen ökar med ökande omgivningstrycket. Det finns en mängd modeller för att beskriva resilientmodulen som funktion av spänningen i provkroppen. Den kanske vanligaste modellen, och den som har använts i denna studie, är den s.k. k - θ -modellen. Modellen antar att resilientmodulen (M_r) kan relateras till summan av huvudspänningarna (eller

bulkspänningen) enligt Ekv. 2-4. Ibland brukar även bulkspänningen divideras med en referensspänning (exempelvis 100 kPa).

$$M_r = k_1 \cdot \theta^{k_2} \quad \text{Ekv. 2-4}$$

där

M_r = resilientmodulen (MPa)

θ = summan av huvudspänningarna (kPa)

k_1, k_2 = regressionskonstanter

2.3.4 Monotoniska skjuvförsök

Efter avslutat resilientmodulförsök kördes ett monotont tryckförsök vid konstant belastningshastighet (6 mm/min) till brott på den aktuella provkroppen. Omgivningstrycket valdes i intervallet från 0 till 50 kPa och hölls konstant under försökets gång. Från det monotona tryckförsöket erhålls data så att brottegenskaperna för materialet kan studeras.

2.3.5 Friktionsvinkel och kohesion

Från ett monotont skjuvförsök eller från ”multi-stage” försöken är det möjligt att utvärdera det granulära materialets spänningsberoende, *van Niekerk (2002)*. Sambandet definieras av Mohr-Coulombs brottkriterie enligt Ekv. 2-5.

$$\tau_f = c + \sigma_{n,f} \cdot \tan \phi \quad \text{Ekv. 2-5}$$

där

τ_f = skjuvspänning vid brott (kPa)

σ = normalspänning vid brott (kPa)

c = kohesion (kPa)

ϕ = friktionsvinkel (°)

Sambandet kan även uttryckas som huvudspänningar enligt Ekv. 2-6

$$\sigma_{1,f} = \frac{(1 + \sin \phi) \cdot \sigma_{3,f} + 2c \cdot \cos \phi}{(1 - \sin \phi)} = A \cdot \sigma_{3,f} + B \quad \text{Ekv. 2-6}$$

där

$\sigma_{1,f}$ = Huvudspänningen vid brott (major principal stress)

$\sigma_{3,f}$ = Omgivningstryck vid brott (minor principal stress)

Relationen mellan c och ϕ samt A och B ges av Ekv. 2-7 och Ekv. 2-8.

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{1-A}{A+1}\right)$$

Ekv. 2-7

$$c = \frac{B \cdot (1 - \sin \phi)}{2 \cdot \cos \phi}$$

Ekv. 2-8

Vid dimensionering är det även viktigt att beakta jordens naturliga inspänning samt porundertryck, *Ekdahl et al.* Styvhetsmodulen bestäms med hjälp av seismik och från mätningar med isotopmätare erhålls portalet. Från Ekv. 2-9 kan sedan jordens naturliga inspänning bestämmas.

$$E = \frac{500}{e} \cdot \sqrt{p}$$

Ekv. 2-9

där

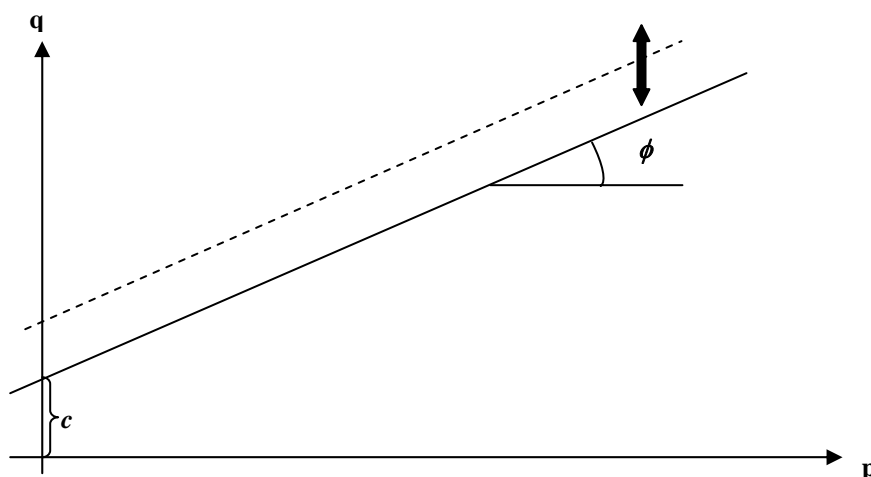
E = styvhetsmodul (MPa)

e = portal

p = jordens in-situ medelspänningstillstånd (MPa)

Om inte jordens in-situ medelspänningstillstånd beaktas kommer även mycket tjocka konstruktioner att underkännas. De obundna materialens hållfasthetsparametrar bör väljas så att endast resilienta deformationer uppstår vid cyklisk belastning. Detta bör säkerställas vid alla årstider som den aktuella konstruktionen utsätts för.

En annan viktig parameter är porundertrycket (matric suction). Då materialet är helt vattenmättat ($S=1$) är porundertrycket lika med noll och linjen i Figur 2-5 går genom origo. När porundertrycket ändras kommer linjen att parallellförflyttas uppåt eller neråt i diagrammet.



Figur 2-5 Schematisk skiss av ett Mohr-Coulomb diagram

Kohesionens storlek (c) bestäms av storleken på porundertrycket enligt Ekv. 2-10.

$$c = (u_a - u_w) \cdot S_r \cdot \tan(\phi_{cr}) \quad \text{Ekv. 2-10}$$

där

- c = kohesion (kPa)
- S_r = vattenmättnadsgrad (%)
- ϕ_{cr} = kritisk friktionsvinkel (°)
- $(u_a - u_w)$ = porundertrycket (matric suction)

Vattenmättnadsgraden S_r bestäms från Ekv. 2-11.

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_d}{\left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right)} \quad \text{Ekv. 2-11}$$

där

- w = vattenkvoten (%)
- ρ_d = torrdensitet, skrymdensiteten för torrt material (g/cm³)
- ρ_s = kompaktdensitet, fasta fasens densitet (g/cm³)

Om materialets densitet och vattenkvot är känd kan vattenmättnadsgraden (S) beräknas. Porundertrycket kan sen uppskattas med utgångspunkt från vattenmättnadsgraden. Peabs mätningar på Lorensborgsvägen *Ekdahl et al.*, som utfördes på ett likvärdigt material som har använts i denna studie, visar att porundertrycket var ca 30 kPa i det fallet (variera med bl.a. årstid typ av material, packning etc.).

3 Resultat och diskussion

3.1 Laboratedata

För att bestämma materialens maximala skrymdensitet gjordes en invibrering enligt VVMB 607. Resultaten redovisas i Tabell 3-1. En reflektion är att vattenkvoterna är något högre än de normalt brukar vara. Tidigare invibreringar utförda på likvärdiga material har gett vattenkvoter i intervallet ca 3-5 %. Någon bra förklaring till de höga vattenkvoterna för dessa invibreringar har inte hittats.

För materialen med 25 resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat har endast materialet med 25 % inblandning av asfaltgranulat invibrerats. Densiteten för materialet med 50 % inblandning av asfaltgranulat har antagits vara lika med den för 25 % inblandning. Troligtvis bör den maximala densiteten vara något lägre för materialet med 50 % inblandning jämfört med den 25-procentiga inblandningen av asfaltgranulat eftersom asfaltgranulatet har lägre densitet jämfört med stenmaterialet. Antagandet har dock ingen avgörande betydelse då den maximala skrymdensiteten endast används för att beräkna packningsgraden för materialet.

Tabell 3-1 Maximal torr skrymdensitet bestämd med vibrobord

Material	Max. torr skrymdensitet (g/cm³)	Vattenkvot (%)
Dalby	2.236	6.8
Göteborg	2.340	5.3
25 % asfaltgranulat	1.966	8.6
50 % asfaltgranulat ^{*)}	1.966	8.6

^{*)} Antagna värden

Enligt SS-EN 13286-7:2004 ska sex provkroppar ingå i en testserie när materialets motståndskraft mot permanenta deformationer utvärderas. Testerna ska utföras vid olika vattenkvoter för att utvärdera materialets känslighet för variationer i fuktinnehållet. Variationerna i fuktinnehåll leder även till variationer i packningsgraden eftersom denna till viss del även styrs av fuktinnehållet i materialet. I detta projekt har avsikten varit att följa anvisningarna i metoden men tyvärr har vissa avsteg varit nödvändiga pga. olyckliga omständigheter, missförstånd samt maskinproblem som inte har varit möjliga att förutse. Det är dock författarens övertygelse att de avsteg från metoden som förekommer inte på något avgörande sett kommer att påverka slutsatserna som läggs fram i rapporten.

I Tabell 3-2 redovisas data för de sex provkroppar som packats in med utgångspunkt från Dalby-materialet. Variationen i packningsgrad är den förväntade men det är mycket svårt, för att inte säga omöjligt, att träffa exakt rätt vattenkvot enligt föreskrifterna i metoden. Trots att vattenmängden vägs in är det snarare regel än undantag att den förväntade vattenkvoten avviker från den verkliga efter det att försöket har avslutats. Oftast är den uppmätta vattenkvoten ca 0.5-0.8 procentenheter lägre än den förväntade för de testade materialtyperna (varierar beroende på materialtyp). I vissa fall dräneras en liten mängd vatten bort under försökets gång men denna mängd är alldeles för liten för att kunna förklara skillnaderna mellan uppmätta och förväntade vattenkvoter.

Tabell 3-2 Dalby-material, maximal torr skrymdensitet och vattenkvot för de testade provkropparna

Provkropp	Max. torr skrymdensitet (g/cm ³)	Vattenkvot (%)	Packningsgrad (%)	Vattenmättnadsgrad (%)
21	2.135	4.8	95.5	52.2
22	2.094	4.4	93.6	43.5
23	2.082	4.0	93.1	39.1
24	2.243	4.5	100.3	65.8
25	2.147	4.6	96.0	52.4
26	2.047	3.4	91.5	30.3

I Tabell 3-3 redovisas data för Göteborgsmaterialet. Endast fyra provkroppar testades för denna materialtyp. Jämfört med Dalbymaterialet hade Göteborgsmaterialet något mera finmaterial vilket gjorde att det upplevdes tätare och något lättare att packa.

Tabell 3-3 Göteborgs-material, maximal torr skrymdensitet och vattenkvot för de testade provkropparna

Provkropp	Max. torr skrymdensitet (g/cm ³)	Vattenkvot (%)	Packningsgrad (%)	Vattenmättnadsgrad (%)
21	2.275	3.9	97.2	62.6
22	2.292	4.0	98.0	67.8
23	2.164	4.1	92.5	48.2
24	2.329	3.8	99.5	73.9

I Tabell 3-4 och Tabell 3-5 redovisas data för de båda materialtyperna med 25 resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat. Som nämnts ovan erhålls något lägre skrymdensiteter för materialet med 50 % inblandning av asfaltgranulat jämfört med 25 % inblandning pga. skillnaderna i korndensitet. Skillnaderna är marginella och resultaten från triaxialförsöken (redovisade i kapitel 3.2) bekräftar att de mekaniska egenskaperna för de båda materialtyperna är mycket likvärdiga.

Tabell 3-4 25 % asfaltgranulat, maximal torr skrymdensitet och vattenkvot för de testade provkropparna

Provkropp	Max. torr skrymdensitet (g/cm ³)	Vattenkvot (%)	Packningsgrad (%)	Vattenmättnadsgrad (%)
41	2.035	4.3	103.5	37.7
42 ^{*)}	2.008	3.9	102.1	32.0

^{*)} Misslyckat försök pga. för dålig packning och för höga laster.

Tabell 3-5 50 % asfaltgranulat, maximal torr skrymdensitet och vattenkvot för de testade provkropparna

Provkropp	Max. torr skrymdensitet (g/cm ³)	Vattenkvot (%)	Packningsgrad (%)	Vattenmättnadsgrad (%)
31 ^{*)}	1.970	4.9	100.2	38.0
32	1.945	2.8	98.9	20.7
33	1.943	3.6	98.8	26.4
34	1.967	3.1	100.0	23.8

^{*)} Misslyckat försök pga. för dålig packning och för höga laster.

3.2 Triaxialförsök

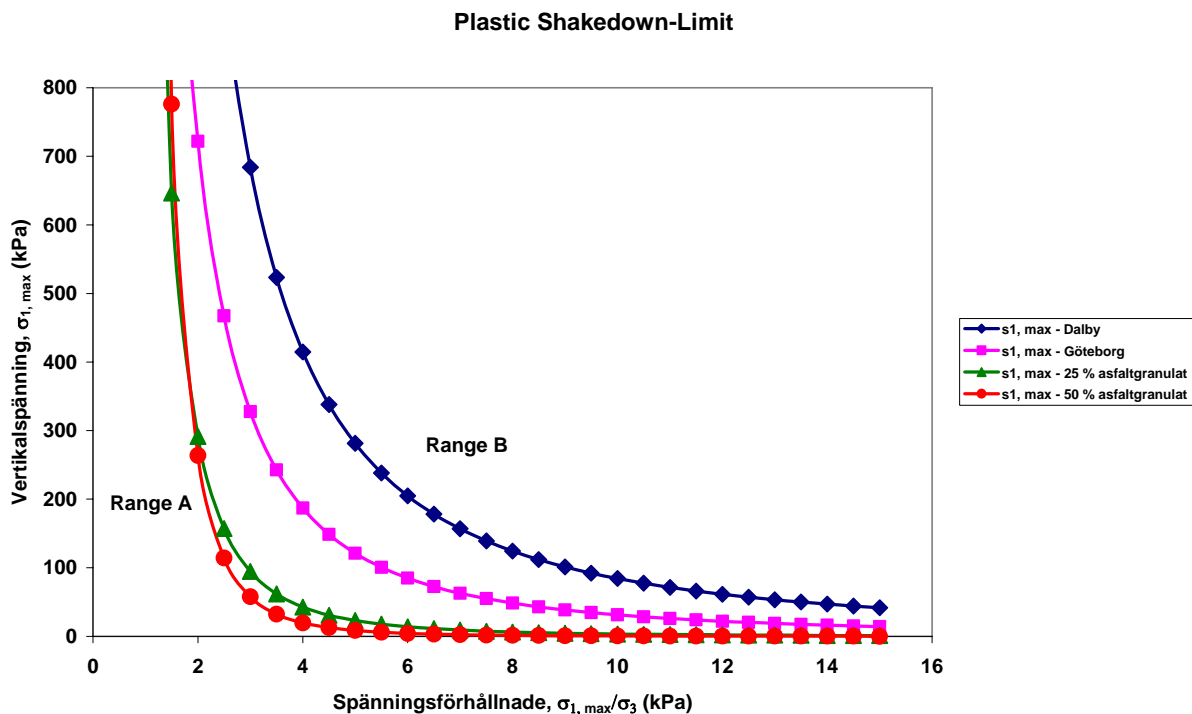
Varje provkropp testades på samma sätt. Först kördes ett s.k. ”multi-stage” test för att utvärdera motståndskraften mot permanenta deformationer. När detta försök var slutfört bestämdes resilientmodulerna för olika spänningskombinationer och slutligen kördes ett monotoniskt tryckförsök med konstant hastighet för att bestämma materialets brotthållfasthet samt skjuvegenskaper.

3.2.1 Bestämning av permanenta deformationer (”Multi-stage” testing)

De s.k. ”multi-stage” testerna utvärderades enligt anvisningarna i Enligt SS-EN 13286-7:2004, Annex C. För bakgrundsinformation hänvisas till *Werkmeister, Sabine (2003)*. Materialegenskaperna delas in i områdena A, B och C. Befinner sig materialet i område A utvecklas i praktiken inga eller försumbara permanenta deformation, dvs. beteendet är stabilt. I område B börjar permanenta deformationer uppstå i materialet men brott uppstår först efter ett mycket stort antal lastcykler. Slutligen, i område C, uppstår brott i materialet efter ett fåtal lastcykler, dvs. materialet är instabilt. Gränsen mellan materialbeteende A och B brukar benämnas ”*Plastic Shakedown Limit*” och gränsen mellan område B och C benämns ”*Plastic Creep Limit*”.

I Figur 3-1 till Figur 3-3 redovisas medelvärden för samtliga testade provkroppar.

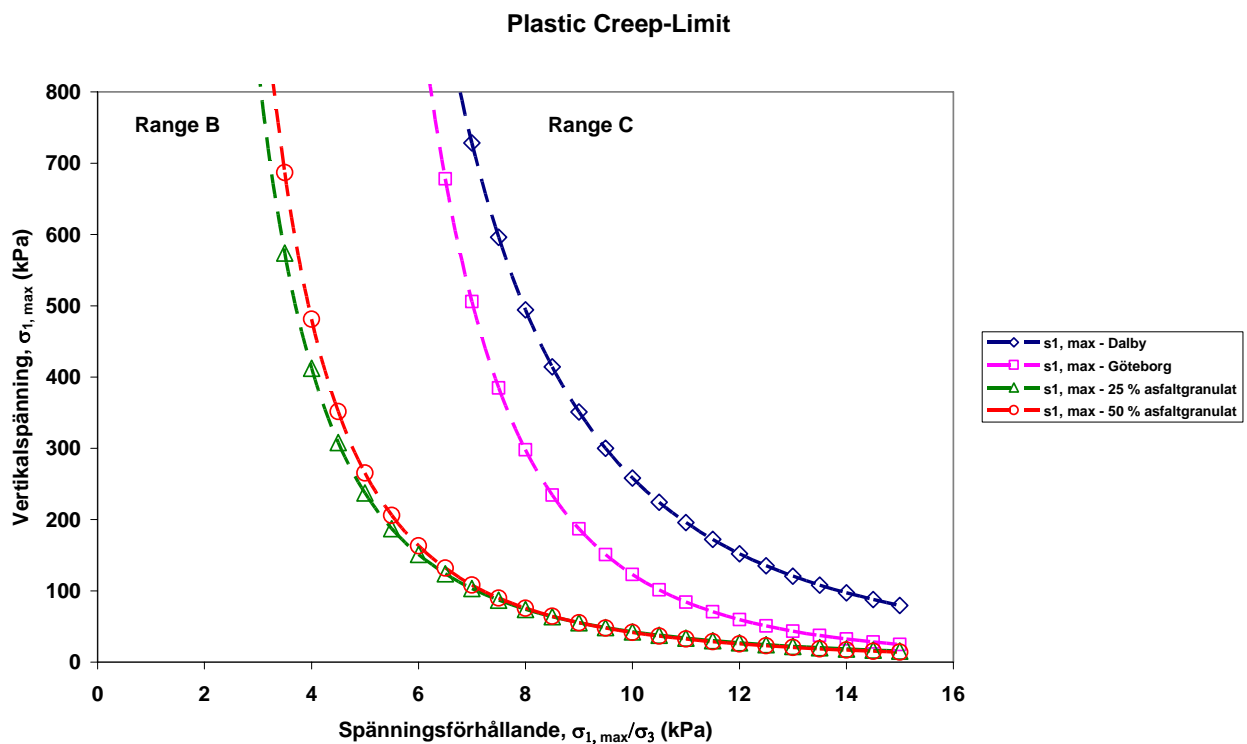
I Figur 3-1 redovisas en jämförelse av ”*Plastic Shakedown Limit*” för de testade materialen, dvs. gränsen mellan område A och B. På y-axeln plottas den maximala vertikalspänningen, $\sigma_{1,max}$ ($\sigma_D + \sigma_3$) och på x-axeln plottas spänningsförhållandet, dvs. $\sigma_{1,max} / \sigma_3$.



Figur 3-1 Jämförelse av ”*Plastic Shakedown-Limit*” för de testade materialen

Från Figur 3-1 går det att utläsa att de rena bärlagermaterialen, utan inblandning av asfaltgranulat, har bättre motståndskraft mot permanenta deformationer jämfört med materialen med inblandat asfaltgranulat. Både Dalymaterialet och Göteborgsmaterialet klarar av högre laster jämfört med materialen med inblandat asfaltgranulat innan gränsen till område B uppnås. Allra bäst klarar sig Dalbymaterialet i denna studie.

I Figur 3-2 redovisas en jämförelse av "Plastic Creep Limit" för de testade materialen, dvs. gränsen mellan område B och C. Denna gräns har egentligen inte så stor praktisk betydelse eftersom den aktuella överbyggnadskonstruktionen bör revideras om spänningarna blir så stora att gränsen mellan område B och C riskerar att överskidas. Samma trend som i Figur 3-1 återfinns även när det gäller "Plastic Creep Limit". Dalbymaterialet och Göteborgsmaterialet uppvisar bättre egenskaper jämfört med materialen med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat.

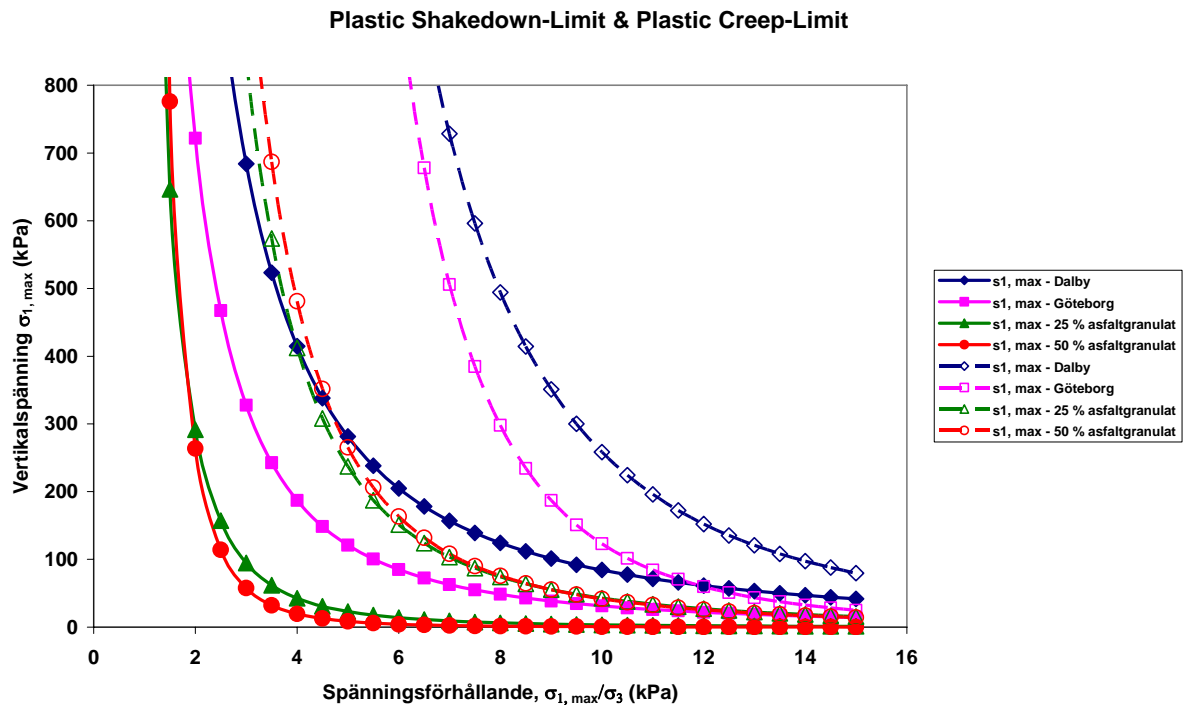


Figur 3-2 Jämförelse av "Plastic Creep-Limit" för de testade materialen

En rimlig förklaring till skillnaderna mellan materialen skulle kunna vara att Dalbymaterial är något grövre jämfört med Göteborgsmaterialet och därmed har det även bättre motståndskraft mot permanenta deformationer. I fallen med inblandning av asfaltgranulat i ett vanligt bärlagermaterial leder detta till att andelen grovt material reduceras och därmed försämras även förmågan att stå emot permanenta deformationer, se kornfördelningskurvor i Bilaga 1 till Bilaga 3. En annan faktor som eventuellt skulle kunna påverka negativt är att material med inblandning av asfaltgranulatet blir något mera svårpackat jämfört med ett rent bärlagermaterial.

I Figur 3-3 redovisas både "Plastic Shakedown Limit" (heldragna linjer) och "Plastic Creep Limit" (streckade linjer) för de testade materialen som en jämförelse. Ur Figur 3-3 framgår

det att det finns en signifikant skillnad mellan de rena bärlagermaterialen och materialen med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat. Gränsen mellan område A och B ("Plastic Shakedown Limit") för Dalbymaterialet sammanfaller med gränsen mellan område B och C ("Plastic Creep Limit") för materialen innehållande 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat, vilket indikerar att risken att det uppstår permanenta deformationer ökar då dessa material används. Detta behöver dock inte vara ett problem om materialen placeras på ett sådant sätt i konstruktionen (långt ner) att spänningarna blir acceptabla. Det är därför viktigt att varje situation utreds separat innan beslut fattas om det är lämpligt att använda material med inblandning av asfaltgranulat eller andra återvinningsmaterial.



Figur 3-3 Jämförelse av "Plastic Shakedown-Limit" samt "Plastic Creep-Limit" för de testade materialen

Även tidigare studier *Jacobsson, T. (2002, #1)* har konstaterat att motståndskraften mot permanenta deformationer är sämre för ett bärlagermaterial med inblandning av asfaltgranulat jämfört med ett rent bärlager då testerna utförs i laboratorium. Det som främst påverkar de mekaniska egenskaperna för denna typ av material är packningen samt lagringstiden. Om materialet får möjlighet att vila samt torka ut något påverkar detta motståndskraften mot permanenta deformationer positivt. Således är perioden direkt efter utläggning och packning den mest kritiska för uppkomsten av spår. Om materialet får möjlighet att efterpackas av trafiken, gärna samtidigt som vädret är varmt, blir resultatet vanligtvis väl så bra jämfört med om en traditionell konstruktion skulle ha använts, *Jacobsson, T. (2002, #2)*.

En studie *Parhamifer (2004)* utförd vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) ger en något annorlunda bild av materialegenskaperna jämfört med resultaten från detta projekt. I studien från LTH har en egenutvecklade testlåda använts för att utvärdera de permanenta deformationerna hos obundet bärlagermaterial samt material med olika inblandningsprocent av fräsmassor. CBR-värden för de olika materialen har också bestämts. Utöver dessa bestämmningar har en kortare uppföljning i fält utförts.

Huvudslutsatserna är att en inblandning av 25 % asfaltgranulat i bärlagermaterialet ger den optimala blandningen med avseende på motståndskraft mot permanenta deformationer (t.o.m. bättre än ett rent bärlagermaterial). Även 50 % inblandning av asfaltgranulat i bärlagermaterialet visar lovande resultat. Resultaten från testlådan stöds också av CBR-bestämningarna på de testade materialen. Från fältuppföljningen dras slutsatsen att bärighetstillväxten är större för material med inblandning av fräsmassor jämfört med ett rent bärlagermaterial.

Det kan konstateras att olika resultat erhålls beroende på vilken typ av test som används för att utvärdera de mekaniska egenskaperna hos de obundna materialen. Vilken testmetod som ger "rätt" värde är kanske mindre intressant så länge läsaren är medveten om att resultaten varierar beroende på testmetod och tar detta i beaktande då resultaten används.

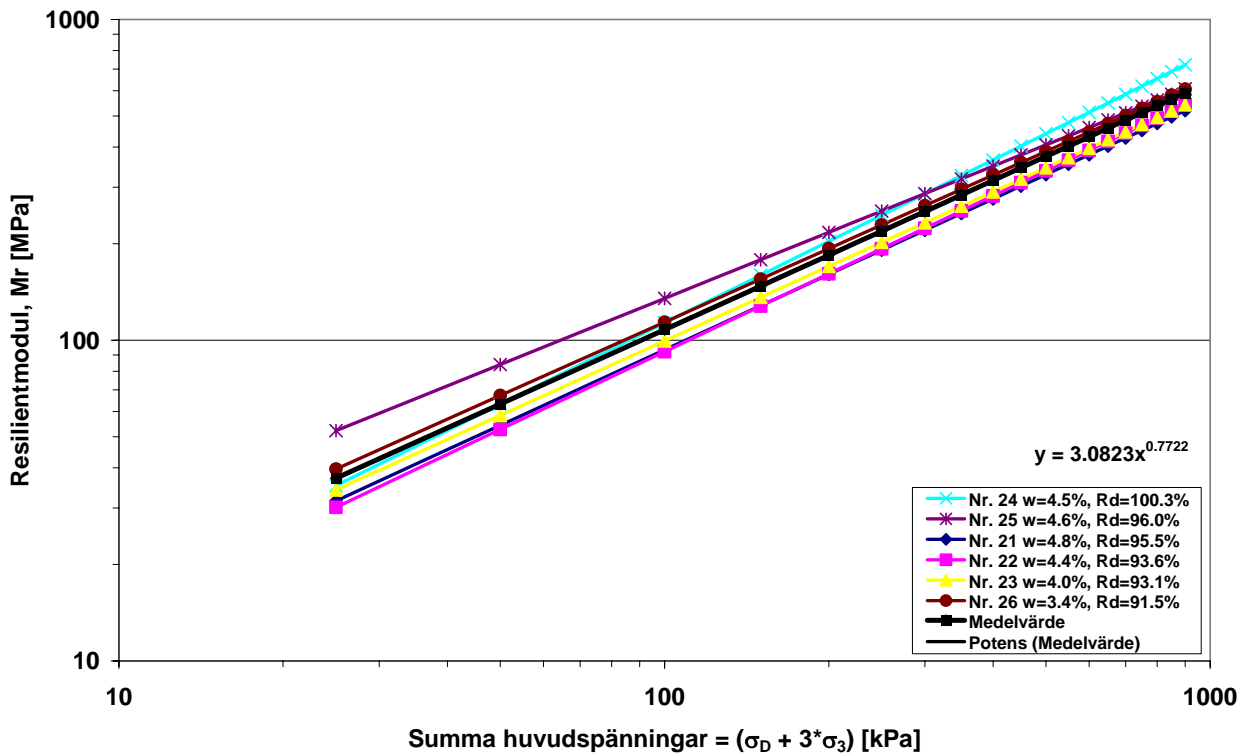
En skillnad som visat sig ha stor betydelse för utvecklingen av permanenta deformationer är hur lång tid det går mellan packning och själva testet. I studien från LTH har materialet fått vila i två dygn innan testet påbörjades. Triaxialförsöken som kördes i detta projekt startades efter ca fyra timmars vila, vilket är förhållandevis kort tid jämfört med två dygn. Detta skulle kunna vara en förklaring till att resultaten skiljer sig åt men det finns troligtvis flera förklaringar. För att kunna jämföra de båda metoderna på ett bra sätt och dra långtgående slutsatser krävs flera försök.

3.2.2 Bestämning av resilientmodulen (M_r)

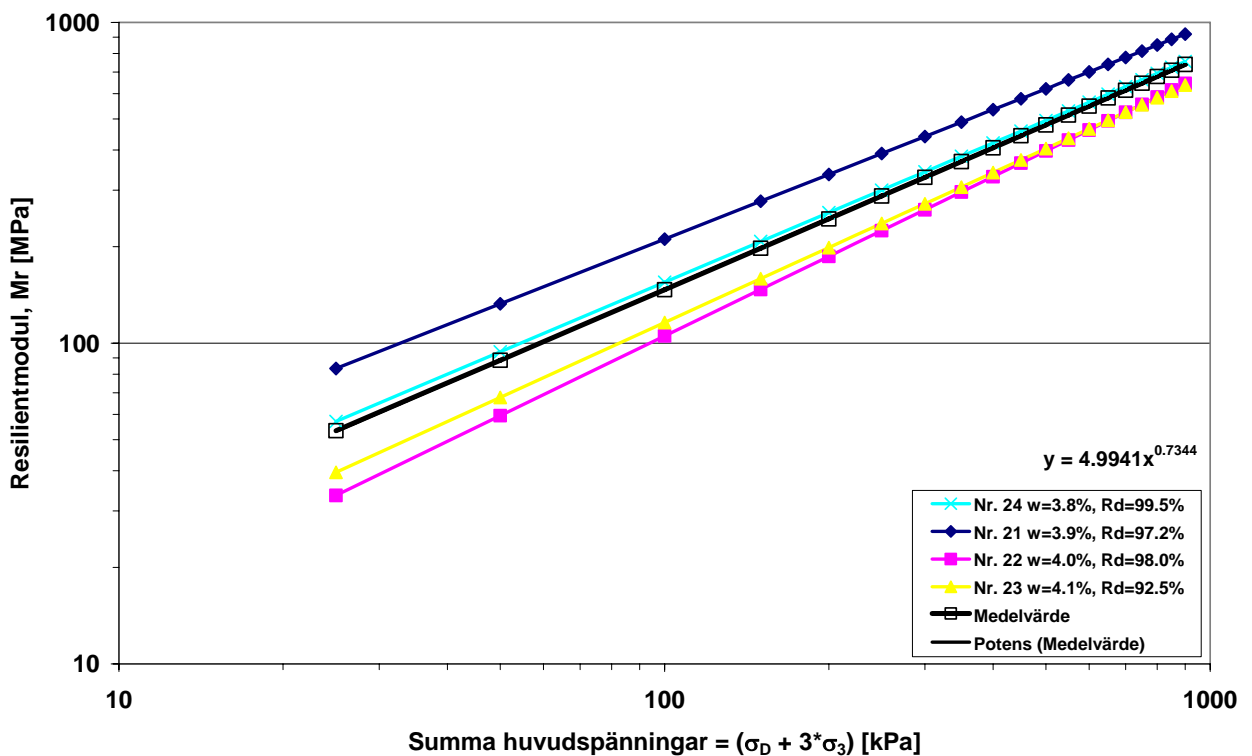
Efter avslutat "multi-stage" test bestämdes resilientmodulen för den aktuella provkroppen. Normalt ska provkroppen konditioneras innan bestämningen påbörjas men eftersom testet utfördes efter "multi-stage" testet ansågs provkroppen redan konditionerad. Totalt testades 29 spänningskombinationer för varje provkropp med början på det lägsta omgivningstrycket och axiella lasten.

I Figur 3-4 till Figur 3-7 redovisas sambandet mellan resilientmodulen och summan av huvudspänningarna eller bulkmodulen (θ) för de testade materialen. I varje figur finns även medelvärdet av de testade provkropparna redovisat. Medelvärdet av de testade provkropparna har beskrivits med den s.k. k - θ -modellen och regressionskonstanterna finns redovisade i respektive figur samt i Tabell 3-6.

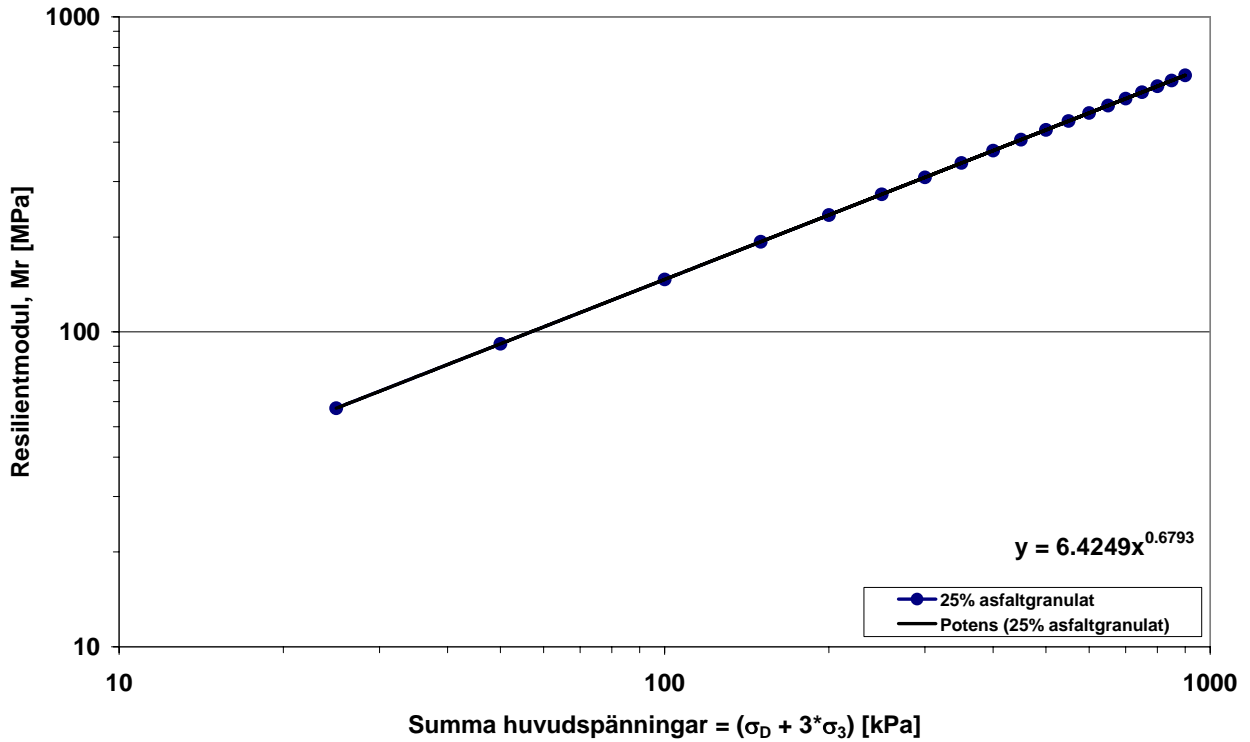
Resultaten ser ut som förväntat för ett granulärt material, resilientmodulen (M_r) ökar med spänningen eftersom materialet är spänningsberoende. Som förväntat finns det även en viss variation mellan resilientmodulerna beroende på att vattenkvoten och packningsgraden inte är identisk för samtliga testade provkroppar. Någon klar trend kan dock inte fastslås.



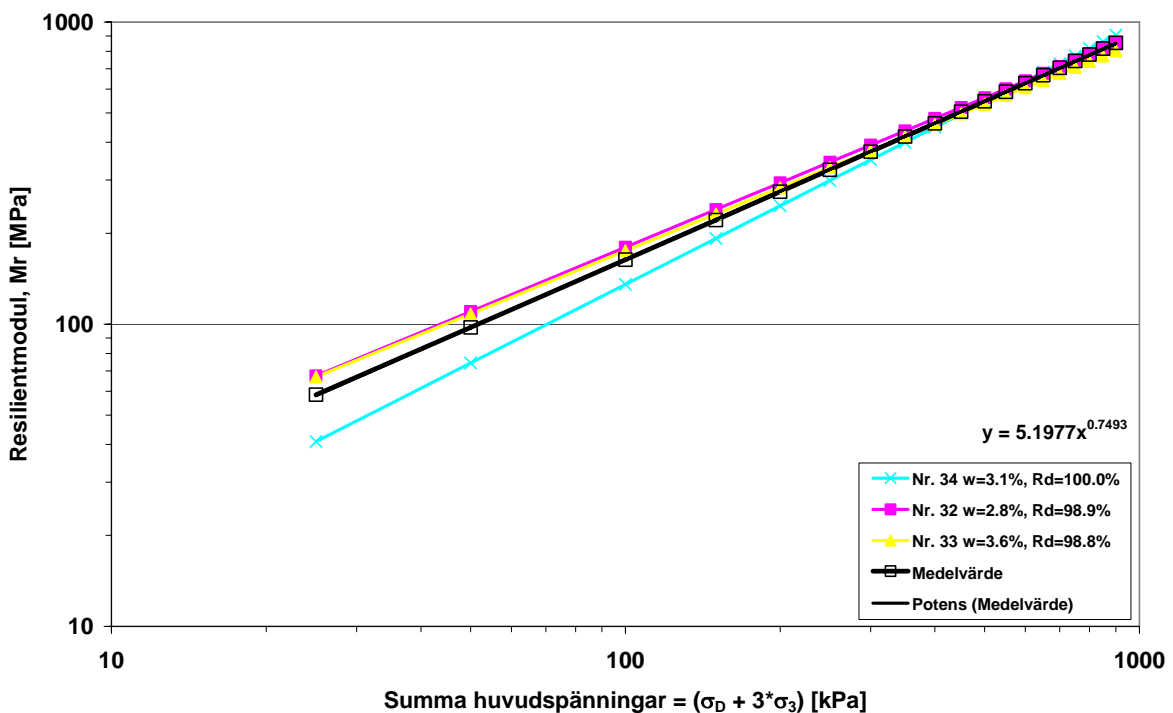
Figur 3-4 Resilientmodulen som funktion av summa huvudspänningar (Dalby-material)



Figur 3-5 Resilientmodulen som funktion av summa huvudspänningar (Göteborgs-material)



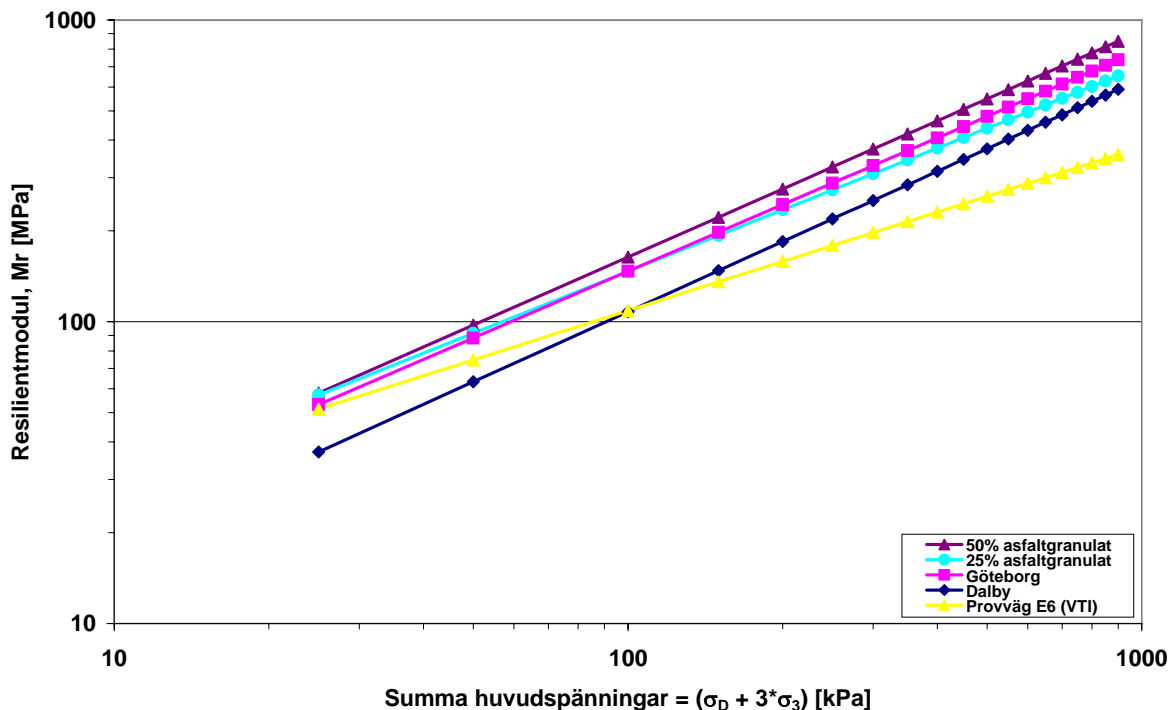
Figur 3-6 Resilientmodulen som funktion av summa huvudspänningar (25 % asfaltgranulat)



Figur 3-7 Resilientmodulen som funktion av summa huvudspänningar (50 % asfaltgranulat)

I Figur 3-8 har en jämförelse mellan de testade materialen redovisats. I samma figur har även bestämningarna av resilientmodulen för Göteborgsmaterialet som utförts på VTI redovisats.

Data har hämtats från databasen som upprättades inom projektet ”Provväg E6” och är ett medelvärde för materialen som benämns ”base type 1-4” i den studien.



Figur 3-8 Resilientmodulen som funktion av summa huvudspänningar (jämförelse av samtliga testade material)

Tabell 3-6 Regressionskonstanter för k - θ -modellen

Material	k1	k2
Dalby	3.0823	0.7722
Göteborg	4.9941	0.7344
25 % asfaltgranulat	6.4249	0.6793
50 % asfaltgranulat	5.1977	0.7493
Provväg E6 (VTI) *)	8.9721	0.5420

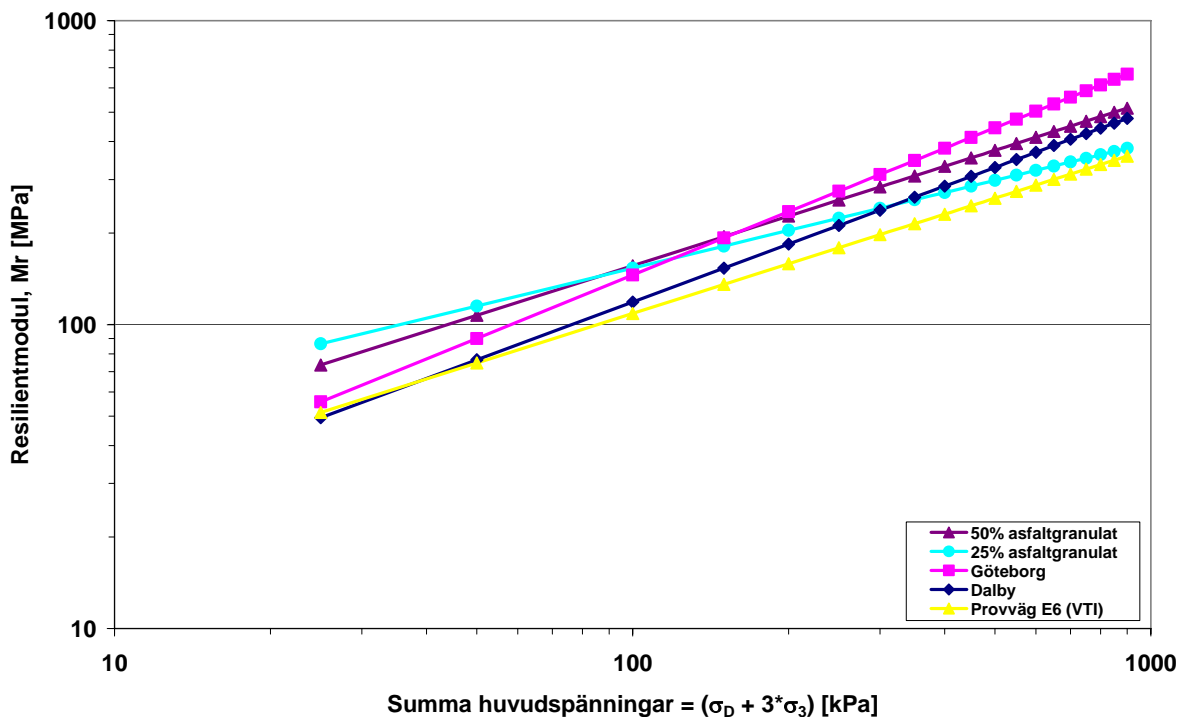
*) Medelvärde av ”base type 1-4”. Data hämtad från databasen som upprättades inom projektet ”Provväg E6”

Jämförs VTI:s bestämningar av resilientmodulen med resilientmodulen bestämd i denna studie framgår det att korrelationen inte är särskilt god. Lutningen på linjerna avviker relativt kraftigt från varandra. Linjen som beskriver VTI-försöken är mycket flackare jämfört med linjerna från bestämningarna i denna studie. En sannolik förklaring är att VTI-modulerna härstammar från försök utförda för att utvärdera i först hand permanenta deformationer. Vid denna typ av försök görs ingen konditionering av provkroppen innan testes påbörjas vilket således inte ger samma resultat som om resilientmodulen bestäms på en konditionerad provkropp där de permanenta deformationerna är mycket små eller försumbara.

För att undersöka hur väl antagandet ovan stämde plottades VTI-modulerna i samma diagram som modulerna bestämda från ”multi-stage” testerna i detta projekt, se Figur 3-9. Resultaten överensstämmer mycket bättre även om nivåerna fortfarande skiljer sig åt. Det är således mycket viktigt att veta om resilientmodulerna är bestämda på en konditionerad eller icke konditionerad provkropp för att resultaten ska kunna jämföras på ett korrekt sätt. Enligt SS-

EN 13286-7:2004 förutsätts att provkroppen är konditionerad, dvs. att den har mycket små eller försumbara permanenta deformationer, när resilientmodulen bestäms.

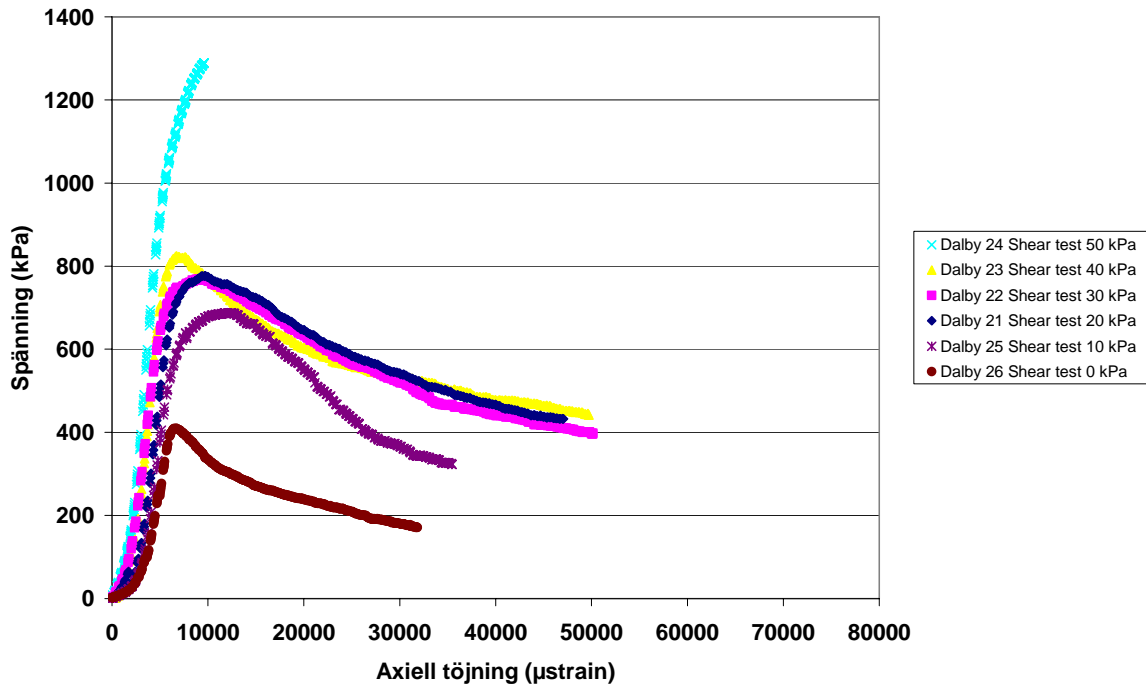
Det är intressant att konstatera att materialen med inblandning av 25 % resp. 50 % asfaltgranulat hade likvärdiga eller högre resilientmoduler jämfört med ett rent bärlagermaterial trots att dessa material hade signifikant sämre motståndskraft mot permanenta deformationer. Liknande resultat har även rapporterats av *Jacobsson, T. (2002, #1)*. I Figur 3-8 framgår det också att i denna studie är det de finkornigaste materialen som har de högsta resilientmodulerna. Det är uppenbart att asfaltgranulatet har en viss uppstyvande inverkan på materialet, eventuellt skall även asfaltens tidsberoende egenskaper kunna ha en viss inverkan. Det är allmänt känt att belastningstiden/frekvensen påverkar styvhetsmodulen hos ett asfaltmaterial. I detta fall var frekvensen 5 Hz. Om exempelvis 1 Hz hade använts i stället skulle eventuellt resilientmodulerna för materialen med inblandning av 25 % resp. 50 % asfaltgranulat ha blivit lägre. Några försök vid andra frekvensen än 5 Hz har inte körts vilket betyder att hypotesen varken kan bekräftas eller dementeras.



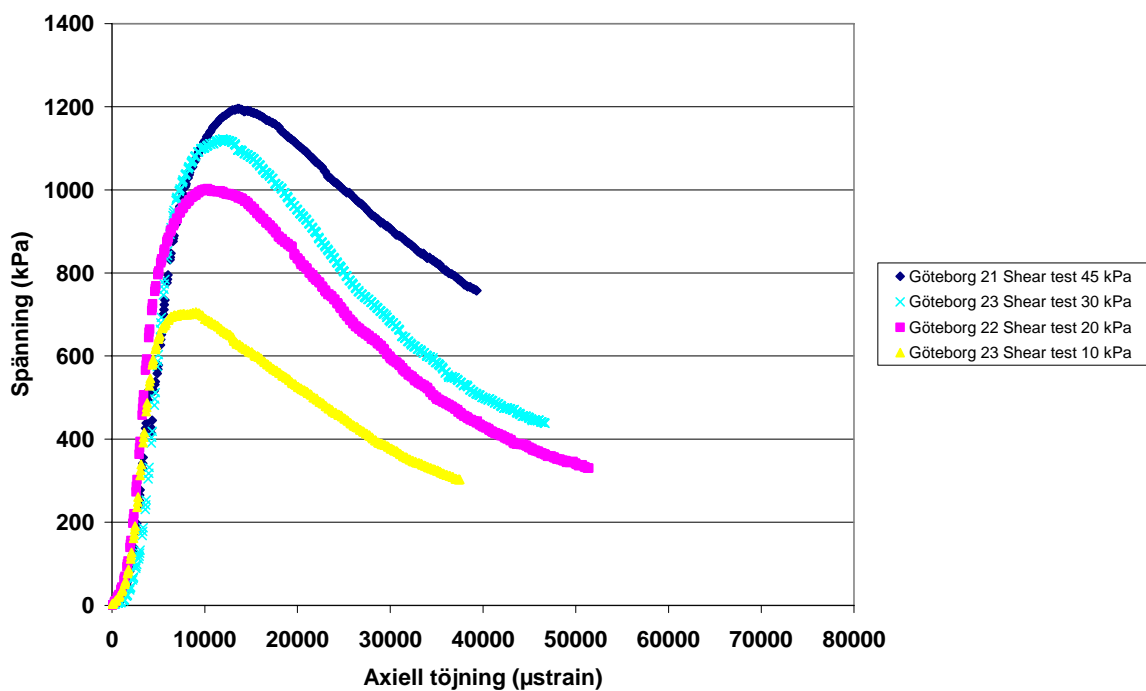
Figur 3-9 Resilientmodulen (bestämd från MS-test) som funktion av summa huvudspänningar (jämförelse av samtliga testade material)

3.2.3 Monotoniska skjuvförsök

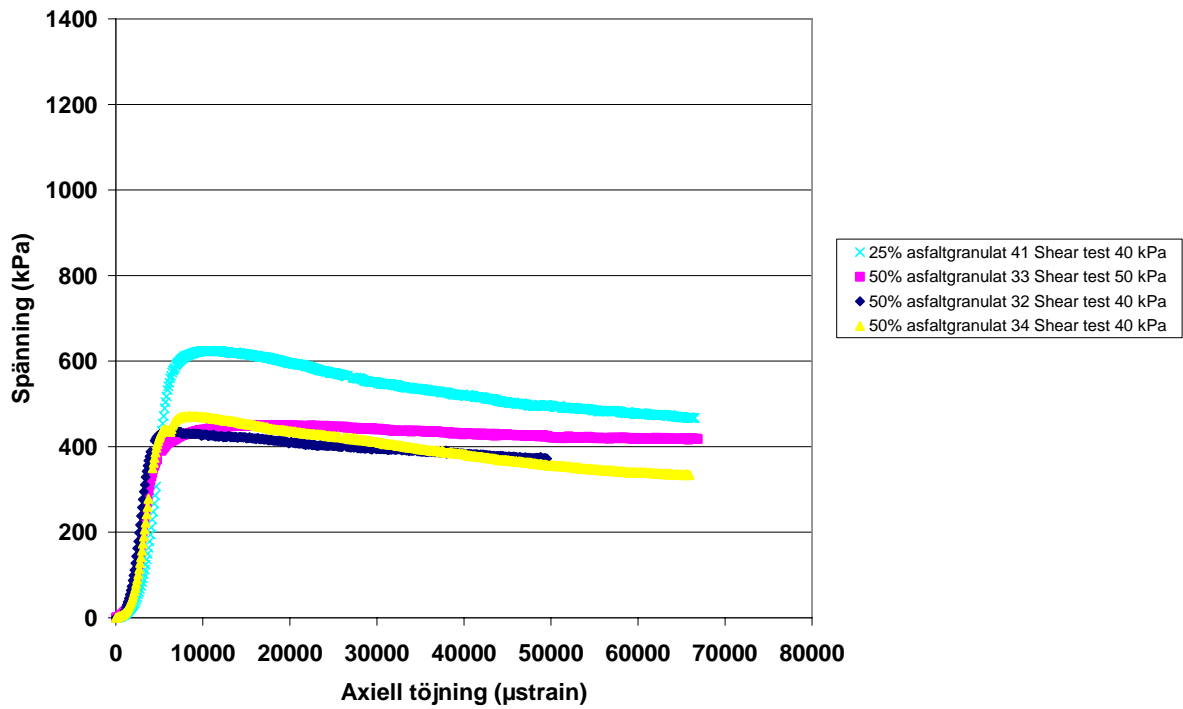
De avslutande monotoniska skjuvförsöken, som redovisas i Figur 3-10 till Figur 3-13, ser ut som förväntat. Ett högre omgivningstryck resulterar i en högre brottspänning jämfört med det omvända fallet.



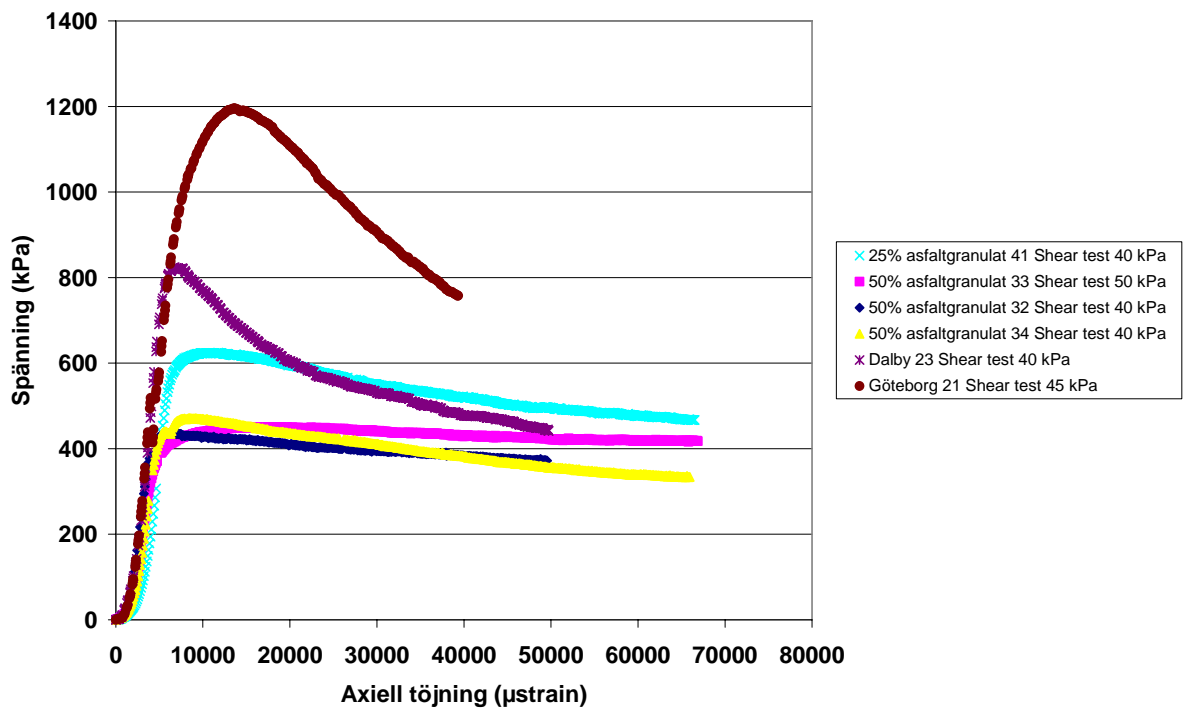
Figur 3-10 Spännings-töjningsdiagram för Dalby-materialet



Figur 3-11 Spännings-töjningsdiagram för Göteborgs-materialet



Figur 3-12 Spännings-töjningsdiagram för 25 % resp. 50 % asfaltgranulat



Figur 3-13 Spännings-töjningsdiagram, jämförelse av samtliga testade material vid jämförbara omgivningstryck

Dalby- och Göteborgsmaterialen uppvisar en relativt brant lutning på kurvan efter att brottet har inträffat. Detta skiljer sig markant från utseendet på kurvorna för materialen med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat, som har ett mycket flackare förlopp efter brottet. I Figur 3-13 framgår det att restvärdet för de olika materialtyperna verkar plana ut mot ungefär samma nivå men toppvärdet, dvs. brottspänningen, är högre för de rena bärlagermaterialen. Slutsatsen blir att de rena bärlagermaterialen är starkare än materialen med inblandning av asfaltgranulat men när väl brottet har skett kommer nedbrytningen att bli mycket snabbare för dessa material.

3.2.4 Friktionsvinkel och kohesion

I Tabell 3-7 redovisas friktionsvinkel och kohesion för de testade materialen. Siffrorna är medelvärden för samtliga testade provkroppar för respektive materialtyp. Vid bestämningen av friktionsvinkel och kohesion för Göteborgsmaterialet föreligger sannolikt någon form av problem eftersom det inte är rimligt med ett negativt värde på kohesionen.

Jämförs friktionsvinklarna för bärlagermaterialen med de för materialen med inblandning av asfaltgranulat framgår det att bärlagermaterialen har betydligt högre friktionsvinklar. Effekten av detta framgår tydligt i ”multi-stage” försöken samt i de monotoniska skjuvförsöken men av någon anledning blir skillnaden i resilientmodulerna inte så stor. Anledningarna till att friktionsvinklarna skiljer sig så kraftigt åt mellan materialen kan vara många, en betydande anledning är troligtvis packningen.

Tidigare studier *Jacobsson, T. (2002, #1)* har funnit att bärlagermaterial med inblandning av asfaltgranulat är mera svårpackat jämfört med ett rent bärlagermaterial. Ju lägre temperatur desto svårare är det att packa materialet. I den refererade studien gjordes även försök med att höja temperaturen till 60°C, vilket fick en positiv effekt på packningsegenskaperna. Frågan är hur relevant detta förfarande är för material som ska packas i fält?

Tabell 3-7 Friktionsvinkel och kohesion för de testade materialen

Material	ϕ	c
Dalby	37	12
Göteborg	41	-6 ^{*)}
25 % asfaltgranulat	20	5
50 % asfaltgranulat	27	0

^{*)}Troligtvis någon form av problem vid denna bestämning eftersom det inte är rimligt med negativa värden på kohesionen.

Används ekvation 2-10 tillsammans med vattenmättnadsgraden samt data i Tabell 3-7 erhålls ett porundertryck på ca 0 – 45 kPa för de testade materialen. Dessa värden stämmer väl överens med verkliga porundertryck som uppmätts i fält (Lorensborgsgatan i Malmö) på liknande material *Ekdahl et al.*

3.2.5 Användning av resultaten

Det finns flera användningsområden för resultaten redovisade i de tidigare kapitlen. Den enklaste formen är rangordning av materialen för att undvika förtida spårbildning och eventuellt brott i konstruktionen. Det är fullt möjligt att utnyttja ett ”sämre” material bara

konstruktören först har förvissat sig om att spänningar och töjningar orsakade av trafiklasterna är acceptabla. Om det visar sig att den maximala påkänningen blir för stor måste konstruktionen modifieras så att problemen undviks, exempelvis med ett tjockare asfaltlager.

När det gäller resilientmodulerna (M_r) kan dessa användas som ett komplement till tabellmodulerna som finns redovisade i ATB VÄG. Det finns dock en mängd problem som dyker upp när alternativa styvhetsmoduler används. Modulerna i ATB VÄG är s.k. lagermoduler, dvs. materialstyvheten är en funktion av de övriga lagren i konstruktionen. Lagermodulen är således inte densamma som modulen som mäts i laboratoriet med exempelvis triaxialutrustning och det kan därför vara vanskligt att byta ut modulerna. En förutsättning för att kunna använda alternativa styvhetsmoduler är att respons- och nedbrytningsmodellerna kalibreras och valideras mot tillförlitliga fälldata eller data från accelererad provning (exempelvis HVS-försök). Om inte detta görs bör beräkningarna relateras till en känd referens och det blir i så fall en relativ jämförelse mellan två eller flera konstruktioner. Resultaten från beräkningarna kan inte direkt översättas till observerad nedbrytning på vägen eftersom kalibrering och validering saknas.

Ett annat problem som måste beaktas då spänningsberoende material används, såsom exempelvis obundna granulära material, är jordens naturliga spänningstillstånd. Beaktas inte detta vid dimensioneringen kommer styvhetsmodulerna som används i beräkningarna att vara för låga vilket sannolikt innebär att även mycket tjocka konstruktioner underkänns.

Det finns flera möjligheter att beräkna permanenta deformationer (spårbildning) i obundna material. Metoderna är mer eller mindre komplicerade. Modeller med utgångspunkt från triaxialdata har demonstrerats i flera tidigare studier, exempelvis *SAMARIS (2004)* och *Locke, B., Lovén, J (2007)*. För närvarande pågår även liknande arbete inom ramen för NordFoU samt Vägverkets dimensioneringsprogram VägFEM. Beräkningarna är relativt komplicerade och tidskrävande men resultaten bygger på en fundamentalt riktig modell och är lovande. Utöver dessa modeller finns även modeller för beräkning av permanenta deformationer i den amerikanska Design Guide (M-E PDG).

Ett annat angreppssätt är att använda en enklare töjningsberoende modell utvecklad i Danmark och som används i deras dimensioneringsprogram MMOPP 4. Modellen används även i CALTRANS-modellen som är utvecklad i Kalifornien, *Ullidtz et al. (2007)*. Spårdjupen beräknas som funktion av töjning, antal lastcykler och materialets styvhetsmodul. Modellen ger tillräckligt bra resultat och är betydligt enklare att använda än modellerna beskrivna i exempelvis *SAMARIS (2004)*.

Frågan är hur noggrann en spårdjupsberäkningsmodell för de obundna lagren behöver vara? HVS-försöken utförda inom ramen för CALTRANS-projektet har visat att spårbildningen i de obundna lagren och terrassen är i det närmaste försumbar jämfört med den spårbildning som uppstår i de bundna lagren. Med anledning av detta är det kanske onödigt att använda en komplicerad och långsam modell för att beräkna spår som är i det närmaste obefintliga? Det bör dock påpekas att det kan finnas skillnader mellan amerikanska och svenska konstruktioner. Dessa eventuella skillnader bör studeras noggrant innan några långtgående slutsatser dras från dessa försök.

4 Slutsatser

Triaxialtesterna på obundet material utförda inom ramen för detta projekt har visat att metodiken, beskriven i SS-EN 13286-7:2004, för att utvärdera motståndskraften mot permanenta deformationer samt för att bestämma resilientmodulen (M_R) fungerar väl. Det är möjligt att se tydliga skillnader mellan de testade materialen och om metoden följs kommer utvärderingen att utföras på ett strukturerat och väl beskrivet sätt. Resultaten från testerna är till stor hjälp då olika typer av material ska rangordnas samt för att bestämma var i konstruktionen placeringen av materialet kan vara mest lämplig. Det är även möjligt att använda data för analytisk dimensionering samt för att modellera spårutveckling.

Den största svårigheten är att packa in materialet till föreskriven packningsgrad och vattenkvot. Det krävs stor noggrannhet och det är en nödvändighet att material och vatten vägs in och därefter blandas väl för att komma i närheten av de önskade nivåerna.

Resultaten från triaxialförsöken visade att de rena bärlagermaterialen (dvs. utan inblandning av asfaltgranulat) som testades i denna studie hade markant bättre motståndskraft mot permanenta deformationer jämfört med bärlagermaterial med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat. Liknande resultat har även konstaterat vid studier utförda på VTI, *Jacobsson, T. (2002, #1)*. En nackdel med att blanda in asfaltgranulat i bärlagermaterialet är att materialet blir något mera svårpackat, vilket skulle kunna förklara en del av skillnaderna.

Om resultaten från detta projekt jämförs med resultat från tidigare studier där alternativa testmetoder använts blir resultaten inte desamma. Resultat från körningar i en testlåda utvecklad vid LTH samt från CBR-bestämningar visar att en inblandning av 25 % asfaltgranulat i ett bärlagermaterial förbättrar motståndskraften mot permanenta deformationer jämfört med ett rent bärlagermaterial. Även en inblandning av 50 % asfaltgranulat uppvisade lovande resultat vid testerna i lådan, *Parhamifer (2004)*.

Det är svårt att dra några långtgående slutsatser om anledningen till skillnaderna i resultat mellan testlådan och triaxialförsöken. Metoderna är mycket olika varandra och det är möjligt att testlådan efterliknar förhållandena som råder i fält på ett bättre sätt än vad triaxialförsöken gör. Uppföljningar i fält, *Jacobsson, T. (2002, #2)*, visar också att om materialet med inblandning av asfaltgranulat får möjlighet att efterpackas av trafiken, gärna samtidigt som vädret är varmt, blir resultatet vanligtvis väl så bra jämfört med om en traditionell konstruktion skulle ha använts.

En annan förklaring till skillnaderna i resultat mellan metoderna skulle kunna vara att provkropparna som testades i triaxialutrustning inte tilläts vila i två dygn innan testerna påbörjades, vilket var fallet för materialet som testades i testlådan. Efter två dygns vila har en viss uttorkning skett, detta påverkar motståndskraften mot permanenta deformationer på ett positivt sätt. Det bör dock påpekas att inte heller de rena bärlagermaterialen tilläts vila innan triaxialförsöken påbörjades.

Resultaten med avseende på resilientmodulen (M_r) ser ut som förväntat för ett granulärt material. Resilientmodulen ökar med spänningen eftersom materialet är spänningsberoende. Som förväntat finns det även en viss variation mellan resilientmodulerna beroende på att vattenkvoten och packningsgraden inte är identisk för samtliga testade provkroppar. Det är även intressant att konstatera att materialen med inblandning av 25 % resp. 50 % asfaltgranulat hade likvärdiga eller högre resilientmoduler jämfört med ett rent bärlagermaterial trots att dessa material hade signifikant sämre motståndskraft mot

permanenta deformationer. Liknande resultat har även rapporterats av *Jacobsson, T. (2002, #1)*.

Det är även mycket viktigt att veta om resilientmodulen har bestämts på en konditionerad provkropp eller om resilientmodulen har bestämts i samband med utvärderingen av permanenta deformationer. Enligt SS-EN 13286-7:2004 ska resilientmodulen bestämmas på en konditionerad provkropp. Om denna rekommendation följs erhålls en något högre resilientmodul jämfört med om resilientmodulen bestäms i samband med utvärderingen av permanenta deformationer. Skillnaden är relativt logiskt eftersom det sker en viss efterpackning i samband med att de permanenta deformationerna utvärderas. Då testerna utförs på en konditionerad provkropp är de permanenta deformationerna mycket små eller försumbara vilket också ger en högre resilientmodul.

Från de monotoniska skjuvförsöken framgår det att de rena bärlagermaterialen uppvisar en relativt brant lutning på kurvan efter att brottet har inträffat. Detta skiljer sig markant från utseendet på kurvorna för materialen med 25 % resp. 50 % inblandning av asfaltgranulat, som har ett mycket flackare förlopp efter brottet. Från försöken framgår det även att restvärdet för de olika materialtyperna verkar plana ut mot ungefär samma nivå men toppvärdet, dvs. brottspänningen, är högre för de rena bärlagermaterialen. Slutsatsen blir att de rena bärlagermaterialen är starkare än materialen med inblandning av asfaltgranulat men när väl brottet har skett kommer nedbrytningen att bli mycket snabbare för dessa material.

Friktionsvinklarna för de rena bärlagermaterialen ligger i intervallet 37-41 grader. För materialen med inblandning av asfaltgranulat är intervallet 20-27 grader. Anledningarna till att friktionsvinklarna skiljer sig så kraftigt åt mellan materialen kan vara många, en betydande anledning är troligtvis packningen.

Beräknas porundertrycken för de testade materialen hamnar dessa mellan ca 0-45 kPa för de testade materialen. Dessa värden stämmer väl överens med verkliga porundertryck som uppmätts i fält (Lorensborgsgatan i Malmö) på liknande material *Ekdahl et al.*

Referenser

- AMADEUS, 2000** – ”Advanced Models for Analytical Design of European Pavement Structures”, Final report RO-97-SC.2137, European Commission, 2000.
- Arm, Maria (2003)** – “Mechanical Properties of Residues as Unbound Road Materials – experimental tests on MSWI bottom ash, crushed concrete and blast furnace slag”, Doctoral Thesis, KTH, Land and Water Resources Engineering, TRITA-LWR PhD 1007, ISSN 1650-8602, ISRN KTH/LWR/PHD 1007-SE, ISBN 91-7283-562-1, Stockholm 2003.
- Arvidsson, Håkan (2001)** – “Treaxiell provning av hyttsten och granulerad hytt sand”, VTI-notat 53-2001, Väg och banteknik, VTI, Linköping, 2001.
- Arvidsson, Håkan (2006)** – “Dynamiska treaxialförsök på VTI – Jämförelse mellan VTI-metoder och EN 13286-7”, VTI-notat 21-2006, Linköping, 2006.
- ATB-VÄG 2005** – “Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion – ATB VÄG 2005”, Vägverkets publikation 2005:111
- Carvalho et al. (2003)** – “Predictions for Sunninge project”, University of Maryland, Regis Carvalho and Charles Schwartz, September 7, 2003.
- Ekblad Jonas (2004)** – “Influence of Water on Resilient Properties of Coarse Granular Materials”, Licentiate Thesis, KTH Civil and Architectural Engineering, Stockholm, Sweden, 2004.
- Ekdahl, U. et al.** – “A new framework for analytical pavement design based on systematic control during construction work”, Grundteknik, PEAB Sverige AB, Stora varvsgatan 11B, 211 19 Malmö, Sweden.
- Ekdahl, U. et al.** – “SWEPAVE – Ett nytt vägbyggnadskoncept”, Grundteknik, PEAB Sverige AB, Stora varvsgatan 11B, 211 19 Malmö, Sweden.
- Erlingsson (2003)** – “Validation of Design Models and Test Methods for Road Deterioration - HVS Tests on E6 – Sunninge, Sweden”, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Iceland, Sigurður Erlingsson, 2003.
- Hoff et al.** – ”Round robin investigation on the cyclic triaxial test for unbound granular materials”, BCRA05, Trondheim, 2005.
- Hornych (2003)** – “Modelling of the results of the Sunninge HVS Experiment”, LCPC Nantes, Pavement Materials Division, Pierre Hornych, October 2003.
- Huang (1993)** - Huang, Yang H., “Pavement Analysis and Design”, University of Kentucky, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993, ISBN 0-13-655275-7.
- Jacobsson, T. (2002, #1)** – “Återvinning av krossad asfalt som bär- och förstärkningslager – Del 1, karakterisering och egenskaper genom laboriestudier”, VTI-notat 31-2002, Väg och banteknik, VTI, Linköping, 2002.
- Jacobsson, T. (2002, #2)** – “Återvinning av krossad asfalt som bär- och förstärkningslager – Del 2, erfarenheter från fältstudier”, VTI-notat 32-2002, Väg och banteknik, VTI, Linköping, 2002.
- Locke, B., Lovén, J (2007)** – “Validering och utveckling av modeller för beräkning av tillståndsutveckling hos vägar – Inriktning på permanenta deformationer i obundna lager”, Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad, Institutionen för bygg- och miljöteknik, Avdelningen för geologi och geoteknik, Väg- och trafikplanering, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA, Göteborg 2007.
- NCHRP Web Doc 14** – “Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design: Final Report (1998)”, <http://nap.edu/openbook/nch014/html/1.html>, copyright 1998, 2000 The National Academy of Sciences
- Parhamifer (1998)** – Parhamifer, E., Sentler, L. ”Mekaniska egenskaper hos friktionsmaterial – Experimentella undersökningar”, Bulletin 8, Institutionen för trafikteknik, Lunds Tekniska Högskola, 1998.
- Parhamifer (1999)** – ”Mechanical Properties of Granular Materials - Experimental studies of load spreading and deformations”, Licentiate Thesis, Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, 1999.
- Parhamifer (2004)** – Parhamifer, E., ”Långtidsegenskaper hos friktionsmaterial och krossad asfalt”, Institutionen för teknik och samhälle, avdelning vägbyggnad, Lunds Tekniska Högskola, 2004.

Provväg E6 – “Materialdatabas upprättad av VTI i samband med materialtestningarna” .

Rabbira et al. (2006) – “Performance Prediction Models for Flexible Pavements: A State-of-the-art Report”, Teknologirapport nr. 2477, Vegdirektoratet Teknologivdelningen, Postboks 8142 Dep 0033 Oslo, www.vegvesen.no, 2006.

SAMARIS (2004) – “SAMARIS - Sustainable and Advanced MAterials for Road InfraStructure, Work Package 5 Performance-based specifications, Selection and evaluation of models for prediction of permanent deformations of unbound granular materials in road pavements”, Competitive and Sustainable Growth (GROWTH) Programme, 2004.

Shell (1990) - Whiteoak, D., “The Shell Bitumen Handbook”, Published by Shell Bitumen U.K., Riversdell House, Guildford Street, Chertsey, Surrey, KT16 9AU, England, 1990.

SS-EN 13286-7:2004 – “Obundna och hydrauliskt bundna vägmateriel – Del 7: Treaxialtest för obundna vägmateriel”, Fastställd 2004-02-13, Utgåva 1.

Ullidtz (1998) – “Modelling Flexible Pavement Response and Performance”, Polyteknisk Forlag, Copenhagen, 1998

Ullidtz et al. (2007) – “Calibration of Mechanistic-Empirical Models Using the California Heavy Vehicle Simulators”, Paper presented at the international conference about Pavement Design Systems and Pavement Performance Models in Reykjavik 2007.

van Niekerk (2002) – “Mechanical Behavior and Performance of Granular Bases and Sub-bases in Pavements”, Technische Universiteit Delft, Delft University Press, P.O. Box 98, 2600 MG Delft, The Netherlands, ISBN 90-407-2335-4, 2002.

VVMB 607 – ”Bestämning av maximal densitet med vibrobord”, Metodbeskrivning 607:1998, Publikation 1998:70.

Werkmeister, Sabine (2003) – “Permanent Deformation Behaviour of Unbound Granular Materials in Pavement Constructions”, Dissertation, Technischen Universität Dresden, 2003.

Bilaga 1

ANALYS Stenmaterial

Sidan 1 av 1

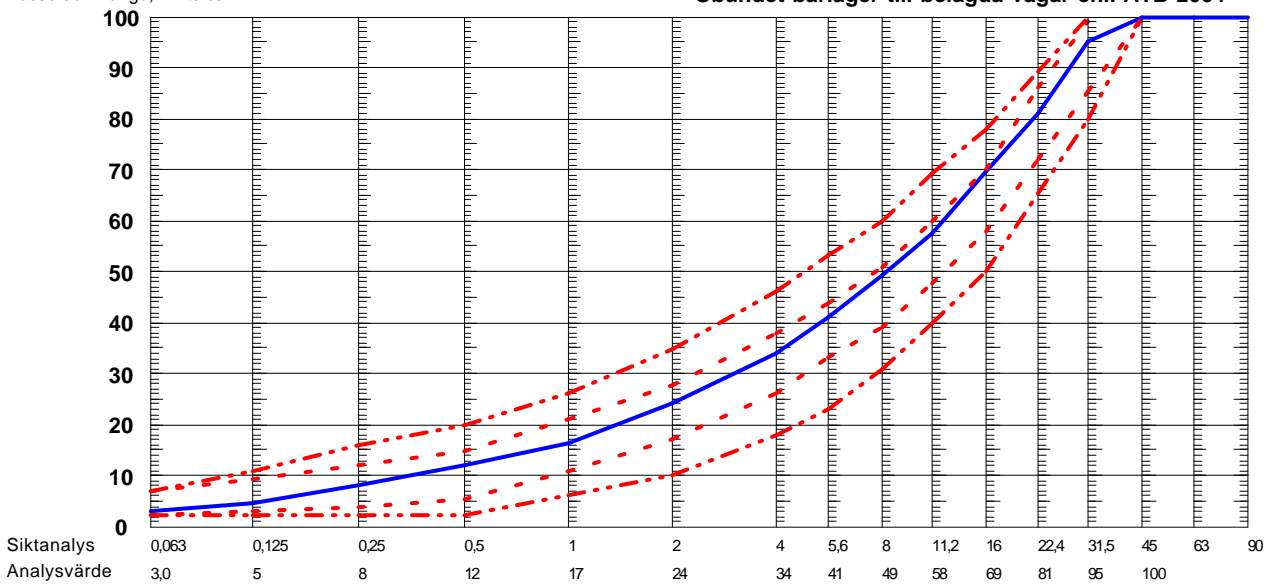
Beställare	Provtagningsdatum 2005-01-01 Ankomstdatum 2005-01-01	Analys start 2005-08-25 Analys slut 2005-08-29
Produkt	Referens	Idnummer
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt SBUF-projekt Id:11580	Märkning 0 - 40, Dalby	


KORNSTORLEK - SS-EN 933-1

Passerad mängd, vikts-%

Gränslinje

Obundet bärlager till belagda vägar enl. ATB 2004



Provresultat	Medel-värde	Fraktion (mm)	Notering
Kommentar			
SS/EN 933-1 Kornstorleksfördelning EN933-1 Tvättning och siktning			Ort och datum Malmö 2007-08-27  Katarina Ekblad, Laboratoriechef Underskriften är en elektronisk signatur
Laboratoriet är miljöcertifierat enligt SS-EN ISO 14001. Provresultat avser endast det prov som levererats till laboratoriet. [E] = Enkelprov [EA] = Ej ackrediterad metod			

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.
Mätosäkerhetslista och metodavstegslista har överlämnats vid kontraktsgenomgång.

(050915)

Bilaga 2

ANALYS Stenmaterial

Sidan 1 av 1

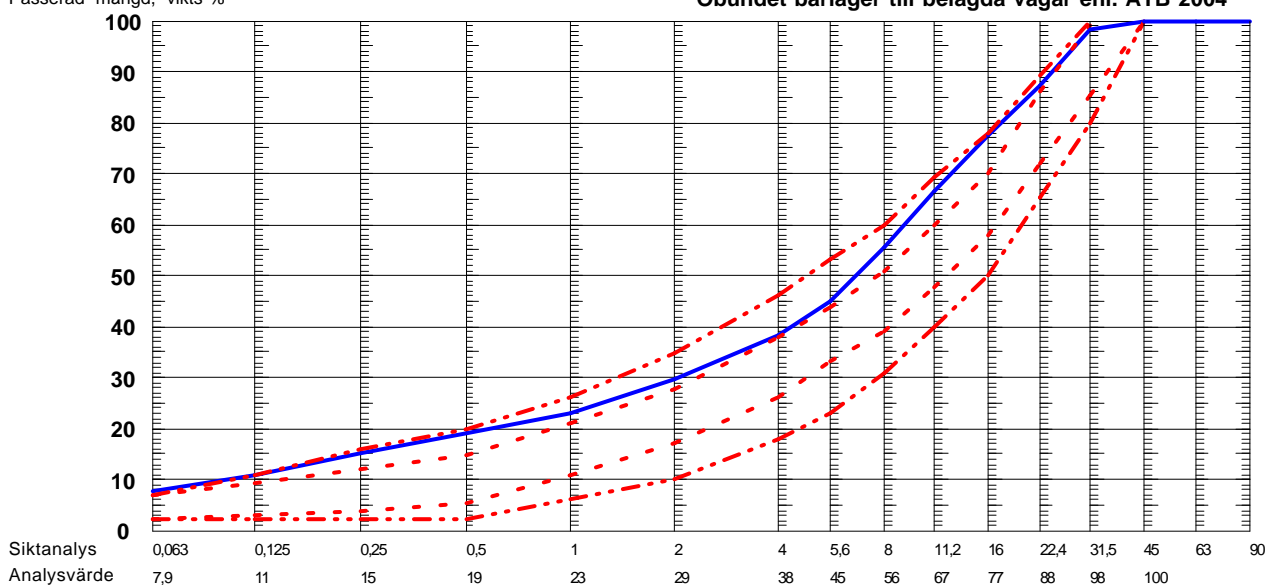
Beställare	Provtagningsdatum 2005-01-01 Ankomstdatum 2005-01-01	Analys start 2005-08-25 Analys slut 2005-08-29
Produkt	Referens	Idnummer
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt SBUF-projekt Id:11580	Märkning 0 - 40, Göteborg	


KORNSTORLEK - SS-EN 933-1

Passerad mängd, vikts-%

Gränslinje

Obundet bärlager till belagda vägar enl. ATB 2004



Provresultat	Medel- värde	Fraktion (mm)	Notering
Kommentar			
SS/EN 933-1 Kornstorleksfördelning EN933-1 Tvättning och siktning			Ort och datum Malmö 2007-08-27  Katarina Ekblad, Laboratoriechef Underskriften är en elektronisk signatur
SS/EN 933-1 Kornstorleksfördelning EN933-1 Tvättning och siktning			

Laboratoriet är miljöcertifierat enligt SS-EN ISO 14001.
 Provresultat avser endast det prov som levererats till laboratoriet.
 [E] = Enkelprov [EA] = Ej ackrediterad metod

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.
 Mätosäkerhetslista och metodavstegslista har överlämnats vid kontraktsgenomgång.

(050915)

Skanska Sverige AB
 VTC-Syd
 Box 9044
 200 39 MALMÖ

Besöksadress
 Trehögsgatan 8
 Styrelsens säte
 Malmö

Telefon nr
040-14 40 00
 Telefax nr
040-14 49 95

Org. nr
556033-9086
 VAT nr
10-556033-9086

E-post adress

 Internetadress

Bilaga 3

ANALYS Stenmaterial

Sidan 1 av 1

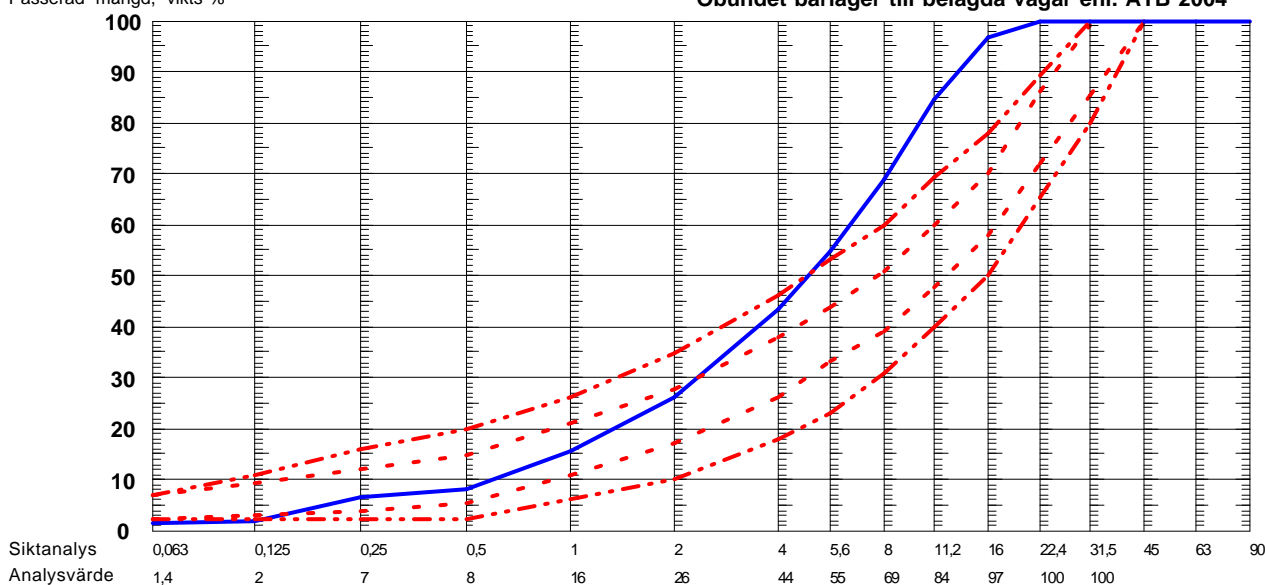
Beställare	Provtagningsdatum 2005-01-01 Ankomstdatum 2005-01-01	Analys start 2005-08-25 Analys slut 2005-08-29
Produkt	Referens	Idnummer
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt SBUF-projekt Id:11580	Märkning	


KORNSTORLEK - SS-EN 933-1

Passerad mängd, vikts-%

Gränslinje

Obundet bärlager till belagda vägar enl. ATB 2004



Provresultat	Medel- värde	Fraktion (mm)	Notering
Kommentar			
SS/EN 933-1 Kornstorleksfördelning EN933-1 Tvättning och siktning			Ort och datum Malmö 2007-08-27  Katarina Ekblad, Laboratorieförman Underskriften är en elektronisk signatur
SS/EN 933-1 Kornstorleksfördelning EN933-1 Tvättning och siktning			

Laboratoriet är miljöcertifierat enligt SS-EN ISO 14001.
 Provresultat avser endast det prov som levererats till laboratoriet.
 [E] = Enkelprov [EA] = Ej ackrediterad metod

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.
 Mätosäkerhetslista och metodavstegslista har överlämnats vid kontraktsgenomgång.

(050915)

Skanska Sverige AB
 VTC-Syd
 Box 9044
 200 39 MALMÖ

Besöksadress
Trehögsgatan 8
 Styrelsens säte
Malmö

Telefon nr
040-14 40 00
 Telefax nr
040-14 49 95

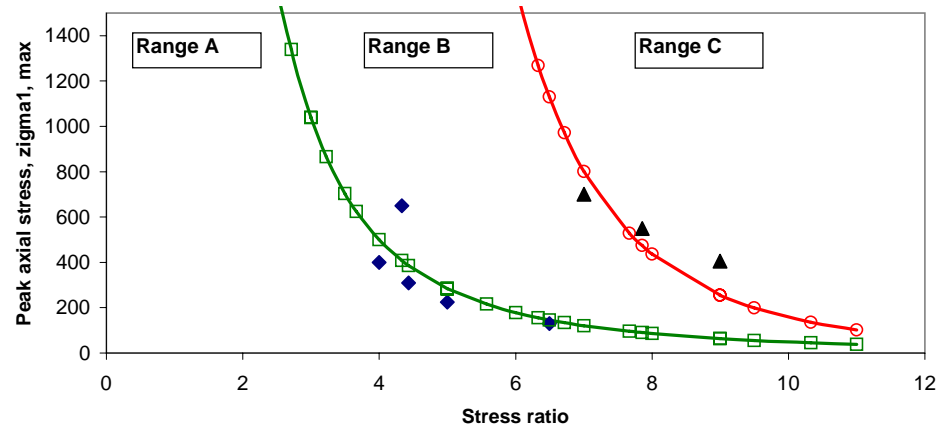
Org. nr
556033-9086
 VAT nr
10-556033-9086

E-post adress

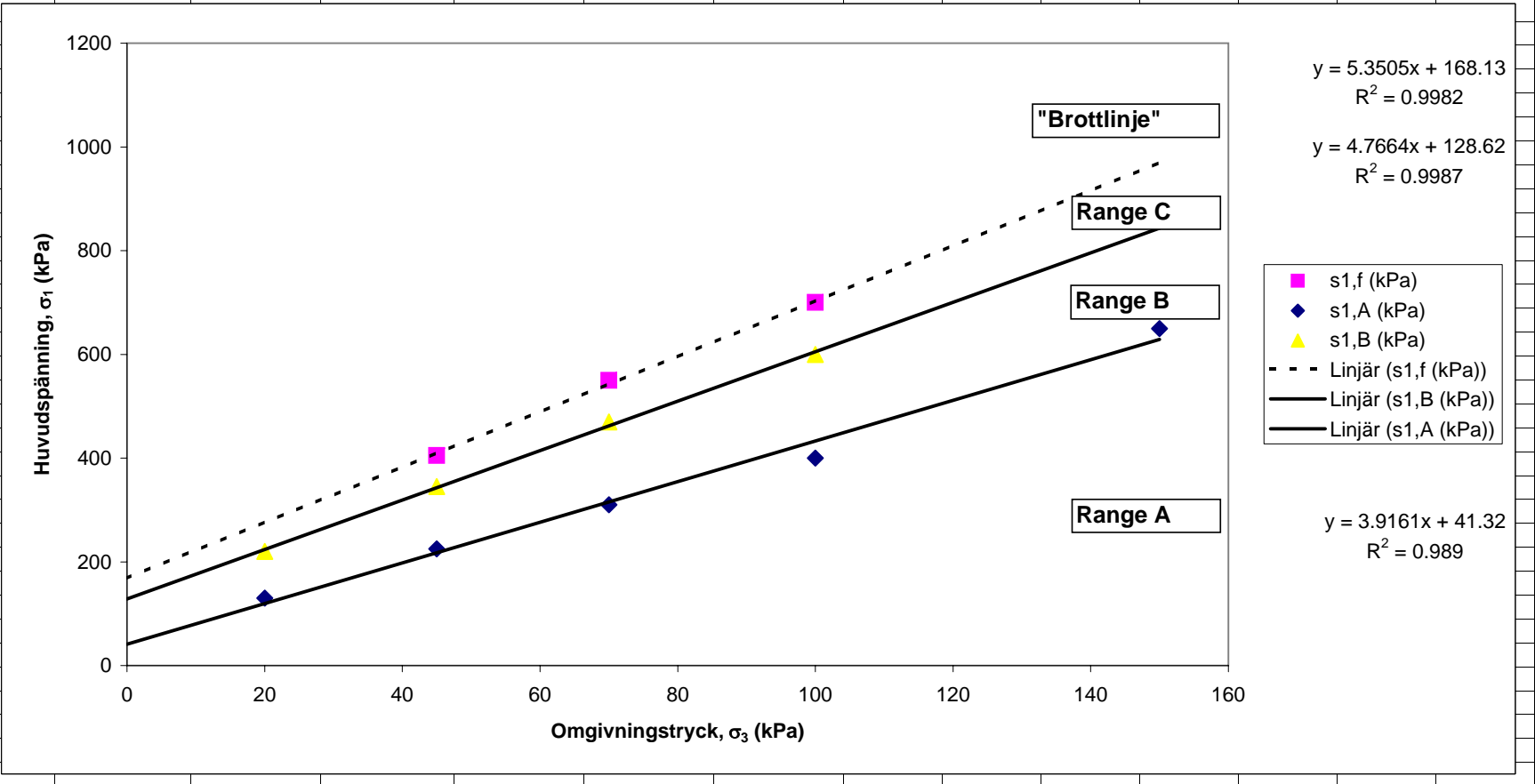
 Internetadress

Bilaga 4

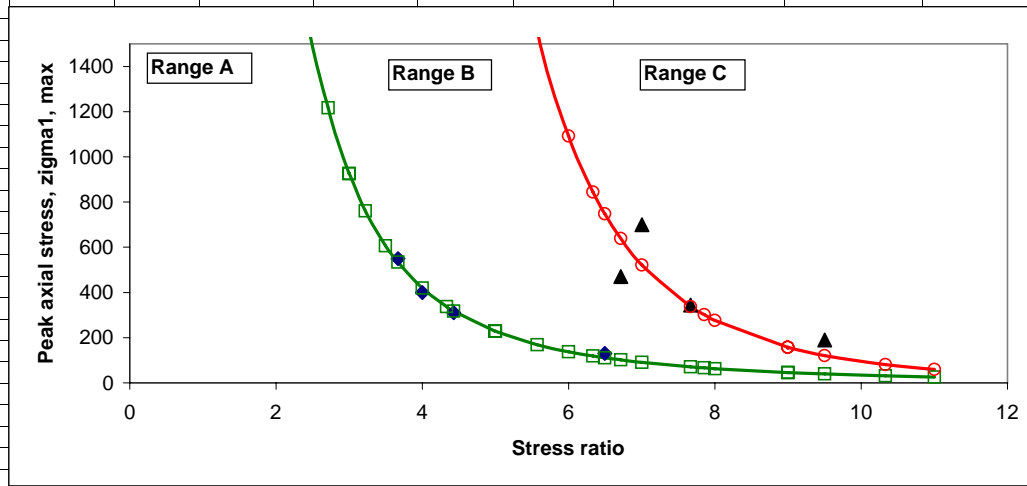
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{2r}	ϵ_{1p}	ϵ_{2p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	208.1	23.4	136.1	-148.0	104.4	117.1	13	A	230.3	70.0	3.5	0.112					
10000	20	20	2	80	325.0	45.4	291.6	-197.7	244.3	262.0	18	A	239.8	99.9	5.0	0.140					
10000	20	20	2	110	412.2	68.0	545.2	-241.5	451.6	485.8	34	A	261.9	130.0	6.5	0.165					
10000	20	20	2	140	476.4	99.2	1006.9	-256.3	818.8	892.7	74	B	289.4	159.9	8.0	0.208					
10000	20	20	2	170	627.3	160.2	1738.5	-245.8	1399.9	1536.9	137	B	267.9	190.1	9.5	0.255					
10000	20	20	2	200	745.0	200.7	3159.7	107.0	2516.9	2796.1	279	B	265.4	219.8	11.0	0.269					
10000	45	45	2	100	401.0	56.1	3133.9	-121.0	3143.0	3140.4	-3	A	244.5	145.0	3.2	0.140					
10000	45	45	2	180	622.3	125.4	3303.7	-208.8	3239.0	3264.3	25	A	285.4	224.7	5.0	0.202					
10000	45	45	2	240	836.8	185.9	3751.8	-257.7	3504.3	3590.4	86	B	284.2	284.8	6.3	0.222					
10000	45	45	2	300	996.3	225.3	5827.6	-205.9	5024.0	5389.5	366	B	299.0	344.9	7.7	0.226					
2920	45	45	2	360	1184.8	325.4	8158.3	313.5		8158.3	8158	C	302.1	405.0	9.0	0.275					
	45	45	0	420										465.0	10.3						
10000	70	70	2	120	436.3	60.1	8168.1	164.4	8177.4	8173.0	-4	A	270.3	189.9	2.7	0.138					
10000	70	70	2	240	769.1	144.2	8302.1	96.1	8242.5	8261.2	19	A	309.2	309.9	4.4	0.187					
10000	70	70	2	320	936.6	187.6	8641.5	49.6	8482.6	8544.0	61	B	339.3	389.9	5.6	0.200					
10000	70	70	2	400	1088.3	244.7	9759.0	59.1	9061.7	9279.7	218	B	365.6	469.9	6.7	0.225					
6000	70	70	2	480	1314.9	290.3	13233.7	362.5	11958.8	12911.1	952	C	363.4	549.9	7.9	0.221					
	70	70	2	560										629.9	9.0						
10000	100	100	2	200	605.4	4.5	13266.1	481.4	13279.4	13271.7	-8	A	326.6	299.8	3.0	0.007					
10000	100	100	2	300	855.7	7.2	13352.4	445.8	13316.0	13328.8	13	A	348.0	399.8	4.0	0.008					
10000	100	100	2	400	1070.5	6.8	13613.2	405.9	13464.7	13516.2	51	B	371.8	500.0	5.0	0.006					
10000	100	100	2	500	1260.3	1.4	14431.8	309.2	13965.9	14118.7	153	B	395.1	599.9	6.0	0.001					
10000	100	100	2	600	1454.9	24.9	17483.3	208.7	15897.7	16486.9	589	C	410.9	699.9	7.0	0.017					
10000	150	150	2	200	488.9	1.0	17569.9	8148.5	17576.7	17572.0	-5	A	404.7	349.9	2.3	0.002					
10000	150	150	2	301	706.8	1.4	17611.1	8148.1	17601.7	17604.6	3	A	422.6	450.8	3.0	0.002					
10000	150	150	2	400	895.8	1.2	17687.7	8147.7	17651.6	17663.8	12	A	444.2	550.1	3.7	0.001					
10000	150	150	2	500	1054.8	1.2	17874.0	8147.7	17767.5	17803.6	36	A	471.9	649.9	4.3	0.001					
10000	150	150	2	600	1196.8	1.3	18340.0	8147.5	18055.8	18142.9	87	B	499.5	749.9	5.0	0.001					



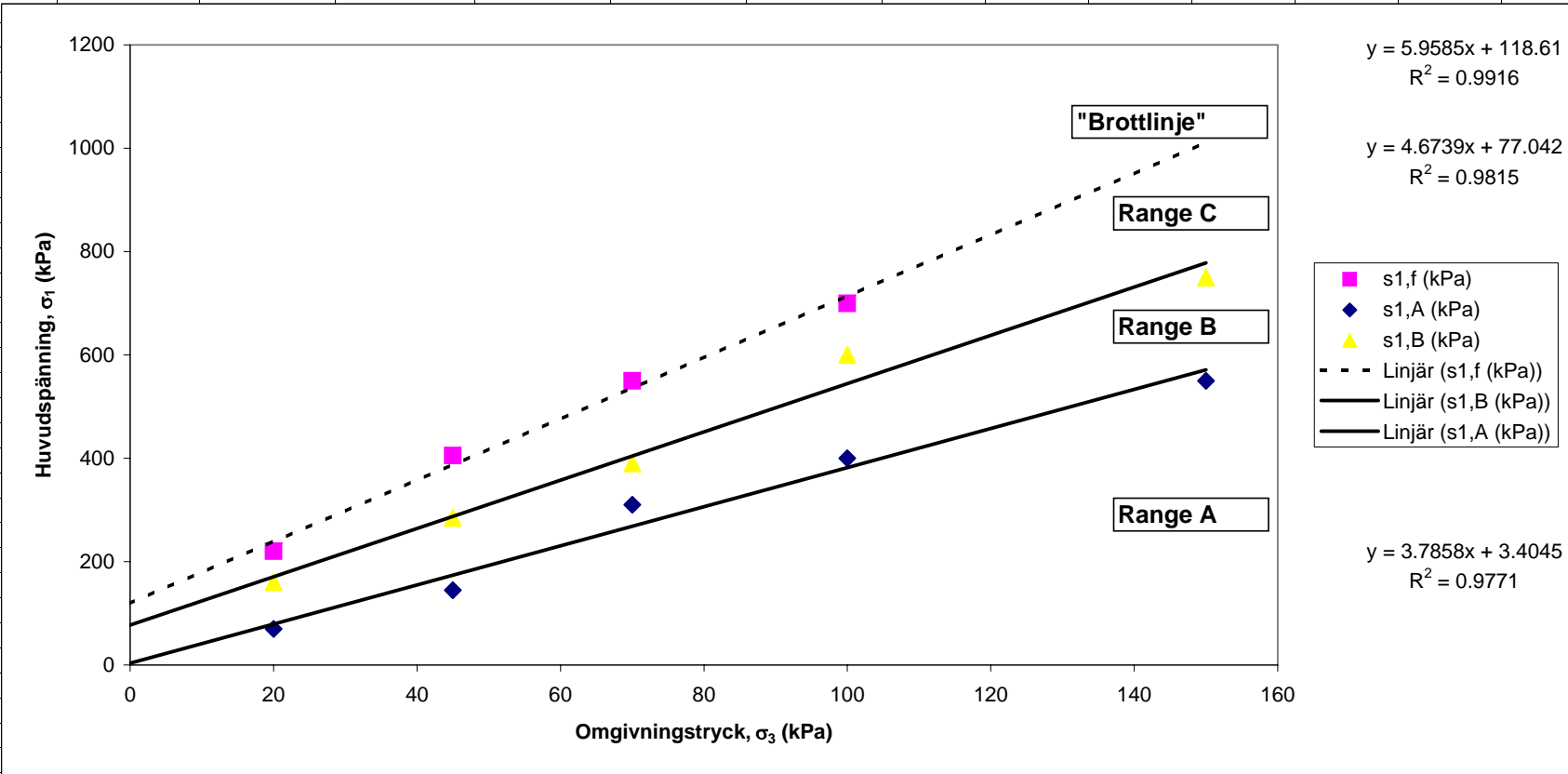
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	130.0	224.7	309.9	399.8	649.9								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	219.8	344.9	469.9	599.9									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)		405.0	549.9	699.9									
constA	3.916124951												
constB	41.32017878												
ϕ	-0.634997517	36	Friktionsvinkel										
c		10	Kohesion										



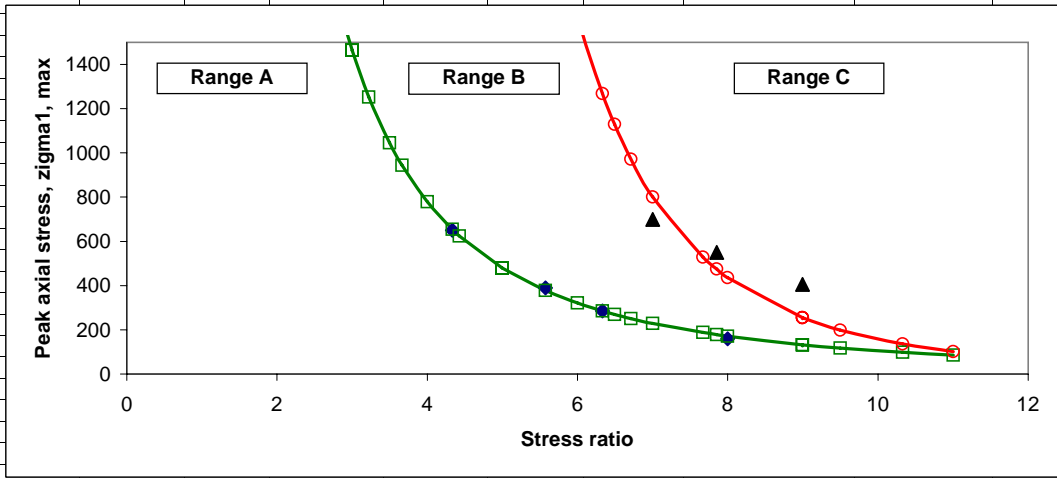
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	205.6	57.6	581.4	-125.8	496.0	531.7	36	A	233.2	70.0	3.5	0.280					
10000	20	20	2	80	365.2	100.0	1025.5	-134.2	905.4	961.6	56	B	213.5	100.0	5.0	0.274					
10000	20	20	2	110	519.8	152.3	1456.4	-73.0	1317.8	1362.2	44	A	207.6	129.9	6.5	0.293					
10000	20	20	2	140	689.0	223.3	2411.0	257.2	2009.8	2204.6	195	B	200.1	160.0	8.0	0.324					
10000	20	20	2	170	844.4	327.8	4432.9	1095.9	3440.9	3844.8	404	C	198.8	189.9	9.5	0.388					
670	20	20	2	200	968.9	430.4	5013.8	1522.7		5013.8	5014	C	204.3	219.9	11.0	0.444					
10000	45	45	2	100	477.9	97.3	5102.8	1022.9	5103.5	5113.2	10	A	204.9	144.9	3.2	0.204					
10000	45	45	2	180	748.2	185.5	5516.5	906.3	5351.4	5416.5	65	B	237.7	224.9	5.0	0.248					
10000	45	45	2	240	927.7	252.5	6544.6	886.5	6096.2	6270.6	174	B	256.3	284.9	6.3	0.272					
10000	45	45	2	300	1232.3	355.3	9753.4	1278.3	8201.7	8826.6	625	C	241.7	344.9	7.7	0.288					
250	45	45	2	360	1383.1	483.2	10108.0	1459.0		10108.0	10108	C	258.8	405.0	9.0	0.349					
	45	45	0	420										465.0	10.3						
10000	70	70	2	120	504.8	92.0	10231.5	1163.4	10222.4	10223.4	1	A	233.5	190.0	2.7	0.182					
10000	70	70	2	240	886.1	196.5	10516.7	1077.1	10411.8	10448.2	36	A	268.5	310.0	4.4	0.222					
10000	70	70	2	320	1064.3	260.5	11075.6	1016.3	10831.4	10930.6	99	B	298.7	389.9	5.6	0.245					
10000	70	70	2	400	1154.9	348.0	13500.3	1223.5	12380.6	12853.3	473	C	344.6	470.0	6.7	0.301					
1140	70	70	2	480	1394.3	460.6	15249.4	1906.2		15249.4	15249	C	342.7	549.8	7.9	0.330					
	70	70	2	560										629.9	9.0						
10000	100	100	2	200	609.0	27.5	15466.4	1852.4	15429.0	15442.7	14	A	325.1	300.0	3.0	0.045					
10000	100	100	2	300	815.9	45.9	15682.7	1837.1	15584.5	15616.0	31	A	364.9	399.8	4.0	0.056					
10000	100	100	2	400	983.1	67.4	16169.1	1829.0	15919.1	16014.1	95	B	404.7	499.9	5.0	0.069					
10000	100	100	2	500	1166.0	200.0	17726.2	1815.1	16926.8	17200.0	273	B	426.9	599.9	6.0	0.172					
3530	100	100	2	600	1396.4	274.7	20402.4	2384.7		20402.4	20402	C	428.2	699.9	7.0	0.197					
10000	150	150	2	200	481.5	9.4	20557.2	7320.0	20555.5	20554.7	-1	A	411.0	349.9	2.3	0.020					
10000	150	150	2	300	689.4	23.7	20620.4	7304.0	20593.8	20604.0	10	A	432.1	449.9	3.0	0.034					
10000	150	150	2	400	861.8	35.3	20768.4	7295.6	20694.6	20717.7	23	A	461.5	549.9	3.7	0.041					
10000	150	150	2	500	1012.7	45.8	21072.4	7293.3	20900.1	20964.5	64	B	491.5	649.9	4.3	0.045					
10000	150	150	2	600	1163.6	60.2	21830.2	7302.9	21390.8	21535.1	144	B	513.8	750.0	5.0	0.052					



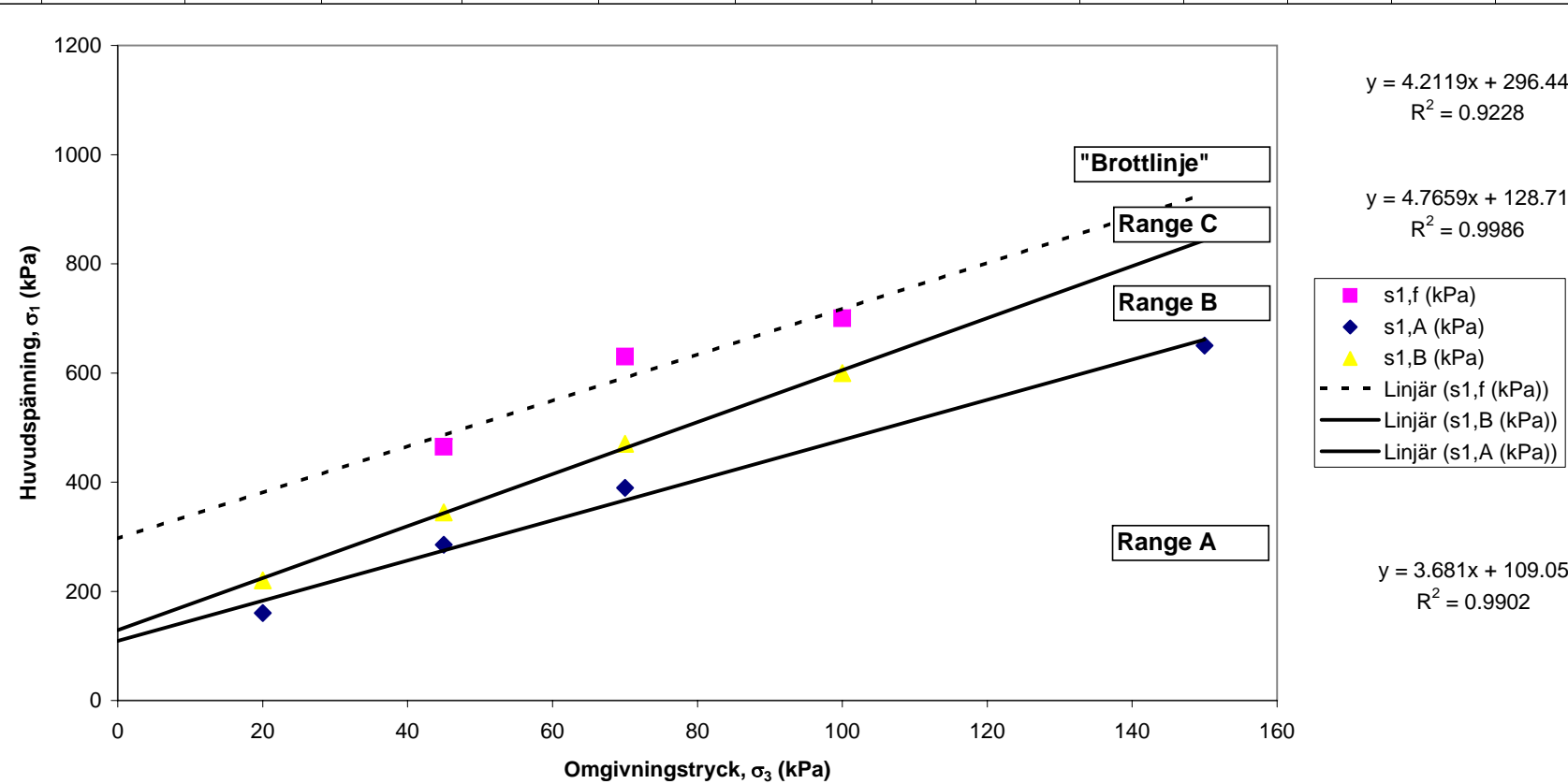
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	70.0	144.9	310.0	399.8	549.9								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	160.0	284.9	389.9	599.9	750.0								
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	219.9	405.0	549.8	699.9									
constA	3.785806385												
constB	3.40450835												
ϕ	-0.621306006	36	Friktionsvinkel										
c		1	Kohesion										



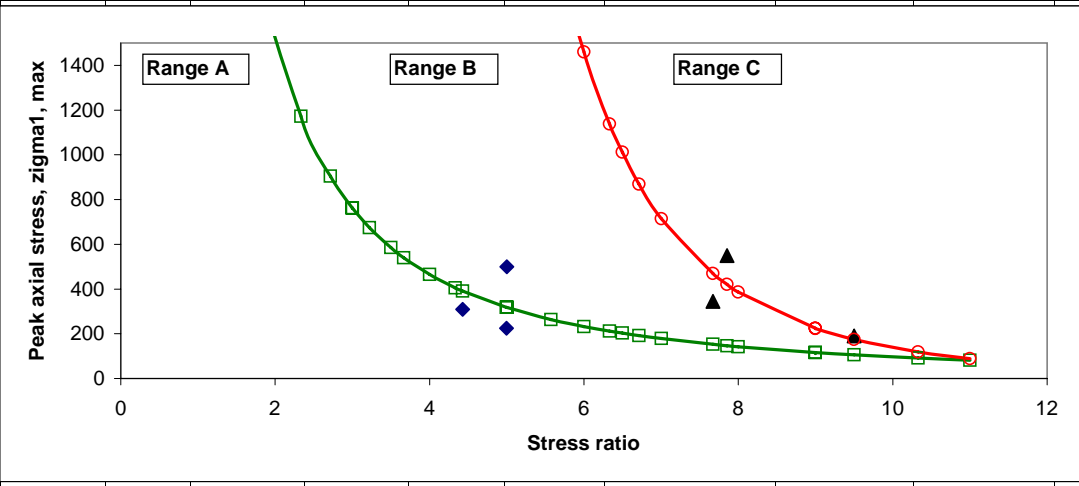
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	304.8	43.6	458.3	-61.5	427.4	439.0	12	A	157.5	70.0	3.5	0.143					
10000	20	20	2	80	492.9	71.2	544.2	-85.3	509.4	521.3	12	A	158.2	99.9	5.0	0.144					
10000	20	20	2	110	638.2	97.9	640.7	-88.7	591.2	601.1	10	A	169.0	129.9	6.5	0.153					
10000	20	20	2	140	793.3	132.1	977.0	-82.5	840.4	884.7	44	A	173.9	160.0	8.0	0.167					
10000	20	20	2	170	933.0	162.4	1433.6	-43.6	1220.6	1302.7	82	B	179.9	189.9	9.5	0.174					
10000	20	20	2	200	1093.3	226.8	2097.3	116.2	1804.8	1901.0	96	B	181.0	219.9	11.0	0.207					
10000	45	45	2	100	522.3	67.2	2289.1	-13.0	2293.6	2289.6	-4	A	187.4	144.9	3.2	0.129					
10000	45	45	2	180	817.8	130.2	2339.8	-34.7	2332.4	2332.6	0	A	217.5	224.9	5.0	0.159					
10000	45	45	2	240	1062.0	176.2	2536.5	-30.7	2443.7	2484.4	41	A	224.2	285.2	6.3	0.166					
10000	45	45	2	300	1297.2	268.3	3877.4	232.6	3263.1	3522.0	259	B	229.6	344.8	7.7	0.207					
10000	45	45	2	360	1500.6	344.9	6703.1	908.5	5584.5	6073.3	489	C	238.6	405.1	9.0	0.230					
440	45	45	2	420	1695.4	455.1	7185.2	1195.6	7185.2	7185.2	7185	C	246.4	464.9	10.3	0.268					
10000	70	70	2	120	575.6	89.4	7305.7	1003.0	7316.9	7310.2	-7	A	205.0	190.0	2.7	0.155					
10000	70	70	2	240	970.8	191.0	7478.3	975.7	7429.9	7445.8	16	A	245.1	309.9	4.4	0.197					
10000	70	70	2	320	1150.9	254.9	7708.1	979.6	7582.7	7624.5	42	A	276.1	389.8	5.6	0.221					
10000	70	70	2	400	1340.6	315.7	8322.0	1088.9	8006.5	8118.4	112	B	297.0	470.2	6.7	0.235					
10000	70	70	2	480	1496.8	396.5	11167.9	1814.4	9599.8	10147.6	548	C	319.2	549.8	7.9	0.265					
660	70	70	2	560	1678.3	513.7	12369.5	2312.4	12369.5	12370	12370	C	332.5	630.0	9.0	0.306					
10000	100	100	2	200	645.8	136.6	12550.0	2130.1	12544.5	12547.2	3	A	306.4	299.9	3.0	0.212					
10000	100	100	2	300	893.5	195.6	12666.7	2103.6	12613.6	12631.5	18	A	333.4	400.0	4.0	0.219					
10000	100	100	2	400	1081.4	248.4	13011.4	2086.1	12881.0	12942.0	61	B	368.0	500.0	5.0	0.230					
10000	100	100	2	500	1223.5	287.8	13630.0	2131.8	13292.7	13409.7	117	B	406.8	599.9	6.0	0.235					
10000	100	100	2	600	1328.1	334.9	15573.4	2533.4	14532.4	14961.4	429	C	450.2	700.0	7.0	0.252					
10000	150	150	2	200	463.0	25.1	15746.1	6176.6	15748.4	15746.3	-2	A	427.5	349.9	2.3	0.054					
10000	150	150	2	300	661.1	39.1	15780.3	6161.5	15769.0	15772.6	4	A	450.9	450.1	3.0	0.059					
10000	150	150	2	400	842.0	53.0	15846.5	6155.4	15810.1	15822.7	13	A	472.4	549.9	3.7	0.063					
10000	150	150	2	500	975.0	70.6	16007.0	6147.8	15922.6	15950.3	28	A	511.0	650.3	4.3	0.072					
10000	150	150	2	600	1084	86.7	16300.4	6140.2	16125.7	16186.3	61	B	551.5	749.9	5.0	0.080					



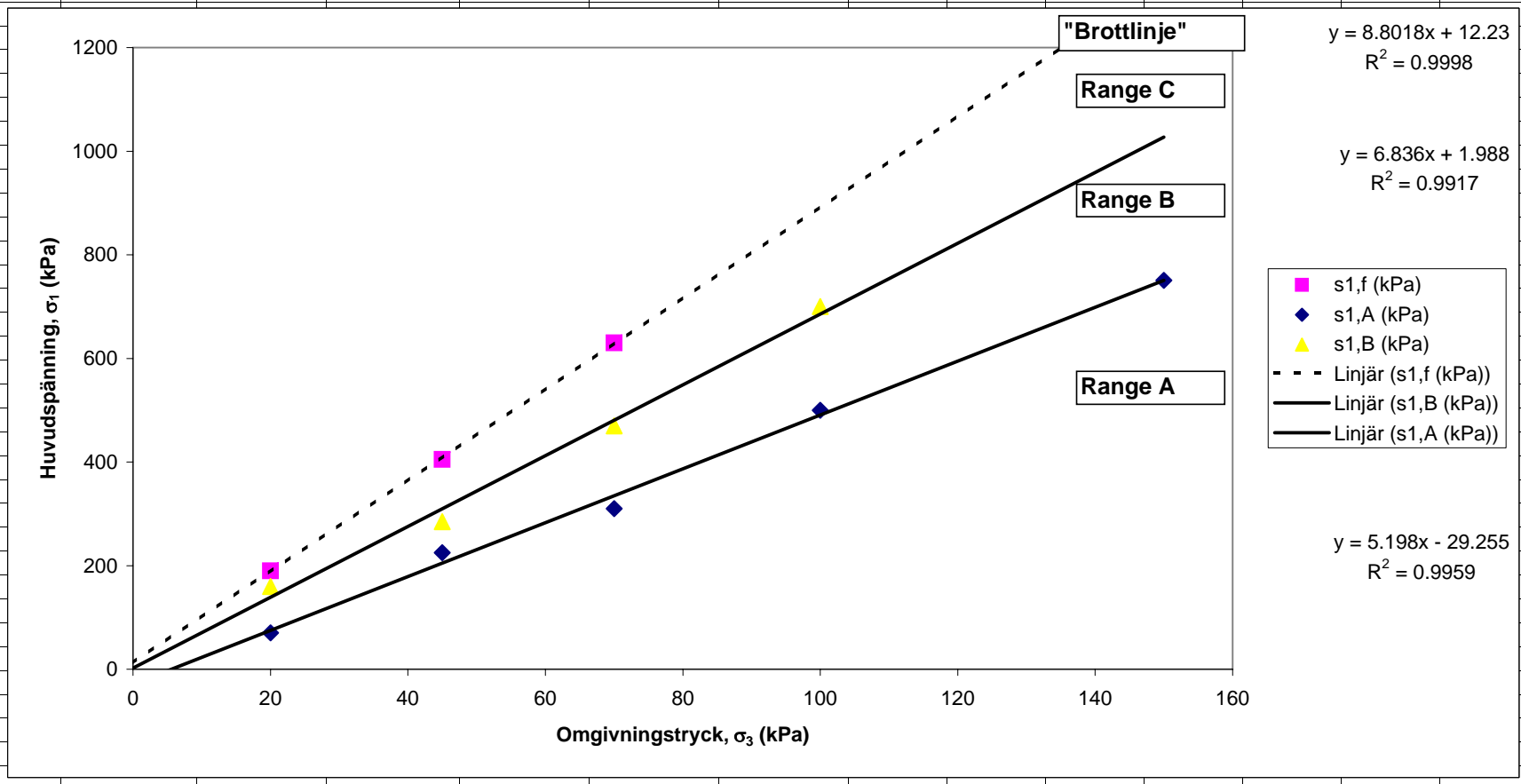
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	160.0	285.2	389.8		650.3								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	219.9	344.8	470.2	599.9									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)		464.9	630.0	700.0									
constA	3.681013395												
constB	109.0485456												
ϕ	-0.609847052	35	Friktionsvinkel										
c		28	Kohesion										



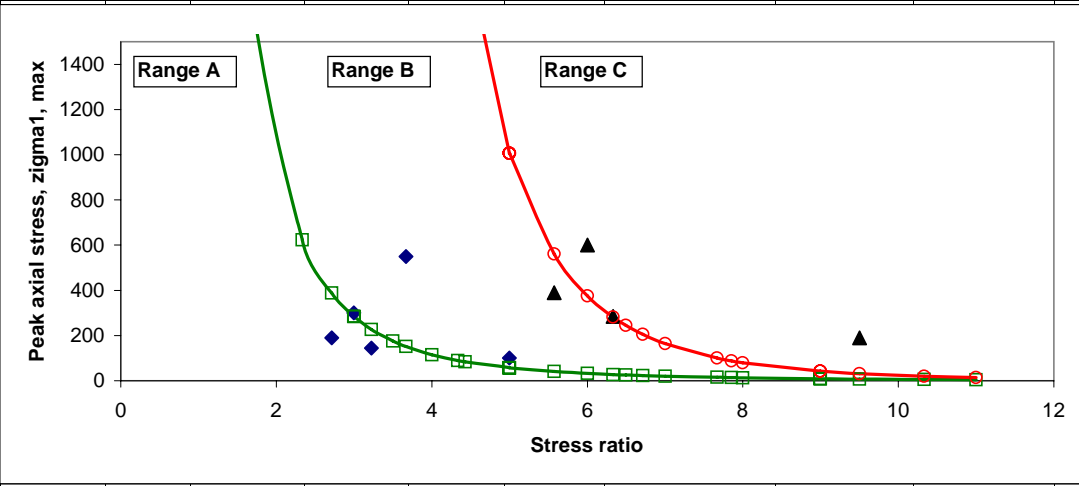
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
[-]													M_r	σ_1	σ_1/σ_3	[-]					
10000	20	20	2	50	456.6	62.9	502.9	-74.9	405.5	444.6	39	A	104.9	70.0	3.5	0.138					
10000	20	20	2	80	712.3	118.2	1182.9	-30.1	1029.4	1096.2	67	B	109.4	99.9	5.0	0.166					
10000	20	20	2	110	939.9	203.5	2021.1	220.1	1686.6	1832.9	146	B	114.9	130.0	6.5	0.217					
10000	20	20	2	140	1102.0	304.6	3703.4	832.3	3162.1	3388.9	227	B	124.9	159.7	8.0	0.276					
3900	20	20	2	170	1184.7	355.3	5003.6	1461.4		5003.6	5004	C	141.7	189.9	9.5	0.300					
	20	20	2	200										219.9		11.0					
10000	45	45	2	100	557.9	116.7	4995.1	1012.2	4995.7	4993.3	-2	A	175.6	144.9	3.2	0.209					
10000	45	45	2	180	797.3	198.1	5264.9	897.4	5137.6	5174.8	37	A	223.2	225.0	5.0	0.248					
10000	45	45	2	240	969.0	259.9	6296.2	940.7	5798.5	6015.3	217	B	245.6	285.0	6.3	0.268					
10000	45	45	2	300	1086.3	385.7	9048.7	1712.8	7665.4	8223.7	558	C	274.1	344.8	7.7	0.355					
1150	45	45	2	360	1314.6	512.3	10093.2	2333.8		10093.2	10093	C	272.3	405.0	9.0	0.390					
	45	45	2	420										464.9		10.3					
10000	70	70	2	120	469.1	92.9	10139.6	2021.5	10135.9	10133.2	-3	A	251.6	190.0	2.7	0.198					
10000	70	70	2	240	781.7	217.2	10232.1	1904.4	10195.1	10210.9	16	A	304.2	309.8	4.4	0.278					
10000	70	70	2	320	950.1	288.1	10535.0	1858.6	10362.9	10424.5	62	B	334.6	389.9	5.6	0.303					
10000	70	70	2	400	1085.1	352.4	11439.7	1957.4	10932.0	11114.3	182	B	366.4	469.6	6.7	0.325					
10000	70	70	2	480	1152.6	477.6	13438.3	2503.7	12448.2	12851.3	403	C	414.7	550.0	7.9	0.414					
2350	70	70	2	560	1317.1	565.5	15216.9	3276.9		15216.9	15217	C	423.6	630.0	9.0	0.429					
10000	100	100	2	201	537.6	137.0	15300.0	2963.1	15292.3	15294.0	2	A	369.3	300.6	3.0	0.255					
10000	100	100	2	300	724.8	227.5	15341.9	2884.6	15326.3	15333.8	7	A	410.6	399.7	4.0	0.314					
10000	100	100	2	400	876.3	312.0	15491.6	2820.9	15408.6	15436.5	28	A	454.0	499.9	5.0	0.356					
10000	100	100	2	500	975.5	371.2	15830.2	2802.3	15634.7	15711.5	77	B	510.3	599.8	6.0	0.381					
10000	100	100	2	600	1077.0	439.9	16501.4	2887.2	16075.6	16201.1	125	B	555.3	700.1	7.0	0.408					
10000	150	150	2	200	380.5	2.5	16559.0	4643.5	16564.1	16562.0	-2	A	520.3	350.0	2.3	0.007					
10000	150	150	2	300	550.2	2.8	16571.7	4650.2	16569.6	16571.5	2	A	541.5	449.9	3.0	0.005					
10000	150	150	2	400	686.6	2.7	16608.5	4666.8	16598.6	16600.1	2	A	579.7	550.0	3.7	0.004					
10000	150	150	2	500	798.1	2.0	16700.6	4683.8	16656.6	16670.3	14	A	624.1	650.2	4.3	0.003					
10000	150	150	2	600	883.6835	2.1	16887.4	4703.7	16774.6	16812.6	38	A	677.1	750.3	5.0	0.002					



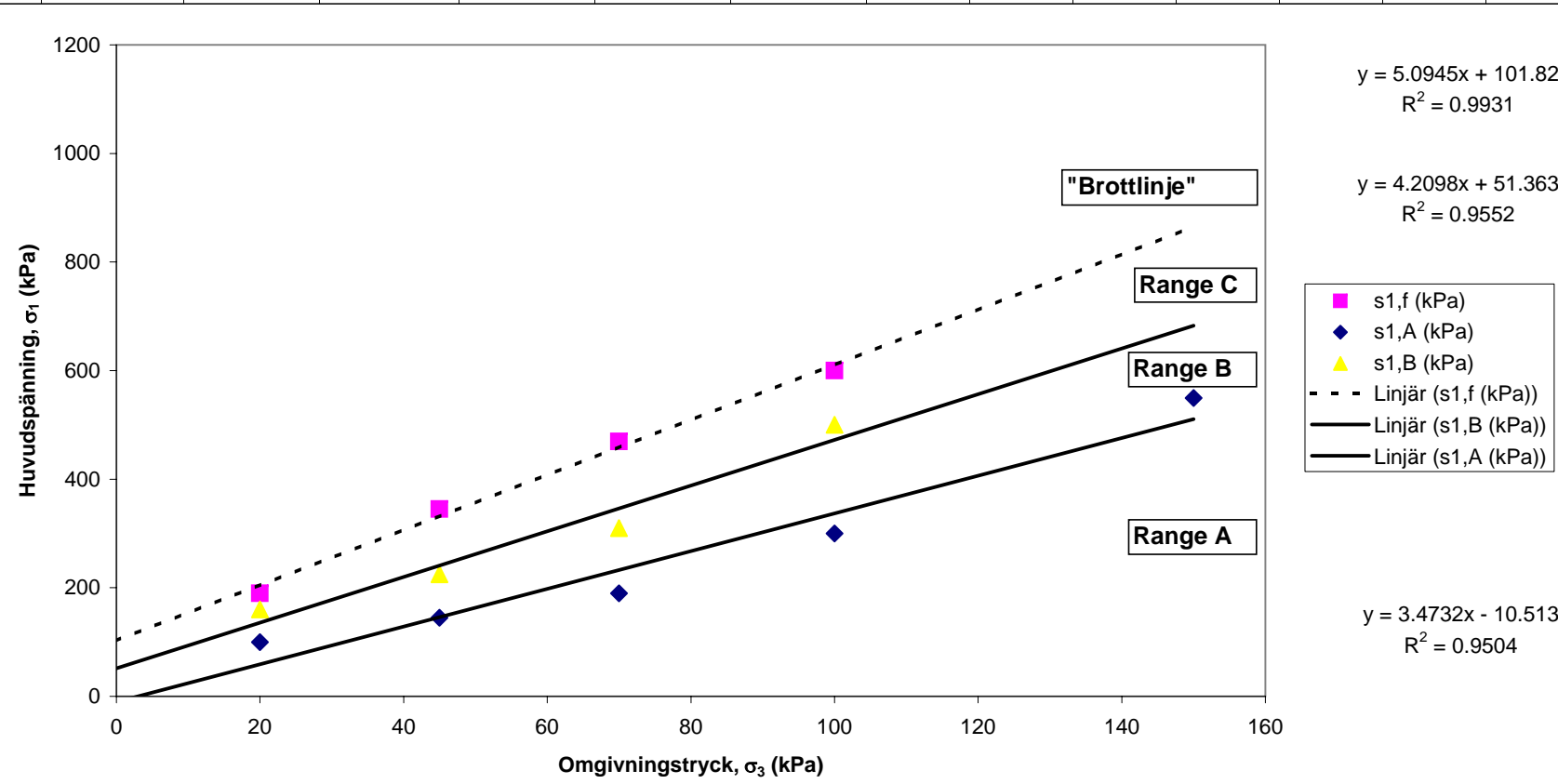
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	70.0	225.0	309.8	499.9	750.3								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	159.7	285.0	469.6	700.1									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	189.9	405.0	630.0										
constA	5.198048821												
constB	-29.25495923												
ϕ	-0.744110667	43	Friktionsvinkel										
c		-6	Kohesion										



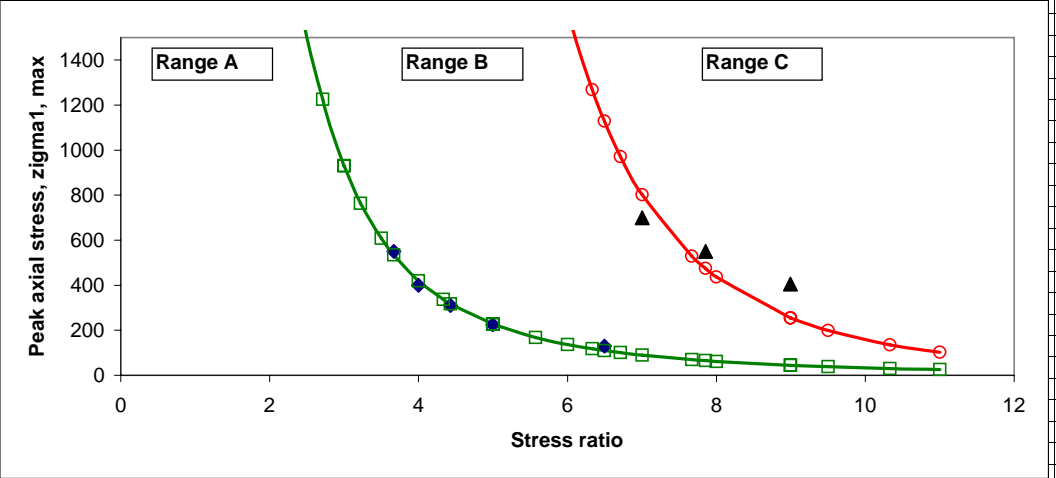
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	338.2	68.3	280.2	-58.1	247.7	258.0	10	A	141.7	70.0	3.5	0.202					
10000	20	20	2	80	524.1	119.4	589.2	-44.8	515.9	545.1	29	A	148.7	100.0	5.0	0.228					
10000	20	20	2	110	733.5	192.3	1393.0	60.5	1063.4	1164.7	101	B	147.3	130.0	6.5	0.262					
10000	20	20	2	140	779.3	322.9	3748.9	562.5	2825.4	3170.8	345	B	177.1	160.0	8.0	0.414					
1900	20	20	2	170	870.3	418.3	5001.2	1343.8		5001.2	5001	C	192.9	190.0	9.5	0.481					
	20	20	2	200																	
10000	45	45	2	100	487.9	135.2	5171.9	860.5	5152.1	5160.1	8	A	201.0	145.0	3.2	0.277					
10000	45	45	2	180	733.4	238.5	5837.7	806.1	5493.9	5682.7	189	B	242.7	225.0	5.0	0.325					
10000	45	45	2	240	878.2	360.9	8892.9	1218.4	7324.0	7897.4	573	C	270.9	284.9	6.3	0.411					
570	45	45	2	300	1056.9	504.5	10159.2	1710.3		10159.2	10159	C	281.8	344.9	7.7	0.477					
	45	45	2	360																	
	45	45	2	420																	
10000	70	70	2	120	431.1	125.0	10349.9	1348.1	10318.8	10328.0	9	A	273.8	190.0	2.7	0.290					
10000	70	70	2	240	869.7	258.0	11306.3	1279.4	10977.1	11114.0	137	B	273.7	309.8	4.4	0.297					
10000	70	70	2	320	986.1	345.5	13643.2	1424.4	12366.9	12787.9	421	C	322.4	389.9	5.6	0.350					
840	70	70	2	400	1007.5	493.9	15296.0	1923.6		15296.0	15296	C	394.9	469.6	6.7	0.490					
	70	70	2	480																	
	70	70	2	560																	
10000	100	100	2	200	523.5	86.9	15599.1	1855.1	15535.3	15561.5	26	A	377.8	299.8	3.0	0.166					
10000	100	100	2	300	710.8	134.2	16057.8	1814.5	15844.6	15926.7	82	B	418.8	399.8	4.0	0.189					
10000	100	100	2	400	900.3	175.8	17549.4	1832.9	16740.3	17030.7	290	B	441.9	499.9	5.0	0.195					
4410	100	100	2	500	956.8	217.6	20425.3	2303.5		20425.3	20425	C	520.4	599.9	6.0	0.227					
	100	100	2	600																	
10000	150	150	2	200	388.2	3.0	20557.3	5627.8	20562.4	20559.6	-3	A	510.3	350.0	2.3	0.008					
10000	150	150	2	300	581.3	2.7	20628.1	5628.2	20593.4	20605.8	12	A	512.4	449.9	3.0	0.005					
10000	150	150	2	400	784.1	1.3	20791.8	5629.5	20674.4	20707.9	34	A	507.3	549.8	3.7	0.002					
10000	150	150	2	500	883.0	1.5	21399.0	5629.5	21058.7	21166.1	107	B	563.9	650.1	4.3	0.002					
	150	150	2	600																	
Avbrutet pga maskinproblem																					



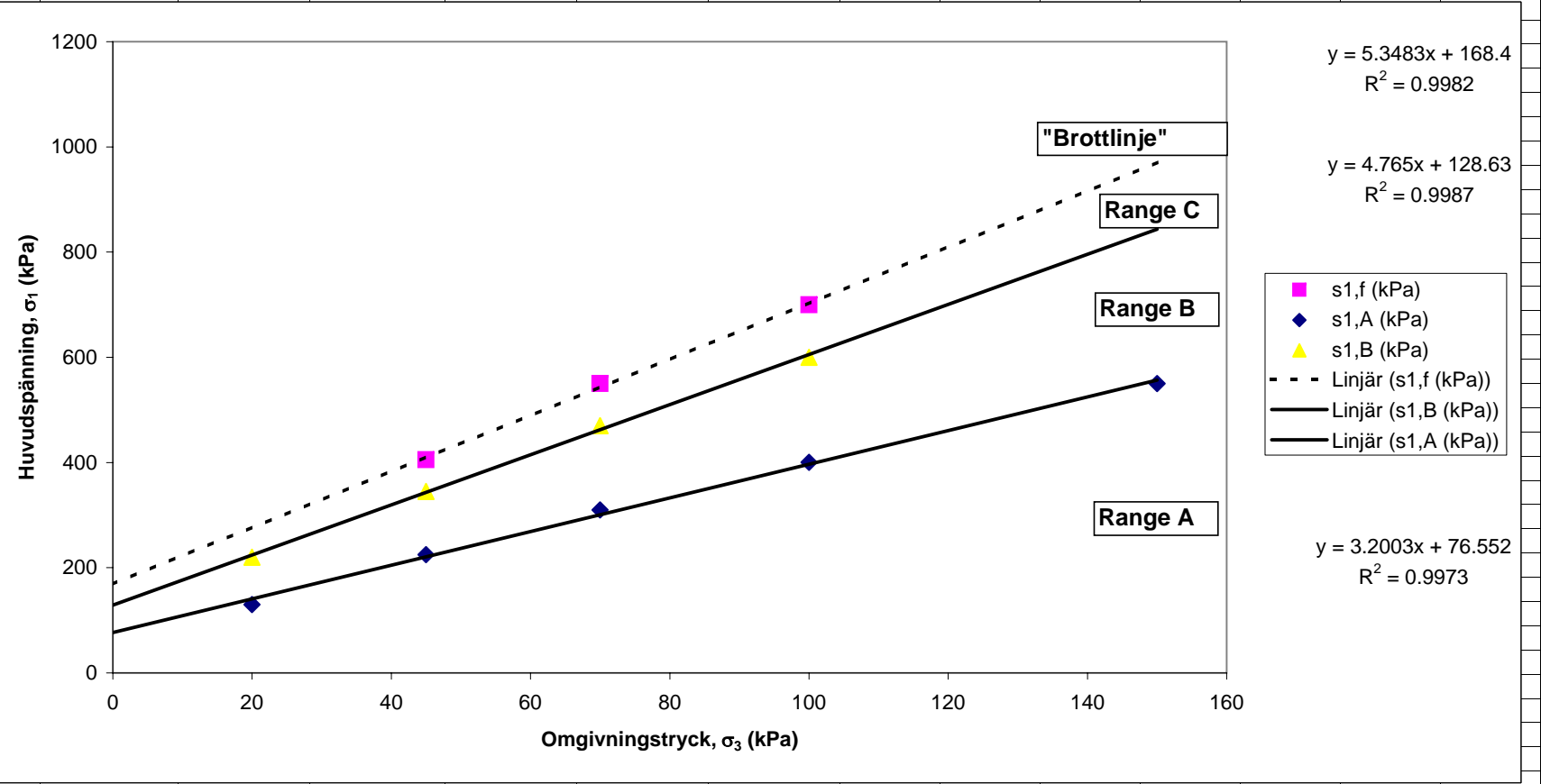
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	100.0	145.0	190.0	299.8	549.8								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	160.0	225.0	309.8	499.9									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	190.0	344.9	469.6	599.9									
constA	3.473184971												
constB	-10.51304273												
ϕ	-0.58583013	34	Friktionsvinkel										
c		-3	Kohesion										



N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	243.6	25.7	106.4	-151.5	77.1	88.5	11	A	196.3	69.9	3.5	0.106					
10000	20	20	2	80	370.4	43.4	354.9	-203.3	293.6	317.5	24	A	210.4	99.9	5.0	0.117					
10000	20	20	2	110	488.2	59.7	674.7	-236.1	585.5	619.1	34	A	220.9	129.9	6.5	0.122					
10000	20	20	2	140	613.5	85.5	1058.5	-247.6	932.3	984.6	52	B	224.8	159.9	8.0	0.139					
10000	20	20	2	170	782.2	119.9	1778.6	-217.6	1501.7	1621.1	119	B	214.7	190.0	9.5	0.153					
10000	20	20	2	200	883.3	189.2	3150.6	-78.7	2584.6	2852.6	268	B	223.9	219.9	11.0	0.214					
10000	45	45	2	100	427.2	50.5	3225.7	-322.6	3223.6	3223.6	0	A	228.8	144.8	3.2	0.118					
10000	45	45	2	180	659.7	101.3	3352.6	-374.6	3299.1	3317.1	18	A	269.7	225.0	5.0	0.154					
10000	45	45	2	240	823.8	138.4	3631.6	-424.5	3491.2	3541.8	51	B	289.3	285.3	6.3	0.168					
10000	45	45	2	300	1028.2	195.3	5788.4	-214.7	4928.8	5306.8	378	B	289.6	344.8	7.7	0.190					
790	45	45	2	360	1336.7	375.7	8213.9	349.0		8213.9	8214	C	267.9	405.1	9.0	0.281					
	45	45	2	420																	
10000	70	70	2	120	437.9	67.8	8363.5	50.1	8355.6	8356.7	1	A	269.4	190.0	2.7	0.155					
10000	70	70	2	240	748.2	141.2	8682.1	-4.5	8574.4	8613.6	39	A	317.9	309.9	4.4	0.189					
10000	70	70	2	320	911.3	180.9	9204.0	-9.9	8959.3	9055.2	96	B	348.6	389.8	5.6	0.199					
10000	70	70	2	400	1076.4	230.4	10886.7	100.2	10086.9	10441.8	355	B	369.4	469.8	6.7	0.214					
900	70	70	2	480	1316.5	376.3	13384.6	798.1		13384.6	13385	C	363.1	550.0	7.9	0.286					
	70	70	2	560																	
10000	100	100	2	200	546.4	111.8	13562.0	1928.8	13543.1	13548.7	6	A	362.7	300.2	3.0	0.205					
10000	100	100	2	300	737.3	161.4	13732.5	1900.7	13660.5	13687.3	27	A	404.3	400.1	4.0	0.219					
10000	100	100	2	400	900.5	199.7	14174.9	1906.7	13973.1	14054.1	81	B	441.8	500.0	5.0	0.222					
10000	100	100	2	500	1084.2	226.4	15440.8	2045.0	14782.4	15035.7	253	B	459.0	599.8	6.0	0.209					
1280	100	100	2	600	1378.1	303.9	18522.7	2750.9		18522.7	18523	C	433.8	699.9	7.0	0.221					
10000	150	150	2	200	439.8	3.0	18697.2	8342.6	18693.3	18694.9	2	A	450.2	350.0	2.3	0.007					
10000	150	150	2	300	627.4	1.9	18768.8	8342.5	18742.0	18751.9	10	A	474.9	449.9	3.0	0.003					
10000	150	150	2	400	767.7	3.0	18926.0	8342.2	18850.5	18877.4	27	A	518.3	550.0	3.7	0.004					
10000	150	150	2	500	904.3	3.0	19241.9	8341.7	19068.5	19127.5	59	B	550.5	649.9	4.3	0.003					
10000	150	150	2	600	1047.8	3	19921.7	8341.7	19535.6	19676.6	141	B	570.4	749.8	5.0	0.003					

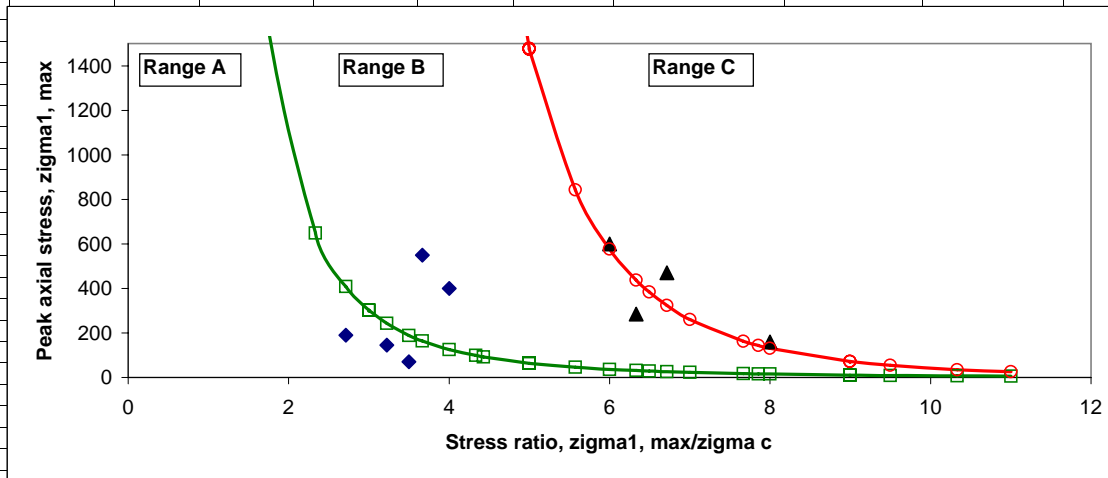


	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	129.9	225.0	309.9	400.1	550.0								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	219.9	344.8	469.8	599.8									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)		405.1	550.0	699.9									
constA	3.200339096												
constB	76.55168959												
ϕ	-0.5513621	32	Friktionsvinkel										
c		21	Kohesion										

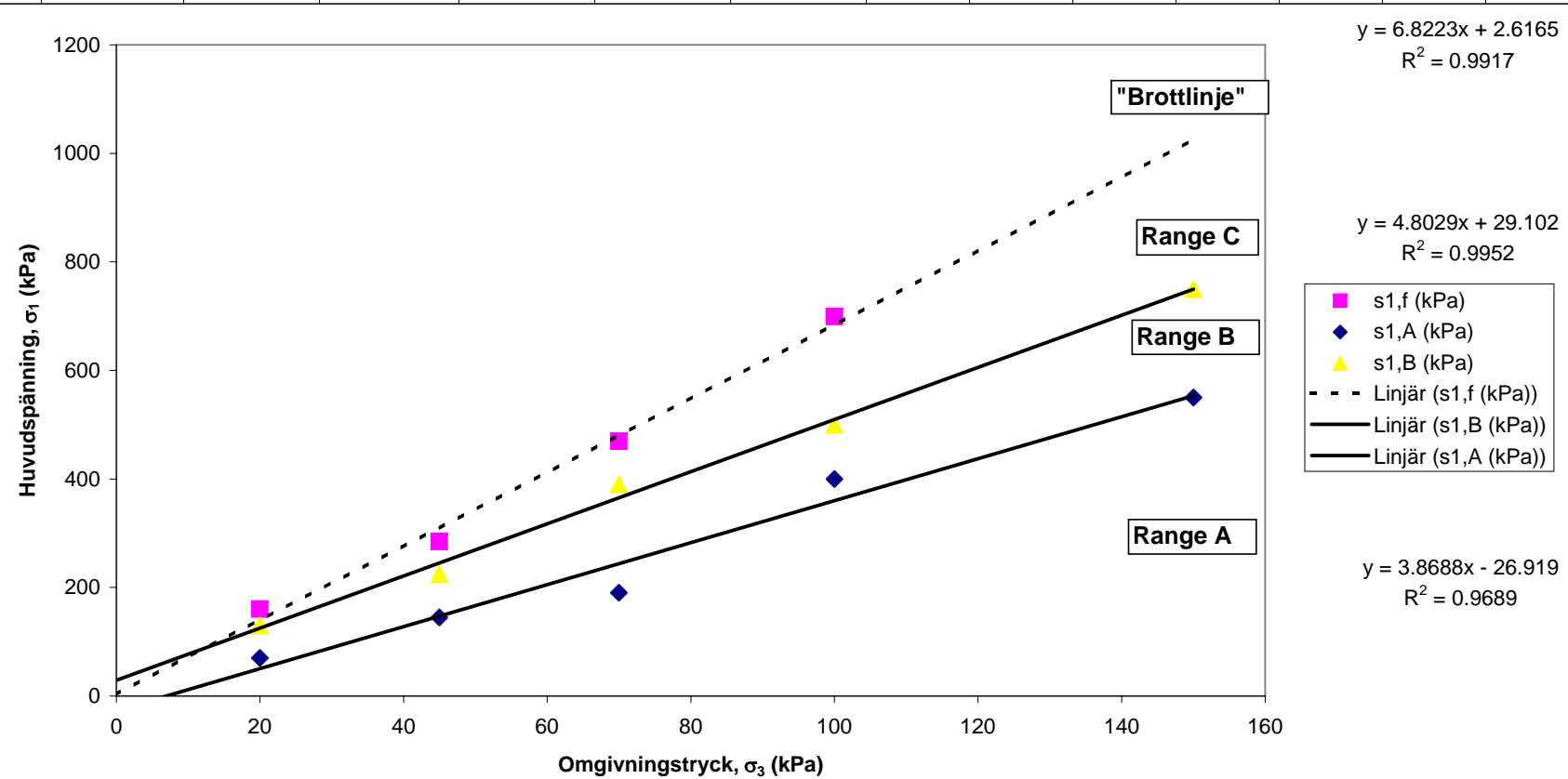


Bilaga 5

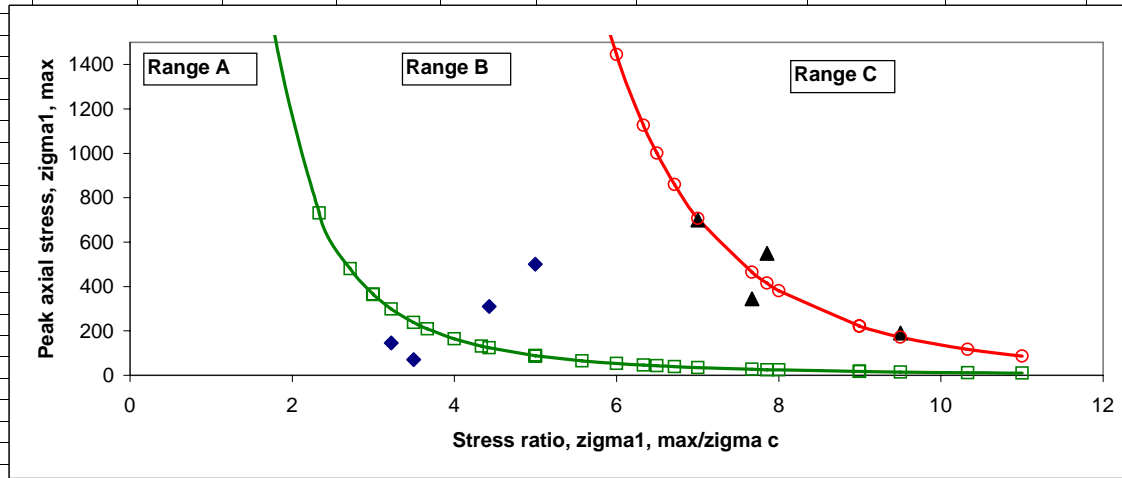
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	222.7	44.3	537.7	214.0	434.4	486.1	52	B	215.3	70.0	3.5	0.199					
10000	20	20	2	80	274.7	108.2	1158.1	764.5	1002.1	1078.8	77	B	283.8	100.0	5.0	0.394					
10000	20	20	2	110	258.2	180.7	2339.5	1733.1	1936.4	2136.3	200	B	418.1	130.0	6.5	0.700					
9520	20	20	2	140	268.7	314.7	5005.1	4129.0	3652.5	4110.1	458	C	513.6	160.1	8.0	1.171					
	20	20	2	170																	
	20	20	2	200																	
10000	45	45	2	100	312.9	150.5	5410.5	3298.1	5344.2	5374.9	31	A	313.1	145.0	3.2	0.481					
10000	45	45	2	180	492.5	270.0	6617.3	3328.1	6003.8	6244.6	241	B	361.4	225.0	5.0	0.548					
6190	45	45	2	240	549.8	355.1	10121.8	4538.0	9083.0	9868.8	786	C	432.4	284.9	6.3	0.646					
	45	45	2	300																	
	45	45	2	360																	
	45	45	0	420																	
10000	70	70	2	120	396.4	103.1	10322.7	4194.0	10293.2	10306.1	13	A	297.7	190.1	2.7	0.260					
10000	70	70	2	240	595.5	215.4	10926.4	4092.5	10657.9	10754.9	97	B	399.6	310.1	4.4	0.362					
10000	70	70	2	320	678.8	286.2	12672.1	4335.6	11840.0	12171.5	331	B	468.5	390.0	5.6	0.422					
3390	70	70	2	400	731.5	421.0	15220.3	5199.4		15220.3	15220	C	543.4	469.6	6.7	0.576					
	70	70	2	480																	
	70	70	2	560																	
10000	100	100	2	200	428.6	134.1	15476.1	4912.8	15428.7	15447.5	19	A	461.4	299.9	3.0	0.313					
10000	100	100	2	300	554.8	209.4	15689.9	4843.7	15584.0	15624.3	40	A	536.9	400.0	4.0	0.377					
10000	100	100	2	400	680.7	259.6	16406.9	4864.5	16010.7	16151.5	141	B	584.5	499.9	5.0	0.381					
10000	100	100	2	500	816.5	322.1	19192.9	5242.9	17919.9	18403.4	483	C	609.8	599.9	6.0	0.394					
10000	100	100	2	599	919.1	421.0	20340.2	5698.1		20000.0	20000	C	649.6	699.2	7.0	0.458					
10000	150	150	2	200	351.7	1.9	20543.0	6659.5	20523.9	20530.6	7	A	562.0	349.7	2.3	0.005					
10000	150	150	2	300	488.0	2.1	20637.8	6659.0	20593.5	20609.7	16	A	610.4	449.9	3.0	0.004					
10000	150	150	2	400	612.6	2.1	20785.6	6658.2	20709.5	20734.5	25	A	649.4	549.9	3.7	0.003					
10000	150	150	2	500	714.4	2.2	21076.0	6657.5	20911.7	20971.7	60	B	696.5	649.8	4.3	0.003					
10000	150	150	2	600	827.3	1.9	21759.6	6664.9	21352.3	21505.0	153	B	722.7	749.8	5.0	0.002					



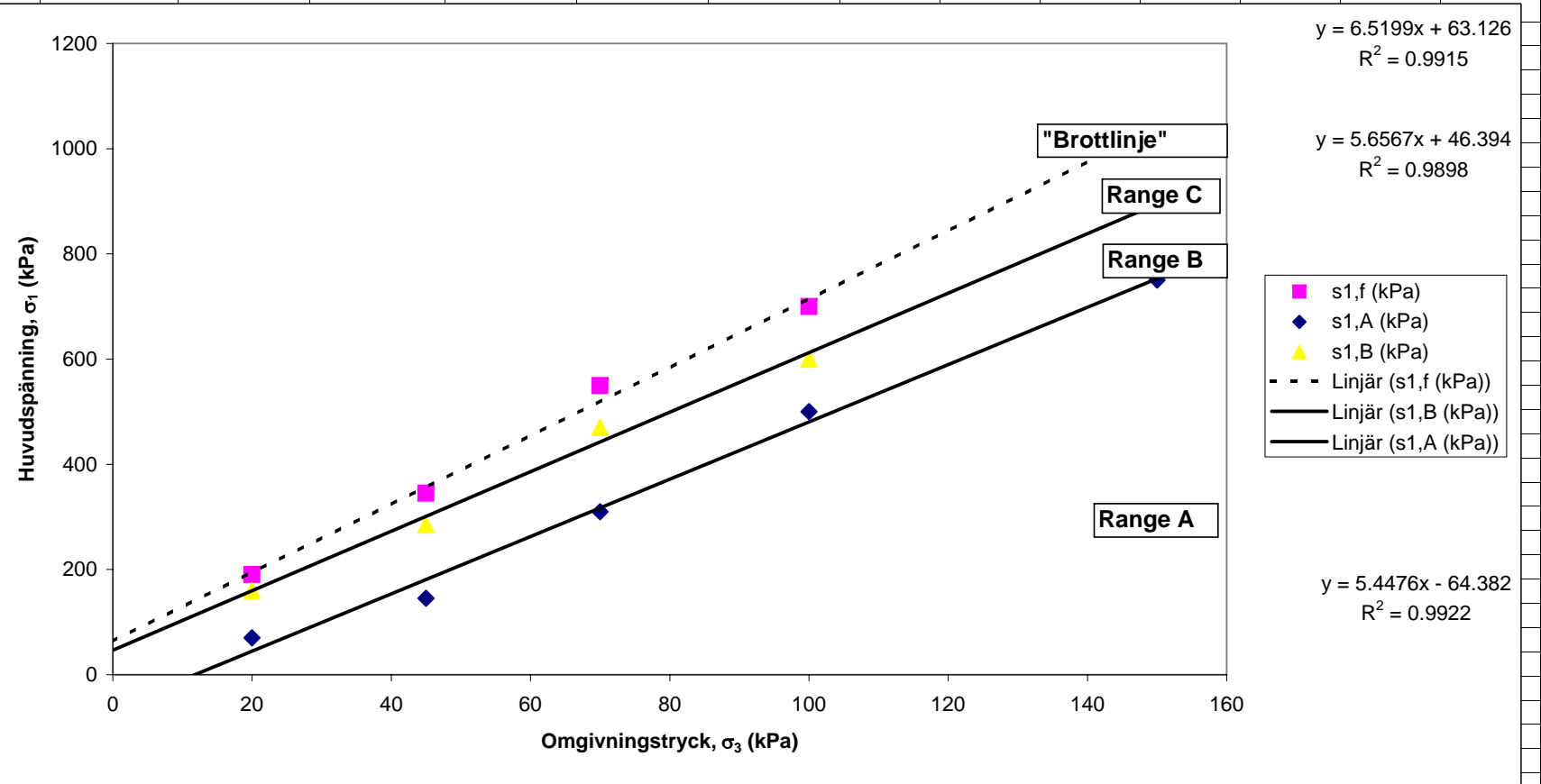
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	70.0	145.0	190.1	400.0	549.9								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	130.0	225.0	390.0	499.9	749.8								
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	160.1	284.9	469.6	699.2									
constA	3.868796169												
constB	-26.91930501												
ϕ	-0.630094161	36	Friktionsvinkel										
c		-7	Kohesion										



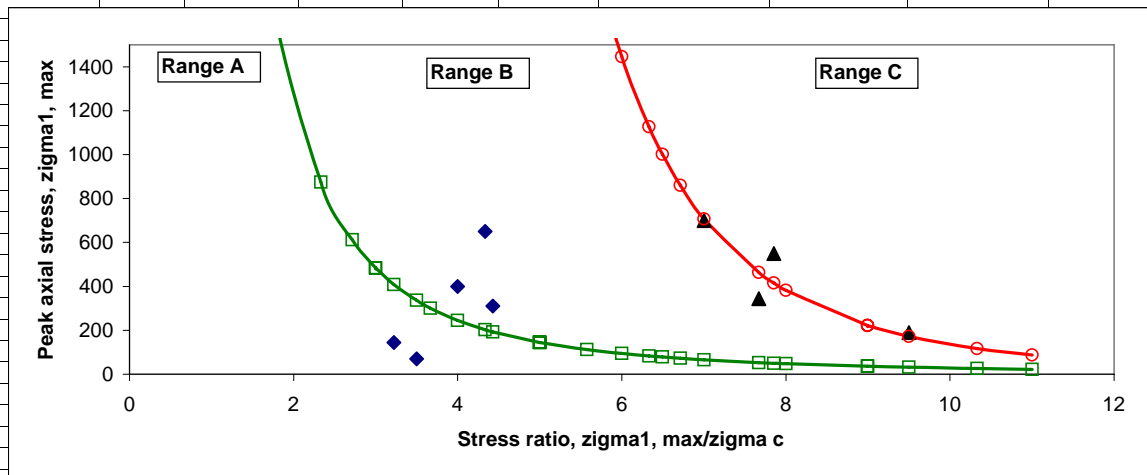
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	245.2	40.3	502.2	-74.1	444.4	466.4	22	A	195.7	70.0	3.5	0.164					
10000	20	20	2	80	421.6	78.0	1251.4	-42.0	1076.9	1150.0	73	B	184.9	100.0	5.0	0.185					
10000	20	20	2	110	614.3	139.8	2568.2	149.9	2183.7	2335.4	152	B	175.7	130.0	6.5	0.228					
10000	20	20	2	140	835.7	222.3	4826.6	706.5	4065.3	4394.4	329	B	165.4	160.2	8.0	0.266					
130	20	20	2	170	995.1	290.7	5010.1	798.7		5000.0	5000	C	168.9	190.1	9.5	0.292					
	20	20	2	200																	
10000	45	45	2	100	480.1	78.9	5121.6	510.7	5105.8	5110.1	4	A	204.5	145.2	3.2	0.164					
10000	45	45	2	180	784.2	144.0	5668.4	466.2	5452.8	5536.9	84	B	226.8	224.9	5.0	0.184					
10000	45	45	2	240	965.7	189.8	7702.7	602.5	6969.0	7275.3	306	B	246.4	284.9	6.3	0.197					
3910	45	45	2	300	1162.5	267.3	10152.3	1073.1		10000.0	10000	C	256.3	345.0	7.7	0.230					
	45	45	2	360																	
	45	45	0	420																	
10000	70	70	2	120	472.4	63.6	10240.0	893.4	10235.1	10234.9	0	A	249.6	189.9	2.7	0.135					
10000	70	70	2	240	803.0	141.0	10451.4	848.3	10361.9	10393.2	31	A	296.5	310.0	4.4	0.176					
10000	70	70	2	320	966.8	180.3	10980.6	837.9	10685.2	10793.2	108	B	328.6	389.8	5.6	0.186					
10000	70	70	2	400	1070.6	218.6	12856.9	969.8	11932.0	12302.9	371	B	371.6	469.9	6.7	0.204					
2960	70	70	2	480	1213.0	301.3	15269.1	1466.1		15000.0	15000	C	393.7	549.6	7.9	0.248					
	70	70	2	560																	
10000	100	100	2	200	556.1	71.8	15380.8	1371.3	15365.8	15368.4	3	A	356.0	300.0	3.0	0.129					
10000	100	100	2	300	742.9	106.8	15479.3	1354.6	15436.4	15450.4	14	A	401.1	399.9	4.0	0.144					
10000	100	100	2	400	916.2	133.7	15671.9	1345.4	15567.6	15602.8	35	A	434.8	500.2	5.0	0.146					
10000	100	100	2	500	1059.0	161.7	16280.4	1395.6	15932.4	16053.0	121	B	470.2	599.9	6.0	0.153					
10000	100	100	2	600	1169.5	198.4	18244.9	1597.0	17264.1	17664.1	400	C	511.1	699.9	7.0	0.170					
10000	150	150	2	200	421.8	2.4	18353.9	4697.9	18351.4	18351.6	0	A	469.0	349.9	2.3	0.006					
10000	150	150	2	300	586.0	2.1	18385.8	4714.7	18375.6	18379.1	3	A	509.1	450.2	3.0	0.004					
10000	150	150	2	400	720.8	2.2	18442.1	4730.8	18418.6	18426.0	7	A	551.5	549.5	3.7	0.003					
10000	150	150	2	500	844.7	2.0	18532.6	4743.2	18484.6	18499.6	15	A	589.3	649.8	4.3	0.002					
10000	150	150	2	600	956.8	2.3	18721.1	4760.2	18608.7	18643.9	35	A	625.0	750.1	5.0	0.002					



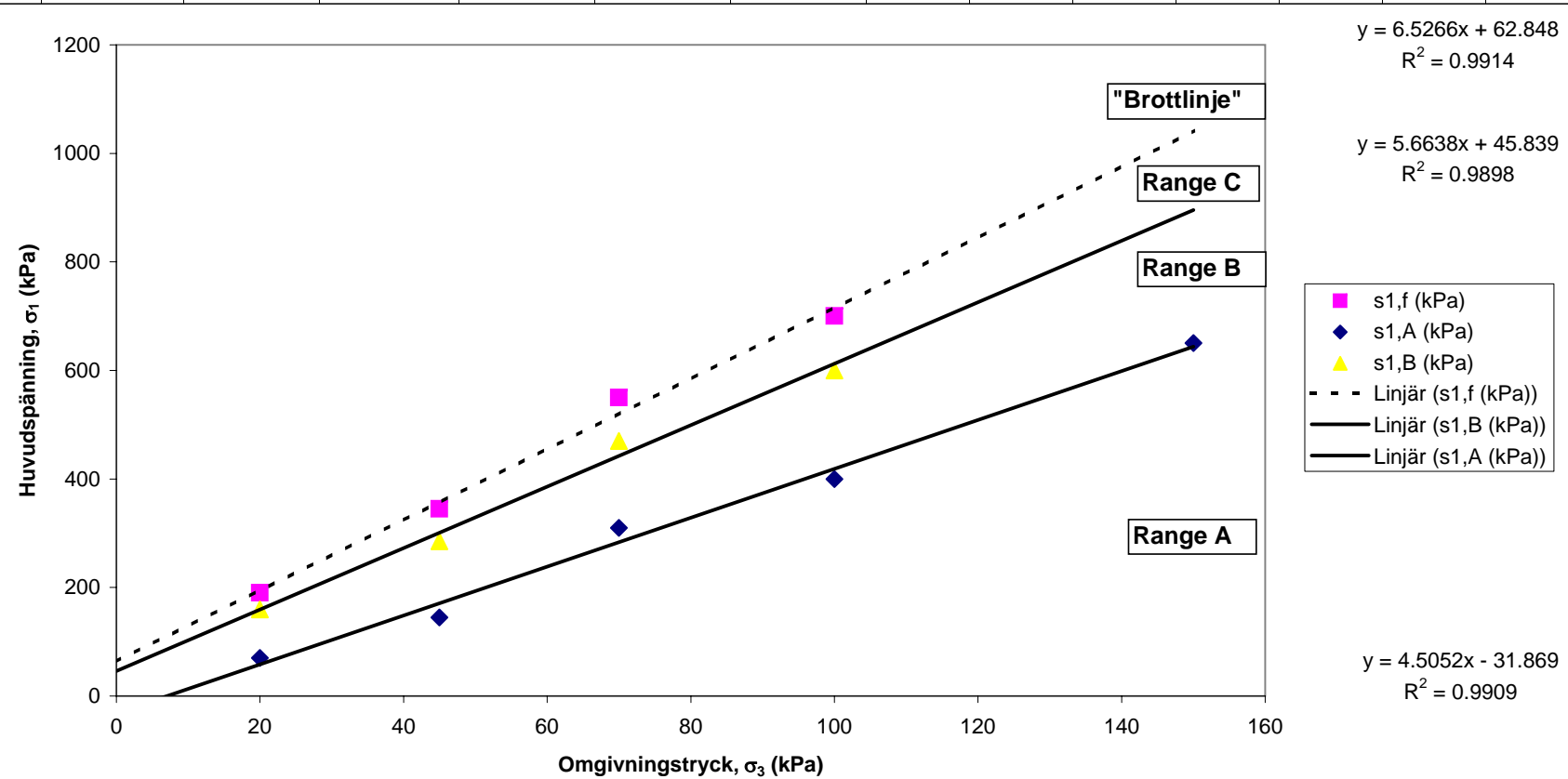
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	70.0	145.2	310.0	500.2	750.1								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	160.2	284.9	469.9	599.9									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	190.1	345.0	549.6	699.9									
constA	5.447578684												
constB	-64.38215864												
ϕ	-0.761221108	44	Friktionsvinkel										
c		-14	Kohesion										



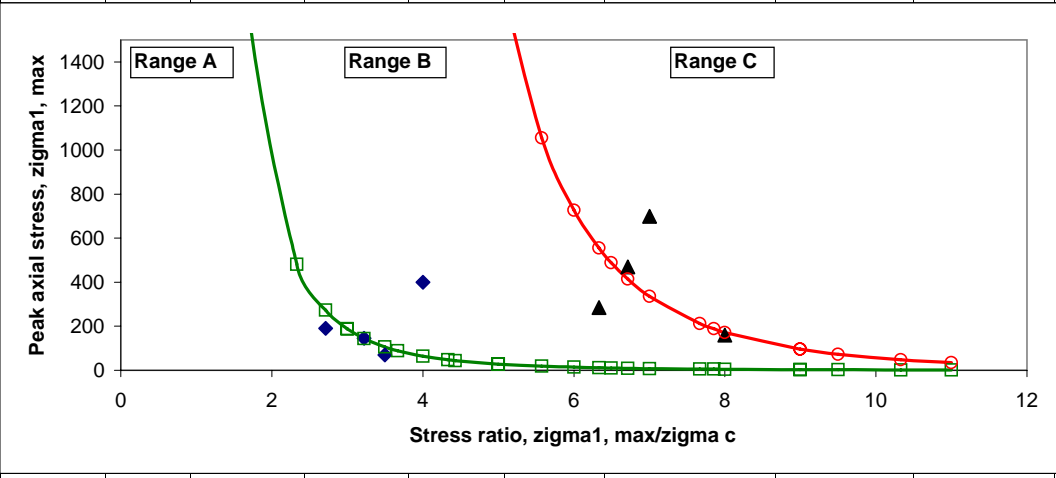
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	281.9	45.1	485.3	-82.9	432.9	452.8	20	A	170.2	70.0	3.5	0.160					
10000	20	20	2	80	437.1	84.1	1175.0	-82.5	1015.2	1085.8	71	B	178.2	99.9	5.0	0.192					
10000	20	20	2	110	614.2	148.1	2497.3	39.2	2094.4	2254.5	160	B	175.6	129.9	6.5	0.241					
10000	20	20	2	140	763.1	216.6	4657.3	365.6	3833.2	4128.2	295	B	180.3	159.6	8.0	0.284					
270	20	20	2	170	939.7	297.3	5014.4	491.8		5000.0	5000	C	178.9	190.2	9.5	0.316					
	20	20	2	200																	
10000	45	45	2	100	428.5	82.5	5225.7	240.5	5205.2	5213.8	9	A	228.6	145.0	3.2	0.193					
10000	45	45	2	180	718.3	146.2	5922.0	207.6	5697.3	5789.1	92	B	247.7	225.0	5.0	0.204					
10000	45	45	2	240	916.5	188.3	7674.1	285.6	7049.9	7313.7	264	B	259.6	285.0	6.3	0.205					
2240	45	45	2	300	1181.9	269.2	10161.2	612.3		10000.0	10000	C	251.9	344.7	7.7	0.228					
	45	45	2	360																	
	45	45	0	420																	
10000	70	70	2	120	449.5	66.1	10257.8	478.3	10258.6	10257.8	-1	A	262.5	190.0	2.7	0.147					
10000	70	70	2	240	795.4	143.4	10439.3	435.8	10362.9	10386.8	24	A	299.1	310.0	4.4	0.180					
10000	70	70	2	320	993.7	190.2	11063.1	424.5	10732.4	10858.9	126	B	319.6	389.8	5.6	0.191					
10000	70	70	2	400	1176.5	232.5	13261.4	576.0	12396.1	12703.7	308	B	338.1	469.9	6.7	0.198					
1320	70	70	2	480	1375.7	320.2	15294.0	938.3		15000.0	15000	C	347.4	549.9	7.9	0.233					
	70	70	2	560																	
10000	100	100	2	200	571.9	38.9	15418.2	960.1	15409.1	15411.5	2	A	346.1	300.0	3.0	0.068					
10000	100	100	2	300	788.4	55.6	15531.6	950.4	15481.9	15497.4	16	A	377.8	399.9	4.0	0.071					
10000	100	100	2	400	951.5	71.3	15819.8	953.1	15675.9	15724.0	48	B	418.9	500.5	5.0	0.075					
10000	100	100	2	500	1091.9	84.7	16766.2	1038.2	16255.8	16440.9	185	B	455.9	599.9	6.0	0.078					
10000	100	100	2	600	1256.0	118.7	19936.1	1339.4	18517.4	19071.5	554	C	476.3	700.3	7.0	0.095					
10000	150	150	2	200	418.7	1.0	20058.2	7859.5	20059.5	20059.0	0	A	472.8	350.1	2.3	0.002					
10000	150	150	2	300	596.6	1.6	20088.9	7859.0	20080.7	20084.0	3	A	498.7	449.7	3.0	0.003					
10000	150	150	2	400	745.4	1.4	20154.9	7865.4	20122.3	20135.5	13	A	533.3	549.6	3.7	0.002					
10000	150	150	2	500	879.1	1.4	20263.2	7879.0	20206.3	20225.5	19	A	566.7	650.3	4.3	0.002					
10000	150	150	2	600	1002.2	1.7	20637.5	7910.4	20363.3	20409.3	46	B	596.1	749.8	5.0	0.002					



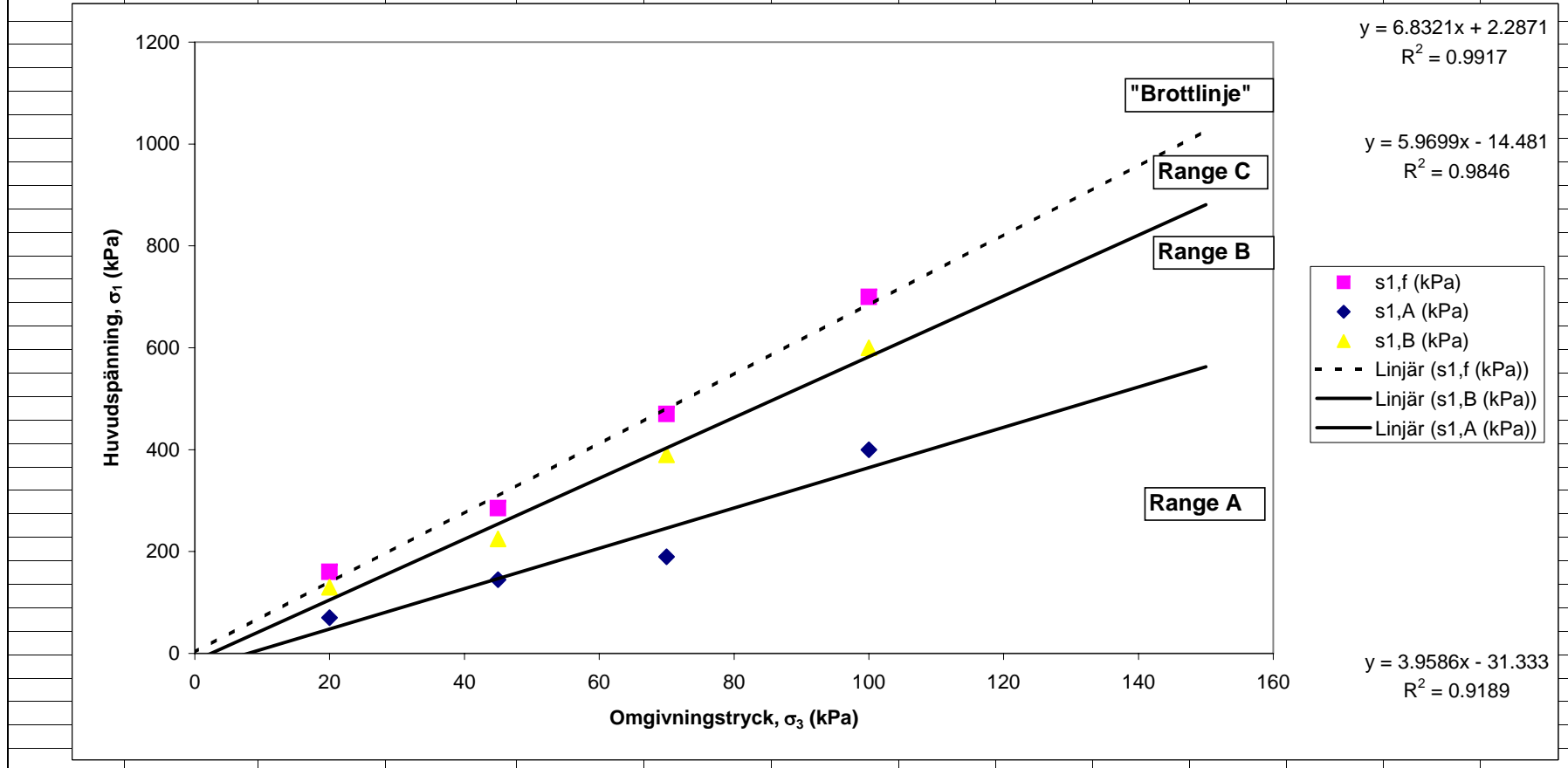
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	70.0	145.0	310.0	399.9	650.3								
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	159.6	285.0	469.9	599.9									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	190.2	344.7	549.9	700.3									
constA	4.505242829												
constB	-31.86889784												
ϕ	-0.690224018	40	Friktionsvinkel										
c		-8	Kohesion										



N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3		σ_d		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$						Diff.	M_r	σ_1	σ_1/σ_3	$[-]$
10000	20	20	2	50	310.8	61.5	401.8	-160.6	327.4	354.0	27	A	154.4	70.0	3.5	0.198					
10000	20	20	2	80	473.7	111.1	1366.3	-86.3	1135.3	1235.4	100	B	164.5	100.0	5.0	0.235					
10000	20	20	2	110	489.5	202.0	3086.0	362.2	2591.0	2808.4	217	B	220.5	130.0	6.5	0.413					
1810	20	20	2	140	578.5	292.8	5006.8	1225.1		5000.0	5000	C	238.2	159.9	8.0	0.506					
	20	20	2	170																	
	20	20	2	200																	
10000	45	45	2	100	350.7	109.7	5298.0	730.7	5210.0	5251.5	42	A	279.3	145.0	3.2	0.313					
10000	45	45	2	180	621.8	187.9	6377.8	777.6	5960.0	6135.2	175	B	286.1	225.0	5.0	0.302					
9010	45	45	2	240	729.3	300.4	10093.5	1564.0	8739.7	9325.8	586	C	326.2	285.0	6.3	0.412					
	45	45	2	300																	
	45	45	2	360																	
	45	45	0	420																	
10000	70	70	2	120	331.6	99.2	10262.4	1348.7	10235.7	10245.7	10	A	355.6	190.0	2.7	0.299					
10000	70	70	2	240	624.2	188.6	10564.2	1305.1	10410.1	10462.1	52	B	381.6	310.2	4.4	0.302					
10000	70	70	2	320	824.4	255.1	12156.1	1383.4	11360.2	11686.6	326	B	385.9	390.2	5.6	0.309					
4560	70	70	2	400	986.8	349.4	15215.5	1985.4	14621.9	15215.6	594	C	403.3	470.0	6.7	0.354					
	70	70	2	480																	
	70	70	2	560																	
10000	100	100	2	200	491.1	120.7	15399.0	1721.5	15362.3	15375.2	13	A	403.0	299.9	3.0	0.246					
10000	100	100	2	300	651.2	171.8	15539.1	1681.2	15468.9	15493.8	25	A	457.5	400.0	4.0	0.264					
10000	100	100	2	400	804.7	214.8	15860.0	1659.2	15678.7	15741.4	63	B	494.5	499.9	5.0	0.267					
10000	100	100	2	500	904.8	258.3	17074.5	1730.3	16420.5	16684.9	264	B	550.3	599.9	6.0	0.285					
10000	100	100	2	600	985.0	354.0	19656.2	2068.8	18598.7	19080.6	482	C	606.9	699.8	7.0	0.359					
10000	150	150	2	200	344.7	1.5	19781.2	3270.1	19772.6	19772.6	5	A	574.2	349.9	2.3	0.004					
10000	150	150	2	300	469.3	1.2	19821.8	3269.7	19805.0	19810.6	6	A	635.0	450.0	3.0	0.003					
10000	150	150	2	400	576.3	1.5	19874.5	3269.8	19848.2	19857.8	10	A	690.5	550.0	3.7	0.003					
10000	150	150	2	500	669.5	1.4	19950.2	3269.5	19906.8	19921.0	14	A	743.9	650.1	4.3	0.002					
10000	150	150	2	600	762.1	1.6	20073.9	3269.2	20000.3	20022.7	22	A	784.6	750.0	5.0	0.002					

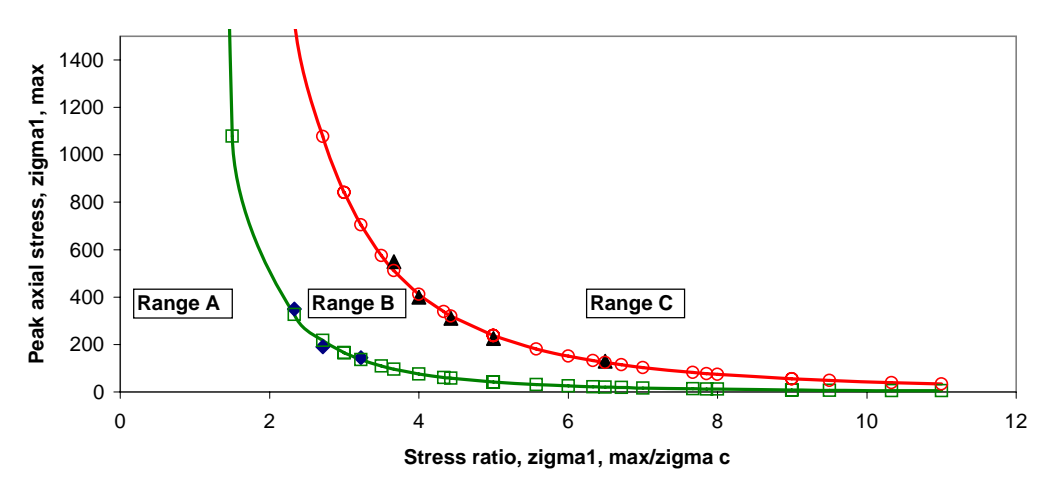


	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5								
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150								
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	70.0	145.0	190.0	400.0									
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	130.0	225.0	390.2	599.9									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	159.9	285.0	470.0	699.8									
constA	3.958573002												
constB	-31.33341385												
ϕ	-0.63933031	37	Friktionsvinkel										
c		-8	Kohesion										

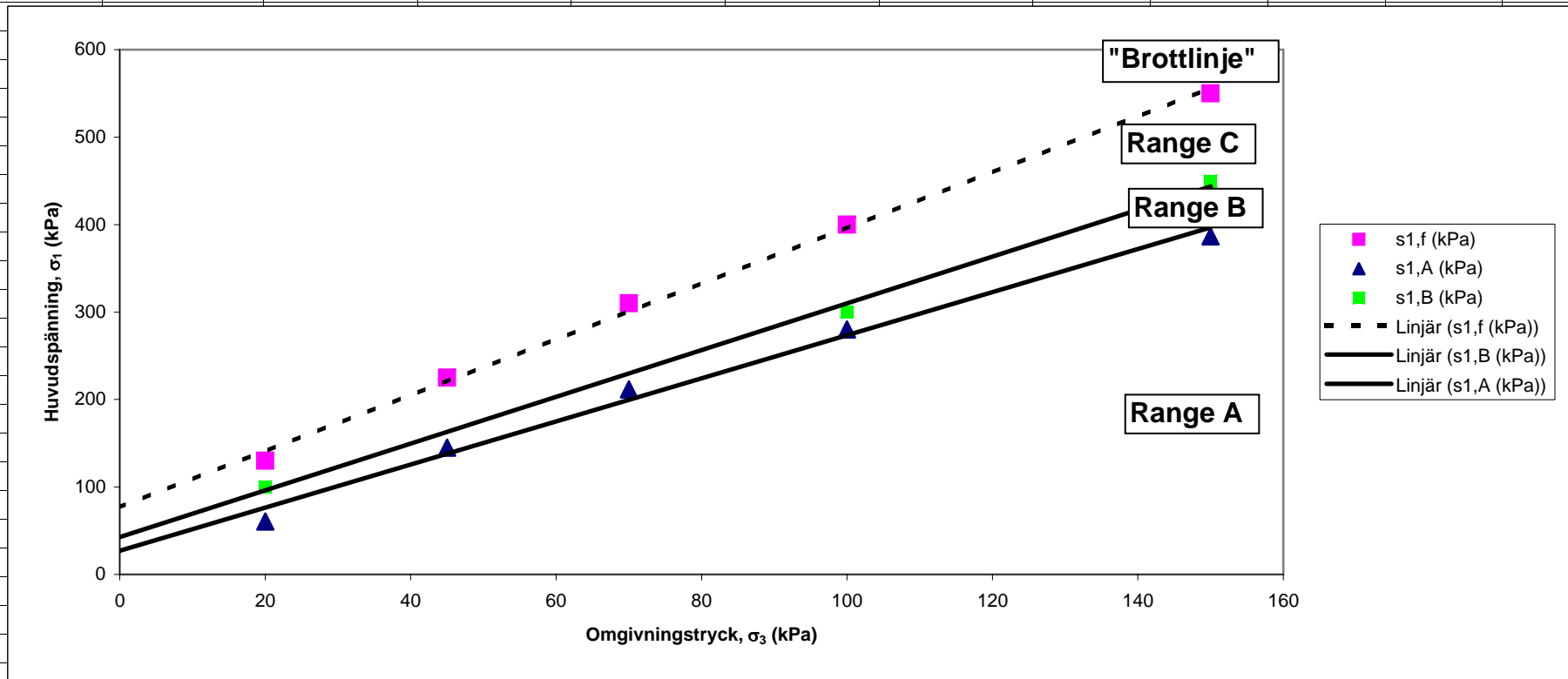


Bilaga 6

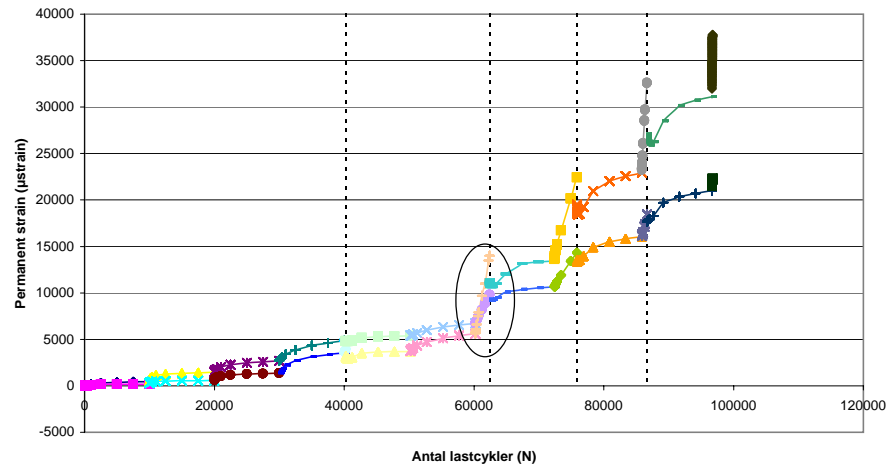
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal	
	Antal cykler	σ_3 kPa		σ_d kPa		μ strain		μ strain		μ strain							
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$						Diff.
													MPa	kPa	-	Measured	
													M_r	σ_1	σ_1/σ_3		
10000	20	20	2	50	314.5	123.4	758.8	180.2	494.8	595.2	100	B	152.7	70.0	3.5	0.392	
10000	20	20	2	80	427.0	254.1	2704.6	1224.9	2029.9	2299.5	270	B	182.5	100.0	5.0	0.595	
3860	20	20	2	110	519.2	407.5	5003.7	3227.3	4737.7	6000.0	1262	C	207.7	129.9	6.5	0.785	
	20	20	2	140							0	A		160.0	8.0		
	20	20	2	170							0	A		190.0	9.5		
	20	20	2	200							0	A		220.0	11.0		
10000	45	45	2	100	447.7	233.6	5314.8	2265.6	5188.0	5228.2	40	A	218.7	145.0	3.2	0.522	
6650	45	45	2	180	736.0	561.3	10016.1	4512.3	8292.7	9275.2	983	C	241.7	225.0	5.0	0.763	
	45	45	2	240							0	A		285.0	6.3		
	45	45	2	300							0	A		345.0	7.7		
	45	45	2	360							0	A		405.0	9.0		
	45	45	2	420							0	A		465.0	10.3		
10000	70	70	2	120	475.9	288.1	10168.3	3805.0	10096.0	10113.4	17	A	247.9	190.0	2.7	0.605	
4380	70	70	2	240	931.0	734.1	15017.2	6667.0	13878.1	15179.2	1301	C	255.6	310.0	4.4	0.789	
	70	70	2	320							0	A		390.0	5.6		
	70	70	2	400							0	A		470.0	6.7		
	70	70	2	480							0	A		550.0	7.9		
	70	70	2	560							0	A		630.0	9.0		
10000	100	100	2	200	660.1	402.7	15595.9	5869.6	15297.8	15382.7	85	B	300.0	300.1	3.0	0.610	
3910	100	100	2	300	1077.3	771.2	19994.0	7940.5	19179.5	20410.0	1230	C	276.6	399.9	4.0	0.716	
	100	100	2	400							0	A		499.8	5.0		
	100	100	2	500							0	A		600.0	6.0		
	100	100	2	600							0	A		700.0	7.0		
10000	150	150	2	200	537.1	3.1	20229.7	8797.8	20171.1	20189.8	19	A	368.5	350.0	2.3	0.006	
10000	150	150	2	300	773.1	2.4	21289.5	8817.1	20754.1	20926.1	172	B	385.1	449.7	3.0	0.003	
2610	150	150	2	400	1052.0	101.6	25051.3	9511.4	25464.7	25625.3	161	B	378.3	550.0	3.7	0.097	
	150	150	2	500							0	A		650.0	4.3		
	150	150	2	600							0	A		750.0	5.0		



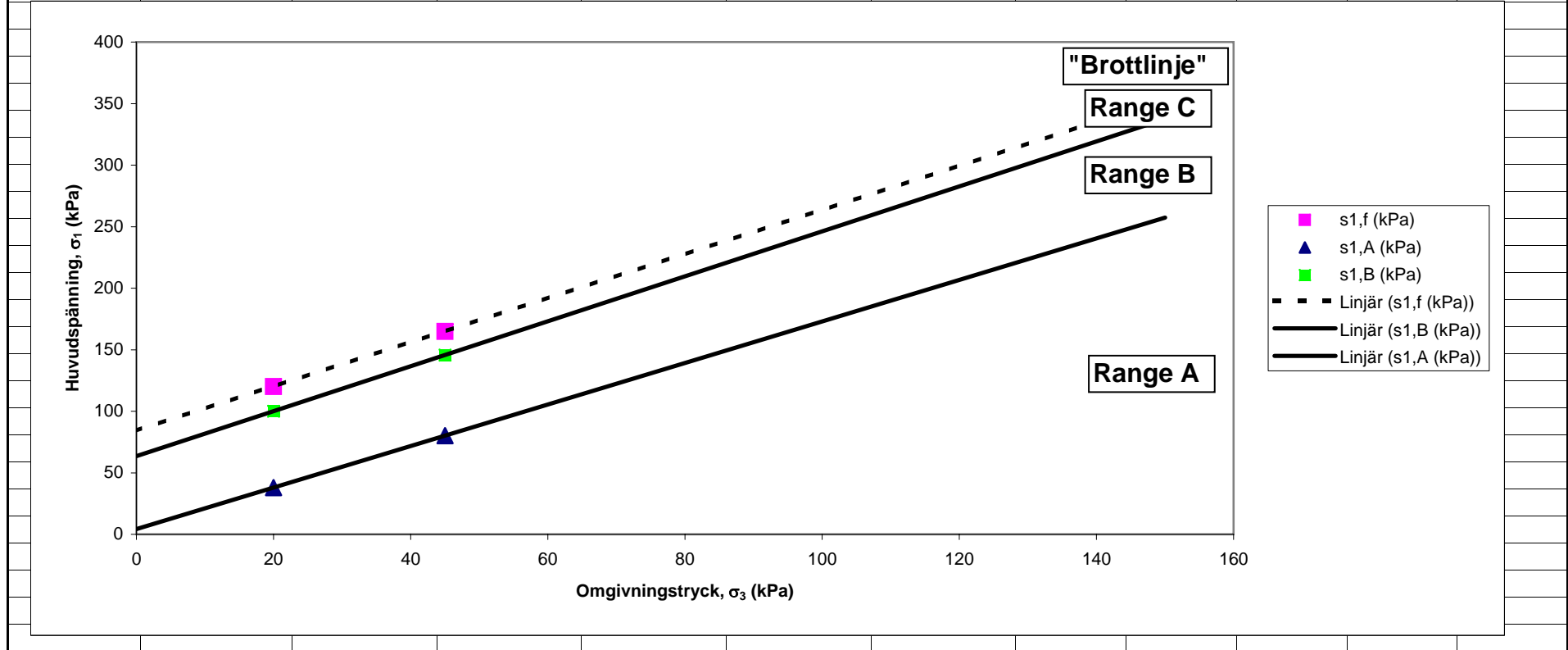
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5						
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150						
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	60.598	145.003	211.589	280.244	386.48	Uppskattade värden					
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	100.011			300.053	449.719						
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	129.877	224.99	309.976	399.94	549.992						
constA	2.463983006										
constB	27.05610855										
ϕ	-0.436345223	25									
c		9									



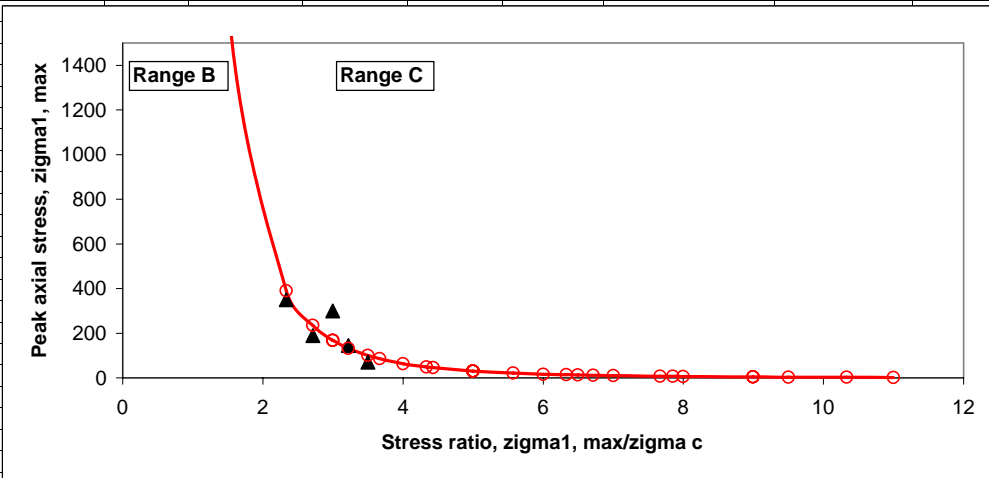
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3 kPa		σ_d kPa		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	20	87.1	47.4	456.8	182.6	330.3	389.5	59	B	205.4	39.9	2.0	0.544					
10000	20	20	2	40	196.9	126.0	1452.1	565.0	1270.9	1347.1	76	B	192.6	60.0	3.0	0.640					
10000	20	20	2	60	262.4	234.8	2699.0	1359.1	2301.6	2463.3	162	B	221.0	80.0	4.0	0.895					
10000	20	20	2	80	388.2	367.4	4852.2	3556.6	3961.3	4333.5	372	B	201.1	100.0	5.0	0.946					
230	20	20	2	100	467.2	516.9	5005.5	3985.4		5000.0	5000	C	209.6	119.9	6.0	1.106					
	20	20	2	120							0	A		140.0	7.0						
10000	45	45	2	60	314.8	300.5	5385.8	3693.4	5192.3	5295.3	103	B	183.8	105.0	2.3	0.955					
10000	45	45	2	90	379.8	461.0	6710.5	5607.5	6054.9	6334.8	280	B	231.3	135.0	3.0	1.214					
2190	45	45	2	120	564.9	5.7	9811.4	14001.3		10000.0	10000	C	208.7	164.9	3.7	0.010					
	45	45	2	150							0	A		195.1	4.3						
	45	45	2	180							0	A		225.0	5.0						
	45	45	2	210							0	A		255.0	5.7						
10000	70	70	2	80	302.5	5.1	10655.5	13425.8	10148.6	10383.6	235	B	257.9	150.0	2.1	0.017					
3460	70	70	2	120	348.3	8.7	14315.0	22440.3		15000.0	15000	C	338.6	190.0	2.7	0.025					
	70	70	2	160							0	A		230.0	3.3						
	70	70	2	200							0	A		270.0	3.9						
	70	70	2	240							0	A		310.0	4.4						
	70	70	2	280							0	A		350.0	5.0						
10000	100	100	2	100	181.0	7.5	16076.8	22931.4	15033.1	15498.4	465	C	540.9	200.0	2.0	0.041					
780	100	100	2	150	620.2	6.1	18457.2	32598.1		20000.0	20000	C	238.5	250.0	2.5	0.010					
	100	100	2	200							0	A		300.0	3.0						
	100	100	2	250							0	A		350.0	3.5						
	100	100	2	300							0	A		400.0	4.0						
	100	100	2	350							0	A		450.0	4.5						
10000	150	150	2	100	216.2	6.2	21003.5	31121.9	19828.8	20367.7	539	C	453.0	250.0	1.7	0.029					
90	150	150	2	200	829.7	15.7	22635.9	37600.2		25000.0	25000	C	238.6	350.0	2.3	0.019					
	150	150	2	300							0	A		450.0	3.0						
	150	150	2	400							0	A		550.0	3.7						
	150	150	2	500							0	A		650.0	4.3						
	150	150	2	600							0	A		750.0	5.0						
Misslyckat pga. att kompressorn stängdes av oväntat																					



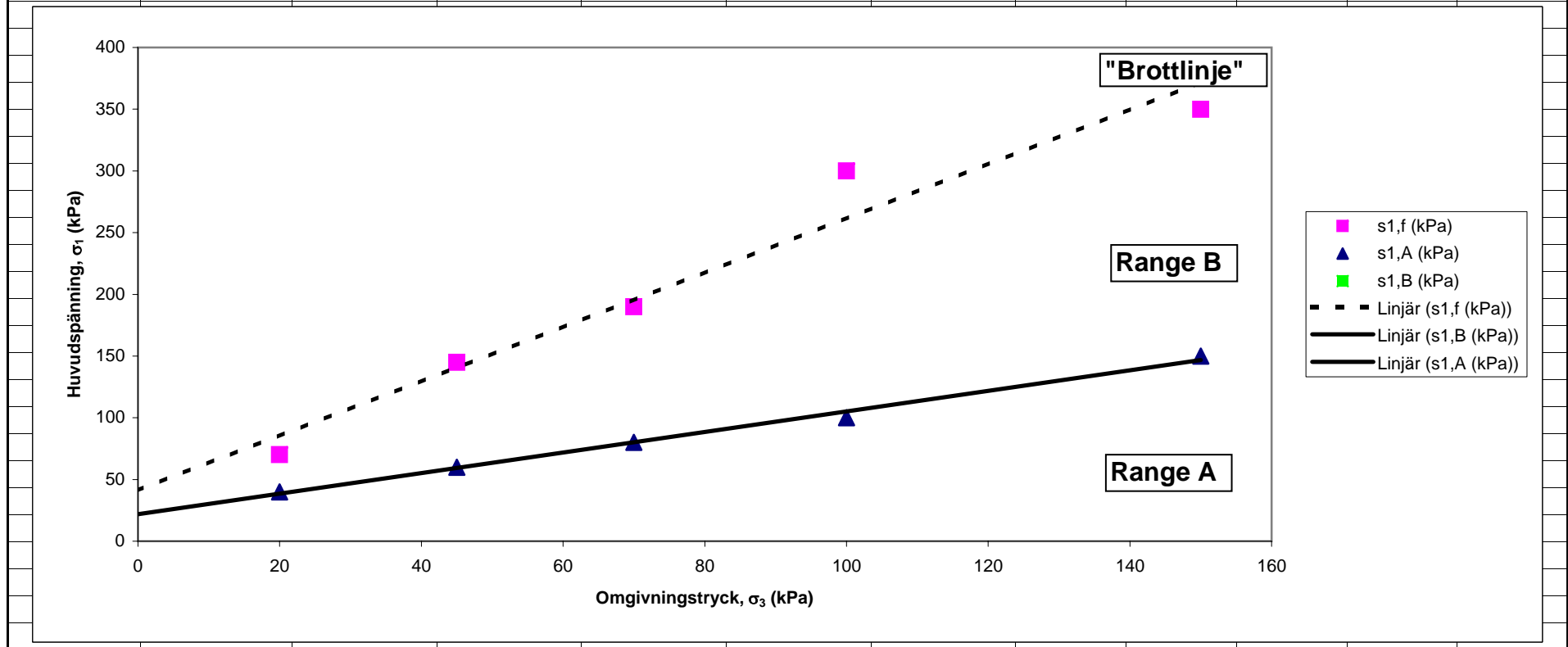
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5						
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150						
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	37.99	80.1645				Uppskattat					
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	100.007	145.667									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	119.938	164.91									
constA	1.68698										
constB	4.2504										
ϕ	-0.258540605	15									
c		2									



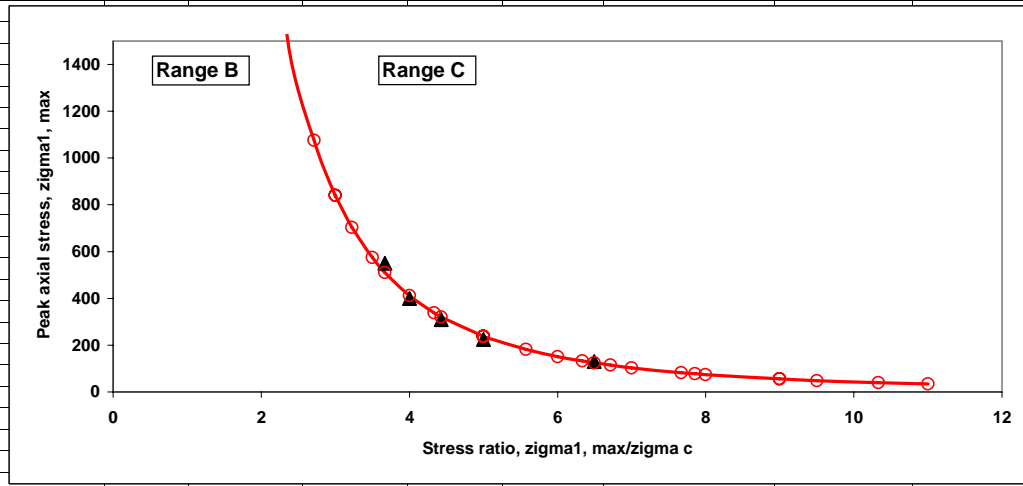
N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal					
	Antal cykler	σ_3 kPa		σ_d kPa		μ strain		μ strain		μ strain							MPa	kPa	-	Measured	
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$										Diff.
10000	20	20	2	50	497.1	183.9	3482.0	1147.7	2302.8	2830.3	528	C		70.1	3.5	0.370					
370	20	20	2	80	758.7	380.1	5020.5	2478.7		5000.0	5000	C		99.9	5.0	0.501					
	20	20	2	110							0	A		130.0	6.5						
	20	20	2	140							0	A		160.0	8.0						
	20	20	2	170							0	A		190.0	9.5						
	20	20	2	200							0	A		220.0	11.0						
8060	45	45	2	100	747.9	465.4	10038.4	4112.7	7258.9	8247.4	989	C		144.9	3.2	0.622					
	45	45	2	180							0	A		224.9	5.0						
	45	45	2	240							0	A		285.0	6.3						
	45	45	2	300							0	A		345.0	7.7						
	45	45	2	360							0	A		405.0	9.0						
	45	45	2	420							0	A		465.0	10.3						
9940	70	70	2	120	730.9	749.7	15052.6	7789.0	11448.4	12188.4	740	C		189.9	2.7	1.026					
	70	70	2	240							0	A		309.6	4.4						
	70	70	2	320							0	A		390.0	5.6						
	70	70	2	400							0	A		470.0	6.7						
	70	70	2	480							0	A		550.0	7.9						
	70	70	2	560							0	A		630.0	9.0						
1800	100	100	2	200	957.8	664.5	20095.7	8208.0		20000.0	20000	C		300.0	3.0	0.694					
	100	100	2	300							0	A		400.1	4.0						
	100	100	2	400							0	A		499.8	5.0						
	100	100	2	500							0	A		600.0	6.0						
	100	100	2	600							0	A		700.0	7.0						
7600	150	150	2	200	943.6	171.9	25149.6	13152.5	21826.7	22599.2	773	C		349.8	2.3	0.182					
	150	150	2	300							0	A		450.0	3.0						
	150	150	2	400							0	A		549.9	3.7						
	150	150	2	500							0	A		650.0	4.3						
	150	150	2	600							0	A		750.0	5.0						



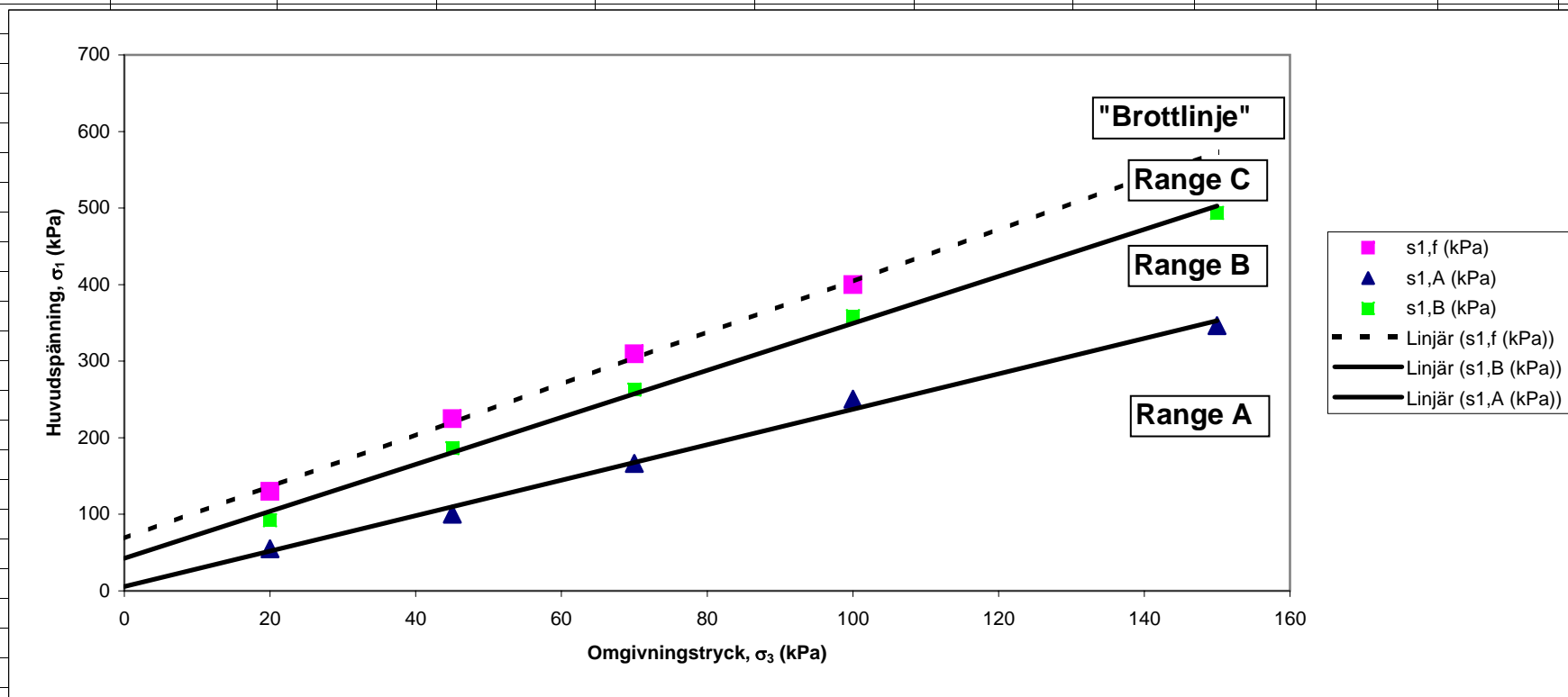
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5						
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150						
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	40	60	80	100	150	Uppskattade värden					
$\sigma_{1,B}$ (kPa)											
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	70.068	144.884	189.893	300.036	349.824						
constA	0.833988212										
constB	21.78290766										
ϕ	0.090643624	5									
c		12									



N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal	
	Antal cykler	σ_3 kPa		σ_d kPa		μ strain		μ strain		μ strain							
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$						Diff.
												[-]	MPa	kPa	-	Measured	
													M_r	σ_1	σ_1/σ_3	[-]	
10000	20	20	2	50	188.1	68.6	1593.8	-104.5	1121.0	1315.8	195	B	254.9	70.0	3.5	0.365	
10000	20	20	2	80	298.3	139.0	3782.1	200.0	2976.1	3296.3	320	B	261.2	99.9	5.0	0.466	
1250	20	20	2	110	437.8	233.1	5001.4	618.3	6801.3	8745.7	1944	C	246.8	130.0	6.5	0.532	
	20	20	2	140							0	A		160.0	8.0		
	20	20	2	170							0	A		190.0	9.5		
	20	20	2	200							0	A		220.0	11.0		
10000	45	45	2	100	304.0	94.2	5965.1	1.0	5495.7	5661.1	165	B	321.8	144.9	3.2	0.310	
3000	45	45	2	180	541.1	212.4	10007.6	618.7	10007.6	10782.4	775	C	328.5	224.9	5.0	0.393	
	45	45	2	240							0	A		285.0	6.3		
	45	45	2	300							0	A		345.0	7.7		
	45	45	2	360							0	A		405.0	9.0		
	45	45	2	420							0	A		465.0	10.3		
10000	70	70	2	120	301.6	87.3	10469.8	135.1	10230.8	10315.2	84	B	390.7	189.8	2.7	0.289	
5180	70	70	2	240	514.6	210.2	15039.1	713.6	14108.7	14979.0	870	C	461.6	309.6	4.4	0.408	
	70	70	2	320							0	A		390.0	5.6		
	70	70	2	400							0	A		470.0	6.7		
	70	70	2	480							0	A		550.0	7.9		
	70	70	2	560							0	A		630.0	9.0		
10000	100	100	2	200	376.6	41.2	15752.1	692.1	15356.5	15490.6	134	B	525.2	299.8	3.0	0.109	
10000	100	100	2	300	561.8	72.6	19931.6	1420.6	18066.6	18842.6	776	C	530.5	400.1	4.0	0.129	
30	100	100	2	400	717.7	113.9	20056.1	1465.1		20000.0	20000	C	554.2	499.8	5.0	0.159	
	100	100	2	500							0	A		600.0	6.0		
	100	100	2	600							0	A		700.0	7.0		
10000	150	150	2	200	328.1	2.9	20410.4	9512.6	20266.6	20313.3	47	B	603.1	349.9	2.3	0.009	
10000	150	150	2	300	463.6	5.3	21652.1	9594.1	21033.9	21271.1	237	B	642.7	450.0	3.0	0.011	
6870	150	150	2	400	613.2	2.6	25097.5	10197.0	23816.8	24572.9	756	C	648.6	549.9	3.7	0.004	
	150	150	2	500							0	A		650.0	4.3		
	150	150	2	600							0	A		750.0	5.0		

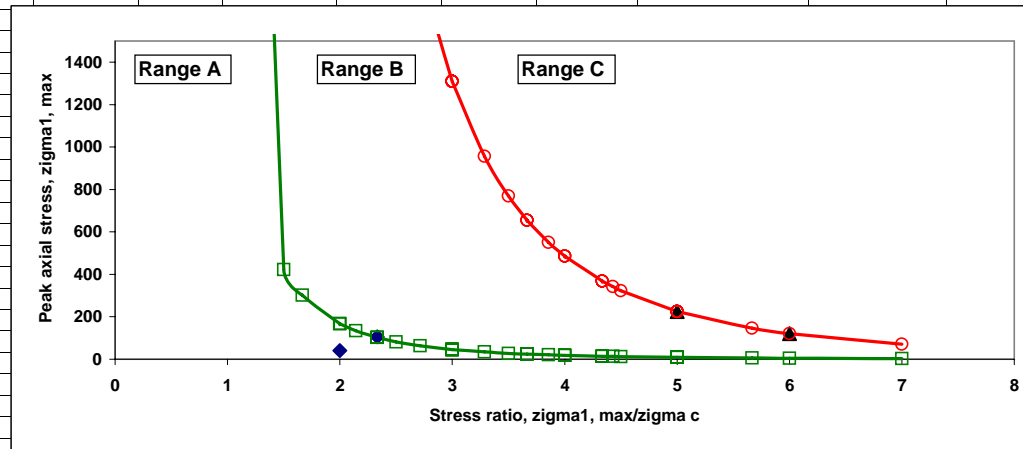


	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5						
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150						
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	54.9761	100.098	166.385	250.50987	346.574	Uppskattade värden					
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	92.107	186.2872	262.9647	358.691	493.536						
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	130.019	224.85	309.566	400.071							
constA	2.314357594										
constB	5.503059239										
ϕ	-0.4077718	23									
c		2									

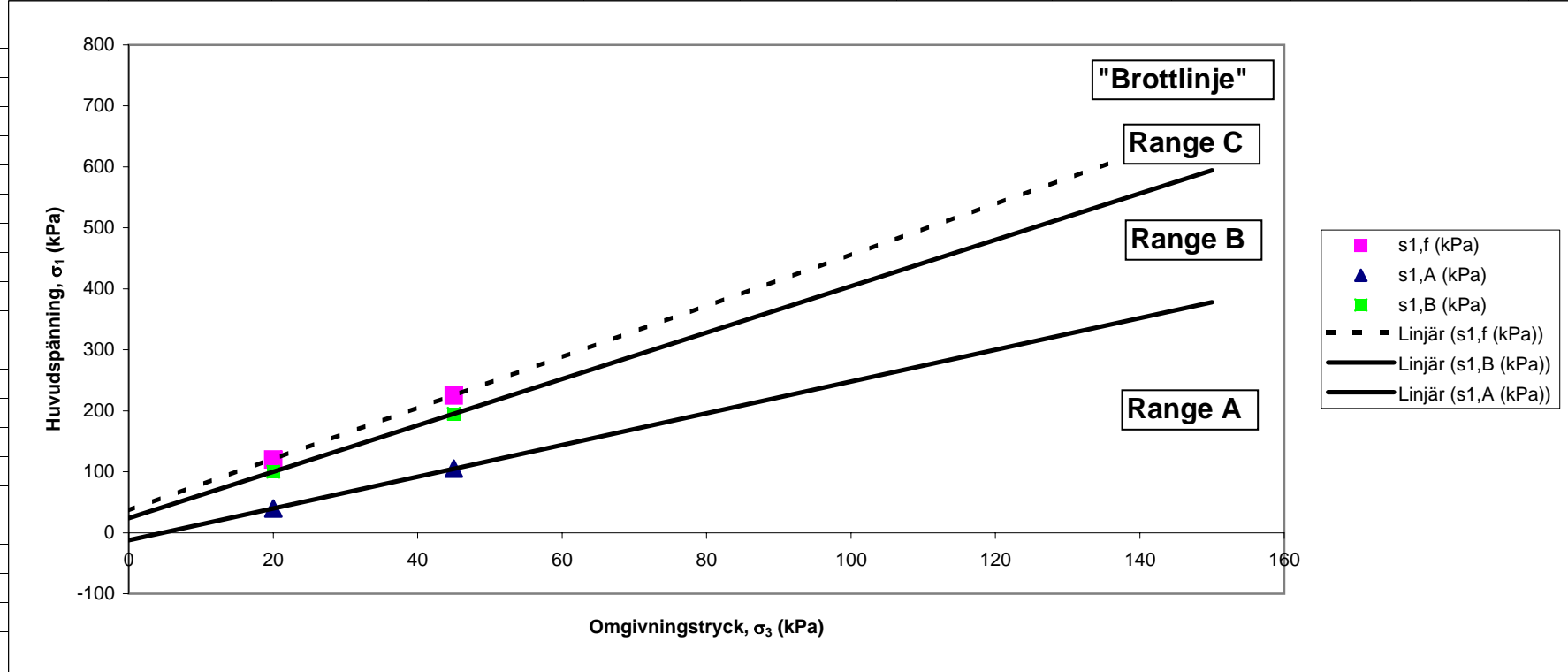


N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal	
	Antal cykler	σ_3 kPa		σ_d kPa		μ strain		μ strain		μ strain							
		min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$						Diff.
												[-]	MPa	kPa	-	Measured	
													M_r	σ_1	σ_1/σ_3	[-]	
10000	20	20	2	20	87.1	29.0	413.5	-147.8	305.2	351.8	47	B	205.6	39.9	2.0	0.333	
10000	20	20	2	40	187.0	78.4	1234.0	-152.1	961.4	1067.5	106	B	203.0	60.0	3.0	0.419	
10000	20	20	2	60	276.6	140.5	2375.0	-17.9	1950.9	2107.2	156	B	209.4	80.0	4.0	0.508	
10000	20	20	2	80	405.6	187.9	4081.7	286.9	3377.2	3657.2	280	B	192.2	100.0	5.0	0.463	
2150	20	20	2	100	485.7	266.5	5002.9	655.0		5000.0	5000	C	201.5	119.9	6.0	0.549	
	20	20	2	120							0	A		140.0	7.0		
10000	45	45	2	60	235.7	79.5	5309.5	65.1	5233.3	5264.7	31	A	245.9	105.0	2.3	0.337	
10000	45	45	2	90	322.5	113.8	5706.5	-46.5	5523.0	5595.3	72	B	272.7	135.0	3.0	0.353	
10000	45	45	2	120	408.9	152.4	6616.9	-70.4	6204.0	6371.1	167	B	288.4	164.9	3.7	0.373	
7561	45	45	2	150	458.3	886.9	10154.8	3786.6	7425.7	7743.8	318	B	322.8	195.1	4.3	1.935	
	45	45	2	180						10000.0	10000	C	337.2	225.0	5.0		
	45	45	2	210							0	A		255.0	5.7		
	70	70	2	80							0	A		150.0	2.1		
	70	70	2	120							0	A		190.0	2.7		
	70	70	2	160							0	A		230.0	3.3		
	70	70	2	200							0	A		270.0	3.9		
	70	70	2	240							0	A		310.0	4.4		
	70	70	2	280							0	A		350.0	5.0		
	100	100	2	100							0	A		200.0	2.0		
	100	100	2	150							0	A		250.0	2.5		
	100	100	2	200							0	A		300.0	3.0		
	100	100	2	250							0	A		350.0	3.5		
	100	100	2	300							0	A		400.0	4.0		
	100	100	2	350							0	A		450.0	4.5		
	150	150	2	100							0	A		250.0	1.7		
	150	150	2	200							0	A		350.0	2.3		
	150	150	2	300							0	A		450.0	3.0		
	150	150	2	400							0	A		550.0	3.7		
	150	150		500										650.0	4.3		
	150	150		600										750.0	5.0		

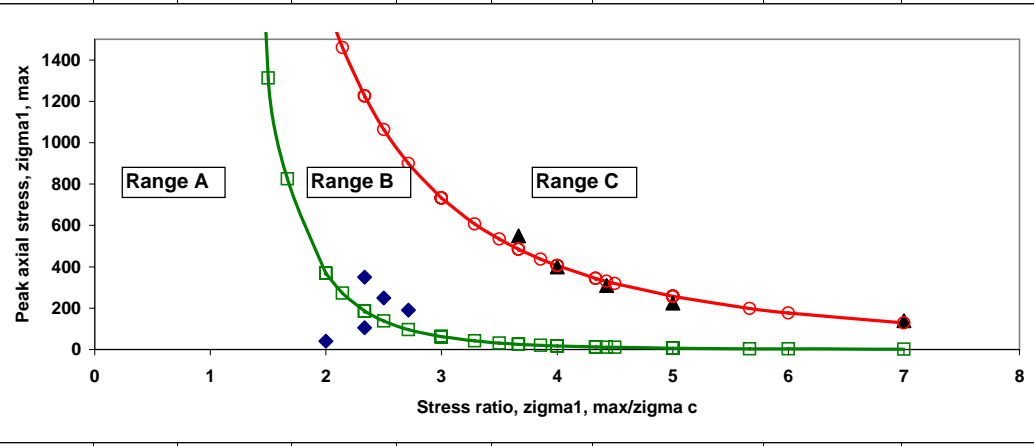
Avbrutet pga. att kompressorn stannade.



	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5						
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150						
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	39.933	104.975									
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	100.007	195.058									
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	119.938	225									
constA	2.60168										
constB	-12.1006										
ϕ	-0.460843292	26									
c		-4									



N	Celltryck		Deviatorspänning		Average resilient strain		Acc. permanent strain		Accumulated permanent strain			Shakedown Range	Resilientmodul	Huvudspänning	Spänningsförhållande	Poisson's tal
	σ_3 kPa		σ_d kPa		μ strain		μ strain		μ strain							
	Antal cykler	min	max	min	max	ϵ_{1r}	ϵ_{3r}	ϵ_{1p}	ϵ_{3p}	$\epsilon_{1p-3000}$	$\epsilon_{1p-5000}$	Diff.	[-]	MPa	kPa	-
													M_r	σ_1	σ_1/σ_3	[-]
10000	20	20	2	20	78.3	13.1	178.3	-100.4	121.9	143.1	21	A	228.6	40.0	2.0	0.167
10000	20	20	2	40	197.6	42.2	781.3	-55.5	573.7	654.8	81	B	192.0	60.0	3.0	0.214
10000	20	20	2	60	319.7	73.7	1823.0	57.4	1435.1	1581.9	147	B	180.8	79.9	4.0	0.231
10000	20	20	2	80	414.5	112.5	3291.4	254.3	2679.4	2919.9	241	B	188.4	100.1	5.0	0.271
8080	20	20	2	100	514.7	151.5	5001.4	523.2	4307.1	4645.0	338	B	190.2	119.9	6.0	0.294
	20	20	2	120							0	A		140.0	7.0	
10000	45	45	2	60	229.2	41.0	5145.2	229.6	5109.9	5121.3	11	A	253.2	105.0	2.3	0.179
10000	45	45	2	90	346.9	67.4	5477.2	183.6	5303.2	5362.3	59	B	253.6	135.0	3.0	0.194
10000	45	45	2	120	454.0	94.7	6567.0	203.8	6007.1	6219.3	212	B	259.9	165.1	3.7	0.209
10000	45	45	2	150	547.8	128.4	8611.1	344.0	7583.6	7967.3	384	B	269.9	194.9	4.3	0.234
2840	45	45	2	180	651.0	160.4	10066.7	531.7		10000.0	10000.0	C	273.2	224.9	5.0	0.246
	45	45	2	210							0	A		255.0	5.7	
10000	70	70	2	80	253.8	40.0	10162.3	321.0	10135.3	10141.8	7	A	306.9	149.9	2.1	0.158
10000	70	70	2	120	376.8	62.4	10373.4	276.2	10267.9	10302.3	34	A	312.8	189.9	2.7	0.166
10000	70	70	2	160	480.3	98.6	11099.2	257.3	10702.8	10846.8	144	B	328.4	229.8	3.3	0.205
10000	70	70	2	200	576.2	126.9	12895.0	330.9	11921.2	12275.9	355	B	343.7	270.1	3.9	0.220
5350	70	70	2	240	674.8	173.9	15113.2	533.6	14394.5	15028.0	633	C	352.1	309.7	4.4	0.258
	70	70	2	280							0	A		350.0	5.0	
10000	100	100	2	100	256.5	68.5	15168.1	423.4	15154.5	15157.2	3	A	382.7	200.1	2.0	0.267
10000	100	100	2	150	379.3	86.4	15329.8	404.1	15254.6	15277.9	23	A	389.5	249.8	2.5	0.228
10000	100	100	2	200	481.0	89.2	15819.3	432.7	15547.6	15637.0	89	B	411.8	300.1	3.0	0.185
10000	100	100	2	250	578.4	112.8	17242.7	604.4	16436.3	16720.9	285	B	428.4	349.9	3.5	0.195
8920	100	100	2	300	693.4	127.9	20144.2	1095.5	18662.7	19269.4	607	C	429.4	399.8	4.0	0.184
	100	100	2	350							0	A		450.0	4.5	
10000	150	150	2	100	193.4	1.8	20188.0	10796.5	20195.8	20191.4	-4	A	506.6	250.0	1.7	0.009
10000	150	150	2	200	391.0	1.8	20409.1	10796.2	20314.1	20345.8	32	A	506.6	350.1	2.3	0.005
10000	150	150	2	300	555.2	1.8	21595.0	10795.0	20963.0	21176.0	213	B	536.4	449.9	3.0	0.003
5160	150	150	2	400	698.9	2.5	25221.1	10860.6	24226.4	25161.3	935	C	569.4	550.0	3.7	0.004
	150	150	2	500										650.0	4.3	
	150	150	2	600										750.0	5.0	



	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5						
$\sigma_{3,f}$ (kPa)	20	45	70	100	150						
$\sigma_{1,A}$ (kPa)	39.961	105.007	189.93	249.825	350.086						
$\sigma_{1,B}$ (kPa)	119.923	194.916	270.107	349.891	449.903						
$\sigma_{1,f}$ (kPa)	140	224.928	309.65	399.823	550.016						
constA	2.390446169										
constB	2.897444499										
ϕ	-0.422571528	24									
c		1									

