Tests

Uretek GeoPlus® resin har været igennem nogle laboratorieprøver med det formål at få vurderet de overordnede fysiske og mekaniske egenskaber. Følgende tests blev udført:

Lodret komprimeringstests med fri sideekspansion
Lodret ekspansionstests
Simple trækprøvninger
Bøjeprøvninger

Prøverne blev udført i det geotekniske laboratorium og i det Sundheds- og miljøtekniske laboratorium ved institut for Hydraulik, Søfart, Miljø og Geoteknisk Ingeniørvidenskab (IMAGE) på Padua universitet. Endvidere er der foretaget prøver i materialeprøvningslaboratoriet ved institut for Fremstilling og Transport på Padua Universitet.

Følgende metoder og standarder blev brugt som reference:

UNI Standard 6350-68 ”Ubøjelige cellulære plastikmaterialer – analyse af komprimeringsegenskaberne”

UNI Standard 8071 ”Ubøjelige cellulære plastikmaterialer – analyse af trækbelastningsegenskaber”

UNI Standard 7031-72 ”Ubøjelige cellulære plastikmaterialer – analyse af bøjebelastning”

Nedenfor præsenteres resultatet af disse forsøg og bearbejdet data, hvilke gør, at resinens egentlige egenskaber kan beskrives helt nøjagtig.

Lodret komprimeringstests med fri sideekspansion

Prøvningerne blev gennemført på IMAGE instituttets geotekniske laboratorium ved Padua Universitet, og der blev taget udgangspunkt i UNI Standard 6350-68.

Under testforløbet blev der benyttet et tryk, der kunne vedholde en forudbestemt, konstant hastighed på 0,5 mm. i minuttet, for at kunne anvende den lodrette belastning.

Prøvningen blev gennemført på firkantede prøver, med en side på 50 mm og en specifik vægt på mellem 0,5 kN/m^3 og 3,3 kN/m^3. 5 prøver blev testet, og for hver prøve blev massefylden undersøgt. Den maksimale trykmodstand defineres som forholdet mellem den maksimale belastning (som er blevet udregnet under udførelsen af testen) og elementets overfladeareal.

Figur 1 viser udviklingen for den lodrette komprimeringsbelastning som et resultat af prøvningens lodrette belastning og massens begyndende massefylde. I diagrammet ses de grafer, der er blevet til på baggrund af 10 prøvninger, der er udført på forskellige blandingsprøver. Massen viser en ukompliceret trykmodstand, som er yderst afhængig af sin oprindelige massefylde.
Den maksimale modstand defineres ikke ved prøvens egentlige brudpunkt, men ved et tab i linieføringen mellem prøvens lodrette akse og belastningsstempelaksen, hvilket muliggjorde, at prøvningen kunne fortsætte. Prøven bøjede faktisk ned mod området med lavest modstand, da den ikke havde perfekt, indre homogenitet.

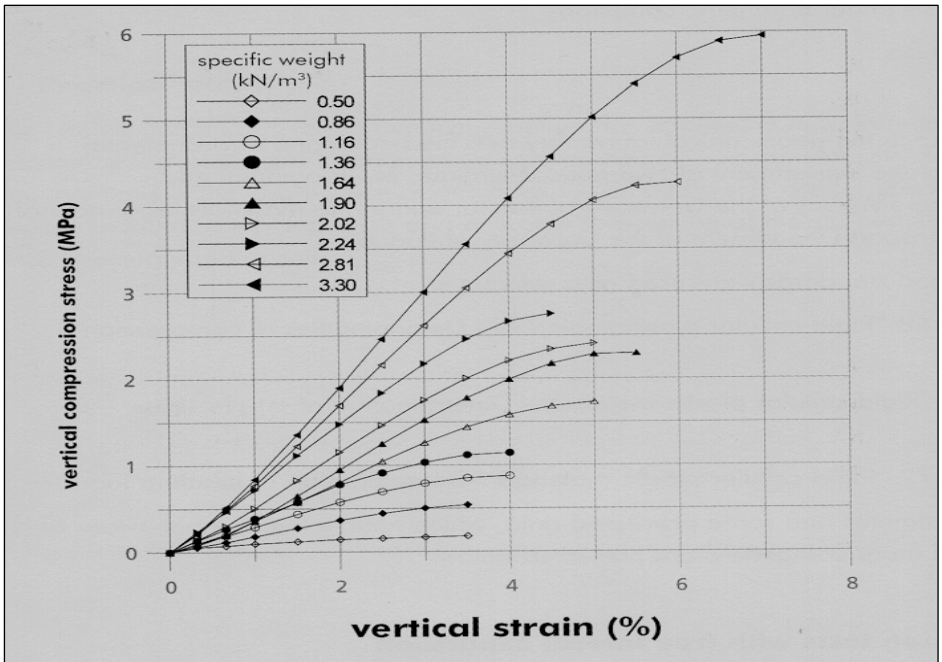


***Fig. 1** - Vertical compression test with free lateral expansion: average vertical stress trend as a function of vertical strain and the specific unit weight of the sample*

Figur 1 - Lodret komprimeringstest med fri sideekspansion: den gennemsnitlige, lodrette belastningsudvikling som resultat af lodret belastning og prøvens specifikke enhedsvægt

Ved at fjerne den anvendte, lodrette kraft, genoptog prøven sine oprindelige geometriske mål og firkantede form. Selv ved tilstedeværelse af visse tydelige uensartetheder, og ved test af spændingsintervallet, udviste materialet i høj grad isotropi - dog forudsat at de fastsatte værdier for trykmodstanden var uafhængige af den firkantede prøves placering på trykket.

Definitioner

Specifik vægt: forholdet mellem prøvens totalvægt og totale omfang. (i kN/m^3)

- Lodret belastning: Procentvise forhold mellem lodret højde-reduktion og prøvens oprindelig højde (i procent)
- Lodret påvirkning: Forholdet mellem den anvendte, lodrette kraft og elementets oprindelige
- Overfladeareal (i Mpa) Side 10

- Trykmodstand: Forholdet mellem den anvendte maksimale, lodrette kraft og elementets oprindelige overfladeareal (i Mpa)
- Elasticitetsmodul: Forholdet mellem lodret påvirkning og lodret belastning, hvilket registreres i forbindelse med en lodret belastning på 0,33 % (E1), 0,67 %(E2) og 1%(E3), (i Mpa). Indenfor den specifikt undersøgte vægtklasse γ på mellem 0,5 kN/m^3 og 3,3 kN/m^3 , blev det fastslået, at den gennemsnitlige bæreevne for simpel komprimering varierede fra 0,2 Mpa til 6 Mpa. De maksimale modstandsværdier er opnået i forbindelse med den lodrette belastning ε på mellem 3,5 % (lav massefylde for begyndelsesprøve) og 7 % (stor massefylde for begyndelsesprøve).Ved høj komprimering viser det sig, at bæreevnen er bedre i sten end i løse jordarter.

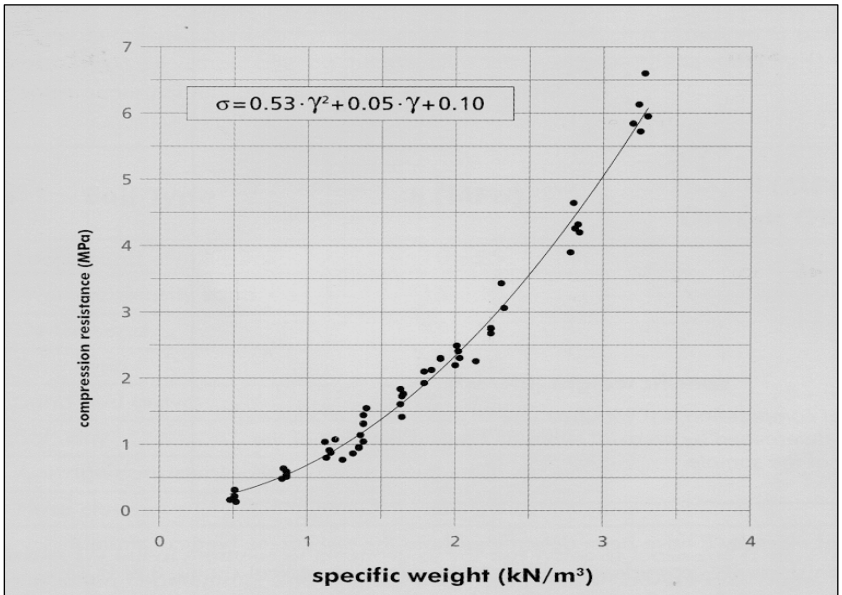


Fig. 2 - *Vertical compression test with free lateral expansion: vertical stress trend as a function of vertical strain and the specific weight of the sample*

Figur 2 - Lodret komprimeringstest med fri sideekspansion: Lodret belastningsudvikling som resultat af lodret belastning og prøvens specifikke vægt.

I figur 2 ses værdierne for trykmodstanden, hvilke er fastsat via 55 prøver med forskellig massefylde. Dette ses som et resultat af blandingens specifikke vægt. Heraf ses det, at trykmodstanden øges sammen med blandingens specifikke vægt.

Afhængigheden af trykmodstanden σ (Mpa) specifikke vægt γ (kN/m^3) udregnes ved hjælp af en kvadratisk ligningsparabel:

$$\sigma = 0{,}53 \times \gamma^2 + 0{,}05 \times \gamma + 0{,}10$$

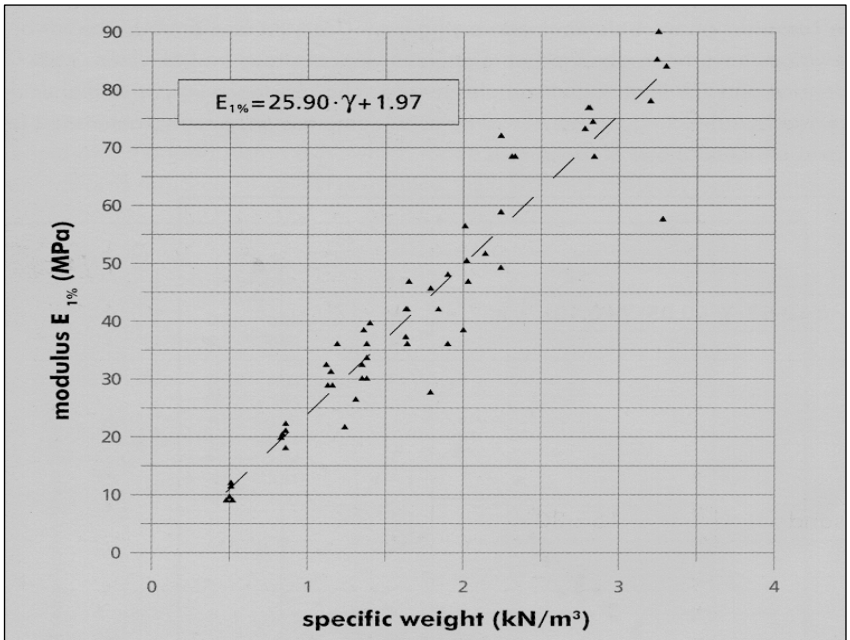


Fig. 3 - *Vertical compression test with free lateral expansion: modulus of elasticity trend determined by an axial strain of 1% as a function of the specific weight of the sample*

Figur 3 - Lodret komprimeringstest med fri sideekspansion: Elasticitetsmodulet fastsættes via en aksialdeformation på 1 % som resultat af prøvens specifikke vægt.

De første elasticitetsmoduler E er blevet fastsat via prøvekurverne " lodret belastning ε- lodret trykspænding σ", i betragtning af lodret belastning ε på henholdsvis 0,33 %, 0,67% og 1%. Modulerne $E_{0,33\,\%}$, $E_{0,67\,\%}$ og $E_{1\,\%}$ er derfor blevet fastsat ved opnåelse af den følgende gennemsnitlige værdi for E modulerne:

$E_{0,33\%} = 15 \div 70$ Mpa $\qquad E_{0,67\%} = 10 \div 75$ Mpa $\qquad E_{1\%} = 10 \div 85$ Mpa

Figur 3 viser udviklingen for elasticitetsmodulet $E_{1\,\%}$ som funktion af prøvens specifikke vægt. Afhængighed af modul $E_{1\%}$ (Mpa) på den specifikke volumen γ (kN/m^3) er blevet klargjort ved hjælp af udregning af en lineær ligning:

$$E_{1\%} = 25{,}90 \times \gamma + 1{,}97$$

I sammenligningsøjemed beskriver tabel 1 værdiområderne for elasticitetsmodulet E for forskellige jordtyper. Det kan ses, hvordan Uretek GeoPlus® overtager værdierne for E-modulet, som kan sammenlignes med værdierne for løse jorde.

Dette betyder, at i en jord der er behandlet med Uretek GeoPlus®, vil massens gennemsnitlige stivhed ikke gennemgå forandringer.

Som konklusion kan det bekræftes, at den stærke afhængighed af trykmodstanden og elasticitetsmodulet for den begyndende blandings masse udgør yderst interessante egenskaber.

Ved sammenligning mellem blandingens elasticitetsmoduler og de løse jorde ses også interessante egenskaber.

Da den anvendte masses densitet kan reguleres via antal gange af injicering og mængden af den injicerede blanding, ser det ud til at være muligt at opnå kodning af byggegrundsdrift, baseret på de mekaniske egenskaber. Dette er ønskværdigt at opnå i den behandlede masse. Dette sker helt uden at forandre stivheden i massen, hvilket ellers ville medføre unormal omlægning af de anvendte belastninger.

Jordtype	**E (Mpa)**	**E (Mpa)** **Uretek GeoPlus®**
Løst sand	10-25	15÷85
Gennemsnitlig masse - sand	15-30	
Tæt sand	35-55	
Kalkholdigt sand	10-20	
Sand og grus	70-180	
Blødt ler	2-5	
Gennemsnitlig konsistens – ler	5-10	
Hårdt ler	10-25	

Tabel 1 - Elasticitetsmodul for forskellige slags løse jorde (Das, Principles of Foundation Engineering, 2. udgave, PWS-Kent, Boston, USA, 1990, s.161)

Trækbelastningstest

Prøverne blev udført på et laboratorium ved institut for Fremstilling og Transportmaterialer, Padua Universitet.

Standard UNI 8071 blev brugt som reference, dog ikke for formen på prøvernes tværprofil, som var cirkulære og ikke rektangulære. Prøverne blev brugt med en variabel tværprofil langs aksen, med et slip i midten af prøven. Diameteren på den reducerede tværprofil, i prøvens midte, svarede til 25 mm. +/-0,5 mm. Diameteren på den forstørrede tværprofil, på prøvens ender, svarede til 40 mm.

Definitioner

Specifik vægt: Forholdet mellem prøvens totalvægt og totalvolumen (i kN/m^3)
Trækstyrke: Forholdet mellem den anvendte lodrette trækkraft T og elementets overfladeareal, målt i forhold til det koniske område (diameter ø)
Trækbelastningsmodstand: Forholdet mellem den anvendte lodrette trækkraft T MAXIMUM og elementets overfladeareal, målt i forhold til det koniske område (diameter ø)

Ved anvendelse af den lodrette trækspændingsbelastning blev der anvendt testudstyr, som under testforløbet var i stand til at opretholde en konstant hastighed på 5 mm. i minuttet. Der blev brugt 14 prøver med forskellig massefylde. En specifikt medtaget vægtklasse mellem 0,7kN/m^3 og 5 kN/m^3 blev undersøgt.

Trækbelastningsmodstanden viste en stærk afhængighed af blandingens massefylde, som er en forøgelse af jordens egen begyndende massefylde. I figur 4 ses testresultaterne, og de viser en trækbelastningsmodstand $\boldsymbol{\sigma}_{tens}$på mellem 0,5 Mpa og 8 Mpa, svarende til specifikke vægtenheder på mellem 0,7 kN/m^3 og 5 kN/m^3.

Afhængigheden af trækbelastningsmodstanden $\boldsymbol{\sigma}_{tens}$ (Mpa) for en specifik vægt γ (kN/m^3) udtrykkes via udregning af en kvadratisk ligningsparabel:

$$\boldsymbol{\sigma}_{tens} = 0{,}21 \times \gamma^2 + 0{,}55 \times \gamma - 0{,}01$$

Ved løbende anvendelse ser trækbelastningsmodstanden ud til at have mindre relevans vedrørende de andre undersøgte mekaniske egenskaber. Ikke desto mindre kan dette parameter, med henblik på nye anvendelser, blive vigtigt da det tillader fremskaffelse eller forøgelse af en form for modstand (trækbelastning) i den behandlede jord.

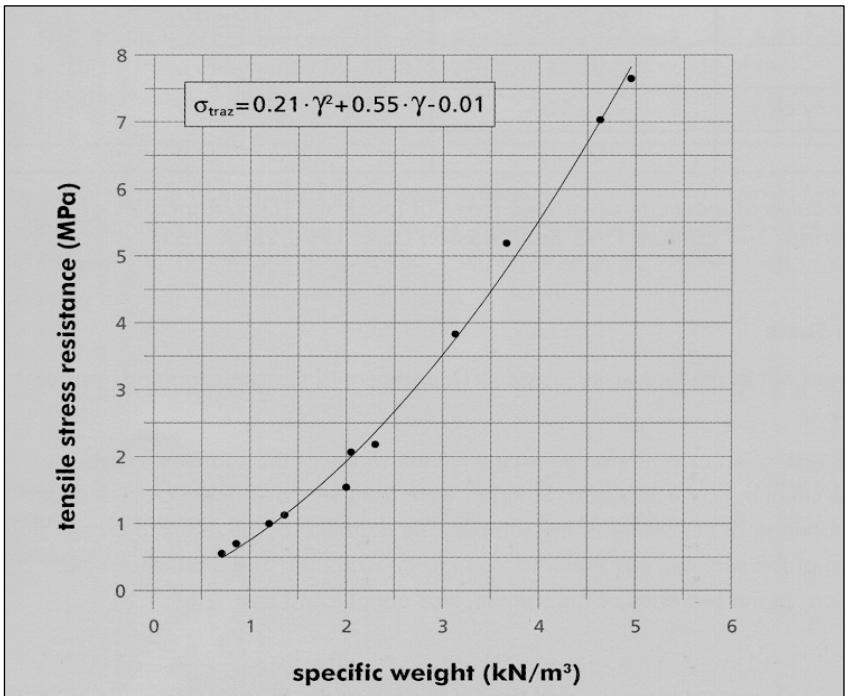


Fig. 4 - *Simple tensile stress test: tensile stress trend as a function of the specific weight of the mix*

Figur 4 – Simpel trækbelastningsprøve: Trækbelastningsudvikling som funktion af blandingens specifikke vægt.

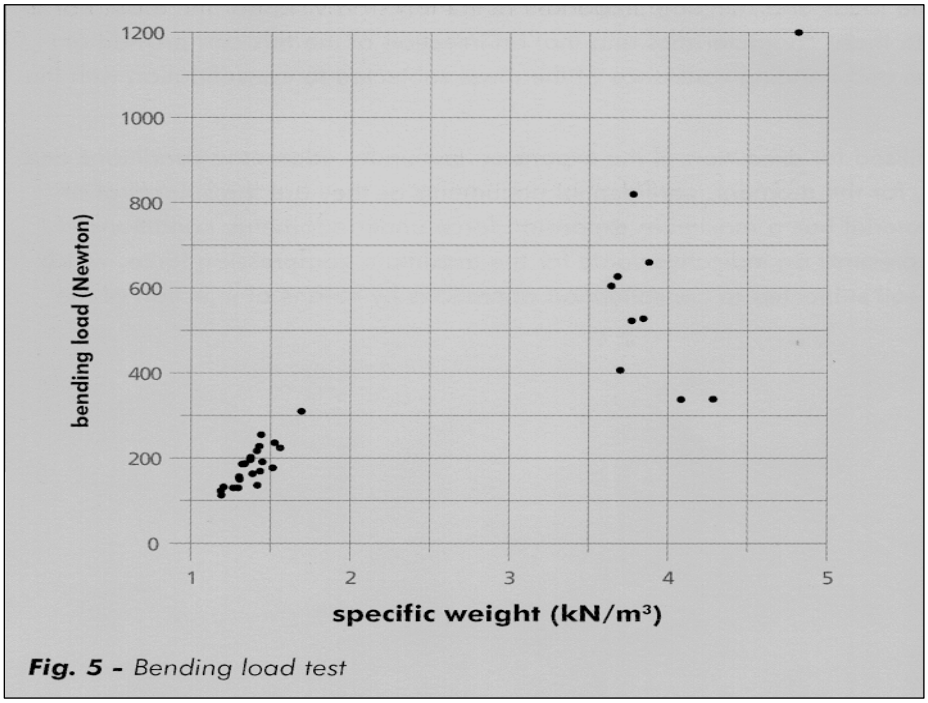
Ekspansionstest

Uretek GeoPlus® resin har en maksimum ekspansionskraft på 10.000 kPa. Det er ikke muligt at gengive resultaterne af Uretek GeoPlus® resins ekspansionstests fuldt ud, da de er patenteret og en integreret del af Ureteks knowhow.

Bøjeprøvninger

Testen blev udført på laboratoriet ved institut for Fremstilling og Transportmaterialer, Padua universitet. Standard UNI 7031-72 blev brugt som reference. Der blev anvendt en bøjeprøvningsmaskine, som kunne påføre bjælken en forindstillet og konstant bevægelsesfart. Testudstyret har en bjælke og to fastholdte understøtninger placeret på en afstand af 80 mm. De testede prøvers tværprofil havde en rektangulær form med en bredde på 25 mm.(+/- 0,4 mm) og en højde på 20 mm.(+/- 0,4 mm.).

35 prøver med forskellig massefylde blev udsat for bøjeprøvninger. En vægtklasse på mellem 1,19 kN/m^3 og 4,81 kN/m^3 blev undersøgt. Belastningen formodedes at svare til den belastning der blev brugt lige før et brud.



Figur 5 – Belastningstest.

Figur 7 viser værdien for bøjebelastningen, der udtrykkes som et resultat af blandingens specifikke vægt. Som i tidligere tilfælde er det blevet observeret, at ved at øge blandingens massefylde, øges også belastningens værdi.

Definitioner

Specifik vægt: Forholdet mellem prøvens totalvægt og totalvolumen (i kN/m^3)
Belastning: Belastning der tilføres prøvens midterlinie før et brud (i N)

Med hensyn til andre undersøgelser af prøver, kunne man se en forøgelse i datafordelingen hvad angår den forøgede massefylde. Man mener, at dette kan kædes sammen med den type test, der blev foretaget på nogle ikke helt ensartede prøver.

Ved løbende anvendelse ser bøjningsmodstanden ud til at have mindre relevans vedrørende de øvrige undersøgte mekaniske egenskaber. Ikke desto mindre kan dette parameter blive vigtigt da det, med henblik på nye anvendelser, tillader en forøgelse af modstanden (bøjning)i den behandlede jord.

Afsluttende bemærkninger

Ved afslutningen af denne første del af laboratorieforsøgene, som blev udført på prøver af Uretek GeoPlus®, skal det fremhæves, at alle de mekaniske egenskaber, der blev undersøgt (komprimering, trækstyrke og bøjningsmodstand) har opnået en forbedring i deres maximale værdier ved forøgelse af massens densitet.

En anden faktor der er værd at tage i betragtning er, at den injicerede masse resulterer i en forøgelse af jordens bæreevne uden at ændre jordens egenskaber væsentligt.

Med hensyn til massens trækstyrke og bøjningsegenskaber lægges der vægt på, at løs jord er næsten blottet for disse karakteristika. En injicering af massen kan tilvejebringe eller forøge trækstyrken og bøjningsmodstanden for den jord, der komprimeres med Uretek GeoPlus®.

Den anvendte testmetode til udførelse af ekspansionstesten og de opnåede resultater er foreløbig fortrolige dokumenter, da de er patenteret.
Materialet har en maksimal ekspansionskraft på ca.10 Mpa. Dette repræsenterer en indikativ værdi for den maksimale komprimeringskraft som, ved hjælp af injicering af Uretek GeoPlus®, kan produceres i en jord, der er blevet komprimeret.