

## SBUF – PROJEKT, NR 11780

Ytstabilisering av vägytor med joniska vätskor



**Före**



**Efter**

Göteborg 2009

Pia Andersson  
Daniel Isik

## Förord

Joniska vätskor är ett stabiliseringsmaterial som används framförallt vid ytstabilisering av vägar. Vätskorna finns ännu inte på den svenska marknaden. En litteraturstudie visar att den största marknad troligtvis är USA. Joniska vätskor används också i Europa bl a Polen och Tyskland. Katz m fl anser att det finns en stor potential i dessa vätskor men p g a att det finns för få oberoende publicerade artiklar och fältstudier har inte vägningjörerna tagit till sig metoden fullt ut.

Syftet med denna studie är ta ge svar på:

- huruvida joniska vätskor har någon effekt på klassiska svenska lerjordar som traditionellt stabilisering med kalk och cement?
- vilka kemiska ämnen produkterna innehåller?
- om produkterna att föredra ur ett miljö- och hälsoperspektiv?

Projektet kunde genomföras genom finansiering och stöd från SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond och Skanska Sverige AB – Teknik.

Författarna tackar finansiärerna som gjort det möjligt att genomföra detta projekt.

Göteborg, september 2009

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GENOMFÖRANDE</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>LITTERATURSTUDIE</b> .....	<b>7</b>
3.1	Jordens beståndsdelar .....	7
3.2	Fasta beståndsdelar .....	7
3.2.1	Lermineral.....	7
3.3	Joniska vätskor .....	12
3.3.1	Verkningsätt .....	12
3.3.2	Övergripande arbetsordning.....	15
<b>4</b>	<b>ANALYS MED HÄNSYN TILL MILJÖPÅVERKAN</b> .....	<b>17</b>
4.1	Allmänt .....	17
4.2	Lämplighetsprovning ur miljösynpunkt.....	17
4.3	Materialbeskrivning .....	17
4.3.1	Provtillverkning .....	18
4.3.2	Resultat av laktester .....	18
4.4	<i>Tolkning av resultaten</i> .....	19
<b>5</b>	<b>ANALYS MED HÄNSYN TILL HÅLLFASTHETSEGENSKAPER</b> .....	<b>21</b>
5.1	Allmänt .....	21
5.2	Undersökningar .....	21
5.3	Utförande.....	21
5.4	Resultat.....	21
5.5	Tolkning av resultat.....	22
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>23</b>

## REFERENSER



# 1 INLEDNING

Kemisk modifiering och/eller stabilisering av jord är vanligt i samband med anläggningsprojekt. Syftet kan t ex vara att:

- Förbättra jordens tekniska egenskaper i överbyggnad, terrass eller underbyggnad och på så sätt förbättra arbetsbädden i byggnadsskedet för ökad framkomlighet.
- Öka jordens hållfasthet och styvhet på grundläggningsnivån för att optimera den tekniska konstruktionen
- Förbättra jordens packningsegenskaper så att packningsarbetet minimeras
- Reducera krympning och svällning i samband med förändring av vattenkvot och frost samt minska dammbildningen på grusvägar.

Modifieringen åstadkoms oftast genom en inblandning av kalk, cement eller flygaska i jorden. Emellertid fungerar dessa tillsatser inte alltid som t ex i fallet med jordar med hög sulfathalt. Dessa jordar erhåller inte den stabilisering som önskas. Istället sväller och häver sig jorden vid tillsatser av bindemedel innehållande kalcium. Ett antal icke-traditionella bindemedel, som inte är kalciumbaserade, är potentiella alternativ för att modifiera sulfathaltig jord. Exempel på sådana icke-traditionella bindemedel är koncentrerade vätskor som går under benämningen "liquid ionic stabilizer", översatt till svenska "joniska vätskor".

Vätskorna späds med vatten på byggsplatsen och sprids på materialet före packning. På grund av lägre transportkostnader än vid användandet av traditionella bindemedel kan dessa vätskor också vara ett alternativ även i de fall traditionella bindemedlen skulle ha önskad effekten på jorden.

Joniska vätskor finns inte på den svenska marknaden. En liten inledande litteraturstudie visar att den största marknad troligtvis är USA. Joniska vätskor används också i Europa bl a Polen och Tyskland. Katz m fl (5) anser att det finns en stor potential i dessa vätskor men p g a att det finns för få oberoende publicerade artiklar och fältstudier har inte vägningjörerna tagit till sig metoden fullt ut.

Målsättningen med projektet är att inhämta kunskap från utlandet om en modifierings och/eller stabiliseringsmetod som inte har använts i Sverige.

Det nu initierade projektet ska ge svar på frågorna:

- huruvida joniska vätskor har någon effekt på klassiska svenska lerjordar som traditionellt stabiliserar med kalk och cement?
- vilka kemiska ämnen innehåller produkterna?
- är produkterna att föredra ur ett miljö- och hälsoperspektiv?

Nyttan med projektresultatet är att skrida kunskap om joniska vätskor i Sverige. Effekten av ett användande blir färre materialtransporter till och från byggarbetsplatser eftersom befintligt material kan modifieras utan stora inkommande transporter av kalk och cement. Arbete med osläkt kalk som idag används för stabilisering av lös lera är hälsofarligt vid hudkontakt. De joniska vätskorna skulle även förbättra arbetsmiljön i dessa situationer.



## 2 GENOMFÖRANDE

Studien inleds med en litteraturstudie vars syfte är att ge fördjupad kunskap om stabilisering med joniska vätskor. De stabiliseringsmaterial (joniska vätskor) som studeras i denna rapport är CBR PLUS och ISS 2500.

Första delen av laboratorieanalysen beskriver vilken miljöpåverkan vätskorna har i dels koncentrerad form och dels jord som är modifierad med vätskorna. Analyserna har utförts med hänsyn till Svenska riktvärdesnormer. Det finns inarbetade rutiner för hur nya produkter ska kontrolleras m h t svenska miljö- och hälsokrav.

Andra delen i analysen innehåller försök med traditionella geotekniska laboriemetoder på ostabiliserad jord (referensprov) och jord som modifierats med jonisk vätska. Syftet med de geotekniska laboratorieundersökningarna är att studera hur jordens hållfasthetsegenskaper påverkas vid inblandning. Geotekniska fältundersökningar har utförts för att få upp material för laboratorieundersökningar och inblandningsförsök.

Alla momenten i projektet har utförts inom Skanska Sverige eventuellt med undantag för några kemiska analyser av de joniska vätskorna.

<b>Moment</b>	<b>Metod</b>
Analys mht miljöpåverkan	ALS Scandinavia utför laborieförsök på stabiliserad jord och koncentrerad vätska för att ta reda på vilka ämnen vätskorna innehåller.
Geotekniska laboratorieundersökningar	Inblandningsförsök med kompletterande geotekniska rutinanalyser





## 3 LITTERATURSTUDIE

### 3.1 Jordens beståndsdelar

För att förstå vad som händer i en finkornig jord när en jonisk vätska tillförs, krävs kunskap om lerans minsta beståndsdelar.

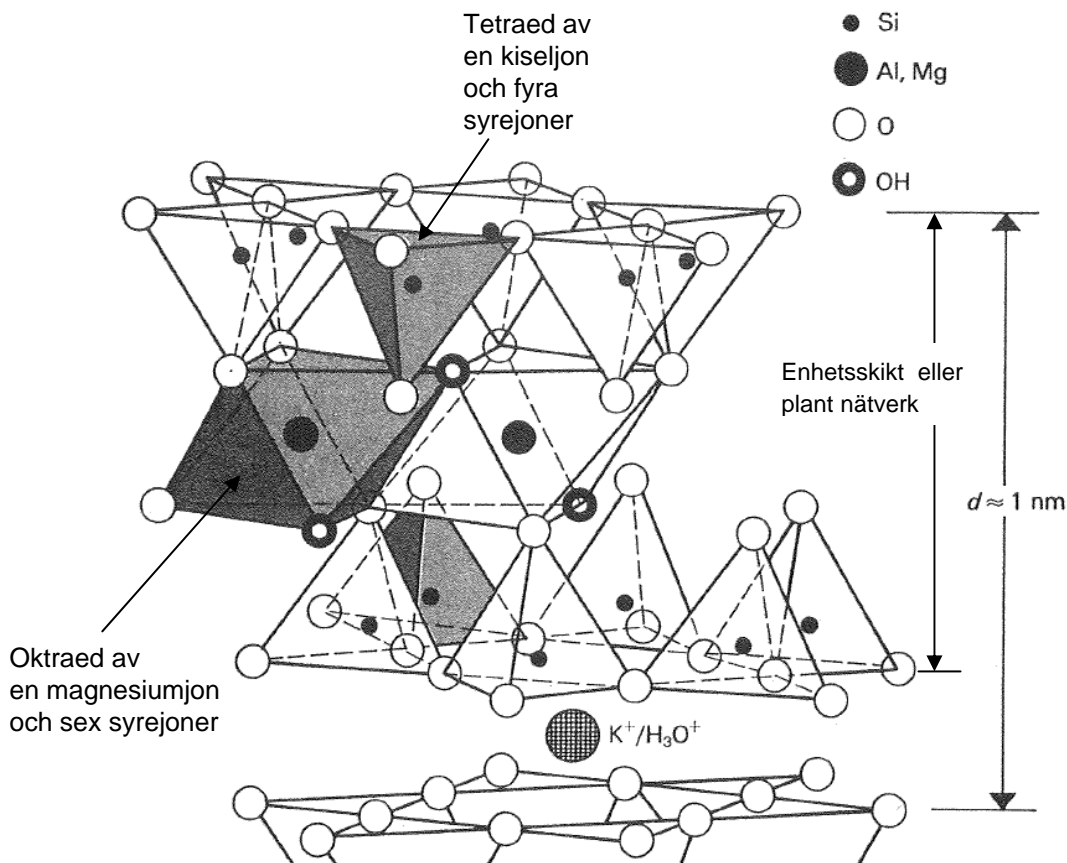
Jorden är uppbyggd av ett lastbärande skelett av korn och partiklar. Beroende av kornens varierande form och storlek uppstår hålrum, porer. Porerna är fyllda med antingen gas (porgas) eller vatten (porvatten) eller en kombination av dessa.

### 3.2 Fasta beståndsdelar

Korn och partiklar består av olika mineraler. De dominerande mineralgrupperna är silkater, karbonater och sulfider. Över 90% av den kontinentala jordskorpans mineralogiska sammansättning utgörs av mineral tillhörande silikatgruppen (kisel- och syreföreningar). De ingående mineralslagen har stor betydelse för jordens geotekniska egenskaper.

#### 3.2.1 Lermineral

I finkorniga mineraljordar med lerfraktioner,  $<2\mu\text{m}$  förekommer silikatmineral tillhörande de sk lermineralen. Lerpartiklarna har formen av platta skivor och inte små runda korn som många andra mineral består av. Gemensamt för lermineraler är att de är uppbyggda av olika lagerkombinationer sk plana nätverk eller enhetsskikt, av  $(\text{SiO}_4\text{-tetraedrar})$  och aluminiumhydroxid eller magnesiumhydroxid  $(\text{Al/Mg}(\text{O}/\text{OH})\text{-oktaedrar})$ , se Figur 3.1. Tetraedrisk koordination betyder att en katjon omges av fyra syrejoner och oktaedrisk koordination betyder att en central katjon omges av sex syrejoner. Storleken på katjonen bestämmer huruvida det blir en tetraedrisk eller oktaedrisk koordination. Stabiliteten hos strukturen beror på hur väl katjonen passar in mellan syrejonerna, (11) Troedsson m fl. Syrets jonradie är 1,32 nm, vilket innebär att en katjon med jonradien 0,3 nm teoretiskt skulle vara den bäst passande jonen i en tetraedrisk koordination. Det grundämne som bäst passar in i en tetraedrisk koordination är kisel med jonradien 0,39 nm. Några andra exempel på jonradie för grundämnena är: magnesiumjoner  $(\text{Mg}^{2+})$  - 0,78 nm, aluminiumjoner  $(\text{Al}^{3+})$  - 0,57 nm och järnjoner  $(\text{Fe}^{3+})$  - 0,67 nm.



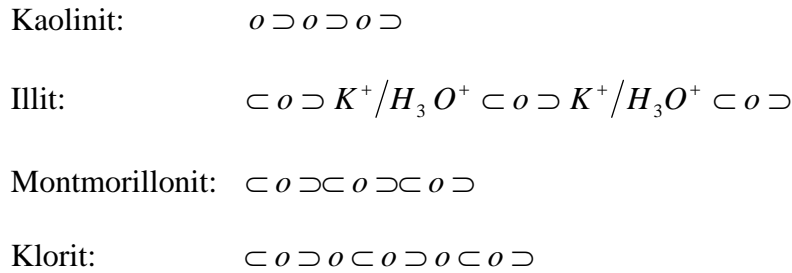
Figur 3.1 Kristallgitter hos lermineralet illit, (4) Hansbo.

Det dominerande lermineralet i vårt lands leriga jordmaterial är illit, kaolinit och vermikulit. I Skånes lermorän är montmorillonit (smektit) det dominerande lermineralet.

Vilket lermineral som bildas beror på hur de plana nätverken av kiseloxid, aluminiumhydroxid och magnesiumhydroxid arrangerar sig. Kaolinit består av enhetsskikt, osymmetriskt uppbyggda av kiseloxid och aluminiumhydroxid eller magnesiumhydroxid.

Illit, montmorillonit och klorit är så kallade 2:1 mineral d v s varje enhetsskikt består av ett plant skikt av magnesiumhydroxid eller aluminiumhydroxid omgivet på varje sida av ett skikt kiseloxid, se Figur 3.1. I illit är enhetsskikten bundna till varandra med kaliumjoner ( $\text{K}^+$ ) och hydroniumjoner ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Bindningen mellan de olika mineralagren i illit är mycket stark och vanligtvis är inte motjonerna, kaliumjoner och hydroniumjoner, utbytbara. Bindningarna mellan enhetsskikten är svagare i montmorillonit än illit, vilket är förklaringen till varför montmorillonit är starkt svällande i samband med vattenupptagning.

Kloritens kristallgitter utgörs av symmetriska 3-lagersskikt likt illit samt med ett plant nätverk av aluminiumhydroxid eller magnesiumhydroxid mellan 3-lagerskikten, se Figur 3.2



Figur 3.2 En schematisk beskrivning av olika lerminerals uppbyggnad, o avser oktaedrar och  $\supset$  avser tetraedrar.

Lermineral har jon- eller basutbytesförmåga d v s de kan ur markvätskan uppta joner samtidigt som de avger i lermineralen löst bundna joner till markvätskan. Jonbytesförmågan påverkar jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper.

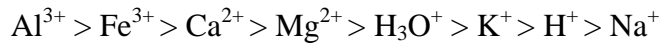
I Tabell 3.1 redovisas en datasammanställning på de vanligaste lermineralens kemiska beteckning, bindningskrafter mellan enhetsskikten och jonbytesförmåga.

Tabell 3.1 Datasammanställning för några lermineral,

(8) Mitchell.

Lermineral	Kemiskbeteckning	Bindningar mellan skikten	Jonbyte
Kaolinit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	O-OH, stark	Litet
Illit	$(K,H_2O)_2Si_8(Al,Mg,Fe)_{4,6}O_{20}(OH)_4$	K-joner, stark	Några Si alltid utbytt mot Al. K ger balans mellan lagren.
Montmorillonit	$Si_8(Al_{3,34}Mg_{0,66})O_{20}(OH)_4$	O-O, mycket svag, expanderbar	Mg utbytt mot Al
Klorit	$(SiAl)_8(Mg,Fe)_6O_{20}(OH)_4$	$(MgAl)_6(OH)_{12}$	Al mot Si i 2:1 lager Al mot Mg i mellanlager

I alla lermineral, förutom kaolinit, är alltid ett antal positiva joner utbytt mot positiva joner med lägre valenstal. Exempel på vanliga substitutioner med katjoner är  $Si^{4+}$  utbytt mot  $Al^{3+}$  eller  $Al^{3+}$  utbytt mot  $Mg^{2+}$  eller  $Fe^{2+}$ . Detta utbyte av positiv joner med lägre valenstal medför att lerpartikelns kanter får en negativ laddning. Vilken laddning som ytorna får beror också av jordens pH, se vidare på följande sida. Vanligtvis ersätter mindre katjoner större katjoner enligt den s k Lyotropic serien. Nedan angivna delar av den s k lyotropic serien, redovisar i fallande ordning den relativa bindningsstyrkan för de i jorden vanligast förekomna jonerna.



Jonutbytesförmågan är olika för olika lermineral och beror bl a på storleken av den för jonutbyte tillgängliga ytan och på tätheten av negativa laddningar hos lermineral. Jonutbyteskapaciteten beror dessutom på jonernas valenstal, tillgång på olika typer av joner, jonernas bindningsstyrka, och jonernas storlek i hydratiserat tillstånd. Några olika lerminerals specifika yta och jonbyteskapacitet redovisas i Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Olika lerminerals specifika yta och jonbyteskapacitet (Mitchell 1976)

Lermineral	Specifik yta (m <sup>2</sup> /g)	Jonbyteskapacitet (meq/100g)
Illit	65-100	10-40
Kaolinit	10-20	3-15
Vermikulit	600-700	100-150
Montmorillonit (Smektit)	50-120	80-150

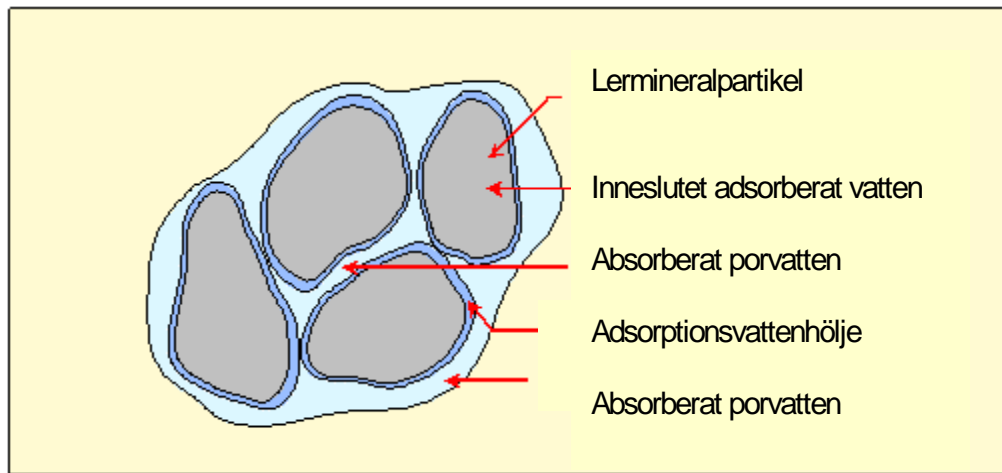
Av Tabell 3.2 framgår det att montmorillonit som bland annat dominerar de skånska lermoränen har den största jonbyteskapaciteten av de i Sverige förekommande lermineral.

Ytladdningen på lermineralens kanter beror av lösningens pH-värde. Det pH-värde där dispergerande partiklar har sin lägsta rörlighet i ett elektriskt fält benämns punkten med noll nettoladdning (point of zero net proton charge,  $\text{pH}_{\text{PZNPC}}$ ). Lermineral har en förmåga att byta anjoner<sup>1</sup> när pH i vatten är lägre än  $\text{pH}_{\text{PZNPC}}$  och katjoner när pH är över  $\text{pH}_{\text{PZNPC}}$ . Positiva ytladdningar förekommer därför vid sura förhållande och negativa ytladdningar vid basiska förhållande, referat (8) Mitchell och (2) Appelo m fl.

Appelo m fl (2) anger värde på  $\text{pH}_{\text{PZNPC}}=4,6$  för kaolinit och för montmorillonit  $\text{pH}_{\text{PZNPC}}=2,6$ . Detta innebär att lermineralen bara vid låga pH-värden kan byta anjoner. Kaolin lera har bara till en mindre del substitutioner i mineralskikten, varför kaolinitens ytladdning till större delen är pH-oberoende. En ökning av porvattnets pH har visat sig minska den omrörda hållfastheten i leran.

Det vanligaste är att det råder basiska förhållanden i jorden och därmed fås lerpartiklar med negativt laddade kanter. Lerpartiklarna strävar till att uppnå neutral laddning. För att uppnå en neutral laddning binder och attraherar ytan positiva joner t ex  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$  och  $\text{Ca}^{2+}$  som finns mellan skikten av lermineral.

Porvatten innehåller i naturligt tillstånd mineralpartiklar, organiska ämnen, gaser och lösta salter. I finkorniga jordar är vattenmolekylerna mer eller mindre starkt bundna av sorptionskrafter. Den atomära uppbyggnaden av lermineralen leder till en koppling av vattenmolekyler som förhindrar kontakt mellan mineralytor, s k adsorptionsvattenhölje, se Figur 3.3.



Figur 3.3 Olika bundet vatten i lera.

Vattnet i lera kan ha följande plats i strukturen:

- Vatten i porer och kapillärt bundet vatten s.k. absorberat vatten. **Absorberat vatten** kräver mycket lite energi för att avlägsnas d v s torkning bara lite över rumstemperatur.
- Vattnet på ytan och runt kanterna på lerpartiklarna s k **adsorptionsvattenhölje**. Bindningen är relativt stark.
- Inneslutet vatten i lermineral partiklarna även detta kallas adsorberat vatten.

**Absorberat vatten** styr lerans svällning och det krävs energi för att ta bort adsorberat vatten.

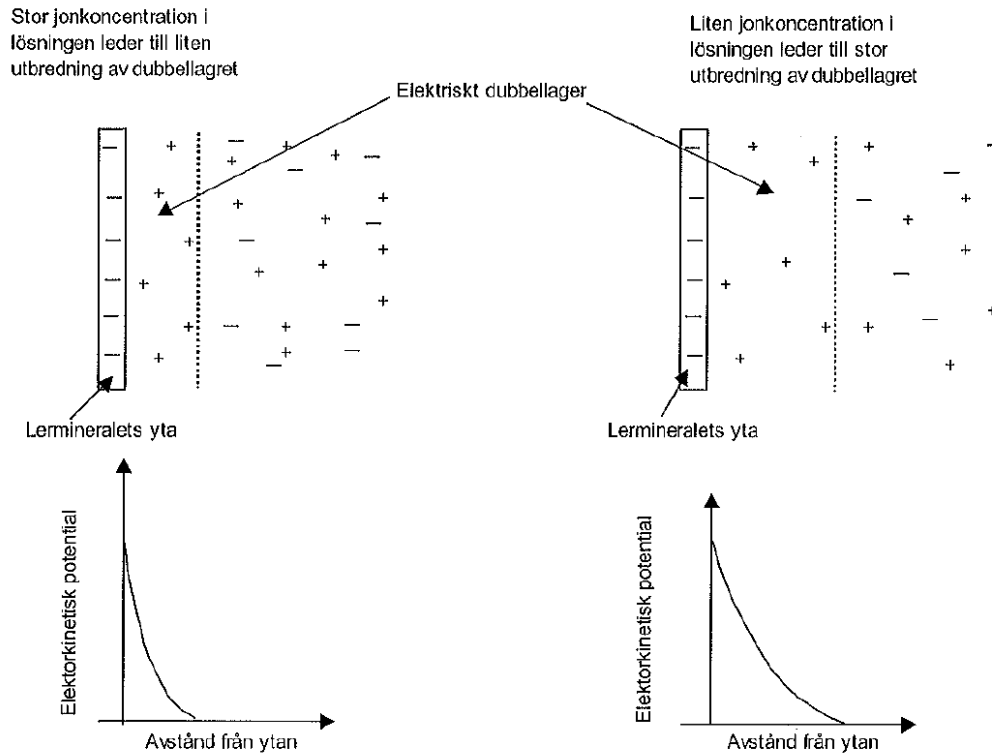
Mellan lerpartiklarnas yta och porvatten pågår ständigt ett jonutbyte som syftar till att neutralisera den negativt laddade partikelytan, se ovan kapitel 3.2. Partiklarna har en negativ överskottsladdning som leder till att det binds positivt laddade joner (katjoner) närmast utanför den ordnade fasta vattnet, det s k diffusa elektriska dubbellagret. De vanligast förekommande katjonerna i lerans porvatten är natrium ( $\text{Na}^+$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), kalcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) och kalium ( $\text{K}^+$ ) och de vanligaste anjonerna är klorid ( $\text{Cl}^-$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) och fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Utbredningen på det elektriska dubbellagret beror på jonkoncentrationen i porvattnet och katjonens valenstal. Dubbellagrets utbredning minskar med ökande valens hos katjonerna och med ökande koncentration av joner. I en lera med låg vattenkvot och vattenmättnadsgrad är katjonerna starkt bundna.

De katjoner som inte binds till partikelytan för att neutralisera den fälls istället ut som salter på lerpartiklens yta, (8) Mitchell. Vid hög vattenmättnadsgrad kan katjonerna gå i lösning fast de emellertid hålls tillbaka av den negativa laddade partikelytan. Katjonerna som balanserar den negativa laddningen kallas motjoner eller utbytbara joner och är oftast relativt löst bundna till partikelytorna. Tätheten av motjoner minskar med avståndet från ytan. Dubbellagrets utbredning är ett mått på systemets elektrokinetiska energi, se Figur 3.4. Ett brett diffust

dubbellager leder till större repellerande krafter mellan partiklarna och minskning av lerans hållfasthet.

Mellan lerpartiklar förekommer både repellerande och attraherande krafter. Den repellerande kraften är elektrostatisk och uppkommer när två partiklar med lika ytladdning kommer tillräckligt nära varandra. Attraktion finns mellan partiklarna i och med van der Waals<sup>2</sup> bindningskrafter. Det krävs dock att partiklarna ska komma mycket nära varandra för att en nettoattraktion ska erhållas.



Figur 3.4 Det elektriska dubbellagrets utbredning beror på jonkoncentrationen i porvattnet, ( ) Rankka.

### 3.3 Joniska vätskor

Joniska vätskor modifiera och stabilisera finkornig jord genom tillsats av kraftigt positivt laddade joner som frigör det adsorberade vattnet i lermineral. Resultatet blir en permanent stabiliserad och lättarbetad jord med bl a högre densitet. Modifieringen och/eller stabiliseringen sker med ett mycket litet mekaniskt arbete och är därför mycket kostnadseffektivt.

De material som denna rapport behandlar är CBR PLUS och ISS 2500 som båda är stabiliseringsmaterial i vätskeform som har avsikten att stabilisera och förstärka låghållfast jord, framförallt i samband med vägprojekt.

#### 3.3.1 Verkningsätt

Lermineralens förmåga att ta upp katjoner utnyttjas för att bryta bindningen mellan vatten och lermineral. Den mineralogiska sammansättningen som gör att lerpartiklarna är negativt

laddade och strävar efter att utjämna detta genom att uppta katjoner ur markvätskan. Jonutbytesförmågan är av stor betydelse för lerans plastiska egenskaper. T ex beror de plastiska egenskaperna till stor del av huruvida jonerna  $\text{Na}^+$  eller  $\text{Ca}^{2+}$  är motjoner.

Joniska vätskor, beroende på kemisk sammansättning, har en mycket stor jonbytesförmåga. Joniska vätskor är vätskor med mycket starka positiva joner. När små mängder av jonisk vätska blandas med vatten aktiveras  $\text{H}^+$  och  $\text{OH}^-$ . Det joniserade vattnet som sedan kraftfullt utbyter dess elektriska laddning med lerpartiklarna och tvingar adsorberade vattnet att bryta den elektrokemiska bindningen till lerpartiklarna. Det tidigare bundna vattnet blir fritt och kan dränera. Denna elektrokemiska reaktion är permanent och irreversibel. När väl det adsorberade vattnet dränerat arrangerar lerpartiklarna så att de binds samman och jordens densitet ökar. Det är därför möjligt att förändra de plastiska egenskaperna genom att styra jonutbytesreaktionerna.

Lerpartiklar omges av en hydrosfär av adsorberat vatten som innehåller joner med olika laddning. På lermineralens av naturen oftast negativa laddning, se kapitel 3.2, attraheras en svärm utbytbara katjoner för att uppnå neutralitet och bildar det så kallade diffusa dubbellagret. En leras plasticitet beror av tjockleken på den adsorberade vattenhinnan runt varje partikel.

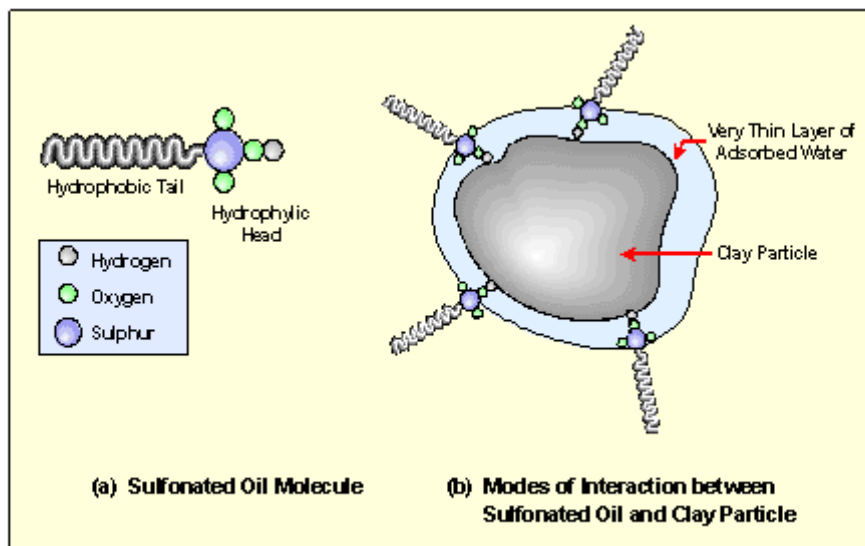
Det adsorberade vattnet tas bort permanent med en jonisk vätska. Man skulle kunna åstadkomma detta genom att tillsätta kaustiksoda eller svavelsyra. Problemet skulle då vara att modifieringen inte skulle bli permanent. Vid första regnskuren efter modifieringen skulle lera re-adsorbera vattenmolekyler.

CBR PLUS är emellertid en komplex kemisk blandning i vilken en av de aktiva ämnena är sulfonerad olja. Att sulfonerad olja ger en permanent modifiering beror på närvaron av andra aktiva ingredienser, vilka ökar vattenspridningseffekten i lera och åstadkommer en permanent bindning mellan CBR PLUS och lerpartiklar.

Sulfonerad olja, se Figur 3.5, består av molekyler med två delar som har helt olika egenskaper. En sulfonsyra hälft likt ett huvud som är löslig i vatten och olöslig i de flesta icke polära organiska lösningar. Detta huvud är en så kallad hydrofil. Denna del av molekylen blir upplöst i vatten en  $\text{SO}_3^-$  anjonsgrupp som binds till sulfatatomerna och bildar därigenom den så kallade svansen.

Denna svans innehåller en samling av kol och väte atomer och är olöslig i vatten därför kallad en vattenavvisande eller hydrofob svans. Denna svans är löslig i olja och icke polära lösningar strikt beroende på dess kolväte karaktär.

Trots denna skillnad i natur i molekylen två delar är den löslig i vatten liksom organiska lösningar. Denna duala egenskap används för att skilja det adsorberade vattnet från mineralen.



Figur 3.5 Sulfonerad olja i reaktion med lerpartiklar. CBR Plus

Som nämnts tidigare består lermineral av skikt med löst bundna motjoner på ytan. Och mellan lerpartiklar och porvattnet sker det kontinuerligt ett jonutbyte.

Den stora mängden vatten och rörligheten av kat- och anjoner i systemet leder till den oönskade plasticiteten hos lera. För att minska plasticiteten, måste man reducera jonernas rörlighet i systemet och reducera så mycket som möjligt av det adsorberade vattnet. De joniska vätskorna syftar till att göra detta genom att det hydrofila huvudet på den sulfonerad olja bildar en kemiskt förband med lerpartikelns yta, både på kanter och på ytan.



### 3.3.2 Övergripande arbetsordning

Nedan beskrivs en övergripande arbetsordning för hur ett stabiliseringsarbete i ett vägprojekt går till.

- Skede 1: I första skedet river man upp jorden i ytan. Detta för att luckra upp jorden så att vätskan lättare skall tränga igenom.



- Skede 2: Den uppluckrade arbetsytan besprutas med utspädd stabiliseringsvätska.

- Skede 3: Den besprutade jorden packas med en vält för att dränera bort vattnet som frigörs från jordmineralen.



- Resultatet är en stabiliserad vägyta.



## 4 ANALYS MED HÄNSYN TILL MILJÖPÅVERKAN

### 4.1 Allmänt

De aktuella vätskorna har ännu inte prövats i Sverige och kunskaper om vilken miljöpåverkan vätskorna har med hänsyn till svenska riktvärden saknas.

Det stabiliseringsmaterial som appliceras ett jordmaterial skall föregås av en lämplighetsprövning ur miljösynpunkt. Denna prövning måste beakta det analyserade materialets innehåll och lakbarhet av eventuella miljöskadliga ämnen. Den stabiliserade jordens föroreningar och de ämnen som eventuellt lakas ut i yt- och grundvatten får inte överstiga riktvärden för det aktuella området.

### 4.2 Lämplighetsprövning ur miljösynpunkt

Den stabiliserade jorden skall analyseras med avseende på riktvärden för metallhalter i förorenad mark. Naturvårdsverket (NV) har utarbetat ett riktvärdessystem för förorenad mark med tre olika riktvärdesnormer: känslig markanvändning (KM) med lägsta tillåtna halterna, mindre känslig mark med grundvattenskydd (MKM GV) och mindre känslig mark (MKM) med högsta tillåtna halterna.

Lakvattnet ska analyseras med hänsyn till riktvärden för föroreningar i grundvatten. I Sverige saknas idag generella riktvärden för föroreningar i grundvatten. Det finns dock riktvärdesnorm som är baserad på svenska hälsogränsvärden för dricksvatten. Resultat från analyserna ska jämföras med denna norm.

### 4.3 Materialbeskrivning

I denna analys har lermaterial upptaget i Göteborgsregionen använts. Rutinanalyser har utfört på ostörda kolvprover för att ta reda på lerans egenskaper innan den stabiliseras. De egenskaper man analyserat är densitet, vattenkvot, konflytgräns, sensitivitet och skjuvhållfasthet.

Proverna består av lera från ca 2-4 m djup med en densitet på ca 1.6-1.7 ton/m<sup>3</sup>, vattenkvoten är ca 60-70 %, konflytgränsen är ca 60-70 %, karakteristiska oreducerade skjuvhållfastheten är ca 15-20 kPa och permeabiliteten är ca 10<sup>-9</sup>m/s. Det är totalt tre lerprover, ett referensprov (naturlig jord) samt två försöksprov (stabiliserade jordprover) som analyserats. Laktesterna har genomförts enligt SS-EN 12457-2.

Mängden stabiliseringsmaterial som skall användas i ett stabiliseringsarbete beror på jordens egenskaper, bl.a. jordens finkornighet. Enligt tillverkarnas rekommendationer skall man för aktuella lerjordar tillsätta ca 0,015 liter CBR PLUS respektive 0,025 liter ISS 2500 per kvadratmeter vägyta. Stabiliseringsmaterialet tränger ner ungefär 15 cm ner i jorden. Den koncentrerade vätskan späds ut med vatten innan den tillsätts jorden. Mängden vatten som skall blandas beror bl.a. på jordmaterialets vattenkvot. Vattnets syfte är att späda ut stabiliseringsvätskan och sprida ut den jämt i jorden. Det erfordras ca 0,5 liter per cm djup och kvadratmeter vägyta. Så för ett djup på 15 cm innebär det att det erfordras ca 7,5 liter/m<sup>2</sup>.

### 4.3.1 Provtillverkning

Varje jordprov väger 2 kg och enligt rekommendation från tillverkaren erfordras ca 0,12 ml CBR PLUS respektive 0,2 ml ISS 2500 utspädd med vatten till ca 2 ml.

De prover som tillverkats framgår ur Tabell 5.1. Proven lakades och lakvattnet analyserades på metaller. Vätskans pH och konduktivitet registrerades. Lakförsök har även utförts på rent stabiliseringsmaterial ISS 2500 för att studera hur stora halter av metaller vätskan innehåller.

Tabell 5.1 Prover som tillverkats för miljöanalys

Prov	CBR PLUS (Utspädd)	ISS 2500 (Utspädd)	ISS 2500 (koncentrerad)	Jord
Test 1	2 ml	-	-	2 kg
Test 2	-	2 ml	-	2 kg
Test 3	-	-	-	2 kg
Test 4	-	-	100 ml	-

### 4.3.2 Resultat av laktester

Resultaten av lakförsöken redovisas i Tabellerna 5.2 och 5.3. Analyserade metaller i lakvattnet har jämförts med en riktvärdesnorm som är baserad på svenska hälsogränsvärden för dricksvatten. Resultaten från lakningen av lerproverna visar att vad gäller metallhalter så klarar de stabiliserade jordarna den riktvärdesnorm som gäller för svenska hälsogränsvärden för dricksvatten. Test 4, dvs ostabiliserad jord, visar i vissa fall högre metallhalter än den stabiliserade jorden. Vätskan ISS 2500 i koncentrerad form påvisar mycket högre halter av metallerna krom, kvicksilver, nickel, och bly än vad hälsogränsvärdena för dricksvatten tillåter.

Tabell 5.2 Resultat från lakningsförsök med hänsyn till metaller och jämförelse med Svenska hälsogränsvärden för dricksvatten

Element	Halt	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4 (ISS 2500)	(Svenska hälsogränsvärden för dricksvatten)
As	ug/l	1,32	<1	1,08	<5	50
Ba	ug/l	2,9	5,72	10,3	49,7	
Cd	ug/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,989	5
Cr	ug/l	<0,5	<0,5	<0,5	<b>168</b>	50
Cu	ug/l	8	9,34	6,4	35,6	2000
Hg	ug/l	<0,02	<0,02	<0,02	<b>104</b>	1
Mo	ug/l	12,4	13,7	22,1		
Ni	ug/l	1,48	1,19	1,81	<b>856</b>	50
Pb	ug/l	<0,2	<0,2	<0,2	<b>371</b>	10
Sb	ug/l	1,52	1,2	1,45	<2	10
Se	ug/l	0,824	0,779	0,808	6,96	10
Zn	ug/l	<2	<2	<2	630	
pH		8,3	8,2	8,2		
konduktivitet	mS/m	35,2	55,6	82,1		

Den stabiliserade jordens innehåll av PAH och aromater framgår av Tabell 5.3. Riktvärden för förorenad mark är i tabellen indelad i känslig markanvändning (KM) med lägsta tillåtna halterna och mindre känslig mark med grundvattenskydd (MKM GV). Resultaten visar att den stabiliserade jorden klarar den riktvärdesnorm som Naturvårdverket tagit fram.

Tabell 5.3 Resultat av lakningsförsök med hänsyn till innehåll av PAH och aromater och jämförelse med naturvårdsverkets riktvärdesnorm.

Element	Halt	Test 1	Test 2	Test 3	Riktvärden	
					KM	MKM G
summa 16 EPA-PAH	mg/kg TS	<0.4	<0.4	<0.4	20	
^PAH cancerogena	mg/kg TS	<0.2	<0.2	<0.2	0,3	
PAH övriga	mg/kg TS	<0.2	<0.2	<0.2	20	
benso(ghi)perylen	mg/kg TS	<0.050	<0.050	<0.050		
PAH canc+Benso(ghi)perylen	mg/kg TS	<0,25	<0,25	<0,25	1	10
summa 7st PCB	mg/kg TS	<0.011	<0.011	<0.011		
bensen	mg/kg TS	-	-	-	0,012	0,04
toluen	mg/kg TS	<0.10	<0.10	<0.10	10	40
etylbenzen	mg/kg TS	<0.10	<0.10	<0.10	10	50
summa xylener	mg/kg TS	<0.10	<0.10	<0.10	10	35

#### 4.4 Tolkning av resultaten

Resultaten från lakningen visar halter med god marginal under de maximalt tillåtna halterna med hänsyn till den riktvärdesnorm som gäller för svenska hälsogränsvärden för dricksvatten. Men det är viktigt att vätskan hanteras enligt föreskrifter då den i koncentrerad form (ISS 2500) har negativ påverkan på miljön.

Den stabiliserade jordens innehåll av PAH och aromater är också acceptabel med god marginal med hänsyn till de riktvärden som gäller i Sverige. Undersökning av bensenhalten har dock inte kunnat utföras.



## **5 ANALYS MED HÄNSYN TILL HÅLLFASTHETSEGENSKAPER**

### **5.1 Allmänt**

Syftet med stabiliseringsmaterialen är att öka ler- och siltjordars hållfasthet. För att undersöka hur jordens hållfastegenskaper förändras efter inblandning av de stabiliseringsvätskorna har man utfört geotekniska undersökningar på laboratoriet. Jorden som analyserats är från göteborgsområdet och har likvärdiga egenskaper som leran som analyserades med hänsyn till miljöpåverkan, se kap 4.

### **5.2 Undersökningar**

I verkligheten appliceras vätskan i störd jord. För att efterlikna detta har rutinanalyser utförts på störda lerprover. Både referens- och försöksprover analyseras. De tekniska egenskaper som bestäms vid analyserna är vattenkvot och omrörd skjuvhållfasthet. Efter att stabiliseringsvätskan har tillförts har den omrörda skjuvhållfastheten bestämts vid tre tillfällen, efter 30 min, 60 min och 1 dygn. Vattenkvoten hos den stabiliserade jorden uppmätts efter 24 timmar då man anser att stabiliseringsvätskan har gett full effekt.

### **5.3 Utförande**

Laboratorieförsöken på de störda proverna har utförts enligt följande arbetsordning:

- Fallkonförsök utfördes först på den ostabiliserade jorden för att få ett referensvärde.
- Därefter besprutades lerproven med erforderlig mängd stabiliseringsvätska (CBR PLUS och ISS 2500) utspädd med vatten.
- Vätskan reagerade med leran.
- Ytterligare fallkonförsök utfördes, efter 30 min, 1 h och slutligen efter ett dygn. Även vattenkvoten analyserade efter ett dygn.

För varje test som resultat redovisas för har tre provkroppar använts i vilka tre fallkonförsök i varje provkropp utförts, dvs. medelvärde av totalt 9 mätningar.

### **5.4 Resultat**

Omrörd skjuvhållfasthet och vattenkvot för referensprovet och de stabiliserade proverna redovisas i Tabell 6.1 och 6.2, förändringen i procent redovisas också.

Tabell 6.1 Resultat av omrörd skjuvhållfasthet på referensprover och stabiliserade prover.

	Ref.prov	CBR PLUS		ISS 2500	
Tid [h]	Skjuvhållfasthet [kPa]	Skjuvhållfasthet [kPa]	Förändring [%]	Skjuvhållfasthet [kPa]	Förändring [%]
0,5	3,2	3,0	-6	3,1	-3
1	3,2	3,1	-3	3,2	0
24	3,2	9,4	194	10,1	216

Tabell 6.2 Resultat av vattenkvot på referensprover och stabiliserade prover.

	Ref.prov	CBR PLUS		ISS 2500	
Tid [h]	Vattenkvot [%]	Vattenkvot [%]	Förändring [%]	Vattenkvot [%]	Förändring [%]
24	74	57	-23	55	-26

## 5.5 Tolkning av resultat

Både stabiliseringsmaterialen bidrar till en ökning av hållfastheten med ca 200 % efter ett dygn. Samtidigt visar resultat att vattenkvoten minskar med ca 20-30 %. Att hållfastheten minskade/var oförändrad efter 30 min respektive 1 h kan bero på att det adsorberade vattnet i lermineralen inte hunnit frigöras och därmed inte heller dränerats bort.



## 6 SLUTSATSER

Utgående från de analyser som utförts på lerjordar från Göteborg så kan man konstatera att om stabiliseringsvätskorna används enligt de anvisningar som föreskrivs finns det ingen risk att man överskrider tillåtna halter av metaller, PAH eller aromater enligt svenska riktvärdessystemen.

ISS 2500 har analyserats m.h.t. giftiga ämnen i en studie ”TOXICOLOGICAL TESTS ON ISS 2500 IONIC SOIL STABILIZER”, skriven av Hesmarie Mulder. I rapporten bekräftas att stabiliseringsmaterialet vid utspädning med vatten inte är giftigt.

Då syftet med stabiliseringsmaterialen är att öka silt- och lerjordars hållfasthet har laboratorieförsök utförts på ostabiliserad respektive stabiliserad lera för att utvärdera hur hållfastheten och vattenkvoten förändras efter inblandning av vätskorna. Resultaten från laboratorieförsöken visar en positiv effekt på lerjordens hållfasthet efter 24 h med en ökning på ca 200 %, samtidigt som vattenkvoten minskade med ca 20-30 %. Att hållfastheten minskade/var oförändrad efter 30 min respektive 1 h kan bero på att det adsorberade vattnet i lermineralen inte hunnit frigöras och därmed inte heller dränerats bort.

Laboratorieanalyserna som utförts för att undersöka förändringen av lerjordens hållfasthetsegenskaper samt vattenkvot har i möjligaste mån efterliknat verkligheten. Dessa analyser är inte riktigt jämförbara med stabiliseringsarbete av en vägterrass. Den genomförda studien visar att de undersökta vätskorna applicerade på klassisk göteborgslera ger en hållfasthetsökning och minskning av vattenkvot. De redovisade värdena gäller för laboratorieprovning. Nästa steg i studie av joniska vätskor bör vara att applicera dem på en provyta i fält där rätt utrustning och metoder används.



## REFERENSER

- (1) Andersson, L., *Clay Chemistry in soil Stabilization*, Geologiska Föreningen BD 82 H 2 (1960)
- (2) Appelo, C.A.J, Postma, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*, A.A. Balkeman, Rotterdam (1994)
- (3) Brand, E.W., Brenner, R.P. *Soft clay engineering*, Elsevier (1981)
- (4) Hansbo, S. *Jordmateriallära*, Almqvist Wiksell Läromedel, Stockholm (1975)
- (5) Katz, L., E., *m fl, Mechanisms of soil stabilization with liquid ionic stabilizer*, Transportation Research Record, nr 1757 (2001)
- (6) Lindh, P. *Soil stabilisation of fine-grained till soils*, Licentiatuppsats, Institutionen för geoteknologi, Lunds Tekniska Högskola, Lund (2000)
- (7) Macsik, J, *Miljögeoteknisk undersökning av nya vägmaterial*, Avd. för Geoteknik, Inst. För Väg- och Vattenbyggnad, Luleå Tekniska Universitet (1999)
- (8) Mitchell, J.K. *Fundamentals of soil behaviour*, John Wiley & Sons, Inc (1976)
- (9) Mulder, Hesmarië, *TOXICOLOGICAL TESTS ON ISS 2500 IONIC SOIL STABILIZER*, (1997)
- (10) Rankka, K. *Kvicklera - bildning och egenskaper*, Varia 526, Statens Geotekniska Institut, Linköping (2003)
- (11) Troedsson, T., Nykvist, N. *Marklära och markvård*, Almqvist Wiksell Läromedel, Uppsala (1980)

Internetkällor:

<http://www.a2m-roads.com/html-en/soil-stabiliser-iss2500-1-introduction-en.htm>

<http://www.cbrplus.com/>

<http://www.naturvardsverket.se/sv/>