

Projektnr. 13692

Metodik för stabilisering av muddermassor

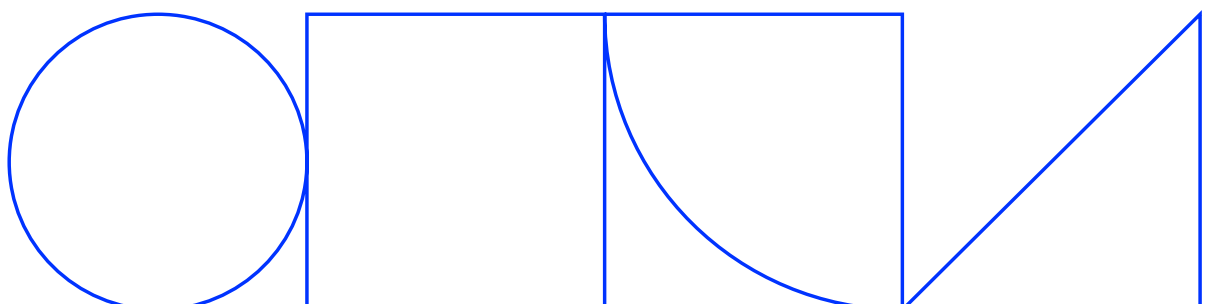
Metoder för att undersöka kvaliteten på stabiliserade muddermassor

Mohammadhossein Gholampoor
PEAB Anläggningsteknik, Lund Teknisk Högskolan

2024-11-08



LUND
UNIVERSITY



Förord

Denna rapport är en populärvetenskaplig version av resultaten från forskningsprojektet "Metoder för att undersöka kvaliteten på stabiliserade muddermassor". Den detaljerade rapporten och resultaten återfinns i licentiatuppsatsen, tillsammans med tre vetenskapliga artiklar som är bifogade i licentiatuppsatsen.

Detta projekt har utförts av Mohammadhossein Gholampoor, doktorand vid Lunds universitet, avdelningen för Byggnadsmaterial. Mohammad handledes av Lars Wadsö och hade Per Lindh och Peter Johansson som biträdande handledare. Projektledare var Nils Ryden. PEAB Anläggningsteknik var huvudansvarig för projektansökan.

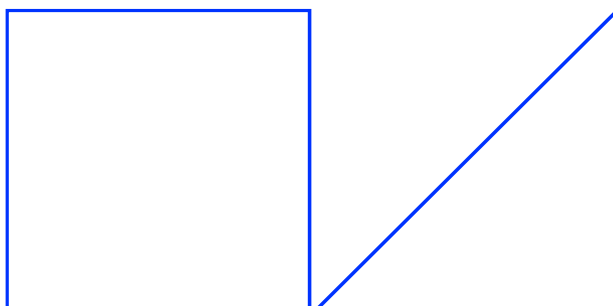
Jag är oerhört tacksam för det ekonomiska stöd som har tillhandahållits av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), Trafikverket och PEAB. Detta projekt hade inte varit möjligt utan deras generösa bidrag. Jag vill även tacka alla medlemmar i referensgruppen för deras värdefulla synpunkter, som har varit avgörande för att forma min forskning.

Jag vill även rikta mitt varmaste tack till Dr. Nils Ryden, min tidigare chef på PEAB. Hans tro på mig öppnade dörren för att påbörja min doktorandutbildning vid Lunds universitet. Nils har varit en av de bästa kollegorna jag någonsin haft, alltid stöttande och positiv, och jag är oerhört tacksam för den möjlighet han gav mig.

Jag är också mycket tacksam till min nuvarande chef, Michael Sabattini, för hans orubbliga stöd under denna period. Hans uppmuntran till att ständigt utvecklas har varit mycket uppskattad. Mina kollegor på PEAB Anläggningsteknik har också spelat en avgörande roll i min resa, och jag vill uppriktigt tacka dem för deras stöd och hjälp.

Helsingborg, November 2024

Mohammadhossein Gholampoor



Sammanfattning

Muddringsarbeten i hamnar, floder och vattenvägar är avgörande för att upprätthålla seglingsbara djup, men de resulterar i stora mängder muddermassa (MS) som ofta är olämpliga för omedelbar återanvändning på grund av deras höga fukthalt, låga hållfasthet och föroreningar. Stabiliserings- och solidifieringstekniker (S/S) används i stor utsträckning för att förbättra de geotekniska egenskaperna hos MS, vilket gör materialet mer stabilt och mindre benäget att utgöra miljörisker. Kvalitetssäkring av stabiliserat MS är dock avgörande för både miljösäkerheten och framgången i byggprojekt. Traditionellt har kvalitetssäkring förlitat sig på destruktiva metoder, som den 28-dagars odränerade tryckhållfasthetstestet (UCS), vilket försenar återkoppling och ökar projektkostnader och risker. Utvecklingen av effektiva och realtidsbaserade kvalitetssäkringsmetoder är därför nödvändig för att optimera stabiliseringsprocessen.

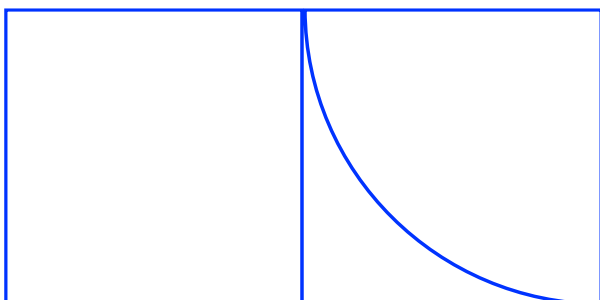
Denna avhandling introducerar två innovativa, icke-destruktiva metoder för tidig kvalitetssäkring av stabiliserat MS: isoterm kalorimetri (IC) och elektrisk resistivitet (ER). Båda metoderna erbjuder betydande fördelar jämfört med traditionella destruktiva tester genom att tidigt förutsäga hållfasthet och stabilitet hos behandlade massor. Både IC- och ER-metoderna har visat sig vara effektiva för att ge tidig, realtidsbaserad återkoppling om stabiliseringsprocessen, vilket minskar de risker som är förknippade med försenad kvalitetssäkring. Detta tillvägagångssätt förbättrar inte bara effektiviteten utan minimerar också de ekonomiska och miljömässiga kostnaderna för omstabilisering eller avfallshantering om kvalitetsproblem identifieras för sent.

Förutom att undersöka nya metoder för kvalitetssäkring undersöker denna avhandling även blandningsprocedurens roll för att påverka de mekaniska egenskaperna hos stabiliserat MS. Studien visar att blandningstiden är en avgörande faktor för att uppnå optimal hållfasthet och homogenitet i det behandlade materialet. Specifikt visar resultaten att massor med högre fukthalt kräver längre blandningstider för att fullt ut integrera bindemedlen och utveckla tillräcklig hållfasthet. Överdriven blandning kan dock leda till minskad hållfasthet, vilket indikerar att det finns ett optimalt fönster för blandning som varierar beroende på MS-specifika egenskaper, såsom vattenhalt och bindemedelssammansättning.

Avhandlingens resultat understryker vikten av både realtidsbaserad kvalitetssäkring och optimerade blandningsprocedurer vid stabilisering av muddermassor. Genom att kombinera isoterm kalorimetri och elektrisk resistivitet för tidiga hållfasthetsprognoser med noggrant kontrollerade blandningsprocedurer, erbjuder denna forskning en omfattande metod för att förbättra effektiviteten och produktiviteten i stabiliseringsprojekt. De insikter som erhålls från denna studie kan tillämpas på storskaliga muddringsoperationer, vilket minskar den tid och de kostnader som är förknippade med kvalitetssäkring samtidigt som miljöriskerna minimeras. Dessa framsteg erbjuder ett betydande bidrag till fältet för markstabilisering, särskilt genom att hantera de utmaningar som stora mängder muddermassor kräver behandling.

Innehåll

1. Syfte och Mål	3
2. Metod och Genomförande	4
2.1. Fas I: Tidig Kvalitetskontroll av Stabiliserat Muddringssediment	4
2.2. Fas II: Blandningstidens Effekt på Hållfasthet	4
3. Resultat	5
4. Slutsatser	7



1. Syfte och Mål

Denna studie syftar till att introducera två nya icke-destruktiva metoder för kvalitetssäkring av behandlat muddringssediment i laboratoriemiljö. Dessutom har förståelsen för laboratoriebaserade blandningsprocedurer för stabilisering av muddermassor undersökts, med särskilt fokus på blandningstidens påverkan på de mekaniska egenskaperna hos stabiliserat massorna. För att uppnå dessa mål har följande forskningsfrågor formulerats:

- i. Hur kan mätningar av hydratiseringsvärme användas som en icke-destruktiv metod för kvalitetssäkring av stabiliserat muddermassor?
- ii. Kan övervakning av elektrisk resistivitet också användas för att utvärdera kvaliteten på behandlat MS?
- iii. Hur kan bindemedelsinnehållet bestämmas genom ER- och IC-test under genomförandet av projekt i fält?
- iv. Hur påverkar blandningsproceduren kvaliteten på stabiliserat MS?

2. Metod och Genomförande

Projektet genomfördes i två faser, med fokus på icke-destruktiva tester och blandningsoptimering.

2.1. Fas I: Tidig Kvalitetskontroll av Stabiliserat Muddringssediment

I Fas I utvärderas kvaliteten på stabiliserat muddringssediment med hjälp av två icke-destruktiva metoder för tidig kvalitetskontroll: isoterm kalorimetri (IC) och elektrisk resistivitet (ER). Dessa metoder gör det möjligt att förutsäga hållfastheten och stabiliteten hos behandlade sediment på ett tidigt skede, vilket minskar risken för att produkter inte uppfyller projektspecifikationer.

Provmaterial och Binders: Muddringssediment från Göteborgs hamn och bindemedel bestående av 40% Portland cement och 60% slaggsand användes.

Provberedning och Testning: Materialet blandades med olika vatten/bindemedelsförhållanden och testades för värmeutveckling och resistivitet under härdningsperioden.

Testmetoder: UCS-testet genomfördes efter 28 dagar, medan IC och ER användes för kontinuerlig övervakning av hydreringsprocessen och utveckling av hållfasthet.

2.2. Fas II: Blandningstidens Effekt på Hållfasthet

I Fas II undersöks blandningsprocedurens effekt, särskilt blandningstiden, på den mekaniska styrkan hos stabiliserat muddringssediment.

Provmaterial och Blandningstid: Fyra satser med olika vatteninnehåll användes från tre hamnar. Både osiktade och siktade sediment testades för att studera homogeniteten och hållfastheten vid olika blandningstider.

Testning: FFR tester efter 7, 14 och 28 dagar samt 28-dagars UCS test utfördes för att utvärdera hur olika blandningstider påverkar hållfasthet och elasticitetsmodul.

3. Resultat

Resultaten visar att både IC och ER är effektiva verktyg för tidig kvalitetskontroll, och att de kan korrelera väl med UCS.

Isotermal Kalorimetri (IC): Resultaten från IC-mätningarna visade tydliga värmeutvecklingsprofiler som korrelerar med UCS vid 28 dagar, vilket ger en tidig uppskattning av hållfasthetsutveckling. Dessutom möjliggör IC justeringar av bindemedelsinnehåll för att möta stabiliseringskrav snabbare.

Elektrisk Resistivitet (ER): ER-mätningar visade en förutsägbar resistivitetsökning under hydratisering. Även om miljöfaktorer som fukt och temperatur kan påverka noggrannheten, erbjöd ER en pålitlig indikator på härdningstillstånd och styrka.

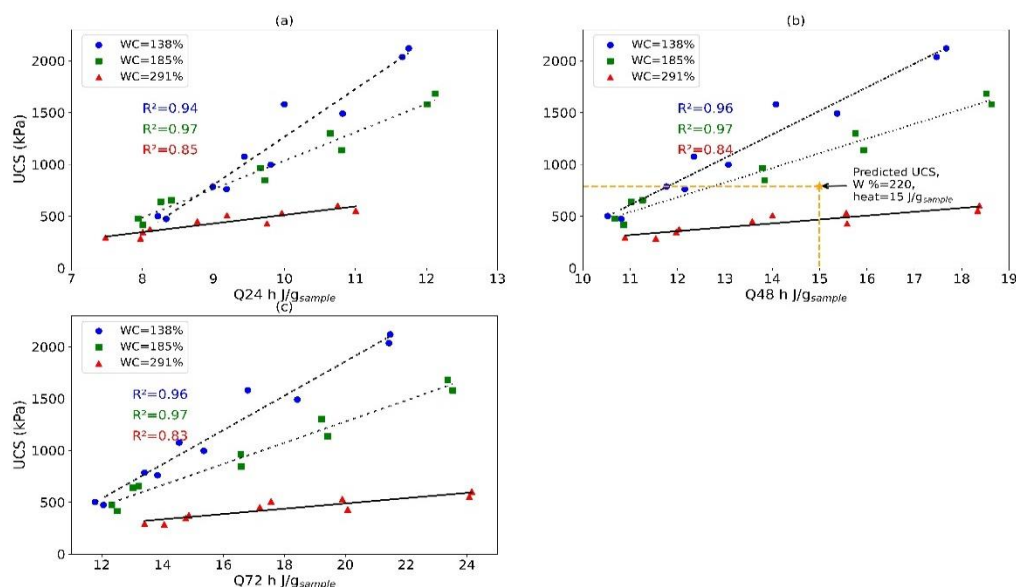
Det rekommenderas att utföra följande steg i laboratoriet innan projektet startar och i fält under genomförandet av projektet.

Steg 1: Genomför IC och ER-tester, till exempel under 48 timmar, och mät 28-dagars tryckhållfasthet med hjälp av det bindemedel och muddermassor som kommer att användas i ett projekt. Utför mätningar med olika w/b-förhållanden och vattenhalter.

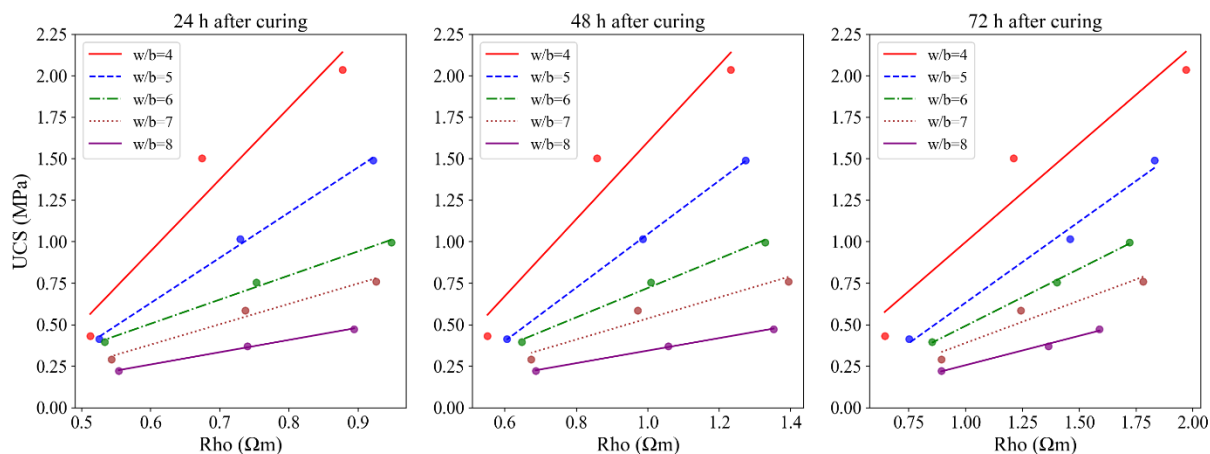
Steg 2: Skapa korrelationsdiagram, som Figur 1 och 2 mellan värmeutveckling, och elektriska resistivitet vid en specifik tidpunkt (e.g. 48 timmar) och UCS för alla vattenhalter och w/b-blandningar.

Steg 3: Ta i fält ett färskt prov av MS och bestäm vattenhalten i rå MS; efter stabilisering (blandning med bindemedel), ta prov för IC och ER mätning.

Steg 4: Efter exempelvis 48 timmar av mätningar, hitta motsvarande UCS genom att beakta vattenhalten i MS med hjälp av graferna från steg 2. Figur 1, den mittersta grafen, visar ett exempel på hur UCS kan förutsägas utifrån värme och vattenhalt. Detaljerade resultat och diskussioner visas i artikel I och II i den bifogade bilagan till avhandlingen.



Figur 1. Korrelationer mellan värmeutveckling efter 24, 48 och 72 timmars härdning, normaliserad med provens vikt, jämfört med 28-dagars tryckhållfasthet.



Figur 2. Elektrisk resistivitet i förhållande till tryckhållfasthet för olika härdningstider.

Blandningstidens Påverkan: Resultaten visade att längre blandningstid förbättrade homogeniteten men ledde till en avtagande effekt på hållfasthet efter optimal tid. Överdriven blandning resulterade i minskad UCS, vilket betonar behovet av standardisering för blandningsprotokoll. De detaljerade resultaten visas i avhandlingen och artikel 3.

4. Slutsatser

Projektets resultat visar att IC och ER kan användas som snabbare och mer effektiva kvalitetskontrollmetoder för stabiliserade MS. Båda metoderna ger tidig uppskattning av hållfasthet, vilket möjliggör snabbare beslutsfattande och minskad beroende av UCS. IC och ER möjliggör realtidsövervakning och minskar material- och arbetskostnader.

Optimal blandningstid ger maximalt hållfasthetsutfall, vilket bidrar till hållfast stabilisering av sediment.