

# Effektiv blandningskontroll med MCV- metoden vid blandning av Mn/GLS- tätskikt för efterbehandling av gruvdeponier



**BOLIDEN** **SWEROCK**

**processum** **ecoloop**



**L**  
LULEÅ  
UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY

**RAGN SELLS**  
En del av kretsloppet

Status:	Slutrappport
Utgåva:	Prel-slutrappport
Datum:	2016-07-01
Författare:	Josef Mácsik, Ecoloop AB Christian Maurice, Luleå Tekniska Universitet
Granskare:	Thomas Fägerman, Swerock
Projektnummer:	1514

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD.....	3
1. BAKGRUND.....	4
1.1. Allmänt .....	4
1.2. Demonstrationsprojekt, Näsliden .....	5
2. PROBLEMSTÄLLNING OCH MÅL .....	6
3. DELTAGANDE PARTER OCH PROJEKTUTFÖRANDE.....	6
3.1. Deltagande parter .....	6
3.2. Projektutförande.....	6
4. RESULTAT OCH MÅLUPPFYLLELSE.....	7
5. FORTSATT ARBETEN.....	9
6. IDÉER TILL NYA UTVECKLINGSPROJEKT.....	9
7. EKONOMISK REDOVISNING .....	10
8. SAMMANFATTNING AV RESULTATETN.....	11
8.1. Generellt.....	11
8.2. Platsspecifika slutsatser .....	11
8.3. MCV som kontrollmetod.....	11
9. PUBLIKATIONER OCH KONFIDENTIALITET.....	11
10. REFRENSER .....	11

## **FÖRORD**

Den här rapporten riktar sig främst till gruvindustrin och entreprenörer som arbetar med efterbehandling (kvalificerad sluttäckning) av reaktivt gråbergssupplag med tätskikt bestående av en blandning av morän (Mn) och grönlutslam (GLS), samt till pappers- och massaindustrin som producerar grönlutslam.

Rapportens fokus ligger på utveckling av kvalitetskontroll av Mn/GLS-blandningar och därmed säkerställa att tätskiktet kan uppfylla ställda funktionskrav på täthet motsvarande  $\leq 10^{-8}$  m/s. Inom projektet utfördes en serie laboratorieförsök och fältmätningar i samband med sluttäckning av Näslidengruvan (Boliden). Under laboratorieförsöket tillverkades och testades ett flertal blandningsreceptserier med fyra olika moränkvalitéer och fem olika grönlutslam (från fem bruk) avseende packningsegenskaper och tillhörande täthet. Fältundersökningen i Näsliden utfördes vecka 32-33, 2016. MCV-mätningar har också används vid val av lämpligt GLS och receptkriterier till efterbehandlingen av Näslidens gråbergssupplag.

Projektet utfördes i samarbete mellan Ecoloop AB, Swerock AB, Ragn-Sells AB, Luleå tekniska universitet (LTU) och Boliden Mineral AB. Arbetet genomfördes av Josef Mácsik (Ecoloop AB) med kunskap inom alternativa material, miljögeoteknik och erfarenhet från användning. Thomas Fägerman (Swerock) och Pär Odén (Ragn-Sells AB) med erfarenheter från entreprenad av efterbehandling av deponier och gruvavfall. Christian Maurice (LTU) har stått för kunskap avseende efterbehandling av gruvor. Eric Lundin med stor erfarenhet av praktisk kontroll av entreprenadarbeten. Johannes Pettersson, (student vid LTU numera Swerock) har utfört och sammanställt laboratoriearbeten med avseende på packning och kontroll.

Projektet finansierades av SP Processum AB, Boliden, Swerock, Ragn-Sells AB, Luleå Tekniska Universitet och Ecoloop AB.

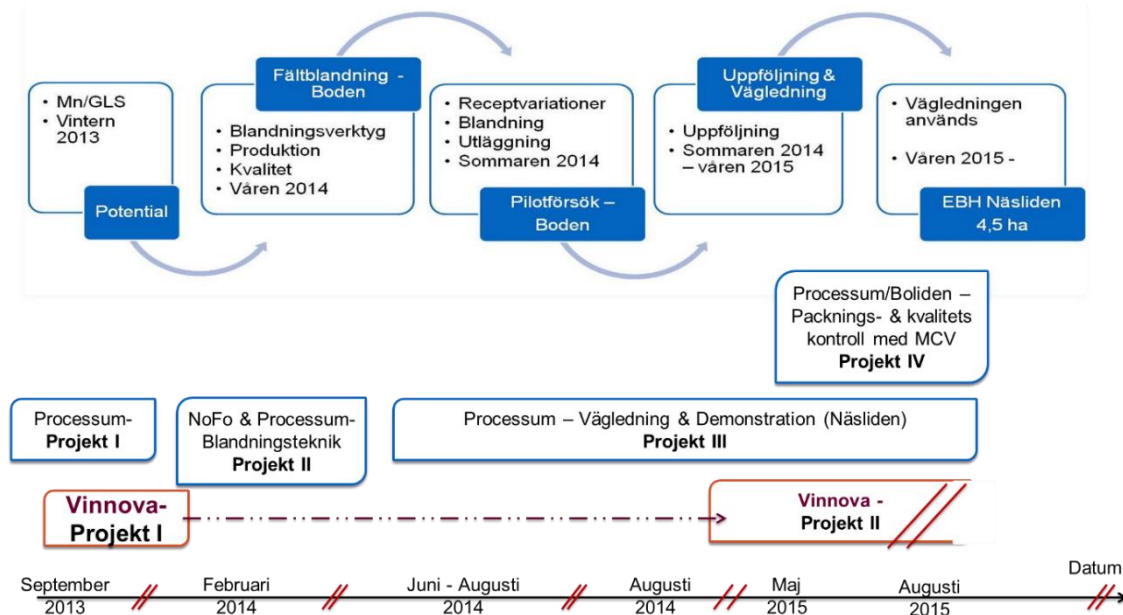
## 1. BAKGRUND

### 1.1. Allmänt

Gruvindustrin har ambitionen att efterbehandlingsåtgärderna ska vara miljöriktiga, långsiktiga och kostnadseffektiva. Boliden Mineral har för mål att efterbehandlingen ska hålla hög kvalitet då gruvaavfallet ofta är syrabildande. Samtidigt vill Pappers- och massaindustrin skapa en långsiktig avsättning för grönlutslam genom att kvalitetssäkra materialet. Blandningar av Morän/Grönlutslam (Mn/GLS) bedöms ha god potential som sluttäckningsmaterial i och med att dess funktionella egenskaper kan bidra till miljöriktiga och långsiktiga lösningar. En viktig faktor för tätskiktets täthet är Mn/GLS-materialets blandningskvalitet.

Det pågår FoU-satsning finansierade av SP Processum/Boliden som omfattar fyra projekt på temat efterbehandling av gruvaavfall och efterbehandling med blandning av morän och grönlutslam som tätskikt.

De två avslutade studierna beskriver metodens potential och miljögeotekniska egenskaper ”Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvaavfall - teknisk och ekonomisk potential” och ”Inblandning av GLS vid tillverkning av tätskikt för efterbehandling av gruvaavfall - Dimensioneringskriterier och kvalitetskrav”, se Figur 1.1. Ett nu pågående projekt tar fram en vägledning för utförandeaspekter vad gäller Mn/GLS, ”Vägledning - Efterbehandling av gråbergssupplag med morän modifierad med grönlutslam”. Detta projekt kompletterar det pågående vägledningsprojektet och syftade att ta fram en metodik för kvalitetssäkring av blandningarna som tillverkas.



Figur 1.1 Projekten som SP-Processum har finansierat för att ta fram Mn/GLS som tätskiktmaterial på gråbergsdeponier.

Inom projekten har en serie laborationsförsök utförts och i början på augusti 2014 har 500 ton morän/grönlutslamsblandning tillverkats och lagts ut som tätskikt på en provyta på Brännkläppens deponianläggning i Boden. Det sluttäckta området (500 m<sup>2</sup>) undersöks nu under flera år med avseende på bl.a. täthet inom ett Vinnova-finansierat projekt. Provytan

kommer dessutom att undersökas under de närmaste 4 åren inom GLAD-projektet (finansierat av Mistra) som leds av Örebrouniversitet och Luleå tekniska universitet.

## 1.2. Demonstrationsprojekt, Näsliden

En kvalificerad täckning av gråberg genomförs idag vanligen med vattenmättad packad siltig/lerig morän. Vattnet förhindrar syretransport genom porerna till gråberget eftersom syre rör sig mycket långsammare genom vatten än genom luft. Förutom att förhindra syretransport till materialet måste täckningen begränsa vatteninfiltrationen för att förbli vattenmättade året om och minska transport av redan utlakade metaller. Täckningen måste vara beständig under mycket lång tid och klara regn, torr/våt-cykler, frys/tö-cykler, rotpenetration osv.

En grundförutsättning för den valda täckningsmetoden är att den är ekonomiskt rimlig. Det är stora ytor som behöver täckas, och den största enskilda kostnadsposten som kan uppstå är kostnaderna förknippade med införskaffandet av täckningsmaterialet dvs transportkostnaden alternativt eventuell inköp av bentonit om lämplig morän inte finns att tillgå. Därför används idag morän från närområdet till täckning av gråbergssupplag.

Inbladning av grönlutslam i siktad morän för användning i tätskikt är en lovande metod för tillverkning av tätskiktsmaterial. Mn/GLS-blandningen har förbättrade täthets och vattenhållande egenskaper jämfört med den ursprungliga moränen. För att nå en framgångsrik användning av Mn/GLS-blandning i tätskiktet behövs god planering, utförande och uppföljning. En nyckelfaktor för metodens effektivitet är kvalitetskontroll av blandnings- och utläggningsförfarandet. För att möjliggöra utveckling nya blandnings- och utläggningsförfaranden är det nödvändigt att identifiera metod/ -er som i direkt anslutning till framdriften kan kvalitetssäkra blandningens (Mn/GLS) och det utlagda tätskiktets (Mn/GLS-skikt) kvalitet. Mn/GLS har siltig och lerig konsistens och tidigare packningsundersökningar visar att materialet är känsligt för förändringar i vattenkvoten. En liten ökning av vattenkvoten kan leda till att Mn/GLS blir svåra att hantera och omöjliga att packa. MCV-metoden (Moisture Condition Value <sup>1</sup>) har utvecklats för finkorniga jordar för ta fram förhållandet mellan vattenkvot och packbarhet. Metoden ger således ett värde på hur känslig en viss typ av jord är för vattenkvotsförändringar med avseende på packningsegenskaperna.

Boliden har ett efterbehandlingsprojekt där morän (Mn) modifierad med grönlutslam (GLS-tillsats med 5 - 15 vikt% av våtvikt) kommer att användas på Näslidens gråbergsdeponi, ca 4,5 hektar. (OBS moränen är siktad och är 0 - 20 mm.) Hela ytan kommer att efterbehandlas inom loppet några månader, vilket kräver att blandnings- och utläggningstekniken effektiviseras. I dagsläget blandas och läggs tätskiktet ut på liknande sätt som vid sluttäckning av kommunala deponier. Konventionella metoder är mobil tvångsblandare alternativt traktorburna blandarskoppor typ Allu. Utläggning och packning av Mn/GLS sker i två skikt. Färdiga skiktets tjocklek är ca 250 mm. Det finns ett starkt samband mellan täthet och blandningskvalitet. Mn har vattenkvot (w) på mellan 5 - 15 % medan GLS har w runt 100 % (60 - 170 %). I dag kontrolleras blandning och utläggning med trubbiga och långsamma metoder som riskerar att missa funktionsfel hos tätskiktet. Teknikutvecklingen bromsas eftersom tillverkning och utläggning görs på konventionellt vis och nya tekniker har svårt att etablera sig. Vi antar ett starkt samband mellan torrdensitet och permeabilitet. MCV, med

---

<sup>1</sup> Metoden bedömer packbarheten hos finkorniga fyllnadsmassor genom ett samband mellan jordmaterialets vattenkvot och den energimängd som åtgår för att fullt ut packa materialet. I MCV-apparaten packas 1500 g jordmaterial i ett lager av en fallvikt, med samma diameter som packningscylinderns innerdiameter. Fallhöjden, 250 mm, hålls konstant och packningen pågår till dess ingen ytterligare nedsjunkning uppnås. Antalet slag med fallvikten motsvarar på så sätt den energi som åtgår till att packa ut materialet. Sambandet mellan MCV och vattenkvoten är materialspecifikt.

föregående kalibrering i lab, bedöms därför ha potential att fungera för kvalitetskontroll i samband med blandning.

## 2. PROBLEMSTÄLLNING OCH MÅL

Syftet med projektet är att utveckla en fältbaserad kontrollmetod med MCV (Moister Condition Value) och därigenom skapa förutsättningar för att optimera kontroll av blandningskvalitet och därmed möjliggöra storskalig efterbehandling av bl a gruvdeponier med Mn/GLS -blandningar. Den långsiktiga målsättningen är att kunna använda MCV under produktion för att effektivisera blandningskontroll och därmed maximera produktionskapaciteten.

## 3. DELTAGANDE PARTER OCH PROJEKTUTFÖRANDE

### 3.1. Deltagande parter

Projektledare:	Josef Mácsik, Ecoloop AB
Design och utvärdering:	Josef Mácsik, Christian Maurice och Thomas Fägerman
Utförande:	Thomas Fägerman, Swerock, Christian Maurice (Dr), Ramböll Sverige AB / LTU Pär Odén, Ragn-Sells AB Eric Lundin, Geogen AB
Laboratorium:	Inhyrd MCV
Kvalitetssäkring:	Magnus Filipsson, Boliden Mineral AB

### *Deltagande företag*

Gunnar Westin, Processum Biorefinery Initiative AB  
SCA Packaging Obbola Aktiebolag  
Domsjö Fabriker AB  
Boliden Mineral AB

### 3.2. Projektutförande

A) Laboratoriestudie utfördes för att ta fram underlag för att använda MCV som kontrollmetod vid blandning och utläggning av GLS/Mn blandning i tätskiktstrukturen på Näslidens gråbergssupplag. Undersökningen utfördes med fem olika grönlutslam och tre moräner med varierande silthalt, varav en av moränen var den för efterbehandlingen aktuell morän från Näsliden. Laboratorieundersökningarna genomfördes i tre mätserier, serie 1 och 2 med MCV och serie tre med proctorpackningsapparat (Se figur):

- I serie 1 undersöktes Mn/GLS-blandningarnas torrdensitet och resulterande vattenkvot hos blandningar med 6 %, - 18 % GLS (MCV). Moränens och grönlutslammets vattenkvot utgick från "naturliga" vattenkvot.
- Undersökningen i serie 2 utgick från Mn/GLS blandningar med 8 % 14 % GLS (MCV). Morän med naturlig vattenkvot  $\pm 2\%$  respektive  $\pm 4\%$  vattenkvot användes för tillverkning av Mn/GLS-blandningar. För respektive blandning bestämdes torrdensiteten och materialets vattenkvot.

- I serie 3 undersöktes Mn/GLS-blandningarnas torrdensitet och resulterande vattenkvot hos blandningar med 12 - 18 % GLS (Proctorpackning). Mn/GLS-blandningarna permeabilitet undersöktes. Moränens och grönlutslammets vattenkvot utgick från ”naturliga” vattenkvot.

B) Utvärdering och jämförelse av MCV- och Proctorpackningsundersökning utfördes för att ta fram recept av Mn/GLS-blandning och för att hitta de vattenkvotsvärden som kan tillåtas vid fullskalig tillverkning av Mn/GLS. Vattenkvotskriteriet togs fram med MCV- och proctormetoden för att ta fram det fönster av vattenkvot där Mn/GLS-blandningen kan packas och ger täthetsvärden  $< 10^{-8}$  m/s. Laboratorieundersökningens resultat är materialspecifik, dvs gäller bara för de material som undersöks.

C) Metoden prövades och demonstrerades sedan vid efterbehandling av Näslidens gråbergssupplag. Det utfördes kontroll av blandningskvalitet under två dagar med MCV-metoden. Utförts under vecka 32-33, 2016.

D) Arbetsgruppen planerade organisationen av workshop för inbjudna entreprenörer, gruvbolag och konsulter under hösten 2016, utanför projektiden.

E) Resultaten dokumenteras och redovisas i rapport. Rapporten färdigställs efter Näslidenprojektet är avslutad, under hösten 2016.

#### **4. RESULTAT OCH MÅLUPPFYLLELSE**

En serie laboratorieundersökningar genomfördes under augusti 2015 med tre moräner och med fem olika grönlutslam. Laboratorieundersökningen utfördes på LTU och tolkningen av Ecoloop istället för Swerock. Detta på grund av att tänkt personal har sagt upp sig och bytte arbetsgivare.

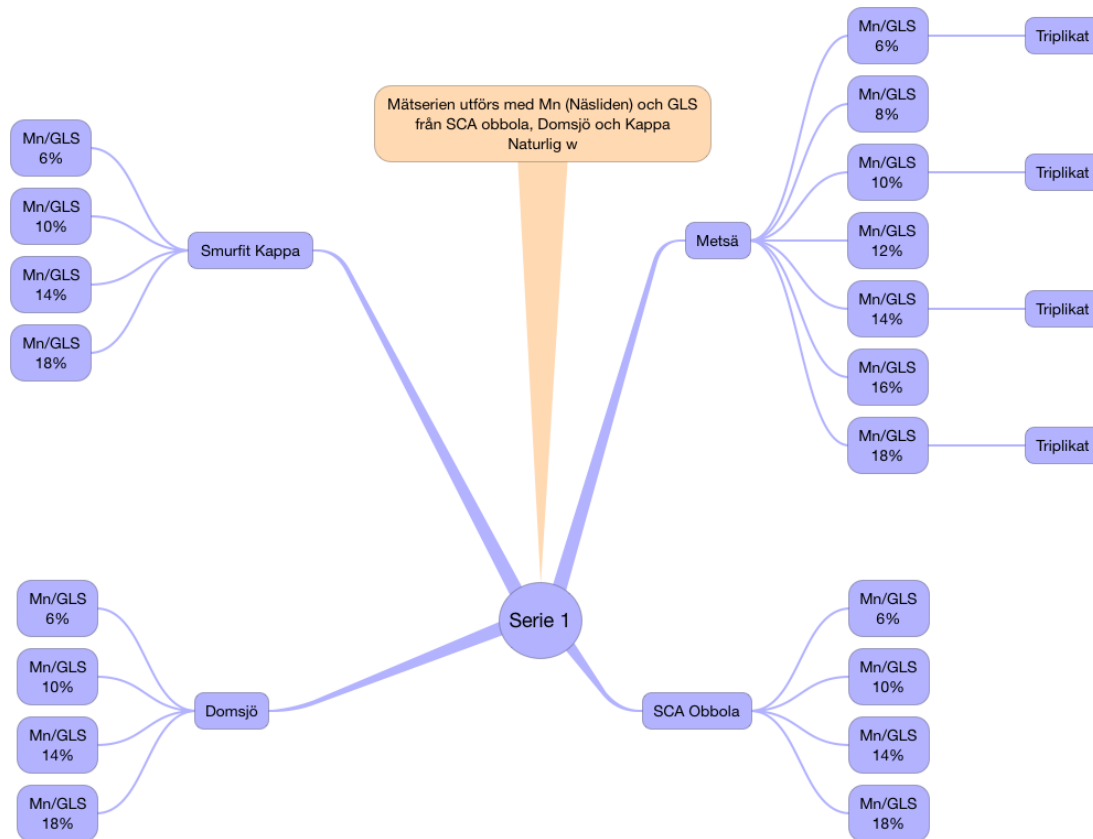
Försöken som utfördes var mätning av MCV, kopplat till densitet, vattenkvot och täthet hos Mn/GLS-blandningar, med olika GLS –material och tre olika moräner med varierande finjordshalt från Sunderbyn, Brännkläppen respektive Näsliden. Skillnaderna mellan dessa är att Sunderbyns morän hade ca 10 % finjordshalt, medan Brännkläppens och Näslidens moräner hade en finjordshalt på ca 30 %. I de första försöken låg fokus på blandningar av Metsä Boards grönlutslam och Näslidens morän. Förutom GLS från Metsä Board har även slam från SCA Obbola, Domsjö och Smurfit Kappa undersökts. I en kompletterande undersökning under 2016 har även GLS från Billerud undersökts.

Demonstrationsprojektet i Näsliden har senarelagts i flera omgångar och har försenats med drygt ett år. Ursprungsplanen var att MCV-försöket skulle verifieras i fält under sensommaren/hösten 2015.

Orsaken till senareläggningen var varierande och osäkra resultat vad gäller tätheten hos tillverkade Mn/GLS-prover med Metsä Boards GLS. Under våren 2016 utförde Boliden parallella studier för att utveckla metodiken för laboratorieundersökningar och hitta ett lämpligt grönlutslam som ersättning. Detta har resulterat i ny metodik för packning och permeabilitetsundersökning av Mn/GLS-blandningar, och nytt recept för demonstrationsprojektet på Näsliden har tagits fram. På grund av kvalitetsproblem med Metsä Boards GLS på plats på Näsliden, valdes Billeruds GLS för sluttäckningen av Näsliden. I och med detta har en serie kompletterande undersökningar, motsvarande den undersökning som gjordes med Metsä Boards GLS, utförts under våren 2016.

Exempel på blandningsserierna som utfördes redovisas i figur 4.1. Genomförda studier visar att transport av morän och GLS, samt tillverkning och utläggning av Mn/GLS bedöms

rymmas väl inom det kostnadsfönster som gruvindustrin har budgeterat för en efterbehandlingsåtgärd.



Figur 4.1 Mätserien som utföres med Näslidens Mn, enligt den ursprungliga planeringen.

Resultaten i sin helhet visar att MCV går att användas som indikator på blandningskvalitet för moränmaterial som har finjordshalt över  $\geq 30\%$ . Metoden fungerar inte för Mn med finjordshalt kring ca  $10\%$ . Förutsatt kännedom om ingående moräns och grönlutslams vatteninnehåll, och en i förväg framtagen kalibreringskurva, fungerar MCV-metoden som indikator för följande:

- Visar om blandningens homogenitet är godkänd eller inte
- Visar om något av de ingående materialen har förhöjt vatteninnehåll

Försejningen och tveksamheter kring utförandet av entreprenaden under sommaren 2015 och extra/kompletterande undersökningar under 2016 och byte av laboratorium ledde till att budgeten inte följer den som angavs i projektansökan, samt att delar av projektet kommer att bli klara under andra halvan av augusti/september 2016. Demo-projektet utförts med start 8 augusti 2016, där MCV prövas i full skala. Därmed har workshop inte kunnat genomföras, men en sådan planeras till hösten 2016.



## **5. FORTSATT ARBETEN**

Arbetet fortsätter med demonstrationen i Näsliden. Under vecka 32-33 kommer 3000 m<sup>2</sup> att efterbehandlas och utvärderas. Här utvärderas MCV-metoden i full skala. Metoden är implementerad i entreprenadkontrollen och kommer att vara en viktig del i kontrollen på blandning och utförande. Efter utvärdering av detta arbete kommer ca 1 – 1,5 ha yta att täckas med metodiken, förutsatt att den fungerar väl.

## **6. IDÉER TILL NYA UTVECKLINGSPROJEKT**

Vår förhoppning är att rapporten ska fungera som ett stöd för genomförande av kvalitetskontroll med avseende på blandningskvalitet och packningsegenskaper hos tätskikt med blandning av morän och grönlutslam. Det finns dessutom stor möjlighet att koppla ihop MCV-värdet för Mn/GLS till andra geotekniska egenskaper som hållfasthet, bärighet, permeabilitet och vattenhållningstal, vilket kan bidra till ökad kvalitet hos sluttäckningskonstruktioner i framtiden. Här föreligger ett tydligt forsknings- och utvecklingsbehov.

**7. EKONOMISK REDOVISNING**

<b>Projektkostnader (1)</b> <b>/utgiftstyp</b>	<b>Kontanta medel</b>	<b>Natura</b>	
Lönekostnader	200 000 kr	50 000 kr	
Konsultkostnader	101 000 kr	- kr	
Materialkostnader	40 000 kr	10 000 kr	
Resekostnader	15 000 kr	- kr	
Utrustningskostnader	20 000 kr	- kr	
Övriga kostnader	- kr	- kr	
<b>Summa kostnader</b>	<b>376 000 kr</b>	<b>60 000 kr</b>	
<b>Totala kostnader</b>			<b>436 000 kr</b>

<b>Projektkostnader (2)</b> <b>/delaktivitet</b>	<b>Kontanta medel</b>	<b>Natura</b>	
A1&2 - Labförsök, serie 1&2 (MCV)	101 000 kr	5 000 kr	
A3 - Kalibr., serie 3 (samt utvärdering)	140 000 kr	- kr	
B - Utvärdering (MCV - Proctor)	40 000 kr	- kr	
D - Demonstration fält	45 000 kr	5 000 kr	
E - Workshop	- kr	50 000 kr	
F- Rapportering	20 000 kr	- kr	
Projektadministration	30 000 kr	- kr	
<b>Summa kostnader</b>	<b>376 000 kr</b>	<b>60 000 kr</b>	
<b>Totala kostnader</b>			<b>436 000 kr</b>

<b>Finansiering</b>	<b>Kontanta medel</b>	<b>Natura</b>	
SP Processum	100 000 kr	20 000 kr	
SCA Packaging Obbola AB	- kr	10 000 kr	
Domsjö Fabriker AB	- kr	10 000 kr	
Ragn-Sells AB	- kr	5 000 kr	
Ecoloop	- kr	5 000 kr	
Swerock AB	- kr	5 000 kr	
Ramböll	- kr	5 000 kr	
Boliden	105 000 kr	- kr	
Boliden (A3)	135 000 kr	- kr	
Boliden (Material)	36 000 kr	- kr	
<b>Summa finansiering</b>	<b>376 000 kr</b>	<b>60 000 kr</b>	
<b>Total finansiering</b>			<b>436 000 kr</b>

Notera att fältarbetet utförs den 8 augusti avslutas under vecka 33 och workshopen planeras till hösten 2016.

## 8. SAMMANFATTNING AV RESULTATEN

### 8.1. Generellt

MCV-metoden fungerar väl och det finns ett klart samband mellan MCV, torrdensitet, andel GLS och vattenkvot, samt blandningens täthet. MCV bedöms fungera som kontrollmetod vid blandning av morän och grönlutslam. Metoden fungerar med undersökta GLS och med siktad morän med silthalt  $\geq 30\%$ . För grövre moräner (silthalt  $\leq 10\%$ ) fungerar inte MCV-metoden. Dessa begränsningar behöver utredas vidare, men bedömningen är att finjordshalt  $> 20\%$  krävs för att MCV-metoden ska kunna användas.

### 8.2. Platsspecifika slutsatser

Platsspecifik vattenkvot för Näslidenmoränen var 7 % och Billeruds GLS hade en vattenkvot på 79 %. Andelen GLS 6 % till 18 % har undersökts med fem olika GLS-material. MCV-metoden fungerar som kontrollmetod av densitet för samtliga GLS-material inblandat med Näslidenmoränen. Utifrån laboratorieförsöken ger en tillsats av 7 – 14 % GLS (Billerud) tillräckligt bra täthet ( $k \leq 10^{-8}$  m/s).

Med hänsyn till att de ingående materialens vattenkvot kan variera, bedöms Mn/GLS med ca 8 - 12 % GLS (Billerud) kunna uppfylla täthetskriteriet. I fält har MCV-metoden tillsammans med densitetskontroll av utlagd Mn/GLS och och TS-halter bidragit till att välja en blandning med ca 10,7% GLS. Densitetskontroll av den utlagda och packade Mn/GLS-blandningen visar att Mn/GLS-skiktet har en torrdensitet som är högre än  $1800 \text{ kg/m}^3$  i hela den utlagda profilen på 0,5 m.,

### 8.3. MCV som kontrollmetod

Kvalitetskontrollen av de ingående materialen och blandningen är viktig för Mn/GLS-blandningens torrdensitet och täthet. Med MCV-metoden kan blandningens torrdensitet kontrolleras i realtid, vilket ger god bild av blandningens homogenitet. Kontrollen som utförs dagligen på blandat Mn/GLS ger möjlighet att justera blandningsreceptet nästkommande dag. Metodens MCV-värde kan i dagsläget inte användas som riktvärde då MCV-värdet varierar i och med olika förhållanden i lab och fält. Metoden ger torrdensitet som kan med fördel integreras i kontrollplanen som för efterbehandling med Mn/GLS.

För att kunna även nyttja MCV-värdet som kontroll i fält måste fält och labförhållanden kalibreras.

## 9. PUBLIKATIONER OCH KONFIDENTIALITET

Inga.

## 10. REFRENSER

M. Filipsson, P. Odén, C. Maurice och J. Mácsik (2015) Efterbehandling av gruvavfall med morän/grönlutslam i tätskiktskonstruktionen- Massor med fördelar. Bygg och Teknik 1/15.

Mácsik J., Maurice C., Edeskär T., Erlandsson Å och Persson E. 2011 Utformning av skyddsskikt, beständighet. Värmeforsk, rapport nummer Q9-714.

Mäkitalo, M (2012) Green liquor dregs as sealing layer material to cover sulphidic mine waste deposits. Licentiate Thesis. Luleå University of technology.

Mácsik J., Maurice C., Odén P., Bergknut M. och Svedberg B. (2015 prel. rapport)  
Vägledning - Efterbehandling av gråbergsupplag med morän modifierad med grönlutslam. SP Processum-rapport.

Per Lindh 2004. Compaction- and strength properties of stabilized and unstabilised fine-grained tills. Doctoral thesis. Rapport 66, SGI.