

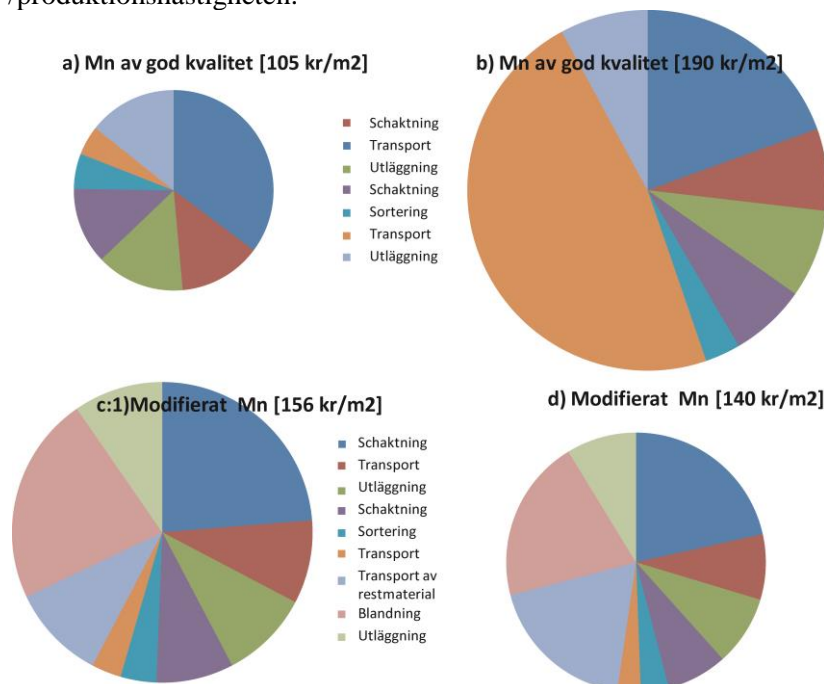
Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Sammanfattning

Gruvindustrins efterbehandling av sand- och gråbergsmagasin kräver stora volymer morän med hög täthet. Att lokalisera lämpligt moränmaterial nära efterbehandlingsområdet är därmed en viktig kostnadspost vid sluttäckningen. Ett sätt att nyttja lokalt förekommande mindre tät morän är att modifiera moränens finkornshalt. Grönlutslam som är ett finkornigt restmaterial från massaindustrin kan bidra till att höja ett permeabelt moränmaterials täthet så att det uppfyller funktionskravet på tätskikt.

Resultaten indikerar att restmaterial som grönlutslam har god potential att kunna nyttjas som konstruktionsmaterial vid efterbehandling av gruvavfall. En inblandning av ca 10 % (våtvikt) grönlutslam till morän bedöms 1) uppfylla funktionskravet på täthet, 2) öka tätskiktets vattenhållningskapacitet (förbättra dess funktion som syrebarriär) 3) vara tekniskt möjlig att blanda, hantera och lägga ut. Rapportens resultat indikerar vidare att grönlutslam har god ekonomisk potential i de fall där avståndet till moräntäkt med bra moränkvalitet är större än några mil, se figur nedan.

Transporten av grönlutslam och blandningen av morän med grönlutslam är två stora kostnadsposter. Transportkostnaden kan minskas genom att nyttja transportmedel som sjö- eller tågtransport. Blandningskostnaden kommer att variera beroende på moränens och grönlutslammets kvalitet. Kvalitetskontroll av både morän och grönlutslam innan blandningsförfarande bedöms kunna öka produktionen markant genom att oönskade produktionsstopp kan undvikas. Blandningskostnaden styrs främst av tillverknings-/produktionshastigheten.



Figur: Efterbehandlingskostnad baserat på följande förutsättningar, a) Morän (Mn) finns lokalt 0,1 mil från efterbehandlings- (EBH-) platsen; b) Moräntransporteras 2 mil till EBH; c) Lokalt förekommande morän modifieras med 10 % grönlutslam (GLS), där kostnaden att transportera GLS är 150 kr/ton; d) som i fallet c, men utan transportkostnad.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Innehållsförteckning

1.	Inledning	4
1.1.	Bakgrund.....	4
1.2.	Problemställning och mål.....	5
1.3.	Deltagande parter och projektutförande.....	6
1.4.	Metod och tillvägagångssätt.....	6
1.5.	Avgränsning.....	7
2.	Aktörer och frågeställningar	8
3.	Inventering av gruvindustrins efterbehandlingsbehov	9
3.1.	Gråberg	9
3.2.	Anrikningssand	9
3.3.	Efterbehandling.....	10
3.4.	Tätskiktslösningar	11
4.	Massaindustrins restprodukter	13
5.	Tekniska egenskaper hos blandning av morän respektive anrikningssand med grönlutslam	15
5.1.	Resultat och diskussion.....	15
5.2.	Materialkaraktisering	19
6.	Transportlogistik och ekonomi	20
6.1.	Efterbehandling med morän (nollalternativ).....	20
6.2.	Industriella restmaterial.....	21
6.3.	Transport av restmaterial	21
6.4.	Modifiering och utläggning (Entreprenaden).....	23
6.5.	Efterbehandlingsåtgärdens kostnad.....	24
7.	Potential	26
7.1.	Ekonomisk/kommersiell potential	26
7.2.	Teknisk potential.....	27
7.3.	Hållbarhetspotential (avseende miljö- och resursmässig hållbarhet).....	27
8.	Resultat och måluppfyllelse	28
9.	Fortsatt arbete.....	29
9.1.	Idéer till nya utvecklingsprojekt	29
10.	Ekonomisk redovisning.....	30
11.	Referenser	31

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund

Gruvindustrin har fokus på att efterbehandlingsåtgärderna ska vara miljöriktiga, långsiktiga och kostnadseffektiva. Massaindustrins restmaterial bedöms ha god potential som sluttäckningsmaterial i och med funktionella egenskaper som kan bidra till miljöriktiga och långsiktiga lösningar. Det måste också visas att lösningen är tekniskt genomförbar och kostnadseffektiv.

1.1.1. Massaindustrin

Vid tillverkning av massa- och papper bildas restprodukter som bland annat grönlutslam, (GLS) kalkgrus, mesa, flyg- och bottenaska. Industrins målsättning är att avfall som uppstår ska återanvändas så långt det är möjligt. Nämnda restprodukter används idag som konstruktions- eller täckningsmaterial av avslutade deponier eller som jordförbättringsmedel. Av det avfall som uppkommer deponeras idag 5 %, resten återvinns. Ett avfallslag som fortfarande deponeras i hög grad är grönlutslam. Den årliga produktionen av GLS bedöms vara 100 000 – 150 000 ton.

1.1.2. Gruvindustrin

Den globala produktionen av gruvavfall uppgår till 15 000 - 20 000 miljoner ton avfall årligen (Lottermoser 2007). Sverige är en av EUs främsta gruvnationer. Sverige producerar mest järn, och är bland de ledande producenterna av guld, silver, koppar, bly och zink. Gemensamt för dagens och framtidens gruvor är att de ofta är belägna i områden med känslig och ekologiskt värdefull miljö.

Koppar, zink, bly och guld förekommer ofta i form av sulfidmineraliseringar. De flesta aktiva sulfidgruvorna finns främst i Västerbotten och i Norrbotten. Det finns dock flera andra gruvor i drift (t.ex. Garpenberg, Zinkgruvan, Lovisagruvan) och det finns planer att återuppta driften i södra Sverige, i Bergslagen.

Gruvdriften genererar två huvudtyper av avfall, gråberg och anrikningssand. Båda kan innehålla svavelmineraliseringar. Gråberg domineras av grövre material som måste tas bort för att nå malmen och finmalet anrikningssand som genereras vid malmförädling. Varje år genereras ca 80 miljoner ton gruvavfall och en betydande andel av dessa är sulfidrika material. Mängden malm som bryts ökar i takt med att nya fyndigheter med låghaltig mineralisering exploateras. En konsekvens av att låghaltiga malm bryts är även att mängden gruvavfall ökar. Den ackumulerade mängden sulfidmalmavfall i Sverige uppskattas till över 700 miljoner ton. Strävan är att effekterna av gruvavfall på omgivningen ska vara så liten som möjligt. Detta ställer höga krav både på gruvdriften och på bl.a. avfallshanteringen och efterbehandlingen av avfallsupplagen. Miljömyndigheterna i Sverige kräver efterbehandlingslösningar som är långsiktiga och underhållsfria (nästa istiden perspektiv), och behandlingsmetoder som att "kalka för evigt" är inget alternativ.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
 - teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Gruvavfall med sulfidinnehåll kan bilda surt lakvatten med höga halter av tungmetaller, som koppar, zink, bly, kadmium osv. (s.k. Acid Rock Drainage –ARD). För att minska ARD kan man antingen agera förebyggande (strypa syretillförseln) eller minska ARD:s miljöeffekter genom att höja pH och binda tungmetallerna. I Sverige, när deponiområdena avslutas, syftar dagens efterbehandlingsmetoder för gruvavfall till att minska mängden syre som når avfallet genom att lägga på jord/moräntäckning eller vattentäckning. Detta grundar sig på att löslighet och diffusion av syre är mycket lägre i vatten än i luft. Jordtäckning innehåller därför oftast ett tätskikt med låg hydraulisk konduktivitet och hög vattenmättnad.

1.1.3. Massaindustrins restprodukter vid efterbehandling (EBH) av gruvavfall

Idag arbetas med att hitta restprodukter med lämpliga egenskaper för att efterbehandla gruvavfall. Miljögeotekniska egenskaper hos flygaskor, grönlutslam, bottenaskor, mesa och kalkgrus har undersökts av bl.a. Pousette & Mácsik, 2000, Mäkitalo, 2010. Efterfrågade funktioner hos efterbehandlingskonstruktioner är syrebarriär, pH-buffring och täthet (hydraulisk). Material med störst potential är sådana som kan 1) ersätta mer än sin vikt/volym (jämförmaterialet är morän), 2) transporteras med god ekonomi, och 3) hanteras effektivt på plats. Dvs. materials lämplighet bedöms baserat på teknik, ekonomi, miljö, hantering och logistik.

GLS är ett av de restmaterial som produceras i stora volymer. GLS används i dagsläget som konstruktionsmaterial på deponier. GLS består av aska, lignin, och rester av kokkemikalier. Grönlutslammet har siltig konsistens, består framför allt av kalcium, men det innehåller också mer magnesium än barkaskan samtidigt som halterna av tungmetaller är låga. Ett av grönlutslammets främsta kvalitéer är att det innehåller mycket vatten och att det är hårt bundet dvs svårtorkat vilket gör det lämpligt att användas i en barriär mot syre. Detta är samtidigt en begränsning då transport av vatten är kostsam. Därför finns det ett intresse att torka GLS för att kunna transportera det och återfukta det inför användning vid efterbehandling. Grönlutslam undersöks vid Luleå tekniska universitet sedan 2008. GLS bedöms ha potential vid behandling av gruvavfall tack vare sina basiska och hydrauliska egenskaper (Maurice et al 2010; Chtaini et al 2001; Maurice et al 2009; Mäkitalo et al 2010). Grönlutslam som testats kommer främst från Billerud, Karlsborg. Ett annat pågående projekt är ”Neutralisering av sura gruvavfallsdeponier med grönlutslam” (Lotta Sartz och Mattias Bäckström), med fokus på injektering av bl.a. grönlutslam i exempelvis varphögar.

1.2. Problemställning och mål

Projektets problemställning är följande:

- finns grönlutslam i tillräcklig volym, för efterbehandling av gruvområdena
- kan grönlutslam sänka tätheten hos morän
- kan transportlogistiken mellan bruken och gruvområdena lösas med god ekonomi
- hur bör morän blandat med grönlutslam hanteras vid blandning och utläggning som tätskikt
- är den modifierade moränen en ekonomiskt, tekniskt och ur miljösynpunkt intressant lösning?

Syftet med projektet var att bedöma möjligheten att nyttja massaindustrins restmaterial vid efterbehandling av gruvavfall baserat på teknik, ekonomi, miljö, hantering och logistik.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Projektet har fokuserat på grönlutslam som restmaterial. Målsättningen var att baserat på resultat från utredningen ge förslag på material och lösningar som på miljöriktigt sätt kan sänka efterbehandlingens kostnad.

1.3. Deltagande parter och projektutförande

I projektet har följande organisationer deltagit:

- Gruvindustri (Boliden och Dragon Mining)
- Massaindustri – Medlemsföretag (SCA-Obbola, Holmen Paper-Iggesund Paperboard, m.fl.)
- Entreprenör (Ragn-Sells AB)
- Hamn (Piteå Hamn)
- SP Processum
- Akademi-lab (Luleå tekniska universitet)
- Utförare (Ramböll och Ecoloop)

Medverkande organisationernas bidrag

- Gruvindustrin har deltagit genom deltagande i intervjuer om framtida efterbehandlingsbehov och vilka tekniska och miljökrav som ställs på efterbehandlingskonstruktionen.
- Massaindustrin svarade på intervjufrågor om vilka avfall/restmaterialströmmar som finns idag, volymer avfall, vilka avsättningsmöjligheter som finns idag mm. Ragn-Sells AB intervjuades om sina erfarenheter vad gäller sluttäckning av kommunala deponier med restmaterial, främst grönlutslam. Här diskuterades teknik, produktionskapacitet, produktions- och utläggningskostnader.
- Piteå Hamn intervjuades för att undersöka möjligheten för sjötransport, att ta emot och mellanlagra exempelvis grönlutslam, samt transport- och hanteringskostnader.
- Processum har följt arbetet och bidragit med viktig information om medlemsföretagens intressen.
- Luleå tekniska universitet utfört laboratoriearbeten med modifiering av morän och anrikningssand med grönlutslam som tillsatsmedel.
- Ramböll och Ecoloop har utfört intervjuerna och sammanställt rapporten. (Intervjuerna är en delmängd i SIMM-Center/Optimass map "Upgrading of low quality soils for construction purposes).

1.4. Metod och tillvägagångssätt

Genomförande - Metod och tillvägagångssätt

Projektet har delats upp i tre delprojekt. Delprojekt a-c utgörs huvudsakligen av intervjuer och sammanställning av vetenskaplig forskning inom området. Intervju har gjorts med bl.a. Bolidens handläggare som arbetar/arbetat med efterbehandling och representanter från industrin som generera potentiella restmaterial, Intervjuunderlaget utarbetades så att efterbehandlingsbehovet går att "para" ihop med material som har lämpliga miljötekniska egenskaper.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

- a) **Inventering av efterbehandlingsbehov.** Boliden och Dragon Mining har samlad erfarenhet av olika efterbehandlingsalternativ och kostnader kopplade till dessa. Det gjordes även en kostnadsbedömning baserat på utförda efterbehandlingsobjekt.
- b) **Inventering** av främst grönlutslam. Av intresse är att samla in information om vilka producenter som är av intresse baserat på materialegenskaper, volymer, transportkostnader, logistik, och hantering samt gruvornas behov av respektive material. Fokus i arbetet har legat på grönlutslam som restmaterial. En översiktlig laboratorieundersökning gjordes på grönlutslam med avseende på karakterisering av materialegenskaper. I delprojektet görs bedömning baserat på laboratorieförsök och tidigare erfarenheter om grönlutslam kan ersätta flera gånger sin vikt/volym i en applikation.
- c) **Transportlogistik och ekonomi:** Transportkostnader, transportmedel, avstånd, transportlogistik, hanteringsfrågor, alternativa kostnader etc. är viktiga frågeställningar som avgör om de tekniskt lämpliga lösningarna är genomförbara. Syftet är att prioritera det som ur ekonomisk, teknisk och miljömässig samt hanteringssynpunkt passar och som kan sänka efterbehandlingskostnaderna och/eller ge bättre resultat jämfört med traditionella (jungfruliga) material/lösningar.

1.5. Avgränsning

Projektets huvudsakliga fokus ligger på att använda grönlutslam för att modifiera morän som inte uppfyller funktionskravet på tätskikt vid efterbehandling av gruvavfall.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
 - teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

3. INVENTERING AV GRUVINDUSTRINS EFTERBEHANDLINGSBEHOV

Vid gruvbrytning skapas stora mängder restprodukter i form av gråberg och anrikningssand. I de fall gråbergs- och sandmagasinen utgörs av stor andel syraproducerande sulfidmineral utförs efterbehandlingsåtgärden i syfte att hindra syretransport till avfallet och dess oxidering.

Gråbergssupplag byggs generellt i höjd, med branta sidor och en flack överyta. Sandmagasin byggs upp genom pumpning av sand tillsammans med processvatten i naturliga eller konstgjorda bassänger. Sandmagasinet däms vanligtvis upp av en damm. Delar av sandmagasinet är täckt med vatten och delar är så kallad "beach" dvs sandstrand som anläggs mot dammen. Funktionskraven på efterbehandlingsåtgärden som ska förhindra syraproduktion i magasinen kan i stora drag sammanfattas med:

- Täthet
- Syrebarriär
- Hanterbart i fält
- "Förlåtande"
- Långsiktigt beständigt

3.1. Gråberg

Gråberg har en sammansättning av block till finmaterial, vilket medför att både erosion och materialsegregation förekommer på ett gråbergsdeponi. Materialtransport med gravitation medför att finmaterial kan transporteras allt djupare i gråbergsdeponin, där det anrikas. Detta lämnar efter sig grovmaterial med stor porvolym. På slänter sker både erosion och anrikning av finare material genom vertikal finmaterialtransport med vatten. I dag görs ofta separering av gråberg utifrån risk för syraproduktion. PAF-gråberg (Potentially Acid Forming) skiljs från gråbergsmassor som bedöms som icke syraproducerande, NAF (Non-Acid Forming). En viss osäkerhet förekommer dock i samband med denna separering och felaktig deponering av PAF-gråberg kan ske.

3.2. Anrikningssand

Restprodukten från anrikningsprocessen kallas anrikningssand och erhålls ofta som slurry, d.v.s. sand uppblandad med vatten, eftersom anrikningen vanligtvis är en våt process. Vatteninnehållet är så högt att anrikningssanden med hjälp av pumpning eller självfall kan transporteras från anrikningsverket till deponeringsplatsen i rör eller kanaler. Sanden pumpas med en TS-halt på ca 40 %. Anrikningssand betecknas som siltig sand, men det kan förekomma leriga fraktioner. I den finmalda anrikningssanden finns det rester av metaller och därför förvaras anrikningssanden i en miljö där den inte skadar naturen. I exempelvis Aitik är sanden uppdelad i lågsvavlig och högsvavlig anrikningssand, (LS-Sand respektive HS-Sand). Några olika metoder för förvaring av anrikningssand är:

- Magasin ovan mark omgärdade av naturliga höjdparter och dammkroppar
- Återfyllning av berggrum som bildats vid malmbrytningen
- Torr lagring i upplag efter avvattning

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Balansen mellan syrabildande och syrabuffrande mineral är väsentlig för hur omgivningen påverkas av avfallet. Viktiga faktorer för vittring av gruvavfall är:

- Sammansättning av mineral i avfallet
- Kornstorlek
- Tillförsel av syre
- pH
- Temperatur
- Förekomst av bakterier

3.3. Efterbehandling

Målsättningen med efterbehandlingsåtgärden är att lämna efter sig en konstruktion som smälter in i omgivningen och är miljömässigt säker. Detta sker genom att arbeta med landskapsbild och utnyttja topografin, bilda våtmark och därmed tillföra positiva värden. Ur miljösynpunkt är det viktigt att säkra att området inte påverkar sin omgivning negativt varken på kort eller lång sikt. Brytning av sulfidmalm genererar gråberg och anrikningssand som kan genom syresättning oxidera och bidra till försurade yt- och grundvatten samt utsläpp av metaller, arsenik mm. Efterbehandlings huvudspår är att vatten- eller torrtäcka efterbehandlingsområdet och därmed minska syrets nedträngning, men bibehålla infiltration av nederbördsvatten. Torrtäckning är typisk metod som används för gråbergsupplag och för ”beach” områden för anrikningssand. Vattentäckning dominerar som efterbehandlingsmetod för anrikningssand. Rapportens fokus ligger på efterbehandlingsmetoder med torrtäckning och tät-/ skyddsskiktets funktion.

Aktuella frågeställningar är vattenbalansen i sandmagasinen och hur särhållningen av de gråbergskvaliteterna PAF respektive NAF lyckats. Dessa faktorer kommer att påverka valet av EBH lösning från mindre kvalificerade i fallet med NAF-gråberg till mer kvalificerade lösningar i de fall det förekommer PAF gråberg i magasinet.

Förutsättningarna för efterbehandling är olika om upplaget för gråbergs och sandmagasin ligger i ett område som är aktivt, d.v.s. brytningsverksamhet pågår eller där gruvverksamheten är nedlagd. Utrymmet för hantering och lagring av konstruktionsmaterial, tillgången till maskiner och därmed utformningen av entreprenadens tid varierar. I vissa fall finns det behov av att efterbehandla i etapper som kan pågå under flera år, medan andra måste efterbehandlas under en säsong (tre till fyra månader) för att undvika extra etableringskostnader.

Materialvalet till tätskiktet kommer att påverka konstruktionens funktion, beständighet, täthet mm. Normalt används täta moräner i tätskiktet vid efterbehandling av sulfidhaltigt gråberg eller anrikningssand. Lokalisering av morän med bättre kvalitet (täta moräner) är dock en viktig kostnadsfråga eftersom långa transportavstånd kommer att påverka m² priset på efterbehandlingen.

3.3.1. Torrtäckning

Den torra efterbehandlingsåtgärdens funktion är att hindra syreinträngning till gråberget genom att bromsa det infiltrerande vattnets hastighet och minimera dess syreinhåll. För att uppnå detta används idag tät morän. Konstruktionens utformning och mäktighet varierar beroende på det deponerade materialets potential för syraproduktion. Den rekommenderade

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

mäktigheten är 2 m morän, med 1,5 m skyddsskikt som överlagrar ett 0,5 m tjockt tätskikt med krav på en högsta hydraulisk konduktivitet på 10^{-8} m/s. Som exempel kan nämnas att siktad morän (< 20 mm) med silthalt på ca 30 % inte klarar täthetskravet på 10^{-8} m/s.

Materialbehovet till en yta på 1 m^2 är $0,5 \text{ m}^3$ tät morän och $1,5 \text{ m}^3$ morän utan större krav på täthet. Kravet på den täta moränen medför i vissa fall att det är svårt att hitta rätt morän i närområdet. Moränens skrymdensitet ligger på ca 2 ton/m^3 . Till tätskikt på 0,5 m går det åt ca 1 ton morän per kvadratmeter EBH-yta. En efterbehandlingsyta på 1 hektar ($10\,000 \text{ m}^2$) behöver 10 000 ton morän med funktionskrav på täthet (< 10^{-8} m/s) och till det överliggande skiktet på 1,5 m blir mängden 30 000 ton morän med lägre täthetskrav.

Alternativa tätskiktlösningar med bentonit- eller plastmatta minskar behovet av tät av morän. Dock tillkommer transport och hantering av materialavskiljande skikt som omger och skyddar tätskiktet. Under tätskiktet tillkommer sandmaterial som skyddar tätskiktet från punktering. Ovan tätskiktet måste skyddande skikt läggas av samma anledning. Tätskiktets täthet ligger generellt på $\gg 10^{-9}$ m/s, vilket begränsar vattentransporten igenom tätskiktet. Det är viktigt att kvalitetssäkra för att motverka brott och punktering av tätskiktet.

3.4. Tätskiktlösningar

Morän är ett heterogent material. Beroende på ursprungsbergartens sammansättning och transportavståndet dominerar vissa kornstorlekar, exempelvis lerig morän med kalksten och grusig morän med granit som utgångsmaterial. Morän är ett osorterat material med många olika kornstorlekssammansättningar. Det är också viktigt att notera att i och med en heterogen sammansättning kan moränens kvalitet variera även inom samma geografiskt avgränsade område. Väl packade leriga moräner kan ha hydraulisk konduktivitet i storleksordning 10^{-8} – 10^{-10} m/s. Hårt packad välgraderad sandig morän har hydraulisk konduktivitet mellan 10^{-6} – 10^{-10} m/s. Siltig moräns hydrauliska konduktivitet ligger mellan 10^{-7} – 10^{-9} m/s, där 30 % silthalt ger $k < 10^{-8}$ m/s. Sambandet mellan moränens täthet och dess kornstorlekssammansättning är dock inte lika tydlig som för graderade jordarter. Packningsgrad och kornens orientering, skikt av sorterat material är viktiga faktorer som bestämmer tätheten. Dessutom kan tätheten påverkas av inre erosion genom sedimentering och transport som drivs av tjälning- och upptyningsprocesser, markvattenrörelser etc.

Ett sätt att förändra moränens heterogenitet och öka dess täthet, är att justera materialets kornstorlekssammansättning genom att avlägsna större stenar och tillsätta finmaterial. En annan viktig faktor för tätheten är materialets packningsgrad. Av massaindustrins restmaterial är det främst grönlutslam och mesa som kan bidra till ökad täthet. Båda materialen är i ler- och siltfraktion och har låg hydraulisk konduktivitet. Grönlutslam har en hydraulisk konduktivitet som under gynnsamma förhållanden är $< 10^{-9}$ m/s. Genom inblandning av grönlutslam bedöms även morän som inte uppfyller funktionskravet, kunna klara kravet som ställs på tätskiktapplikationer. Mängden grönlutslam som behöver blandas in i en siltig morän, för att sänka dess hydrauliska konduktivitet till värde $< 10^{-8}$ m/s, ligger runt 10 % (våtvikt), men kan variera med moränkvalitet och med grönlutslammets kvalitet. Tillsatsmängden måste därför anpassas beroende på moränens kornstorlekssammansättning och grönlutslammets vattenkvot (TS-halt).

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Baserat på dagens empiri vad gäller sluttäckning av deponier med blandningar av grönlutslam och stensmjöl alternativt grönlutslam med flyg- och bottenaska, ligger tillverkningskostnaden på att blanda morän med ca 10 vikt% grönlutslam på ca 35 – 45 kr/m² färdig blandning per m² om tätskiktets tjocklek är 0,5 m. Mängden färdig blandning ligger runt 50 ton i timmen med dagens utrustning. Utläggingskostnaden av tätskiktet på 0,5 m ligger på ca 15 kr/m². Kostnaderna kan dock skjutas i höjden vid störningar i produktion och utläggning.

Dagens praxis är anpassat till att sluttäcka kommunal deponier, där sluttäckningstakten är lägre än det som efterfrågas av gruvnäringen. Industrins produktion av restmaterial är generellt långsam och verksamheten med sluttäckning kan pågå under flera år med 1 – 2 hektar per år. Blandningshastigheten på ca 50 ton/timme är anpassad för detta behov. I många fall består tätskiktetsmaterial till 100 % av restmaterial, vilket motsvarar ca 6 000 - 7 000 ton/år för 1 hektar yta. Större ytor än så är det svårt att sluttäcka med fallande restmaterialströmmar, jämför med produktionstakt av restmaterial. Typiskt är också att transportkostnaderna är låga och transportavstånden är korta. Alternativet att deponera restmaterialet har i storleksordning samma transportkostnad som att återanvända det på deponin som sluttäckningsmaterial.

Gruvindustrins målsättning är att efterbehandla i storleksordning 5 - 15 hektar deponiyta under en sommar. Med en restmaterialinblandning på 10 % handlar det om i storleksordning samma mängd restmaterial som vid sluttäckning av deponier, d.v.s. ca 10 000 ton. Som det framgår av Tabell 4.1 är det få producenter som kan leverera denna mängd under en säsong. Mellanlagring av mer än ett års produktion kan bli nödvändigt.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

4. MASSAINDUSTRINS RESTPRODUKTER

Typiska restmaterial som uppstår vid produktion av papper är grönlutslam, mesa, kalkgrus, flygaska, bottenaska och fiberslam. Inventering visar att typisk produktion är 500 ton till 15 000 ton per restprodukt och bruk. Grönlutslam är i dagsläget undantaget från deponiskatt, men deponering av andra restmaterial beskattas med 438 kr/ton. Enligt branschen återanvänder massaindustrin ca 95 % av sina restmaterial som konstruktionsmaterial, jordförbättringsmedel etc. I Tabell 4.1 redovisas valda massabruks årligen genererade restmaterialmängder.

Grönlutslam produceras dagligen och nyttjas idag på flera ställen i tätskiktapplikationer. Grönlutslammet har låg TS-halt (höga vattenkvot) och är svår att hantera, exempelvis packa (kompaktera). I syfte att förbättra grönlutslammets egenskaper tillsätts ofta stenmjöl alternativt olika askor vilket förbättrar materialets hållfasthets- och packningsegenskaper. Inblandningen av den tillsatsen till grönlutslam är generellt mellan 10 och 30 %. Hos flera entreprenörer finns det erfarenhet av grönlutslam som tätskiktmaterial vad gäller funktion, hantering och ekonomi.

Mesa och kalkgrus är restmaterial som har avsättning som kalkningsmedel inom jordbruk och gruvindustrin. Mesa produceras generellt en gång i veckan, medan kalkgrus uppstår 3 – 4 gånger per år och orsakas av produktionsproblem.

Flyg- och bottenaska från biobränslepannor produceras dagligen och avsätts som konstruktionsmaterial på deponier under tätskikt. Flygaskor är reaktiva och vid tillsats av vatten utvecklas värme i och med släckning av CaO. Flygaskor har också använts som bindemedelskomponent vid stabilisering av jord och sediment.

Fiberlera eller fiberkalk har använts i tätskikt och skyddsskikt konstruktioner på deponier. Materialet består av upp till 50 % oorganiska komponenter, bl.a. lera och kalk.

Tabell 4.1 SCA Obbola och Mondi-Dynäs intervjuades angående avfallsströmmar. I ett parallellt projekt intervjuades även SCA Piteå, Smurfit Piteå och Billerud om sina fallande avfallsmängder. Resultaten redovisas i tabellen nedan.

Bruk	GLS	Mesakalk	Flygaska	Bottenaska	Fiberlera
Mondi-Dynäs					
SCA, Obbola	1,5	0,5	2,5	1,5	
SCA, Piteå	2	1,5 - 2	5	4	4
Smurfit, Piteå	8 - 10	4	4,4	2,5	10 - 12
Billerud, Kalix	9,2	3,5			
Holmen paperboard, Iggesund	7				
Domsjö Fabriker	6				

Avsättningsalternativen

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Huvuddelen av restmaterialen används som konstruktionsmaterial på deponier. Deponisluttäckning ger en förhållandevis säker avsättning under de kommande fem till tio åren. Massaindustrin bedömer att det kan bli kraftig fördyring av restmaterialhanteringen när deponierna i närområdet är sluttäckta. I dagsläget bedöms kostnaderna ligga i storleksordning hundra till några hundra kronor per ton restmaterial.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
 - teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

5. TEKNISKA EGENSKAPER HOS BLANDNING AV MORÄN RESPEKTIVE ANRIKNINGSSAND MED GRÖNLUTSLAM

Av inventeringen att döma är det enbart grönlutslam som produceras i sådana volymer som behövs till efterbehandling av ytor med gruvavfall.

I undersökningarna har följande material kartlagts:

- Grönlutslam (GLS) från SCA - Obbola
- Avpyritiserad anrikningssand från Aitik gruvan
- Morän hämtat från Brännkläppen i Boden av Ragnsells
- Morän blandat med grönlutslam
- Avpyretiserad anrikningssand blandat med grönlutslam

Den grundläggande karaktäriseringen av materialen omfattar torrhalt, vattenbindnings- och buffertkapacitet samt kornstorleksfördelning. Vidare har utlakning av metaller undersöks för GLS samt avpyretiserad anrikningssand. Utöver detta har permeabiliteten undersökts för blandningar med morän och GLS, samt avpyretiserad anrikningssand och GLS.

5.1. Resultat och diskussion

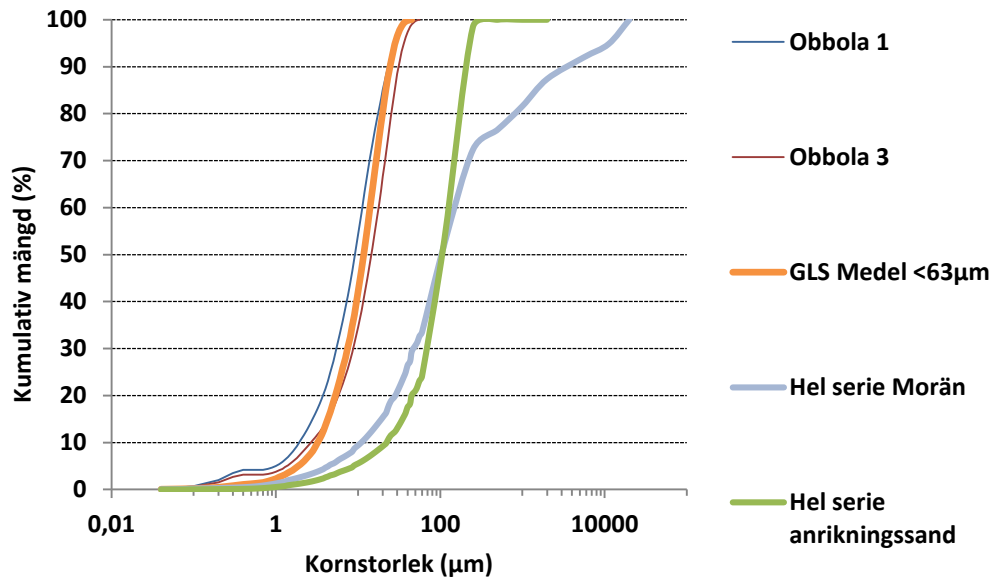
Moränens och grönlutslammets TS halt varierade lite och låg runt 88,5 % respektive 35,5 %. Tabell 5.1 sammanställer torrhalten i de undersökta materialen. Torrhalten i anrikningssanden undersöktes inte då materialet levererades i en slurry med vattenöverskott. Slurryns TS-halt ligger generellt kring 30 – 40 %.

Tabell 5.1: Torrsubstans för materialen (n=3)

Torrsubstans, TS		
Material	Medelvärde	Std.av. ±
GLS	35,5	0,0
Morän	88,5	0,4
Anrikningssand	Ej undersökt	

Moränmaterialet som ingick i studien var fritt från partiklar > 20 mm, och består av 33 % silt-, 55 % sand- och 12 % grusfraktion. Den avpyretiserade sanden består av 25 % silt- och 75 % sandfraktion. Moränfraktionen bedöms vara en siltig morän medan anrikningssanden bedöms vara en siltig sand. Grönlutslam bedöms vara i siltfraktion. Kornstorleksfördelningen hos moränen, den avpyretiserade sanden, grönlutslammet från SCA Obbola redovisas i figur 5.1. I figuren anges även en medelkornstorleksfördelning för grönlutslam som har undersökts i en förstudie (Hamberg et al 2013). Som det framgår av figuren bidrar inblandning av GLS till att öka andelen siltfraktion i blandningar med morän och anrikningssand.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105



Figur 5.1: Kornstorlekskurva i kumulativ mängd för de undersökta materialen; morän, avpyretiserad anrikningssand och grönlutslam (SCA Obbola). Medelkornstorlek för GLS från olika pappersbruk (från tidigare förstudie) redovisas också.

Grönlutslam har en hög porositet, d.v.s. 83 % av den totala volymen är porvolym och har hög vattenhållande förmåga. Efter försöket har enbart ca 2 % av porvattnet dränerats. Porositeten hos anrikningssanden och moränen ligger runt 47 % respektive 36 %, d.v.s. moränens har minst porvolym. Sanden är det material som har lägst vattenhållande förmåga, d.v.s. dränerar bäst, se tabell 5.2

Grönlutslammets höga porositet och vattenmättnadsgrad i kombination med dess effektiva vattenhållningsförmåga bidrar till att bilda en syrebarriär. Moränen och anrikningssanden har lägre porositet och dräneras lättare än grönlutslam. Dessa material bedöms ge sämre skydd mot syretransport än GLS.

Tabell 5.2: Densitet, porositet och vattenhållande förmåga för materialen (n=3).

Densitet, porositet och vattenhållande förmåga						
Material	Densitet, ρ [g/cm ³]		Porositet, n		Vattenhållande förmåga [%]	
	Medel	Std. av. \pm	Medel	Std. av. \pm	Medel	Std. av. \pm
GLS	1,21	0,05	0,83	0,03	97,78	0,11
Morän	1,80	0,04	0,36	0,01	90,96	1,64
Anrikningssand	1,91	0,04	0,47	0,05	85,87	4,12

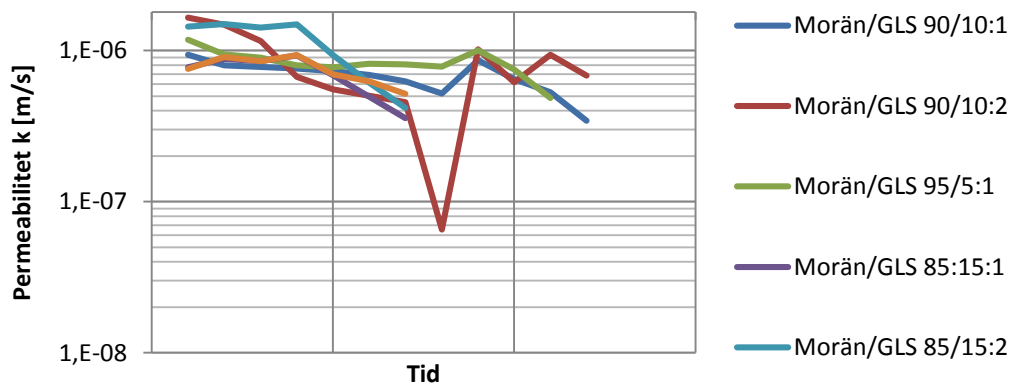
Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
 - teknisk och ekonomisk potential
 Projektnummer 5105

Tabell 5.3 visar att materialens buffertkapacitet. Grönlutslammet har en relativt låg buffertkapacitet jämfört med rent kalciumkarbonat (CaCO_3).

Tabell 5.3 Buffertkapacitet i mmol H^+ /g material jämfört med det teoretiska värdet för CaCO_3 ($n=3$).

Buffertkapacitet [mmol H^+ /g material]		
Material	Medelvärde	Std. av. \pm
GLS	3,1	0,1
Teoretiskt CaCO_3	20	

Undersökningen av blandningar av morän och grönlutslam med 5 %, 10 % och 15 % grönlutslam visar på likartad utveckling av tätheten, dvs att den hydrauliska konduktiviteten minskar med tiden, Figur 5.2. Resultat från samtliga blandningar visar värden mellan 10^{-6} och 10^{-7} m/s. En slutlig bedömning av materialens täthet kan inte göras i och med läckage under försökets gång. *OBS! Försöken görs om för tillfället inom det pågående Norrbottens Forskningsrådsprojektet. Tidigare resultat visar på värden väl under 10^{-8} m/s.*



Figur 5.2: Hydraulisk konduktivitet [m/s] över tid på olika blandningar av material ($n=2$).

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Resultaten visar att de utlakade halterna vid L/S = 10 är mycket låga jämfört med de värden som anges som riktvärde för fri användning i Naturvårdsverkets handbok (NV 2010:1), se tabell 5.4. De analyserade halterna är mycket låga och medför ingen begränsning för användning i en sluttäckning.

I denna studie var halterna lägre än i den tidigare studien genomförd av Hamberg et al 2013. I båda studierna filterades vattenproverna med filter på 0,45 µm. Skillnaden i hantering var att i denna studie utfördes filtreringen av analyslaboratoriet innan vattnet analyserades, medan i förstudiet filterades vattenproverna vid Luleå tekniska universitet.

En hypotes är att i Hambergs förstudie har finpartiklar passerat genom filtret. När vattnet sedan surgjordes i samband med konservering har partiklarna bidragit till de högre halterna.

Tabell 5.4: Jämförelse mellan laktresultaten (L/S = 10) i mg/kg TS och Naturvårdsverkets handbok 2010:1 om återvinning av avfall i anläggningsarbeten (Medelvärde n=3).

			Handbok 2010:1 Återvinning av avfall i anläggningsarbeten, < ringa risk	
			Anläggningsändamål	Deponitäckning ovan tätskikt
	GLS	Anrikningssand		
ELEMENT	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Ca	122	135		
Fe	0,008	0,19		
K	1296	51		
Mg	3633	3,64		
Na	11867	32		
Si	1,9	18		
Al	0,005	5,246		
As	0,001	0,026	0,09	0,4
Ba	0,154	0,764		
Cd	0,005	0,00005	0,02	0,007
Co	0,0003	0,0003		
Cr	0,107	0,002	1	0,3
Cu	0,035	0,013	0,8	0,6
Hg	0,00002	0,00009	0,01	0,01
Mn	0,1	0,02		
Mo	0,08	0,038		
Ni	0,008	0,003	0,4	0,6
P	0,058	0,803		
Pb	0,0002	0,0009	0,2	0,3
Sr	1,88	1,94		
V	0,0001	0,025		
Zn	0,007	0,008	4	3

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

5.2. Materialkaraktisering

Grönlutslammets viktiga karakteristiska egenskaper är:

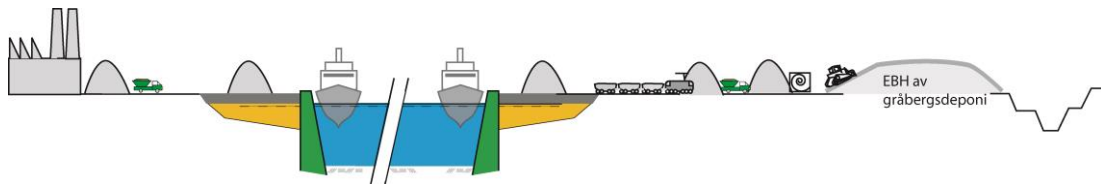
- Hög andel av finfraktion (100 % < siltfraktion)
- Hög porositet i kombination med vattenmättnad
- Hög vattenhållningskapacitet
- Låg permeabilitet
- Lågt innehåll av lakbara metaller.

Morän och anrikningssand har högre hydraulisk konduktivitet än kravet på tätskiktmaterial. Inblandning av GLS i morän bidrar till att sänka moränmaterialets hydrauliska konduktivitet samt att öka vattenhållningskapaciteten och därmed förhindra syretransport genom materialet. Inblandning av GLS i anrikningssand bidrar till sänkt hydraulisk konduktivitet och höjer sandens vattenhållningskapacitet avsevärt.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

6. TRANSPORTLOGISTIK OCH EKONOMI

Transportlogistiken är ett system som är uppbyggt av ett antal delsystem. Det är viktigt att belysa respektive delsystem eftersom dessa innehåller komponenter med inbördes relationer. Systemgränsen i detta fall dras mellan industrin som producerar restmaterial och gruvindustrin som lämnar efter sig en efterbehandlad yta, se Figur 6.1. Däremellan finns det delsystem som beskriver transporten, tillverkningen av modifierad morän och utläggningen av tät- och skyddsskikten. För att hitta lösningar och optimera effektiviteten för alla involverade företag dras logistiksystemets gränser utifrån ett externt perspektiv. Aktörer som beaktas är främst gruvindustri och restmaterialproducenter. I många fall anlitar industrin avfallsentreprenörer för att hantera restmaterialflödet.



Figur 6.1 Systemgränsen för transportlogistiken (restmaterial till efterbehandling av gruvavfall).

6.1. Efterbehandling med morän (nollalternativ)

Tillgång på morän är en viktig förutsättning för kostnadseffektiv efterbehandling. Tätskiktstrukturen består av upp till 0,5 m tjockt lager av väl packad morän med hög finhalt. Moränmaterial behöver behandlas och sorteras för att uppnå rätt kvalitet och täthet, exempelvis sorteras stenar > 50 % av skiktets tjocklek bort. I skyddsskiktet är kvalitetskravet på morän lägre än i tätskiktet, d.v.s. lägre andel finjordshalt och lägre packningsgrad kan accepteras. I tabellen nedan redogörs för de arbetsmoment som utförs för att efterbehandla en gråbergsdeponi. Kostnaderna anges per m² efterbehandlad yta. Tabellens grundförutsättningar är att moränen finns på plats, d.v.s. 1000 meter från EBH-platsen. Beräkningarna baseras på att

- moränens skrymdensitet är ca 2 ton/m³,
- transport sker med dumper, kostnad ca 45 kr/ton och mil.

Tabell 6.1 Efterbehandlingskostnader med morän av god kvalitet från moräntäkt ca 1000 m från nedlagd gråbergsdeponi. Avser "småskaliga" efterbehandlingsprojekt på upp till 10 hektar.

	Skyddsskikt, 1,5 m	Tätskikt, 0,5 m Flacka ytor	Tätskikt, 0,5 m Slänter
Schaktning	37 kr/m ²	13 kr/m ²	13 kr/m ²
Sortering[#]	-	6 kr/m ²	6 kr/m ²
Transport[£]	14 kr/m ²	5 kr/m ²	5 kr/m ²
Utläggning	15 kr/m ²	15 kr/m ²	43 kr/m ²
EBH-kostnad	66 kr/m ²	39 kr/m ²	67 kr/m ²
Summa EBH-kostnad	105 – 133 kr/m ²		

[#] sten > 50 % av skiktets tjocklek sorteras bort

[£] transportavstånd 0,1 mil (1000 m), dumpertransport

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

6.2. Industriella restmaterial

Industriella restprodukter av intresse produceras med en produktionstakt av mellan 1 000 – 10 000-tals ton/år, vilket motsvarar typisk dagsproduktion på 3 – 30 ton/dag. Generellt transporteras dessa material till deponi, där en stor andel nyttjas som konstruktionsmaterial vid sluttäckning av deponier. Få restmaterial har avsättning utanför deponiområdet.

Industrin strävar efter att på sikt eliminera sina restmaterialströmmar. Deponering medför deponiskatt och hanteringskostnader i storleksordning 500 – 1000 kr/ton. De flesta material används idag som konstruktionsmaterial och därmed ligger hanteringskostnaden nere på några hundra kronor per ton. Vissa material som vissa askor och grönslutslam är skattebefriade och kan deponeras utan att drabbas av deponiskatt.

I dagsläget går exempelvis ca 60 – 70 % av alla askor som inte klassas som farligt avfall till att sluttäcka deponier. Sluttäckningsverksamheten bedöms pågå under de närmaste 5 – 10 åren. Därefter minskar behovet av material till sluttäckning av deponier.

6.3. Transport av restmaterial

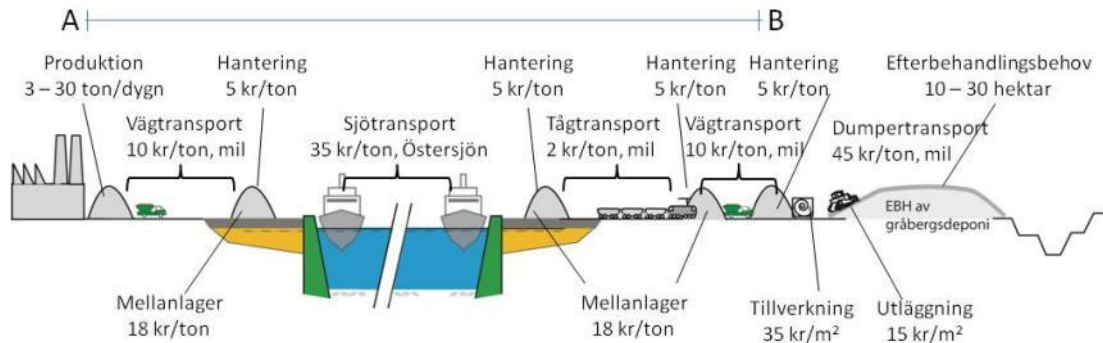
Transportavståndet från producent av restmaterial till efterbehandlingsplats utgör en ekonomisk begränsning. Tre alternativa sätt att transportera är väg-, sjö- och tågtransport, se Figur 6.2. Vägtransport ger störst utsläpp av koldioxid, följt av sjötransport och tågtransport. Kostnaden att transportera ett ton material över en sträcka varierar mellan de olika transportsätten, se Tabell 6.2.

Byte mellan transportmedel medför att det finns ett behov av ett mellanlager. Vid varje tillfälle som material hanteras tillkommer en kostnad motsvarande 5 kr/ton. Inom hamnområdet ingår generellt mellanlagring under två veckor. Mellanlagringskostnaden ligger runt 18 kr/ton.

Tabell 6.2 Bedömda kostnader för att transportera ett ton material.

Transportsätt	Kostnad	Kommentar
Vägtransport	10 kr/ton, mil	Högre kostnaden kan förekomma.
Tågtransport	2 kr/ton, mil	Tågtransport sker idag av exempelvis avloppsslam, tillkommer hanteringskostnader och lagringskostnader (mellanlager)
Sjötransport	35 kr/ton, Östersjöområdet	Till detta tillkommer kostnader för hantering och mellanlagring inom hamnområdena, exempelvis mellanlagring som är längre än två veckor kostar extra. Framtida krav på högre bränslekvalitet kan påverka prisläget vad gäller sjötransport.

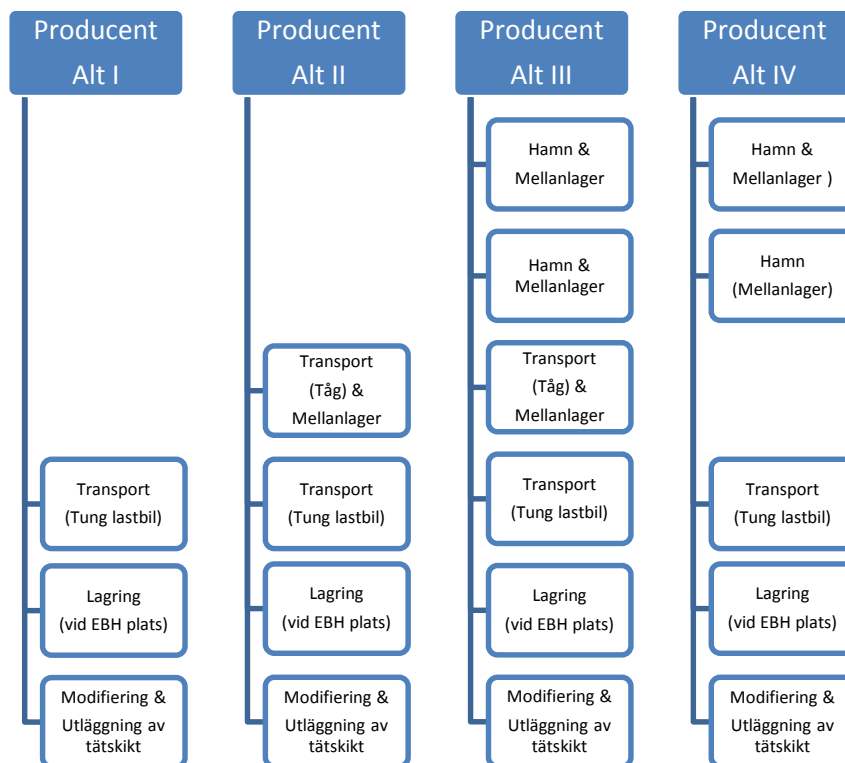
Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
 - teknisk och ekonomisk potential
 Projektnummer 5105



Figur 6.2 Schematisk bild av kostnader som belastar efterbehandlingskonstruktionen.

Summan av transport-, hanterings- och mellanlagringskostnaden mellan industrin som tillverkar restmaterialet (A) och mellanlagringsplatsen intill EBH-platsen (B) beror på avståndet och valet av transportmedel, Figur 6.2. I Figur 6.3 redogörs fyra alternativa transportalternativ, Alternativ I – IV. Nedan ges exempel på hur långt ett restmaterial bedöms kunna transporteras för en kostnad på 300 kr/ton:

- Alternativ I – Vägtransport ca 25 mil.
- Alternativ II – Tågtransport och kortare vägtransport (100 mil).
- Alternativ III – Båttransport från hela Östersjöregionen, tågtransport 30 mil och vägtransport ca 12 mil.
- Alternativ IV – Båttransport från hela Östersjöregionen och vägtransport ca 20 mil.



Figur 6.3: Fyra olika transportalternativ.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Transportkostnad på ca 300 kr bedöms kunna räcka till att leverera restmaterial till stora delar av Sverige och från större delar av Östersjöområdet. Ett exempel är transport av rötat avloppsslam från Stockholm till Aitik, där transportkostnaden ligger på ca 315 kr/ton.

6.4. Modifiering och utläggning (Entreprenaden)

Ett sätt att förändra moränens heterogenitet vad gäller täthet, är att ändra på materialets kornstorlekssammansättning genom att avlägsna större stenar och tillsätta finmaterial. En annan viktig faktor som påverkar tätheten är materialets packningsgrad. Av industrins restmaterial är det främst material som har ler- och siltfraktion och därmed kan bidra till en låg hydraulisk konduktivitet, som är av intresse. Genom inblandning av dessa industriella restmaterial bedöms även morän som inte uppfyller funktionskravet kunna nyttjas i tätskiktsapplikationer. Andelen restmaterial som behöver blandas med morän¹, för att sänka dess hydrauliska konduktivitet till värde $< 10^{-8}$ m/s, ligger runt 10 % (våtvikt), men kan variera med moränkvalitet och med restmaterialets kvalitet. Tillsatsmängden och blandningstekniken måste därför anpassas för moränens kornstorlekssammansättning och restmaterialets egenskaper.

I Tabell 6.3 redovisas hur transportkostnaden, 150 kr/ton, 300 kr/ton och 500 kr/ton påverkar priset fördelat per kvadratmeter. Vidare i rapporten används inblandningsmängd på 10 vikt-% (av våtvikt). Vid 10 % inblandning ligger transportkostnaden uttryckt i kr/m² på 16 kr/m², 32 kr/m² och 53 kr/m², se tabell 6.3.

Tabell 6.3: Beräkning av transportkostnaden uttryckt som kostnad per kvadratmeter efterbehandlad yta i kr/m². Tre olika transportkostnader (från producent, A till efterbehandlingsplats, B) och för fyra olika inblandningsmängder redovisas.

Restmaterials-inblandning, vikt% av morän	Transportkostnad		
	150 kr/ton	300 kr/ton	500 kr/ton
	Transportkostnad uttryckt i		
	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²
7,5 %	12	24	39
10 %	16	32	53
15 %	24	47	79
30 %	47	95	158

¹ Morän siktad fraktion < 20 mm med silthalt ca 30 %.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

Tabell 6.4: Restmaterialåtgång per hektar beroende på andel restmaterial vid modifiering av morän. (Tabellen utgår från skrymdensitet efter packning på 2,1 ton/m³ och tätskiktstjocklek på 0,5 m)

Restmaterials- inblandning, vikt% av morän	Restmaterial ton/m ²	1 ton restmaterial räcker till EBH av x m ²	Restmaterialåtgång, ton/ha
7,5 %	0,079	12,7	788
10 %	0,105	9,5	1050
15 %	0,157	6,3	1575
30 %	0,315	3,2	3150

Tillverkningstakten och tillverkningskostnaden av den modifierade moränen behöver naturligtvis utvärderas i fält. Baserat på dagens empiri vad gäller sluttäckning av deponier med blandningar av bl.a. grönslutslam och stenmjöl alternativt grönslutslam med flyg- och bottenaska, ligger tillverkningskostnaden på ca 35 – 45 kr/m² färdig blandning. Mängden färdig blandning ligger runt 50 ton i timmen med dagens utrustning. Utläggningens kostnaden av ett tätskikt på 0,5 m ligger på ca 15 kr/m², i detta ingår utläggning i två skikt som packas. Det bör noteras att utläggningens kostnaden på slänter kan bli tre gånger högre än den på flacka ytor. Kostnaderna kan också skjuta i höjden vid störningar i produktion och utläggning.

6.5. Efterbehandlingsåtgärdens kostnad

Gruvindustrins sluttäckningskostnader ligger i dagsläget i storleksordning mellan 60 - 200 kr per kvadratmeter efterbehandlad yta. Avståndet till morän med lämplig kvalitet är en viktig kostnadspost. Efterbehandlingsobjektets storlek i Västerbotten och Dalarna varierar mellan 10 – 20 ha. Områdena är dels sådana som är nedlagda och dels sådana där gruvverksamhet pågår. Efterbehandlingsområdet i Aitik (Norrbotten) är totalt ca 1600 ha, varav 450 ha är gråberg och 1150 ha är sandmagasin. Vanlig efterbehandlingsåtgärd, där syretransporten genom tätskiktet ska minimeras, är att täcka deponin med 0,5 m tätskikt och 1,5 m skyddsskikt. Funktionskravet på tätskiktet är att täthet $k < 10^{-8}$ m/s uppnås. För detta krävs morän med tillräcklig hög finhalt i tätskiktet.

Till en hektar yta krävs ca 10 000 ton morän som uppfyller kravet på tätskikt. Av ekonomiska skäl används morän från täkt så nära efterbehandlingsplatsen som möjligt, ofta ett avstånd på några kilometer. I många fall är det dock svårt att hitta morän med rätt kvalitet. Därmed uppstår problemet att stora volymer morän behöver transporteras stora avstånd. Frågan är om restmaterial är konkurrenskraftigt trots transport och tillverkningskostnader som tillkommer.

I Tabell 6.5 jämförs tre fall. I beräkningen har restmaterialet ett värde av noll kronor. I fall a) finns morän med god kvalitet inom 1 km från efterbehandlingsområdet, i fall b) är avståndet 2 mil. Som det framgår av tabellen ökar transportkostnaden för morän till tätskiktet från 105 kr/m² till 190 kr/m² på grund av avståndsökningen. I fall c), redovisas kostnader där lokalt förekommande morän med sämre kvalitet modifieras med tillsats av en restprodukt. Det sistnämnda har ekonomisk potential om avståndet till lämpligt morän är stort. I Tabell 6.5 redovisas tre transportkostnader för restmaterial, nämligen 150 kr/ton (16 kr/m²), 300 kr/ton (32 kr/m²) och 500 kr/ton (53 kr/m²). Kostnaden för blandning och utläggning av den

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

modifierade moränen är ca 35 - 45 kr/m², respektive ca 15 kr/m². Blandningsproduktionen bedöms i dagsläget ligga runt 50 ton/h.

Tabell 6.5: Efterbehandlings-(EBH-) kostnader med tre olika förutsättningar, a) morän (Mn) av god kvalitet inom 1,5 km från EBH-platsen, b) avståndet är 2 mil, och c) där lokalt förekommande morän materialmodifieras med restmaterial.

		a) Mn av god kvalitet	b) Mn av god kvalitet	c) Modifierat Mn
Skyddsskikt 1,5 m [£]	Schaktning	37 kr/m ²	37 kr/m ²	37 kr/m ²
	Transport	14 kr/m ²	14 kr/m ²	14 kr/m ²
	Utläggning	15 kr/m ²	15 kr/m ²	15 kr/m ²
Tätskikt 0,5 m	Schaktning	13 kr/m ²	13 kr/m ²	13 kr/m ²
	Sortering	6 kr/m ²	6 kr/m ²	6 kr/m ²
	Transport	5 kr/m ² (£)	90 kr/m ² (§)	5 kr/m ² (£)
	Transport av restmaterial	-	-	16 - 32 - 53 kr/m ² &
	Blandning	-	-	35 - 45 kr/m ²
	Utläggning	15 kr/m ²	15 kr/m ²	15 kr/m ²
	Summa EBH-kostnad	105 kr/m²	190 kr/m²	141 - 157 - 188 kr/m²

£ transportavstånd 1000 m – mellan moräntäkt och efterbehandlingsplats.

§ transportavstånd 2 mil – mellan moräntäkt och efterbehandlingsplats.

& Tre valda transportkostnader från A – B (Figur 7.2), 150 kr/ton (16 kr/m²), 300 kr/ton (32 kr/m²) och 500 kr/ton (53 kr/m²)

Notera att på slänter ligger utläggningskostnaderna för tätskiktet tre gånger högre än på flacka ytor.

En jämförelse, mellan de kostnader som gruvindustrin generellt budgeterar för efterbehandling av gruvavfall med de kostnader som uppstår vid transport och hantering av restmaterial, modifiering av morän (inblandning av restmaterial) och utläggning, tyder på att metoden är ekonomiskt fördelaktigt enbart i fall där traditionell efterbehandling är i storleksordning > 140 kr/m², alternativt där traditionell lösning inte kan uppfylla funktionskravet på täthet.

Som det framgår av Tabell 6.5 kan modifiering inte konkurrera om morän av god kvalitet finns intill gråbergsdeponin. Modifieringsalternativet kan göras mer kostnadseffektiv genom följande:

- minska transportkostnaderna, flertalet restmaterial kan transporteras till EBH-platsen billigare än för 300 kr/ton.
- öka blandningseffektiviteten
- minska inblandningsmängden av restmaterial (förutsätter effektiv blandning).
- minska tät- och/eller skyddsskiktets mäktighet.

Modifierad morän bedöms kunna ge större homogenitet vad gäller exempelvis täthet än obehandlad morän. Ökad homogenitet bör också leda till att packningsegenskaperna kommer att variera mindre mellan olika batcher. Ökad homogenitet kan leda till att tätskiktets mäktighet kan minskas, vilket sparar både transporter av Mn och restmaterial samt ger lägre blandnings- och utläggningskostnader per kvadratmeter EBH-yta.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

7. POTENTIAL

Gruvindustrins totala efterbehandlingsbehov är i storleksordning 2000 hektar. Behovet av tät morän i tätskiktet är ca 1 ton/m², vilket ger en total mängd på ca 10 000 000 miljoner ton morän till tätskiktetskonstruktionen. I många fall finns det inte lämplig morän med hög finjordhalt i närområdet av efterbehandlingsområdena, vilket leder till ökad transport av morän. Varje mil extra dumpertransport motsvarar ca 45 kr/m² i ökad kostnad. Modifiering av morän med leriga/siltiga restmaterial möjliggör att även lokalt förekommande morän kan uppfylla funktionskravet på täthet. Genom modifiering bedöms branschen kunna spara upp till 100-tals miljoner kronor. Modifieringen kan också leda till att funktionskravet på tätskiktet kan uppnås med tunnare tätskiktetskonstruktion, vilket minskar uttaget av morän som är en jungfrulig resurs.

Resultat från tidigare undersökningar av grönslutslam tagna vid olika massabruk längs Norrlandskusten har visat att grönslutslam, oavsett ursprungsbruk, har intressanta egenskaper för tillverkning av tätskikt vid efterbehandling av sulfidhaltigt gruvavfall. Utförda laborieförsök i denna studie pekar på att genom blandning av grönslutslam med morän eller anrikningssand kan respektive materials hydrauliska konduktivitet sänkas och vattenhållningskapacitet ökas. Lakningsegenskaper på GLS tyder på att materialet kan användas fritt i sluttäckningsapplikation vad gäller metaller.

Med inblandning av GLS ges möjlighet att tillverka ett tätskiktmaterial med lokalt förekommande material (morän alternativt anrikningssand) som uppfyller funktionskraven som ställs vid täckning av gruvavfall. Det återstår naturligtvis receptframtagnings- och kalibreringsarbeten i laboratorium och fält innan fullskalig användning är möjlig.

7.1. Ekonomisk/kommersiell potential

Efterbehandlingskostnaden påverkas av materialtransport, mellanlagring, blandning och utläggning. Med en transportkostnad på 300 kr/ton bedöms grönslutslam kunna nå en stor andel av gruvindustrins efterbehandlingsområden. Fördelen med grönslutslam är att inblandning av relativt låga halter (10-15%) förbättrar funktionen hos bulkmaterial (morän). En låg andel grönslutslam (10 %) innebär lägre transport- och mellanlagringskostnader per sluttäckt kvadratmeter (30 kr/m²) och även enklare blandnings- och utläggningsprocedurer och därmed lägre kostnader (35 kr/m² respektive 15 kr/m²). Dagens tillverkningstakt (blandning av morän med grönslutslam) på 50 ton i timmen bedöms kunna öka till 100 ton i timmen. En optimal samverkan av dessa faktorer kan bidra till att ytterligare sänka kostnaden vid användning av grönslutslammet.

Den ekonomiska potentialen ligger i att grönslutslammet kan användas för att förbättra morän som finns i anslutning till gruvområdet men som inte uppfyller de tekniska kraven för sluttäckning. Den merkostnad som transporten av grönslutslammet innebär kompenseras av att närliggande material med sämre kvalitet kan nyttjas. Den kommersiella potentialen ökar om tätskiktet som tillverkas har så pass bra egenskaper att hela tätskiktet kan byggas tunnare och därmed även materialbehovet minskas.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

7.2. Teknisk potential

Den tekniska potentialen ligger i att grönlutslammets goda egenskaper avseende vattenbindning och hydraulisk konduktivitet kan bibehållas vid inblandning vid låga halter i ett lokalt bulkmaterial med sämre egenskaper (men är billigt att anskaffa). Tidigare undersökningar har fokuserat på att visa att grönlutslam fungerar i tätskiktstrukturen med avseende på syre- och vattenbarriärfunktionen. Grönlutslammets varierande sammansättning mellan olika bruk och med tiden i ett specifikt bruk har inte bedömts vara ett hinder för användning även om kvalitetskontroll kommer att vara nödvändig.

Det återstår att närmare undersöka de praktiska aspekterna vid tillverkning och utläggning av tätskikt i storskala. Blandnings- och utläggningsarbetet av tätskiktet bedöms kunna optimeras tillverkningen.

7.3. Hållbarhetspotential (avseende miljö- och resursmässig hållbarhet)

Kvalitetssäkrad tillverkning av morän/grönlutslam som tätskiktmaterial ger goda förutsättningar för att täthets- och syrebarriärfunktionerna uppfylls på både kort och lång sikt. Metodens största miljövinst är att det sammanlagda transportbehovet av fyllnadsmassor minskas. Om den största andelen (80-90%) av fyllnadsmassorna kan hämtas lokalt kommer en besparing av transport att skapas som kompenserar transporten av grönlutslam från bruken till gruvområdet. Ytterligare miljövinst är möjligt om tåg eller båt används för transporten av restmaterialen på delar av sträckan. Vissa gruvor har anslutningsspår till järnvägen vilket bedöms som optimalt ur både hållbarhets och ekonomisk perspektiv. I andra fall kommer sista sträckan att behöva transporteras med lastbil men besparingen är betydande om 60-75% av transporten sker med tåg.

Om lokal morän och avbaningsmassor kan användas minskas behovet av öppnandet av nya täkter som ökar gruvans miljöavtryck. Optimering av tät- och skyddsskiktet innebär positiva konsekvenserna för miljön för varje decimeter som tätskiktet kan reduceras med.

Återanvändning av grönlutslam bidrar även till att minska behovet av deponering för bruken. Det innebär även att en större andel av träråvaran i papper- och massaprocessen kommer till nytta.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

8. RESULTAT OCH MÅLUPPFYLLELSE

För att metoden med att materialförbättra morän med tillsats av exempelvis grönlutslam ska bli ett alternativ, behövs det lönsamhet hos flera parter, gruvindustrin, massaindustrin och entreprenören. Samtidigt måste lösningen förankras hos miljömyndighet.

För gruvindustrin är det viktigt att efterbehandlingskonstruktionen uppfyller funktionskrav som ställs och att konstruktionen är beständig samt ekonomiskt fördelaktigt jämfört med andra efterbehandlingsalternativ. För massaindustrin är det viktigt att minska kostnaderna för avfall genom att eliminera att avfall uppstår. I första hand gäller det att minska kostnaden för avfallet i andra hand att utveckla ett avsättningsalternativ där materialet har ett värde. Den tredje parten är entreprenören som utför arbetet med transport, materialmodifiering och utläggning. Detta arbetes målsättning är att tekniskt säkerställa tillverkning av tätskiktmaterial och efterbehandling av gruvavfallet med god ekonomi.

I projektet har representanter från bl.a. olika gruv- och massaindustrier intervjuats i syfte att få en uppfattning och volymer och kostnader. Intervju har också utförts med entreprenör och hamn för att säkerställa tillverknings- och transportkostnader.

Gruvindustrins sluttäckningskostnader ligger i dagsläget i storleksordning mellan 60 - 180 kr per kvadratmeter efterbehandlad yta. Avståndet till morän med lämplig kvalitet är en viktig kostnadspost. Det finns många gruvområden som kommer att efterbehandlas. Typiska storleken på efterbehandlingsobjekt är mellan 10 hektar och 30 hektar. Områdena är dels sådana som är nedlagda och dels sådana där gruvverksamhet pågår. Ett efterbehandlat gråbergsmagasin med tätskikt bestående av morän och grönlutslam blandning bedöms vara konkurrenskraftig lösning, om avståndet till morän med god kvalitet är > 2 – 3 mil.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

9. FORTSATT ARBETE

Baserat på information från utförda intervjuer kommer ett pilotförsök att utföras finansierat av Norrbottens Forskningsråd (NoFo), Ragn-Sells AB, Ramböll Ecoloop och LTU. Det aktuella projektets resultat indikerar att det mest kritiska för kostnaden är produktionstakten av modifierad morän. Produktionstakten bedöms påverka kvadratmeterpriset mest. NoFo-projektets syfte är att jämföra laboratorieresultat från materialmodifierad morän med resultat som kan erhållas av befintlig blandningsutrustning i full skala. En annan viktig del i framtida arbetet är att ta fram vägledning för framtida materialmodifiering av morän med bl.a. grönlutslam. En riskfaktor är att utan vägledning blir det svårt att följa upp effekten av tillsatsen av grönlutslam. Genom vägledning och kvalitetskontroll kan så kallade ”buskförsök” undvikas. En kompletterande ansökan kommer att skickas in till Processum för att ta fram underlag till en vägledning.

9.1. Idéer till nya utvecklingsprojekt

I samarbete med Boliden planeras efterbehandling av en nedlagd gruva med morän-/grönlutslamsblandning. Under 2014 planeras pilotförsök med olika blandningar för att under 2015 efterbehandla en yta på ca 4,5 hektar.

Vidare planerar Luleå tekniska universitet att studera olika efterbehandlingsåtgärders effekt på gruvavfall, finansierat av Vinnova och Boliden.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
 - teknisk och ekonomisk potential
 Projektnummer 5105

10. EKONOMISK REDOVISNING

Projektet har följt budgeten, se tabellen nedan. Ecoloop och Ramböll har förutom budgeterat arbete lagt ner resurser att följa upp de spår som tydliggjordes under projektets gång. Dessa arbeten har resulterat i ett Nytt projekt finansierat av Norrbottens Forskningsråd och Processum.

Projektkostnader	Kontanta medel	natura	
Lönekostnader	82 500 kr	10 000 kr	
Konsultkostnader	107 500 kr	60 000 kr	
Materialkostnader			
Resekostnader	10 000 kr		
Övriga kostnader		80 000 kr	
Summa kostnader	200 000 kr	150 000 kr	
Totala kostnader			350 000 kr

Finansiering	Kontanta medel	natura	
Processum	200 000 kr	30 000 kr	
Medlemsföretag [#]		50 000 kr	
LTU		20 000 kr	
Ej medlemsföretag			
Ecoloop		10 000 kr	
Ramböll		20 000 kr	
Boliden		20 000 kr	
Summa finansiering	200 000 kr	150 000 kr	
Total finansiering			350 000 kr

*Natura (egenfinansiering) i form av eget arbete (arbetstid, materialframtagande, intervju)

[#] Tillfrågade medlemsföretag bedöms bidra med egen tid i form av intervju respektive insats i referensgrupp.

Återbruk av massaindustrins restprodukter vid efterbehandling av gruvavfall
- teknisk och ekonomisk potential
Projektnummer 5105

11. REFERENSER

- Chtaini, A., A. Bellaloui, G. Ballivy, and S. Narasiah. 2001. Field investigation of controlling acid mine drainage using alkaline paper mill waste. *Water Air Soil Pollut.* 125:357–374.
- Hamberg, R., Maurice, C, Qureshi, A. Jia, Y., Mäkitalo, M. (2013) *Karaktärisering av grönlutsslam för efterbehandling av gruvavfall*. Tillgänglig Processum. Intern rapport. Luleå tekniska universitet.
- Lottermoser 2007. *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. Springer. ISBN 103540486291
- Maurice, C, Villain, L & Hargelius, K 2009, 'Green liquor dregs for the remediation of abandoned mine tailings: opportunities and limitations'. 8th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD) and Securing the Future: Mining, Metals & the Environment in a Sustainable Society 2009: Skelleftea, Sweden, 22 - 26 June 2009.
- Maurice C., Mäkitalo, M., Villain, L. and Öhlander, B. (2010). Green liquor dregs for the amendment of tailings. *Paste 2010*, 13th International Seminar on Paste and Thickened Tailings Toronto, Canada, May 3-6, 2010. pp. 487 - 494.
- Mäkitalo, M., Perez, N., Maurice, C. and Öhlander, B. (2010). By-products in the remediation of mining waste. *ConSoil 2010: Management of Soil, Groundwater & Sediment*, 22-24 September 2010 Salzburg, Austria.
- Pousette K. och Mácsik J. 2000. *Material- och miljöteknisk undersökning av grönlutsslam, mesa, kalkgrus, flyg- och bottenaska från Assidomäns fem svenska bruk*. Luleå tekniska universitet, Avdelningen för Geoteknik.