SIMM-Center - Guideline

Efterbehandling av gråbergsupplag med morän modifierad med grönlutslam

UTKAST V1.1

Status:	Draft (in Swedish)
Version:	V1.1
Date:	2014-11-18
Authors:	Macsik J., Maurice C., et al
Project number:	Ecoloop 2013025
Project title:	SIMM-Center
Cover Photos:	Per Öden(left), Mácsik J (mid, right)

Innehållsförteckning

1. FÖRORD 4
2. INLEDNING (LÄSLEDNING) 5
3. EFTERBEHANDLING GRÅBERGSUPPLAG (populärt om saken) 5
3.1 Gruvprocessen 5
3.2 Varför efterbehandla gråberget? 6
3.3 Efterbehandling med morän 7
3.4 Tätskikt med morän och grönlutsslam 7
4. GENERELLA FÖRUTSÄTTNINGAR (FÖR EBH) 8
4.1 Gruvbolagets åtaganden vid EBH 8
4.1.1 Efterbehandling 11
4.2 Geokonstruktioner bkr 11
4.2.1 Utformning av geokonstruktionen 11
4.2.2 Material till tätskikt 11
5. VIKTIGA ÖVERVÄGANDEN I OLIKA BYGGSKEDEN 13
6. FRÅN IDÉ TILL FÄRDIG GEOKONSTRUKTION 14
6.1 Idé och förstudie 14
6.2 Utredning, planering och samråd 15
6.3 Projektering och upphandling 16
6.4 Byggande (Utförande och Logistik) 16
6.5 Bruksskede 17
7. PROJEKTERING OCH UPPHANDLING 18
7.1 Utformning 18
7.1.1 Utformning av släntlutningar etc. 18
7.1.2 Avjämningsskikt 18
7.1.3 Tätskikt 18
7.1.4 Skyddsskikt 19
7.1.5 Växtetableringsskikt 19
7.2 Morän 20
7.2.1 Egenskaper (fraktion < 20 mm) 20
7.3 Grönlutslam 22

UTKAST v1.1

7.4 Morän/grönlutslamsblandningar 24
7.5 Upphandling 25
8. BYGGANDE (UTFÖRANDE OCH LOGISTIK) 27
8.1 Rutiner för karakterisering och godkännande av inkommande material 27
8.2 Transport 27
8.3 Lagring 27
8.4 Tillverkning 29
8.5 Utläggning 32
8.6 Kontroll & uppföljning 34
9. BRUKSSKEDE 36
10. Bilagor 38
10.1 Bilaga A: Tekniska krav 38
10.2 Bilaga B: GLS- Konsistensgränser 39
10.3 Bilaga C: Från laboratorieförsök till pilotförsök - Exempel Boden 41
10.4 Bilaga z1. Blandningsrecept Förblandning av Mn/GLS 46

UTKAST V1.1

1. FÖRORD

Denna vägledning behandlar uppgradering av morän med grönlutslam för nyttiggörande som konstruktionsmaterial vid efterbehandlingsåtgärder för gråbergsupplag. Denna vägledning är en del av en serie rapporter inom projektet efterbehandling av gruvavfall som har finansierats av SP Processum. Vägledning utgör också en del av en serie rapporter inom projektet SIMM-Center vars mål är utveckla teknik, verktyg och stöd för användning av jord- och bergmaterial och bidra till att utveckla teknik för uppgradering av sådana materialslag.

Vägledningen har utarbetats i anslutning till utvecklingsprojektet ” Efterbehandling av gråbergsupplag med morän modifierad med grönlutslam – Vägledning” Arbetet med vägledningen utfördes av Ramböll Sverige AB, Ragn-Sells AB, Ecoloop AB, MTC-miljö teknik center, Boliden Mineral AB och Luleå Tekniska Universitet. Projektet har finansierats av deltagarna och SP Processum, Norbottens Forskningsråd och Boliden Mineral AB.

Vägledningen har baserats på vunnen kunskap i Sverige och vänder sig till tekniska konsulter, entreprenörer och till byggherrar, myndigheter och materialeverantörer.

Vår förhoppning är att vägledningen ska fungera som ett stöd vid efterbehandling av gråbergsupplag och sedermera också för andra applikationer för modifierad jord kan bidra till robusta och miljömässiga lösningar.

Stockholm, Luleå, Boliden i november 2014

Josef Mácsik, Per Odén, Christan Maurice, Magnus …., xx MCT och Bo Svedberg

LOGGOR FÖR MEDVERKANDE VERKSAMHETER/PROJEKT

UTKAST v1.1

2. INLEDNING (LÄSLEDNING)

Denna vägledning vänder sig till gruvindustrin, entreprenörer, konsulter och miljömyndigheter som ska hantera eller ge tillstånd för efterbehandling av gråbergsupplag. Vägledningen beskriver hur morän (Mn) kan förbättras med inblandning av grönlutslam (GLS) för tillverkning av tätskikt på gråbergsupplag. Målsättningen med metoden är att minska mängden syre som transporteras ner till gråberget genom förbättrad vattenhållande kapacitet och lägre hydraulisk konduktivitet. Metoden kan vidare minska den lokala miljöpåverkan genom att reducera användningen av ändliga resurser, energi och vara klimat och kostnadseffektiv.

Vägledningen vänder sig till de aktörer som arbetar med att använda blandningar av morän och grönlutslam i tätskiktskonstruktion vid efterbehandling av gråbergsupplag. Vägledningen har fokus på arbetsmoment i byggprocesskeden projektering och upphandling samt byggande och bruksskedet.

Avsnitt	Kort om
3. Efterbehandling	Beskrivning av bakgrunden till varför efterbehandla och varför blandningar av morän och grönlutslam kan vara ett alternativt tätskiktsmaterial
4. Generella förutsättningar	Beskrivning av varför och hur efterbehandling ska utföras och hur efterbehandlingens geokonstruktion ska utformas.
5. Viktiga överväganden i olika byggskeden	Avsnittet ger en övergripande bild av byggprocessen vid efterbehandlingsåtgärd med Mn/GLS-blandning i tätskiktet på gråbergsupplag, inklusive relaterade nyckelfrågor.
6. Från idé till färdig geokonstruktion	Beskriver kort processen från det att behovet uppstår till dess att efterbehandlingsprojektet är slutfört.
7. Projektering och upphandling	Avsnittet beskriver vilken information som måste inhämtas inför upphandling av efterbehandlingsentreprenaden med Mn/GLS i tätskiktet
8. Byggande (transport och logistik)	Avsnittet beskriver hur efterbehandlingsåtgärden ska kontrolleras för att klara kvalitetskriterierna på täthet.
9. Bruksskede	Förslag på hur kontroll av funktion ska utföras.

UTKAST v1.1

3. EFTERBEHANDLING GRÅBERGSUPPLAG (populärt om saken)

3.1 Gruvprocessen

3.1 GRUVPROCESSEN

Innan en gruva kan öppnas och drivas genomgår gruvbolag och miljömyndigheter en flerårig tillståndsprocess. Den börjar med en tillståndspliktig prospektering av mineraler och går sen vidare med ansökan om bearbetningskoncession och miljötillstånd som en del av planeringen av

gruvvrksamheten. För att starta arbeten behövs en markanvisning, och uppbyggnaden av den infrastruktur som behövs för gruvdriften kräver bygglov. En del av tillståndsansökan är efetbehanlingsplanen för gruvområdet som beskriver hur området kommer att återställas och hur gruvavfallet kommer att efetrbehandlas.

Under gruvdriften bryts stora mängder gråberg som ligger över eller runt malmkroppen och som inte har tillräkligt höga halter av eftersökta metaller för att upparbetas. Förutom gråberg produceras också stora mängder anrikningssand. Gråbergsupplag anläggs i direkt anslutning till gruvan för att minimera transport av stora mängder bergkross medan anrikningssand deponeras i ett magasin i anslutning till anrikningsverket som inte alltid finns i anslutning till gruvan.

När gruvan stängs fortsätter gruvprocessen genom att området återställs och gråbergsupplag samt sandmagasin efterbehandlas. Planering av efterbehandling startar redan när gruvan planeras. Efterbehandlingen av gråberget kan starta successivt under drift eller efter avslutad drift. I fallet med sulfidhaltigt gråberg är det viktigt att förhindra vittring (pyritoxidation), vilket gör att det kan vara praktiskt att starta efterbehandlingen redan under drift. Vittringen förhindras genom att förhindra att gråberget utsätts för syre.

Syre diffundera mycket långsammare i vatten än i luften, därför används vatten som barriär för att undvika pyritoxidation. Två huvudsakliga strategi finns för att skapa denna barriär,

i) Att deponera gruvavfallet under en vattenspegel (våttäckning) : metoden används ofta för sandmagasinet som är uppdämda där en sjö skapas och vid återfyllning av underjordsgruvan eller dagbrottet när grundvattennivå tillåts stiga igen. Resultatet blir att avfallet ligger i botten på en sjö som hindrar direkt kontakt mellan syret i luften och avfallet.

ii) Att anlägga en täckning vars porer fylls med vatten (torrtäckning): metoden används där det inte är möjligt att hålla en vattenspegel som exempelvis gråbergsdeponier och sandmagasinets stränder (beach). Finkornigt material anläggs för att täcka avfallet. Nederbörden fyller igen porerna i marken vilket hindrar syret att vandra till avfallet..

3.2 Varför efterbehandla gråberget?

Gruvbrytning i områden med sulfidhaltig berggrund ger upphov till krossat sulfidhaltigt gråberg med pyrit-inslag. Det krossade materialet har mångdubbelt större exponering för luftens syre än det naturliga berget och det gör att vittringsprocessen accelererar. Vittringen innebär att materialet oxideras i flera steg till Fe^{2+}, SO_4^{2-} och H^+. Det tvåvärda järnet kan genomgå ytterligare oxidation till trevärt järn och därvid bilda mer syra. Om vattentransport sker genom det vittrade gråberget kan surt vatten med höga tungmetallhalter lakas ur. Det är önskvärt att hindra vittringsprocessen från att starta överhuvudtaget, men det är också viktigt att begränsa vattenperkolation genom materialet så att redan lösta spårämnen inte transporteras därifrån för snabbt.

UTKAST VI.I

3.3 Efterbehandling med morän

Dagens praxis för täckning av sulfidhaltiga gråbergsrester är att täcka med morän. Det görs som ”kvalificerad täckning” genom att lägga på ett tätskikt med lerig morän som packas tätt. Ovanpå detta skikt läggs ett skyddsskikt. Efterbehandlingskonstruktionen saknar dräneringsskikt för att säkra att tätskiktet är alltid vattenmättat, för att hindra syretransport till gråbergskrosset. För att ytterligare sänka syrekonduktiviteten genom tätskiktet kan moränen modifieras med inblandning med andra finkorniga material.

Ovanpå tätskiktet kan dräneringsskikt läggas. Generellt utgår detta skikt eftersom dräneringsskikt kan leda till att skyddsskiktets vattenlagringskapacitet minskar och tätskiktet kan torka ut. Dräneringslagret kan därmed orsaka problem genom att det bidrar till uttorkning av tätskiktet, vilket i sin tur kan medföra att efterbehandlingens funktion som syrebarriär minskar. I boreala klimat är risken för uttorkning liten och användning av dränskikt kan då övervägas för att öka stabiliteten i konstruktionen, bland annat i slänter.

Ovanpå tätskiktet lägger man ett skyddsskikt, eller täckskikt av morän. Detta skikt är generellt ca 1,5 – 2 m tjockt och ska förhindra att tätskiktet skadas. Det hindrar rötter och grävande djur från att nå tätskiktet, det buffrar torr/våt-cykler och frys/tö-cykler. Det hindrar också vattentransport genom tätskiktet och vidare genom gråbergskrosset genom att lagra infiltrationsvatten tills det kan evaporera. Ovanpå skyddsskiktet planteras växtlighet, ofta gräs, för att förhindra erosion. Syreförbrukande material används ibland för att ytterligare minska syrehalten i skyddsskitet.

3.4 Tätskikt med morän och grönlutsslam

Historiskt har siktad morän nyttjats som tätskikt och kravet på moränen är att den fungerar som syre- och vattenbarriär. Erfarenhet från tidigare utförda efterbehandlingsåtgärder visar dock att kravet på moränens funktion som syrebarriär inte alltid uppfylls. Alternativet är att använda andra tätskiktsmaterial, bentonitmatta, lera etc eller att modifiera lokalt förekommande morän. Ett av alternativen är att använda inblandning av grönlutslam i morän. Grönlutsslammet har stor vattenhållande förmåga och en inblandning på ca 10 % grönlutsslam i siktad morän förbättrar moränens funktion som tätskikt avsevärt.

UTKAST v1.1

4. GENERELLA FÖRUTSÄTTNINGAR (FÖR EBH)

Efterbehandling av gråbergsupplag är en viktig åtgärd för att minska mängden vatten och syre in i upplaget och därmed minska läckage av miljöstörande ämnen. Inbladning av grönlutsslam i siktad morän för användning i tätskikt är en lovande metod. För att nå en framgångsrik användning av Mn/GLS-blandning i tätskiktet behövs god planering och framförhållning. Varje efterbehandlingsobjekt har platsspecifika förutsättningar och en plan som visar åtgärderna från förstudie och tillståndsprocesser till utformning och utförande tas fram. Första steget är att bedöma och jämföra de olika alternativa åtgärderna som finns. I detta steg görs en översiktlig värdering av Mn/GLS-blandningens möjligheter att användas med avseende på ekonomi, teknik, myndighetskrav och aktörsintresse. Det är viktigt att lyssna av och förankra metodens fördelar hos både myndighet och aktörerna och värdera riskerna. Väl dokumenterat referensobjekt är en bra förutsättning att visa att material och metod uppfyller krav på funktion, är ekonomiskt fördelaktig och klarar miljökrav.

Referensobjekt (**Bilaga x) Pilotförsök i Boden och y) Magnus bidragfrån MTC**) kan också nyttjas för att identifiera brister och risker, men också fördelar och möjligheter med metoden. Referensobjekt är också nödvändigt för prestandajämförelse med gängse metoder..

4.1 Gruvbolagets åtaganden vid EBH

Magnus B.

Det finns en uttalad målsättning av att minska förbrukningen av jungfruliga material i anläggningsändamål t.ex. naturgrus och krossat berg då dessa är värdefulla och ändliga resurser. Det finns därmed ett behov av att utnyttja alternativa material som avfall och restprodukter i anläggningsändamål som ersättning av naturmaterial.

Hanteringen av avfall och restprodukter är under stark förändring både genom ökad miljömedvetenhet och ökade miljökrav. Drivkrafter för ökad återanvändning och återvinning har skapats bl.a. genom införsel av deponiskatter och förbud mot deponering av organiskt avfall.

Avfallslagstiftningen har nyligen genomgått stora förändringar för att öka återanvändning och återvinning av avfall och restprodukter. Deponering utgör sista alternativ som lösning på kvittblivning av avfall. Enligt EU:s nya ramdirektiv för avfall (2008/98/EG) har avfallshierarkin följande prioriteringsordning för lagstiftning och politik på avfallsområdet:

1. Förebygga uppkomst av avfall
2. Återanvändning
3. Materialåtervinning
4. Annan återvinning, t ex energiåtervinning
5. Bortskaffande

UTKAST vi.1

En kraftigt minskad deponering av avfall innebär att avfallsflöden måste gå mot kretsloppsanpassning med prioritet på avfallsflöden enligt punkt 1-5 ovan. För att avfall på olika ska kunna återanvändas och återvinnas ställs höga krav kring respektive väg in i kretsloppet. Nya avfallslagstiftningen som implementerats i den svenska avfallsförordningen (2011:927) reglerar de krav som en utövare måste uppfylla för nyttjande av olika avfallsslag.

I avfallsförordningen finns krav på olika klassificeringskategorier av avfall där bl.a. kriteriet H14 (Ekotoxisk) och H15 (förmåga att ge upphov till ekotoxiska lakvatten) ska bedömas. Vidare bedöms avfall/restprodukt på rent kemiskt totalinnehåll enligt H4-H8 och H10-H11.

På grund av den komplicerade uppgiften att utföra riskbedömning av kemiska blandningar, har användandet av teoretiska beräkningar ofta nyttjats. Risken beräknas för enskilda ämnen och blandningar baserade på riskkvoter och koncentrationsgränser. Den rent kemiska bedömningen i avfallsdirektivet utgår ifrån substansdirektivet (67/548EEC) vars teoretiska grund och synsätt överförts till den nyare förordningen om klassificering och märkning av produkter (1272/2008 EC). Det råder idag konsensus i den vetenskapliga litteraturen om att risker av en kemisk blandning/avfall/restprodukt enbart utifrån kemiskt innehåll och teoretiska beräkningar inte är tillräckligt för en fullständig bedömning utan det krävs kompletterande information från toxikologiska/ekotoxikologiska tester. Hur den ekotoxikologiska bedömningen/mätningen rent praktiskt ska utföras finns det ännu inga tydliga riktlinjer för, men nyttjande av biotester och ett testbatteri med representation från olika organismtyper ger rimligen bäst underlag för bedömning.

Avfall som återvinns för anläggningsändamål (parkeringsplatser, järnvägar, vägar, bullervallar m.m.) har samma definition som anges i miljöbalken 15 kap 1§: Med avfall avses varje föremål, ämne eller substans som ingår i en avfallskategori och som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med. Användning av ett avfall ska uppfylla de allmänna hänsynsreglerna och annan anslutande lagstiftning som återfinns i miljöbalken. Detta kan anses uppfyllt genom att avfallet och dess användning bedöms utifrån aktuella förutsättningar och processer, t.ex. lakning, potential för spridning av farliga ämnen och vilka effekter dessa bedöms kunna ge hos ett eller flera skyddsobjekt under givna exponeringsförutsättningar.

Naturvårdsverket presenterade 2010 en handbok med kriterier för återvinning av avfall i anläggningsändamål där omfattning av utlakning kopplats till olika risknivåer och användningsområden, vilka i sin tur styr rekommendationer om tillämpligheten av avfall och restprodukter i olika situationer (Naturvårdsverket 2010, Handbok 2010:1, Återvinning av avfall i anläggningsarbeten.)

Gällande tillämpning av regler i Naturvårdsverket handbok 2010:1 så måste den metodik som handboken beskriver anses förenklad i sin utformning då risken endast uppskattas utifrån vissa på förhand givna förhållanden och förutsättningar. Handboken kan därför ses som ett första steg i en bedömning för användaren. Vid en mer fördjupad analys av aktuella risker måste hänsyn tas till omgivningsförhållanden på den tilltänkta platsen för att bestämma om användning är lämplig eller ej. Handboken kan i skenet av nya avfallsförordningen ses som underordnad gentemot juridiskt bindande lagstiftning kring avfall. Handboken framförs också av Naturvårdsverket som

UTKAST v1.1

vägledning, och ska därmed inte ses som allmänrådande utan bedömning ska kunna ske från fall till fall avseende återanvändning av vissa avfall och restprodukter. Handboken riskerar i annat fall hindra den återanvändning och återvinning av material som uppfyller alla kriterier och där fördjupad bedömning av lämplighet utförts.

Enligt artikeln om End of Waste i EUs ramdirektiv för avfall ska avfall också kunna upphöra att vara ett avfall givet att vissa förutsättningar är uppfyllda. Den viktigaste punkten ur risksynpunkt är att användning av ämnet eller produkten inte kommer att leda till allmänt negativa följder för miljön eller människors hälsa vilket åligger verksamhetsutövaren att bedöma. End of Waste är ännu inte helt införlivat i svensk lagstiftning och det är rimligt att anta att det kommer ske en succesivt kunskapsuppbyggnad för att på ett miljö- och hälsosäkert sätt avgöra när ett avfall upphör att vara ett avfall.

Vid användning av avfall i anläggningsändamål, efter att en samlad bedömning visar att detta är acceptabel ur hälso- och miljösynpunkt, kvarstår ansvaret för eventuella problem hos verksamhetsutövaren enligt miljöbalkens 10 kap (ansvar att avhjälpa en föroreningsskada). Detta ansvar är i princip obegränsat i tid och omfattning och på så vis finns en säkerhet att eventuella problem som uppstår kan avhjälpas. Det bör ge ansvarig tillsynsmyndighet trygghet för godkännande om nya tillämpningar för återvinning och återanvändning eftersom ansvarig verksamhetsutövare fortsatt har ansvar för både sin bedömning och tillämpning. Detta är ett viktigt styrmedel och drivkraft för att acceptabla användningsområden tillämpas ur miljö- och hälsosynpunkt.

Ska grönlutsslam handlas som en produkt måste den registreras i Reach. Reach är en EG-förordning som ersätter stora delar av de kemikalieregler som gällde före den 1 juni 2007. Reach grundas på principen att det är tillverkare, importörer och nedströmsanvändare som bär ansvaret för att de ämnen som de tillverkar, släpper ut på marknaden eller använder inte orsakar skadliga effekter på hälsan och miljön. Reach gäller i huvudsak för kemiska produkter och kemikalier, det vill säga kemiska ämnen och beredningar/blandningar/preparat. Den som registrerar kemikalier ska ta fram data om deras egenskaper och bedöma riskerna.

Gruvprocessen är reglerad i flera lagar, främst minerallagen och miljöbalken. För att driva en gruva behövs tillstånd, med miljöbedömning, enligt båda. Bergmästaren beslutar om tillstånd enligt minerallagen och Mark- och miljödomstolen om tillstånd enligt miljöbalken.

Enligt EU:s utvinningsavfallsförordning ska det finnas en avfallshanteringsplan för gråbergsrester (såväl som för gruvrestprodukterna sand och slam) redan vid prövningen av verksamheten. Det innebär att en efterbehandlingsplan finns redan i ansökan. Myndigheterna har möjlighet att kräva att verksamhetsutövaren ska ställa ekonomisk säkerhet för att klara efterbehandlingen genom att lägga undan kapital.

Själva efterbehandlingen regleras även i miljöbalken, EU:s vattendirektiv och förordningen om utvinningsavfall. Det är verksamhetsutövaren som har ansvaret för efterbehandling.

UTKAST v1.1

Innan efterbehandlingen startas görs en efterbehandlingsplan. Den som är ansvarig för efterbehandlingen ska ta fram underlag för utredning. Efterbehandlingsplanerna fastställs av koncessionsnämnden för miljöskydd eller av länsstyrelserna. När omfattningen av efterbehandlingen bestäms vägs riskerna för miljö och människors hälsa mot kostnaderna, mot tidsfaktorn och mot hur väl verksamhetsutövaren har följt dåtida gällande regler.

Andra principer som gäller är att åtgärderna bör vara av engångskaraktär, och bara behöva underhåll och skötsel under en övergångsperiod efter att efterbehandlingen är avslutad. Den framtida markanvändningen ska begränsas så lite som möjligt och riskerna minskas "så långt som är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt".

För att uppnå dessa krav ska bästa tillgängliga teknik (BAT) användas. EU har gett ut ett i vilket bästa möjliga tekniker för hantering av avfall för gruvindustri beskrivs. För potentiellt syrabildande gruvavfall som sulfidhaltigt gråberg är bästa tillgängliga teknik att i första hand förhindra lakvattenuppkomst och i andra hand att hålla det sura lakvattnet under kontroll eller behandla det innan det släpps ut till mottagande vatten.

EU:s vattendirektiv reglerar miljökvalitetsmålen för grund- och ytvatten och innebär att verksamhetsutövaren kan behöva övervaka närliggande vatten för att göra egenkontroll av hur efterbehandlingen fungerat.

4.1.1 Efterbehandling

En kvalificerad täckning av gråberget gör man i dagens praxis med vattenmättad morän. Vattnet förhindrar syretransport till gråberget eftersom syre rör sig mycket långsammare genom vatten än genom luft. Förutom att förhindra syretransporten till materialet måste täckningen begränsa vatteninfiltrationen för att minska transporten av redan lakade metaller. Täckningen måste vara beständig under mycket lång tid och klara regn, tork/våt-cykler, frys/tö-cykler, rotpenetration osv.

En grundförutsättning är att den valda täckningsmetoden måste vara ekonomiskt rimlig. Det är stora ytor som måste täckas, och den största kostnaden som kan uppstå är transportkostnaden för täckningsmaterialet. Därför används idag morän från närområdet till täckning gråbergsupplaget.

4.2 Geokonstruktioner bkr

bkr, G EOKONSTRUKTIONER (Christian kollar)

4.2.1 Utformning av geokonstruktionen

Avjämning, tätskikt, dränskikt, skyddsskikt växtetableringsskikt erosionsskydd etc.

Täthet och syretransport

4.2.2 Material till tätskikt

UTKAST v1.1

4.2.2.1 Arbetsmiljö

Skedeskoppling på materialens egenskaper

UTKAST V1.1

5. VIKTIGA ÖVERVÄGANDEN I OLIKA BYGGSKEDEN

Tabellen nedan ger en övergripande bild av nyckelfrågor relaterade till olika skeden i efterbehandlingsåtgärd med Mn/GLS-blandning i tätskiktet på gråbergsupplag. Tabellen är tänkt att användas som stöd i efterbehandlingsprojekt och speciellt delen avseende Mn/GLS-blandningen i tätskiktet förklaras sedan närmare. Vägledningen ger främst stöd från arbetsskeden projektering och upphandling samt byggande.

Skeden	***Viktigt att beakta vid efterbehandling av gråbergsdeponi***
Behov, idé (behov av efterbehandling av gråbergsupplag)	- Undersök behovet av efterbehandling och genomför karakterisering av gråbergsmaterialet. - Behövs tätskikt av Mn/GLS för att minska transporten av vatten och syre. - Inkludera miljömyndigheter, identifiera lagkrav och nästa steg i den formella processen
Förstudie (vilka är huvudalternativen och val av materialval, lagring, hantering)	- Identifiera tidsramar, aktörer att samarbeta med och behov av underlag. - Skiss på behandlingsytans utbredning, dess utformning och släntlutningar. - Jämför alternativen i ett helhetsperspektiv (ekonomi, ekologi och sociala aspekter), välj huvudalternativ för val av efterbehandlingsåtgärd. - Överväg entreprenadformer för utförandet.
Utredning, planering och tillstånd (ett alternativt väljs, utredning av detta inför att söka tillstånd)	- Förprojektering dokumenteras i tekniska beskrivningar. - Skissa på tekniklösningar (t.ex. tätskiktets och skyddsskiktets utformning, tjocklek och sammansättning). - Konstruktionen utformas så att den skyddas mot frysning, rotpenetration och tätskiktet hålls vattenmättat. - Initiera potentiella leverantörer av grönlutslam. - Samråd med myndigheter och intressenter utifrån ett helhetsperspektiv.
Förhandlingar	- Argumentera med stöd i miljölagstiftningen, jämför den valda lösningen med alternativ utifrån ekonomi, ekologi och sociala aspekter.
Tillstånd erhålls	- Överväg fortsättning. Beakta eventuella krav i tillståndet.
Projektering och upphandling (Underlag för upphandling och byggande)	- Bedöm efterbehandlingens omfattning. - Bestäm mängden tillgänglig morän. - Välj entreprenadform, projektera. - Påbörja provtagning och laboratoriearbeten snarast möjligt. - Egenkontroll, utforma kontroll- och uppföljningsprogram.
Upphandling	- Utse entreprenör

UTKAST v1.1

Byggande (Byggande, alternativa utförandemetoder och tekniska lösningar)	- Sök erforderliga tillstånd för provyta och test av produktionsmetod. - Genomför provblandning och produktionstest som underlag till detaljplanering av utförandet. - Val av efterbehandlingsmetod, slutlig dimensionering baserat på ett test av produktionsmetod. - Utförande. - Kontroll och dokumentation.
Bruksskede ("drift)	Fortsatt kontroll av recipient och konstruktion.

6. FRÅN IDÉ TILL FÄRDIG GEOKONSTRUKTION

Materialet Mn/GLS utgörs av en blandning av morän (Mn) och grönlutslam (GLS). I tätskiktet kan Mn/GLS-blandning nyttjas som ensamt skikt eller i kombination med morän. Under optimala förhållanden uppvisar blandningen hydraulisk konduktivitet under 10^{-8} m/s. Tätskiktets låga hydrauliska konduktivitet och vattenhållande kapacitet ger dess funktion som syrebarriär.

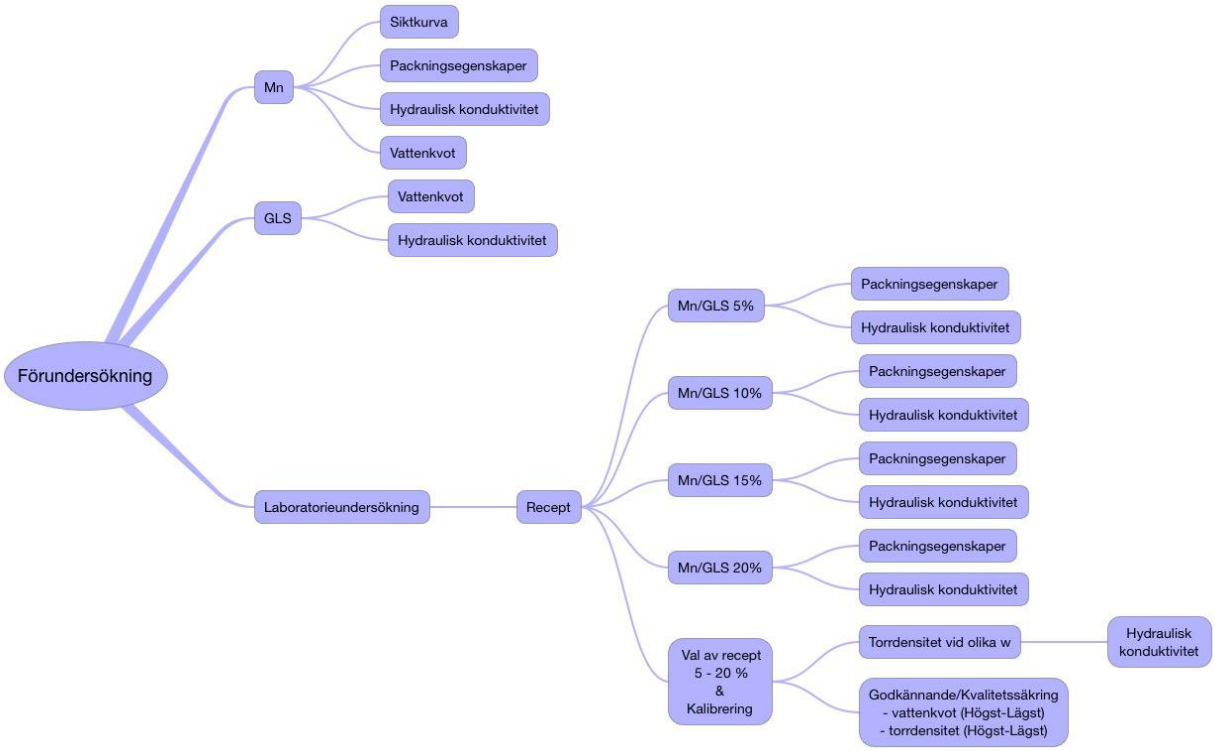
6.1 Idé och förstudie

När en gråbergsdeponi ska efterbehandlas är det viktigt att samla information om gruvområdet, gråbergsmaterialet som ska efterbehandlas, deponins areal och släntlutning, samt tillgång på morän till tät och skyddsskiktet. Moränens grundläggande egenskaper, som finjordshalt, täthet och packningsegenskaper undersöks oberoende val av material till tät- och skyddsskikt. Om moränens täthet inte klarar kriteriet på 10^{-8} m/s måste andra alternativ undersökas. Grönlutslam som blandas in i morän kan bidra till att lokalt förekommande morän kan användas i tätskiktet. Viktigt är att potentiella grönlutslam (från olika leverantörer) identifieras i detta skede.

Förstudien fortsätter med en undersökning av olika efterbehandlingsalternativ. Detta görs genom att jämföra olika efterbehandlingsalternativ med avseende på teknik, miljö och ekonomi. Exempel på alternativ som jämförs är att nyttja morän eller nyttja Mn/GLS för att uppfylla funktionskraven, se avsnitt ”Val av tätskikt”.

I efterbehandlingsprojekt, som ofta innefattar stora ytor, är det viktigt att i ett tidigt skede inventera tillgång och kvalitet på lokalt förekommande morän. Motsvarande inventering av grönlutslam är nödvändig. Inom 20 - 30 mils radie från ett efterbehandlingsområde finns ofta flertalet massa och pappersbruk som producerar grönlutslam. Grönlutslam genereras jämnt under året med en årlig produktion mellan 5 000 – 20 000 ton per pappersbruk. Tillgången på grönlutslam kan bli den främsta begränsande faktorn när flera efterbehandlingsobjekt med stora ytor ska täckas under en kort tid. Därför behöver tillgång på grönlutslam säkras i god tid. Sammantaget behövs en långsiktig planering för att knyta till sig grönlutslam genom avtalsskrivning. Vid efterbehandling av större arealer kan grönlutslam från flera olika bruk användas. Det rekommenderas att miljömyndigheter informeras i ett tidigt skede. Tänk på att situationen varierar från EBH-objekt till EBH objekt.

UTKAST v1.1



Figur 6.1 Material till tätskikt, val av Mn/GLS-blandning och bestämning av kontrollkriterier som kan nyttjas i fält för att kontrollera kvalitet.

Figur 6.1 beskriver principen att ta fram tätskiktsmaterial baserat på en blandning av morän och grönlutslam.

a) Morän undersöks med avseende på tekniska egenskaper för att uppfylla funktionskriteriet tätvärde > 8 (dvs hydraulisk konduktivitet < 10^{-8} m/s). Uppfyller inte moränen kravet på täthet undersöks hur tillsats av grönlutslam kan förbättra tätheten.
b) Grönlutslammets sammansättning och egenskaper kan variera beroende på process, härkomst och störningar i processen. Viktiga parameter att kontrollera är grönlutslammets vattenkvot, konsistensgränser, vattenhållande kapacitet och täthet eftersom dessa kan påverka möjligheten för användning.
c) Nästa steg är att ta fram recept på Mn/GLS-blandningar med rätt hydraulisk konduktivitet. Här tas det också fram kvalitetskriterier på torrdensitet och vattenkvot som sedan kan användas i full skala.

6.2 Utredning, planering och samråd

Efter beslut om att Mn/GLS väljs som efterbehandlingsalternativ görs en serie laboratorieundersökningar för att säkerställa Mn/GLS fungerar som tätskikt, dvs. uppfyller kravspecifikationen (t.ex. tätvärde > 8). Moränens och Mn/GLS-blandningars geotekniska

UTKAST

egenskaper undersöks för att bekräfta att Mn/GLS kan fungera som tätskikt. Undersök tillgång på grönlutslam.

En förprojektering av gråbergsdeponins utbredning och materialbehov görs och dokumenteras i en teknisk beskrivning. Inför samråd med miljömyndigheter görs samhällsekonomiska analyser utifrån ett helhetsperspektiv.

Principiell utformning, dimensionering och miljöriskbedömning av konstruktionen görs. Inkludera exempel/förslag på tidigare efterbehandlingsprojekt där Mn/GLS har använts som tätskikt.

6.3 Projektering och upphandling

Efter samråd och erhållet tillstånd har erhållits bedöms och dimensioneras efterbehandlingens omfattning. Bestäm behovet av morän och grönlutslam i tätskiktskonstruktionen. Påbörja arbetet med att kontraktera grönlutslam. Precisera kravspecifikationen avseende Mn/GLS-skiktet. Påbörja provtagning och laboratoriearbeten snarast möjligt med avseende på optimering av blandningsrecept och känslighetsanalys, och kvalitet på ingående material. Bestäm hållfasthet, hydraulisk konduktivitet och verifiera beständighet. Utformning, dimensionering och miljöriskbedömning av vald tekniklösning utförs. Etablera detaljerad kravspecifikation och kontraktera GLS i den mängd som behövs. Ta fram förslag på utförande (inklusive lagring, blandning, utläggning och packning). Utforma kontroll- och uppföljningsprogram för ingående komponenter, Mn/GLS-blandningens homogenitet, det utlagda tätskiktets packningsegenskaper och vattenkvot. Kontrollprogram för utförande av konstruktionen och omgivningspåverkan under byggskedet tas fram.

6.4 Byggande (Utförande och Logistik)

Vid behöv sök erforderliga tillstånd för provyta och test av produktionsmetod. Genomför alltid provblandning och produktionstest som underlag till detaljplanering av utförandet. Val av efterbehandlingsmetod och slutlig dimensionering kan finjusteras.

Komponenternas kvalitet och kvantitet kontrolleras.

- Kontroll av den siktade moränens kornkurva så att den uppfyller kraven på tätskikt, < 20 mm..
- Kvalitetskontroll av grönlutslam utförs och dokumenteras av leverantören.
- Lagring av komponenterna morän och grönlutslam utförs utan risk för ökad vattenkvot.
- Avstämning inför produktion att ingående material har motsvarande kvalitet som vid laboratorieförsöken. I detta ingår att bestämma vattenkvot (w), packningsegenskaper, permeabilitet, hållfasthet.. Kontroll av w hos Mn och GLS inför blandning.
- Kontroll av packningskvalitet efter installation av tätskiktet. (Packningsegenskaper och blandningskvalitet ger tätskiktets täthet, där målsättningen är att uppfylla funktionskravet på tätvärde > 8.

Skyddsskikt på minst 0,5 m läggs ut direkt efter att Mn/GLS-skiktet har lagts ut och packats.

UTKAST v1.1

6.5 Bruksskede

Fortsatt kontroll av recipient och konstruktion. Eventuell fortsatt kontroll och uppföljning t.ex. avseende ytvatten och grundvatten.

UTKAST V1.1

7. PROJEKTERING OCH UPPHANDLING

Startpunkt är att ansökan/samråd gett accept, det är klargjort med olika leverantörer, andra villkor för tex mängder och kvaliteter.

7.1 Utformning

Startpunkt är att ansökan/samråd gett accept, det är klargjort med olika leverantörer, randvillkor för tex mängder och kvaliteter .

Gruvavfallet deponeras i upplag som kan ser ut som kullar byggda i landskappet eller utfyllnad av lågpartier i landskapet såsom mindre dalgångar. Gråbergsdeponin består därför av en flackare del och sidor som kan vara mer eller mindre branta. I byggskedet blir slänterna ofta lika branta som materialets rasvinkel tillåter.

7.1.1 Utformning av släntlutningar etc.

Slänterna som skapas i samband med deponering av gruvavfallet är ofta för branta < 1:2. Dessa behöver därför skulpteras och bli flackare (högst 1:3-4) för att kunna anlägga ett stabilt täckskikt. De flackare delarna behöver även förses med en lutning på minst 1:10 och skulpteras för att leda bort nederbörden från området.

7.1.2 Avjämningsskikt

Gråberg är per definition ett grovkornigt material. De största blocken kan vara i storleksordning en kubikmeter vilket innebär också att porerna kan vara stora. För att undvika att material spolas ned i porerna behöver gråbergsupplagets yta avjämnas med ett finkornigare material så att de stora porerna fylls. Samtidgit avjämnas yta för att få rätt lutning på krönet och i slänterna.

Avjämningsskiktet kan göras av ett finare gråbergsfraktion, krossat material eller morän.

7.1.3 Tätskikt

I en kvalificerad täckning, anläggs tätskiktet ovanpå på avjämningsskiktet. Tätskiktet fungerar som syrebariären vars roll är minska syretransporten till det underliggande avfallet. Tättskiktet vars mäktighet är mellan 30 och 50 cm anläggs i två lager som kompakteras var för sig.

Funktionskravet på tätskiktet för denna vägledning är att syretransporten skall vara lägre än 1 mol/m2 och år. Detta uppnås genom att använda ett material vars porsystem och –volym är så liten att materialet vattenmättnadsgrad inte understiger 85%. På det sättet förblir porsystemet stängd med vatten som hindrar syret att vandra till avfallet.

Egenskapen som eftersträvas hos materialet i tätskiktet är därför förmågan att binda vatten eller motstå uttorkning. Vattenhållningsförmågan (water retention capacity) används som mått för denna egenskap och fältkapacitet motsvarar vattenhållningsförmågan vid atmosfärstryck.

Eftersom vattenhållningsförmågan är tidsödande att mäta används hydraulisk konduktivitet (k, enhet m/s) som krav vid bedömning av tätskiktsmaterial och praxis i Sverige är att välja material med hydraulisk konduktivitet lägre än 10^{-8} m/s. Vid sådan hydraulisk konduktivitet bedöms

UTKAST v1.1

vattenmättnadsgrad i materialet överstiga 85%. Andelen finkorniga partikel i materialet liksom packning av materialet är två viktiga parametrar vid anläggandet av tätskiktet. Om låg uttransport av lakvatten från gråbergsdeponin eftersträvas kan ett tätare tätskikt än 10^{-8} m/s väljas, alternativt i kombination med dräneringslager.

Lägst godtagbar packningsgrad skall bestämmas inför utförandet för materialen som kommer att användas i respektive efterbehandling. Vid utläggning kontrolleras erhållen packningsgrad för kvalitetssäkring.

7.1.4 Skyddsskikt

Skyddskiktets funktion är att skydda tätskiktet mot tjäle, uttorkning, rotpenetration och fungera som vattenbuffert. Traditionellt används ett lager osorserad morän med en mäktighet på ca 1,8 m. Om tjälskyddsegenskaperna i skyddslagret kan förbättras öppnas möjligheten att minska skyddsskiktets mäktighet och minska efterbehandlingskostnaderna.

Skyddsskiktet kan även fungera som syreförbrukande skikt. Organiskt material kan därför blandas i skyddskiktet. Effekten är dock tidsbegränsad då det organiska materialet så småningom bryts ned helt. Vegetationskiktet (se nästa) kan användas för att tillföra organiskt material i det översta marklagret.

7.1.5 Växtetableringsskikt

Växtetableringsskikt fungerar som erosionsskydd och förväntas tillföra nedbrytbart organiskt material i det översta marklagret. Matjord och avloppsslam är exempel på material som används i växtetableringsskiktet. Risken för näringsläckage skall beaktas vid anläggning av växtetableringsskiktet. Enfråga som behöver tas ställning till inför val av material är även vilken typ av vegetation som önskas på sikt. Försök görs exempelvis att etablera lavar på efterbehandlade ytor. I sådana fal skall ingen näring tillföras i marken om lavarna i skall konkurreras ut av gräsarter.

Övriga skikt? Dränering?

UTKAST v1.1

7.2 Morän

Jordarten morän är ett material som har avlagrats av landisen och därför kan innehålla partiklar i storleksordningar från stenblock till lera, se figur 7.1. Morän som nyttjas i tätskiktskonstruktion behöver siktas. Enbart fraktionen < 20 mm partikelstorlek används. Finjordshalten, halten av partiklar som är mindre än 0,06 mm, måste vara större än 30 % i det siktade materialet för att kvalitetskravet ska uppfyllas.

Figur 7.1 Morän, innehåller alla kornstorlekar, från finjord till block, beroende på ursprungsbergart och transportavstånd med inlandsisen.

Moränens täthet, hydrauliska konduktivitet, avgör om den kan nyttjas som tätskikt eller om den behöver modifieras, exempelvis med tillsats av GLS. Leriga[1] moräner som har tillräckligt hög täthet ($k < 10^{-9}$ m/s) behöver inte modifieras. Morän med hydraulisk konduktivitet mellan $5x10^{-7}$ – 10^{-8} m/s kan modifieras med inblandning av GLS för att öka tätheten och materialets vattenhållande kapacitet.

Kommer moränen från ett område med misstänkt höga bakgrundshalter av metaller kan en kontrollmätning avseende moränens miljöegenskaper (innehåll av tungmetaller) behöva utföras för att styra dess användning jämfört med uppsatta funktions- och myndighetskrav.

Grovfraktionen

Vid siktning/sortering uppstår stora volymer grus, sten och block som rest, med kornstorlek större än 20 mm. Det är önskvärt att i tidigt skede hitta avsättning, alternativt nyttja detta material på plats. En möjlig användning är som utfyllnad vid omformning av gruvområdet eller deponin så att efterbehandlingen efterliknar områdets landskapkaraktär.

7.2.1 Egenskaper (fraktion < 20 mm)

Egenskaper som kornstorleksfördelning, packningsegenskaper, w, och hydraulisk konduktivitet (k) är primära egenskaper hos moränen som behöver utredas. Dessa egenskaper ger viktig information om möjligheten och nödvändigheten att modifiera moränen i syfte att uppfylla

[1] Lerhalten räknas på ingående finjordshalt.

UTKAST

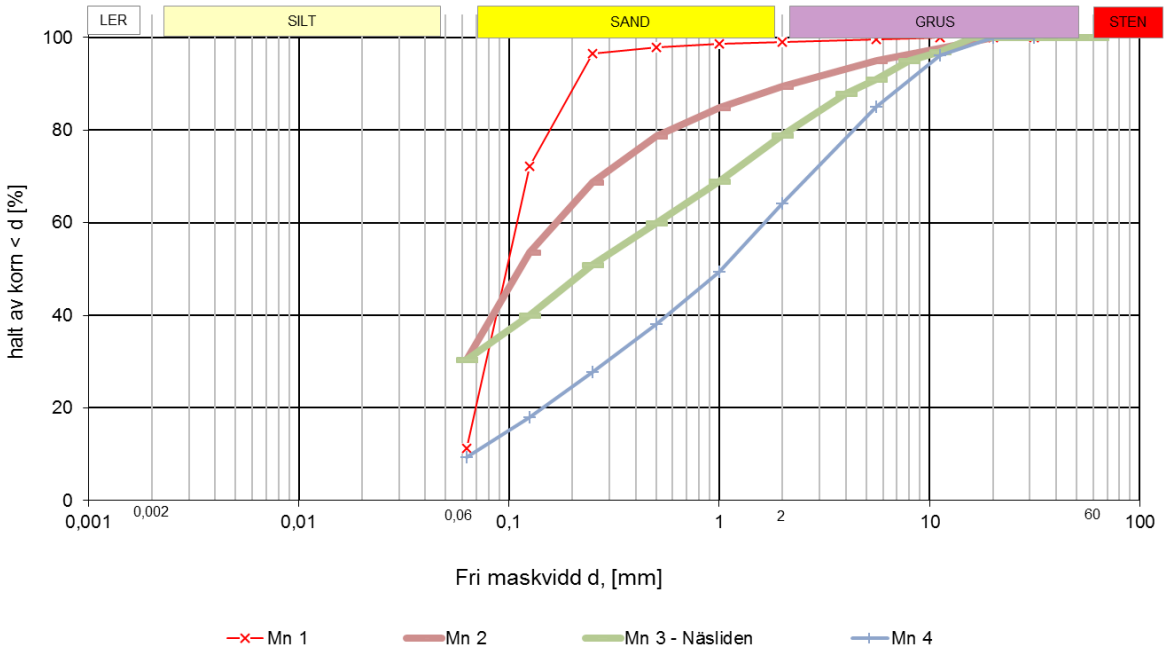
funktionskraven som ställs på ett tätskikt. Egenskaperna är också viktiga för att bedöma mängden grönlutslam som behövs för att modifiera ursprungsmoränens egenskaper så att den uppfyller funktionskravet på täthet och vattenhållningskapacitet.

Hydraulisk konduktivitet

Ett av funktionskraven är att tätskiktet ska ha en hydraulisk konduktivitet på lägre än 10^{-8} m/s. Förhållandet mellan hydraulisk konduktivitet och effektiv kornstorlek (d10) ger att moräner med effektiv kornstorlek < 0,006 mm krävs för att uppnå tätvärde > 8 (< 10^{-8} m/s).

Kornstorleksfördelning

Den siktade moränens kornstorleksfördelning påverkar tätskiktets hydrauliska konduktivitet. Nedan redovisas fyra olika moränmaterial (Mn 1 – 4), figur 7.2. Mn 2 och 3 har finjordshalt på 30 %, medan Mn 1 och 4 har finjordshalt på ca 10 %. Moränens hydrauliska konduktivitet vid optimal vattenkvot och 95 % packningsgrad ligger mellan 10^{-6} m/s och $5*10^{-8}$ m/s, dvs. klarar inte kriteriet 10^{-8} m/s. Där Mn 1 och Mn 2 är ensgraderade/mellangraderade medan Mn 3 och Mn 4 är månggraderade jordar.



Figur 7.2 Exempel på kornstorleksfördelning hos några siktade moräner (Fraktion < 20 mm).

Packningsegenskaper

Moränens packningsegenskaper är av intresse, eftersom Mn/GLS blandningarnas torrdensitet ska jämföras med moränens torrdensitet som nollvärde. Packningsgraden påverkar moränens permeabilitet och för ett material med låg lerhalt kan packningsgraden vara avgörande för om det klarar kriteriet på hydraulisk konduktivitet 10^{-8} m/s eller inte. Sandiga moräner har ett

täthetsvärde[2] på > 8. Inblandning av GLS medför att finjordshalten ökar och att torrdensiteten minskar.

Summering
Moränens kornstorleksfördelning, gradering, packningsegenskaper och hydrauliska gradient är viktiga parametrar som används vid bedömning av moränens lämplighet som tätskiktsmaterial, Tabell 7.1. För att avgöra behovet av att tillsätta grönlutsslam undersöks moränens hydrauliska konduktivitet vid packningsgrad, D = 90 – 95 %. Om tätvärdet ligger under 8 utreds möjligheten att förbättra moränens hydrauliska konduktivitet med hjälp av tillsats av grönlutslam.

Tabell 7.1 Typiska värden

Material	Egenskaper	Enhet	Exempel
Morän, Mn	Kornstorleksfördelning	-	30 % < 0,06 mm (i 20 mm)
	Vattenkvot, w	%	5 - 15
	Packningsegenskaper *Optimal torrdensitet* *Optimal vattenkvot* *Packningsgrad, D*	 ton/m^3 vikt% %	 2,1 5-6 > 95
	Hydraulisk konduktivitet, k	m/s	$5x10^{-8} – 10^{-8}$
	Metallinnehåll, Acid/Base[$]	mg/kg	-
	Skrymdensitet[$] ρ_d	ton/m^3	1,8 - 2
	Korndensitet[$], ρ_s	ton/m^3	2,75
	Porositet och portal[$], n & e	%	n: 0,3/0,45; e: 0,4/0,8

7.3 Grönlutslam

Grönlutslammets egenskaper varierar mellan olika fabriker/bruk, men kan också variera i tid från samma uttagsställe. Grönlutslam avvattnas innan den faller som restprodukt. Avvattningsprocessen är:

1) Mesa som filter, leder till att grönlutsslammet kan ha inslag av mesa.
2) Centrifugering och tillsats av polymerer

Grönlutslam (GLS) är ett basiskt material. Grönlutslam har en naturlig vattenkvot mellan ca 80 - 160 % (Torrsubstanshalt, TS, mellan 55 % - 38 %)[3]. Grönlutslam är svårtorkat, dvs. det håller vatten trots torkning i ugn vid 105 C. GLS har en kompaktdensitet mellan 2,5– 2,8 ton/m^3. Vissa grönlutslam har vattenkvot som ligger nära dess flytgräns (w_L), dvs. den vattenhalt vid vilken materialet övergår från plastisk konsistens till flytande konsistens. Grönlutslam som har vattenkvot nära sin flytgräns är svårhanterliga material.

[2] Tätvärde *pP* är – logaritmen av *k*, dvs. *pP* = - log(*k*), där 10^{-8} har tätvärdet 8.
[3] OBS det förekommer grönlutslam med både högre och lägre vattenkvot. Vid pilotförsöket i Boden som föregick denna rapport hade använd GLS vattenkvotsvärden mellan 73 % och 117 % (TS 43 % - 56 %).

UTKAST VI.1

Grönlutslam har låg hydraulisk konduktivitet som minskar med ökad packningsgrad. Eftersom vattenkvoten hos grönlutslam ligger över den optimala vattenkvoten ökar packningsgraden med minskad vattenkvot. Det är därför viktigt att kontrollera w och täthet hos grönlutslam för att bedöma materialets lämplighet som tillsatsmedel till morän, Tabell 7.2. Grönlutslammets tätvärde bör vara under 8 (< 10^{-8} m/s) för denna applikation. CRS-försök rekommenderas för att ta fram materialets täthet.

Faktaruta
Grönlutslam binder vatten. Effekten är att vid torkning (vid 105 C) av ostört GLS-prov ligger torrhalten (TS) högre än efter att GLS bearbetas mekaniskt. Mekanisk bearbetning medför att materialets vattenkvot ökar skenbart eftersom bundet vatten frigörs. **Viktig**: Grönlutslammets konsistensgränser är information att ta hänsyn till vid val av blandningsutrustning eftersom ALLU-skopa, tvångsblandare eller jordfräs kommer att påverka Mn/GLS-blandningens vattenkvot och därmed hanterbarhet.

Tabell 7.2 Egenskaper hos grönlutslam som är viktiga

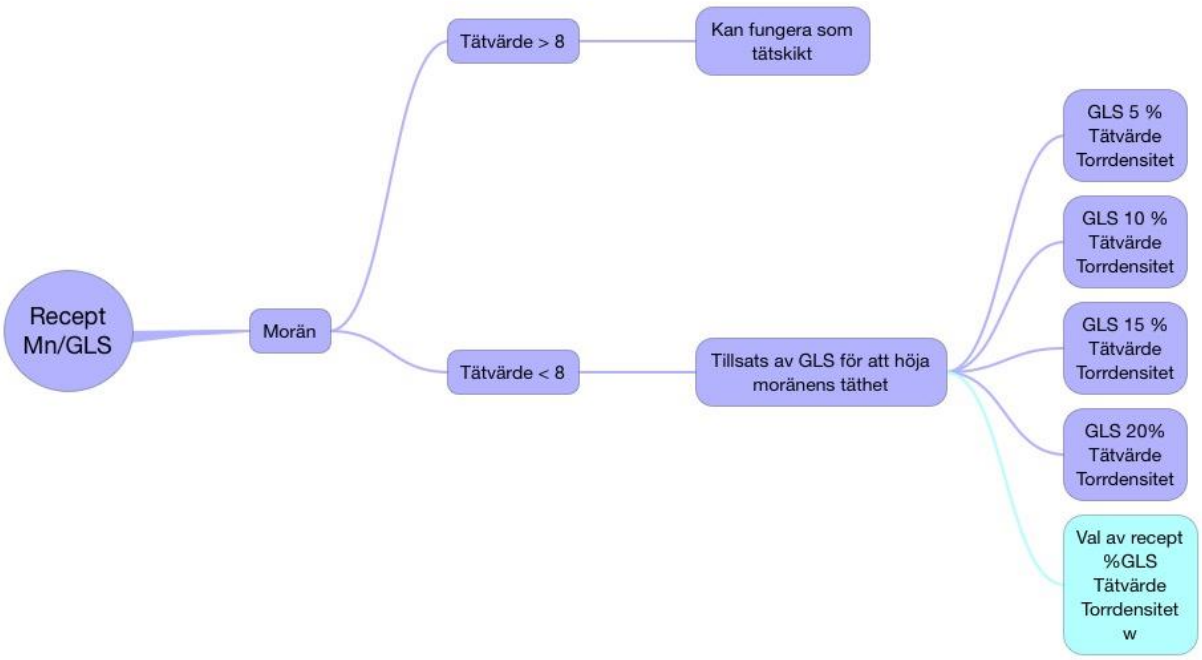
Egenskaper	Enhet	Exempel
Hydraulisk konduktivitet, k & Kompressionsegenskaper	m/s	$5x10^{-8} – 10^{-8}$
Packningsegenskaper *Optimal torrdensitet,* ρ_d *Optimal vattenkvot* w_{opt} *Packningsgrad, D*	 ton/m^3 vikt% %	 1,25 20 > 95
Skrymdensitet	ton/m^3	1,3 -1,5
Konsistensgränser[$] *Plasticitetsgräns,* w_P *Flytgräns,* w_L	%	-
Skjuvhållfasthet[$], τ_{fu} Enax Konförsök	kPa	-
Korndensitet[$], ρ_s	ton/m^3	2,6 -2,75
Porositet och portal[$], n & e	%	-
Lakningsegenskaper[$] *L/S 0,1 – 10* *Metallanalys vatten*	 - mg/l	-
Vattenkvot, w	%	80 -160

Utkast

Egenskaperna som redovisas i tabellen är viktiga vid bedömning av grönlutslammets lämplighet som inblandningsmaterial i morän. Grönlutslammets vattenkvot används sedan för att kontrollera slammets kvalitet. Beskrivning av slammets grundläggande egenskaper görs av leverantören.

7.4 Morän/grönlutslamsblandningar

Figur 7.3 ger en kort beskrivning av vilka försök som utförs med Mn/GLS-blandningar för att ta fram recept som fungerar som tätskikt.



Figur 7.3 Schema för framtagning av recept på Mn/GLS-blandning som klarar täthetskraven.

Laboratorieförsök utförs för att ta fram optimal blandningsförhållande mellan Mn och GLS. Grönlutslammets funktion är att fylla moränens porvolym. Beroende på moränens kornstorleksfördelning behövs olika mängder grönlutslam till detta. Tillsats av mellan 5 – 10 % (av våtvikt) GLS krävs för att fylla porvolymen hos Mn med finjordshalt på ca 30 %. Tillsats som är högre än ca 10 % av GLS medför volymökning hos moränen.

Den optimala Mn/GLS-blandningen har låg hydraulisk konduktivitet, ett tätvärde > 8, vid en viss torrdensitet hos det packade Mn/GLS- materialet. Blandningens homogenitet med avseende på vattenkvot och packningsgrad används sedan som kriterier vid kontroll av blandningskvalitet och utlagt tätskikt i fält, tabell 7.2.

Tabell 7.2 Egenskaper hos moränen som tas fram.

Material	Primära egenskaper	Enhet	Exempel
Mn / GLS	Vattenkvot, w	%	10 - 20

	Packningsegenskaper *Optimal torrdensitet*, ρ_d *Optimal vattenkvot* w_{opt} *Packningsgrad, D*	 ton/m^3 vikt% %	 1,95 6-7 > 95
	Tjältest - segregationspotential[$]	mm^2/Kh	-

7.5 Upphandling

Teknisk beskrivning tas fram innehållande projekteringsförutsättningarna. Bygghandlingen redovisar den tänkta konstruktionen med tillhörande arbetsritningar.

Byggprocessen indelas i tre skeden, a) utredning, b) produktbestämning och c) produktframställning. Skedena överlappar normalt varandra. Avsikten med en byggprocess är att åstadkomma en efterbehandlingskonstruktion.

a) I utredningsskedet insamlas och bearbetas den information som behövs för projekteringen. Utredningsskedet resulterar i en Projektutredningsrappart som är underlag för eventuellt fortsatt arbete.
b) I produktbestämningsskedet anges förutsättningarna och kraven formuleras med hjälp av programhandling, systemhandling, bygglovhandling, bygghandling och produktions. Bygghandlingar och produktionshandlingar utgör underlag för produktframställningen.
c) I produktframställningsskedet sker drift och underhållsinstruktioner så att objektet fortsättningsvis uppfyller de i programmet ställda kraven.

Utredningsskedet

Utredningen är det första skedet i byggprocessen och är avsedd att ge en översiktlig beskrivning av projektets storlek, lokalisering, innehåll, alternativa principlösningar, tids- och kostnadsramar samt finansiering. I utredningen ingår också registrering av befintliga förhållanden, inventering av tillgängliga kunskapsunderlag. Utredningsprocessen får inte bli för omfattande och detaljerad då syftet i första hand är att undersöka möjligheterna och förutsättningarna för att projektet skall bli till.

I projektutredningsrapporten är miljökonsekvensbeskrivning obligatorisk. För en rad bygg- och anläggningsarbeten krävs enligt plan- och bygglagen (PBL) ett särskilt tillstånd- bygglov. Avgörande är bl.a. fastighetensbelägenhet och byggnationens typ och omfattning. Den som vill bygga ett nytt hus eller anläggning utanför planlagt område söka ett förhandsbesked. Förhandsbesked kan endast lämnas avseende bygglov och inte ifråga om marklov eller rivningslov.

Underlag för planförfarandet

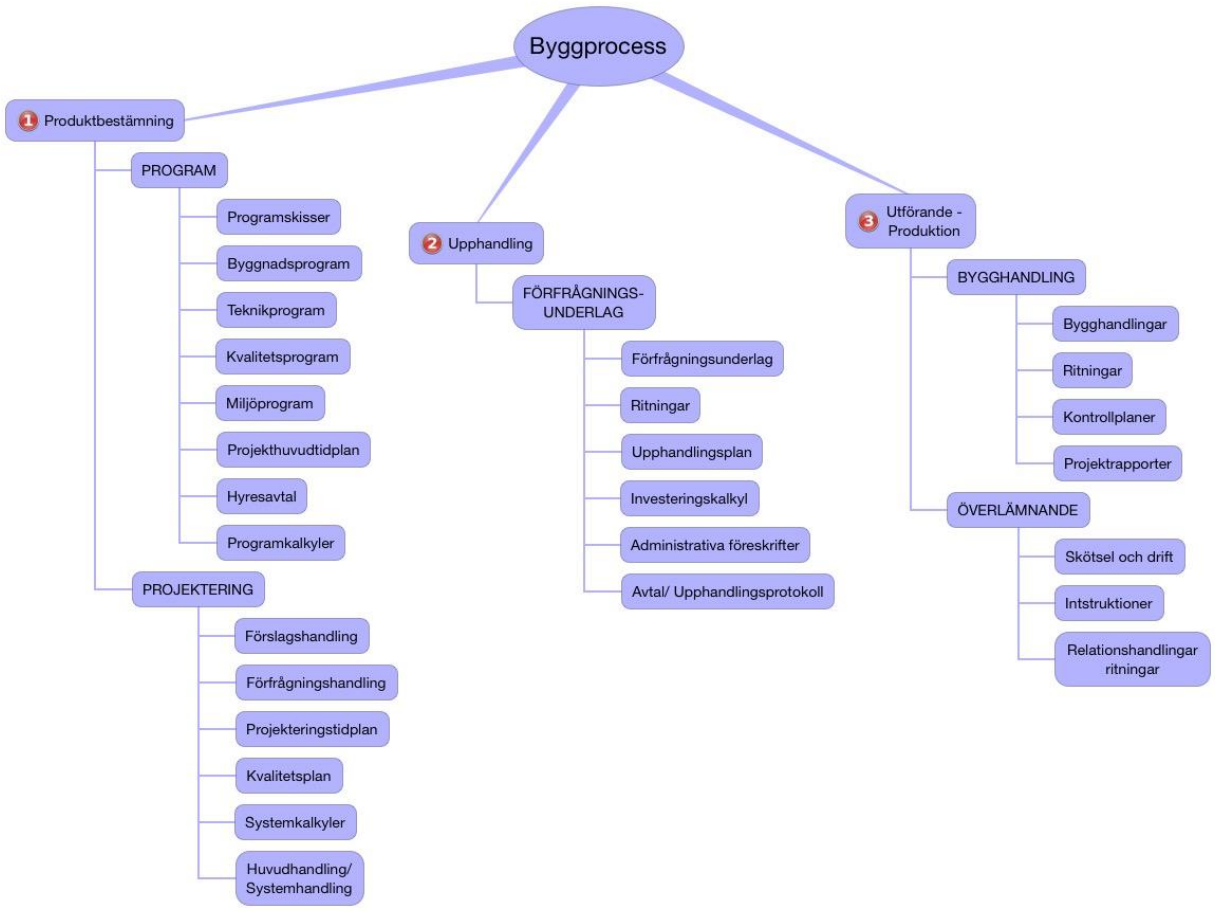
UTKAST v1.1

Beslut om markens och vattnets användning och bebyggelsemiljöns utformning berör många människor, företag och institutioner i samhället. Plan- och bygglagen reglerar hur detta skall ske. Planläggning är en kommunal angelägenhet. Med stöd av PBL, Miljöbalken och andra lagar upprättar kommunerna olika planer. Dessa är:

- Översiktsplan
- Detaljplan
- Områdesbestämmelser
- Fastighetsplan

För samordning kommunerna emellan kan även regionplaner upprättas. De olika planerna och bestämmelserna utgör underlag för såväl efterföljande lov enl. PBL (marklov, rivningslov, bygglov) som de tillstånd enl. de lagar som anknutits till PBL.

När utredning är klar består fortsättningen av produktbestämning, upphandling och produktion enligt följande mönster eller delar där av, se figur 7.4:



Figur 7.4 Exempel på byggprocessens utredningar.

8. BYGGANDE (UTFÖRANDE OCH LOGISTIK)

8.1 Rutiner för karakterisering och godkännande av inkommande material

Morän – Moränen har i laboratorieundersökning bedömts kunna uppfylla täthetskriterierna efter inblandning av grönlutslam. Moränens kornstorleksfördelning är dokumenterad.

Vid receptinblandning används morän med en viss vattenkvot (TS-halt). Det framtagna receptet baseras på moränens och grönlutslammets vattenkvot. Ändring i vattenkvot hos moränen måste kontrolleras och följas upp. Skillnader i vattenkvot kompenseras genom omräkning med torrvikt.

Grönlutslam – Grönlutslammet kontrolleras vid uttag (fabrik/mellanlager). Grönlutslam från massabruk kontrolleras på plats gäller vattenkvot. Vid eventuella störningar i processen används inte materialet som misstänks ha andra egenskaper. Spannet på vattenkvotsvärden som kan accepteras i fält tas fram vid receptframtagning och anges som kriterievärden. Blandningar gjorda med torrare grönlutslammet (låg vattenkvot) är mindre känsliga.

Kvalitetskontroll/dokumentation
Den siktade moränens kornstorleksfördelning och vattenkvot kontrolleras, förslagsvis 1 prov per 500 ton.

Grönlutslammet okulärbesiktigas innan den lastas på flak, fabriken kontrollerar grönlutslammets vattenkvot, 1 prov per 100 ton.

Dokumentation skickas med materialet till mottagaren.

8.2 Transport

Morän – Morän tas från området eller transporteras från närmsta tillåtna moräntäkt. Lasten ska bestå av ren morän utan inbladning av organiskt avtäckning.

Grönlutslam – Grönlutslam produceras året runt och jämt fördelat. Mängden GLS som behövs per hektar ligger mellan 500 och 1000 ton. Bruken producerar mellan 2 000 ton till 20 000 ton grönlutslam per år.

Transport av GLS ska ske utan att det tillför föroreningar. Lasten ska bestå av GLS och inga andra material mellan flak och GLS är tillåtna. GLS med vattenkvot > w_P har plastisk konsistens och det är i vissa fall svårt att lasta av på grund av ”kletig” konsistens. Vattenkvot < w_P har halvfast konsistens och är generellt enklare att hantera.

8.3 Lagring

För att erhålla tillräckligt stora mängder morän och grönlutslam är det nödvändigt att lagra dessa material. Generellt är det svårt att lagra utan att materialegenskaperna påverkas. Nedan beskrivs olika aspekter att beakta vid lagring av morän och grönlutslam.

UTKAST V1.1

Materialens vattenkvot är viktig faktor som påverkar blandningsförhållandena och därmed slutproduktens täthet och geotekniska egenskaper. Det är därför av stor vikt att materialen har rätt vattenkvot under tillverkningsprocessen, dvs. att man nyttjar material med likvärdig vattenkvot som de som undersökts i laboratorieförsöken, eftersom dessa ligger till grund för bedömningen att nyttja materialet. Blandningsrecepten baseras på våtvikt, därför innebär högre vattenkvot hos moränen att mängden grönlutslam ökas och att mängden vatten i blandningen stiger. Vid samma våtvikt medför detta att andelen torr grönlutslam ökar jämfört med andelen torr morän. Ur hållfasthets- och kompressionssynpunkt är det viktigt att andelen grönlutslam, baserat på torrvikt, är på samma nivå som det som bestämts vid laboratorieförsöken vid receptframtagningen. Variationen av vattenkvoten hos respektive material är därmed en viktig parameter som påverkar blandningsförhållandet och blandningens vattenkvot. Detta kan i sin tur påverka blandningskvalitén och därmed materialets täthet och stabilitet (släntstabilitet).

Lagring av morän och grönlutslam utförs på ett sådant sätt att ändringar i vattenkvot hos materialen under lagring minimeras. Innan materialen blandas kontrolleras respektive materials vattenkvot. Vattenkvoten används sedan för att avgöra om materialets innehåll av vatten ligger inom det område som är godkänd för tillverkning av tätskikt ur täthetssynpunkt.

Morän – Den siktade moränen betecknas som siltig sand/sandig silt. Materialet är relativt genomsläppligt och påverkas förhållandevis snabbt av nederbörd och torka. Morän kan skyddas från uttorkning och nederbörd med presenning eller motsvarande. Höjning av moränens vattenkvot vid nederbörd påverkar Mn/GLS-materialets kvalitet som i sin tur kan riskera både täthet och släntstabilitet. Vid lagring av morän bör avrinning från slänter och ytavrinning från lagringsplatsen underlättas.

Torr morän dammar, vilket kan orsaka arbetsmiljöproblem.

Grönlutslam – Vid lagring av grönlutslam bör den effektiva ytan som påverkas av uttorkning och nederbörd minimeras. Figur 8.1 (Bild Boden) visar exempel på lagring av grönlutslam. Grönlutslam är ett tätt material och lagringstiden förändrar inte drastiskt materialets vattenkvot. Lagring under långvariga regnperioder… Lagring under vinterförhållanden kan medföra frystorkning eftersom GLS kan återta vatten och därmed sina tekniska egenskaper som täthet anses inte uttorkning vara problem. **Kan vi bekräfta !?!.**

UTKAST V1.1

Figur 8.1 Lagring, xx ton grönlutslam mellanlagrades mellan 2013 xx och 2014-04-25. I förgrunden produceras Mn/GLS med tvångsblandare.

8.4 Tillverkning

Tillverkning av Mn/GLS sker med blandningsförhållanden som utvärderas och bedöms i laboratorieförsök. De ingående materialens vattenkvot och andel baseras på laboratorieundersökning. Exempel på normala vattenkvot hos morän är ca 8 % - 11 % och hos GLS 74 % - 120 %. Optimal andel GLS i Mn/GLS-blandningen var i de studier som föregått denna rapport generellt mellan 10 % – 20 % baserat på våtvikt och 5 % – 11 % baserat på torrvikt för att uppnå en konduktivitet av minst 10^{-8} m/s. Andra kvalitetskrav på erhållet tätskikt, andra typer av morän och GLS kan medföra andra blandningsförhållanden. Under hela projektets gång är det viktigt att komma i håg att samtliga värden är materialspecifika, dvs. ändras från fall till fall.

Morän kvalitetsgranskas med avseende på vattenkvot och kornstorleksfördelning. Grönlutslam kvalitetsgranskas med avseende på vattenkvot. Vattenkvoten är en viktig faktor som styr blandningens packningsegenskaper, täthet och kompressionsegenskaper. Lämpliga vattenkvotsintervall för Mn och GLS tas fram vid de inledande laboratorieundersökningarna för de aktuella materialen. Det är viktigt att använda den vattenkvot som förväntas råda vid fullskaleprojektet. Toleransvärden ska tas fram för densitet på packat tätskikt och på ingående moräns och grönlutslams vattenkvot.

Blandningstiden och intensitet kan påverka grönlutslammets vattenkvot eftersom mekanisk bearbetning frigör bundet vatten och bidrar till ökad vattenkvot hos Mn/GLS-blandningen. Detta gäller främst GLS med $w > w_P$. Lång blandningstid medför för GLS att materialet övergår från plastisk till flytande konsistens som i sin tur påverkar utläggnings- och packningsarbetet. Risken för detta utreds vid de inledande laboratorieförsöken.

Det finns olika blandningsutrustning som kan anpassas för blandning av Mn och GLS. Nedan ges det några exempel på olika utrustningar. En och samma metod kan fungera olika väl för olika råmaterial. Det viktiga vid val av utrustning är att den kan ge en homogen blandning och att den har tillräcklig kapacitet. Förblandning med skopa, figur 8.2, behövs för att får homogen blandningskvalitet med skop- och tvångsblandare.

UTKAST VI.1

Figur 8.2 Förblandning med skopa. Förblandning är nödvändig innan skop- och tvångsblandning utförs.

Skopblandare typ ALLU

Morän och grönlutslam vägs in skopvis och förblandas. Blandningen utförs med skopblandare, figur 8.3. Skopblandare har en genomsnittlig kapacitet på ca 100-120 ton/h. Det har bedömts att en till två blandningsomgångar räcker för att få en homogen blandning som kan nyttjas som tätskiktsmaterial. Kapaciteten att tillverka färdigt Mn/GLS är därmed mellan 40 – 120 ton/h. Blandningskapaciteten beror på andel grönlutslam som ska blandas med morän, men också de ingående materialens kvalitet, vattenkvot och väderleken kan inverka. Förblandningen fungerar väl för batcher á 70 -100 ton. Vid större batcher finns risk för sämre blandningskvalitet. Detta kan åtgärdas med extra omgång blandning med skopblandare. Den färdiga blandningens ska se homogen ut, och vid klämtest[4] ska blandningen sitta ihop. Varierar detta i högen är blandningen av sämre kvalitet. Alternativt utförs MCV[5] på blandningen. Blandningens densitet/torrdensitet bör ej variera utanför toleransgräns som tas fram för applikationen. Materialspecifik MCV-mall tas fram och används vid kvalitetskontroll av blandningens homogenitet.

Fördelar: Skopblandare ger bra blandningskvalitet och är driftsäker. Blandningsinsatsen kan utföras när det finns tillräckligt med material, skopan kan däremellan nyttjas till andra arbetsinsatser. Fungerar väl för plastiska och halvfasta konsistenser hos GLS.
Nackdelar: Förhållandevis låg produktionshastigheten. Förblandning av Mn och GLS behövs.

Figur 8.3 Skopblandning med ALLU-skopa.

Tvångsblandare

Blandning med tvångsblandare har en kapacitet mellan 60 – 120 ton/h, figur 8.4. Utrustningen nyttjas främst kampanjvis. Grävare med skopa behövs för förblandning av Mn och GLS och för inmatning av den förblandade Mn/GLS-materialet. Fördelarna med tvångsblandare är att

[4] Klämtest – Mn/GLS kramas ihop som snöboll och ska sitta ihop utan att lätt smulas.
[5] MCV-metoden kan användas för att ta fram ett förhållande mellan vattenkvot och packbarhet. Metoden ger således ett värde på hur känslig en viss typ av jord är för vattenkvotsförändringar med avseende påpackningsegenskaperna.

blandningshomogeniteten motsvarar 4 – 5 blandningsomgångar med ALLU-skopa. Blandningstiden kan anpassas och kapaciteten bedöms kunna nå 120 – 150 ton/h. Driftstopp på grund av igensättning, stenar i moränen kan minska blandningskapaciteten. Tvångsblandaren påverkar Mn/GLS-blandningens vattenkvot genom att vatten pressas ur grönlutslammet vid tvångsblandningen. Inmatningsficka för grönlutslam och morän kan ersätta behovet av förblandning.

Fördelar: Tvångsblandare ger bra och jämn blandningskvalitet. Jämnare produktion än med skopblandare.
Nackdelar: Driftsäkerheten kan äventyras om stenar kommer med i Mn/GLS-blandningen. Förhållandevis låg produktionshastigheten. Förblandning av Mn och GLS behövs. GLS med $w > w_P$ kan bidra till att öka Mn/GLS-blandningens vattenkvot.

Figur 8.4 Tvångsblandning av förblandat Mn/GLS.

Fräs (För denna metod utförs blandning efter utläggning)
Ett alternativt sätt att blanda Mn/GLS är med jordfräs. Fräsen har en fräsdjup på maximalt 0,3 m – 0,5 m. Morän läggs ut i ett lager över avjämningsytan, följt av ett lager av grönlutslam Figur 8,5 a och 8.5b. Tjockleken väljs baserat på det recept som togs fram i inledande laboratorieförsök. Därefter fräses Mn/GLS materialet ihop, figur 8,5c, varefter materialet packas, figur 8.5d. Lagertjockleken bedöms bli ca 0,25 m. Bedömd kapacitet är ca 5 000 m^2 per dag vid ett lager. Detta ger en genomsnittlig kapacitet på drygt 300 m^2/h om två lager av Mn/GLS läggs ut. Kapaciteten uttryckt i ton/h är ca 300 ton/h.

Fördelar: Stor produktionskapacitet. Förblandning behövs inte, som vid blandning med tvångsblandare och ALLU-skopa. Blandnings- och packningskvaliteten kan kontrolleras vid ett och samma test. Fräsen finfördelar moränen, vilket bidrar till att blandningens finjordshalt ökar (bidrar till ökad täthet).

Nackdelar: Tekniken har inte prövats i denna applikation. Metoden bedöms vara känslig för ihållande nederbörd i och med den stora ytan. Utlagt och packad Mn/GLS måste täckas omgående efter packning för att undvika uppluckring, erosion eller uttorkning av det packade Mn/GLS-skiktet.

a) b) c) d)

Figur 8.5 Exempel på teknik med utläggning, fräsning, och packning från en annan applikation, stabilisering av grusväg, Iggesund, där a) siktad morän lagts ut, följt av b) grönlutslamblandning[6] som lagts ut och c) frästes ihop (fräsdjup 0,1 m) och

Några andra allmänna rekommendationer:

- Förförsök rekommenderas för att testa att tänkt blandnings- och utläggningsmetod fungerar under lokala förutsättningar.
- Blandningstiden bör optimeras, så att homogen blandning uppnås utan att grönlutslammets vatten "arbetas ut", vilket kan leda till flytande konsistens[1]
- För att fördela eventuella heterogeniteter och därmed erhålla en tätare tätskiktskonstruktion rekommenderas utläggning av två delskikt
- Blandning och utläggning bör ske under perioder då vädret förväntas vara någorlunda torrt. Ta fram toleransvärden för ingående materials vattenkvot och Mn/GLS-blandningens torrdensitet för att säkerställa funktionskravet på täthet.

d)

8.5 Utläggning

Två utläggningsstrategier har redovisas nedan, (A) färdigblandat Mn/GLS-material läggs ut och packas och (B) lager av Mn och GLS läggs ut på avjämningsytan (se anvsitt fräs), fräses ihop och packas sedan. Möjligheterna att köra på materialet kan variera. Om bärigheten inte bedöms som tillräcklig för arbetsmaskinerna, måste utläggning av skyddsskikt ske etappvis. Runt

[6] Blandning av grönlutslam och flygaska, där blandningen användes i en grusvägskonstruktion.

området som ska sluttäckas kan i vissa fall en stödvall byggas av Mn/GLS som mothållande stöd vid packning.

A) Utläggningen sker i vådor mot en stödvall. Metodiken har använts vid pilotförsöket i Boden och xx MTC?). Utläggningen sker i vådor med grävmaskin från sidan. Utläggning sker i två lager om ca 25 cm vardera, med packning emellan. Antalet överfarter med vält bestäms efter utförd kontroll av torrdensitet.
Bandgående fordon som kör på ytan bidrar till packning. På branta partier kan lutningen vara alltför kraftig även för vält.
(B) Morän läggas ut i exempelvis 0,25 m skikt, följt av ett skikt av ca 0,05 m grönlutslam. De utlagda skikten fräses ihop med en fräs som når ca 0,3 m djupt. Direkt efter fräsningen packas materialskiktet. Antalet överfarter med vält bestäms efter utfört kontroll på torrdensitet. Kontroll utförs av ytan med avseende på packningsgrad och vattenkvot. Släntlutningar behöver anpassas så att fräs och vält kan arbeta.

Det utlagda Mn/GLS materialet har en torrdensitet som vid packning komprimeras med ca 30 %. Packning medför en ökning av torrdensiteten från ca 1,5 – 1,6 ton/m^3 till ca 1,7 - 2 ton/m^3. Därmed är det viktigt att hela ytan utsätts för samma överfarter om exempelvis bandmaskin kör direkt på utlagt tätskiktsmaterial. I annat fall riskeras att torrdensiteten och därmed hydraulisk konduktivitet varierar på den efterbehandlade ytan.

Mn/GLS-skiktets densitet styrs av den last som kommer från packning (vält) och fordon (bandmaskin). Skyddsskiktet kan bidra till viss konsolidering av Mn/GLS-skiktet i efterhand, förutsatt att tätskiktet har låg densitet. Det utlagda och packade tätskiktets densitet kontrolleras efter utläggning med hjälp av exempelvis vattenvolymeter (ytligt), isotopmätning (t ex Troxler) eller elektrisk impedansspektroskopi (t ex SDG).

Rekommendationen är att tätskiktet täcks direkt med skyddsskikt, minst 0,5 m för att minska risken för uttorkning, erosion och uppluckring, figur 8.6. Väderleken vid utläggning och packning har stor betydelse. Det är viktigt att begränsa exponering av tätskiktet för uttorkning, bl.a. för att förhindra sprickbildning. Vid nederbörd blir tätskiktet blött och kan få en lerig konsistens, vilket försvårar möjligheterna att packa materialet.

Andra skikt
Skyddsskikt

UTKAST vi.1

Figur 8.6 Utläggning av skyddsskiktet, morän med fraktion < 150 mm.

8.6 Kontroll & uppföljning

Tätskiktets funktion är att utgöra syrebarriär och begränsa mängden vatten som infiltrerar ner till gråberget. Det innebär att höga krav ställs på vattenhållande kapacitet och täthet hos tätskiktet.

Sluttäckningen med tätskikt av morän- och grönlutslam ställer speciella krav på val av ingående material, lagring, blandning och utläggning.

Kvalitetskontroll görs på grönlutslam, morän och blandningen, det utlagda materialets torrdensitet kontrolleras och jämförs med laboratorievärden på hydraulisk konduktivitet vid motsvarande torrdensitet.

Entreprenörens kunnande och engagemang är viktigt för tätskiktets kvalitet. Det är därför av stor betydelse att personal som arbetar med lagring, tillverkning och utläggning utbildas och att egenkontroll utförs. Det är av vikt att vid utbildningstillfället förklara för inblandad personal, funktionen hos sluttäckningen, och vilka krav som ställs på material och utförande.

En del i kvalitetssäkringen är en noggrann dokumentation av hur arbetet genomförs, t ex genom dagbok och foton. Dokumentationen omfattar t ex antal skikt, hur utläggning och packning gått till och väderlek. Fältprotokoll sparas. Exempel på dokumentation av egenkontroll finns i bilaga X. I bilaga D görs en sammanställning av variationer i morän och GLS kvalitet, mm.

Dokumentation kring morän och GLS (se avsnitt 2) sparas tillsammans med övrig dokumentation kring lagring, blandning, utläggning, packning och uppföljning.

Utförandekontroll/egenkontroll

Utförandekontrollen omfattar kontroll av de moränens vattenkvot och kornstorleksfördelning, grönlutslammets vattenkvot, konsistensgränser och den färdiga blandningens vattenkvot och

UTKAST V

torrdensitet efter utläggning. Homogeniteten hos dessa ger viktig information om det utförda arbetets kvalitet. Kravspecifikation på densitet och vattenkvot, som togs fram vid de inledande laboratorieundersökningarna, följs och dokumenteras. Exempel på egenkontroll redovisas i bilaga X. Det är viktigt att i fältprotokoll dokumentera utförandet, driftstopp, eventuella avvikelser, väderlek, samt att fotografera utförandet.

Homogenitet: mäts med hjälp av hur stora variationer som förekommer hos materialens vattenkvot (w), torrdensitet ρ_d. En stor variation i w, eller ρ_d indikerar att utförandet inte är homogent. Dessa värden jämförs med intervall på w och ρ_d som indikerar att tätskiktet uppfyller kravet på täthet.

Information om den siktade moränens kornstorleksfördelning, vattenkvot undersöks. Om materialen lagras under längre tid är det viktigt att utföra ny bestämning av vattenkvot innan Mn/GLS-blandningen tas fram. Typisk kontrollnivå är 1 prov per 500 m^3.

Information om grönlutslammets vattenkvot (torrhalt- TS) hämtas in från bruket som levererar materialet. Om materialen lagras under längre tid är det viktigt att utföra ny bestämning av vattenkvot innan Mn/GLS-blandningen tas fram. Typisk kontrollnivå är 1 prov per 100 m^3.

Kontroll av Mn/GLS-blandningens homogenitet görs genom okulär bedömning av blandningskvalitén. Mn/GLS-blandningen ska vara fri från synliga klumpar av GLS. Med skopblandare uppnås homogenitet efter en blandningsomgång, förutsatt att materialen har förblandats med skopa. Motsvarande homogenitet uppnås vid tvångsblandare efter förblandning av Mn och GLS.

Kontroll av vattenkvot och skrymdensitet i färdigblandat Mn/GLS görs med hjälp av MCV, och av torrdensitet på utlagt och packat tätskikt. Typisk kontrollnivå är 1 prov per 900 m^2 utlagt material. Kontrollen kan vara tätare vid inkörningsperioder och när störning av produktion förekommer.

Troxler

OBS! Viktigt att vid utläggning inte lämna utlagt Mn/GLS utan skydd eftersom materialets packningsegenskaper kan förändras vid exempelvis regn.

Efter sluttäckningens färdigställande görs en avvägning av deponiytan.

Risker/konsekvenser

Fullskalig användning av Mn/GLS i tätskiktskonstruktion baseras på laboratorieundersökning där recept tas fram på blandningsförhållanden och toleransnivåer för att uppfylla funktionskravet på tätskiktskonstruktionen. Damning på grund av torr morän, toleransvärden på ingående materialens vattenkvot och kornstorlekssammansättning kan uppmärksammas vid laboratorieundersökning.

Lagring av morän och grönlutslam innan blandning och utläggning kan förändra kvaliteten av blandningen. Vid lagring kan t.ex. vattenkvoten påverkas. Pilotförsöket i Boden visade att

UTKAST v1.1

grönlutslammets och moränens vattenkvot sjönk något på grund av lagring under torra förhållanden (lagring under juli) trots att både morän och grönlutslam täcktes med presenning.

Dålig homogenitet, dvs. klumpar av oblandat grönlutslam kan medföra att tätskiktet inte klarar funktionskravet på täthet. Pilotförsöket i Boden följs upp och kommer under de kommande åren att ge viktig information om hur olika blandningskvaliteter påverkar tätskiktets täthetsfunktion.

Väderlek

Väderleken är en viktig faktor för hur lagring, blandning och utläggning fungerar. Vattenkvoten hos Mn/GLS-blandningen har betydelse för materialets torrdensitet (packningsgrad) och därmed dess hydrauliska konduktivitet. Mn/GLS är känsligt för regn i och med att höjd vattenkvot leder till försämrade packningsegenskaper.

Recept som tas fram baseras på våtvikt av Mn och GLS. Ändring av moränens och grönlutslammets vattenkvot medför att andelen GLS uttryckt i torrvikt ändras. Det ska kontrolleras att andelen GLS inte sjunker under den torrviktsandel som har prövats i laboratorium med avseende på täthet.

Torrare morän än receptet avser medför att torrviktsandelen GLS minskar, medan torrare GLS leder till att torrviktsandelen ökar. Nederbörd medför att om moränens vattenkvot ökar, och även att andelen grönlutslam ökar (detta kan leda till hanteringsproblem i och med låg torrdensitet).

Regn skapar alltså problem, bl a för att moränens, grönlutslammets och blandningen vattenkvot förändras. Både utläggning och eventuell packning kan försvåras vid regnigt väder. En rekommendation är att blandning och utläggning sker då vädret kan förväntas vara någorlunda torrt.

Tätskiktet får inte ligga exponerat under någon längre tid, eftersom det kan medföra uttorkning, uppluckring och erosion av ytskiktet.

Väderleken har också betydelse för eventuella arbetsmiljöproblem genom damning.

9. BRUKSSKEDE

Kontroll och uppföljning under bruksskede fokuserar på:

- Tecken för erosion av vegetationsskiktet
- Tecken för skred av skyddsskiktet
- Växtetablering och förekomst av eventuella kala fläckar.
- Ordinarie recipientkontroll.

Förekomst av skadar i tät- och skyddsskiktet undersöks och åtgärdas. Underhållsarbetet dokumenteras.

UTKAST v1.1

UTKAST V1.1

10. Bilagor

10.1 Bilaga A: Tekniska krav

Tabell A.1 Primära (ska) och sekundära (bör) egenskaper hos moränen.

Material	Primära egenskaper	Enhet	Exempel	Metod
Morän, Mn	Kornstorleksfördelning	-	30 % < 0,6 mm (i 20 mm)	SS EN 933-1
	Vattenkvot, w	%	5 - 15	SIS-CEN ISO/TS 17892-1:2005
	Packningsegenskaper *Optimal torrdensitet,* ρ_d *Optimal vattenkvot* w_{opt} *Packningsgrad, D*	 ton/m^3 vikt% %	 2,1 5-6 > 95	SS EN13286-2:2004
	Hydraulisk konduktivitet	m/s	$5x10^{-8} – 10^{-8}$	
	Metallinnehåll, Acid/Base$^{\$}$	mg/kg,	-	
	Skrymdensitet$^{\$}$, ρ	ton/m^3	1,8 - 2	SIS-CEN ISO/TS 17892-2:2005
	Korndensitet$^{\$}$, ρ_s	ton/m^3	2,75	SS EN 1097-6
	Porositet och portal$^{\$}$, n & e	%	-	SS 027117
Grönlutslam, GLS	Hydraulisk konduktivitet & Kompressionsegenskaper	m/s	$5x10^{-8} – 10^{-8}$	CRS
	Packningsegenskaper *Optimal torrdensitet,* ρ_d *Optimal vattenkvot* w_{opt} *Packningsgrad, D*	 ton/m^3 vikt% %	 1,25 20 > 95	SS EN13286-2:2004
	Skrymdensitet$^{\$}$ ρ	ton/m^3	1,3 -1,5	SIS-CEN ISO/TS 17892-2:2005
	Korndensitet$^{\$}$, ρ_s	ton/m^3	2,6 -2,75	SS EN 1097-6
	Skjuvhållfasthet$^{\$}$, τ_{fu} Enax Konförsök	kPa	-	 SS-CEN .. SS-CEN ..
	Konsistensgränser$^{\$}$ *Plasticitetsgräns,* w_P *Flytgräns,* w_L	%	-	
	Porositet och portal$^{\$}$, n & e	%	-	SS 027117
	Lakningsegenskaper$^{\$}$ *L/S 0,1 – 10* *Metallanalys vatten*	 - mg/l	-	 SS-CEN .. -
	Vattenkvot, w	%	80 -160	SIS-CEN ISO/TS 17892-1:2005
Mn/GLS	Vattenkvot, w	%	10 - 20	SIS-CEN ISO/TS 17892-1:2005
	Packningsegenskaper *Optimal torrdensitet,* ρ_d *Optimal vattenkvot* w_{opt} *Packningsgrad, D*	 ton/m^3 vikt% %	 1,95 6-7 > 95	 SS EN13286-2:2004 MCV
	Tjältest - segregationspotential$^{\$}$	mm^2/Kh	-	TPPT-R07, Onninen (2007)

$^{\$}$ *Sekundära egenskaper som utförs för karakterisering av materialet.*

10.2 Bilaga B: GLS- Konsistensgränser

Konsistensgränser

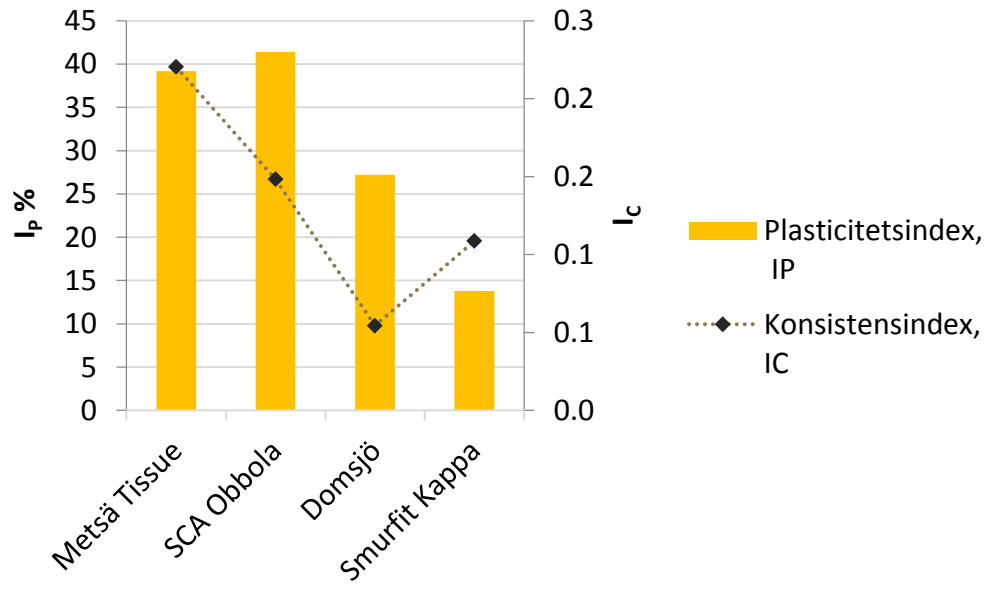
Gränser som används för att beskriva materialet är plasticitetsgränsen w_P, d.v.s. vattenkvoten då sönderfallande konsistensen övergår mot halvfast och plastisk konsistens och flytgränsen, w_L, d.v.s. vattenkvoten då konsistensen övergår från plastisk till flytande konsistens. Differensen mellan w_P och w_L, som kallas plasticitetsindex I_P, ger indikation på risken för att plastisk konsistens successivt övergår till flytande. Konsistensindex ger indikation om strukturens känslighet för mekanisk störning. Värden < 1 indikerar att materialets vattenkvot ligger i plastiskt område (> w_P) och värden > 1 indikerar att materialet är halvfast ($w < w_P$).

$I_P = w_L - w_P$

$I_C = (w_L - w) / (w_L - w_P)$

Som det framgår av figur B.1 är det enbart Domsjös GLS som har plastiskkonsistens. De övriga har halvfast konsistens. Av figur B.2 framgår också att GLS från Metsä Board och SCA Obbola inte är lika känsliga för tillsats av vatten som GLS från Domsjö och Smurfit Kappa.

Faktaruta – Grönlutslam med w nära dess flytgräns bedöms vara mer känslig för tillsats av vatten än om materialet är torr. Nederbördsvatten bidrar till att höja vattenkvoten i GLS. Generellt bör GLS skyddas mot nederbörd. Vattenkvot under plasticitetsgränsen ger ökad torrdensitet och hög skjuvhållfasthet (30 – 50 kPa). GLS som packas nära flytgränsen har låg skjuvhållfasthet på några kPa. Tidigare undersökning visar att GLS som har vattenkvot under sitt w_P kommer att ta upp vatten, dvs torrt grönlutslam återfår sin ursprungliga egenskaper.



Figur B.1 Exempel på grönlutslam från fyra pappersbruk.

Faktaruta – IC < 1 och IP < 10 % kan vid nederbörd övergå i flytande konsistens vid bearbetning. Höjning av GLS materialets vattenkvot med några procent medför att Mn/GLS-blandningen blir svår att hantera och packa.

SGI

a) b)

Figur B.2 Grönlutslam från a) Metsä Board har sönderfallande konsistens ($w < w_P$), medan b)från Domsjö har högplastisk konsistens ($w > w_P$).

UTKAST

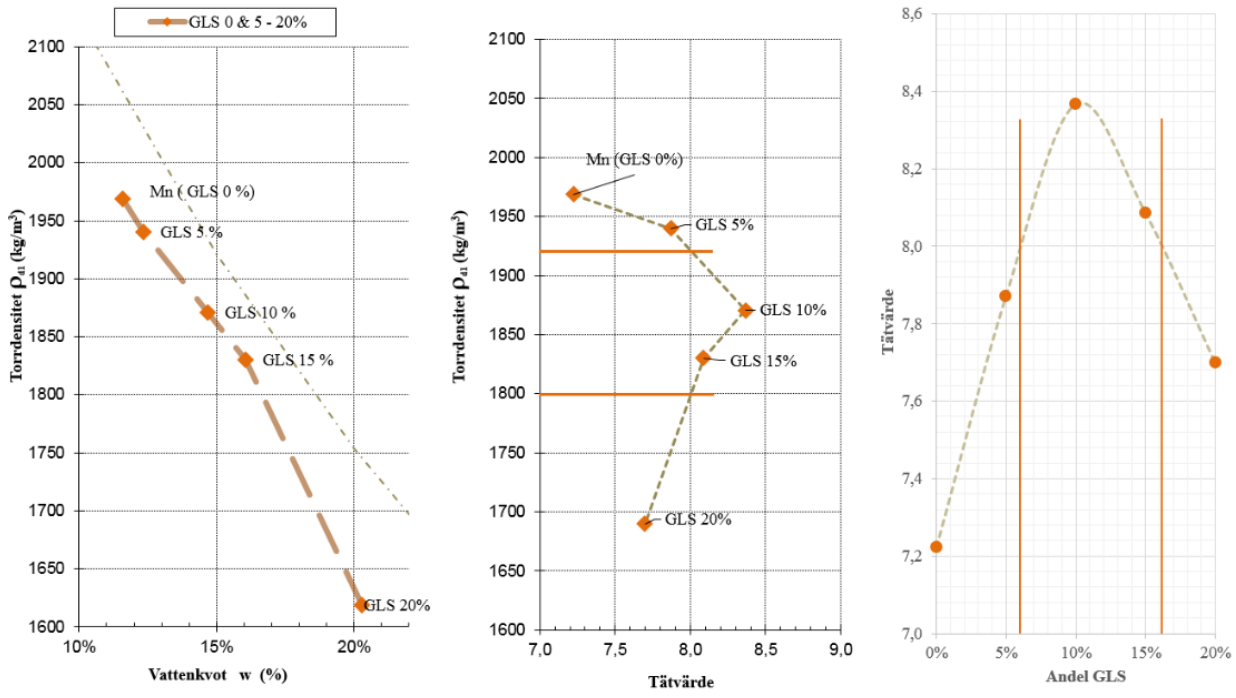
10.3 Bilaga C: Från laboratorieförsök till pilotförsök - Exempel Boden

Med högre andel GLS än 15 % finns det risk för att blandningens packningsegenskaper försämras. Laboratorieförsöken visar också att tillsatt vatten bidrar till lägre torrdensitet. Mn/GLS-blandningen är svårpackad och blir halvflytande. I fullskala medför detta att regn kan påverka hanterbarheten av Mn/GLS och kan leda till låg skjuvhållfasthet, låg torrdensitet och därmed hög permeabilitet. Det senare kan kompenseras med kompression orsakad av påförd last från skyddsskiktet, vilket ökar tätheten hos Mn/GLS skiktet, men det kan orsaka problem i slänter med skred.

Moränens siktkurva ger viktig information för mängden GLS som behövs för att öka Mn/GLS-blandningens täthet. Moränen och M/GLS-blandningarnas packningsegenskaper med tillhörande hydraulisk konduktivitet tas fram.

Överslag:
Silthalt 10 % - GLS mellan 15 – 20 %
Silthalt 30 % - GLS ca 10 %
Silthalt > 30 % - GLS < 10 %

Av exemplet nedan framgår att andelen GLS bör ligga runt 10 % för att tätvärde 8 eller högre och att högre halt än 15 % medför att tätvärdet riskeras i och med försämrade packningsegenskaper, se figur C.1 Orange linjerna avgränsar.

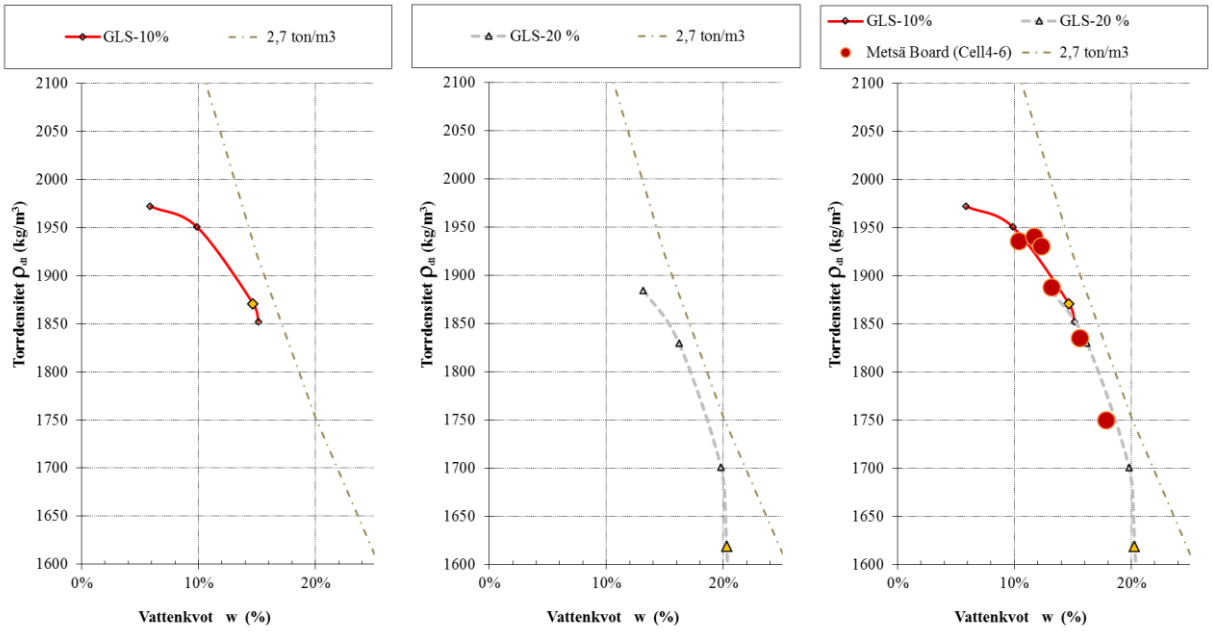


a) b) c)

Figur C.1 Exempel på undersökningsmetodik för bestämning av andel GLS som blandas med morän. a) Morän utan inblandning av GLS och med inblandning av 5 %, 10% 15% och 20 % GLS undersöks med avseende på torrdensitet

(proctorpackning); b) respektive blandnings täthetsvärde och c) Respektive blandnings tätvärde, där funktionskriteriet är $k < 10^{-8}$ m/s, dvs tätvärde > 8.

Packningsegenskaper hos olika Mn/GLS blandningar där C.2a) är Mn/GLS med 10 % GLS, och där blandningens vattenkvot varierar mellan 6 % (torra provblandningar till 12,5 %, där den naturliga vattenkvoten hos moränen och GLS-materialet ger en Mn/GLS med vattenkvot 12 %; C.2b) Mn/GLS blandningar med 20 % inblandning av grönlutslam; och C.2c) med 10 och 20 % inblandning av GLS samt vid fältförsöket uttagna prover som har undersökts med avseende på packningsegenskaper.



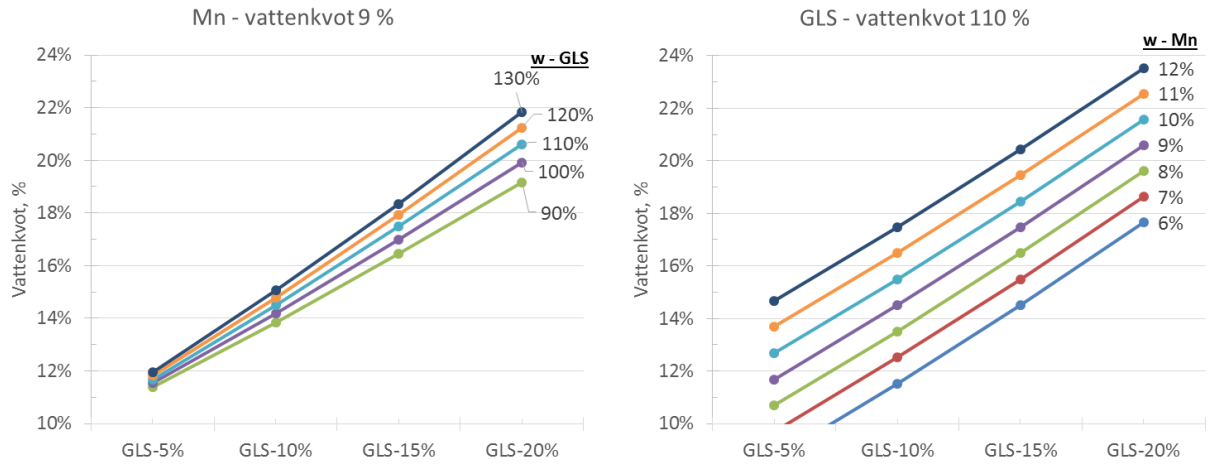
a) b) c)

C.2 Exempel: Packningsegenskaper hos olika Mn/GLS blandningar där a) är Mn/GLS med 10 % GLS; b) Mn/GLS blandningar med 20 % inblandning av grönlutslam; och c) med 10 och 20 % inblandning av GLS samt vid fältförsöket uttagna prover som har undersökts med avseende på torrdensitet, röda cirklar.

Som det framgår av figur C.2c bedöms de uttagna provernas vattenkvot och densitet. Beräkning av blandningens vattenkvot baseras på ingående materials vattenkvot (Morän och grönlutslam).

OBS
De ingående materialens (moränen och grönlutslam) vattenkvot och andelen grönlutslam ger blandningens vattenkvot. Blandningens vattenkvot kan förändras, torkning (under torra förhållanden) eller tillsats av vatten (vid nederbörd).

UTKAST



a) b)

Figur C.3 Exempel på hur ingående materialens vattenkvot påverkar Mn/GLS-blandningarnas vattenkvot, a) med moränens vattenkvot på 9 % och grönlutslammets vattenkvot som varierar mellan 100 – 120 %; b) med grönlutslammets vattenkvot 110 % och moränens vattenkvot som varierar mellan 6 – 11 %.

Som det framgår av figur C.3a och C.3b är Mn/GLS-blandningens vattenkvot mer känslig för ändringar i moränens vattenkvot än för ändringar i grönlutslammets vattenkvot. Moränens vattenkvot påverkas av nederbörd och en ökning av moränens vattenkvot med 6 % medför att blandningens vattenkvot ökar med 5 %. Mn/GLS-materialets vattenkvot påverkar i sin tur blandningens torrdensitet och tätvärde. En ökning av Mn/GLS blandningens vattenkvot med 5 % medför i sin tur att materialets torrdensitet sänks med ca 100 – 150 kg/m^3.

UTKAST

Mn/GLS - 5%

	Beräknad, kg	w, %	Ms, kg	Mw, kg	w (Teoretisk)	w (Uppmätt)
Mn	950	9,2	870,0	80,0	11,8	12,4
GLS	50	106,9	24,2	25,8		

Mn/GLS - 10%

	Beräknad, kg	w, %	Ms, kg	Mw, kg	w (Teoretisk)	w (Uppmätt)
Mn	900	9,2	824,2	75,8	14,6	14,7
GLS	100	106,9	48,3	51,7		

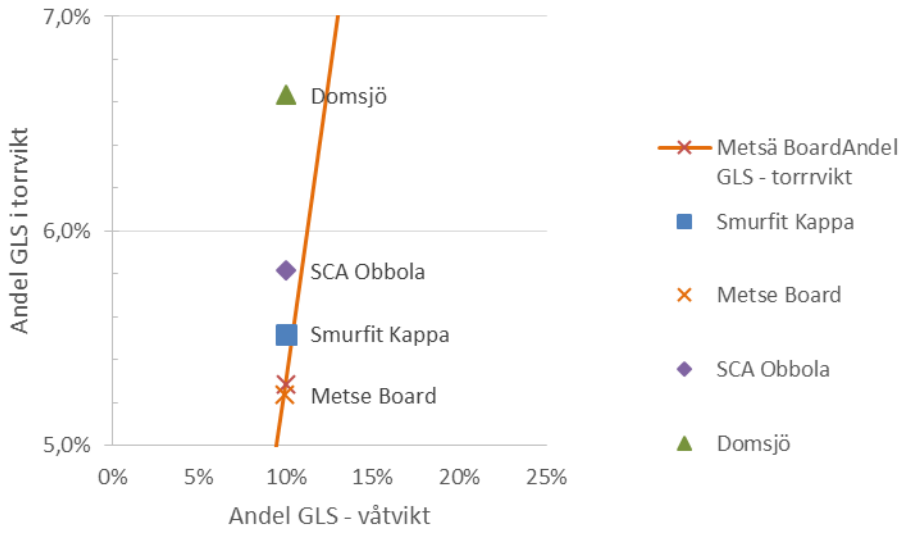
Mn/GLS - 15%

	Beräknad, kg	w, %	Ms, kg	Mw, kg	w (Teoretisk)	w (Uppmätt)
Mn	850	9,2	778,4	71,6	17,5	16,1
GLS	150	106,9	72,5	77,5		

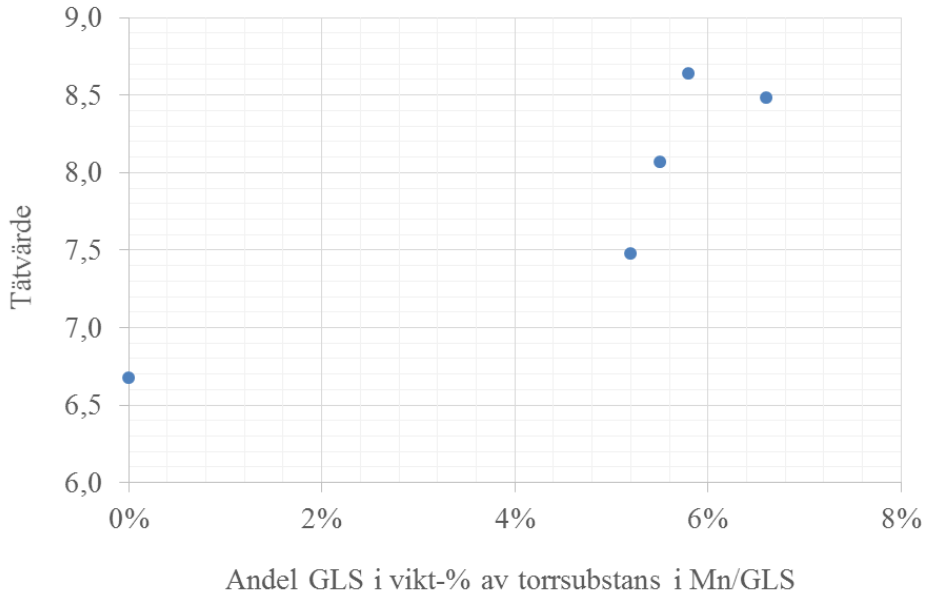
Mn/GLS - 20%

	Beräknad, kg	w, %	Ms, kg	Mw, kg	w (Teoretisk)	w (Uppmätt)
Mn	800	9,2	732,6	67,4	20,6	20,3
GLS	200	106,9	96,7	103,3		

Figur C.4 Beräkningsexempel: Indata är vattenkvoten hos Mn respektive grönlutslam för att beräkna Mn/GLS-materials vattenkvot, teoretiskt framtagna vattenkvotsvärden, w och uppmätta vattenkvotsvärden, gröna fält.



Figur C.5 Exempel på variation av torrviksandel grönlutslam som blandades vid pilotförsöket i Boden baserat på 10 % våtvikt grönlutslam:



Figur C.6 Preliminär resultat på samband mellan tätvärde och andel grönlutslam i vikt% i Mn/GLS.

UTKAST 1.1

10.4 Bilaga z1. Blandningsrecept Förblandning av Mn/GLS

Pilotprojekt …….: Tillverkning av tätskikt material – Datum …….

Målet är att blanda 10% grönlutsslam i moränen.

Blandningen sker i satser à **70 ton, dvs**

63 ton siktad morän + 7 ton GLS

GLS: …….

	Morän (kg)	GLS (kg)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Summa		

UTKAST V1.1

SISTA INSIDAN

KORT PÅ DE MEDVERKANDE

TABELL MDE NAMN OCH KONTAKTUPPGIFTER

REFERENSER TILL ANDRA STÖD??

UTKAST V1.1

Svensk gruvindustri och metalltillverkning är världsledande. I samband med tillverkning genereras stora upplag av t ex gråberg som på olika sätt behöver efterbehandlas. Metodiken att uppgradera lågkvalitativ jord är ingalunda ny och baseras i grunden en enkel och robust teknik där olika material blandas så att bättre egenskaper erhålls.

I denna vägledning beskrivs hur en flytbenägen morän kan modifieras genom inblandning av grönlutslam. Slutresultatet blir ett material med bättre distribuerad kornstorleksfördelning, högre hållfasthet och inte minst lägre permeabilitet som sammantaget möjliggör att det kan användas vid efterbehandling av gråbergsupplag. Bland kvarvarande utmaningar finns behovet att utveckla blandnings- och kontrollteknik för storskalig produktion samt att introducera metodiken för andra applikationer. Metodiken ger vårt samhälle och våra gruv- och metallverksamheter ett potentiellt kostnadseffektivt och miljösmart alternativ.

Denne vägledning riktar sig till intressenter och sakkunniga hos gruv- och metallbolag, tekniska konsulter, entreprenörer och myndigheter. Den behandlar hela byggprocessen och fokuserar särskilt på projektering – och utförandeskedet.

www.simmcenter.eu