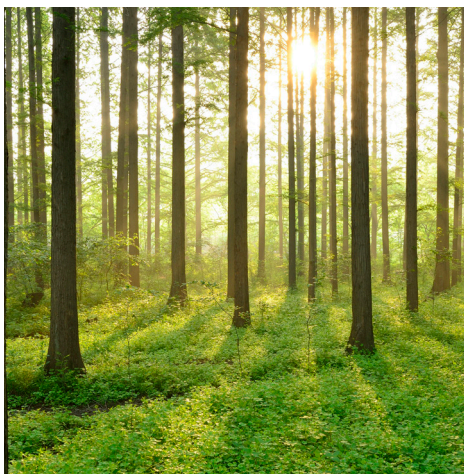


ANVÄNDNING OCH MODIFIERING AV METALLSEPARERAT SLAGGRUS

RAPPORT 2016:331



Användning och modifiering av metallseparerat slaggrus

– potential och matchning, AMOD

MARIA ARM, PETER FLYHAMMAR, RAUL GRÖNHOLM, MARIA KRISTENSSON, BO B LIND

ISBN 978-91-7673-331-8 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Q14-238 AMOD, Användning och modifiering av metallseparerat slaggrus – potential och matchning inom programmet Miljöriktig användning av askor som bedrivs av Energiforsk. Programmet startade inom ramen för Värmeforsks forskningsprogram och ingår liksom all övrig forskningsverksamhet inom Värmeforsk numera i Energiforsk.

Projektets syfte har varit att beskriva potentialen för behandlad bottenaska (slaggrus) för användning som väg- och anläggningsmaterial, med och utan modifiering, och hur denna potential påverkas av ökad metallavskiljning.

Projektet har genomförts av SGI, Statens Geotekniska Institut, med Bo Lind som projektledare och en projektgrupp bestående av
Maria Arm, SGI
Peter Flyhammar, SGI
Raul Grönholm, SYSAV Utveckling AB
Maria Kristensson, SGI
Ola Wik, SGI, granskare

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:
Kenneth Strandljung, Ragn-Sells
Mariana Björklund, Borås Energi och Miljö
Johan Fagerqvist, Avfall Sverige
Karsten Ludvigsen, NOAH
Märta Hasselqvist, Tekniska verken i Linköping
Anette Hälldahl, Vattenfall
Karin Karlfeldt Fedje, Renova
Jelena Olsson, SP

Stockholm december 2016

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

Projektets syfte har varit att beskriva potentialen för behandlad bottenaska (slaggrus) för användning som väg- och anläggningsmaterial, med och utan modifiering, och hur denna potential påverkas av ökad metallavskiljning. Slaggrus från SYSAV i Malmö studerades och jämfördes med krav för tänkbara användningsområden. Fokus har legat på användning utanför deponiområden.

Slutsatserna sammanfattas i följande punkter:

- Inget tyder på att metallavskiljning påverkar de tekniska egenskaperna på ett tydligt negativt sätt. Det har funnits en misstanke att metallutsortering försämrat möjligheterna som väg- och anläggningsmaterial - vi har inte kunnat se detta.
- Slaggruset kan med hänsyn till de tekniska egenskaperna användas inom flera användningsområden i väg- och anläggningsbyggande.
- Det samlade/odelade materialet har flest tillämpningar – uppdelning i fraktioner missgynnar användningen i väg- och anläggningsbyggande.
- Finfraktionen, 0–2 mm, har få tillämpningar inom väg- och anläggningsbyggande.
- Det behövs platsspecifika bedömningar av föroreningsrisken vid anmälan eller tillståndsansökan.
- Miljökraven innebär att slaggruset behöver kunna återtas efter användning.
- Det saknas en värdering av potentialen att utveckla nya konstruktioner (t.ex. nya kombinationer av materiallager) där slaggrusets egenskaper kan matchas mot funktionskrav.
- En metod för matchning gentemot krav kan innehålla fyra generella steg:
 1. Regelverk (med specifika materialkrav), 2. Materialkaraktisering,
 3. Potentiella användningsområden, 4). Behov av materialmodifieringar.

Avskiljning av metaller innebär en bearbetning av bottenaskan bland annat med uppdelning i flera kornstorleksfraktioner. Detta ger förutsättningar för att generera slaggrus med delvis skilda egenskaper, där hårdning kan ske separat eller blandat för de skilda fraktionerna. Detta kan i sin tur skapa skilda typer av slaggrus. Här finns behov av vidare studier – som bör utgå från olika användningsområden och där användarnas behov matchas mot slaggrusets egenskaper.

Slaggrus är ännu ett relativt nytt och okänt material i väg- och anläggningsssammanhang. Vi ser behov av ett breddat engagemang där fler aktörer kring resurseffektivitet finns med – från övergripande resursstrategier till enskilda användare och allmänhet.

Summary

The aim of the project has been to describe the potential of treated MSWI-bottom ash for use as road and construction materials, with or without modification, and how this potential is influenced by increased metal removal. Bottom ash from SYSAV in Malmö were studied and compared with the functional requirements for possible uses. Focus has been on use outside landfill areas.

The results are summarized in the following points:

- Nothing indicates that metal separation affect the technical properties in a clearly negative manner.
- The bottom ash can with regard to the technical characteristics be used in several applications in road- and construction work.
- The overall / undivided material has the best potential of many applications - splitting into different fractions is unfavourable the use in road and civil construction.
- The fine fraction, 0-2 mm, has few applications in civil construction.
- There is a need for site-specific assessments of pollution risk when applying or registration for environmental permission.
- Environmental requirements impose that it must be possible to take back the bottom ash after use.
- There is a lack of evaluation of the potential to develop new structures (for example, new combinations of material combinations) where the properties of bottom ash can be matched against functional requirements.
- A method for matching against the requirements may include four general steps:
Regulatory framework (with specific material requirements) 2) Materials Characterization, 3) Potential uses, 4) Need for material modifications.

Separation of metals involves a processing of bottom ash including the division into several grain size fractions. This provides opportunities to generate bottom ash with somewhat different properties, where the storing and carbonisation can be performed separately or mixed for the various factions. This in turn can create different qualities of bottom ash. There is a need for further study - which should be based on different applications, and where user needs are matched against the properties of the bottom ash.

Bottom ash is still a relatively new and unknown material in road and civil construction. There is a need for a broader involvement where more actors are included - from the strategic environmental planners to individual users and the public.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Metallutvinning	10
1.3	Frågeställningar	11
1.4	Syfte	12
2	Det undersökta slaggruset	13
2.1	Lagrad bottenaska – slaggrus	13
2.2	Sortering och långtidslagring	13
3	Genomförande	18
3.1	Provtagning och provbehandling	18
3.2	Materialkaraktisering och matchning mot användningskrav	18
4	Resultat – Materialkaraktisering	26
4.1	Materialtyp	26
4.2	Bärförmåga, stabilitet och sättning	27
4.3	Beständighet	30
4.4	Tjällyftningsbenägenhet och genomsläpplighet	32
4.5	Densitet och packningsegenskaper	34
4.6	Kemisk och mineralogisk sammansättning	35
4.7	Utlakning	38
5	Resultat – Matchning och modifieringsbehov	40
5.1	Resultat av matchning mot tekniska krav	40
5.2	Resultat av matchning mot miljökrav	44
6	Metallseparerat slaggrus – egenskaper och användningsmöjligheter	49
6.1	Metallavskiljningens inverkan på användningsmöjligheten	49
6.2	Metod för att karakterisera och matcha	50
6.3	Användningsmöjligheter	52
6.4	Slaggrusets långtidsfunktion i olika användningar	56
7	Slutsatser och fortsatt arbete	58
8	Referenser	59
Bilaga A:	Utkast till produktdatablad	63
Bilaga B:	Analysresultat	64
	Bilaga B:1. Lastsekvenser vid cykliska treaxialtester	64
	Bilaga B:2. Kornstorleksfördelning för testade slaggrusfraktioner	64
	Bilaga B:3. Kornstorleksfördelning före och efter proctorpackning	65
	Bilaga B:4. Frostbeständighet hos testade slaggrusfraktioner	66
	Bilaga B:5. Permeabilitet hos slaggrusfraktion 0-40 mm	67
	Bilaga B:6. Mineralogisk sammansättning hos slaggrusfraktion	68
	Bilaga B:7. Trafikverkets förbudslista	69
Bilaga C:	Potential för användning	71

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Förbränning av avfall är en viktig del i det svenska energisystemet. Under de senaste fem åren har förbränningen av hushållsavfall legat på 2,1–2,2 miljoner ton per år och till detta kommer verksamhetsavfall. Trenden har länge varit att industriavfall blir det allt mer dominerande bränslet - 2014 brändes ca 3,5 miljoner ton verksamhetsavfall vid de 33 svenska anläggningar som bränner hushållsavfall (Avfall Sverige, 2015). På senare år har Sverige också importerat en hel del avfall för förbränning från andra länder och den totala importen av avfall till svenska anläggningar var drygt 1,4 miljoner ton år 2014 (Avfall Sverige, 2015).

Förbränningen genererar aska där huvuddelen, ca 80 %¹, är bottenaska. Bottenaskan är en relativt grovkornig aska som samlas på botten i förbränningspannorna. Resterande ca 20 % är olika typer av finkorniga flygaskor som samlas upp vid rökgasrening. Idag uppgår den totala askmängden från energiproduktion till 1,7–1,8 miljoner ton per år (Eklöf m.fl., 2016). Askorna bildar stora materialströmmar i samhället och att utnyttja och använda askorna som en miljöriktig resurs är en viktig del i ett mer resurseffektivt och kretsloppsanpassat samhälle. Omfattande forskning har visat att det finns många användningsområden för olika typer av askor, men att det också kan finnas miljöproblem knutna till dem (Arm, 2003; Gustavsson, 2003; Arm, 2005; Lind m.fl., 2005; Bendz m.fl., 2006a; Arm m.fl., 2008a; Arm m.fl., 2008b).

En enkätundersökning visade att bottenaska från avfallsförbränning allmänt betraktas som avfall (vanligen icke farligt avfall) med omfattande restriktioner för hantering och användning (Olsson, 2012). Ett användningsområde som accepterats och där stora volymer bottenaska fått avsättning är täckning av deponier. Användningen av bottenaska från avfallsförbränning är idag mycket begränsad utanför deponiområden, men viss användning förekommer för utfyllnader och konstruktion av anläggningsytor. Huvuddelen av all producerad bottenaska från avfallsförbränning utnyttjas idag för deponitäckning (huvudsakligen som utjämningskikt under tätskikt) och efterhand som deponierna avslutas och sluttäcks minskar denna användning.

Mängden bottenaska som genereras motsvarar omkring 15-25 % av den eldade avfallsmängden (ca 5-10 % av den eldade volymen). Askan har alltså 4-6 gånger högre koncentration av metaller och andra icke brännbara ämnen än det ursprungliga avfallet (Rechberger & Brunner, 2002; Simon & Holm, 2013). I askan återfinns flera metaller i relativt höga koncentrationer. I flera fall, som t.ex. för koppar, är koncentrationerna väl jämförbara med halterna i brytvärda malmer. Flera studier (Muchova m.fl., 2009; Simon & Holm, 2013) har visat att återvinning av metaller från bottenaska kan vara ekonomiskt lönsamt och mycket energieffektivt i jämförelse med traditionell utvinning från malmer.

En genomgång av bottenaskans innehåll och tekniker att påverka askornas kvalitet har presenterats av Avfall Sverige (2011). Utvecklingen går i riktning mot en ökad

¹ Alla procentsiffror i rapporten avser viktprocent om inget annat anges.

utvinning av metaller från bottenaskor och man konstaterar att utvinningen är ekonomiskt intressant, men att få författare har dokumenterat effekten på restslaggens egenskaper. Man nämner vidare att en förändring av bottenaskans kvalitet också kan innebära att den blir enklare eller bättre anpassad för att använda t.ex. genom förändring av kornstorleksfördelning, form på kornen eller andra fysiska egenskaper (Avfall Sverige, 2011).

Askornas egenskaper uppvisar stora variationer beroende på bränslen och förbränningsteknik, t.ex. kan andelen oförbränt kol i bottenaska variera från någon enstaka procent till över 15 procent (Bjurström m.fl., 2014). Bottenaskor som visat sig möjliga att nyttja i anläggningsmanhang, där större volymer krävs, kan produceras i pannor av typen fluidiserande bädd eller roster. Båda panntyperna används för eldning av hushållsavfall, men drygt 60 % av all bottenaska som produceras i Sverige kommer från rosterpannor med eldning av avfall från hushåll och småindustrier (Engfeldt, 2007). Rosterpannor ger också större andel bottenaska i jämförelse med andra pannor. Mot den bakgrunden är det relevant att i första hand studera askorna från rosterpannor.

Den utmatade askan kyls vanligen i vattenbad före vidare bearbetning. Efter (eller före) metallåtervinning samlas askan för lagring och den bearbetade askan benämns därefter "slaggrus" (SGL, 2006b). Vid lagringen sker karbonatisering samt puzzolana reaktioner som verkar härdande på askmaterialet och bl.a. ökar dess hållfasthet. Lagring innebär därför att askan förbättras avseende utlakning och byggnadstekniska egenskaper.

Detta projekt tar sin utgångspunkt i att metallutvinning från bottenaskan idag tillhör bästa teknikval (EC, 2006) och att framtidens slaggrus i hög grad kommer att vara fritt från obundna metaller. Projektet behandlar metallseparerad, lagrad bottenaska från avfallseldade rosterpannor. Valet av aska motiveras nedan.

1.2 METALLUTVINNING

Metaller kan utvinnas ur bottenaskan med hjälp av mekaniska eller kemiska metoder. Rena metaller kan utvinnas genom siktning och sortering av magnetiska och icke-magnetiska fragment medan metallföreningar, t.ex. hydroxider och sulfider, kan utvinnas genom olika typer av lakningsförfarande (Karlfeldt Fedje, 2010).

Nära 10 % av bottenaskan består av fria metallfragment, som elementära metaller, och det är också denna fraktion som med dagens teknik är lönsam att utvinna (Simon & Holm, 2013; Speiser m.fl., 2000). Askan innehåller ett spektrum av metaller, där bl.a. guld, silver, indium, zirkonium och titan kan förväntas bli allt intressantare för framtida utvinning, även om halterna av många kritiska metaller är relativt låga (Johansson m.fl., 2013; Morf m.fl., 2013). Bedömningar har dock gjorts att i praktiken återvinns endast en del av metallerna som större partiklar (skrot) från askorna – två tredjedelar av ingående mängd järn, ca hälften av aluminiummängden och runt 15 % för koppar (Avfall Sverige, 2011).

Halten av många grundämnen, däribland metaller, är ofta högre i de finaste fraktionerna (0-2 mm) (Todorović, 2010), även om skillnaden mellan olika fraktioner är måttlig. Omkring 40 % av bottenaskan har kornstorleken 0-2 mm (SGL,

2006b; Todorović, 2010; Avfall Sverige, 2011). Även den fraktionen kan vara intressant för metallutvinning, men i dagsläget saknas det ekonomiska förutsättningar för detta i Sverige. Med tanke på att metallerna i fraktionen 0-2 mm i högre utsträckning kan antas vara bundna i kemiska komplex, istället för att finnas som utvinningsbara fria metaller, är potentialen för metallutvinning här begränsad. Denna studie fokuserar därför på aska som genomgått mekanisk metallutvinning, men inte behandlats med t.ex. syror.

Moderna metoder för metallåtervinning innefattar uppdelning av askan i flera (3-5) fraktioner, där varje fraktion sedan behandlas var för sig. Resultatet blir en mer effektiv metallåtervinning, men samtidigt en omfattande påverkan på askmatrisen. Hanteringen innebär att aggregat slås sönder och att skrymdensitet och packningsegenskaper förändras. Detta påverkar i sin tur elasticitet och bärighet hos materialet. Den återstående askan är finkornigare än det ursprungliga materialet.

För framtida behandling av bottenaskan är en avskiljning av fraktionen 0-2 mm aktuell. Denna del kan behandlas på olika sätt. Renova sänder bort finfraktionen (bl.a. för utvinning av guld) och fraktionen avlägsnas på så sätt permanent från det övriga slaggruset.

SYSAV har idag ingen särskild hantering av fraktionen 0-2 mm, utan arbetar istället med en bredare fraktion, 0-8 mm, som genomgår en process för mekanisk metallåtervinning och där restaskan därefter återblandas med övriga askfraktioner (Raul Grönholm, SYSAV).

Den utvinningsbara mängden metaller i fraktionen 0-2 mm är begränsad. Koncentrationerna av vissa metaller och salter i denna fraktion kan vara relativt höga och av miljöskäl begränsa användningsmöjligheterna. Genom att avskilja denna fraktion kan miljöegenskaperna i kvarvarande aska förbättras. Tidigare försök med siktning av askor från avfallsförbränning har dock visat att det genom siktning inte går att skapa en kvarvarande aska som uppfyller kraven för inert avfall eller Naturvårdsverkets rekommendation för återvinning (Naturvårdsverket, 2010; Todorović, 2010). Samtidigt erhålls en finfraktion, 0-2 mm, som inte kan deponeras på deponi för icke-farligt avfall på grund av utlakning av DOC (Dissolved Organic Content) och koppar (Todorović, 2010).

Genom en dubbel sorteringsprocess kan omkring 2,5 % metaller sorteras ut ur fraktionen 0-40 mm (Raul Grönholm, SYSAV). Liknande erfarenheter har rapporterats från Ragn-Sells AB, som sorterar ut ca 2 % icke magnetiska metaller (Kenneth Strandljung, Ragn-Sells AB). Efter metallutsortering återstår en relativt stor mineralisk rest (fraktionen 0-40 mm). Vi ser att askhanteringen under överskådlig tid framöver innefattar mekanisk metallutvinning från fraktionen större än 2 mm (uppdelad i delfraktioner) samt särbehandling av fraktionen 0-2 mm.

1.3 FRÅGESTÄLLNINGAR

Lagrad bottenaska, slaggrus, kan användas för väg- och anläggningsarbeten (SGI, 2006b) – men kunskapen om hur den nya generationens bottenaskor, som genomgått mer omfattande metallåtervinning, kan användas är bristfällig. Efter

metallutvinning återstår fortfarande huvuddelen av askan som en potentiellt utnyttjbar resurs. För ett effektivt utnyttjande behövs en tydlig matchning av materialets egenskaper gentemot funktionskrav och miljökrav för olika typer av konstruktioner.

Många i branschen upplever att askornas användning utanför deponiområden hämmas av dålig kännedom om askornas karaktär. En central fråga för optimalt askutnyttjande, främst i anläggning och byggande där det krävs relativt stora mängder material, är hur siktning och metallåtervinning påverkar möjligheterna att använda askan. Vilka egenskaper påverkas? Blir de byggtekniska egenskaperna försämrade? Hur mycket i så fall? Vad kan den återstående bottenaskan användas till? Finns det metoder för att regenerera eventuellt förlorade kvaliteter? Hur påverkas utlakning och miljöegenskaper? Kan egenskaperna styras genom att variera kornstorlekssammansättningen? En annan viktig frågeställning är vilken betydelse de härdande egenskaperna hos fraktionen 0-2 mm har för egenskaperna hos hela slaggrusmaterialet. Fraktionen 0-2 mm är en relativt stor del av askvolymen. Innebär en avskiljning av den fraktionen att egenskaperna hos det slutliga slaggruset försämras?

1.4 SYFTE

Projektets syfte har varit att beskriva potentialen för behandlad bottenaska (slaggrus) för användning som väg- och anläggningsmaterial, med och utan modifiering, och hur denna potential påverkas av ökad metallavskiljning. Fokus ligger på ett optimalt nyttiggörande av slaggrus utanför deponiområden.

Det genomförda projektet har haft fyra konkreta mål:

1. En beskrivning av vilken effekt utsortering av metaller har på restslaggens egenskaper och dess användningsmöjligheter.
2. En metod för att karakterisera och matcha egenskaperna hos behandlad bottenaska från avfallsförbränning (slaggrus) gentemot befintliga tekniska funktionskrav och miljökrav för relevanta användningsområden.
3. En beskrivning av om, och på vilket sätt, askans egenskaper behöver modifieras för att möta specifika behov.
4. En utvärdering av askans långtidsfunktion i olika användningar.

2 Det undersökta slaggruset

2.1 LAGRAD BOTTENASKA – SLAGGRUS

Studien har utförts på metallutvunnen, lagrad bottenaska, s.k. slaggrus, från avfallseldade rosterpannor med våt askutmatning i SYSAV:s anläggning i Malmö. Förbränningstemperaturen är ca 1000 °C och i anläggningen förbrändes år 2015 ca 570 000 ton avfall vilket genererade 125 000 ton bottenaska. Valet av bottenaska motiveras av att:

- Drygt 60 % av all bottenaska som produceras i Sverige kommer från rosterpannor med eldning av avfall från hushåll och småindustrier (Engfeldt, 2007).
- Metallutvinning från bottenaskan utgör idag bästa teknikval (EC, 2006) och framtidens slaggrus kommer i hög grad att vara fritt från obundna metaller.
- Lagring medför en avsevärd förbättring av askans lakegenskaper och byggnadstekniska egenskaper (SGI, 2006b).

Bränslets innehåll och fördelning mellan olika fraktioner varierar något över tid i SYSAV:s anläggning, men en normal fördelning är ca 50 % hushållsavfall och 50 % verksamhetsavfall. En vanlig metodik är att askan lagras i minst 6 månader för att uppnå status som slaggrus (SGI, 2006b; Arm m.fl., 2008), men vissa studier pekar på att även kortare lagringstid (3 månader) kan vara tillräckligt (Flyhammar m.fl., 2004). En allmän strävan för rationell materialhantering är att ha så kort lagringstid som möjligt med bibehållen slaggruskvalitet.

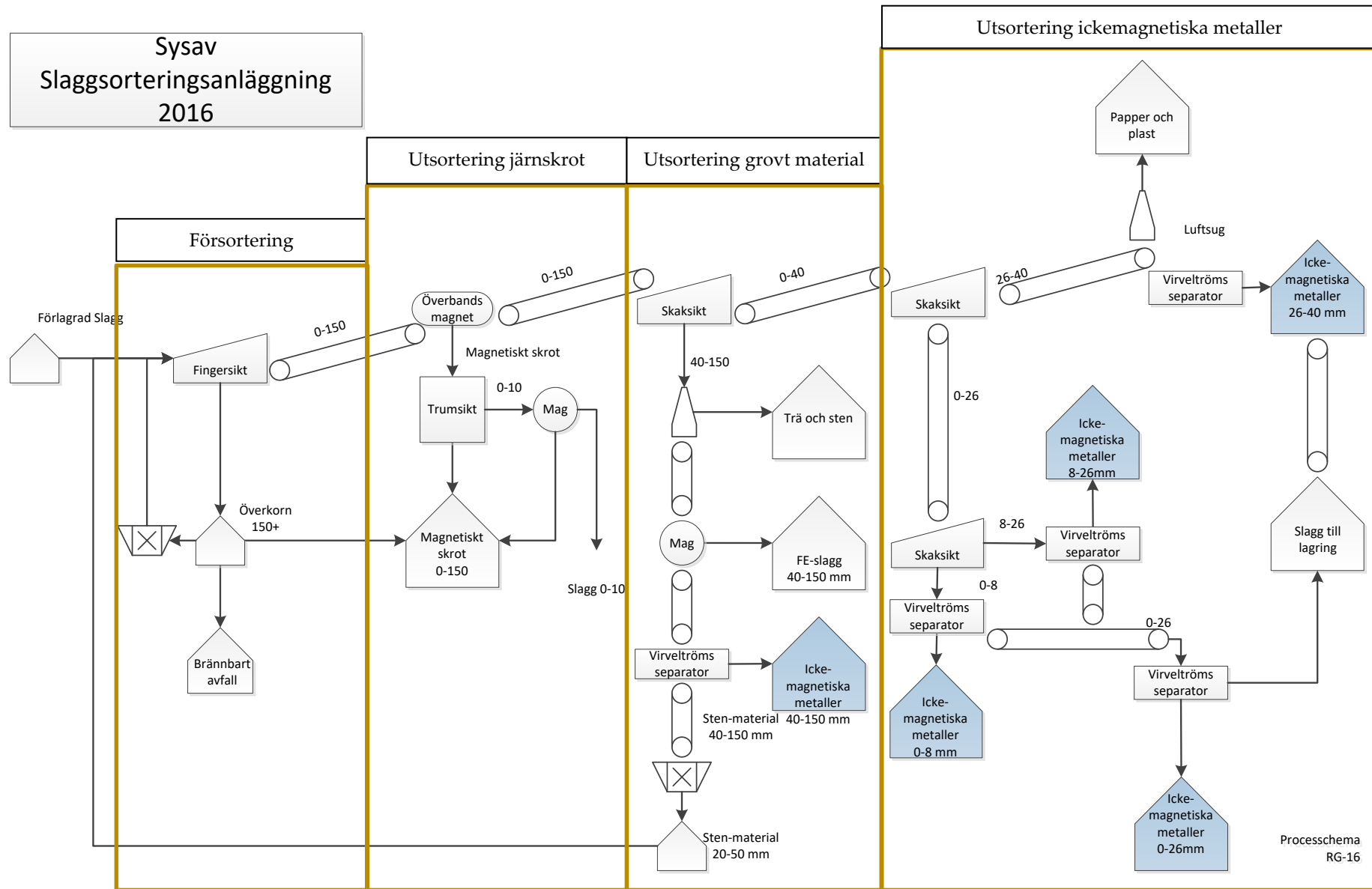
2.2 SORTERING OCH LÅNGTIDSLAGRING

Bottenaskan från SYSAV:s rosterpannor (slaggen) matas ut och släcks i vattenbad. Därefter sker transport till upplag för förlagring i ca 4-6 veckor, där bottenaskan svalnar och avvattnas genom självdränering (Figur 1). Under förlagringen startar flera kemiska reaktioner vilket resulterar i att slaggen torkar. Denna upptorkning sker inifrån och ut, så att upplagets kärna ser ljusare ut än manteln (Figur 1, höger). Erfarenheter visar att kärnan dammar vid sortering och har en fukthalt < 10 % (Raul Grönholm SYSAV).



Figur 1. Förlager med slag från avfallsförbränning. I den högra bilden syns att upplagets kärna är ljusare än manteln. (Foto Raul Grönholm).

Från förlagringen går askan vidare till metallavskiljning (Figur 2).



Figur 2. Sorteringsprocess för slaggrus från SYSAV (Raul Grönholm, SYSAV)

Det första som görs är att stora (>150 mm) stycken avskiljs i försorteringen för att skydda sorteringsanläggningen. Dessa stora stycken kan lätt slå sönder maskiner (Figur 3). Styckena sorteras i brännbart, magnetiskt och mineraliskt material.



Figur 3. Överkorn (block och skrot) som inte ska komma in i slaggsorteringsanläggningen (Foto Raul Grönholm).

I nästa steg avskiljs magnetisk metall från slaggen. Metallen rensas från slag i en trumsikt och därefter återtas mindre metallbitar. Den utrensade slaggen körs till lagringsplatsen.

I det tredje steget avskiljs grovkornigt (>40 mm) material. Ur det materialet sorteras organiskt och järnhaltigt material samt ickemagnetiska metaller bort för återvinning. Det kvarvarande stenmaterialet krossas och återförs till försorteringen.

Det sista steget är utsortering av icke-magnetiska metaller såsom koppar, zink och mässing. Slaggen (<40 mm) siktas ner i tre kornfraktioner 0-8, 8-26 och 26-40 mm. Metall från var och en av dessa fraktioner sorteras ut med virvelströmsseparatorer som släpper metallen i containers (Figur 4). Därutöver sugas även organiskt material bort från 26-40 mm fraktionen.



Figur 4. Container med utsorterade icke-magnetiska metaller (26-40) (främst koppar aluminium, mässing och zink) (Foto Raul Grönholm).

Slaggen från 0-8 och 8-26 blandas och körs därefter över ytterligare en virvelströmsseparator. Efter metallavskiljning blandas alla behandlade fraktionerna åter till en gemensam fraktion som då i huvudsak kan betraktas som 0-40 mm. Denna återstående bottenaska läggs upp för lagring och omvandling till slaggrus, Figur 5 och Figur 6.



Figur 5. Slaggrus matas ut ur sorteringsanläggningen och körs till...



Figur 6. Upplag där slaggruset får mogna (Foto Raul Grönholm).

Bottenaska för analys lades i upplag vid SYSAV:s anläggning i maj månad 2015. I september 2015 genomgick materialet metallavskiljning ned till ca 8 mm stora metallbitar. Vid rationell drift är planerad tid för förlagring och torkning ca 4-6 veckor – det här analyserade materialet har dock förlagrats i ca 9 veckor. Efter

metallavskiljning lagrades materialet i hög under ytterligare ca 5 månader före analys.

Det aktuella slaggruset provtogs för pH-analys den 1 mars 2016. Resultatet visade ett relativt högt pH på 9,9 (dubbelprov), vilket tyder på ofullständig karbonatisering. Detta diskuterades inom projektgruppen och med referensgruppen och resultatet jämfördes med färsk, 2 månader gammal, icke metallseparerad aska med pH 10,9 samt med tre år gammal delvis metallseparerad aska (med tidigare separeringsmetod) och pH 8,4. Det konstaterades att karbonatiseringen varierar i en stor upplagd hög, men att en mognadstid på ca 6 månader är den mest realistiska för rationellt utnyttjande av slaggrus. Den slutliga bedömningen var att den ursprungligen valda askan bäst speglar den löpande driften för slaggrusanvändning trots att mognaden ännu inte är fullständig.

3 Genomförande

3.1 PROVTAGNING OCH PROVBEHANDLING

Det lagrade och metallseparerade slaggruset provtogs genom delning och blandning med maskin (Figur 7). Totalt sändes ca 300 kg slaggrus i plasticsäckar på lastpallar till SGI i Linköping. Samtliga prover togs från slutfraktionen 0– (ca) 45 mm.



Figur 7. Provtagning av slaggrus vid SYSAV:s anläggning i Spillepeng, Malmö. (Foto Raul Grönholm).

Tre fraktioner av slaggruset valdes ut för materialtester (Tabell 1). Inför varje materialtest delades och siktades den önskade mängden material till de valda fraktionerna.

Tabell 1. Analyserade fraktioner

Lagrad aska efter utsortering av metaller	0-2 mm	2 – 40 mm	0 – 40 mm
---	--------	-----------	-----------

3.2 MATERIALKARAKTERISERING OCH MATCHNING MOT ANVÄNDNINGSKRAV

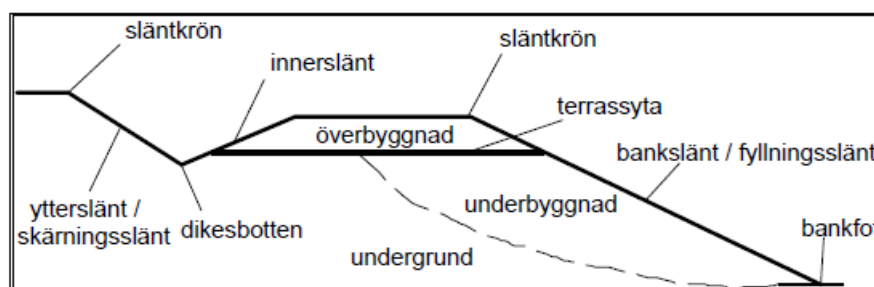
Arbetet genomfördes i följande steg; materialkaraktisering – matchning mot användningskrav – behov och potential för eventuell modifiering – värdering av långtidsegenskaper.

3.2.1 Tänkbara användningsområden

Slaggrusets egenskaper studerades och jämfördes med, eller matchades mot, befintliga funktionskrav för tänkbara användningar i väg- och anläggningsbyggande. Beroende på askornas egenskaper kan de utnyttjas för olika ändamål och baserat på egna erfarenheter och erfarenheter dokumenterade i litteraturen (SGI, 2006b) valdes följande användningsområden som tänkbara:

- Fyllningsmaterial – barriärer och bankar
- Fyllningsmaterial – underbyggnad till vägar och upplagsytor (Figur 8)
- Skyddslager till vägar och upplagsytor (ingår i överbyggnaden, Figur 8)

- Förstärkningslager till vägar och upplagsytor (ingår i överbyggnaden)
- Fyllningsmaterial i ledningsgravar
- Kapillärbrytande skikt
- Dränerande skikt



Figur 8. Principiell uppbyggnad av en väg. Överbyggnaden består, uppifrån och ner, av följande lager: slitlager, bärlager, förstärkningslager och eventuellt skyddslager (Trafikverket, 2011).

När det gäller förstärkningslager matchades slaggruset mot kraven på okrossat material eftersom dessa är lägre än kraven på krossat förstärkningslagermaterial. Vid dimensionering av överbyggnader tas hänsyn till förstärkningslagrets krossningsgrad genom att man föreskriver ett tjockare bärlager när förstärkningslagret är okrossat. På så sätt minskas trafiklasten som påverkar förstärkningslagret.

Projektet har inte studerat användning av slaggrus i bärlager till vägar eftersom trafiklasten på de djup som är aktuella för bärlager i svenska vägar är för stor (SGI, 2006b). Dessutom kan inte slaggrus uppfylla Trafikverkets krav på nötningsbeständighet (Trafikverket, 2015a).

Projektet har inte heller studerat användning av slaggrus i bundna tillämpningar, dvs. asfaltbundna eller cementbundna material. Tidigare undersökningar har visat att slaggrus haft svårt att uppfylla gällande krav för ballast till asfaltbundna väglager (SGI, 2006b). Det är t.ex. kraven på beständighet mot mekanisk nedbrytning (nötning och slag) som är svåra att uppfylla.

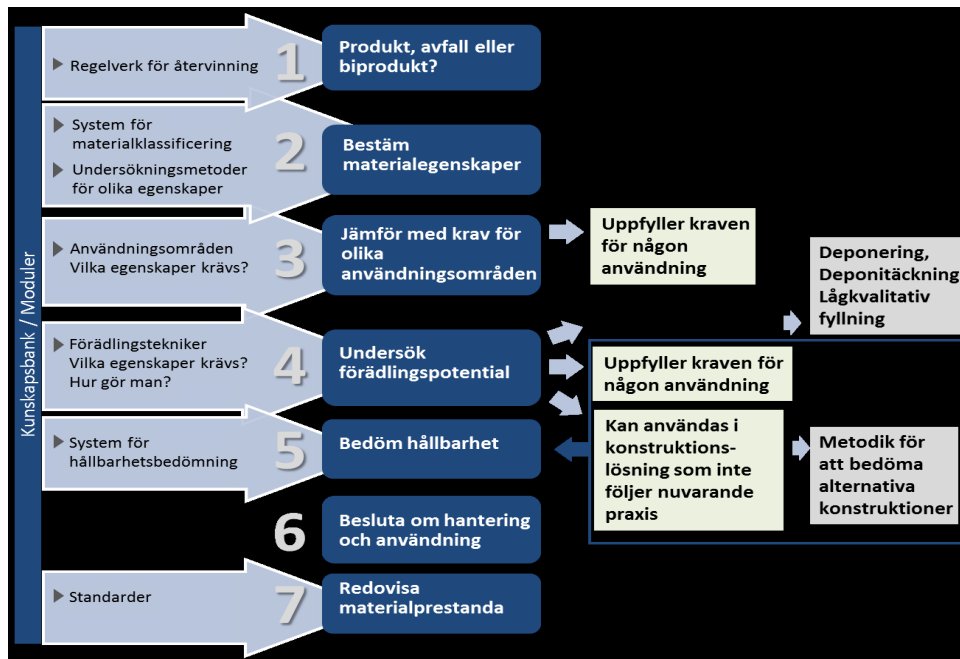
Användning av slaggrus som ballast i cementbundna material är ett område som kräver omfattande laborieprovning med inblandning och härdning före varje test. Det har därför uteslutits ur projektet och det rekommenderas att ett specifikt projekt ägnas åt att studera detta.

3.2.2 Matchningssystem

Ett system för matchning har tagits fram inom det branschgemensamma projektet Optimass Integrerad Materialförvaltning². Systemet ingår i en vägledning för klassificering, förädling och användning av schaktmassor som planeras utkomma i december 2016 (Arm m.fl., 2016). Optimass system för matchning innehåller sju olika steg (Figur 9) där steg 1, 2 och 3 utförs parallellt eftersom

² <http://www.optimass.se>

användningsområdet påverkar vilka regelverk som är aktuella och vilka materialegenskaper som behöver bestämmas. Det är främst stegen 2, 3 och 4 i Figur 9 som har legat till grund för matchningen inom AMOD.



Figur 9. Arbetsgång för nyttiggörande av överskottsmassor, enligt projektet Optimass. (Från Arm m.fl., 2016.)

3.2.3 Funktionskrav och materialanalyser

Utförda materialanalyser valdes för att svara både mot tekniska krav och miljöutvärdering samt för att kunna förstå och beskriva materialets förändring vid metallavskiljning och lagring (Tabell 2).

Matchningen gjordes mot de tekniska krav och råd som finns i AMA (Allmän Material- och Arbetsbeskrivning) respektive Trafikverkets skrifter beträffande konstruktionsmaterial för olika ändamål:

- AMA Anläggning med Trafikverkets ändringar och tillägg (Trafikverket, 2015c)
- Obundna lager för vägkonstruktioner (Trafikverket, 2015a)
- Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad (Vägverket, 2007)

Förutom funktionskrav finns det specifika empiriska materialkrav för olika användningsområden. Dessa är utformade så att om materialkraven för delar av en konstruktion uppfylls så är det rimligt att anta att hela konstruktionens funktion blir tillräcklig.

Tabell 2. Funktionskrav som ställs på väg- och anläggningsmaterial samt de analyser och metoder som projektet har använt på det aktuella slaggruset för att bedöma uppfyllelsen.

Funktionskrav	Materialanalys	Analysmetod
	Kornstorleksfördelning ^a	SS-EN 933-1
Materialet måste ha en acceptabel bärförmåga och stabilitet	Organisk halt	SS-EN 1744-7
	Cykliskt treaxialtest	SS-EN 13286-7
	Innehåll av metalliska partiklar	SS-EN 1744-8
Materialet måste ha en acceptabel sättning och kompression	Cykliskt treaxialtest	SS-EN 13286-7
Materialet måste vara beständigt mot mekanisk och kemisk påverkan samt temperatur-påverkan	Nedkrossning vid packning	SS-EN 933-1
	Frostbeständighet	SS-EN 1367-1
	Vattenabsorption	SS-EN 1097-6
Materialet får inte orsaka oacceptabel tjällyftning	Kapillär stighöjd	SS-EN 1097-10
Materialet får inte bidra till att risken för frosthalka ökar (<i>gäller bara material som placeras nära ytan i belagda vägar</i>)	Värmeledningstal <i>analyserades ej</i>	SS-EN 12664 eller SS-EN 12667
Materialet måste vara dränerande	Permeabilitet	SS 02 71 11
Materialet måste gå att hantera och packa	Skrymdensitet	SS-EN 1097-3
	Referensdensitet och optimal vattenkvot	SS-EN 13286-2
Materialet får inte orsaka skador på miljö eller hälsa	Totalkemisk sammansättning	ALS MG2
	Mineralogisk sammansättning	ALS, XRD G-11C
	Emission av ämnen	Skaktest, SS-EN 12457-2

^a Används för att kontrollera uppfyllelsen av flera funktionskrav, t.ex. bärförmåga, stabilitet, tjällyftningsbenägenhet, dräneringsförmåga och packningsegenskaper.

Materialanalyserna utfördes vid VTI:s respektive SGI:s laboratorium och totalkemin samt mineralogin analyserades av ALS Scandinavia AB.

Vid laboratorieanalyser ska standardiserade metoder eftersträvas, men dessa är inte alltid anpassade till s.k. alternativa material, såsom slaggrus. För att möjliggöra matchning mot specificerade krav valde vi ändå att använda standardmetoder för våra analyser. Analyserna utfördes med dubbla prover (replikat) om inte standarden säger annat samt på de tre fraktionerna 0–2 mm, 2–40 mm och 0–40 mm, förutom för frostbeständighet som enligt standarden utfördes på fraktionerna 4–8 mm, 8–16 mm samt 16–31,5 mm.

För vissa av materialanalyserna i Tabell 2 valdes andra metoder än de föreskrivna. Detta motiveras i följande avsnitt:

Organisk halt

Enligt AMA och Trafikverkets skrifter ska förekomsten av organiska föroreningar undersökas, om ballastmaterialet inte består av krossat berg. Undersökningen ska göras enligt SS-EN 1744-1 avsnitt 15:1 (provfraktion < 8 mm). Indikeras förekomst av organiska föroreningar med denna metod (prov med mörkare vätska än jämförelseprovet) ska den organiska halten bestämmas med kolorimetermetoden (SS 27107) (provfraktion < 2 mm). Organisk halt får då vara högst 2 viktprocent.

I detta projekt har istället använts en europeisk metod, SS-EN 1744-7, med glödning vid 480 °C. Den användes därför att den är speciellt framtagen inom det europeiska standardiseringsarbetet för ballastmaterial av slaggrus och kan förväntas användas vid prestandadeklarationer för sådana material. Metoden togs fram därför att den befintliga europastandarden för analys av organisk halt i ballast, glödning vid 975 °C, ansågs olämplig för askor

Cykliskt treaxialtest

Bärförmågan testades genom cykliska treaxialtester enligt SS-EN 13286-7. Testmetoden är standardiserad sedan flera år, men den används ännu inte regelbundet för karakterisering av anläggningsmaterial i Sverige och det finns inga krav på värden som ska uppfyllas. Vid ett cykliskt treaxialtest undersöks ett materials deformationsegenskaper under simulerade trafikförhållanden. Materialets styvhet eller lastspridningsförmåga kan bestämmas och resultatet beskrivs som en resilientmodul vid olika spänningsförhållanden. Ju högre resilientmodul desto styvare material.

Den permanenta deformationen som uppstår i materialet vid en viss belastning kan också bestämmas och användas som ett mått på dess stabilitet. Metoden kan även användas för att bestämma ett materials bärförmåga om man först definierar maximalt tillåten deformation. Eftersom provkroppen som utsätts för belastning består av hela materialet upp till en viss kornstorlek kan man påstå att det är materialets lastbärande funktion som provas.

Testerna på slaggruset har utförts på odränerade provkroppar med diametern 150 mm och höjden 300 mm. Provkropparna packades in vid optimal vattenkvot (se avsnitt 4.5.2) med hjälp av tryck och vibrationer. Sedan utsattes de för belastningar med stegvis ökande last och de uppkomna vertikala deformationerna (elastiska och permanenta) registrerades. Testerna utfördes på dubbla prov och enligt standardens metod B, som innebär konstant horisontaltryck, och med *low stress level* (se Bilaga B:1). För studierna av permanent deformation användes standardens alternativ med *multi-stage loading* och belastningen utfördes i fem sekvenser med 300 000 belastningar på varje nivå.

Innehåll av metalliska partiklar

Bestämning av andelen metalliska partiklar i ballast av slaggrus enligt SS-EN 1744-8 är en relativt ny testmetod. Den har tagits fram inom det europeiska standardiseringsarbetet, speciellt för slaggrus, eftersom aluminium och andra metalliska partiklar kan reagera kemiskt och ge upphov till svällning (och även gasbildning med explosionsrisk) när slaggruset används i olika

anläggningsssammanhang. Den har använts i detta projekt därför att den kan förväntas ingå i prestandadeklarationer för slaggrus.

Beständighet mot mekanisk påverkan

De standardiserade laboriemetoderna för provning av beständighet mot nötning (micro-Deval) och slag (Los Angeles) är ursprungligen utvecklade för att välja ut lämpligt material till asfaltslitlager och andra asfaltmassor. De har i tidigare forskningsprojekt bedömts som olämpliga för att värdera alternativa obundna material, t.ex. slaggrus (TRL, 2001).

I detta projekt användes istället analys av nedkrossningen vid laboriepackning, en alternativ metod som har använts vid studier av slaggrus i flera projekt för att ge en bild ett samlat obundet materiallayers beständighet mot mekanisk påverkan.

Värmeledningsförmåga

Material med liten värmeledningsförmåga får inte läggas för nära vägytan i belagda vägar eftersom denna egenskap leder till en kallare vägkropp och kan ge risk för frosthalka på vägytan (när luften möter en frusen vägkropp). Denna egenskap har inte analyserats hos slaggruset eftersom placering nära ytan i belagda vägar inte är aktuell för slaggrus på grund av trafiklasten på dessa nivåer.

3.2.4 Miljökrav

När det gäller miljökrav finns det idag inga juridiskt bindande kriterier för användning av avfall för anläggningsändamål på samma sätt som det finns kriterier för avfall som får läggas på olika typer av deponier. I Naturvårdsverkets föreskrifter för deponering (NFS 2004: 10) presenteras kriterier inkl. gränsvärden som inte får överskridas.

Naturvårdsverket har däremot gett ut en handbok (NV Handbok 2010:1) som ger vägledning om återvinning av avfall i anläggningsarbeten på ett miljö- och hälsosäkert sätt (Naturvårdsverket, 2010). Handboken innehåller bland annat nivåer för totalhalter och utlakning som Naturvårdsverket anser inte bör överskridas för att föroreningsrisken ska vara mindre än ringa och för att användningen ska kunna ske utan anmälan till kommunen. Utlakningsnivåer anges både som koncentrationer för det initiala lakvattnet och som utlakad mängd vid L/S 10, dvs. påverkan under ett längre tidsperspektiv. Användning utan anmälan förutsätter

- att nivåerna inte överskrids,
- att det inte finns andra föroreningar än de som Naturvårdsverket har tagit upp i sådan omfattning att risken påverkas och
- att användningen inte sker inom ett område där det krävs särskild hänsyn.

Om halter och lakegenskaper i avfallet överstiger nivåerna för mindre än ringa risk så är verksamheten antingen anmälnings- eller tillståndspliktig. Indikatorer på vad som är verksamheter utan anmälningsplikt, anmälningspliktig verksamhet och tillståndspliktig verksamhet presenteras i Tabell 3.

Naturvårdsverket har inte presenterat några generella förslag på tillåtliga nivåer för halter och utlakning från avfall som används i anläggningsarbeten som är anmälnings- eller tillståndspliktiga. Anledningen är att bedömningar av föroreningsrisken på en viss plats i hög grad påverkas av de platsspecifika förhållandena. När det gäller avfall som återvinns för anläggningsändamål i deponitäckning redovisar emellertid Naturvårdsverkets handbok nivåer som Naturvårdsverket anser bör underskridas för att användningen ska kunna ske utan anmälan (Naturvårdsverket, 2010).

En anmälan och en tillståndsansökan ska innehålla en platsspecifik bedömning av föroreningsrisken och under handläggningen av ärendet avgör sedan tillsyns-/tillståndsmyndigheten den tillåtliga nivån i avfallet. Detta kan t.o.m. innebära att den acceptabla föroreningsrisken blir mindre än ringa (Naturvårdsverket, 2010).

Naturvårdsverket anser att de principer och förutsättningar som legat till grund för beräkningar av nivån för mindre än ringa risk och för deponitäckning i Naturvårdsverkets handbok kan användas för att beräkna tillåtliga nivåer för specifika verksamheter i anmälnings- och tillståndsärenden.

Principerna består av följande delar:

- Prioritering av ämnen utifrån miljökvalitetsmålet Giftfri miljö
- Modell för bedömning av hälsorisker
- Modeller för att bedöma miljörisker i ytvatten
- Modell för att bedöma skydd av grundvatten
- Modell för att skydda markmiljön

Det finns planer på att revidera NV Handbok 2010:1 under perioden 2016-2017.

Tabell 3. Indikatorer för vad som är en verksamhet utan anmälningsplikt, anmälningspliktig verksamhet och tillståndspliktig verksamhet (efter Naturvårdsverket, 2010)

Ingen anmälningsplikt (U-verksamhet) < ringa föroreningsrisk	Anmälningsplikt (C-nivå) ringa föroreningsrisk	Tillståndsplikt (B-nivå) > ringa föroreningsrisk
Halter och utlakning är lägre än nivån för < ringa risk	Lägre föroreningshalter	Högre föroreningshalter
Anläggningens storlek är mindre än värdena i beräkningsmodellen	Mindre anläggningar, t.ex. små parkeringsplatser	Större anläggningar, t.ex. stora vägbyggen
Det förutsätts att det saknas kunskap om var avfallet återvunnits.	Genom anmälan förutsätts att kunskap finns bevarad om platsen där avfallet återvunnits	Genom tillståndsprövningen förutsätts att kunskap finns bevarad om platsen där avfallet återvunnits
Skyddet för markmiljön bör ge ett 95 % skydd för marklevande organismer	Skyddet för markmiljön bör minst ge ett 50 % skydd för marklevande organismer	Skyddet för markmiljön avgörs i tillståndsprövningen. Om markmiljön behöver skyddas är dock ett lägre skydd än 50 % inte meningsfullt.
Bakgrundshalten utgår från nationella bakgrundshalter	Skyddet för markmiljön kan anpassas till lokal bakgrundshalt	
Inget behov av ekonomisk säkerhet	Inget behov av ekonomisk säkerhet	Möjligt med ekonomisk säkerhet för återställande när anläggningen tagits ur drift samt för övervakning, kontroll och underhåll av skyddsåtgärder
Nivåerna är framtagna så att skyddsåtgärder för att förhindra förorening inte behövs	I normalfallet inget behov av särskilda skyddsåtgärder för att förhindra förorening	Särskilda skyddsåtgärder för att minska risken för spridning av förorening kan behövas
Verksamheten behöver inte anmälas men verksamhetsutövaren har ansvaret enligt miljöbalken	I normalfallet föreläggande om försiktighetsmått för att säkerställa funktionen hos passiva skyddsåtgärder i konstruktionen samt försiktighetsmått i samband med uppförande	Villkor om särskilda skyddsåtgärder kan behövas. Villkor om skyddsåtgärder i samband med uppförande kan behövas. Villkor för att säkerställa funktionen hos passiva skyddsåtgärder kan behövas.
Nivåerna är framtagna så att omgivningskontroll efter att anläggningen är uppförd inte behövs	I normalfallet inget behov av omgivningskontroll efter att anläggningen är uppförd	Villkor för omgivningskontroll efter att anläggningen är uppförd kan behövas

4 Resultat – Materialkaraktärisering

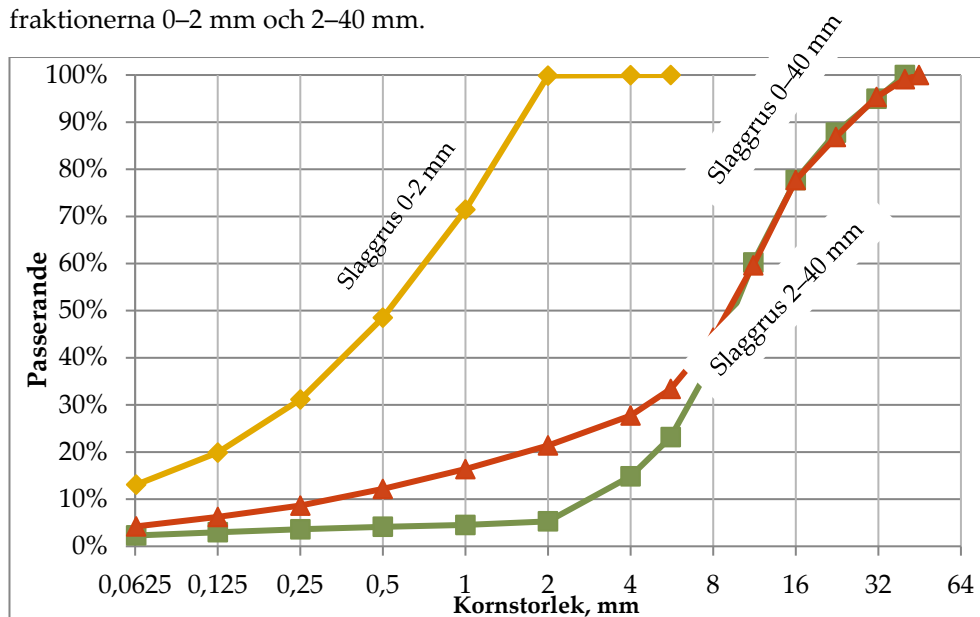
4.1 MATERIALTYP

Ett vanligt system för klassificering av anläggningsmaterial är den indelning i materialtyper som används i AMA och i Trafikverkets skrifter (AMA 13; Trafikverket, 2016). Materialtyperna är en funktion av materialets kornstorleksfördelning (finjordshalt och lerhalt) och halt av organiskt material (för krossberg är även kulkvarnsvärdet aktuellt).

I det systemet klassificeras slaggrus tillsammans med övriga restprodukter och återvunna material som Materialtyp 7, men om man bortser från slaggrusets ursprung skulle det kunna jämföras med ett sandigt grus som tillhör Materialtyp 2. I avsnitt 4.1.1 och 4.1.2 redovisas analysen av de undersökta slaggrusfraktionernas kornstorleksfördelning och organiska halt.

4.1.1 Kornstorleksfördelning

Kornstorlekssammansättningen för slaggrusets grundfraktion (0–40 mm) framgår av den röda kurvan i Figur 10, tillsammans med sammansättningen för de siktade fraktionerna 0–2 mm och 2–40 mm.



Figur 10. Kornstorleksfördelning hos lagrat metallseparerat slaggrus (0–40 mm) samt de siktade fraktionerna 0–2 mm och 2–40 mm. Passerande mängd i viktprocent (Bilaga B:2).

Slaggrusets dominerande fraktion, ca 60 viktprocent av innehållet, är 6–20 mm vilket motsvarar *mellangrus*³. De båda siktade fraktionerna motsvarar *grovsand* (0–2 mm) respektive *mellangrus* (2–40 mm). Finmaterialhalten, halt < 0,063 mm, är 13 % i den fina fraktionen som därför kan betecknas som *något siltig grovsand*. I

³ enligt internationell standard (SS-EN ISO 14668, IEG Rapport 13:2010)

grundfraktionen och den siktade fraktionen 2–40 mm är finmaterialhalten 4 % respektive 2 %.

4.1.2 Organisk halt

Enligt standarden för glödförlust (SS-EN 1744-7) ska materialet krossas före analys. Analysen utfördes därför på nedkrossat material från grundfraktionen (0–40 mm). Resultatet av sex delprov visade en medelhalt av 2,2 % (Tabell 4). Materialet kan då betraktas som *lågorganiskt* (SGI, 2008).

Tabell 4. Glödförlust hos krossat slaggrus, enligt SS-EN 1744-7.

Delprov	Glödförlust 480 °C %
Delprov 1	2,37
Delprov 2	1,97
Delprov 3	2,37
Delprov 4	2,01
Delprov 5	1,98
Delprov 6	2,35
medel	2,2

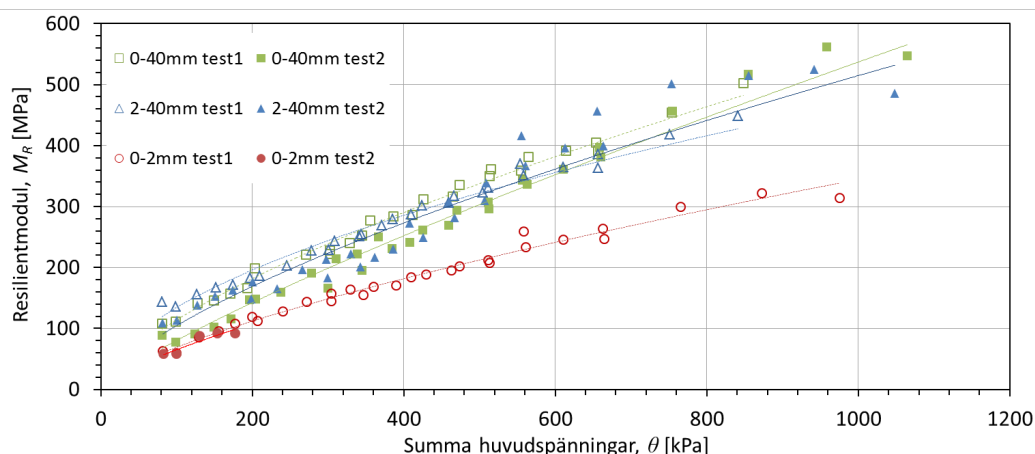
Viktförlusten som uppstår vid glödning beror på glödningstemperaturen och speglar inte bara askans innehåll av nedbrytbart organiskt material utan inkluderar även förlust av t.ex. kristallvatten och karbonater. Kolorimeteranalys och glödning ger olika resultat och tidigare analyser antyder att glödning ger högre värden (Arm, 2003). För ett slaggrus från SYSAV uppmättes 1,7 % organisk halt med kolorimeter och 4,1 % organisk halt med glödning vid 550 °C (Arm, 2003). Standarden för ballast av slaggrus föreskriver glödningstemperatur 480 °C.

Vid jämförelse mot materialkrav skall mätvärdet avrundas till en värdesiffra. Det kan därför antas att slaggruset uppfyller det krav på ≤ 2 % organisk halt som ställs, mätt med kolorimeter.

4.2 BÄRFÖRMÅGA, STABILITET OCH SÄTTNING

4.2.1 Bärförmåga

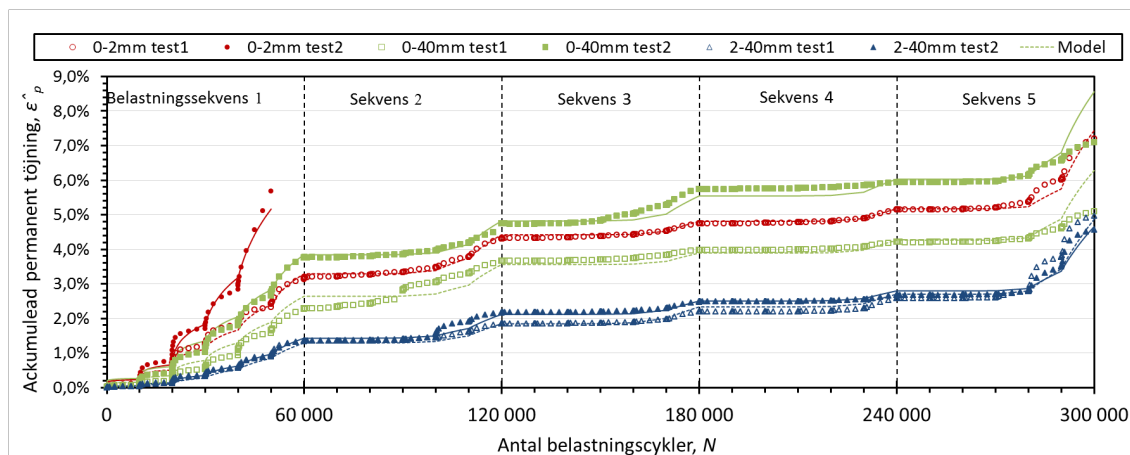
Ur registrerade värden för elastiska deformationer har slaggrusets resilientmodul, M_R , beräknats för olika spänningstillstånd (Figur 11).



Figur 11. Resilientmodul från cyklisk treaxialtest enligt SS-EN 13286-7 metod B, low stress level.

Resilientmodulen varierar mellan 60 och drygt 500 MPa beroende på belastning och testad fraktion. Dessa nivåer stämmer med tidigare testade slaggrus (SGL, 2006b). Det är liten skillnad mellan resultaten för fraktionerna 0-40 och 2-40, vilket kan bero på att båda innehåller upp till 40 mm stora partiklar. De största partiklarnas storlek har stor betydelse för ett materials styvhet och för att ha en lastbärande funktion krävs att materialets största kornstorlek är åtminstone 40–50 mm. Dessutom bör materialet vara månggraderat⁴ dvs. ha varierande storlek på ingående partiklar.

Ur de registrerade värdena för permanenta deformationer erhålls ett mått på hur stora sättningarna blir för olika laster (Figur 12).



Figur 12. Ackumulerad permanent trycktöjning vid cyklisk treaxialtest enligt SS-EN 13286-7 metod B, low stress level.

Fraktionen 2-40 mm deformerades minst av de tre testade fraktionerna. Den var också mest homogen, med liknande resultat för de båda provkropparna. De båda

⁴ Har graderingstal större än 15.

andra fraktionerna hade större spridning, vilket kan förklaras av större skillnader i vattenkvot och densitet för de inpackade provkropparna.

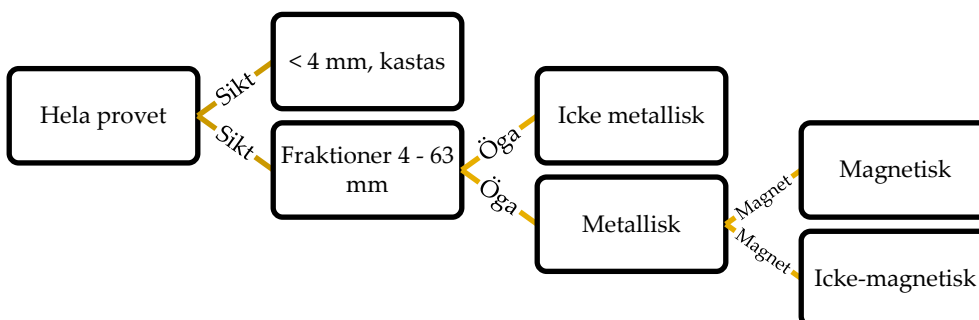
Fraktionen 0-2 mm var mest instabil och den ena provkroppen gick till brott redan innan 50 000 belastningar.

Provkropparna med fraktion 0-40 blev lite torrare än optimal densitet och uppnådde inte den planerade densiteten.

Om man vill begränsa sättningarna i ett slaggruslager till exempelvis 2 % bör vertikalbelastningen begränsas till ca 80 kPa för 0-2-fraktionen, till ca 110 kPa för 0-40-fraktionen och till ca 250 kPa för 2-40-fraktionen.

4.2.2 Innehåll av metalliska partiklar

Innehåll av metalliska partiklar enligt SS-EN 1744-8 är en manuell sorteringsmetod och metallinnehållet har bestämts på fraktionen 0-40 mm. 50 kg prov torkades, siktades, och synligt metalliska partiklar plockades ut med lupp. Magnetiska partiklar skiljdes ut från den synligt metalliska fraktionen (Figur 13) med hjälp av magnet.



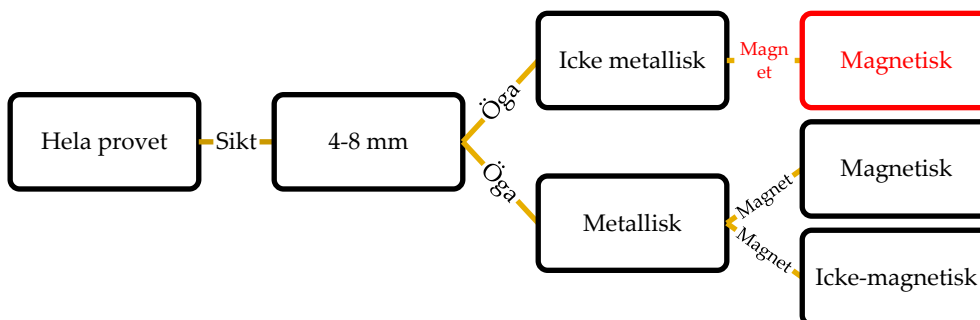
Figur 13. Metodik för analys av metallinnehåll enligt EN 1744-8.

Resultatet visade att det synligt metalliska innehållet i provet var omkring 1-2 procent av det totala provet, och att det mesta av detta var magnetiskt (Tabell 5).

Tabell 5. Metallinnehåll enligt EN 1744-8, i kg.

Analysfraktion	Totalt	Metalliskt	Metalliskt och magnetiskt
<4 mm	21,4		
4-8 mm	9,5	0,06	0,05
8-16 mm	15,6	0,22	0,12
16-32 mm	5,2	0,35	0,27
32-63 mm	2,1	0,12	0,11
>63 mm	0		

SGI föredrar att använda standardiserade metoder, eftersom man då kan jämföra resultaten mellan olika prov och eftersom regelverk generellt baseras på standardiserade metoder. För denna analysmetod har vi dock också kontrollerat den "icke-metalliska" delen av kornstorleksfraktion 4–8 mm med hjälp av magnet (Figur 14).



Figur 14. Modifierad metodik för analys av andelen metalliska partiklar. Det magnetiska har skiljts från det som inte såg metalliskt ut, som ett tillägg till EN 1744-8

Ungefär 30 % av slaggruset fastnade då på magneten. Det är partiklar och aggregat som inte ser metalliska ut, men innehåller tillräckligt med magnetiskt material för att skiljas ut. Dessa syns inte om analysen utförs enligt standardutförandet i EN 1744-8.

4.3 BESTÄNDIGHET

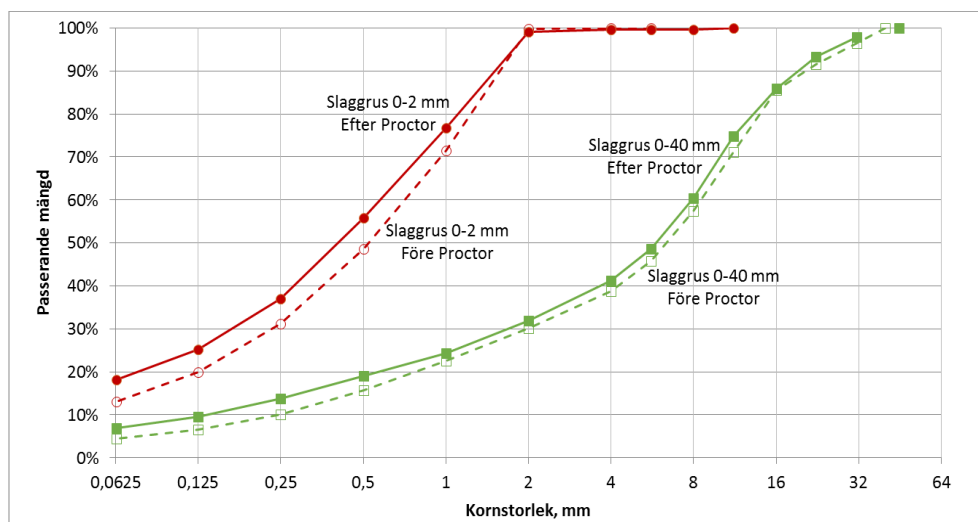
4.3.1 Beständighet mot mekanisk påverkan – krossning vid packning

Beständigheten mot mekanisk påverkan har studerats genom att analysera kornstorleksfördelningen före respektive efter Proctorpackning. Två fraktioner testades, 0–2 mm respektive 0–40 mm.

Packningen utfördes enligt standard Proctor (SS-EN 13286-2) med en stamp som har diameter 50 mm, väger 2,5 kg och faller från 308 mm. För material 0-40 mm användes provcylindrar med diameter 150 mm och höjd 120 mm. Proverna packades i 3 lager med 56 slag/lager. För material 0–2 mm användes provcylindrar med diameter 100 mm och höjd 120 mm. Dessa prover packades i 3 lager med 25 slag/lager.

Resultaten visade att slaggruset krossades till viss del, framför allt i 0–2-materialet. Finmaterialhalten⁵⁾ ökade med 5 procentenheter i 0–2-materialet och med 2,5 procentenheter i 0–40-materialet (Figur 15).

⁵⁾ Finjord eller finmaterial är material med kornstorlek < 0,063 mm.



Figur 15. Kornstorleksfördelning före respektive efter packning enligt standard Proctor (SS-EN 13286-2) (data i Bilaga B:3).

4.3.2 Beständighet mot temperaturpåverkan – frys/tö-beständighet

Metoden (SS-EN 1367-1) simulerar den nedbrytning av ballastkorn som uppkommer när vatten som trängt in i porerna fryser till is, volymutvidgas och ger upphov till stora spänningar som spränger sönder kornen. Den ska användas på s.k. korta fraktioner, t.ex. 8–16 mm.

Proverna vattenmättades under ett dygn och utsattes därefter för 10 frys/tö-cykler i vatten. Frys/tö-beständigheten analyserades genom kornstorleksanalys före och efter provningen. Vid utvärderingen kontrollerar man hur stor andel av det ursprungliga provet som efter provning passerar en sikt med en maskvidd som är hälften av den undre fraktionsgränsen. Om analysfraktionen är 8–16 mm görs alltså utvärderingen med hjälp av en sikt med 4 mm maskvidd.

Resultaten visar att grova fraktioner har bättre frys/tö-beständighet än fina fraktioner (Tabell 6). Det speglar också slaggrusets porösa struktur, med vattenhållande porer som spränger aggregaten vid frysning.

Tabell 6. Frys/tö-beständighet hos olika fraktioner av slaggrus, enligt SS-EN 1367-1, (underlagsdata i Bilaga B:4).

Fraktion mm	Frys/tö-beständighet, F %
16-32	6,0
8-16	8,6
4-8	9,9

4.3.3 Vattenabsorption

Vattenabsorption i luft, vid rumstemperatur analyserades för fraktionerna 0,063–2, 2–40 samt 0,063–40 mm. Proverna vattenmättades i 24 timmar och torkades därefter i rumstemperatur tills de var yttorra men fortfarande fuktiga. Vattenkvoten i det stadiet benämns vattenabsorption. Resultatet blev medelvärden mellan 1,55 och 6,20 beroende på analyserad fraktion (Tabell 7).

Tabell 7. Vattenabsorption vid rumstemperatur, i luft, enligt SS-EN 1097-6.

Analysfraktion	Vattenabsorption %
0,063–2 mm	6,20
2–40 mm	1,55
0,063–40 mm	2,35

Analysmetoden (SS-EN 1097-6) hanterar inte den finaste fraktionen (ler – silt) med kornstorlek < 0,063 mm. Detta innebär att de uppmätta värdena sannolikt skulle vara högre om finmaterialet ingick, även om finmaterialhalten (halt partiklar < 0,063 mm) är relativt liten, 2,3 %, av slaggruset.

Vattenabsorption avser materialets förmåga att ta till sig och hålla vatten vid ett visst atmosfärstryck. Egenskapen beror dels av porstrukturen med kapillära krafter, dels av hur vattenmolekyler adsorberas som lager av molekyler kring partiklar i materialet. Absorptionen är starkt knuten till bl.a. luftens fuktighet och partialtryck, samt partikelstorlek och specifik yta och därmed också till organiskt innehåll i ballastmaterialet. Det finns få uppgifter om absorptionsegenskaper hos vanliga ballastmaterial, men normal vattenabsorption på ballastmaterial av krossat berg är ca 0,5 % (0,2–0,8 %). En jämförelse kan också göras med naturliga sandiga siltiga jordar som vid fri dränering (pF 2,0) ofta har vattenhalt på mellan 20 och 30 % (Lind 1989 – moiga-sandiga moräner; Amer 2015 – sandy loam), vilket motsvarar vattenkvot (vattenabsorption) 8–13 % (vid skrymdensitet 2,3 t/m³).

4.4 TJÄLLYFTNINGSBENÄGENHET OCH GENOMSLÄPPLIGHET

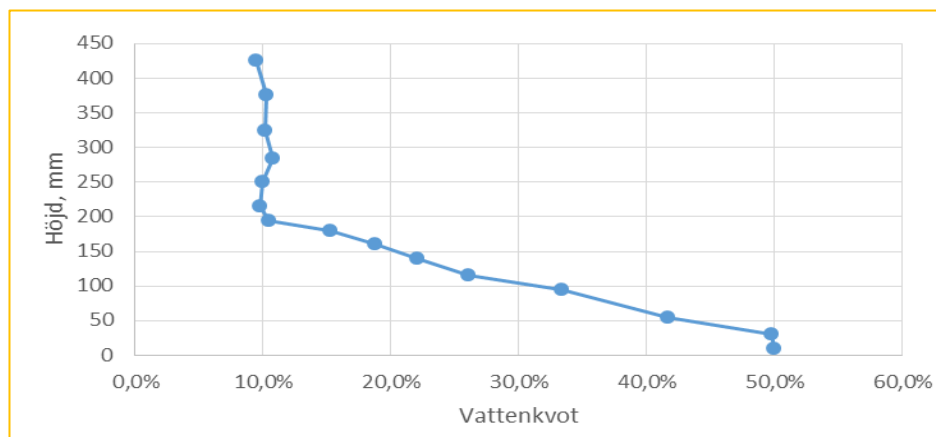
4.4.1 Kapillär stighöjd

Den kapillära stighöjden mäts genom att packa proverna till knappt 50 cm höjd i cylindrar med diameter 139,6 respektive 123,5 mm (Tabell 8).

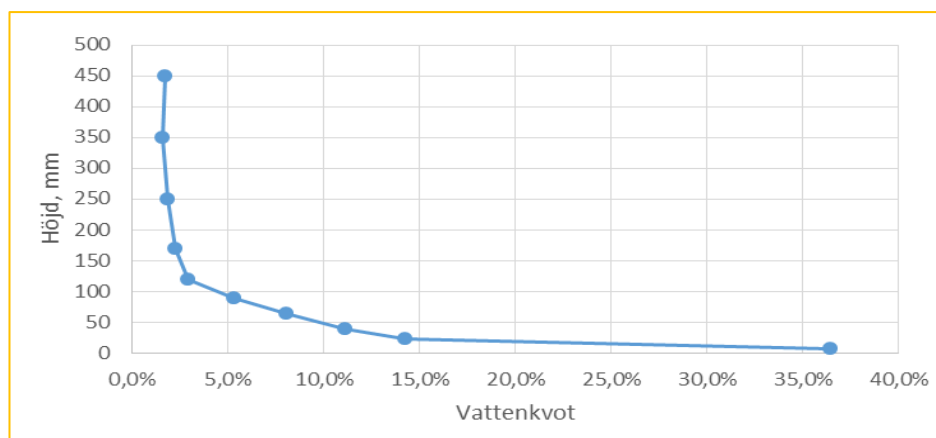
Tabell 8. Bestämning av kapillär stighöjd enligt SS-EN 1097-10.

Analysfraktion	Torr skrymdensitet t/m ³	Cylinderdiameter mm	Cylinderhöjd Mm
0–2 mm	1,08	123,5	450
2–40 mm	1,36	139,6	495
0–40 mm	1,43	139,6	490

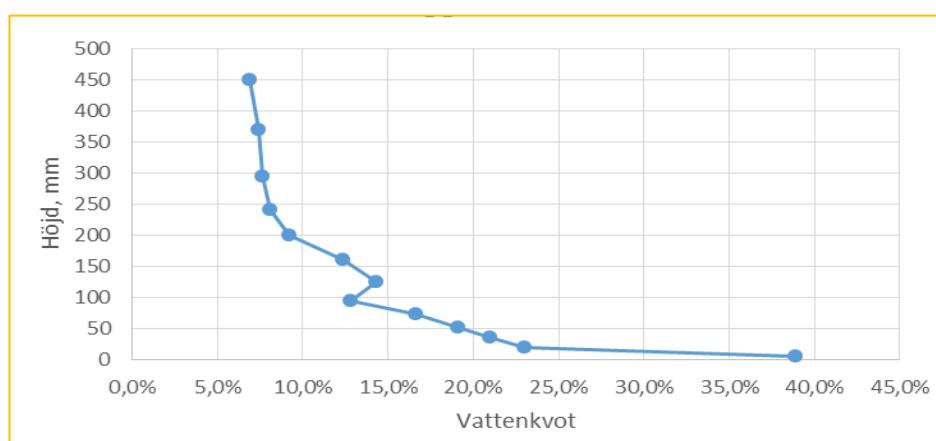
Vattenkvotens förändring med höjd under 16 dygn i de packade cylindrarna framgår av Figur 16, 17 och 18. Vattenkvot över 10 % (vilket ungefär motsvarar visuell stighöjd) når ca 20 cm upp i materialen 0–2 och 0–40 mm och ca 5 cm upp i materialet 2–40 mm. Den kapillära stighöjden kan sägas vara i samma storleksordning som för löst lagrad grovsand/mellansand (Byggeforskningen B7:1972).



Figur 16. Kapillär stighöjd i slaggrus fraktion 0–2 mm, enligt SS-EN 1097-10.



Figur 17. Kapillär stighöjd i slaggrus fraktion 2–40 mm, enligt SS-EN 1097-10.



Figur 18. Kapillär stighöjd i slaggrus fraktion 0–40 mm, enligt SS-EN 1097-10.

De båda grövre fraktionerna 2–40 mm och 0–40 mm kan betecknas som icke tjällyftande material, tjälfarlighetsklass 1, medan den finare fraktionen 0–2 mm är måttligt tjällyftande, tjälfarlighetsklass 2 (Trafikverket, 2016).

4.4.2 Permeabilitet

Permeabiliteten för slaggrus 0–40 mm bestämdes med rörpermeameter enligt SS 02 71 11. Notera att material > 20 mm är borttaget före packning i rörpermeameter, vilket föreskrivs av standarden. Materialet packades med standard Proctor vid vattenkvot 13 %. Den uppnådda packningsgraden motsvarade torrdensitet 1,59 t/m³. Den uppmätta permeabiliteten var i medeltal 1,7 x 10⁻⁴ m/s (Tabell 9). Detta motsvarar permeabiliteten hos naturligt lagrad mellansand/grovsand (SGI, 2008).

Tabell 9. Permeabilitet för slaggrus 0–40 mm, bestämd med rörpermeameter, enligt SS 02 71 11 (underlagsdata i Bilaga B:5).

Tid efter montering minuter	Permeabilitet m/s
1,30	1,6 x 10 ⁻⁴
2,15	1,6 x 10 ⁻⁴
2,97	1,7 x 10 ⁻⁴
3,85	1,7 x 10 ⁻⁴
4,67	1,8 x 10 ⁻⁴
5,60	1,7 x 10 ⁻⁴

4.5 DENSITET OCH PACKNINGSEGENSKAPER

4.5.1 Skrymdensitet

Lös skrymdensitet motsvarar densiteten vid fyllningar utan packning. Densiteten för det odelade slaggruset (0–40 mm) uppmättes till 1,25 ton/m³ vilket är i undre kanten av det normala intervallet 1,2–1,8 t/m³ för svenska slaggrus (SGI, 2006b). Den är också lägre än skrymdensiteten hos sand och morän (jfr ca 1,6 t/m³ enligt Rosén m.fl., 2006). Fina fraktioner har lägre skrymdensitet och närmar sig för slaggrusets 0–2 mm fraktion ca 1 t/m³ (Tabell 10). Vissa flygaskor kan ha skrymdensitet > 1,0 t/m³ (SGI, 2006a).

Tabell 10. Lös skrymdensitet enligt SS-EN 1097-3.

Analysfraktion	Lös skrymdensitet t/m ³
0–2 mm	1,04
2–40 mm	1,18
0–40 mm	1,25

4.5.2 Maximal densitet och optimal vattenkvot

Packningsegenskaperna (maximal torr skrymdensitet och optimal vattenkvot) bestämdes för de tre fraktionerna med hjälp av standard Proctor (Tabell 11).

Tabell 11. Packningsegenskaper enligt standard Proctor (SS-EN 13286-2).

Analysfraktion	Maximal torr skrymdensitet t/m ³	Optimal vattenkvot %	Korndensitet ^a t/m ³
0–2 mm	1,42	25,6	2,55
2–40 mm	1,52	4,1	2,72
0–40 mm	1,74	11,9	2,69

^a Fuktig och yttorr.

Resultaten ligger väl inom det intervall som brukar anges som normalvärden för maximal torrskrymdensitet för slaggrus (jfr 1,4–1,8 t/m³ enligt SGI, 2006b). Den maximala skrymdensiteten hos slaggruset är lägre än hos packade naturliga friktionsjordar eller krossat berg samt flera andra sandiga material (Fagerström, 1971; Forssblad, 2000; Gustavsson m.fl., 2003). Liksom i fallet med lös skrymdensitet har fina fraktioner lägre densitet än grova fraktioner (Tabell 11).

Korndensiteten 2,55–2,72 t/m³ sammanfaller väl med värden för vanliga mineral i naturlig jord (SGI, 2008).

4.6 KEMISK OCH MINERALOGISK SAMMANSÄTTNING

Slaggrusets kemiska sammansättning är ett resultat av

- det ingående avfallets kemiska sammansättning
- separeringsprocesser i förbränningsanläggningen som leder till att olika ämnen anrikas eller utarmas i olika avfallsfraktioner
- separering av olika ämnen under sorteringen av bottenaskan som leder till att olika ämnen anrikas eller utarmas i olika materialfraktioner
- utlakning av vissa ämnen från slaggruset under lagring

Slaggrusets mineralogiska sammansättning är en blandning av primära faser som fanns i avfallet samt sekundära faser som bildats i förbränningsanläggningen och andra sekundära/tertiära faser som bildats under sortering och lagring när bottenaskan/slaggruset reagerat med vatten och luft.

4.6.1 Totalkemisk sammansättning

Slaggrusets kemiska sammansättning analyserades som dubbelprov med ALS:s analyspaket MG-2 (Tabell 12). Till analysen användes nedkrossat material från grundfraktionen (0–40 mm). I Naturvårdsverkets handbok 2010:1 används totalhalter för att bedöma risker för människors hälsa och markmiljön.

Tabell 12. ALS:s analyspaket MG-2.

	Metod
1	Provberedning genom malning i stålfat.
2	Analys av TS enligt SS 02 81 13-1.
3	Vid analys av As, Cd, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Sb, S, Se, Sn och Zn: - Analysprover torkas vid 50 °C och elementhalterna TS-korrigeras till 105 °C. - Upplösning görs enligt ASTM D3683 (modifierad). Vid analys av grundämnen görs upplösningen enligt ASTM D3682 (LiO ₂ -smälta). Analys med ICP-SFMS görs enligt SS EN ISO 17294-1, 2 (mod) samt EPA-metod 200.8 (mod). Analys av Hg med AFS görs enligt SS EN ISO 17852.
4	Analys av LOI görs vid 1000 °C.
5	Bestämning av totalt-S (TS), totalt organiskt kol (TOC) och totalt oorganiskt kol (TIC) och karbonater i fasta prover görs med coulometry enligt CSN ISO 10694 och CSN EN 13137.

De dominerande grundämnena (medelvärde av två analyserade prover) är; kisel (22,8 %), kalcium (10,6 %), järn (8,6 %), natrium (3 %), magnesium (1,3 %) och kalium (1,0 %) (Tabell 13). Tungmetallerna i slaggruset domineras av (medelvärde av två analyserade prover): koppar (5 285 mg/kg TS), zink (3 730 mg/kg TS), bly (899 mg/kg TS) och krom (744 mg/kg TS). Kopparhalten varierar emellertid kraftigt mellan proven. En möjlig förklaring till variationen i kopparhalt kan vara förekomst av små koppartrådar vilket tidigare angetts som möjlig orsak till kopparinnehåll i bottenaskor från avfallsförbränning (Avfall Sverige, 2014).

Tabell 13. Totalhalter i slaggrusprov A och B.

		Slaggrus A	Slaggrus B
TS	%	92,5	92,2
LOI 1000°C	% TS	3,1	3,1
TOC	% TS	0,441	0,651
Si	mg/kg TS	230 000	226 000
Al	mg/kg TS	49 000	52 800
Ca	mg/kg TS	109 000	103 000
Fe	mg/kg TS	87 400	85 300
K	mg/kg TS	10 000	10 000
Mg	mg/kg TS	12 600	12 700
Mn	mg/kg TS	1 620	1 420
Na	mg/kg TS	29 900	29 500
P	mg/kg TS	2 810	2 730
Ti	mg/kg TS	6 950	6 830
As	mg/kg TS	34,7	37,1
Ba	mg/kg TS	2 170	2 160
Be	mg/kg TS	1,27	1,26
Cd	mg/kg TS	3,4	3,64
Co	mg/kg TS	49,3	42,2
Cr	mg/kg TS	766	722
Cu	mg/kg TS	7 230	3 340
Hg	mg/kg TS	0,0585	0,0651
Mo	mg/kg TS	26,4	22,7
Nb	mg/kg TS	11,6	12,3
Ni	mg/kg TS	294	262
Pb	mg/kg TS	842	955
S	mg/kg TS	5 300	5 430
Sc	mg/kg TS	4,58	4,82
Sn	mg/kg TS	153	103
Sr	mg/kg TS	340	346
V	mg/kg TS	48	48,8
W	mg/kg TS	< 50	< 50
Y	mg/kg TS	16,6	13,9
Zn	mg/kg TS	3 560	3 900
Zr	mg/kg TS	327	288

4.6.2 Mineralogisk sammansättning

Den mineralogiska sammansättningen analyserades med ALS:s analyspaket G-11C. Till analysen användes nedkrossat material från grundfraktionen (0–40 mm). Provet finmalades innan det undersöktes på en röntgendifraktometer (XRD) med CuK α röntgenrör. Halterna av kristallina faser gjordes genom Rietveld-analys. Halterna är angivna i viktprocent.

Huvuddelen (55 %) av slaggruset består av amorfa faser utan tydligt urskiljbar mineralstruktur. De kristallina faserna domineras av kvarts (15 %) och fältspater (12,5 %; albit, anortoklas och sanidin) och järnoxider (9,5 %, magnetit och hematit) samt mindre mängder av gehlenit (4,5 %), kalcit (2,2 %) och anhydrit (1,3 %) (Tabell 14).

Mineralinnehållet liknar det som noterats i studier av bottenaskor i Tyskland (Speiser m.fl., 2000), men den amorfa delen i dessa askor var något mindre (40 %) och andelen fältspater var något större.

Tabell 14. Mineralogisk sammansättning hos slaggruset (Bilaga B:6).

Amorfa faser	Vikt-%	55,0
Kvarts (SiO ₂)	Vikt-%	15,0 ± 0,4
Magnetit (Fe ₃ O ₄)	Vikt-%	7,8 ± 0,5
Hematit (Fe ₂ O ₃)	Vikt-%	1,7 ± 0,3
Kalcit (CaCO ₃)	Vikt-%	2,2 ± 0,3
Anhydrit (CaSO ₄)	Vikt-%	1,3 ± 0,3
Gehlenit (Ca ₂ Al ₂ SiO ₇)	Vikt-%	4,5 ± 0,5
Albit (NaAlSi ₃ O ₈)	Vikt-%	4,6 ± 0,7
Anortoklas (NaAlSi ₃ O ₈)	Vikt-%	4,7 ± 0,7
Sanidin (KAlSi ₃ O ₈)	Vikt-%	3,2 ± 0,5

4.7 UTLAKNING

Utlakningen av olika ämnen från slaggruset analyserades med ett skaktest (enstegslakning) vid L/S 10 enligt SS-EN 12457-2. För en mer fullständig bild av utlakningsegenskaperna kan kolontest utnyttjas, men den valda analysmetoden ger värden för jämförelse med Naturvårdsverkets handbok (Naturvårdsverket, 2010).

Till testerna (dubbeltest) användes krossat material från grundfraktionen (0–40 mm). Eluatet från testerna analyserades med avseende på pH (SS-EN ISO 10523), ledningsförmåga (SS-EN 27888), redox EH (SGL-metod) och olika element enligt ALS:s analyspaket V-3A (Tabell 15). I Naturvårdsverkets handbok används utlakningen från ett material för att bedöma risker för yt- och grundvatten.

Tabell 15. ALS:s analyspaket V-3A.

	Metod
1	<p>Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet filtreras med 0,45 µm filter. För analys av W surgörs provet inte. För analys av övriga element surgörs provet med 1 ml salpetersyra (suprapur) per 100 ml. Detta gäller ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet. För analys av Ag konserveras provet med HCl. Analys med ICP-SFMS görs enligt SS EN ISO 17294-1, 2 (mod) samt EPA-metod 200.8 (mod). Analys med ICP-AES görs enligt SS EN ISO 11885 (mod) samt EPA-metod 200.7 (mod). Analys av Hg med AFS görs enligt SS EN ISO 17852.</p> <p>Notera att rapporteringsgränser kan påverkas om det t.ex. finns behov av extra spädning pga provmatrisen, men även om provmängden är begränsad.</p>
2	<p>Bestämning av totalt organiskt kol (TOC), löst organiskt kol (DOC) och totalt oorganiskt kol (TIC) görs med IR-detektering baserat på CSN EN 1484, CSN EN 16192 och SM 5310.</p>
3	<p>Bestämning av löst fluorid, klorid, nitrit, bromid, nitrat och sulfat görs med jonvätskekromatograf och bestämning av nitrit-N och nitrat-N och sulfat-S görs med beräkningar från uppmätta värden.</p>

Under utlakningen var pH relativt högt, 10,8 (Tabell 16). Utlakningen dominerades av alkaliska jordartsmetaller (Ca), alkalimetaller (Na och K) samt svavel och klor.

Bland tungmetallerna uppvisade koppar klart störst mobilitet (1,7 mg/kg TS).
Bland ämnen som kan bilda oxyanjoner, förutom svavel, var utlakningen störst för Mo (0,82 och 0,84 mg/kg TS) följt av Sb (0,39 och 0,41 mg/kg TS).

Tabell 16. Utlakad mängd vid L/S 10, för slaggrusprov A och B.

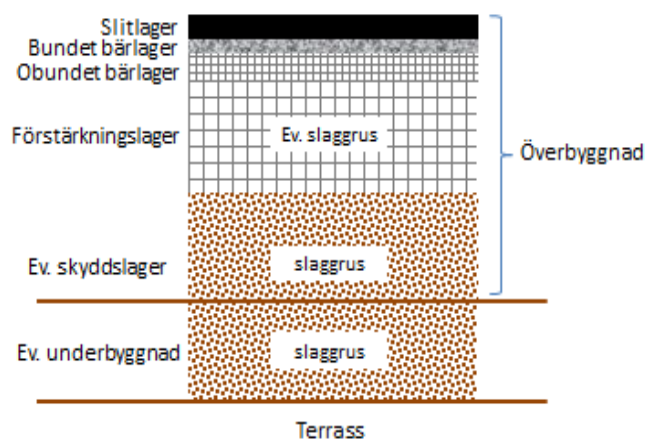
		Slaggrus A	Slaggrus B
L/S		9,9	10
pH	22°C	10,8	10,8
Ledningsförm.	mS/m 25°C	170	167
Redox Eh	mV	219	223
Al	mg/kg TS	70,8	72
Ca	mg/kg TS	1 970	1 900
Fe	mg/kg TS	0,057	0,060
K	mg/kg TS	399	402
Mg	mg/kg TS	1,6	1,6
Mn	mg/kg TS	0,0046	0,0059
Na	mg/kg TS	1 440	1 440
As	mg/kg TS	0,01	0,016
Ba	mg/kg TS	0,64	0,63
Cd	mg/kg TS	0,0014	0,0016
Co	mg/kg TS	0,0027	0,0038
Cr	mg/kg TS	0,11	0,2
Cu	mg/kg TS	1,7	1,7
Hg	mg/kg TS	<0,0002	<0,0003
Mo	mg/kg TS	0,82	0,84
Ni	mg/kg TS	0,026	0,026
Pb	mg/kg TS	0,0088	0,0090
S	mg/kg TS	1 760	1 680
Sb	mg/kg TS	0,39	0,41
Se	mg/kg TS	<0,03	<0,04
V	mg/kg TS	0,092	0,09
Zn	mg/kg TS	0,082	0,081
DOC	mg/kg TS	114	121
Klorid	mg/kg TS	1 690	1 680
Fluorid	mg/kg TS	3,9	4
Sulfat	mg/kg TS	5 350	5 150

5 Resultat – Matchning och modifieringsbehov

För att identifiera askans modifieringsbehov, när speciella krav ska mötas, matchades askans egenskaper mot tekniska krav och miljökrav för de tänkbara användningsområden som valts ut.

5.1 RESULTAT AV MATCHNING MOT TEKNISKA KRAV

Slaggrusets tekniska egenskaper jämfördes med de materialkrav som finns i AMA respektive Trafikverkets skrifter beträffande konstruktionsmaterial för olika ändamål. Resultatet presenteras här uppdelat på fyllningsmaterial (Tabell 17), obundna överbyggnadslager i gator och vägar (Tabell 18) samt olika funktionslager (Tabell 19). Obundna överbyggnadslager utgörs av bärlager, förstärkningslager och skyddslager (Figur 19).



Figur 19. Möjlig användning för slaggrus i vägar.

5.1.1 Fyllningsmaterial

Fyllningsmaterial representeras här av material till barriärer och bankar samt material till underbyggnader i gator, vägar och upplagsytor.

Tabell 17. Matchning mot krav för material till fyllningar och vägunderbyggnad.

Användningsområde	Krav TRV och AMA	Matchningsresultat
Fyllningsmaterial – barriärer och bankar (AMA 13)	Max 2 vikt-% organiskt material (enl SS 27107)	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2
	Finjordshalt ^a ≤15 vikt-%	2 %, 4 % resp. 13 % för de tre testade fraktionerna
Fyllningsmaterial – underbyggnad till vägar och upplagsytor Kategori A, B el. C (AMA 13) (Kap 2 i TDOK 2013:0530. Trafikverket, 2015a) (Kap 5 i TDOK 2012:22. Trafikverket, 2015b)	Max 2 vikt-% organiskt material inom 1 m från terrassyta och 2 m från färdig vägyta	2,2 vikt-% med annan metod se 4.1.2
	Finjordshalt ≤15 vikt-% (AMA 13)	2 %, 4 % resp. 13 % för de tre testade fraktionerna
	Begränsning av största kornstorlek kopplat till lagertjocklek	OK ^b
	Krav på viss bärighet mätt med statisk plattbelastning eller yttäckande packningskontroll på utlagt, packat lager. (Ex: för flexibel konstruktion Ev2 ≥ 20-40 MPa beroende på djup (500- 750 mm under bärlagerytan)	Ej kontrollerat
Får ej innehålla ämnen i Trafikverkets förbudslista	Innehåller arsenik, bly, kadmium, kromVI, kvicksilver.	

^a Halt 0,063/63 mm.

^b Inget problem om lagertjockleken är större än 80 mm.

5.1.2 Obundna överbyggnadsmaterial

Med obundna överbyggnadsmaterial menas material som inte innehåller något bindemedel, t.ex. asfalt eller cement, och som ingår i en gatu- eller vägöverbyggnad (Figur 19).

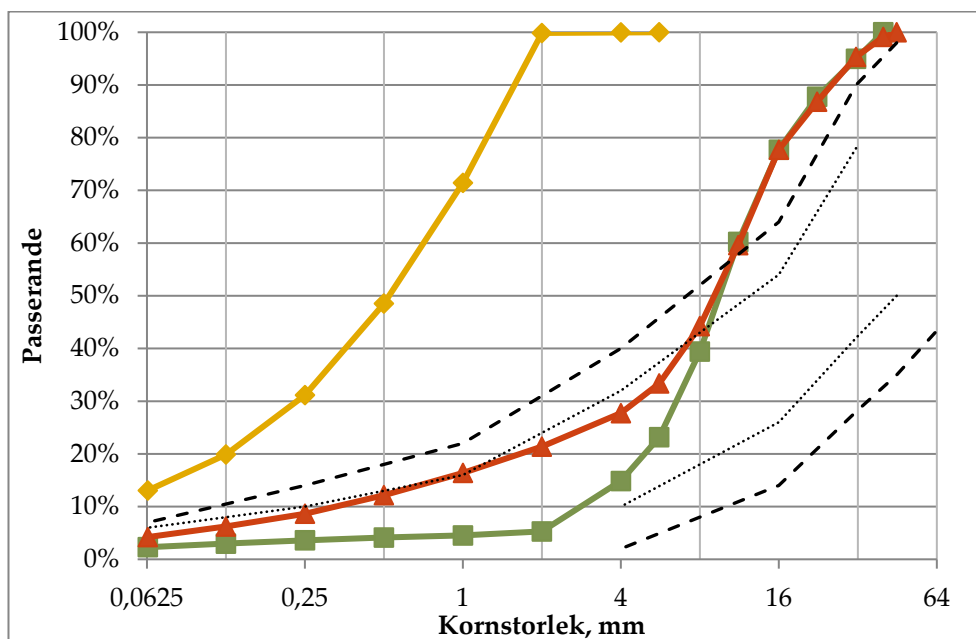
Generellt gäller för material till vägöverbyggnader att de ska vara CE-märkta och ha en prestandadeklaration enligt gällande europastandard. Aktuella standarder är SS-EN 13242 Ballast för obundna och hydrauliskt bundna material till väg- och anläggningsbyggnad samt SS-EN 13285 Obundna överbyggnadsmaterial, Specifikation.

Dessutom gäller att överbyggnadsmaterial ska ha sådana egenskaper att konstruktionen behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela dimensioneringsperioden. Överskott av vatten ska snabbt kunna dräneras bort. Vidare måste materialen vara volymbeständiga och får inte vara tjällyftande. De ska vara acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt och får inte ge problem vid återanvändning, deponering eller destruktion. Slutligen får de inte innehålla ämnen som ingår i Trafikverkets förbudslista (se Bilaga B:7).

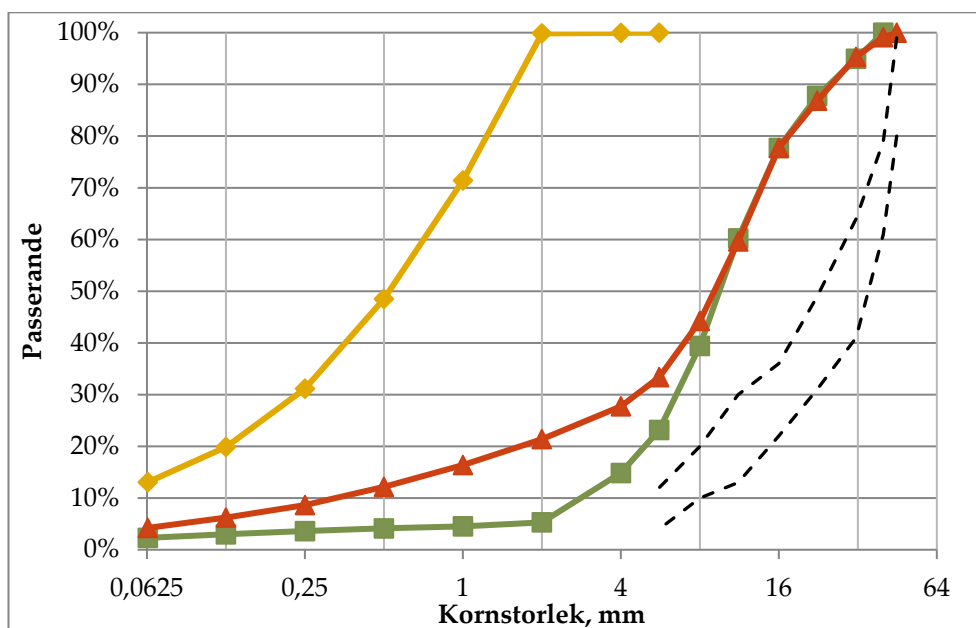
Tabell 18. Matchning mot krav för material till obundna överbyggnadslager i gator och vägar.

Användningsområde	Krav enligt TRV och AMA	Matchningsresultat
Generellt för obundna överbyggnadsmaterial (Kap 4 i TDOK 2013:0530)	Får ej innehålla ämnen i Trafikverkets förbudslista	Innehåller arsenik, bly, kadmium, kromVI, kvicksilver.
	Om närmare än 0,5 m från vägytan: värmeledningstal, λ (enl SS-EN 12664 eller SS-EN 12667) > 0,3 W/(m K).	Ej testat i projektet
Skyddslager till belagda vägar (Kap 5 i TDOK 2013:0530) Benämns undre förstärkningslager i AMA	Materialtyp 1 eller 2	Motsvarar Materialtyp 2
	Begränsning av största kornstorlek kopplat till lagertjockleken. ($D \leq$ halva lagertjockleken)	OK ^a
	Max 2 vikt-% organiskt material	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2
	Finmaterialhalt ^b < 9 % vid leverans och < 10 % färdigpackat	OK för fraktion 0-40 och 2-40
	Max kapillär stighöjd 0,50 m	OK (ca 0,05 eller 0,20 m beroende på fraktion)
	Krav på viss bärighet mätt med statisk plattbelastning eller yttäckande packningskontroll på utlagt, packat lager. (Ex: för flexibel konstruktion $E_{v2} \geq 40$ MPa med viss tolerans)	Ej kontrollerat
	Nötningsbeständighet enl micro-Deval (SS-EN 1097-1) ≤ 30 , om lagret ej trafikeras	Ej testat i projektet
Okrossat förstärkningslager till belagda vägar (Kap 6 i TDOK 2013:0530)	Kornstorleksfördelning inom viss zon (Figur 20).	För lite material >16 mm
	Begränsning av största kornstorlek kopplat till lagertjockleken.	OK
	Max 2 vikt-% organiskt material	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2
	Om finmaterialhalt ≥ 5 % ska finmaterialkvaliteten SE vara >30 (enl SS-EN 933-8)	OK för fraktion 0-40 och 2-40
	Om lagret är det översta obundna lagret: Krav på viss bärighet mätt med statisk plattbelastning eller yttäckande packningskontroll på utlagt, packat lager. (Ex: för ombyggnad med flexibel konstruktion $E_{v2} \geq 120$ MPa, med tolerans)	Ej kontrollerat
	Nötningsbeständighet enl micro-Deval (SS-EN 1097-1) ≤ 30	Ej testat i projektet
Förstärkningslager till grusvägar	Kornstorleksfördelning inom en viss zon (Figur 21) och finmaterialhalt inom intervallet 4-12 %.	För finkornigt
	Finmaterialkvalitet (enl SS-EN 933-8) SE10 = 20-70	Ej testat i projektet
	Max 2 vikt-% organiskt material	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2

^a Inget problem om lagertjockleken är större än 80 mm.^b Halt 0,063/63 mm.



Figur 20. Slaggrusets kornstorleksfördelningar (gul=0-2 mm, röd=2-40 mm, grön=0-40 mm) och Trafikverkets gränskurvor för förstärkningslager till belagda vägar med flexibel konstruktion. Godkänd kornstorleksfördelning ligger mellan de innersta prickade linjerna, men får vara i en av de yttre zonerna. Passerande mängd i viktprocent. Gränskurvor i (Trafikverket, 2015a).



Figur 21. Slaggrusets kornstorleksfördelningar (gul=0-2 mm, röd=2-40 mm, grön=0-40 mm) och Trafikverkets gränskurvor för förstärkningslager till grusvägar. Kornstorleksfördelningen ska ligga mellan de streckade linjerna. Gränskurvor i (Trafikverket, 2015a).

5.1.3 Funktionslager

Funktionslager används här som samlingsbegrepp för några användningar med specifika funktioner: kapillärbrytande eller dränerande lager samt ledningsbädd och kringfyllning för ledningar och trummor.

Tabell 19. Matchning mot tekniska krav för material till några olika funktionslager (AMA)

Användningsområde	Krav enligt AMA	Matchningsresultat
Kapillärbrytande lager	Max 2 vikt-% organiskt material	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2
	Max 2 % <2 mm	OK för fraktion 2-40 mm
	Finjordshalt ^a ≤15 vikt-%	2 %, 4 % resp. 13 % för de tre testade fraktionerna
Dränerande lager	Max 2 vikt-% organiskt material	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2
	Finjordshalt ≤15 vikt-%	2 %, 4 % resp. 13 % för de tre testade fraktionerna
Fyllningsmaterial i ledningsgravar (Ledningsbädd och kringfyllning)	Max 2 vikt-% organiskt material	2,2 vikt-% med annan metod, se 4.1.2
	Finjordshalt ≤15 vikt-%	2 %, 4 % resp. 13 % för de tre testade fraktionerna
	Materialtyp 2 eller 3B	Motsvarar Materialtyp 2
	Krav på kornstorleksfördelning, relaterad till användningsområde samt ledningstyp och storlek	Beror på
	Begränsning av största kornstorlek, relaterad till användningsområde samt ledningstyp och storlek (63 mm om betongledning, 31,5 mm annars)	OK (2 eller 40 mm)
	Jord med homogen struktur	OK, i sorterat skick
	Får inte innehålla ämnen som kan skada ledning eller fogmaterial	Innehåller klorider och sulfater

^a Halt 0,063/63 mm.

5.2 RESULTAT AV MATCHNING MOT MILJÖKRAV

5.2.1 Prövningsnivå

Avfall som understiger nivåerna för *mindre än ringa risk* kan användas "fritt" i anläggningsarbeten utan krav på anmälan till tillsynsmyndigheten, under vissa förutsättningar (se avsnitt 3.2.4).

En jämförelse mellan nivåerna enligt Handbok 2010:1 (Naturvårdsverket, 2010) och det analyserade slaggruset indikerar att (Tabell 20):

- slaggruset klarar inte totalhaltsnivåerna för *mindre än ringa risk* med undantag för kvicksilver,
- slaggruset klarar alla nivåer för utlakad mängd med undantag för koppar.

Tabell 20. Nivåer för "mindre än ringa risk" enligt Naturvårdsverket (2010), samt innehållet i analyserat slaggrus, mg/kg TS.

	Totalhalt		Utlakad mängd vid L/S 10	
	Nivåer för < ringa risk	Analyserat slaggrus (medelv.)	Nivåer för < ringa risk	Analyserat slaggrus (medelv.)
Bly	20	898	0,2	0,0089
Kadmium	0,2	3,5	0,02	0,0015
Kvicksilver	0,1	0,0618	0,01	<0,0003
Arsenik	10	35,9	0,09	0,026
Koppar	40	5285	0,8	1,7
Zink	120	3730	4	0,0815
Krom tot	40	744	1	0,155
Nickel	35	278	0,1	0,026

Med utgångspunkt från totalhalterna så är föroreningsrisken för verksamheter, som använder slaggrus för anläggningsändamål, större än *mindre än ringa*. Detta skulle innebära att verksamheten är anmälnings- eller tillståndspliktig.

Vid bedömningar av om verksamheten är anmälningspliktig eller tillståndspliktig kan Tabell 3 användas. Utmärkande för anmälningspliktiga anläggningar är enligt Tabell 3 bl.a.

- att de är små (t.ex. små parkeringsplatser),
- att de inte är i behov av någon ekonomisk säkerhet,
- att de normalt inte är i behov av särskilda skyddsåtgärder,
- att de normalt kan föreläggas om försiktighetsmått för att säkerställa funktionen hos passiva skyddsåtgärder,
- att de normalt inte är i behov av omgivningskontroll.

Erfarenheter från flera genomförda svenska projekt (exklusive provvägar och provtytor) där slaggrus använts i anläggningsarbeten utanför avfallsanläggningar visar bl.a. på följande (Raul Grönholm, 2016):

- användning har anmälts till kommunen eller ingått som en del i större projekt som varit tillståndspliktiga,
- objekten har huvudsakligen utgjorts av parkeringsplatser, uppställningsytor och återvinningscentraler. Mängden slaggrus per objekt har varierat från några tusen ton till drygt 20 000 ton.
- överytan har asfalterats,
- slaggruset ska återtas vid oacceptabel miljöpåverkan,
- omgivningskontroll på grundvattnet har utförts under minst 3 år.

5.2.2 Tillåtliga nivåer

Nivåerna i Naturvårdsverkets handbok kan ses som tillåtliga nivåer för "fri" användning som sker under vissa förutsättningar samtidigt som nivåerna anger prövningsnivån. Som konstaterats ovan så är föroreningsrisken vid verksamheter, som använder slaggrus för anläggningsändamål, i första hand förknippad med det totala innehållet av olika ämnen, inte hur de lakar ut. Utlakningen av koppar kan emellertid utgöra ett undantag.

Naturvårdsverket har, som nämnts ovan, inte presenterat några generella förslag på tillåtliga nivåer för halter och utlakning från avfall, som används i anläggningsarbeten som är anmälnings- eller tillståndspliktiga. Tillåtliga nivåer för dessa verksamheter kan emellertid beräknas med beaktande av samma principer som för beräkningen av nivåer för en föroreningsrisk som är *mindre än ringa* (se avsnitt 3.2.4).

Dessa principer har bl.a. varit utgångspunkten för beräkningar av nivåer för viss typ av användning av slaggrus då föroreningsrisken har bedömts vara acceptabel, vilket har bedömts vara när föroreningsrisken är ringa (Bendz m.fl., 2006b; 2009a).

Tillåtliga nivåer för olika ämnen (kallas riktvärden), som bedöms utgöra *ringa risk*, har beräknats för fall när aska används som förstärkningslager i två olika typer av vägkonstruktioner (Bendz m.fl., 2006b; 2009a):

- "Grusad skogsbilväg, konstruktion utan tätskikt (endast grustäckt), där aska använts som förstärkningslager. I konstruktionens driftfas beräknas att en påtaglig infiltration av nederbörd sker och även att partiklar kan spridas från asklagret. Grustäckningen förväntas inte helt kunna förhindra att askpartiklar migrerar upp i konstruktionen varför partikelspridning förväntas ske av aska även under konstruktionens driftfas. Asklagrets tjocklek förutsätts vara maximalt 0,5 m och vägens bredd 10 m.

För denna konstruktion beräknas även ett riktvärde baserat på förutsättningen att konstruktionerna tas ur drift utan att anläggningen rivs.

- "Asfalterad landsväg, konstruktion med tätskikt, där aska har använts som förstärkningslager. I konstruktionens anläggningsfas beräknas en påtaglig infiltration. I konstruktionens driftfas beräknas att infiltrationen av nederbörd genom vägbanan är försumbar och att exponering för vatten endast kan äga rum via vägens flanker eller genom grundvatteninträngning. Risken för spridning av partiklar genom damning antas vara begränsad till vissa faser i vägens livslängd. Asklagrets tjocklek förutsätts vara 0,5 m och vägens bredd 10 m."

Utgångspunkten vid riskbedömningen har varit att askor ska kunna användas som vilket byggmaterial som helst. Några särskilda skyddsåtgärder ska inte behöva vidtas varken under själva hanteringen eller vid val av plats. Utgångspunkten för exponeringsbedömningarna har varit att de ska vara försiktiga (konservativa) och innebära *ringa risk* ur miljö- och hälsoskyddssynpunkt. I samtliga fall har utgångspunkten också varit att markmiljön i själva asklagret i konstruktionen helt saknar skyddsvärde och ekologisk funktion.

Riskbedömningen har beaktat skyddet av markmiljön i omgivningen till konstruktionen, olika exponeringsvägar och emissioner från olika vägkonstruktioner under konstruktionens hela tekniska livslängd, inklusive anläggande, drift, underhåll och rivning av konstruktionen. Konstruktionens tekniska livslängd har uppskattats till 32 år och enbart användning i obundna förstärkningslager har beaktats.

Beräknade riktvärden för totalhalter och utlakning för de båda vägkonstruktionerna presenteras i Tabell 21 och 22. Riktvärdena för utlakning består av två värden för varje ämne, som ska jämföras med koncentrationen i det första insamlade lakvattnet i ett kolonntest (C_0) och den utlakade mängden vid L/S 10 (S).

Tabell 21. Totalhaltbaserade riktvärden som baseras på miljö- och hälsorisker och skyddet av markmiljön, mg/kg TS (Benz m.fl., 2009a).

	Riktvärde för grusväg	Riktvärde för asfaltväg
As	55	150
Cd	330	680
Co	820	1600
Cr	31000 ^a	Ingen begränsning ^b
Cu	26 000 ^a	Ingen begränsning ^b
Hg	80	160
Mo	5900	12000
Ni	950	1900
Pb	1400	2800
Sb	3100 ^a	6800
Zn	64000 ^a	Ingen begränsning ^b
Naftalen	2600 ^a	20000 ^a
Bens(a)pyren	64 ^a	410

^a Riktvärde för skyddet av markmiljön.

^b Beräknade riktvärden ger en acceptabel halt på mer än 10 %.

Riktvärden för utlakning har beräknats för tre olika scenarier:

- Scenario 1: Infiltration i en konstruktion utan tätskikt (grusad skogsbilväg).
- Scenario 2: Grund- och ytvatteninträning i en konstruktion med eller utan tätskikt (alla konstruktioner).
- Scenario 3: Infiltration i en konstruktion med tätskikt (asfalterad landsväg).

Tabell 22. Riktvärden för utlakning (C₀ och S) för scenario 1-3 (Benz m.fl., 2009a).

	Scenario 1 och 2		Scenario 3	
	C ₀ (mg/l)	S (mg/kg)	C ₀ (mg/l)	S (mg/kg)
As	0,49	4,2	740	10
Cd	0,22	0,43	4,5	3
Cr	6,1	28	630	120
Cu	4,6	16	190	100
Hg	0,024	0,19	5,9	2
Mo	3,5	9,8	160	40
Ni	5	16	760	25
Pb	2,9	10	62	120
Sb	0,082	0,5	1,7	12
Se	0,57	1,5	320	1
Zn	18	62	1200	250
Fluorid	44	180	7900	500
Klorid	2100	3700	62000	25000
Sulfat	2000	5800	32000	50000
Naftalen		10		10
Bens(a)pyren		0,25		0,25

Vid en jämförelse mellan det undersökta slaggrusets totalhalter och utlakade mängder vid L/S 10 (Tabell 13 och 16) och riktvärdena (Tabell 21 och 22) kan följande konstateras:

- Totalhalter och utlakade mängder av metaller och salter understiger riktvärdena för båda konstruktionerna och alla scenarierna.
- Vissa totalhalter och utlakade mängder ligger emellertid ganska nära riktvärdet för grusvägar och utlakningsscenario 1 och 2:
 - × Totalhalten av Pb (842 och 955 mg/kg jämfört med riktvärdet för grusvägar: 1400 mg/kg).
 - × Utlakad mängd av Sb (0,39 och 0,41 mg/kg jämfört med riktvärde för scenario 1 och 2: 0,5 mg/kg)
 - × Utlakad mängd av sulfat (5 350 och 5 150 mg/kg jämfört med riktvärde för scenario 1 och 2: 5 800 mg/kg).

6 Metallseparerat slaggrus – egenskaper och användningsmöjligheter

6.1 METALLAVSKILJNINGENS INVERKAN PÅ ANVÄNDNINGSMÖJLIGHETEN

Vid metallutvinningen uppstår flera separata kornstorleksfraktioner. Denna studie har studerat de uppdelade fraktionerna 0–2 och 2–40 mm samt det samlade materialet 0–40 mm.

Den finaste fraktionen utgör ca 40 % av hela slaggrusmaterialet, samtidigt som just den fraktionen har sämre tekniska egenskaper för många vanliga tillämpningsområden inom väg- och anläggningsbyggande än de andra två. Det saknas i dag tydliga användningsområden för denna fraktion.

Den grövre fraktionen, 2-40 mm har i flera avseenden de bästa tekniska egenskaperna, t.ex. avseende bärförmåga, vattenabsorption, kapillär stighöjd och tjälfarlighet.

Den ursprungliga samlade fraktionen 0-40 mm uppfyller tekniska krav för material i flera tillämpningar för vägar och anläggningsarbeten, samtidigt som en sådan användning leder till att hela slaggruset används. Mot den bakgrunden är vår slutsats att en större del av slaggruset kan komma till användning om fraktionerna från metallavskiljningen blandas till ett homogent material före lagring till slaggrus. Dock är det viktigt att notera att en avskiljning av en grövre fraktion kan ge ett material med bättre tekniska egenskaper för vissa tillämpningar. Slaggruset kan dock normalt inte uppfylla kraven på motstånd mot mekanisk nedkrossning samt kornstorleksfördelning (grövre kornstorlekar) i förstärkningslager i vägar och anläggningsytor.

Användning av slaggrus i väg- och anläggningsarbetet har beskrivits i handboken "Handbok Slaggrus i väg- och anläggningsarbeten" (SGI, 2006b). Handboken utgår från analyser av slaggrus med låg grad av metallåtervinning.

En frågeställning i detta projekt har varit om metallavskiljningen påverkar slaggrusets egenskaper. Resultaten från de genomförda analyserna visar att slaggruset uppfyller de tekniska kraven för användning i flera applikationer inom väg- och anläggningsbyggande. Det analyserade metallseparerade slaggruset har goda tekniska egenskaper jämfört med tidigare analyserat slaggrus. Såväl förbränningsteknik som bränslekvalitet förändras med åren varför direkta jämförelser med tidigare slaggrus är svåra att göra, men de erhållna resultaten från denna studie tolkas ändå som att metallavskiljningen inte påverkar de tekniska egenskaperna på något tydligt negativt sätt. En sammanställning av analysresultaten redovisas i Tabell 23.

Tabell 23. Analysresultat för metallseparerat slaggrus, fraktion 0–40 mm.

Materialanalys	Analysresultat
Kornstorleksfördelning	0-40 mm, månggraderat, graderingstal ^a C _u =22
Organisk halt, glödförlust	2,2 %
Bärförmåga, cyklisk treaxialtest	Resilientmodul: - låg last, 100 MPa - hög last, 450 MPa Bärförmåga: 2 % permanent deformation uppnås vid 110 kPa
Innehåll av metalliska partiklar, okulär analys	1-2 %
Nedkrossning vid packning, std Proctor	Finjordsbildning 2,5 %
Frys/tö-beständighet hos partiklar	6,0-9,9 % finjordsbildning
Vattenabsorption hos partiklar	2,35 %
Kapillär stighöjd	20 cm
Permeabilitet	1,7 x 10 ⁻⁴ m/s
Skrymdensitet	1,25 t/m ³
Referensdensitet och optimal vattenkvot	Maximal torr skrymdensitet 1,74 t/m ³ packat vid optimal vattenkvot 11,9 %
Totalkemisk sammansättning	Medelhalt: - Si, 22,8 % - Ca, 10,6 % - Fe, 8,6 % - Al, 5,0 % - Na, 2,9 %
Mineralogisk sammansättning	55 % amorfa faser

^a d₆₀/d₁₀.

6.2 METOD FÖR ATT KARAKTERISERA OCH MATCHA

Den använda arbetsgången för matchning följer i huvudsak stegen i Figur 9. Samtliga delar i figuren är inte tillämpliga i alla situationer, utan beroende på frågeställningar och aktuella objekt läggs tyngdpunkten på olika steg i arbetsgången. I huvudsak är steg 1 till 4 tillämpliga vid allmän karakterisering och matchning medan steg 5 till 7 är knutna till anmälan eller ansökan rörande specifika projekt. Följande arbetsgång kan användas som utgångspunkt för andra slaggrus: 1) Regelverk, 2) Undersökning och materialklassificering, 3) Matchning mot möjliga användningsområden och 4) Förädling.

Steg 1. Regelverk för återvinning

Idag ingår som normal industriell praxis att bottenaskor från avfallsförbränning i roosterpannor genomgår lagring och metallavskiljning innan de (under begreppet slaggrus), i en eller flera olika väldefinierade partikelfraktioner, läggs upp för mellanlagring och fortsatt karbonatisering. Karbonatiseringen innebär bland annat att slaggrusets pH sjunker kraftigt.

Slaggrus omfattas av produktstandarder för ballast och kan CE-märkas mot dessa. Slaggrus har normalt en begränsad utlakning och har potential att användas i flera konventionella typer av anläggningar som omfattas av AMA utan att särskilda

skyddsåtgärder för hälsa och miljö påkallas i någon betydande omfattning, se nedan. Halterna av metallföroreningar i slaggrus är emellertid så förhöjda att de tydligt över skrider generella riktvärden för förorenad mark och riktvärden för mindre än ringa risk vid användning för anläggningsändamål (Naturvårdsverket, 2009 och 2010).

Ändrad markanvändning som innebär att anläggningen tas ur bruk eller att normalt underhåll av anläggningen inte längre upprätthålls kan medföra krav på att anläggningen ska rivs och materialet tas bort.

Innehållet av metallföroreningar i slaggrus är så högt att användning i anläggningsbyggande förutsätter en särskild anmälan till de lokala miljömyndigheterna och/eller en särskild riskanalys och dokumentering i enlighet med Trafikverkets miljökrav vid entreprenadupphandling (Trafikverket, 2012).

Krav på rivning av anläggningar samt prövning i samband med användning innebär att slaggrus enligt vår bedömning normalt inte utgör en biprodukt utan att användning av slaggrus omfattas av Miljöbalkens regler om hantering av avfall. Avfall ska klassas med avseende på typ och farliga egenskaper enligt reglerna i Avfallsförordningen. Även om slaggrus genomgått en omfattande bearbetning bör följande avfallskoder i Avfallsförordningen bilaga 4 vara tillämpliga:

19 01 11* Bottenaska och slagg som innehåller farliga ämnen och som enligt 13 b § ska anses vara farligt avfall, alternativt

19 01 12 Annan bottenaska och slagg än de som anges i 19 01 11.

Ett metallseparerat och mellanlagrat slaggrus får genom karbonatisering ett tydligt sänkt pH jämfört med nyproducerad bottenaska. Kvaliteten, jämfört med ett icke metallseparerat slaggrus, bedöms inte avsevärt påverkas med avseende på egenskaper och praxis för klassning som farligt respektive icke farligt avfall. För närvarande råder osäkerhet kring vilka kriterier som ska tillämpas för klassning med avseende på miljöfarliga egenskaper (HP 14).

Steg 2. Undersökning och materialklassificering

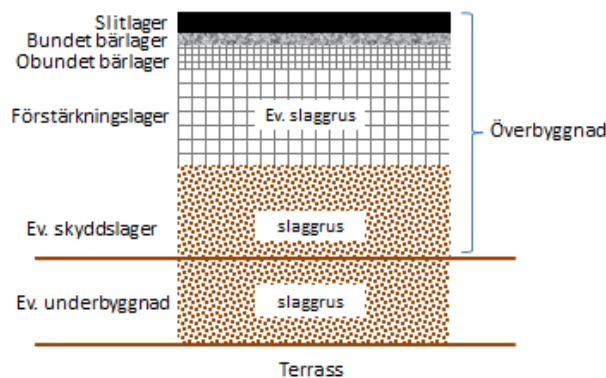
Den geotekniska materialklassificeringen har utgått från funktionskrav som ställs på väg- och anläggningsmaterial. Specifika materialegenskaper har kopplats till de olika funktionskraven och utifrån dessa har standardiserade metoder för materialanalys utnyttjats, enligt:

Funktionskrav (ex. dränerande förmåga) – Relevanta materialegenskaper (permeabilitet) – Materialanalyser (rörpermeameter) – Analysmetod (SS 027111).

De analysmetoder som används är standardiserade för olika typer av ballastmaterial. Flera av de standardiserade analysmetoderna ger resultat som inte är helt jämförbara mellan slaggrus och mineralogiska ballastmaterial. Det gäller t.ex. analys av organisk halt genom glödning (eftersom slaggruset innehåller bl.a. karbonater som kan påverkas) och kornstorleksfördelning (eftersom slaggruset innehåller sintrade aggregat som kan sönderdelas).

Steg 3. Matchning mot möjliga användningsområden

Potentiella användningsområden framgår av Tabell 17, 18 och 19. Indikatorer på vad som är verksamhet utan anmälningsplikt respektive anmälningsplikt och tillståndsplikt framgår av Tabell 3. Olika användningsområden för ballast i vägar illustreras i Figur 22.



Figur 22. Illustration av användningsområden i vägar.

Steg 4. Förädling

Genom modifiering, t.ex. uppdelning i fraktioner eller olika typer av lagringsmetoder kan materialets egenskaper förbättras med avseende på tekniska och miljömässiga parametrar.

6.3 ANVÄNDNINGSMÖJLIGHETER

Resultatet av matchningen mot kraven för olika användningsområden kan sammanfattas så här:

Fyllning utan överbyggnad

För denna användning finns få tekniska krav eftersom fyllningen inte utsätts för någon trafikbelastning utan bara fyllningens egenvikt. Slaggrus uppfyller de tekniska materialkrav som ställs.

Utan överbyggnad saknas skydd mot exponering och infiltration. Miljökraven blir därför styrande för användningen och all användning kommer att förutsätta särskild prövning. Det kommer rimligen att ställas krav på skydd mot exponering och för att motverka infiltration.

Användning av slaggrus i fyllningar utan överbyggnad bedöms ha begränsad potential och tillämpningen begränsas sannolikt till sådana situationer där man kan bära kostnader för omfattande tillståndsansökan och prövning.

Fyllning med överbyggnad, t.ex. underbyggnad för vägar och upplagsytor

Även för denna användning finns det få tekniska krav eftersom inga stora belastningar påverkar underbyggnaden. Överbyggnaden, som är minst 0,5 m tjock,

har till uppgift att fördela trafiklasten så att inte underbyggnaden ska utsättas för stora påkänningar. Slaggrus uppfyller de tekniska materialkrav som ställs.

Användning i en vägs eller upplagsytas underbyggnad innebär att inga okontrollerade schaktarbeten kan förväntas. Det medför att människors exponering för materialet kraftigt begränsas. I konstruktioner försedda med ytskikt (t.ex. asfalt) som avleder vatten begränsas utlakningen av föroreningar från materialet kraftigt. I en provningssituation är det därför rimligt att få, eller inga, krav ställs på skydd mot exponering och infiltration, utöver konstruktionens eget ytskikt. Vid en ändrad markanvändning däremot kan skyddet mot exponering och infiltration inte tryggas, vilket rimligen innebär att krav på materialets återtagande kommer att ställas. Det betyder att hela vägkroppen måste grävas bort för att komma ner till och avlägsna fyllningslagret, även i det fall överbyggnaden inte innehåller material som medför ett krav på återtagande. Det kan medföra betydande kostnader både för bortgrävning och återställande av marken efter bortgrävning.

Dokumentering och uppföljning med avseende på miljöpåverkan underlättas vid denna användning eftersom vägar och upplagsytor innebär större sammanhängande och väl avgränsade objekt.

Användning av slaggrus i fyllningar med överbyggnad bedöms ha potential, men tillämpningen begränsas av återställandekostnader vid ändrad markanvändning.

Skyddslager för vägar och upplagsytor

Ett skyddslager ingår oftast som en del av en väg- eller gatuöverbyggnad och därför ställs några fler krav på det än på fyllningar och underbyggnader, t.ex. med tanke på tjälfarlighet. Det utgör den nedersta delen av överbyggnaden och kallas ibland för undre förstärkningslager. Det läggs minst 50 cm under vägytan och har en tjocklek som beror på klimatförhållandena (för vissa vägtyper och klimatzoner i Sverige behövs inget skyddslager). Slaggrus uppfyller de tekniska materialkrav som ställs. Eventuellt kan erforderlig nötningsbeständighet vara svårt att uppnå.

Miljökrav och förutsättningar är likartade som för en fyllning med överbyggnad, se ovan. Om slaggrus används i både skyddslager och fyllning fås en större avsättning och också en effektivare materialhantering vid återtagande eftersom slaggruset då utgör en proportionellt sett större andel av de hanterade massorna.

Användning av slaggrus i skyddslager med överbyggnad bedöms ha potential, men tillämpningen begränsas av återställandekostnader vid ändrad markanvändning.

Förstärkningslager för vägar och upplagsytor

Förstärkningslagret är ett överbyggnadsmaterial som ligger ca 15-75 cm under vägytan. Tekniska materialkrav beror på om lagret utgörs av krossat material (bergkross) eller okrossat material (grus/morän). För ett krossat material gäller högre teknisk materialprestanda vilket medför att det ovanföriggande lagret (bärlagret) inte behöver ha lika stor lastfördelande effekt och kan göras tunnare. Erfarenhetsmässigt har slaggrus inte sådan teknisk prestanda att det kan jämföras

med bergkross och en jämförelse har därför gjorts mot de tekniska materialkrav som ställs för okrossade material.

Slaggrus uppfyller inte alla tekniska materialkrav som ställs. Det är för finkornigt och partiklarna kan ha svårt att klara kravet på nötningsmotstånd. Ett alternativ kan vara att dimensionera en särskild konstruktion där hänsyn tas till slaggrusets bärförmåga och där hanteringen tar hänsyn till slaggrusets nötningsbeständighet. Ett exempel på detta är Törringevägen i Kävlinge kommun. Det är en provväg som byggdes 1998, med slaggrus i förstärkningslagret i en av provsträckorna. Byggandet och funktionen har dokumenterats och följts upp vid ett flertal tillfällen (Arm, 2000; 2003; SGI, 2006b; Arm m.fl., 2008a; 2008b).

Miljökrav och förutsättningar är likartade som för en fyllning eller ett skyddslager med överbyggnad, se ovan. Om slaggrus används i både förstärkningslager, skyddslager och fyllning fås en större avsättning och också en effektivare materialhantering vid återtagande eftersom slaggruset då utgör en proportionellt sett större andel av de hanterade massorna. Användning av slaggrus i enbart förstärkningslagret kan också vara fördelaktigt eftersom mängden material som måste grävas bort och återställas då begränsas.

Användning av slaggrus i förstärkningslager bedöms ha potential, men tillämpningen begränsas av återställandekostnader vid ändrad markanvändning och även av tekniska materialprestanda jämfört med de materialkrav som ställs på traditionella material.

Fyllningsmaterial i ledningsgravar

För material till ledningsbädd och kringfyllning av trummor och ledningar är det framför allt kornstorleksfördelningen som är viktig. Slaggrus klarar de tekniska materialkrav som ställs.

Ledningsgravar är ett användningsområde där inget okontrollerat schaktarbete förväntas medan däremot kontrollerade schaktarbeten utförs återkommande i samband med underhåll, reparation eller samförläggning av nya ledningar. All hantering av schaktmassor kommer att innebära krav på att slaggrus hålls åtskilt och hanteras separat i förhållande till rena schaktmassor. Användningsområdet innebär inte ett skydd mot exponering eller infiltration på samma sätt som användningsområden där det ingår en överbyggnad.

Det finns inga riktlinjer framtagna när det gäller miljöprestanda för användning i ledningsgravar. Eventuellt läckage från ledningar kan få stor betydelse när det gäller utlakning av föroreningar. Slaggrusets förhöjda halter av föroreningar kan också ha negativ påverkan på ledningsmaterial. Vid en ändrad markanvändning kan skyddet mot exponering inte tryggas, vilket rimligen innebär att krav på materialets återtagande kommer att ställas. Det betyder att hela dräneringslagret inklusive ledningar och överfyllning måste grävas bort, även om överbyggnaden inte innehåller material som medför ett krav på återtagande. Det kan medföra betydande kostnader både för bortgrävning och återställande av marken efter bortgrävning.

Användning av slaggrus som fyllningsmaterial i ledningsgravar bedöms ha låg potential.

Kapillärbrytande skikt

De tekniska krav som ställs på material till kapillärbrytande skikt gäller kornstorlek och organisk halt. Slaggrus kan uppfylla de tekniska materialkrav som ställs.

Kapillärbrytande skikt är ett användningsområde där den tekniska tillämpningen i sig inte innebär något skydd mot exponering och infiltration. Det finns inga riktlinjer framtagna när det gäller miljöprestanda för användning som kapillärbrytande skikt. Miljökraven blir därför styrande för användningen och all användning kommer att förutsätta särskild prövning och omfattande utredningar när det gäller miljöpåverkan. Det kommer rimligen att ställas krav på skydd mot exponering och för att motverka infiltration. Kapillär transport har visat sig ha stor betydelse för utlakning i äldre konstruktioner med slaggrus och kapillärbrytande egenskaper är gynnsamt för att motverka utlakning (Bendz m.fl., 2009b).

Vid en ändrad markanvändning kan skyddet mot exponering inte tryggas, vilket rimligen innebär att krav på materialets återtagande kommer att ställas på motsvarande sätt som för fyllningsmaterial i ledningsgravar enligt ovan. Det kan medföra betydande kostnader både för bortgrävning och återställande av marken efter bortgrävning.

Användning av slaggrus som kapillärbrytande skikt bedöms ha låg potential. Om användningen sker i kombination med en överbyggnad som innebär ett skydd mot infiltration och exponering, se ovan, finns däremot en betydande potential.

Dränerande skikt

För denna användning ställs tekniska krav på organisk halt och kornstorlek. Slaggrus kan klara de tekniska materialkrav som ställs.

Dränerande skikt är ett användningsområde där själva den tekniska tillämpningen i sig inte innebär något skydd mot exponering och infiltration. Snarare kan en förhöjd utlakning och påverkan på omgivningen förväntas på grund av hög infiltration från omgivningen och direkt avledning till en recipient. Det finns inga riktlinjer framtagna när det gäller miljöprestanda för användning som dränerande skikt. Miljökraven blir därför styrande för användningen och all användning kommer att förutsätta särskild prövning och omfattande utredningar när det gäller miljöpåverkan. Det kommer rimligen att ställas krav på skydd mot exponering och på att recipienten inte påverkas av föroreningsbelastningen.

Vid en ändrad markanvändning kan skyddet mot exponering inte tryggas, vilket rimligen innebär att krav på materialets återtagande kommer att ställas på motsvarande sätt som för fyllningsmaterial i ledningsgravar enligt ovan. Det kan medföra betydande kostnader både för bortgrävning och återställande av marken efter bortgrävning.

Användningen av slaggrus som dränerande skikt bedöms ha låg potential.

6.3.1 Modifiering

Förändring av materialet, genom uppdelning i specifika fraktioner, blandning med andra material eller lagring under speciella förhållanden (t.ex. extra vattenbegjutning) förändrar egenskaperna hos slaggruset. Det behövs mer studier kring hur alla egenskaper förändras när man söker styra en önskad parameter.

Knappt hälften (45 %) av slaggruset består av kristallina mineral, medan resten är amorfa faser. Det metallseparerade slaggruset innehåller ca 2 % synliga mindre metallfragment, medan det mineraliserade matrixmaterialet innehåller 9,5 % järnmineral (hematit och magnetit). Innehållet av koppar är ca 0,5 % och många andra metaller förekommer som spårämnen. Mot den bakgrunden finns potential för fortsatt utveckling mot ökad metallutvinning.

Fraktionen 0–2 mm har få tillämpningar inom väg- och anläggningsbyggande medan hela materialet, 0–40 mm, uppfyller de tekniska kraven för flera användningsområden.

För specifika tillämpningar, t.ex. för kringfyllning av dräneringsledningar eller i kapillärbrytande skikt krävs modifiering av kornstorleken och särskild uppmärksamhet på utlakning av miljöstörande ämnen.

För tillämpning i förstärkningslager krävs att andelen material större än 16 mm ökas.

Slaggruset är ett material med komplex sammansättning och varierande textur. Utvecklade processer för separering av olika fraktioner och olika ämnen kan skapa specifika förädlade produkter för specialtillämpningar.

6.4 SLAGGRUSETS LÅNGTIDSFUNKTION I OLIKA ANVÄNDNINGAR

Det studerade slaggrus uppfyller tekniska krav för användning i flera väg- och anläggningskonstruktioner med lång livslängd. För normala livslängder för vägar- och anläggningar, 50–100 år, är vår bedömning att materialet kan hanteras utifrån dess uppmätta egenskaper – utan hänsyn till framtida ändrade egenskaper.

Slaggrusets användning i konstruktionen måste anpassas till materialets egenskaper. Konstruktionen måste utformas och dimensioneras rätt. Slaggruset kan förväntas brytas ner snabbare än krossat berg, på grund av den amorfa fasen, det organiska innehållet samt den porösa strukturen. När det gäller konstruktioner som förväntas stå under mycket lång tid bör konstruktionen tillåta vissa sättningar och försämrade lastbärande förmåga hos materialet.

En uppföljning av utlakningen från en provväg byggd med endast mycket grovt metallseparerat slaggrus, Dävavägen i Umeå, visade bl.a. att utläckaget av koppar var avsevärt högre än vittringen från omgivande naturmark under de första ca 100 åren, men avklingade därefter och överskuggades av kopparvittringen från omgivande moränjord (Lind m.fl., 2008). Zink förhöll sig omvänt, så att utlakningen från vägen initialt var låg, men ökade i relation till omgivningen och blev på mycket lång sikt (flera hundra år) dominerande över omgivande vittring. Utlakningen vid L/S 10 från det här undersökta metallseparerade slaggruset är i samma storleksordning som för bottenaskan i Dävavägen och exemplet visar att

olika ämnen kan fungera olika på kort respektive lång sikt. Ökad kunskap om vilka beståndsdelar (mineral och amorfa faser) som lakar, kan ge underlag för att genom geokemisk stabilisering minska utlakningen på lång sikt. Detta kan öppna för andra användningsområden än de här prioriterade.

7 Slutsatser och fortsatt arbete

Projektets syfte har varit att beskriva potentialen för metallutsorterad bottenaska (slaggrus) för användning som väg- och anläggningsmaterial, med och utan modifiering, och hur denna potential påverkas av ökad metallavskiljning. Fokus har legat på ett optimalt nyttiggörande av slaggrus utanför deponiområden. Följande slutsatser kan dras av arbetet:

- Inget tyder på att metallavskiljning påverkar de tekniska egenskaperna på ett tydligt negativt sätt. Det har funnits en misstanke att metallutsortering försämrat möjligheterna som väg- och anläggningsmaterial - vi har inte kunnat se detta.
- Slaggruset kan med hänsyn till de tekniska egenskaperna användas inom flera användningsområden i väg- och anläggningsbyggande.
- Det samlade/odelade materialet har flest tillämpningar – uppdelning i fraktioner missgynnar användningen i väg och anläggningsbyggande.
- Finfraktionen, 0 – 2 mm, har få tillämpningar inom väg- och anläggningsbyggande.
- Det behövs plats specifika bedömningar av föroreningsrisken vid anmälan eller tillståndsansökan.
- Miljökraven innebär att slaggruset behöver kunna återtas efter användning.
- Det saknas en värdering av potentialen att utveckla nya konstruktioner (ex nya kombinationer av materiallager) där slaggrusets egenskaper kan matchas mot funktionskrav.
- En metod för matchning gentemot krav kan innehålla fyra generella steg:
 1. Regelverk (med specifika materialkrav), 2. Materialkaraktisering,
 3. Potentiella användningsområden, 4. Behov av materialmodifieringar.

Avskiljning av metaller innebär en bearbetning av bottenaskan bland annat med uppdelning i flera kornstorleksfraktioner. Detta ger förutsättningar för att generera slaggrus med delvis skilda egenskaper, där härdning kan ske separat eller blandat för de skilda fraktionerna. Detta kan i sin tur skapa skilda typer av slaggrus. Här finns behov av vidare studier – som bör utgå från olika användningsområden och där användarnas behov matchas mot slaggrusets egenskaper.

Slaggrus är ännu ett relativt nytt och okänt material i väg- och anläggningssammanhang. Vi ser behov av ett breddat engagemang där fler aktörer kring resurseffektivitet finns med – från övergripande resursstrategier till enskilda användare och allmänhet. Liknande förslag har förts fram av Eklöf et.al. (2016) beträffande så kallade energiaskor.

8 Referenser

- AMA 13: Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten. Svensk Byggtjänst 2014.
- Amer, A., M. 2015: Water vapor adsorption and soil wetting.
<http://dx.doi.org/10.5772/60953>.
- Andersson, H., Arm, M., Carling, M. och Schouenborg, B. 1999: Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad, undersökning av rostereldad kolbottenaska, slaggrus och krossad betong. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping
- Arm, M. 2000: Egenskaper hos alternativa ballastmaterial – speciellt slaggrus, krossad betong och hyttsten. Kungl Tekniska Högskolan TRITA-AMI LIC 2063, KTH, Stockholm.
- Arm, M. 2003: Mechanical properties of residues as unbound road materials - experimental tests on MSWI bottom ash, crushed concrete and blast furnace slag. Kungliga tekniska högskolan. Mark- och vattenresurser. TRITA-LWR PHD 1007, KTH, Stockholm.
- Arm, M. 2005: Uppföljning av befintliga slaggrusprovvägar. Rapport 916, Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- Arm, M., Larsson, L., Tiberg, C., Lind, B. och Arvidslund, O. 2008a: Uppföljning av slaggrusprovvägar – provsträckor på Törringevägen utanför Malmö och Dåvamyran utanför Umeå. Rapport 1081, Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- Arm, M., Suer, P., Arvidsson, H., Lindqvist, J-E., Frogner-Kockum, P., Larsson, L och Toomväli, C. 2008b: Förutsägelse av långtidsegenskaper hos restprodukter – Teknik och miljö i vägar. Rapport 1083, Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- Arm, M., Larsson, L., Wik, O., Rogbeck, Y., Dehlbom, B., Kiilsgaard, R., Carlsson, C. 2016: Schaktmassor – klassificering, förädling och användning. Optimass Vägledning version 15 april 2016. OPTIMASS, Rapport WP 2.
- Avfall Sverige. 2011: Rapport U2011:17. Förbättring av bottenaskors kvalitet. Avfall Sverige Utveckling, Malmö juni 2011.
- Avfall Sverige. 2014: Kritiska metaller i svenska avfallsaskor, Rapport E2014:02.
- Avfall Sverige. 2015: Svensk Avfallshantering 2015, Avfall Sverige, Malmö juni 2015.
- Bendz, D., Arm, M., Flyhammar, P., Westberg, G., Sjöstrand, K., Lyth, M. och Wik, O. 2006a: Projekt Vändöra. En studie av långtidsegenskaper hos vägar anlagda med bottenaska från avfallsförbränning. Rapport 964, Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- Bendz, D., Wik, O., Elert, M. och Håkansson, K. 2006b: Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande – etapp 2. Rapport 979, Värmeforsk Service AB, Stockholm.

- Bendz, D., Wik, O., Jones, C., Pettersson, M. och Elert, M. 2009a: Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande. Rapport 1110, Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- Bendz, D., Suer, P., van der Sloot, H., Kosson, D., Flyhammar, P. 2009b: Modelling of leaching and geochemical processes in an aged MSWIBA subbase layer, Värmeforsk Q6-648 report 1112.
- Bjurström, H., Lind, BB. och Lagerkvist, A. 2014: Unburned carbon in combustion residues from solid biofuels. *Fuel*, 2014, vol 117, pp 890-89.
- Byggeforskningen B7:1972. Permeabilitet och Kapillaritet. Byggeforskningens informationsblad B7:1972.
- EC. 2006: IPPC BAT 53 Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. European Commission, August 2006.
- Eklöf, I., Brander, L., Hedenstedt, A., Hellman, F., Johansson, I., Johansson, M., Lövsström, M., Mácsik, J., Schouenburg, B. 2016. Askor för konstruktionsändamål, Slutrapport 2016-03-15. VTI Notat 8-2016.
- Engfeldt, C. 2007: Aska från energiproduktion – producerad och använd mängd aska i Sverige 2006 Svenska EnergiAskor, 2007-10-16.
- EU. 2011: Byggproduktförordningen. Europaparlamentets och rådets förordning (305/2011/EU) om fastställande av harmoniserade villkor för saluföring av byggprodukter och om upphävande av rådets direktiv 89/106/EG.
- Fagerström (1971) Packningsegenskaper. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 5, Byggeforskningens informationsblad B2:1971.
- Flyhammar, P., Bendz, D., Hartlén, J., Grönholm, R. 2004: Lagring av slaggrus, Rapport 1. SYSAV Utveckling AB, Februari 2004.
- Forsblad, L. 2000: Packning – Handbok om packning av jord- och bergmaterial. Svensk Byggtjänst.
- Gustafsson, M. 2003: Inledande fältförsök projekt AIS 32, Vinnova, Rapport 2003:9.
- Gustafsson, M., von Bar, B., Ekvall, A., Johansson, P., Reuterhage, Å., Wallman, S. 2003: Inledande laboratorieförsök, Projekt AIS 32, Vinnova Rapport VR 2003:8.
- Hemström, K., Ezziyani, S., Bendz, D. 2009: Vattenretentionsegenskaper hos askor. Värmeforsk, Rapport 1105.
- IEG Rapport 13:2010. SS-EN/ISO 14688-2:2004. Geoteknisk undersökning och provning Identifiering och klassificering av jord, Del 2: Klassificeringsprinciper. Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik.
- Jacobson, T., Larsson, L. 2002: Kall och halvvarm återvinning av tjärhaltiga beläggningmassor – påverkan på omgivningsmiljön. VTI notat 45-2002.
- Jacobson, T. 2007: Återvinning av tjärasfalt och krossad asfaltbeläggning vid motorvägsbygget på E4 via Markaryd. VTI notat 9-2007.

- Johansson, I., Sahlin, E., von Bahr, B., Björkmalm, J. och Todorović Olsson, J. 2013: Kritiska metaller i svenska avfallsaskor. WASTE REFINERY, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Karlfeldt Fedje, K. 2010: Metals in MSWI fly ash – problems or opportunities? Dissertation, Chalmers University of Technology, Dept. of Chemical and Biological Engineering.
- Kenneth Strandljung, Ragn-Sells AB, muntlig kommunikation 2016.
- Lind, B.B. 1989: The influence of pore distribution on the hydraulic conductivity of some Swedish tills. *Journal of Hydrology*, 112 (1989) 41-53.
- Lind, B., Larsson, L., Gustafsson, JP., Gustafsson, D., Ohlsson, SÅ., Norrman, J., Arvidson, O. och Arm, M. 2005: Energiaska som vägbyggnadsmaterial - utlakning och miljöbelastning från en provväg. SGI Varia 557, Statens geotekniska institut, Linköping.
- Lind, B.B, Norrman, J. Larsson, L.B, Ohlsson, S-Å., Bristav H. 2008: Geochemical anomalies from bottom ash in a road construction – Comparison of the leaching potential between an ash road and the surroundings. *Waste Management*, 28 (2008) 170 – 180.
- Morf, L.s., Gloor, R., Haag, O., Haupt,M., Skutan, S., Di Lorenzo, F., Böni, D. 2013: Precious metals and rare earth elements in solid waste – Sources and fate in a Swiss incineration plant. *Waste Management* 33 (2013) 634-644.
- Muchova, L., Bakker, E. och Rem, P. 2009: Precious Metals in Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash. *Water Air Soil Pollut: Focus* (2009) 9:107–116
- Naturvårdsverket. 2009: Riktvärden för förorenad mark, Modellbeskrivning och vägledning. Rapport 5976. September 2009
- Naturvårdsverket. 2010: Återvinning av avfall i anläggningsarbeten, Handbok 2010:1 • UTGÅVA 1 • februari 2010
- NFS 2004:10 Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall
- Olsson, D. 2012: Användning av slaggrus från avfallsförbränning i anläggningskonstruktioner – kartläggning av erfarenheter. Examensarbete, Miljö- och Energisystem, Inst för Teknik och samhälle. Lunds Tekniska Högskola.
- OPTIMASS: <http://www.optimass.se>
- Raul Grönholm SYSAV, muntlig kommunikation, mars 2016.
- Rechberger, H. och Brunner, P. 2002: A New, Entropy Based Method To Support Waste and Resource Management *Decisions, Environ. Sci. Technol.* 2002, 36, 809-816
- Rosén, B., Gabrielsson, A., Hellström, G., Nilsson, G. 2006: System för värme och kyla ur mark – Demonstrationsobjekt över jordvärmeanläggningar, SGI Varia 556, Linköping 2006.
- SGI. 2006a: Handbok, Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar. SGI Information 18:4, Linköping 2006.

- SGI. 2006b: Handbok, Slaggrus i väg- och anläggningsarbeten. SGI Information 18:5, Linköping 2006.
- SGI. 2008: Jords egenskaper. SGI Information 1, Linköping.
- Simon, F.G. och Holm, O. 2013: Recovery of metals from waste, an example for the resource cycle. World Resources Forum, Davos Switzerland October 6-9, 2013
- Speiser, C., Baumann, T., Niessner, R. 2000: Morphological and chemical characterization of calcium-hydrate phases formed in alteration processes of deposited municipal solid waste incinerator bottom ash. Environ.Sci.Technol. 2000, 34, 5030 – 5037.
- Todorović, J. 2010: Siktning av askor från avfallsförbränning. WASTE REFINERY, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Trafikverket. 2011: Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion. Publikation TRV 2011:072, TDOK 2011:264, 2011-06-15
- Trafikverket, 2012: Generella miljökrav vid entreprenadupphandling, TDOK 2012:93
- Trafikverket. 2015a: Krav, Obundna lager för vägkonstruktioner, TDOK 2013:0530, Version 2.0, 2015-07-01.
- Trafikverket. 2015b: Material och varor – krav och kriterier avseende innehåll av farliga ämnen, dokument TDOK 2012:22 version 4, 2015-08-25
- Trafikverket. 2015c: AMA Anläggning med Trafikverkets ändringar och tillägg TDOK 2014:0245, 2015-12-18
- Trafikverket. 2016: Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TDOK 2013-0667, 2016-02-29
- TRL. 2001: ALT-MAT Final report for publication. Deliverable D7, Version 2.1, 23/01/01 Transport Research Laboratory http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20040909_172706_52558_alt-mat.pdf
- Vägverket. 2007: Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad VV Publ 2007:110.

Bilaga A: Utkast till produktdatablad

Produktblad

Informationen i ett produktblad om slaggrus kan variera beroende på syftet med bladet. Som exempel kan nämnas varuinformationsbladet "Slaggrus från SYSAV – Varuinformation 2002-03-06" (Bilaga 2 i "Kvalitetssäkring av slaggrus från förbränning av avfall" RFV rapport 2002:10) som innehåller följande rubriker:

- Beskrivning av slaggrus
- Användningsområden
- Hantering och lagring
- Kemiska egenskaper
- Tekniska egenskaper
- Dimensionering
- Kvalitetssäkring och kvalitetskrav
- Gällande bestämmelser för slagganvändning
- Leverantör

Under användningsområden och tekniska egenskaper listas exempel på olika användningsområden respektive olika tekniska egenskaper som bör analyseras, utan några kopplingar mellan tillämpning och behovet av analyser.

Genom att sammanställa information från projektet har behovet av analyser för olika typer av applikationer sammanställts i Tabell 2. Tabellen kan fungera som ett hjälpmedel för att specificera analyser som är nödvändiga för olika typer av tillämpningar vid utformandet av produktblad.

Av Tabell 17, 18 och 19 framgår att kunskap om *kornstorleksfördelningen och organisk halt* är nödvändigt för alla typer av användning. Krav på *bärighet* finns för material i under- och överbyggnader, medan krav på *nedkrossning och kapillär stighöjd* begränsas till förstärkningslager respektive skyddslager.

Bilaga B: Analysresultat

BILAGA B:1. LASTSEKVENSER VID CYKLISKA TREAXIALTESTER

Användes vid bestämning av permanent deformation vid låga belastningsnivåer, enligt SS-EN 13286-7.

Sequence 1			Sequence 2			Sequence 3			Sequence 4			Sequence 5		
Confining stress, σ_3 kPa	Deviator stress, σ_d kPa		Confining stress, σ_3 kPa	Deviator stress, σ_d kPa		Confining stress, σ_3 kPa	Deviator stress, σ_d kPa		Confining stress, σ_3 kPa	Deviator stress, σ_d kPa		Confining stress, σ_3 kPa	Deviator stress, σ_d kPa	
constant	min	max	constant	min	max	constant	min	max	constant	min	max	constant	min	max
20	0	20	45	0	60	70	0	80	100	0	100	150	0	100
20	0	40	45	0	90	70	0	120	100	0	150	150	0	200
20	0	60	45	0	120	70	0	160	100	0	200	150	0	300
20	0	80	45	0	150	70	0	200	100	0	250	150	0	400
20	0	100	45	0	180	70	0	240	100	0	300	150	0	500
20	0	120	45	0	210	70	0	280	100	0	350	150	0	600

BILAGA B:2. KORNSTORLEKSFÖRDELNING FÖR TESTADE SLAGGRUSFRAKTIONER

Sikt, mm	Passerande mängd, viktprocent		
	Fraktion 0-2 mm	Fraktion 2-40 mm	Fraktion 0-40 mm
45			100
40		100	99
31,5		95	95
22,4		88	87
16		78	78
11,2		60	60
8		39	44
5,6	100	23	33
4	100	15	28
2	100	5	21
1	71	5	16
0,5	49	4	12
0,25	31	4	9
0,125	20	3	6
0,063	13,1	2,3	4,2

BILAGA B:3. KORNSTORLEKSFÖRDELNING FÖRE OCH EFTER PROCTORPACKNING

(underlag till Figur 15)

Sikt, mm	Passerande mängd, viktprocent			
	Fraktion 0-2 mm		Fraktion 0-40 mm	
	Före Proctor	Efter Proctor	Före Proctor	Efter Proctor
45				100%
40			100%	
31,5			96%	98%
22,4			92%	93%
16			86%	86%
11,2		100%	71%	75%
8		100%	57%	60%
5,6	100%	100%	46%	49%
4	100%	100%	39%	41%
2	100%	99%	30%	32%
1	71%	77%	23%	24%
0,5	49%	56%	16%	19%
0,25	31%	37%	10%	14%
0,125	20%	25%	6%	10%
0,063	13,1%	18,2%	4,5%	6,9%

BILAGA B:4. FROSTBESTÄNDIGHET HOS TESTADE SLAGGRUSFRAKTIONER

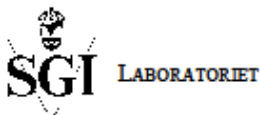
Enligt SS-EN 1367-1. Underlagsdata till Tabell 5.

		=> Fraktion	16-32	mm	
	A	B	C	Medel	Totalt
Före försök	1813,8	1884,0	2015,7		5713,5
Mtrl > 8mm efter test	1689,2	1776,1	1903,9		5369,2
Frostbeständighet, F	6,87%	5,73%	5,55%	6,0%	6,0%

		=> Fraktion	8-16	mm	
	A	B	C	Medel	Totalt
Före försök	2017,8	2019,1	1824,6		5861,5
Mtrl > 4mm efter test	1859,7	1856,8	1639,8		5356,3
Frostbeständighet, F	7,84%	8,04%	10,13%	8,7%	8,6%

		=> Fraktion	4-8	mm	
	A	B	C	Medel	Totalt
Före försök	1001,8	1072,2	1061,0		3135,0
Mtrl > 2mm efter test	900,4	967,5	956,6		2824,5
Frostbeständighet, F	10,12%	9,76%	9,84%	9,9%	9,9%
Vattenmättnig:	2016-05-26	12:00			
Frys-töcykling, start:	2016-05-27	11:45			

BILAGA B:5. PERMEABILITET HOS SLAGGRUSFRAKTION 0-40 MM



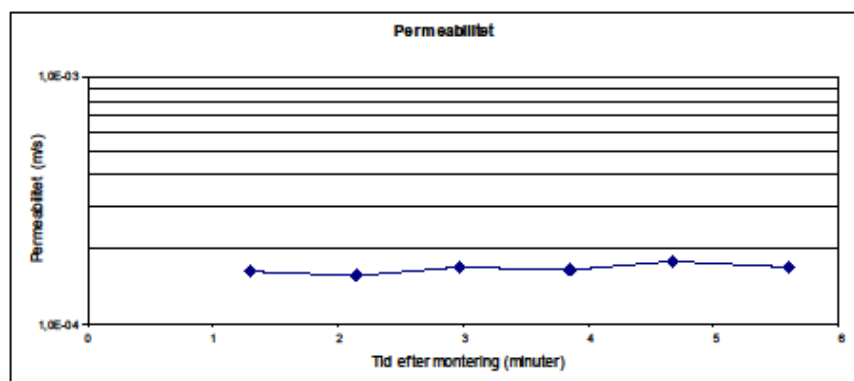
RAPPORT
utfärdad av ackrediterat laboratorium
REPORT is issued by an Accredited Laboratory

Sida 1(1)

SAMMANSTÄLLNING AV LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR
PERMEABILITET – RÖRPERMEAMETER, ENLIGT SS 027111

Beställare: Bo Lind, SGI				Diarlenr	1.1-1509-0544
Uppdrag: AMOD Material: slaggrus 0-40 mm					
Ankomstdatum	Provdiameter	Lab. undersökning Datum	Av	Utfärdad	160629
-	101,5 mm	160622	OA	Teknisk ledare	

Typ av packning: Lätt proctor enligt SS 02 71 09		
Typ av permeabilitetsförsök: Rörpermeameter enligt SS 02 71 11		
Provets vattenkvot w: 13 %		
Densitet:	1,80 t/m ³	
Torr densitet:	1,59 t/m ³	
Tid efter montering (minuter)	Permeabilitet (m/s)	Anmärkning
1,30	1,6E-4	Material > 20 mm är borttaget före packning.
2,15	1,6E-4	
2,97	1,7E-4	
3,85	1,7E-4	
4,67	1,8E-4	
5,60	1,7E-4	



Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för ackreditering och teknisk control (SWEDAC) enligt lag. Denna rapport får endast återges i sin helhet om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten gäller enbart för de provade materialen.

Statens geotekniska institut
581 93 Linköping, telefon 013-20 18 00, telefax 013-20 19 14

BILAGA B:6. MINERALOGISK SAMMANSÄTTNING HOS SLAGGRUSFRAKTION

Rapport

T1608231

Sida 1 (5)

1PBTW76KDRE



Ankomstdatum 2016-04-11
Utfärdad 2016-05-03

SGI
Cecilia Toomväli

Olaus Magnus Väg 35
581 93 Linköping
Sweden

Projekt
Bestnr

Analys av material

Er beteckning	160040 A Amod				
Provtagare	RBj				
Provtagningsdatum	2016-04-07				
Labnummer	O10759472				
Parameter	Resultat	Enhet	Metod	Utf	Sign
XRD analys	Bild 1		1	1	EH
provberedning ^a	ja		2	1	EH
Amorf andel	55.0	Vikt %			
Kvarts SiO ₂ PDF# 46-1045	15.0 ± 0.4	Vikt %			
Magnetit Fe ₃ O ₄ PDF# 19-829	7.8 ± 0.5	Vikt %			
Hematit Fe ₂ O ₃ PDF# 33-864	1.7 ± 0.3	Vikt %			
Kalcit CaCO ₃ PDF# 5-586	2.2 ± 0.3	Vikt %			
Gehlenit Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ PDF# 4-15-7931	4.5 ± 0.5	Vikt %			
Albit NaAlSi ₃ O ₈ PDF# 9-486	4.6 ± 0.7	Vikt %			
Anortoklas NaAlSi ₃ O ₈ PDF# 4-8-8967	4.7 ± 0.7	Vikt %			
Sanidin KAlSi ₃ O ₈ PDF# 4-16-1657	3.2 ± 0.5	Vikt %			
Anhydrit CaSO ₄ PDF# 37-1496	1.3 ± 0.3	Vikt %			

Det är svårt att skilja mellande individuella feldspat faserna, men deras sammanlagta halt motsvarar ungefär 13 %.

ALS Scandinavia AB
Box 700
182 17 Danderyd
Sweden

Webb: www.alsglobal.se
E-post: info.ta@alsglobal.com
Tel: + 46 8 52 77 5200
Fax: + 46 8 768 3423

Dokumentet är godkänt och digitalt
signerat av

Elke Hålenius

2016.05.03 16:42:27

ALS Scandinavia AB
Client Service
elke.halenius@alsglobal.com

BILAGA B:7. TRAFIKVERKETS FÖRBUDSLISTA

Ur TDOK 2012:22 Material och varor – krav och kriterier avseende innehåll av farliga ämnen, version 4.0 (Trafikverket, 2015b)

Dessa krav utgör minimikrav och grundläggande baskrav. Det är en styrande riktlinje som

- – ska bidra till att Trafikverket uppfyller gällande lagstiftning,
- – ska bidra till att utveckla bygg- och anläggningssektorn i hållbar riktning,
- – är orienterad mot totalt innehåll av farliga ämnen och inte mot emissioner.

Själva kriterierna avseende innehåll av farliga ämnen anges i kapitel 7 av TDOK 2012:22, där bland annat Trafikverkets förbudslista (Tabell nästa sida) återfinns. Naturligt förekommande metaller upptagna på förbudslistan får förekomma i halter nära genomsnittliga bakgrunds nivåer.

”Byggprodukter såsom definierade i byggproduktförordningen kan vara antingen kemiska produkter eller varor enligt Reach. Byggprodukter som utgör varor enligt Reach omfattas av kraven i denna styrande riktlinje. CE-märkning enligt byggproduktförordningen innebär att en byggprodukt provats och bestyrkts enligt en harmoniserad standard. CE-märkningen omfattar inte harmoniserade krav eller regler gällande innehåll av farliga ämnen och kraven i denna styrande riktlinje ska därför tillämpas även på CE-märkta byggprodukter.”

”Kraven gäller för material och varor som projekteras och/eller byggs in i Trafikverkets anläggningar samt de sprängmedel som definieras som varor enligt REACH och som används för anläggningsbyggande.”

” Material och varor får inte innehålla ämnen på Trafikverkets förbudslista” se tabell på nästa sida

- ” Informationen om innehållet av farliga ämnen ska dokumenteras och finnas tillgänglig i Trafikverkets förvaltningsdata under materialet och varans livscykel fram till avfallshantering.

Material och varor som projekteras eller byggs in i anläggningen ska dokumenteras i en materialförteckning. Materialförteckningen ska ingå i slutdokumentationen....”

Trafikverkets förbudslista – ämnen i material och varor (Trafikverket, 2015b).

Ämne	CAS-nummer	Tillåtna användningsområden
Akrylamid	79-06-1	
Antracen	120-12-7	
Antracenolja	90640-80-5, 90640-81-6, 91995-15-2	Kreosotsliprar Asfaltsbeläggning
Arsenik och dess föreningar	Samtliga	
Bensen	71-43-2	
Bisfenol A	80-05-7	
Bly och dess föreningar	Samtliga	Enligt direktiv 2011/65/EU och direktiv 2006/66/EG Sprängkapslar
Borsyra	10043-35-3, 11113-50-1	
Ftalater		
-Bensylbutylftalat (BBP)	85-68-7	
-Dibutylftalat (DBP)	84-74-2	
-Di(2-etylhexyl)ftalat (DEHP)	117-81-7	
-Diisobutylftalat (DIBP)	84-69-5	
Hexabromcyclododekan (HBCDD)	25637-99-4, 3194-55-6, 134237-51-7, 134237-50-6, 134237-52-8	
Hexaklorbensen (HCB)	118-74-1	
Kadmium och dess föreningar	Samtliga	Enligt direktiv 2011/65/EU och direktiv 2006/66/EG
Kortkedjiga klorparaffiner (SCCP)	Flera ex. 85535-84-8, 63449-39-8	
Krom (VI) föreningar	Samtliga	Enligt direktiv 2011/65/EU
Kvicksilver och dess föreningar	Samtliga	Enligt direktiv 2011/65/EU
Natriumborater	1303-96-4, 12179-04-3, 1330-43-4	
Nonylfenol	Samtliga, ex 25154-52-3, 104-40-5, 90481-04-2, 84852-15-3	
Nonylfenoletoxilater	Samtliga, ex 26027-38-3, 9016-45-9, 127087-87-0, 37205-87-1, 68412-54-4	
Organiska fosfater		
Tri (2-kloroetyl)fosfat (TCEP)	115-96-8	
Pentaklorfenol (PCP)	87-86-5, 131-52-2	
Perfluorerade ämnen		
-Perfluoroktylkarboxylat (PFOA)	Alla perfluorokarboxylater med kolkedjor längre än 6 kol (C6)	
-Perfluoroktylsulfonat (PFOS)	Alla perfluorosulfonater med kolkedjor längre än 6 kol (C6)	
Polybromerade difenyletrar (PBDE)	Samtliga, ex. 1163-19-5, 32534-81-9, 32536-52-0	
Tennorganiska föreningar	Samtliga	

Bilaga C: Potential för användning

Matchningen har visat att slaggruset kan uppfylla flera av de krav som ställs på olika användningar. I vissa fall är slaggrusets egenskaper nästan godkända för en viss användning, medan de i andra fall avviker markant från kraven.

Totalhalterna av olika ämnen i slaggrus medför att föroreningsrisken är ringa eller mer än ringa enligt tabell 20, vilket innebär att dessa verksamheter antingen är anmälnings- eller tillståndspliktiga. Det är framför allt nivåerna för totalhalter som förhindrar en "fri" användning, medan utlakningen av olika ämnen däremot är begränsad och understiger nivån för *mindre än ringa risk*, med undantag av koppar.

För att avgöra om verksamheten är anmälningspliktig kan tabell 3 användas. Beräkningar av tillåtliga nivåer i anmälnings- och tillståndsärenden kräver platsspecifika bedömningar. Då kan principer och förutsättningar som använts för att beräkna nivåer för *mindre än ringa risk* beaktas.

Beräkningar av tillåtliga nivåer (riktvärden) i Bendz m.fl. (2009a) indikerar att föroreningsrisken skulle kunna betraktas som ringa om slaggrus används längre ner i en vägkonstruktion (som förstärkningslager) under en begränsad tid (en livslängd på 32 år). Om vägkonstruktionen har en grusbeläggning istället för en asfaltsbeläggning och om det finns risk för inträngning av grund- och ytvatten så ökar risken för en oacceptabel utlakning av vissa ämnen (se avsnitt 5.2.2).

C.1 Fyllningsmaterial – barriärer och bankar

Kraven på fyllnadsmaterial i barriärer och bankar kan variera kraftigt beroende på konstruktionens ändamål. Vallar för t.ex. bullerskydd ställer framförallt krav på materialets stabilitet och miljöpåverkan medan barriärer mot vatten kan ha krav på täthet och förmågan att tåla laterala laster. Bankar å sin sida kan ha krav på sättningsegenskaper och förmågan att bära ytlast från t.ex. trafik.

Trafikverkets krav på barriärer och bankar gäller organisk halt och finmaterialhalt. Slaggruset kan uppfylla båda dessa krav. Fraktionerna 0–40 mm och 2–40 mm har acceptabla egenskaper för många typer av användning i barriärer och bankar, medan fraktionen 0–2 mm inte bör användas som ensamt material. Materialet bör packas i konstruktionen.

Vid användning i höga bankar som utsätts för vatten bör risken för frostpåverkan beaktas. Många frostcykler i vattenmättat material innebär att finjordshalten ökar. Materialet har låg kapillaritet vilket innebär att vattenmättnad av materialet kan undvikas genom placering i en väl dränerad konstruktion.

C.1.1 Modifieringsbehov

Den finaste fraktionen 0–2 mm lämpar sig inte ensam för användning i bankar. Fraktionen kan eventuellt utnyttjas som del i stabiliserat eller solidifierat material, men detta har inte studerats.

Fraktionerna 2–40 mm samt 0–40 mm lämpar sig för bankar med måttliga krav på tillåten långtidssättning. Med hänsyn till materialets nedkrossning samt frostkänslighet bör det inte användas i bankar med höga prestandakrav.

Bärförmåga och stabilitet

Betydelsen av sättningsegenskaper är beroende av bankarnas funktion. Vid användning som material i barriärer, t.ex. vallar, som inte utsätts för tung trafiklast kan alla fraktioner av slaggrus användas med förväntat deformation på 1 – 3 %, där grövre fraktioner deformeras minst.

Vid användning i bankar som utsätts för trafiklast är fraktionen 2 – 40 mm jämförbar med många andra ballastmaterial med en permanent ackumulerad deformation på 1 – 2 % medan den enskilda fraktionen 0 – 2 mm ger den dubbla deformationen. Fraktionen 0 – 40 mm ligger mitt emellan dessa vilket kan accepteras i de allra flesta tillämpningar.

Packnings-, sättnings- och kompressionsegenskaper

Slaggrus är något lättare och ha en elasticitet som ligger i undre spannet av vanliga krossprodukter. Finfraktionen, 0 – 2 mm, bildar vid packning en styv konstruktion där det kan finnas risk för uppsprickning vid belastning. Blandade fraktioner 0 – 40 mm eller 2 – 40 mm ger en större elasticitet i materialet som är i samma storleksordning som konventionella krossprodukter – men som nämnts i undre spannet.

Tjärfarlighet

Slaggrus har god dränerande förmåga med förhållandevis låg kapillär stighöjd, i samma storleksordning som konventionella ballastmaterial. De båda grova fraktionerna, 2–40 mm och 0–40 mm, kan betecknas som icke tjällyftande material medan den fina fraktionen 0–2 mm kan betecknas som måttligt tjällyftande.

Tjärfarligheten utgör ingen begränsning för att använda materialet som fyllning i barriärer och bankar.

C.1.2 Långtidfunktion

Frostbeständighet

Materialet påverkas av frysning i vattenmättat tillstånd. De finare fraktionerna påverkas mest. Om konstruktionen utsätts för last (t.ex. trafik) och om sättningar vill undvikas bör materialet inte användas i fuktiga lägen som kan utsättas för frost. Materialet (med undantag av den rena finfraktionen 0–2 mm) har dock relativt goda dränerande egenskaper vilket gör att tillfällig vattenmättnad inte behöver vara en begränsning.

Nedkrossning

Materialet krossas vid mekanisk påverkan i form av stötiga laster. De grövre fraktionerna har större tålighet och finfraktionen bör således undvikas att utnyttjas ensamt i konstruktioner som utsätts för last. Nedkrossningen innebär att finfraktionen ökar vilket också påverkar de dränerande egenskaperna. Vi hög

belastning av t.ex. trafik bör särskilda dräneringssystem utföras för att långsiktigt minska risken för deformation och tjälskador.

Materialets krossbenägenhet utgör ingen påtaglig begränsning vid användning i vallar och bankar där vissa deformationer kan accepteras. Materialet kan dock inte användas i högpriesterande bankar, för t.ex. järnväg.

C.1.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus i barriärer och bankar behövs en platsspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Om slaggruset används längre ned i en konstruktion minskar exponeringen för föroreningar i slaggruset. Exponeringen kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. En ökad genomströmning av vatten på grund av genomsläppliga lager ovanpå slaggruset och att grund- eller ytvatten tränger in i konstruktionen ökar sannolikt utlakningen av olika ämnen.

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivningen av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, t.ex. risken för en ökad exponering genom erosion och intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

C.2 Fyllningsmaterial – underbyggnad till vägar och upplagsytor

Underbyggnaden till vägar och upplagsytor är den del som ligger under överbyggnaden och vilar på terrassen och undergrunden. Underbyggnaden byggs upp med hänsyn till sättning och så att förutsatta dräneringsförhållanden för överbyggnaden bibehålls.

För material i underbyggnader till vägar och upplagsytor finns krav i såväl AMA som Trafikverkets tekniska dokument. Den organiska halten får vara högst 2 vikt-% vilket sannolikt uppfylls av slaggruset. Finjordshalten (< 0,063 mm) får vara högst 15 % vilket också uppfylls av slaggruset.

För fyllningar krävs också att kornstorleken får uppgå till högst 2/3 av lagertjockleken efter packning och att anhopning av sten och block ska bredas ut. Slaggruset, med upp till ca 40 mm kornstorlek, uppfyller dessa krav.

Det finns även krav på bärigheten för hela vägkonstruktionen, mätt på olika nivåer i vägkroppen. Denna mäts i fält vid byggandet och har därför inte kunnat mätas i detta projekt. Med ledning av resultaten från de cykliska treaxialtesterna i laboratoriet kan det antas att slaggruset kan uppfylla även dessa krav.

C.2.1 Modifieringsbehov

Slaggrus 2 – 40 mm och 0 – 40 mm uppfyller de specifika tekniska krav som satts upp för fyllningsmaterial under vägar och upplagsytor. Den finare fraktionen, 0 – 2 mm, bör dock inte användas ensam. Med hänsyn till de tekniska egenskaperna kan materialet blandas med andra fyllningsmaterial. Det finns dock ingen metod att teoretiskt beräkna det blandade materialets egenskaper utifrån blandningsandelar.

C.2.2 Långtidsfunktion

Frostbeständighet

Materialet påverkas av frysning i vattenmättat tillstånd. De finare fraktionerna påverkas mest. Om konstruktionen utsätts för last (t.ex. trafik) och om sättningar vill undvikas bör materialet inte användas i fuktiga lägen som kan utsättas för frost. Materialet (med undantag av fraktionen 0 – 2 mm) har dock relativt goda dränerande egenskaper vilket gör att tillfällig vattenmättnad inte behöver vara en begränsning.

Nedkrossning

Materialet krossas vid mekanisk påverkan i form av stötiga laster. De grövre fraktionerna har större tålighet och finfraktionen bör således inte utnyttjas ensam i konstruktioner som utsätts för last. Nedkrossningen innebär att finfraktionen ökar vilket också påverkar de dränerande egenskaperna. Vid hög belastning, av t.ex. trafik, bör särskilda dräneringssystem utföras för att långsiktigt minska risken för deformation och tjälskador.

Återanvändning

Enligt Trafikverket (2015a) får material användas om de accepteras av beställaren och;

- är acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt,
- inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion.

Kravet att materialet måste gå att återanvända, deponera eller destruera utan att ge problem innebär inte nödvändigtvis att materialet inte får förändras under konstruktionens livslängd. Förändringen måste dock vara sådan att det inte skapas problem.

Slaggruset förändras långsiktigt framförallt på tre sätt;

- kemiskt genom att ämnen lakas ut eller omvandlas till nya föreningar,
- mekaniskt genom sönderdelning från frys-tö cykler samt krossning,
- mineralogiskt genom härdningsreaktioner.

Vid uppgrävning av gammalt slaggrus kan materialet vara mer finkornigt än ursprungsmaterialet, men också mer hopbundet. Materialet kan då vara mer svårgrävt och kräva viss krossning för att återfå en helt granulär struktur.

C.2.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus i underbyggnader till vägar och upplagsytor behövs en platsspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Om slaggruset används längre ned i en konstruktion minskar exponeringen av föroreningar i slaggruset. Exponeringen av föroreningar kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. En ökad genomströmning av vatten på grund av genomsläppliga lager ovanpå slaggruset och att grund- eller ytvatten tränger in i konstruktionen ökar sannolikt utlakningen av olika ämnen.

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivningen av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, som t.ex. risken för en ökad exponering genom intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

C.3 Skyddslager till vägar och upplagsytor

Skyddslager i vägar och upplagsytor placeras på terrassen eller på eventuell underbyggnad. Skyddslagrets funktion är att öka mäktigheten och därmed dräneringen av överbyggnaden och att minska risken för tjälskador.

För skyddslager till belagda vägar finns krav både i Trafikverkets tekniska dokument (kap 5 i Trafikverket, 2015a) och i AMA 13, där skyddslager motsvaras av benämningen "undre förstärkningslager".

C.3.1 Modifieringsbehov

Slaggruset kan utan modifiering nyttjas som skyddslager till vägar och upplagsytor. Om lägre tjälfarlighetsklass önskas kan finfraktionen 0 – 2 mm avlägsnas. Slaggrus kan blandas med annat ballastmaterial- men det saknas då en teoretisk modell att beräkna det blandade materialets tekniska och miljömässiga egenskaper, och dessa måste testas för varje enskild blandning.

Bärförmåga och stabilitet

För materialet finns ett generellt krav att den organiska halten inte får överstiga 2 %, vilket sannolikt slaggruset uppfyller. För vägar finns också krav på viss bärighet hos konstruktionen, mätt med statisk plattbelastning eller yttäckande packningskontroll (t.ex. för flexibel konstruktion $E_{v2} \geq 40$ MPa med viss tolerans). Erfarenheterna från Törringevägen, byggd med slaggrus, pekar på att detta krav kan uppnås (Arm m.fl., 2008).

För CE-mäta material (produkter) med övre kornstorleksgräns på 90 mm ($D \leq 90$ mm) finns krav bl.a. beträffande fragmentering, kornform och kornstorleksfördelning.

Enligt Trafikverket ska skyddslager för belagda vägar uppfylla kravet att den största kornstorleken inte överstiger halva lagertjockleken (Trafikverket, 2015a). Detta krav torde uppfyllas av slaggrus om lagret är mer än 80 mm tjockt.

Bärförmågan och mekanisk nedkrossning kan begränsa skyddslagrets mäktighet vid användning av slaggrus i ytor med stora jämnhetskrav.

Packnings-, sättnings- och kompressionsegenskaper

För material i skyddslager finns inga specifika krav på packningsegenskaper.

Kraven på material i skyddslager hänger samman med dränerande egenskaper. Materialet får inte bli alltför tätt vid packning. Minst förändras slaggrusets densitet vid packning av fraktionen 2-40 mm. Packning av den finaste fraktionen 0 – 2 mm, och fraktionen 0 - 40 mm ger ungefär samma densitetsökning (ca 38 %), men där den finare fraktionen fortfarande har lägre total skrymdensitet.

Slaggrus är något lättare och har en elasticitet som ligger i undre spannet av vanliga krossprodukter. Finfraktionen, 0 – 2 mm, bildar vid packning en styvare konstruktion där det kan finnas risk för uppsprickning vid belastning. Blandade fraktioner 0 – 40 mm eller 2 – 40 mm ger en större elasticitet i materialet som är i samma storleksordning som konventionella krossprodukter – men som nämnts i undre spannet.

Packnings- och kompressionsegenskaperna bör inte utgöra ett hinder vid användning av slaggrus i skyddslager i vägar och upplagsytor.

Tjälfarlighet

Finjordshalten får inte överstiga 9 % vid leverans och 10 % färdigpackat. Båda dessa krav uppfylls av slaggruset.

Slaggrus har god dränerande förmåga med förhållandevis låg kapillär stighöjd, i samma storleksordning som konventionella ballastmaterial. De båda fraktionerna 2 – 40 mm och 0 – 40 mm kan betecknas som icke tjällyftande material medan fraktionen 0 – 2 mm är måttligt tjällyftande.

Tjärfarligheten utgör ingen begränsning för att använda materialet som fyllning i barriärer och bankar.

C.3.2 Långtidsfunktion

Frostbeständighet

Materialet påverkas av frysning i vattenmättat tillstånd. De finare fraktionerna påverkas mest. Om konstruktionen utsätts för last (t.ex. trafik) och om sättningar vill undvikas bör materialet inte användas i fuktiga lägen som kan utsättas för frost. Materialet (med undantag av den rena finfraktionen 0–2 mm) har dock relativt goda dränerande egenskaper vilket gör att tillfällig vattenmättnad inte behöver vara en begränsning.

Nedkrossning

Materialet krossas vid mekanisk påverkan i form av stötiga laster. De grövre fraktionerna har större tålighet och finfraktionen bör således undvikas att utnyttjas ensamt i konstruktioner som utsätts för last. Nedkrossningen innebär att finfraktionen ökar vilket också påverkar de dränerande egenskaperna. Vid hög belastning av t.ex. trafik bör särskilda dräneringssystem utföras för att långsiktigt minska risken för deformation och tjälskador.

C.3.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus i skyddslager till vägar och upplagsytor behövs en platsspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Om slaggruset används längre ned i en konstruktion minskar exponeringen av föroreningar i slaggruset. Exponeringen av föroreningar kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. En ökad genomströmning av vatten på grund av genomsläppliga lager ovanpå slaggruset och att grund- eller ytvatten tränger in i konstruktionen ökar sannolikt utlakningen av olika ämnen.

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivningen av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, som t.ex. risken för en ökad exponering genom erosion och intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

C.4 Förstärkningslager till vägar och upplagsytor

Belagda vägar: Trafikverkets krav på material till okrossat förstärkningslager i belagda vägar gäller kornstorleksfördelningen (ev. även finmaterialkvaliteten), innehållet av organiskt material samt partiklarnas nötningsbeständighet uttryckt som micro-Devalvärde (Tabell 18).

Det undersökta slaggruset klarar kravet på organiskt innehåll, men ingen av fraktionerna klarar kravet på kornstorleksfördelning. Nötningsbeständigheten har inte bestämts i detta projekt, men i en tidigare studie uppnådde slaggrus från Göteborg micro-Devalvärdet 26 (Andersson m.fl., 1999), vilket är godkänt. Motsvarande värde för sandigt grus var 6, enligt samma studie. Micro-Devalvärdet är ett mått på hur mycket finmaterial som bildas vid nötning och Trafikverket har maximerat tillåtet värde till 30.

Grusvägar: Trafikverkets krav på förstärkningslager till grusvägar gäller kornstorleksfördelningen, finmaterialkvaliteten (uttryckt som sandekvivalentvärde), innehållet av organiskt material samt partiklarnas nötningsbeständighet uttryckt som micro-Devalvärde (Tabell 18). Även i detta fall klarar det undersökta slaggruset kravet på organiskt innehåll, men inte kravet på kornstorleksfördelning. Finmaterialkvaliteten har inte undersökts eftersom den standardiserade metoden för detta, bestämning av sandekvivalentvärde, är avsedd för lerhaltiga material och är inte lämplig för slaggrus.

C.4.1 Modifieringsbehov

För användning i asfaltbelagda vägar eller upplagsytor:

Kornstorleksfördelningen behöver förändras så att andelen partiklar som är större än 16 mm ökar (Figur 20).

För användning i grusvägar eller ej asfaltbelagda upplagsytor: Denna användning är troligen inte aktuell. Kornstorleksfördelningen behöver förändras radikalt och bli mycket grövre (Figur 21).

C.4.2 Långtidfunktion som förstärkningslager

Ett förstärkningslager av slaggrus som är inbyggt i en belagd väg kan fungera mycket bra om vägen är rätt dimensionerad så att den last som bärs av förstärkningslagret är anpassad till slaggrusets bärförmåga. Törringevägen som byggdes 1998 i Kävlinge kommun utanför Malmö är ett exempel på en sådan användning (Arm m.fl., 2008).

C.4.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus i förstärkningslager till vägar och upplagsytor behövs en platsspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Användningen av slaggrus som förstärkningslager, en bit ner i konstruktion är fördelaktig ur exponeringssynpunkt. Exponeringen av föroreningar kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. En ökad genomströmning av vatten på grund av genomsläppliga lager ovanpå slaggruset och att grund- eller ytvatten tränger in i konstruktionen ökar sannolikt utlakningen av olika ämnen. En dränerad överbyggnad med asfaltsbeläggning kommer därför sannolikt att reducera utlakningen (Jacobson & Larsson, 2002; Jacobson, 2007)

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivningen av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, som t.ex. risken för en ökad exponering genom erosion och intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

C.5 Fyllningsmaterial i ledningsgravar

För material som används som fyllningsmaterial i ledningsgravar finns krav främst i AMA. Den organiska halten får vara högst 2 % vilket uppfylls i slaggruset. Finjordshalten (<0,063 mm) får vara högst 15 vikt-% vilket också uppfylls.

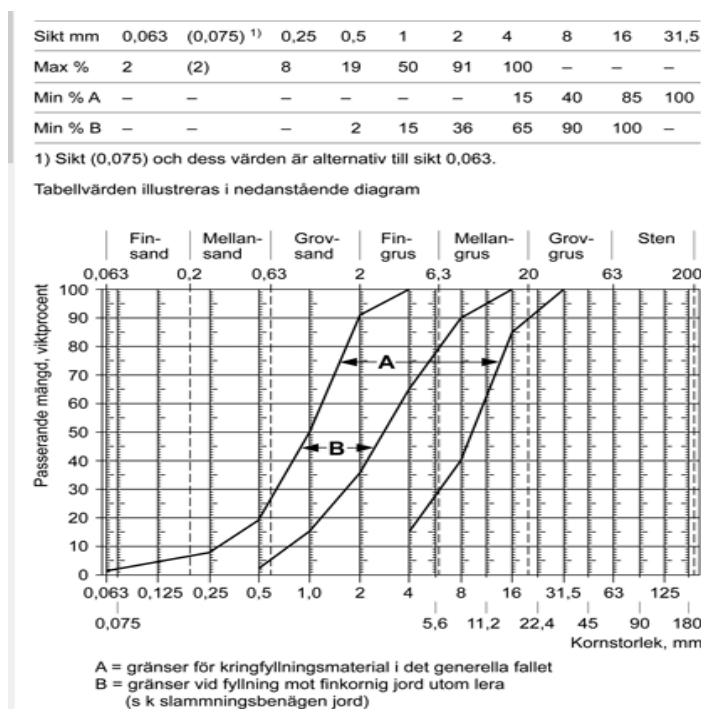
Fyllning för ledning ska enligt AMA utföras med jord med homogen struktur och utan lokala anhopningar av sten eller block. Detta kan åstadkommas genom att slaggruset sorteras.

Fyllning får inte innehålla ämnen som kan skada ledning eller fogmaterial (t.ex. lättlörliga klorider, sulfater eller organiska ämnen).

Krav på största kornstorlek ställs beroende på användningsområde, typ och storlek av ledning. Likaså finns krav på kornstorleksfördelning för vissa användningsområden.

För ledningsbädd för rörledning får generellt största kornstorlek vara 31,5 mm. För betongledning gäller dock 63 mm. Det generella kravet uppfylls ej av slaggruset, men kan uppnås med utsortering av korn större än 31,5 mm.

Bädd för värmeledning ska utföras med kornstorleksfördelning inom gränser i nedanstående diagram (Figur C:1). Fall A illustrerar värden för kringfyllningsmaterial i det generella fallet och B vid fyllning mot finkorning jord utom lera, s.k. slammingsbenägen jord. Fraktion 0-2 mm uppfyller ej kraven. Fraktion 0-40 mm och 2-40 mm faller ej fullt ut inom ramen men skulle genom sortering kunna fås att uppfylla kraven.



Figur C.1. Krav på kornstorleksfördelning för material till ledningsbädd för dränledning och värmeledning samt till kringfyllning för dränledning (från AMA CEC.2112).

För material till kringfyllning av rörledning får största kornstorlek generellt högst vara 31,5 mm. Enstaka partiklar med största kornstorlek 63 mm får dock förekomma jämnt fördelade i kringfyllningen på ett av stånd av minst 0,15 m från rörledning.

Största kornstorlek får högst vara 63 mm vid kringfyllning av betongrör med diameter \leq 300 mm och kornstorlek 90 mm vid kringfyllning av betongrör med större diameter än 300 mm.

Det generella kravet uppfylls ej för slaggruset, men materialet kan modifieras genom soting så att kraven uppfylls. För kringfyllning av betongrör uppfylls kraven utan åtgärd.

För kringfyllning av trumma gäller olika krav för största kornstorlek beroende på trummans material och diameter. Kringfyllningsmaterial ska inom 0,5 m från trumma av betong ha största kornstorlek 63 mm om diametern är mindre än eller lika med 300 mm och 90 mm om diametern är större än 300 mm. Vid trumma av stål ska kringfyllningsmaterialet ha en största kornstorlek om 90 mm inom 0,5 m från trumman.

Kringfyllningsmaterial ska inom 0,5 m från trumma av plast ha största kornstorlek 31,5 mm. Enstaka inte skarpkantade partiklar med kornstorlek mindre än 63 mm får dock förekomma.

Kringfyllningsmaterial på längre avstånd än 0,5 m från trumma får ha största kornstorlek 200 mm.

Kringfyllningsmaterial för trumma av plast med mindre fyllningshöjd än 1,0 m och för trumma av stål med större innerdiameter än 1000 mm och med mindre fyllningshöjd än 1 m ska utföras med material som uppfyller krav på kornstorleksfördelning enligt tabell AMA CEC.312/1, (Tabell C.1).

Tabell C.1. Krav på kornstorleksfördelning för material till kringfyllning av trumma (AMA CEC.312).

G ₀ 0/31,5 (D=31,5) lagertjocklek \leq 120 mm									
Sikt, mm	0,063	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
Övre %	7	20	26	35	46	60	78	100	
Undre %	2	2	6	10	18	31	50	80	100

Slaggrus fraktion 0 - 40 uppfyller krav på kornstorlek enligt Tabell C.1 ovan. Fraktion 0 - 2 mm samt 2 - 40 mm uppfyller ej kraven.

Vid kringfyllning av vägtrumma ska kornstorleksfördelning för inköpt material uppfylla kraven enligt nedan beroende på trummans material. För trummor av stålplåt ska kraven för sortering 0/2, 0/8, 0/11,2, 0/16, 0/22,4, 0/31,5, 0/45 eller 0/63 kategori GA 80 enligt SS-EN 13242+A1:2007 uppfyllas. För trummor av betong ska kraven på kornstorleksfördelning för inköpt material uppfylla kraven för sortering 0/2, 0/8, 0/11,2, 0/16, 0/22,4, 0/31,5 eller 0/45 kategori GA 80 enligt SS-EN 13242+A1:2007. För trummor av betong får även sortering 0/63 användas. Kornstorleksfördelning för inköpt material

ska uppfylla kraven för sortering 0/2, 0/8, 0/11,2, 0/16, 0/22,4 eller 0/31,5 kategori GA 80 enligt SS-EN 13242+A1:2007 för trummor av plaströr.

C.5.1 Modifieringsbehov

Den finaste fraktionen 0 – 2 mm lämpar sig inte ensam för användning i ledningsgravar.

Fraktion 0–40 mm kan generellt användas som ledningsbädd, kringfyllning av ledning och kringfyllning av trumma utan att modifieras då ledningarna består av betong eller då trummor av stålplåt nyttjas. För ledning eller trumma av plast måste korn större än 31,5 mm sorteras bort. För särskilda användningsområden, såsom ledningsbädd för dränledning och värmeledning samt kringfyllning för dränledning måste viss modifiering av kornstorleksfördelningen göras. Fraktionerna 0-40 och 2-40 kan modifieras så att de uppfyller kraven.

Slaggrusets innehåll av bland annat klorider och sulfater måste beaktas med hänsyn till påverkan på ledningsmaterial och fogmaterial.

C.5.2 Långtidseffekt

Vid uppgrävning av gammalt slaggrus kan materialet vara mer finkornigt än ursprungsmaterialet, men också mer hopbundet. Materialet kan då vara mer svårgrävt och kräva viss krossning för att återfå en helt granulär struktur.

Frostbeständighet

Materialet påverkas av frysning framförallt i fuktigt eller vattenmättat tillstånd.

Nedkrossning

Materialet krossas vid mekanisk påverkan i form av stötiga laster. Fraktionerna 0–40 och 2–40 har större tålighet medan fraktionen 0–2 inte bör utnyttjas ensam i konstruktioner som utsätts för last. Nedkrossningen innebär att finfraktionen ökar vilket också försämrar de dräneringsegenskaperna.

C.5.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus som fyllningsmaterial i ledningsgravar behövs en platsspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Om slaggruset används längre ned i en konstruktion, t.ex. som ledningsbädd, minskar exponeringen för föroreningar i slaggruset. Exponeringen kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. Utlakningen från slaggruset kan emellertid påverkas negativt om ovanförliggande lager är genomsläppliga och om grund- eller ytvatten tränger in i konstruktionen.

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivning av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, t.ex. risken för en ökad exponering genom erosion och intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

C.6 Kapillärbrytande skikt

För material i kapillärbrytande skikt finns krav på organisk halt på max 2 % samt finmaterialhalt (0,063 mm) \leq 15 vikt-%. Organisk halt uppfylls sannolikt och finjordshalten uppfylls av samtliga testade fraktioner hos slaggruset. I vissa sammanhang, när det gäller kapillärbrytande skikt under byggnader (under betongplatta på mark), har krav angetts på att max 2 % av materialet får vara mindre än 2 mm. Det kravet uppfylls av fraktion 2 – 40 mm, men ej av de två övriga studerade fraktionerna. Enligt materialleverantörer bör kapillärbrytande skikt inte ha en kapillär stighöjd på mer än 50 mm – även det ett krav som fraktion 2 – 40 mm precis klarar, men ej de två övriga fraktionerna.

Beroende på om konstruktionen utsätts för tjäle eller belastning måste risken för nedkrossning och försämrade kapillärbrytande egenskaper beaktas.

C.6.1 Modifieringsbehov

Vid användning som kapillärbrytande skikt måste fraktionen 0 – 2 mm avlägsnas. Endast fraktionen 2 – 40 mm kan användas som kapillärbrytande material.

Bärförmåga och stabilitet

Betydelsen av sättningsegenskaper är beroende av konstruktionen med eventuella laster och tjäle. Som kapillärbrytande material bör endast fraktionen 2 – 40 mm användas och den fraktionen har också högst lastbärande förmåga.

Packnings-, sättnings- och kompressionsegenskaper

Beroende på det kapillärbrytande skiktets funktion finns olika krav på packning. Under bärande plattor måste materialet packas, vilket för slaggruset innebär viss nedkrossning.

Som kapillärbrytande material bör slaggruset i första hand användas i konstruktioner som inte kräver packning och som inte behöver bära laster.

Tjälfarlighet

Ingen av de testade fraktionerna kan sägas vara tjälfarlig (dvs. med en kapillär stighöjd över 1 meter). De båda fraktionerna 2 – 40 mm och 0 – 40 mm kan betecknas som icke tjällyftande material. Tjälning innebär dock viss sönderdelning som tillsammans med nedkrossning från dynamisk last eller packning kan försämma de kapillärbrytande egenskaperna.

C.6.2 Långtidfunktion

Frostbeständighet

Materialet påverkas av frysning, framförallt i fuktigt eller vattenmättat tillstånd.

Nedkrossning

Materialet krossas vid mekanisk påverkan i form av stötiga laster. De grövre fraktionerna har större tålighet medan finfraktionen inte bör utnyttjas ensam i

konstruktioner som utsätts för last. Nedkrossningen innebär att finfraktionen ökar vilket också försämrar dräneringsegenskaperna.

C.6.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus i kapillärbrytande skikt i vägar och upplagsytor behövs en platspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Om slaggruset används längre ned i en konstruktion minskar exponeringen för föroreningar i slaggruset. Exponeringen kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. Kapillärbrytande skikt förväntas vara utan vattengenomströmning förutom i gränzonen mot fuktiga eller vattenförande lager. En ökad genomströmning av vatten på grund av genomsläppliga lager ovanpå slaggruset, och på grund av att grund- eller ytvatten tränger in i konstruktionen, ökar sannolikt utlakningen av olika ämnen.

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivning av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, t.ex. risken för en ökad exponering genom intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

C.7 Dränerande skikt

För material i dränerande skikt gäller i huvudsak samma krav som för kapillärbrytande skikt, det vill säga krav på organisk halt på max 2 vikt-% samt finmaterialhalt ($0,063 \text{ mm}$) ≤ 15 vikt-%. Båda dessa krav uppfylls av samtliga testade fraktioner hos slaggruset.

C.7.1 Modifieringsbehov

Slaggrusets permeabilitet (fraktion 0 – 40 mm) har uppmätts till i medeltal $1,7 \times 10^{-4}$ m/s och materialet kan därmed räknas som självdränerande – gränsen för självdränerande material brukar anges som 1×10^{-4} m/s.

Permeabiliteten för fraktionen 2 – 40 mm kan utifrån kornkurvas graderingstal⁶ beräknas till $1,4 \times 10^{-3}$ m/s. För fraktionen 0 – 2 mm, kan permeabiliteten uppskattas till omkring 1×10^{-8} m/s – men kornstorlekskurvan⁷ ligger i detta fall utanför intervallet för beräkningsformelns giltighet (Hazen's formel). Fraktionen 0–2 mm kan därmed inte ensam utnyttjas som dräneringsmaterial.

Bärförmåga och stabilitet.

Betydelsen av sättningsegenskaper är beroende av konstruktionen med eventuella laster och tjäle. Som dränerande material bör fraktionerna 0 – 40 mm eller 2 – 40 mm användas. Fraktionen 2–40 har också högst lastbärande förmåga.

⁶ $d_{60}/d_{10} = 3,6$

⁷ Med graderingstalet $d_{60}/d_{10} = 25$

Packnings-, sättnings- och kompressionsegenskaper

Beroende på det dränerande skiktets funktion finns olika krav på packning. Under bärande plattor måste materialet packas, vilket för slaggruset innebär viss nedkrossning.

Tjälfarlighet

Ingen av de testade fraktionerna kan sägas vara tjälfarlig (dvs. med en kapillär stighöjd över 1 meter). De båda fraktionerna 2 – 40 mm och 0 – 40 mm kan betecknas som icke tjällyftande material. Tjälning innebär dock viss sönderdelning som tillsammans med nedkrossning från dynamisk last eller packning kan försämra de dränerande egenskaperna.

C.7.2 Långtidfunktion*Frostbeständighet*

Materialet påverkas av frysning, framförallt i fuktigt eller vattenmättat tillstånd.

Nedkrossning

Materialet krossas vid mekanisk påverkan i form av stötiga laster. De grövre fraktionerna har större tålighet och finfraktionen bör således inte utnyttjas ensam i konstruktioner som utsätts för last. Nedkrossningen innebär att finfraktionen ökar vilket också försämrar de dränerande egenskaperna.

C.7.3 Miljöegenskaper

Vid användning av slaggrus i dränerande skikt i vägar och upplagsytor behövs en platspecifik bedömning av föroreningsrisken i anmälan eller tillståndsansökan.

Om slaggruset används längre ned i en konstruktion minskar exponeringen för föroreningar i slaggruset. Exponeringen kan däremot öka under anläggande, underhåll och rivning av konstruktionen. En avledning av infiltrerande vatten via ett dränerande skikt ökar sannolikt utlakningen av olika ämnen.

Utan en tydlig begränsning av konstruktionens livslängd och en villkorad hantering av slaggruset vid rivning av konstruktionen så ökar de långsiktiga föroreningsriskerna, t.ex. risken för en ökad exponering genom erosion och intrång och en oacceptabel långsiktig utlakning av olika ämnen.

ANVÄNDNING OCH MODIFIERING AV METALLSEPARERAT SLAGGRUS

Här har forskarna undersökt potentialen för att använda bottenaska, så kallat slaggrus, från förbränningsanläggningar som väg- och anläggningsmaterial. En fråga i projektet har också varit om metallutsortering påverkar bottenaskans egenskaper så att den blir mindre lämplig som anläggningsmaterial. Resultaten visar inget som tyder på att egenskaperna försämras.

Slaggruset kan med hänsyn till de tekniska egenskaperna användas inom flera användningsområden inom väg- och anläggning. Avskiljning av metaller innebär en bearbetning av bottenaskan med en uppdelning i flera kornstorleksfraktioner bland annat. Det ger förutsättningar för att generera slaggrus med olika egenskaper.

Slaggrus är ännu ett relativt nytt och okänt material i väg- och anläggningssammanhang. Forskarna pekar på att det finns behov av ett bredare engagemang där fler aktörer inom resurseffektivitet – från övergripande resursstrategier till enskilda användare och allmänhet finns med.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se