



JERNKONTORETS FORSKNING

Serie	Nr	Datum	Forskningsuppgift nr
D	781	2001-08-14 2002-01-28 (Reviderad)	9524/00

RIKTLINJER FÖR SLAGGANVÄNDNING

Slutrapport av Åke Jansson, Bergsskolan i Filipstad

Key words : waste products, slags, iron and steel production, copper production, reutilisation

SAMMANFATTNING

Jernkontorets projekt 9524/00 "Riktlinjer för slagganvändning" har som syfte att underlätta användning av slagg från metallurgisk industri genom sammanställning av erfarenheter och genomförda undersökningar. Målsättningen med arbetet är att utarbeta verktyg i form av riktlinjer och rekommendationer för producenter och användare av slagg från metallurgisk industri. Rapporten är en sammanställning av *befintligt* material rörande slagldata, undersökningar och vunna erfarenheter samt vilka undersökningar som rekommenderas för att en slagg ska visa sin lämplighet ur miljömässig och funktionell synpunkt.

För att kunna använda slagg i någon applikation krävs först ett tillstånd av länsstyrelsen som gör en bedömning ur miljömässig synpunkt. **I dag finns i Sverige inga specifika nationella miljökrav för användande av restprodukter** varför det inte går att på förhand säga vilken provning och vilka resultat som krävs för att få ett tillstånd för användning av slagg. I många andra länder, t.ex. Tyskland och Holland, som har längre erfarenhet än Sverige av att använda slaggar finns det specificerade lagningskrav som måste uppfyllas för att en slagg ska få användas. De slaggproducenter i Sverige som har funnit användning av slaggen har visat att slaggen uppfyller de lagningskrav som ställs i t.ex. Nederländerna. Vidare så har de redovisat någon form av miljökonsekvensbeskrivning (MKB). De har dessutom, vilket inte är nödvändigt för att få länsstyrelsens godkännande, visat att slaggen är lämplig ur funktionell synpunkt för sin applikation.

För att nå acceptans för användning av slagg i anläggningar bör följande arbetsordning följas:

1. Provning för att visa att slaggen uppfyller funktionskraven för den aktuella applikationen.

2. Beräkning som visar att det är ekonomiskt försvarbart att använda slaggen.
3. Beskrivning av vilka miljökonsekvenser användandet av slagg för med sig i den aktuella applikationen.
4. Accepterande av slaggen av berörda myndigheter och intressenter.

I rapporten redovisas dels de undersökningar som bör göras på en slagg för att visa dess funktionella och miljömässiga egenskaper, dels vilka slagldata som bör kunna presenteras.

För att få en helhetsbild av vilken konsekvens det får för miljön att slagg används i en anläggning bör fler parametrar än slaggens lakningsegenskaper studeras. T.ex. om naturmaterial sparas, hur slaggen annars kan nyttiggöras, emissioner från transporter osv., dvs. en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). För att förenkla framtagandet av en MKB så har Jernkontoret tagit fram en MKB – mall för slagganvändning.

Den slagg som hittills har nyttiggjorts i Sverige har använts inom ett stort antal olika områden. Den absolut största mängden av nyttiggjord slagg har, med goda erfarenheter, dock använts inom vägbyggnation.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. BAKGRUND	1
2. INLEDNING	1
3. SLAGGPRODUKTION I SVERIGE	1
4. REKOMMENDERADE UNDERSÖKNINGAR	2
4.1 TEKNISK FUNKTION	2
4.2 MILJÖ	3
4.3 SLAGGDATA SOM BÖR KUNNA PRESENTERAS	4
5. ERFARENHETER AV SLAGG I VÄGAR	4
5.1 SLAGG FRÅN LJUSBÅGSUGN (LB).....	5
5.2 SLAGG FRÅN MASUGN	6
5.2.1 Hyttsten från Oxelösund.....	6
5.2.2 Hyttsten från Luleå.....	9
5.2.3 Hyttsand från Oxelösund.....	10
5.3 SLAGG FRÅN KOPPARFRAMSTÄLLNING	10
5.4 FERROKROMSLAGG	11
5.5 KONVERTERSLAGG	11
6. EGENSKAPER HOS NATURLIGA MATERIAL	11
7. MALL FÖR MILJÖKONSKVENSBEDÖMNING	13
8. RIKTLINJER FÖR SLAGGANVÄNDNING I ANDRA LÄNDER	13
8.1 BELGIEN	13
8.2 DANMARK.....	13
8.3 TYSKLAND.....	13
8.4 JAPAN.....	14
8.5 KANADA	14
8.6 NEDERLÄNDERNA	14
8.7 NORGE	15
8.8 USA.....	15
9. SLUTSATSER	16
10. REFERENSER	17
11. BILAGOR	18
1. SLAGGMÄNGDER I SVERIGE	
2. RAPPORTER MED ANKNYTNING TILL SLAGGANVÄNDNING	
3. BESKRIVNING AV LAKMETODER	
4. GRÄNSVÄRDEN FÖR LAKNING I NIEDERSACHEN	

1. BAKGRUND

Jernkontorets kommitté nummer 9524/00 "riktlinjer för slagganvändning" har som syfte att underlätta användning av slagg från metallurgisk industri genom sammanställning av erfarenheter och genomförda undersökningar. Målsättningen med arbetet är att utarbeta verktyg i form av riktlinjer och rekommendationer för producenter och användare av slagg från metallurgisk industri. Den här rapporten är en sammanställning av *befintligt* material rörande slaggdata, undersökningar och vunna erfarenheter samt vilka undersökningar som rekommenderas för att en slagg ska visa sin lämplighet ur miljömässig och funktionell synpunkt.

2. INLEDNING

För att kunna använda slagg i någon applikation krävs först ett tillstånd av länsstyrelsen som gör en bedömning ur miljömässig synpunkt. **I dag finns i Sverige inga specifika nationella miljökrav för användande av restprodukter** varför det inte går att på förhand säga vilken provning och vilka resultat som krävs för att få ett tillstånd för användning av slagg. I många andra länder, t.ex. Tyskland och Holland, som har längre erfarenhet än Sverige av att använda slaggar finns det specificerade lagningskrav som måste uppfyllas för att en slagg ska få användas. De slaggproducenter som funnit användning av slaggen har visat att slaggen uppfyller de lagningskrav som ställs i t.ex. Nederländerna. Vidare så har de redovisat någon form av miljökonsekvensbeskrivning (MKB). De har dessutom, vilket inte är nödvändigt för att få länsstyrelsens godkännande, visat att slaggen är lämplig ur funktionell synpunkt för sin applikation.

EU har gett ut ett dokument som heter "Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel" och som brukar förkortas BREF. BREF ger bland annat rekommendationer för hur järn och stål produceras på bästa sätt. I korthet rekommenderar BREF att slaggar i följande prioriteringsordning ska:

1. Minimeras.
2. Återförs till processen.
3. Återanvändas.
4. Resterande slagg deponeras på ett kontrollerat sätt.

3. SLAGGPRODUKTION I SVERIGE

Den senaste tillgängliga statistiken för vilka mängder slagg som produceras i Sverige är från 1997 och presenteras i bilaga 1. Av bilagan framgår att ca 50 % av slaggen återanvänds i metallurgiska processer eller används i någon annan applikation. Det framgår också att det framför allt är elektrostålslaggen som inte används utan läggs på deponi.

4. REKOMMENDERADE UNDERSÖKNINGAR

För att nå acceptans för användning av slagg i anläggningar bör följande arbetsordning följas:

1. Provningsprovning för att visa att slaggen uppfyller funktionskraven för den aktuella applikationen.
2. Beräkning som visar att det är ekonomiskt försvarbart att använda slaggen.
3. Beskrivning av vilka miljökonsekvenser användandet av slagg för med sig i den aktuella applikationen.
4. Accepterande av slaggen av berörda myndigheter och intressenter.

Här redovisas dels de undersökningar som bör göras på en slagg för att visa dess funktionella och miljömässiga egenskaper och dels vilka slagldata som bör kunna presenteras. Provningsprovet rekommenderas att utföras hos ett fristående laboratorium som är certifierat eller ackrediterat. Vid uttagning av provmaterial är det viktigt att det sker på ett sådant sätt att provet är representativt. Därför rekommenderas att provtagningen görs enligt Nordtest NT ENVIR 004 som kan beställas från Nordtest i Esbo, Finland.

4.1 TEKNISK FUNKTION

De svenska krav som finns för närvarande på vägmateriäl varierar beroende på var i väggroppen materialet skall användas. Traditionellt sett och fortfarande ställs i Vägverkets normer indirekta krav på bärförmågan, dvs i stället för att ställa krav på vilken last materialet ska kunna bära, ställs krav på en viss kornstorleksfördelning och en viss högsta organiska halt, liksom på en viss andel krossade partiklar osv. Gränsvärdena har utvecklats under åren lopp och ger en hyfsad överensstämmelse mellan de indirekta kraven och den önskade bärförmågan hos traditionella vägmateriäl. Däremot kan det vara annorlunda för s k alternativa/nya material. Därför görs nu en satsning på s k funktionsprovande metoder, t ex dynamisk treaxialprovning för vilket en Europannorm är under utveckling. Provningsmetoder och egenskaper hos alternativa vägmateriäl finns redovisade i en licentiatavhandling från 2000 [1].

De egenskaper som bör testas för att ett material skall kunna godkännas för vägbyggnad framgår av ATB Väg. Egenskaper som bör undersökas är bärförmåga och beständighet. Dessutom nämns tjällyftningsbenägenhet och värmekonduktivitet. De provningsmetoder som då blir aktuella är:

- bärförmåga: dynamiska treaxialförsök
- beständighet mot mekanisk nötning: micro-Deval SS-EN 1097-1 (kulkvarnsprovning försvinner fr o m 2003)
- beständighet mot temperaturväxlingar: olika varianter av frys-töförsök t ex EN 1367-1
- beständighet mot vittring: SS-EN 1744-1
- beständighet mot svällning: SS-EN 1744-1
- tjällyftningsbenägenhet: olika varianter av frys-försök
- värmekonduktivitet: sondmetod eller plattapparat

I tabell 4.1 anges de undersökningar som anses vara nödvändiga för att visa om slaggen överhuvud taget är användbar i någon applikation. I tabell 4.2 anges de undersökningar som anses vara de viktigaste för att bedöma en slaggs lämplighet som vägbyggnadsmateriäl.

Tabell 4. 1. Rekommenderade allmänna undersökningar.

TEST	SPECIFIKATION	KRAV
Svällning	SS-EN 1744 – 1	
Vittring	SS-EN 1744 – 1	
Kemisk sammansättning		

Tabell 4.2. Rekommenderade undersökningar för att bedöma en slaggs lämplighet som vägbyggnadsmaterial.

TEST		KRAV
Värmekonduktivitet	ISO 8301	Enligt ATB VÄG ¹
Kulkvarnsprovning		Enligt ATB VÄG ¹
Kornstorleksfördelning		Enligt ATB VÄG ¹
Organisk halt		Enligt ATB VÄG ¹

¹) ATB VÄG utges av vägverket och anger de krav som ställs på material som ingår i vägbyggnationer.

Många av egenskaperna enligt testerna ovan kan påverkas genom olika upparbetningstekniker. Exempel på uppabetning är:

- Modifiering av flytande slagg: Påverkar t.ex. beständigheten.
- Kylningsteknik: Påverkar t.ex. densiteten och lakeegenskaperna.
- Krossteknik.
- Siktning.

4.2 MILJÖ

I tabell 4.3 anges de laboratorieundersökningar som anses vara nödvändiga för att visa slaggens miljömässiga egenskaper. Det bör dock poängteras att undersökningar gjorda i laboratorium inte kan visa verkligheten eftersom det endast är ett fåtal av alla de parametrar som påverkar lakningen som kontrolleras.

Tabell 4.3. Rekommenderade miljömässiga undersökningar.

TEST	SPECIFIKATION	KRAV*
Tillgänglighetstest	NT ENVIR 003	
Oxiderat tillgänglighetstest	NT ENVIR 006	
Kolonnförsök	NT ENVIR 002	
pH - stätttest		
Kontrolltest – Tvåstegs lakförsök	NT ENVIR 005	

*Som tidigare nämnts finns det i Sverige inga specifika nationella miljökrav för användande av restprodukter. Det kan dock vara rimligt att jämföra resultaten med de krav som finns i t.ex. Nederländerna eller Tyskland. Se punkt 8.

I bilaga 3 finns en översiktlig beskrivning av de rekommenderade lakttesterna. För att få en helhetsbild av vilken konsekvens det får för miljön att slagg används i en anläggning bör fler parametrar än slaggens lakningsegenskaper studeras. T.ex. om naturmaterial sparas, hur slaggen annars används/deponeras, emissioner från transporter, dvs en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). För att förenkla framtagandet av en MKB så har Lisa Ledskog, Johan Helldén AB, utarbetat en MKB – mall för slagganvändning för Jernkontoret. Mallen som kan beställas från Jernkontoret har registreringsnummer JkF serie D nr. 782.

4.3 SLAGGDATA SOM BÖR KUNNA PRESENTERAS

Följande slaggdata bör kunna presenteras av slaggproducenten:

Allmänna uppgifter

- Slaggens ursprung: Verk, process.
- Mängd per år.
- Nuvarande användningsområde.
- Upparbetning (modifiering, kylningsteknik, krossning, siktning mm)
- Namn (trivial -, varu -, mm).
- Åldring, svällning.
- Kemisk sammansättning.
- Lakningsresultat - Lakningsmetod(er) .
- Densitet.

Uppgifter som kan presenteras beroende på tänkt användningsområde

- Värmekonduktivitet.
- Elektrisk ledningsförmåga.
- Hållfasthet (dynamiskt treaxialtest).
- Hårdhet, slitstyrka.
- Friktion.
- Permeabilitet
- Kapillär stighöjd, mm.

5. ERFARENHETER AV SLAGG I VÄGAR

Den slagg som har nyttiggjorts i Sverige har använts inom ett stort antal olika områden som t.ex. halkbekämpningsmedel, råvara för cement, golvspackel, filler i asfalt, markstabilisering, jordförbättringsmedel osv. 1862 upptäcktes att masugnsslagg hade bindningsegenskaper typ portlandcement. Ett av de tidigt kända byggnadsverken i Europa är tunnelbanan i Paris som byggdes helt i slaggcement under 1880-talet. Världsproduktionen av slaggcement är idag ca 100 miljoner ton/år. En mycket stor del av den totala produktionen av masugnsslagg går till cement- och bindemedelstillverkning. I Tyskland går ca 65 % till cementtillverkning. Om några år räknar man med drygt 80 %.

I Sverige har tillverkats slaggcement under tre tidsperioder, 1940-, 50- och 70-talet. Sedan 1984 har SSAB Merox tillverkat ren mald masugnsslagg kallad Merit 5000, vilken är typgodkänd som ett mineraliskt tillsatsmaterial till betong. Den i särklass största tillämpningen har varit i golvspackel. Hittills har tillverkats ca 1 miljon ton golvspackel

baserat på Merit 5000. Andra tillämpningar är takpannor, betongrör, betongelement, vidhäftningshöjande medel i asfalt samt markstabiliseringar (djupstabiliseringar).

Den absolut största mängden av nyttiggjord slagg har dock använts inom vägbyggnation varför följande avsnitt är en sammanställning av de erfarenheter som gjorts inom det området. Vad gäller de tekniska egenskaperna måste, vid byggande i Vägverkets regi, slaggen uppfylla de allmänna krav som ställs på material för användning i en vägkropp. Dessa krav specificeras i ATB VÄG. Kortfattat kan man säga att ju högre upp i en vägkropp som ett material ska användas desto högre krav ställs det på materialet. Byggande som inte sker genom Vägverkets försorg, behöver inte följa ATB VÄG. En kommun, liksom en industri eller annan produktionsenhet, kan välja att i stället följa Mark AMA, eller att upprätta en helt egen kravspekifikation. Anläggandet regleras då endast via miljövårdande krav.

5.1 SLAGG FRÅN LJUSBÅGSUGN (LB)

I Vägverkets skrift "Användning av restprodukter i Vägbyggnad" [2] utgiven 1999 anges följande:

I den industrialiserade delen av världen används ungefär tre fjärdedelar av den producerade mängden slagg från ljusbågsugn i olika typer av bygg – och anläggnings-arbeten. Stålslaggen används både som bär – och förstärkningslager, som fyllning och i asfalt – och betongblandningar. Med undantag för riskerna för svällning/expansion anses generellt stålslagg vara ett vägbyggnadsmaterial av god kvalitet. I Tyskland används stålslagg i vägbyggnad och som fyllnadsmaterial. I Danmark används sedan mitten på 1980 – talet slagg från ljusbågsugn i asfaltbeläggning under namnet stålfalt.

Fundia i Smedjebacken har relativt lång erfarenhet av att testa och utnyttja sin LB-slagg. I Janssons rapport "Minimal återverkan från ljusbågsugnsagg på miljön" [3] framkommer följande:

- 1992 gjorde Fundia en 50 meter lång del av en timmerväg av LB-slagg där olika fraktioner provades. Det visade sig att med partikelstorlek 11 – 300 mm (sorterad) blev lakningen av krom och vanadin större än med partikelstorleken 0 – 300 mm (osorterad). Detta var överraskande eftersom laboratorieprovning (tillgänglighetstest) hade antytt att det skulle bli tvärtom. Det visade sig också att pH-värdet i lakvattnet var lägre från den sorterade slaggen än från den osorterade slaggen, ca 8 - 11 jämfört med ca 11,5 – 12,5. Enligt Fällmans rapport "Characterisation of residues" [4] beror skillnaden i pH troligen på att den sorterade slaggen har lägre förmåga att hålla vatten vilket leder till att luft i större utsträckning har tillträde vilket i sin tur leder till reaktion (1).



Eftersom CaCO_3 har en jämvikts - pH på ca 8,4 sänks pH i lakvattnet. Fällman skriver också att den högre halten av lakad krom och vanadin från den sorterade slaggen antagligen beror på det lägre pH-värdet. Kromet kan också ha oxiderats till ett mer lösligt tillstånd.

- 1996 byggde Fundia en 3 km lång väg till sin slaggdeponi med LB-slagg som förstärkningslager och asfalt som slitlager. Endast låga halter av tungmetaller har uppmätts i lakvattnet.
- 1999 restaurerades en väg, Grenandervägen, i centrala Smedjebacken där LB-slagg används som nytt förstärkningslager. Under år 2000 har vägen belagts med asfalt med LB-slagg som ballast. Hittills är erfarenheterna från vägen goda både ur anläggnings - och användningssynpunkt
- SGI har gjort många laboratorietester på Fundias LB-slagg. En del av resultaten finns redovisade i en av Jernkontorets rapporter (forskningsuppgift 2311/93). Testerna visar att de lakkra som gäller i andra länder uppfylls.
- Med ledning av de nämnda laboratorietesterna, fullskaletesterna och Jernkontorets rapport ”Miljökonsekvensbedömning av användning och deponering av stålslagg (D 752)” [5] så har Smedjebackens och Sätters kommuner gett ett generellt tillstånd att använda LB-slaggen som bl.a. förstärkningslager i vägar inom respektive kommun. Tillstånden gäller med vissa förbehåll.
- Fundias erfarenhet är att det ekonomiskt inte är lönsamt att transportera slaggen längre än ca 5 mil för vägbyggnadsändamål. Om slaggen kan användas som ballast i asfalt är det troligt att en längre sträcka kan bli aktuell.
- NCC gör prover med LB-slaggen i asfalt. Resultatet av provningen är under utvärdering.
- Tester pågår för att karakterisera Fundias LB-slagg med avseende på byggnadstekniska egenskaper. Hittills är resultaten goda.
- Merox har gjort svällningsprov på Fundias LB-slagg med liten svällning som resultat.
- Fundia har inte gjort några prover på vittringen. De har dock ingen erfarenhet av att LB-slaggen vittrar.

5.2 SLAGG FRÅN MASUGN

Torbjörn Carlsson från SSAB Merox anger följande om masugnsslagg:

Masugnsslagg har sedan lång tid varit känd som byggnadsmaterial. Om masugnsslaggen luftkyls erhålls en kristallin produkt som kallas hyttsten. Om den istället snabbkyls genom vattengranulering erhålls en amorf produkt med lägre densitet som kallas hyttsand. Sedan 1975 har ca 10 miljoner ton använts vid vägbyggnation, främst i Södermanland och Norrbotten. Hyttstens isolerande egenskaper samt den drygt 30 % högre E-modulen jämfört med krossat berg, gör att man kan bygga en tunnare väg.

5.2.1 Hyttsten från Oxelösund

Den hittills mest uppmärksammade användningen av hyttsten i väg är i E4 söder om Nyköping som byggdes i mitten av 80 – talet och byggdes om i mitten av 90 – talet. I E4 har hyttsten använts både i förstärkningslagret och delvis i bärlagret.

Hans G. Johansson från VTI beskriver i en artikel i tidskriften Vägningenjören [6] vilka erfarenheter som gjorts av det bygget samt om hyttsten i allmänhet som vägbyggnadsmaterial. Johansson tar även upp ämnet i ”Återanvändning och återvinning av restprodukter, vägbyggnadsmaterial och sekundära, mineraliska material i vägar och gator” [7]. Han skriver bland annat följande:

- Hyttsten har låg densitet, är porös, har ringa vattenabsorption, god inre friktion samt relativt hög hållfasthet. Hyttstenens låga densitet har jämfört med densiteten hos de flesta konventionella material fördelar ur både transportekonomisk och byggnadsteknisk synvinkel. Den har dessutom isolerande egenskaper och därmed minskas å ena sidan tjälnedträngning. Å andra sidan, om hyttstenen läggs alltför grunt kan den ge upphov till frosthalka. Hyttsten ska därför inte läggas alltför nära vägytan.
- Hyttstenens porositet, som delvis ger den låga densiteten, är därvid en positiv faktor. Porositeten är emellertid negativ med avseende på nötningsmotståndet. Hyttsten kan således inte användas i asfaltbeläggningar, eftersom användandet av dubbdäck i Sverige i sådant fall skulle medföra en mycket snabb nednötning av vägens slitlager.
- Genom hydratisering och karbonatisering uppstår en självbindning eller härdning i hyttsten varvid dess styvhet och stabilitet påtagligt ökar med tiden. Detta är positivt från såväl byggnadstekniskt (starkare överbyggnad) som miljömässig (mindre urlakning) synvinkel.
- En grov kostnadsberäkning av den aktuella drygt milslånga vägsträckan längs E4 visar att en ansevärd besparing kunde göras tack vare användningen av hyttsten. Bland annat har schaktarbeten reducerats och hyttstenen kunde sättas ett lägre pris än konventionell ballast sett utifrån optimal dimensionering enligt VÄG 94. (VÄG 94 är föregångaren till ATB VÄG).
- Utlakningen av vanadin från hyttsten är något högre än från konventionell ballast men bedöms inte vara ”farlig” för miljön.
- Hyttsten uppfyller alla krav för material till förstärkningslager enligt VÄG 94.
- Funktionsrelaterade undersökningar som t ex treaxialtestet ger en bra bedömning av ett materials bärförmåga.

Jan Rogbeck och Pär Elander från Statens geotekniska institut har i artikeln ”Väg E4 Nyköpingsbro – Jönåker” [8] från 1995 med hjälp av laboratorieprovningar beskrivit miljökonsekvenserna av att använda hyttsten i den rubricerade vägsträckan. Under rubriken ”miljöpåverkan av transporter” skriver de:

Transporter av material innebär i sig en inte försumbar miljöpåverkan. För att i någon mån belysa betydelsen av ett minskat transportarbete i det aktuella fallet, har följande, mycket översiktliga, belastningsberäkning genomförts.

Den av Merox föreslagna utformningen av vägen medför att mängden erforderliga massor för utbyggnaden minskar. Enligt uppgift kan överbyggnaden generellt reduceras med ca 0,5 m. På en 11 km vägsträckning innebär detta en reduktion med ca 309 000 ton. Under förutsättning av ett genomsnittligt transportavstånd från täkt- till vägbygge på 15 km enkel resa (lika för hyttsten och krossmaterial) och att transporterna sker med lastbil med släp (lastkapacitet 20 ton), uppgår det totalt inbesparade transportarbetet till ca 463 500 km. Detta innebär en förbrukning av ca 225 000 l dieselolja och att ca 70 lastbilsdäck slits ut. Dessutom kommer bland annat ungefär 9,6 ton kväveoxider, 3,2 ton kolväten samt 18 kg bly att avgå som emissioner. Värdena baseras på en av Statens Väg och Transportforskningsinstitut (VTI) utvecklad beräkningsmodell avseende påverkan från transporter.

Några långtgående slutsatser skall ej dras av ovanstående beräkningar men intressant att notera är t ex att mängden bly från transportemissioner är större än vad som kan förväntas laka ut från en vägkropp byggd av hyttsten under överskådlig tid.

Vidare gör Rogbeck och Elander följande sammanfattande bedömningar:

Av ovanstående framgår att en användning av hyttsten enligt här aktuella förutsättningar ej bör ge upphov till en oacceptabel miljöbelastning i normalfallet. I bedömningen har dock inte någon hänsyn kunnat tas till de förekommande recipienternas karaktär och känslighet, då underlag för sådana bedömningar saknats.

Undersökningarna av utlakning från hyttsten visar att lakvattenhalterna av flertalet metaller efter en inledande period på några år kommer att sjunka ner till en nivå som är jämförbar med normala halter i ytvatten. Avklingningen kommer att ta längre tid för massor som ligger under beläggning eftersom vattenomsättningen och därmed utlakningshastigheten blir lägre där. De få referensdata för utlakning från naturmaterial som finns att tillgå tyder på att utlakningen kommer att bli i samma storleksordning vid användning av konventionella material. Undantag utgörs av aluminium och vanadin. Det skall dock påpekas att hyttsten är ett hydrauliskt material och att aluminium deltar i bindningsreaktionerna. Det är dock tveksamt om den uppmätta utlakningen i laboratorieförsöken är representativ för ett härdat material. Utlakningen av vanadin bör sättas i relation till övriga källor i vägen. Även bitumen som används i vägbeläggningar innehåller vanadin, som sprids när vägbeläggningen nöts.

Det normala slitaget på högtrafikerade vägar beräknas till ca 4,8 ton asfalt per km väg och år. Denna beräkning baseras på ett normalfördelat spår djup med maximivärdet 1 mm, en total spårbredd av 4x0,5 m och densiteten 2,4 t/m³ hos vägbeläggningen. Halten vanadin i bitumen varierar normalt mellan 250 och 650 mg/kg³. Med 6,5 % bitumen i beläggningen sprids därmed beräkningsmässigt 0,08-0,2 kg vanadin per kilometer väg med bortnött bitumen varje år. Den beräkningsmässiga utlakningen av vanadin från hyttsten är 0,6 kg/km och år.

Ett alternativt användande av naturmaterial i vägkroppen ger även det upphov till en miljöpåverkan. Värderingen måste därför främst baseras på den merbelastning användningen av hyttsten genererar. Härvid måste även beaktas den miljöbelastning som en användning av naturmaterial medför genom ett ökat transportarbete. Även den miljöpåverkan som uppkommer vid en alternativ deponering av hyttstenen bör beaktas i en övergripande analys.

Gällande svensk deponeringsfilosofi förutsätter att avfallsupplag dimensioneras på sådant sätt att urlakade ämnen ej ger upphov till en oacceptabel miljöbelastning på närområdet, samtidigt som en begränsad urlakning bör eftersträvas för att deponin långsiktigt skall neutraliseras. Härav följer att de lakbara mängderna i det långa tidsperspektivet ändå lämnar materialet. Bedömningen kommer därför främst att gälla lämpligaste lokalisering av massorna, samt i vad mån urlakningstakten kan fördröjas i tiden. Tidigare miljöbelastningsberäkningar som SGI genomfört avseende användning av restprodukter i belagda vägar med hög standard har visat att lakvattenproduktionen och metallutsläppen ofta är lägre än från deponier med kvalificerad täckning (kombinationer av tät-, drän- och täckskikt). Orsaken är vägbeläggningens täthet, vilken normalt är större än en täckning på en deponi. Med den föreslagna utformningen kommer ca 60 % av den hyttsten som används att ligga under vägbeläggning. Jämförelsen är naturligtvis endast relevant under vägens livstid. För att inte urlakningen skall öka då vägen tjänat ut, krävs att massorna återanvänds på likartat sätt. Det ökade kretsloppstänkandet innebär med all sannolikhet att så kommer att

ske, eftersom exploateringen av kvarvarande grustillgångar framledes måste minskas radikalt.

Ovanstående innebär emellertid att även lokaliseringen av materialet har betydelse. Detta bör särskilt observeras i de fall nyttiggörandet kan medföra en belastning på känsliga grundvattenakviferer eller ytvattenrecipienter. Innan en sådan användning tillåts bör en detaljerad miljöbelastningsberäkning genomföras, varvid klarläggs eventuellt erforderliga kompletterande åtgärder, förutsättningarna för sorption- och desorption i jordlagren, akviferens storlek och betydelse mm.

Rogbeck och Elander har beräknat hur mycket som lakas ur en väg byggd med hyttsten med hjälp av resultat från kolonnförsök och med antagandet att nettoinfiltrationen av vatten genom vägbeläggningen är 10 mm/år och att nettoinfiltrationen i slänterna är 600 mm/år. Det höga värdet för slänterna är på grund av tillskottet av avrinnande vatten från vägen. Under en sexårsperiod motsvarar då vattenomsättningen under vägbeläggningen L/S – förhållandet 0,04 och i vägslänterna L/S – förhållandet 4.

5.2.2 Hyttsten från Luleå

Hyttstenen från SSAB i Luleå tas om hand av Lule Frakt som säljer den vidare som anläggningsmaterial. Christer Wikström på Lule Frakt anger följande om hyttsten som material i vägbyggnationer:

Totalt har ca tre miljoner ton hyttsten från masugnarna i Luleå använts, i huvudsak i förstärkningslagret, i vägbyggnationer. Det finns lite dokumentation om de tekniska egenskaperna för hyttstenen från Luleå men den uppges vara ett mycket omtyckt vägbyggnadsmaterial. En av fördelarna med den är att den har goda isolerande egenskaper varför det, i jämförelse med naturmaterial, inte krävs så tjockt skikt för att undvika tjällyftningar. Dessutom har hyttstenen en låg densitet. Vad gäller hyttstens lakningsegenskaper så har ett stort antal lakningstester i laboratorieskala utförts och som bland annat finns redovisat i Tossavainens licentiatavhandling "Leaching Behaviour of Rock Materials and a Comparison with slag Used in Road Construction" [9]. Resultaten kommenteras översiktligt under rubriken "Egenskaper hos naturliga material" i punkt 6.

I vägen mellan Björnsbyn och Sinksundet genomfördes förstärkningsarbeten under hösten 1997. Förstärkningsarbetena längs den största delen av vägen genomfördes med bergskross i förstärknings – och bärlager. Längs ett mindre avsnitt genomförde Vägverket tillsammans med Luleå tekniska universitet prov med hyttsten i förstärknings – och bärlager. Referensytor i form av bergskross finns i samband med provytan. I "Årsrapport 2000" [10] beskriver Maria Lindgren från J&W vilka miljöeffekter hyttstenen har gett i form av utlakning. Lindgren skriver om de prover som har gjorts i anslutning till vägsträckan med hyttsten:

- pH – värdet för lakvattnet har varierat från en neutral nivå till ett mycket surt vatten.
- Lakvattnet har visat på höga halter av vissa tungmetaller, som t.ex. bly, strontium och kadmium. Svavelhalten är som man kan förvänta sig hög eftersom svavelhalten i hyttsten är ca 2 %.
- Lakvattnet har en hög hårdhetsgrad.
- I grundvattnet kan inga höga halter urskiljas eller halter som överstiger Livsmedelverkets rikt – och gränsvärden förutom för järn och mangan. Dessa halter var även höga vid referensprovet och överstiger Livsmedelsverkets rikt – och gränsvärden för ett råvatten från en ytvattentäkt.

- Efter tre års provning tyder provresultaten på att de flesta halterna i vattnet hade sina toppar under andra året, 1999, och minskar sedan eller stabiliseras till tredje året 2000.

5.2.3 Hyttsand från Oxelösund

Torbjörn Carlsson från SSAB Merox anger följande om användning av hyttsand:

Hyttsand har tidigare använts som isoleringsmaterial i hus i ganska stor omfattning. I dag används hyttsand, förutom vid bindemedelstillverkning, till lättfyllning och isolering av vägar.

En stor fördel med hyttsand är att vägen kan trafikeras under ombyggnadstiden. Vid andra typer av material måste ofta en förbifart byggas vilket ibland kan vara mycket komplicerat.

5.3 SLAGG FRÅN KOPPARFRAMSTÄLLNING

Vid kopparframställning på Rönnskärsverken i Skellefteå bildas en restprodukt som kallas järnsand. Åsa Peterson från Boliden Mineral AB har i rapporten "Boliden järnsand – en kunskapssammanställning" [11] sammanfattat de studier som gjorts om järnsandens miljö – och geotekniska egenskaper. I hennes rapport framgår bland annat följande :

I Skellefteå kommun har järnsand använts som isolerande fyllmaterial i över 30 år, framförallt i bil- och cykelvägar men även vid husbyggnad. Erfarenheter visar att järnsanden har mycket goda isolerande och dränerande egenskaper och används därför framför allt på markområden där det är stora risker för tjälproblem, tex. där undergrunden består av siltjordar. Den isolerande förmågan kan dock innebära att halka kan uppstå, eftersom jordvärmen inte kommer upp till ytan. Om man ersätter naturmaterial med järnsand, kan förstärkningslagrets volym minskas med 5 – 20 %, utan att konstruktionens relativa livslängd minskar. Detta eftersom bärighetsnedsättningen i undergrunden under vårperioden minskas till följd av en "mildare" tjäle/tjällossning, i och med järnsandens tjälisolerande verkan. Då järnsand till 90 % har en kornstorlek mellan 0,35 – 3 mm är bärförmågan sämre jämfört med konventionella material. Bergkross består till exempel av betydligt grövre fraktioner. Detta gör att järnsand inte används i väggroppens bärlager utan i förstärkningslagret. Med järnsand i förstärkningslagret måste dessutom grusbärlagrets tjocklek utökas för att undvika spårbildning vid utläggandet.

Vid byggnation av mindre vägar kan hela förstärkningslagret bestå av järnsand. För att undvika spårighet i vägar med stora belastningar, uppnås dock bäst resultat om en kombination av järnsand och bergkross används i förstärkningslagret (ca 40 – 50 cm av varje). Då kan järnsandens tjälisolerande egenskaper och bergkrossens belastningsegenskaper utnyttjas. Ett exempel där detta gjorts är vägavsnittet på väg 372 mellan Skellefteå och Skelleftehamn som trafikeras av mycket tunga fordon. Vad gäller järnsands inverkan på miljön så innehåller järnsand högre halter av spårämnen än de naturmaterial som vanligen används som väg – och fyllmaterial. Det gäller framför allt metallerna koppar och zink. Tack vare att järnsand granuleras har materialet en glasstruktur som är kemiskt stabil och som kan hålla stora mängder av metaller fastlåsta. Dessutom består järnsand huvudsakligen av silikater och oxider vilka är mindre lagningsbelägna än exempelvis sulfider. Dessa faktorer medför att endast en liten del av de totala metallhalterna kan lakas ut ur materialet. Enligt Mia

Tossavainens licentiatavhandling [8] vid Luleå Tekniska Universitet är den tillgängliga (lakningsbara) mängden metaller i järnsand inte högre än att materialet kan användas som vägbyggnadsmaterial utan någon risk för skadlig inverkan på miljön.

5.4 FERROKROMSLAGG

Vid tillverkning av ferrokrom erhåller Vargön Alloys AB ferrokromslag. Ferrokromslagen har efter krossning till 0 – 100 mm använts i vägbyggnationer sedan mitten av 70 – talet i ett stort antal vägar i trakterna kring Vänersborg. Ferrokromslagen används i huvudsak i förstärkningslagret och uppfyller för det de krav som ställs i VÄG 94.

I rapporten ”Miljöpåverkan av ferrokromslag i vägar” [12] utfärdad av Statens geotekniska institut har miljöpåverkan från två vägar byggda med ferrokromslag studerats. De undersökta vägarna är dels en väg utan beläggning som är byggd 1996 med enbart ferrokromslag (Svenäckervägen). Dels är det en asfalterad väg med ferrokromslag i hela överbyggnaden som byggdes 1994 (Slätterna – Upphärad). Rapportens slutsatser är följande:

- Migrationen av finpartiklar till underliggande jord är låg.
- En viss förhöjning av bundet krom (adsorberat till amorf järnhydroxid) kunde konstateras i de ytligaste marklagren nära slaggavsnittet. Förhållandet tolkas så att en damning har skett från slaggen till omgivningen, möjligen redan vid vägbyggnationen. Krom har sedan lakats ut från partiklarna för att sedan adsorberas på järnhydroxid.
- Utlakningen från ferrokromslagen till omgivande grundvatten var låg för samtliga studerade element.
- En signifikant förhöjning av kromhalten kunde konstateras hos rötter som växer direkt i slaggen. Motsvarande förhöjning kunde inte ses hos maskrosblad ovan jord.
- Spridningen av damm samt upptag i växtrötter tycks vara de viktigaste spridningsvägarna för krom från slaggen.

5.5 KONVERTERSLAGG

Konverterslagg innehåller en stor andel kalk (CaO) vilket gör att den sönderfaller (vittrar) i mycket små partiklar varför den inte är lämplig som vägbyggnadsmaterial.

6. EGENSKAPER HOS NATURLIGA MATERIAL

Mia Tossavainen har i sin licentiatavhandling ”Leaching Behaviour of Rock Materials and a Comparison with slag Used in Road Construction” [8] undersökt lakningsegenskaperna hos nio olika naturliga vägbyggnadsmaterial (krossat berg och grus) och jämfört resultaten med egenskaperna hos hyttslag och järnsand.

Hon skriver om de naturliga materialen:

Mängden som lakas ut av ett ämne i bergmaterial och grus beror på mineralsammansättningen. Hur ämnet är bundet till mineralet har större betydelse än ämnets totalhalt.

Sulfider är mer reaktiva och lösliga än oxider och silikater, speciellt under oxiderande förhållande. Den största mängden av lösta tungmetaller härrör från sulfiderna, trots att de innehåller låga koncentrationer. Mycket små mängder av krom och vanadin lakas ut tack vare att de förekommer som utbytesjoner i oxider.

Tossavainen skriver vidare att i jämförelse med bergmaterial lakar hyttstenen ut mindre mängder av tungmetaller tack vare att hyttstenen innehåller lägre totalhalter av tungmetaller. I jämförelse med bergmaterial verkar grus att vara mer oförutsägbart vad gäller både totalhalter och lakbarhet.

Den granulerade och amorfa järnsanden binder och immobiliserar stora mängder av tungmetaller.

Avhandlingen tyder på att både hyttsten och järnsand kan användas i vägbyggnader utan att omgivningen påverkas negativt pga. lakning av tungmetaller.

Tossavainen påpekar också att användandet av naturmaterial **inte** leder till noll påverkan på omgivande miljö och att den största miljöpåverkan vid användning av naturmaterial är vid brytningen genom emissioner och energiåtgång. Det är också värt att poängtera att naturmaterialen troligen har stor inbördes variation i lakningsegenskaper och att det är få försök gjorda på dem.

Eva Kälvesten har i sitt examensarbete "Miljömässig kartering av vägbyggnadsmaterial" [13] gjort laktester på naturmaterial och jämfört med tidigare gjorda laktester på restmaterial. I tabell 6.1 visas resultatet av provning utförd med tillgänglighetstestet på naturmaterial, stålslagg och hyttsten.

Tabell 6.1. Resultat av provning utförd med tillgänglighetstestet på naturmaterial, stålslagg och hyttsten (mg/kg). [12].

Ämne	Skärlanda-Bergkross	Dalagrus-Bergkross	Hult-Morän	Mekedeby-Morän	Stålslagg ¹	Hyttsten ²
Cd	0,033	0,022	0,020	0,035	0,063	0,005
Cr	0,452	0,515	0,421	0,307	5,418	0,232
Cu	0,020	0,687	0,452	1,146	0,992	0,088
Ni	56,0	58,2	43,7	35,7	1,0	0,8
Pb	0,44	0,20	0,20	0,20	0,09	0,04
Zn	4,0	14,8	1,6	5,4	38,5	1,2

¹ Stålslaggen uppges vara från tillverkning av höglegerat stål.

² Ingen uppgift om vilket verk hyttstenen kommer från.

Som en del av ett större forskningsprojekt om restprodukter i jordarbeten har data över miljöbelastningen för vägkonstruktioner samlats in för olika restprodukter och naturmaterial. Materialet, som presenteras av Mroueh mfl i "Life cycle assessment of road construction"

[14], har använts i en modell för beräkning och jämförelse av miljöbelastningen i de mest vanliga vägkonstruktionerna. Modellen omfattar produktion och transport av material, konstruktion och användning.

Resultatet av fallstudierna indikerar att produktion och transport av material som används i vägkonstruktionen orsakar den mest signifikanta miljöbelastningen i form av energianvändning och emissioner. Två oberoende expertpaneler bedömde konsumtionen av naturmaterial samt utlakning från restprodukter som de två viktigaste miljöbelastningarna.

7. MALL FÖR MILJÖKONSEKVENSBEDÖMNING

För att få en helhetsbild av vilken konsekvens det får för miljön att slagg används i en anläggning bör, som nämnts under punkt fyra, fler parametrar än slaggens lakningsegenskaper studeras. T.ex. om naturmaterial sparas, hur slaggen annars kan nyttiggöras, emissioner från transporter osv., dvs. en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). För att förenkla framtagandet av en MKB så har Jernkontoret tagit fram en MKB-mall för slagganvändning (Jernkontorets Forskning, serie D nr 782).

8. RIKTLINJER FÖR SLAGGANVÄNDNING I ANDRA LÄNDER

I en rapport från 1995, "Utilisation and stabilisation of stelmaking slags", beskriver Ye m.fl. [15] hur olika länder använder sin stålverksslagg och vilka regler som gäller för respektive land. Beskrivningen nedan är med ett undantag hämtad från denna rapport.

8.1 BELGIEN

I Belgien kommer den mesta slaggen från LD - processen. Ca 1 Mton produceras årligen och nästan allt används. Huvuddelen av slaggen används som konstruktionsmaterial i vägar med liten trafikvolym. Slagg som används i vägar med hög trafikvolym måste ha < 4,5 % fri kalk. 5-10 % av slaggen används som jordförbättringsmedel.

8.2 DANMARK

I Danmark använder företaget Tarco Vej A/S LB-slagg istället för granit i asfalt och kallar det för Stålfalt. Stålfalt har använts sedan 1984 och bedöms att ha 30 % längre livslängd än normal asfalt.

8.3 TYSKLAND

I Tyskland används stålslagger till vägar, landfyllnad och gödningsmedel. En kritisk parameter för vad slaggen kan användas till är andelen fri kalk. Regler för hur slaggen får utnyttjas innehåller både tekniska och miljömässiga krav och bestäms av varje förbundsstat. Följande är en kortfattad beskrivning av miljökraven i Niedersachsen:

I Niedersachsen måste slaggernas lakningsegenskaper karakteriseras enligt DEV S4 vartannat år för att få användas. Lakhalterna jämförs med en lista, som finns i bilaga 4, där gränsvärden för att få använda slaggen framgår. I tabell 8.1 beskrivs översiktligt hur lakprovet utförs.

8.4 JAPAN

I Japan används LB – slagg bl.a. till vägar, landutfyllnad och även till en liten del till tillverkning av cement. Innan slaggen används måste den klara vissa gränser i ett lakningsprov.

8.5 KANADA

I Kanada används slagg ofta till asfalt. På grund av dålig kvalitet på asfalten infördes ett uppehåll 1991. Enligt samtal med Ye från Mefos så berodde den dåliga kvaliteten på att slaggen hade lagrats för kort tid före användandet vilket ledde till att slaggen svällde och förstörde asfalten. Studier utförs nu för att kunna kontrollera volymstabiliteten genom kontroll av bildandet och andelen fri kalk i slaggen. Tillstånd att använda slagg ges av myndigheterna från fall till fall. Tillståndet baseras på lakningstester som ska simulera verkliga förhållanden.

8.6 NEDERLÄNDERNA

I den preliminära rapporten "Klassning av restprodukter från metallverken" [16] utgiven 2001-02-09 av Statens geotekniska institut anges följande:

I juli 1999 kom i Nederländerna, efter en provperiod på tre år, nya riktlinjer för hur restprodukter får användas i anläggningssammanhang. I beslutet (Bouwstoffenbesluit) finns gränsvärden för restprodukternas innehåll av olika föroreningar. Syftet med beslutet är dels att skydda mark och vatten, men också att stimulera återanvändning/nyttiggörande av restprodukter för att på detta sätt minska behovet av deponering samt begränsa uttaget av naturresurser.

Gränsvärdena är satta dels som s.k. immissionsvärden (immission = miljöbelastning av mark och vatten p.g.a. utlakning), dels som totalhalter. Till grund för immissionsgränsvärdena ligger den maximala mängden oorganiska ämnen som kan spridas till mark och ytvatten utan att orsaka oacceptabel belastning på miljön. Immissionsvärdena för olika ämnen i ett specifikt material kan beräknas genom att utlakningen bestäms på lab. (kolonntest L/S = 10, NVN 7343) och hänsyn tas till hur materialet används i det aktuella objektet. Dessa värden jämförs sedan med fastställda gränsvärden. Värdena anges i mg/m² per 100 år.

"Bouwstoffenbesluit" klassificerar konstruktionsmaterial i ett antal olika kategorier:

- *Kategori 1: material som varken överskrider totalhalter eller immissionsvärden, får användas utan skyddsåtgärder*
- *Kategori 2: material som inte överskrider totalhalter, men immissionsvärden. Skyddsåtgärder krävs*
- *Specialkategorier: ren jord, sorterad bottenaska från avfallsförbränning, material med asfaltgranulat.*

I samma referens framgår också att när immissionsvärdena beräknas sätts för kategori 1 den effektiva infiltrationen av vatten till 300 mm/år och för kategori 2 till 6 mm/år. Dessutom redovisas en beräkning för jämförelse med de nederländska riktvärdena.

På internet-adressen <http://www.minwrom.nl/minvrom/pagina.html> framgår de Nederländska gränsvärdena samt en fullständig beskrivning hur restprodukter får användas i anläggningssammanhang i Nederländerna. I tabell 8.1 beskrivs översiktligt hur lakprovet utförs.

8.7 NORGE

Användning av stålverksslagger i vägar är tillåtet om de klarar kraven i TCLP (Toxicity Leach Test Procedure) som används av "US Environmental and Protection Agency".

8.8 USA

Stålverksslagger anses främst vara en biprodukt och inte en avfallsprodukt. Nästan 100% av slaggerna används, i första hand som konstruktionsmaterial i vägar och asfalt men också som jordmånsförbättrare och erosionskydd. I tabell 8.1 beskrivs översiktligt hur lakprovet utförs.

Tabell 8.1. Översikt över laktester i olika länder [14].

	TCLP Method 1311 EPA	DIN 384141 (DEV – S4)	NVN 7343	
Testetyp	Batch	Batch	Kolonn	Batch
Land	USA, Norge	Tyskland	Nederländerna	Japan
Partikelstorlek	< 9,5 mm	< 10 mm	< 3 mm	0,5 – 5 mm
Lakmedel	HAc + NaOH	Demineraliserat vatten	Demineraliserat vatten, pH 4, med HNO ₃	Demineraliserat vatten, pH 5,8 – 6,3 eller 7,8 – 8,3
Fastfasmängd	100 g	100 g	500 – 800 g	50 g
L/S (l/kg) per cykel	20	10	Inte tillämpligt	10
L/S (l/kg) max			10	
Antal cykler	1	1 – 3	1 – 7	
Kontaktid per cykel	18 h	24 h	20 dagar för L/S = 0 – 10	6 h
Omrörningsmetod	Rotation 30 r/min	Rotation	Vatten flöde 0,5 (L/S)/dag	
Filtrering	0,6 – 0,8 µm	0,45 µm	0,45 µm	

9. SLUTSATSER

Metallurgisk slagg har under lång tid använts inom en rad olika områden både i Sverige och utomlands. Eftersom Sverige är rikt på naturgrus och berg så har dock inte drivkraften att använda slagg varit lika stor i Sverige som i många andra länder. Detta har inneburit att länder som tex. Danmark, Nederländerna och Tyskland har betydligt större erfarenhet av att använda slagg inom vägbyggnation vilket är det område där den största mängden slagg används. Under senare år har dock användningen av slagg i vägbyggnationer ökat i Sverige. Erfarenheterna av att använda slagg i vägbyggnationer är överlag goda, både i Sverige och utomlands.

För att finna användningsområden samt erhålla erforderliga tillstånd av berörda myndigheter är det varje slaggproducents ansvar att karakterisera sin slagg både vad gäller funktionella och miljömässiga egenskaper.

10. REFERENSER

1. Arm, Maria. *Egenskaper hos alternativa ballastmaterial – speciellt slaggrus, krossad betong och hyttsten*. Licentiatavhandling KTH 2000.
2. Knutz, Åke. *Användning av restprodukter i vägbyggnad*. Vägverket 1999:161. 1999.
3. Jansson, Åke. *Minimal återverkan från ljusbågsugnsagg på miljön*. Bergsskolan i Filipstad. R/4. 2000.
4. Fällman, A-M. *Characterisation of residues*. Doktorsavhandling Linköping Universitet. AFR-rapport 160. 1997.
5. Walterson, Eva. *Miljökonsekvensbedömning av användning och deponering av stålsagg*. Jernkontorets forskningsuppdrag 9518/93. 1997-07-11.
6. Johansson, G, Hans. *Återvinning av hyttsten och betong för vägbeläggningar*. Artikel i Vägingenjören nr. 2, 2000.
7. Johansson, G, Hans. *Återanvändning och återvinning av restprodukter, vägbyggnadsmaterial och sekundära, mineraliska material i vägar och gator*. KFB & VTI forskning, 21, 1997.
8. Rogbeck, Jan, Elander, Jan. *Väg E4 Nyköpingsbro – Jönåker, miljökonsekvenser vid användning av hyttsten*. Statens geotekniska institut 29412-640. 1995-01-17.
9. Tossavainen, Mia. *Leaching Behaviour of Rock Materials and a Comparison with slag Used in Road Construction*. Luleå University Of Technology 2000:23. 2000.
10. Lindgren, Maria. *Årsrapport 2000 – Utförande av kontrollprogram avseende lysimeterprovtagning av grundvattenkvalité på väg 597 och väg 591.01 i BD län*. J&W Mark och Anläggning. 2001.
11. Peterson, Åsa. *Boliden järnsand – en kunskapsmanställning*. Boliden Mineral AB, RM 0088b. 2001-02-06.
12. Lind, Bo, Fällman, Ann – Marie, Larsson, Lennart. *Miljöpåverkan av ferrokromsagg i vägar*. Statens geotekniska institut, 29904230. 2000-03-29.
13. Kälvesten, Eva. *Miljömässig kartering av vägbyggnadsmaterial*. Statens geotekniska institut. 1-9601-026. 1996-06-17.
14. Mrourh, Ulla – Maija, Eskola, Pauli, Laine – Ylijoki, Jutta, Wellman, Kari, Mäkelä, Esa, Juvankoski, Markku och Ruotoistenmäki, Annti. *Life cycle assessment of road construction*. Helsinki 2000, Finnra reports 17/2000, ISSN 0788-3722: ISBN 951 – 726 – 663 – 2.
15. Ye, Guozhu, Burström, Eric och Fällman, Ann-Marie. *Utilisation and stabilisation of steelmaking slags*. Avfallsforskningsrådet rapport 57 (AFR-Report 57). Januari 1995.
16. Carling, Maria, Fällman, Ann – Marie, Helgesson Helena. *Klassning av restprodukter från metallverken*. Statens geotekniska institut. 1-0009-630. 2001-02-09.

11. BILAGOR

1. SLAGGMÄNGDER I SVERIGE

2. RAPPORTER MED ANKNYTNING TILL SLAGGANVÄNDNING

3. BESKRIVNING AV LAKMETODER

4. GRÄNSVÄRDEN FÖR LAKNING I NIEDERSACHEN

SLAGGMÄNGDER VID SVENSKA STÅLVERK 1993 - 1997 ENLIGT JERNKONTORETS STATISTIK.

	1993, ton	1995, ton	1997, ton
Masugnsslagg	463 500	506 800	477 300
LD - slagg	252 000	245 584	282 000
Elektrostålslag	266 830	269 501	308 184

SLAGGMÄNGDER I SVERIGE 1997 ENLIGT JERNKONTORETS STATISTIK.

	Intern, ton			extern, ton			SUMMA
	Åter - användning	Mellan - lagring	Depo - nering	Använd - ning	Upp - arbetning	Depo - nering	
Masugnsslagg	3 300	154 000		320 000			477 300
%	1%	32%	0%	67%	0%	0%	100%
LD - slagg	212 300	21 300	48 400				282 000
%	75%	8%	17%	0%	0%	0%	100%
Elektrostålslag	8 958	66 641	71 600	2 400	483	158 102	308 184
%	3%	22%	23%	1%	0%	51%	100%
Skärslag	4 175	14 230					18 405
%	23%	77%	0%	0%	0%	0%	100%
Annan slagg	12 500	19 594	22 600	28 200	11	83	82 988
%	15%	24%	27%	34%	0%	0%	100%
SUMMA	241 233	275 765	142 600	350 600	494	158 185	1 168 877
%	21%	24%	12%	30%	0%	14%	100%

RAPPORTER MED ANKNYTNING TILL SLAGGANVÄNDNING

	Recycling strategies for road works		OECD
1974	Utlösning av tungmetaller vid deponering av stoft och slagg från järn- och stålverk	Hans Hargbäck, Karl-Erik Kulander, IVL	IVL, B237
1990	Restprodukter i vägbyggnad. Föredrag	Peet Höbeda, VTI	VTI V 126
1990	Stålfalt – Status på et starkt slidlags alternativ	Peter Miklos, Tarco Vej A/S	Dansk Vejtidskrift nr 9 1990 sid 12-15
1991	Miljöbedömning av slagg från Scandust AB i Landskrona	Sten Kullberg, SGI	
1992	Stålslagg från LD-processen som vägmaterial – en "state of the art" rapport	Peet Höbeda, VTI	VTI VI93
1993	Karakterisering och klassificering av avfall. Genomgång av olika länders system	Ann-Marie Fällman, Jan Hartlén, SGI	Naturvårdsverket rapport 4226
1994	Utilization of steel slags – possibilities and environmental impacts	Proceedings – 1 november 1994	Möte AFR-MEFOS-Jernkontoret
1994	Kammarrättens dom rörande användning av Scandusts slagg		Göteborg, Mål 7766-1993
1994	Genbrug i lange baner	Peter Miklos, Tarco Vej A/S	Dansk Vejtidskrift nr 5 1994 sid 19-21
1994	Utilisation and stabilisation of steelmaking slags – an international survey	Guozhu Ye, Eric Burström, MEFOS, Ann-Marie Fällman SGI	MF94032K
1995	Kartläggning av stålverksslaggers utlakningsegenskaper	Ann-Marie Fällman SGI	
1995	Hochofen- und Stahlwerksschlacken sind nützliche Produkte und kein Abfall	Peter Greis, Düsseldorf	Stahl und Eisen 115(1995) nr 10, sid 91-94
1995	Väg E4 Nyköpingsbro-Jönåker, Miljökonsekvenser vid användning av hyttsten	Jan Rogbeck, Pär Elander, SGI	SGI 1995-01-17 29412-640
1995	Utlakningsegenskaper hos ferrokromslag från Vargön Alloys AB	Lennart Larsson, SGI	
1995	Föroreningar i deponier och mark. Ämnens spridning och omvandling		Naturvårdsverket rapport 4473
1995	Avfallsbedömning. Workshop en 6 december 1995. OH-bilder och anteckningar från gruppdiskussioner		AFR-rapport 102
1995	Förstudie – Restprodukter som bindemedel/filler i betong	Lagerblad B.	MIMER-rapport 1995-2-01
1995	Inventering av erfarenhet av användning av industriella restprodukter i forna Sovjetunionen	Utkin, P, MIMER	Rapport 95-2-02 (Ingår i MIMER-rapport 1997-2-05)

FORTSÄTTNING RAPPORTER MED ANKNYTNING TILL SLAGGANVÄNDNING

1996	Miljömässig kartering av vägbyggnadsmaterial	Eva Kälvesten	SGI, Varia 452 examensarbete
1996	Slagger från produktion av höglegerade stål – Litteraturstudie om egenskaper och hantering	Erica Grönberg, MEFOS	MF96012K
1996	Miljöpåverkan från Referensmaterial Lakmetoder och Lakning av restprodukter avsedda som Vägmaterial	Tossavainen M	Delrapport 1 MIMER-rapport 1996-2-03
1997	Miljökonsekvensbedömning av användning och deponering av stålslag	Eva Walterson, Miljöforskargruppen	Jk Serie D 752
1997	Återanvändning och återvinning av restprodukter, vägbyggnadsmaterial och sekundära, mineraliska material i vägar och gator	Hans. G. Johansson, VTI	KFB&VTI forskning 21
1997	Utilisation of stainless steel slags – limitations and possibilities	Christina Wiklund White, Guozhu Ye, MEFOS	MEF97079K
1997	Demands on the treatment technology of special steel slags	Guozhu Ye, MEFOS	ETEUSCE, 1 year report
1997	Methods for Testing Agglomerates Used for Iron- and Steelmaking – A Literature Survey	Yang Q	MIMER-rapport 1997-1-03
1997	Regulations and research regarding use of byproducts as construction material in Nordrehein-Westfalen, Germany	Tossavainen M	MIMER-rapport Delrapport 2 1997-2-04
1997	Inventering av slag och mineraliska restprodukter	Lagerblad B	MIMER-rapport 1997-2-05
1997	Miljöpåverkan från referensmaterial Vittring och lakning i Gråberg från LKAB, Kiruna	Lundqvist A	Delrapport 3 MIMER-rapport 1997-2-10
1997	Miljöpåverkan från referensmaterial Weathering of waste rock from the Kiirunavaara Magnetite Mine, LKAB	Lundqvist A	Delrapport 4 MIMER-rapport 1997-2-11
1997	Control of steel slag properties by metallurgical treatment, AFR-report 204	Viklund-White C, Ye G, Fällman A-M, Eriksson J	MIMER-rapport 1997-2-13
1997	Miljöpåverkan från referensmaterial Tillgängligt för utlakning i referensmaterial	Tossavainen M, Forssberg E	Delrapport 5 MIMER-rapport 1997-2-15
1997	Miljökonsekvensbedömning av användning och deponering av stålslag	Eva Walterson, Miljöforskargruppen	Jk Serie D 752

FORTSÄTTNING RAPPORTER MED ANKNYTNING TILL SLAGGANVÄNDNING

1997	Återanvändning och återvinning av restprodukter, vägbyggnadsmaterial och sekundära, mineraliska material i vägar och gator	Hans. G. Johansson, VTI	KFB&VTI forskning 21
1997	Investigation of specific surface area in leaching tests	Jiri Vavrinek, MIMER	Delrapport 6
1997	Utilisation of stainless steel slags – limitations and possibilities	Christina Wiklund White, Guozhu Ye, MEFOS	MEF97079K
1997	Demands on the treatment technology of special steel slags	Guozhu Ye, MEFOS	ETEUSCE, 1 year report
1998	Control of steel slag properties by metallurgical treatment	Christina Wiklund White, Guozhu Ye, MEFOS	AFR-rapport 204
1998	Treatment of steel slags and various fine grained waste products from stainless steel plant using a DC-furnace with a hollow electrode	Christina Wiklund White, Guozhu Ye, MEFOS	MEF98013K
1998	Leaching of ferrochrome slag in the marine environment	P.A.J.P Cnubben m fl	ECN-C-98-012
1999	Årsrapport 1998. Utförande av kontrollprogram avseende lysimeterprovtagning samt provtagning av grundvattenkvalitet på väg 597 och väg 591.01 i BD-län	Ulrika Nilsson,	J&W, Luleå (Boliden), 1999-01-28
1999	The potential leachability from natural road construction materials	Mia Tossavainen, Eric Forssberg	The Science of the total Environment 239(1999) 31-47
1999	Karaktärisering av avfall Vissa kemiska analyser	Förslag till standard	prEN 13370-remiss
1999	Karaktärisering av avfall Bestämning av vattenlöslig del m m	Förslag till standard	prEN 13656 remiss prEN 13657 remiss
2000	Karaktärisering av avfall Lakteter	Förslag till standard	prEN 12457- 1-4 remiss
2000	Karaktärisering av avfall – Analys av lakvatten – Bestämning av pH, As, Cd, Cr(VI), Cu, -ni, Pb, Zn, Cl, NO ₂ , SO ₄	Standard	SS-ENV 12506
2000	Leaching behaviour of rock materials and a comparison with slag used in road construction	Mia Tossavainen	Lic.avhandling LTU 2000:23
2000	Fallstudie: Järnsand som byggnadsmaterial vid gunsenterterminalen, Skellefteå.	Åsa Peterson, Boliden Mineral AB	RM 0089
2000	Blästermedlet fajalit – Rening eller deponering	Kristian Peders, examensarbete Göteborgs Universitet	

FORTSÄTTNING RAPPORTER MED ANKNYTNING TILL SLAGGANVÄNDNING

2000	Kolonnförsök på Boliden järnsand	Ulrika Nilsson, SGI	2-0003-0223
2000	Kriterier för klassning av avfall (klass 3) – Underlag för diskussion inom EU	Ulrika Nilsson, SGI	2-0003-0256
2000	Minimal återverkan från ljusbågsugns­slag­g på miljön	Åke Jansson, Bergsskolan i Filipstad	R4/2000
2001	Boliden järnsand – En kunskapssammanställning	Åsa Peterson, Boliden Mineral AB	RM 0088b
2001	Laktestning av slagg från ljusbågsugnen i Hofors	Åke Jansson, Ovako i Hällefors	SKT 19/01

LAKNINGSTESTER

Det finns ett antal olika metoder för att laborativt bestämma urlakningen hos ett material. Olika länder använder sina metoder som oftast är varianter på samma grundmetod. Som mått vid urlakning används beteckningen L/S (liquid-solid). Det står för kvoten mellan mängd vätska och fast material. L/S används som en tidsskala där högre L/S grad motsvarar längre laktid.

Totalhalt (Kemisk sammansättning)

Genom att bestämma den totala halten av oorganiska ämnen erhålls en uppfattning om materialets huvudsakliga beståndsdelar.

Tillgänglighetstest

Den potentiellt utlakbara mängden, dvs. den mängd som kan laka ut då kornstorlek, alkalinitet, koncentrationsskillnader eller tid inte begränsar utlakningen, bestäms genom ett standardiserat förfarande, s.k. tillgänglighetstest. Tillgänglighetstestet avspeglar den potentiellt tillgängliga mängden av ett ämne som är lakbar på mycket lång sikt.

Testet, som utförs enligt Nordtest NT ENVIR 003 (1995), är ett pH-statiskt försök med ett mycket stort förhållande mellan vätska och fast fas (L/S = 100 i två steg). Materialet är nedmalt till < 125 µm. Under lakningen hålls pH konstant, med pH = 7 under tre timmar i första steget och pH = 4 under 18 timmar i andra steget.

Oxiderat tillgänglighetstest

För att studera tillgängligheten under oxiderande förhållanden utförs oxiderat tillgänglighetstest. Testet utförs enligt NT ENVIR 006 där metoden är samma som ett vanligt tillgänglighetstest, men med tillsats av väteperoxid för att hålla oxiderande förhållanden.

Kolonnförsök

En uppfattning om den tidsberoende utlakningen erhålls i kolonnförsök. Testet utförs enligt NT ENVIR 002. Kolonnen fylls med material med storleken 1/10 av kolonnens diameter, packas upp till en höjd motsvarande 3-6 gånger innerdiametern och fylls sedan underifrån med avjoniserat vatten. Utgående lakvatten samlas upp vid L/S - kvoterna 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 och 10.0 l/kg.

pH-stattest

pH-värdet har betydelse för utlakningen av flera metaller. Ett materials pH-värde kan förändras genom processer som t ex karbonatisering. Karbonatisering innebär att materialet reagerar med luftens koldioxid och pH-värdet ändras till kring 8. Genom att utföra pH - stattest vid olika pH - värden kan den pH - beroende utlakningen från materialet studeras. Försöket bör utföras vid 8 pH-värden från pH 4 till pH 12. Försöket utförs vid L/S 10 på prov nedkrossat till 1 mm under totalt 48 timmar och följer en föreslagen europeisk standard.

Kontrolltest - Tvåstegs lakförsök

Tvåstegs lakförsök kan användas som en förenklad, kontinuerlig kvalitetskontroll av materialet. Testet korreleras mot resultaten från kolonnförsöket. Metoden är standardiserad enligt Nordtest NT ENVIR 005 och den s.k. tvåstegslakningen enligt CEN. Metoden finns också föreslagen som europeisk standard enligt prEN 12457 - 3. Utförandet innebär att prov blandas med avjoniserat vatten vid L/S = 2 och skakas i en vändapparat. Lakvätskan avskiljs, varefter ytterligare vätska sätts till materialet så att det ackumulerade förhållandet motsvarar L/S = 10. Vid L/S = 2 skakas provet i 6 timmar och vid L/S = 10 i 18 timmar.

TABELLEN VISAR GRÄNSVÄRDEN FÖR NYTTIGGÖRANDE AV SLAGGER I DEN TYSKA DELSTATEN NIEDERSACHEN [14].

	Enhet	Tillåtna värden	
		Utan täckning	Med täckning
pH		6,0-12,0	5,5-12,0
Konduktivitet	µS/cm	2500	3000
Al	mg/kg	50	100
As	“	0,5	1
Ba	“	5	10
Pb	“	0,5	5
Cd	“	0,1	0,5
Cr (tot)	“	1	5
Cr(6+)	“	0,1	0,5
K	“	100	200
Cu	“	1	10
Mg	“	500	1000
Mn	“	5	10
Na	“	1500	3000
Ni	“	0,5	5
Hg	“	0,01	0,05
Se	“	0,1	0,5
Ag	“	0,1	1
Tl	“	0,1	0,5
V	“	0,5	1
Zn	“	5	10
B	“	5	10
NH ₄	“	1	10
NO ₂	“	1	5
NO ₃	“	100	150
Cl	“	200	2000
SO ₄	“	3000	4000
F	“	20	50
CN(tot)	“	1	5
CN(fri)	“	0,5	1
COD	“	0	700
AOX	“	0,5	3
CH(tot)	“	1	5
PAH	“	0,02	0,02