

Projektet nya sten- och grusmaterial

Återanvändning av sekundära material inom anläggningsområdet

Slutrapport

Jan Hartlén, LTH
Raul Grönholm, SYSAV
Tommy Nyström, SYSAV
Jörgen Schultz, SYSAV

December 1999

AFR-REPORT 275
AFN, Naturvårdsverket
Swedish Environmental Protection Agency
106 48 Stockholm, Sweden

ISSN 1102-6944
ISRN AFR-R--275—SE

Stockholm 1999

Tryck: Naturvårdsverket

FÖRORD

Avfallsforskningsnämnden vid Naturvårdsverket beviljade 1996 SYSAV medel för att undersöka förutsättningarna, utifrån ett regionalt perspektiv, att nyttiggöra restprodukter som byggavfall och slagger och därmed spara de naturliga naturresurserna i form av grus och krossat berg. Finansiering har också skett med medel från branschen med i samma storleksordning som AFN:s stöd. Särskilt bör nämnas den nära samverkan som skett mellan detta AFN-projekt och Boverkets projekt ”Återvinning av byggavfall”, som även det genomförts vid SYSAV. Genom denna samverkan har omfattande fältförsök med krossad betong möjliggjorts.

Projektet är fokuserat på användning av restprodukter i infrastrukturprojekt. Projektet har varit sammanhållet av en styrgrupp bestående av Jörgen Schultz, SYSAV, Tommy Nyström, SYSAV och Jan Hartlén, LTH/JH GeoConsulting (projektledare) och med Raul Grönholm, SYSAV som resursperson.

Projektet har bedrivits i nära samverkan med branschen. Till projektet har en referensgrupp varit kopplad bestående av:

Peter Abrahamsson, Byggtreprenörerna
Christer Hagert, Vägverket
Stig Hedén, Boverket
Sverker Högberg, AFR
Knut Pihl, Vejdirektoratet
Leif Josefsson, Malmö Gatukontor
Krister Ydrevik, VTI

Referensgruppen har på ett positivt och konstruktivt sätt bidragit till projektet. I sammanhanget skall också nämnas värdefullt stöd från Vägverket, Malmö Gatukontor och Trelleborgs Gatukontor, samt från företag som Svedala och Skanska, vilket möjliggjort fältförsöken.

Bland externt medverkande kan bland alla nämnas David Bendz, LTH, Ulf Evertsson, SYSAV, Christer Hagert, Vägverket, Göthe Lindberg, Skanska, Britt Aurell, SGI, Rolf Sävström, Sävab, Lotta Sigfrid, Bygg & Miljö Konsult. Men många fler har på ett mycket positivt sätt stött projektet.

Till denna rapport hör ett antal underlagsrapporter. Vidare har olika informationsinsatser vidtagits. Ett tvådagars seminarium hölls vid LTH i oktober 1998 om användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial.

Det är vår förhoppning att detta arbete nu skall leda till fortsatt utveckling både regionalt och nationellt. Det gensvar vi mött har varit mycket positivt vilket gör att vi är övertygade om detta också blir fallet. Vi i projektledningen vill framföra vårt stora tack till alla som bidragit till projektet.

Malmö i oktober 1999

Jan Hartlén

Raul Grönholm

Tommy Nyström

Jörgen Schultz

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|------|
| FÖRORD | ii |
| INNEHÅLLSFÖRTECKNING..... | iii |
| SAMMANFATTNING..... | vi |
| Allmänt..... | vi |
| Tekniska egenskaper..... | vii |
| Miljöegenskaper..... | vii |
| Marknadsförutsättningar | viii |
| SUMMARY..... | x |
| 1. INLEDNING..... | 1 |
| 1.1 Bakgrund..... | 1 |
| 1.2 Problemformulering..... | 3 |
| 1.3 Syfte..... | 3 |
| 1.4 Omfattning | 4 |
| 2. UNDERSÖKTA MATERIAL OCH METODIK FÖR KARAKTERISERING..... | 5 |
| 2.1 Val av material..... | 5 |
| 2.2 Karakterisering av material..... | 7 |
| 2.2.1 Tekniska egenskaper bestämda i laboratorium | 7 |
| 2.2.2 Miljömässiga egenskaper bestämda i laboratorium..... | 9 |
| 2.2.3 Fältverifikationer..... | 10 |
| 3. KROSSNING OCH PROVTAGNING AV BETONG OCH TEGEL..... | 12 |
| 3.1 Krossning av betong till väg 109 och tegel till Törringevägen och lättbetong..... | 12 |
| 3.2 Krossning av betong till väg 597 | 13 |
| 3.3 Krossning till Törringevägen..... | 14 |
| 3.4 Provtagning av krossad betong till väg 109, 597, tegel till Törringevägen och lättbetong | 15 |
| 3.5 Provtagning av betong till Törringevägen..... | 16 |
| 4. BETONG SOM FÖRSTÄRKNINGS- OCH BÄRLAGER – erfarenheter från väg 109 och väg 597..... | 17 |
| 4.1 Allmänt..... | 17 |
| 4.2 Provsträckan i väg 109..... | 17 |
| 4.3 Provsträckorna i väg 597..... | 18 |
| 4.4 Tekniska egenskaper bestämda i laboratorium | 20 |
| 4.4.1 Analys av krossad betong till väg 109 | 21 |
| 4.4.3 Analys av krossad betong till väg 597 | 23 |
| 4.4.4 Mekaniska egenskaper hos undersökt betong till väg 109 och 597 | 24 |
| 4.5 Tekniska egenskaper bestämda genom fältförsök | 27 |
| 4.6 Miljömässiga egenskaper – resultat från labanalyser och fältmätningar | 28 |
| 5. BETONG, TEGEL OCH SLAGGRUS SOM FÖRSTÄRKNINGS- OCH BETONG SOM BÄRLAGER - TÖRRINGEVÄGEN..... | 32 |
| 5.1 Allmänt..... | 32 |
| 5.2 Provsträckan i Törringevägen..... | 32 |
| 5.3 Karakterisering av materialegenskaperna hos krossad betong | 34 |
| 5.3.1 Tekniska egenskaper..... | 34 |
| 5.3.2 Miljömässiga egenskaper..... | 36 |
| 5.4 Karakterisering av materialegenskaperna hos krossat tegel..... | 36 |
| 5.4.1 Tekniska egenskaper..... | 36 |
| 5.4.2 Miljömässiga egenskaper i krossat tegel – resultat från labanalyser | 38 |
| 5.5 Karakterisering av materialegenskaperna hos slaggrus | 40 |

| | |
|--|----|
| 5.5.1 Allmänt..... | 40 |
| 5.5.2 Framställning..... | 40 |
| 5.5.3 Materialegenskaper | 41 |
| 5.5.4 Miljömässiga egenskaper – resultat från labanalyser | 41 |
| 5.6 Bärighet hos provsträckorna | 43 |
| 6. JÄMFÖRELSE MILJÖMÄSSIGA EGENSKAPER – krossad betong, tegel och slaggrus versus naturliga material..... | 45 |
| 6.1 Inledning | 45 |
| 6.2 Utlakningsegenskaper hos de undersökta restprodukterna | 45 |
| 6.2.1 Laboratorieförsök..... | 45 |
| 6.2.2 Tungmetallinnehåll i lakvattnet från de olika delsträckorna uppmätt i fält | 45 |
| Törringevägen..... | 45 |
| Väg 109 och 597 | 47 |
| 6.3 Riskklassificering enligt Naturvårdsverkets riktlinjer för dricks-, yt- och grundvatten..... | 48 |
| 6.4 Slutsats och diskussion..... | 50 |
| 7. ÅTERVINNING AV KALLASFALT – TRELLEBORG | 52 |
| 7.1 Allmänt..... | 52 |
| 7.2 Tillverkning av kallasfalt med Raps MB | 53 |
| Tekniska fakta - krossning:..... | 53 |
| 7.3 Utläggning av kallåtervunnen asfalt | 53 |
| 7.4 Materialegenskaper | 54 |
| 7.5 Vägegenskaper..... | 54 |
| 7.6 Miljömässiga förutsättningar | 55 |
| 7.7 Marknadsförutsättningar | 55 |
| 8. ÅTERVINNING AV LÄTTBETONG..... | 58 |
| 8.1 Allmänt..... | 58 |
| 8.2 Krossning av lättbetong | 58 |
| 8.3 Materialegenskaper | 59 |
| 8.3.1 Tekniska egenskaper..... | 59 |
| 8.3.2 Miljömässiga egenskaper..... | 60 |
| 9. ÅTERVINNING AV GIPS..... | 63 |
| 9.1 Allmänt..... | 63 |
| 9.2 Materialåtervinning..... | 63 |
| 9.3 Gips som jordförbättringsmedel..... | 64 |
| 9.4 Gips i kompost..... | 65 |
| 9.5 Övriga potentiella återvinningsmöjligheter | 65 |
| 9.6 Miljömässiga förutsättningar | 66 |
| 10. PLAST I ASFALT..... | 67 |
| 10.1 Allmänt..... | 67 |
| 10.2 Miljömässiga förutsättningar | 68 |
| 10.3 Ekonomiska och tekniska förutsättningar..... | 68 |
| 10.4 Slutsatser | 70 |
| 11. ÅTERVINNING AV SCHAKTMASSOR – Användning av lermoräner..... | 72 |
| 11.1 Inledning | 72 |
| 11.2 Tillverkning..... | 72 |
| 11.3 Materialegenskaper | 72 |
| 11.4 Erfarenheter..... | 74 |
| 12. RISKER VID ANVÄNDANDET AV RESTPRODUKTER..... | 75 |
| 12.1 Allmänt..... | 75 |
| 12.2 Begreppet risk..... | 76 |

| | |
|--|----|
| 12.3 Riskbedömning..... | 78 |
| 12.4 Tillämpning av föreslaget riskbedömningssystem..... | 79 |
| 12.5 Fortsatt arbete..... | 80 |
| 13. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÖKAD ÅTERANVÄNDNING..... | 81 |
| 13.1 Allmänt..... | 81 |
| 13.2 Tillgång och marknad | 81 |
| 13.2.1 Betong..... | 81 |
| 13.2.2 Tegel..... | 83 |
| 13.2.3 Slaggrus..... | 83 |
| 13.2.4 Gips | 84 |
| 13.2.5 Kallasfalt | 84 |
| 13.3 Miljömässiga förutsättningar | 85 |
| 13.4 Förslag till fortsatta utredningar/FoU | 86 |
| 14. UNDERLAGSRAPPORTER | 87 |
| 15. LITTERATURFÖRTECKNING..... | 88 |

SAMMANFATTNING

Allmänt

Det finns en klar tendens i samhället att minska förbrukningen av naturresurser. I regeringens skrivelse "Ekologisk hållbarhet" (skr.1997/98:13) anges tre övergripande mål för Sveriges väg mot ekologisk hållbarhet:

- Skyddet av miljön
- Effektiv användning av energi och andra resurser
- Hållbar försörjning av naturresurser.

Hållbar försörjning innebär att ekosystemens långsiktiga produktionsförmåga måste säkras. Så långt som möjligt skall målsättningen vara att försörjningen baseras på ett långsiktigt hållbart nyttjande av förnybara resurser. Det betyder att användningen inte långsiktigt kan överskrida den takt med vilken naturen skapar nya resurser och att material bör återvinnas i ett kretslopp. Man skall hushålla med icke förnybara resurser och kontinuerligt sträva efter förnybara ersättningar.

För att detta skall vara möjligt att återanvända restprodukter som ersättning för exempelvis naturgrus och krossat berg, t.ex. inom infrastrukturområdet, måste kvaliteten uppfylla ställda krav både vad avser tekniska som miljömässiga egenskaper.

Projektet har varit fokuserat på möjligheterna att i ett regionalt perspektiv finna alternativa material till grus och berg. Regionen som valts är sydvästra Skåne. Målsättningen har varit att:

- klargöra förutsättningarna att etablera en marknad för återvinningsmaterial
- klargöra framtagna produkters tekniska och miljömässiga egenskaper genom försök i laboratorie- och fältskala
- sprida kunskap om produkternas existens, egenskaper och möjliga användningsområden.

Det bedömdes vara mest intressant att studera betong, tegel, slagg från sopförbränning, lättbetong, kallasfalt och plast i asfalt. Förutom att dessa produkter är beständiga, produceras de i tillräcklig volym och utmärkes samtidigt av låg grad av återvinning/ återanvändning idag.

Materialens miljömässiga och tekniska egenskaper har studerats genom både laboratorieförsök och mätningar i fält på ett antal provsträckor som anlagts för ändamålet. Följande provsträckor ingick i projektet:

- Väg 109, Helsingborg: krossad betong i förstärkningslager
- Väg 597, Luleå: krossad betong i förstärknings- och bärlager
- Törringevägen, Malmö: Krossad betong i förstärknings- och bärlager samt tegel och slaggrus i bärlager.
- Trelleborg: Återvinning av kallasfalt
- Spillepengen, Malmö: Plast i asfalt (uppföljning)

Följande tekniska egenskaper har studerats i laboratorium: siktkurva, renhet, glödningsförlust, kulkvarnsvärde, packningskurva, vattenkvot, hållfasthet och beständighet. I fält har bärighet, styvhet och stabilitet hos provsträckorna analyserats.

Miljöpåverkan har i detta projekt hänförs till spridningen av salter och tungmetaller till omgivande yt- och grundvatten. De miljömässiga egenskaperna har undersökts genom lakningsförsök i laboratorium och uppsamling av lakvatten från provsträckorna.

Tekniska egenskaper

Krossning utfördes och det visade sig att kornstorleksfördelningen hos krossad betong och krossat tegel kunde uppfylla kraven i Väg 94. Slaggrusen har dock en för liten andel grovkomigt material för att uppfylla kraven. Halten organiskt material i både krossad betong och krossat tegel är låg och uppfyller kraven i Väg 94.

Analys av kornstorleksfördelningen visade att nedkrossningen av betong vid utläggnings- och packningsarbetet var obetydlig. Jämfört med bergmaterial har krossad betong dock låg frostbeständighet. Styvheten hos krossad betong i utförda vägar visade sig vara lika bra eller bättre än krossat berg. Styvheten hos betongmaterialet ökade under de första månaderna, vilket antas bero på karbonatisering av fri kalk i betongen och hydratisering av ohydratiserade cementkorn. Tegel och slaggrus uppfyllde inte kraven på förstärkningslager. I sammanhanget skall påtalas att försöken i Törringevägen utfördes under en period då schaktbotten var mjuk och även naturmaterial fick för låg bärighet.

Miljöegenskaper

För att uppnå ett livskraftig/sustainable utveckling krävs att det sker på ett sätt som inte innebär risk för negativ miljöpåverkan. Det finns inget som heter riskfritt men det krävs att man för aktuell typ av restprodukt, aktuell tillämpning, aktuell mängd baserat på lokala förhållanden skall kunna ge underlag för en tillförlitlig miljövärdering (riskanalys).

Utlakningsförsök utgör ett grundläggande test för undersöka utlakningsegenskaperna hos ett specifikt material och dess beroende av pH, redoxpotential, saltkoncentration, halt av organiska ämnen och vattenflödet som perkolerar igenom. Tre olika lakningsmetoder användes och utvärderades tillsammans med mätningar i fält för att karakterisera den verkliga lakningen.

Lakförsöken i laboratorium visade att de tillgängliga (utlakbara) mängderna av kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), bly (Pb) och zink (Zn) är 2-5 gånger högre för krossad betong jämfört med naturmaterialen som använts som referens. Jämfört med naturmaterialen var de tillgängliga mängderna av Cd i krossat tegel jämförligt, Cr, Cu, Pb och Zn 2-5 gånger större, medan för Ni var den en faktor 10 lägre. De tillgängliga mängderna av Cu och Pb i slaggrus var i storleksordningen 1000 gånger större och den tillgängliga mängden av Zn var 300 gånger större än för naturmaterialen.

Undersökningarna av utlakningshastigheten för tungmetaller visade att utlakningshastigheten för metallerna kadmium, krom och nickel var signifikant lägre för slaggrus jämfört med tegel och betong. Däremot lakades koppar ut ur slaggruset med en faktor 100 snabbare jämfört med tegel och betong. Bly utlakades lättare ur betong än både slaggrus och tegel.

Resultaten visar att utlakningen i fält, med undantag av bly och koppar är mycket låg jämfört med den tillgängliga mängden och de resultaten från försök där man lakat ur materialet vid olika L/S-nivåer. Halten av Cu och Pb är signifikant högre i lakvattnet från den krossade betongen jämfört med bergkrosset. Utlakningen i fält från slaggruset och bergkrossen är jämförligt med undantag av Pb där bergkrossen visar mycket låga halter.

Enligt Naturvårdsverkets riskmetodik för ytvatten klassas tungmetallhalterna i lakvattnet, med undantag av bly och koppar, som "mindre allvarligt". I kapitel 6 görs en jämförelse mellan naturmaterial och olika restprodukter. I kapitel 12 diskuteras vidare hur ett mer generellt system för riskvärdering av restprodukter bör byggas upp. I Hartlén et al (1999) beskrivs hur ett sådant system kan etableras. I detta projekt har således endast en enkel jämförelse gjorts med Naturvårdsverkets riktvärden för yt- och dricksvatten.

Marknadsförutsättningar

Förutsättningar för att etablera marknad för restprodukter beror på:

- kvalitetskrav, beroende av respektive avnämares förutsättningar
- kapacitetskrav, dvs. avnäman måste kunna garanteras rätt mängd vid rätt tidpunkt
- garanterad jämn kvalitet
- fungerande insamlings- och hanteringssystem.

De ekonomiska förutsättningarna när det gäller återvinning är främst baserade på följande faktorer:

- alternativ deponikostnader
- behandlingskostnad; sortering, krossning, malning
- transportavstånd
- alternativkostnad; dvs. för konkurrerande, och ofta mer etablerade produkter.

Tillgången på betong i sydvästra Skåne har under de tre senaste åren varit ca 70-80 kton per år. Betongen kommer från olika tre olika verksamheter, infrastruktur (vägar, broar och järnvägar) och från byggsektorn (husrivningar, ombyggnader, nyproduktion) och produktionsrester från betongtillverkning (rör, prefabricerade väggar).

Marknadsförutsättningar för krossad betong bedöms som goda, under förutsättning att kvaliteten kan upprätthållas och att priset är konkurrenskraftigt gentemot jungfruliga material typ 0-100 mm fraktionen.

Tillgång på tegel bedöms vara mer begränsad än för betong. Tegel finner även annan mer "kvalificerad" användning som återanvändning som tegelsten, men det kommer att krävas nyttiggörande också i annan form, där rivningen inte är selektiv. Bedömningen är att det finns en god marknad för krossad tegel. Redan idag är det ibland brist vilket beror på att krossad tegel används med gott utbyte i temporära vägar.

Sammanställning visar att det finns stora förutsättningar att finna avsättning för slag från avfallsförbränning. Man kan samtidigt konstatera att deponeringsskatt kan vara ett motiverat sätt att medverka till större andel återanvändning. Även utan en sådan skatt finns goda förutsättningar för återanvändning. En god och jämn kvalitet hos slagen

samt ökande kostnad för naturmaterial ökar möjligheten till nettovinst även utan deponeringsskatten. Det krävs dock särskilda miljöhänsyn vid användning av slaggrus.

Enligt beräkning bryts årligen ca 2,7 miljoner ton asfalt upp. Utav detta läggs uppskattningsvis ungefär 1 miljon ton på upplag i väntan på eventuell återvinning. Flera kommuner har upplagrade asfaltmassor som lämpar sig för kallåtervinning. En grov skattning är att det finns flera miljoner ton uppbruten asfalt på upplag. Renhetsgraden hos dessa massor varierar dock. Utav den återvinning som sker idag är ungefär 60 - 70 % kallåtervinning respektive halvvarm återvinning (mer energikrävande). Övrig återvinning är varmåtervinning i stationära asfaltverk.

Erfarenheter av utläggning av kallasfalt med Raps MB kan tjäna som underlag för erforderlig modifiering av recept för att kunna tillfredsställa olika behov samt för att kunna fastställa rekommendationer avseende underbyggnad, förberedande arbeten samt beläggningsarbete. Det bedöms att ytterligare produktutveckling krävs.

SUMMARY

General

The Swedish government has put forward three general goals for ecological sustainability:

- Environmental protection
- Effective use of energy and natural resource
- Sustainable supply of natural resources

Sustainable supply of natural resources implies that the long-term productive capacity of the ecosystems may not be jeopardized. The supply of raw materials must be founded on the use of renewable resources. The use of natural resources must not exceed the rate at which these resources are renewed.

In order to utilize residues as alternative materials for construction purposes, in favor of using natural resources such as gravel and crushed rock, the quality criteria as defined in regulations must be met.

The Swedish Environmental Protection Agency has supported a large project how to utilise residues in civil engineering projects. The project has been organised by Sysav and with Dr Jan Hartlén as project leader. Private companies, Lund Institute of Technology and research institutes have been involved in the research projects, also by giving financial support. The aim of the research has been to find applications of residues as construction material in roads.

This project has been focused on investigating the possibilities to find alternative materials that could be used in the region of Southwest Scania and thus save natural resources. The objectives were:

- clarify the conditions for establishing a market for secondary materials.
- characterize the technical and environmental properties of some selected secondary materials.
- spread know-how of these materials, their existence, characteristics and fields of application.

Concrete, tiles, bottom ash from incineration of waste, light concrete, recovered asphalt and shredded plastic as a component in asphalt was considered to have a large potential as secondary materials. These materials are durable, produced in sufficient amounts and are today only recovered to a limited extent.

The technical and environmental properties were characterized in laboratory tests and field tests. A number of road sections were constructed for tests under actual field conditions. The following test sections were constructed within this project:

- Road 109, Helsingborg: crushed concrete as reinforcement layer.
- Road 597, Luleå: crushed concrete as bearing- and reinforcement layer.

- The Törringe road, Malmö, crushed concrete as bearing- and reinforcement layer and tiles and bottom ash as bearing layer.
- Trelleborg: recovery of asphalt.
- The Spillepeng waste treatment plant, Malmö: shredded plastic as a component in asphalt.

The following technical properties have been studied in laboratory: grain size distribution, pollutants, loss on ignition, durability, compaction properties, water content, strength and durability. Bearing capacity, stiffness and stability for the test roads were studied in the field. The environmental impact was attributed to the emissions of salts and heavy metals to the groundwater and the surrounding surface waters.

Engineering properties

The grain size distribution for crushed concrete and tiles met the standards that is set in *Väg 94*. The fine fraction in bottom ash was too small in order to meet the standards. The content of organic substances was low and met the standards for both crushed concrete and crushed tiles.

An analysis showed that the grain size distribution for crushed concrete was hardly affected by the spreading and compaction of the material, which was done during the construction of the road sections. Compared to crush hard rock, the frost-proof and stiffness properties for concrete was better. Tiles and bottom ash did not meet the standards for road base material.

Environmental properties

Three different leaching tests were used to characterize the materials. The tests showed that the available amounts of cadmium, chrome, nickel, lead and zinc were 2-5 times higher for crushed concrete compared to the natural materials. The available amounts of cadmium in tiles was comparable to natural materials, whereas chrome copper, lead and zinc were 2.5 times higher and nickel was 10 times higher. The available amounts of copper and lead were in the order of 1000 times higher and zinc was 300 times higher compared with the natural materials.

Investigation of the leaching rate for cadmium, chrome and nickel were significantly lower for bottom ash and about a 100 times higher for copper, compared to crushed concrete and tiles. The leaching rate of lead was higher for concrete, compared to tiles and bottom ash.

Under actual field conditions very low concentrations were measured with the exception of lead and copper from the crushed concrete which were somewhat higher than the leaching from crushed hard rock.

Market conditions

The conditions for establishing a market for secondary materials depends on:

- quality requirements, which depends on the consumer and the field of application
- capacity requirements, the consumer must be guaranteed the right amount at the right time

- a stable quality
- a collection- and management system that works well.

The economical conditions are based on the following factors:

- alternative landfill cost
- treatment cost, sorting, shredding, crushing
- transport distance
- alternative cost, competing products

The annual availability of concrete in the southwest of Scania during the last three years has been 70-80 kton. The market conditions are considered to be good under the condition that a high quality can be maintained and the price is competitive. The availability of tiles is estimated not to be as good as for concrete, but the market conditions are still considered to be good. Also the market conditions for bottom ash are considered to be good. This is due to the landfill tax and a high and even quality of the bottom ash. However, special attention must be paid to the risk for environmental impact.

Annually 2,7 Mton asphalt residues is produced. It is considered to be a market but further development is needed.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

I januari 1997 lämnade regeringen en skrivelse till riksdagen ”På väg mot ett ekologiskt hållbart samhälle” (skr. 1996/97:50, bet. 1996/97:JoU11, rskr. 1996/97:187). Den beskrev pågående arbete med att utveckla strategier för ekologisk hållbarhet inom olika samhällssektorer. I regeringens skrivelse ”Ekologisk hållbarhet” (skr.1997/98:13) angavs tre övergripande mål för ekologisk hållbarhet:

- Skyddet av miljön, vilket innebär att utsläppen av föroreningar inte skall skada människans hälsa eller överskrida naturens förmåga att ta emot eller bryta ner dem.
- Effektiv användning av energi och andra resurser, flödena av energi och material bör begränsas så att de är förenliga med en hållbar utveckling.
- Hållbar försörjning av naturresurser, vilket innebär att ekosystemens långsiktiga produktionsförmåga måste säkras

Regeringens övergripande mål för det miljöpolitiska arbetet är att till nästa generation kunna lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta. Med propositionen Svenska miljömål - Miljöpolitik för ett hållbart Sverige (prop. 1997/98:145) föreslår regeringen en ny struktur för arbetet med miljömål i Sverige. I propositionen föreslår regeringen 15 nationella miljö kvalitetsmål, vars syfte skall vara att ange vilket miljö tillstånd som skall uppnås inom en generation.

Restproduktanvändning ligger i linje med övergripande målsättningarna att *effektivisera användning av naturresurser* och att *hushålla med icke förnybara resurser*. Samtidigt kan de miljömässiga effekterna av restproduktanvändning stå i kontrast med ett annat övergripande mål för ekologisk hållbarhet, *skyddet av miljön*, och miljö kvalitetsmålen *god bebyggd miljö* (miljömål 11) och *giftfri miljö* (miljömål 12).

Internationellt arbetar man idag efter en avfallshierarki, som innebär att följande prioritering skall gälla, där första punkten har högst prioritet:

1. avfallsminimering
2. återanvändning
3. återvinning
4. energiutvinning
5. deponering.

Det finns ett behov att finna användningsområden för restmaterial från olika verksamheter, där materialet inte kan återföras direkt i processen. Hit hör bygg- och rivningsavfall, slagger från industriella processer och förbränning samt schaktmassor inklusive uppbruten asfalt. Dessa restmaterial leder ofta till stora volymer som, om de inte återvinns, kräver stora deponivolymer. Nackdelen med återvinning är att materialet kan bli nedgraderat genom att det betraktas som ett avfall av producenten.

Flera myndigheter har betonat behovet av en ökad restproduktanvändning och utveckling av riskbedömningsmetodik. På uppdrag av regeringen har Naturvårdsverket gjort en samlad bedömning behovet av forskning för att understödja en hållbar samhällsut-

veckling. I rapporten *Miljöforskning för en hållbar utveckling* (Naturvårdsverket, 1999d) preciseras forskningsbehovet kopplat till miljökvalitetsmålen. Ett antal prioriterade forskningsområden har också angetts varav de följande är relevanta för denna rapport: *Verktyg för miljöanalys och indikatorer* och *Hållbar materialanvändning/miljösäkring av restprodukter som råvara*.

Vägsektorn är den avgjort största nyttjaren av naturliga ballast material i Sverige (Vägverket, Publ.1996:29). Den årliga förbrukningen inom vägsektorn var 1996 drygt 50 Mton, vilket motsvarar ca 60 % av den totala förbrukningen. Vägverket svarade för en förbrukning på ca 15 Mton. Återvinningen av ballastmaterial från vägar är fortfarande låg. Det finns också andra användningsområden för sekundära(inerta) restprodukter. Hit hör fyllningsmassor, lastbärande fyllningar, i bullervall etc. I Vägverkets inriktningsprogram för forskning och utveckling åren 2000 - 2009 är en av de prioriterade uppgifterna inom målområde *God Miljö* att utveckla en långsiktigt hållbar resurshushållning inom väg- och gatuhållningen. Målsättningen är att:

- ta fram kunskap om hur återvinningsbara material och restprodukter kan användas och värderas ur ett kretsloppsperspektiv samt utveckla naturresurssnåla konstruktioner så att materialanvändningen vid väg- och gatuhållningen kan optimeras i ett långsiktigt samhällsperspektiv.
- möjliggöra miljösäker användning av restprodukter från annan verksamhet än väg- och gatuhållningen, t ex förbränningsaskor och slaggar genom lämpligt utformade konstruktioner och krav på restprodukterna.

I ett av byggforskningsrådet insatsområde för forskning och utveckling, *Miljö och kretslopp i byggande och förvaltning*, delområde Teknik och metoder för miljöanpassning, efterlyses metoder för kvalitetssäkring av återvunna material för att kunna använda eller återvinna materialen flera gånger och därmed ersätta uttag av råvaror. Inom delområde *Värderingsmetoder* prioriteras bl.a. Utveckling av metoder och modeller för miljövärdering av byggnader, system, konstruktioner och material samt riskanalys.

Forskning och utvecklingsarbete om restprodukters tekniska och miljömässiga egenskaper har bl.a. finansierats av Avfallsforskningsrådet (AFR/AFN) inom programområdet *miljöanpassad restproduktanvändning*, MISTRA, Kommunikationsforskningsberedningen (KFB), Vägverket, Banverket och Boverket. Den 28-29 oktober 1998 hölls ett uppmärksammat seminarium i Lund om användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial (Sigfrid, 1999). Seminariet behandlade följande områden:

- Praktiska erfarenheter av att använda alternativa material och framtida förutsättningar
- Redogörelse för FoU - verksamhet inom de berörda myndigheterna och bransch.
- Tekniska egenskaper hos restprodukterna
- Miljöriskvärdering vid användande av restprodukter.

Avfallsforskningsrådet beviljade SYSAV utvecklingsmedel för att i detta projekt studera förutsättningarna att ersätta naturliga sten- och grusmaterial med restprodukter. Projektet är fokuserat på möjligheten att använda mer restmaterial för att därmed spara på naturresurserna, och då i första hand i infrastrukturprojekt

1.2 Problemformulering

Naturmaterial anses normalt inte skapa några miljömässiga problem. Kommer däremot materialet från en process, där det betraktas som ett avfall, ökar kravet på att visa att materialet inte orsakar miljöproblem vid utläggning och senare genom utlakning av miljöstörande ämnen. För att det skall vara möjligt att återanvända restprodukter måste kvaliteten därför uppfylla ställda krav med avseende på såväl tekniska som miljömässiga egenskaper. För att kunna ta ställning till om en specifik restprodukthanvändning innebär en godtagbar miljöpåverkan krävs bedömningsgrunder eller kriterier som bygger på en bedömning av risken för allvarlig skada för hälsa eller ekosystem.

För att åstadkomma en accepterad användning av sekundära material krävs det därför att användningen är baserad på sunda och accepterade grunder. Detta kan åstadkommas genom

- kvalificerad miljöriskbedömning
- kvalificerad information till allmänhet, myndigheter och brukare
- kvalitetssäkring av materialet
- demonstrationsprojekt

I Sverige finns inga kriterier som reglerar restprodukthanvändningen. Nyligen har dock ett antal arbeten presenterats där miljöegenskaperna hos energiaskor (Carling och Hjalmarsson, 1998), slaggrus (Fällman et al., 1999) har undersökts. Grunden för att utarbeta en riskbedömningsmetodik vid restprodukthanvändning vid anläggningsbyggande har lagts av Hartlén et al. (1999). I rapporten presenteras en generell struktur för en integrerad riskbedömningsmodell och de existerande relevanta riskbedömningsverktyg som tagits fram i Sverige inom närbesläktade områden. Svenska Kemikalie Inspektionens klassificeringssystem för kemiska produkter, Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för åker- och skogsmark, luft, sediment, yt- och grundvatten, generella riktvärden för förorenad mark samt Geo- och bergtekniska gruppens (MGG, 1998) procedur vid val av injekteringsmedel med avseende på hälso- och miljöfarlighet.

Förutom godtagbara tekniska och miljömässiga egenskaperna krävs, för att nå en restprodukthanvändning av betydelse, att:

- normer finns som reglerar användningen
- konsulter och entreprenörer har praktisk erfarenhet
- relevanta kontrollmetoder finns utprovade
- ekonomiska förutsättningar finns för de inblandade.
- marknad/konkurrens (tillgång/efterfrågan) finns

1.3 Syfte

Projektets målsättning har varit att:

- klargöra förutsättningarna att etablera en marknad för återvinningsmaterial inklusive erforderliga behandlingsanläggningar.

- klargöra framtagna produkters tekniska och miljömässiga egenskaper genom försök i lab- och fältskala
- sprida kunskap om produkternas existens, egenskaper och möjliga användningsområden.

Projektets genomförande har för att uppnå dessa syften skett i nära samverkan med statliga och kommunala myndigheter liksom med branschen.

1.4 Omfattning

För att konkretisera ovanstående syfte har regionen sydvästra Skåne valts som studieobjekt. I regionen ingår 9 kommuner med sammanlagt 500.000 innevånare. Konsumtionen av naturgrus och bergkross i regionen är 3 à 4 miljoner ton. Denna konsumtion är större än produktionen varför en import på ca 1 miljon ton sker årligen. Det bedöms att med nuvarande förbrukning kommer sand- och grustillgångarna vara slut om ca 10 år. Detta är otillfredsställande.

Projektet har fokuserats på:

- de restprodukter som uppkommer i regionen och som bedöms ha sådan volym och sådana egenskaper att de kan ersätta de naturmaterial som används.
- förutsättningar för olika restmaterial att användas inom infrastrukturområdet.
- homogenitet och egenskaper hos restprodukterna.
- möjligheter/hinder för nyttiggörande, såväl tekniska som miljömässiga.
- marknadsförutsättningar.

De produkter som studerats i projektet är betong, tegel, slagg från avfallsförbränning, gips och lättbetong. Även andra pågående aktiviteter vid SYSAV har beaktats såsom återvinning av metall och byggnadsglas. Användning av gips som jordförbättringsmedel har även diskuterats.

Projektet har av AFN hänförts till gruppen demonstrationsprojekt. Detta innebär att projektet har drivits i nära samverkan med branschen och med utnyttjande av andra AFN satsningar. Projektet har varit uppdelat i ett antal delprojekt för att lättare kunna styra inriktningen och uppnå målen. Följande delprojekt har ingått:

1. tillgång på restprodukter, marknadsförutsättningar
2. insamling/mottagning, behandling, framställning av utvalda produkter
3. egenskaper och kvalitetssäkring
4. fältundersökningar
5. kunskapsspridning.

2. UNDERSÖKTA MATERIAL OCH METODIK FÖR KARAKTERISERING

2.1 Val av material

Valet av material som skulle ingå i projektet kopplades till projektets inriktning på det regionala perspektivet. Detta innebar att en genomgång gjordes inledningsvis av vilka restmaterial som fanns i regionen och som kunde tänkas bli återvunna. De krav som ställdes var att materialet skulle vara beständigt och i princip uppfyller materialkraven enligt anvisningar utgivna av myndigheter, t.ex. Vägverket. Vidare skulle tillräcklig mängd material vara tillgänglig i regionen.

I rapporten *Kartläggning av materialflöden inom byggnads- och anläggningsbranschen* (Naturvårdsverket, 1996) klassificeras restmaterial i följande grupper: betong, gipsskivor, mineralull, plast (organiskt material), fogmassor, glas, trä, metall, tegel/keram, byggsten, sand/sten, lättbetong, takpapp, avjämningsmassa, asbestcement, linoleum, färg, textil och asfalt. I detta projekt har hänsyn tagits till denna klassificering. Materialet har delats in i följande grupper: betong, tegel, slagg, lättbetong, lättklinker, gips, glas, asfalt, schaktmassor och övrigt. Volymer för de olika grupperna framgår av nedanstående tabell 2.1. Organiskt material som linoleum färg, textil och liknande tas inte upp då de inte är relevanta i gruppen mineraliska material.

Tabell 2.1. Volymer olika restprodukter och graden av återvinning och återanvändning.

| Materialtyp | Mängd i kton, Sverige ¹⁾ | Materialåtervinning, % | Materialåteranvändning, % | Mängd i kton, SYSAV-regionen ²⁾ |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|--|
| Betong | 1 060 | 20 | < 1 | 60-80 |
| Tegel | 290 | 10 – 20 | < 5 | 20 |
| Slagg, avfallsförbr. | 340 | 0 | < 1 | 45 |
| Lättbetong | 88 | 10 | 0 | 0,6 |
| Gipsskivor | 31 | < 5 | < 2 | 0,4 |
| Glas | 14 | < 1 | 35 | |
| Asfalt | 2 700 | 0 | 60 | >100 |
| Schaktmassor | > 540 ³⁾ | 0 | 90* | >2.000 |
| Byggsten | 470 | 0 | 90 | |
| Metall | 180 | 60 – 80 | | 0,26 |
| Asbestcement | 40 | 0 | 0 | |
| Lättklinker | ? | ? | ? | |
| Mineralull | 17 | 1 | - | |

¹⁾ avser 1996 (SNV 4659)

²⁾ avser 1997/98

³⁾ avser bara sand och sten.

I detta projekt bedömdes det vara mest intressant att studera betong, tegel, slagg från sopförbränning, lättbetong och kallasfalt och plast i asfalt. Förutom att de uppfyller be-

ständighetsaspekten kan man utifrån tabell 2.1 konstatera att dessa material produceras i tillräcklig volym och utmärkes samtidigt av låg grad av återvinning/återanvändning.

Under ett år frigörs drygt 960 000 ton betong från bygg- och rivningsverksamhet. Största delen deponeras eller läggs på fyllnadstippar. Utländska erfarenheter och svenska forskningsrapporter indikerar att betong som krossas från rivna konstruktioner av hus har goda egenskaper och kan användas som vägbyggnadsmaterial dvs. förstärkningslager efter bearbetning. I Vägverkets norm VÄG 94 räknas betong som restprodukt. Därmed måste det bevisas att betong har minst lika bra materialegenskaper som ett konventionellt vägbyggnadsmaterial. Betongen får inte heller miljömässigt påverka omgivningen.

I projektet har SYSAV undersökt möjligheterna att återvinna tegel. Varje år rivs ca 290 000 ton tegelsten i Sverige. Rivningsarbetet bör göras så försiktigt att tegelstenarna kan återanvändas i nya tegelväggar. Det är ibland inte möjligt att återanvända tegelstenarna. Detta kan bl.a. bero på att bruket som användes var cementbruk vilket är hårdare än själva tegelstenen eller ont om tid och arbetskraft för rivnings- och sorteringsarbete. Eftersom tegelkross används som vägbyggnadsmaterial i bl.a. Danmark undersöktes krossat tegels lämplighet som vägbyggnadsmaterial enligt den svenska normen VÄG 94.

Internationellt har slaggrus funnit stor användning i vissa länder (Born, 1995, Chandler et al, 1997). Således är graden av återanvändning 100% i Holland, 70 % i Danmark och 50 % i Tyskland. I Sverige återanvänds i princip ingen slagg, bortsett från inom anläggningarna för t.ex. vägar. Det har under en längre tid pågått försök i Sverige att använda slaggen från avfallsförbränning (Lundgren & Hartlén, 1991). Erfarenheterna är genomgående goda men det saknas likväl regler som gör en större användning möjlig. Slagg från avfallsförbränning har egenskaper som visat sig förändras med den första tiden efter utmatningen från förbränningskammaren. För att erhålla bästa kvalitet skall inte aska från rökgasgångarna blandas in i slaggen och inte heller flygaskan och andra rökgasrening produkter. Slaggen innehåller även metallskrot och större material som inte kunnat förbrännas, såsom betongskrot. Slaggen homogeniseras därför genom siktning och metallavskiljning. Siktningen innebär normalt att material större än 40 à 50 mm avskiljs. Grovkornigt material läggs normalt på tipp. Metallen kan normalt säljas även om marknadspriset varierar över tiden. Fördelningen av de olika fraktionerna är 14 % grovskrot, 4 % finskrot, 75 % slagg och 7 % rejekt (tegel, betong m.m.), (Lundgren & Hartlén, 1991). Slaggen som matas ut kräver en viss tid för att oxidera och bli stabil. Detta sker genom att askan lagras i slagghögar under några månader. Olika länder har olika krav, men normalt krävs minst tre månaders lagring.

Inom detta projekt har kall återvinningsteknik för asfalt valts att studeras bland annat eftersom det är gynnsamt ur lokalt och därmed också miljömässigt perspektiv. Praktiska försök med kallåtervunnen asfalt med Raps MB som tillsats har utförts i syfte att utvärdera de tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningarna för denna produkt som belägningsmassa bl.a. på lågtrafikerade mindre vägar.

Återanvändning av byggsten, metaller och glas har inte studeras i detta projekt. Byggsten utgör enligt SNV 4659 en förhållandevis stor volym. Byggsten utgörs av gatsten och natursten och därför ha stora förutsättningar att återanvändas utan särskild forskning. Metaller och glas bedöms inte ligga inom detta projekt då omfattande forskning

pågår inom industrin. Målet är att dessa material inte skall bli aktuella att använda som mineraliska massor.

Forskningen avseende återanvändning av schaktmassor genom stabilisering redovisas i kap.11. Dessa utgör de största volymerna av material som kan bli kvalificerade massor. Forskningen pågår som ett industridoktorandprojekt vid LTH med stöd av PEAB och NUTEK.

Gipsskivor bedöms ha små förutsättningar att användas som mineraliskt material. Där-
emot pågår försök inom SYSAVs ram tillsammans med Statens Lantbruks Universitet (SLU) för att använda gips i jordförbättringsmedel. Denna forskning beskrivs i kap. 9.

2.2 Karakterisering av material

Egenskaperna hos de olika undersökta restprodukterna i projektet har studerats såväl i laboratorium som i fält. Analysmetoderna beskrivs nedan.

Karakteriseringen av de fysikaliska/tekniska egenskaperna har begränsats till homogenitet samt hållfasthets-, packnings- och beständighetsegenskaper.

Miljöpåverkan har i första hand hänförs till spridning av föroreningar till yt- och grundvatten. Materialens egenskaper i detta hänseende har undersökts genom lakningsförsök i laboratorium och mätningar i fält.

2.2.1 Tekniska egenskaper bestämda i laboratorium

För att materialens egenskaper skall kunna bestämmas krävs att representativa prover tas ut och testas. Vidare krävs en tillräckligt stor provmängd för att resultatet skall vara statistisk signifikant.

Följande egenskaper har analyserats:

Siktkurva (kornfördelning); ger indikation på ett material mekaniska egenskaper, t.ex. skjuvhållfasthet, bärförmåga, permeabilitet och tjälkänslighet. Ett ensgraderat material innehåller i stort sett bara en kornfraktion och kornstorleksfördelningskurvan blir brant. Ett välgraderat material har en flack kornstorleksfördelningskurva. Ett välgraderat material anses vanligen som stabilare, motståndskraftigare mot erosion samt ha högre hållfasthet och lägre permeabilitet än ett ensgraderat material.

Renhet; används för att klargöra innehållet av främmande ämnen främst organiskt material som trä, plast, tapeter osv. Detta är framför allt viktigt att bestämma för bygg- och rivningsavfall.

Glödningsförlust; utgör ett mått på mängden brännbar substans (LOI; loss on ignition). Förekomst av organiskt material leder till sämre stabilitet hos materialet samt risk för nedbrytning med tiden. Redan vid 550° C avges ungefär 80 vikt-% av allt kemiskt bundet vatten i betong (E Hellsing-Atlassi, 1998). Uppvärmning till 550° C kan därför ifrågasättas som lämplig temperatur vid undersökning av halt organiskt material i krossad betong. Att analyserna ibland utförs vid 800° C bör ändras.

Kulkvarnsvärde; används för att bedöma tendensen till nedbrytning vid utläggning och packning samt senare av trafikbelastning. Kulkvarnsvärdet anses som mindre lämpat för restprodukter, men det saknas för närvarande alternativa provningsmetoder.

Packningskurva; används för att bestämma materialets packbarhet. Med ett materials packningsegenskap avses hur väl det går att packa materialet vid olika vatteninnehåll. Genom att mäta materialets torrdensitet vid olika vattenkvoter är det möjligt att avgöra vid vilken vattenhalt (vattenkvot) som materialet kan packas bäst (maximal torrdensitet). Vid maximal torrdensitet är porositeten som minst och därmed är också tendensen till sättningar minimerad.

Vattenkvot definieras som

$$w_g = m_w/m_s \quad (\text{vikt-\%}), \quad m_w \text{ är porvattenvikt och } m_s \text{ är vikt på fast material}$$

och torrdensitet definieras som

$$\rho_d = m_s/V \quad (\text{ton/m}^3), \quad m_s \text{ är vikt på fast material}$$

V är volym på summan av porgas, porvatten och fast material.

Den vattenkvot som ger maximala torrdensiteten vid inpackningen benämns optimal vattenkvot. I vissa material med självhårdnande egenskaper förbrukas en del av vattnet i kemiska reaktioner, vilket innebär att vattenkvoten normalt bör vara högre för krossad betong än den som bestäms vid inpackningsförsök.

Hållfasthetsparametrar, normalt bestäms hållfastheten hos betong m.m. genom enaxliga tryckförsök. För korniga material som krossat material, slagger m.m. bör triaxialförsök användas, varvid kohesionen och friktionsvinkeln bestäms liksom styvheten (E-modulen).

Beständighet; hit hör frågan om materialet bryts ner med tiden av frysning/tinging eller andra processer. Även härdningsprocesser kan ske. Det finns ett stort antal metoder att välja mellan som är mer eller mindre ”aggressiva”.

Omfattningen av de fysikaliska undersökningar har summerats i tabell 2.2.

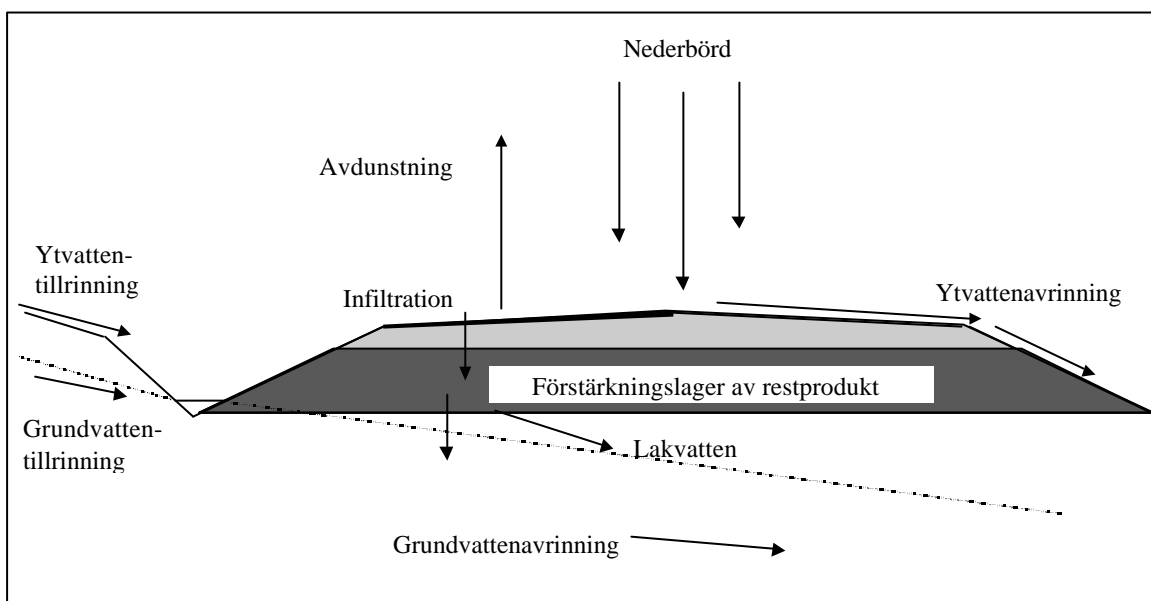
Tabell 2.2. Typ av undersökningar utförda i laboratorium

| | Provtagning | Kornförd. | Renhet | Adsorption | LOI | Kulkvarn | Kalkinnehåll | Packningskurva | Triaxialförsök |
|-----------|-------------|-----------|--------|------------|-----|----------|--------------|----------------|----------------|
| Betong | x | x | x | x | x | x | X | x | x |
| Tegel | x | x | x | x | x | x | X | x | |
| Lättdtg | x | x | x | | | | | x | |
| Slagggrus | x | x | | | x | | | x | |
| Asfalt | x | | | | | | | | |
| Gips | x | | x | | | | | | |

2.2.2 Miljömässiga egenskaper bestämda i laboratorium

I detta projekt har miljöegenskaperna koncentrerats till risken för att salter och tungmetaller skall laka ur från materialet och förorena jord liksom yt- och grundvatten.

Med utlakningshastighet beskrivs hur stor mängd av olika tungmetaller som frigörs från ett material med det vatten som passerar genom materialet. Tungmetallers utlakningshastighet ur ett obundet vägbyggnadsmaterial beror på många olika faktorer såsom överbyggnadens täthet, nederbörds mängder och halt finkornigt material i väglagret (se figur 2.1).



Figur 2.1 Faktorer som påverkar genomströmningen i ett vägbyggnadsmaterial

Det finns ett flertal sätt att utföra lakförsök i laboratorium. Genom CEN TC 292 är metoderna på väg att standardiseras. I första hand bestäms den kemiska sammansättningen hos materialet genom att kemiskt lösa upp materialet och bestämma den kemiska sammansättningen. Denna analys benämns i denna rapport *totalinnehåll*.

För att bestämma vad som inte är inneslutet i stabila mineraler och som därmed kan laka ut utfördes *tillgänglighetsförsök*. Metodiken som använts är Nordtestmetoden ENVIR 003. Den uppmätta utlakade mängden förutsätter att utlakningen sker under mycket lång tid (tusenårsperspektivet), avsevärt längre än en vägs tekniska livslängd (ca 40 år). Ingen hänsyn tas till om materialen ligger skyddade för regn i en vägkropp.

För att kunna göra en miljökonsekvensanalys krävs också att man känner vilken utlakning som sker över tiden. Normalt avklingar halterna med tiden. Men det finns material där vissa metaller börja laka ut mer när exvis pH-värdet sjunker från ett ursprungligen högt värde. Detta gäller exvis utlakning av koppar från sopslagg. För att ge underlag att beskriva utlakningen med tiden har utlakningen bestämts vid två "tidpunkter", vilka representeras av förhållandet genomströmd vattenmängd (producerad mängd lakvatten) benämnd L och den massa som vattnet strömmat igenom, benämnd S. Försöken har

utförts vid kvoten $L/S = 2$ och 10. Dessa L/S -kvoter motsvarar olika lång tid beroende på faktorer som om vägytan är tät (vilket leder till litet L), om lagret med restprodukt är tjockt eller tunt (Tjockt lager leder till högt S) osv.

Miljömässiga undersökningar har haft en omfattning enligt tabell 2.3.

Tabell 2.3 Utförda miljöundersökningar i laboratorium

| | Total- innehåll | Tillgäng- ligt | CEN L/S 2 & 10 |
|------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Tegel | x | x | x |
| Lättbetong | x | x | |
| Betong | x | x | x |
| Slagg* | (x) | (x) | (x) |

* Utförd tidigare, se Evertsson et al, (1997)

2.2.3 Fältverifikationer

I fält har de fysikaliska egenskaperna analyserats främst vad avser packbarhet och bärrighet.

En vägs **bärrighet** kan beskrivas som dess förmåga att bära trafik utan att deformeras. Belastningen som trafiken orsakar definieras som ett antal standardaxlar med bestämd vikt och tryck mot vägytan under vägens tekniska livslängd. Bärrighet brukar definieras genom begreppen styvhet och stabilitet.

Styvheten hos en väg definieras dess förmåga att motstå deformation. Styvheten kan bestämmas dels för ett speciellt lager, t ex förstärkningslagret eller för hela vägkonstruktionen (terrass, skydds-, förstärknings- och bärlager). Ju styvare vägen är desto mindre trycks den samman under ett fordon. Styvheten anges som en elasticitetsmodul (E-modul) och mäts i MPa.

Stabilitet hos ett material beskriver materialets förmåga att motstå en belastning utan att deformeras permanent. Permanent (plastisk) deformation beror på att materialet packats samman tätare, omlagrats i sidled eller krossats ner till mindre partiklar, som packats tätare. Ju stabilare ett material är, desto mindre är den plastiska deformationen.

Vid vägbyggnad eftersträvas material som kan ge såväl styvhet som stabilitet till vägen, men dessa egenskaper stämmer sällan överens.

Vägkonstruktionens deformationsmodul (E_v) kan beräknas enligt Väg 94. Deformationsmodulen beräknas med utgångspunkt från trycksättningslinjerna vid dels första belastningsprovet (E_{v1}) och dels andra belastningsprovet (E_{v2}). Statisk plattbelastning används för att mäta styvheten i vägkroppen. Med fallvikt, som främst används på färdig vägkonstruktion, kan styvheten för ett specifikt lager beräknas.

Plattbelastnings- och fallviktsmätningar har utförts inom projektets ram vid följande platser:

- Väg 109: krossad betong i förstärkningslager
- Väg 594: krossad betong i förstärknings- och bärlager
- Törringevägen: Krossad betong i förstärknings- och bärlager samt tegel och slaggrus i bärlager
- Trelleborg: kallasfalt i hårdgjord yta.

De miljömässiga egenskaperna har undersökts genom att vid några provsträckor samla upp det bildade lakvattnet och låta detta genomgå en analys. Det visar sig att det inte är helt enkelt att överföra resultaten från laboratorieutlakning till vad som sker i fält. Data visar oftast på lägre halter i fält. Detta beror på att flera av restprodukterna initieellt har ett lakvatten med mycket högt pH. Under fältförhållanden så normaliseras detta pH-värde till ca 9 när koldioxid kommer i kontakt med lakvattnet.

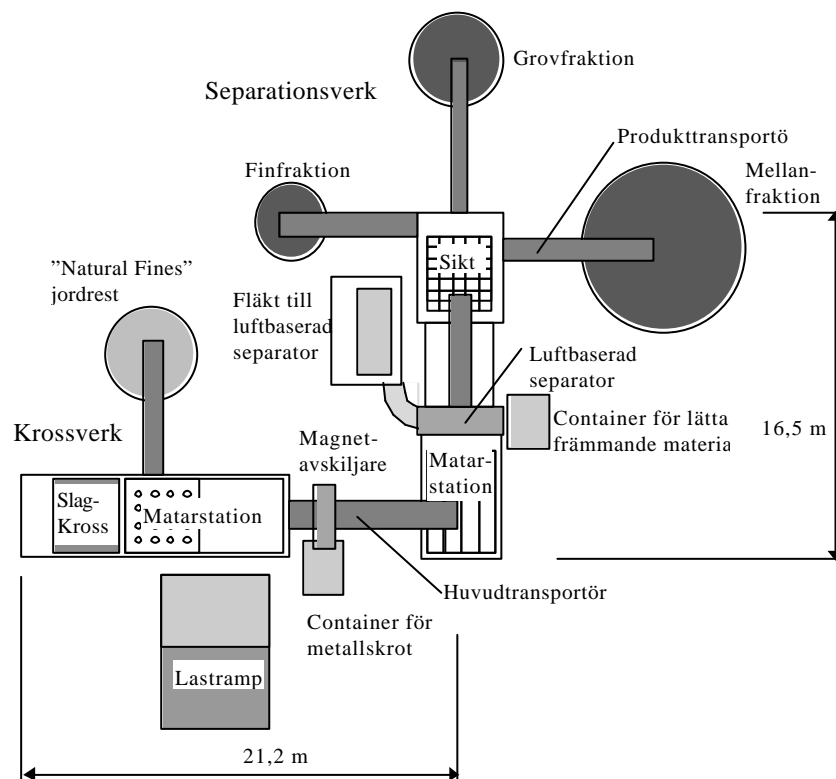
3. KROSSNING OCH PROVTAGNING AV BETONG OCH TEGEL

3.1 Krossning av betong till väg 109 och tegel till Törringevägen och lättbetong

Den betong som användes i väg 109 utanför Helsingborg kom från SYSAV i Malmö. Betongen var från flera olika källor men dess ursprung var inte känt. För att göra en selektering av betongrester med avseende på källa och kvalitet möjlig skulle det krävas en omfattande mottagningskontroll samt gott om utrymme för upplag.

Totalt togs ca 2000 ton betong ur ett upplag. Under processen krossades ca 1500 ton betong, ca 450 ton jord, 12,52 ton armering och 5,86 ton lätta främmande material såsom tapetrester, papper, plast isolering och trä sorterades ut. Orsaken till att betongen innehöll ca 450 ton jord och sand var att betongen kom från ett upplag samt hade hantlerats med både grävmaskin och hjullastare. Om betongen hade kommit direkt från en källsorterad rivning torde mängden jord inte blivit så hög. Förutom detta så krossades 500 ton tegel och 500 ton lättbetong

Krossanläggningen som användes för att framställa vägbyggnadsmaterial (betong) till väg 109 samt tegel till Tygelsjövägen kom från Svedala AB. Krossanläggningen bestod av ett krossverk och ett siktverk, figur 3.1. Vidare användes en hjullastare till att lasta materialet i krossverkets matarstation och flytta på den färdiga produkten till ett upplag.



Figur 3.1 Skiss över krossanläggningen med krossverk och separationsverk

Materialet som skulle krossas lastades i krossverkets matarficka där jord och grus avskiljdes före krossningen. Krossningen skedde i en slagkross. För att undvika att krossa teglet för mycket kördes krossen då med relativt låg hastighet.

I en slagkross roterar en slagförsedd trumma med hög hastighet varvid materialet slås sönder mot dels slagorna på trumman och dels mot väggplattorna. Krossprodukten blir kubisk men det alstras stora mängder damm och slitaget på krossen är stort. Efter att materialet krossats, avlägsnades metall med en magnetseparator och fördes sedan över i separationsverket. Där avlägsnades först papper, plast, trä och liknande lätta material som följt med sedan rivningen med en luftbaserad separator. Slutligen siktades bitar som var större än önskvärt bort och kördes tillbaka till krossen. Materialet krossades ner till ett sten- och grusmaterial med kornstorlek 0-100 mm.

Provtagning på materialet minskade kapaciteten avsevärt. Kapaciteten på krossning av tegel var ca 170 ton/timme. Den låga kapaciteten berodde på den omfattande provtagningen.

3.2 Krossning av betong till väg 597

Betongen som användes i väg 597 utanför Luleå kom från två punkthus i Boden (se figur 3.2).



Figur 3.2 Ett av de sk "Lutande husen i Boden" som numera är vägbyggnadsmaterial (foto Roland S Lundström)

Husen revs, betongen sorterades ut och transporterades till Bodenfrakts krossanläggning. Till väg 597 krossades ca 1000 ton betong. En okulär innehållsanalys genomfördes inte. Dock konstaterades relativt stora mängder av trä- och tapetbitar. Mängd armering, jord och lätta främmande material är inte heller känd. Betongen förbehandlades genom att stora betongblock slogs sönder och för långa armeringsjärn kapades. I krossanläggningen avskiljdes jord före krossningen och efter detta avskiljdes armeringsjärn. Krossen som användes var en käftkross med en fast och en rörlig platta som var ledad

längs ovkant och pendlade in mot den fasta plattan. Ingen avskiljning av lätta främmande material gjordes. Slutligen siktades betongen i en spaltsikt. Det krossade materialet innehöll stora betongbitar varav en del var över 0,3 m, medan största tillåtna kornstorlek var 0,1 m. Det fanns även stora mängder lätta främmande material såsom tapetresten och trästycken. Det var därför nödvändigt att krossa betongen en andra gång varefter materialet siktades genom en nätsikt med maskvidd 80 mm, vilken även separerade en del av de lätta främmande materialen.

3.3 Krossning till Törringevägen

Betongen som användes till förstärkningslager i Törringevägen hämtades ur SYSAVs upplag för betongrester från bygg- och rivningsarbeten. Betong hade kommit från många olika verksamheter och hade blandats om vartannat eftersom platsbrist och praktisk hantering försvårar sortering av inkommande betong efter t ex betongkvalitet eller ursprung.

För att framställa väglagermaterial av krossad betong användes fyra maskiner:

En grävskopa typ Kobelco

En kross typ Lokomo Citytrack L80.

En hjullastare typ Volvo BM 4400

Ett siktverk, typ Finlay 393 som ersattes med ett mindre siktverk efter första dagens krossarbete.



Figur 3.3 Krossning av betong för Törringevägen

Grävmaskinen plockade ut betongbitar som passade krossans inmatningsöppning. En grovavskiljning av jord gjorde genom att tippa skopan som var försedd med ett galler på ovansidan. Betongbitarna lastades sedan i krossverket. Krossverket var försett med en rotationskross som krossade betongbitarna mellan två plattor.

Rotationskross är en käftkross där material krossas mellan en fast och en rörlig platta. Den rörliga plattan är excentriskt ledad vilket medför att den rörliga plattan utför en

roterande rörelse istället för en enbart pendlande rörelse. Viss vana hos maskinisten krävs för att undvika att krossprodukten blir för stänglig. Kapaciteten var normalt 60-120 ton/timme. Intagsöppningen medgav bitar på maximalt 550*800 mm. Betongens största kornstorleken enligt Väg 94 fick vara högst 100 mm.

En magnetavskiljare avlägsnade armeringsjärnen efter krossningen. Med hjullastaren lyftes den krossade betongen över till siktverket som sorterade bort de betongbitar som var större än VÄG 94:s krav på största tillåtna kornstorlek. De bitarna kördes tillbaka till krossen.

Totalt krossades ca 500 ton betong till förstärkningslagermaterial och 500 ton till bärlagermaterial. Krossen tillverkade ca 50 ton vägbyggnadsmaterial i timmen. Produktionen begränsades av att grävskepmaskinisten var tvungen att sortera bort betongblock som inte gick in i krossens mataröppning. Dessa block lades åt sidan för andra ändamål. Detta förarbete sänkte produktionshastigheten med ca 50%.

3.4 Provtagning av krossad betong till väg 109, 597, tegel till Törringevägen och lättbetong.

Provtagning gjordes på dels krossat material såsom betong, tegel och lättbetong samt på slaggrus som inte behövde krossas. Slaggruset hade dock behandlats före genom bort-siktning av grovt material obrännbart material som magnetavskiljning. Eftersom teglet och betongmaterialen härstammade från rivning och ombyggnad av hus eller förbränning fanns det med stor sannolikhet att finnas främmande material t ex armeringsjärn, plast, isolering, trä m.m. kvar.

Provtagning skedde genom att transportbandet stoppades och provet togs inom en ram enligt figur 3.4.



Figur 3.4 Provtagning av tegel från produkttransportör

Provtagningen gjordes från separationsverkets produkttransportör. När produkttransportören var igång uppskattades mängden material som matades fram var 25 kg/m. Kornstorleken gav en provtagningssträcka på minst 0.3 meter enligt Nordtest ENVIR 004. Totalt behövdes ca 1000 kg betong till laboratorieundersökningarna.

Kornstorlek och provtagningsmetod för tegel är enligt Väg 94 detsamma som för betong (max 100 mm). Provtagningssträckan var 0.30 meter.

Provtagningarna togs från materialet som passerat siktanläggningen och bestod av korn med storleken 0-100 mm. Materialen måste anses som mycket heterogena. Enligt Nordtest ENVIR 004 skall antalet prov (n) vara minst:

$$n = 0.183 \times N \times \sqrt{w}$$

där

N = 10 på grund av materialets heterogenitet

w = mängden krossat material (2000 ton betong, 500 ton tegel och 500 ton lättbetong i första omgången)

Erforderligt antalet prov i första omgången, vid krossning med Svedalas kross, betong beräknades till minst 82 vid 2000 ton krossat material. Antalet provtagningar från betong, tegel och lättbetong bestämdes till 96, 48 respektive 30 prov. Tre provtagningar adderades samman till ett prov och för betong och tegel blev då antalet prov som skickades till analys 32, 16 respektive 10 prov.

3.5 Provtagning av betong till Törringevägen

På betongen till förstärkningslager togs totalt 10 prov om ca 40 kg per prov. Proven samlades upp i hjullastarens skopa som ställdes under det fallande materialet. Sedan fylldes en 20 liters plåtspann med materialet. Spannen försågs sedan med ett tätslutande lock. Totalt togs 10 prov på betongen till bärlagret. Ytterligare ett prov om drygt 120 kg togs ur upplaget. Materialet blandades och breddes ut. Sedan avlägsnades hälften och resten blandades för att reducera mängden som skulle undersökas. Ur det materialet togs ett prov om 127 kg betong ut. Alla fem proven godkändes enligt VÄG 94:s krav på kornstorleksfördelning. För att kontrollera om kornstorleken förändrades under utläggningen eller då det låg utlagt togs två prov på materialet vars kornstorlek kontrollerades. Bägge proven godkändes enligt VÄG 94.

4. BETONG SOM FÖRSTÄRKNINGS- OCH BÄRLAGER – erfarenheter från väg 109 och väg 597

4.1 Allmänt

Tre provsträckor anlades för att undersöka krossad betongs lämplighet som obundet vägöverbyggnadsmaterial, d v s antingen som förstärkningslager eller som obundet bärlager. Ett obundet vägbyggnadsmaterial har fyra funktioner, nämligen arbetsyta för överbyggnads- och beläggningsarbeten, tjälskydd, dränering av vägen samt bidra till vägens bärighet.

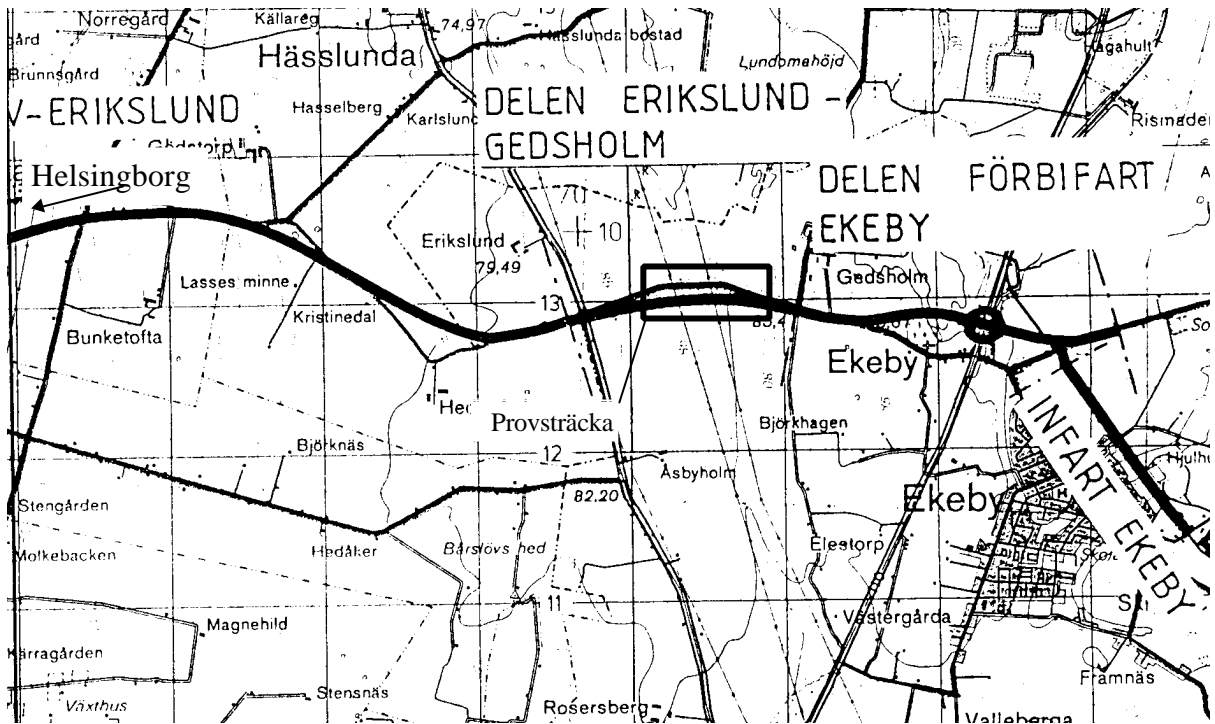
I väg 109 utanför Ekeby öster om Helsingborg i Skåne anlades en provsträcka där krossad betong användes som förstärkningslager. I väg 597 som ligger vid Björsbyn utanför Luleå anlades två provsträckor där krossad betong användes som förstärkningslager respektive som bärlager. I väg 109 användes den betong som krossades hos SYSAV i Malmö till vägbyggnadsmaterial och i väg 597 användes krossad betong från Bodenfrakt AB till vägbyggnadsmaterial.

Alla provsträckor anlades i enlighet med Vägverkets regelverk VÄG 94. I VÄG 94:s kapitel 5 "Obundna överbyggnadslager" anges kraven för obundna lager i vägöverbyggnader avseende materialegenskaper, vägegenskaper och utförandekrav. Krav ställs på lagertjocklek, bärighet, packningsgrad, materialegenskaper och kornstorleksfördelning. Vägbyggnadsmaterial i obundna lager skall vara framställt genom krossning och sortering av sprängsten, grus eller morän. Dock anges i kapitel 5, VÄG 94 att "Material till bär- och förstärkningslager får även utgöras av slagger och andra restprodukter. Dessa skall vara volymbeständiga och får inte visa tendenser till sönderfall."

Alla provsträckorna anlades med konventionella vägbyggnadsmetoder och maskiner på samma sätt som resten av vägarna. Som jämförelse anlades också en referenssträcka med konventionellt vägbyggnadsmaterial.

4.2 Provsträckan i väg 109

Väg 109 inkluderande provsträckan anlades av Skanska Anläggning i en ny väg öster om Helsingborg. Provsträckan med krossad betong och referenssträckan anlades utanför Ekeby, ca 18 km öster om Helsingborg (se figur 4.1).



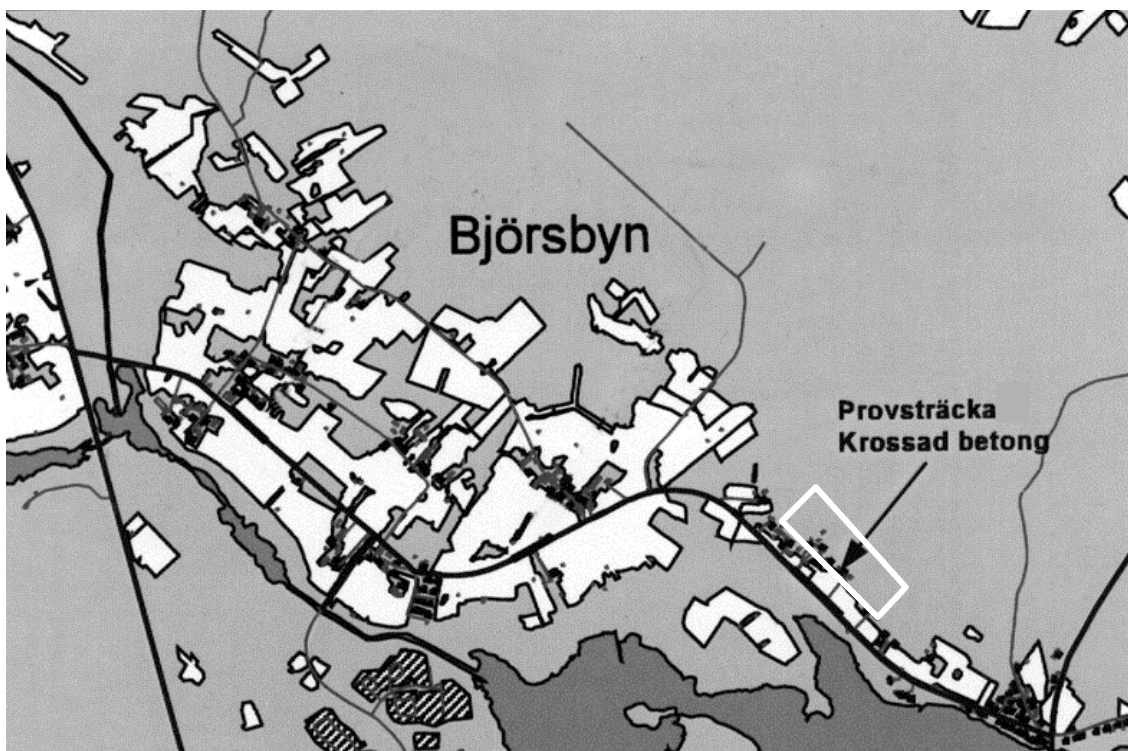
Figur 4.1 Karta över väg 109 väster om Ekeby, skala 1:50 000. Prov- och referenssträckan har markerats.

Vägöverbyggnaden anlades som en GBÖ (grusbitumenöverbyggnad) enligt VÄG 94 med en nio meter bred väg där körbanan är 7,5 meter bred och vägrenarna 0,75 meter vardera. Provsträckan gjordes mellan sektion 8300 -8372 och referenssträckan mellan sektion 8400-8500. Provsträckans längd är 72 meter.

Terrassen jämnades på prov- och referenssträckan under juni 1997. Trots att vädret var torrt och varmt var fukthalten i terrassen hög och efter en månads upptorkning var terrassens bärighet enligt VÄG 94 fortfarande inte uppnådd. För att uppnå erforderlig bärighet bestämde Vägverket sig för att låta anlägga vägen med ett 200 mm tjockt skyddslag under både prov- och referenssträckan. Skyddslagret utgörs av krossad betong i provsträckan och bergkross i referenssträckan. Förstärkningslagret var 565 mm tjockt. På förstärkningslagret anlades ett 80 mm tjockt bärlager av grus. Högst upp i vägöverbyggnaden fanns ett bundet bärlager och ett slitlager. Total tjocklek på vägöverbyggnaden i prov- och referenssträcka blev 885 mm. Nivåkontroll av terrassens, förstärkningslagrets- och bärlagrets ytor på både prov- och referenssträckan visar att överbyggnadslagren lades ut på ett enligt VÄG 94 godkänt sätt.

4.3 Provsträckorna i väg 597

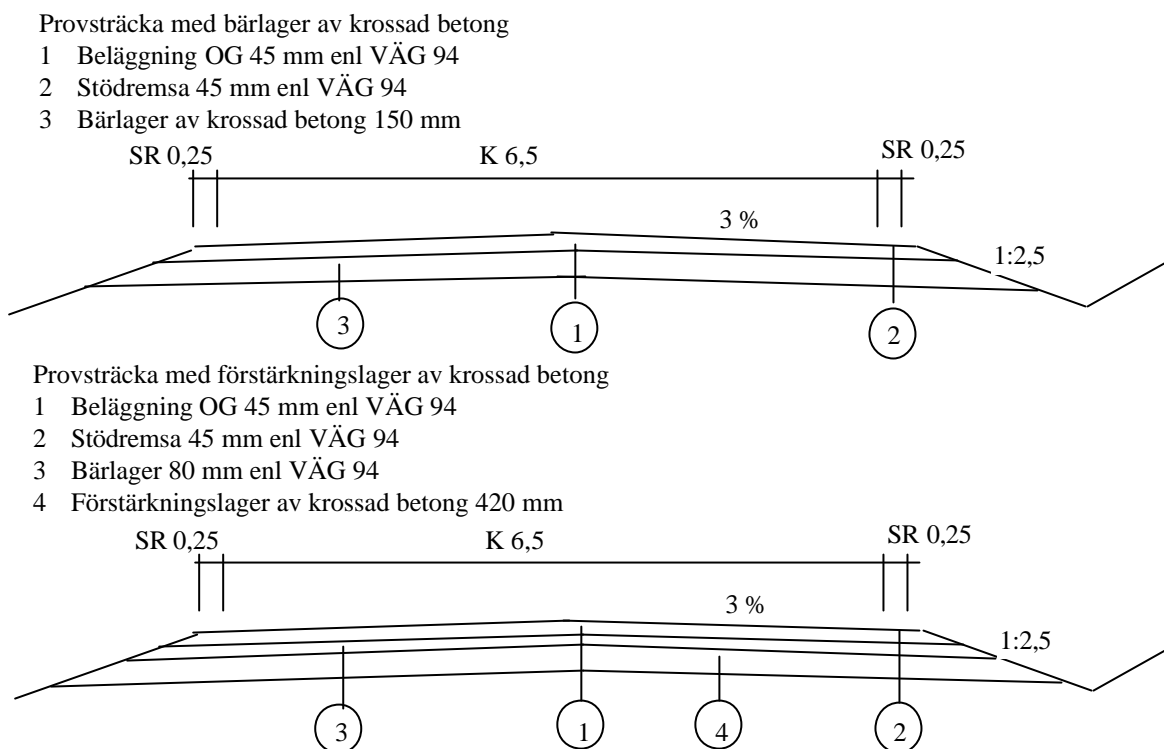
Eftersom köldsituationen i Skåne ofta är mildare än i övriga delar av landet byggdes även två provsträckor med krossad betong i Norrland. I dessa studeras även krossad betongs tjälegenskaper och beteende vid tjällossning. Väg 597 var inte ett nybygge utan ett förstärkningsarbete. Därför är kraven i VÄG 94 egentligen inte applicerbara på väg 597 men resultaten från fältundersökningarna jämfördes ändå med VÄG 94:s krav. Provsträckorna byggdes in i väg 597 vid Björby utanför Luleå (se figur 4.2).



Figur 4.2 Översiktskarta över väg 597 vid Björsbyn utanför Luleå. Provsträckorna är markerade med en rektangel. (Vägverket)

Väg 597 är 7 meter bred med 6,5 meter körbana. I väg 597 anlades två provsträckor med krossad betong. I en provsträcka ersatte krossad betong konventionellt vägbyggnadsmaterial i bärlagret och i den andra lades krossad betong ut som förstärkningslager (se figur 4.3)

Provsträckan där krossad betong placerades i bärlagret är 50 meter lång och bärlagret är 150 mm tjockt. Ovanpå bärlagret ligger ett 45 mm tjockt lager av återvunnen asfaltbeläggning. Provsträckan med krossad betong i förstärkningslagret är 100 meter lång. Förstärkningslagret består av 420 mm krossad betong och ett 80 mm tjockt bärlager. Beläggningen utgörs av ett 45 mm tjockt lager av återvunnen asfaltbeläggning. Intill varje provsträcka anlades en referenssträcka med samma längd och uppbyggnad som provsträckan.



Figur 4.3 Tvärsnitt på provsträckorna med krossad betong i väg 597 (Vägverket)

4.4 Tekniska egenskaper bestämda i laboratorium

För att noggrannare bestämma sammansättningen av krossad betong till väg 109 och väg 597 analyserades den krossade betongen okulärt och på laboratorium. Den okulära innehållsanalysen gick till så att material i fraktion 4-32 mm sorterades för hand. Korn som utgjordes av främmande material t ex trä, tegel, glas, metall, isolering och plast sorterades bort. Halten främmande material beräknades. Det bör observeras att den viktmässiga fördelningen av material inte överensstämmer med den volymmässiga sammansättningen, eftersom materialen har olika densitet. Trä, papper, isolering och lättbetong har låga densiteter och kan därför, trots en att de endast utgör en liten viktandel, ha en stor påverkan på den krossade betongens mekaniska egenskaper. I tabell 4.1 redovisas laboratorie- undersökningarna.

Tabell 4.1 Undersökta materialegenskaper hos krossad betong samt vilka egenskaper krav ställs för i VÄG 94.

| Materialegenskap | Krav på materialegenskap i VÄG 94 | Antal undersökningar krossad betong till väg 109 | Antal undersökningar av krossad betong till väg 597 |
|---|-----------------------------------|--|---|
| Kornstorleksfördelning | X | 32 | 5 |
| Korndensitet | | 4 | - |
| Packningsegenskaper | X | 8 | 1 |
| Mekanisk beständighet | X | 4 | 1 |
| Frostbeständighet | | 4 | 1 |
| Vattenabsorption | | 7 | - |
| Bestämning av vatteninnehåll | | 8 | - |
| Hållfasthet och hållfasthetstillväxt | | - | - |
| Bestämning av stabilitet | | 3 | 3 |
| Bestämning av styvhet | X | 3 | 3 |
| Bestämning av permeabilitet | | - | - |
| Organiskt material | X | 8 | - |
| Fri kalk | | 8 | - |
| Tungmetallhalt | | 16 | 2 |
| Utlakningsbar mängd tungmetall | | 4 | - |
| Utlakningsbar mängd tungmetallers pH-beroende | | 2 | - |
| Utlakningshastighet | | 4 | - |
| Utlakade mängder tungmetall från provvägarna | | 2 | 1 |

4.4.1 Analys av krossad betong till väg 109

Okulär analys av krossad betong till väg 109 visade att den innehöll mellan 0 och 6,9 vikt-% främmande material. De högsta mängderna fanns i de prover som togs mot slutet av krossningsperioden, vilket berodde på driftstörningar avseende separeringen. Medianvärdet för halten främmande material var 0,4 vikt-% vilket får anses mycket lågt eftersom betongen kom från olika rivningar med relativt låg försorteringsgrad.

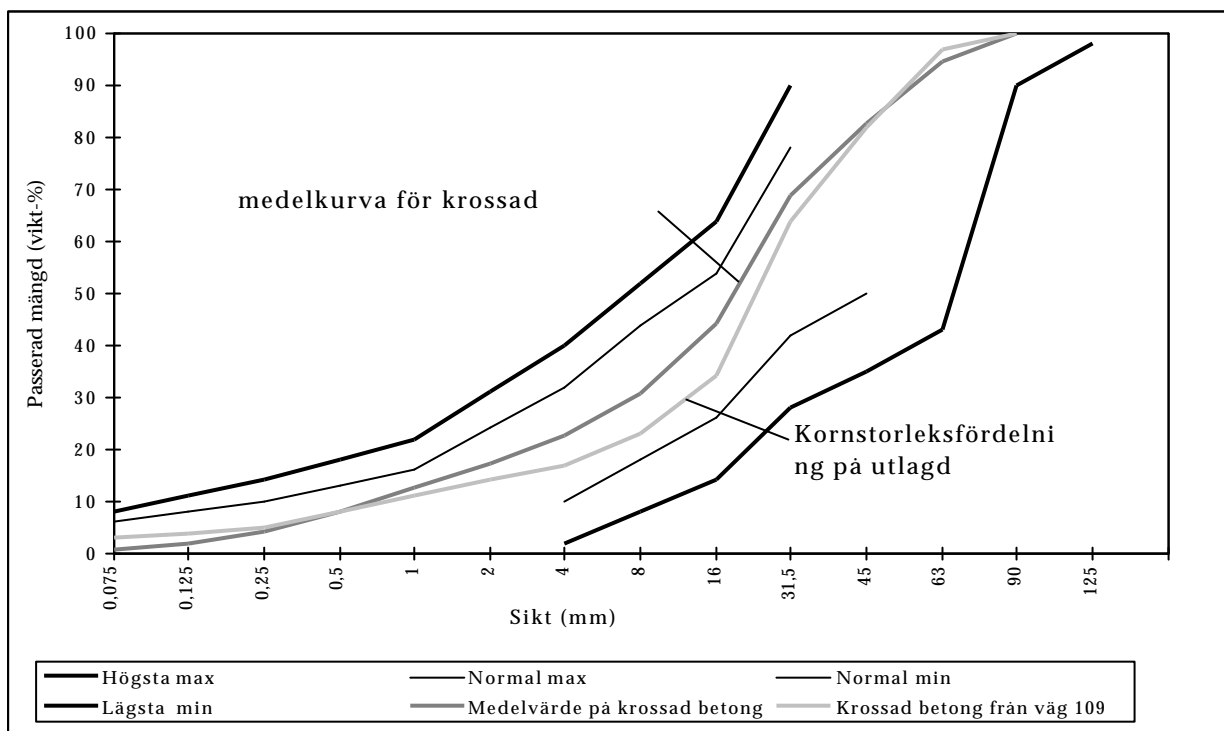
En renhetsanalys gjordes även på krossad betong som användes till bärighetsundersökningar. Materialet visade sig inte innehålla främmande material i form av papper, plast m.m. Av den krossade betongen var 98 vikt-% cementpasta och ballastmaterial och ansågs av VTI som mycket ren (se tabell 4.2).

Tabell 4.2 Sammansättning på krossad betong till väg 109

| Korn består av | Vikt (g) | Andel (vikt-%) |
|------------------|----------|----------------|
| Cement | 266,3 | 20,8 % |
| Cement+ballast | 592,8 | 46,2 % |
| Ballast | 399,0 | 31,1 % |
| Tegel o liknande | 25,1 | 2,0 % |
| Summa | 1283,2 | 100,0 % |

Av den krossade betongen till väg 109 gjordes 32 undersökningar av kornstorleksfördelningen. Alla kurvor godkändes enligt VÄG 94. Medelvärdet låg väl innanför VÄG 94:s gränser (se figur 4.5).

Nedkrossning av vägbyggnadsmaterial i större omfattning får inte ske vid utläggnings- och packningsarbetet. Efter utläggning befarades att betongen skulle malas sönder av byggtrafik, innan bärlagret lagts ut. Kornstorleksfördelningen kontrollerades därför tre veckor efter utläggning och godkändes även då enligt VÄG 94 (se figur 4.5). Variationerna mellan de olika kornstorleksfraktionerna var liten. Det var således inte möjligt att se någon påtaglig nedkrossning hos betongen av byggtrafiken.



Figur 4.5 Kornstorleksfördelningskurvor på krossad betong dels före utläggning (medelvärde av 32 prov) och dels på utlagt material (ett prov). (Inlagda gränsvärdens ojämna form beror på ofullkomlighet i uppritningen.)

För utlagd betong till väg 109 var medelvärdet (8 prover) på optimal vattenkvot 12,3 vikt-% och maximal torr densitet 1,93 vikt-% (se tabell 4.3). I samband med bärlagets undersökning bestämdes maximal torr densitet och optimal vattenkvot av VTI med samma metoder, till 1,98 t/m³ respektive 10,1 vikt-%. Resultaten avviker något från varandra, detta kan bero på kemiska reaktioner men också olika sätt att utföra provningarna.

Tabell 4.3 Optimal vattenkvot och maximal torrdensitet för krossad betong till väg 109 (8 prov)

| Undersökning | Optimal vattenkvot (vikt-%) | Max torrdensitet (ton/m ³) |
|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 11,6 | 2,01 |
| 2 | 11,5 | 1,94 |
| 3 | 11,6 | 1,93 |
| 4 | 11,8 | 1,90 |
| 5 | 13,1 | 1,91 |
| 6 | 11,5 | 1,98 |
| 7 | 13,6 | 1,89 |
| 8 | 13,6 | 1,86 |
| Medelvärde | 12,3 | 1,93 |
| Standardavvikelse | 1,0 | 0,05 |
| Medianvärde | 11,7 | 1,9 |
| Variationskoefficient | 8% | 3% |

Inpackningsförsöken visar på anmärkningsvärd liten spridning. Detta kan i och för sig kopplas till att också siktkurvorna var lika.

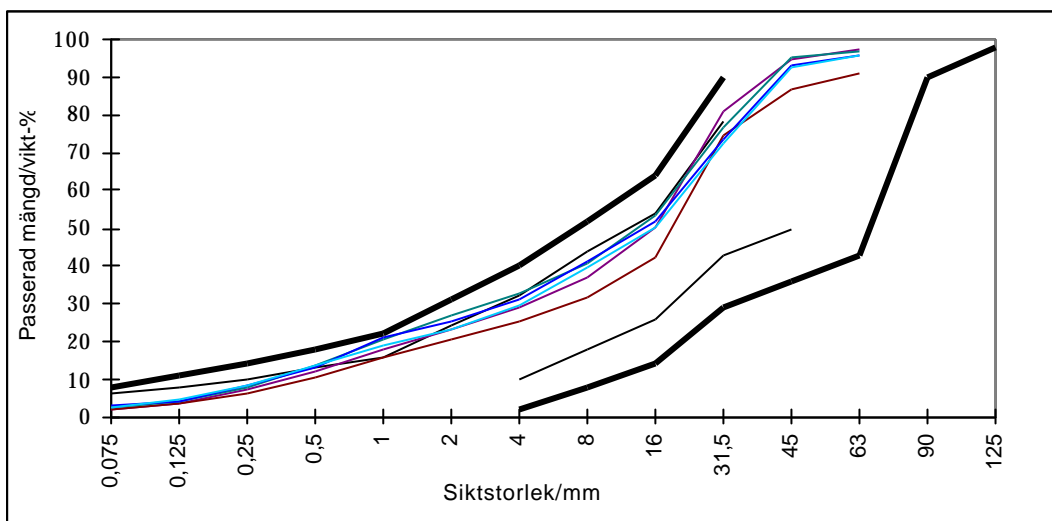
4.4.3 Analys av krossad betong till väg 597

Innehållet i det prov av krossad betong som skulle undersökas med avseende på bärrighet analyserades före bärrighetsundersökningen. Där fanns 2,7 vikt-% lättbetong och 0,1 vikt-% lätta främmande material t ex trä, papper, plast m.m. Dessa kan påverka både materialegenskaper och vägbyggnadsegenskaper. Dock var 97 vikt-% av provet cementpasta och ballastkorn, vilket bedömdes som mycket rent av VTI (se tabell 4.4).

Tabell 4.4 Sammansättning på krossad betong till väg 597

| Samansättning | Vikt (g) | Andel (vikt-%) |
|--------------------|----------|----------------|
| Cement | 582 | 37,7 % |
| Cement+ballast | 541 | 35,1 % |
| Ballast | 372 | 24,1 % |
| Tegel, kakel | 3 | 0,20 % |
| Lättbetong | 42 | 2,7 % |
| Trä, plast, papper | 2 | 0,1 % |
| Summa | 1542 | 100,0 % |

Kornstorleksfördelningen bestämdes för fem prov på krossad betong till förstärkningslagret och fem stycken prov till bärlagret. Alla kornstorleksfördelningskurvorna på förstärkningslagermaterialet godkändes enligt VÄG 92 (se figur 7.6).



Figur 4.6 Kornstorleksfördelning för krossad betong till förstärkningslager i väg 597. Yttre kurvorna anger kraven i Väg 94.

Resultatet från packningsundersökningen på krossad betong till väg 597 gav en maximal torrdensitet på $1,72 \text{ t/m}^3$ och en optimal vattenkvot på 12,0 vikt-%. Maximal torrdensitet blev relativt låg, vilket kan bero på lättbetong i materialet.

4.4.4 Mekaniska egenskaper hos undersökt betong till väg 109 och 597

Mekanisk beständighet

Kulkvarnsvärde för krossad betong till väg 109 bestämdes till 23,4-31,7 vikt-%. Medelvärdet var 27,7 vikt-%. Eftersom materialet till proven labbkrossades korrigerades inte kulkvarnsvärdet. Den krossade betongen som användes i väg 109 och väg 597 klarade således VÄG 94:s krav.

Frostbeständighet

Frostbeständigheten hos krossad betong till väg 109 var låg. I medeltal bröts 32,7 vikt-% ner under försöket. Frostbeständigheten hos betong till väg 597 bestämdes till 41 vikt-%. Frostbeständigheten hos berg och grus kan variera mycket beroende på ursprung och bergart (se tabell 4.5).

Tabell 4.5 Frostbeständighet hos naturmaterial och betongkross

| | |
|------------|-------------------|
| Berggrus | 0,3 vikt-% |
| Naturgrus | 0,4 - 12,4 vikt-% |
| Kalksten | 6,4 - 50 vikt-% |
| Betong 109 | 32,7 vikt-% |
| Betong 597 | 41 vikt-% |

Jämfört med berg har krossad betong således låg frostbeständighet.

Vattenabsorption

Vattenabsorptionen hos krossad betong till väg 109 bestämdes till 0,5 vikt-% efter 24 h och 1,1 vikt-% efter 13 dygn. Halten absorberat vatten bedöms inte vara så hög att den orsakar problem i förstärkningslager.

Fri kalk

Eftersom krossad betong uppvisat självhårdande egenskaper utomlands (Ydrevik, 1996) undersöktes halten fri kalk i krossad betong till väg 109. Förekomsten av fri kalk i krossad betong kan förklara förbättring av styvheten i utlagt vägbyggnadsmaterial då fri kalk reagerar med vatten och binder samman betongkornen (karbonatisering). Medelvärdet av fri kalkhalt i krossad betong till väg 109 var 2,4 vikt-%.

Organiskt material

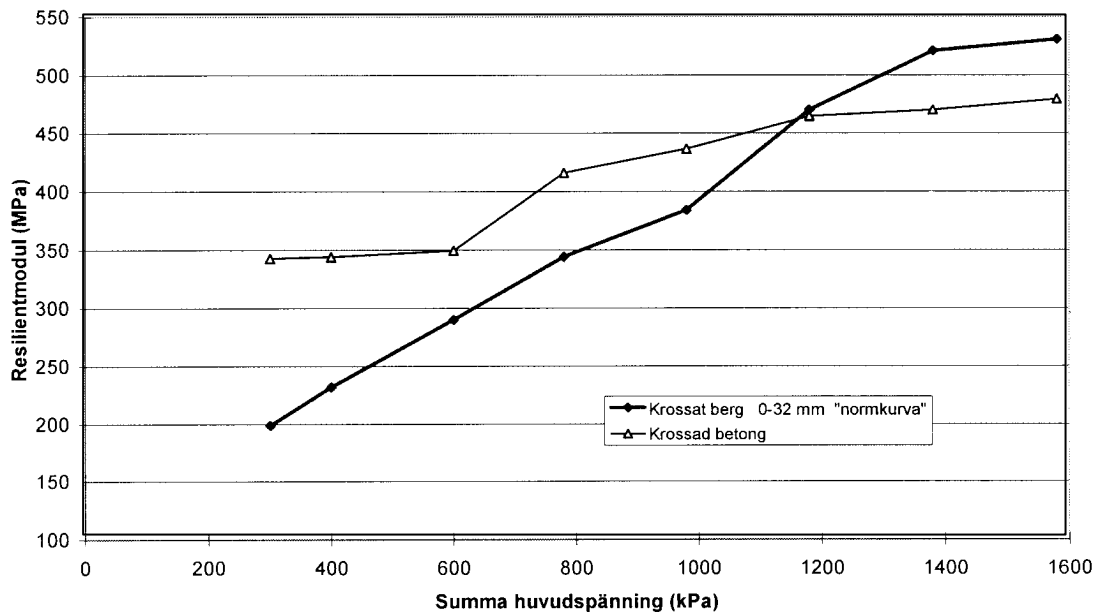
Halten organisk material i krossad betong till väg 109 varierade mellan 1,3-3,0 vikt-%. Enligt VÄG 94 får vägbyggnadsmaterial inte innehålla mer än 2,0 vikt-% organiskt material. Medelvärdet på halt organiskt material i krossad betong till väg 109 var något högt, dock var 6 av 8 prov godkända enligt VÄG 94. Största delen av viktförlusten härrör dock från kemiskt bundet vatten. Halten organiskt material kan således inte anges exakt, dock går det att avgöra att den är lägre än VÄG 94:s krav på högst 2,0 vikt-%.

Styvhet hos krossad betong

För att jämföra styvheten hos krossad betong som skulle användas till provsträckorna i väg 109 och 597 med ett konventionellt vägbyggnadsmaterial mättes styvheten av VTI genom dynamiskt treaxialförsök. Resultatet visar en funktion av medeltrycket.

Eftersom den krossade betongen till väg 109 var framtagen som ett förstärkningslagermaterial (kornstorleksfördelningen 0-100 mm) siktades ett provmaterial fram. Styvheten hos den krossade betongen jämfördes med styvheten hos krossat berg. Resultatet visade att E-modulen för krossad betong var högre än referensmaterialets E-modul upp till en total spänningsnivå på 1200 kPa (se figur 4.7). VTI:s bedömning är att en "normal trafikbelastning" har en total huvudspänning på 600-800 kPa. Inom detta intervall visade sig E-modulen hos krossad betong således vara bättre än referensmaterialets.

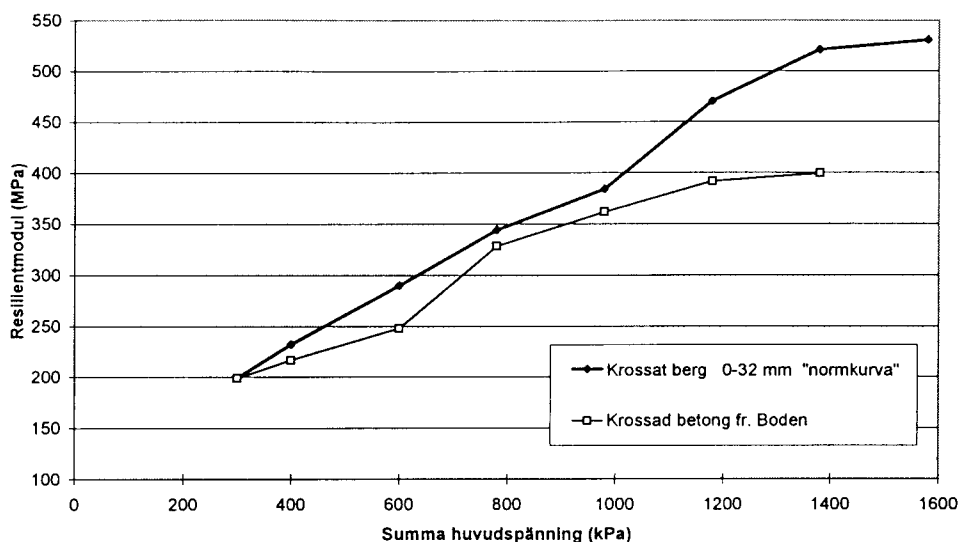
E-modul som funktion av spänningstillstånd



Figur 4.7 Elasticitetsmodul bestämd genom dynamiskt triaxialförsök av VTI för krossad betong till väg 109 och krossat berg.

Även styvheten hos krossad betong till väg 597 undersöktes. Kornstorleken på undersökt material var 0-32 mm och materialet kunde användas utan omsiktning. Även vid denna undersökning jämfördes den krossade betongen med konventionellt vägbyggnadsmaterial, dvs. krossat berg från en täkt vid Skärlunda i Östergötland. I intervallet för "normal trafikbelastning" (600-800kPa) var E-modulen något lägre för krossad betong till väg 597 än för det konventionella vägbyggnadsmaterialet. (se figur 4.8).

E-modul som funktion av spänningstillstånd



Figur 4.8 E-modul för krossad betong till väg 597 och krossat berg, bestämd av VTI genom dynamiskt triaxialförsök

I provmaterialet till styvhetsundersökningen av krossad betong till väg 597 noterades 2,7 vikt-% lättbetong och 0,1 vikt-% trä, plast och papper. Detta kan ha givit den lägre E-modulen. Dessutom var halten ballast och cement+ballast lägre i den krossade betongen till väg 597 (59,2 vikt-%) än i den till väg 109 (77,3 vikt-%).

4.5 Tekniska egenskaper bestämda genom fältförsök

Fältförsök har utförts i tre olika sammanhang med betong inom projektets ram:

- väg 109 som förstärkningslager
- väg 597 som förstärkningslager respektive bärlager
- Törringevägen som förstärkningslager och bärlager.

Resultaten från Törringevägen redovisas i kapitel 5.

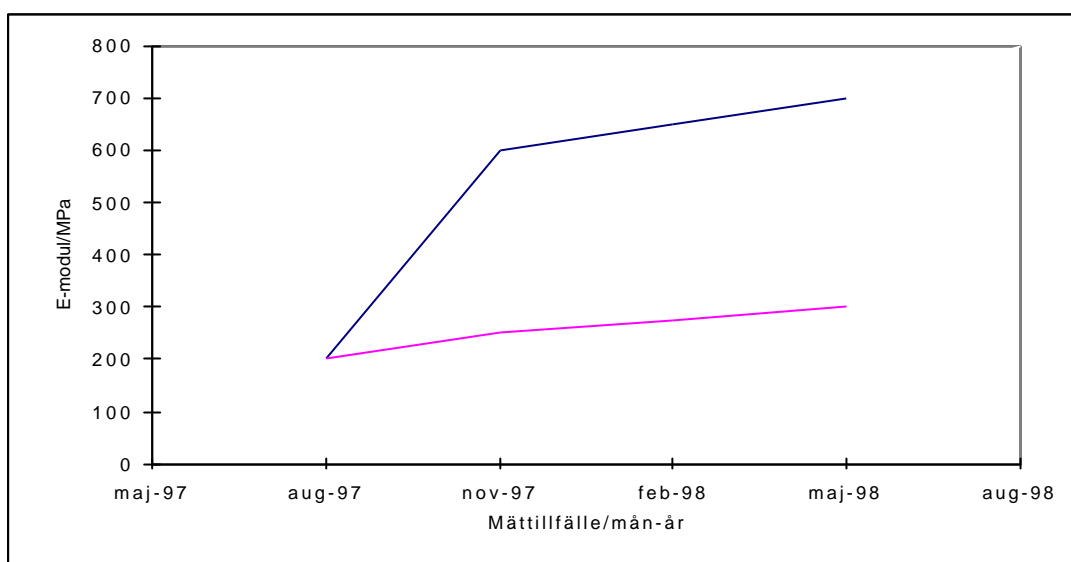
Statiska plattförsök enligt VÄG 94 utfördes både på krossad betong, dels på referenssträckor. Resultaten redovisas i tabell 4.6.

Tabell 4.6 Resultatsammanställning av styvhetsmätning med statisk plattbelastning i prov- och referenssträckorna på väg 109 och 597 jämfört med krav i VÄG 94

| Väg 109, | X_{v2} (MPa) | Krav enligt VÄG 94 X_{v2} (MPa) |
|--|-------------------|---|
| Mätning på förstärkningslager | | |
| Provsträcka med förstärkningslager av krossad betong | 118,0 | 110 |
| Referenssträcka | 141,1 | 110 |
| Mätning på bärlager | | |
| Provsträcka med förstärkningslager av krossad betong | 142,6 | 130 |
| Referenssträcka | 128,3 | 130 |

| Väg 597 | Medelvärde X_{v2} (MPa) | Krav enligt VÄG 94 X_{v2} (MPa) |
|--|---------------------------------|---|
| Mätning på bärlager | | |
| Provsträcka med förstärkningslager av krossad betong | 114,7 | 156,9 |
| Referenssträcka | 154,8 | 160,8 |
| | | |
| Provsträcka med bärlager av krossad betong | 103,8 | 153,9 |
| Referenssträcka | 119,1 | 155,5 |

För att kunna undersöka om det förekom några förändringar av styvheten med tiden hos förstärkningslagret i väg 109 gjordes styvhetsmätningar på vägbanan när vägen var färdigbyggd. Mätningar gjordes ytterligare två gånger, dels tre och dels nio månader efter att vägen var färdig. På tre månader ökade E-modulen för förstärkningslagret från 200 till 600 MPa, dvs med 300% vilket kan jämföras med referenssträckan där E-modulen ökade med 25% (se figur 4.9).



Figur 4.9 Uppmätta lagermoduler för förstärkningslager av krossad betong (övre kurvan) och bergkross (nedre kurvan) (VTI)

Förstärkningslagret av krossad betong i väg 597 hade också fått förbättrad styvhet med tiden. Styvheten hos provsträckorna mättes under tjällossningsperioden, motsvarande 4-6 månader efter det att vägen blivit färdig. E-modulen hos förstärkningslagret bestämdes till 370 MPa. E-modulen för förstärkningslagret av konventionellt vägbyggnadsmaterial var 170 MPa.

Denna ökning av krossad betongs E-modul som fanns i bägge provvägarna orsakas av två processer. Genom karbonatisering binder fri kalk i krossad betong samman betongkornen och genom hydratisering reagerar fri cement med vatten och cementerar samman betongkornen. Dessa processer skedde snabbt (3-6 månader) i väg 109 och väg 597.

4.6 Miljömässiga egenskaper – resultat från labanalyser och fältmätningar

I laboratoriet har den kemiska sammansättningen bestämts, tabell 4.7, tillgängligheten (maximalt utlakningsbart), tabell 4.8 och utlakningshalter vid L/S = 2 och 10, tabell 4.9.

Tabell 4.7 Totalinnehåll i krossad betong till väg 109 och väg 597

| Väg 109 (16 prov) | | | | | Väg 597 (2 prov) | | | |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Ämne | Medel- värde (ppm) | Standard- avvikelse (ppm) | Median- värde (ppm) | Variations- koefficient | Medel- värde (ppm) | Standard- avvikelse (ppm) | Median- värde (ppm) | Variations- koefficient |
| As | 5,21 | 1,9 | 4,8 | 36% | 2,90 | 3,3 | 2,9 | 113% |
| Ba | 433,44 | 32 | 438 | 7% | 699,00 | 48,1 | 699,0 | 7% |
| Be | 0,80 ¹ | 0,16 | 0,82 | 21% | 1,37 | 0,3 | 1,4 | 20% |
| Cd | 0,22 | 0,13 | 0,18 | 60% | 0,11 | 0,1 | 0,1 | 53% |
| Co | 8,26 | 2,9 | 7,9 | 35% | 9,27 | 5,3 | 9,3 | 57% |
| Cr | 178,88 | 25 | 184 | 14% | 90,85 | 37,0 | 90,9 | 41% |
| Cu | 22,46 | 7,8 | 19,9 | 35% | 21,40 | 14,3 | 21,4 | 67% |
| Hg | < 2,26 ² | | | | < 0,0398 ⁶ | | | |
| La | 12,10 | 4,69859 | 12,2 | 39% | 34,15 | 31,7 | 34,2 | 93% |
| Mo | < 6,00 ³ | | | | < 5,72 ⁷ | | | |
| Nb | < 6,17 ⁴ | | | | < 11,36 ⁸ | | | |
| Ni | 417,94 | 84,246 | 418 | 20% | 21,35 | 13,2 | 21,4 | 62% |
| Pb | 9,78 | 7,1 | 7,5 | 73% | 13,35 | 4,7 | 13,4 | 35% |
| Sc | 6,55 | 1,6 | 6,6 | 24% | 12,52 | 3,7 | 12,5 | 29% |
| Sn | < 23,38 ⁵ | | | | < 22,85 ⁹ | | | |
| Sr | 240,25 | 30,7517 | 229 | 13% | 335,00 | 22,6 | 335,0 | 7% |
| V | 60,60 | 16,1304 | 56,2 | 27% | 119,00 | 12,7 | 119,0 | 11% |
| W | 258,06 | 56,595 | 272 | 22% | < 57,15 ¹⁰ | | | |
| Y | 20,99 | 5,1 | 19,95 | 24% | 6,91 | 5,5 | 6,9 | 80% |
| Zn | 49,53 | 6,01703 | 49,4 | 12% | 85,40 | 18,7 | 85,4 | 22% |
| Zr | 171,12 | 25,8454 | 175,5 | 15% | 205,00 | 65,1 | 205,0 | 32% |

1 Två prov under detektionsgränsen

2 16 prov under detektionsgränsen

3 15 prov under detektionsgränsen

4 12 prov under detektionsgränsen

5 16 prov under detektionsgränsen

6 Två prov under detektionsgränsen

7 Två prov under detektionsgränsen

8 Ett prov under detektionsgränsen

9 Två prov under detektionsgränsen

10 Två prov under detektionsgränsen

Tabell 4.8 Tillgängliga (utlakbara) mängder tungmetaller och andra ämnen (mg/kg) från krossad betong till väg 109

| Ämne | Medelvärde (mg/kg) (4 prover) | Standard- avvikelse (mg/kg) | Variations- koefficient | Ämne | Medelvärde (mg/kg) (4 prover) | Standard- avvikelse (mg/kg) | Variations- koefficient |
|------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Ca | 62550 | 21080 | 34% | Cr | 1,6795 | 0,75612 | 45% |
| Fe | 541 | 143,243 | 26% | Cu | 2,815 | 0,53151 | 19% |
| K | 1911,5 | 479,784 | 25% | Hg | 0,0062 | 0,00089 | 14% |
| Mg | 2263,5 | 1117,16 | 49% | Mn | 130,25 | 23,3457 | 18% |
| Na | 586,5 | 234,25 | 40% | Mo | 0,2817 | 0,0815 | 29% |
| S | 1163,5 | 745,098 | 64% | Ni | 144,1 | 86,8603 | 60% |
| Si | 5870 | 1758,37 | 30% | Pb | 1,1762 | 1,80527 | 153% |
| Al | 714,8 | 433,38 | 61% | Zn | 14,23 | 4,8807 | 34% |
| As | 0,263 ¹ | | | Cl | 1350 | 472,582 | 35% |
| Ba | 35,05 | 9,36856 | 27% | SO ₄ | 3800 | 2233,08 | 59% |
| Cd | 0,0865 | 0,0516 | 60% | Klorid | 1350 | 472,582 | 35% |
| Co | 2,863 | 0,88446 | 31% | Sulfat | 3800 | 2233,08 | 59% |

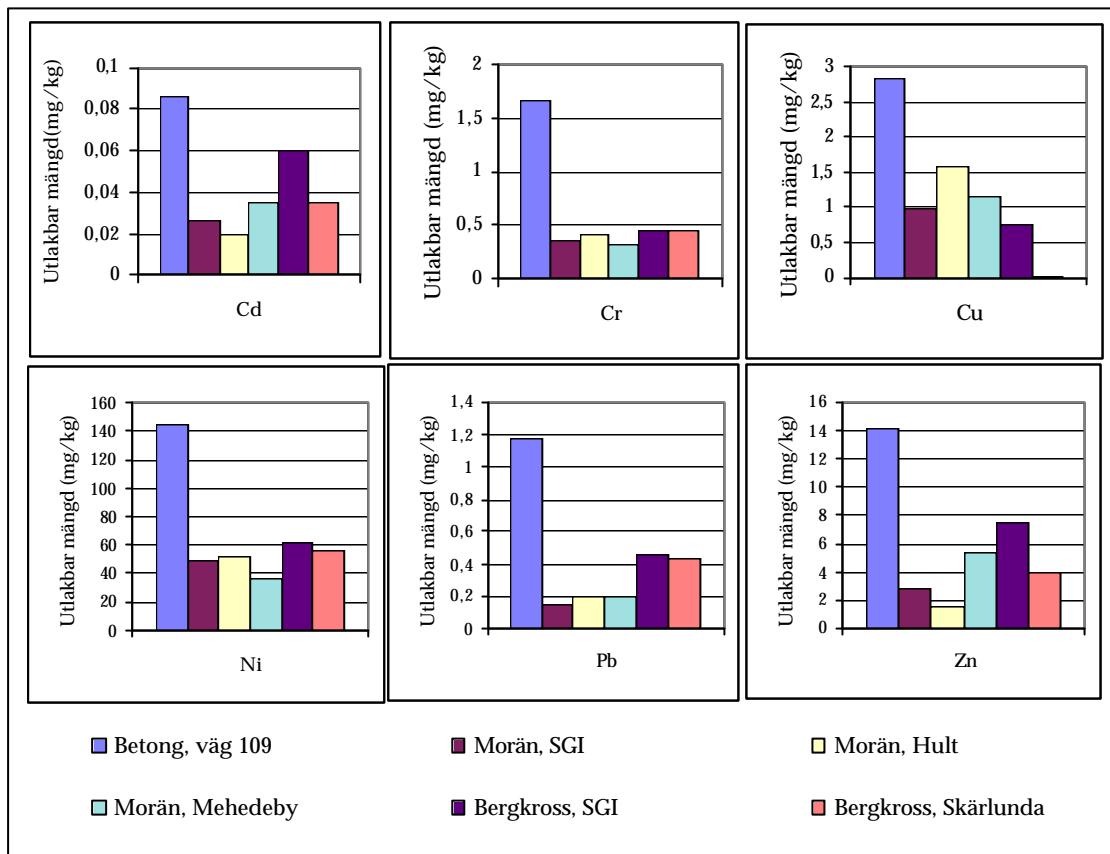
1 Två prov under detektionsgränsen

Tabell 4.9 Utlakningshastighet av tungmetaller och andra ämnen från krossad betong till väg 109(4 prov)

| Ämne | L/S 2 | | | | L/S 10 | | | |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Medel- värde (mg/kg) | Standard- avvikelse (mg/kg) | Median- värde (mg/kg) | Variations- koefficient | Medel- värde (mg/kg) | Standard- avvikelse (mg/kg) | Median- värde (mg/kg) | Variations- koefficient |
| Ca | 1069 | 472,597 | 1218 | 44% | 4088 | 1770,34 | 4437,2 | 43% |
| Fe | 0,033 ¹ | 0,01815 | 0,0263 | 55% | 0,125 ⁶ | 0,01791 | 0,1274 | 14% |
| K | 188 | 128,292 | 212,1 | 68% | 318,9 | 197,175 | 344,94 | 62% |
| Mg | 0,18 ² | | | | 0,934 ⁷ | | | |
| Na | 138,2 | 33,1827 | 137,6 | 24% | 242,8 | 39,7014 | 246,78 | 16% |
| S | 106,7 | 184,953 | 16,77 | 173% | 199,2 | 276,395 | 76,401 | 139% |
| Si | 1,755 | 1,65533 | 1,056 | 94% | 12,42 | 11,2548 | 8,6834 | 91% |
| Al | 0,748 | 1,21185 | 0,2073 | 162% | 8,231 | 10,0274 | 3,7353 | 122% |
| As | 0,002 ³ | | | | 0,01 ⁸ | | | |
| Ba | 0,584 | 0,44233 | 0,546 | 76% | 2,023 | 1,67272 | 2,0883 | 83% |
| Cd | 2E-04 | 6,5E-05 | 0,0002 | 32% | 7E-04 ⁹ | 0,00016 | 0,0007 | 23% |
| Co | 0,031 | 0,01368 | 0,0368 | 44% | 0,09 | 0,04028 | 0,1018 | 45% |
| Cr | 0,191 | 0,14945 | 0,134 | 78% | 0,527 | 0,31461 | 0,4363 | 60% |
| Cu | 0,037 | 0,01647 | 0,0319 | 45% | 0,069 | 0,02873 | 0,0595 | 42% |
| Hg | 3E-04 | 4,8E-05 | 0,0004 | 14% | 1E-03 | 7,7E-05 | 0,001 | 8% |
| Mn | 8E-04 ⁴ | 0,00028 | 0,0009 | 36% | 0,002 ¹⁰ | | | |
| Mo | 0,018 | 0,01035 | 0,0147 | 56% | 0,051 | 0,01952 | 0,0425 | 38% |
| Ni | 0,033 | 0,01038 | 0,0304 | 31% | 0,063 | 0,02473 | 0,0593 | 39% |
| Pb | 0,034 ⁶ | 0,06295 | 0,0036 | 185% | 0,139 ¹¹ | 0,26352 | 0,0096 | 190% |
| Zn | 0,007 | 0,00844 | 0,0026 | 128% | 0,017 | 0,01268 | 0,0111 | 73% |
| Cl | 101,5 | 85,8118 | 83 | 85% | 212,7 | 187,862 | 162,8 | 88% |
| SO ₄ | 296 | 509,737 | 49 | 172% | 578,6 | 790,49 | 236,2 | 137% |

1 Ett prov under detektionsgränsen 6 Tre prov under detektionsgränsen
2 Fyra prov under detektionsgränsen 7 Fyra prov under detektionsgränsen
3 Fyra prov under detektionsgränsen 8 Fyra prov under detektionsgränsen
4 Ett prov under detektionsgränsen 9 Två prov under detektionsgränsen
5 Ett prov under detektionsgränsen 10 Fyra prov under detektionsgränsen
11 Ett prov under detektionsgränsen

I figur 4.10 jämförs i diagramform halterna utlakbart för krossad betong och naturmaterial.



Figur 4.10 Tillgängliga (utlakbara) mängder av Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, och Zn i krossad betong till väg 109, bergkross och morän (14, 19).

Jämförelsen visar att de utlakbara mängder är ca 2 till 5 gånger större för krossad betong än för naturmaterialen.

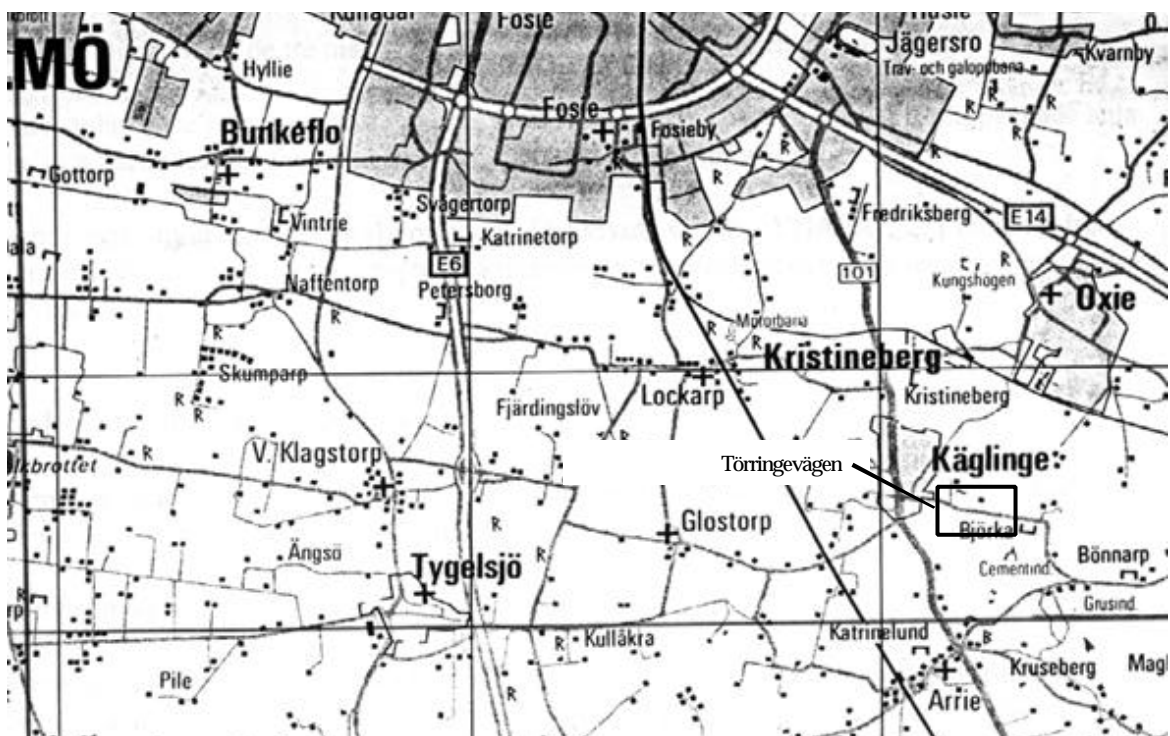
5. BETONG, TEGEL OCH SLAGGRUS SOM FÖRSTÄRKNINGS- OCH BETONG SOM BÄRLAGER - TÖRRINGEVÄGEN

5.1 Allmänt

I Malmö stad skulle en ny väg anläggas under 1998/99. Den befintliga Törringevägen revs upp och en ny och bredare väg anlades. Det skedde en överenskommelse med Caturkontoret att även prova några olika restprodukter under normala produktionsförhållanden. Inför projekteringen bestämdes att anläggandet av provsträckan skulle göras med normala vägbyggnadsmetoder och att ingen speciell hänsyn skulle tas vid hanteringen av betong, tegel och slaggrus.

5.2 Provsträckan i Törringevägen

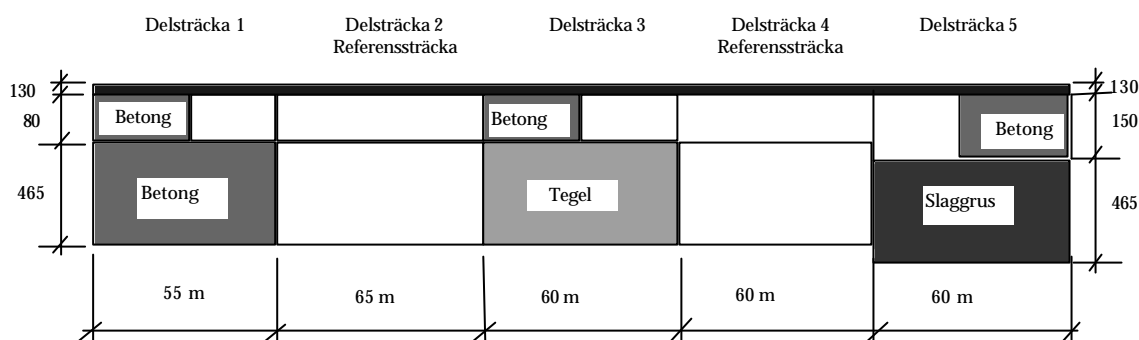
Törringevägen ligger sydvästra Skåne ca 10 km sydost om Malmö vid byn Käglinge (se figur 5.1). "Törringevägen" ägs och förvaltas av Malmö stad.



Figur 5.1 Karta över SÖ Malmö-Käglinge. Provsträckan i Törringevägen är utmärkt med en rektangel

Trafikmängden är ca 400 fordon/dygn och andelen tung trafik är liten. Trakten runt omkring består av lantbruksfastigheter samt en golfbana. Området norr om provsträckan kommer att bebyggas med bostadshus.

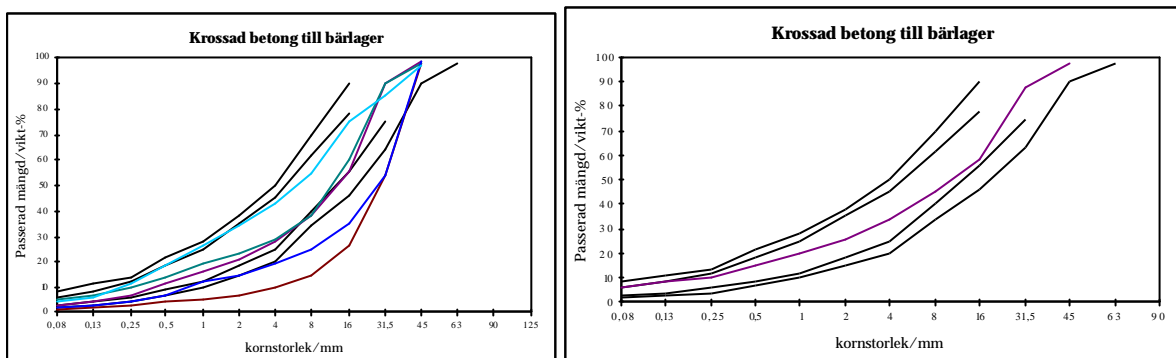
Provsträckan, som anlades, är totalt 500 meter lång. Den består av fem delsträckor. Tre av delsträckorna är anlagda med krossad betong, krossat tegel samt slaggrus som förstärkningslagermaterial (se figur 5.2). Hälften av dessa delsträckors bärlager anlades med krossad betong som bärlagermaterial och andra hälften med krossat berg. Två av delsträckorna är referenssträckor som byggdes helt med konventionella vägbyggnads-material. Längden på varje delsträcka projekterades till 60 meter. Praktisk anpassning av tillgängligt material medförde att delsträcka 1 blev 55 meter lång och delsträcka 2 blev 65 meter lång. De andra delsträckorna är 60 meter långa.



Figur 5.2 Längdsektion av provvägen i Törringevägen

Törringevägen dimensionerades och anlades med en grusbitumenöverbyggnad (GBÖ). Grusbitumenöverbyggnad används normalt till mindre och mellanstora vägar. Törringevägen består av ett bituminöst slitlager, bitumenbundet bärlager, obundet bärlager förstärkningslager (se figur 5.3). Består bärlagret till 50% eller mer av okrossat material skall bärlagret enligt Väg 94 ha en tjocklek på 150 mm annars 80 mm. Delsträcka 5 byggdes med slaggrus som förstärkningslager. Eftersom slaggrus inte är ett krossat material ökades bärlagrets tjocklek till 150 mm i enlighet med VÄG 94.

Kornstorleksfördelningen på tre prov av krossad betong till bärlagermaterial var godkända och två prov underkända enligt VÄG 94, figur 5.5. Eftersom provens storlek var relativt liten (2,1-3,7 kg) och separation kunde skett vid provtagningen togs ytterligare ett prov. Denna gång ur upplaget. Storleken på detta prov var 127 kg och kornstorleksfördelningen godkändes då enligt VÄG 94.



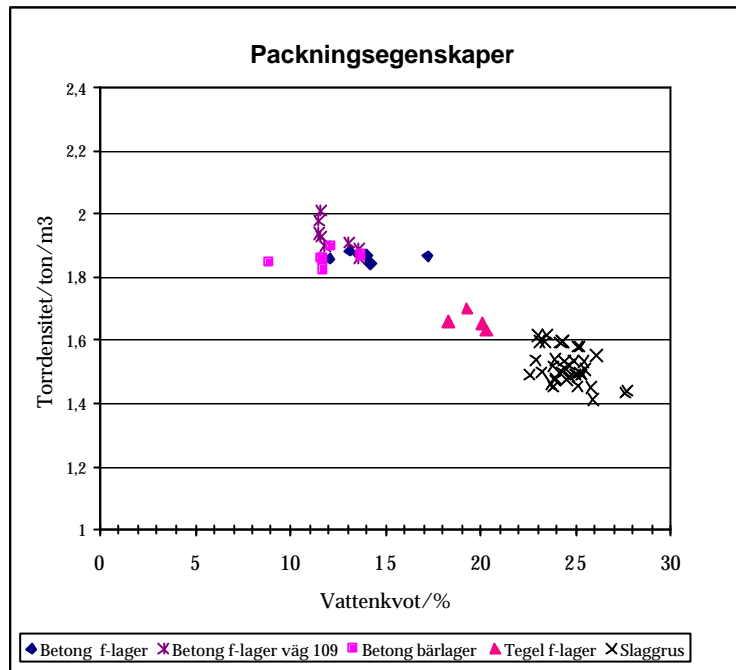
Figur 5.5 Kornstorleksfördelning på krossad betong till bärlager hämtat från transportör (t v) och ur upplag (t h)

Kulkvarnsvärdet för krossad betong till förstärkningslager varierade mellan 24,3-43,3 vikt-%. För betongen till bärlager varierade kulkvarnsvärdet mellan 27,2-32,5 vikt-%.

Packningsegenskaperna hos krossad betong till förstärkningslager och bärlager i Törningevägen samt tegel undersöktes med vibrobord. Packningsegenskaperna hos krossad betong till förstärkningslagret i väg 109 undersöktes med tung instampning (materialstudie). Slaggrus packningsegenskaper undersöktes med tung instampning (slag). Resultatet av undersökningarna visade på att de tre materialens packningsegenskaper skiljer sig åt (se figur 5.6). Detta beror på olika korndensitet, eftersom samtliga kurvor följer samma trend.

Korndensiteten motsvarar tidigare undersökningar av betong till förstärkningslager (väg 109 och 597), nämligen 2,5-2,7 t/m³.

I åtta undersökta prov på krossad betong varierade halten organisk material mellan 1,3-3,0 vikt-%. Glödgningsförsöken gjordes vid 550° C. Då avges ungefär 80 vikt-% av allt kemiskt bundet vatten i krossad betong. Halten organiskt material är således lägre än VÄG 94:s krav på högst 2,0 vikt-%.



Figur 5.6 Packningsegenskaper hos krossad betong till förstärkningslager (f-lager) (materialstudie) och bärager samt hos tegel till förstärkningslager och hos slaggrus (slag)

5.3.2 Miljömässiga egenskaper

Halten av tungmetaller i betong i Törringevägen undersöktes inte i laboratorium då resultaten från undersökningarna på kemiska egenskaper hos betong till VÄG 109 fanns att tillgå (se kap. 4.6). Dessa undersökningar visade att halten av tungmetaller i krossad betong var 2- 5 gånger större tungmetallhalten i bergkross och morän. Analyser av uppsamlat lakvatten i fält från betongkross visade väsentligt lägre halter, i storleksordning med de halter som uppmättes i lakvattnet från naturmaterialen. Utlakningshastigheten varierade mellan olika tungmetaller, men var överlag låg, se kap 4.6. Resultatet från mätningarna i fält redovisas i kapitel 6.

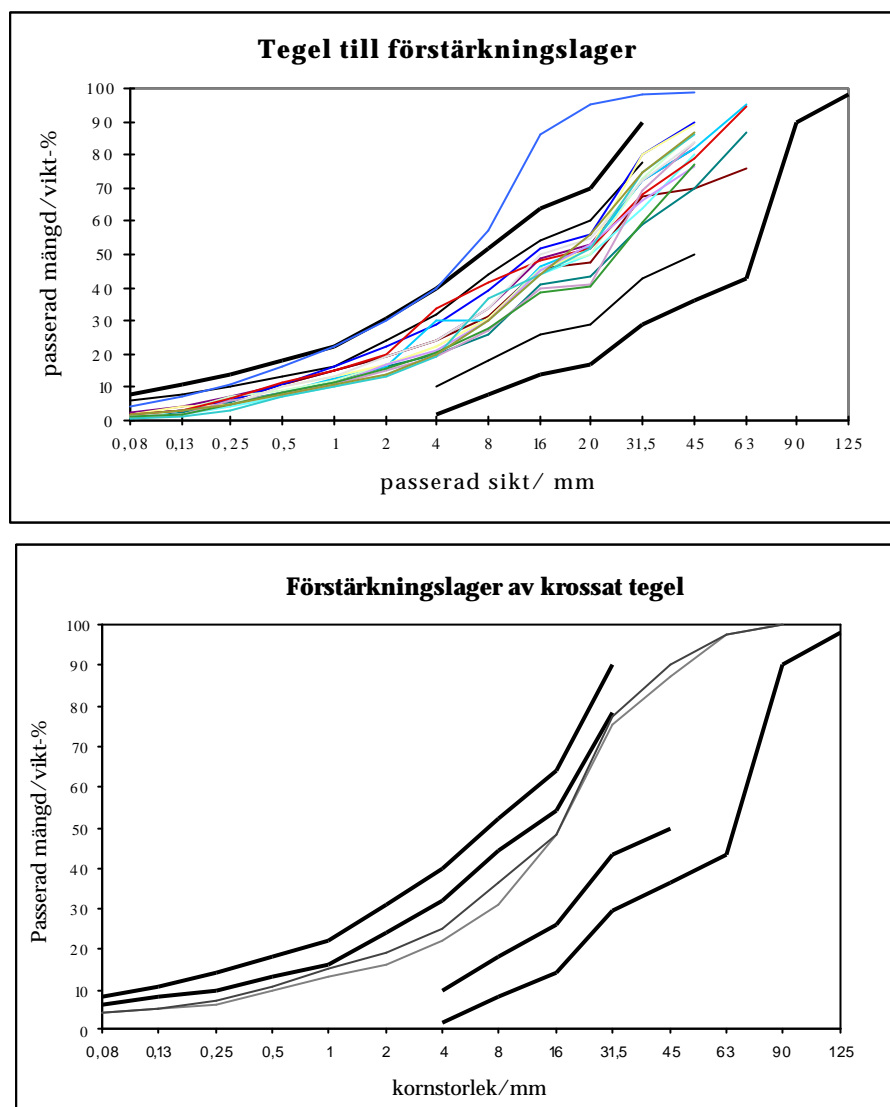
5.4 Karakterisering av materialegenskaperna hos krossat tegel

5.4.1 Tekniska egenskaper

De tjocka linjerna i figur 5.7 definierar VÄG 94:s krav på kornstorleksfördelningen i ett förstärkningslager. En kornstorleksfördelningskurva som passerar någon av dessa linjer underkänds. Av 16 undersökta prov på kornstorleksfördelningen hos det krossade teglet som skulle användas som förstärkningslagermaterial godkändes 15 st enligt VÄG 94 (se figur 5.7).

Kornstorleksfördelningen undersöktes även efter att teglet anlagts i provsträckan för att avgöra om kornstorleksfördelningen förändrades av utläggningsarbetet och för att VÄG 94 kräver en kontroll av utlagt materials kornstorleksfördelning. Teglet som var utlagt i

provsträckan klarade även kraven i VÄG 94, vilket innebär att krossningen var begränsad under utläggning och packning.



Figur 5.7 Kornstorleksfördelning på krossat tegel till förstärkningslagermaterial före (övre) och efter (nedre) utläggning i Törringevägen

Packningsegenskaperna bestämdes i laboratorium. Resultaten visar att krossat tegel behöver relativt mycket vatten för att uppnå optimal vattenhalt. Medelvärdet för optimal vattenkvot blev 19,5 % med en maximal variation på 1,2 %-enheter. Maximal torrdensitet var då 1,66 t/m³, se även figur 5.6. Man kunde konstatera att variationen var liten för de olika försöken samt att maximal packning erhålls nära vattenmättningsgrad.

Halten organiskt material i det krossade teglet misstänktes vara låg. Två prover undersöktes och halten organiskt material var 1,2 och 1,1 vikt-%. Halt organiskt material i tegel var så pass låg att det klarade kraven i VÄG 94.

Vattenabsorptionen i krossat tegel undersöktes, då det befarades att inomhustegel skulle suga vatten med tiden och kanske ändra sina egenskaper. Tegelkrossen absorberade

vatten snabbt (se tabell 5.3). Detta bör innebära att det i första hand är ytlig uppsugning. Men givetvis kommer ytterligare uppsugning att ske.

Tabell 5.3 Tegels vattenabsorption

| Tid | Absorberad mängd vatten (vikt-%) |
|---------|----------------------------------|
| 24 h | 14,8 |
| 5 dygn | 15,4 |
| 30 dygn | 16,4 |
| 43 dygn | 16,8 |

Renheten hos det krossade teglet bedömdes vara väsentligt att visa. I krossningsprocessen av tegel ingick ett steg där lätta byggrester t ex plast, isolering, papper och lättbetong avlägsnades med en luftseparator. Tyngre material som inte var tegel t ex asfalt, glas, trä, plast, asfalt och kakel följde med. För att avgöra halten av främmande material plockades främmande material bort från proven med tegelkross och vägdes.

Halten främmande material varierade mycket mellan proven. I 7 av 16 prov var halten främmande material 0 %. Högsta halt främmande material var 1,5 vikt-%. Det krossade teglet hade således hög renhet.

5.4.2 Miljömässiga egenskaper i krossat tegel – resultat från labanalyser

I analysen av tungmetaller i tegel gjordes en totalinnehållsanalys, en tillgänglighetsanalys, en analys av utlakningshastigheten och en analys av tungmetallsinnehållet i lakvatten från provsträckan med tegel.

Analysen av totalinnehållet av metaller av tegel visade att teglets huvudämnen var till största delen kisel (Si), aluminium (Al), kalcium (Ca), och järn (Fe) (se tabell 5.4).

Tabell 5.4 Kemisk sammansättning hos tegel

| Ämne | Tegel, % (8 analyser) |
|------|-----------------------|
| Si | 30,58 |
| Al | 5,88 |
| Ca | 6,66 |
| Fe | 2,85 |
| K | 2,31 |
| Mg | 0,93 |
| Na | 0,92 |

Analys av tegel och i morän och bergkross visade att totalhalterna av tungmetallerna kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink var i samma storleksordning för tegel som för naturmaterialen (se tabell 5.5).

Tabell 5.5 Totalhalter av ett urval av tungmetaller i slaggrus och naturmaterial

| | Tegel (ppm) (8 analyser) | Morän (ppm) (5 analyser) | Bergkross (ppm) (4 analyser) |
|----|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Cd | 0,21 | 0,16 | 0,102 |
| Cr | 99,91 | 94,8 | 165 |
| Cu | 10,77 | 17 | 12,8 |
| Ni | 30,69 | 257 | 512 |
| Pb | 24,90 | 10 | 8,18 |
| Zn | 80,34 | 42,3 | 53,6 |

I en tillgänglighetsanalys bestämdes hur stora mängder tungmetaller som kunde lakas ut ur materialen. Tillgängliga mängder av krom, (Cr), koppar (Cu), bly (Pb) och Zink (Zn) i tegel var högre hos tegel än hos naturmaterialen (se tabell 5.6). Tillgänglig mängd av nickel (Ni) var lägre och kadmium (Cd) i tegel ungefär lika hög som i naturgrus.

Tabell 5.6 Medelvärde på tillgängliga (utlakbara) mängder tungmetaller och andra ämnen från krossat tegel och naturmaterial

| Ämne | Tegel (mg/kg) (4 analyser) | Morän (mg/kg) (5 analyser) | Bergkross (mg/kg) (4 analyser) |
|------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Cd | 0,0527 | 0,027 | 0,06 |
| Cr | 1,26 | 0,37 | 0,45 |
| Cu | 1,84 | 0,98 | 0,74 |
| Ni | 5,55 | 48,8 | 62 |
| Pb | 1,34 | 0,15 | 0,46 |
| Zn | 18,2 | 2,8 | 7,4 |

Utlakningshastigheterna av spårämnen från krossad betong, krossat tegel och slaggrus visas i bilaga och tabell 5.7.

Tabell 5.7 Utlakningshastighet för tegel (4 prov)

| Ämne (mg/kg) | Tegel | |
|-----------------|--------------|--------------|
| | L/S 2 | L/S 10 |
| Cd | 0,000109 | 0,00051 |
| Cr | 0,32 | 0,52 |
| Cu | 0,036 | 0,064 |
| Ni | 0,011 | 0,025 |
| Pb | 0,0029 | UD 0,0064 |
| Zn | UD 0,0030 | UD 0,011 |

UD: Ett eller flera av resultaten var under detektionsvärde. Medelvärde beräknades då ett eller flera värden var över detektionsgränsen

5.5 Karakterisering av materialegenskaperna hos slaggrus

5.5.1 Allmänt

Slaggrus har funnit stor användning i vissa länder (Born, 1995, Chandler et al,1997). Graden av återanvändning 100% i Holland, 70 % i Danmark och 50 % i Tyskland. I Sverige återanvänds i princip ingen slagg, bortsett från inom deponeringsanläggningarna för t.ex. vägar.

Det har under en längre tid pågått försök i Sverige att använda slaggen från avfallsförbränning (Lundgren & Hartlén, 1991). Erfarenheterna är genomgående goda men det saknas direktiv och regler vilket begränsar användningen.

Sysav har under de senaste 15 åren deltagit i och drivit flera forskningsprojekt för att utvärdera slaggrusets miljömässiga och vägtekniska egenskaper. Under utbyggnaden av avfallsupplagen har slaggrus använts som ersättning för naturgrus. Detta har också skett i några externa projekt bl.a. en återvinningsstation och en kombiterminal för omlastning och rangering av containers för järnvägstransporter. Beställare för kombiterminalprojektet är Svedab, Svensk Dansk Broförbindelse AB. Sysav är leverantör av restprodukter som fyllnadsmaterial. Från arbetsplatsen till Sysav transporterades uppgrävda schaktmassor som bestod av gammal schakt- och byggtipp. Returlasten till arbetsplatsen bestod av slaggrus. Sammanlagda transportavståndet i projektet beräknades till ca 2 600 mil vilket motsvarar ett drygt halvt varv runt jorden. Vid användning av sand och grusmaterial skulle enligt en beräkning den totala transportsträckan bli ca 34 000 mil (ca 8,5 varv runt jorden). Beräkningen baseras bl.a. på att returlasten vid avlämning av schaktmassor blir en tom transport. För att Sysav skulle kunna använda schaktmassorna, bl.a. för invallning i Öresund i samband med utbyggnad av avfallsupplag, sorterades beståndsdelar, som betong, sten, trä och slipers mm, upp och transporterades till lämplig behandling respektive upplag i väntan på användning.

5.5.2 Framställning

Slaggen innehåller även metallskrot och större material som inte kunnat förbrännas, såsom betongskrot. Slaggen homogeniseras därför genom siktning och metallavskiljning. Siktningen innebär normalt att material större än 40 à 50 mm avskiljs. Grovkornt material läggs normalt på tipp. Metallen kan normalt säljas även om marknadspriset varierar över tiden. Fördelningen av de olika fraktionerna är 14 % grovskrot, 4 % finskrot, 75 % slagg och 7 % rejekt (tegel, betong m.m.), (Lundgren & Hartlén, 1991).

För att erhålla bästa kvalitet skall inte aska från rökgasgångarna blandas in i slaggen och inte heller flygaskan och andra rökgasreningsprodukter.

Slagg från avfallsförbränning har egenskaper som visat sig förändras under den första tiden efter utmatningen från förbränningskammaren. Slaggen som matas ut kräver en viss tid för att oxidera och bli stabil. Detta sker genom att askan lagras i slagghögar under några månader. Olika länder har olika krav, men normalt krävs minst tre månaders lagring.

5.5.3 Materialegenskaper

För att erhålla en slagg av god kvalitet krävs att slaggen bildats vid tillräckligt hög temperatur så att erforderlig utbränning och sintring skett. Dessa två faktorer hör delvis samman, varför ett vanligt krav för kvalitetssäkring är att halten kvarstående brännbart material (halt oförbränt) understiger en viss halt. Denna gräns är i de flesta länder 5 vikt-%, bestämd vid 550 °C. Denna gräns bedöms komma att sänkas ner mot ca 2 % med hänsyn till beständighet samt utlakning av organiska föreningar.

De fysikaliska egenskaperna har bl.a. undersökts vid då slaggrus användes som utfyllnad vid anläggandet av kombiterminal tillhörande utbyggnaden av anslutningarna till Öresundsbron under SVEDABs ledning (Evertsson et al, 1997, Evertsson, 1999 m.fl.). Det togs ut ett stort antal delprover för att klargöra homogeniteten hos slaggruset som lagrats under flera års förbränning.

Kornstorleken bestämdes genom siktning. Finmaterialhalten var låg (ca 3 % räknat på 0,006 mm). Materialet är välgraderat, vilket innebär att den har bra bärighet. Slaggen hade dock för lite grovkornigt material för att den skulle uppfylla Väg 94:s krav på bärlagermaterial.

Vattenkvoten varierade inom snäva gränser, motsvarande 23 och 25,5 %, med ett medelvärde på 24,5 % på 38 prover.

Slaggruset är lätt att hantera och lägga ut i föreskrivna skikt i samband med anläggningsarbeten. Det har stor bärighet och framkomlighet för lastbilar även innan det blivit färdigpackat. Detta innebär att det normalt räcker med att låta ett band- eller hjulburet fordon jämna till slaggruset innan nästa lastbil kan köra ut på den avjämnade ytan och tippa nästa lass. Packning sker snabbt och effektivt så snart lämplig skiktjocklek erhållits.

Slaggrusen som användes i Törtingevägen har samma egenskaper som de som tidigare bestämts för Kombiterminalen, varför inga särskilda fysikaliska undersökningar utfördes.

5.5.4 Miljömässiga egenskaper – resultat från labanalyser

Tungmetaller

Analys av oorganiskt innehåll i betong och tegel gjordes för materialet till Törtingevägen. Oorganiskt innehåll av slaggrus från SYSAVs avfallskraftvärmeverk analyserades under 1997 och redovisas i en RVF-rapport (Fällman et al, 1999). Analyserna på de tre materialen gjordes med samma metoder.

Undersökningen av vilka huvudämnen som dominerade slaggrus visade att kisel (Si), kalcium (Ca), aluminium (Al) och järn (Fe) dominerade (se tabell 5.8).

Tabell 5.8 *Kemisk sammansättning hos slaggrus*

| Ämne | Slaggrus, (%) |
|------|---------------|
| Si | 21,58 |
| Al | 5,18 |
| Ca | 9,22 |
| Fe | 7,3 |
| K | 1,05 |
| Mg | 1,18 |
| Na | 2,92 |

Halten av spårämnen i slaggrusen jämfördes med innehållet av spårämnen hos slaggrus med morän och bergkross (Carling, 1998). Tungmetallhalt hos slaggruset var högre för alla tungmetaller förutom nickel (se tabell 5.9).

Tabell 5.9 *Totalhalter av ett urval av tungmetaller i slaggrus och naturmaterial (Carling, 1998)*

| | Slaggrus, (ppm) (8 prov) | Morän, (ppm) (5 prov) |
|----|-----------------------------|--------------------------|
| Cd | 8,72 | 0,16 |
| Cr | 476 | 94,8 |
| Cu | 2420 | 17 |
| Ni | 150 | 257 |
| Pb | 1502 | 10 |
| Zn | 2895 | 42,3 |

Undersökning av tillgängliga mängder tungmetaller visade att mängden krom, (Cr), koppar (Cu), Bly (Pb) och Zink (Zn) var högre i slaggrus än i naturmaterialen (se tabell 5.10).

Tabell 5.10 *Medelvärde på tillgängliga (utlakbara) mängder tungmetaller och andra ämnen från slaggrus och naturmaterial (Carling, 1998)*

| Ämne | Slaggrus (mg/kg) 8 prov | Morän (mg/kg) 5 prov | Bergkross (mg/kg) 4prov |
|------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Cd | 3,9 | 0,027 | 0,06 |
| Cr | 1,86 | 0,37 | 0,45 |
| Cu | 780 | 0,98 | 0,74 |
| Ni | 20,7 | 48,8 | 62 |
| Pb | 412 | 0,15 | 0,46 |
| Zn | 1520 | 2,8 | 7,4 |

5.6 Bärighet hos provsträckorna

Under byggperioden sjönk temperaturen så pass mycket att det uppstod tjäle i förstärkningslagren. Terrassens bärighet kunde inte undersökas med statisk plattbelastning p.g.a. tjäle och nederbördsförhållande. En jämförelse av terrassens bärighet gjordes med vingbormmätning och det konstaterades att skjuvhållfastheten mellan de olika terrasssträckorna var i samma storleksordning. Bärigheten i hela sträckans terrass bedömdes därför vara lika hög.

Kontroll av packningskvot och packning utfördes och provvägen byggdes färdig och asfaltgrus lades på. Under våren (april), när tjälen var borta och nederbörds mängderna var lägre sågades hål upp i asfaltgruset och kontroll av bärigheten utfördes med statisk plattbelastning efter ett provtagningsprogram. Prov- och referenssträckornas styvhet bestämdes med statisk plattbelastning.

Det gjordes 10 bärighetsmätningar på bärlagret, fem på bärlagret av betong och fem på bärlagret av bergkross. På förstärkningslagret gjordes fem eller sex bärighetsmätningar. På varje referenssträcka gjordes tre mätningar på bärlagret och tre mätningar på förstärkningslagret.

I VÄG 94 anges kravet på bärighet (Ev2) för vägöverbyggnaden

- om mätningen utförs på förstärkningslager under bärlager < 100 mm och antal mätningar är fem till $x \geq 130 + 0,68s$ där x är medelvärdet och s är standardavvikelsen,
- om mätningen utförs på bärlager och antal mätningar är fem till $x \geq 150 + 0,68s$

Ingen av delsträckornas förstärkningslager uppfyller VÄG 94:s krav. Bärigheten är lägst hos förstärkningslagret av krossat tegel (se tabell 5.11).

Tabell 5.11 Bärigheten hos förstärkningslager av betong, tegel, slaggrus och bergkross

| Provsträcka med förstärkningslager av | Medelvärde av bärighet (Ev2) (MPa) | Krav i VÄG 94 på medelvärdet (MPa) |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Betong | 117 | 157 |
| Bergkross | 67,7 | 142 |
| Tegel | 58,8 | 135 |
| Bergkross | 90,3 | 140 |
| Slaggrus | 93,0 | 120 |

Bärighetsmätningarna som gjordes på bärlagret visade att tegel hade ungefär lika hög bärighet som naturmaterialet, tabell 5.12. Huruvida betongen i bärlagret medför en bärighetsökning jämfört med bergkross kunde inte avgöras.

Tabell 5.12 Bärighet hos delsträckorna mätt på bärlager

| Provsträcka med förstärkningslager/bärlager av | Medelvärde av bärighet (Ev2) (MPa) | Krav i VÄG 94 på medelvärdet (MPa) |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Betong/Betong | 102 | 156 |
| Betong/Bergkross | 81,0 | 150 |
| Bergkross/Bergkross | 59,9 | 153 |
| Tegel/Betong | 56,2 | 162 |
| Tegel/Bergkross | 60,8 | 153 |
| Bergkross/Bergkross | 69,3 | 157 |
| Slaggrus/Betong | 67,7 | 161 |
| Slaggrus/Bergkross | 73,9 | 171 |

Fallviktsmätning utfördes i minst åtta punkter per provsträcka i början av juni-99 då materialen var opåverkade av tjäle och frost. Lagermodulerna var låga i förhållande till förväntade värden (se tabell 5.13). Lagermodulen för asfaltgruset (AG) (E_1) borde ligga på nivån 3500-4500 MPa. Den låga lagermodulen kan bero på att AG:n lades ut under ogynnsamma förhållanden i december-98. Den låga asfaltmodulen påverkar också lagermodulen för bärlager- och förstärkningslager (E_2). Undergrundens lagermodul var också låg enligt kraven i Väg 94. Det noterades att styvhetsmodulen för krossad betong var lika hög som för bergkross. Krossat tegel och slaggrus var inbördes lika höga och mellan 50-80% av bergkrossens lagermodul.

Tabell 5.13 Itererade lagermoduler i Törningevägen beräknade från fallviktsförsök

| Sträcka | Förstärkningslager av | Asfaltgrus (AG) E_1 (MPa) | Bär- + förstärkningslager E_2 (MPa) | Undergrund E_3 (MPa) |
|---------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 1A | Betong | 2000 | 150 | 70 |
| 1B | Betong | 1000 | 100 | 70 |
| 2 | Bergkross | 800 | 100 | 70 |
| 3A | Tegel | 1500 | 50 | 70 |
| 3B | Tegel | 1500 | 80 | 70 |
| 4 | Bergkross | 1500 | 150 | 70 |
| 5A | Slaggrus | 1500 | 80 | 70 |
| 5B | Slaggrus | 1500 | 80 | 70 |

6. JÄMFÖRELSE MILJÖMÄSSIGA EGENSKAPER – krossad betong, tegel och slaggrus versus naturliga material

6.1 Inledning

I tidigare kapitel har de miljömässiga egenskaperna bestämda i laboratorium för de olika restprodukterna redovisats. De aktuella restprodukternas och de konventionella vägbyggnadsmaterialens utlakningsegenskaper har och också karakteriserats genom mätningar i fält. Denna data presenteras i detta kapitel. Generellt så är utlakning i fält väsentligt lägre än den som uppmätts i laboratorium. I det avslutande underkapitlet diskuteras detta fenomen.

6.2 Utlakningsegenskaper hos de undersökta restprodukterna

6.2.1 Laborieförsök

Undersökningen av utlakningshastigheten för tungmetaller visade att utlakningshastigheten för metallerna kadmium (Cd), krom (Cr) och Nickel (Ni) var signifikant lägre för slaggrus jämfört med tegel och betong (se tabell 6.1). Däremot lakades koppar (Cu) ut ur slaggruset med en faktor 100 snabbare jämfört med tegel och betong. Bly (Pb) utlakades lättare ur betong än både slaggrus och tegel. Resultatet från utlakningsförsök som tidigare redovisats i rapporten har nedan sammanställts i Tabell 6.1 för att underlätta en jämförelse.

Tabell 6.1 Utlakningshastighet för betong (4prov), tegel (4 prov) och slaggrus (8 prov)

| Ämne (mg/kg) | Betong | | Tegel | | Slaggrus | |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|--------|
| | L/S 2 | L/S 10 | L/S 2 | L/S 10 | L/S 2 | L/S 10 |
| Cd | 0,0002 | UD 0,0007 | 0,000109 | 0,00051 | UD | UD |
| Cr | 0,19 | 0,53 | 0,32 | 0,52 | 0,034 | 0,062 |
| Cu | 0,037 | 0,069 | 0,036 | 0,064 | 5,95 | 8,75 |
| Ni | 0,033 | 0,063 | 0,011 | 0,025 | UD | UD |
| Pb | UD 0,034 | UD 0,14 | 0,0029 | UD 0,0064 | 0,01 | 0,021 |
| Zn | 0,007 | 0,017 | UD 0,0030 | UD 0,011 | 0,018 | 0,044 |

UD: Ett eller flera av resultaten var under detektionsvärdet. Medelvärde beräknades för betong och tegel men fanns inte angivet för slaggrus

6.2.2 Tungmetallinnehåll i lakvattnet från de olika delsträckorna uppmätt i fält

Törringevägen

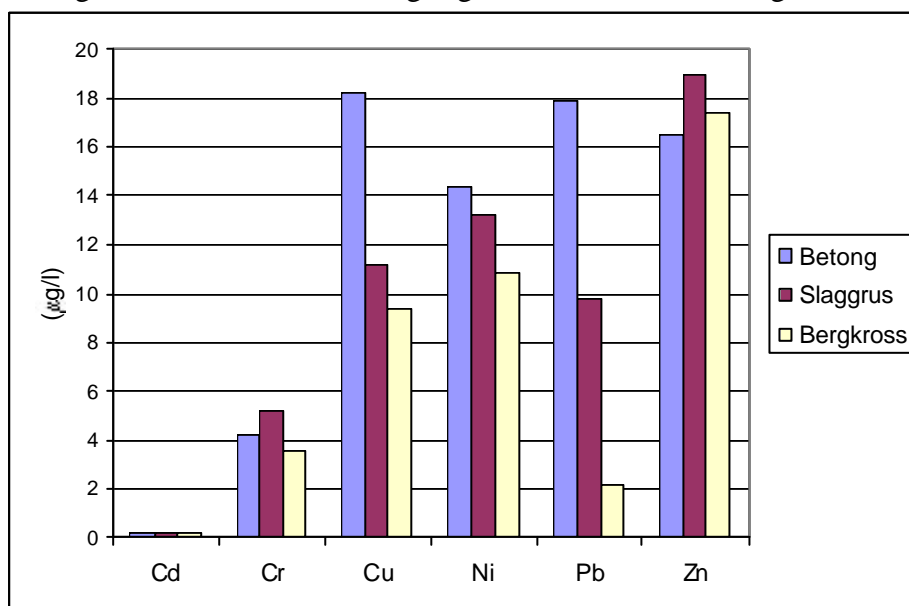
I samband med de geotekniska borrhågen vid Törringevägen placerades ett vattenståndsror i varje borrhål. Prover togs på lakvattnet och analyserades med avseende på tungmetallhalter. Resultaten från provtagningen redovisas i Tabell 6.2. Ingen mätdata finns från referenssträcka 2 (bergkross) pga. att en vägbyggnadsmaskin av misstag körde på och deformerade brunnsröret för lakvattenuppsamling. Tillräcklig mängd lakvatten (minst 1dl) kunde ej samlas upp från delsträcka 3 (tegelkross), troligtvis för att krossat tegel är för tätt (Ludvigsen, 1999) och mätdata saknas därför. Lakvattnet från provsträckan i Törringevägen undersöktes precis invid vägen. Förhållandet mellan den

mindre mängd vatten som infiltrerar genom vägytan och in i restmaterialet jämfört med den mängden regn som infiltrerar ned i marken intill vägen gör att lakvattnet snabbt späds ut med en faktor 100 eller mer när det väl lämnat vägkonstruktionen.

Tabell 6.2 *Halt av tungmetaller i lakvatten från Törringevägen.*

| Ämne | Enhet | Delsträcka 1 Betong | Delsträcka 4 Bergkross | Delsträcka 5 Slaggrus |
|-----------------|-------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Ca | Mg/l | 94,2 | 84,8 | 90,4 |
| Fe | Mg/l | 1,3 | 0,76 | 2,77 |
| K | Mg/l | 1,07 | 2,56 | 0,75 |
| Mg | Mg/l | 3,83 | 3,05 | 2,98 |
| Na | Mg/l | 56,6 | 101 | 145 |
| S | Mg/l | 7,35 | 3,19 | 9,24 |
| Al | µg/l | 1120 | 593 | 1860 |
| As | µg/l | <5 | <7 | <8 |
| Ba | µg/l | 44,5 | 51 | 63,6 |
| Cd | µg/l | 0,184 | 0,132 | 0,182 |
| Co | µg/l | 1,88 | 1,48 | 2,78 |
| Cr | µg/l | 4,22 | 3,53 | 5,24 |
| Cu | µg/l | 18,2 | 9,32 | 11,2 |
| Hg | µg/l | <0,02 | <0,02 | <0,02 |
| Mn | µg/l | 27,2 | 24,5 | 146 |
| Ni | µg/l | 14,3 | 10,9 | 13,2 |
| Pb | µg/l | 17,9 | 2,18 | 9,78 |
| Zn | µg/l | 16,5 | 17,4 | 18,9 |
| Cl | Mg/l | 163 | 293 | 294 |
| SO ₄ | Mg/l | 48 | 37 | 57 |

Vid en jämförelse med lakvattnet från referensdelsträckan 4 (bergkross) är det värt att notera att halten av koppar och bly är signifikant högre i lakvattnet från delsträckan där krossad betong använts som förstärkningslager. Detta illustreras i Figur 6.1.



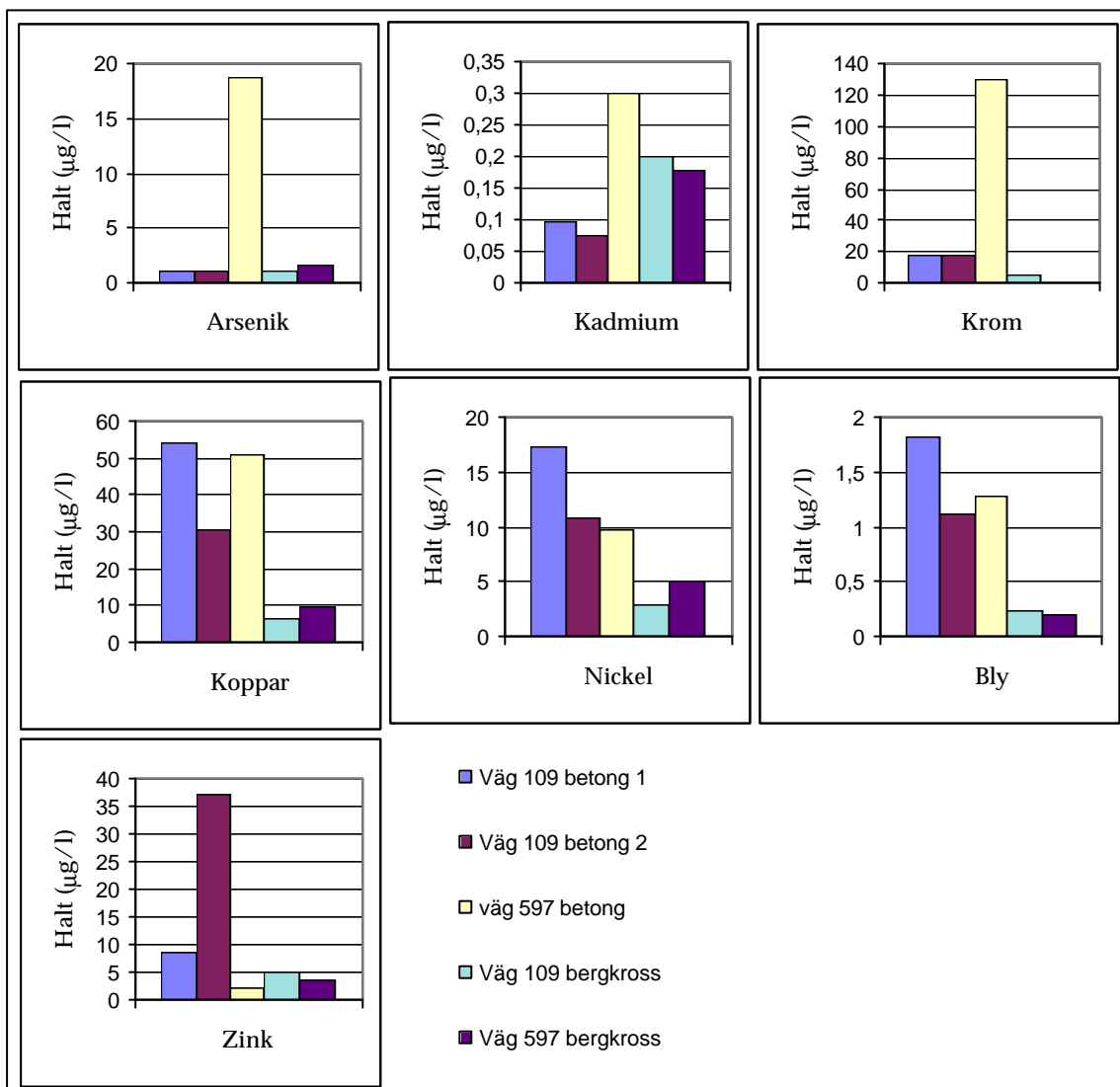
Figur 6.1 *Utlakade mängder från provsträckorna i Törringevägen.*

Väg 109 och 597

Prover togs på lakvattnet från både väg 109 och 597 samt referenssträckor och analyserades med avseende på tungmetallhalter. Resultaten från provtagningen redovisas i Tabell 6.3 och i figur 6.2.

Tabell 6.3 Halt av ämnen i lakvatten från krossad betong och bergkross i väg 109 och 597.

| Metall | Enhet | Väg 109 Be- tongprov 1 | Väg 109 Be- tongprov 2 | Väg 109 Referensmaterial | Väg 597 be- tongprov | Väg 597 Refe- rensmaterial |
|-----------------|-------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Ca | Mg/l | 446 | 254 | 19,0 | 8,04 | 63,5 |
| Fe | Mg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,0447 | 0,0114 |
| K | Mg/l | 160 | 84,2 | 17,1 | 92,0 | 20,8 |
| Mg | Mg/l | <0,09 | <0,09 | 0,485 | 0,930 | 17,7 |
| Na | Mg/l | 190 | 80,6 | 38,9 | 268 | 27,0 |
| S | Mg/l | 2,15 | 1,82 | 10,1 | 67,9 | 59,7 |
| Al | µg/l | 703 | 1010 | 47,7 | 104 | 33,2 |
| As | µg/l | 1,07 | <1,00 | <1,00 | 18,8 | 1,53 |
| Ba | µg/l | 394 | 237 | 14,5 | 7,95 | 74,4 |
| Cd | µg/l | 0,0970 | 0,0760 | 0,200 | 0,300 | 0,178 |
| Co | µg/l | <15,6 | <9,33 | 1,52 | 3,47 | 1,07 |
| Cr | µg/l | 18,4 | 17,7 | 5,38 | 130 | <0,500 |
| Cu | µg/l | 54,0 | 30,3 | 6,25 | 50,8 | 9,66 |
| Hg | µg/l | <0,0200 | <0,0200 | <0,0200 | <0,0200 | <0,0200 |
| Mn | µg/l | 0,369 | 0,219 | 0,201 | 1,57 | 6,55 |
| Ni | µg/l | 17,3 | 10,9 | 2,93 | 9,90 | 5,08 |
| Pb | µg/l | 1,83 | 1,12 | 0,226 | 1,28 | <0,200 |
| Zn | µg/l | 8,53 | 37,2 | 5,03 | 2,16 | 3,43 |
| Cl | Mg/l | 180 | 99 | 42 | 39 | 13 |
| SO ₄ | Mg/l | 100 | 68 | 29 | 190 | 160 |



Figur 6.2 Halt av tungmetaller i lakvatten från krossad betong och från bergkross i väg 109 och i väg 597.

Resultaten visar att användning av krossad betong som vägbyggnadsmaterial ger i de flesta dubbelt så höga koncentrationer i lakvattnet, jämfört med bergkross. De uppmätta tungmetallhalterna visar också en stor variation för proverna tagna vid väg 109 respektive väg 597.

6.3 Riskklassificering enligt Naturvårdsverkets riktlinjer för dricks-, yt- och grundvatten

Vissa tungmetaller bedöms utgöra ett större hot mot hälsa och ekosystem än andra. För att kunna ta ställning till om en specifik restproduktanvändning innebär en godtagbar miljöpåverkan krävs bedömningsgrunder eller kriterier som bygger på en bedömning av risken för allvarlig skada för hälsa eller ekosystem. Riskbedömningen kan beskrivas som en flexibel process för att organisera och analysera data, information, antaganden och osäkerhet för att utvärdera sannolikheten av oönskade effekter för hälsa och miljö. I riskbedömningen vägs resultat från riskanalysen samman med andra aspekter, t.ex. so-

ciala, tekniska, ekonomiska och kulturella, för att man sedan skall kunna besluta om åtgärder för att hantera potentiella risker. Riskbedömningsmetodiken kan användas för att ta fram rikt- och gränsvärden för specifika ämnen och situationer. Bedömningen av risker görs sedan genom att uppmätta halter av olika ämnen för det studerade objektet jämförs med riktvärden, generella eller plats specifika. Enligt Naturvårdsverkets gränsvärden för grundvatten är halterna i lakvattnet från de olika provsträckorna så små att de bedöms som "mindre allvarliga" (se tabell 6.4-6). Med mindre allvarliga konsekvenser menas att "inga kända (negativa) effekter föreligger på miljö och hälsa". Om halten av tungmetall betecknas som mindre allvarligt bedöms vattnet som tjänligt. Nedan jämförs erhållna lakvattendata med Naturvårdsverkets riktvärden för dricks- och ytvatten.

Tabell 6.4 Indelning av tillstånd för förorenat grundvatten baserat på hälsobaserade gränsvärden för dricksvatten (Naturvårdsverket, 1999a) samt halterna i lakvatten från provsträckorna med betong i väg 109 och 597 ($\mu\text{g/l}$)

| Ämne | Mindre allvarligt | Måttligt allvarligt | Allvarligt | Mycket allvarligt | Från betong i väg 109 (2 prov) | Från betong i väg 597 (1 prov) |
|-------------|-------------------|---------------------|------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Koppar | < 2000 | 2000-6000 | 6000-20000 | >20000 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Arsenik | <50 | 50-150 | 150-500 | >500 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Bly | <10 | 10-30 | 30-100 | >100 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Kadmium | <5 | 5-15 | 15-50 | >50 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Krom | <50 | 50-150 | 150-500 | >500 | Mindre allvarligt | Måttligt allvarligt |
| Kvicksilver | <1 | 1-3 | 3-10 | >10 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Nickel | <50 | 50-150 | 150-500 | >500 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |

Tabell 6.5 Indelning av tillstånd för ytvatten (Naturvårdsverket, 1999b) samt halterna i lakvatten från provsträckorna med betong i väg 109 och 597 ($\mu\text{g/l}$)

| Ämne | Mindre allvarligt | Måttligt allvarligt | Allvarligt | Mycket allvarligt | Från betong i väg 109 (2 prov) | Från betong i väg 597 (1 prov) |
|---------|-------------------|---------------------|------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Koppar | < 9 | 9-30 | 30-90 | >90 | Allvarligt | Allvarligt |
| Zink | <60 | 60-180 | 180-600 | >600 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Kadmium | <0,3 | 0,3-1 | 1-3 | >3 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Bly | <3 | 3-10 | 10-30 | >30 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Krom | <15 | 15-45 | 45-150 | >150 | Måttligt allvarligt | Mycket allvarligt |
| Nickel | <45 | 45-140 | 140-450 | >450 | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Arsenik | <15 | 15-45 | 45-150 | >150 | Mindre allvarligt | Måttligt allvarligt |

Tabell 6.6 Tillståndet för lakvattnet från Törningevägens delsträckor baserat på hälsobaserade gränsvärden för dricksvatten enligt Naturvårdsverket, 1999.

| Ämne | Delsträcka 1 Betong | Delsträcka 4 Bergkross | Delsträcka 5 Slaggrus |
|------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| As | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Cd | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Cr | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Cu | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Hg | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Ni | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Pb | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |

Enligt Naturvårdsverkets klassificeringssystem för tillståndet hos ytvatten är halten av bly i lakvattnet från betong allvarlig och från slaggruset måttligt allvarlig, se tabell 6.7. Även kopparhalten i lakvattnet från betongkrossen är måttligt allvarlig. I övrigt är hal-

terna av tungmetaller från betong och slaggrus så pass små att de betecknas som mindre allvarligt.

Tabell 6.7 *Indelning av tillstånd för lakvatten från Törringevägens delsträckorna baserat på tillstånd för ytvatten enligt naturvårdsverket (1999b)*

| Ämne | Delsträcka 1 Betong | Delsträcka 4 Bergkross | Delsträcka 5 Slaggrus |
|------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| As | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Cd | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Cr | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Cu | Måttligt allvarlig | Måttligt allvarlig | Måttligt allvarlig |
| Ni | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |
| Pb | Allvarligt | Mindre allvarligt | Måttligt allvarligt |
| Zn | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt | Mindre allvarligt |

För alla metaller utom koppar och bly är halten mindre allvarlig. Kopparhalten är "Måttligt allvarlig" för bergkross, betong och slaggrus. Detta kan bero på en hög bakgrundshalt av koppar i lermoränen. Halten bly var "Måttligt allvarlig" för slaggruset och "Allvarlig" för betong. Den höga halten bly i krossad betong beror troligen på dels högre mängd bly i lermoränen och dels en punktkälla. Lakvattenprov tagna under väg 101 med betong visar på halter av betong som klassas som "mindre allvarliga" direkt efter utläggningen och halten sjunker med tiden (se tabell 6.8). Bly i lakvattnet från referensmaterial skiljer sig med en faktor 10 vilket kan bero på blymängd i undergrunden eller på blyhalt i täkten.

Tabell 6.8 *Halt bly i lakvatten från betong och bergkross (betong i vägar - material)*

| Metall | Enhet | Väg 109 lakvatten från betong 9710 | Väg 109 lakvatten från betong 9806 | Väg 109 lakvatten från betong 9903 | Väg 109 Lakvatten från berg- kross 9806 | Väg 109 Lakvatten från berg- kross 9903 | Törringe- vägen Lakvatten från betong | Törringe- vägen Lakvatten från berg- kross |
|--------|-------|---|---|---|---|---|--|--|
| Pb | µg/l | 1,83 | 1,12 | 0,83 | 0,226 | <0,2 | 17,9 | 2,18 |

6.4 Slutsats och diskussion

Utlakningsförsök utgör ett grundläggande test för undersöka utlakningsegenskaperna hos ett specifikt material och dess beroende av pH, redoxpotential, saltkoncentration, halt av organiska ämnen och vattenflödet som perkolerar igenom. Tre olika lakiningsmetoder har använts och utvärderats tillsammans med mätningar i fält för att karakterisera den verkliga lakvattenproduktionen. Resultaten visar att utlakningen i fält, med undantag av bly och koppar är mycket låg jämfört med den tillgängliga mängden och resultaten från försöken där man lakat ur materialet vid olika L/S-nivåer. Detta beror på att pH värdet i lakvattnet blir lägre i fält, när koldioxid kommer i kontakt med lakvattnet. Enligt Naturvårdsverkets riskmetodik för ytvatten klassas tungmetallhalterna i lakvattnet, med undantag av bly och koppar, som "mindre allvarligt".

Utlakningsprocessen kan vara begränsad av flera olika mekanismer. Lakningen kan vara begränsad av tillgången på ämnet eller substansen i fråga. Detta betyder att substansen löser sig så snabbt att det endast är tillgången som är begränsande för utlakningen. Andelen av materialet som är exponerat för mobilt vatten beror på materialets fysiska hete-

rogenitet. Influensen från materialets fysiska heterogenitet är emellertid inte konstant under transienta förhållanden utan beror av infiltrationsintensiteten (Brusseu and Rao, 1990). När utlakningsprocessen är begränsad av hastigheten hos fysikaliska (diffusion) eller kemiska processer så är utlakningsprocessen kinetiskt kontrollerad. Om den kinetiska processen är tillräckligt snabb, så att tiden för jämvikt att inställa sig är kort i jämförelse med uppehållstiden i systemet, så är det lösligheten som begränsande för utlakningsprocessen.

De undersökta materialen, krossad betong, krossat tegel och slaggrus utgör ett mellanting mellan granulära och monolitiskt material. De relativt låga koncentrationerna av tungmetaller i lakvattnet jämfört med den tillgängliga mängden indikerar att utlakningen är en kinetiskt kontrollerad process. Den fysiska heterogeniteten gör att endast en andel av materialet är exponerat för vatten och att tillgängligheten till resterande del av materialet begränsas av det diffusiva transportmotståndet.

Utlakning och transportprocesser för heterogena medium under icke-jämvikt är ett angeläget forskningsområde och av stor vikt för att förstå och kunna göra uppskattningar av den förväntade utlakningen.

7. ÅTERVINNING AV KALLASFALT - Trelleborg

Lindberg, G (1999) Kallåtervinning av asfalt med Raps MB.

7.1 Allmänt

Varmåtervunnen asfalt har sedan många år en fungerande marknad inte minst utomlands. Vid denna återvinningsteknik tillverkas helt ny asfalt. Varmåtervinning av asfalt är energikrävande, kräver en relativt stor mängd nya råvaror samt transport av gammal asfalt till asfaltverken. I förhållande till tillverkning av asfalt helt på nya råvaror torde dock varmåtervinning vara ett miljövänligare alternativ. Även halvvarm återvinningsteknik är energikrävande och kan i stort sett jämföras med varmåtervinning i stationära verk.

En annan ännu så länge inte lika frekvent metod är kallåtervinning. Med denna teknik återvinns asfalten genom nedkrossning. Kallasfalt kan användas som slitlagergrus, med eller utan tillsats av mjukbitumen, på lågtrafikerade grusvägar. Efter en tids trafikering binds materialet ytterligare. Kallåtervinning är mindre energikrävande än varmåtervinning och hanteringskedjan medför dessutom lägre utsläpp av CO₂ eftersom transportsträckorna oftast är kortare, enligt en utredning som gjorts av Skanska.

I Danmark används kallåtervunna asfaltmassor bland annat i förstärkningslager där det blandas med andra restmaterial såsom krossad betong. Ungefär 20 % krossad asfaltmassa kan tillsättas AG-massa (asfaltgrus), som bl.a. brukar läggas under vägkropparnas slitlager.

Genom att tillsätta mjukgörande medel kan bitumenresterna i gammal asfalt lösas upp och bidra till ökad vidhäftning. Den produkt som härvid erhålles kan användas som dammbindande och stärkande vägbeläggning på mindre grusvägar. En faktor som talar för att detta kan vara ett lämpligt område för kallåtervunnen asfalt är att traditionellt oljegrus, som ofta används till detta ändamål kommer att förbjudas från och med år 2000, av miljöskäl.

Vid kallåtervinning gäller det att hitta ett mjukgörningsmedel som kan användas för att lösa upp bitumenresterna i krossad asfalt för att erhålla en användbar produkt. En tillsats som testats är bland annat rapsmetylester (RME), enligt olika recept. De första generationerna kallades Raps C, vilken bestod av rapsmetylester och cellulosa. På grund av sin porositet och vattenupptagningsförmåga kunde denna produkt medverka till frostsprängning i vägbeläggningen. I Raps MB, som är tredje generationen, har cellulosa tagits bort och ersatts med en mindre andel mjukbitumen (MB) som kan binda granulatet ytterligare och förlänga produktens livslängd.

Provsträckorna i projektet är belägna i Skåne; i Trelleborgs kommun. Även en vägsträcka i Åstorp har använts som jämförelseobjekt. Krossnings- och utläggningsarbetet utfördes av Skanska AB, Väg och Anläggning Syd. Mätningar avseende material- och vägegenskaper gjordes dels i fält, dels vid laboratorium.

7.2 Tillverkning av kallasfalt med Raps MB

Krossning och tillverkning av kallasfalt bör ske i anslutning till lagringsplatsen för att inte onödiga transportsträckor skall uppstå. I projektet krossades och anrikades asfaltmassorna vid upplagsplatsen. Krossningen av asfaltmassorna skedde i ett mobilt krossverk av typen slagkross. Materialet som togs fram har fått benämningen RAOG 16.

Tekniska fakta - krossning:

- Krossverkets maxkapacitet är ca 100 ton/timme.
- Rekommenderad krossvolym per etablering ca 3 000 ton, (kostnad per ton ca 30 kr/ton)
- Granulatfraktioner 0-16 mm respektive 0-25 mm

Rapsmetylester (RME) i bindemedlet Raps MB bidrar till att lösa upp gammalt härdat bitumen så att mjukpunkten höjs. Tester har visat att RME flerfaldigt höjer mjukpunkten hos gamla härdade rester av bitumen i krossat granulat. Bitumen av typ B 370 tillsätts för att ytterligare mjukgöra materialet och förbättra vidhäftningen mellan granulatet. Viskositeten hos produkten var 110 mm²/s vid 135° C.

Gammal asfalt är ofta så åldrad att den har en mjukpunkt långt under rekommenderade värden. Laborrietester avseende mjukpunktsförändring, enligt FAS 338-98, på gammal asfalt har påvisats att RME med sin lösande effekt kan förhöja asfaltmassans mjukpunkt avsevärt. I försöket erhöles en trefaldig ökning av asfaltens mjukpunkt, dvs. från B40 till B120, då RME blandades med granulatet och dess bitumenrester.

Den återvunna asfaltmassa tillverkades vid upplagsplatsen i Skanskas mobila återvinningsverk och lagrades, pga. försenat utläggningsarbete, under 2 månader före utläggning. Färdig asfaltmassa kan lagras upp till ca 6 månader beroende på typ.

Tekniska/ekonomiska fakta - återvinning:

- Återvinningsverkets kapacitet: ca 80 ton/h
- Kostnad (blandning) ca 35 kr/ton

Materialsammansättning i den färdiga asfaltmassan:

- Krossat asfaltgranulat ca 97,5 vikt-%
- Raps MB ca 2,5 vikt-%

7.3 Utläggning av kallåtervunnen asfalt

Utläggningen av kallasfalt på referensvägarna i projektet skedde sent på hösten av förseningar i projektet. Den befintliga vägöverbyggnaden bestod av sand med ovanpåliggande bärlager 0-50 mm som avjämnats med krossgrus och den hade enligt mätningar med "Argus Öga" relativt låg draghållfasthet, dvs. under rekommenderat värde (350 MPa) i de flesta mätpunkter.

Tekniska data - Trelleborg:

- Kallasfalt Raps MB, 100 kg/m² med RAOG 16 .
- Tjocklek på slitlagret: ca 50 mm.

Tekniska data - Åstorp:

- Kallasfalt Raps MB, 90 kg/m² med RAOG 11.
- Tjockleken på slitlagret: ca 45 mm.

7.4 Materialegenskaper

Rapsmetylester (RME) har lösande effekt på bitumenresterna i granulatet vilket medverkar till att ökar granulatets vidhäftning ytterligare. Tillsats av bitumen medför hårdare bindning av granulatet och därmed också ökad dammbindningseffekt.

Egenskapsmässigt och ur utläggningssynvinkel kan kallasfalt med Raps MB anses jämförbart med traditionellt oljegrus. Draghållfasthetstillväxten under härdning är dock högre för kallasfalt med Raps MB, men härdningen tar längre tid.

Draghållfasthetstillväxt

Produktens draghållfasthet uppmättes i laboratorium till totalt över 400 MPa efter 60 dygn, tabell 7.1. Efter 20 dygn hade asfaltmassan dock ännu inte uppnått det rekommenderade värdet på 300 MPa. Genom att förändra ingrediensernas andelar i receptet skulle draghållfasthetsvärdet efter 20 dygn kunna förbättras. Detta är dock inte gynnsamt för materialets långtidsegenskaper och eftersträvas därför inte heller, eftersom materialet blir skörare om inte långsam hållfasthetstillväxt tillåts.

Tabell 7.1 Draghållfasthet hos kalltillverkad asfaltmassa efter 7, 20 och 60 dygn enligt tester genomförda inom föreliggande projekt. (FAS 449-91, 414-98)

| Tidpunkt | Medelhållfasthet, MPa | Intervall, kPa |
|----------|-----------------------|-------------------|
| 7 dygn | 0.09 MPa | 87,1 - 99,9 kPa |
| 20 dygn | 0.25 MPa | 216,0 - 272,9 kPa |
| 60 dygn | 0.43 MPa | 417,3 - 432,1 kPa |

7.5 Vägegenskaper

Eftersom underbyggnaden vid utläggning av kallasfalt i Trelleborgs kommun, inte uppnådde rekommenderade värden avseende bärighet samt att utläggningsarbetet utfördes under mindre gynnsam årstid antas vägbeläggningens egenskaper ha påverkats i negativ riktning såväl då det gäller korttids- som långtidsegenskaperna. En mycket bra draghållfasthet uppnås dock efter härdning, visar laboratoriestudier, varför man kan se positivt på framtiden för det nya vägbeläggningen. På det aktuella vägsträckorna görs nya mätningar ungefär ett år efter utläggning.

Åstorps-objektet bedömdes ha god bärighet varför ingen provbelastning gjordes innan utläggning av slitlager. Eftersom vägöverbyggnaden har stor andel finmaterial kan man dock förvänta sig tjärlörelser.

Den grövre massan (RAOG 16) som användes i Trelleborg skall ge större bärighetstillväxt, men medför även större risk för stensläpp om massan läggs ut vid för låg temperatur. Vägsträckan i Åstorp bestod av en äldre redan välpackad väg som utgjorde ett bra underlag att lägga asfaltmassan på och därför kunde en finare stenstorlek (11 mm/RAOG 11) användas. Vid användning av den finare massan (RAOG 11) får man bättre utläggningsegenskaper och risken för stensläpp minskar.

7.6 Miljömässiga förutsättningar

Genom att återvinna asfalt sparas jungfruliga råvaror. Endast ca 2 % nya råvaror används i kallåtervunnen asfalt. RME (rapsmetylester) har en lösande effekt på restbitumen så att även denna nyttiggörs som bindemedel. Andelen ny bitumen kan därför hållas relativt låg. Kallåtervinning kan ske lokalt och transportmängden kan därför hållas nere liksom utsläpp av CO₂. RME medför inte något större miljöproblem till följd av emissioner, varken avseende den yttre miljö eller för utläggarnas arbetsmiljö. Totalt sett (tillverkning, transport och utläggning) är utsläpp av koldioxid betydligt lägre än vid användning av varmasfalt. RME härdar på kort sikt (1-3 månader) och avger inte lika skadliga emissioner vid utläggning som exempelvis traditionell vägolja.

Kallåtervinning är mindre energikrävande än exempelvis varmåtervinning. Jämförande studier visar att vid användning av varmtillverkad AG massa – vid givna förutsättningar – är energiåtgången drygt 8 ggr så stor som vid användning av lokalt återvunnen kallasfalt (tabell 6.2).

Tabell 6.2 *Mängd emissioner och energiåtgång vid tillverkning och utvinning av 1 ton asfalt (kall resp. varm). (PM 1998-02-13, Ulrika Hammargren, Skanska Teknik AB).*

| | Energi, kWh | NO_x (g) | SO₂ (µg) | CO₂ (g) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Kallasfalt med Raps C | 11,6 kWh | 95,4 g | 3,89 µg | 4931 g |
| Varmasfalt, AG-massa | 96,8 kWh | 95,9 g | 4,59 µg | 18 310 g |
| Skillnad - varm/kall, (ggr) | 8,3 | 1 | 1,2 | 3,7 |

7.7 Marknadsförutsättningar

I projektet lades ca 500 ton återvunnen kallasfalt på totalt 5 000 m² väg. Detta ger en total kostnad på drygt 105 000 kr. Användning av oljegrus (90 kg/m²) skulle på grund av högre materialkostnad och längre transportavstånd (ca 50 km) ha kostat ca 204 000 kr i det aktuella projektet (tabell 7.3). I projektet kan således visa att en total kostnadsbesparing på ungefär 100 000 kr kunde göras genom att återvunnen kallasfalt användes i stället för oljegrus eller dylikt (tabell 7.4). En förutsättning för denna kalkyl är att upplag med uppbrutna asfaltmassor finns tillgängligt. Transportavståndet i projektet var ca 10 km då både upplag och tillverkning fanns i Trelleborg.

Tabell 7.3a Kostnader för framställning och utläggning av återvunnen asfaltmassa (RAOG 16)

| <u>Tillverkningssteg</u> | <u>Kostnad (ca), kr/ton</u> | <u>Kostnad (ca), kr/m²</u> |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Krossning | 30 kr/ton | |
| Blandning av granulat | 35 kr/ton | |
| Bindemedel | 45 kr/ton | |
| Lastning och vägning | 5 kr/ton | |
| Sammanlagd massakostnad | ca 115 kr/ton | |
| Massakostnad (100 kg/m ²) | | 11,50 kr/m ² |

Tabell 7.3b Kostnader för oljegrus eller asfaltgranulat (AG 16):

| | | |
|--------------------------------------|------------|----------------------|
| Massakostnad | 320 kr/ton | |
| Massakostnad (90 kg/m ²) | | 29 kr/m ² |

Tabell 7.3c Kostnader för transport och utläggning:

| <u>Tillkommande kostnader:</u> | <u>Kostnad (ca)</u> |
|--|------------------------|
| Utläggingskostnad | 7.50 kr/m ² |
| Transportkostnad, inkl lossn o lastn (10 km) | 20 kr/ton |
| Transportkostnad, inkl lossn o lastn (50 km) | 50 kr/ton |

Tabell 7.4 Kostnadsjämförelse mellan RAOG 16 och oljegrus eller AG 16.

| | RAOG 16 | Oljegrus alt AG 16 | Differens |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Utläggningstjocklek | 100 kg/m ² | 90 kg/m ² | +10 kg/m ² |
| Materialmängd | 500 ton | 450 ton | +50 ton |
| Massakostnad | 57 500 kr | 144 000 kr | -86 500 kr |
| Transportkostnad | 10 000 kr | 22 500 kr | -12 500 kr |
| Utläggningskostnad | 37 500 kr | 37 500 kr | 0 kr |
| Total kostnad (ca) | 105 000 kr | 204 000 kr | -99 000 kr |

Kommentar till tabellen: Utläggningsarea i projektet är 5 000 m². Transportsträckorna är 10 resp. 50 km för RAOG 16 resp. oljegrus eller AG 16. Den redovisade differensens avser RAOG 16 i förhållande till alternativt material.

8. ÅTERVINNING AV LÄTTBETONG

Grönholm, R (1999): Utlakningsprov på lättbetong från produktions- och rivningsrest.

8.1 Allmänt

Årligen frigörs ca 90 000 ton lättbetong från husrivningar. Ca 10 % återvinns, 60 % läggs i fyllnadstippar och 30% deponeras (Naturvårdsverket, 1996).

Sedan flera år har lättbetong krossats och använts som oljesaneringspulver eller till katt-sand. I Sverige säljs krossad lättbetong som oljesaneringspulver under namnet Absol. Produktionsspill som finmalts blandas med sand och används vid tillverkningen av ny lättbetong.

Försök att använda lättbetongdamm i som vägghputs har pågått under en tid och erfarenheterna från detta pekar på tre problem som måste lösas:

- Lättbetongkornen frigörs efter hand ur utomhusputs.
- Hög och delvis fluktuerande vattenhalt i lättbetongputs orsakar bearbetningssvårigheter i putsen.
- Det är svårt att framställa gipsputs då det är hårda krav på torrhet i det tillsatta lättbetongdammet

Försök att tillverka lättbetongblock ur formpressad lättbetonggranulat pågår. Svårigheten är att få en tillräckligt hög hållfasthet i hörn och kanter på blocken. Materialet tenderar fastna i formens vinklar och hörn. För närvarande arbetar företaget Yxhult Aktiengesellschaft med att hitta lösningar på detta problem.

I Tyskland har lättbetong från byggarbetsplatser finmalts och blandats med sand för tillverkning av ny lättbetong. För rivningsspill finns det för närvarande ingen lösning. Den största svårigheten är att separera lättbetong från andra rivningsrester.

8.2 Krossning av lättbetong

Lättbetongen som undersöktes var dels rivningsrester som kom från SYSAVs deponi och dels från produktionsspill vid Yxhults lättbetongtillverkning. Krossanläggningen som användes för att sönderdela rivningsresten hade tillverkats av Svedala Arbrå för att krossa tunga mineraliska rivningsrester t ex betong, tegel och lättbetong (figur 6.1).

Lättbetongen krossades i en slagkross efter det att jord och grus avskiljts. Sedan krossades lättbetongen i en slagkross. Det var nödvändigt att köra krossen försiktigt på låg hastighet då lättbetongen krossades lätt. Efter att lättbetongen krossats avlägsnades metall med en magnetseparator. Sedan matades lättbetongen direkt över i separationsverket. Där avlägsnades först papper, plast, trä och liknande lätta material som följt med sedan rivningen med en luftbaserad separator. Slutligen siktades bitar som var större än önskat bort från det krossade materialet och kördes tillbaka till krossen.

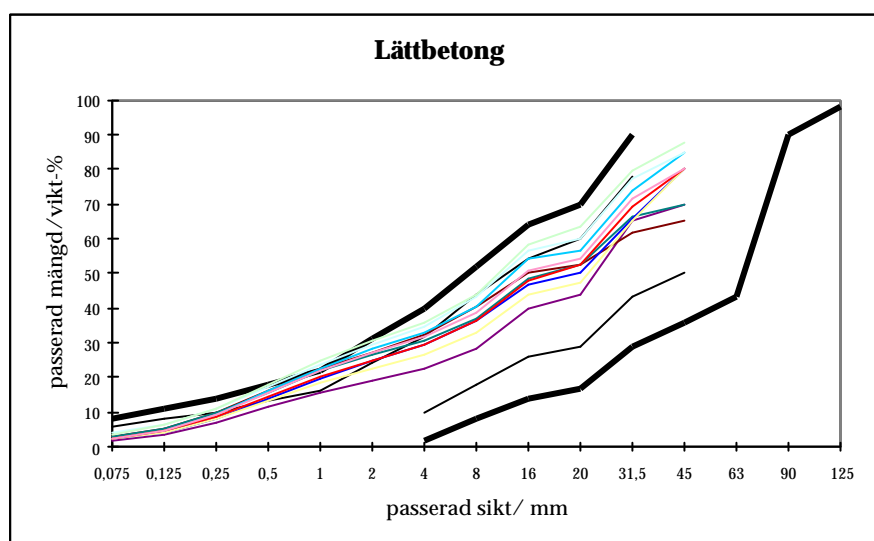
Lättbetongen krossades ner till ett sten- och grusmaterial med kornstorlek 0-100 mm. Lätta material förekom. Totalt krossades ca 500 ton lättbetong.

8.3 Materialegenskaper

Med utgångspunkt att använda lättbetong som jordförbättringsmedel, absorptionsmedel och terrassutfyllnad under lätta stig och gång och cykelbanor undersöktes lättbetongens kornstorleksfördelning, packningsegenskaper, tungmetallinnehåll och tillgänglig mängd tungmetaller. För lättbetongen som utgjorde produktionsspel undersöktes endast tungmetallhalt och tillgängliga mängder tungmetall.

8.3.1 Tekniska egenskaper

Kornstorleksfördelningskurvan visar kornstorleken på horisontalaxeln och den ackumulerade relativa mängden (vikt-%) material mindre än denna kornstorlek på den vertikala axeln. I VÄG 94 anges gränser för kornstorleksfördelningen hos vägbyggnadsmaterial (se figur 8.1).



Figur 8.1 Kornstorleksfördelning hos krossad lättbetong från husrivning

Metoden tung stampning användes för att bestämma lättbetongens packningsegenskaper.

Metoden visade sig ej vara lämplig för lättbetong, tre av fem undersökta prov slogs sönder under packningsförsöket vilket gjorde att inget väldefinierat resultat gick att utläsa ur packningskurvan. För att få en uppfattning om eventuell nedkrossning av kornen under inpackningen bör därför kornstorleksfördelning både före och efter packningsförsöket bestämmas. Vibropackning enligt metod ASTM D 4253-83 Metod 1B är ett alternativ. I metoden används vattenmättat material som placeras i en form på en vibrerande skiva. Materialet belastas och vibreras varefter volymförändringen ligger till grund för beräkning av maximal torrdensitet (tabell 8.1).

Tabell 8.1 Packningsegenskaper hos lättbetong

| Prov | Optimal vattenhalt % | Max torr-densitet t/m ³ | Kommentar |
|------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 38,7 | 1,04 | Vattenmättat vid 38% |
| 2 | | | Odefinierat, Vattenmättat vid 33% |
| 3 | 25-41 | 1,19 | Odefinierat, Vattenmättat vid 41% |
| 4 | 30,4 | 1,55 | Vattenmättat vid 37 % |
| 5 | | | Odefinierat, vattenmättat vid 41% |

8.3.2 Miljömässiga egenskaper

Analysen av totalinnehållet av tegel visade att tegels huvudämnen var till största delen kisel (Si), aluminium (Al), kalcium (Ca), och järn (Fe) (se tabell 8.2).

Tabell 8.2 Huvudämnen i lättbetongrester från rivningar (5 prov) och produktion (5 prov) (%)

| Ämne | Rivningsrest (%) | Produktionsrest (%) | Förening | Rivningsrest (%) | Produktionsrest (%) |
|------|------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|---------------------|
| Si | 25,42 | 27,84 | SiO ₂ | 54,38 | 56,56 |
| Al | 3,28 | 0,70 | Al ₂ O ₃ | 6,20 | 1,33 |
| Ca | 14,94 | 19,48 | CaO | 20,90 | 27,26 |
| Fe | 1,56 | 0,39 | Fe ₂ O ₃ | 2,24 | 0,56 |
| K | 1,24 | 0,18 | K ₂ O | 1,50 | 0,21 |
| Mg | 0,70 | 0,41 | MgO | 1,16 | 0,68 |
| Mn | 0,21 | 0,02 | MnO ₂ | 0,26 | 0,02 |
| Na | 0,64 | 0,04 | Na ₂ O | 0,86 | 0,05 |
| P | 0,04 | 0,01 ³ | P ₂ O ₅ | 0,10 | 0,03 |
| Ti | 0,25 | 0,06 | TiO ₂ | 0,41 | 0,10 |

³ tre av fem prov under detektionsgräns <0,0109

Flera tungmetaller uppträder i så små halter att de klassas som spårämnen. Analys av spårämnen i tegel och i morän och bergkross visade att halterna av tungmetallerna kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink var i samma storleksordning för tegel som för naturmaterialen (se tabell 8.3).

Tillgängliga mängder av krom, (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni) och bly (Pb) var lägre i lättbetongen än i naturmaterialen. Halten kadmium (Cd) och zink (Zn) i lättbetongen från rivningsresterna var högre än i naturmaterialen och produktionsspillet.

Tabell 8.3 Totalhalt av spårämnen i produktionsspill (5prov), rivningsrest (5 prov) morän (6 prov) och bergkross (6 prov) samt tillgänglig mängd tungmetaller i rivningsrest

| Ämne | Produktionsrest (ppm) | Rivningsrest (ppm) | Tillgängligt rivningsrest (mg/kg) | Morän (ppm) | Bergkross (ppm) |
|------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|
| Cd | 0,04 ¹ | 0,25 | 0,15 | 0,16 | 0,10 |
| Cr | 28,24 | 76,78 | 1,22 | 94,8 | 165 |
| Cu | 3,92 | 17,60 | 3,52 | 17 | 12,8 |
| Hg | 0,26 | 0,41 | 0,01 | | |
| Ni | 6,14 | 94,22 | 49,62 | 257 | 512 |
| Pb | 2,95 | 19,88 | 0,31 | 10 | 8,18 |
| Zn | 11,21 | 85,80 | 43,5 | 42,3 | 53,6 |

¹ Ett prov av fem under detektionsgränsen <0,01

Naturvårdsverkets klassindelning för tungmetaller baseras på gränsvärden vid vilka ”negativa effekter har kunnat påvisas på mikroorganismer och/eller växter”) Gränsvärdet på kadmium har fastlagts baserat på rekommenderade maximumhalter i födan (se tabell 8.4)

Tabell 8.4 Lösliga koncentrationer av tungmetaller som är kritiska för markmikroorganismer och växter (Naturvårdsverket, 1999c).

| Metall | Mikroorg. (mg/kg jord torrvt) | Växter (mg/kg jord torrvt) | Tillgängligt (mg/kg) | |
|--------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------|
| Pb | ≥50 | ≥50 | 0,31 | Mycket låg halt |
| Cd | ≥2 | ≥1 | 0,15 | Låg halt |
| Cu | ≥60 | <7; ≥50 | 3,52 | Mycket låg halt |
| Cr | Inte klarlagd | Inte klarlagd | 1,22 | |
| Hg | Inte klarlagd | ≥1 | 0,01 | |
| Ni | ≥90 | ≥30 | 49,62 | Mycket hög halt |
| Zn | ≥170 | <7; ≥150 | 43,5 | Låg halt |

Alla koncentrationer, med undantag av nickel, är så låga att de inte skulle skada växter och/eller mikroorganismer. Nickelkoncentrationen var så pass låg att mikroorganismer inte tog skada men högre än gränsvärdet för att växter skulle ta skada.

Indelning av tillstånd för förorenad mark enligt Naturvårdsverkets riktvärden för koncentrationerna av tungmetaller visas i tabell 8.5.

Tabell 8.5 Indelning av tillstånd för förorenad mark baserat på Naturvårdsverket riktvärden för förorenad mark (mg/kg TS) (Naturvårdsverket, 1997)

| Metall | Mindre allvarlig | Måttligt allvarlig | Allvarligt | Mycket allvarligt | Tillgänglig mängd i lättbetong |
|--------|------------------|--------------------|------------|-------------------|--------------------------------|
| Pb | <80 | 80-240 | 240-800 | >800 | Mindre allvarligt |
| Cd | <0,4 | 0,4-1,2 | 1,2-4 | >4 | Mindre allvarligt |
| Cu | <100 | 100-300 | 300-1000 | >1000 | Mindre allvarligt |
| Cr VI | <5 | 5-15 | 15-50 | >50 | Mindre allvarligt |
| Hg | <1 | 1-3 | 3-10 | >10 | Mindre allvarligt |
| Ni | >35 | 35-105 | 105-350 | >350 | Måttligt allvarligt |
| Zn | >350 | 350-1050 | 1050-3500 | >3500 | Mindre allvarligt |

9. ÅTERVINNING AV GIPS

9.1 Allmänt

Bland de olika restfraktionerna i bygg- och rivningsmaterial utgör materialet gips ofta en av de dominerande fraktionerna. Återvinningsmöjligheterna för gips är flera. I vissa länder, bl.a. USA och Kanada har man kommit en bit på väg avseende användande av gammal gips vid tillverkning av nya gipsskivor. Ett problem med materialåtervinning gäller framförallt rivningsgips som kan innehålla föroreningar i ytskikt vilka kan vara svårt att separera.

Exempel på återvinningsmöjligheter som studerats för gips:

- Inblandning i ny gips
- Jordförbättringsmedel till jordbruk
- Tillsats i kompostjord, t ex till champinjonodling
- Landskapsanläggning
- Tillsats i stallgödsel
- Tillsats i rötslam
- Tätning av avfallsdeponier

I Sverige finns det en teoretisk möjlighet att återanvända mer än 140 000 ton gips för ovanstående ändamål. Varje år alstras, i Sverige, enligt uppskattning 120 000- 200 000 ton gipsrester från bygg- och rivningsverksamhet. Utav detta bedöms ca 60 000 ton utgöras av spill från nybyggnadsverksamhet, dvs. s k ”rent” gipsspill. Utöver detta uppkommer gipsrester från produktion av gipsskivor. Denna mängd har uppskattat till mellan 4 000 och 8 000 ton/år i Sverige.

Det är praktiskt möjligt att källsortera gips ute på byggarbetsplatserna, vilket också fungerar bra. Då det finns avsättning för ”rena” gipsfraktioner är det som regel också lönsamt för entreprenören att sortera eftersom alternativkostnaden (för deponering) är hög. I vissa regioner tillåts dock gips att ingå i utfyllnadsmassor s k mineraliska massor, vilka kan deponeras utan kostnad.

I syfte att presentera potentiella avsättningsmöjligheter för gips har slutsatser av intervjuer med olika experter och ”branschfolk”, inom bl.a. avfallsbransch, åkeriföretag, jordbruk och jordbruksprodukter, sammanställts i en rapport (Sigfrid, 1995). De flesta områden som beskrivs här är fortfarande relativt outforskade med undantag för användning av gips som jordförbättringsmedel. Erfarenheter från tidigt 1900-tal samt försök utförda på senare tid har tillvaratagits och för SYSAV-regionen har särskilda försök gjorts då behovet av denna typ av jordförbättring (svavelgödsling) anses särskilt stort här samt i angränsande regioner.

9.2 Materialåtervinning

Materialåtervinning av gips förekommer idag bl.a. vid Gyprocs fabrik i Bålsta men även andra anläggningar i Skandinavien kan ta emot och återvinna ”rent” gipsspill. En nyttillverkad gipsskiva kan bestå av upp till 20% återvunnen gips i form av spill från fabriks-tillverkning och/eller insamlat gipsspill från nybyggnadsverksamhet. Ett problem är att

gipsfraktioner som kommer från byggarbetsplatser ofta är förorenade av annat byggspill och behöver ytterligare ett sorteringssteg. Värdet av en eftersortering som ofta krävs idag uppskattas till ca 50 kr/ton

Återvinningskapaciteten i Sverige var för år 1996 ca 10-15 000 ton/år för denna typ av materialåtervinning. En grov bedömning är att genom att återvinna fabriksspillet samt det byggspill som skulle kunna samlas in lokalt, dvs. i fabrikenas närområden, kan man utan vidare uppnå maximal återvinningskapacitet åtminstone under dagens förutsättningar. Exempelvis skulle Gyproc i Bålsta kunna "ta hand om" byggspill från Stockholmsregionen med omnejd, medan Danogips i Åhus skulle kunna "ta hand om" byggspill från Skåne och Blekinge med omnejd.

9.3 Gips som jordförbättringsmedel

Gips användes redan vid 1900-talets början som gödningsmedel, s k gödselgips. På grund av den höga halten kalk och svavel (kalciumsulfat, CaSO_4) lämpar sig gips bra som gödningsmedel. Dessutom verkar gipsen upplösande på andra näringsämnen i jorden. Till följd av minskade nedsläpp av svavel ökar för närvarande behovet att åter tillföra åkerjordar svavel. Svavelgödning rekommenderas allmänt till odling av höstoljeväxter. Behovet av svavel är ca 10-30 kg S/ha beroende av gröda och jordart. Detta motsvarar ca 75-200 kg gips/ha.

Gips kan bidra till följande effekter vid användning som jordförbättringsmedel:

- ökad svavelhalt
- stabilisering av pH-värde
- uppluckring av jordstruktur

Vid Hushållningssällskapet i f d Malmöhus län har man på uppdrag av Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare genomfört odlingsförsök med gipstillförsel till åkerjorden. Det positiva resultatet av försöken visar en skördeökning på i genomsnitt 20%.

Vid spridning av krossade gipsskivor med en giva på ca 2 ton gips/ha (ca 300 kg S/ha), vilket är en betydligt större koncentration än rekommenderat, erhöles ingen skördeökning första året men effekterna antas vara mer långsiktiga. Även den stora givan kan troligtvis medföra en viss långtidseffekt på åkermarken, vilket är gynnsamt även sett ur ekonomisk perspektiv. Dock finns obekräftade farhågor att för hög giva skulle kunna orsaka urlakning av näringsämnen, bl.a. kalium, magnesium och kalcium.

Gipsskivorna i försöket innehöll enligt analys inga högre halter av tungmetaller. Halten tungmetaller bör vid jämförelser ställas i relation till tungmetallinnehållet i konstgödsel. Tungmetallinnehållet i gipsskivor är beroende av råvarans ursprung. Den i försöket överdimensionerade givan gips var enligt Naturvårdsverket inom givna gränsvärden med avseende på tungmetalltillförsel.

Det är i dagsläget svårt för lantbrukare att få någon ekonomi på att sprida gipsrester separat istället för att, som vid normalt förfarande, sprida ett kombinerat preparat vid ett och samma spridningstillfälle. Gipsens värde i förhållande till alternativt svavelmedel

blir enligt beräkningar ca 17 kr/ton S. Kostnader för hantering, krossning och spridning blir knappt 200 kr/ton gips vid transportavstånd på högst 50 km.

För att gips skall bli ett konkurrenskraftigt preparat för åkermark krävs att spridningen kan effektiviseras. Detta kan eventuellt ske genom att använda ett spridningsmedium, t ex rötslam eller flytgödsel. Gips ger dessutom en stabiliserade effekt på slammet samt har i försök vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Lund indikerat en reducerande effekt på ammoniakavgången från flytgödsel. En annan möjlighet skulle kunna vara ett samarbete mellan gödningsmedelstillverkare och Lantmännen och på så sätt få in gips ibland de ordinarie lantbruksprodukterna, kanske som tillsats i gödningsmedel.

Teoretisk avsättning för gips som jordförbättringsmedel har beräknats till 40 000 - 50 000 ton/år bara för Skånes del.

9.4 Gips i kompost

Erfarenheter från odling av champinjoner är bland annat att inblandning av gips i kompostjorden har följande effekter:

- förhöjt pH-värde (enligt exempel: från 6,5 till 7,2-7,4)
- stabiliserat pH-värde
- bättre kompoststruktur, dvs. bättre fysikalisk stabilitet och ökad syretillförsel
- bättre vattenbalans, fuktöverskott sugas upp av gipsen

I Holland använder nästan alla champinjonodlare gips i komposten, medan man i Sverige övergått till andra preparat. Undantag finns dock; en odlare utanför Linköping som odlar KRAV-godkända champinjoner bland annat under förutsättning att gips används i komposten. Gipsen som denne odlare använder är vanligt gipsskivspill. Gipsandelen i komposten är ca 3%.

Eftersom alternativa preparat ofta är flera gånger så dyra som gips finns goda ekonomiska förutsättningar för denna typ av återvinning. Teoretisk avsättning för gipsrester till champinjonodling och komposttillverkning är ca 400 - 500 ton gips/år. Vid beräkningen har inga andra typer av kompostjord beaktats. Teoretiskt sett skulle därför avsättningen för gips till kompost kunna vara betydligt större. Gipsens goda egenskaper som tillsats i kompost borde kunna tillvaratas i alla kompostjordar.

För att säkra avsättning krävs dock etablerade och kvalitetssäkrade system för insamling och hantering för att kunna konkurrera med de etablerade tillsatserna. Förbrukad kompostjord kan användas som jordförbättringsmedel så att gipsens goda effekter kan komma till nytta även på åkermark.

9.5 Övriga potentiella återvinningsmöjligheter

Gips har p g a sin stabiliserande effekt goda förutsättningar att användas som tillsats i rötslam, flytgödsel samt hydroxidslam. Gipsen bidrar i de två första fallen också till att höja den jordförbättrande effekten och att binda fukt. Enligt tester utförda vid Sveriges

Lantbruksuniversitet i Lund, där några olika preparat testades med avseende på sin hämmande effekt på ammoniakavgången från stallgödsel (flytgödsel), skall ett preparat innehållande en viss andel gips (CaSO_4) samt superfosfat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) vara mycket effektivt mot ammoniakavgången. Teoretiskt skulle ca 80 000 ton gips kunna avsättas till flytgödsel årligen i Sverige, vid en halt av 10 gram gips per liter flytgödsel. Exempel på stabilisering av hydroxidslam finns i Helsingborg där Kemira använder sig av sin egen avfallsgips för att stabilisera hydroxidslam från sin tillverkningsprocess. Slammet kan därefter utgöra ett körbart underlag för lastbilar på deponin.

Vid tillverkning av lättbetong används rågips som stabiliserande tillsats vid Yxhult AB. Återvinningspotentialen för gipsspill som tillsats i lättbetong beräknas för Yxhult AB till mellan 6 000 och 8 000 ton per år.

Gipsens dokumenterat goda effekter på odlingsjord kan användas i andra sammanhang såsom anläggning av landskap och parker. Gipsen bör härvid kunna utgöra en kvalitetsförhöjande tillsats i den matjord och/eller kompostjord som används.

9.6 Miljömässiga förutsättningar

Miljömässigt har inga större hinder påpekats då det gäller användning av ”rent” gipsspill inom något av de beskrivna områdena. Miljöriskerna måste dock som alltid värderas ifrån fall till fall. Flera av återvinningsalternativen som presenteras här avser att i någon form lägga gips på mark. Markens känslighet, närhet till vattendrag, grundvattennivå och markanvändning generellt är faktorer som måste beaktas. I många fall krävs någon form av tillstånd eller godkännande av produkten eller dess användning där dessa faktorer bör vägas in.

En annan aspekt att jämföra med är naturligtvis miljöpåverkan från traditionella material. Det bör också uppmärksammas i sammanhanget att det råder stor skillnad mellan gipsspill från nyproduktion och rivningsgips när det gäller materialets ”renhet” från föroreningar. Det är omöjligt att generellt uttala sig om tungmetallhalt eller dylikt i rivningsgips som inte separerats från regler, ytskikt, elrör etc.

I syfte att begränsa miljöpåverkan till följd av transporter brukar lokala och regionala återvinningsalternativ förespråkas. I många fall skulle man också med fungerande källsortering och insamlingssystem kunna tillgodose behovet av gipsspill genom regional insamling, dock inte alltid. I praktiken skulle flera återvinningsanläggningar kunna vara etablerade inom samma område och då kan det bli nödvändigt att ta gips från andra regioner åtminstone så länge rivningsgips inte kan användas. Långväga transporter av restprodukter kan bedömas ur miljöhänsyn först då de ställs i relation till hur långt det annars skulle transporterats samt sist men inte minst; hur långt alternativa råvaror skulle ha transporterats. Typ av transportmedel och drivmedel har också betydelse vid dessa jämförelser.

Transporterna måste också ställas i relation till hur stor den eventuella ”miljövinsten” till följd av att en nya återvunnen produkt framställs. Om sistnämnda skall vara övervägande krävs bl.a. resurssnål framställning och att produkten är långlivad och kvalitetsmässigt konkurrenskraftig.

10. PLAST I ASFALT

Persson H, Svensson, M, Johansson, M (1998): Återvunnen plast i asfalt

10.1 Allmänt

Plast är ett relativt nytt material som blivit mer intressant för många aktörer på marknaden allt eftersom som priset sjunkit och användningsmöjligheterna ökat. Råmaterialet till plast är olja som är en ändlig resurs. Med kunskap om plastens tekniska fördelar inom många områden är kanske inte ett minskat användande något realistiskt mål. Istället är det ett ökat återanvändande som måste till för att skona vår miljö och spara ändliga resurser. Plastmodifiering av asfalten kan vara ett alternativ till ökad återanvändning och förbättrade egenskaper hos asfalten.

Den 1 oktober 1994 trädde förordningen (*SFS 1994:1235*) om producentansvar i kraft. Från och med den 1 januari 1997 skulle man återvinna eller återanvända 30 % av plastavfallet (förpackningar). År 1994 producerades 850 000 ton plast i Sverige varav 280 000 ton kommer från förpackningar (Hallberg et al, 1995), men bara 10% av dessa återanvänds. För att öka återvinningen från 10% till 30% krävs nya och större avsättningsområden där plasten kan återanvändas. Här verkar asfaltindustrin vara ett intressant och möjligt återanvändningsområde för avfallsplast. Försök (Hallberg et al, 1995, Saarinen, 1992 och Milkowski, 1985) tyder på att inblandning av plast i asfalten ger förbättrade egenskaper i avseende på styvhet och deformation. Inblandning av återvunnen plast har tidigare inte varit av intresse eftersom ny plast har varit relativt billig. Producentansvaret och ekonomiska styrmedel (produktionsbidrag) kan medföra att det blir fördelaktigt att använda återvunnen plast i stället för nytillverkad material. En rad faktorer medverkar till att polymermodifiering av asfalt kan öka och vara ett alternativ till konventionell asfalt. Dessa faktorer är t.ex.

- Utveckling av tunnare beläggningar, vilket kräver stabilare massor
- Politiska krav på ökad återvinning
- Förbättrad teknik för modifiering
- Eventuellt ökad livslängd på modifierade beläggningar

Under 1993 anlades provsträckor inom ett fältförsök med plast i asfalt av SYSAV. Två sträckor anlades och dessa inventerades och skadekarterades inom AFR-projektet Plast i asfalt.

Syftet med försöket var att prova en finsk patenterad metod att blanda in återvunnen plast i asfalt under svenska förhållanden. Två provsträckor, Nordreflintväg och Spillepengsgatan, anlades i Malmö. Nordreflintvägen anlades på SYSAVs deponiområde. Sträckan är en transportväg för tunga lastbilar och 70-tons truckar. Fordonen är lastade i ena köriktningen och körs tomma tillbaka. Årsdygnstrafiken (ÅDT) var ca 600 fordon och består enbart av tung trafik. Undergrunden på sträckan är dålig och vissa förstärkningsarbeten gjordes vid läggningen av provsträckan. På provsträckan lades PABS (plastmodifierad asfaltbetong, stenrik) på en 236 meter lång sträcka med undantag av en referenssträcka på 21 meter där beläggningen var HABS (hård asfaltbetong, stenrik). Spillepengsgatan är en matargata till Malmö hamn med en ÅDT på 4000 fordon där andelen tung trafik är 50%. Sträckan belades med PABS i ena riktningen och HABS som referens i andra riktningen. Sträckan blev totalt 120 meter lång.

Persson et al. (1998) utförde en skadekartering av de två provsträckorna samt en laboratorieundersökning av de tekniska egenskaperna hos polymermodifierad asfalt. Testerna avseende styvhetsmodul och deformation (*FAS Metod 468-97*) utfördes på Asfalt Tekniskt Centrum-Norr i Farsta. Både styvhetsmodul och deformation utfördes med Nottingham Asphalt Tester. Resultaten jämfördes med en referensmassa. Bitumentesterna utfördes på LTH:s väglaboratorium i Lund. Skadekartringen utfördes okulärt och observerade skador dokumenterades. Skadetyper definierades och skadorna mättes i längs- och tvärled. På sträckorna utfördes tjockleksmätningar med Stratotest 4000 och spårdjupsmätning med spårprofilmätbrygga. En ekonomisk analys av hela produktionsprocessen gjordes för att undersöka vilken konkurrenskraft den modifierade asfaltmassan har i förhållande till konventionell asfalt. Resultat från laboratorietesterna visade att det plastmodifierade bindemedlet hade en positiv inverkan på deformationsegenskaperna vid höga temperaturer men. Styvheten hos asfaltmassan visade sig minska när plastinnehållet ökar vilket kan ge problem med sprickbildning vid sättningar i undergrunden.

10.2 Miljömässiga förutsättningar

När tillsatser av andra ämnen blandas in i asfalten är det viktigt att de inte ökar miljöpåverkan vid tillverkningen av massan eller arbetsmiljön för de som lägger ut asfalten. Viktigast är att den inte försämrar arbetsmiljön vid utläggningen, för vid tillverkningen kan röken tas om hand med hjälp av filter och annan reningsutrustning. När asfalten är lagd är det viktigt att plasten som blandats in inte urlakas eller på annat sätt frigörs. Asfalten som läggs idag kommer på ett eller annat sätt att tas om hand i framtiden. Detta kan ske antingen genom repaving eller remixing där asfalten återigen blir bundet bärlager eller genom att den uppfrästa asfalten används till obundet bärlager.

Vid inblandning av plast i asfalt har det gjorts en undersökning i väglaboratoriet på KTH Vägteknik (Björklund, 1984). Det modifierade bindemedlet innehöll returplast bestående av ca 70% polyeten, 15% polypropylen, 15% polyamid och polystyren. Plast, bitumen (B370) och tallbecksolja blandades samman till ett modifierat bindemedel. Resultaten av undersökningen visar på att asfalträken innehåller alifatiska kolväten och aldehyder, men inget ämne dominerar i halt. Från dessa resultat kan slutsatsen dras att vid användningen av polymermodifierade bindemedel avgår inga ämnen som kan försämra arbetsmiljön vid utläggningen av asfalten.

10.3 Ekonomiska och tekniska förutsättningar

Kostnader styr om en produkt kommer att användas i storskalig produktion. Det finns aspekter som talar för att modifierade bitumen och asfaltmassor kommer att öka i framtiden. Dessa är t.ex.

- Ökade tekniska krav på beläggningar
- Tunnare beläggningar vilket kräver stabilare massor
- Ökat bitumenpris
- Osäker kvalitet på framtida bitumen
- Asfaltmassor med hög bindemedelshalt kräver tillsatser för att man inte ska få bindemedelsavrinning, ett exempel på detta är skelettasfalt (HABS)
- Lagstadgade krav på ökad återvinning

- Förbättrade tekniker för modifiering
- Tyngre trafik vilket medför ökade belastningar
- Ökade livslängder på modifierade beläggningar vilket ger en minskad årskostnad

Modifierade asfaltmassor är dyrare att tillverka än konventionella, därför måste de konkurrera genom förbättrade tekniska egenskaper och kvalitéer. Modifierade massor kan ge en lägre total kostnad sett över livslängden. I nuläget är det dock svårt att påvisa vilka eventuella ökade livslängder som modifierade massor kan ge. Tekniken har inte funnits så länge att några slutsatser kan göras. Mätningar i fält av spårdjup, deformationer och andra vägyteegenskaper på sträckor som lagts kan ge en uppfattning om livslängd och beständighet hos beläggningarna.

För att kunna jämföra ekonomin kring olika tekniker gjorde Persson et al. (1998) en kalkyl med 4 olika alternativ (se tabell 10.1). Dessa är:

1. Normal asfalt
2. Polymermodifierad asfalt baserad på nytillverkad plast (direkt inblandning i bitumen)
3. Polymermodifierad asfalt baserad på avfallsplast (0 kr/kg)
4. Polymermodifierad asfalt baserad på avfallsplast (-3 kr/kg)

Alternativen bygger alla på en bindemedelshalt på 5% och således 95% stenmaterial. I den polymermodifierade asfalten vilken baseras på avfallsplast är plasthalten 10% och tallbecksoljan 20% av bitumenmängden. I övrigt är inte asfalten närmare specificerad och kalkylen kan därför anses gälla både för slitlager och bitumenbundet bärlager. Kostnader beräknas per ton asfalt.

Tabell 10.1 Kostnadssammanställning av beläggningsalternativ

| Kostnadsslag | (1)Normal asfalt (kr/ton) | (2) PMB ny plast (kr/ton) | (3) PMB avfallsplast (0 kr/kg) (kr/ton) | (4) PMB av- fallsplast (-3 kr/kg) (kr/ton) |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|
| Bitumen | 87.5 | 160.0 | 61.3 | 61.3 |
| Plast | | | 0 | -15 |
| Tallbecksolja | | | 18 | 18 |
| Stenmaterial | 42.8 | 42.8 | 42.8 | 42.8 |
| | | | | |
| Tillverk. Bin- demedel | | | 40 | 40 |
| Tillverk. Asfalt | 190 | 190 | 190 | 190 |
| | | | | |
| Transport | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Läggning | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | | | | |
| Vinst, adm. | 37.5 | 44.8 | 40.7 | 39.2 |
| | | | | |
| Summa | 413.8 | 493.6 | 448.8 | 432.3 |

Kalkylen visar att normal asfalt har lägst totalkostnad. Polymermodifierad asfalt har en betydande högre kostnad. Det som är intressant att notera är att polymermodifierad asfalt baserad på avfallsplast har en lägre kostnad än den baserad på ny plast. Skillnaden blir mer markant i exemplet där ett produktionsbidrag på 3 kr erhålls. En viss osäkerhet råder om framtida pris på avfallsplasten. Beroende på vilka krav som staten ställer på återvinning så kommer de ekonomiska styrmedel de har att tillgå att sätta priset.

Ovanstående sammanställning visar att polymermodifierad asfalt inte kan konkurrera med konventionell asfalt i avseende på priset. Polymermodifierad asfalt måste istället visa på en högre kvalitet och en längre livslängd. En sammanställning enligt Tabell 10.2 visar vilken ökad livslängd de olika alternativen måste uppnå för att kunna konkurrera med konventionell asfalt. Den konventionella asfaltens livslängd är bestämd till 20 år. Eftersom det krävs en nyinvestering efter livslängdens utgång är värdena jämförbara. I exemplet med avfallsplast (0 kr/kg) krävs en ökad livslängd med ca 1-2 år. Resultaten i från Finland och Malmöförsöket visar att en ökad livslängd är möjlig. Även våra försök visar att deformationsegenskaperna förbättras vid inblandning av plast. Det är dock svårt att översätta resultaten till ökad livslängd. För att utröna det krävs långtidsförsök.

Tabell 10.2 Livslängd mot samma årskostnad

| | Totalkostnad (kr/ton) | Årskostnad (kr/ton) | Livslängd (år) |
|---|-----------------------|---------------------|----------------|
| 1 | 413.8 | 20.7 | 20 |
| 2 | 493.6 | 20.7 | 23.8 |
| 3 | 448.8 | 20.7 | 21.7 |
| 4 | 432.3 | 20.7 | 20.9 |

10.4 Slutsatser

Resultat från laboratorieförsöken visar att det plastmodifierade bindemedlet har en positiv inverkan på deformationsegenskaperna vid höga temperaturer. Detta är en av huvudledningarna till att använda plast i asfalt. Vid höga temperaturer blir konventionell asfalt deformationsbenägen, vilket leder till spår och valkbildning. Försöken visar dock att styvheten hos asfaltmassan minskar med plastinnehåll. Detta är ett något oväntat resultat. Orsaken kan vara en för låg bitumenhalt eller för hög fillermängd. Vid höga temperaturer är en styvare massa att föredra som motstår deformationer. Vid kall väderlek kan det vara en nackdel med för styv massa p.g.a. risken för sprickbildning. Erfarenheterna från tillverkningen av provkroppar visar att det plastmodifierade bitumenet är separationsbenäget. Bitumenlösningen får också en förhöjd viskositet. Detta kan innebära problem vid storskalig produktion. Pumpbarheten blir försämrad. Tiden man kan lagra tillverkad bitumenlösning blir därför kort och tillverkningen av modifierat bitumen bör ske i anslutning till tillverkningen av massan. Bitumenlösningen är också känslig för avkylning. Lösningen stelnar snabbt. Detta kan medföra problem vid utläggning och packning.

Skadeinventeringen på provsträckorna i SYSAVs projekt -93 visar att den dåliga undergrunden på Nordreflintvägen har större negativ inverkan på den modifierade asfaltbeläggningen än på referensbeläggningen. Orsaken är troligtvis att den plastmodifierade beläggningen är så styv att den inte klarar att följa med i undergrundens rörelser. Därför

spricker den och tappar sin bärförmåga. Detta visar sig genom sprickor och krackeleringar. Skadekartringen visade också att bitumenet från PABS-beläggningen slits av lättare från stenarna än hos HABS-beläggningen.

En ekonomisk kalkyl visar att polymermodifierad asfalt inte kan konkurrera med konventionell asfalt i avseende på pris. De polymermodifierade asfaltbeläggningarna måste istället uppvisa en högre livslängd och bättre kvalitet. Tekniken att använda återvunnen plast medför en lägre kostnad än att använda polymermodifierat bitumen baserat på nya plastmaterial.

Miljöpåverkan av plastinblandning i asfaltmassor är komplex att beskriva eftersom olika plaster har skiftande sammansättning och därför avger mer eller mindre farliga emissioner. En rapport från bygghälsan visar att ingen försämrad arbetsmiljö uppstår vid användning av polyeten i asfalt. Det är viktigt att det finns en kontroll och spårbarhet på plasten som återanvänds. Det bör undvikas att plaster blandas samt att märkning sker på ett bra sätt. Den dåliga kontrollen är en anledning till att modifiering med avfallsplast möter motstånd hos miljörelserna.

11. ÅTERVINNING AV SCHAKTMASSOR –

Användning av lermoräner

Lindh, P. et al. (1999) Experimental design in evaluating the effects of different stabilisation agents on soil

Lindh, P., Hartlén, J. (1999) Optimizing binders for shallow stabilisation of fine grained soils

11.1 Inledning

Schaktmassor uppkommer vid schaktarbeten. Det är stora volymer det rör sig om i inte minst vid infrastrukturprojekt. En del jordmassor schaktas bort på grund av att de har en olämplig sammansättning/kvalitet. Hit hör organisk jord (exvis gyttja) och lösa leror. Andra massor uppkommer vid schaktning för planskilda korsningar, för att skära ner lokala höjder etc. Ur både ett resurs- och ekonomiskt perspektiv är det önskvärt att kunna återanvända dessa i samma eller näraliggande projekt. Denna målsättningen kommer även till uttryck i Vägverkets miljöplan.

Mycket av de massor som schaktas bort i sydvästra Skåne, den nu aktuella regionen, består av finkorniga moräner (lermoräner). Dessa massor har goda egenskaper om de utläggs och packas vid en lämplig vattenkvot. Denna vattenkvot är normalt något lägre än den som jorden har i naturligt tillstånd. Om vattenkvoten däremot ökar, även i begränsad omfattning, blir jorden flytbenägen vilket gör den olämplig att använda. Jorden kan då inte packas och har heller ingen bärighet. Detta leder till att finkorniga moräner bara är lämpliga att använda mellan maj och september, även om tiden kan förlängas om det är torr väderlek.

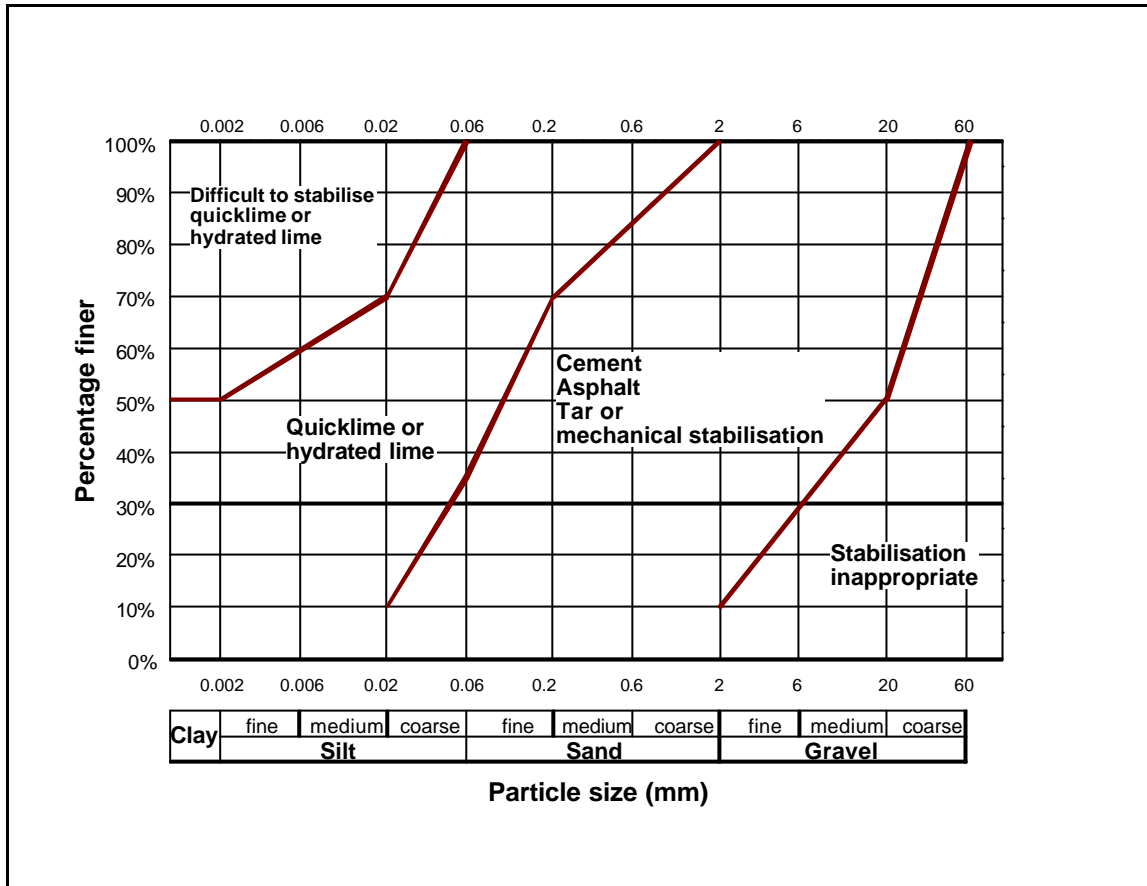
11.2 Tillverkning

För att öka återanvändningen av finkorniga schaktmassor pågår forskning vid Tekniska Högskolan i Lund. Genom att förbättra egenskaperna skall återanvändningen förenklas. Detta kan ske genom stabilisering (Lindh et al, 1999). Det finns olika sätt att stabilisera finkornig jord på. Hit hör ytstabilisering genom ytlig ifräsning av additiv, masstabilisering genom inblandning till normalt några meters djup i mycket lös jord samt pelarförstärkning till stort djup i lösare lerjord.

I det skånska perspektivet önskar man stabilisera massor som skall läggas ut och packas. Genom denna stabilisering blir massorna mindre känsliga för nederbörd liksom redan våta massor kan torka upp. Resultatet blir att massorna blir möjliga att trafikera och packa. Additiven kan tillföras massorna innan de läggs ut genom tillförsel i blandare, eller vilket är vanligare genom att sprida ut tillsatsmedlen som därefter fräses in.

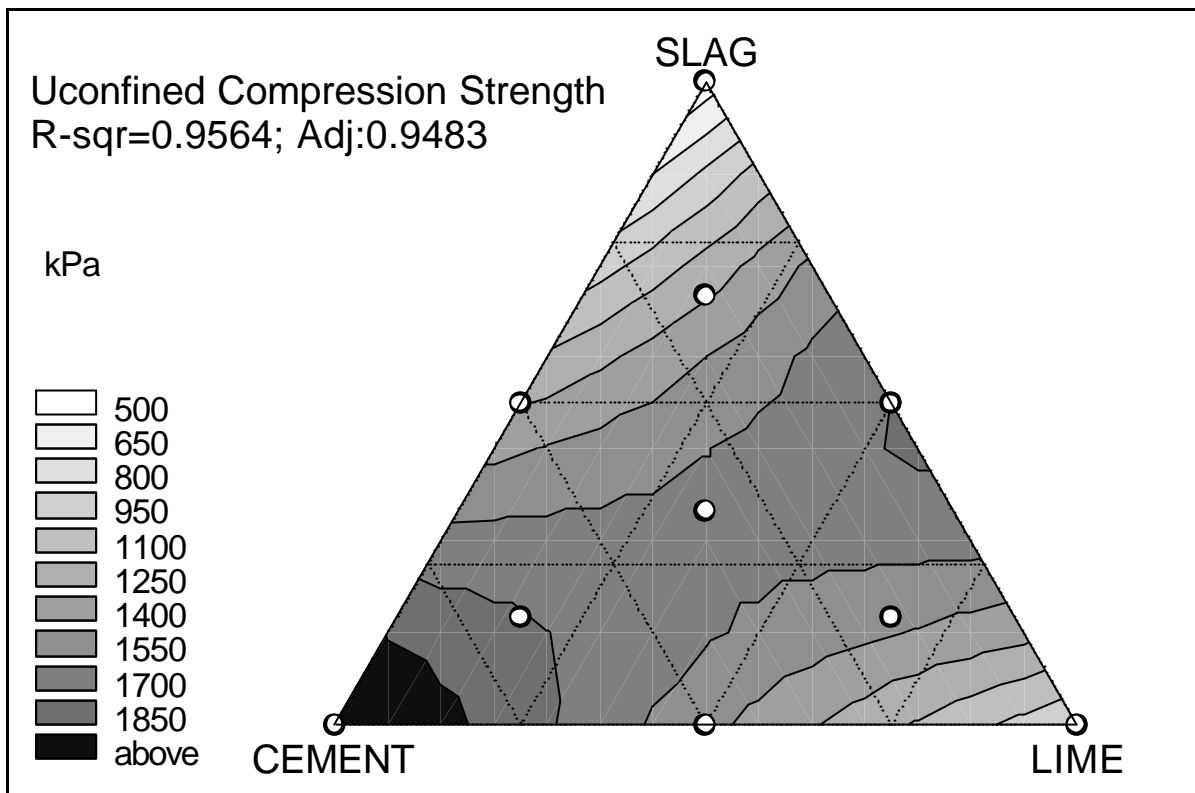
11.3 Materialegenskaper

Assarsson (1968) har föreslagit hur man skall välja additiv beroende på jordart, Figur 10.1. Omfattande försök har utförts i samband med byggandet av anslutningarna till Öresundsförbindelsen.



Figur 11.1. Val av stabiliseringsmedel för olika jordar (Assarsson, 1968).

Av särskilt intresse är att man också funnit att restprodukter är väl lämpade som additiv, särskilt om de har självhårdnande (puzzolana) egenskaper. Således har det vid forskning på LTH visat sig att restprodukt från stålindustrin (Merolit) tillsammans med cement eller kalk ger bäst effekt (Lindh et al, 1999).



Figur 11.2 Effekt av olika inblandningsmängder av additiven cement, kalk och stålslag. (Lindh et al, 1999). Hållfasthet hos ostabiliserad jord 150 kPa.

11.4 Erfarenheter

Omfattande forskning pågår nu för att finna lämpliga tillsatsmedel för att erhålla ett stabiliserat jordmaterial som erhåller dels bättre egenskaper vid utfyllning och packning, dels bättre slutfärdighet. Genom en bättre slutfärdighet skulle också tjockleken hos vägöverbbyggnaden kunna reduceras. Detta skulle också spara på grus och makadam.

Det erfordras emellertid bättre dokumentation innan en beräkningsmetod kan ställas upp som kan ta hänsyn till en bättre styvhet hos fyllningsmaterialet. Beständighetsfrågan är också viktig att beakta, så att stabiliseringseffekten inte avtar med tiden på grund av laster från trafik, tjäle, urlakning etc.

I samband med val av tillsatsmedel måste man också klargöra att man inte använder produkter som kan laka ut och skapa miljöproblem.

12. RISKER VID ANVÄNDADET AV RESTPRODUKTER

12.1 Allmänt

Det finns en klar tendens i samhället att minska förbrukningen av naturresurser. I regeringens skrivelse "Ekologisk hållbarhet" (skr.1997/98:13) anges tre övergripande mål för Sveriges väg mot ekologisk hållbarhet:

- Skyddet av miljön
- Effektiv användning av energi och andra resurser
- Hållbar försörjning av naturresurser.

Hållbar försörjning innebär att ekosystemens långsiktiga produktionsförmåga måste säkras. Så långt som möjligt skall vår målsättning vara att försörjningen baseras på ett långsiktigt hållbart nyttjande av förnybara resurser. Det betyder att användningen inte långsiktigt kan överskrida den takt med vilken naturen skapar nya resurser och att material bör återvinnas i ett kretslopp. Vi skall hushålla med icke förnybara resurser och kontinuerligt sträva efter förnybara ersättningar. För att det skall vara möjligt att återanvända restprodukter, t.ex. inom infrastrukturuområdet, måste kvaliteten uppfylla ställda krav både vad avser tekniska som miljömässiga egenskaper. För att användningen av restprodukter skall kunna motiveras ur miljösynpunkt erfordras att beslutsunderlaget är baserat på en kvalificerad riskbedömning. Det finns idag inga relevanta system i Sverige för att göra en sådan riskanalys. I de flesta fall baseras därför riskbedömningarna på jämförelser med andra föroreningsnivåer/halter som myndigheterna godtagit för olika tillämpningar. Hit hör dricksvattenkriterier och tillåtna halvförändringar i ytvatten. Naturvårdsverket (1997, 1999c) definierat hur förorenad jord skall bedömas. Ett liknande angreppssätt kan vara relevant för användning av restprodukter.

För att få en första uppfattning om risken för påverkan som kan fås vid en större användning av restprodukter kan man utgå från den totala mängd som kan bli aktuell/finns tillgänglig. Tabell 12.1 redovisar sannolika mängder.

Tabell 12.1 Mängder av nya material och alternativa material som kan återanvändas.

| Etablerade material | Alternativa material |
|---|--|
| Sand, grus, bergkross: till vägar: 50 Mton till övrigt: 10 Mton | Krossad betong: 1.1 Mton Tegel: 0,29 Mton Övrigt byggavfall: 0,1 Mton Förbränningslagg avfall: 340 kton |
| Asfalt: 2.700 Mton | Asfalt: 1.600 Mton |

Det är uppenbart att alternativa material endast kan ersätta en begränsad volym. Det bör innebära att en riskanalys bör koncentreras till regional användning där användningen kan bli dominerande på grund av dels begränsad tillgång till naturmaterial, dels stor lokal tillgång till restmaterial. Riskanalysen skall sedan också kopplas till den aktuella användningen.

12.2 Begreppet risk

Begreppen risk och riskanalys, riskbedömning etc. är begrepp som inte har samma innebörd för olika användningsområden. För att ge ett underlag för riskbedömning vid användande av restprodukter har parallellt med det här presenterade AFN-projektet ett annat AFN-projekt utförts. En rapport (Hartlén et al, 1999) är utarbetad där förslag till metodik redovisas samt förslag hur detta förslag kan vidareutvecklas till ett praktiskt verktyg.

Det finns två begrepp använda i samband analys av risk:

- riskbedömning
- riskvärdering

Förhållandet mellan de olika faserna redovisas i Figur 3.1 (Hartlén et al, 1999). Den första fasen, riskbedömning, ibland också kallad riskanalys, resulterar i konkretisering och värdering av risken. Riskbedömningen skall vara fri från värderingar och således endast presentera fakta. I nästa fas, riskvärdering sker en jämförelse med acceptkriterier. Dessa kan vara riktvärden, gränsvärden och dos-respons data..

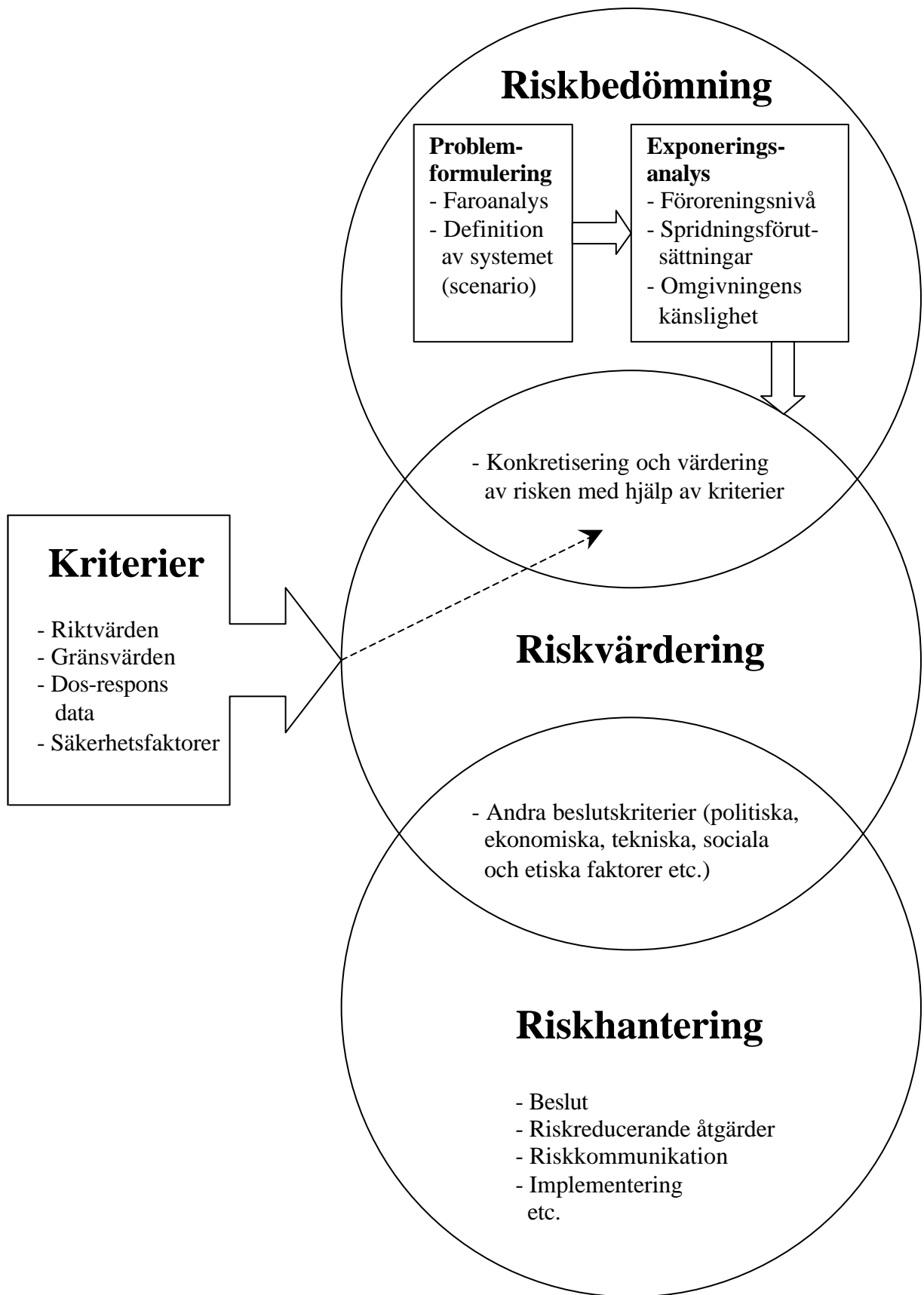
Riskhantering utgörs av det slutliga beslutssteget. Riskhanteringen innebär att beslut fattas beslut på basis av politiska, ekonomiska, tekniska, sociala och etiska faktorer. Riskhanteringen delas ofta upp i flera steg, som riskreducerande åtgärder. Man tar då beslut vid en värdering av extra insatser relaterar till den riskreduktion som uppnås. Även val mellan olika åtgärder kan inbegripas i detta skede. Det är normalt först i detta steget som myndigheterna gör sina värderingar i det aktuella fallet. De har dock redan i tidigare skeden styrt risknivån genom att ställa upp gränsvärden m.m.

Vid miljöbedömningar utgörs riskidentifieringen av själva riskvärderingen och riskhanteringen genom att klargöra risken för skada på människor och omgivning. Exempel härpå utgör kemiskt farliga ämnen.

Det skall noteras att faroanalysen inte är likvärdig med en riskanalys. Faroanalysen baseras på produktens innehåll av miljöstörande ämnen medan riskanalysen utgörs av en kombination av fara och exponeringen på människa och natur i form av användningsätt, volym etc..

För att användningen av sådana produkter skall kunna motiveras, erfordras att beslutsunderlaget är baserat på en kvalificerad riskbedömning. Risken definieras normalt som en kombination av sannolikheten för att en skada skall uppstå och konsekvensen av denna skada. Sannolikheten bestäms av faktorer som använd volym samt potentialen för spridning av miljöskadliga ämnen till känsliga punkter i jord och vatten för den aktuella situationen.

I många länder pågår arbete med att ta fram beslutskriterier för användning av sekundära material. I Hartlén et al. (1999) görs en bred presentation av sådana arbeten, med speciell fokusering på aktiviteter i Holland och Danmark. Inom EU pågår arbete att ta fram direktiv för avfallsdeponering där avfallet indelas i olika klasser beroende på risknivån. CEN arbetar parallellt med att ta fram metoder för bestämning av lakegenskaper, CEN (TC292). Dessa arbeten presenteras också i rapporten, då de har relevans för andra typer av riskbedömningar.



Figur 12:1 Metodik för riskbedömning av restprodukter vid användning i byggande. (Hartlén et al, 1999)

12.3 Riskbedömning

Byggmaterial oberoende om de är primära eller skall återanvändas/vinnas innehåller oorganiska och organiska ämnen som, om de överskrider en viss mängd, vara skadliga för människa och natur.

Spridningen av föroreningar kan ske på olika sätt, såsom damning och transport i yt- och grundvatten. I flera länder pågår nu studier om hur spridningen med i första hand grundvattnet kan modelleras.

I tabell 12.2 redovisas några olika länders system för riskbedömningen. De mest utvecklade systemen finns i Holland och Danmark. De två systemen har något olika syfte. Det holländska avser främst att förhindra förorening av jorden, medan det danska främst avser skydd av grundvattnet.

Det franska systemet anges komma att revideras. I tabellen anger den tjocka linjen var gränsvärdet appliceras, således den punkt där jämförelse görs mellan uppmätt värde och beräknade gränsvärden. EU direktiv för deponering är liksom de övriga systemen kopplade till koncentrationen i lakvattnet.

Tabell 12.2 System för värdering av restprodukter i Holland och Danmark. Som jämförelse redovisas EUs deponeringsdirektiv.

| | Holland | | Danmark | Frankrike | EU direktiv |
|-----------------------------|--|----------------------|--|------------------------------|--|
| Faroanalys | Ämnen som speciell analys, svartlistade eller prioriterade ämnen | | Metod för prioritering av undersökta ämnen | Dominerande ämnen i sopslagg | Waste (91/156/EEC) Hazardous waste (91/689/EEC) |
| | Immissionsvärde | Totalinnehåll | | | |
| Lakegen-skaper | Standardmetoder | | L/S beroende på scenario | Standard-metod | Landfill of waste (proposal, 1996) |
| Lakning från konstruktionen | Utan och med skyddsåtgärder | | Sju scenarier definierade | - | - |
| Transport till recipient | Immission till jord | Modell | Utspädningsfaktor | - | - |
| Spridningsvägar | Alla till jord | | Dricksvatten | - | - |
| Hälsorisk | Nationella kriterier | | Nationella kriterier | - | - |
| Risk för miljön | Nationella kriterier | | Nationella kriterier | - | - |
| Riskvärdering | Skyddsåtgärder om kraven ej uppfylls | | | - | - |

12.4 Tillämpning av föreslaget riskbedömningssystem

Detta projekt tillsammans med AFN-projektet ”Riskbedömning vid användning av sekundära material i infrastrukturbyggande (Hartlén et al, 1999) är ett första steg i att utveckla ett robust system för Sverige, baserat på ett vetenskapligt angreppssätt.

Riskbedömningen vid användningen av sekundära material i konstruktioner föreslås bestå av flera delar enligt nedan:

Problemformulering

Syftet är att identifiera miljöstörande egenskaper hos restprodukten som är relevanta för att identifiera spridningsvägar. Detta motsvara steg 1-3 i ENV12920 ”Methodology for determination of a leaching behaviour of waste under specified conditions”.

Beskrivning av materialet

Restprodukten skall beskrivas (steg 3 ENV 12920) och relevanta ämnen för riskbedömning

skall väljas. Beskrivningen skall omfatta :

- fysikaliska egenskaper
- miljöfarliga egenskaper i relation till EU direktivet om miljöfarligt avfall 91/689/EEC.
- materialets innehåll av oorganiska och organiska ämnen.

Beskrivning av scenarier

Användningssätt/scenarier skall beskrivas i detalj utifrån användningsområde och lokala miljöförhållanden. (steg 2, ENV 12920). Beskrivning av scenarierna skall innehålla:

- geotekniska förhållanden
- hydrogeologiska förhållanden
- biologiska förhållanden
- framtida användning av området
- speciella förutsättningar

Val av kritiska ämnen och kritiska påverkanspunkter

Utifrån materialbeskrivningen väljs kritiska ämnen. Flera påverkanspunkter skall identifieras utifrån uppställda scenarier och med beaktande av möjlig påverkan på människa och natur. Spridningsvägarna skall utifrån transportmodeller ge svar på koncentrationer av kritiska ämnen vid dessa kritiska punkter.

Utvärdering av påverkan

Utvärdering av påverkan består av två delar: Transport av kritiska ämnen från källa till påverkanspunkt och utvärdering av känsligheten för miljöstörning inom aktuellt område.

Riskvärdering

Riskvärdering inbegriper att beräknad påverkan vid kritiska punkter jämförd med redan uppställda kvalitetskriterier. Dos-respons data ingår i denna utvärderingsdel.

Riskhantering

Generell nivå för acceptabel påverkan på natur och människa måste ställas upp av myndigheterna och ingår ej i denna studie. Dessa nivåer utgör grunden för samhällets val av risknivå.

12.5 Fortsatt arbete

Ett system för att utvärdera möjlighet/risk vid användning av restprodukter är presenterat i denna rapport. På nuvarande stadium är systemet endast utarbetat på en övergripande nivå baserat på generella principer. Det har under arbetet framkommit att det erfordras fortsatt forskning och utveckling innan ett system likt det föreslagna kan bli färdigutvecklat. Olika ”verktyg” behöver också tas fram till hjälp vid en analys. Förslag till fortsatt forskning och utveckling presenteras i rapporten.

Det föreslagna systemet för riskbedömning presenterat ovan behöver också förenklas och utprovas för att kunna användas i praktiken och för enskilda produkter.

13. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÖKAD ÅTERANVÄNDNING

13.1 Allmänt

Förutsättningarna för att det skall finnas en marknad för restprodukter beror på ett stort antal faktorer. Det är inte enbart de tekniska faktorerna, liksom på senare tid de miljömässiga egenskaperna som bedöms. Väl så viktigt är en säker tillgång på materialet, att beställaren godkänner material och förväntat resultat samt att priset är intressant.

Förutsättningar för att etablera marknad för restprodukter blir således:

- kvalitetskrav, beroende av respektive avnämares förutsättningar
- kapacitetskrav, dvs. avnämare måste kunna garanteras rätt mängd vid rätt tidpunkt
- garanterad jämn kvalitet
- fungerande insamlings- och hanteringssystem.

De ekonomiska förutsättningarna när det gäller återvinning är främst baserade på följande faktorer:

- alternativ deponikostnader
- behandlingskostnad, sortering, krossning, malning
- transportavstånd
- alternativkostnad, dvs. för konkurrerande, och ofta mer etablerade produkter.

Olika aktörer ser också olika på frågorna beroende på deras förutsättningar. Hit hör då om de i närheten har tillgång till egen täkt, vilken maskinutrustning de har samt deras erfarenhet från tidigare liknande användningar.

13.2 Tillgång och marknad

13.2.1 Betong

Krossad betong bedöms ha utmärkta egenskaper som ersättning för sand-, grus- och krossat bergmaterial. I de inom projektet utförda försöken har i samtliga fall betongen uppvisat bättre egenskaper än de konventionella materialen. I Törringevägen kunde jämförelse även göras med slaggrus och tegel, och även vid denna jämförelse uppvisar krossad betong bäst egenskaper.

Tillgången på betong i sydvästra Skåne har under de tre senaste åren varit ca 70-80 kton per år. Betongen kommer från olika tre olika verksamheter, infrastruktur (vägar, broar och järnvägar) och från byggsektorn (husrivningar, ombyggnader, nyproduktion) och produktionsrester från betongtillverkning (rör, prefabricerade väggar).

Tillgången till betong kan variera något under en konjunkturcykel. Men jämfört med den mängd på 3,5-4,5 Mton som årligen i regionen hämtas från olika grus- och bergtäkter så kan betongmängden endast ersätta knappt 2% av det årliga uttaget från dessa täkter. Siffrorna för riket i helhet indikerar också samma procenttal.

Men även om mängden ej är stor så kommer den ändå långsiktigt att minska uttaget från grusåsar och bergtäkter. Även transportarbetet kan minska, eftersom den krossade betongen oftast kan användas i närheten av krossningsplatsen.

För att minska transportarbetet i SYSAV-regionen planerar SYSAV att lokaliseras en behandlingsanläggning för rivningsbetong i anslutning till en schakttipp. Denna åtgärd tillsammans med ett ändrat beteende hos SYSAVs kunder och de lokala transportföretagen bedöms öka möjligheten för åkerierna att i större utsträckning kunna transportera krossat material som returlass.

Marknadsförutsättningar för krossat betong bedöms som goda, under förutsättning att kvalitén kan upprätthållas och att priset är konkurrenskraftigt gentemot jungfruliga material typ 0-100 mm fraktionen.

För att upprätthålla en god kvalitet bör varje leverans kunna deklarerats och kontrolleras för att säkerställa att inga främmande material finns i det levererade materialet. Här kan rivningsplaner och miljöinventeringar enligt PBL få en viktig roll. Detta tillsammans med ett kvalitetssystem på anläggningen skall säkerställa att kvalitén på inkommande material ej skall äventyra kvalitén på det material som sedan skall krossas och säljas till marknaden.

Prissättningen på det krossade material måste i ett inledande skede ligga något under jämförande pris på jungfruligt material för att vägbyggare och entreprenörer skall börja att använda materialet. Men inom ett till två år bör prisbilden kunna ändras eftersom resultaten från provvägarna visar att krossat betong har lika bra eller bättre egenskaper än jungfruligt material.

Till ovannämnda prisdiskussion kommer en avfallsskatt vid årsskiftet 1999/2000 på 250:-/ ton och regler enligt nya miljöbalken, vilket kommer att innebära att ingen rivningsbetong kommer att kunna levereras till deponier, schakttippar eller bullervallar eftersom betongen då kan komma att belastas med en avfallsskatt. Exakta föreskrifter om hur avfallsskatten skall användas väntas under senhösten 1999 från Finansdepartementet. Skatten kommer därför att öka mängden betong som kommer att levereras till krossningsanläggningar.

Det som återstår för att krossat betong skall kunna levereras i större mängder till olika vägbyggandsprojekt är ett godkännande från miljömyndigheterna. Enligt dagens regler så skall vara leverans eller leveransplats godkännas av den lokala miljömyndigheten. Här måste vägbyggare och producenterna av krossad betong tillsammans överenskomma med miljömyndigheterna om förenklade rutiner.

Den krossade betongen var mycket basisk (pH=12) och tycks inte minska med tiden. Undersökning av tungmetallhalterna i vatten hämtat från vägbrunnarna intill provsträckorna med krossad betong visade att halterna var något högre än i vatten i närliggande brunnar som samlade upp vatten från det konventionella vägbyggnadsmaterialet. Krossad betong bör likväl inte medföra påtagligt större miljöbelastning på omgivningen än ett konventionellt vägbyggnadsmaterial gör.

13.2.2 Tegel

Tegel har varierande egenskaper. Fasadtegel har bäst hållfasthetsegenskaper. Genom en lämpligt val kross kan ett material erhållas som uppfyller Väg 94s krav på kornstorleksfördelning. Det är dock viktigt att främmande material inte blandas in utan att teglet hålls rent.

I Danmark används krossad tegel i gång- och cykelvägar. Däremot används tegel inte som förstärkningslager i vägar på grund av dåliga dräneringsegenskaper och risken för nerkrossning (RGS, 1999). Försöken i Törringevägen visade att teglet kunde läggas ut och packas utan betydande nedkrossning. Bärigheten blev dock mindre än för naturmaterial.

Tillgång på tegel bedöms vara mer begränsad än för betong. Tegel har även andra mer "kvalificerad" användning som återanvändning som tegelsten, men det kommer att krävas nyttiggörande också i annan form, där rivningen inte behöver vara så selektiv (Sentler, 1999).

Bedömningen är att det finns en god marknad för krossad tegel. Redan idag är det ibland brist vilket beror på att krossad tegel används med gott utbyte i temporära vägar.

13.2.3 Slaggrus

Slaggrus har i många länder funnit stor avsättning. Detta gäller i första hand Danmark, Holland och Tyskland men även i Frankrike m.fl. länder. Den primära användningen är som fyllnings- och förstärkningslager. Användningen finns reglerad i dessa länder vad gäller kvalitet, utläggning, packning som kontroll.

I anslutning till detta projekt användes stora mängder slagg som fyllningsmaterial under en överbyggnadsyta som skulle trafikeras med tunga truckar. Vidare har slagg använts som förstärkningslager i detta projekt som förstärkningslager i Törringevägen. I båda fallen visade sig materialet vara lätt att hantera och ha god stabilitet. Provbekastning visade att bärigheten var något lägre än för betong.

För slaggrus beror tillgången på närheten till en avfallsförbränningsanläggning. Det synes vara ett oförändrat antal anläggningar men utbyggnad är aktuell hos SYSAV och kanske också fler. Anledningen är EUs deponeringsdirektiv som innebär att organiskt material inte får deponeras.

Kostnaden för slaggrus är kopplad till hantering i form av siktning och metallavskiljning. Den senare bör vara aktuell i vilket fall. Extrakostnaden blir därmed den extra hantering med mellanlager. Alternativet att deponera direkt reducerar således kostnaden med ca 10 kr/ton. Lagringsutrymme behövs dessutom. Härtill kommer kvalitetssäkring. Däremot sparas deponeringsutrymme och eventuell deponeringsskatt. Kostnaden kan således delas upp enligt nedan. De enskilda kostnaderna kan alltid diskuteras och bör i det aktuella fallet kopplas till dess kostnader/intäkter.

Tabell 13.1 Kostnader och intäkter för slaggrus

| <i>Kostnader</i> | | <i>Intäkter</i> | |
|---|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <i>Siktning, magnetavskiljning etc.</i> | <i>10 kr/ton</i> | <i>Försäljning slagg</i> | <i>60 kr/ton</i> |
| | | <i>Försäljning skrot</i> | <i>5 kr/ton</i> |
| <i>Mellanlager</i> | <i>3 kr/ton</i> | <i>Deponeringskostnad</i> | <i>5 kr/ton</i> |
| <i>Lastning</i> | <i>5 kr/ton</i> | <i>Deponeringskatt</i> | <i>100 kr/ton</i> |
| <i>Kvalitetssäkring</i> | <i>40 kr/ton</i> | | |
| <i>Administration</i> | <i>30 kr/ton</i> | | |
| <i>Totalt</i> | <i>88 kr/ton</i> | | <i>170 kr/ton</i> |

Sammanställning i tabell 13.1 visar att det finns stora förutsättningar att finna avsättning för slagg. Man kan samtidigt konstatera att deponeringskatt kan vara ett motiverat sätt att medverka till större andel återanvändning. Även utan en sådan skatt finns goda förutsättningar för återanvändning. En god kvalitet hos slaggen samt ökande kostnad för naturmaterial ökar möjligheten till nettovinst utan deponeringskatten.

13.2.4 Gips

I de studerade avsättningsmöjligheterna för gipsrester ges exempel på att återvunnen gips, som alternativ till de etablerade produkterna på marknaden, redan idag är kostnadsmissigt konkurrenskraftig. Om återvunnen gips skall få en markand är det de tekniska och praktiska förutsättningarna som bör studeras och utvecklas. Detta med utgångspunkt ifrån avnämarnas respektive krav.

Deponikostnaderna varierar i landet så också kilometerkostnaden för transporter. En schablonmässig beräkning baserad på 1995 års deponi- och transportkostnader visade att man då skulle kunna transportera gipsrester mellan 35 och 190 km, beroende på lastvikt, ifrån avfallsproducenten om denne befann sig i Malmöregionen medan man i Stockholmsregionen endast kunde få ekonomi vid transportsträckor på mellan 65 och 225 km. Då deponiskatt införs (prel. år 2000) blir de ekonomiska marginalerna som kan gynna återvinningen av gips större. Dessutom medför det en ökad möjlighet att transportera gips till återvinningsanläggningar som är belägna långt ifrån avfallsproducenten. Detta medför i sin tur ett större underlag för att bedriva återvinningsföretag.

13.2.5 Kallasfalt

Enligt beräkning bryts årligen ca 2,7 miljoner ton asfalt upp. Utav detta läggs uppskattningsvis ungefär 1 miljon ton på upplag i väntan på eventuell återvinning. Flera kommuner har upplagrade asfaltmassor som lämpar sig för kallåtervinning. En grov skattning är att det finns flera miljoner ton uppbruten asfalt på upplag. renhetsgraden hos dessa massor varierar. Utav den återvinning som sker idag är ungefär 60 - 70 % kallåtervinning respektive halvvarm återvinning (mer energikrävande). Övrig återvinning är varmåtervinning i stationära asfaltverk.

Tillgången samt kapaciteten för återvinning av asfalt är tillräcklig för att täcka en betydligt större marknad än dagens. Efterfrågan kan antas öka i framtiden till följd av ökat

miljömedvetande och de låga kostnaderna, när man kunnat påvisa och fastställa den återvunna asfaltmassans kvalitet och långtidedegenskaper.

Denna typ av kallåtervinning av asfaltmassor har visat sig lämplig i tätbebyggda regioner såsom i södra Sverige. Generellt kan man anta att åtminstone södra Sverige representerar en potentiell marknad för återvunnen kallasfalt.

Kallåtervinning av asfalt är ett miljömässigt och ekonomisk bra alternativ till varmåtervinning och det finns goda markandsförutsättningar. Genom att tillsätta Raps MB erhålls en produkt som potentiellt kan ersätta traditionellt oljegrus. Emissionerna är lägre och mindre miljöbelastande. Tillväxten i draghållfasthet efter härdning är högre än för de traditionella alternativen (längre härdningstid men bättre slutresultat). Kallasfalt med Raps MB är betydligt billigare att använda än den traditionella vägbeläggningen oljegrus.

Kallasfalt med Raps MB kan användas dammbindande och hårdgörande vägbeläggning av mindre vägar. Frostegenskaperna är betydligt bättre än hos föregångaren Raps C. Ytterligare försök och tester med Raps MB bör göras för att kunna mäta, fastställa och dokumentera dess egenskaper under olika betingelser inte minst ur ett långsiktigt perspektiv.

Erfarenheter av utläggning av kallasfalt med Raps MB kan tjäna som underlag för eventuell modifiering av recept för att kunna tillfredsställa olika behov samt för att kunna fastställa rekommendationer avseende underbyggnad, förberedande arbeten samt beläggningsarbete. Sådana normer och rekommendationer banar också väg för ökad återvinning.

13.3 Miljömässiga förutsättningar

Det har genomförts laboratorie- och fältförsök för att klargöra risken för miljöstörning vid användning av restprodukter. Man kan konstatera helt naturligt att olika materialtyper har olika egenskaper, men även inom en materialgrupp kan olika lakegenskaper noteras.

Laboratieförsöken ger ofta högre halter än de som uppmäts under fältförhållanden. Detta kan förklaras av flera förhållanden. Det viktigaste torde vara att lakningen på laboratorium är mer "aggressiv" än fältförhållanden. Men väl så viktigt är olika pH-värden i laboratorium och fält. I laboratorium fås i de aktuella materialen ett avsevärt högre pH-värde. I fält får lakvattnet kontakt med luftens koldioxid vilket leder till karbonatisering med åtföljande lägre pH-värde. Ett antal metaller har kraftigt pH-beroende vad gäller lakbarhet (Chandler et al 1997).

I kapitel 6 görs en jämförelse mellan naturmaterial och olika restprodukter. I kapitel 12 diskuteras vidare hur ett mer generellt system för riskvärdering av restprodukter bör byggas upp. I Hartlén et al (1999) beskrivs hur ett sådant system kan etableras. I detta projekt har endast en enkel jämförelse gjorts med Naturvårdsverkets riktvärden för yt- och dricksvatten.

13.4 Förslag till fortsatta utredningar/FoU

Det är viktigt att följande förhållanden utreds vidare för att det skall uppstå en livskraftig marknad, tabell 13.2.

Tabell 13.2. *Frågeställningar och motsvarande FoU-behov.*

| Frågeställning | Management | FoU-behov |
|---------------------|--|---|
| Tillgång | Centrala upplag med krossning och sortering | Logistikfrågor inkl. fraktioner/produkter |
| Kvalitetssäkring | System utvecklas med Nordtest-standard el. likn. | Utveckla ett system som provas ut av branschens organisationer |
| Miljösäkring | Tillståndsprocessen formaliserad | Provvägar som stöd för ATB etc. |
| Regelverk, ATB etc. | Mätningar på referensprojekt | Väl instrumenterade provvägar, samt införande av nya parametrar |
| Implementering | Stöd till referensarbeten | .Kurser samt "lathundar". |

Forskningen bör ske i nära samverkan mellan aktuella myndigheter, högskolor, forskningsinstitut och branschen. Denna form av forskningsbredd etableras nu runt om i världen och Sverige bör följa denna utveckling.

14. UNDERLAGSRAPPORTER

Under projektets gång har ett antal underlagsrapporter tagits fram enligt nedan. Ibland har detta skett i samarbete med andra organisationer.

Grönholm, R, Hartlén, J, Sävström, R, Fridh, R, Evertsson, U (1999), Användning av betong, tege och slaggrus som obundet vägbyggnadsmaterial, Törringevägen - erfarenheter från utförandet

Ludvigsen, K (1999): Nyttiggørelse af tegl - Danske erferinger, RGS 90

Persson H, Svensson, M, Johansson, M (1998): Återvunnen plast i asfalt, Thesis 24, ISRN LUTVDG/TVVB/EX-5024/--SE/1998/104, Sektionen för Väg och vattenbyggnad, Avd för vägbyggnad, Lunds Tekniska Högskola

Lindberg, G (1999): Kallåtervinning av asfalt med Raps MB. Skanska, Sverige. Naturvårdsverket/AFN

Betong i vägar-krosstudie, Om möjligheterna att återvinna betong från husrivning (1997): Boverket, Byggavd, Dnr:B6017-2608/96

Betong i vägar-materialstudie, Om möjligheterna att återvinna betong från husrivning (1999): Boverket, Byggavd, Dnr:B6017-2608/96

Grönholm, R (1999): Utlakningsprov på lättbetong från produktions- och rivningsrest, AFR projekt Nya sten- och grusmaterial ur bygg- och slaggavfall

Jansson, H, Ydrevik, K (1998): Utvärdering av fallviktsmätningar våren 1998 på Björsvägen, provsträckor med krossad betong, VTI utlåtande 664, VTI 171/97-7

Evertsson, U, Hartlén, J, Sävström, R (1997): Slagg från avfallsförbränning, Delrapport 1 Provpäckning på Spillepeng. SYSAV.

Carling, M (1998): Referensvärden för utvärdering av miljömässig karakterisering av betongkross, Dnr 1-9603-157, SGI

Sigfrid, L (1999): Användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial, Rapport från seminarium i Lund den 28 och 29 oktober 1998. Naturvårdsverket/AFN-rapport.

15. LITTERATURFÖRTECKNING

- Assarsson, K G (1968): Stabilisering av kohesionära jordarter med kalk. Norsk Vegetidskrift, no 2, pp 2-16.
- Björklund, A (1984): Some studies on the behaviour of asphalt mixes with reference to compaction, heat transfer and repeated loading. ISSN 0349-5744.
- Born J G P, van Ruiten, L H A.M & van der Sloot, H A (1995): Treatment & beneficial use of MSWI residues in the Netherlands. Novem, The Netherlands.
- Brusseu, M L and Rao P S C (1990): Modeling solute transport in structured soils: A review., *Geoderma*, 46, 169-192.
- Carling, M (1998): Referensvärden för utvärdering av miljömässig karakterisering av betongkross, Dnr 1-9603-157, SGI.
- Carling, M, A-K & Hjalmarsson (1998): Energiaskor för väg- och anläggningsändamål, miljöaspekter, EFO.
- Chandler; J, Eighmy, TT, Hartlén, J, Hjelmar, O, Kosson, D S, Sawell, S E, van der Sloot, H A & Vehlow, J (1997):. Municipal solid waste incinerator residues. Elsevier Env. Science 67.
- Evertsson, U (1999): Slaggrus som fyllnadsmaterial i terminalområden. Användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial, Rapport från seminarium i Lund den 28 och 29 oktober 1998. Naturvårdsverket/AFN-rapport.
- Fällman A-M et al. (1999): Slaggrus miljömässiga och materialtekniska egenskaper, RVF/SGI rapport.
- Hallberg, A-C, Schultz, J & Wahlman, T (1995): Plastavfall i asfalt. Reforsk rapport FoU 120.
- Hartlén J et al. (1999): Principles for risk assessment of secondary materials in civil engineering work, AFN/SGI.
- Helsing-Atlassi, E (1998): Boverket, pers. kom.
- Henriksson, A (1995): Återvinning av sorterat gipsskiveavfall som gödningsmedel i jordbruket, Malmöhus läns Hushållningssällskap.
- Henriksson, A (1996): Gips från industri som svaveltillförsel – Resultat från fältförsök 1996, Hushållningssällskapet Malmöhus.
- Lindh, P., Gustavsson, P., Hartlén, J. (1999) Experimental design in evaluating the effects of different stabilisation agents on soil, submitted to *Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*
- Lindh, P., Hartlén, J. (1999) Otimizing binders for shallow stabilisation of fine grained soils, manuscript.

Lundgren, T. & Hartlén, J. (1991): Slagg från avfallsförbränning – Teknik och miljö. Reforsk FoU nr 61.

MGG (1998): Procedur vid val av injekteringsmedel med avseende på hälso- och miljöfarlighet, Miljögranskning Hallandsås, Geo- och Bergteknikgruppen, MGG PM 111.

Milkowski, W (1985): Catalytic modification of road asphalt by polyethylene. ISSN 0733-947X/85/0001-0054.

Naturvårdsverket (1996): Kartläggning av materialflöden inom bygg- och anläggningssektorn, AB Jacobson & Widmark, rapport 4659, ISSN 0282-7298.

Naturvårdsverket (1997): Generella riktvärden för förorenad mark: Beräkningsprinciper och vägledning för tillämpning. Efterbehandling och sanering. Rapport 4638. Naturvårdsverket, Stockholm. 49 p. ISBN 91-620-4638-1.

Naturvårdsverket (1999a): Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - grundvatten, rapport 4915.

Naturvårdsverket (1999b): Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - sjöar och vattendrag, rapport 4913.

Naturvårdsverket (1999c): Metodik för inventering av förorenade områden. Bedömnings-grunder för miljö kvalitet och vägledning för insamling av underlagsdata, rapport 4918.

Naturvårdsverket (1999d): Miljöforskning för en hållbar utveckling.

Saarinen, L 1992: The waste plastics in asphalt. VTT report.

Sentler, L (1999): Återanvändning av tegel. Användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial, Rapport från seminarium i Lund den 28 och 29 oktober 1998. Naturvårdsverket/AFN-rapport.

Sigfrid, L 1995, Lokal återvinning av gipsskivor, på uppdrag av Gyproc.

Ydrevik K (1996): Krossad rivningsbetong som bär- och förstärkningslager i gatubyggnad. VTI Notat nr 54-1996.

ÖVRIG LITTERATUR SOM INTE ÄR DIREKT CITERAD I TEXTEN

Andersson A (1992): Trace elements in agricultural soils . fluxes, balances and background values. Swedish EPA report 4077. Naturvårdsverket, Stockholm.

CCME (1996): Water quality guidelines for the protection of freshwater life. Canadian Council for Ministers of the Environment.

CEC (1991): Council directive on hazardous waste, Commission of the European communities, 91/689/EEC.

CEC (1991): Council directive on waste, Commission of the European Communities, 91/156/EEC.

CEC (1993): Commission decision establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste, Commission of the European Communities, 94/3/EC.

CEC (1994): Council decision establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1 (4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste, Council of the European Union, 12282/94.

CEC (1996): Draft proposal for a council directive on the landfill of waste, Commission of the European Communities,

CEN (1997): Characterisation of waste - Methodology for the determination of the leaching behaviour of waste under specified conditions, European prestandard, CEN, European committee for standardization, ENV 12920.

Certifieringsregler Ballast, Bilaga 7.8.4 Ballast, Frekvenstabell, Ballastprovningar (1996): Betong och Ballastcertifiering (BBC) AB

Cothorn, C R (1996): Handbook for Environmental Risk Decision Making: Values, Perceptions & Ethics. Lewis Publishers, Boca Raton. 408 p. ISBN 1-56670-131-7.

Covello, V T & Merkhofer, M W (1993): Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. Plenum Press, New York. 319 p. ISBN 0-306-44382-1

Davies, J C (1995): Comparing Environmental Risks: Tools for Setting Government Priorities. Resources for the future, Washington D.C. 157 p. ISBN 0-915707-79-9.

Hjelmar O, Holm P E, Lehmann N K J, Asmusen O and Rose N (1998): Grundlag for nyttiggörelse af forurenat jord og restprodukter, Miljöprojekt, Miljö- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen, 415.

Landis, W G & Yu, M H (1995): Introduction to Environmental Toxicology: Impacts of Chemicals upon Ecological Systems. CRC Press Inc./Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 328 p. ISBN 0-87371-515-2.

Lundgren, T & Elander, P (1987): Environmental control in disposal and utilization of combustion residues. Statens Geotekniska Institut. SGI Rapport 28E. 76 p.

Miljöstyrelsen (1995a): Tokikologiske kvalitetskriterier for jord og drikkevand, Projekt om jord og grundvand fra Miljöstyrelsen, report no 12, Miljö og Energiministeriet, Danmark.

Miljöstyrelsen (1995b): Ökotoksikologiske jordkvalitetskriterier, Projekt om jord og grundvand fra Miljöstyrelsen, report no 13, Miljö- og Energiministeriet, Danmark.

Minister of Environment, France(1994): (In French) Elimination des mâchefers d'incinération des résidus urbains, Circulaire, Le Ministre de l'Environnement, Frankrike, DPPR/SEI/BPSIED/FC/FC.

Moore, D R, Breton, R L, Doyle, P, Elliot, B J, Taylor, K & Windle, W M (1997): Ecological Risk Assessment of Priority Substances in Canada: Identification and resolution of difficult issues. Environmental Toxicology and Risk Assessment: Modelling and Risk Assessment (Sixth Volume). ASTM STP 1317. F.J. Dwyer, T.R. Doane and M.L. Hinman, Editors. American Society for Testing and materials, West Conshohocken, PA. pp. 130-147. ISBN 0-8031-2474-0.

National chemicals inspectorate (1996): (In Swedish) Kemikalieinspektionens föreskrifter om ändring i föreskrifterna (KIFS 1994:12) om klassificering och märkning av kemiska produkter. Del 1, In: Ed: KIFS 1996:5 Kemikalieinspektionens författningssamling.

National Research Council (1983): Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington D.C. National Academy Press.

Naturvårdsverket (1994): Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket., SNFS, 1994:2.

Naturvårdsverket (1996): Förordning om farligt avfall, SNFS, 1996:971.

Naturvårdsverket (1998): Statens naturvårdsverks föreskrifter om ändring i kungörelsen (SNFS 1994:2) med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket., SNFS, 1998:4.

Naturvårdsverket (1998): Förslag till riktvärden för förorenade bensinstationer, Naturvårdsverket/Svenska Petroleum Institutet, rapport 4889.

Naturvårdsverket (1999c): Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - Odlingslandskapet, rapport 4916.

Naturvårdsverket (1999d): Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - Skogslandskapet, rapport 4917.

Neely, W B (1994): Introduction to chemical exposure and risk assessment. Boca Raton, Lewis. p. 190. ISBN 1-56670-094-9.

OECD (1997): Recycling strategies for road works, IRRD No. 887579, ISBN 92-64-15461-2

Produktblad D 281.038.00.en, Mobile rubble crushing unit, Infracrusher 130/115 RCPR, Specification summary, 1997, Svedala-Arbrå,

Produktblad D 281.040.00.en, Mobile Waste screening unit, Infrascreeen 20/12, Specification Summary, 1997, Svedala-Arbrå,

RIVM (1996): Environmental quality of primary and secondary construction materials in relation to re-use and protection of soil and surface water, RIVM (National Institute of Public Health and Environment), 771402007

Räddningsverket (1989): Att skydda och rädda liv, egendom och miljö: Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten. Provtgåva. Statens Räddningsverk, Karlstad. 128 p.

Räddningsverket (1997): Värdering av risk. Räddningsverket, Karlstad. 168 p. ISBN 91-88890-82-1.

Räddningsverket (1998): Riskanalyser i den fysiska planeringens miljökonsekvensbeskrivningar: Kompetensbehov. Räddningsverket, Karlstad. 30 p.

Selander, M. (1999) Bärighet hos lermorän. Kontrollmetoder för VÄG 94. M.Sc Civ. Ing Thesis. ISRN LUTVDG/TVGT-5036-SE. .

Solid waste, particulate materials: Sampling, Nordtest method NT Envir 004, 1996, ISSN 1238-4445, Nordtest.

SSK (1997): Grushushållningsplan för sydvästra Skåne: Regionrapport 20, SSK-information 1997:6.

Stern, P.C. & Fineberg, H.V. (1996): Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society. National Research Council (U.S.), Committee on Risk Characterization. National Academy Press, Washington D.C. 249 p. ISBN 0-309-05396-X.

Swartjes F A & van den Berg R (1993): Remediation of contaminated soil and groundwater: Proposals for criteria and priority setting, In: Contaminated soils, risks and remedies, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Swedish National Food Administration (1993): (in Swedish) Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten, SLV FS 1993:35.

U.S. EPA (1992): Framework for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-92/001. Washington D.C. U.S. Environmental Protection Agency.

USEPA (updated regularly) IRIS – Integrated Risk Information Systems. USEPA.

VROM (1994): Environmental quality objectives in the Netherlands. Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment. Netherlands.

VROM (1995): Building materials decree. Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment. Netherlands.

Vägverket (1993): Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning. Vägverkets metodbeskrivning 606:1993.

Wentzel, R S, Simini, M, Checkai, R T, Ludwig, D & La Point, T W (1997): Ecological Risk Assessment Procedures for U.S. Army Sites. Environmental Toxicology and Risk Assessment: Modelling and Risk Assessment (Sixth Volume). ASTM STP 1317. F.J. Dwyer, T.R. Doane and M.L. Hinman, Editors. American Society for Testing and materials, West Conshohocken, PA. pp. 197-223. ISBN 0-8031-2474-0.

WHO (1993): Guidelines for drinking water quality. Volume 1. Recommendations. Second edition. WHO, Geneva.