

# Kvalitetskriterier för bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad

## Etapp I – inventering av provningsmetoder och funktionskrav

Bo von Bahr, Annika Ekvall, Björn Schouenborg



# **Kvalitetskriterier för askor till väg- och anläggningsbyggnad**

Etapp I – inventering av provningsmetoder och  
funktionskrav

# **Quality criteria for ashes for roads and civil construction**

Part I – survey of test methods and functional criteria

Bo von Bahr, Annika Ekvall, Björn Schouenborg

Värmeforsks askprogram, projekt Q4-143



## Förord

Denna rapport utgör redovisningen av etapp I i projektet Q4-143 Kvalitetskriterier för bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad, som finansieras av Värmeforsks Askprogram och Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse. Projektets syfte är att bottenaskor skall etableras som ett accepterat material till väg- och anläggningsbyggnad genom att alla aktörer vet vad bottenaskan har för egenskaper, både som material i sig och hur det fungerar i applikationen. Detta är en förutsättning för att alternativa material skall kunna ta steget från småskaliga engångsprojekt till ett material som är välkänt och används rutinmässigt.

Rapporten har arbetats fram av en arbetsgrupp på SP och utgör första etappen av två etapper. Denna första etapp inventerar generella funktionskrav som finns på ett väg- och anläggningsbyggnadsmaterial samt lämpliga provningsmetoder för askor för att verifiera dessa krav. I den kommande etappen kommer bottenaskorna att provas i laboratorium enligt den plan som föreslås i denna första etapp.

Rapporten är skriven både för de aktörer som har askorna och för de aktörer som bygger vägar och anläggningar. Beroende på läsarens bakgrund kommer alltså olika delar av rapporten att vara av olika intresse. Rapporten är ganska omfattande och behandlar till viss del samma material från ett par olika synvinklar. Det medför att det förekommer en del upprepningar om rapporten läses från pärm till pärm. Dessbättre medför det också att rapporten kan användas som ett referensverk/uppslagsverk eftersom även delar av rapporten är ganska kompletta.

Referensgruppen i detta projekt består av fem personer, Maria Arm från SGI, Magnus Berg från ÅF, Jan Hartlén från LTH, Klas Hermelin från VV, Karl-Johan Loorents från VTI. Claes Ribbing från Svenska Energiaskor har också deltagit vid ett par möten. Stort tack till er för mycket värdefulla synpunkter.

Borås februari 2004

Bo von Bahr, Annika Ekvall  
SP



## Abstract

Projektet utgör etapp I av två planerade etapper inom Värmeforsks askprogram ”Miljöriktig användning av askor”. Projektet skall fastställa lämpliga kvalitetskriterier för bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad för att dessa skall kunna användas mer rutinmässigt. Resultatet av etapp I är att det finns sex viktiga funktionskrav på ett väg- och anläggningsbyggnadsmaterial som bör beaktas i olika utsträckning beroende på vilken typ av konstruktion som avses.

De provningsmetoder som behövs för att säkerställa funktionskraven är en kombination av etablerade provningsmetoder och nya provningsmetoder för alternativa material.





## Sammanfattning

Denna rapport utgör redovisning av etapp I i ett projekt som är planerat till två etapper inom Värmeforsks askprogram ”Miljöriktig användning av askor”. Etappen har varit av inventerande karaktär och en planering av etapp II. Etappen har huvudsakligen handlat om att kartlägga funktionskrav på bottenaskor för väg- och anläggningsbyggnad och de provningsmetoder som behövs för att kontrollera dessa funktionskrav. Projektet behandlar enbart tekniska aspekter på askor. De mycket viktiga miljöaspekterna behandlas i ett parallellprojekt av SGI, ”Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande”.

Rapporten är skriven så att den skall vara meningsfull att läsa både för de som har askor (t ex energibolag) och de som bygger vägar och anläggningar (entreprenörerna).

Bakgrunden till projektet är att de provningsmetoder som används för traditionella material (naturgrus och krossat berg) i allmänhet inte passar för de alternativa materialen, i detta fall askor. För de traditionella materialen provas rutinmässigt ett par materialegenskaper (främst kornstorleksfördelningen) och med ledning av detta vet man erfarenhetsmässigt att materialen fungerar i fält. Motsvarande koppling mellan ett fåtal egenskaper i laboratorium och beteende i fält är ej lika tydligt för askor. Provningsmetoder i laboratorium för askor måste vara mer inriktade på den funktion hos askorna som skall säkerställas i fält.

Projektet omfattar både väg- och anläggningsbyggnad men inventering av funktionskrav och provningsmetoder har tyngdpunkten mot vägområdet eftersom kraven är mest omfattande och högst i detta område. Detta innebär att alla typer av funktionskrav blir inventerade. Angående tillämpningar så är de mest intressanta tillämpningarna de tillämpningar där man kan visa att askorna är lika bra eller kanske bättre än de traditionella materialen.

Inventeringen av funktionskrav kom fram till följande krav, oberoende av materialets ursprung, som alla går ut på att konstruktionen skall vara ”formbeständig”, ej orsaka frosthalka och att materialen skall kunna hanteras:

	<b>Funktionskrav</b>
<b>1a</b>	materialet måste ha en acceptabel bärförmåga och stabilitet
<b>1b</b>	materialet måste ha en acceptabel sättning och kompression
<b>2</b>	materialet måste vara frost-, mekaniskt- och kemiskt beständigt
<b>3<sup>1</sup></b>	materialet får ej orsaka oacceptabel tjällyftning
<b>4<sup>1</sup></b>	materialet får ej bidra till att öka risken för att frosthalka uppstår
<b>5<sup>1</sup></b>	materialet måste vara dränerande, dvs hålla tillräckligt hög permeabilitet
<b>6</b>	Utförande - materialet måste gå att hantera och packa

<sup>1</sup>Gäller enbart om materialet skall användas i vägöverbyggnad

För att kunna använda bottenaskor som väg- och anläggningsbyggnadsmaterial gäller det att visa att ovanstående krav innehålls. Situationen kompliceras av att fastställda numeriska värden på funktionskraven ovan saknas för alla funktionskrav utom

tjällyftning och frosthalka (om man bygger överbyggnadslager enligt ATB VÄG 2003 [7]). Det leder till att ny kunskap om bottenaskor för de andra funktionskraven måste utvärderas genom att jämföra med befintlig kunskap om funktionskraven (vad som kan bedömas vara rimligt för en viss användning). Där så är möjligt föreslås i rapporten lämpliga nivåer för olika funktionskrav, och vilka funktionskrav som bedöms vara aktuella för en viss tillämpning. En blandning av etablerade provningsmetoder och nyare provningsmetoder för alternativa material har föreslagits för att kontrollera ovanstående funktionskrav.

För askor bör bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression provas med dynamiskt triaxialprov kombinerat med någon form av enklare prov, t ex kompressibilitetsprov. Vattenabsorptionen bör ägnas speciell uppmärksamhet eftersom den är betydande men långsam för askor och tidigare har försumrats. Att korrekt vattenabsorption tillämpas är viktigt för provning av frostbeständighet (som bör göras med frys-tö-prov), tjällyftningsbenägenhet samt värmekonduktivitet (motstånd mot frosthalka). Tjällyftningsbenägenheten vid lämpligt vatteninnehåll kan provas med etablerade metoder. Värmekonduktiviteten kan provas med samma metod för askor som för traditionella material förutsatt att materialet konditioneras korrekt.

Kornstorleksfördelningen bör provas enligt varsamma varianter på etablerade metoder, samt att förändringar i kornstorleksfördelning vid annan provning kontrolleras. En speciell krossmetod (utvecklad för lättballast) för att kontrollera mekanisk beständighet bör också kunna användas för askor.

Angående packning bör etablerade metoder kunna användas. Företrädelsetvis de som hanterar materialet mest skonsamt, dvs lätt instampning eller vibrobord. Mätning av permeabilitet är inte speciellt beroende av det material som skall testas varför någon av de etablerade metoderna bör kunna användas.

För kapillär stighöjd kan etablerade metoder användas. För porösa material kan det erhållna resultatet dock bli en kombination av uppsugning på grund av kapillaritet och uppsugning på grund av vattenabsorption i kornen.

Organisk halt är viktigt för askorna eftersom denna påverkar bl a stabiliteten. En metod som mäter enbart organiskt material och dessutom är modern bör användas, t ex SS-EN13137.

Erfarenheterna av bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad i Sverige är begränsad. Den relativt sett största kunskapen av teknisk karaktär finns för slaggrus och för kolbottenaska. Erfarenheter från tidigare fältstudier och lab-studier indikerar att många askor är utmärkta som underbyggnadsmaterial samt att en del också kan passa till förstärkningslager.

För övriga typer av bottenaskor (dvs förutom slaggrus och kolbottenaska) är kunskaperna bristfälliga. I många fall har man gjort begränsade tekniska undersökningar och sedan använt dem inom deponiområden med goda resultat. Dock är

det inte samma krav på ett material som används i egen regi inom en deponi jämfört med att användas utanför deponin av en entreprenör.

För att på sikt kunna använda bottenaskor rutinmässigt som ett byggnadsmaterial krävs att både miljöegenskaperna och de tekniska egenskaperna är väl utredda. SGI tar ett samlat grepp om miljöaspekten i det redan nämnda parallellprojektet, och avser bl a att utreda vad som begreppen ej ringa respektive ringa risk innebär. Resultatet från SGIs projekt och resultaten från detta projekt (etapp II) innebär att det bakgrundsmaterial som krävs finns framme för att man skall kunna kvalitetssäkra en aska, vilket bl a efterlyses i ett annat värmeforskprojekt, "Förutsättningar för att askor kommer till användning i vägar" [6].



## Summary

This report is the conclusion of the first part of a project that is planned to consist of two parts within the ash program of Värmeforsk "Environmentally friendly use of ashes". This first part has its focus on inventory but also on planning of part II of the project. The project is mainly a state of the art in the use of bottom ashes in Sweden, but also a planning platform for step two of the project - testing of the ashes. Part I has mainly consisted of mapping the functional requirements of bottom ashes for use in civil engineering (roads and civil construction) and the testing methods needed to verify these functional requirements. The project considers only technical aspects of ashes. The environmental aspects are considered in a parallel project by SGI "Environmental guidelines for use of ashes for construction purposes".

The project is presented in a way that both the producers and the users of ashes should find it meaningful to read the report.

The background of the project is that the testing methods that are used for traditional materials (e.g. gravel and crushed rock) are not in general suitable for alternative materials, i.e. ashes. For traditional materials some properties are tested daily on a routine basis (mainly the grain size distribution) and from this experience consensus is reached that these materials have a good function in the application. The corresponding connection (between testing methods results and behavior in field) does not yet exist for ashes. The testing methods in the laboratory for ashes have to be focused on the functional properties of the ash in the construction.

The project includes both road construction and civil construction, but the inventory part has its focus on roads, since the requirements in the area for road construction are among the highest. This means that all types of requirements are tested. Concerning applications, the most interesting applications are those, where it may be possible to show that the ashes have a superior function in the application compared to a traditional material.

The inventory of functional requirements reached the following requirements, independent of the origin of the material. They all aim towards that the construction should keep its shape, do not increase the risk of slippery road surfaces, and that the materials should be able to handle in a proper manner.

	<b>Functional requirements</b>
<b>1a</b>	the material has to have an acceptable bearing capacity and stability
<b>1b</b>	the material has to have an acceptable settle and compression
<b>2</b>	the material has to be frost-, mechanical- and chemically resistant
<b>3<sup>1</sup></b>	the material may not cause unacceptable frost heave
<b>4<sup>1</sup></b>	the material may not contribute to an increased risk for slippery road surfaces.
<b>5<sup>1</sup></b>	the material has to have good drainage, i. e. its permeability has to be sufficient
<b>6</b>	Practical aspects – it should be able to handle the material in a good manner.

<sup>1</sup>Valid only if the material should be used in a road sub-base or road base course

To enable the use of and encourage the acceptances of bottom ashes as a construction material it is important to show that the requirements above are fulfilled. The situation is complicated regarding the fact that fixed numerical values for functional requirements above are missing except for the frost heave and heat conductivity (if the construction is built according to ATB VÄG 2003 [7]. This means that new knowledge about bottom ashes for the other functional requirements have to be evaluated through a comparison with current the knowledge about the functional requirements in general (the appropriate level of the requirements for different applications). When it is possible the report suggests suitable levels for different functional requirements. What functional requirements that is valid for a certain application depends on the character of the application. The testing methods, which are needed to confirm the above functional requirements, are a combination of established methods (for traditional materials) and newer methods for the ashes.

For ashes bearing capacity, stability, settling and compression should be tested with cyclic load triaxial test combined with some kind of more simple test, for example the compression test. Special attention should be payed to water absorption, since it is considerable for ashes and has been more or less neglected earlier. A correct measurement of the water absorption is important for testing of frost resistance (which should be performed with freeze-thaw-testing), frost heave and heat conductivity (to avoid slippery road surfaces). The frost heave can be tested with established methods if correct water content is achieved. The heat conductivity can be tested with the same method for ashes as for traditional materials considered a correct conditioning of the materials.

The particle size distribution should be tested with careful variants of established methods, and that changes in particle size distribution should be checked when other testing is performed. A special crushing method (developed for light weight aggregate) to test resistance to mechanical action, can also be used to test ashes.

Concerning compaction, established methods can presumably be used. The methods, that treat the materials in a careful manner, are recommended, i.e. standard proctor or vibro table. The measurement of permeability is not that dependent of the kind of materials that are going to be tested, i.e. some of the established methods can be used.

Also for capillarity, established methods can be used. For porous materials as ashes, the result can however be a combination of absorption as a result of capillarity and absorption as a result of ordinary absorption in the particles.

Organic content is an important parameter in the ashes since this has influence on the stability. A method which measures only organic material and is up-to-date should be used, for example SS-EN13137.

The experience of bottom ashes within the field of civil construction in Sweden is limited. The relatively largest experience from technical point of view is about MSWI-ash (Municipal Solid Waste Incinerator) and also to some extent for coal bottom ash.

Experience from field and laboratory studies indicates that many of the ashes are a good material as embankment layers and that some of them also suit as sub-base layer.

For other types of bottom ashes (i.e. except MSWI-ash and coal bottom ash) the knowledge is limited. In many cases, limited technical investigations have been performed, followed by a use of the ashes within landfill areas with good results. However, it is not the same requirements for a material used within a landfill compared to a use outside a landfill by an entrepreneur.

To be able to use bottom ashes on a routine basis and in the long run as a building material, it is required that both the environmental and technical characteristics are very well investigated. The parallel project by SGI takes care of the environmental aspects and aims among other things to answer the question about what is meant by the expressions significant and insignificant environmental risk. The result from the SGI project and the result from the second part of this project mean that all the knowledge is present to make it possible to make a complete quality insurance of ashes. The need of increased quality insurance of ashes is also one of the findings from another Värmeforsk-project "Prerequisites for an effective use of ashes in road construction" [6].





## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>3</b>
1.1	BAKGRUND	3
1.2	AVGRÄNSNINGAR I PROJEKTET	4
1.3	KOPPLINGAR TILL ANDRA PROJEKT INOM VÄRMEFORSKS PROGRAM "MILJÖRIKTIG ANVÄNDNING AV ASKOR"	5
1.4	KOPPLINGAR TILL ANDRA PROJEKT PÅ SP	5
1.5	ERFARENHETER I SVERIGE AV BOTTENASKOR TILL VÄG- OCH ANLÄGGNINGSKONSTRUKTION	7
1.6	STATUS FÖR ASKOR I ANDRA LÄNDER	7
<b>2</b>	<b>PRINCIPER FÖR VÄGBYGGNAD</b>	<b>9</b>
2.1	VÄGENS OLIKA DELAR	9
2.2	TRADITIONELL VÄGDIMENSIONERING	10
2.3	FUNKTIONSBASERAD VÄGDIMENSIONERING	11
2.4	SUMMERING AV KAPITEL 2	13
<b>3</b>	<b>KRAV I OLIKA REGELVERK FÖR VÄG- OCH ANLÄGGNINGSBYGGNADSMATERIAL</b>	<b>14</b>
3.1	FUNKTIONSKRAV ELLER MATERIALKRAV?	14
3.2	ATB VÄG 2003	14
3.3	ANLÄGGNINGS-AMA 98	17
3.4	EU-STANDARDER	18
3.5	CERTIFIERING AV VÄG- OCH ANLÄGGNINGSBYGGNADSMATERIAL	21
3.6	SUMMERING AV KAPITEL 3	22
<b>4</b>	<b>FUNKTIONSKRAV PÅ ASKOR TILL VÄG- OCH ANLÄGGNINGSBYGGNAD</b>	<b>24</b>
4.1	FUNKTIONSKRAV FÖR OLIKA TILLÄMPNINGAR	24
4.2	GRUNDLÄGGANDE FUNKTIONSKRAV PÅ ETT VÄG- OCH ANLÄGGNINGS-BYGGNADSMATERIAL	26
4.3	FÖRTYDLIGANDE AV FUNKTIONSKRAVEN	28
4.4	SUMMERING AV KAPITEL 4	34
<b>5</b>	<b>PROJEKT SOM BEHANDLAR PROVNINGSMETODER FÖR ALTERNATIVA MATERIAL, SAMT ÖVERBLICK ÖVER ETABLERADE PROVNINGSMETODER</b>	<b>35</b>
5.1	INLEDNING	35
5.2	PROJEKT SOM BEHANDLAR PROVNINGSMETODER FÖR ALTERNATIVA MATERIAL	35
5.3	ÖVERSIKT ÖVER ETABLERADE PROVNINGSMETODER	43
5.4	SUMMERING AV KAPITEL 5	51
5.5	PROVNINGSMETODER – SLUTSATSER	55
<b>6</b>	<b>KONTROLL AV FUNKTIONSKRAV FÖR ASKOR – ETAPP II</b>	<b>56</b>
6.1	PROVNINGSPROGRAM FÖR ASKORNA	56
6.2	RESULTAT AV KARAKTÄRISERINGEN	57
6.3	FÖRSLAG TILL KONTROLLORDNING	57
6.4	SUMMERING KAPITEL 6	57
<b>7</b>	<b>ASKOR TILL VÄG- OCH ANLÄGGNINGSBYGGNAD</b>	<b>59</b>
7.1	ASKPRODUKTION I SVERIGE	59
7.2	KRITERIER PÅ BOTTENASKOR FÖR ATT VARA MED I DETTA PROJEKT	60
7.3	INVENTERING AV BOTTENASKOR FÖR DETTA PROJEKT	60
<b>8</b>	<b>ERFARENHETER AV BOTTENASKOR TILL VÄG- OCH ANLÄGGNINGSKONSTRUKTION I SVERIGE</b>	<b>61</b>
8.1	BOTTENASKOR	61
8.2	SLAGGRUS	61

8.3	KOLBOTTENASKA.....	62
8.4	PANNSANDER.....	62
8.5	ÖVRIGA BOTTENASKOR.....	63
8.6	SUMMERING AV KAPITEL 8.....	63
9	DISKUSSION.....	65
9.1	BOTTENASKOR OCH INFRASTRUKTUR.....	65
9.2	KUNSKAPSLÄGET.....	66
9.3	FUNKTIONSPROVNING FÖR ALLA MATERIAL?.....	66
9.4	NÄSTA ETAPP.....	66
10	SLUTSATSER.....	68
10.1	FUNKTIONSKRAV.....	68
10.2	PROVNINGSMETODER.....	68
10.3	ÖVRIGA SLUTSATSER.....	69
11	LITTERATURREFERENSER.....	71

## **Bilagor**

- A DETALJERAD GENOMGÅNG AV EN-STANDARDER**
- B DETALJERAD GENOMGÅNG AV ATB VÄG 2003**
- C SAMMANSTÄLLNING ÖVER ASKINVENTERING**

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Hela askprogrammets grundtanke är att hitta lämpliga användningsområden för askorna, så att de används aktivt, istället för att hamna på en deponi. En sådan utveckling skulle medföra att både minskat deponiutrymme togs i anspråk samtidigt som naturresurser sparas.

Ett stort område som askor kan användas till är till väg- och anläggningsbyggnad. Inom detta område har dock de traditionella ballastmaterialen (naturgrus och krossat berg) dominerat under mycket lång tid, varför det inte är helt okomplicerat att introducera alternativa ballastmaterial på marknaden. Det finns många hinder för de nya materialen [1][6] men de två viktigaste som berörs i detta projekt är att:

- Provningsmetoderna är utvecklade för traditionella material.
- Kopplingen mellan vägens funktionskrav och materialprovningens metodernas resultat bygger på erfarenhet och praxis. Denna motsvarande koppling för de alternativa materialen har hittills saknats i stort sett.

De viktigaste kraven vid vägbyggnad är att funktionskraven skall uppfyllas, dvs vägen skall hålla för avsedd trafik. De provningsmetoder som används rutinmässigt är ofta fokuserade på materialkornens egenskaper och inte hur hela materialet fungerar i sin applikation. Detta projekt skall studera funktionskraven och undersöka hur askor kan uppfylla dessa, bl a genom att använda de mest lämpade provningsmetoderna och jämföra resultaten med de funktionskrav som finns. I vissa fall kan man behöva använda andra eller modifierade provningsmetoder än för de traditionella materialen. Provvägar har ibland byggts för att utforska de alternativa materialen vilket gett ny kunskap. I många fall har dock uppföljningen och dokumentationen kring dessa vägar varit bristfällig.

Projektet omfattar både väg- och anläggningsbyggnad men inventering av funktionskrav och provningsmetoder har tyngdpunkten mot vägområdet eftersom kraven är mest omfattande och högst i detta område. Detta innebär att alla typer av funktionskrav blir inventerade. Angående tillämpningar så är de mest intressanta tillämpningarna de där man kan visa att askorna fungerar lika bra eller bättre än de traditionella materialen.

För att askor på sikt skall kunna användas som ett etablerat konstruktionsmaterial behöver kunskaperna öka hos både de som har askorna och de som skall använda askorna. Rapporten är skriven så att den skall vara meningsfull att läsa både för de aktörer som har askor (förbränningsanläggningar) och de aktörer som bygger vägar och anläggningar (entreprenörerna). Detta innebär att en del avsnitt kan läsas översiktligt av vissa läsare.

Då termen *traditionella* material används i rapporten avses grus eller krossat berg. Termen naturliga material har undvikits i rapporten för att inte hamna i en diskussion

om vad som är ”naturligt”. På sikt kan det dock bli problem med termen traditionella eftersom de material som idag är alternativa förmodligen kommer att bli traditionella på lång sikt. Materialtypen lättklinker intar en särställning men bör sorteras till gruppen traditionella material eftersom det är ett tillverkat och mycket väldefinierat material för ett visst syfte och kan således inte betraktas som en rest- eller biprodukt.

### **1.1.1 Disposition av rapporten**

Rapporten inleds med ett kapitel som beskriver bakgrund, definierar avgränsningar och kopplingar till andra projekt mm. En begränsad omvärldsblick redovisas också. Kapitel 2 förklarar den principiella uppbyggnaden av en vägkropp, för att kunna referera tillbaks till detta senare i rapporten. Kapitel 3 har fokus på krav som ställs på material som skall ingå i väg- och anläggningsbyggnad, utgående från skilda typer av regelverk från Vägverket, europastandardisering och certifiering mm. Kapitel 4 (som bör läsas parallellt med kapitel 5) handlar också om krav – vilka funktionskrav som ställs på vägar och anläggningar och därmed också på de material som dessa är konstruerade av. Kapitel 5 är en genomgång av ett antal viktiga projekt som berör provningsmetoder för alternativa material, men även en överblick över etablerade metoder som behövs i sammanhanget och som är oberoende av materialets ursprung. Kapitel 6 ger ett förslag över hur de funktionskrav som ställts upp i kapitel 4 kan verifieras med ett urval av de metoder som presenterats i kapitel 5.

Kapitel 7 handlar om en inventering av bottenaskor i Sverige som kan vara aktuella för väg- och anläggningsbyggnad. Kapitel 8 redovisar den erfarenhet som finns för närvarande för olika typer av bottenaskor som byggnadsmaterial i Sverige. Kapitel 9 är ett diskussionskapitel och rapporten avslutas med slutsatser i kapitel 10.

Inventeringen och sammanställningen av funktionskrav och provningsmetoder har utförts genom att studera olika regelverk och genom litteratursökningar i olika databaser.

## **1.2 Avgränsningar i projektet**

Detta projekt behandlar enbart tekniska aspekter på askan. En annan viktig aspekt är askans miljöegenskaper, och dessa egenskaper studeras i ett annat projekt som fortlöper parallellt med detta projekt. Det projektet drivs av SGI och heter Q4-104, Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande.

Detta projekt är främst inriktat på bottenaskor från rostpannor. Detta beror på att

- denna asktyp, bottenaska (icke- eller svagt puzzolan) är mer lik traditionella ballastmaterial än flygaska, och det regelverk som existerar för vägbyggnadsmaterial är helt uppbyggt på obundet material utan eller med svagt puzzolana egenskaper.
- de stora mängderna av vägbyggnadsmaterial används till större vägar där man bygger med obundet material

- för flygaskor så pågår det många andra projekt inom askprogrammet som handlar både om vägbyggnad och andra tillämpningar, t ex täckskikt och tätskikt.
- bottenaska från olika typer av fluidiserande bäddar har en betydligt finkornigare kornstorleksfördelning än traditionella material. Ett material från en fluidbäddpanna kommer dock att vara med i projektet som referens.

Projektet berör även bottenaska från pulverförbränning eftersom den har visat sig ha egenskaper som gör den lämplig som ett konstruktionsmaterial.

### 1.3 Kopplingar till andra projekt inom Värmeforsks program ”Miljöriktig användning av askor”

Ett flertal andra projekt (förutom Q4-104) inom askprogrammet har kopplingar till detta projektet. Bl a

- Q4-148, En förenklad testmetodik för kvalitetssäkring – etapp 1. Projektet handlar om hur askans egenskaper varierar från en och samma anläggning beroende på hur driften av anläggningen varierat.
- Q4-107, FACE Flygaska i geotekniska anläggningar, Etapp1 Inventering/Tillämplighet och Q4-229, Flygaska som förstärkningslager i grusväg.
- Q4-207, Förutsättningar för att askor kommer till användning i vägar, som bl a belyser avvägningen mellan eventuella miljörisker och god hushållning med naturresurser.
- Q4-215 Stabilisering av bottenaska med skumbitumen, Etapp 1.
- Q4-216 Utvärdering av utveckling av system för kvalitetssäkring av askor och slagger.
- Q4-220, Pannsand som kringfyllning i rörgravar för fjärrvärmerör.
- Q4-224 Askors materialtekniska funktion – VTIs materialdatabas. Projektet sammanställer provdata från tidigare tester, främst dynamiskt triaxialtest, för att göra dessa överskådliga
- Q4-228, Produkter baserade på blandningar av flygaska och fiberslam (fiberaska) för vägbyggande.
- Q4-241 Projekt Vändöra-TVL: En studie av långtidsegenskaper och förutsättningarna för återvinning av vägar anlagda med bottenaska

Ett speciellt betydelsefullt projekt av de ovan nämnda är i detta sammanhang det första, Q4-148, eftersom det behandlar omfattningen av kvalitetsvariationer för askor, som kan användas till väg- och anläggningsbyggnad. Projektledaren i detta projekt (Q4-143, Kvalitetskriterier för askor till väg- och anläggningsbyggnad) finns med i referensgruppen till Q4-148, samt två deltagare från Q4-148 (Magnus Berg, ÅF och Maria Arm VTI) är med i referensgruppen för projekt Q4-143.

### 1.4 Kopplingar till andra projekt på SP

För närvarande drivs ett par andra projekt på SP inom området alternativa material. Ett projekt drivs inom ramen för VINNOVA-programmet Aktiv Industriell Samverkan

(AIS) och handlar om karaktärisering av alternativa material. Fyra olika typer av gjuterisand (både kemiskt bunden och bentonitbunden), två stenmjöl och en bottenaska ingår i projektet. Dessa materials tekniska och miljömässiga egenskaper karaktäriseras i samarbete mellan SP, Chalmers och Gjuteriföreningen. Både tester i laboratorium och i fält har utförts. Miljöanalysen utgörs av en komplett riskvärdering för de olika materialen. Denna riskvärderingen tillsammans med de tekniska resultaten kommer att leda till ett antal rekommendationer och riktlinjer för hur dessa material bör användas [2].

Ett annat NIF-finansierat (Nordisk Industri-Fond) projekt heter Gjenbruksmaterialer i veg, (förväxla ej med Vegdirektoratets (norska vägverket) eget projekt Gjenbruksprosjektet) där den första etappen precis har avslutats. Det är ett samnordiskt projekt vars syfte är att öka användningen av alternativa material till väg- och anläggningsbyggnad. SP har deltagit i etapp I som var en förstudie- och planeringsetapp. Nästa etapp planeras starta under våren 2004. Projektledningen drivs från Norge av SINTEF (Styrelsen för Industriell och Teknisk Forskning). En del av etapp II handlar om provning och karaktärisering, i av vilken SP har en betydande andel. Hela projektbudgeten är ca 14 miljoner Nkr.

SP har precis avslutat ett projekt inom ramen för Nordtest som handlade om vattenabsorption. Projektet utfördes som ett samnordiskt projekt mellan SP, IBRI (Icelandic Building Research Institute) på Island och SINTEF i Norge. Bakgrunden till projektet är observationer att alternativ ballast och en del traditionell ballast absorberar vatten under mycket lång tid, ibland under längre tid än ett år, varför den relativt nya EN-standarden för vattenabsorption SS-EN1097-6 ej fungerar tillfredsställande för sådana material. Detta medför att även då man följer SS-EN1097-6 så blir resultaten missvisande för alternativa material, om vattenmättat tillstånd krävs.

I samband med att alternativa material långsamt blir mer etablerade så kommer de också in i befintliga regelverk, t ex ATB VÄG (se avsnitt B.1). En remiss för krossad betong i ATB VÄG har cirkulerat under våren 2003, på vilken SP lämnade omfattande remissvar. Remissvaren bearbetas för närvarande och därefter skall regler för krossad betong i ATB VÄG publiceras. Nästa alternativa material för vilket regler för ATB VÄG skall skrivas är masugnsslagg. SP skall skriva ett utkast för detta på uppdrag av Vägverket före 2003 års utgång.

Projekt inom alternativa material och produktcertifiering förekommer också, t ex P-märkning av masugnsslagg och stålslagg. Masugnsslagen skall P-märkas för applikationen ”obundna överbyggnadslager i belagd väg”, och eventuellt mot andra applikationer i ett senare skede. Ett motsvarande P-märkningsprojekt drivs för stålslaggen, som omfattar en mängd typer av slagg med olika egenskaper, t ex ljusbågsugnsslagg, järnsand och ferrokromslag.

Även inom angränsande materialtyper så bedriver SP Bygg och Mekanik produktcertifiering. T ex så drivs ett projekt för att fastställa kvalitetskriterier för anläggningsjord [3] där råvarorna bl a består av alternativa återvunna material. I ett annat projekt arbetade SP, tillsammans med RVF (Renhållningsverksföreningen) och ett

antal andra parter, fram ett certifieringssystem för kompost och rötrest (= den fraktion som återstår då man rötat biologiskt avfall och fått ut metangas). Detta system finns främst för att säkerställa att rötresten är en bra gödselprodukt utan risk för förorening och smittspridning på åkermarken. RVF äger certifieringsmärket. SP Bygg och Mekanik är besiktningsorgan och SP certifiering är det certifierande organet, på uppdrag av RVF.

## **1.5 Erfarenheter i Sverige av bottenaskor till väg- och anläggningskonstruktion**

Se kapitel 8.

## **1.6 Status för askor i andra länder**

Askor som konstruktionsmaterial används i olika stor utsträckning i andra länder. De länder som har dålig tillgång på naturlig ballast har i de flesta fall hunnit ganska långt på området, eftersom drivkrafterna för nyttiggörande/användning av alternativ ballast har varit större i dessa länder. Detta avsnitt redogör för kunskapsläget angående i några olika länder. För mer information, se värmeforskningsprojekt Q4-207 "Förutsättningar för att askor kommer till användning i vägar" [6], som drevs av SCC (numera Rambøll) vilket bland annat ger en översikt över läget i andra länder.

### **1.6.1 Danmark**

I Danmark finns det två olika typer av alternativ ballast som förekommer i relativt stora mängder som konstruktionsmaterial. De två är slaggrus från avfallsförbränning, slaggrus, på danska kallad förbraendingsslagge, och kolbottenaska, på danska kallad kul-slagge. Slaggrus från avfallsförbränning är ca 300 000 ton/år och kolbottenaska ca 100 000 ton/år [4]. Den förstnämnda av dem används i stor utsträckning för väg- och anläggningskonstruktion. Dock har användningen av aska stannat av på sistone eftersom nya strängare krav för miljöegenskaper har införts.

Enligt Knut A Pihl [4] på Vejdirektoratet gav detta 2002 ut en rapport som behandlar slaggrus som bundsivringsmateriale, dvs förstärkningslager [5]. Den tar upp aspekter hur slaggrus kan användas, miljökrav, arbetsmiljö och tekniska aspekter.

De aspekter som tas upp under kapitlet som handlar om hur man säkrar en god vägteknisk kvalitet, då slaggrus användes, tar upp följande punkter:

- Sandekvivalent (gäller ej för slaggrus, utan bara naturmaterial)
- Permeabilitet (slaggrus har oftast lägre permeabilitet än traditionella material och det förutsätts att slaggrus inte används där höga krav på dränering hos förstärkningslagret föreligger)
- Kornstyrkekrav (man konstaterar att slaggrus har ett värde mellan 45-55 i LA-tal [Los Angeles-tal = ett mått på motstånd mot krossning]) och traditionella danska sand- och grusmaterial har ett värde på ca 25 dvs 25 av materialet krossas ned till en viss grad.

Angående dimensionering så finns det inga speciella regler för hur vägen skall dimensioneras då man bygger med slaggrus, utan samma dimensioneringskriterier har använts som för de traditionella materialen. Vegdirektoratet kräver också att slaggen skall lagras i minst 3 månader för att stabiliseras [5].

Ett annat kapitel [5] behandlar aspekter då utläggning av slaggrus skall ske. Det som tas upp är maximal tjocklek (0,20 m) då slaggrus skall packas, att nedkrossning skall försöka undvikas och att arbetstrafik skall undvikas.

Angående kolbottenaska så används den inte till vägbyggnad i Vegdirektoratets regi. Enligt Pihl [4] används kolbottenaskan enbart till enklare vägbyggnad runt de förbränningsanläggningar som producerar den. Pihl [4] kände inte till några speciella riktlinjer för konstruktion med denna typ av aska.

För närvarande används inte askor fullt ut i väg- och anläggningsbyggnad beroende på att ett nytt regelverk medför att inte alla askorna klarar av miljökraven. Arbeta pågår för att lösa situationen.

### **1.6.2 Nederländerna**

Nederländerna erhåller stora mängder aska från avfallsförbränning årligen, drygt 1 miljon ton [6]. Ask användningen har varierat på grund av omvärldsfaktorer. Under senare delen av 90-talet användes ganska stora mängder askor för utfyllnad och konstruktionsändamål. Ask användningen har dock avtagit på senare tid eftersom det har framkommit att askorna inte används i enlighet med bestämmelserna och att askor använts som inte uppfyllde kraven [6].

### **1.6.3 Finland**

Finland har till skillnad från Sverige nästan ingen avfallsförbränning av hushållsavfall, enbart en anläggning finns för förbränning av hushållsavfall utanför Helsingfors. Finland har framförallt botten- och flygaskor från kol- och torvförbränning som till viss del används till utfyllnad och väg- och markkonstruktioner. Två större forskningsperioder har genomförts i Finland. Den första på 80-talet som fokuserade på testkonstruktioner. Den andra perioden var på 90-talet med ett par olika projekt, bl a "Ash for utilisation" [6].

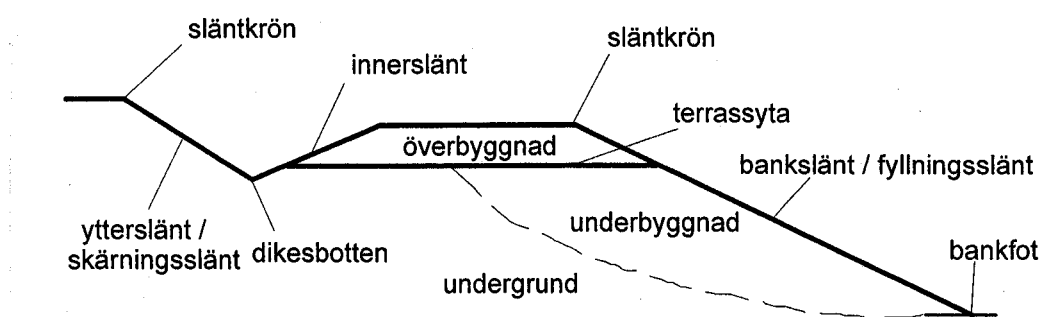


## 2 Principer för vägbyggnad

Syftet med detta kapitel är att beskriva principerna för hur en väg är uppbyggd för att senare kunna referera till detta i de följande kapitlen som mer handlar om materialen. Syftet är också att de som har askorna (askproducenterna) skall få bättre kunskap om varför vissa typer av krav måste ställas på vägbyggnadsmaterial för att få en fullgod väg. För de som är vana vid vägbyggnad – entreprenörerna – kan avsnitt 2.1 ses som en repetition.

### 2.1 Vägens olika delar

En principiell uppbyggnad av en väg visas i Figur 2-1, tagen från Vägverkets ATB VÄG 2003 [7] (se kapitel B.1).



Figur 2-1. Principiell uppbyggnad av en väg, ATB VÄG 2003 [7], kapitel B.1.

Figure 2-1. Typical construction of a road according to ATB VÄG 2003 [7], chapter B.1.

Av bilden framgår att vägen kan i princip delas in i undergrund/underbyggnad och överbyggnad. Undergrunden är underlaget som kan bestå av en mängd olika material, beroende på tillgång mm. Överbyggnaden består av bär och förstärkningslager som (eventuellt) täcks på toppen, av ett slitlager. En väg *måste* inte se ut på detta sätt, men om entreprenören hävdar att denne bygger enligt ATB VÄG 2003 [7] så måste vägen ha en uppbyggnad som följer ATB VÄG 2003 [7].

Tre mycket övergripande krav (fler krav finns i avsnitt B.1) är att vägen skall ha rätt hållfasthet mot påkänningar både från trafik och från klimat, vilket är utvecklat nedan under punkterna hållfasthet och tjälskydd och frosthalka. Dessa tre krav är också de viktigaste då en väg dimensioneras, vilket utvecklas i avsnitt 2.2 och 2.3.

#### 2.1.1 Hållfasthet

Vägen måste hålla för de belastningar den utsätts för – ha rätt hållfasthet. Detta krav på hållfasthet innebär att krav ställs på materialen för olika lager i vägen. Materialkraven i dessa olika lager är högst i slitlagret och sjunker successivt då man rör sig nedåt i väggroppen/undergrunden [8]. Detta beror på att belastningen är störst på det material som befinner sig närmast däckens på fordonet. Sedan sjunker belastningen (spänningarna) successivt ju längre från däckens (både vertikalt och horisontellt) man

kommer. I undergrunden kan man alltså lägga ett material med helt andra egenskaper än i t ex bärlagret.

Slitlagret skiljer sig från de övriga lagren på det sättet att det (oftast) är bundet – i alla fall om man studerar större vägar. Grusvägarnas slitlager är ju obundet, men kan i vissa fall bindas tillfälligt med olika salter, cement och dylikt. Slitlagret består av någon typ av ballast som är blandat med bitumenmassa som håller ihop ballasten. Kravställningen på slitlagret är helt annorlunda i och med att det har en annan funktion än de obundna lagren som inte slits på samma sätt. På grund av att slitlagret skiljer sig till stor del från de obundna lagren så studeras ej kraven för slitlager i detta projekt. Bl a så är den potentiella miljöpåverkan från slitlagret annorlunda jämfört med motsvarande från de täckta obundna lagren, eftersom de partiklar som slits loss från slitlagret kommer att sköljas bort av nederbörden. Partiklar som lossnat från slitlagret orsakar också till damning och bidrar därmed till ett luftmiljöproblem.

### **2.1.2 Tjälskydd**

Förutom de ovan nämnda hållfasthetsaspekterna på vägen så krävs det att vägen är beständig under dimensioneringsperioden, vanligen 40 år [7]. En viktig egenskap för detta är tjälskydd, dvs vägkonstruktionens påverkan av tjäle skall begränsas. Ett speciellt lager, skyddslagret, har till uppgift att skydda mot tjälen. I södra Sverige kan man ibland bygga vägar utan skyddslager, medan det är mer eller mindre obligatoriskt i norra Sverige.

Vidare så indelas materialen enligt fyra tjälfarlighetsklasser enligt ATB VÄG 2003 [7]. Tjälfarligheten beror av tre parametrar, materialets vatteninnehåll, dess uppsugningsförmåga (kapillaritet) och dess genomsläpplighet (permeabilitet). De mest tjälfarliga materialen har ett stort vatteninnehåll, stor uppsugningsförmåga och dessutom en stor genomsläpplighet [44].

### **2.1.3 Frosthalka**

För att vägen inte skall bidra till att öka risken för frosthalka krävs att isoleringsförmågan i de högsta lagren av vägen inte får vara för hög [7]. Om så är fallet kan frosthalka uppstå i alltför snabbt vid temperaturväxlingar. Detta är oberoende av vilken materialtyp (traditionella eller alternativa) som används som konstruktionsmaterial. ATB VÄG 2003 [7] innehåller bestämmelser om detta.

## **2.2 Traditionell vägdimensionering**

Vägdimensionering i Sverige är uppbyggd enligt principen ovan, dvs (relativt tunna) bundna slitlager, obundna bärlager, obundna förstärkningslager, ev skyddslager (för tjälskydd mm) och en undergrund på vilket överbyggnaden ligger. För att skapa denna uppbyggnad använder Vägverket och vägkonstruktörer sedan en tid tillbaks ett vägdimensioneringsprogram som heter PMS Objekt version 3.0:

(från Vägverkets hemsida:)

*PMS Objekt är ett beräkningsprogram för dimensionering av vägar, nybyggnad eller förstärkning/underhåll av befintlig väg. Följande beräkningar kan göras i programmet:*

- *Trafikberäkning för att beräkna ekvivalent antal standardaxlar vilka vägen kommer att trafikeras av under dimensioneringsperioden. Det finns även möjlighet att beräkna passerad trafik.*
- *Bärighetsberäkning som kontrollerar att den tänkta vägkonstruktionen klarar förväntad trafik*
- *Tjälberäkning för att kontrollera hur vägkonstruktionen står emot förväntade tjällyft i undergrunden*

PMS är alltså öppet för vem som helst att ladda ner från Vägverkets hemsida. Principen i detta program när man dimensionerar en väg är att man börjar med att beräkna det ”ekvivalenta antalet standardaxlar” som vägen kommer att utsättas för under dimensioneringsperioden (vanligtvis 40 år). Därefter designar man en väggropp med undergrund och överbyggnad med de material som man har. En bärighetsberäkning utförs på den tänkta konstruktionen med de material som man har angett och ett trafikljus (bokstavligen) visar om konstruktionen får grönt, gult eller rött ljus. En tjälberäkning utförs också för samma vägkonstruktion och redovisas på samma sätt [9].

För att dessa beräkningar skall kunna utföras så måste de ingående materialens hållfasthetsegenskaper vara kända. För de vanligaste materialen ligger värden på detta inlagt i programmet. Det finns också möjlighet att definiera egna material och ange egna värden på egenskaperna ”Tjocklek och E-moduler” samt ”övriga egenskaper” [9].

Egenskaperna ”Tjocklek och E-moduler” innebära att man ändrar lagrens tjocklek och materialens E-moduler. Man kan dock ej välja lagertjocklekar helt fritt eftersom vissa överbyggnadstyper förutsätter fasta fördefinierade lagertjocklekar. Om lagertjockleken förändras påverkas också tjälegenskaperna. Valen inom ”övriga egenskaper” har med tjälen att göra. E-modulen påverkar materialens bärighet och kan väljas ganska fritt.

### 2.3 Funktionsbaserad vägdimensionering

Funktionsbaserad vägdimensionering går i princip ut på att man lämnar tänkandet med bär- och förstärkningslager mm och istället explicit tittar på vad materialen klarar av och dimensionerar vägen utifrån detta.

I princip går det till så att man modellerar väggroppen för en viss vägtyp, t ex en landsväg. Modelleringen innebär att man därefter känner vilka påkänningar som råder i olika delar (nivåer) på väggroppen. Dessa påkänningar beror främst på vad det är för vägtyp och därmed den förväntade belastningen (ekvivalent antal standardaxlar). Därefter matchar man kunskaperna om de material man har med kunskaperna om påkänningarna i väggroppen, och placerar materialen på en nivå i väggroppen så att påkänningarna på materialen från vägtrafiken blir lägre än de påkänningar som man vet att materialen klarar av. Ett sådant resonemang har beskrivits av Arm [8], vilket behandlas i nästa avsnitt.

### **2.3.1 Funktionsbaserad vägdimensionering enligt Arm [8]**

Ett avsnitt i uppsatsen av Arm [8] behandlar ”funktionsbaserad vägdimensionering”, vilket är ett sätt att ta hänsyn till de alternativa materialens egenskaper. I det avsnittet behandlas dimensioneringsvillkor, provningsmetoder och materialkaraktärisering. I detta sammanhang är det viktigt att vara konsekvent med vissa begrepp. Arm [8] definierar enligt följande:

- Styvhet = benämnes också lastspridningsförmåga är ett mått på motståndet mot elastiska deformationer. Tester av styvheten ger en elasticitetsmodul (E-modul) att använda vid dimensioneringen av överbyggnaden
- Stabilitet = ett mått på förmågan att motstå permanenta deformationer
- Bärförmåga = den last ett lager av materialet kan bära utan att deformeras mer än tillåtet (vilket kräver att det finns ett gränsvärde för deformationen).

Ett resonemang förs att det framförallt är bärförmåga som är den centrala parametern att erhålla, oberoende om materialet är traditionellt eller alternativt. I begreppet bärförmåga ingår framförallt att bestämma maximal tillåten deformation, vilket leder till att deformationens beroende av olika parametrar måste undersökas. Deformationen beror enligt författaren på en ekvation med sju olika faktorer som räknas upp i punktlistan nedan. Alla dessa faktorer skulle behöva klargöras ”för varje obundet överbyggnadslager innan man kan uttala sig om hur det deformeras”:

- **belastning**
- **kornstyrka** – görs konstant genom att den bestäms till ett visst värde
- **organisk halt** – görs konstant genom att organisk halt bestäms
- **gradering** – görs konstant genom att föreskriva en viss kornstorleksfördelning
- **kornform** – görs konstant genom att föreskriva ett visst flisighetstal eller krossningsgrad
- **packningsgrad** – görs konstant genom att föreskriva en viss packningsgrad i fält med resultatkontroll på det färdiga lagrets yta.
- **relativ vattenkvot** – görs konstant genom att förutsätta väl dränerad konstruktion med tätt ytskikt, dvs den relativa vattenkvoten blir då konstant.

Dessa faktorer fastslås sedan successivt i rapporten av Arm [8] genom att göra olika förenklingar, så att faktorn övergår till att vara en konstant. Förslag på hur denna förenkling utförs framgår av punktlistan ovan. Huruvida detta verkligen går att genomföra på ett enkelt och smidigt sätt är ej klarlagt i rapporten, men framställningen av Arm [8] är ett principresonemang. Den återstående faktorn belastning hanteras genom att man bestämmer hur långt ner ifrån lasten eller vägytan som materialet måste läggas, dvs man känner last/deformationssambandet hos materialet och lägger materialet så långt ner i väggkroppen så att lasten (spänningen) blir så liten så att deformationen blir acceptabel. Arm [8] påpekar också att ” Det här verkar säkert bekant, eftersom det är så här reglerna ser ut idag. VÄG 94:s och även ATB VÄG:s fasta regler

---

kan tyckas stelbenta, men de innebär samtidigt en förenkling. Man måste också komma ihåg att många års erfarenhet av vägbyggande har lett fram till kunskap om hur ett bra obundet material är sammansatt, vilket avspeglas i de indirekta materialkrav som finns angivna". (sid 250 i [8]).

En svårighet med funktionsbaserad vägdimensionering är att man bör ha en god uppfattning om belastningarna på olika nivåer i konstruktionen. Detta för att kunna lägga materialen på rätt ställe i konstruktionen (under den spänningsnivå som materialen klarar av). Kunskaper om materialen kan tas fram via laboratorium, men kunskap om belastningar på olika ställen i konstruktionen samt hur materialen samverkar i en sådan "sandwich"-konstruktion måste tas fram på något annat sätt, t ex via modellberäkningar.

## 2.4 Summering av kapitel 2

Kapitlet beskriver principerna för vägbyggnad enligt ATB VÄG 2003 [7]. Det framgår att en sådan "typväg" består av slitlager, överbyggnad och undergrund. Vidare konstateras att en väg måste ha rätt hållfasthet mot belastningar och klara påkänningar från temperaturväxlingar (klimat) på ett bra sätt. De mekaniska påfrestningarna är störst längst upp i väggroppen och lägre längre ner. Vägen skall klara vinterklimat genom att ha rätt tjälkyddsegenskaper. För att inte i onödan bidra till frosthalka krävs att materialen inte har för låg värmekonduktivitet.

Funktionsbaserad vägdimensionering innebär i huvudsak att man dimensionerar fritt med den grundprincipen att ett material placeras så långt ned i väggroppen att man med marginal vet att påkänningarna på den nivån ligger under det som materialet klarar av. För att minska påfrestningarna på en viss nivå kan man t ex öka bärlagrets tjocklek för att sprida lasten bättre.

### **3 Krav i olika regelverk för väg- och anläggningsbyggnads-material**

#### **3.1 Funktionskrav eller materialkrav?**

Avsikten med olika regelverk är att säkerställa en fungerande konstruktion, vilket kan uppnås på olika sätt. Det direkta övergripande sättet är att ställa ett funktionskrav på konstruktionen, men oftast använder man sig av ett mer indirekt angreppssätt, genom att ställa krav på materialet. Anledningen till detta är att det ofta är både dyrare och mer omständligt att verifiera ett funktionskrav än ett materialkrav. Materialkrav kan också med lätthet formuleras kvantitativt, t ex att resultatet vid en viss provning skall klara en uppsatt nivå. Exempelvis måste material till bärlager i belagd väg vid micro-Devalprovning understiga värdet 17 [7]. Funktionskraven däremot formuleras ofta mer kvalitativt med ord som ”tillfredsställande” och liknande, se exempel nedan angående bärförmåga och beständighet i ATB VÄG 2003 [7].

Erfarenhetsmässigt så känner man också till kopplingen mellan uppfyllda materialkrav och uppfyllda funktionskrav för traditionella material. Kunskapen om denna koppling för alternativa material är inte lika stark, men detta och andra liknande projekt ökar denna kunskap successivt. Om de traditionella provningsmetoderna hade fungerat bra på askor av olika typ så hade inte detta projekt startats, eftersom ny kunskap då inte hade behövts tillföras. En målsättning med projektet är att visa att de alternativa materialen ändå fungerar under vissa förutsättningar även om de visar dåligt resultat med avseende på den uppsättning provningsmetoder som används för traditionella material.

Detta kapitel redovisar de viktigaste regelverken för väg- och anläggningsbyggnad, när de används, av vem, och det viktigaste innehållet (funktions- och materialkrav) för detta projekt. De regelverk som studeras är ATB VÄG 2003 [7], Anläggnings-AMA och EU-standarder. I slutet av kapitlet finns också ett avsnitt om certifiering av väg- och anläggningsbyggnadsmaterial.

#### **3.2 ATB VÄG 2003**

ATB VÄG 2003 [7] är Vägverkets regelverk för hur en väg skall byggas. Den används främst då denna myndighet skall bygga vägar, som i allmänhet är ganska stora vägar, t ex riksvägar. Eftersom den är mycket omfattande och har funnits länge, så används den ibland även av kommuner och andra aktörer som skall bygga vägar. En entreprenör måste dock inte följa ATB VÄG 2003 om man inte kommit överens om det i kontraktet. Andra principer för vägens konstruktion kan användas om beställaren så vill.

De krav som berör obundna lager (oberoende av om materialet är traditionellt eller alternativt) i ATB VÄG 2003 [7] och är relevant för detta projekt finns på tre ställen i dokumentet, del A, gemensamma förutsättningar, del C, dimensionering och del E, obundna material.

Del A, gemensamma förutsättningar, innehåller stora övergripande krav såsom bland annat att:

- vägen skall vara säker för trafikanterna
- den skall hålla en viss tid (oftast 40 år)
- den skall ha tillfredställande bärförmåga och stabilitet under såväl byggskedet som under hela dimensioneringsperioden
- den skall ha tillfredsställande beständighet
- den skall tillåten känslighet för frosthalka
- ingående produkter (material) skall uppfylla ställda krav
- vägen skall klara krav angående tillåten tjällyftning
- material får användas om de accepteras av beställaren och är acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt och inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion.

Ovanstående krav är mycket övergripande och är mer krav på vägen än på de produkter som ingår. Det som har betydelse för askor i sammanhanget är att man bör kunna visa att de:

- har tillfredsställande bärförmåga och stabilitet (enligt de krav man ställt upp)
- är beständiga (både mekaniskt beständiga inom rimliga gränser samt beständiga mot frost)
- har rätt egenskaper angående känslighet för frosthalka, vilket har en koppling till värmekonduktiviteten varför denna måste kontrolleras.
- material i överbyggnaden skall inte vara tjällyftande

Kravet att man skall visa att ingående produkter skall uppfylla ställda krav är inte helt relevant (för alternativa material) eftersom en del av provningsmetoderna inte har en direkt koppling till den önskade funktionen, se kapitel 4.

Del C behandlar dimensionering av undergrund, underbyggnad och överbyggnad. I de flesta fall då ett ”övrigt material” (restmaterial) skall användas så används formuleringar som att man skall visa att kraven uppfylls med ”relevanta provningsmetoder” eller ”särskild utredning”. Se även avsnitt 2.2 och 2.3.

Del E handlar om obundna material. Kapitlet innehåller både krav på de lager som skapas av obundna material och krav på de material som lagren skapas med. Kraven på lagren hör mest ihop med utförandet vid byggnation (nivå, tjocklek, tvärfall mm). Materialkraven är fyra stycken och har sitt ursprung från användandet av traditionell ballast:

- 1) andel helt okrossat material
- 2) organisk halt
- 3) nötningssegenskaper
- 4) kornstorleksfördelningen.

Angående det första kravet (andel helt okrossat material) så finns det ett krav på att denna andel inte får vara för hög ”för annat material än krossat berg” (t ex naturgrus).

Anledningen till detta är att om ett material bara består av runda okrossade ytor kan stabiliteten försämrats [10]. Detta krav har liten betydelse för askor eftersom detta material har ett helt annat ursprung än naturmaterial och betydligt kantigare kornform än de flesta naturmaterial.

Det andra kravet handlar om organisk halt. Se separat utredning om detta i avsnitt 5.3.9.

Det tredje kravet handlar om nötningsegenskaper, vilket för naturlig ballast provas med någon form av roterande kvarn, t ex micro-Deval. Syftet med denna provning är att sortera bort ballastmaterial som inte håller tillräckligt hög kvalitet. Det har visat sig (se kap 4) att metoder som bygger på roterande kvarnar inte blir rättvisande för alternativ ballast som ibland kan ha svagare och porösare korn. Andra metoder föreslås i kapitel 4.

Kornstorleksfördelningen är viktig av flera skäl. Den har dock inget egenvärde – utan kornstorleksfördelning skall vara inom vissa gränser för då vet man erfarenhetsmässigt, för *traditionella material*, att vissa andra viktiga *funktioner* säkerställs, t ex styvhet och stabilitet, dränering, tjälkydd och skydd mot frosthalka. Denna koppling mellan kornkurva och funktion finns ej på samma sätt för alternativ ballast, dels på grund av att erfarenheterna är mindre av alternativa material, dels beroende på att mekanismerna kan skilja en del mellan traditionellt och alternativt material. Finmaterial till exempel kan fungera som ett icke önskvärt friktionssänkande medel mellan större ballastkorn då man bygger med traditionellt material, medan motsvarande funktion hos hyttsten har en självbindande och förstärkande effekt på konstruktionen.

Att dessa viktiga funktioner som uppräknats ovan får därför visas på annat sätt, se kapitel 5, provningsmetoder och kapitel 4, funktionskrav. Även om kornstorleksfördelning inte har något egenvärde så är den viktig att analysera även för askor för att bilda sig en uppfattning om sammansättningen.

### **3.2.1 ATB VÄG, lättklinker i vägkonstruktioner**

Förutom de regler som redovisats ovan ur ATB VÄG 2003 [7] finns även separata ATB-regelverk för ett antal ofta förekommande alternativa material. Ett sådant regelverk är ATB för lättklinker, som publicerades hösten 2003. Förutom detta regelverk kommer två andra att skrivas. Dessa är ATB för krossad betong (remissvaren behandlas under hösten 2003) och masugnsslagg (ett utkast skrivs före 2003 års utgång av SP).

ATB för lättklinker är speciellt intressant för aska, eftersom bottenaska har en relativt låg skrymdensitet (ner till 0,95 ton/m<sup>3</sup> [1]). Lättfyllning definieras normalt som fyllningsmassor med en torrdensitet lägre än 1200 kg/m<sup>3</sup> [11]. Lättklinker skall ha en torr skrymdensitet på 250 – 400 kg/m<sup>3</sup> [12]. Vid dimensionering med lättklinker så bör skrymdensiteten 0,55 kg/m<sup>3</sup> användas eftersom den suger upp en del fukt efter en tid [13].

Lättfyllning kan också användas i bankfyllningar för att begränsa bankens tyngd. Om sättningarna blir för stora eller om stabiliteten blir otillfredsställande med konventionella fyllnadsmassor (dvs fyllnadsmassor med densitet 1700 – 2000 kg/m<sup>3</sup>



[12]), kan delar av banken fyllas upp med lättfyllning. Därvid förbättras stabiliteten och/eller reduceras sättningar på underlag med lösa, sättningsbenägna jordar [13].

Kopplingen mellan ATB VÄG för lättklinker och askor är viktig eftersom i ett par av de framgångsrika projekten, t ex då askor använts som fyllnadsmaterial i trakten kring Norrköping (se avsnitt 8.3), så har de fungerat just som ett lättfyllnadsmaterial. Eftersom skrymdensiteten på askor varierar så kan inte alla räknas som lättfyllnadsmaterial. Kolbottenaskan kan räknas som lättfyllning eftersom den har en skrymdensitet kring  $1000 \text{ kg/m}^3$  efter normal packning [13] vilket dock är betydligt mer än definitionen för skrymdensitet för lättklinker, se ovan. Vid dimensioneringsberäkningar med kolbottenaska bör man dock räkna med en skrymdensitet på  $1200 \text{ kg/m}^3$  [13]. Om kolbottenaskan används som lös ifyllnad ger den en skrymdensitet på  $700\text{-}800 \text{ kg/m}^3$  [13]. Skrymdensiteten för slaggrus är däremot runt  $1500 \text{ kg/m}^3$  varför det inte kan räknas som lättfyllnadsmaterial.

### **3.2.2 Slutsatser angående kraven i ATB VÄG 2003**

Både kvalitativa och kvantitativa krav finns i ATB VÄG 2003 [7]. Funktionskraven som återfinns i ATB VÄG 2003. är till största delen av kvalitativ natur (...tillfredställande bärförmåga och stabilitet...) och de viktigaste är styvhet, stabilitet, bärförmåga, beständighet, låg frosthalka och god dränering.

De kvantitativa krav som finns är både på materialen och på de lager som byggs av dessa material. De kvantitativa materialkraven omfattar dels värmekonduktivitet i kapitel A, dels krav på kornstorleksfördelning, organiskt halt, andel krossat material och nötningssegenskaper i del E.

För att askor skall kunna användas i större utsträckning är det nödvändigt att kunna visa att trots att materialkraven inte uppfylls (så som de formuleras i ATB VÄG 2003) för en eller flera parametrar så kan askorna fungera som vägbyggnadsmaterial. En del askor klarar t ex inte kraven på organiskt halt och nötningssegenskaper med den utformning som finns i ATB VÄG 2003. Mer resonemang om denna problematik återfinns i kapitel 5, Provningsmetoder.

ATB VÄG för lättklinker är intressant även för askor såtillvida att den ger riktlinjer för hur man skall konstruera med lättare material, trots att den är skriven för ett material som har cirka halva torrdensiteten jämfört med de flesta askor.

Ett viktigt påpekande är att kraven i ATB VÄG 2003 gäller enbart för sådana konstruktioner som hävdar att de följer ATB VÄG 2003. Existensen av ATB VÄG 2003 innebär inte att man inte kan tänka sig mer ”funktionsbaserade” vägkonstruktioner (se avsnitt 2.3), men de kan då inte sägas följa ATB VÄG 2003 eller någon av de typkonstruktioner som anges, t ex GBÖ (GrusBitumenÖverbyggnad) [10].

### **3.3 Anläggnings-AMA 98**

Anläggnings-AMA 98 (Allmän Material- och Arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten) [42] är ett dokument för hela anläggningssektorn. Den är bl a till

för handläggare som skall utfärda arbetsbeskrivningar och göra upphandlingar av entreprenader. Redan i förordet nämns att genom överenskommelser mellan svensk Byggtjänst (som producerar AMA) och Vägverket så har relevanta delar av Vägverkets ATB VÄG 2003 [7] inarbetats.

Det kapitel i AMA 98 som är relevant för detta projekt är DCB Obundna överbyggnadslager för väg, plan o d. Detta kapitel är i sin tur uppdelat på fyra underkapitel:

- DCB 1 Undre förstärkningslager för väg, plan o d.
- DCB 2 Förstärkningslager för väg, plan o d.
- DCB 3 Obundet bärlager för väg, plan o d.
- DCB 4 Slitlager av grus och stenmjöl för väg, plan o d.

Informationen i AMA är uppbyggd enligt pyramidprincipen, dvs förutom det som gäller enligt en (under)rubrik, gäller också allt enligt de överordnade rubrikerna. Det som står under rubrik DCB gäller således även för alla underrubriker (DCB 1 – DCB 4). De överordnade kraven i DCB är krav på nivå, bärighet och packningsgrad. Metoder för kontroll och kravnivåer överensstämmer i stort sett med motsvarande krav på obundna lager i ATB VÄG 2003 [7] kapitel 11.

### **3.4 EU-standarder**

För närvarande pågår arbete på EU-nivå med att ta fram CEN-standarder (EN+nummer) [14] som kommer att ersätta de svenska standarderna inom området. De standarder som berör detta projekt och kan ha betydelse för projektet, främst standarder inom ballastområdet, visas i tabell 3-1. De standarder som är med i tabellen är antingen framtagna av TC154/TK187 (ballast) som sysslar med alla möjliga applikationer av ballast, eller TC227/TK202 (vägmateriäl) som tagit fram standarder som berör ballast, fast med utgångspunkt för vägbyggnad, ”applikationsstandard”. Förkortningen TC står för ”Technical Committee” och syftar på arbetsgruppen inom CEN och förkortningen TK (Tekniskt Kommitté) syftar på motsvarande arbetsgrupp inom Sverige.

#### ***3.4.1 Produktstandarder***

De ovan nämnda standarderna är sk produktstandarder och beskriver produkten. Dessa produktstandarder hänvisar ofta till andra standarder, främst olika typer av standarder för provningsmetoder. Både produkt- och provningsstandarder har tagits fram av CEN parallellt och har nu getts ut i en ”första generation”. Arbetet kommer nu att fortsätta i kommittéerna för att ta in synpunkter på standarderna för att så småningom ge ut en andra generation produkt- och provningsstandarder.

#### ***3.4.2 Traditionella provningsmetoder för alla material oavsett ursprung***

Den första generationens produktstandarder gör inte någon betydande skillnad på om materialet är traditionellt eller återvunnet, utan i inledningen av standarderna definieras att de gäller för ”naturliga eller tillverkade eller återvunna” material. Dock så hänvisar produktstandarderna nästan alltid till provningsmetoder som är utvecklade för traditionella material. Eftersom det finns kunskap om att traditionella provningsmetoder inte fungerar tillfredsställande för alternativa material, så blir detta till en nackdel för

alternativa material. Den andra generationens produktstandarder (om ca 4-5 år) kommer förmodligen att innehålla provningsmetoder som tar hänsyn till de alternativa materialen i större utsträckning.

### 3.4.3 Struktur på produktstandarder

Produktstandarderna är oftast uppbyggda med ett inledande avsnitt som berör omfattningen av standarden, hänvisningar till andra standarder, samt begreppsförklaringar. De viktigaste avsnitten i standarderna är de som ställer olika krav på olika egenskaper, t ex geometriska krav.

De flesta standarder inleds med en formulering som innebär att behovet av tester och deklARATION av olika egenskaper skall begränsas till den omfattning som är rimligt med hänsyn till vad materialet skall användas till eller produktens ursprung. Det måste med andra ord ske en avvägning av vad som skall deklarerats från fall till fall, vilket är något som leverantör och kund måste enas om. Många avsnitt i standarderna inleds sålunda med "Vid behov..." så skall följande testas, följt av en tabell med olika kategorier beroende på testets resultat. Vilken typ av test som skall användas för denna egenskap definieras också, i de flesta fall genom hänvisning till en annan standard. I några fall används en formulering som innebär att en egenskap måste testas och deklarerats.

Produktstandarderna definierar ofta ett antal olika klasser i vilket provningsresultatet för exempelvis micro-Deval-provningen kan införas. På sikt kommer förmodligen ett antal sk NADs (National Application Document) att tas fram och sammanlänkas med ATB VÄG 2003 [7], dvs Vägverket definierar exakt vilka egenskaper som skall verifieras och vilka klasser som skall gälla (enligt klassificeringen i de europeiska standarderna) då ballast skall användas för vägbyggnad inom Vägverkets regi. Därför är viktigt att redan nu känna till standarderna för att se vad som måste provas och hur det skall provas. då olika ballastprodukter skall användas.

### 3.4.4 Definitioner av ballast

Som beskrivits ovan så är standarderna skrivna för att passa material oberoende av sin bakgrund eller ursprung. Med avseende på ursprung så definierar EN 13242 att ballast kan vara naturlig, tillverkad, eller återvunnen, se nedan. I en annan standard definieras även en fjärde ballasttyp, "biproduktsballast". Nedan så redovisas ballastens indelning efter ursprung respektive densitet. Andra indelningar förekommer också, främst efter kornstorleksfördelning.

Ballastindelning efter ursprung:

- **Naturlig ballast** (natural aggregates) (TC154/EN13242) = "ballast från mineraltäkter som inte utsatts för något annat än mekanisk bearbetning" [15]. Detta är traditionell ballast, t ex naturgrus eller krossat berg från en bergtäkt.
- **Tillverkad ballast** (manufactured aggregates) (TC154/EN13242) = "ballast av mineraliskt ursprung som erhållits genom en industriell process som inbegriper termisk eller annan typ av modifiering" [15]. Ett bra exempel på detta är

lättklinker, som tillverkas från en mineralisk råvara. Även masugnsslagg och stålslagg borde höra hit, även om de kommer ut som en biprodukt.

- **Återvunnen ballast** (recycled aggregates) (TC154/EN13242) = ”ballast som erhållits genom bearbetning av oorganiska material som tidigare använts till byggande” [15]. Exempel på sådan ballast är krossad betong och krossat tegel.
- **Biprodukts-ballast** (by-product aggregates) (TC227/prEN13055-2) = ”ballast av mineraliskt ursprung från en industriell process som ej inbegriper annat än en mekanisk process” [11]. Denna kategori är samma som tillverkad ballast med den skillnaden att endast mekanisk bearbetning får användas i denna kategori. Ett exempel är stenmjöl som erhålls då berg krossas till ballast.

Det alternativa materialet askor passar egentligen inte in i någon av kategorierna ovan. Aska skulle kunna passa i den sistnämnda kategorin med undantaget att processen då askan är både mekanisk och termisk.

Ballastindelning efter densitet eller kornstorlek:

- **Normalviktsballast** (normal weight aggregate) = ”ballast med mineraliskt ursprung som har en partikeldensitet icke mindre än  $2000 \text{ kg/m}^3$  men mindre än  $3000 \text{ kg/m}^3$ ” [15]. I denna kategori hamnar merparten av naturlig ballast.
- **Lättballast** (lightweight aggregates) = ”ballast av mineraliskt ursprung som har en partikeldensitet ej överstigande  $2000 \text{ kg/m}^3$  och en skrymdensitet ej överstigande  $1200 \text{ kg/m}^3$ ” [11]. I denna kategori hamnar främst tillverkad ballast, t ex lättklinker. En del av askorna hamnar i denna kategori, t ex kolbottenaska.
- **Fillerballast** = ”ballast som till största delen passerar en  $0,063 \text{ mm}$ -sikt, och som man kan tillsätta byggnadsmaterial för att erhålla vissa egenskaper” [16].

### ***3.4.5 Genomgång av relevanta standarder***

Nedan i tabell 3-1 visas de standarder som kan vara av betydelse för detta projekt. En detaljerad genomgång av varje standard görs i appendix A, där innehållet i varje standard framgår på en ganska detaljerad nivå. Det viktigaste i standarderna tas upp i detta kapitel och kommenteras kortfattat.

Tabell 3-1. Produktstandarder på europainivå som har betydelse för askor. .  
Table 3-1. Product standards on European level of importance for ashes.

Nummer	Namn	Arbetsgrupp	Börjar gälla
EN13242	Ballast för obundna och hydrauliskt bundna material till väg- och anläggningsbyggande	TC154 / TK187	juni 2003
prEN 13055-2	EN 13055-2 - Lättballast – del 2: lättballast för bitumenblandningar och ytbehandlingar, och för obundna och bundna applikationer	”	juni 2003
EN13285	Obundna blandningar – specificering	TC227 / TK202	juni 2003
prEN 14227-1	Obundna och hydrauliskt bundna blandningar – specifikationer, del 1, cementbundna blandningar för vägbyggnad och underbyggnad	”	juni 2003

### 3.4.6 Summering och slutsatser av studerade standarder

Standard EN13242 är en omfattande grundläggande standard för ballast till obundna och hydrauliskt bundna material till väg- och anläggningsbyggnad. Många andra standarder hänvisar till denna. Det som måste deklarerats enligt denna standard är sortering och kornstorleksfördelning.

Standarden prEN13055 berör lättballast och är viktig eftersom en del av askorna kan betraktas som lättballast. Det som måste deklarerats är skrymdensitet, partikeldensitet och kornstorleksfördelning.

Standarden EN13285 berör obundna blandningar och kan betraktas som en tillämpningsstandard av EN13242, dvs den sistnämnda är allmänt hållen, medan den förstnämnda EN13285 berör ballast som skall användas till vägbyggnad. EN13285 hänvisar ofta till EN13242.

prEN14227-1 är en standard som handlar om hur man kan blanda i cement för att öka bindningen mellan ballastpartiklarna. Denna standard är aktuell om man vill försöka förstärka askorna med cement.

### 3.5 Certifiering av väg- och anläggningsbyggnadsmaterial

Produktcertifiering av ballast förekommer i Sverige idag, främst för betongtillverkning. De nya europastandarderna föreskriver att tillverkningskontroll skall utföras på ballast för de flesta områden, vilket kommer att medföra att ballast till väg- och anläggningsändamål kommer att undergå en noggrannare kontroll i framtiden [17].

Certifieringens grundtanke är att både leverantör av ballast och köpare av ballast skall vara säkra på att det är rätt kvalitet på den produkt som de hanterar. Sedan certifieringen (oftast tredjepartscertifiering) infördes inom ballastområdet så har behovet av mottagningskontroll minskat på byggplatsen (=kortare byggtider). Det har skett en

systematisk förbättring av ballasten, färre tvister har uppkommit och de tvister som uppkommit har oftast lösts till leverantörens fördel [18].

För de alternativa materialen är det extra viktigt med kvalitetssäkring eftersom materialets kvalitet varierar mer för alternativa material än för traditionella, samt att okunskapen är större om dessa material hos de flesta inblandade parterna. Dessutom skall de alternativa materialen konkurrera med den traditionella ballasten, som ofta är certifierad. Detta betyder att det är viktigt att både kunna karaktärisera askorna både tekniskt och miljömässigt samt garantera att karaktäriseringen är riktig. Kvalitetssäkringen måste också vara inriktad på den applikation som man avser askan till. Kvalitetssäkringen kan utföras på olika nivåer där den mest omfattande nivån innebär bl a kontroll av en tredje part.

En sådan utveckling är nödvändig för att askorna skall lämna stadiet som ett material som används vid enstaka försöks- och forskningsprojekt, till ett material som rutinmässigt används vid olika typer av väg- och anläggningsbyggnad. Värmeforsksprojekt Q4-207 ”Förutsättningar för att askor kommer till användning i vägar” [6] kom fram till en liknande slutsats, ”En rekommendation är att policies utvecklas som främjar askor på regional nivå och att tydliga regler tas fram för askanvändning på praktisk nivå. Vidare bör former för aktörssamverkan och kvalitetssäkring utvecklas.”

### **3.6 Summering av kapitel 3**

Kapitlet inleds med ett resonemang om funktionskrav kontra materialkrav där det konstateras att traditionellt så ställs krav på materialen istället för funktionen eftersom detta är lättare att verifiera. För traditionella material så finns också en erfarenhetsmässig koppling mellan krav på materialen i laboratorium och den funktion som dessa material har i fält. För alternativa material som oftast har svagare kornstyrka och där traditionella provningsmetoder ej passar, saknas denna koppling, vilken är en av anledningarna till detta projekt.

Ett regelverk som finns är emellertid ATB VÄG 2003 [7]. För traditionella material finns fyra explicita krav som ställs upp. Dessa krav är ej centrala för alternativa material, utan man bör studera de funktionskrav som finns och mer eller mindre direkt verifiera dessa. Sådana funktionskrav är t ex att vägen skall vara formbeständig och inte orsaka onödig frosthalka, se avsnitt 2.1. Eftersom askor i viss mån liknar lättklinker bör också det ATB VÄG-tillägg beaktas som handlar om lättklinker.

Ett annat regelverk är Anläggnings-AMA 98 som är ett dokument för hela anläggningssektorn. Vad gäller vägtekniska aspekter följer den helt ATB VÄG 2003 [7]. Anläggnings-AMA är först och främst avsedd att användas som ett underlag då upphandlingar skall genomföras.

EU-standarder är en tredje typ av regelverk som måste beaktas. Dessa anger i de flesta fall hur olika egenskaper skall delas in i klasser. Vilken klass som är nödvändigt för applikationen är det sedan upp till någon annan part att avgöra, t ex beställaren. Den ”första generationens ballaststandarder” som börjar gälla i år eller nästa år är skriven på

det sätt att materialens ursprung ej har någon större betydelse, men vad gäller provningsmetoder så är dessa än så länge enbart avsedda för traditionella material. Den standard som är mest central för detta projekt är prEN13055-2 Lättballast – del 2: lättballast för bitumenblandningar och ytbehandlings, och för obundna och bundna applikationer.

SP bedriver på uppdrag av Nordcert/BBC (Betong och BallastCertifiering) en omfattande certifiering av traditionell ballast i Sverige. Certifieringens grundtanke är att både leverantör av ballast och köpare av ballast skall vara säkra på att det är rätt kvalitet på den produkt som de hanterar. Detta är speciellt viktigt för alternativa material, dvs askor eftersom dessa inte är lika etablerade i väg- och anläggningsbyggnadsbranschen.

## **4 Funktionskrav på askor till väg- och anläggningsbyggnad**

Vilka funktionskrav som ställs på ett byggnadsmaterial till väg- och anläggningsbyggnad beror naturligtvis vilken typ av väg eller anläggning det handlar om. Ju mer avancerad tillämpning, desto högre krav ställs på materialet. Kapitlet inleds med ett förslag över vilka funktionskrav som behöver kontrolleras då askor skall användas till olika typer av vägar eller anläggningar.

Kapitlet fortsätter med en översikt över de funktionskrav som togs upp i inledningen av kapitlet, samt redogör för de viktigaste sambanden mellan funktionskrav, indikatorer och dimensioneringsparametrar. Därefter följer en detaljerad beskrivning av varje funktionskrav, samt förslag till kravnivå i den mån det går att definiera.

När funktionskraven väl är definierade för en tillämpning så redogör nästa kapitel för ett förslag hur man kan gå tillväga för att kontrollera om dessa funktionskrav uppfylles.

### **4.1 Funktionskrav för olika tillämpningar**

Olika tillämpningar kräver olika mycket av de ingående materialen. För en mer avancerad tillämpning så bör fler egenskaper kontrolleras än för en enklare tillämpning. Detta avsnitt avser att beskriva vad som kan behöva kontrolleras för olika tillämpningar. Tabell 4-1 visar sex funktionskrav i den vänstra kolumnen som beskrivs mer utförligt i avsnitt 4.3. Tabellen visar också rekommenderade provningsmetoder för de olika egenskaperna. Mer information om dessa provningsmetoder finns i nästa kapitel. Den högra delen av tabellen visar ett antal tillämpningar som askor skulle kunna användas till. Om en ruta är markerad med kryss så bör detta funktionskrav, denna indikator eller denna dimensioneringsparameter kontrolleras. Om en ruta är markerad med kryss inom parentes innebär detta att man bör kontrollera egenskapen inledningsvis, tills mer kunskap finns. Observera att alla egenskaper inte behöver kontrolleras varje gång. På sikt bör provningsmetoderna delas upp i olika kategorier där en del provningsmetoder ingår i en sk typprovning och andra provningsmetoder ingår i en mindre omfattande kvalitetskontroll.



Tabell 4-1. Funktionskrav som bör ställas på väg- och anläggningsbyggnadsmaterial vid olika tillämpningar. Ett streck "-" i andra kolumnen anger att det inte finns något krav för traditionell ballast att funktionskravet skall kontrolleras. Kryss inom parantes kan ev tas bort då större kunskap om materialen föreligger.

Table 4-1. Functional requirements that road- and civil construction materials have to fulfill. A "-" in the second column indicates that there is no requirement for traditional ballast that the functional criteria has to be checked. The crosses within brackets may be excluded when the knowledge of the materials is greater.

Funktionskrav som bör kontrolleras	Sätt att kontrollera egenskapen för traditionell ballast	Förslag på sätt att kontrollera detta för askor	Bär och- Förstärkningslager	Skyddslager väg	Underbyggnad väg	Lättyllnad	Utfyllnad under konstruktion	Utfyllnad parkmark, Bullervallar
<b>Funktionskrav</b>								
1a. Bärförmåga och stabilitet	-	dyn triaxialtest VTI (och prEN13286-7) <sup>2</sup>	X	X	(X)	(X)	(X)	-
1b. Sättning och kompression	-	modifierad kompressibilitet <sup>2</sup> SP 01-46-77	X	X	(X)	(X)	(X)	-
<b>2. Beständighet</b>								
frost-	-	prEN13055-1, bilaga C, OBS vattenmättade förhållanden krävs.	X	X	X	X	X	-
mekanisk	kulkvarn, mikroDeval eller LA-trumma	"Bulk Crushing resistance" enligt prEN 13055-1, bilaga A, samt kontroll av förändring av kornstorleksfördelning vid funktionskrav 1a, 1b, 2 och 6.	X	X	(X)	-	-	-
3. Tjällyftning	VVMB 609:1944	VVMB 609:1944 (samma)	X	X	X	(X)	(X)	-
4. Frosthalka (se värmekonduktivitet)	ISO 8301, SS 024211	ISO 8301, SS 024211 (samma)	X	X	-	-	-	-
5. Dränering	-	Rörpermeameter enligt	X	X	-	-	-	-

		Nordtestrapport nr 254							
6. Packnings-egenskaper <sup>1</sup>	-	prEN13286 (lätt instampning) <sup>2</sup> eller prEN13286-5 (vibrobord)	X	X	(X)	-	(X)	-	
<b>Indikatorer</b>									
Kornstorleksfördelning	SS EN 933-1	EN 933-1, fast med flera delprov och kortare sikttid	X	X	(X)	(X)	-	-	
Vattenabsorption	SS-EN1097-6	SS-EN1097-6, samt ny vakuummeter	(X)	(X)	-	X	-	-	
Kapillär stighöjd	-	SS 13 21 03 eller EN 1097-10.	X	X	(X)	(X)	-	-	
Organisk halt	kolorimetermetod SS 02 71 07	EN 13137	X	X	(X)	(X)	(X)	-	
<b>Dimensioneringsegenskaper</b>									
Värme-konduktivitet	ISO 8301 eller ISO 8302	ISO 8301 eller ISO 8302 (samma)	X	X	(X)	(X)	-	-	
Skrymdensitet <sup>3</sup> (löst utfyllnad)	SS EN 1097-3	SS EN 1097-3 (samma)	X	X	X	X	X	X	

<sup>1</sup> Från packningsförsöken erhålls parametrarna: optimal vattenkvot, maximal densitet.

<sup>2</sup> Kontroll av kornstorleksfördelning (före och efter) skall ske i samband med dessa försök.

<sup>3</sup> Intressant ur transportsynpunkt

## 4.2 Grundläggande funktionskrav på ett väg- och anläggnings-byggnadsmaterial

För att erhålla en konstruktion som fungerar krävs det att de ingående materialen har vissa egenskaper. Oberoende om materialet är traditionellt eller alternativt så behöver man säkerställa att följande sex funktionskrav uppfylls, som alla går ut på att konstruktionen skall vara ”formbeständig”, ej orsaka frosthalka och att materielen skall kunna hanteras, se tabell 4-2.

Tabell 4-2. Funktionskrav på materialen  
 Table 4-2. Functional requirements of the materials

	Funktionskrav
1a	materialet måste ha en acceptabel bärförmåga och stabilitet
1b	materialet måste ha en acceptabel sättning och kompression
2	materialet måste vara frost-, mekaniskt- och kemiskt beständigt
3 <sup>1</sup>	materialet får ej orsaka oacceptabel tjällyftning
4 <sup>1</sup>	materialet får ej bidra till att öka risken för att frosthalka uppstår
5 <sup>1</sup>	materialet måste vara dränerande, dvs hålla tillräckligt hög permeabilitet
6	Utförande - materialet måste gå att hantera och packa

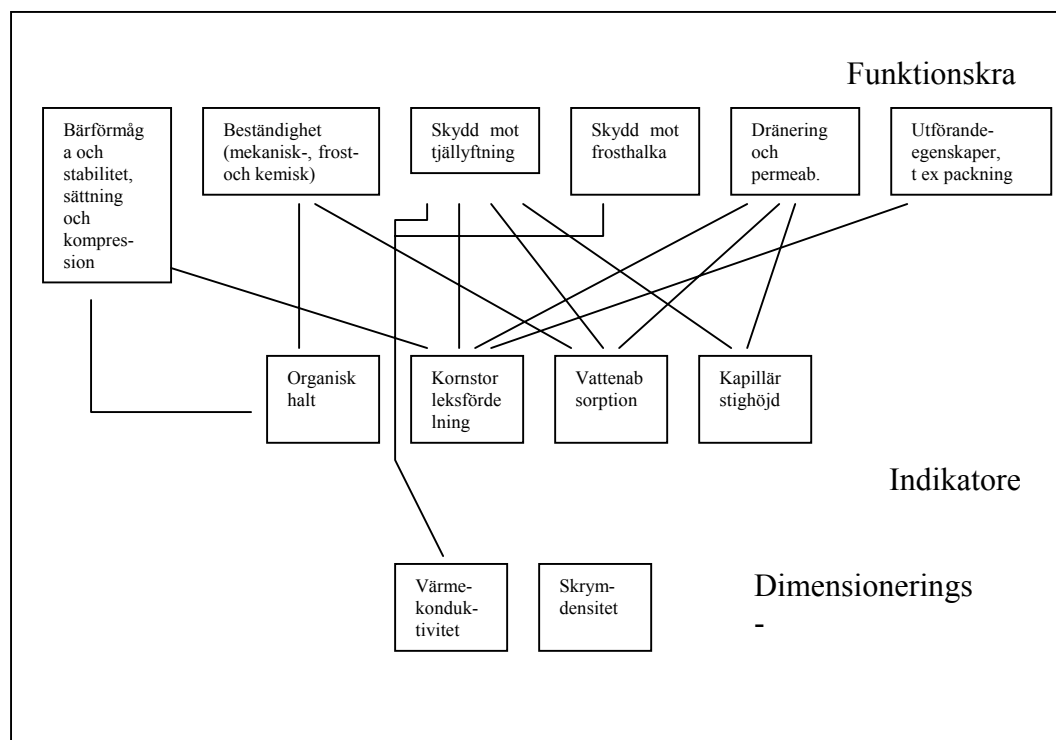
<sup>1</sup>Gäller enbart om materialet skall användas i vägöverbyggnad

I ovanstående tabell används till stor del kvalitativa formuleringar ("acceptabel, oacceptabel etc) eftersom det för närvarande inte existerar några kvantitativa krav varken för traditionella eller för alternativa material, för merparten av egenskaperna. På sikt bör man fjärma sig kvalitativa formuleringar och istället hitta kvantitativa nivåer för vad som är acceptabelt för respektive egenskap. Det finns en stor mängd andra egenskaper som kan mätas på ett material, men de ovanstående sex punkterna är de centrala, och övriga egenskaper har mer karaktären av indikatorer på andra egenskaper eller egenskaper som kan vara bra att veta vid dimensionering. Egenskaper som är viktiga men som kan karaktäriseras som indikatorer är följande:

- Organisk halt. Egenskapen saknar egenvärde men är viktig för att den kan påverka bärförmåga och stabilitet mm.
- Kornstorleksfördelningen. Denna egenskap har egentligen inget egenvärde men är viktig för att kunna förutsäga andra egenskaper, t ex stabilitet, dränering, tjälfarlighet m fl.
- Vattenabsorptionen. Denna egenskap har heller inget egenvärde men är viktig för att kunna förstå mer om bärförmåga, tjälfarlighet och frostbeständighet. Likaså påverkar vatteninnehållet värmekonduktiviteten.
- Kapillär stighöjd. Egenskapen påverkar bl a tjällyftningsbenägenheten.

Följande egenskaper har karaktären dimensioneringsegenskaper

- Skrymdensitet
- Värmekonduktivitet



Figur 4-1. Principskiss över hur funktionskrav, indikatorer och dimensioneringsegenskaper hänger ihop. Figuren är inte heltäckande - enbart de tydligaste sambanden har markerats.

Figure 4-1. Principle of the relations between the functional requirements, indicators and dimensional characteristics. The figure does not cover all relationships – only the most obvious have been marked.

### 4.3 Förtydligande av funktionskraven

Funktionskraven i 4.2 var enbart formulerade kvalitativt. Hur kan då funktionskraven för askor formuleras kvantitativt, vilket är en förutsättning för att man skall kunna bedöma ett material? För de traditionella materialen finns nästan inga sådana kvantitativa krav som kopplar direkt till funktionskraven, utan de kvantitativa kraven på traditionella material har en koppling till funktionskraven genom erfarenhet (t ex så finns inget kvantitativt krav på dränering (permeabilitet) eftersom om man använder rekommenderad kornstorleksfördelning så vet man av erfarenhet att dräneringen blir fullgod). Det enda funktionskravet i avsnitt 4.2 som har ett definierat kvantitativt värde i litteraturen för traditionella material är kravet angående värmekonduktivitet.

För att erhålla kvantitativa funktionskrav för askor finns två vägar att tillgå. Den ena vägen är att studera tidigare studier/försök på alternativa material och ta värden från dessa studier i de fall man uppnått en fullgod funktion på konstruktionen. Det andra sättet är att studera traditionella material och utifrån dessas egenskaper ta fram rimliga värden. Nedanstående förtydligande av funktionskraven i avsnitt 4.2 är en kombination av dessa två sätt.

### ***4.3.1 Bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression för traditionella material***

För traditionella material som skall användas för vägbyggnad inom ramen för ATB VÄG 2003 [7] så anses kraven för bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression vara uppfyllda om materialen uppfyller de fyra krav som ställs på obundna material, dvs andel helt okrossat material, organisk halt, nötningssegenskaper och kornstorleksfördelning – se mer om detta i bilaga B.4. Bl a så används micro-Deval-provning för att kontrollera ballastens nötningssegenskaper. För definition av bärförmåga och stabilitet, se avsnitt 2.3.1.

#### ***4.3.1.1 Bärförmåga och stabilitet för alternativa material***

För alternativa material inklusive askor måste dessa egenskaper undersökas och visas med mer direkta funktionsbaserade metoder. En sådan metod som rekommenderas av flera forskningsprojekt (se kapitel 5) är dynamisk triaxialprovning. Vid provningen erhålls mycket information samtidigt om materialet, förutom E-modul fås också packningsegenskaper mm. Eftersom metoden är mindre lämplig för återkommande rutinprovning (utrustning finns bl a bara på två ställen i Sverige) är det betydelsefullt att denna metod kopplas ihop till enklare metoder för fortlöpande kontroll, t ex metoder för kompressibilitet eller modifierad kompressibilitet.

#### ***4.3.1.2 Resultat från dynamiska triaxialprovningar***

Resultaten från dynamiska triaxialprovningar ger bl a styvheten på materialet i form av en E-modul. Denna E-modul är spänningsberoende, dvs E-modulen är olika vid olika belastning. Därför måste E-modulen bedömas vid de spänningsnivåer som man förväntar sig i tillämpningen.

#### ***4.3.1.3 E-moduler i ATB VÄG 2003 och andra undersökningar***

ATB VÄG 2003 [7] anger en mängd rekommenderade E-moduler i kapitel C i olika delar av vägkroppen och vid olika tillfällen (nybyggnad, underhåll, bärighetsförbättring mm). Dessa värden härstammar från VÄG 94 [43] och tillhör det dimensioneringssystem som tillhör ATB VÄG 2003 [7] och VÄG 94 [43]. Dessa E-moduler är naturligtvis också spänningsberoende. De varierar mellan 10 och 1000 MPa och anges för lagertyp, materialtyp och årstid (för vinter är E-modulen genomgående 1000 MPa).

De spänningsnivåer som anges i ATB VÄG 2003 [7] enligt ovan bedöms vara mindre betydelsefulla för detta projekt, eftersom de inte har en direkt koppling till någon provningsmetod. Istället bör provningar från andra material användas för att bedöma askorna. T ex så har dynamisk triaxialprovning av kolbottenaska i ett annat projekt [1] gett en E-modul på underbyggnads- och skyddslagernivå (vid den förväntade spänningen i dessa lager) på 80 MPa.

**Förslag till funktionskrav:** Funktionskravet innebär att E-moduler skall tas fram för en rad olika spänningsnivåer med hjälp av dynamiskt triaxialprov. Resultatet från dessa skall jämföras med tidigare resultat för dynamiskt triaxialtest som finns i VTIs databas för dynamiskt triaxialtest, bl a i samband med värmeforskningsprojekt Q4-224. Resultatet skall också jämföras med den kunskap som finns om belastningar på olika nivåer i väg-

och anläggningsbyggnad för att ge en uppfattning om på vilken nivå askorna kan läggas. Provningsen föreslås utföras enligt de rutiner och procedurer som används vid VTI, dock med en kontroll av hur dessa skiljer sig från det förslag till europastandard (prEN13286-7) för dynamiskt triaxialförsök som arbetas fram för närvarande.

#### **4.3.1.4 Sättning och kompression**

Dessa egenskaper är viktiga för att känna till materialens långtidsdeformation, sättning. För icke täta material så inträder sättningarna relativt snabbt (oftast under byggprocessen) [1]. Egenskaperna sättning och kompression kan testas med modifierad kompressibilitet enligt SP 01-46-77. Denna metod skiljer sig från den vanliga kompressibilitetsmetoden främst genom att belastning och deformation mäts kontinuerligt och ej i etapper [1]. Denna metod skall också kopplas till de dynamiska triaxialförsöken, så att den kan användas som en fortlöpande kontroll. Packningen inför dessa försök skall ske enligt resultatet för packningsdelen av testningen.

**Förslag till funktionskrav:** Funktionskravet innebär att sättning och kompression mäts upp med modifierad kompressibilitet och kopplas till det dynamiska triaxialprovet enligt ovan. Jämförelse skall göras med tidigare analyser enligt metoden på kolbottenaska och lättballast.

#### **4.3.2 Beständighet**

Det finns tre huvudgrupper av beständighet – frostbeständighet, mekanisk beständighet och kemisk beständighet. Enbart de två förstnämnda tas upp i denna rapport eftersom dessa anses vara de viktigaste för askor. Kemisk beständighet är också viktig fast de andra två typerna av beständighet har förmodligen större inverkan med tanke på tidsskalan är kortare för dessa två typer av beständighet.

##### **4.3.2.1 Frostbeständighet**

Funktionskravet ”materialet måste vara frostbeständigt” innebär att det inte får brytas ned (mer än marginellt) av upprepade frys-tö-växlingar. Det finns hittills inget krav på frostbeständighet i Sverige för traditionell ballast eftersom det inte anses vara något stort problem. Det finns en praxis att kontrollera vattenabsorptionen för material som en indikator på om det kan vara frostbeständigt. Om vattenabsorptionen är mindre än 1 % så anses materialet vara frostbeständigt. Om vattenabsorptionen är > 1 % så kan man tillämpa ett frys-tö-försök med eller utan NaCl (1 %) i vattenlösningen.

Tidigare projekt [1, 46] har visat att vattenabsorptionen för de flesta askor är betydligt högre än 1 %, ibland uppemot 15 % [1] varför frostbeständigheten direkt bör undersökas med frys-tö-växling. Det är dock viktigt att askorna får suga vatten under relativt lång tid för att få ett bra värde på frostbeständigheten, vilket framkom i ett Nordtestprojekt som undersökte vattenabsorption för alternativa material. För askor rör det sig om ca tre månader men man kan också tillämpa en accelererad vakuummetod, se avsnitt 5.3.4.

Det finns en frys-tö-metod speciellt framtagen för lättballast som heter prEN13055-1, bilaga C. Principen är ungefär densamma som EN1367-1 men provparametrarna är

speciellt anpassade för lättballast. Eftersom askor påminner om lättballast både med avseende på skrymdensitet och porositet, rekommenderas den förstnämnda metoden.

Tidigare projekt [1] har gett värden (med metod EN1367-1) på frostbeständigheten på 1,4 % (kolbottenaska), 3,9 % (slaggrus), 8,2 % (krossad betong) och 0,1 % (referensmaterial) då de undersöktes enligt EN1367-1, utan NaCl. Observera att materialet i dessa provningar inte var vattenmättat, varför resultaten kan vara missvisande.

**Förslag till funktionskrav:** Askornas frys-tö-motstånd kontrolleras med metod prEN13055-1, bilaga C. Frostbeständigheten bör provas på askor som har fått suga vatten på vanligt sätt (1 dygn) samt med den accelererade vakuummetoden som beskrivs i avsnitt 5.2.4. Resultatet skall jämföras med andra alternativa material samt lättballast. Vilken resultatnivå som kan accepteras bedöms utifrån värden från andra undersökningar samt aktuell applikation.

#### **4.3.2.2 Mekanisk beständighet**

Den vanliga metoden mot för att mäta mekanisk beständighet på naturlig ballast är kulkvarnsmetoden, micro-Devalmetoden och Los-Angelesmetoden (se kapitel 5). Dessa metoder är icke lämpliga för material med svagare korn än traditionella material, och ger ett missvisande provningsresultat. Askor bör istället provas med metoder som provar en hel ”kropp” av partiklar istället för enskilda korn. En sådan typ av provning är den som finns i standarden för lättballast, prEN13055-1, bilaga A, ”bestämning av krossmotstånd”, se avsnitt A.2. Denna provningsmetod föreslås användas för askorna samt jämförelse av resultatet med lättballast.

För att få en god bild av den mekaniska beständigheten så föreslås även att kontroll av kornstorleksfördelningen kontrolleras före och efter de övriga testerna i testprogrammen som innebär påfrestningar på materialet, dvs dynamiskt triaxialtest, modifierad kompressibilitet och packningsprov.

**Förslag till funktionskrav:** Funktionskravet innebär att kontroll av den mekaniska beständigheten i form av nedkrossningsbenägenhet skall kontrolleras enligt prEN 13055-1, bilaga A (lätballast) samt jämföras med tidigare resultat för samma metod. Resultatet jämförs med de krav som gäller för lättballast, samt den aktuella applikation för askan. Dessutom skall kornstorleksfördelningen kontrolleras (före och efter) vid dynamisk triaxialprovning, modifierad kompressibilitetsprovning och packningsförsök.

#### **4.3.3 Tjällyftning**

Funktionskravet ”materialet får ej orsaka oacceptabel tjällyftning” innebär att materialet ej skall orsaka tjällyftning om det ligger i en överbyggnad (se avsnitt 2.1.2 och avsnitt 5.3.2). För att ett material skall anses som lyftande skall det uppmätta lyftbeloppet (i procent av frusen provhöjd) vara mer än 10 % av provets porvolym (i procent) [1]. Av erfarenhet så vet man att tjälfarligheten är störst för mer finkorniga material, dvs i de fall material har den dominerande kornstorleken i sand och finare fraktion såsom silt. Tidigare undersökningar [1] på kolbottenaska och slaggrus visade ingen tendens till tjälfarlighet för dessa asktyper.

**Förslag till funktionskrav:** Askan får ej vara tjälfarlig enligt definitionen ovan om den skall användas i en vägöverbyggnad. Tjälfarlighet testas enbart om kornstorleksfördelning och indikationer från tidigare försök angående tjälfarlighet och alternativa material visar att askan kan vara tjälfarlig. Provningsmetoden bör vara VVMB609:1994.

#### **4.3.4 Frosthalka**

Risken för frosthalka är kopplad till materialens värmekonduktivitet. Att känna till värmekonduktiviteten för ett väg- och anläggningsbyggnadsmaterial är viktigt ur två aspekter – dels för att försäkra sig om att materialet inte bidrar till att öka risken för frosthalka om det skall ligga i en vägöverbyggnad, dels för att kunna utnyttja vid dimensioneringen då man vill utnyttja hög isoleringsförmåga. Se mer information om detta i kapitel 5.3.6.

I avsnitt 4.1 konstateras att ”materialet får ej bidra till att öka risken för att frosthalka uppstår”, dvs det måste ha en lämplig värmekonduktivitet. Detta innebär att om materialet skall användas i överbyggnadslager så ställs vissa krav i ATB VÄG 2003 [7]. Om materialet skall ligga närmre ytskiktet än 0,5 m så måste värmekonduktiviteten överstiga vissa värden ( $>0,6\text{W/mK}$  för 0-0,25 m från vägytan,  $>0,3\text{ W/mK}$  för 0,25-0,50 m från vägytan). Även här måste man prova ”vått” och ”torrt” och vanligen är det ett linjärt förhållande mellan dessa tillstånd.

**Förslag till funktionskrav:** Om askan skall användas i vägöverbyggnad är funktionskravet relevant. Funktionskravet bör vara att fastställa värmekonduktiviteten för askorna i både fruset och ofruset tillstånd, under det packningsförhållande som råder i fält och med relevanta fuktkvoter. Värdet skall jämföras mot gränsvärdena i ATB VÄG 2003 [7]. Provningsmetod bör vara ISO8301 eller ISO8302 eftersom den rekommenderas i ATB VÄG 2003 [7]. Vattenmättnad av materialen bör ske under lång tid eller, om möjligt, med vakuummotod beskriven under 5.2.4.

#### **4.3.5 Dränering / permeabilitet**

Det grundläggande funktionskravet enligt 4.1 är att ”materialet måste vara dränerande, dvs hålla tillräckligt hög permeabilitet” om materialet skall användas i en överbyggnad. Detta är viktigt för att konstruktionen inte skall samla vatten vilket bl a kan påverka tjäl rörelsen och stabiliteten. Något specifikt krav för traditionella material finns ej, utan kraven på kornstorleksfördelningen säkerställer här att materialet är dränerande.

För att kunna bedöma alternativa materials permeabilitet bör denna egenskap undersökas och resultatet jämföras med litteraturvärden. Det avgörande är att materialet inte får ha för låg permeabilitet, varför ett kvalitetskriterium för denna egenskap innebär att permeabiliteten skall vara högre än ett visst värde. Resultat från mätning av permeabilitet från andra undersökningar visas i tabell 4-3.



Tabell 4-3. Sammanställning av tidigare uppmätt permeabilitet hos några olika material  
 Table 4-3. Summary of measured permeability of some materials

Material	Permeabilitet	Metod	Källa och kommentar
Kolbottenaska	$2 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-5}$	Rörpermeameter	Provn.metoder alternativa mtrl VV[1]
Slaggrus	$9 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-6}$	Rörpermeameter	Provn.metoder alternativa mtrl VV[1]
Betongkross	$1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-6}$	Rörpermeameter	Provn.metoder alternativa mtrl VV[1]
Referensmaterial	$3 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6}$	Rörpermeameter	[1] Referensmaterialet bestod av ett sandigt grus
Grusig morän	$1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-5}$	flera olika metoder	Fagerström och Wiesel 1972 [41]
Sandig morän	$1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-6}$	flera olika metoder	Fagerström och Wiesel 1972 [41]
Siltig morän	$1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-7}$	flera olika metoder	Fagerström och Wiesel 1972 [41]
Bottenaska Skärblacka (från bark(2/3)/olja(1/3) förbränning	$> 1 \cdot 10^{-6}$	Celltrycks- permeameter	[2] Gustafsson et al.

Av tabellen ovan framgår att permeabiliteten kan variera mycket mellan olika material. Det som främst styr permeabiliteten är naturligtvis kornstorleksfördelning – med ökande kornstorlek och ökande ensgradering så ökar också permeabiliteten.

**Förslag till funktionskrav:** Askorna bör ha en permeabilitet som är större eller lika med ca  $5 \cdot 10^{-7}$  m/s för att klara god dränering, om askan skall ligga i en vägoöverbyggnad. Askorna skall jämföras med permeabiliteten hos olika jordarter. Rörpermeameter bör användas för att prova denna egenskap.

#### 4.3.6 Packningsegenskaper och hantering

För att askorna skall kunna användas som ett väg- och anläggningsbyggnadsmaterial så krävs det att de går att hantera på ett smidigt sätt. Bestämning av packningsegenskaperna i laboratorium är viktigt för att ha som referens vid fältpackning då bästa möjliga packning skall uppnås. De parametrar som bestäms vid packningen är optimal vattenkvot och maximal densitet. Packningsförsöken i laboratorium ger också en del vägledning om ingångsvärden för andra laboratorieförsök, t ex dynamiskt triaxialtest.

Tidigare försök med kolbottenaska [1] visar att optimal vattenkvot kan bestämmas med lätt eller tung instampning. Maximal densitet kan därefter bestämmas med hjälp av inpackning på vibrobord vid den vattenkvot som bestämdes vid inpackningen [1].

I detta projekt som denna rapport handlar om rekommenderas att en kombination av lätt instampning och vibrobord används för att erhålla värden på optimal vattenkvot och maximal densitet. För att kontrollera nedkrossningen vid packningen är det lämpligt att också sikta materialet skonsamt före och efter packningsförsöken.

**Förslag till funktionskrav:** Funktionskravet bör vara att man skall kontrollera och visa på vilket sätt askorna går att packa med lämpligt val av packningsmetod (lätt instampning eller vibrobord), samt från dessa packningsförsök erhålla representativa värden på optimal vattenkvot och maximal densitet för varje aska.

#### 4.4 Summering av kapitel 4

Detta kapitel har summerat tidigare kapitel genom att definiera ett antal funktionskrav som bör ställas på väg- och anläggningsbyggnadsmaterial i allmänhet och askor i synnerhet. Kraven har delats upp i funktionskrav, indikatorer, och egenskaper för dimensionering. Funktionskraven är totalt sex st. I vissa fall har det inte gått att sätta upp explicita krav för funktionskraven, t ex för krav angående bärförmåga och stabilitet, och beständighet utan där rekommenderas en jämförelse med traditionella material och andra alternativa material och lättballast. För något funktionskrav har det gått att ställa upp explicita krav, t ex angående värmeledningsförmåga. För några funktioner har ett förslag till funktionskrav angivits, t ex dränering.

Vidare så har ett förslag lagts fram på en tabell (4.1) som anger vilka funktionskrav som bör ställas på olika konstruktioner då askor skall användas som konstruktionsmaterial. Samma tabell innehåller också förslag på vilka provningsmetoder som bör användas då funktionskraven hos askor skall provas.

Nästa kapitel behandlar projekt om provningsmetoder för alternativa material samt ger en överblick över etablerade provningsmetoder. Det därpå följande kapitlet handlar om hur funktionskraven för askor kan kontrolleras på ett rationellt sätt, genom att inledningsvis kontrollera indikatorerna och därefter gå in på övriga analyser angående funktionskraven.

## 5 Projekt som behandlar provningsmetoder för alternativa material, samt överblick över etablerade provningsmetoder

### 5.1 Inledning

Anledningen till att ha ett kapitel om provningsmetoder i denna rapport är att vissa av de traditionella provningsmetoderna inte fungerar tillfredsställande för de alternativa materialen. Från den forskning som hittills genomförts så kan slutsatsen dras att de alternativa materialen fungerar relativt bra när de väl ligger korn mot korn i sin konstruktion, men de provningsmetoder som traditionellt används provar nästan alltid enskilda korn istället för en helhet av flera korn. Eftersom kornhållfastheten oftast är svagare för de alternativa materialen så misskrediteras dessa material av de traditionella provningsmetoderna.

Det optimala är att prova den funktion som avses, men ibland måste man av olika skäl prova indirekta egenskaper för att bilda sig en uppfattning av funktionen. Ganska mycket arbete har lagts ned på området provningsmetoder, både för traditionella material och för alternativa material. Det centrala är att hitta de rätta kraven på materialet och sedan använda den mest lämpade provningsmetoden för att säkerställa att detta krav uppfylls.

Ett antal omfattande studier angående provningsmetoder har gjorts den senaste tiden, vars resultat redovisas nedan. Studierna som redovisas är från Vägverket som undersökte provningsmetoder för alternativa material, från SP som inom Nordtest tittade närmare på provningsmetoder för kornstorleksfördelning, sprödhet och vattenabsorption, från en licentiatuppsats från Arm [8] som studerade egenskaper hos alternativ ballast, från en rad EU-projekt (ALT-MAT, SAMARIS, COURAGE) med olika inriktning samt från RVF/SYSAV som gjort omfattande undersökningar på slaggrus.

### 5.2 Projekt som behandlar provningsmetoder för alternativa material

Detta avsnitt behandlar både avslutande och pågående projekt som behandlar provningsmetoder för alternativa material. En kort resumé av projekten presenteras samt de viktigaste slutsatserna från projektet.

#### ***5.2.1 Vägverket, Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad***

SP, VTI och SGI har genomfört ett omfattande arbete på uppdrag av Vägverket som resulterade i rapporten "Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad" [1]. I den studien undersöktes tre olika material, rosteldad kolbottenaska, slaggrus och krossad betong. Huvudfrågan i den studien var huruvida traditionella provningsmetoder kan användas på alternativa material.

- Då olika sorters roterande trummor användes för att karaktärisera mekaniska egenskaper (tex sprödhet) så fick man en mycket dålig koppling mellan provningsresultatet och den faktiska funktionen i vägkroppen.

- Termisk beständighet (frys-tö-försök). De metoder som föreslås bli europastandard tar ej hänsyn till att vissa material suger vatten under lång tid, varför metoden blir missvisande. I dessa fall måste provet förkonditioneras under betydligt längre tid än normalt, vilket kräver en modifiering av metoden. I Sverige finns hittills inga krav i (ATB VÄG 2003 [7]) på att termisk beständighet måste testas. Vattenabsorptionen har också en koppling till värmekonduktiviteten, dvs värmekonduktiviteten ändras då vatteninnehållet ändras. Även tjällyftningen har en koppling till vattenabsorptionen varför dessa bör kopplas ihop.
- Packningsegenskaper. Lätt och tung instampning genomfördes vid olika vattenkvoter. För kolbottenaskan så kan lätt eller tung instampning användas. Alla de undersökta materialen erfordrar en viss nedkrossning vid packningen. Vibrobord rekommenderas dock till alla grovkorniga material (eftersom den mest efterliknar verkligheten) med mindre än 10 % finjord.
- Bärförmåga och stabilitet. Dynamisk triaxialprovning bedömdes vara generell (bl a kan densitet och vattenkvot väljas efter behov) och passa mycket bra för de alternativa materialen. Fördelen är att provningen görs på en volym av hela materialet och inte på enskilda korn. Samtliga provade material ansågs minst klara kraven i materialtyp 2 (enligt definitionen i ATB VÄG 2003 [7], tabell A12.1-1).
- Sättning/kompression. Två olika försök utfördes. Ett kompressometerförsök med stegvis pålastning med en metod som benämnes ”kompressometerförsök SGI” och ett kompressibilitetsförsök SP-metod 01-46-77, enligt förslag till Nordtest för lättballast (som nu ligger som förslag inom prEN13055-2). Den sistnämnda ansågs vara ”fullt möjlig” att tillämpa på alternativa material. Den förstnämnda ansågs kunna användas för en ”relativ bestämning av materialens kompressions-egenskaper”. På grund av skillnader mellan provningsmetoderna var resultaten inte direkt korrelerbara mellan provningsmetoderna.
- Tjälfarligheten bestämdes enligt VVMB 609:1994 och resultatet visade att alla materialen kan anses vara icke tjällyftande vid den provade kornstorleken.
- Samtliga provade material bedöms vara lämpliga som underbyggnadsmaterial på basis av tekniska egenskaper.

### ***5.2.2 SP, Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial – projekt 1, Kornstorleksfördelning***

Tre nordiska samarbetsprojekt som genomförts i serie inom ramen för Nordtest påbörjades 1997 och koordinerades av SP. Det första projektet studerade främst hur provningsmetoder för kornstorleksfördelning och mekaniska egenskaper (sprödhetstal, LA(LosAngeles)-test, DSC(Dutch Static Compression)-test) fungerar för de alternativa materialen [19]. Tyngdpunkten i projektet var kornstorleksfördelning och att utvärdera

hur siktningen fungerar som metod vid provberedning och utvärdering. De material som studerades var krossat tegel, krossad betong och ferrokromslag.

De allmänna resultaten var att materialen i undersökningen var mycket känsliga för all hantering i samband med både provberedning och siktning. Vid val av kornstorleksfördelning bör man kanske välja en något grövre fördelning än den från början var tänkt för att kompensera detta slitage, samt att iaktta försiktighet vid provhanteringen. LA-metoden visade sig ej vara lämplig på materialen eftersom den provar de enskilda partiklarna och ej det sammansatta materialet, och de tunga stålkulorna i LA-testning krossar den alternativa ballasten i den hårdhanta LA-provningen. Den interaktion som fungerar mellan partiklarna i en väggkropp provas inte i LA-trumman. Vid siktning för att få fram kornstorleksfördelningen rekommenderas flera delprov och kortare sikttid [19].

Resultaten i rapporten indikerar att fortsatt forskning krävs ”för att finna en metod som korrelerar med materialens tänkta funktion i slutanvändningen”. Dynamiskt triaxialtest nämns som en sådan metod, men eftersom detta är mindre lämpat för återkommande tillverkningskontroll är det också viktigt att ”korrelationen till enklare metoder fastställs samtidigt” [19].

### ***5.2.3 SP, Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial, projekt 2, Sprödhet***

Projekt två i den serie av tre Nordtestprojekt som nämndes ovan handlade om sprödhet [20]. Projektets målsättning var att bidra till ökad kunskap om de standardiserade metoderna för ballastprovning till att även omfatta återvinningsprodukter. Framförallt avser det kunskap om hur dessa alternativa ballastmaterial påverkas av de olika delarna i provningsproceduren: provberedning, provning och utvärdering, dvs validering av metoderna. I projektet avses främst att verifiera materialens motståndsförmåga mot den krossning som sker i vägöverbyggnaden, framför allt i byggnadsskedet.

Projektets inriktning är mot sprödhet – alltså motstånd mot krossning. För askorna är detta framför allt viktigt i byggnadsskedet, eftersom den efterföljande påkänningen till största delen kan karaktäriseras som nötning. Projektet har provat några olika typer av krossad betong och inga andra alternativa material. Några av projektets [20] slutsatser är:

- Provning av sprödhet helt enligt traditionella metoder ger ett resultat som är en blandning av nötningsmotstånd och sprödhet och kan därför ej rekommenderas.
- Flera metoder provar materialen som enskilda partiklar vilket inte är relevant för kraftigt heterogena material såsom ofta är fallet med alternativa material.
- Det nyligen framtagna förslaget till Nordtestmetod är därför den metod av de i denna undersökning nämnda, som gör de heterogena alternativa materialen mest rättvisa och efterliknar verkligheten bäst. Den har flera likheter med dynamiska triaxialtester.

Den sistnämnda slutsatsen syftar på SP-metoden SP 01-46-77, dvs modifierad kompressibilitet, vilken också är föreslagen som testmetod för lättballast i prEN13055-1.

#### ***5.2.4 SP, Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial – Projekt 3, Vattenabsorption***

Det tredje och precis avslutande projektet inom nämnda serie av tre Nordtest-projekt handlade om vattenabsorption [46], och utfördes som ett samarbete mellan SP, IBRI (Icelandic Building Research Institute) på Island och SINTEF (Styrelsen för Industriell och Teknisk Forskning) i Norge. Bakgrunden till projektet är observationer att alternativ ballast och en del traditionell (mycket porös) ballast absorberar vatten under mycket lång tid, ibland under längre tid än ett år. Den relativt nya EN-standarden för vattenabsorption SS-EN1097-6, som stipulerar endast 24 timmars absorption, fungerar därför ej tillfredsställande för sådana material. Målet för projektet var att noggrant utvärdera SS-EN1097-6 för traditionell porös ballast (porös basalt) och alternativa material. Ett delmål med projektet var att finna en generell metod som ger en fullständig och accelererad vattenabsorption för denna typ av material [46].

De tre undersökta materialen var krossad betong, kolbottenaska från Händelöverket, porös basalt (krossad lava från Island) och slutligen en lättballast från LECA. Enbart kornstorleken mellan 4 – 31,5 mm undersöktes i projektet. Material mindre än 4 mm behandlas på annat sätt i standarden och ingick ej i studien.

De metoder som undersöktes var:

- enligt standarden SS-EN 1097-6 med Pyknometer (24 timmar)
- Vakuumbehandling
- Kokning
- Långtidssugning i vattenbad (300 dagar)

Slutsatserna från projektet [46] var att:

- CEN-standarden EN1097-6 för vattenabsorption är olämplig för porös alternativ ballast och lättballast, eftersom den grovt underskattar den tid som det tar för dessa materialtyper att uppnå vattenmättnad. Alla material i studien sög vatten under minst en månad eller mer.
- Bottenaskan och krossad betong behöver cirka tre månaders vattenabsorption för att uppnå jämvikt. Lättballast och porös basalt ibland behöver mer än ett år för att uppnå jämvikt.
- Bland snabbtesterna så har vakuummetoden visat sig ge repeterbara resultat för varje material. Bottenaska och krossad betong var de material som hade bäst överensstämmelse mellan vakuummetoden och långtidsabsorptionen. Vakuummetoden behöver dock ytterligare metodutveckling för att kunna rekommenderas som en allmängiltig metod.

- Resultatet av provningsmetoder som kräver vattenmättnad, t ex för frostbeständighet och tjälegenskaper, är inte helt relevanta för alternativa material om enbart vattensugning under 24 timmar tillämpats.
- Den fortsatta forskningen behövs för att validera vakuummetsoden genom att testa ett antal olika askor och krossad betong. Frostbeständighet och tjällyft bör kontrolleras och jämföras för materialen där den föregående vattenabsorptionen har skett enligt olika metoder (CEN-standard vs vakuummetsoden).

### ***5.2.5 Egenskaper hos alternativa ballastmaterial – speciellt slaggrus, krossad betong och hyttsten.***

En omfattande licentiatuppsats av Arm [8] har undersökt ett flertal aspekter på slaggrus, krossad betong och hyttsten. Syftet med studien var att öka kunskapen om materialen samt göra det enklare att dimensionera vägar med dessa material. De principiella slutsatserna i studien var bl a att:

- ”Vid användning måste hänsyn tas till det alternativa materialets begränsningar. Risken finns annars att det blir materialets fel när vägen går sönder, fast det egentligen är en feldimensionering som är orsaken”. Studien avråder därför från att använda något av de studerade materialen som ”bärlager under en tunn beläggning” och Arm skriver vidare att ”byggt trafik bör undvikas på slaggrus”.
- ”De alternativa materialens egenskaper bör utnyttjas så högkvalitativt som möjligt. Det innebär att materialen bör läggas i vägöverbyggnader på det djup som deras bärförmåga tillåter”.
- ”De speciella tjälisolerande egenskaperna hos hyttsten och slaggrus samt hållfasthetsökningen hos betong och hyttsten bör utnyttjas.”

Slutsatserna i Arms uppsats omfattar även var i väggroppen materialen kan läggas. Slaggrus kan enligt författaren användas som fyllnadsmaterial (materialtyp 2 enligt definition i ATB VÄG 2003 [7] A12.1-1) och skyddslager. Krossad betong och hyttsten kan användas som fyllnadsmaterial (materialtyp 2), skyddslager och förstärkningslager. Om vägen har tillräckligt tjock beläggning kan materialen flyttas upp ett steg, dvs slaggrus kan utgöra förstärkningslager och de andra två kan utgöra bärlager.

Uppsatsen drar bl a följande slutsatser med avseende på provningsmetoder:

- ”Vid bedömning av alternativa materials deformationsegenskaper i laboratorium är dynamiskt treaxialförsök en lämplig metod.”
- ”Det behövs metodutveckling inom området provning av beständighet, både mot mekanisk påverkan och klimatpåverkan.”

Uppsatsen har också många slutsatser om materialegenskaper varav de flesta är materialspecifika. Några är allmänna och en är intressant för detta projektet, t ex

- ”För att kunna utnyttja både ”bra” och ”dåliga” ballastmaterial rätt måste ett nytt dimensioneringsätt införas snarast.”

#### ***5.2.5.1 Provningsmetoder som stödjer funktionsbaserad vägdimensionering***

För att närma sig funktionsbaserad vägdimensionering behöver även provningsmetoderna modifieras enligt Arm [8]. Grundtanken är att materialet skall provas sammansatt i en kropp istället för att prova enskilda partiklar som sker i provning för traditionella material. Detta stämmer väl överens med tidigare erfarenheter från Nordtestprojekt. Uppsatsen föreslår följande provning av materialen för att passa funktionsbaserad vägdimensionering:

- Bärförmåga kan bestämmas med dynamiska triaxialförsök med olika vattenkvoter och lastförutsättningar
- Beständigheten mot mekanisk påverkan kan bestämmas med hjälp av gyratorisk packning.
- Beständigheten mot klimatpåverkan kan bestämmas genom modifierat frys-tö-försök.
- Tjällyftningsbenägenheten kan bestämmas med frys-försök under olika vertikallaster.
- Värmekonduktivitet kan bestämmas om ett avvikande värde misstänks.

#### ***5.2.6 Slaggrus – Miljömässiga och materialtekniska egenskaper***

En undersökning av Fällman, Larsson och Rogbeck [21] genomfördes 1999 på uppdrag av SGI för att öka kunskapen om slaggrusets miljömässiga och materialtekniska egenskaper. De materialtekniska egenskaperna som undersöktes var kornstorleksfördelning, packningsförmåga och densitet. Kornstorleksfördelningen över året varierade litet från samma anläggning. Materialen packades med tung laboratoriepackning och en torrdensitet på 1,5 – 1,7 ton/m<sup>3</sup> erhöles vid optimal vattenkvot på 14 – 19 %. Slaggruset visade sig vara krossningsbenäget vilket måste beaktas vid val av packningsmetod [21].

#### ***5.2.7 RVF-rapport om slaggrus***

En omfattande undersökning av slaggrus har genomförts av SYSAV på uppdrag av RVF som resulterat i en uppsättning kriterier mot vilket slaggrus kan jämföras [22]. I dessa kriterier ingår både kontroll av miljöegenskaper och tekniska egenskaper, samt att innehavaren av slaggruset skall deklarerat dessa egenskaper på ett varuinformationsblad. Tanken är att entreprenören skall känna väl till vilka egenskaper som materialet har då det skall användas.



Angående kvalitetssäkringen så anger rapporten [22] följande: ”Ansvaret för att slaggruset kvalitetssäkras ligger hos både leverantören (avfallsförbrännaren) och entreprenören. Leverantören av slaggrus skall kvalitetssäkra slaggruset där både provtagning och analyser ingår. Entreprenören skall kvalitetssäkra tillståndsförfarandet, utförande samt kontroll och uppföljning. Detta görs i entreprenörens miljö- och kvalitetsplan.” Mer information om kvalitetssäkring och certifiering, bl a tredjepartskontroll finns i avsnitt 3.5.

Angående tekniska egenskaper så redovisas organisk halt, vattenkvot och kornstorleksfördelning. Angående övriga tekniska egenskaper så hänvisas huvudsakligen till en licentiatuppsats som redovisats under rubrik 5.2.5. De materialegenskaper som rekommenderas att redovisa i avfallsförbränningsanläggningens kvalitetssäkringssystem är kornstorleksfördelning och halten oförbränt eller glödgningsförlust. I övrigt är det upp till användaren att utföra relevanta tester, enligt [22]. En mängd fältförsök med slaggrus redovisas också i rapporten, t ex det som Umeå Energi har utfört då de byggt en väg av slaggrus, den sk Dåvamyravägen [22].

### **5.2.8 ALT-MAT**

ALT-MAT (Alternative Materials) var ett forskningsprojekt mellan en handfull europeiska länder (UK, Österrike, Danmark, Finland, Frankrike, Sverige och Schweiz) som utfördes under 1998-1999 [23]. Projektet var delvis EU-finansierat och syftade till att öka användningen av nya alternativa vägbyggnadsmaterial. Ett av projektets mål var att minska gapet (öka kunskapen) mellan materialens analysresultat från laboratoriet och materialens beteende i fält. De områden som täcktes in var mekaniska egenskaper, funktionskrav, lakningsbeteende och långtidsstabilitet. De material som undersöktes mest var slaggrus, krossad betong, stålslag, masugnslag, glaskross och rivningsmaterial.

På området mekaniska test kom projektet fram till att resultat från traditionella testmetoder på alternativa material inte är helt tillförlitliga. Man lyfter fram gyratorisk packning som en testmetod som verkar fungera på alternativa material angående nötning, och rekommenderar att den skall optimeras i vidare forskning. Även dynamiskt triaxialtest rekommenderas på samma sätt. Dock så behöver vidare forskning, enligt rapporten, slå fast sambandet mellan sådana test med test i fält, t ex FWD-test (Falling Weight Deflectometer) och liknande test. Vidare så rekommenderas test som använder principen vibrering istället för slag (jmfir vibrobord resp proctorpackning) för alternativa material.

Ett viktigt område som undersöktes var hydrodynamiska tester. Enligt rapporten är obundna lager i vägkonstruktioner delvis fuktiga (partly saturated) under delar av år och begränsade perioder helt fuktiga (fully saturated). Att känna till vattenrörelser är viktigt för att kunna bedöma andra saker såsom lakning och motstånd mot frost [23].

De två ovannämnda områdena är de som rekommenderas för vidare forskning. ALT-MAT-projektet tillförde en del ny kunskap, men de genomförda undersökningarna

gjordes i stor utsträckning på de alternativa material som är relativt ”etablerade”, t ex krossad betong, masugnsslagg och slaggrus. De askor som är fokus i denna rapport skiljer sig till den del från dessa material, men en del av resultaten från ALT-MAT kan förmodligen tillämpas i detta projektet.

### **5.2.9 SAMARIS**

SAMARIS står för “Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructures” och är ett stort EU-projekt (23 länder inblandade) som startade i januari 2003 inom det femte ramprogrammet [24]. Projektet har två huvudinriktningar, det ena är korrosionsskydd av broar och det andra är ”pavements” vilket kan översättas till lager, vägar eller beläggning. VTI ingår i en av de 15 arbetsgrupperna (nummer 3) och skall värdera alternativa vägmateriells användningsmöjligheter.

De material som kommer att vara aktuella i projektet är renad jord, krossad betong, olika typer av slagg från stålindustrin och flyg- och bottenaska [24]. Projektet skall handla om utveckling av provningsmetoder för de alternativa materialen, samt också att värdera deras miljöeffekter.

### **5.2.10 COURAGE**

COURAGE står för “COnstruction with Unbound Road Aggregates in Europe” och är ett EU-projekt som avslutades 1999. Som framgår av namnet så handlade det om hur man skall främja och optimera konstruktioner med obundet material i Europa. I slutrapporten [25] konstateras att ”pålitliga konstruktioner för lager av obundna material säkerställs för närvarande genom att lägga på ett extra tjockt skikt och genom att man undviker att använda material för vilka egenskaperna ej är helt fastställda genom lab-test, erfarenhet eller fältstudier”. Projektet ville hitta ett generellt ramverk för att kunna optimera konstruktioner som byggs med alternativa material.

För att svara på ovanstående sattes ett testprogram upp av både lab-test och fältstudier. Fyra olika material valdes för närmre undersökning, ett ”demolition waste” (bygg- och rivningsavfall) och de andra tre var olika kvaliteter av bergkross som finns i stora mängder i Europa. Fälttesterna omfattade både kontroll av påverkan från trafik och kontroll av påverkan från klimat. Lab-studierna omfattade både ”simple tests”, alltså tester som testar ”enskilt korn”, och mer avancerade tester för att efterlikna materialet i sin användning. Projektet genomfördes av tio olika partners i nio länder. Sverige deltog inte i projektet.

Några av slutsatserna från projektet [25] var att:

- Fukthalten i de obundna materialen varierar kraftigt över säsongen. I överbyggnaden var fukthalten 40 – 90 % av *optimal vattenkvot*. I underbyggnaden var motsvarande siffror 30 – >100 % av optimal vattenkvot. Olika orsaker/möjligheter till vatteninträngning undersöktes också.
- Bärigheten på konstruktionen i fält visar en kraftig försämring då vatteninnehållet ökar.

- De empiriska tester som används i Europa för närvarande kan bidra till ökad förståelse, men pga av deras enkelhet så misslyckas de ofta att klart särskilja olika materialkvalitéer. Dynamiskt triaxialtest (som i rapporten kallas RLT = Repeated Load Triaxial test) verkar dock vara en bra metod att särskilja olika produktkvalitéer. Metoden behöver dock förbättras.

I likhet med några andra refererade projekt så undersöks alternativa material förutom askor. I COURAGE undersöktes bygg- och rivningsavfall, samt tre kvaliteter av krossat berg, varför resultaten förmodligen inte kan tillämpas på askor. Dock är slutsatserna om fukthalterna och dynamiskt triaxialtest intressanta.

### 5.3 Översikt över etablerade provningsmetoder

Följande avsnitt behandlar etablerade provningsmetoder som inte är utvecklade speciellt för alternativa material, utan provningsmetoderna är relativt oberoende av materialens ursprung. Om det föreligger några speciella villkor för provningsmetoderna då de skall användas till alternativa material så tas detta upp.

#### 5.3.1 Provningsmetoder för kontroll av packningsegenskaper

För att kunna använda ett material till väg- och anläggningskonstruktion så krävs det att ett material går att packa på ett smidigt sätt. Packningen är till för att materialet inte skall ”sätta sig” efter en tids användning utan denna ”sättning” skall ske initialt under packningen vid byggnation. Efter slutförd packning skall materialets framtida sättning vara obetydlig och materialet antas då ha maximal bärförmåga. Packningen bör ske vid optimal vattenkvot, dvs det vatteninnehåll som ger det bästa packningsresultatet (den högsta skrymdensiteten).

För att ta reda på optimal packning så kan packningsförsök utföras i laboratorium. Resultatet från laborieförsöken är viktiga att ha som referens då packning sker i fält, dvs packningen i fält bör uppgå till samma värden som i laboratoriet. Oftast kan detta packningsvärdet från laboratoriet ej uppnås till 100 %, utan man definierar en packningsgrad, t ex 90 %. Detta innebär att packningen i fält (uppnådd densitet) är 90 % av den uppnådda packningen (densiteten) i laboratoriet.

##### 5.3.1.1 Metoder för packning i laboratorium

Det finns tre etablerade metoder för packning i laboratorium:

- Tung instampning är en svensk standardiserad metod (VVMB 36:1977, SS027109). Den internationella motsvarigheten till denna metod heter ”modified Proctor”, dvs modifierad Proctorpackning.
- Lätt instampning är en svensk standardmetod (SS027109). Den internationella motsvarigheten benämnes ”standard Proctor”, dvs standardiserad Proctorpackning.
- Vibrobord – är en skonsam metod som inte utsätter materialet för slag, utan materialets packas genom vibration i en cylinder, samtidigt som ett axiellt tryck på materialet anbringas.

De två första metoderna går ut på att packa in materialet i en stålcylander genom att utsätta det för en fallvikt. Principen är densamma för båda metoderna men packningsförfarandet är skonsammare i standardiserad Proctorpackning (lättare fallvikt och lägre fallhöjd).

Tidigare undersökningar på askor [1,2,27] har använt alla tre metoderna. För askor som har en lägre kornstyrka än traditionella material torde dock standard Proctorpackning eller vibrobord vara de bästa metoderna. Vibrobord är den metod som mest efterliknar verkligheten enligt Vägverkets rapport om provningsmetoder [1].

Vibrobord kräver dock att materialet är vattenmättat varför optimal vattenkvot ej kan bestämmas. Materialet måste också vara fridränerande för att vibrobord skall kunna användas. Om materialet har mer än 10 % finjordshalt kan det inte anses som dränerande enligt Vägverkets rapport om provningsmetoder [1]. I samma projekt utfördes packning av en kolbottenaska och man drog slutsatsen att ”för kolbottenaska kan optimal vattenkvot bestämmas med lätt eller tung instampning och maximal densitet genom inpackning på vibrobord vid den vattenkvot som gett högst densitet vid instampningen”.

Gyratorisk packning förekommer i ett av de studerade projekten. Metoden har med framgång kunnat användas på alternativa material, men den behöver utvecklas vidare, bl a med avseende på vilka parametrar som skall användas och hur resultaten i laboratoriet skall tolkas för att likna förhållandena i fält [23].

I detta projekt rekommenderas att en kombination av lätt instampning och vibrobord används för att erhålla värden på optimal vattenkvot och maximal densitet. För att kontrollera nedkrossningen vid packningen är det lämpligt att också sikta materialet skonsamt före och efter packningsförsöken.

### ***5.3.2 Provningsmetoder för kontroll av tjälfarlighet***

För allmän information om tjälfarlighet och tjälegenskaper hänvisas till avsnitt 2.1.2 som handlar om vägdimensionering och tjälskydd. Provningsmetoder för denna egenskap står dock inte beskrivet där utan behandlas här.

Tjällyftning innebär att materialet under frysning ackumulerar vatten i form av is så att vattenmättnaden i ofruset tillstånd överskrids, och materialet lyfter. För att ett material skall anses som lyftande skall det uppmätta lyftbeloppet (i procent av frusen provhöjd) vara mer än 10 % av provets porvolym (i procent) [1].

Det finns några olika provningsmetoder för att mäta tjällyftningsbenägenhet i laboratorium. Två av de vanligaste i Sverige är VVMB609:1994 som också var den metod som användes i Vägverkets rapport om provningsmetoder för alternativa material [1]. En vidareutveckling av den metoden är en metod av Hermansson [45] som bättre försöker efterlikna förhållandena i fält. Tjällyftningen kan också beräknas med hjälp av beräkningsmodellen VVMB301 [44].

Provningsmetoder för tjälfarlighet är inte direkt beroende på om materialet är traditionellt eller alternativt varför samma metod bör kunna användas. I Vägverkets rapport om provningsmetoder för alternativa material [1] så konstaterades att VVMB609:1994 går att använda även till alternativa material. En viktig förutsättning är att man känner till vatteninnehållet och andelen till vattenmättnad. Dessa indata behövs om man vill använda vägverkets dimensioneringsprogram PMS.

För detta projekt föreslås att inledningsvis gör en bedömning av tjälfarligheten utifrån kornstorleksfördelningen. Om man utifrån denna kan misstänka att askan är tjälfarlig bör försök utföras enligt VVMB609:1994.

### **5.3.3 Provningsmetoder för kontroll av frostbeständighet**

Det finns idag krav på frostbeständighet i Sverige för traditionell ballast för betong och järnvägsballast, sk makadamballast, däremot inte direkta krav för vägmaterial. Detta, eftersom man med andra indirekta metoder (t ex kulkvarnsmetoden) anser att det går att komma till rätta med eventuella problem. Frostbeständigheten påverkas bl a av vattenabsorptionen varför denna är viktig att kontrollera. Produktstandarderna för ballast SS-EN13242 [15] anger att om vattenabsorptionen är mindre än 0,5 vikt % eller 1 vikt %, beroende på partikelstorleksfördelning, så anses materialet vara frostbeständigt. Om vattenabsorptionen är > 1 % så kan man tillämpa ett frys-tö-försök i vattenlösningen enligt samma standard [15], dvs frys-tö-växling enligt SS-EN1367-1, se nedan.

Sedan 1999 finns en standardtest av frostbeständighet, SS-EN1367-1. Principen för frostbeständighetstest SS-EN1367-1 är att en fraktion siktas fram, t ex 8/16 mm, som utsättes för frys-tö-växling 10 ggr. Därefter kontrolleras hur mycket av materialet (procentandel) som passerar en sikt med halva maskvidden för den nedre fraktionsgränsen (i detta fall 4 mm). Denna procentandel utgör resultatet av testet. Tidigare projekt [1] har visat värden för kolbottenaska, slaggrus och krossad betong på 1,4 – 8,2 %.

Dessutom finns ett informativt annex (B) som ger möjlighet att prova med 1 % NaCl lösning istället för rent vatten. Detta har tidigare visat sig ge en bättre överensstämmelse med dokumenterad beständighet hos naturlig ballast. Sannolikt lämpar sig inte salttillägget för provning av askor eller andra mycket porösa material.

Förutom den ovan nämnda metoder finns det en standard för frys-tö-motstånd speciellt utvecklad för lättballast, prEN 13055-1 bilaga C. Principen är ungefär densamma som ovan men med provparametrar speciellt anpassade för lättballast.

Tidigare studier [1] visar att vattenabsorptionen (se också avsnitt 5.3.4) är mycket högre för askor än andra material, även andra alternativa material. Detta medför att det är mindre intressant att kontrollera om vattenabsorptionen är större eller mindre än 1 % enligt ovan, utan frostbeständigheten bör direkt kontrolleras med frys-tö-försök. Känsligheten för frost bör vara störst när materialen har uppnått vattenmättnad, varför det är viktigt att uppnå detta, alternativt ha kontroll på vilken vattenmättnadsgrad som föreligger vid försöken och vad som kan vara en rimlig vattenhalt för olika användningsområden. Tidigare projekt, se avsnitt 5.2.4, har visat att det tar lång tid för

askorna att uppnå vattenmättnad och att detta inte uppfyllts vid tidigare test av frostbeständighet, t ex projektet om provningsmetoder för alternativa material [1], pga tidsbrist.

I detta projekt bör frostbeständigheten provas med metod prEN13055-1 bilaga C, på askor som har fått suga vatten på vanligt sätt (1 dygn) samt med den accelererade vakuummetoden som beskrivs i avsnitt 5.2.4.

#### ***5.3.4 Provningsmetoder för kontroll av vattenabsorption***

Ett materials förmåga att suga vatten är viktigt att kontrollera eftersom vatteninnehållet påverkar en mängd egenskaper. Bland annat kan bärförmågan förändras om vatteninnehållet avviker från det optimala. Vattenabsorptionen har betydelse också för frostbeständigheten samt för tjälegenskaperna. Vattenabsorptionen har undersökts i andra projekt [1,27] där man konstaterat att askorna suger vatten under lång tid. Projektet inom ramen för Nordtest som refereras i avsnitt 5.2.4 visade att för porösa material suger vatten betydligt längre tid än 24 h, vilket stipuleras i bl a standard EN1097-6. För askor och slaggrus tog det cirka tre månader att uppnå vattenmättnad. Om mättnad ej uppnås blir resultatet av andra studier, t ex frostbeständighet, missvisande.

Resultaten i avsnitt 5.2.4 bör användas för att undersöka vattenabsorptionen med dels vanlig långtidsabsorption av vatten och dels med den föreslagna accelererade vakuummetoden.

#### ***5.3.5 Provningsmetoder för kontroll av kapillär stighöjd / vattensughöjd***

Kapillär stighöjd som numera benämnes vattensughöjd är en intressant parameter att prova för att kontrollera vilken förmåga materialet har att suga upp vatten från en viss nivå, vilket är viktigt för bl a tjällyftningsbenägenhet. Provningsmetoden för detta är ganska enkel – ett vertikalt transparent rör med materialet ställs ner i vattenbad och undersidan på röret utformas så att materialet kan suga upp det omgivande vattnet. Med jämna mellanrum observeras hur högt upp i röret vattnet transporteras. För porösa material kan det erhållna resultatet dock bli en kombination av uppsugning på grund av kapillaritet och uppsugning på grund av vattenabsorption i kornen. Exempel på metoder för kapillär stighöjd som kan användas i detta projekt är EN1097-10 eller SS 132103.

#### ***5.3.6 Provningsmetoder för kontroll av frosthalka (värmekonduktivitet)***

Att känna till värmekonduktiviteten för ett väg- och anläggningsbyggnadsmaterial är viktigt ur två synpunkter – dels för att försäkra sig om att materialet inte bidrar till att öka frosthalkan, dels för att kunna utnyttja en eventuellt hög isoleringsförmåga vid dimensionering

Principen för att undvika frosthalka är att materialet inte får isolera för bra om det skall ligga nära slitlagret (värmekonduktiviteten måste vara större än ett visst värde). Dessa krav gäller bara överbyggnadslager och är således inte relevanta om materialen skall användas längre ner i konstruktionen.

En av askornas viktigaste fördelar jämfört med traditionell ballast är deras högre isoleringsförmåga, vilket kan utnyttjas då vägar skall dimensioneras. Värmekonduktiviteten beror av flera parametrar varav de viktigaste är kornstorleksfördelningen, packningen och fukthåll. Angående fukthalten så har tidigare forskning [1] visat att aktuell värmekonduktivitet kan interpoleras med tillräcklig noggrannhet för en given fukthalt då man känner värmekonduktiviteten vid torrt respektive mättat tillstånd. Generellt är det viktigt att proven konditioneras på ett lämpligt sätt (packning, vattenhalt, kornstorleksfördelning etc.) innan provning av värmekonduktivitet utförs.

Provningsmetoder för värmekonduktivitet är oberoende av om materialet är traditionellt eller alternativt. Lämplig provningsmetod är SS 024211. Den apparatur som provningarna bör utföras med bör följa standard ISO8301, vilken är den som rekommenderas i ATB VÄG 2003 [7]. För att kunna göra en bra vägdimensionering måste man känna till värmekonduktiviteten i både fruset och ofruset tillstånd.

### ***5.3.7 Provningsmetoder för kontroll av dränering/permeabilitet***

Att känna till permeabiliteten för materialet är mycket viktigt eftersom denna påverkar vattenbalansen i materialet, vilket i sin tur kan påverka t ex tjäl rörelse och utlakning av föroreningar. Det finns inget krav på permeabilitet på traditionella byggnadsmaterial utan krav på kornstorleksfördelningen för traditionella material säkerställer att fullgod permeabilitet uppnås om man bygger enligt ATB VÄG 2003 [7].

Ur hållfasthetssynpunkt bör dräneringen av konstruktionen vara god (dvs ha tillräcklig permeabilitet) men ur miljösynpunkt bör dräneringen tvärtom vara låg eftersom utlakningen av föroreningar då begränsas. För mer information om detta hänvisas till SGIs rapport ”Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande” [28]. Andra krav på permeabilitet finns t ex inom konstruktion av tätskikt till deponier där krav finns att tätheten på materialet skall vara så hög som möjligt, dvs permeabilitet skall vara så låg som möjligt. Man vill kontrollera vattengenomströmningen från avfall till omgivning.

Permeabilitet eller hydraulisk konduktivitet mäts som vattnets strömningshastighet i meter per sekund. För att ge en bättre bild av vad ett sådant värde innebär hänvisas till tabell 5-1 där en omräkning gjorts till lämplig tidsenhet för olika mätvärden.

Tabell 5-1. Tabellen visar hur lång tid det tar för vattnet att perkolera 1 m genom ett material vid olika uppmätta hydrauliska permeabiliteter.

Table 5-1. The table shows the amount of time spent for water to move 1 m through a material for different hydraulic permeability.

Mätvärde, m/s	Tidsåtgång för vattnet att förflytta sig 1 m. (sek)	Tid för vattnet att förflytta sig 1 m. (lämpl tidsenhet)
$1 \cdot 10^{-10}$	$10^{10}$ s	320 år
$1 \cdot 10^{-9}$	$10^9$ s	32 år
$1 \cdot 10^{-8}$	$10^8$ s	3,2 år
$1 \cdot 10^{-7}$	$10^7$ s	4 månader
$5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^6$ s	3 veckor
$1 \cdot 10^{-6}$	$10^6$ s	12 dagar
$1 \cdot 10^{-5}$	$10^5$ s	1,2 dagar
$1 \cdot 10^{-4}$	$10^4$ s	3 timmar
$1 \cdot 10^{-3}$	$10^3$ s	20 minuter

Det finns ett antal olika metoder för att mäta permeabilitet. Antingen mäter man permeabilitet i direkta metoder, (t ex permeabilitetsförsök med variabel eller konstant tryckhöjd, rörpermeameter) eller med indirekta metoder som innebär att permeabiliteten beräknas utifrån resultatet från andra försök, t ex kompressometerförsök eller ödometerförsök. Man kan också uppskatta permeabilitet empiriskt genom beräkningar utifrån kornstorleksfördelningen.

### 5.3.8 Provningsmetod för krossmotstånd av lättballast

En del provningsmetoder för mekanisk beständighet har berörts tidigare i avsnitt 5.2. En provningsmetod som ej var med i det avsnittet är en provningsmetod för krossmotstånd av lättballast. Eftersom askor till viss del påminner om lättballast kan denna provningsmetod vara lämplig också för askor. prEN13055-1 bilaga A beskriver provningsmetoden som heter ”Determination of crushing resistance”. Principen är att en stålcylinder packas med materialet och kompakteras med vibration. En stålkolv pressas sedan nedåt och komprimerar materialet en viss given distans (20mm) varefter kraften som behövs registreras och uttrycks som krossmotstånd.

### 5.3.9 Provningsmetoder för organisk halt

I ATB VÄG 2003 [7] finns ett krav på att obundet material till överbyggnadslager högst får innehålla 2 vikts-% organiskt material på en provfraktion < 2 mm mätt med kolorimetermetoden (se bilaga B och avsnitt 5.3.9.2). Bakgrunden till denna regel är observationer att innehåll av organiskt material kan sätta ned bärförmågan på det obundna lagret, genom att det organiska materialet fungerar som någon form av friktionssänkande medel mellan ballastpartiklarna. Studier av t ex Bäckman [29] visade att E-modulen sänktes kraftigt då organiskt material blandades med bergkrossmaterial.

En viktig skillnad mellan organisk halt för traditionell ballast och organisk halt för askor är ursprunget av det organiska materialet. I fallet traditionell ballast utgörs oftast det organiska materialet av rester av avbaningslagret (översta skiktet av berg- eller grustakten), medan det för askor huvudsakligen rör sig om oförbränt material.



Förmodligen så påverkar inte dessa två typer av organiskt innehåll materialet på samma sätt, eftersom mekanismerna för stabilitetssänkningen är helt olika. Kunskaperna om inverkan på askors bärförmåga och stabilitet, beroende på organiskt innehåll, är bristfällig och behöver utredas vidare.

Förutom de nyss nämnda oklarheterna så finns det dessutom flera olika sätt att mäta organisk halt, och viss begreppsförvirring råder inom området. Resultatet av mätningen av organisk halt beror mycket av vilken metod man använder. En genomgång av halter och mätmetoder har gjorts av Bjurström och Berg [30] på uppdrag av Naturvårdsverket. De flesta metoder för att mäta organisk halt innehåller antingen någon form av förbränning och eller syrabehandling. Nedanstående tabell 5-2 är en översikt angående de olika typerna av kol som kan förekomma i en aska:

Tabell 5-2. Typer av kol, vad de finns i, hur de benämnes och hur de kan mätas.

Table 5-2. Types of coal, where they can be found, notification and how they are measured

Typ av kol	Finns i...	Benämning	Mätmetodik enligt EN13137
Allt kol	Allt oförbränt organiskt material, karbonater mm	TC	Fullständig förbränning och mätning av mängd CO <sub>2</sub>
Organiskt kol	biologiskt material, trärester, oförbränt	TOC (EC+OC)	TOC = TC – TIC
Ickeorganiskt kol,	bl a salter och karbonater, t ex CaCO <sub>3</sub> , NaCO <sub>3</sub>	TIC	Syra tillsätts till provet och bildad CO <sub>2</sub> bubblas ur med gas (t ex N <sub>2</sub> ). CO <sub>2</sub> i gasen mäts med IR.

Med EC (Elementary Carbon) avses oförbränt material i form av kol [30]. EC + OC (Organic Carbon) utgör då den totala mängden organiskt kol [30]. En annan vanlig förkortning är DOC (Dissolved Organic Carbon) vilket alltså är löst organiskt kol. Sådant kol kan alltså enbart existera i en vattenlösning. I en aska finns det en viss andel av kol som kan lösas ut på detta sätt, t ex då askorna släcks i vatten.

Nedan presenteras tre metoder att mäta organisk halt med för och nackdelar. En jämförande studie återges därefter och slutsatser dras.

### 5.3.9.1 Glödgningsförlust, LOI

Den vanligaste, enklaste och snabbaste metoden är glödgningsförlust (LOI = Loss of Ignition) där materialet hettas upp till en viss temperatur, ofta 550 °C, 800 °C, 950 °C eller 975 °C. Då materialet hettas upp sker en viktminskning på grund av ett antal reaktioner; det organiska kolet förbränns och övergår till CO<sub>2</sub> och vattenånga, eventuellt kemiskt bundet vatten avgår som vattenånga, kol i karbonater oxideras och övergår till CO<sub>2</sub>. Även andra ämnen kan förflyktigas eller sönderdelas i en fast återstod och en gas. Den totala viktminskningen används ibland felaktigt som ett mått på innehåll av organiskt material, trots att reaktionen med organiskt kol bara är en av flera reaktioner som sker vid metoden.

LOI är en således en ganska trubbig metod för att mäta organiskt material eftersom även annat än organiskt material enligt ovan kan försvinna vid upphettningen. För askor som släckts i vatten (vilket görs för de flesta bottenaskor) så binds även en del vatten upp (t ex som kristallvatten i salter) i askan i samband med släckningen. Detta medför att en del av viktminskningen vid LOI-försök beror på avgång av bundet vatten. Samma resonemang gäller kol från karbonater. Om hänsyn ej tas till detta innebär det att det organiska innehållet överskattas då man använder LOI-metoden [29]. Enligt Bäckman [29] är glödning som metod inte lämplig för material som innehåller karbonater eller vissa lermineral.

Om man ändå använder glödning för att mäta organisk halt är det viktigt att ange vid vilken temperatur som glödningen utförts eftersom glödning vid högre temperatur ger en större viktminskning än glödning vid en lägre temperatur [8,29].

#### **5.3.9.2 Kolorimetermätning**

Denna metod är ”skräddarsydd” för Vägverkets ATB VÄG 2003 [7] och togs fram för ganska länge sedan. Metoden bestämmer den organiska halten genom en snabb våtförbränning (våtförbränning är ej lika med förbränning i vanlig mening utan tillsats av kaliumdikromatlösning och svavelsyra till provet) och efterföljande mätning av färgreaktionen med hjälp av en kolorimeter [8]. Metoden skall göras på material under 2 mm och är bara tillämpbar om den organiska halten understiger 58 % (SS 02 71 20).

Vid en granskning av metoden av sakkunniga [40] på analysmetoder påpekas att metoden ej detekterar alla organiska ämnen, t ex svåroxiderande organiska ämnen kommer ej att detekteras. Metoden kommer också att störas av lättoxiderbara oorganiska ämnen.

#### **5.3.9.3 Total Organic Carbon (EN13137)**

Denna metod är utvecklad för att mäta TOC. Metoden är inte speciellt utvecklad för askor utan är generell. I denna norm definieras TOC som det kol som omvandlas till koldioxid vid förbränning och som inte frigörs vid syrabehandling [8]. Mätningarna kan göras antingen genom att bestämma totalt kolinnehåll (TC) och subtrahera med totalt ickeorganiskt kol (TIC), eller så bestäms totalt organiskt kol (TOC) direkt. Principen är att alltså att  $TOC + TIC = TC$ .

Fördelen med metoden är att den bygger på modern laboratorieteknik och att man med större säkerhet vet vad man mäter än med tidigare nämnda metoder.

#### **5.3.9.4 Jämförande studier av provningsmetoder för organisk halt**

Arm [8] har visat att glödning och kolorimetermätning kan ge stora skillnader i resultat, eftersom kol från oorganiska komponenter (t ex karbonater) ofta kan avgå i större utsträckning vid glödning, speciellt vid höga temperaturer, än vid kolorimetermätning. Förutom kol från oorganiska komponenter kan en del bundet vatten avgå vilket också bidrar till viktminskningen [8,32]. Kolorimetermätning gav i försöken alltid lägre värden än glödningssmetoden, som i sin tur visade på högre värden (pga avgång av diverse materia) då temperaturen höjdes. Tabell 5-3 visar resultaten av den jämförande studien.

Tabell 5-3. Jämförande provning av kolorimetermetoden och LOI-metoden. LOI-metoderna ger genomgående högre värden [8].

Table 5-3. Comparative testing of the colorimetric method and the LOI-method. In general, the LOI-method gives higher values than the other method [8].

	Slaggrus, %	Krossad betong, %	Krossad granit, %
<b>Kolorimetermetode n</b>	1,7	0	0
<b>LOI 550 °C</b>	4,1	1,76	0,74
<b>LOI 950 °C</b>	6,3	6,3	1,1

Ur tabellen 5-3 framgår att LOI vid 550 °C och 950 °C påvisar ”organiskt” material då tester gjordes på slaggrus, krossad betong och krossad granit. Speciellt intressant är resultatet att LOI-metoderna hittar ”organiskt” material i krossad betong och krossad granit, där kolorimetermetoden inte hittar något organiskt material överhuvudtaget. Kolorimetermetoden är således ganska bra på att mäta det som eftersöks, TOC, det organiska materialet. Nackdelen är att metoden är relativt omodern. Eftersom den standardiserade moderna metoden SS-EN13137 enbart mäter det som är av intresse, TOC, så förefaller den vara en lämplig metod att gå vidare med då andelen oförbränt i askor skall analyseras.

#### **5.3.9.5 Slutsatser organisk halt**

Organisk halt är en viktig parameter att kontrollera för askor. Två saker är viktigt betänka:

- Man bör ej likställa påverkan från innehåll av organiskt material i naturballast med påverkan av innehåll av organiskt material i askor. Mekanismerna för hållfasthetssänkning beroende på organiskt material i askor och traditionell ballast är skiljer sig åt och är ett område där mer kunskap behövs.
- Mätningen av organisk halt kan ske på många olika sätt som inte är jämförbara. LOI ger i allmänhet ett för högt värde eftersom den inkluderar en del ytterligare materia än det organiska innehållet (TOC). Kolorimetermetoden förefaller mäta det efterfrågade (TOC) men är omodern. SS-EN13137 borde fungera bra i sammanhanget eftersom den mäter TOC enligt moderna metoder.

Detta projekt bör använda metoderna som bygger på SS-EN13137 för att utreda hur mycket av kolet som är oorganiskt respektive organiskt (TOC+TIC=TC). Vilken typ av organiskt kol som bidrar mest till hållfasthetssänkningen (OC eller EC) bör också belysas om möjligt.

## **5.4 Summering av kapitel 5**

Kapitlet har studerat projekt om alternativa provningsmetoder samt gett en överblick över etablerade provningsmetoder. De alternativa material som varit föremål för undersökning i projekten har i de flesta fall inte varit askor. Kolbottenaska har endast undersökts i ett fåtal projekt [1,46]. Slaggrus har däremot förekommit i flera av projekten. Det mest undersökta alternativa materialet förefaller dock att vara krossad betong.

De krav som gäller för material till obundna överbyggnadslager enligt ATB VÄG 2003 [7] berör organisk halt, andel okrossat material, motstånd mot nötning, kornstorleksfördelning och värmeledningsförmåga. Inget av dessa krav förutom värmeledningsförmåga går att tillämpa direkt på askor eftersom funktionen kan uppfyllas av askan även om den (traditionella) provningsmetoden visar det motsatta.

De flesta av de studerade projekten har ej utvecklat nya metoder för de alternativa materialen utan snarare undersökt hur bra de metoder som redan utvecklats tidigare fungerar på dessa. Även om en provningsmetod visar sig fungera bra för det alternativa materialet så måste det också finnas kunskap om hur man skall tolka resultatet för att kunna dra korrekta slutsatser.

#### ***5.4.1 Provningsmetoder oberoende av materialets ursprung***

Det faktum att ett material inte är naturgrus eller krossat berg medför inte per automatik att andra provningsmetoder än de för traditionella material måste användas. För en del provningsmetoder får man ut relevanta resultat oberoende om materialet anses vara traditionellt eller alternativt. Detta gäller bl a för mätningar av skrymdensitet, permeabilitet och värmekonduktivitet.

#### ***5.4.2 Provningsmetoder för vissa egenskaper***

Ett stort antal egenskaper måste dock provas för alternativa material men inte för traditionella, eftersom kunskaper som kommit från erfarenheter i fält fortfarande är bristfällig för de alternativa materialen. För de traditionella materialen räcker det i detta fall med att materialet har rätt kornstorleksfördelning. Sådana egenskaper som behöver provas (i alla fall inledningsvis) för alternativa men ej för traditionella material är:

- bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression
- frostbeständighet
- mekanisk beständighet
- tjällyftning
- frosthalka (värmekonduktivitet)
- dränering
- packningsegenskaper
- kornstorleksfördelning
- vattenabsorption
- kapillär stighöjd eller vattensughöjd
- organisk halt

Resten av detta avsnitt är en sammanfattning av det som utvecklats tidigare i kapitlet om ovanstående egenskaper.

- bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression

För att kontrollera bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression hos alternativa material har flera metoder inventerats som alla bygger på att en större mängd av korn testas såsom en hel kropp, istället för att enskilda korn testas. Den metod som ett flertal projekt [1,8,23] förespråkar för att kontrollera bärförmåga mm är dynamiskt triaxialförsök. Metoden är mindre lämplig för rutinmässig kvalitetskontroll, men den ger mycket information om materialet och kan användas i eventuell typprovning. För rutinmässig kvalitetskontroll bör någon enklare metod kopplas till de dynamiska triaxialförsöken, t ex kompressibilitetsprovning eller modifierad kompressibilitetsprovning.

- frostbeständighet

Att använda vattenabsorptionen som en indikator på frostbeständigheten är ej relevant för askor. Test av detta bör göras med frys-tö-försök. Här finns två likartade EN-metoder att tillgå, varav den ena är avsedd för lättballast, varför denna rekommenderas. Dock är det viktigt att uppnå rätt konditionering av proven innan provning påbörjas (vattenabsorption mm) innan provningen påbörjas för att få ett relevant resultat.

- mekanisk beständighet

Detta provningsområde är det som tydligast visar att traditionella provningsmetoder ej passar för alternativa material eftersom alla former av kvarnar effektivt mal ner de flesta alternativa materialen. Istället kan denna egenskap kontrolleras genom att kontrollera hur mycket kornstorleksfördelningen förändras före och efter annan provning. Den kontrollen kan också kombineras med provning avsedd för krossmotstånd mot lättballast ”bulk crushing resistance”.

- tjällyftning

Tjällyftning bör kontrolleras om askorna har en kornstorleksfördelning som ligger i det området där tjällyftning brukar förekomma. Tjällyftningen kan provas experimentellt med VVMB609:1994. En vidareutvecklad variant enligt Hermansson [45] av denna metod kan också användas. Tjällyftningen kan också beräknas med VVMB301 [44] som är den beräkningsmodell som förekommer i Vägverkets dimensioneringsprogram PMS. Denna modell förutsätter dock att man vet ett antal parametrar om materialet, bl vatteninnehåll. Tjällyftningen beror bl a på vatteninnehållet och man behöver inte ha vattenmättade förhållanden för att tjällyftning skall förekomma. Det är dock viktigt att veta hur stor vattenhalt som föreligger varför vattenmättnaden ändå är av stor betydelse.

- frosthalka (värmekonduktivitet)

För att prova värmekonduktiviteten används en metod där det material som skall undersökas läggs in mellan två plattor av olika temperatur. Provningsmetoden går således att använda oberoende om materialet är traditionellt eller alternativt. Det är dock

av stor betydelse att materialet konditioneras korrekt innan man provar värmekonduktiviteten eftersom denna beror både av packningen och vatteninnehållet.

- dränering / permeabilitet

För att mäta dränering finns ett antal olika metoder som antingen bygger på självtryck eller att ett externt tryck läggs på. Vilken metod som väljs har ingen större betydelse eftersom resultatet i det närmaste är oberoende av vilken metod som används, utan andra parametrar såsom kostnader och tillgänglighet kan styra valet.

- packningsegenskaper

Fyra olika metoder för att kontrollera packningsegenskaper förekommer, proctorpackning (standard eller modifierad), vibrobord samt gyratorisk packning. Eftersom askor har svagare korn än traditionell ballast så är de metoder som packar skonsammast att föredra [1], vilket i så fall skulle utesluta modifierad proctorpackning (tung instampning) eftersom den packar materialet med större kraft än standard proctorpackning (lätt instampning). Vibrobordet verkar också fungera för askor [1], med den begränsningen att materialet måste vara vattenmättat, vilket medför att materialet också måste ha en viss permeabilitet, samt att maximal densitet då inte kan bestämmas.

- kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelningen är viktig att känna till och borde i viss mån fungera som en indikator på andra egenskaper även för alternativa material, på samma sätt som för traditionella material. Kornstorleksfördelning kan tas fram med traditionella metod med den modifieringen att den skall ske mer skonsamt, dvs uppdelat på fler delprov och med kortare siktningstid, max 5 minuter.

- vattenabsorption

Att bestämma vattenabsorptionen är viktigt för att få relevanta resultat för ett antal andra egenskaper, bl a frostbeständighet, tjällyftningsbenägenhet och värmekonduktivitet. Vattenabsorptionen bör bestämmas med långtidsabsorption (ca 3 månader för bottenaskor) och en nyutvecklade accelererade vakuummetod. En frostprovning jämförelse som föregåtts av olika vattenabsorptionsmetoder är värdefullt att studera.

- kapillär stighöjd eller vattensughöjd

Provningsmetoden är inte direkt beroende av det material som provas. För porösa material kan resultatet dock bli en kombination av kapillär uppsugning och vattenabsorption. Etablerade metoder för kapillär stighöjd kan användas.

- organisk halt

Detta är mycket viktigt för askor eftersom organiskt material kan påverka bärförmåga och stabilitet. Innehåll av organiskt material i en aska bör dock ej likställas med samma mängd organiskt innehåll i traditionellt material eftersom mekanismerna för hållfasthetssänkning är olika. LOI överskattar generellt den organiska halten eftersom den inkluderar mer än organiskt material och kolorimetermetoden är mycket omodern. Metoden EN13137 bör fungera bra eftersom den mäter organiskt material (TOC) enligt moderna metoder.

## 5.5 Provningsmetoder – slutsatser

Generellt så behöver de alternativa materialen provas i större utsträckning än de traditionella eftersom kopplingen mellan ett fåtal lab-egenskaper och beteende i fält inte är lika utforskat för askor som för de traditionella materialen. För en del egenskaper kan samma provningsmetoder användas för askor och för traditionella material, t ex densitetsprovningar, men för de flesta egenskaper krävs någon form av anpassad metod.

För askor bör bärförmåga, stabilitet, sättning och kompression provas med dynamiskt triaxialprov kombinerat med någon form av enklare prov, t ex kompressibilitetsprov. Vattenabsorptionen bör ägnas speciell uppmärksamhet eftersom den är betydande men långsam för askor och tidigare har försummats. Att korrekt vattenabsorption tillämpas är viktigt bl a för provning av frostbeständighet (som bör göras med frys-tö-prov), tjällyftningsbenägenhet samt värmekonduktivitet (motstånd mot frosthalka). Tjällyftningsbenägenheten kan provas med etablerade metoder om korrekt vatteninnehåll föreligger. Värmekonduktiviteten kan provas med samma metod för askor som för traditionella material förutsatt att materialet konditioneras korrekt.

Kornstorleksfördelningen bör provas enligt varsamma varianter på etablerade metoder, samt att förändringar i kornstorleksfördelning vid annan provning kontrolleras. En speciell krossmetod (utvecklad för lättballast) för att kontrollera mekanisk beständighet bör också kunna användas för askor.

Angående packning bör etablerade metoder kunna användas. Företrädevis de som hanterar materialet mest skonsamt, dvs lätt instampning eller vibrobord. Mätning av permeabilitet är inte speciellt beroende av det material som skall testas varför någon av de etablerade metoderna bör kunna användas.

För kapillär stighöjd kan etablerade metoder användas. För porösa material kan det erhållna resultatet dock bli en kombination av uppsugning på grund av kapillaritet och uppsugning på grund av vattenabsorption i kornen.

Organisk halt är viktigt för askorna eftersom denna påverkar bl a stabiliteten. En metod som mäter rätt sak (enbart organiskt material) och dessutom är modern bör användas, t ex SS-EN13137.

## **6 Kontroll av funktionskrav för askor – etapp II**

Projektet är planerat till två etapper, där etapp II består av en karaktärisering och provning av askorna på det sätt som etapp I rekommenderar.

Syftet med etapp II i projektet är att noggrant karaktärisera askornas tekniska egenskaper. Att känna till dessa är en förutsättning för att askorna skall kunna användas på rätt sätt inom väg- och anläggningsbyggnad.

Det är viktigt att provningsprogrammet för etapp II utformas på ett sådant sätt att man får ut största möjliga kunskap för satsade medel. Detta innebär t ex att man förmodligen inte behöver göra samtliga typer av provningar på alla askor, utan ett väl genomtänkt provningsprogram gör att provningarna kan fördelas så att de ger så mycket ny kunskap som möjligt.

### **6.1 Provningsprogram för askorna**

I kapitel 4 gjordes en genomgång av funktionskrav för askor till väg- och anläggningsbyggnad. Kapitel 5 innehåller en genomgång av provningsmetoder för alternativa material och etablerade metoder som inte beror av materialursprung. Detta kapitel är ett förslag på hur de funktionskrav som finns i kapitel 4 kan kontrolleras med hjälp av de provningsmetoder som listas i förra kapitlet. Det planerade provningsprogrammet är uppdelat i två faser, ”inledande karaktärisering” och ”fortsatt karaktärisering”. I den inledande karaktäriseringen så kontrolleras huvudsakligen indikatorerna och dimensioneringsegenskaperna (se kapitel 4), men också ett av funktionskraven, packningsegenskaperna. Den fortsatta karaktäriseringen avser att kontrollera resterande funktionskrav som ställdes upp i föregående kapitel. Upplägget av provningen i den fortsatta karaktäriseringen beror mycket på resultatet av den inledande karaktäriseringen.

#### ***6.1.1 Inledande karaktärisering***

I denna fas provas följande egenskaper, dvs fem olika indikatorer och en funktionsegenskap (jämför figur 4-1):

- kornstorleksfördelning
- vattenabsorption
- kapillär stighöjd / vattensughöjd
- organisk halt
- skrymdensitet
- packningsegenskaper

#### ***6.1.2 Fortsatt karaktärisering***

I den fortsatta karaktäriseringen så skall huvudsakligen kunskap tas fram om de funktionskrav som definierades i föregående kapitel. Ett av funktionskraven har redan undersökts i den inledande karaktäriseringen (packningsegenskaper) varför den inte behöver undersökas i denna fas. De funktionskrav som skall undersökas är:



- Bärförmåga och stabilitet
- Sättning och kompression
- Beständighet (frost- och mekanisk-)
- Tjälegenskaper
- Frosthalka (värmekonduktivitet)
- Dränering (permeabilitet)

Denna fas följer tabell 4-1 angående provningsmetoder. För förtydligande om målet med respektive funktionskrav och provningsmetoder, se avsnitt 4.3 och 5.3.

## 6.2 Resultat av karaktäriseringen

Resultaten av den inledande och den fortsatta karaktäriseringen kommer att sammanställas. Från denna sammanställning kommer en bedömning göras huruvida askorna uppfyller funktionskraven för olika tillämpningar. En bedömning hur mycket variation det finns mellan askorna för var och en av de provade egenskaperna kommer också att utföras, dvs inte hur mycket en enskild aska varierar för en viss egenskap, utan hur en viss egenskap varierar för gruppen askor.

Beroende på askornas förmåga att uppfylla funktionskraven kommer tillämpningsområden för askorna att föreslås.

## 6.3 Förslag till kontrollordning

För att öka användningen av askor till väg- och anläggningsbyggnad krävs någon form av kvalitetssäkring att dessa, inom givna variationsramar, verkligen kontinuerligt har de egenskaper som mäts upp vid stickprov [6]. Den inledande och fortsatta karaktäriseringen av askornas egenskaper kommer att visa hur väl de kan uppfylla funktionskraven som definierats tidigare i rapporten. Med detta som bakgrund samt förslaget i tabell 4-1 kommer en kontrollordning att utarbetas som definierar vad som skall provas för varje typ av aska för en viss applikation, dvs:

- vilka egenskaper som skall provas och hur ofta (typprovning respektive tillverkningskontroll)
- vilka metoder som skall användas
- vilka variabler som skall deklarerats
- hur variablerna skall deklarerats (min-, maxvärde, intervaller mm, klassindelning)
- i vilka typer av projekt som askan passar som byggnadsmaterial (t ex lämpligast som undergrund eller förstärkningslager etc.)

## 6.4 Summering kapitel 6

Kapitlet presenterar hur funktionskraven skall kontrolleras med hjälp av att först prova indikatorerna och packningsegenskaperna (inledande karaktärisering) som följs av direkt prov av funktionskraven (fortsatt karaktärisering) med metoder enligt kapitel 4 och 5.

Då askornas förmåga att uppfylla funktionskraven klarlagts föreslås en kontrollordning för att kunna kvalitetssäkra askorna långsiktigt.

## 7 Askor till väg- och anläggningsbyggnad

Detta kapitel redogör för ungefärliga mängder av olika askor som produceras i Sverige. I kapitlet ställs det också upp krav för askorna för att de skall bli aktuella för mer ingående undersökningar i kommande etapper. Den inventering av bottenaskor som genomförts speciellt för detta projekt redovisas också.

### 7.1 Askproduktion i Sverige

Enligt Svenska Energiaskors uppskattning och beräkningar är askproduktionen i Sverige år 2003 enligt tabell 7-1 nedan. Observera att majoriteten av askor som uppkommer från förbränning av dessa material är i blandad form, dvs askorna uppkommer då man förbränner blandningar av de i tabellen ingående bränslena.

Tabell 7-1. Grov uppskattning av askmängder år 2003 i Sverige enligt Svenska energiaskor [38]. Huvudsakligen våt vikt.

Table 7-1. A rough estimation of ash amounts the year 2003 in Sweden according to "Swedish Energy Ashes"

Typ av förbrännings-anläggning	Typ av bränsle	Mängd bottenaska, tusen ton	Mängd flygaska inkl rökgasrenings-produkter, tusen ton
Rost	Avfall (hushåll+ industri)	400	70
	Kol och gummi	15	10
	Pappersindustrier	100	60
	Returträflis	15	5
	Trä och torv	35	15
	Sågverksindustrin	80	20
Pulver	Kol	15	30
	Trä och torv	15	40
CFB <sup>1</sup> och BFB <sup>2</sup>	Avfall (hushåll+industri)	20	30
	Pappersindustrin	30	70
	Returträflis	15	15
	Kol (PFCB <sup>3</sup> )	20	20
	Trä och torv	25	30
	<b>Summa</b>	<b>785</b>	<b>415</b>

<sup>1</sup> CFB = Cirkulerande Fluidiserad Bädd,

<sup>2</sup> BFB = Bubblande Fluidiserad Bädd,

<sup>3</sup> PFCB = Trycksatt Fluidiserande Cirkulerande Bädd

Detta är olika varianter av tekniker som bygger på samma princip, dvs att bränslet förbränns i en bädd av sand. "Fluidiseringen" åstadkoms genom att tillsätta luft genom dysor i botten på bädden.

## **7.2 Kriterier på bottenaskor för att vara med i detta projekt**

För att erhålla goda resultat från projektet måste ett urval ske från den totala mängden bottenaskor som produceras i Sverige. Detta urval kan göras med hjälp av olika kriterier. Text bör askorna komma från både pappersindustri och energiproduktion, inte härröra från samma typ av bränsle osv. Det urval som presenteras senare i detta kapitel grundar sig på följande kriterier, vilka är rangordnade i fallande skala med avseende på betydelse:

- Urvalet skall återspegla olika typer av askor i Sverige, både från energiproduktion och från processindustri, främst pappersindustrin
- Urvalet skall motsvara askor som finns i stora mängder i Sverige
- De ingående bränslena i askan skall vara vanligt förekommande
- Askans avsättning bör i dagsläget vara relativt odefinierad
- Askorna bör komma från finansiärer till Värmeforsks askprogram

## **7.3 Inventering av bottenaskor för detta projekt**

För att kunna välja ut lämpliga bottenaskor enligt de kriterier som satts upp enligt avsnitt 7.2 har en inventering av bottenaskor gjorts speciellt för detta projekt. Bakgrunden till inventeringen utgjordes dels av en förteckning över askproducenter som erhöles av Svenska Energiaskor, dels en lista över de förbränningsanläggningar som finns med i askprogrammet.

De inventerade anläggningarna har pannor som förbränner de flesta på marknaden förekommande bränslena såsom olika typer av avfall, kol, olja, gummi, plast, RT-flis, avsvärtnings slam, fiberslam, bark, torv, trä, papper och biobränslen av olika sorter. Resultatet av inventeringen återfinns i bilaga C. Det är denna inventering som ligger till grund för det urval av askor som skall ske inför etapp II i projektet.

## 8 Erfarenheter av bottenaskor till väg- och anläggningskonstruktion i Sverige.

Syftet med detta kapitel är att ge en översikt över vilka väg- och anläggningsprojekt som genomförts och dokumenterats i Sverige med bottenaska som konstruktionsmaterial, och hur man dimensionerat och eventuellt kompenserat för de alternativa materialens avvikande egenskaper. Avsnittet är av betydelse för att fastställa vilka erfarenheter som erhållits och undvika att man framöver genomför något som redan prövats.

### 8.1 Bottenaskor

De alternativa ballastmaterialen är av många olika typer, varav en viktig grupp utgörs av bottenaskor. En grov systematisk uppdelning av bottenaskor är:

- slaggrus
- kolbottenaskor
- panssander
- övriga bottenaskor

Slaggrus och kolbottenaskor behöver ingen närmre förklaring, vilket kan behövas för ”övriga bottenaskor” och panssander. Med övriga bottenaskor menas i detta projekt sådana askor som tillkommit genom förbränning av mer eller mindre definierade blandningar av bränslen såsom kol, gummi, returträflis, avsvärtnings slam, bark, biobränsle, olja och fiberslam. Nästa kapitel behandlar detta utförligare. Panssander är bottenaska från CFB och BFB-pannor och består av en blandning av förbränningsprodukter och den sand som används i dessa panntyper.

De erfarenheter som erhållits av bottenaskor i Sverige är till största delen från de två förstnämnda kategorierna, dvs slaggrus och kolbottenaskor. För de övriga bottenaskorna så är kunskaperna mindre och sämre systematiserade med avseende på användning som väg- och anläggningsbyggnadsmaterial.

### 8.2 Slaggrus

Omfattande undersökningar har genomförts på slaggrus av RVF och SYSAV i Malmö och av Arm [8] (se avsnitt 5.2.5 i denna rapport). Det har även byggts en del anläggningar med slaggrus som konstruktionsmaterial, t ex:

- Törringevägen (förstärkningslager i gata)
- Containerterminal för SJ
- Svårgertorp (slaggrus i parkeringsplats, förstärkningslager)
- Kompostplatta (slaggrus som förstärkningslager i Svedala)
- Slaggrusväg i Dåvamyran.

Det är av stort intresse hur man har byggt och vilka dimensioneringskriterier som användes i ovanstående fall. I fallet Törringvägen så dimensionerades den enligt VÄG 94 [43], enligt Fridh [35]. ”För fallet slaggrus användes tabell [anm: i VÄG 94] för naturmaterial, då det inte är en krossprodukt” [35].

Slaggruset i parkeringsplatsen lades i ett 40-50 cm tjockt förstärkningslager [22]. Ovanpå detta lades ett bärlager med 10-15 cm krossad betong. Man anger inte något regelverk med avseende på dimensionering. En liknande konstruktion utfördes för kompostplattan utan hänvisning till något regelverk. Den 350 m långa slaggrusvägen i Dävamyran konstruerades med slaggrus i bär och förstärkningslager.

Slutsatserna med avseende på slaggrus och dimensionering är att man har i stort sett följt traditionell vägbyggnadstradition. Slaggruset uppfyller inte alla krav i ATB VÄG 2003 [7] (andel krossat, kornstorleksfördelning mm) men konstruktionerna verkar ha fungerat ändå.

### **8.3 Kolbottenaska**

Den största och mest dokumenterade användningen av kolbottenaska i Sverige på senare tid har utförts i trakten kring Norrköping och Linköping, beroende på att Händelöverket producerar en stor mängd aska.

Den enskilt största användningen har skett då E4an utanför Norrköping byggdes om i början på 90-talet [13]. Stora mängder material behövdes för att konstruera uppfartsramper och jämna ut nivåskillnader. Till en början hade man tänkt använda lättklinker, men utredde sedan möjligheten att använda kolbottenaska från Händelöverket. Man valde kolbottenaska på grund av att man trodde på materialet rent tekniskt samtidigt som det blev en avsevärd kostnadsbesparing [13]. Dimensioneringen av dessa lager skedde med vanliga principer för undergrunder, med de skrymdensiteter som redovisas i avsnitt 3.2.1. Några problem av teknisk eller miljömässig art har inte rapporterats på de 10 år som förflutit sedan byggnationen [13].

### **8.4 Pannsander**

Pannsander har som namnet antyder egenskaper som liknar sanders egenskaper. En inledande karaktärisering av panssander har gjorts i projekt Q4-220 där kornstorleksfördelning, packningsegenskaper och permeabilitet testades med syfte att kontrollera om panssander är lämpligt som utfyllnadsmaterial till rörgravar. Permeabiliteten överensstämde med ”konventionella naturmaterial med likartad kornstorleksfördelning”. Panssand är inte tjälfarlig vilket framgick av kornstorleksfördelningen enligt rapporten.

Ovanstående projekt är ett av det fåtal projekt som undersökt panssanders tekniska egenskaper. Projektet ovan omfattade ej tekniska undersökningar med syfte att använda panssand till vägbyggnad. Om denna applikation önskas måste kompletterande undersökningar göras. Rapporten nämner att det måste klargöras vilka krav som ställs i ATB VÄG 2003 [7], värmeledningstalet måste bestämmas, samt bärighetsbestämningar med plattförsök i fält måste utföras.

## 8.5 Övriga bottenaskor

Den dokumenterade användningen av övriga bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad är mycket sparsam. Det finns ett par rapporter som beskriver några projekt, men det stora flertalet av projekt är förmodligen odokumenterat, eller dokumenterat i icke sökbar form. Trots detta har förmodligen askor använts som fyllnadsmassor och till byggnation av mindre vägar på flera håll i Sverige, utan att detta dokumenterats eller följts upp.

### *8.5.1 Erfarenheter från kartläggningen i detta projekt.*

Den kartläggning som gjorts i detta projekt angående bottenaskor visar att askorna ofta har använts som konstruktionsmaterial inom eget område eller inom deponier. Erfarenheterna från askorna har i dessa fall oftast varit god. Då bottenaskorna skall användas utanför eget område och speciellt om någon entreprenör är inblandad i processen ställs dock helt andra krav på att materialet är väldefinierat och hållbart även på lång sikt. En annan anledning till att användning utanför eget område är ganska sparsam beror på osäkerheter hur miljöegenskaperna skall bedömas, vilket belyses i ett parallellprojekt till detta projekt, projekt Q4-104 "Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande" [28].

### *8.5.2 Rapport om aska från skogsindustrin 1993*

Institutet för vatten- och luftvårdsforskning (IVL) refererar 1993 i en rapport [36] ett par mindre projekt där aska använts i vägsammanhang. Biobrännleaskor från Hylte, Rockhammar och Fors bruk användes till skogsbilvägar och cykelvägar. Man konstaterade att en del oförbränt material fanns i askan och att den orsakade sämre bärighet, vilket liknande studier också kommit fram till. Bärigheten på konstruktionen jämfördes och askan från Hyltebruk (bark och slam) uppvisade en något sämre bärighet än traditionella material.

### *8.5.3 Systematisk genomgång av kol- och blandaskor 1997*

En genomgång av askhanteringen och speciellt planer för nyttiggörande gjordes 1997 och redovisades i en rapport [37]. Cirka 50 anläggningar kontaktades och deras planer för nyttiggörande av askorna redovisades. Rapporten tar speciellt upp askorna som lättfyllnadsmaterial och påpekar fördelarna med att använda aska på detta sätt. Ur bärighetssynpunkt kan askorna jämföras med grus eller sand, enligt rapporten. Man refererar bl a till projektet med kolbottenaska som finns beskrivet under rubrik 8.3.

Förutom de ovan redovisade rapporterna finns en stor mängd rapporter som redovisar försök med både bottenaska och flygaska tillsammans med blandningar av andra typer av alternativa material, för många olika applikationer.

## 8.6 Summering av kapitel 8

Sammanfattningsvis kan sägas att kunskaperna och erfarenheter av användning är störst med avseende på slaggrus och kolbottenaska. Kunskapen finns dock koncentrerad till de regioner som har dessa askor. Angående de övriga bottenaskorna så är kunskaperna om och erfarenheterna av att använda dessa inte lika stora.

De tekniska erfarenheterna av slaggrus är att detta material kan användas som förstärkningslager utan problem. Kolbottenaskan har använts till underbyggnad med goda erfarenheter. För de övriga askorna kan inte någon sådan generell slutsats dras eftersom den systematiska kunskapen är för liten om dessa. I allmänhet behövs mer kunskap om alla askorna, men i synnerhet behövs kunskap om gruppen ”övriga” askor.



## 9 Diskussion

Varför skall man överhuvudtaget anstränga sig för att försöka använda bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad? Det finns ett flertal skäl till detta varav de två viktigaste redan nämns i rapportens första kapitel, dvs att traditionellt material (naturgrus) är en begränsad resurs, samt att även deponiutrymme kan ses som en ”begränsad resurs”. Bara sådant material som verkligen behöver ligga på en deponi skall läggas där.

### 9.1 Bottenaskor och infrastruktur

Förutom de två nämnda skälen så är vägar och anläggningar någonting som alltid kommer att byggas, både i form av nybyggnation och renovering, vilket gör att avsättningen blir mycket långsiktig om man kan se till att de krav som ställs på askor som byggnadsmaterial kan uppfyllas. För närvarande används bottenaskor mycket som konstruktionsmaterial för att bygga vägar på deponier och för att användas som ett material för sluttäckning av deponier. Eftersom nya EU-riktlinjer för deponier måste tillämpas från och med år 2009 (enligt det nya deponidirektivet [47]) som ställer höga tekniska, miljömässiga och ekonomiska krav, så är det just nu väldigt många deponier i Sverige som håller på att avslutas genom sluttäckning. I många fall är säkert materialen lämpade som ett sluttäckningsmaterial tillsammans med andra, och materialbehovet för att täcka alla deponierna är mycket stort. Dock så är också detta en avsättning som kommer att minska dramatiskt i och med nästan alla nu pågående deponier avslutas. Vägar och anläggningar kommer däremot att byggas kontinuerligt under lång tid framöver.

Så länge som samhället har behov av värme kommer förbränning att fortgå. Förbränningsanläggningarna i huvudsak koncentrerade till de regioner där befolkningstätheten är relativt stor, dvs askorna produceras i de områden där människor bor. I dessa områden är också behovet av ballastmaterial som störst samtidigt som det med stor sannolikhet kommer att bli brist på traditionell ballast i just sådana områden i takt med att täkter för traditionellt material blir en bristvara. Ett exempel på denna typ av område är t ex Göteborgsregionen som till stor del uppfyller beskrivningen ovan. Således är infrastruktuuraspekterna för bottenaskor goda – askor finns där människor finns och där kan det också vara brist på traditionellt material.

Även om askor finns där människor finns enligt ovan så kan det vara en svårighet med att använda askor som byggnadsmaterial eftersom askorna uppkommer i ganska små mängder på många olika platser – i alla fall om man har perspektivet vägbyggnad. I synnerhet vägkonstruktioner kräver stor mängd väldefinierat material under en ganska kort tidsperiod. Ett alternativ är att askor från flera mindre producenter tas om hand av en entreprenör som lagrar upp askan och distribuerar den när behov uppkommer. För att i ett sådant läge få avsättning för askan är det speciellt viktigt att entreprenören vet vilka egenskaper askan och eventuellt askblandningen har för att utgöra ett attraktivt alternativ för byggherren. I detta perspektiv så förefaller alternativet att använda aska till anläggningskonstruktion som attraktivt eftersom det då oftast är mindre mängder som går åt vid varje tillfälle

## 9.2 Kunskapsläget

Den nuvarande kunskapen om bottenaskors tekniska egenskaper utgörs i stort sett av kunskaper om slaggrus och kolbottenaska från rostpanna. Dokumenterade tekniska egenskaper för andra bottenaskor än dessa två är fortfarande bristfällig. Visserligen finns en del kunskap som bygger på erfarenheter av att använda materialen kring deponier - vilket i de flesta fall fungerat mycket bra – men för att bottenaskor skall kunna användas rutinmässigt bör sådana egenskaper dokumenteras och kvalitetssäkras så att entreprenörer får den kunskap som behövs. Kravställningen på en aska som används på en deponi (oftast i egen regi) är heller inte lika hög som om materialet skall användas utanför deponin till riktiga vägar eller anläggningar. I det senare fallet är förmodligen även andra aktörer inblandade (entreprenörer etc) vilket ställer krav på materialet.

Denna rapport har föreslagit ett komplett provprogram i samband med att bottenaskorna skall karaktäriseras i etapp II. På sikt kan det visa sig att några av de egenskaper som skall provas har sådana värden så att fortsatt provning av den egenskapen är helt onödig. Resultatet från karaktäriseringen kommer att ge vägledning huruvida sådana slutsatser om omfattningen av framtida provning kan dras.

Det är också viktigt att påpeka att all provning inte behöver göras kontinuerligt. Omfattande och kostsam provning (typprovning) kan göras vid enstaka tillfällen om man samtidigt försäkras sig om att man kan kontrollera att den fortlöpande kvaliteten överensstämmer med den som uppmättes vid typprovningen.

## 9.3 Funktionsprovning för alla material?

Det är en svårighet för alla alternativa material i allmänhet och askor i synnerhet att det saknas kvantitativa nivåer på de funktionskrav som ändå finns. Till de svar man får fram med hjälp av funktionsinriktad provning finns ofta ingen referensram utan resultatet får bedömas genom jämförelser med andra material och erfarenhet från andra områden. Eftersom det tidigare inte funnits något behov att tillämpa funktionsprovning på konstruktionen (utan man har ställt vissa indirekta materialkrav) så har drivkraften att ta fram krav varit väldigt svag. Även om det kommer bli allt vanligare med alternativa material i framtiden är det mindre troligt att regelverken kommer gå över till att bara kräva funktionsprovning. Förhoppningsvis så kompletteras regelverken med gränser för vad som skall vara tillåtet för olika tillämpningar då funktionsprovning tillämpas.

I det rådande läget får resultatet av funktionsprovningen i detta projekt bedömas på bästa möjliga sätt. De bästa värdena att jämföra mot är värden som erhållits genom funktionsprovning på en väg- eller anläggning som bevisligen fungerar.

## 9.4 Nästa etapp

Det är först i nästa etapp som konkreta resultat om olika askor kan komma fram i och med karaktäriseringen. Resultat i nästa etapp kommer också att ge en värdefull information om tekniska egenskaper för några grupper av bottenaskor som tidigare aldrig har testats, t ex bottenaskor från pulverförbränning och bottenaskor där bränslet består av många olika fraktioner.

Miljöegenskaperna är mycket viktiga för askorna och bevakning och diskussioner med SGI:s parallellprojekt "Miljöriktlinjer för askor till väg- och anläggningsbyggnad" pågår kontinuerligt. I början av året 2004 kommer SGI att starta etapp II i sitt projekt som till stor del kommer att handla om modellering av miljöpåverkan från olika askor.

Ett annat betydelsefullt projekt om miljöbedömning av alternativa material håller för närvarande på att slutrapporteras, det VINNOVA-finansierade projektet AIS-32 "System för ökad användning av alternativa material i mark och anläggningsbyggande". I detta projekt har en omfattande miljöbedömning genomförts genom att beräkna platsspecifika riktvärden och jämföra dessa med utlakningsdata hos materialen, som i detta fall utgjordes av gjuterisand, bottenaska och stensmjöl. Projektet genomförs i samverkan mellan SP Bygg och Mekanik, Chalmers Geoteknik och Gjuteriföreningen.

## 10 Slutsatser

Denna rapport utgör redovisning av etapp I i ett projekt som är planerat till två etapper. Etappen har varit av inventerande karaktär och en planering av etapp II. Etappen har huvudsakligen handlat om att kartlägga funktionskrav på bottenaskor som väg- och anläggningsbyggnadsmaterial och de provningsmetoder som hör till detta område.

### 10.1 Funktionskrav

Funktionskraven på ett väg- och anläggningsbyggnadsmaterial kan i princip kondenseras till att materialen skall vara sådant att konstruktionen blir ”formbeständig”, ej orsaka frosthalka samt att materialen skall kunna hanteras. Detta kan något mer utvidgat uttryckas:

- materialet måste ha en acceptabel bärförmåga och stabilitet
- materialet måste ha en acceptabel sättning och kompression
- materialet måste vara frost-, mekaniskt- och kemiskt beständigt
- materialet får ej orsaka oacceptabel tjällyftning
- materialet får ej bidra till att öka risken för att frosthalka uppstår
- materialet måste vara dränerande, dvs hålla tillräckligt hög permeabilitet
- materialet måste gå att hantera och packa

(Angående tjällyftning, frosthalka och dränering gäller detta enbart om materialen skall användas i vägöverbyggnad).

Ovanstående krav gäller oberoende av materialval och gäller således också för bottenaskor som skall användas till väg- och anläggningsbyggnad.

För att kunna använda bottenaskor som väg- och anläggningsbyggnadsmaterial gäller det att visa att ovanstående krav innehålls. Situationen kompliceras av att fastställda numeriska värden på funktionskraven ovan saknas för alla funktionskrav utom tjällyftning och frosthalka (om man bygger överbyggnadslager enligt ATB VÄG 2003 [7]). Det leder till att ny kunskap om bottenaskor för de andra funktionskraven måste utvärderas genom att jämföra med befintlig kunskap om funktionskraven (vad som kan bedömas vara rimligt för en viss användning). När mer kunskap om kopplingen mellan egenskaper i laboratorium och beteende i fält finns för bottenaskor bör kvalitetssäkringen till större del kunna ske genom att kontrollera materialegenskaperna hos bottenaskorna, på samma sätt som för traditionella material.

Olika tillämpningar ställer olika krav på bottenaskorna. Den tillämpning med högst krav är överbyggnadslager i vägar. För andra applikationer är kraven lägre. Om bottenaskan används till enklare tillämpningar än överbyggnadslager i väg, behöver man inte kontrollera lika många egenskaper.

### 10.2 Provningsmetoder

Ett stort antal provningsmetoder för väg- och anläggningsbyggnadsmaterial har inventerats och bedömts angående lämpligheten för att använda för bottenaskor.

Provningsmetodernas uppgift är att verifiera att de funktionskrav som beskrivs i föregående avsnitt uppfylls. För rekommenderade provningsmetoder, se tab 4-1 och kapitel 5.

För de två första funktionskraven, bärförmåga och stabilitet, och sättning och kompression rekommenderas en kombination av dynamiskt triaxialprov och kompressibilitetsprov.

För frostbeständighet rekommenderas frys-tö-försök på ett vattenmättat material för att få ett rättvisande resultat. Bottenaskan måste absorbera vatten i flera månader för att uppnå mättnad. En accelererad vakuummetod kan också användas.

Den mekaniska beständigheten bör kontrolleras med varsam siktning före och efter provning av mekanisk karaktär, t ex dynamiskt triaxialprov. Ett krossprov för lättballast "bulk crushing resistance" rekommenderas också till bottenaskor. Den kemiska beständigheten har inte bedömts vara central att utvärdera i detta skede, eftersom de andra två beständighetsaspekterna (mekanisk- och frostbeständighet) har större inverkan på beständigheten än den kemiska aspekten på beständighet.

Tjällyftningen skall vara marginell om materialet används i en vägöverbyggnad. Om detta behövs provas (tidigare försök har visat att kornstorleksfördelningen hos askor gör att de inte är tjälfarliga) för bottenaskor kan VVMB609:1994 användas med vattenmättade förhållanden i askan.

Funktionskravet angående frosthalka bedöms via materialets värmeledningsförmåga och är avgörande enbart om materialet skall användas i en vägöverbyggnad inom 0,5 m från vägytan. Materialet ursprung har mindre betydelse för vilken provningsmetod som används, utan standardmetoden kan tillämpas.

Den hydrauliska permeabiliteten är viktig om bottenaskan skall användas i en vägöverbyggnad. Detta kan provas med en samma metod oavsett material och rörpermeameter rekommenderas.

Bottenaskorna måste gå att hantera och packa. Detta kontrolleras via packningsförsöken och erfarenheter som erhålls då askorna genomgår inledande och fortsatta karaktärisering.

### 10.3 Övriga slutsatser

Erfarenheterna av bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad i Sverige är begränsad. Den relativt sett största kunskapen av teknisk karaktär finns för slaggrus och i viss mån för kolbottenaska. Den största användningen i fält har genomförts med kolbottenaska och slaggrus.

För övriga typer av bottenaskor (huvudsakligen från förbränning av blandade bränslen) är kunskaperna bristfälliga. I många fall har man gjort begränsade tekniska undersökningar och sedan använt askorna inom deponiområden med goda resultat.

Rapporten har tagit fram en provningsmetodik för att kontrollera de identifierade funktionskraven, genom att först analysera ett antal indikatorer (inledande karaktärisering) som följs av annan typ av provning som mer relaterar direkt till vissa funktionskrav (fortsatt karaktärisering). Provningsmetodiken eftersträvar att så mycket kunskap som möjligt skall erhållas till så låg kostnad som möjligt.

För att på lång sikt få relevanta erfarenheter bör man vara medveten om att användning av nya alternativa material är en successiv process där man först skall skapa förtroende genom funktionsprovning av materialen som visar att de kan förväntas klara de krav de utsätts för i vägkonstruktionen. Sedan måste demonstrationsprojekt genomföras där material med noggrant dokumenterade egenskaper provas och följs upp i verkliga vägkonstruktioner.

## 11 Litteraturreferenser

- [1] *Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad*, Vägverket, Publikation 2001:34, ISSN 1401-9612
- [2] Gustafsson M, Oberg-Högsta AL, Ekvall A, von Bahr B, *Inledande laboratorieförsök, Projekt AIS-32, delrapport 1*, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Geoteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, mars 2003
- [3] Ekvall A, von Bahr B, Savukoski M, *Riktlinjer för kvalitet hos jord och angränsande material – en sammanställning av rådande internationellt läge*, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP Bygg och Mekanik, SP Rapport 2003:04.
- [4] Knud A Pihl, Vegdirektoratet (Danska Vägverket)
- [5] *Bundsikringslag af forbraendningsslagge*, Vejteknisk Institut, Rapport 118, 2002, Vegdirektoratet
- [6] Kärrman E (uppdragsledare Scandiakonsult), van Moeffaert D, Bjurström H, Berg M, Svedberg B, *Förutsättningar för att askor kommer till användning i vägar*, Rapport Q4-207 inom Värmeforsks askprogram, Miljöriktig användning av askor, 2003
- [7] *ATB VÄG 2003*, Vägverket Publikation 2003:111, finns också på [http://www.vv.se/publ\\_blank/bokhylla/ATB/atb\\_vag/lista.htm](http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/ATB/atb_vag/lista.htm)
- [8] Arm M; *Egenskaper hos alternativa ballastmaterial – speciellt slaggrus, krossad betong och hyttsten*, Licentiatuppsats, Avdelningen för mark- och vattenresurslära, Institutionen för anläggning och miljö, Kungliga tekniska Högskolan, Stockholm, november 2000
- [9] *PMS objekt*, dimensioneringsprogram för Vägverkets vägar, finns fritt på: [http://www.vv.se/publ\\_blank/bokhylla/ATB/atb\\_vag/pmsobjekt.htm](http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/ATB/atb_vag/pmsobjekt.htm)
- [10] Klas Hermelin, Vägverket, personlig kommunikation oktober 2003
- [11] prEN 13055-2: Lättballast – del 2: lättballast för bitumenblandningar och ytbehandlindrar, och för obundna och bundna applikationer, CEN TC154 / TK187
- [12] Lovisa Moritz, ATB för lättklinker, [www.vv.se](http://www.vv.se), Vägverket
- [13] Jan Rogbeck, SGI, personlig kommunikation 2003-09-24

- [14] [www.cenorm.be](http://www.cenorm.be) eller <http://www.cenorm.be/CENORM/BusinessDomains/TechnicalCommittees/Workshops/CENTechnicalCommittees/>
- [15] EN13242: Ballast för obundna och hydrauliskt bundna material till väg- och anläggningsbyggande, CEN TC154 / TK187
- [16] EN 12620 – Ballast för betong CEN TC154 / TK187
- [17] Jan Bida, BBC / NORDCERT AB, personlig kommunikation 2003-09-25
- [18] Lotta Carlsson, besiktningsman Nordcert, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, personlig kommunikation
- [19] Stenberg F, Schouenborg B, *Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial, Kornstorleksfördelning*, NORDTEST Projekt nr 1292-96, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Byggnadsteknik, SP-rapport 1997:08
- [20] Ewertson C, Schouenborg B, Aurstad J, *Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial, Sprödhet*, NORDTEST Projekt nr 1393-97, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Byggnadsteknik, SP-rapport 2000:14
- [21] Fällman AM, Larsson L, Rogbeck J, *Slaggrus – miljömässiga och materialtekniska egenskaper*, SGI 1999, 1-9606-346, rapporten är också utgiven av RVF.
- [22] Grönholm, R., Hartlén J., *Kvalitetssäkring av slagggrus från förbränning av avfall*, Svenska Renhållningsverksföreningen, RVF-rapport 02:10, ISSN 1103-4092, april 2002
- [23] *ALT-MAT (Alternative Materials in Road Construction)* Projekthemsida med rapport: <http://www.trl.co.uk/altmat/index.htm> Projektledare: Dr J M Reid, Transport Research Laboratory, UK, Projektet avslutat 1999
- [24] VTI-aktuellt 3-2003, Väg- och transportforskningsinstitutet. Kontaktperson för projektet på VTI: Karl-Johan Loorents
- [25] COURAGE - Construction with Unbound Road Aggregates in Europe, <http://www.civeng.nottingham.ac.uk/courage/>
- [26] Lennart Folkesson, POLMIT, VTI Linköping, personlig kommunikation
- [27] Mácsik J, Pousette K, *Material- och miljöteknisk undersökning av grönlutsslam, mesa, kalkgrus, flyg- och bottenaska från Assi Domäns fem*



---

*svenska bruk*, Slutrapport, Luleå Tekniska Universitet, inst för väg- och vattenbyggnad, avd för geoteknik, Scandiaconsult, årtal saknas.

- [28] Håkansson, K., Bendz D m fl. *Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor anläggningsbyggande*. Värmeforsksprojekt inom Askprogrammet. Projektnummer Q4-104, 2003
- [29] Bäckman L. *Bestämning av organisk halt i grovkorniga material (bärlager)*. VTI-notat V84. Väg- och transportforskningsinstitutet 1984
- [30] Bjurström H, Berg M, *Oförbränt i aska: Halter, mätmetoder och konsekvenser*, ÅF på uppdrag av Naturvårdsverket, Stockholm 2003-01-14
- [31] Conny Haraldsson, doktor i analytisk kemi, SP enhet KM, personlig kommunikation
- [32] Pavasars I., *Composition of organic matter in bottom ash from MSWI. Waste materials in construction, Science and engineering of recycling for environmental protection*. Proceedings of the WASCON 2000. Elsevier Science Ltd, Oxford, London
- [33] Hjelmar et al. *Karakterisering af avfald*. Miljöprojekt nr 414, 1998. Miljöstyrelsen i Köpenhamn
- [34] *Användning av restprodukter i vägbyggnad*, Vägverket, Publ 1999:161, ISSN 1401-9612, Borlänge 2000
- [35] Fridh, R. Malmö Gatukontor. Personlig kommunikation
- [36] Ek M, Sundqvist J-O, *Skogsindustriellt avfall, idéer angående utnyttjande och omhändertagande*, IVL-rapport B 1293. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning 1998.
- [37] Hindersson A, *Statusrapport över hantering och nyttiggörande av kol- och blandaskor*, Värmeforsksrapport 620, Miljö- och förbränningsteknik, november 1997
- [38] Statistik från Svenska Energiaskor, Torsgatan 12, 111 23 Stockholm, [www.energiaskor.se](http://www.energiaskor.se), Claes Ribbing
- [39] Bjurström H, Berg M, Arm M, Håkansson K., *En förenklad testmetodik för kvalitetssäkring – etapp I*, Värmeforsks askprogram ”Miljöriktig användning av askor”, rapport Q4-148, 2003
- [40] Conny Haraldsson, doktor i analytisk kemi och Bertil Magnusson, SP KM, (Kemi och Material), personlig kommunikation

- [41] Fagerström och Wiesel, 1972, *Permeabilitet och kapillaritet. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar*, del 8, Byggeforsknings informationsblad B7:1972, ISBN 91-540-2050-6
- [42] *Anläggnings-AMA* (Allmän Material- och Anläggningsbeskrivning), Svensk Byggtjänst, art nr 6361201, ISBN 9173328855, utgivningsår 1999
- [43] VÄG 94, föregångare till ATB VÄG 2003, se referens [7]
- [44] VV Publ 2001:101, *Vägverkets metodbeskrivning för tjällyftning* VVMB301, år 2001
- [45] Hermansson, Å, 2000, *Frost modelling and pavement temperatures*. Licentiate thesis 2000:18. Department of Civil and Mining Engineering, Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luleå University of Technology, Luleå
- [46] Schouenborg B., Aurstad J., Hagnestål L., Petursson P., och Winblad J. *Test methods adapted for alternative and recycled, porous aggregate materials, Part 3 – Water absorption*, NORDTEST Project No. 1531-01, SP Swedish National Testing and Research Institute, Building Technology, SP REPORT 2003:24
- [47] Rådets direktiv 1999/31/EG av den 26 april 1999 om deponering av avfall, [http://europa.eu.int/index\\_sv.htm](http://europa.eu.int/index_sv.htm)

## Bilagor

## A Detaljerad genomgång av EN-standarder

### A.1 EN 13242 – Ballast för obundna och hydrauliskt bundna material till väg- och anläggningsbyggande

Standard EN13242 heter i original ”Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction”, dvs ballast för obundet och hydrauliskt bundet material för användning i allmänna konstruktioner och vägkonstruktioner. Denna standard träder i kraft i juni 2003. De material som omfattas av standarden är både traditionella, processade (manufactured) och återvunna. Standarden är mycket bred och innefattar alla möjliga typer av ballast till olika ändamål, t ex både som beståndsdel i betong och för att användas som obundet material. Bilaga A1 visar det viktigaste i EN 13242.

Det framgår av standarden att de paramterar som måste deklarerar är sortering, kornstorleksfördelning, partikeldensitet, vattenabsorption. Övriga egenskaper skall deklarerar vid behov eller enligt överenskommelse.

Tabell A-1. EN13242

Standard	EN 13242, Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction
<b>Kapitel 4</b>	<b>Geometriska krav</b>
4.2 Ballast-storlek	Skall deklarerar
4.3 Kornstorleksfördelning	Skall deklarerar och stämma med tabell 2 och tabell 3 i standarden
4.4 Kornform	Deklarerar vid behov
4.5 Andel krossat	Deklarerar vid behov
4.6 Innehåll av finmaterial	Deklarerar vid behov
4.7 Finmaterialkvalitet	Om mer än 3 % kan ytterligare testning krävas
<b>Kapitel 5</b>	<b>Fysiska krav</b>
5.2 Motstånd mot sönderdelning av materialet	Deklarerar vid behov, LA-metoden
5.3 Motstånd mot nötning	Deklarerar vid behov, mikro-Deval-metoden
5.4 Partikeldensitet	Skall deklarerar
5.5 Vattenabsorption	Skall deklarerar, EN1097-6:2000, kap 7, 8 eller 9
<b>Kapitel 6</b>	<b>Kemiska krav</b>
6.2 Syralösliq sulfat	Deklarerar vid behov
6.3 Total-svavel	Deklarerar vid behov
6.4 Beståndsdelar som kan påverka härdning av bundna material	Sådana beståndsdelar skall bedömas om de kan misstänkas påverka härdning och styrkan i materialet
6.4. Volymstabilitet av	Skall deklarerar vid behov. Metod: EN1744-1:1998,

stålslagg	19.3. Stålslaggen kan anses volymstabil om den uppfyller kraven i en viss kategori. Kategori väljs sedan beroende på slutanvändning. De kategorier som anges är $\leq 5$ ; $\leq 7,5$ ; $\leq 10$ ; $< 10$ , där siffrorna syftar på % expansion.
6.4 Dikalciumpdisilikat-disintegration av luftkyld masugnsslagg	Skall testas vid behov, och skall då klara testet. Metod: EN1744-1:1998, 19.1
6.4 Järn-disintegration av luftkyld masugnsslagg	Skall testas vid behov, och skall då klara testet. Metod: EN1744-1:1998, 19.2
6.4 Vattenlösliga ämnen	Skall testas om det behövs. Metod EN 1744-3:2000
6.4 Orenheter	När så krävs skall materialet inte innehålla främmande ämnen såsom trä, glas, plast mm som kan skada produktens funktion
<b>Kapitel 7</b>	<b>Beständighetskrav</b>
7.2 Sonnenbrand (en typ av nedbrytning av materialet som sker under inverkan av luftfuktighet och solljus)	Om det finns tecken på Sonnenbrand skall detta undersökas i kombination med ett nötningstest och deklarerats enligt tabell 15 i standarden.
7.3 Motstånd mot nedfrysning och upptining	Se text efter tabell.
<b>Kapitel 8</b>	<b>Utvärdering av likformiga produkter</b>
8.1 Allmänt	Tillverkaren skall genomföra typprovning och ha en kvalitetssystem för produktionen, för att försäkra sig om att denna standard uppfylls samt att deklarerade värden innehålls.
<b>Kapitel 9</b>	<b>Beteckningar och beskrivning</b>
9.1 Beteckningar	Material skall kunna identifieras med hjälp av följande information, källa och tillverkare, typ av material, materialets (korn)storlek.
<b>Kapitel 10</b>	<b>Märkning och etikettering</b>
10. Leveransblankett	Leveransblankett skall minst innehålla: beteckningar, datum, serienummer, referens till denna standard.
Bilaga A	Bedömning av finandel
Bilaga B	Noteringar för vägledning av frys- och tömotstånd
Bilaga C	Kvalitetssystem hos tillverkaren. Denna bilaga innehåller bl a en omfattande tabell där minsta intervall för vissa typer av provningar beskrivs, t ex att kornstorleksfördelningen skall testas minst 1 gång/vecka.
Bilaga ZA	Innehåller instruktioner för CE-märkning

Reglerna för frostbeständighet i EN13242 är som följer: De skall deklarerats vid behov. Vattenabsorptionen kan används som en indikator på frostbeständigheten. Materialet

anses som frostbeständigt om det uppfyller kraven i tabell 16 i standarden, där analysen skall ske med EN 1097-6:2000, kapitel 7, eller motsvarande för tabell 17 om analysen sker enligt EN 1097-6:2000, bilaga B. De flesta askor suger förmodligen mer vatten är 2 % vilket gör att man inte kan använda vattenabsorptionen som en indikator på frostbeständigheten, och man måste då (vid behov) utföra frystö-provning enligt EN1367-1 eller EN1367-2.

## A.2 EN 13055-2 - Lättballast – del 2: lättballast för bitumenblandningar och ytbehandling, och för obundna och bundna applikationer

Denna standard är framtagen och av TC154 och är viktig för askor, eftersom den syftar på lättballast som skall användas som obundet material. Gränsen för den skrymdensitet som standarden omfattar är 1200 kg/m<sup>3</sup>, vilket ett flertal av askorna underskrider. Vidare så omfattar standarden fyra olika grupper av material:

- naturlig ballast
- tillverkad ballast från naturliga material och/eller från biprodukter från industriella processer
- biprodukter från industriella processer
- återvunnen ballast

Aska borde ingå i den andra eller tredje gruppen i listan ovan. I inledningen till standarden påpekas att kraven i denna standard kanske inte är relevant för alla typer av lättviktsballast. En omfattande fotnot i standardens inledning påpekar också ”att återvunnen ballast omfattas av standarden och nya testmetoder håller på att tas fram för dessa.

Då det gäller material från ”okända” sekundära källor så har standariseringsarbetet just startat och att mer tid behövs till att definiera ursprunget och egenskaperna hos dessa material. Under tiden skall sådana okända material överensstämna med denna standard och nationella regler för farliga ämnen skall följas, beroende på typ av tillämpning. Speciella egenskaper och krav kan ställas upp från fall till fall beroende på erfarenhet från användning, vilket kan definieras i entreprenörs-avtal”.

Tabell A-2. EN13055-2

<b>Standard</b>	<b>EN13055-2 Lättviktsballast del 2 – Lättviktsballast för bitumenblandningar och ytbehandlingar, samt för obunda och bunda applikationer</b>
<b>Kapitel 1</b>	<b>Omfattning</b>
	Standarden definierar krav på lättviktsballast och fillers utifrån naturliga, tillverkade eller återvunna material och blandningar av dessa. Standarden täcker lättballast av <b>mineraliskt ursprung</b> som har en partikeldensitet som ej överstiger 2000 kg/m <sup>3</sup> eller en skrymdensitet som ej överstiger 1200 kg/m <sup>3</sup> .
<b>Kapitel 3</b>	<b>Definitioner och förkortningar</b>
3.5 Biproduktsballast	Ballast med mineraliskt ursprung från en industriell process som följaktligen inbegriper inget annat än mekanisk krossning

<b>Kapitel 4</b>	<b>Krav</b>
4.2 Densitet	
4.2.1 Skrymdensitet	<b>Skall</b> bestämmas enligt 1097-3 och deklareraras. Skrymdensiteten skall vara +/- 15 % av det deklarerade värdet. Maximalt +/- 100 kg/m <sup>3</sup> .
4.2.2 Partikeldensitet	Skall bestämmas vid behov enligt 1097-6.
4.3.1 Sortering	<b>Skall</b> bestämmas med hjälp av en uppsättning siktar enligt tabell 1 i standarden.
4.3.3 "Undersize"	Skall ej överstiga 15 mass-%.
4.3.4 "Oversize"	Skall ej överstiga 10 mass-%
4.4 Kornfördelning	<b>Skall</b> bestämmas enligt 933-1
4.5 Partikelform	Skall bestämmas vid behov
4.6 Fin-andel	Skall bestämmas vid behov
4.7 Kornfördelning av lättviktsfiller	Skall bestämmas vid behov
4.8 Vatteninnehåll	Skall bestämmas vid behov, EN 1097-5
4.9 Vattenabsorption	Skall bestämmas vid behov, EN 1097-6, annex C
4.10 "Bulk Crushing resistance"	Skall bestämmas vid behov, enligt EN13055-1, appendix A, dvs motstånd mot nedkrossning. Materialet packas i en stålcylder och krossas sedan ned med en kolv 20 mm samtidigt som trycket mäts.
4.11 % krossade partiklar	Skall bestämmas vid behov för lättballast över 150 kg/m <sup>3</sup> , enligt EN933-5
4.12 Motstånd mot sönderfall	Skall bestämmas vid behov för lättballast över 150 kg/m <sup>3</sup> . EN 13055-1, bilaga B. Materialet hettas upp under tryck och svalnar sedan av, följt av siktning.
4.13 Frys-tö-motstånd	Skall bestämmas vid behov (för utsatta applikationer)
4.14 Vattensughöjd	Skall bestämmas vid behov, prEN1097-10
4.15 "Compaction and load bearing capacity"	Skall bestämmas vid behov enligt bilaga A. Testets princip är att packa materialet i en stålcylder och därefter studera last-deformationssambandet. Detta är samma test som kompressibilitetstestet.
4.16 Motstånd mot cyklisk kompressiv belastning	Skall bestämmas vid behov enligt prEN 13286-7:2000. (Detta är det välkända dynamiska triaxialtestet) Obs. Det testet är eg utvecklat för normalviktsballast och dess lämplighet för lättviktsballast är ej helt utredd.
4.17 Stelnande	Skall bestämmas vid behov
4.18 Hållrum för torr lättballast	Skall bestämmas vid behov
4.19 Motstånd mot termisk belastning	Skall bestämmas vid behov, prEN1367-5:2001.
4.20 Motstånd mot polering	Vid behov skall PSV (Polished Stone Value) bestämmas.
4.21 Motstånd mot nötning från dubbdäck	Skall bestämmas vid behov.
4.22 Vidhäftning mellan	Skall bestämmas vid behov.

lättviktsballast och bitumen	
4.23 Kemiska krav	Allt under denna rubrik skall testas vid behov
4.23.1 Vattenlöslighet	EN 1744-1
4.23.2 Loss of ignition	EN 1744-1
4.23.3 Vattenlösliga beståndsdelar	EN 1744-3
4.24 Termisk konduktivitet	Skall bestämmas vid behov. EN12664 eller EN12667

### A.3 EN 13285 – Obundna blandningar, specificering

Standard EN 23285 gäller för obundna blandningar som används för konstruktion och underhåll av vägar, flygplatser och andra trafikerade ytor. Den är en ”applikationsstandard” för ballast för de nämnda applikationerna. Standarden är framtagen av CEN/TC227 (vägbyggnadsmaterial). Den bygger i stort sett på EN13242, men har en del ytterligare information, bl a att sorteringen skall väljas från 14 fördefinierade sorteringar. Under rubriken ”andra krav” anges att ”under vissa förhållanden skall frostbeständighet, permeabilitet och lakning beaktas”.

Tabell A-3. EN13285

Standard	EN13285 Obundna blandningar – specificering
<b>Kapitel 4</b>	<b>Krav</b>
4.2 Ballast-krav	Deklareras vid behov enligt EN13242: kornform, andel krossat, finandel, motstånd mot sönderdelning, motstånd mot nötning, kemiska krav, beständighet
4.3 Blandning	<b>Skall</b> deklarerars enligt 14 st förvalda blandningar 0/X, där $8 < X < 80$
4.4 Kornstorleksfördelning	<b>Skall</b> deklarerars enligt i standarden förvalda siktar och tillhörande kategorier av kornstorleksfördelning. Även toleranser finns fastställda.
4.5 Andra krav	Under vissa förhållanden skall frostbeständighet, permeabilitet och lakning beaktas.
<b>Kapitel 5</b>	<b>Utvärdering av likformighet</b>
5.1 Provtagning	<b>Skall</b> genomföras
5.2 Tillverkningskontroll	Producenten skall ha en sådant system, se bilaga D.
5.3 Torrdensitet och optimal vatteninnehåll	Skall deklarerars
5.4 Vattenlöslig sulfat	Skall deklarerars
<b>Kapitel 6</b>	<b>Deklaration och beskrivning</b>
	Minst följande skall deklarerars: referens till denna standard / källa / sortering (D) / typ av ballast. Ev. torrdensitet / vattenlöslig sulfat / information för ballast i blandningar i enlighet med EN 13242
<b>Kapitel 7</b>	<b>Märkning</b>
	mängd + övrigt angivet i kapitel 10 i EN 13242



#### A.4 prEN 14227-1 - Obundna och hydraulisk bundna blandningar – specifikationer, del 1, cementbundna blandningar för vägbyggnad och underbyggnad

Standarden prEN 14227-1 har framtagits av CEN/TC227 (vägmaterial). Standarden behandlar cementbundna granulära blandningar (CBGM, Cement Bound Granular Mixtures). Ursprunget för CBGM kan vara naturligt material, konstgjort eller återvunnet material. Det huvudsakliga bindemedlet skall vara cement och materialet skall användas till konstruktion och underhåll av vägar flygplatser och andra trafikerade ytor. Standarden kan vara aktuell för askor om man blandar dessa med cement som en stabilisator.

Tabell A-4. EN14227-1

<b>Standard</b>	<b>prEN14227-1 – Obundna och hydraulisk bundna blandningar – specifikationer, del 1, cementbundna blandningar för vägbyggnad och underbyggnad</b>
<b>Kapitel 3</b>	<b>Termer och definitioner</b>
3.1 CBGM	Cement Bound Granular Mixture = hydrauliskt bunden granulär blandning med en ballast med kontrollerad kornstorleksfördelning och en cement eller annat hydrauliskt bindemedel som huvudsaklig bindare, i enlighet med denna europeiska standard. Den <b>skall</b> blandas med en blandningsteknik som ger homogen blandning.
<b>Kapitel 5</b>	<b>Krav på ingående material</b>
5.1 Allmänt	De ingående materialen som används i blandningarna <b>skall</b> definieras med avseende på dess egenskaper. Det är inte nödvändigt att specificera alla krav, eftersom olika blandningar och olika omgivning ställer olika krav på blandningen.
5.2 Cement	<b>Skall</b> överensstämma med EN 197-1
5.3 Ballast	<b>Skall</b> överensstämma med EN13242. Ballasten kan vara: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) naturligt förekommande eller tillverkad</li> <li>b) industriell biprodukt eller återvunnet byggnadsmaterial</li> <li>c) en kombination av a och b</li> </ul>
5.3 Kornstorleksförd	<b>Skall</b> väljas utifrån ett (ganska brett) intervall i standarden
<b>Kapitel 6</b>	<b>Klassificering av CBGM och krav på blandningen</b>
6.1 Allmänt	System för klassificering av CBGM definieras med avseende på cementinnehåll, vatteninnehåll, styrka och frostbeständighet.
6.2 Cementinnehåll	Cementinnehåll <b>skall</b> baseras på en genomtänkt ”design procedure” och/eller på praktiska erfarenheter. <b>Minst</b> 3, 4 eller 5 vikts% cement skall blandas i beroende på kornstorlek. Mindre kornstorlek kräver

	mer cement.
6.3 Vatteninnehåll	Principen för mängden är identisk med 6.2.
6.5 Styrka och elasticitet	Om detta skall bedömas skall det göras i på en kub eller cylinder i enlighet med prEN 13286-40, 41, 42, eller 43.
6.5 Klassificering av styrka och elasticitet	Två system finns som delar in materialet i olika klasser beroende på resultatet i någon av provningen ovan.
6.6 Frostresistens	Om blandningen innehåller mer än 5 viktsprocent av partiklar som passerar 0,063 mm-sikten, skall eventuellt ett frystöförsök göras.

## B Detaljerad genomgång av ATB VÄG 2003

### B.1 ATB väg 2003

ATB VÄG 2003 [7] (Allmänt Teknisk Beskrivning för Vägkonstruktion) är Vägverkets regelverk för hur en väg skall byggas. Den används främst då denna myndighet skall bygga vägar, som i allmänhet är ganska stora vägar, t ex riksvägar. Eftersom den är mycket omfattande och har funnits länge, så används den ibland även av kommuner och andra aktörer som skall bygga vägar. En entreprenör måste dock inte följa ATB VÄG 2003 [7] om man inte kommit överens om det i kontraktet. Andra principer för vägens konstruktion kan användas om beställaren så vill.

De krav som berör obundna lager (oberoende av om materialet är traditionellt eller alternativt) i ATB VÄG 2003 [7] och är relevant för detta projekt finns på tre ställen i dokumentet, del A, gemensamma förutsättningar, del C, dimensionering och del E, obundna material.

### B.2 Del A, Gemensamma förutsättningar

Del A är gemensamt för hela regelverket och behandlar de gemensamma förutsättningarna för alla vägkonstruktioner. Följande avsnitt bedöms vara viktiga för detta projekt:

- Kapitel A4: **Krav på vägkonstruktionens tillstånd.** ”En väg skall inte innebära, för trafikanten, oacceptabel risk för olyckor vid användning såsom halkning, fall, kollision mm. En väg skall ha en sådan vägyta att tillåtna fordon kan trafikera vägen säkert.”
- Kapitel A5.1: **Dimensionering.** I de allra flesta fall väljs en dimensioneringsperiod på 40 år. På bundet bärlager i vägöverbyggnad som inte är betongöverbyggnad ställs kravet 20 år.
- Kapitel A5.2: **Bärförmåga och beständighet:** ”Vägkonstruktion, övrig väganordning och sidoanläggning skall utformas och utföras så att den och dess närmaste omgivning får tillfredsställande bärförmåga och stabilitet under såväl byggskedet som under hela dimensioneringsperioden, och så att de får tillfredsställande beständighet”.  
”Väganordning skall utföras så att kravet på bärförmåga uppfylls under hela den avsedda dimensioneringsperioden, se A5.1”
- Kapitel A5.4 **Undergrund.** ”Vägkonstruktion skall utformas så att den och dess närmaste omgivning får tillfredsställande stabilitet och betryggande säkerhet mot uppflytning under såväl bygg- som bruksskedet”
- Kapitel A6.1 **Tillåten känslighet för frosthalka.** Kvantitativa krav ställs på alla material i överbyggnaden [7, A6.1], se tabell B-1.

Tabell B-1. Krav på värmeledningstal och värmekapacitet hos lager nära vägytan [7, A6.1].  
 Table B-1. Requirements of the heat conductivity and heat capacity for layers near the road surface. [7, A6.1].

Avstånd till vägytan	Värmeledningstal	Värmekapacitet
m	W/(mK)	KWh/(m <sup>3</sup> C)
<0,25	>0,6	>0,35
<0,5	>0,3	-

- Kapitel A8.1. **Verifiering att produkter uppfyller ställda krav.** ”Verifiering av att en produkt uppfyller ställda krav kan ske genom att produkten är certifierad enligt avsnitt A8.1.1 eller genom tillverkarförsäkran enligt avsnitt A8.1.2.
- Kapitel A8.2. **Hygien, hälsa och miljö:** ”Material får användas om de accepteras av beställaren och är acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt, och inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion” [7, A8.2].
- Kapitel A10. **Krav på belagd väg.** Krav ställs på ojämnheter, tvärfallsavvikelse och tjällyftning.
- Kapitel A 12.1 **Indelning av jord och bergmaterial:** För klassificering av syntetiska material, restmaterial, slagger etc skall särskild utredning för bestämning av stabilitet, hållfasthet, beständighet och eventuell miljöpåverkan utföras [7, A12.1.1.1.6]. Tabell A12.1-1 i ATB VÄG 2003 [7] visar en indelning av berg och jord enligt materialtyp, som bygger på en definition enligt SGF (Sveriges Geotekniska Förening). Denna tabell över materialtyper refereras ofta till då man försöker klassificera olika vägbyggnadsmaterial.
- Kapitel A 12.2 **Tjälfarlighet.** Jordarterna indelas efter tjälfarlighet i fyra klasser 1-4, där klass 1 är ”icke tjällyftande” och klass 4 ”mycket tjällyftande”.
- Kapitel A12.3.3. **Bergtyper.** Bergmaterial delas in i tre klasser 1-3 med hänsyn till beständighet och hållfasthet. Bestämning av klass sker med kulkvarnsvärde och eventuellt med petrografisk undersökning.

### B.3 Del C, Dimensionering

Denna del behandlar dimensionering av undergrund, underbyggnad och överbyggnad. I de flesta fall då ett ”övrigt material” (restmaterial) skall användas så används formuleringar som att man skall visa att kraven uppfylls med ”relevanta provningsmetoder” eller ”särskild utredning”. Se även avsnitt 2.2 och 2.3.

### B.4 Del E, Obundna material

Detta kapitel innehåller både krav på de lager som skapas med hjälp av obundna material och på de material som används för att bygga upp dessa lager. Krav på lagren handlar om att de skall ha rätt nivå, lagertjocklek, tvärfall och ojämnheter i längsled. Vidare ställs det krav på bärigheten och hur packningen utföres och hur detta skall kontrolleras.

I inledningen av kapitel E står angående materialen:

- ”Ingående material skall ha sådana egenskaper att de i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela den förutsatta tekniska livslängden” och ”Material till obundna överbyggnadslager skall vara volymbeständiga och får inte visa tendenser till sönderfall”.

De allmänna kraven ovan preciseras i två underkapitel, E11 - överbyggnadsmaterial till belagda vägar och E12 – överbyggnadsmaterial till grusvägar, varav det förstnämnda är mest relevant för detta projekt. Kapitel 11 inleds bl a med att meddela att:

- ”Andra material som t ex krossad betong och hyttsten, kan användas efter att den tekniska funktionen uppfyller kraven i kapitel A [allmänna krav, se ovan] och i avsnitt E3.1 [Generella krav]. Materialets tekniska funktion skall då vara dokumenterad i genomförda undersökningar (laboratorie och/eller fält). Materialets funktion i vägkroppen skall motsvara det lager det ersätter. Mätbara krav på färdig (produkt)lager skall definieras om de frångår kraven i avsnitt E11. En uppföljning av dessa krav skall genomföras. Materialet och planen för uppföljning skall godkännas av beställaren”

Efter de allmänna kraven följer de specifika kraven som gäller för bärlager (E11.1), för förstärkningslager (E11.2) och för skyddslager (E11.3). Kraven är fyra stycken och varierar något beroende på vilket lager som avses:

- **Andel helt okrossat material**  
”För annat material än krossat berg skall andelen helt okrossat material (>16 mm) undersökas enligt VVMB 602. Andelen helt okrossat material skall då vara < 30 viktsprocent.” Reglerna för förstärkningslager är liknande. Regeln finns för att det viktigt att materialet inte enbart består av okrossade partiklar. En viss andel krossade partiklar ger större stabilitet än om lagret består av enbart okrossade partiklar.
- **Organisk halt**  
Reglerna är identiska för de tre områdena och föreskriver att ”För annat material än krossat berg skall förekomst av organiska föroreningar undersökas enligt SS 13 21 20 (provfraktion < 8 mm). \_\_\_ Organisk halt får då högst vara 2 viktsprocent”. Anledningen till denna regel är observationer att innehåll av organiskt material kan sätta ned bärförmågan på det obundna lagret. Hur inverkan av organiskt material påverkar bärförmågan på askor och andra alternativa material återstår att utreda.
- **Nötningsegenskaper**  
För att kontrollera nötningsegenskaper förordas test enligt micro-Deval. Denna testmetod innebär att det material (0,5 kg, 10-14 mm kornstorlek) som skall testas placeras i en horisontell ståltrumma (innerdiameter 200 mm, slät insida) tillsammans med 2,5 liter vatten och 5 kg stålkulor med diametern 10 mm. Detta får sedan rotera 12 000 varv. Ibland kan metoden köras i torrt tillstånd, men det är den våta varianten som är referensmetod.

Materialen siktas efter avslutat provning och resultatet (micro-Deval-värdet) är den andel av materialet (uttryckt i vikt-%) som nöts ner till en kornstorlek som är mindre än 1,6 mm.

Kraven i ATB VÄG 2003 [7] är att för bärlager gäller att micro-Deval-värdet inte får överstiga 17, dvs högst 17 % av materialet får ha nöts bort vid micro-Deval-provningen. För förstärkningslager är kraven lite lägre, micro-Deval-värdet får ej överstiga 30. För skyddlager till belagd väg finns inget krav på nötningsegenskaper.

Flertalet askor kommer förmodligen att inte klara detta krav som är avsett för bergmaterial. Metoden är utvecklad för bergmaterial och är olämplig att använda till alternativa material.

- **Kornstorleksfördelning**

Kornstorleksfördelningen är väl definierad för bär- och förstärkningslager. Den erforderliga kornstorleksfördelningen framgår av tabell B-2 och B-3. Dessa kornstorleksfördelningskurvor är utvecklade för naturlig ballast. Avvikelser från kurvorna för ett alternativt material behöver ej betyda att det ej går att använda.

*Tabell B-2. Krav på kornstorleksfördelning enligt ATB VÄG 2003 [7] för bärlager. (tabell E11.1-2 i ATB VÄG 2003 [7])*

*Table B-2. Requirements of the particle size distribution according to ATB VÄG 2003 [7] for the base course layer. (table E11.1-2 i ATB VÄG 2003 [7])*

Sikt	0,063	0,25	1	4	16	31,5	45	63
Övre, $G_{gf}$ , %	7	14	28	50	90	-	-	-
Övre, %	6	12	25	45	79	98	-	-
Undre, %	3	6	13	25	56	75	90	-
Undre, $G_{gf}$ , %	2	4	10	20	46	64	80	98

*Tabell B-3. Krav på kornstorleksfördelning enligt ATB VÄG 2003 [7] för förstärkningslager (tabell E11.2-2 i ATB VÄG 2003 [7])*

*Table B-3. Requirements of the particle size distribution according to ATB VÄG 2003 [7] for the sub-base layer. (table E11.2-2 i ATB VÄG 2003 [7])*

Sikt	0,063	0,25	1	4	16	31,5	45	63	90	125
Högsta övre värde	7	14	22	40	64	90	98	-	-	-
Normalt övre värde	6	10	16	32	54	78	-	-	-	-
Normalt lägre värde	-	-	-	10	26	42	50	-	-	-
Lägsta undre värde	-	-	-	2	14	28	35	43	90	98

*Tabell B-4. Krav på kornstorleksfördelning enligt ATB VÄG 2003 [7] för materialavskiljande lager (tabell E10.1-1 i ATB VÄG 2003 [7])*

*Table B-4. Requirements of the particle size distribution according to ATB VÄG 2003 [7] for the material separation layer. (table E10.1-1 i ATB VÄG 2003 [7])*

Sikt, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	4	16	22,4
Max, %	10	50	98					
Min, %	-	-	0	15	30	60	90	98

Förutom kraven på kornstorleksfördelning enligt tabell B-2 och B-3 finns ett par tilläggskrav angående kornstorleksfördelning. Både bärlager och förstärkningslager har

---

krav på att inte finjords- och lerhalten får vara för hög. Principen är att om finjordshalten (mängd passerande 0,063 / mängd total) är större än en viss viktsprocent, så skall lerhalten (0,002/0,063) bestämmas, som då inte heller får överstiga en viss annan viktsprocent:

- Bärlager: Om finjordshalten  $> 5$  viktsprocent, så får lerhalten vara högst 25 viktsprocent.
- Förstärkningslager: Om finjordshalten  $> 6$  viktsprocent, så får lerhalten vara högst 23 viktsprocent.
- Skyddlager: Finjordshalten får ej överstiga 11 viktsprocent, ELLER så skall kravet på kapillariteten  $< 1$  m klaras.

Både bärlager och förstärkningslager har krav på att inte största stenstorleken är för stor, vilket innebär att största stenstorlek inte får överskrida halva lagertjockleken.

Bärlager har dessutom ett krav på att ”sandpuckel” inte får förekomma, dvs att en oproportionellt stor del av materialet ligger i storleksområdet sand, dvs, 0,06-2 mm

## C Sammanställning över askinventering

Sammanställning över askinventering från kapitel 7.

Ägare	Plats	Panntyp	Typ	Bränslen				
				Avfall	Kol	Olja	Gummi	Plast
<b>TVL</b>	<b>Linköping</b>	<b>rost</b>	<b>energi</b>	<b>x</b> <b>(briketter)</b>				<b>x (20)</b>
		rost	energi		x (60)		x (40)	
		rost	energi	x				
Vattenfall Värme	Uppsala	rost	energi	x				
<b>Mälarenergi</b>	<b>Västerås</b>	<b>pulver</b>	<b>energi</b>		<b>x</b>			
		CFB	energi					
Fortum	Högdalen	rost	energi	x				
	Värta	PFCB	energi		x			
	Hässelby	pulver	energi					
Sydkraft Östvärme	Norrköp	rost	energi				x (5-15)	
	<b>Norrköp</b>	<b>rost</b>	<b>energi</b>		<b>x</b>		<b>x</b>	
	Norrköp	CFB	energi		x		x	
	Norrköp	CFB	energi	x				
<b>Umeå energi</b>	<b>Umeå</b>	<b>rost</b>	<b>energi</b>	<b>x</b>				
			energi					
Västerviks kom.	Västervik	CFB	energi	x				
		rost	energi					
Eskilstuna E o M	Eskilstuna	BFB	energi					
Sydkraft Mälarv	Örebro	CFB	energi		x (lite)			
Sundsvall energi	Sundsvall	CFB	energi	x	x		x	x
Söderenergi (St)	Igelsta P1	rost	energi	x				
<b>Holmen paper</b>	<b>Braviken</b>	<b>rost</b>	<b>pappersind</b>					
	Hallsta	BFB	pappersind					
	Iggesund	rost	pappersind					
	Wargön	rost	pappersind					
Stora Enso	Skoghall	rost	pappersind			x		
	<b>Kvarnsv.</b>	<b>rost</b>	<b>pappersind</b>		<b>x</b>	<b>x</b>		
	Hyltebruk	rost	pappersind					
	Fors	rost	pappersind					



RT-flis	Avsvårt slam	Fiber- slam	Bark	Torv	Trä	Papper	Bio- bränsle	Mängd bot. ask a	Kommentarer
x					x	x (ngt lite)		4100	byggnadsmaterial, stopp från mynd. verkar bra som byggnadsmaterial, 4000 stopp från mynd. 50000
					x (ngt lite)	x (ngt lite)		30000	deponi
x				x			x	5000	grusartad, anv till byggnation 7000 till EcoNova
							x	50000 15000	1000 askan går genom Värtaverket
x					x			6000	Ganska mycket användning 7000 Ganska mycket användning 2600 ?
				x			x	30000	deponi 3000 deponitäckning
							x		
							x		2000 Deponitäckning
				x (30)			x (70)		1500 Projekt Q4-220
x			x	x	x	x	x	2400	Q4-220, diverse bränslen
								11700	deponi
x	x		x					16000	konstrmatrl deponi flygaska
x	x		x					1500	
		(x)	(x)				x	2900	
		x	x					2000	deponi
		x	x			x		8000	deponi
			x					500	deponi
		x	x				x	1100	?



Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED  
STATENS ENERGI MYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

[www.varmeforsk.se](http://www.varmeforsk.se)

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35