MILJÖRIKTIG ANVÄNDNING AV ASKOR 930

Askors materialtekniska funktion – VTI:s materialdatabas

Håkan Arvidsson, Karl-Johan Loorents

värmeforsk
VÄRMETEKNISK FORSKNING OCH UTVECKLING

Askors materialtekniska funktion – VTI: s materialdatabas

Ashes mechanical performance – VTI: s material database

Håkan Arvidsson, Karl-Johan Loorents

Q4-224

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
Maj 2005
ISSN 1653-1248

Abstract

Inom Värmeforsks delprogram ”Miljöriktig användning av askor” har en databas framställts – AllAska – för att säkerställa tillgänglighet av FoU-programmets resultat. Materialprovning av askor har under lång tid pågått vid Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI). Föreliggande rapport summerar, tolkar och lagrar utvald data. Lagring av provningsdata i databasen AllAska möjliggör en god referens för fortsatta forsknings- och utvecklingsarbeten inom ämnesområdet. Databasen AllAska är tillgänglig på www.askprogrammet.com

Sammanfattning

Projektet har sammanställt och analyserat data ifrån materialprovning utförd vid Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI). Huvuddelen av materialen är askor vilka provats i dynamiska treaxialförsök. Materialprovning har pågått under en längre tid vilket betyder att provserien är omfattande, både i avseende på sort av material och i antal enskilda prov. Provningen har varit inriktad mot att prova askors materialtekniska funktion som ballastmaterial. Provningsdata har lagrats i databasen AllAska, en databas vilken tagits fram inom Värmeforsks delprogram ”Miljöriktig användning av askor”. AllAska skall säkerställa lagring och tillgänglighet av FoU-programmets resultat.

I databasen AllAska specificeras materialtyp, provningsmetod, provresultat för varje enskilt prov.

Då provserien härrör från en längre tid av provning bör tolkningen av provningsresultaten ta hänsyn till provningsmetod, materialhantering och förbränningsförfarande. En förändring i exempelvis förbränningsteknik påverkar material, dvs. askans beskaffenhet.

Delar av provningsresultat är sedan tidigare publicerat, dock saknas det en fullständig sammanställning av data. Det förväntas att arbetet skall utgöra en god referens för fortsatt forskning- och utveckling inom ämnesområdet. Speciellt intressant bör den vara för arbeten med inriktning mot att ta fram alternativa provmetoder samt kontroll av funktionskrav.

Tillämpningen av askor som konstruktionsmaterial är inte lika bred som för krossat berg och naturgrus. Men med materialparametrar som låg densitet och god bärförmåga gör de sig särskilt lämpliga i vissa applikationer. Bestämda askor är tekniskt ett materialalternativ till naturgrus. Men användningen är begränsad, kanske främst pga. okunskap om askor. Områden som tekniska och miljömässiga långtidsegenskaper, återvinning, möjliga applikationer och provningsmetoder sammanfattar fortsatta FoU-arbeten.

Databasen AllAska är tillgänglig på www.askprogrammet.com

Summary

The project has compiled, analysed and stored data from material testing performed at the Swedish National Road and Transportation Research Institute (VTI). Materials are predominantly ashes that have been assessed by dynamic cyclic triaxial tests. Testing has been performed over a longer period of time; this has resulted in an extensive number of both tested materials and individual samples. The work has focused on the engineering performance of ashes. Test results are stored in the database AllAska; a database developed within the Swedish Thermal Research Institute (Värmeforsk) research program "Environmentally correct utilization of ashes". AllAska shall provide storage and availability of the R&D program results.

For each sample stored in AllAska there is information about the type of material, the performed test methods and test results are given.

As testing has been performed over a longer period of time the interpretation of the test results should consider material handling and incineration techniques. For example a change in the incineration will have an effect on the material, i.e. its material properties.

Parts of the test results have already been published, but an extensive compilation has been missing. It is expected that this study will provide a valuable reference for the continuous research and development activities within this research area. A special interest is believed to come from the field of test methods and methods for determining the functional properties of the material.

The use of ashes as a construction material is not in wide use compared to gravel and crushed rock aggregates. However, with material parameters such as low density and good bearing capacity they are particularly adaptable in some construction applications. Certain ashes are technically a material substitute for natural gravel. But the use is limited, perhaps due to a lack of knowledge about ashes. Certain aspects, such as technical and environmental long term performance, recycling, potential applications and testing procedures sum up an on going R&D work program.

The database AllAska is available at www.askprogrammet.com

Innehållsförteckning

1 INLEDNING 1

1.1 BAKGRUND 1
1.2 UPPDRAGET 1
1.3 DATABAS INOM DELPROGRAMMET "MILJÖRIKTIG ANVÄNDNING AV ASKOR" 1
1.4 AVGRÄNSNING 2

2 VTI: S MATERIALDATABAS 3

2.1 KÄLLDATA 3
2.2 PROVNING 4

3 REDOVISNING AV PROVNINGSRESULTAT – DATABASEN ALLASKA 9

3.1 I ALLASKA – HÄR FINNS PROVNINGSRESULTATEN 9
3.2 DATA I ALLASKA – EN SAMMANFATTNING 10

4 DISKUSSION 20

5 REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING 31

6 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE 32

7 LITTERATURREFERENSER 33

Bilagor

A DATA – ASKPROV NR 114

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att bygga kräver materialkännedom för att säkerställa konstruktionskrav, vilket förutsätter en karakterisering av material genom provning. Av tradition är denna provning baserad på erfarenheten från byggande och hantering, som över tiden har utvecklat en god kunskap om materialkrav [1]. När nu denna erfarenhet förs över på en ”ny” materialkategori – så kallade alternativa material – så är den nationella [2] och internationella [3] reflektionen den att traditionell hantering och materialprovning inte ger dessa material rättvisa. Reflektionen betyder inte att alternativa material kan uteslutas som materialresurs för användning till vägändamål. Snarare behövs en acceptans för att materialprovning, vid sidan om materialkrav, också skall testa funktionskrav [4]. Att prova bortom det enskilda kornets materialtekniska karakteristiska, och se på vägkonstruktionen som ett antal lager vilka skall uppfylla ”sina” funktionskrav, är en utmaning för framtida materialprovningsmetoder.

Forskning inriktad på alternativa material till vägändamål har en lång nationell och internationell tradition. I dess mångfald kan det vara svårt att bilda en övergripande bild över vad som sker inom forskningsområdet. Detta förhållande välkomnar varje steg mot en samling av insatserna, just för att undvika dubbelarbete och kunna nyttja institut och lärosäten mest resurseffektiv. Föreliggande projektet hoppas på att vara just ett sådant steg, då arbetet är en sammanställning av den på Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) genomförda materialprovningen av askor. Materialprovning av askor har pågått under en längre tid vilket betyder att provserien är omfattande, både i avseende på sort av material och i antal enskilda prov. Provningen har varit inriktad mot att prova askors materialtekniska funktion som ballastmaterial. Förhoppningen med arbetet är att en samlande rapport av detta slag skall utgöra en god referens för fortsatta forsknings- och utvecklingsarbeten inom ämnesområdet. Speciellt viktig antas rapporten vara för arbeten med inriktning mot att ta fram alternativa provmetoder, samt kontroll av funktionskrav som ex. [1]. Delar av mätdata är sedan tidigare publicerat, dock saknas det en fullödig sammanställning av arbetet vilken bedöms som värdefull för en bred forskning inom ämnesområdet.

1.2 Uppdraget

Uppdraget består i att sammanställa och analysera materialteknisk data från materialprovning utförd vid VTI: s väglaboratorium i Linköping. Då datamängden är omfångsrik och att målet med arbetet är att göra data tillgänglig, lagras provningsresultat i en databas.

1.3 Databas inom delprogrammet “Miljöriktig användning av askor”

En förutsättning för föreliggande projekt var att göra data tillgänglig. För att nå detta mål var det av vikt för projektet att säkerställa en lättillgänglig resultatspridning. Diskussionen om tillgänglighet kom att handla om databaser, där både nationella och internationella sådan diskuterades. Resonemanget fokuserade på projektet – Databas inom Värmeforsk: s delprogram ”Miljöriktig användning av askor” (AllAska).

Databasen AllAska har tagits fram för att samla resultat från den mångfald av FoU-arbeten som fortgår inom Värmeforsk: s delprogram. Behovet av en databas inom forskningsprogrammet motiveras av att forskningsresultat kommer att utgöra referensdata, underlag för fortsatt forskning samt definiera kriterier för tekniska egenskaper och miljöegenskaper. Målsättningen för AllAska har varit att skapa en lättillgänglig databas, som kan tillfredställa såväl användare av aska som en producent av aska [5].

Databasen AllAska har efter utvärdering visat sig mycket väl möta de förväntningar på tillgänglighet och redovisningsplattform för rådande projekt som ställts av arbetsgruppen. Vidare så har databasen AllAska potential att fungera som en god referenskälla för FoU-insatser inom ämnesområdet. Att AllAska är en svensk databas, och av detta är begränsad, anses inte vara en tillräcklig stark motivering för att inte nyttja den. Av detta har det beslutats att använda databasen AllAska som en plattfrom för projektredovisningen.

1.4 Avgränsning

Projektet är en sammanställning av provningsdata av utvald data från VTI: s materialdatabas. Data aktuell för detta projekt kommer från materialgruppen askor, vilka har provats genom dynamisk treaxial provning. Ett fåtal andra material (jfr kap 2.1) är redovisade i databasen som en möjlig referensram för utvärdering av provningsresultat. Ingen ny materialprovning har skett inom projekt ”Askors materialtekniska funktion – VTI: s materialdatabas”.

2 VTI: s materialdatabas

Data härrör ifrån materialprovning utförd vid VTI: s väglaboratorium i Linköping, där provningsperioden sträcker sig över en längre tid. Två avgränsande kriterier ställs på källdata; material och provningsmetod. Urvalet av material är baserats på att dessa skall vara relevanta för de FoU-arbeten som fortgår inom Värmeforsks delprogram ”Miljöriktig användning av askor”. Det andra urvalskriteriet är att materialen skall ha provats genom dynamiska treaxialförsök.

2.1 Källdata

De material som utgör källdata, och är utvalda enligt ovan listade urvalskriterier är fördelade enligt följande och antal prov:

Slaggrus	79
Kolbottenaska	6
Träbottenaska	10
Träslagg	3
Granulerad hyttsand	6
Masugnsslagg	3
Stålslagg	3
Hyttsten	13

Bottenaskor har provats i en rad olika projekt och med varierande syfte. I [4] avhandlas bl.a. ett av de mer omfångsrika projekten med treaxialprovning, där mer än hälften av de ovan listade proven ingick. Syftet var att studera variationen av de mekaniska egenskaperna hos slaggrus och kolbottenaskor. Materialen i studien härrör ifrån förbränningsanläggningar i Göteborg, Linköping, Malmö och Stockholm. I samma arbete [4] prövas och diskuteras även frågeställningar som variation av vatteninnehåll och belastningsnivåer. Provning har då utförts på slaggrus ifrån Malmö (jmf även [6]) och Umeå.

I [2] redovisas en undersökning om traditionella provningsmetoder för vägunderbyggnad även kan användas på alternativa material. Också frågan om rosteldad kolbottenaska och slaggrus är lämpliga som underbyggnadsmaterial berörs i arbetet. Treaxialförsök har utförts på bottenaskorna (kolbottenaska och slaggrus) för att bestämma bärförmåga och stabilitet, samt en rad andra materialkarakteriserande undersökningar.

Data härrör även ifrån mindre projekt och enstaka material:

- Treaxialprovning av träbottenaska från Linköping (träslaggen ovan), med syftet att undersöka dess lämplighet för vägunderbyggnad
- Åldrat slaggrus, även den från Linköping
- Färsk träbottenaska från Norrköping, i samband med en undersökning av dess variabilitet [26]

I detta sammanhang bör det påpekas att benämning av material (bottenaska) inom området inte är enhetlig eller färdigutvecklad. Benämningar skapas av materialägaren för att skilja mellan partier eller material som kan ha olika egenskaper. Det laboratorium

som provar ett material är hänvisad till den benämning som materialleverantören gett provet. Ordet slaggrus betyder behandlad och mognad bottenaska från avfallsförbränning. Träslagg och träbottenaska är i princip båda bottenaskor från förbränningen av trädbränslen i rosterpannor. Då utseendet, men även egenskaperna för dessa två material som tillsammans utgör de enda proven av den generella kategorin ”träbottenaskor”, skiljer sig har dessa två benämningar behållits i denna rapport.

2.2 Provning

De data som redovisas har följt vedertagna provningsmetoder där de har varit tillämpliga, medan för viss provning har ”egna” metoder för provning använts (jfr kap 2.2.6). För att på bästa sätt tillgodogöra sig presenterade resultat följer en redogörelse för provade parametrar.

2.2.1 Kornstorleksfördelning

Kornkurva eller kornstorleksfördelning [7] genom siktning är traditionellt den metod som används för att indirekt bedöma ett obundet materials egenskaper [1]. Kornstorleksfördelningen bestäms genom siktning, dvs. materialet passerar igenom ett antal siktar (såll) med vissa kvadratiska maskvidder. Kornstorleksfördelningen beräknas genom hur många viktprocent av materialet som passerar varje sikt.

2.2.2 Graderingstal

Graderingstal, $C_u = d_{60}/d_{10}$, där d_{60} motsvarar kornstorlek för 60 vikt-% passerande mängd och d_{10} motsvarande kornstorlek för 10 vikt-% passerande mängd. Värdena d_{60} och d_{10} får man från materialets kornkurva. Graderingstalet är mått på kurvans ”lutning”. Det finns ett visst samband mellan graderingstal och stabilitet [4].

2.2.3 Maximal torr skrymdensitet

Maximal torr skrymdensitet är en referensdensitet som bestämts på standardiserat sätt – Proctormetoden eller Vibrobord.

Proctormetoden innebär att man låter en stamp falla från en viss höjd, ett antal gånger för varje angivit packningslager, ner i en standardiserad provcylinder. Instampning enligt Proctormetoden [8] vid VTI utförs enligt ”Modified Proctor test” och med provbehållare B (Proctor mould B). Ett antal försök görs med olika vattenkvot och det högsta beräknade torra densitetsvärdet bestämmer maximal torr skrymdensitet.

Att bestämma maximal torr skrymdensitet med vibrobord går till så att ett vattenmättat prov packas med en viss statisk last i en provcylinder [9]. Cylindern är fastskruvad på ett bord och packningsarbetet sker genom att bordet/cylindern vibreras under 12 minuter med viss amplitud. Efter packningen mäts provhöjden och provet vägs, och efter torkning beräknas torrdensiteten. Denna densitet anges som maximal torr skrymdensitet.

2.2.4 Optimal vattenkvot

Optimal vattenkvot är den vattenkvot vid vilken maximal torr skrymdensitet bestäms enligt Proctormetoden (jfr 2.2.3).

2.2.5 Kornstorleksfördelning före och efter instampning

Efter instampning enligt Proctormetoden (jfr 2.2.3) bestäms kornstorleksfördelningen hos ett material med siktanalys [7]. För att bestämma materials nedkrossningsbenägenhet görs en jämförelsen mellan kornkurvan bestämd före och efter instampning.

2.2.6 Dynamiska treaxialförsök, E-modul och ackumulerad permanent deformation

Dynamiska treaxialförsök går till så att ett cylindriskt prov med ett horisontellt/radiellt sidostöd belastas vertikalt/axiellt med en pulserande last. Syftet är att simulera verkliga belastningsförhållanden vilka sker på t.ex. en vägkonstruktion under trafikering. Dynamiska treaxialförsök används för att bestämma de mekaniska egenskaperna styvhet och stabilitet. Styvheten, eller förmågan att fördela lasten, anges som ett värde –E-modul[1] (resilient modul). Desto högre E-modul desto styvare är materialet. Stabiliteten, eller förmågan att motstå omlagringar, anges som den ackumulerade permanenta töjningen[2]. Ju mindre den permanenta töjningen är desto stabilare är materialet.

Figur 1. Prov med gummimembran (vänster i figur) och provkammare i testrigg (höger i figur).

Figure 1. Specimen with a fitted rubber membrane (left in figure) and triaxial pressure chamber in the test rig (right in figure).

[1] E -modul (MPa) = dynamisk vertikalspänning (kPa)/elastisk töjning (µm/mm)

[2] Permanent töjning (µstrain) = kvarvarande deformation (µm)/usrprunglig höjd (m)

Sidostödet skapas genom att provet kläs in i ett gummimembran som tätas mot topp- och bottenplattor, provkroppen ställs in en provkammare i vilket ett övertryck anbringas (Figur 1).

2.2.6.1 Belastningsnivåer

På VTI används tre typer av tester vilka är benämnda efter de obundna lagren i en vägkonstruktion; bärlagertest, förstärkningslagertest och skyddslagertest. Provningsdata för varje test anges i Tabell 1 Provningsdata för dynamisk treaxialförsök.

Tabell 1 Provningsdata för dynamisk treaxialförsök

Table 1 Cyclic load triaxial test data

	Bärlagertest		**Förstärknings-lagertest**		**Skyddslagertest**	
Största sten	32 mm		63 mm		32 mm	
Dimensioner, mm Volym, dm³	Ø=150, h=300 5,3		Ø=300, h=600 42,4		Ø=150, h=300 5,3	
Packas i antal lager	1		6		1	
Statisk last, kPa	20		20		20	
Lastpuls/vilopuls/ frekvens	0,1 s/0 s/10 Hz		0,1 s/0,1 s/5 Hz		0,1 s/0 s/10 Hz	
Lastfall	Dynamisk last/ kammar-tryck	Antal pulser/ ack antal pulser	Dynamisk last/ kammar-tryck	Antal pulser/ ack antal pulser	Dynamisk last/ kammar-tryck	Antal pulser/ ack antal pulser
1.	100/60	1000/ 1000	1000/60	1000/ 1000	10/10	1000/ 1000
2.	200/60	1000/ 2000	200/60	1000/ 2000	30/10	1000/ 2000
3.	400/60	1000/ 3000	400/60	1000/ 3000	50/10	1000/ 3000
4.	400/120	1000/ 4000	400/120	1000/ 4000	50/20	100000/ 103000
5.	600/120	100000/ 104000	600/120	100000/ 104000	70/20	100000/ 203000
6.	800/120	100000/ 204000			100/20	10000/ 213000
7.	1000/120	10000/ 214000			150/20	10000/ 223000
8.	1200/120	10000/ 224000				

2.2.6.2 Preparering av prov.

För vald packningsgrad[3]och vatteninnehåll beräknas provmängden enligt kap 2.2.3 och kap 2.2.4. Härefter blandas provmaterialet med vatten och den homogena blandningen packas i speciella packningscylindrar.

För prover med diameter 150 mm och höjden 300 mm packas provet i ett lager i en s.k. ”Vibrocompresseur” [10], en utrustning som packar under vertikalt tryck samtidigt som packningscylindern vibreras. Packningsarbetet fortsätter tills höjden är 300 mm. Uppnådd höjd och vikt på provet bestäms efter packning.

För prover med diameter 300 mm och höjden 600 mm packas provet i 6 lager med en stamp monterad på en elektrisk vibroplatta [11]. Uppnådd höjd mäts efter packning.

2.2.6.3 Test och instrumentering

Provet instrumenteras med en lastcell som mäter de krafter provet utsätts för. En lägesgivare används för att mäta vertikala deformationer, elastiska och permanenta, över hela provkroppen (300 mm). Proverna kan också instrumenteras med tre (interna) lägesgivare som mäter deformationer över 100 mm mitt på provet i höjdled.

Proverna belastas statiskt i tre dimensioner[4] av kammartrycket, horisontellt utmed hela höjden och vertikalt [12]. Den dynamiska vertikallasten fås från en hydraulcylinder som regleras av en datorkontrollerad elektriskt styrd servoventil (jfr Figur 1). Dessutom belastas provet med en statisk vertikallast från hydraulcylindern (Tabell 1).

Styrdatorn samlar in data från 10 lastpulser (ex. lastpuls 91 tom 100, jfr Bilaga A ackumulerat antal pulser) vid vissa intervall beroende av lastfallets (jfr Tabell 1) längd. Data ifrån lastpulserna används för beräkning av E-modul och permanent töjning (deformation). E-modul och permanent töjning (deformation) redovisas som medelvärdet av dessa 10 lastpulser (Bilaga A).

Försöken utförs som dubbel- eller trippelprov för att uppfånga eventuella spridningar. För E-modulerna är det sällan någon stor spridning medan det är vanligare att de permanenta töjningarna sprider något.

Efter test vägs provet och vattenkvoten bestäms.

2.2.7 Provsammansättning

Ett tvättat material i fraktionen 4-32 mm delas okulärt upp i olika materialtyper; slagg, glas, porslin, keramik, metall och övrigt är de typer av material som använts för att bestämma provsammansättning. Varje materialtyp vägs och viktandelen beräknas.

2.2.8 Kulkvarn

För bestämning av kulkvarn har provning utförts enligt metod FAS 259, Bestämning av kulkvarnsvärde [13]. Kulkvarnsvärdet bestäms genom att provmaterialet, i en viss fraktion (11,2-16 mm), tillsammans med stålkulor och vatten placeras i en roterande

[3] förhållandet mellan vald torr skrymdensitet och maximal torr skrymdensitet
[4] tre dimensioner = tre-axiellt = treax (sv. förkortning) = triaxial (eng)

trumma med ribbor. Efter 5 400 varv bestäms andelen material mindre än 2 mm vilket anges som kulkvarnsvärdet.

2.2.9 micro-Deval

Materials nötningsmotstånd har bestämts enligt metod EN 1097-1, Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval) [14]. Enligt metoden så placeras provmaterial, av en viss fraktion (10-14 mm), stålkulor och vatten i en roterande slät trumma. Efter 12 000 varv bestäms andelen material mindre än 1,6 mm vilket anges som micro-Devalvärdet.

2.2.10 Bestämning av frostbeständighet

Provning har utförts enligt metoden VTI 1-03 Frostbeständighet [15]. Metoden bestämmer ett materials känslighet för frys-töväxlingar i svag saltlösning. Provningen utförs på en tvättad, rensiktad fraktion (11,2-16 mm). Frostbeständigheten är förhållandet mellan mängden material som passerar sikt 8,0 mm efter 10 frys-töväxlingar och provets ursprungliga vikt i %.

3 Redovisning av provningsresultat – Databasen AllAska

Databasen AllAska utgör redovisningsplattform för provningsresultat. AllAska är utvecklad inom Värmeforsks delprogram ”Miljöriktig användning av askor”. Databasen, dess struktur och grundfunktion beskrivs i [5].

AllAska utgör en stomme för vidare utveckling och anpassning för att öka värdet av databasen (jfr kap 6 i [5]). I projekt Q4-224 har en utökning av redovisningsmöjligheter varit nödvändig för att på ett öppet och tillgängligt sätt presentera provningsresultat. Anpassningen av AllAska utgörs dels av ytterligare kategorier av indata till databasen och dels av var och hur data redovisas.

3.1 I AllAska – Här finns provningsresultaten

Databasen är uppbygg på så sätt att data presenteras på två huvudsidor; askans uppgifter och pannans uppgifter [5]. Ett exempel på hur huvudsidan för askans uppgifter ges i Figur 2. Provningsresultaten är redovisade under följande kategorier:

Sammansättning

- Provsammansätting (jfr 2.2.7)

Partikelstorlek

- Kornstorleksfördelning (jfr 2.2.1)
- Graderingstal (jfr 2.2.2)
- Kornstorleksfördelning före och efter instampning (jfr 2.2.5)

Geotekniska egenskaper

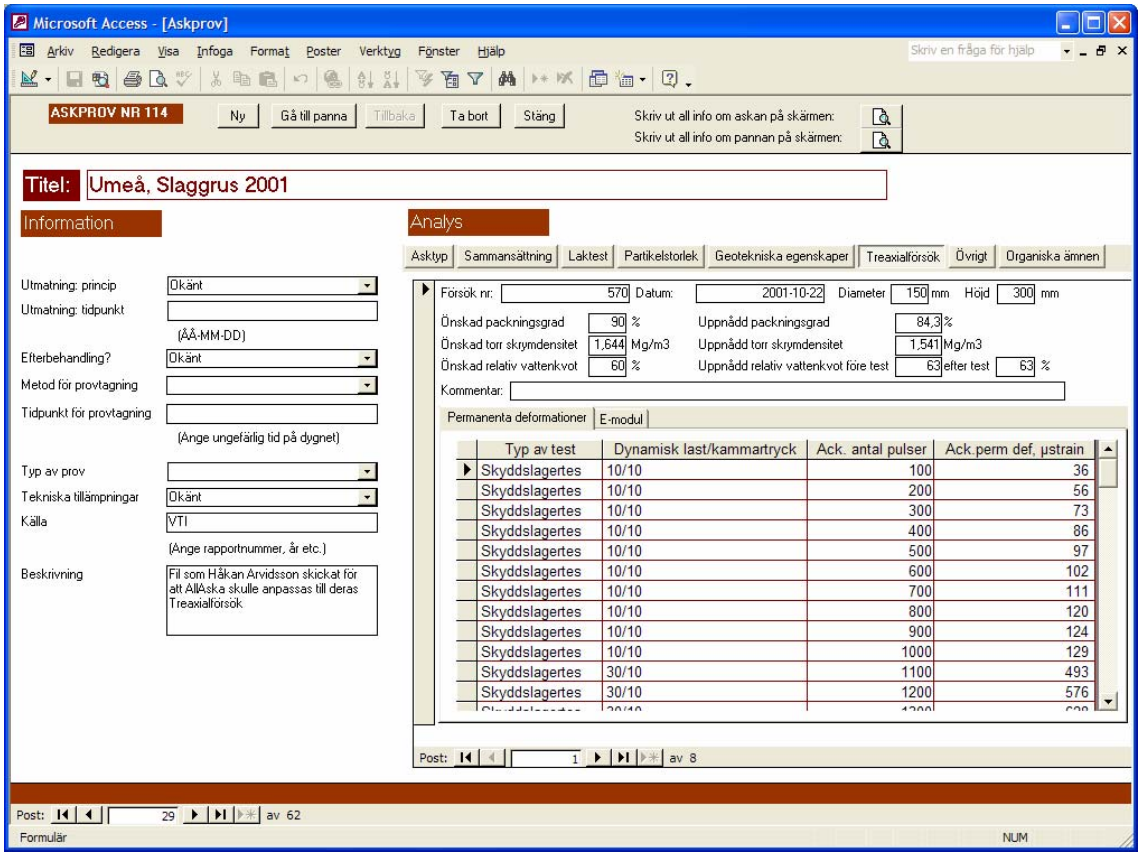
- Frostbeständighet (jfr 2.2.10)
- Maximal torr skrymdensitet (jfr 2.2.3)
- micro-Deval (jfr 2.2.9)
- Optimal vattenkvot (jfr 2.2.4)

Treaxialförsök

- Treaxialförsök, E-modul och ackumulerad permanent deformation (jfr 2.2.6)

Ett exempel på utskrift av ett askprov redovisas i Bilaga A.

Databasen AllAska är tillgänglig på www.askprogrammet.com



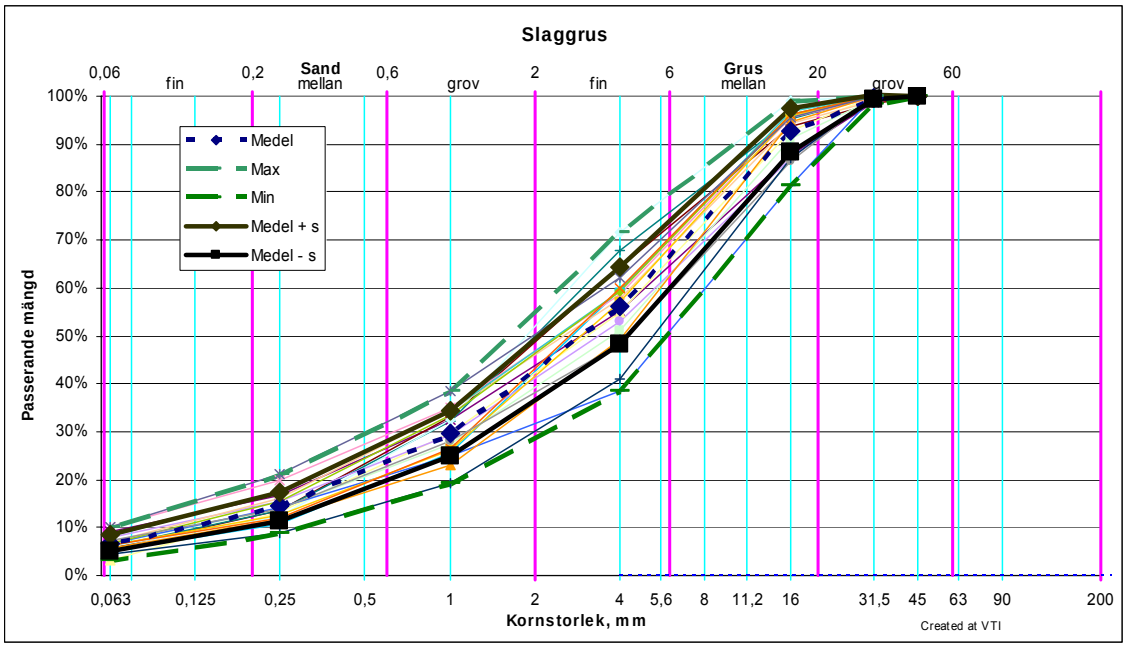
Figur 2. Huvudsida askans uppgifter

Figure 2. Mainpage for the ash data

3.2 Data i AllAska – en sammanfattning

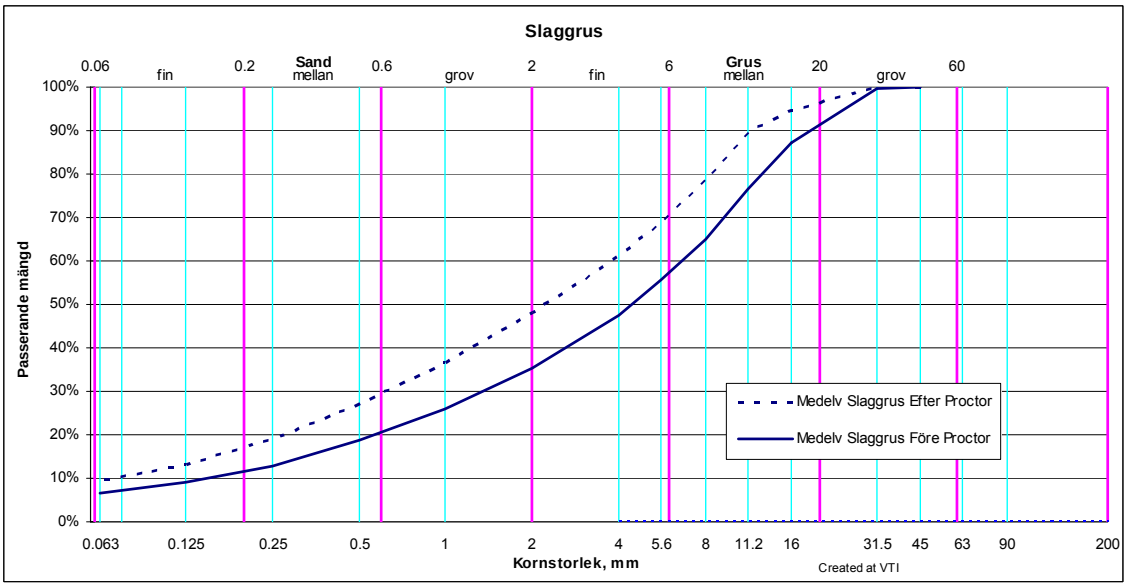
Styrkan med att göra ”rådata” tillgänglig är att den intresserade har ett obearbetat referensmaterial tillhanda, dvs. det är möjligt att göra en direkt jämförelse mellan materialkategorier i fri form. För att öka tillgängligheten av data, och ge en bild av olika bottenaskors tekniska egenskaper och vilken spridning av dessa egenskaper som fåtts, presenteras nedan en summering av de tekniska materialdata för bottenaskor som återfinns i AllAska.

Figur 3 t.o.m. 8 redovisar kornstorleksfördelning och kornstorleksfördelning före och efter instampning för slaggrus, träaska och träslagg och kolbottenaska (jmf Tabell 2). Sammanställning av provningsdata optimal vattenkvot, maximal torr skrymdensitet, micro-Deval, och frostbeständighet för slaggrus, kolbottenaska, träslagg och träaska återfinns i Tabell 2.



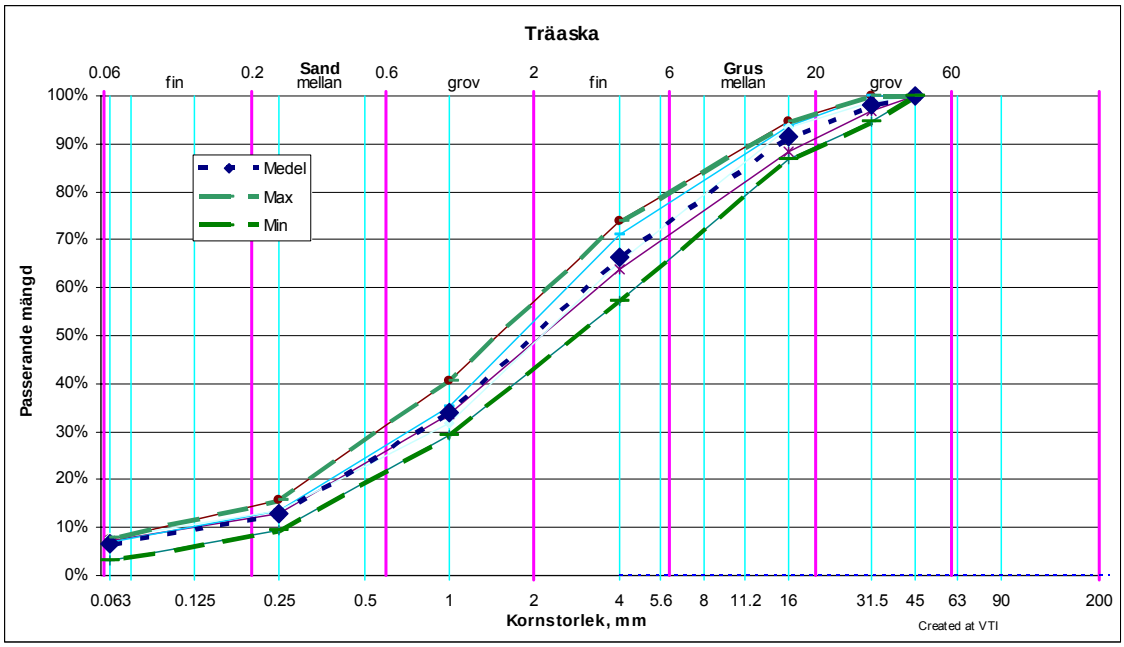
Figur 3. Kornstorleksfördelning slaggrus. Enskilda prover som tunna linjer.

Figure 3. Particle size distribution for MSWI bottom ash. Each sample as thin lines.



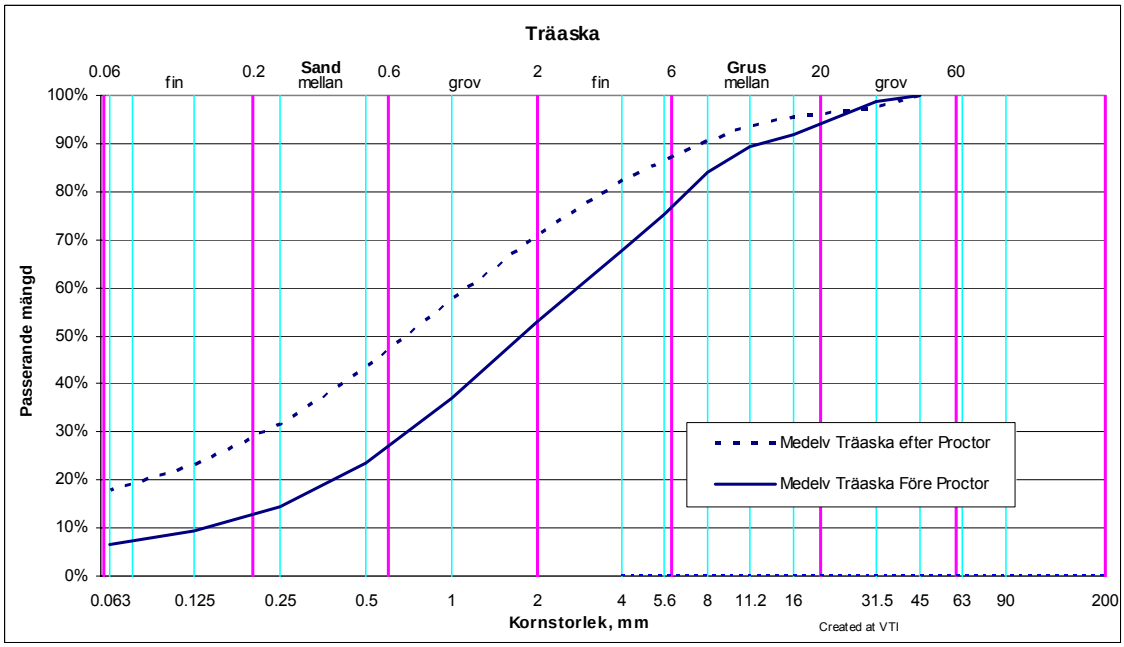
Figur 4. Kornstorleksfördelning före och efter packning slaggrus

Figure 4. Particle size distribution before and after compaction



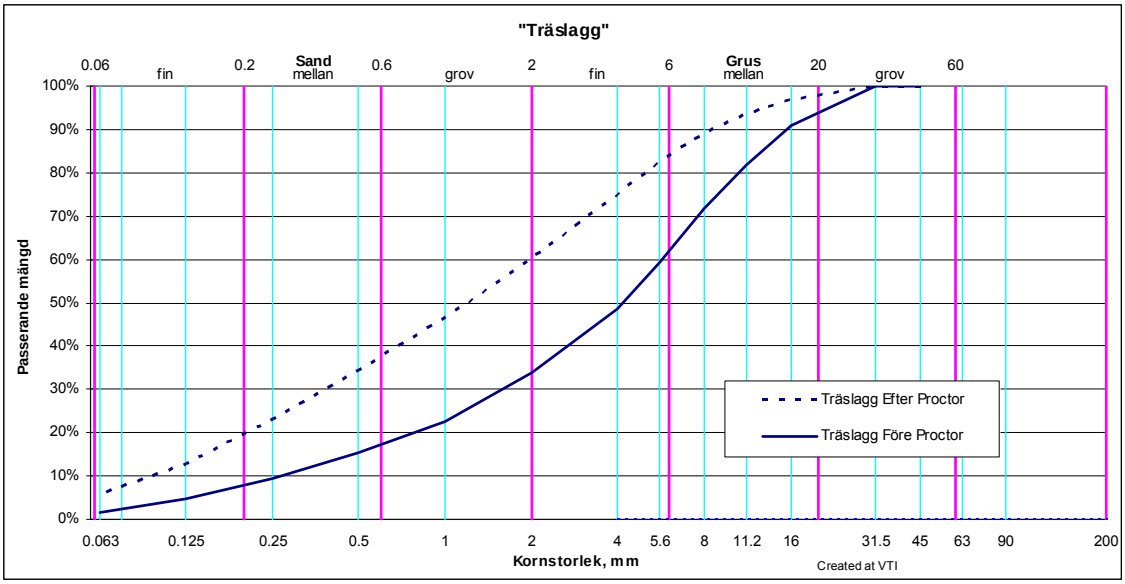
Figur 5. Kornstorleksfördelning träaska

Figure 5. Particle size distribution wood (biomass) bottom ash



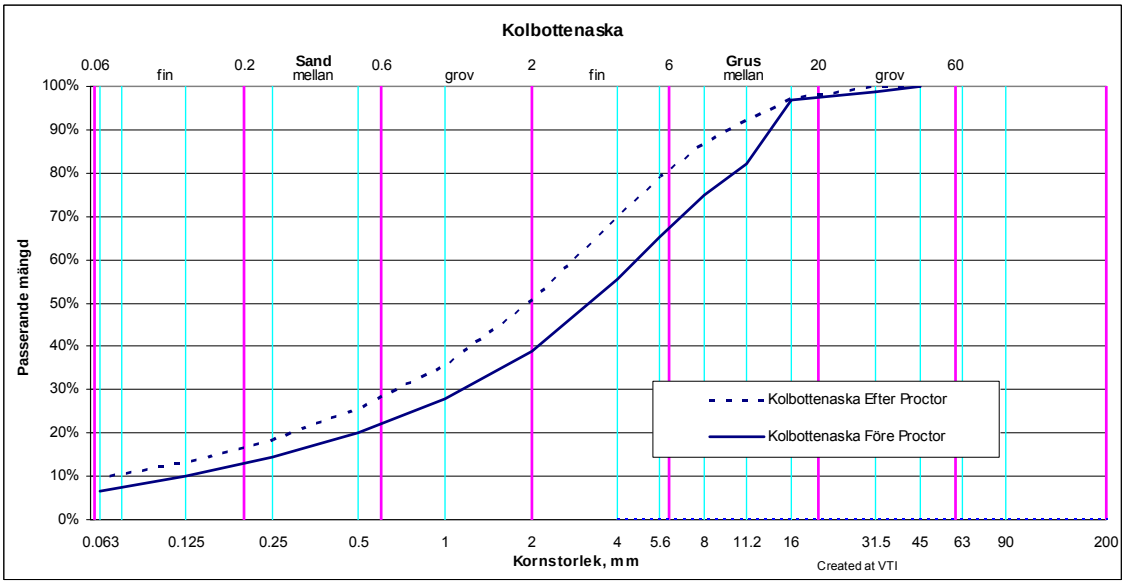
Figur 6. Kornstorleksfördelning före och efter instampning träaska

Figure 6. Particle size distribution before and after compaction wood (biomass) bottom ash



Figur 7. Kornstorleksfördelning före och efter instampning träslagg

Figure 7. Particle size distribution before and after compaction wood bottom ash



Figur 8. Kornstorleksfördelning före och efter instampning kolbottenaska

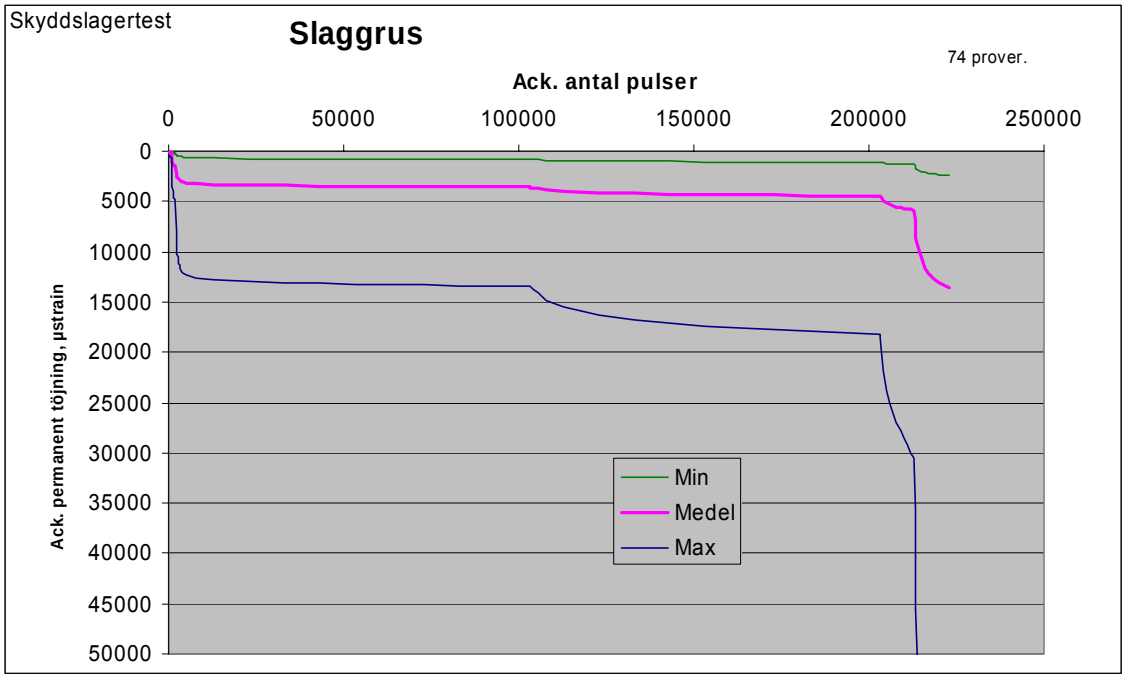
Figure 8. Particle size distribution before and after compaction coal bottom ash

Tabell 2 Sammanställning av provningsdata optimal vattenkvot, maximal torr skrymdensitet, micro-Deval, och frostbeständighet. Inga uppgifter finns för poster markerat med -.

Table 2 Compilation of test data optimum water content, maximum laboratory reference density, micro-Deval and frost resistance. No data available for posts marked -.

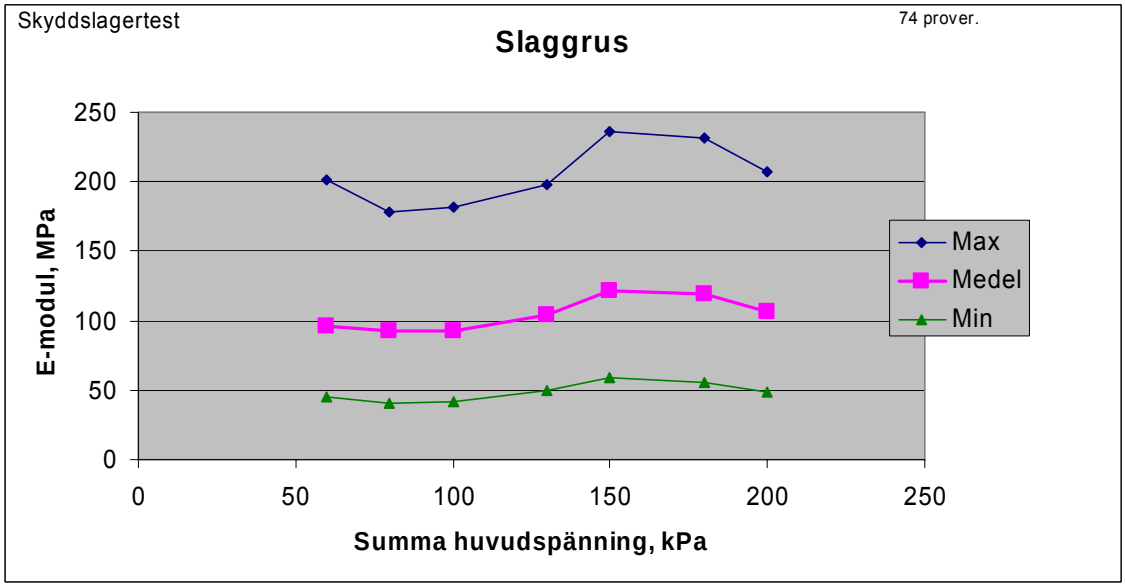
Egenskap	Typ av värde	Slaggrus	Kolbottenaska	Träslagg	Träaska
Optimal vattenkvot (vikt-%)	Max	20,5	23	12,7	32,8
	Medel	16,2	23	12,7	30,5
	Min	9,0	23	12,7	28,6
	Antal	19	1	1	5
Maximal torr skrymdensitet (Mg/m^3)	Max	1,83	1,03	1,69	1,05
	Medel	1,65	1,03	1,69	0,91
	Min	1,43	1,03	1,69	0,81
	Antal	19	1	1	5
Micro Deval	Max	39	-	-	-
	Medel	32	-	-	-
	Min	26	-	-	-
	Antal	5	-	-	-
Frostbeständighet	Max	2,7	-	-	-
	Medel	1,8	-	-	-
	Min	0,8	-	-	-
	Antal	5	-	-	-

Följande Figur 9 t.o.m. 18 redogör för resultat ifrån dynamisk treaxialförsök. I figurerna redovisas kurvor för provningsvärden enligt minsta, medel och maximala värden för ackumulerad permanent axial deformation och resilientmodul, samt antal prov för varje bottenaska och typ av test (jmf Tabell 1).



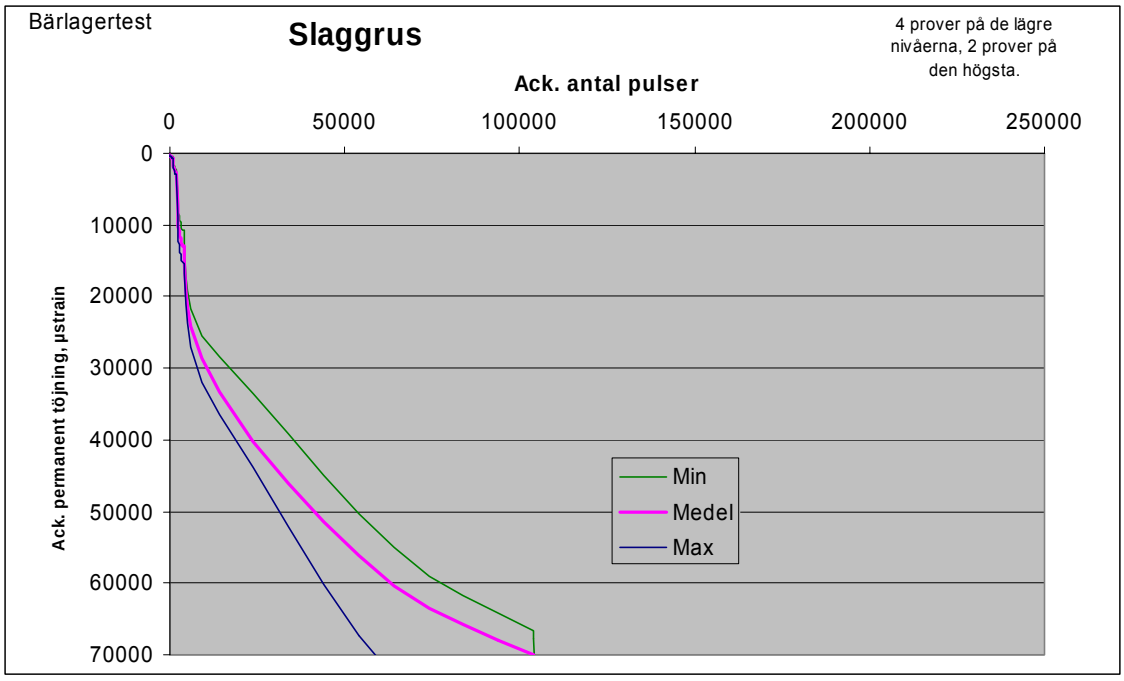
Figur 9. Slaggrus ackumulerad permanent axial deformation

Figure 9. MSWI bottom ash permanent axial deformation



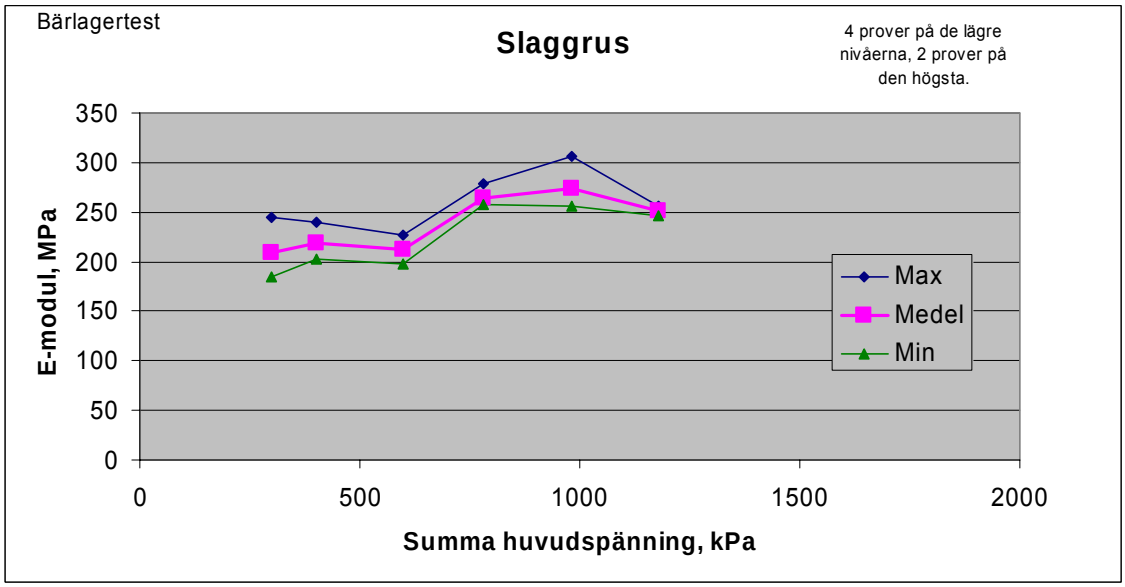
Figur 10. Slaggrus resilientmodul som funktion av summa huvudspänning

Figure 10. MSWI bottom ash resilient modulus as a function of the sum of the principal stresses



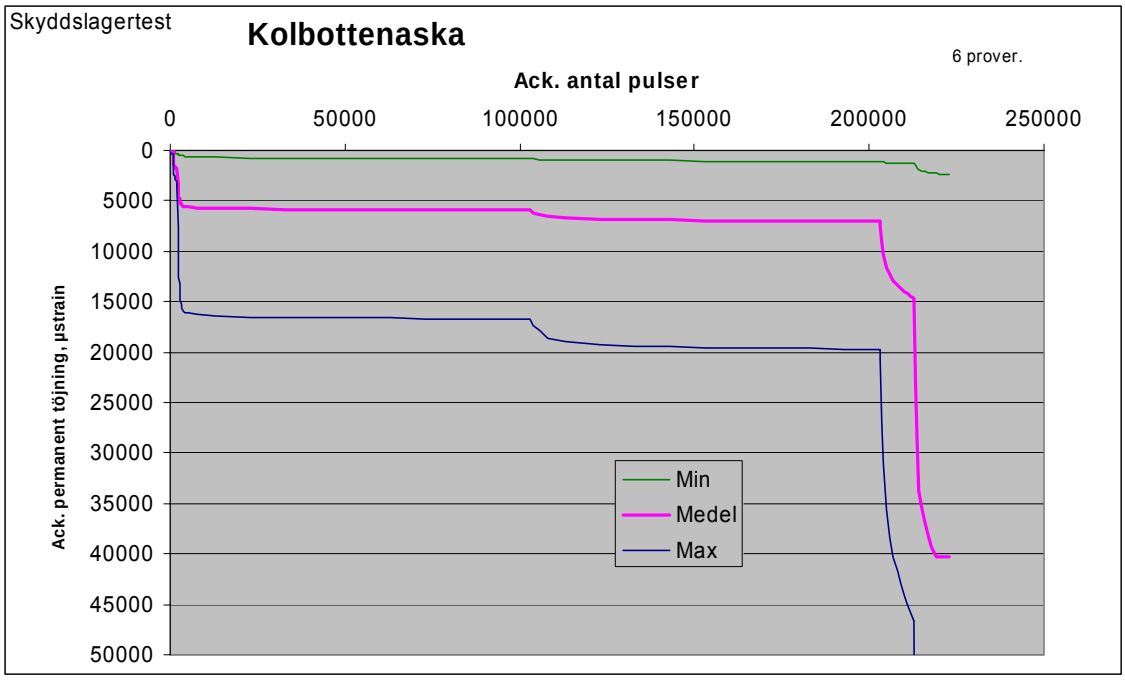
Figur 11. Slaggrus ackumulerad permanent axial deformation. Bärlagertest.

Figure 11. MSWI bottom ash permanent axial deformation. Test for road base.



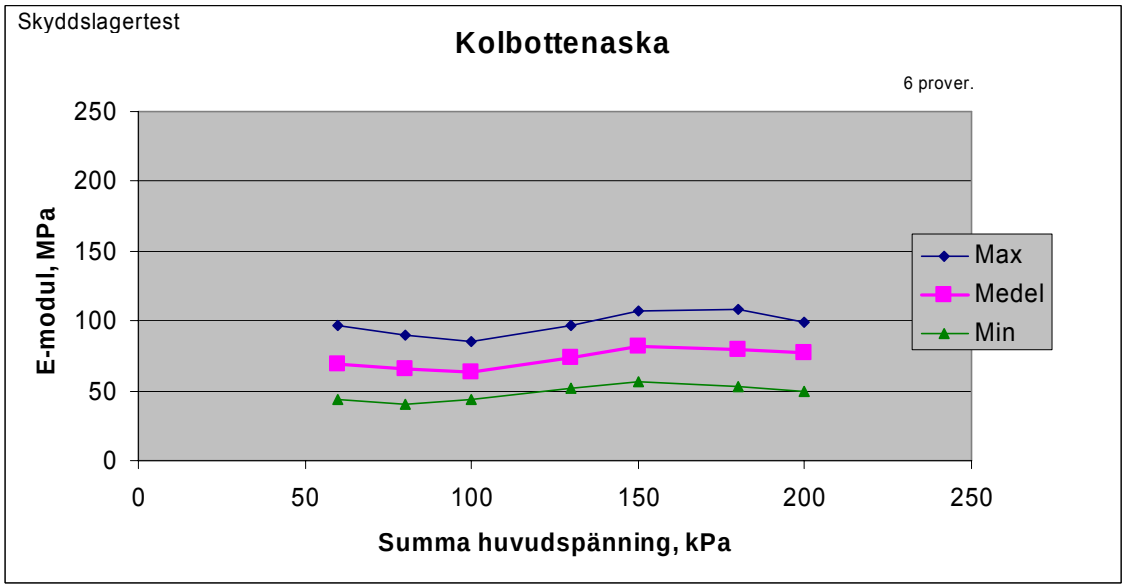
Figur 12. Slaggrus resilientmodul som funktion av summa huvudspänning

Figure 12. MSWI bottom ash resilient modulus as a function of the sum of the principal stresses



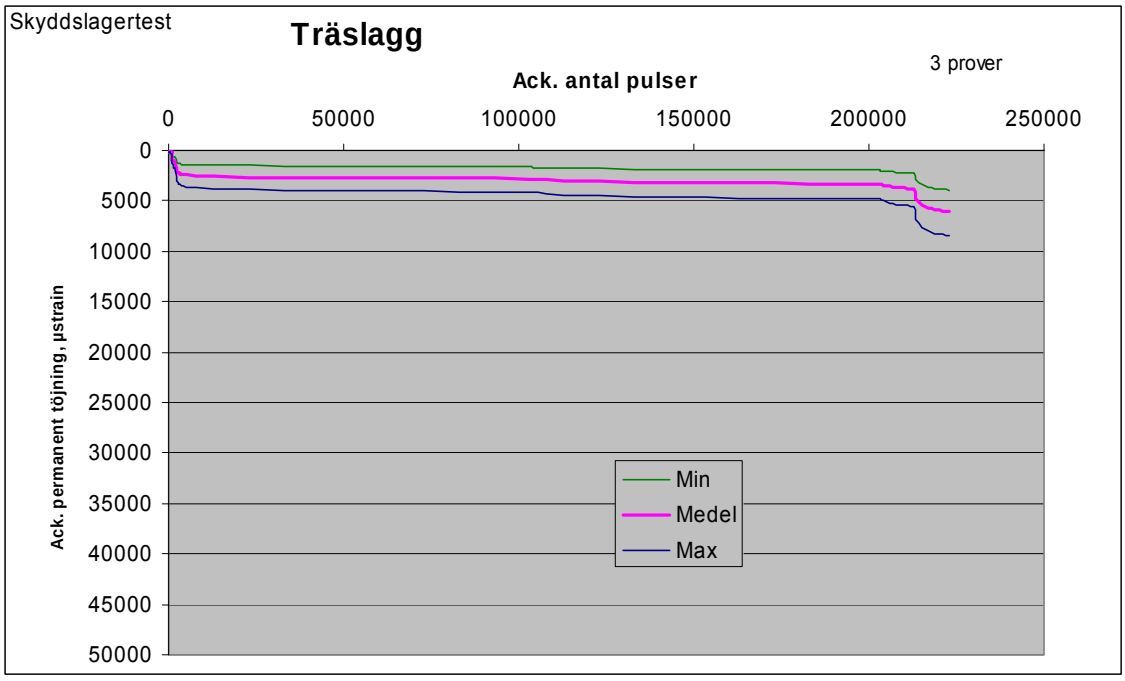
Figur 13. Kolbottenaska ackumulerad permanent axial deformation

Figure 13. Coal bottom ash permanent axial deformation



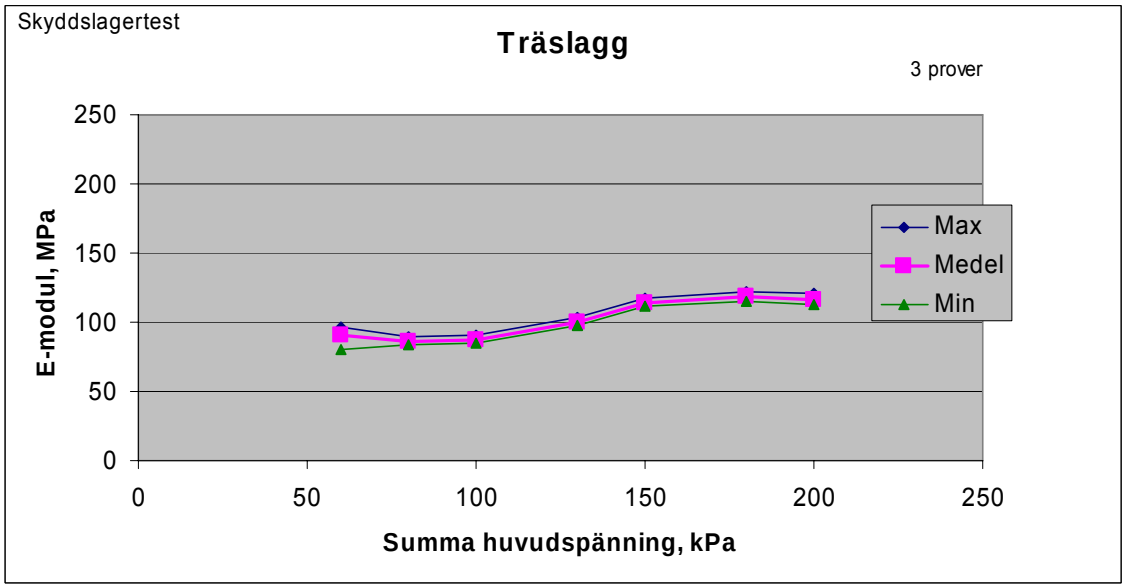
Figur 14. Kolbottenaska resilientmodul som funktion av summa huvudspänning

Figure 14. Coal bottom ash resilient modulus as a function of the sum of the principal stresses



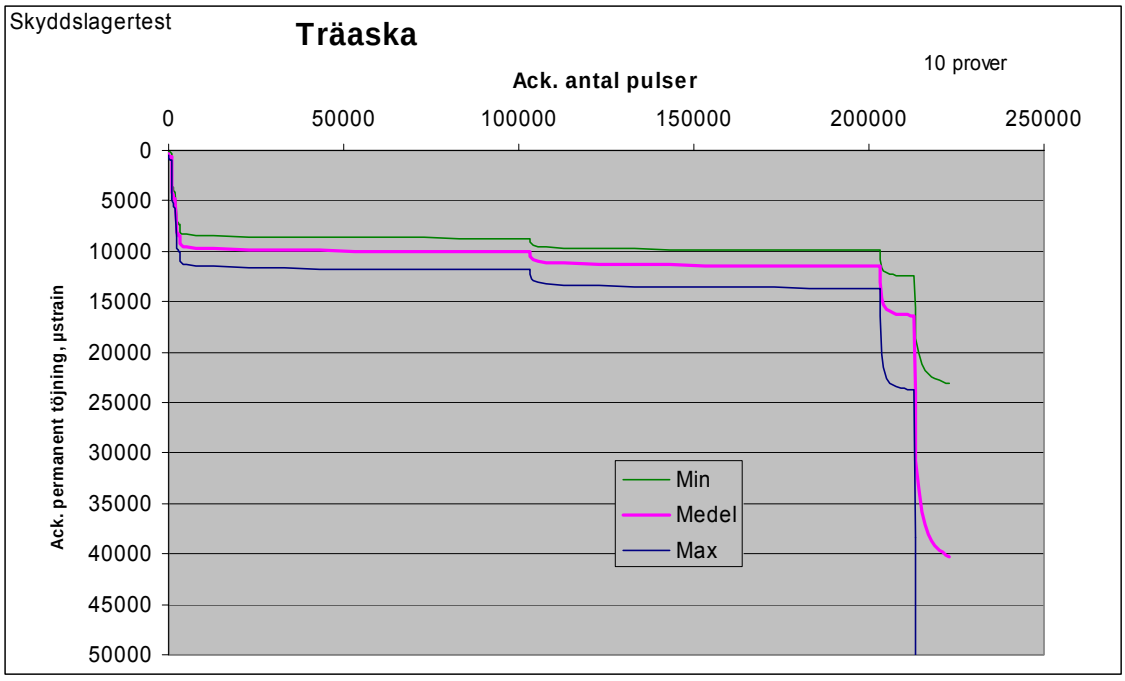
Figur 15. Träslagg ackumulerad permanent axial deformation

Figure 15. Wood bottom ash permanent axial deformation



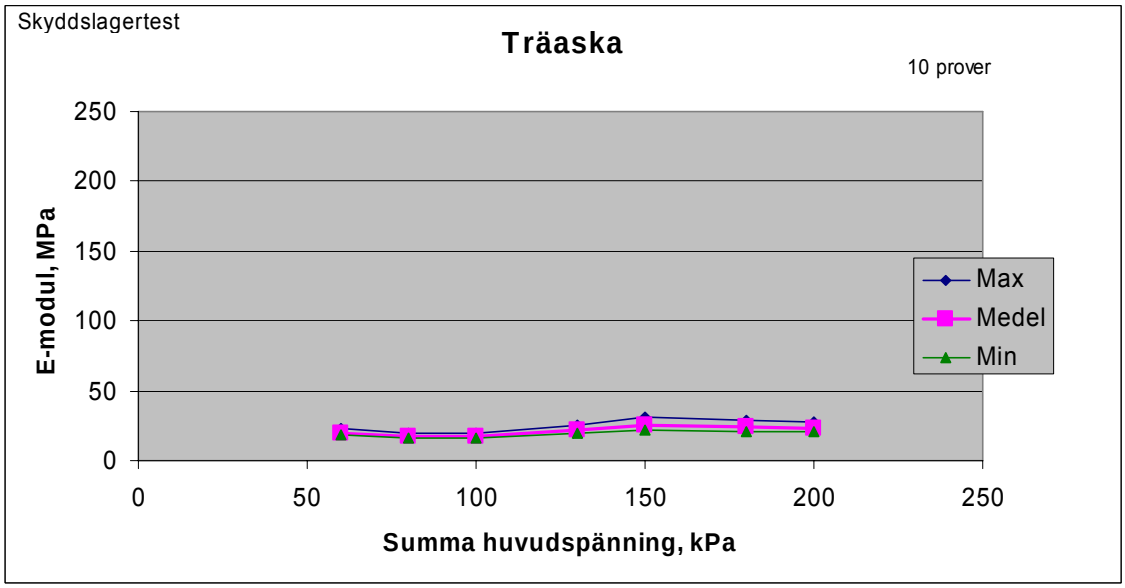
Figur 16. Träslagg resilientmodul som funktion av summa huvudspänning

Figure 16. Wood bottom ash resilient modulus as a function of the sum of the principal stresses



Figur 17. Träaska ackumulerad permanent axial deformation

Figure 17. Wood (biomass) bottom ash permanent axial deformation



Figur 18. Träaska resilientmodul som funktion av summa huvudspänning

Figure 18. Wood (biomass) bottom ash resilient modulus as a function of the sum of the principal stresses

4 Diskussion

Nyttiggörande av bottenaskor diskuteras flitigt i litteraturen (jmf [18] – [23]). Detta kapitel har för avsikt att försiktigt bidra till denna diskussion genom en analys och utvärdering av de inom föreliggande projekt redovisade data. Idén med projektet har varit att ställa samman askors provningsresultat från dynamisk treaxialprovning, och argumentet att provningsserien har varit unik med avseende både på material och på provningsmetod. Att återanvänt material är lämpligt till vägändamål har visats genom ett flertal arbeten jfr [2][3], vilket kan tolkas som att användning av dessa konstruktionsmaterial är en självklarhet och en faktisk resurseffektivisering. Dock det har redan nämnts att det fortgår en diskussion om bruket av alternativa material som ballastmaterial. Diskussionen handlar i långa stycken om tekniska aspekter och miljöaspekter [3][16]. En uppfattning om de tekniska aspekterna är att den traditionella materialprovningen inte gör dessa material rättvisa [2][3], och därför behövs nya metoder för att bedöma värdet av ett materials tekniska karaktär [4]. Det finns ingen avsikt att här föra denna diskussion vidare med mer än en kort reflektion över material, nyttiggörande i väg och applikationer.

Material

En överbyggnad består av ett antal lager vars dimensionering till del beror av vilka laster som kommer att påverka konstruktionen och materialkvalitén. De obundna lagrens tekniska funktion skall normalt minst säkerställa lastspridning, dränering och temperaturväxlingar, funktioner som kan relateras till ett lagers kornskelett och dess materialparametrar. För att säkerställa den tekniska funktionen av ett obundet överbyggnadslager så bestäms den indirekt genom provning av (mineral)korns egenskaper.

Naturliga ballastmaterial provas utifrån ovan nämnda kemiska-mineralogiska, fysiska och morfologiska aspekter, och det är här skillnaden mellan naturliga ballastmaterial och alternativa material tar sig skilda uttryck i provningsresultat ifrån traditionell ballastprovning. I bästa fall så kan ett korn från ex. ett slaggrus jämföras med ett korn från en vulkanisk aska – ett korn som är känsligt för hantering, har hög porositet och porstorleksfördelning och som inte är lika materialteknisk kompetent (nedkrossningsbenäget) som jämfört med ett korn från ex. en granit (Tabell 3).

Provning av konstruktionsmaterial syftar något självförklarande till att utvärdera ett materials egenskaper, och därmed beskriva på vilket sätt materialet kan användas. Användningsområdet styrs av materialegenskaper men också av de funktionella krav som ställs på en konstruktion. För att säkerställa funktionen i en vägkonstruktion, under hela dess dimensioneringsperiod, skall de ursprungliga materialparametrarna inte förändras. Om materialparametrar förändras under byggfasen är det viktigt att skatta effekten av förändringen, för att ha en rätt hantering av materialet och dimensionering av vägkonstruktionen. Alternativa material har använts framgångsikt inom området vägkonstruktion, även om resultat från materialprovning i laboratorium visat ”dåliga” resultat. För att bättre förstå hur alternativa material fungerar är det nödvändigt att överbrygga gapet mellan laboratoriet och fält, och att anpassa konventionell laboratorieprovning till mer lämpliga fältförhållanden.

Kornstorleksfördelning. För utvärdering av nyttiggörande av material till vägändamål utgör kornstorleksfördelningen en parameter som skall vara känd och utvärderad. Grövre korn är nödvändiga för att de för med sig ett kornskelett vilket genererar ett lagers styvhet eller förmåga att ”bära” last. En blandning av finare och grövre korn (en välgraderad kornstorleksfördelning) är nödvändigt för att producera ett mekaniskt stabilt konstruktionslager. Däremot så innebär en välgraderad kornstorleksfördelning ett sämre dränerade materiallager, än jämfört med ett med en mer grovkornig och ensgraderad kornstorleksfördelning. Ett materials kornstorleksfördelning är alltså till del avgörande för vilka applikationer det kan används till. Ett förstärkningslager förväntas ha funktionen av att vara lastbärande och till del lastspridande samtidigt som lagret skall vara dränerande, alltså en kompromiss enligt ovan – exempel på funktion kan vara acceptabel tjällyftning, kapillär stighöjd.

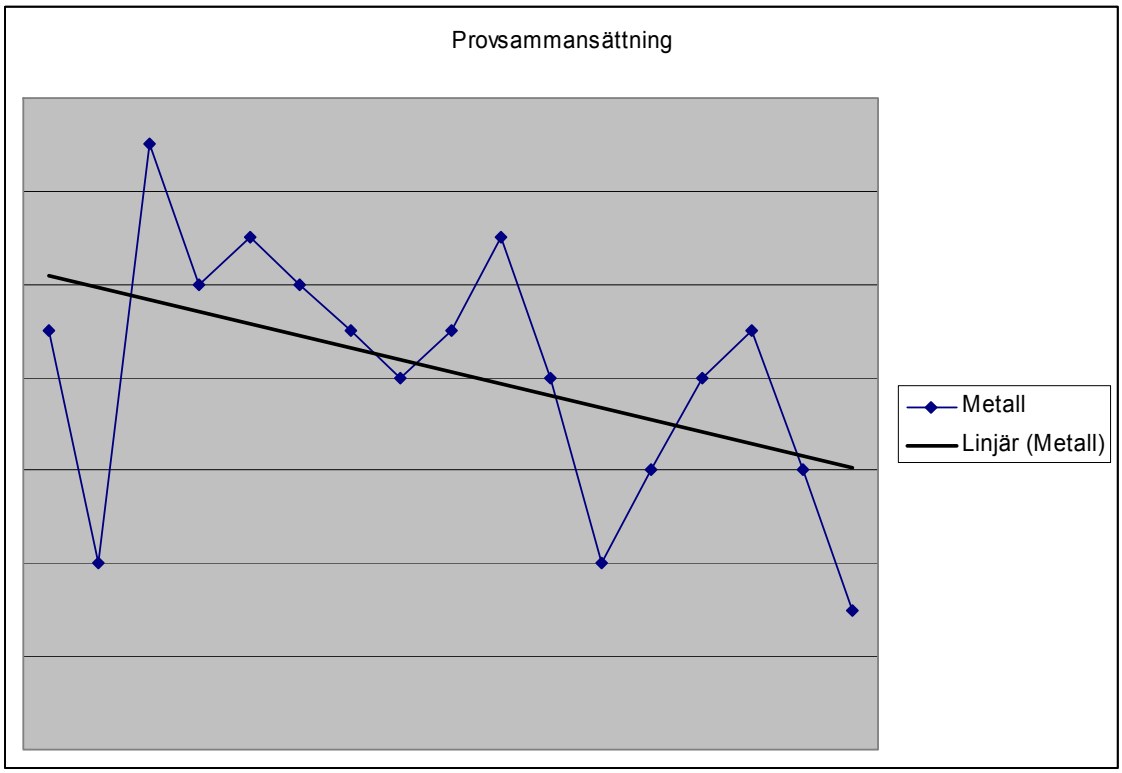
Figur 3, 5, 7 – 8 åskådliggör kornstorleksfördelning för respektive bottenaska. En jämförelse mellan bottenaskorna blir begränsad då askgruppen träslagg och kolbottenaska utgörs av ett materialprov (jmf Figur 7 och 8). En generell tolkning av kornstorleksfördelningen av de nyssnämnda bottenaskorna är att de utgör ett välgraderat konstruktionsmaterial. Härutöver så är slaggrus, kolbottenaska, träslagg och träbottenaska en restprodukt från en industriprocess som inte primärt fokuserar på restprodukten. I och med ett ökande intresse för ett nyttiggörande av restprodukter förbättras industriprocesser – med avseende på restprodukten – för att bättre möta slutanvändarens krav och tekniska och miljömässiga specifikationer. Ett gott exempel är produkten slaggrus [21] där bottenaskan ”homogeniseras” innan nyttiggörande genom siktning, metallavskiljning och lagring. Kornstorleksfördelningen för bottenaskor kan styras, och därmed möta mer tekniska krav från slutanvändaren.

Ett sätt att mäta känslighet mot nedkrossning - *Kornstorleksfördelning före och efter instampning* – är att mäta förändringar i kornstorleksfördelning genom att plotta kornstorleksfördelning före och efter packning. Ett exempel på förändring i kornstorleksfördelning visas i Figur 4, 6, 7 och 8 (jmf Bilaga A). Återigen så bör tolkning av känslighet mot nedkrossning ta hänsyn till att för bottenaskorna träaska, träslagg och kolbottenaska så utgörs dessa materialgrupper av ett fåtal materialprov. Med den reservationen så är den generella tolkning att bottenaskorna är känsliga för nedkrossning [3], och då i synnerhet bottenaskor ifrån förbränning med trä som bränsle; träaska och träslagg. Detta betyder att hänsyn till nedkrossningsbenägenhet under hantering – transport, utläggning och packning – är av stor vikt att kontrollera för att säkerställa konstruktionens funktionaliteten, naturligtvis beroende av applikationen.

Acceptans för nyttiggörande av ett alternativt konstruktionsmaterial, exempelvis till vägändamål [3], skapas genom att materialet är ”känt” för slutanvändaren. Den produkt som levereras är karakteriserad med avseende på tekniska och miljömässiga egenskaper, vilka slutanvändaren kan bekräfta genom en rutinmässig mottagningskontroll av deklarerade egenskaper.

Bestämning av provsammansättning har genomförts enligt ett förenklat okulärt förfarande där prov har delats upp i olika materialtyper; slagg, glas, porslin, keramik, metall och övrigt, en karakterisering som är genomförd för slaggrus (jmf 2.2.7). Data är inte av sådan kvalité att en utvärdering av hur provsammansättning och beständighet (nötningsmotstånd och temperaturväxlingar) varierar med tiden, detta då dataserier är

generellt för korta och kommer ifrån flera olika anläggningar (jmf 3.1). Men vad det gäller bottenaskor så har frågan om homogenisering påpekats som något positivt för materialen (se ovan). Går det då att spåra sortering och processering utifrån provsammansättningsdata? Figur 19 visar andelen av metallinnehållet i de provkroppar som färdigställts för dynamisk treaxialprovning. Värdena är sorterade i stigande tidsordning med det äldsta värdet till vänster i Figur 19, som stöd för utvärderingen så har en trendlinje (linjär) plottats i figuren. En positiv tolkning av Figur 19 ger ett stöd för att graden av metallseparering har ökat med tiden, och därmed indikerar en utveckling mot en högre grad av homogenisering av bottenaskan slaggrus.



Figur 19. Provsammansättning – metall

Figure 19. Sample composition – metal

Den möjligt viktigaste frågan vad det gäller provsammansättning och beständighet är relaterad till andelen oförbränt material i bottenaskor. Denna frågeställning ligger utanför detta arbete då det berör bestämning av organisk halt i ett material, vilket inte har bestämts av VTI i föreliggande arbete.

I Tabell 2 listas värden för *Frostbeständighet*, *Maximal torr skrymdensitet, micro-Deval* och *Optimal vattenkvot*. En del av dessa mekaniska värden tydliggör att bottenaskor är ”olik” naturliga material, som exempel jämför Tabell 2 och Tabell 3 och värden för micro-Deval.

Tabell 3 Jämförelsematerial granitisk bergkross, Skärlunda (ljus, medelkornig,1 – 5 mm), ojämnkornig granit. Huvudmineral kvarts, fältspat och glimmer. Medelvärden för slaggrus är införda som jämförelse (jmf Tabell 2)

Table 3 Reference material granitic crushed rock, Skärlunda (light, medium grained, 1 – 5 mm) inequigranular granite. Major minerals; quartz, feldspar and mica. Mean values for MSWI bottom ash is given as a reference (compare Table 2)

	Optimal vattenkvot (vikt-%)	Maximal torr skrymdensitet (Mg/m^3)	micro-Deval	Frostbeständighet
Granitisk bergkross	4,7	2,15	5	0,1
Slaggrus	16,2	1,65	32	1,8

Provningsmetoder för att mäta materials *tjällyftande egenskaper* och *frostbeständighet* har utvecklats med naturliga material i fokus [3]. Alternativa material reagerar ibland olikt jämfört med naturliga konstruktionsmaterial, och för bestämning av materials tjällyftande egenskaper och frostbeständighet så beskriver inte provningsförfarandet ”in-situ” uppträdandet för alternativa material. Orsaken till detta kan oftast relateras till de alternativa materialens komplexa mineralogi. Ett materials tjällyftande egenskaper beror till del av ett materials finjordshalt. Tar man hänsyn till att den tidigare diskussionen om materialberedning genom att ”styra” kornstorleksfördelningen, och därmed förbättra permeabiliteten, bör materialets tjällyftande egenskaper kunna förbättras. För slaggrus så har det visats [4] att materialet är beständigt mot klimatpåverkan och klassas som inte tjällyftande (jmf Tabell 2).

Mekanisk beständighet *(micro-Deval)* och provning har diskuterats flitigt [3]. Det har visats att alternativa material fungerar olikt jämfört med naturliga konstruktionsmaterial i material provningstester som exempelvis micro-Deval. Resultat ifrån exempelvis provning enligt metoden micro-Deval visar att alternativa material klassas generellt sämre än jämfört med naturliga konstruktionsmaterial. Provningsresultat skall därför tolkas med försiktighet. Alternativa material fungerar ofta bättre mekanisk i fält än vad som kan förväntas av provningsresultat från mekanisk beständighet [3].

I föreliggande arbete har mekanisk beständighet (jmf Tabell 2, micro-Deval) för slaggrus provats. I en jämförelse mellan Tabell 2 och 3 så har slaggrus höga värden för micro-Deval, jämfört med referensmaterial granit, vilket indikerar att bottenaskan inte är tjänligt till ”mer” krävande applikationer. Det som talar för slaggrus som konstruktionsmaterial, till vissa vägapplikationer, är fälterfarenhet ifrån vägkonstruktioner som har trafikerats över 20 år utan problem [3].

Som alternativ till provning av mekanisk beständighet (micro-Deval) framförs dynamisk treaxialprovning, gyratorisk packning och fältmätning med hjälp av fallviktsmätning.

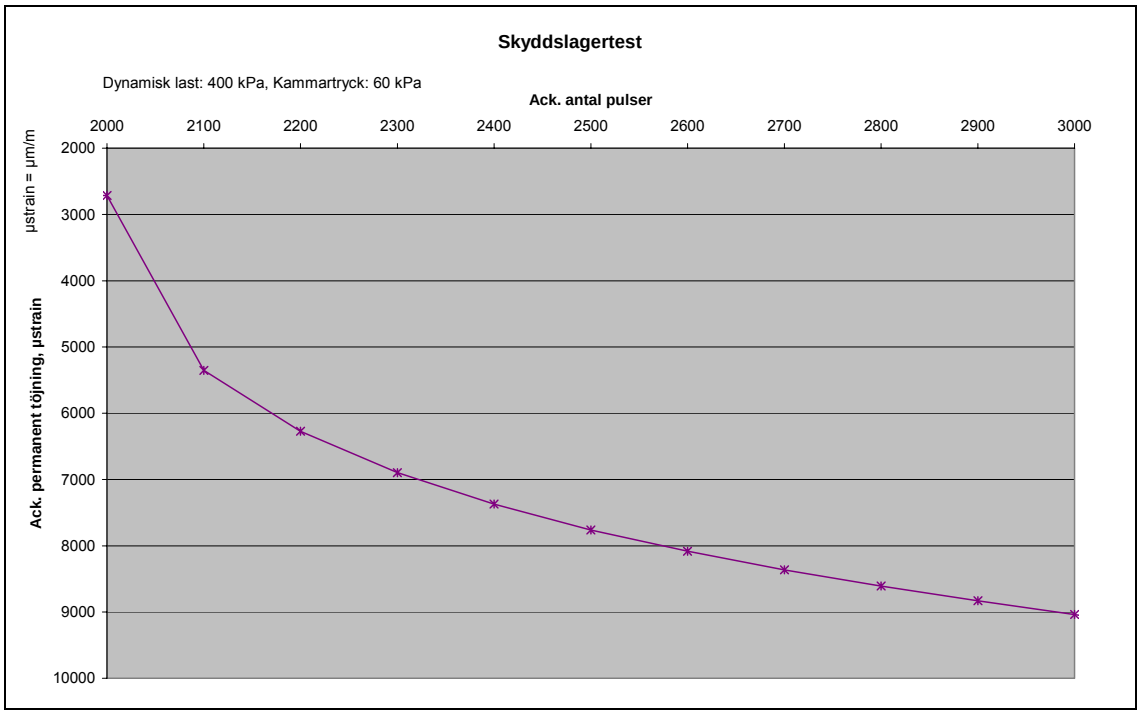
Maximal torr skrymdensitet och *Optimal vattenkvot* skiljer sig i en jämförelse mellan bottenaskor och naturliga konstruktionsmaterial (jmf Tabell 2 och 3). Bottenaskor är generellt ”lättare” och har en betydligt högre ”vattenkvot” jämfört med naturliga konstruktionsmaterial. Under traditionella packningsförhållanden, så har [3][4] visat att packat slaggrus förblir ett dränerande material. Praktisk erfarenhet från transport,

utläggning, packning etc. har visat att materialet är ”lätt” att handha, förutsatt att vattenkvoten är runt den optimala för materialet [21].

I ett *dynamiskt treaxialförsök* undersöks materialdeformationer vid simulerade trafikförhållanden. Provkroppen består av hela det sammansatta materialet upp till en viss kornstorlek, och därigenom efterliknas provning av lager i en vägkonstruktion. Därför är inte skillnaden mellan laboratoriets provningsresultat och fältobservation för de alternativa materialen så förvånande. Funktionsprovning av obundna material har med gott resultat utförts genom dynamisk treaxialförsök [12]. På så vis har en möjlighet skapats att överbrygga den empiriska klyftan mellan laboratorieresultat och resultat från fältmätningar i s.k. provvägar. Därför anses det att provning av alternativa material genom dynamiskt treaxialförsök ger en mer ”rättvisande” teknisk karakterisering av materialen, än jämfört med de resultat som fås genom traditionell materialprovning [4].

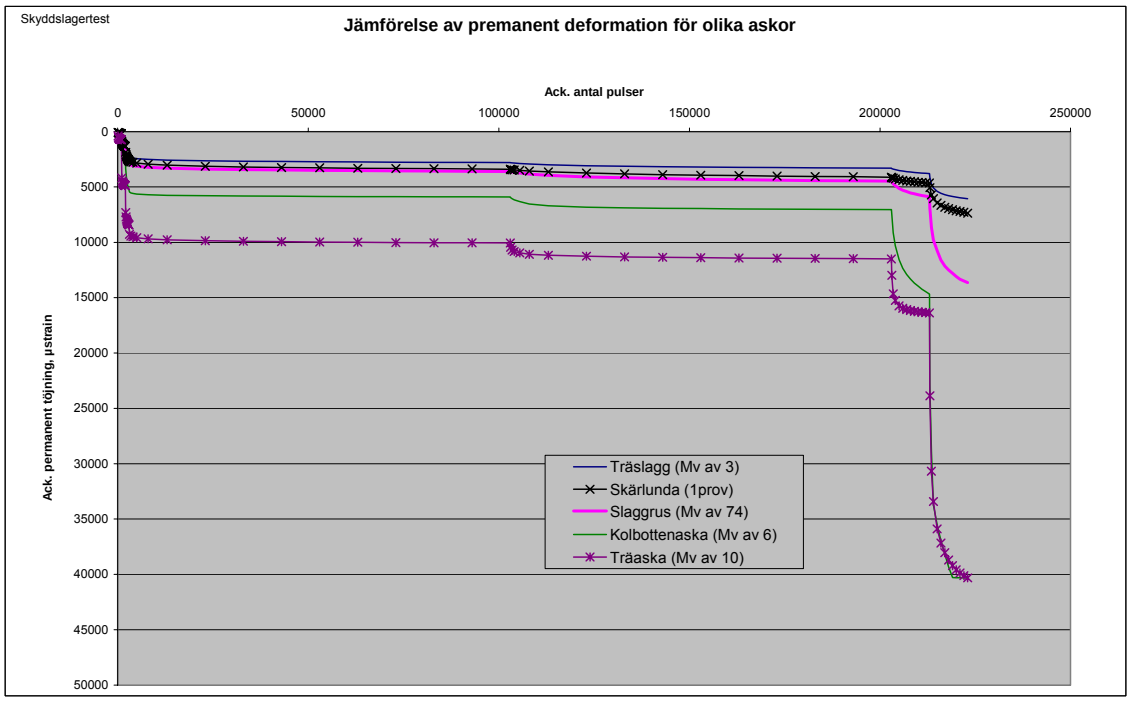
De materialparametrar som behövs för dimensioneringsmodeller, som E-modul och Poissons tal, är olik de materialparametrar som används i specifikationer och vid kvalitetskontroll, som kornstorlek, kornform och kompakteringsgrad. Av detta följer att en konstruktion kan baseras på funktionsprovning genom laboratoriemetoder som dynamisk treaxialprovning eller gyratorisk packning och fältmetoder som fallviktsmätning (för en fördjupad diskussion om provningsmetoder se [3]). Om de föreslagna provningsmetoderna kommer att utgöra basis för framtida materialkarakterisering återstår att se. Idag ligger fokus på att bättre nyttja E-modul och deformationsegenskaper i vägkonstruktion, och hur provningsmetoder kan utformas från förfinad laboratoriemetod till rutinprovningsmetod.

Funktionsprovning gör möjlig en materialklassificering vid sidan om ”traditionella” provningsmetoder, och här finns det områden av eftertänksamhet. Dynamisk treaxialprovning sker på ett packat material med en korngradering som skall likna det som användas i en konstruktion, och av detta följer frågan hur representativ provkroppen är för materialet i konstruktionen. Vissa alternativa material är heterogena och för vissa fortgår omvandlingar och reaktioner som kan förändra tekniska aspekter och miljöaspekter. Tekniska aspekter handlar om långtidsegenskaper – påverkan från frys – tö cykler, temperaturvariationer, förändringar i hydrologiska förhållanden och laster – om material kommer att bereda en tillfredsställande beständighet under hela dimensioneringsperioden.



Figur 20. Exempel på resultat från dynamiskt treaxialförsök, ett lastfall

Figure 20. Example of the results from repeated load triaxial test, single level of stress



Figur 21. Deformationsförlopp för föreliggande bottenaskor och ett jämförelsematerial (Skärlunda)

Figure 21. Deformation path for the bottom ashes in question and a reference material (Skärlunda)

Dynamiska treaxialförsök *(E-modul och ackumulerad permanent deformation)* är en provningsmetod som karakteriserar ett materials deformationsegenskaper enligt materialets mekaniska egenskaper styvhet och stabilitet. Dessa egenskaper är betydelsefulla för bedömning av ett materials lämplighet som vägbyggnadsmaterial och placering eller applikation i en överbyggnad. *Styvheten eller lastspridningsförmågan är ett mått på motståndet mot elastiska deformationer och ger en elasticitetsmodul (E-modul) eller resilientmodul att använda vid dimensionering av överbyggnaden. Stabiliteten är ett mått på förmågan att motstå permanenta deformationer [4]. Plastiska egenskaper (stabilitet).* Den testprocedur som används för att undersöka permanent deformation av obundna granulära material genom dynamiskt treaxialförsök, involverar ett stort antal lastcykler (10 000 cykler). I Figur 4 visas ett exempel på resultat från dynamisk treaxialprovning för ett lastfall för askprov 114 (jmf Bilaga A), och för lastpuls 2000 t.o.m. 3000. Så länge den cykliska belastningen är lägre än brottsstyrkan hos det obundna materialet, beskrivs förloppet av den permanenta deformationen (plastiska egenskaperna – stabilitet) av en snabb tillväxt under de första belastningscyklerna som följs av en gradvis stabilisering (Figur 20 och 21). Deformationsförloppet beror av material, provkroppens spänningsförhållande och applicerad last.

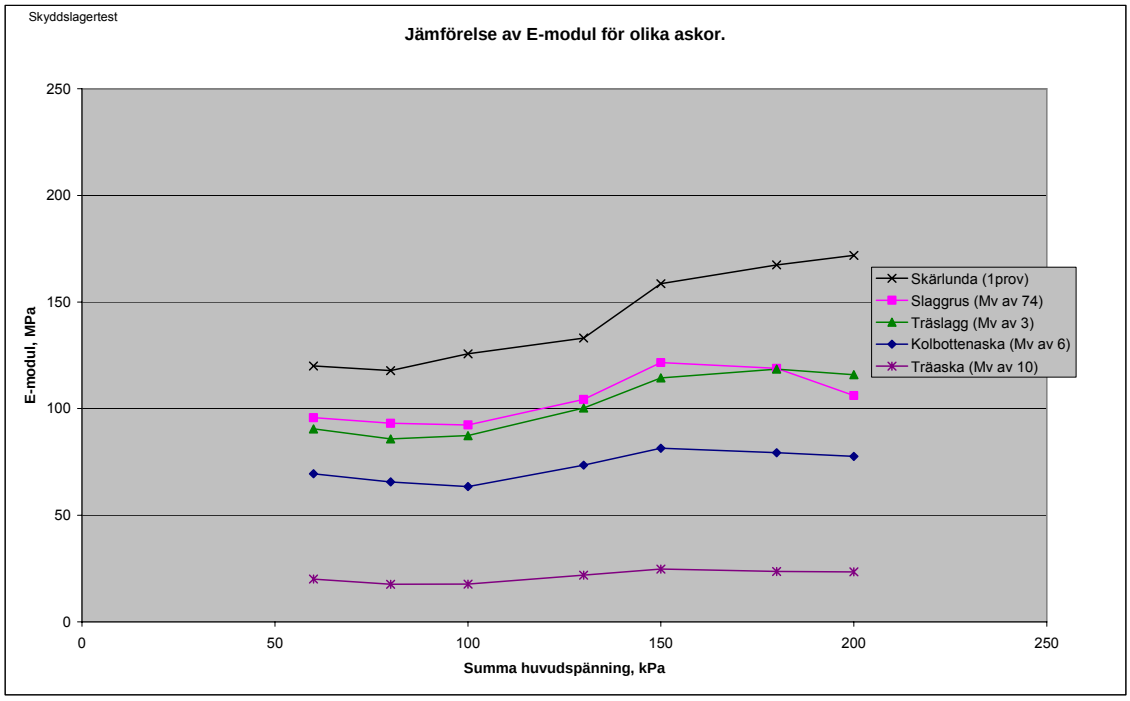
Dynamiskt triaxialförsök har utförts successivt med varierande lastfall, dvs. provkroppen har stegvis prövats med ett antal olika lastfall (N_1 lastcykler för lastfall 1, därpå följande N_2 lastcykler för lastfall 2 o.s.v., jmf även Tabell 1 och Bilaga A). Testet fortgår tills alla lastfall är genomkörda, eller till dess att uppmätt permanent deformation vid ett enskilt lastfall uppgår till mer än 20 mm, då anses provet ha gått till ”brott” och testet stoppas automatiskt. Ett exempel på resultat och deformationsförlopp (jmf Tabell 1) redovisas i Figur 21 för föreliggande bottenaskor samt ett referensmaterial (jmf Tabell 3). Kurvorna i Figur 21 redovisar medelvärden för; slaggrus 74 stycken prov, kolbottenaska 6 stycken prov, träslagg 3 stycken prov och träaska 1 prov. Kurvan för referensmaterialet redovisar 1 provvärde. Vid sidan om att Figur 21 ger en bild av föreliggande materials deformationsförlopp, så lämnar figuren en:

- Relativ jämförelse inom materialgruppen bottenaskor
- En relativ jämförelse mellan materialgrupper

En jämförelse inom materialgruppen bottenaskor med avseende på deformationsförlopp rangordnar bottenaskorna efter minsta deformation enligt; träslagg, slaggrus, kolbottenaska och träaska. Deformationsförloppet för bottenaskorna är jämförbart med referensmaterialet upp till ”högre” belastningsnivåer – lastfall 5 för skyddslagertest (Tabell 1). Vid denna ”högre” belastningsnivå ökar deformationen av bottenaskorna tydligt mer än jämfört med referensmaterialet, träslagg undantaget.

Resilientmodul (styvhet). Ett materials elastiska egenskaper (styvhet/E-modul) har betydelse vid analytisk dimensionering exempelvis för att beräkna lagertjocklekar. Resilientmodulen (E-modul) har i Figur 22 plottats som funktion av summa huvudspänning. Återigen så är här relativa jämförelser möjliga att göra mellan likartade material och mot andra materialtyper, med samma slutsatts som ovan.

Erhållna E-moduler ifrån dynamisk treaxialprovning är idag inte ett ingångsvärde vid vägdimensionering. Inte heller en direkt jämförelser mellan de här redovisade E-modulerna och de dimensionerande styvhetsmodulerna som redovisa i exempelvis ATB VÄG låter sig göras [24].



Figur 22. Resilientmodul som funktion av summa huvudspänning

Figure 22. Resilient modulus as a function of the sum of the principal stresses

I väg

En väg är en konstruktion som är uppbyggd enligt flerlagersprincipen (jmf [1]) där varje enskilt lager skall uppfylla specifika tekniska funktioner för att säkerställa hållbarheten av hela konstruktionen, oberoende val av konstruktionsmaterial. Därför, om ett alternativ material nyttjas, är en generell princip att vägkonstruktionen funktionella egenskaper skall garanteras på samma sätt som om traditionella konstruktionsmaterial brukats. Detta betyder att applikationen, eller ett lager i vägkonstruktionen, skall uppfylla förväntad teknisk funktion.

EU-projektet SAMARIS ”Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure” arbetar med nyttiggörande av alternativa material som konstruktionsmaterial [25]. SAMARIS har belyst begreppet ”teknisk acceptans” för alternativa material.

Teknisk acceptans för alternativa material betyder både fysisk och mekanisk integrering med vägen för att etablera en konstruktion i sin helhet vilken helt svarar mot både kortsiktiga och långsiktiga konstruktionsmål. Detta betyder att:

- material är lämpliga att bereda, transportera, att lägga ut och kompaktera i en given vägapplikation.
- att det alternativa materialet uppfyller de funktionella kraven för vägapplikationen.

- en hållbara funktionaliteten är garanterad för vägkonstruktionen.

Flera alternativa material har passande egenskaper vilka är lämpliga för användning som konstruktionsmaterial. Bruket av alternativa material är lik användningen av traditionella konstruktionsmaterial. Alternativa material nyttjas på ett traditionellt sätt och inte på ett sofistikerat eller helt olika sätt. Det traditionella konceptet för vägkonstruktion är baserad på:

- en terrassyta med bestämd styvhet som bildar en plattform utan extrema sättningar
- aggregat av sand, grus och sten läggs ut i tre eller fler lager. Tjockleken av lagren och den nödvändiga hållfastheten beror av trafikeringen.
- Vägkonstruktionslager är obundna eller bundna (Portland cement, bitumen etc.)
- Finfraktion används som filler och bindemedel för att höja lagrets kvalitet (hållfasthet) genom att fylla igen håligheter och därmed forma en mekanisk stabilisering.
- Effektiva dräneringslager är integrerade i vägkonstruktionen. Under normala förutsättningar har förstärkningslagret denna funktion, men andra lager kan även vara dränerande.
- Slitlagret utgör gränssnittet mellan vägkonstruktionen och trafiken för vilket krav såsom friktion och jämnhet garanterar en säker trafikering.

Alternativa material har tre huvudfunktioner i en vägkonstruktion:

- som ersättning för traditionella konstruktionsmaterial i olika lager
- som filler (inert material) för att förbättra lagerkvaliteten genom mekanisk stabilisering.
- som bindemedel för ersättning av traditionella bindemedel eller som en blandning av bindemedel för att ersätta traditionella bindemedel

En del alternativa material kan ha multipla funktioner (exempelvis kol flygaska; bindemedel och eller filler)

Provningsmetoder för att prova funktionella krav och material specifikationer för alternativa material är i allmänhet lika de som används för traditionella material. Modifiering och uteslutande av traditionella test metoder och nyttjandet av alternativa metoder kan användas, men också utvecklas specifikt för alternativa material.

Applikationen

Sammanfattningsvis kvarstår frågan – är bottenaskorna användbara som konstruktionsmaterial för vägbyggnad? Ett axplock av nationella arbeten ger ett entydigt svar att bottenaskor utgör en resurs, och att applikationen beskrivs förebildligt [6][19][20][21][23].

Bottenaskor beskiver en materialkategori som karakteriseras av ett välgraderat material. Kornform och ytstruktur hjälper till att göra bottenaskor lätta att packa vid optimal vattenkvot, möjligen några procent lägre. Åtminstone för slaggrus gäller att materialet är dränerande efter packning. Fälterfarenhet har visat att bottenaskor är hanterbara, dvs.

vid transport, utbredning, och packa, förutsatt att bottenaskans vattenkvot är nära optimal vattenkvot. Bottenaskor har jämfört med naturliga konstruktionsmaterial en lägre maximal torr skrymdensitet, vilket vid sidan om den tekniska egenskapen, bör ge minskade transportkostnader.

En del olikheter mellan bottenaskor och naturliga konstruktionsmaterial gör sig särskilt märkbara (till exempel mekanisk beständighet). Orsaker till olikheter kan relatera till bottenaskors mineralsammansättning vilken inte är stabil. Av detta är processen med att homogenisera bottenaskan av vikt för att säkerställa de funktionella egenskaperna av applikationen över tiden. Oförbränt material i en bottenaska är en potentiell försämrande faktor. Det finns även en risk för svällning om vissa bottenaskor blandas med hydrauliska bindemedel, utfällning av sekundära mineraler som gibbsit och ettringit. På grund av den höga porositeten kan bottenaskor vara kraftigt sugande i bundna applikationer. Tekniska långtidsegenskaper hos bottenaskor är osäkra, men det finns exempel på fungerande vägkonstruktioner som varit i bruk över 20 år [3].

Användningsområden för bottenaskor beror naturligtvis av vilken typ av konstruktion som materialet är tänkt att ingå i. En bedömning av lämplighet baseras på erfarenheten med dessa material och på resultat från tester av detta material. En inte alltför banbrytande slutsats är att:

- Slaggrus kan användas som fyllnadsmaterial, skyddslager och förstärkningslager. Underlaget för denna bedömning är erfarenheten inom Sverige, men även en mycket vid internationellt erfarenhet.
- Kolbottenaskor kan användas som lätt terrassmaterial. Här finns erfarenhet i Sverige, den ovannämnda vägkonstruktionen som varit i bruk i 20 år, och testresultat finns.
- Träbottenaskor kan användas som konstruktionsmaterial till vägbyggnad. Här är underlaget för bedömning begränsad, och slutsatsen är än så länge mer osäker än för slaggrus eller kolbottenaskor

Osäkerheten om träbottenaskor behöver en förklaring. Det finns stora skillnader i egenskaper mellan de två prov som tillsammans representerar det som är känt om träbottenaskor inför en användning i vägar, nämligen träslaggen från Linköping och träbottenaskan från Norrköping. Provet av träslagg har generellt bättre materialtekniska egenskaper än proven av träbottenaska. Dessa egenskaper har sannolikt sitt ursprung i typen av bränsle, förhållanden under förbränningen, askans variabla sammansättning av mineraler eller halten av kvarvarande oförbränt material, åldringens längd och behandlingen av askan (t ex om den homogeneiserats). Innan betydelsen av dess faktorer har utretts är det svårt att yttra ett generellt omdöme. När det nu pågående projektet Q4-282, ”Kvalitetskriterier för askor till väg- och anläggningsbyggnad – Etapp1, karakterisering av bottenaskor” genomförts kan sannolikt slutsatser dras på fastare underlag.

Till dess kan några kommentarer vara på sin plats. Träbottenaskan från Linköping, d v s träslaggen, är väl utbränd och vid en okulär granskning syns att kornen sintrat i en viss utsträckning. Kornen är hårda. Träbottenaskan från Norrköping, här kallad träbottenaska, är lätt, porös, är mindre väl utbränd och krossas lätt. Proven togs ut under en period då panna P11 i Händelö inte fungerade särskilt väl [27]. Det ligger nära till

hands att anta att en ”god” träbottenaska borde i större utsträckning ha de egenskaper som ”träslaggen” från Linköping har, än de som den mindre väl utbrända ”träbottenaskan” från Norrköping, men det måste bekräftas.

5 Rekommendationer och användning

Som tidigare framhållits så är syftet med föreliggande projekt att göra data tillgänglig. Det främst argumentet mot denna typ av publicering av mätdata, är att data innehåller uppenbara brister i informationsnivån. Dessa informationstomrum är främst tidsaspekten, men också bristen på viss bakgrundsinformation som t.ex. uppgifter om bränsle och typ av panna samt att ingen vedertagen standard för provningsmetoden existerat. Dessa brister förtar inte det unika med dataserien och det är därför väl motiverat att rådande projekt kan redovisas inom ramen för Värmeforsks Askprogrammet. Vidare så är det författarnas övertygelse att i de framtida arbeten som kommer att referera till projektet ”Askors materialtekniska funktion – VTI: s materialdatabas”, så förstår man att använda källdata utifrån ovanstående svaghet och styrka.

6 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Under 2004 presenterades en europastandard för dynamiska treaxialförsök [17]. Det närmaste arbetet är att föra in resultat från s.k. funktionsprovning till dimensioneringsmodeller. Vidare så är det viktigt att fundera på hur material skall provas dvs. med vilken metod. Är det så att dynamiska treaxialförsök kommer att nyttjas än mer vid materialkarakterisering så fortsätter diskussionen om hur provning kan utformas ifrån förfinad laboratoriemetod till rutinprovningsmetod, eller korrelation till andra provningsmetoder.

Ett forskningsområde där dynamisk treaxialprovning väl kommer till rätta är inom alternativa materials tekniska långtidsegenskaper. Detta är ett område som ställer särskilda krav på provtagning och testning, för att precis kunna beskriva processer som exempelvis nedbrytning och vittring vilka påverkar en vägkonstruktion.

Frågan om det mest lämpliga nyttiggörandet av bottenaskor är öppen. Det finns behov att gå vidare med materialkarakterisering, även om kunskapen om vissa bottenaskors tekniska och miljömässiga egenskaper är god. Frågor som är särskilt intressanta är skillnader i tekniska egenskaper mellan olika typer av bottenaskor – slaggrus, träbottenaska och träslagg. Andra områden som väcker frågor är blandning av olika typer av askor, eller stabiliserade askor.

7 Litteraturreferenser

[1] ATB VÄG 2003 Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion, VV Publ 2003:111, Enheten för statlig väghållning, Borlänge.

[2] Södergren I; Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad – Undersökning av rosteldad kolbottenaska, slaggrus och krossad betong, VV Publ 2001:34, Enheten för statlig väghållning, Borlänge 12 2001.

[3] Reid J M (project coordinator); ALT-MAT, Alternative Materials, Deliverable D7, European Commission under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme, 01 2001.

[4] Arm M; Mechanical properties of residues as unbound road materials – experimental tests on MSWI bottom ash, crushed concrete and blast furnace slag, Ph.D. thesis, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2003.

[5] Bjurström H, Rydstrand C, Berg M, Wikman K; Databas inom delprogrammet "Miljöriktig användning av askor", Rapport 857, Värmeforsk Service AB, Stockholm januari 2004.

[6] Grönholm R, Hartlén J, Sävström R, Fridh R, Evertsson U; Användning av betong, tegel och slaggrus som obundet vägbyggnadsmaterial, AFR-Report 278, Naturvårdsverket, Stockholm, 1999.

[7] VV Publ 1998:68 Bestämning av kornstorleksfördelning genom siktanalys, VVMB 619, Vägverket, Borlänge 1998.

[8] prEN 13286-2 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 2: Test methods for the determination of laboratory reference density and water content – Proctor compaction. CEN.

[9] VV Publ 1998:70 Bestämning av maximal densitet med vibrobord, VVMB 607, Vägverket, Borlänge 1998.

[10] EN 13286-52 Making specimens by vibrocompaction. CEN.

[11] Kolisoja P; Resilient Deformation Characteristics of Granular Material, Ph.D. thesis, Tampere University of Technology Publications 223, Tampere 1997.

[12] Ydrevik K; Dynamisk treaxiell provning av bär- och skyddslager, VTI notat 58-1995, Statens väg och transportforskningsinstitut, Linköping 1995.

[13] FAS Metod 259-02 Stenmaterial Bestämning av kulkvarnsvärde, FAS Service AB, Stockholm 2002.

[14] SS-EN 1097-1 Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval), Standardiseringen i Sverige, Stockholm mars 1999.

[15] VTI Metod 1-03 Stenmaterial Bestämning av frostbeständighet, Statens väg och transportforskningsinstitut, Linköping juni 2003.

[16] Bahr B, Ekvall A, Schouenborg B; Kvalitetskriterier för askor till väg- och anläggningsbyggnad, Etapp I – inventering av provningsmetoder och funktionskrav, Rapport 867, Värmeforsk Service AB, Stockholm maj 2004.

[17] En 13286-7, Unbound and hydraulically bound mixtures – Test methods – Part 7: Cyclic load triaxial test for unbound mixtures, CEN, Brussels January 2004.

[18] Pousette K, Mácsik J; Material- och miljöteknisk undersökning av grönlutslam, mesa, kalkgrus, flyg- och bottenaska från AssiDomäns fem svenska bruk, Luleå Tekniska Universitet Institutionen för Väg- och Vattenbyggnad Avdelningen för Geoteknik, Luleå 2000.

[19] Ekdahl P, Wiklund K; Alternativa vägmaterials tekniska egenskaper i väg – Förstudie, Scandiaconsult Sverige AB, Malmö 2002.

[20] Hartlén J, Grönholm R, Nyström T, Schultz J; Återanvändning av sekundära material inom anläggningsområdet, AFR-Report 275, Naturvårdsverket, Stockholm 1999.

[21] RVF-Rapport 02:10 Kvalitetssäkring av slaggrus från förbränning av avfall, Svenska Renhållningsföreningen, Malmö 2002.

[22] Wik O; Inventering av restprodukter som kan utgöra ersättningsmaterial för naturgrus och bergkross i anläggningsbyggande, Statens geotekniska institut, Linköping 2003.

[23] Knutz Å; Användning av restprodukter i vägbyggnad, VV Publ 1999:161, Enheten för statlig väghållning, Borlänge 2000.

[24] Arm M; Uppföljning av befintliga slaggrusvägar. Fallviktsmätning på provsträckor på Törringevägen i Malmö och Dåvamyran i Umeå. Värmeforsk Service AB, Stockholm december 2004.

[25] SAMARIS (Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure), http://samaris.zag.si/

[26] Bjurström H, Berg M, Arm M, Suér P, Håkansson K; En förenklad testmetod för kvalitetssäkring – Etapp I, Rapport 856, Värmeforsk Service AB, Stockholm januari 2004.

[27] Johansson H, Sydkraft Östvärme; muntligt meddelande till Ribbing C, Värmeforsk, april 2005

Bilagor

A Data – Askprov nr 114

A Data – Askprov nr 114

I Bilaga A visas ett exempel på de data som lagrats i databasen AllAska och som är tillämpliga för projekt Q4-224. Bilaga A är en post i AllAska och redovisas här enligt en utskriftsmöjlighet som databasen erbjuder.

ASKPROV NR	114

1. Typ av aska

Titel:	Umeå, Slaggrus 2001	Källa	VTI
Utmatning: princip	Okänt	Beskrivning	
Utmatning: tidpunkt		Fil som Håkan Arvidsson skickat för att AllAska skulle anpassas till deras Treaxialförsök	
Efterbehandling?	Okänt		
Typ av prov		Metod för provtagning	
Tekniska tillämpningar	Okänt	Tidpunkt för provtagning	

Typ av aska	Typ av aska, undernivå	Andel (%)	Anteckningar
Okänt	-		

2. Partikelstorlek

Uppgift	Värde	Enhet	Metod
0,063 mm	4,5	% passerar	VVMB 619
0,125 mm	6,2	% passerar	VVMB 619
0,25 mm	8,8	% passerar	VVMB 619
0,5 mm	12,9	% passerar	VVMB 619
1 mm	19,3	% passerar	VVMB 619
2 mm	28,5	% passerar	VVMB 619
4 mm	41	% passerar	VVMB 619
5,6 mm	49,8	% passerar	VVMB 619
8 mm	60,7	% passerar	VVMB 619
11,2 mm	73,7	% passerar	VVMB 619
16 mm	87	% passerar	VVMB 619
31,5 mm	100	% passerar	VVMB 619
45 mm	100	% passerar	VVMB 619
Graderingstal	25,5	d60/d10	VVMB 619
0,063 mm efter labpackning	7,3	% passerar	VVMB 619
0,125 mm efter labpackning	11	% passerar	VVMB 619
0,25 mm efter labpackning	16,1	% passerar	VVMB 619
0,5 mm efter labpackning	23,7	% passerar	VVMB 619
1 mm efter labpackning	34,2	% passerar	VVMB 619
2 mm efter labpackning	46,9	% passerar	VVMB 619
4 mm efter labpackning	60,2	% passerar	VVMB 619
5,6 mm efter labpackning	67,5	% passerar	VVMB 619
8 mm efter labpackning	77	% passerar	VVMB 619

11,2 mm efter labpackning	89	% passerar	VVMB 619
16 mm efter labpackning	94	% passerar	VVMB 619
31,5 mm efter labpackning	100	% passerar	VVMB 619
45 mm efter labpackning	100	% passerar	VVMB 619

3. Geotekniska egenskaper

Uppgift	Värde	Enhet	Metod
Frostbeständighet	7,7		VTI Metod 1
Max. torr skrymdensitet, tung labinstampning	1827	kg/m3	prEN13286-2
Mekanisk beständighet, micro-Deval	27		EN 1097-1
Optimal vattenkvot	13,5	%	prEN13286-2

4. Sammansättning

Uppgift	Värde	Enhet	Metod
Glas	20,2	vikt-%	Okulärt 4-32 mm
Keramik	5,1	vikt-%	Okulärt 4-32 mm
Metall	3	vikt-%	Okulärt 4-32 mm
Porslin	5,5	vikt-%	Okulärt 4-32 mm
Slagg	65	vikt-%	Okulärt 4-32 mm
Övrigt	1,2	vikt-%	Okulärt 4-32 mm

5. Laktester

6. Treaxialförsök

Försök nr:	570	Datum:	2001-10-22	Diameter	150 mm	Höjd	300	mm
Önskad packningsgrad	90 %		Uppnådd packningsgrad		84,3 %			
Önskad torr skrymdensitet Önskad relativ vattenkvot	1,644 60 Mg/m3 %		Uppnådd torr skrymdensitet Uppnådd relativ vattenkvot före test		1,541 63 efter test Mg/m3		63	%

Kommentar:

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	10/10	100	36
Skyddslagertest	10/10	200	56
Skyddslagertest	10/10	300	73
Skyddslagertest	10/10	400	86
Skyddslagertest	10/10	500	97
Skyddslagertest	10/10	600	102
Skyddslagertest	10/10	700	111
Skyddslagertest	10/10	800	120
Skyddslagertest	10/10	900	124
Skyddslagertest	10/10	1000	129

Skyddslagertest	30/10	1100	493
Skyddslagertest	30/10	1200	576
Skyddslagertest	30/10	1300	628
Skyddslagertest	30/10	1400	660
Skyddslagertest	30/10	1500	689
Skyddslagertest	30/10	1600	703
Skyddslagertest	30/10	1700	730
Skyddslagertest	30/10	1800	739
Skyddslagertest	30/10	1900	757
Skyddslagertest	30/10	2000	769
Skyddslagertest	50/10	2100	1015
Skyddslagertest	50/10	2200	1123
Skyddslagertest	50/10	2300	1193
Skyddslagertest	50/10	2400	1241
Skyddslagertest	50/10	2500	1274
Skyddslagertest	50/10	2600	1306
Skyddslagertest	50/10	2700	1335
Skyddslagertest	50/10	2800	1351
Skyddslagertest	50/10	2900	1367

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	50/10	3000	1388
Skyddslagertest	50/20	3100	1475
Skyddslagertest	50/20	3500	1537
Skyddslagertest	50/20	4000	1579
Skyddslagertest	50/20	5000	1625
Skyddslagertest	50/20	8000	1686
Skyddslagertest	50/20	13000	1729
Skyddslagertest	50/20	23000	1776
Skyddslagertest	50/20	33000	1796
Skyddslagertest	50/20	43000	1817
Skyddslagertest	50/20	53000	1826
Skyddslagertest	50/20	63000	1837
Skyddslagertest	50/20	73000	1848
Skyddslagertest	50/20	83000	1851
Skyddslagertest	50/20	93000	1858
Skyddslagertest	50/20	103000	1862
Skyddslagertest	70/20	103100	1876
Skyddslagertest	70/20	103500	1878
Skyddslagertest	70/20	104000	1887
Skyddslagertest	70/20	105500	1898
Skyddslagertest	70/20	108000	1935
Skyddslagertest	70/20	113000	1979
Skyddslagertest	70/20	123000	2043

Skyddslagertest	70/20	133000	2079
Skyddslagertest	70/20	143000	2106
Skyddslagertest	70/20	153000	2126
Skyddslagertest	70/20	163000	2147
Skyddslagertest	70/20	173000	2158
Skyddslagertest	70/20	183000	2169
Skyddslagertest	70/20	193000	2185
Skyddslagertest	70/20	203000	2196
Skyddslagertest	100/20	203100	2235
Skyddslagertest	100/20	203500	2239
Skyddslagertest	100/20	204000	2271
Skyddslagertest	100/20	205000	2307
Skyddslagertest	100/20	206000	2350
Skyddslagertest	100/20	207000	2391
Skyddslagertest	100/20	208000	2414
Skyddslagertest	100/20	209000	2452
Skyddslagertest	100/20	210000	2481
Skyddslagertest	100/20	211000	2510
Skyddslagertest	100/20	212000	2531
Skyddslagertest	100/20	213000	2542
Skyddslagertest	150/20	213100	2685
Skyddslagertest	150/20	213500	3076
Skyddslagertest	150/20	214000	3365
Skyddslagertest	150/20	215000	3632
Skyddslagertest	150/20	216000	3783

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	150/20	217000	3884
Skyddslagertest	150/20	218000	3972
Skyddslagertest	150/20	219000	4027
Skyddslagertest	150/20	220000	4081
Skyddslagertest	150/20	221000	4131
Skyddslagertest	150/20	222000	4174
Skyddslagertest	150/20	223000	4216

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	10/10	100	70
Skyddslagertest	10/10	200	106
Skyddslagertest	10/10	300	133
Skyddslagertest	10/10	400	145
Skyddslagertest	10/10	500	161
Skyddslagertest	10/10	600	176
Skyddslagertest	10/10	700	185

Skyddslagertest	10/10	800	187
Skyddslagertest	10/10	900	197
Skyddslagertest	10/10	1000	206
Skyddslagertest	30/10	1100	601
Skyddslagertest	30/10	1200	682
Skyddslagertest	30/10	1300	725
Skyddslagertest	30/10	1400	757
Skyddslagertest	30/10	1500	784
Skyddslagertest	30/10	1600	807
Skyddslagertest	30/10	1700	820
Skyddslagertest	30/10	1800	830
Skyddslagertest	30/10	1900	845
Skyddslagertest	30/10	2000	855
Skyddslagertest	50/10	2100	1069
Skyddslagertest	50/10	2200	1164
Skyddslagertest	50/10	2300	1213
Skyddslagertest	50/10	2400	1263
Skyddslagertest	50/10	2500	1290
Skyddslagertest	50/10	2600	1317
Skyddslagertest	50/10	2700	1338
Skyddslagertest	50/10	2800	1351
Skyddslagertest	50/10	2900	1371
Skyddslagertest	50/10	3000	1387
Skyddslagertest	50/20	3100	1462
Skyddslagertest	50/20	3500	1521
Skyddslagertest	50/20	4000	1555
Skyddslagertest	50/20	5000	1595
Skyddslagertest	50/20	8000	1645
Skyddslagertest	50/20	13000	1685
Skyddslagertest	50/20	23000	1721
Skyddslagertest	50/20	33000	1740
Skyddslagertest	50/20	43000	1753
Skyddslagertest	50/20	53000	1763

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	50/20	63000	1772
Skyddslagertest	50/20	73000	1781
Skyddslagertest	50/20	83000	1783
Skyddslagertest	50/20	93000	1790
Skyddslagertest	50/20	103000	1794
Skyddslagertest	70/20	103100	1816
Skyddslagertest	70/20	103500	1825
Skyddslagertest	70/20	104000	1827
Skyddslagertest	70/20	105500	1834

Skyddslagertest	70/20	108000	1868
Skyddslagertest	70/20	113000	1900
Skyddslagertest	70/20	123000	1945
Skyddslagertest	70/20	133000	1977
Skyddslagertest	70/20	143000	2004
Skyddslagertest	70/20	153000	2013
Skyddslagertest	70/20	163000	2026
Skyddslagertest	70/20	173000	2035
Skyddslagertest	70/20	183000	2051
Skyddslagertest	70/20	193000	2058
Skyddslagertest	70/20	203000	2060
Skyddslagertest	100/20	203100	2078
Skyddslagertest	100/20	203500	2090
Skyddslagertest	100/20	204000	2112
Skyddslagertest	100/20	205000	2151
Skyddslagertest	100/20	206000	2189
Skyddslagertest	100/20	207000	2218
Skyddslagertest	100/20	208000	2253
Skyddslagertest	100/20	209000	2271
Skyddslagertest	100/20	210000	2289
Skyddslagertest	100/20	211000	2313
Skyddslagertest	100/20	212000	2327
Skyddslagertest	100/20	213000	2343
Skyddslagertest	150/20	213100	2456
Skyddslagertest	150/20	213500	2705
Skyddslagertest	150/20	214000	2878
Skyddslagertest	150/20	215000	3064
Skyddslagertest	150/20	216000	3166
Skyddslagertest	150/20	217000	3240
Skyddslagertest	150/20	218000	3290
Skyddslagertest	150/20	219000	3342
Skyddslagertest	150/20	220000	3375
Skyddslagertest	150/20	221000	3412
Skyddslagertest	150/20	222000	3429
Skyddslagertest	150/20	223000	3466

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	10/10	100	77
Skyddslagertest	10/10	200	113
Skyddslagertest	10/10	300	140
Skyddslagertest	10/10	400	154
Skyddslagertest	10/10	500	165
Skyddslagertest	10/10	600	179
Skyddslagertest	10/10	700	185
Skyddslagertest	10/10	800	194

Skyddslagertest	10/10	900	203
Skyddslagertest	10/10	1000	204
Skyddslagertest	30/10	1100	752
Skyddslagertest	30/10	1200	858
Skyddslagertest	30/10	1300	924
Skyddslagertest	30/10	1400	965
Skyddslagertest	30/10	1500	997
Skyddslagertest	30/10	1600	1024
Skyddslagertest	30/10	1700	1044
Skyddslagertest	30/10	1800	1066
Skyddslagertest	30/10	1900	1080
Skyddslagertest	30/10	2000	1091
Skyddslagertest	50/10	2100	1525
Skyddslagertest	50/10	2200	1708
Skyddslagertest	50/10	2300	1814
Skyddslagertest	50/10	2400	1900
Skyddslagertest	50/10	2500	1961
Skyddslagertest	50/10	2600	2011
Skyddslagertest	50/10	2700	2056
Skyddslagertest	50/10	2800	2095
Skyddslagertest	50/10	2900	2126
Skyddslagertest	50/10	3000	2153
Skyddslagertest	50/20	3100	2255
Skyddslagertest	50/20	3500	2327
Skyddslagertest	50/20	4000	2373
Skyddslagertest	50/20	5000	2431
Skyddslagertest	50/20	8000	2508
Skyddslagertest	50/20	13000	2572
Skyddslagertest	50/20	23000	2628
Skyddslagertest	50/20	33000	2664
Skyddslagertest	50/20	43000	2691
Skyddslagertest	50/20	53000	2709

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	50/20	63000	2725
Skyddslagertest	50/20	73000	2741
Skyddslagertest	50/20	83000	2752
Skyddslagertest	50/20	93000	2763
Skyddslagertest	50/20	103000	2772
Skyddslagertest	70/20	103100	2789
Skyddslagertest	70/20	103500	2806
Skyddslagertest	70/20	104000	2813
Skyddslagertest	70/20	105500	2847
Skyddslagertest	70/20	108000	2930

Skyddslagertest	70/20	113000	3025
Skyddslagertest	70/20	123000	3143
Skyddslagertest	70/20	133000	3220
Skyddslagertest	70/20	143000	3270
Skyddslagertest	70/20	153000	3319
Skyddslagertest	70/20	163000	3353
Skyddslagertest	70/20	173000	3385
Skyddslagertest	70/20	183000	3414
Skyddslagertest	70/20	193000	3441
Skyddslagertest	70/20	203000	3460
Skyddslagertest	100/20	203100	3507
Skyddslagertest	100/20	203500	3573
Skyddslagertest	100/20	204000	3665
Skyddslagertest	100/20	205000	3853
Skyddslagertest	100/20	206000	4015
Skyddslagertest	100/20	207000	4137
Skyddslagertest	100/20	208000	4236
Skyddslagertest	100/20	209000	4318
Skyddslagertest	100/20	210000	4390
Skyddslagertest	100/20	211000	4447
Skyddslagertest	100/20	212000	4501
Skyddslagertest	100/20	213000	4549
Skyddslagertest	150/20	213100	5036
Skyddslagertest	150/20	213500	6462
Skyddslagertest	150/20	214000	7280
Skyddslagertest	150/20	215000	8107
Skyddslagertest	150/20	216000	8577
Skyddslagertest	150/20	217000	8927
Skyddslagertest	150/20	218000	9190
Skyddslagertest	150/20	219000	9414
Skyddslagertest	150/20	220000	9601
Skyddslagertest	150/20	221000	9759
Skyddslagertest	150/20	222000	9917
Skyddslagertest	150/20	223000	10053

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	10/10	100	70
Skyddslagertest	10/10	200	111
Skyddslagertest	10/10	300	136
Skyddslagertest	10/10	400	154
Skyddslagertest	10/10	500	169
Skyddslagertest	10/10	600	176
Skyddslagertest	10/10	700	187
Skyddslagertest	10/10	800	196
Skyddslagertest	10/10	900	197

Skyddslagertest	10/10	1000	206
Skyddslagertest	30/10	1100	780
Skyddslagertest	30/10	1200	893
Skyddslagertest	30/10	1300	958
Skyddslagertest	30/10	1400	1001
Skyddslagertest	30/10	1500	1041
Skyddslagertest	30/10	1600	1069
Skyddslagertest	30/10	1700	1092
Skyddslagertest	30/10	1800	1110
Skyddslagertest	30/10	1900	1128
Skyddslagertest	30/10	2000	1146
Skyddslagertest	50/10	2100	1604
Skyddslagertest	50/10	2200	1796
Skyddslagertest	50/10	2300	1916
Skyddslagertest	50/10	2400	2006
Skyddslagertest	50/10	2500	2072
Skyddslagertest	50/10	2600	2130
Skyddslagertest	50/10	2700	2174
Skyddslagertest	50/10	2800	2212
Skyddslagertest	50/10	2900	2246
Skyddslagertest	50/10	3000	2276
Skyddslagertest	50/20	3100	2381
Skyddslagertest	50/20	3500	2467
Skyddslagertest	50/20	4000	2524
Skyddslagertest	50/20	5000	2592
Skyddslagertest	50/20	8000	2691
Skyddslagertest	50/20	13000	2770
Skyddslagertest	50/20	23000	2847
Skyddslagertest	50/20	33000	2886
Skyddslagertest	50/20	43000	2915
Skyddslagertest	50/20	53000	2938

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	50/20	63000	2960
Skyddslagertest	50/20	73000	2973
Skyddslagertest	50/20	83000	2987
Skyddslagertest	50/20	93000	2998
Skyddslagertest	50/20	103000	3006
Skyddslagertest	70/20	103100	3037
Skyddslagertest	70/20	103500	3049
Skyddslagertest	70/20	104000	3067
Skyddslagertest	70/20	105500	3103
Skyddslagertest	70/20	108000	3207
Skyddslagertest	70/20	113000	3340

Skyddslagertest	70/20	123000	3498
Skyddslagertest	70/20	133000	3591
Skyddslagertest	70/20	143000	3656
Skyddslagertest	70/20	153000	3706
Skyddslagertest	70/20	163000	3740
Skyddslagertest	70/20	173000	3776
Skyddslagertest	70/20	183000	3805
Skyddslagertest	70/20	193000	3832
Skyddslagertest	70/20	203000	3853
Skyddslagertest	100/20	203100	3875
Skyddslagertest	100/20	203500	3941
Skyddslagertest	100/20	204000	4040
Skyddslagertest	100/20	205000	4264
Skyddslagertest	100/20	206000	4445
Skyddslagertest	100/20	207000	4591
Skyddslagertest	100/20	208000	4711
Skyddslagertest	100/20	209000	4802
Skyddslagertest	100/20	210000	4887
Skyddslagertest	100/20	211000	4955
Skyddslagertest	100/20	212000	5012
Skyddslagertest	100/20	213000	5068
Skyddslagertest	150/20	213100	5482
Skyddslagertest	150/20	213500	6856
Skyddslagertest	150/20	214000	7671
Skyddslagertest	150/20	215000	8465
Skyddslagertest	150/20	216000	8899
Skyddslagertest	150/20	217000	9197
Skyddslagertest	150/20	218000	9429
Skyddslagertest	150/20	219000	9606
Skyddslagertest	150/20	220000	9761
Skyddslagertest	150/20	221000	9895
Skyddslagertest	150/20	222000	10017
Skyddslagertest	150/20	223000	10123

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	10/10	100	38
Skyddslagertest	10/10	200	52
Skyddslagertest	10/10	300	66
Skyddslagertest	10/10	400	73
Skyddslagertest	10/10	500	81
Skyddslagertest	10/10	600	90
Skyddslagertest	10/10	700	99
Skyddslagertest	10/10	800	100
Skyddslagertest	10/10	900	110
Skyddslagertest	10/10	1000	111

Skyddslagertest	30/10	1100	680
Skyddslagertest	30/10	1200	802
Skyddslagertest	30/10	1300	874
Skyddslagertest	30/10	1400	926
Skyddslagertest	30/10	1500	965
Skyddslagertest	30/10	1600	999
Skyddslagertest	30/10	1700	1023
Skyddslagertest	30/10	1800	1046
Skyddslagertest	30/10	1900	1069
Skyddslagertest	30/10	2000	1089
Skyddslagertest	50/10	2100	1806
Skyddslagertest	50/10	2200	2063
Skyddslagertest	50/10	2300	2230
Skyddslagertest	50/10	2400	2343
Skyddslagertest	50/10	2500	2432
Skyddslagertest	50/10	2600	2510
Skyddslagertest	50/10	2700	2569
Skyddslagertest	50/10	2800	2624
Skyddslagertest	50/10	2900	2671
Skyddslagertest	50/10	3000	2712
Skyddslagertest	50/20	3100	2791
Skyddslagertest	50/20	3500	2870
Skyddslagertest	50/20	4000	2924
Skyddslagertest	50/20	5000	2992
Skyddslagertest	50/20	8000	3087
Skyddslagertest	50/20	13000	3165
Skyddslagertest	50/20	23000	3242
Skyddslagertest	50/20	33000	3286
Skyddslagertest	50/20	43000	3324
Skyddslagertest	50/20	53000	3346

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	50/20	63000	3371
Skyddslagertest	50/20	73000	3389
Skyddslagertest	50/20	83000	3405
Skyddslagertest	50/20	93000	3421
Skyddslagertest	50/20	103000	3432
Skyddslagertest	70/20	103100	3441
Skyddslagertest	70/20	103500	3469
Skyddslagertest	70/20	104000	3504
Skyddslagertest	70/20	105500	3570
Skyddslagertest	70/20	108000	3723
Skyddslagertest	70/20	113000	3873
Skyddslagertest	70/20	123000	4060

Skyddslagertest	70/20	133000	4178
Skyddslagertest	70/20	143000	4264
Skyddslagertest	70/20	153000	4331
Skyddslagertest	70/20	163000	4379
Skyddslagertest	70/20	173000	4429
Skyddslagertest	70/20	183000	4470
Skyddslagertest	70/20	193000	4512
Skyddslagertest	70/20	203000	4548
Skyddslagertest	100/20	203100	4602
Skyddslagertest	100/20	203500	4844
Skyddslagertest	100/20	204000	5152
Skyddslagertest	100/20	205000	5599
Skyddslagertest	100/20	206000	5872
Skyddslagertest	100/20	207000	6071
Skyddslagertest	100/20	208000	6225
Skyddslagertest	100/20	209000	6347
Skyddslagertest	100/20	210000	6453
Skyddslagertest	100/20	211000	6541
Skyddslagertest	100/20	212000	6621
Skyddslagertest	100/20	213000	6688
Skyddslagertest	150/20	213100	7779
Skyddslagertest	150/20	213500	10053
Skyddslagertest	150/20	214000	11219
Skyddslagertest	150/20	215000	12409
Skyddslagertest	150/20	216000	13146
Skyddslagertest	150/20	217000	13693
Skyddslagertest	150/20	218000	14102
Skyddslagertest	150/20	219000	14466
Skyddslagertest	150/20	220000	14779
Skyddslagertest	150/20	221000	15055
Skyddslagertest	150/20	222000	15277
Skyddslagertest	150/20	223000	15509

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	10/10	100	163
Skyddslagertest	10/10	200	241
Skyddslagertest	10/10	300	291
Skyddslagertest	10/10	400	329
Skyddslagertest	10/10	500	352
Skyddslagertest	10/10	600	377
Skyddslagertest	10/10	700	391
Skyddslagertest	10/10	800	407
Skyddslagertest	10/10	900	420
Skyddslagertest	10/10	1000	433
Skyddslagertest	30/10	1100	1747

Skyddslagertest	30/10	1200	1991
Skyddslagertest	30/10	1300	2135
Skyddslagertest	30/10	1400	2232
Skyddslagertest	30/10	1500	2314
Skyddslagertest	30/10	1600	2375
Skyddslagertest	30/10	1700	2426
Skyddslagertest	30/10	1800	2470
Skyddslagertest	30/10	1900	2508
Skyddslagertest	30/10	2000	2544
Skyddslagertest	50/10	2100	3518
Skyddslagertest	50/10	2200	3909
Skyddslagertest	50/10	2300	4144
Skyddslagertest	50/10	2400	4327
Skyddslagertest	50/10	2500	4458
Skyddslagertest	50/10	2600	4573
Skyddslagertest	50/10	2700	4661
Skyddslagertest	50/10	2800	4734
Skyddslagertest	50/10	2900	4811
Skyddslagertest	50/10	3000	4867
Skyddslagertest	50/20	3100	5054
Skyddslagertest	50/20	3500	5222
Skyddslagertest	50/20	4000	5324
Skyddslagertest	50/20	5000	5439
Skyddslagertest	50/20	8000	5597
Skyddslagertest	50/20	13000	5707
Skyddslagertest	50/20	23000	5805
Skyddslagertest	50/20	33000	5861
Skyddslagertest	50/20	43000	5900
Skyddslagertest	50/20	53000	5933

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Skyddslagertest	50/20	63000	5956
Skyddslagertest	50/20	73000	5972
Skyddslagertest	50/20	83000	5992
Skyddslagertest	50/20	93000	6006
Skyddslagertest	50/20	103000	6021
Skyddslagertest	70/20	103100	6026
Skyddslagertest	70/20	103500	6046
Skyddslagertest	70/20	104000	6069
Skyddslagertest	70/20	105500	6119
Skyddslagertest	70/20	108000	6275
Skyddslagertest	70/20	113000	6465
Skyddslagertest	70/20	123000	6690
Skyddslagertest	70/20	133000	6824

Skyddslagertest	70/20	143000	6910
Skyddslagertest	70/20	153000	6982
Skyddslagertest	70/20	163000	7043
Skyddslagertest	70/20	173000	7077
Skyddslagertest	70/20	183000	7111
Skyddslagertest	70/20	193000	7147
Skyddslagertest	70/20	203000	7174
Skyddslagertest	100/20	203100	7194
Skyddslagertest	100/20	203500	7344
Skyddslagertest	100/20	204000	7594
Skyddslagertest	100/20	205000	8118
Skyddslagertest	100/20	206000	8498
Skyddslagertest	100/20	207000	8774
Skyddslagertest	100/20	208000	8997
Skyddslagertest	100/20	209000	9165
Skyddslagertest	100/20	210000	9305
Skyddslagertest	100/20	211000	9424
Skyddslagertest	100/20	212000	9522
Skyddslagertest	100/20	213000	9619
Skyddslagertest	150/20	213100	10281
Skyddslagertest	150/20	213500	12441
Skyddslagertest	150/20	214000	13767
Skyddslagertest	150/20	215000	15227
Skyddslagertest	150/20	216000	16203
Skyddslagertest	150/20	217000	16973
Skyddslagertest	150/20	218000	17609
Skyddslagertest	150/20	219000	18205
Skyddslagertest	150/20	220000	18759
Skyddslagertest	150/20	221000	19285
Skyddslagertest	150/20	222000	19769
Skyddslagertest	150/20	223000	20221

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Bärlagertest	100/60	100	275
Bärlagertest	100/60	200	394
Bärlagertest	100/60	300	464
Bärlagertest	100/60	400	513
Bärlagertest	100/60	500	549
Bärlagertest	100/60	600	583
Bärlagertest	100/60	700	612
Bärlagertest	100/60	800	632
Bärlagertest	100/60	900	653
Bärlagertest	100/60	1000	671
Bärlagertest	200/60	1100	2000
Bärlagertest	200/60	1200	2331

Bärlagertest	200/60	1300	2538
Bärlagertest	200/60	1400	2682
Bärlagertest	200/60	1500	2790
Bärlagertest	200/60	1600	2882
Bärlagertest	200/60	1700	2955
Bärlagertest	200/60	1800	3024
Bärlagertest	200/60	1900	3082
Bärlagertest	200/60	2000	3132
Bärlagertest	400/60	2100	8962
Bärlagertest	400/60	2200	10369
Bärlagertest	400/60	2300	11239
Bärlagertest	400/60	2400	11896
Bärlagertest	400/60	2500	12409
Bärlagertest	400/60	2600	12839
Bärlagertest	400/60	2700	13215
Bärlagertest	400/60	2800	13532
Bärlagertest	400/60	2900	13818
Bärlagertest	400/60	3000	14074
Bärlagertest	400/120	3100	14704
Bärlagertest	400/120	3200	14839
Bärlagertest	400/120	3300	14941
Bärlagertest	400/120	3400	15026
Bärlagertest	400/120	3500	15100
Bärlagertest	400/120	3600	15161
Bärlagertest	400/120	3700	15222
Bärlagertest	400/120	3800	15272
Bärlagertest	400/120	3900	15321
Bärlagertest	400/120	4000	15362

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Bärlagertest	600/120	4100	16752
Bärlagertest	600/120	4500	19461
Bärlagertest	600/120	5000	21050
Bärlagertest	600/120	6000	22787
Bärlagertest	600/120	9000	25521
Bärlagertest	600/120	14000	28378
Bärlagertest	600/120	24000	33608
Bärlagertest	600/120	34000	39120
Bärlagertest	600/120	44000	45025
Bärlagertest	600/120	54000	50296
Bärlagertest	600/120	64000	54943
Bärlagertest	600/120	74000	58988
Bärlagertest	600/120	84000	62560
Bärlagertest	600/120	94000	65876

Bärlagertest	600/120	104000	68999
Bärlagertest	800/120	104100	70050
Bärlagertest	800/120	104500	74033
Bärlagertest	800/120	105000	74033
Bärlagertest	800/120	106000	74033
Bärlagertest	800/120	109000	74033
Bärlagertest	800/120	114000	74033
Bärlagertest	800/120	124000	74033
Bärlagertest	800/120	134000	74033
Bärlagertest	800/120	144000	74033
Bärlagertest	800/120	154000	74033
Bärlagertest	800/120	164000	74033
Bärlagertest	800/120	174000	74033
Bärlagertest	800/120	184000	74033
Bärlagertest	800/120	194000	74033
Bärlagertest	800/120	204000	74033
Bärlagertest	1000/120	204100	74033
Bärlagertest	1000/120	204500	74033
Bärlagertest	1000/120	205000	74033
Bärlagertest	1000/120	206000	74033
Bärlagertest	1000/120	207000	74033
Bärlagertest	1000/120	208000	74033
Bärlagertest	1000/120	209000	74033
Bärlagertest	1000/120	210000	74033
Bärlagertest	1000/120	211000	74033
Bärlagertest	1000/120	212000	74033
Bärlagertest	1000/120	213000	74033
Bärlagertest	1000/120	214000	74033
Bärlagertest	1200/120	214100	74033
Bärlagertest	1200/120	214500	74033
Bärlagertest	1200/120	215000	74033
Bärlagertest	1200/120	216000	74033
Bärlagertest	1200/120	217000	74033
Bärlagertest	1200/120	218000	74033

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Bärlagertest	1200/120	219000	74033
Bärlagertest	1200/120	220000	74033
Bärlagertest	1200/120	221000	74033
Bärlagertest	1200/120	222000	74033
Bärlagertest	1200/120	223000	74033
Bärlagertest	1200/120	224000	74033

% Uppnådd packningsgrad

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Bärlagertest	100/60	100	268
Bärlagertest	100/60	200	383
Bärlagertest	100/60	300	446
Bärlagertest	100/60	400	497
Bärlagertest	100/60	500	527
Bärlagertest	100/60	600	558
Bärlagertest	100/60	700	576
Bärlagertest	100/60	800	603
Bärlagertest	100/60	900	616
Bärlagertest	100/60	1000	632
Bärlagertest	200/60	1100	1731
Bärlagertest	200/60	1200	1976
Bärlagertest	200/60	1300	2118
Bärlagertest	200/60	1400	2226
Bärlagertest	200/60	1500	2313
Bärlagertest	200/60	1600	2378
Bärlagertest	200/60	1700	2435
Bärlagertest	200/60	1800	2482
Bärlagertest	200/60	1900	2531
Bärlagertest	200/60	2000	2565
Bärlagertest	400/60	2100	6851
Bärlagertest	400/60	2200	7958
Bärlagertest	400/60	2300	8645
Bärlagertest	400/60	2400	9153
Bärlagertest	400/60	2500	9556
Bärlagertest	400/60	2600	9892
Bärlagertest	400/60	2700	10188
Bärlagertest	400/60	2800	10449
Bärlagertest	400/60	2900	10675
Bärlagertest	400/60	3000	10891
Bärlagertest	400/120	3100	11574
Bärlagertest	400/120	3200	11696
Bärlagertest	400/120	3300	11782
Bärlagertest	400/120	3400	11860
Bärlagertest	400/120	3500	11926
Bärlagertest	400/120	3600	11984
Bärlagertest	400/120	3700	12040
Bärlagertest	400/120	3800	12083
Bärlagertest	400/120	3900	12128
Bärlagertest	400/120	4000	12160

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain

Bärlagertest	600/120	4100	13770
Bärlagertest	600/120	4500	17175
Bärlagertest	600/120	5000	19247
Bärlagertest	600/120	6000	21736
Bärlagertest	600/120	9000	26691
Bärlagertest	600/120	14000	33158
Bärlagertest	600/120	24000	43906
Bärlagertest	600/120	34000	52193
Bärlagertest	600/120	44000	60075
Bärlagertest	600/120	54000	67352
Bärlagertest	600/120	64000	73166
Bärlagertest	600/120	74000	76461
Bärlagertest	600/120	84000	76461
Bärlagertest	600/120	94000	76461
Bärlagertest	600/120	104000	76461
Bärlagertest	800/120	104100	76461
Bärlagertest	800/120	104500	76461
Bärlagertest	800/120	105000	76461
Bärlagertest	800/120	106000	76461
Bärlagertest	800/120	109000	76461
Bärlagertest	800/120	114000	76461
Bärlagertest	800/120	124000	76461
Bärlagertest	800/120	134000	76461
Bärlagertest	800/120	144000	76461
Bärlagertest	800/120	154000	76461
Bärlagertest	800/120	164000	76461
Bärlagertest	800/120	174000	76461
Bärlagertest	800/120	184000	76461
Bärlagertest	800/120	194000	76461
Bärlagertest	800/120	204000	76461
Bärlagertest	1000/120	204100	76461
Bärlagertest	1000/120	204500	76461
Bärlagertest	1000/120	205000	76461
Bärlagertest	1000/120	206000	76461
Bärlagertest	1000/120	207000	76461
Bärlagertest	1000/120	208000	76461
Bärlagertest	1000/120	209000	76461
Bärlagertest	1000/120	210000	76461
Bärlagertest	1000/120	211000	76461
Bärlagertest	1000/120	212000	76461
Bärlagertest	1000/120	213000	76461
Bärlagertest	1000/120	214000	76461
Bärlagertest	1200/120	214100	76461
Bärlagertest	1200/120	214500	76461
Bärlagertest	1200/120	215000	76461
Bärlagertest	1200/120	216000	76461
Bärlagertest	1200/120	217000	76461

Bärlagertest	1200/120	218000	76461

ASKPROV NR 114

Typ av test	Dynamisk last/kammartryck	Ack. antal pulser	Ack.perm def, µstrain
Bärlagertest	1200/120	219000	76461
Bärlagertest	1200/120	220000	76461
Bärlagertest	1200/120	221000	76461
Bärlagertest	1200/120	222000	76461
Bärlagertest	1200/120	223000	76461
Bärlagertest	1200/120	224000	76461

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk 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 ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35

M6-635
Nr
Rubrik