

FUD-SALA, Provsträcka med stabilisering av obundna lager

Bo Svedberg, Peter Ekdahl, Josef Mácsik, Aino Majjala, Pentti Lahtinen, Åke Hermansson, Sven Knutsson, Tommy Edeskär

FUD - SALA

Provsträcka med stabilisering av obundna lager

FUD - SALA

Stabilization of unbound layers on a road section

Bo Svedberg, Peter Ekdahl, Josef Mácsik, Aino Maijala, Pentti Lahtinen, Åke Hermansson, Sven Knutsson, Tommy Edeskär

Q6-632

Förord

Projektet har visat att bioflygaskor är bra stabiliseringsmedel i obundna lager för vägbyggnads ändamål. Två applikationer med bioflygaskor för allmän väg har studerats som underlag för genomförande av framtida demonstrationsprojekt. Goda resultat har erhållits. Vid stabilisering med ca 10% bioflygaskor indikerar laboratorieförsök att det erfordras en tillsats av bindemedel för att frosttåligheten skall bli tillräcklig för att tåla nordiska vintrar. De bindemedel som undersökts har utgjorts av en blandning (50/50) av portland cement och Merit 5000.

Projektet utfördes i samarbete mellan Ecoloop AB, Ramböll, VTI och LTU. Arbetet genomfördes av Bo Svedberg och Josef Mácsik (Ecoloop AB) med kunskap inom alternativa material, LCC, miljögeoteknik och erfarenhet från användning. Peter Ekdahl och Aino Majjala och Pentti Lahtinen (Ramböll) har bistått med kunskap inom vägteknik, LCC och erfarenhet från användning. Sven Knutsson, Tommy Edeskär (LTU) har vidare stått för kunskap avseende tjäle och frost samt utfört LCC-beräkningar. Åke Hermansson (VTI) har utfört tjällyftningsstest och bistått med värdefull input avseende dimensionering.

Projektet har finansierats av Vägverket, Vägverket Region Mitt, Värmeforsk och Cementa, SSAB Merox AB, Vattenfall AB Värme Norden, Mälarenergi samt Ecoloop AB, Ramböll, LTU och VTI. Projektets styrgrupp har bestått av Claes Ribbing (Värmeforsk), Klas Hermelin (Vägverket), Magnus Lundberg & Peter Rehnman (Vägverket Region Mitt), Stig Jansson (Cementa), Therese Stark (Merox), Jens Nerén (Mälarenergi AB), Ghita Sjösten (Vattenfall Värme AB Norden). Projektets referensgrupp har bestått av Caroline Göthlin (Vattenfall Utveckling), Per Lindh (Peab), Mats Carlsson (Stora Enso), Per-Erik Persson (Cementa) och Tage Sundblom (Holmen Paper).

Vår förhoppning är att rapporten ska kunna fungera som ett stöd för genomförande av demonstrationsprojekt och bidra till en ökad användning av ett värdefullt anläggningsmaterial.

2007-11-05
Claes Ribbing
Värmeforsk

Abstract

The objective of the project is to develop two applications, in which a subbase is stabilized using binders, for full scale demonstration. The binders that were used are cement, Merit 5000 and fly ash. The work indicates that stabilization of unbound layers are expected to improve the bearing capacity of the road construction though the total depth of the structure is reduced. The developed applications are durable against freezing and thawing cycles, will not be lifting due to frost and are not considerably insulating. In a life cycle cost perspective the applications are likely to be favourable. Next step is to perform a full scale demonstration where amongst other knowledge regarding determination of modulus, frost durability and cost aspects related to maintenance should be developed further.

Sammanfattning

Stabilisering av obundna lager är en metod som innebär att egenskaperna hos konstruktionsdelar kan förbättras genom inblandning av bindemedel. En applikation är stabilisering av obundna bärlager i vägöverbyggnader. Traditionella bindemedel är cement, Merit 5000 (finmald hyttsand) och kalk samt bitumen. Metoden är etablerad i Europa och har använts i enstaka fall på allmänna vägar i Sverige. Idag finns exempel där stabiliserade lager med flygaskor från bio- och kolbränslen som bindemedel används i mindre vägar, bl a i Uppsala och Södermanlands län och som kör- och uppställningsytor för tunga fordon i Västmanland samt i Finland. Tillämpningen med bindemedel av askor i mindre vägar (t ex enskilda vägar) sker idag på empirisk bas, dvs baseras huvudsakligen på erfarenheter från praktiska försök.

Syftet med projektet är att utveckla applikationer för genomförande i ett senare demonstrationsprojekt. Två applikationer har studerats, en för användning i grusväg (enskild väg) och en för användning i belagd väg. De bindemedel som nyttjats är flygaska, cement och Merit. Som underlag har Vägverkets projekt Väg 56/70 förbi Sala använts.

I arbetet utförda laboratoriestudier och utredningar visar att en vägkonstruktions bärförmåga kan förbättras avsevärt genom stabilisering av obundna lager. Dimensioneringen av vägkonstruktionen gjordes konservativ då underlag saknas för närmare bestämning av styvhetsmoduler. Applikationen är inte tjällyftande samtidigt som de isolerande egenskaperna är begränsade. Frostbeständigheten bedöms vara god baserat på erfarenheter och praxis från Finland. De båda flygaskorna som undersöktes behöver båda tillsats av cement/Merit för att klara krav på frostbeständighet. Båda applikationerna resulterar till en minskad tjocklek på överbyggnaden och förstärkningslagren i ursprungslösningarna kan i det närmaste utgå. Kostnadsberäkningar indikerar att investeringskostnaden för en överbyggnad med ett stabiliserat lager är något högre jämfört den ursprungliga. Detta beror troligen på de relativt korta sträckorna då andra genomförda projekt å andra sidan visar att investeringen kan bli lägre. Livscykelkostnaden för en stabiliserad applikation bedöms vara ca 15-25 % lägre än den ursprungliga (obundna) betraktat över 40 år och med en kalkylränta på 4 %. En miljöbedömning har utförts baserat på miljöriktlinjer som indikerar att föroreningsrisken är ringa. Resultat av dimensionering och miljöbedömning sammanfattas i ett kalkylunderlag bestående av typsektioner, mängder och förslag på arbetsbeskrivning samt kontrollprogram och förslag på anmälan.

Sammantaget förväntas att stabilisering av obundna lager ger en förbättrad bärförmåga hos vägkonstruktionen och att de föreslagna applikationerna i sig är frostbeständiga samtidigt som de inte är tjällyftande eller nämnvärt isolerande. Lösningen förefaller också vara fördelaktig i ett LCC-perspektiv. För en regelmässig tillämpning behöver kunskap utvecklas avseende styvhetsmoduler och bestämning av frostbeständighet och avseende kostnadsaspekter relaterad till DoU-åtgärder. Denna kunskap föreslås utvecklas i samband med genomförandet av demonstrationsprojekt parallellt med kompletterande laborativa studier.

Summary

Stabilization of unbound layers is a method that enables the properties of road structures to be improved, for example the layer modulus of the sub base, by addition of binders. Traditional binders are cement, Merit 5000 (fine grinded slag cement), lime and bitumen. The method is commonly in practice in Europe and has been also used occasionally for public roads in Sweden. Today there are examples where flyashes (bio and coal based) have been used as binders in smaller roads for example in the counties of Uppsala, Södermanland and also for other paved areas for heavy vehicles in the county of Västmanland and in Finland. These examples have mainly been carried out using an empirical approach.

The objective of the project is to develop two applications as a base for full scale demonstration. One of them is a paved road and the other one is a private road with gravel as wearing course. The binders used are cement, Merit and fly-ash. Two sections of a road “Väg 56/70 förbi Sala” were used a reference.

The work indicates that stabilization of unbound layers will improve the bearing capacity of the road construction significantly although the total depth of the structure is reduced. The design of the road structure was carried out in a conservative manner as there were no basis for a precise determination of the layer modulus. The developed applications are not frost lifting although their insulating properties are low and about the same as fine grained silt. The durability against frost and thaw cycles has been assessed and is expected to be acceptable. The flyashes used will need addition of cement and Merit to perform well in frost and thaw tests. Applying both applications will result in a reduced depth of the structure and the sub-base layers can nearly be excluded. Life cycle cost calculations indicate that the cost of investment for a road construction using a stabilized layer are slightly higher than the cost of investment for the reference construction. This is probably due to the relative short sections to be used in the proposed demonstration sections. In total the calculations indicate that the life cycle cost are likely to be 15 – 25 % lower for the applications than the reference over a considered time span of 40-years and a interest rate at 4 %. An environmental assessment has been carried out, using guidelines for ashes, and indicates a low risk for contamination of the close surroundings. The performed design and environmental assessment has been summarized into a tender document consisting of typical sections, volumes, specification, program for control and also a permit application.

In all; using the method of stabilization unbound layers is expected to enhance the bearing capacity of the road construction as a whole. The applications developed are expected to be durable against frost, will not heave due to frost and their insulation properties are not far from traditional materials in an unbound layer. The proposed solutions, for the paved road and private road, are expected to be favourable in a life cycle cost perspective.

Innehållsförteckning

FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	1
1.3 METOD/TILLVÄGAGÅNGSSÄTT.....	2
1.4 BINDEMEDEL OCH BALLAST.....	2
2 ALLMÄNT	3
2.1 VÄGKONSTRUKTION, BEGREPP OCH BENÄMNINGAR.....	3
2.2 STABILISERING AV OBUNDNA LAGER.....	5
2.3 VÄGVERKETS PROJEKT ”VÄG 56/70 FÖRBI SALA”.....	7
3 LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR	9
3.1 STRATEGI FÖR UNDERSÖKNINGAR.....	9
3.2 STEG 1 – KARAKTÄRISERING AV MATERIAL.....	12
3.3 STEG 2- IDENTIFIERING AV LÄMPLIG BLANDNING.....	16
3.4 STEG 3, FÖRDJUPAD UNDERSÖKNING AV VALDA BLANDNINGAR.....	25
4 DIMENSIONERING OCH MILJÖBEDÖMNING	35
4.1 DIMENSIONERING MED PMS OBJEKT.....	35
4.2 TRAFIKFÖRUTSÄTTNINGAR.....	37
4.3 CBÖ Å LV 256.....	38
4.4 CGÖ - ENSKILD VÄG.....	41
4.5 MILJÖBEDÖMNING.....	42
5 KALKYLUNDERLAG	46
5.1 ARBETSBEKRIVNING.....	46
5.2 ANMÅLAN.....	46
5.3 KONTROLLPROGRAM.....	46
6 EKONOMISK POTENTIAL	47
6.1 GEMENSAMMA FÖRUTSÄTTNINGAR.....	47
6.2 CBÖ Å LV 256.....	48
6.3 CGÖ – ENSKILD VÄG.....	51
7 DISKUSSION/SLUTSATSER	54
7.1 DISKUSSION.....	54
7.2 SLUTSATSER.....	56
8 FORTSATTA ARBETEN	57
9 REFERENSER	58
INLEDNING	2
BAKGRUND.....	2
TEORI.....	2
SYFTE.....	2
METOD.....	3
TILLVÄGAGÅNGSSÄTT.....	3
PILOTOBJEKT	4
KONTAKTER.....	4

RESULTAT	5
INLEDNING.....	2
BAKGRUND.....	2
SYFTE.....	2
METOD/TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	2
DEFINITIONER	2
AVGRÄNSNING	2
CBÖ, STABILISERAD BALLAST (LV 256).....	3
UTFORMNING	3
INLEDNING.....	2
BAKGRUND.....	2
SYFTE.....	2
METOD/TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	2
DEFINITIONER	2
AVGRÄNSNING	2
ENSKILD VÄG – CGÖ, STABILISERAT LAGER	3
UTFORMNING	3

Bilagor

- A LABORATORIE RESULTAT, STEG 1, KARAKTERISERING A1-3**
- B LABORATORIE RESULTAT, STEG 2 – SCREENING B1-2**
- C LABORATORIERESULTAT, STEG 3, C1-3**
- D PM SAMMANSTÄLLNING FALLVIKTSMÄTNINGAR**
- E EXEMPEL PÅ ARBETSBEKRIVNING**
- F ANMÄLAN LV 256 – CBÖ**
- G ANMÄLAN ENSKILD VÄG – CGÖ**
- H KONTROLLPROGRAM CBÖ**
- I KONTROLLPROGRAM – CGÖ**
- J MNV – FUD SALA**
- K PMS OBJEKT CBÖ**
- L PMS OBJEKT CBÖ**

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Stabilisering av obundna lager är en applikation som innebär att egenskaperna hos konstruktionsdelar i t ex en vägöverbyggnad kan påverkas genom inblandning av bindemedel. Metoden är etablerad i Europa men inte i Norden och används sällan i allmänna vägar. Så kallad skumbitumenstabilisering är dock väl etablerad i Norge. Enstaka exempel finns t ex E4/Ringvägen utanför Malmö där terrassen stabiliserats med kalk. Etablerade bindemedel för stabilisering är cement, Merit och kalk i överbyggnader är vidare bitumen etablerat för stabilisering av ytligare lager som slitlager och bärlager. Samtidigt finns flera exempel där stabiliserade lager med flygaskor från bio- och kolbränslen som bindemedel används som bär- och förstärkningslager i mindre vägar i Uppsala och Södermanlands län och i Finland samt som kör- och uppställningsytor för tunga fordon i Västmanland samt i Finland. Erfarenheterna är goda och materialet har bidragit till god funktion vilket också har lett till reducerade drift- och underhållskostnader för väghållaren, Lahtinen (2001) och Haavikko (2000).

Tillämpningen med bindemedel av askor i mindre vägar sker idag huvudsakligen på empirisk bas, dvs. baseras på erfarenheter från praktiska försök. För en mer regelmässig tillämpning i allmänna vägar bör vissa egenskaper verifieras med kontroll och uppföljning i fält för att förenkla både dimensionering och utförande.

1.2 Syfte och mål

Projektet som helhet syftar till att *utveckla* kunskap och *demonstrera* applikationer där bindemedel används för stabilisering av obundna lager t ex bär- och/eller förstärkningslager. Det övergripande målet är därvid att projektet ska bidra till att applikationen övervägs vid planering och byggande av vägar.

Projektet är indelat i två huvuddelar. Frågeställningar beträffande *utveckling* hanteras i den första delen och beskrivs i denna rapport. I en andra del av projektet ska sedan metoden *demonstreras* genom anläggande av provsträckor på allmän väg. Syftet med den första delen av projektet är att utveckla två applikationer som underlag för praktisk tillämpning i ett demonstrationsprojekt.

I detta ingår att utvärdera tekniska egenskaper och beskriva tillverknings- och nyttoaspekter (utförande, ekonomi mm) med målsättningen att det ska tjäna som underlag för att bedöma applikationens potential.

1.3 Metod/tillvägagångssätt

Arbetet i denna rapport baseras på laborativa studier och litteraturstudier, dimensionering och miljöbedömning samt framtagande av ett kalkylunderlag. Baserat på detta underlag görs även en bedömning av ekonomisk potential med utgångspunkt för en demonstration i Vägverkets projekt ”Väg 56/70 förbi Sala”. Arbetet är tillämpat till sin karaktär och kan därför närmast liknas vid en projektering och har genomförts i följande huvudmoment:

- Val av provsträckor och applikationer (Kap 6)
- Laboratorieundersökningar och litteraturstudier (Kap 7)
- Dimensionering och miljöbedömning (Kap 8)
- Upprättande av kalkylunderlag innefattande kontrollprogram och anmälan (Kap 9)
- Bedömning av ekonomisk potential (Kap 10)
- Sammanställning och avrapportering

Som stöd tar projektet sin utgångspunkt i befintliga tekniska stöd för projektering, t ex:

- ATB Väg 2005, Vägverket (2005)
- Vägverkets metodbeskrivning för beräkning av tjällyftning, Vägverket (2001)
- Vägledning alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad, Vägverket (2007)
- Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads, Lahtinen (2001)
- Handboken för flygaska, SGI-Information 18:4 (2006)
- Miljöriktlinjer för askor, Bendz et al. (2006)
- Betonghandboken, Arbetsutförande – Projektering och byggande (2006)

1.4 Bindemedel och ballast

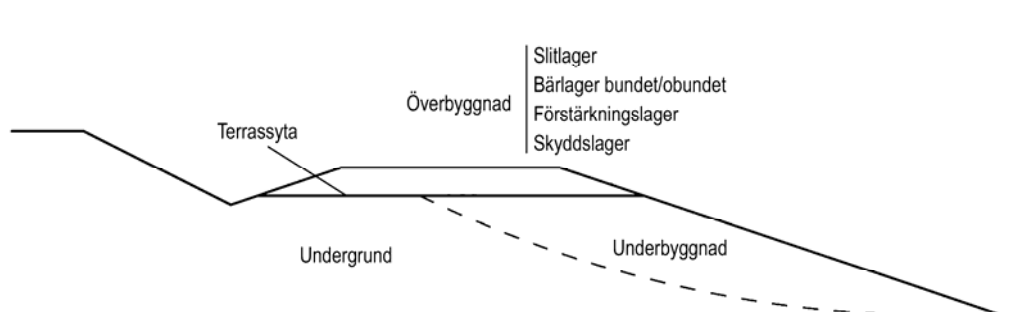
Bindemedel som används i detta projekt utgörs av cement, Merit och flygaska (Mälarenergi i Västerås respektive Vattenfall Uppsala). Ballast utgörs av obundet material, krossat berg, från projektet väg 56/70 förbi Sala.

2 Allmänt

I detta kapitel ges en allmän beskrivning av benämningar och begrepp relaterat till byggande av allmänna vägar, en kortfattad introduktion till stabilisering av obundna material och avslutningsvis beskrivs det planerade demoprojektet och valda provsträckor å Väg 56/70 förbi Sala.

2.1 Vägkonstruktion, begrepp och benämningar

Av Figur 2.1 framgår uppbyggnaden av en vägkonstruktion och dess ingående konstruktionsdelar. Ett exempel på en konstruktionsdel är slitlager, bärlager, terrass eller ett stabiliserat lager. Det är viktigt att notera att flera lager eller konstruktionsdelar kan vara stabiliserade. Konstruktionsdelarna i sin tur är uppbyggda av olika material, i en överbyggnad vanligen olika typer av granulära material, t ex krossat berg.



Figur 2.1 Delar i en vägkonstruktion, Vägverket (2007).

Figure 2.1 Parts of road construction, Vägverket (2007).

Som utgångspunkt för benämningar i denna rapport används i gälligaste mån Vägverket nomenklatur. I Tabell 2.1 redogörs för några benämningar i samband med dimensionering av vägkonstruktioner som används i denna rapport.

Tabell 2.1 Benämningar, bearbetade efter Vägverket (2007)

Table 2.1 Terms, based on Vägverket (2007)

Benämning	Förklaring
Beständighet	Motstånd mot nedbrytning t ex kemisk, mekanisk eller till följd av termisk påverkan. Kan i praktiken avse hela konstruktionen men avser normalt en konstruktionsdel eller ett material.
Bindemedel	Cement, bitumen, Merit, kalk, flygaska m m
Bärförmåga	Snarlikt bärlighet. Avser förmåga att bära last hos hela konstruktionen. Mäts i styvhet, stabilitet och deformation. (Notera att ett material i sig kan inte inneha en bärförmåga) Hermelin (2007)
Bärlighet	Högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer. Mäts i antalet standardaxlar. <i>Begreppet används ej i denna rapport.</i> ATB Väg 2005, Kapitel C
Frostbeständighet	Motstånd mot frysning och tining hos en konstruktionsdel
Inre stabilitet	Avser den inre stabiliteten hos ett material, t ex dess geotekniska egenskaper som friktionsvinkel och skjuvhållfasthet, både under bygg- och brukskedet
Stabilisering	Förbättring av ett obundet materials egenskaper, t ex genom inblandning av

Benämning	Förklaring
Stabilitet	hydrauliska eller bituminösa bindemedel. ATB Väg 2005 Avser hela konstruktionens stabilitet mot brott till följd av yttre laster och egenskaper hos konstruktionen och omgivningen, både under bygg- och brukskedet.
Styvhetsmodul	Beskriver relationen mellan påfört belastningstryck och den elastiska deformationen, enhet MPa, och beskrivs ofta som E-modul. Styvhetsmodulen är bland annat beroende av lastens storlek och belastningstiden. Ett materials E-modul är en stark förenkling av dess bidrag till bärförmågan hos en konstruktion.
Tjällyftning	Avser konstruktionens lyftning till följd av dess material, konstruktion och klimatpåverkan. Konstruktionsdelar kan i sig ha tjällyftande egenskaper och beroende på applikation ge upphov till tjällyftning hos konstruktionen som helhet.

Konstruktionen

Vägverkets krav på vägkonstruktioner finns i ATB Väg. De avser bl a jämnhet i längsled och tvärlid, tvärfall samt tjällyftning hos den färdiga vägens yta under hela dimensionerings-perioden samt krav för säkerhet mot frosthalka. Vidare ställs krav på stabilitet och säkerhet mot uppflytning vid höga vattennivåer under både bygg- och bruksskedet.

T ex ska största tillåtna tjällyftning verifieras med en föreskriven beräkningsmetod denna kan också beräknas med PMS Objekt. För detta behövs uppgifter om vattenkvot och torrdensitet alternativt porositet och vattenmättnadsgrad samt tjälfarlighetsklass, maximal lyfthastighet och värmeledningsförmåga i fruset och ofruset tillstånd hos ingående konstruktionsdelar. Det finns även ett beständighetskrav uttryckt som att vägen och dess närmaste omgivning ska ha tillfredsställande beständighet, men någon verifieringsmetod anges inte.

Konstruktionsdelar

Vägen ska dimensioneras så att ytojämnheter i längs- och tvärlid till följd av sättningar i underbyggnaden eller undergrunden uppfyller Vägverkets krav. Krav ställs på två nivåer i nybyggda konstruktioner, det översta obundna lagrets yta och terrassens yta. Kravet är till för att kontrollera resultatet av utförandet, vanligen packningsarbetet. I vissa fall ställs kravet på skyddslagrets yta istället för terrassytan se ATB Väg Kap E5. Kravet ska uppfyllas under hela konstruktionens dimensioneringsperiod, som finns angiven i ATB Väg Kapitel A5.

För konstruktionsdelar är det viktigt att beskriva funktionella egenskaper som underlag för den bedömning av bärförmåga och tjällyftning som görs i dimensioneringen av hela konstruktionen. Exempel på sådana egenskaper är styvhetsmodul, hållfasthet, värmeledningstal. Beständigheten för konstruktionsdelen ska också beskrivas som underlag för bedömning mot ställda krav. För delar med speciella funktioner såsom tjälskydd, materialskiljande lager och erosionskydd finns utförandekrav i ATB Väg Kapitel C2.4–6.

På samma sätt som för den färdiga konstruktionen används s.k. statistisk acceptanskontroll vid verifiering av konstruktionsdelars funktion i fält i ATB Väg.

Material

Ingående material behöver karakteriseras så att dess grundförutsättningar för att fungera i en konstruktionsdel och i konstruktionen som helhet kan bedömas. Notera att ett material i sig inte kan ha en bärförmåga, det kan däremot en konstruktion eller konstruktionsdel ha.

I samband med att Vägverket anger typkonstruktioner med föreskrivna lager ställs även krav på ingående materials egenskaper. Viktiga tekniska egenskaper ska mätas och mäts vanligtvis genom indirekt provning, t ex används kornstorleksfördelning, krossningsgrad och halt av organiskt material för att verifiera en konstruktionsdels bärförmåga eller kornstorleksfördelning vilket brukar användas som mått på tjällyftningsbenägenhet. Det gäller t ex material till konstruktionsdelar som t ex bärlager och förstärkningslager.

Generellt gäller att ju högre upp i väggroppen ett material används, desto större krav ställs på dess tekniska egenskaper, t ex beständighet mot mekanisk, termisk och kemisk påverkan.

2.2 Stabilisering av obundna lager

Med stabilisering avses i denna rapport en metod där bindemedel tillsätts till en jord i syfte att förbättra dess geotekniska egenskaper. Stabilisering kan t ex göras genom så kallad djup- eller ytstabilisering. I mark- och anläggningsbyggande är djupstabilisering av deformationsbenägna jordar i undergrunden en etablerad metod.

Genom inblandning av bindemedel på djupet kan jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper förbättras i syfte att bära ovanliggande anläggningar. Årligen så installeras storleksordningen 2 miljoner m pelare med en diameter av 0,5 – 0,8 m. Finkorniga jordar i ytligare jordlager, t ex terrasser, betraktas idag som svårhanterade på grund av deras känslighet för vattenöverskott och frost. Genom att tillämpa sk ytstabilisering visar studier att olika jordar, t ex morän, som behandlas med bindemedel får egenskaper som gör att de kan nyttiggöras i anläggningsbyggande, Lindh (2004). Stabilisering av obundna lager i en vägöverbyggnad kan närmast liknas vid en form av ytstabilisering. Här är också det primära syftet att förbättra de geotekniska egenskaperna hos det lager som stabiliseras. Förbättrade egenskaper hos enskilda lager ger också möjligheter för den som dimensionerar vägen att optimera konstruktionen och en potential att minska volymen av material som tas i anspråk. Ytstabilisering, t ex av terrasser för vägöverbyggnader, är i bl a Tyskland, Frankrike, Tjeckien, Storbritannien och Australien en vanligt tillämpad metod. I Sverige är metoden under utveckling och har kanske framför allt tillämpats i Skåne sedan mitten av 1970, se t ex Assarson (1976), och internationellt t ex Kézdi (1979).

2.2.1 Mekanismer vid stabilisering

Vid stabilisering sker ett antal kemiska reaktioner som i sin tur bildar olika reaktionsprodukter. Reaktiviteten hos cement (hydraulisk), Merit (latent hydraulisk) och flygaska (puzzolan) beror bland annat på förhållandet mellan kalciumoxid och kiseloxid, $\text{CaO}:\text{SiO}_2$. Högre kvot ger större andel hydrauliska (dvs cement) reaktioner. Det bör nämnas att det finns även kalkprodukter som är hydrauliska. Hos en blandning av cement och flygaska ger cement en snabb hydraulisk reaktion följt av en långsammare puzzolan reaktion från flygaskan. Stabilisering medför att det skapas en monolitisk struktur med förändrade egenskaper som hållfasthet, permeabilitet etc. En generell beskrivning av reaktioner och reagenser redovisas i Tabell 2.2.

Cement och Merit är relativt sett enhetliga produkter till skillnad från flygaskor vars karakteristika beror på bränsle, panntyp och hantering. I rapporten Mácsik et al. (2004) har olika flygaskor grupperats efter deras härdningsegenskaper. De aktuella flygaskorna här hör till en grupp som kan nyttjas utan bindemedel (exempelvis cement) i applikationer där hållfasthet och beständighet mot frost är viktiga parametrar. I vissa fall, där frost befaras bli ett problem kan tillsats av cement förbättra hållfasthetsegenskaperna och frostbeständigheten.

Tabell 2.2 Bindemedelsreaktioner, efter M. Janz och S-E. Johansson (2002) och Åhnberg (2006)

Tabel 2.2 Chemical reactions using binders, by M. Janz och S-E. Johansson (2002) och Åhnberg (2006)

Bindemedel	Reaktion	Reagenser	Reaktionsprodukter	Tidsskala
Cement	Hydraulisk (cement)	Vatten	CSH, (AF) CASH, (CSH), (CAH)	Dagar
CaO	Puzzolan	Vatten + puzzolana jordpartiklar eller puzzolana additiv	CASH, (CSH), (CAH)	Månader
Merit	Latent hydraulisk (cement)	Vatten + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ från tex. cement eller kalk	CSH, (CAH), (CASH)	Veckor
Flygaska	Puzzolan	Vatten + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ från tex. cement eller kalk	CASH, (CSH), (CAH)	Månader

C – CaO, A – Al_2O_3 , S – SiO_4 , H – H_2O och AF – exempelvis ettringit

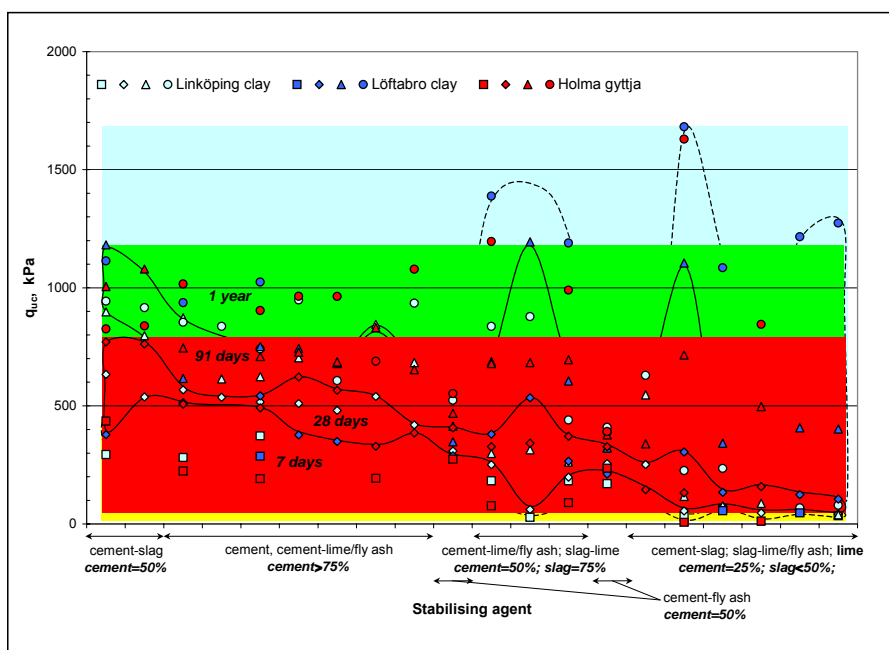
2.2.2 Bindemedel

Det optimala bindemedlet vid stabilisering av jord (jord eller ballast) beror bl a av:

- Bindemedlets sammansättning av reaktionsprodukter, se Tabell 7.2.
- Jordens egenskaper som:
 - Kornstorleksfördelning och mineralsammansättning
 - Jordens innehåll av organiskt material (humus etc)
 - Jordens vattenmättnadsgrad
 - Jordens och vattnets surhetsgrad
 - Dränerande eller odränerade förhållanden

- Krav på funktionella egenskaper hos applikationen och konstruktionsdelar
 - Bärförmåga och beständighet mot tjäle
 - Styvhetsmodul, hållfasthet, frostbeständighet, etc.
 - Härdningstid

Generellt används kalk till lerjordar och cement till jordar med grövre fraktion, men i kallt klimat ger cement bättre resultat, tack vare att cementreaktioner sker trots låga temperaturer medan kalkens puzzolana reaktioner bromsas upp. Blandning av olika bindemedel ger ofta bättre stabiliseringsresultat än när dessa nyttjas separat. Lindh (2004). Exempel på mätt tryckhållfasthet efter olika härdningstid med olika blandningar och i olika jordtyper redovisas i Figur 2.2, Åhnberg (2006). Av figuren framgår att bindemedelsblandningar bör anpassas efter aktuellt jordmaterial.



Figur 2.2 Stabilisering av lera och gyttja med olika bindemedelsblandningar efter 7, 28, 91 och 365 dagar, bindemedelsmängden var 100 kg/m^3 , Åhnberg (2006).

Figure 2.2 Stabilization of clay and gyttja with different mixers of binders after 7, 28, 91 and 365 days, using binders at 100 kg/m^3 , Åhnberg (2006).

2.3 Vägverkets projekt "Väg 56/70 förbi Sala"

För demonstration av applikationen deltar Vägverket genom att "tillhandahålla" provsträckor i projekt "Väg 56/70 förbi Sala". Vägverkets projekt har tillkommit med bakgrund av ett stort behov att få till stånd en förbifart för vägarna 67 och 70 vid Sala, se Figur 2.3. Det handlar bland annat om att förbättra framkomligheten och trafiksäkerheten. Vägbygget startade under hösten 2006 och beräknas färdigställas sommaren 2008. Vägen byggs som en modern mötesfri landsväg, dvs två körfält alterneras med ett och ett linrække skiljer körriktningarna.

Vägbredden blir totalt 14 meter. I anslutning till huvudvägen sker också byggarbeten på korsande och näraliggande vägar, bl a Lv 256 och flera enskilda vägar.

2.3.1 Provsträckor

I samråd med Vägverkets projekt valdes under sommaren/hösten 2006 ut två delsträckor som lämpliga för demonstration. Dessa valdes för att ge möjlighet att pröva olika applikationer med stabiliserade lager i överbyggnaden.

Lv 256 – CBÖ

För demonstration av en applikation med slitlager av asfalt och stabilisering av ballast valdes en ca 1 km lång sträcka på Lv 256. Denna applikation valdes då den är beprövad av Vattenfall Uppsala för mindre vägar, se exempel i SGI-Information 18:4 (2006).

Enskild väg - CGÖ

För demonstration av en applikation med slitlager av grus och ett lager med enbart flygaska valdes en ca 1 km lång sträcka av enskilda vägar. Denna applikation valdes med utgångspunkt i att den är beprövad vid olika projekt som Mälarenergi genomfört, för kör- och uppställningsytor se exempel i SGI-Information 18:4. I Figur 7.3 ges en översikt av Vägverkets projekt och lägen för provsträckor.



Figur 2.3 Översiktsplan över projekt "Väg 56/70 förbi Sala" med lägen för valda provsträckor benämnda Enskild väg respektive Lv 256.

Figure 2.3 Overview of the road project "Road 56/70 south of Sala" and location of the demonstration sites, Enskild väg and Lv 256.

3 Laboratorieundersökningar

Projektet syftar till att utveckla två applikationer, CBÖ och CGÖ. För att göra detta utfördes laborativa studier och litteraturstudier, vilka beskrivs i detta kapitel, i syfte att skapa ett underlag för:

- Dimensionering
- Anmälan inklusive tillhörande miljöbedömning.
- Upprättande av ett kontrollprogram

3.1 Strategi för undersökningar

Baserat på de generella krav som ställs av Vägverket upprättas en sammanställning av funktionella egenskaper och olika metoder att verifiera desamma baserat på Vägverket (2007), se Tabell 3.1. Verifiering kan också göras i fält och där baseras på provning eller erfarenhet. Med erfarenhet avses i detta sammanhang att en konstruktion har använts i sådan utsträckning att erfarenheter har dragits om konstruktionens funktion som helhet eller om ingående konstruktionsdelar. Tabell 3.1 används som utgångspunkt för val av laboratiemetoder i syfte att etablera ett underlag för bedömning. I förekommande fall har erfarenheter från likartade lösningar i fält använts som underlag för bedömningar.

Tabell 3.1 Krav, funktionella egenskaper och exempel på tillhörande metoder för bestämning av egenskaper på konstruktionsdelar i laboratorium, bearbetad efter Vägverket(2007)

Table 3.1 Criteria, functional characteristics and examples of methods, based on Vägverket (2007)

Krav	Funktionell egenskap	Verifiering i laboratorium/metod
Bärförmåga	Styvhetsmodul Stabilitet, hållfasthet	Triaxialtest Triaxialtest, enaxiell tryckhållfasthet
Tjällyftning	Tjällyftning	Tjällyftningstest
Dränering	Permeabilitet	CRS, Svällödometer
Frosthalka/isolering	Värmeledningstal	ISO 8301/8302
Beständighet	Frostbeständighet Mekanisk beständighet Kemisk beständighet	Cykliska och konstanta frys försök Dynamisk triaxial test Särskild utredning
Utförande/Praktisk hanterbart för att uppnå kraven	Karaktäristiska materialegenskaper Packningsegenskap Härdning	Proctor Hållfasthetsutveckling
Miljö- och hälsa	Karaktäristiska materialegenskaper, Miljötekniska egenskaper	Totalhalt, lakningspotential

3.1.1 Avgränsning av undersökningar i laboratorium

Baserat på de krav som ställs upp i Tabell 3.1 redogörs här för den avgränsning och vilka egenskaper som undersöks i laboratorieundersökningarna.

Bärförmåga och tjällyftning

Dimensionering av bärförmågan och tjällyftning utförs med Vägverkets verktyg PMS Objekt för konstruktionen som helhet. Mer om verktyget och den dimensionering som utförs behandlas i Kapitel 4. I korthet erfordrades underlag avseende konstruktionsdelens styvhet och tjällyftningsegenskaper för genomförande av beräkningar. Då programmet PMS Objekt baseras på empiriskt framtagna styvhetsmoduler genomfördes en inventering av likartade vägobjekt där konstruktionsdelar stabiliserats i syfte att om möjligt hitta en korrelation mellan hållfasthet och styvhetsmodul, se Kapitel 4. Tjällyftning undersöktes enligt anvisningar från Vägverket.

Dränering

Det stabiliserade lagret I de båda applikationerna kommer att erhålla mycket låg permeabilitet och blir i det närmaste icke-dränerande. Detta hanteras genom konstruktion som helhet tillgodoses god avvattning t ex genom tvärfall och diken. Inga undersökningar utförs med avseende på dränerande egenskaper.

Frosthalka

Beräkningar av risken för frosthalka har inte utförts, då erfarenheter från Finland gör gällande att applikationernas värmeledande egenskaper inte är av den storlek att de förväntas påverka kravet relaterat till frosthalka, Lahtinen (2007). På provsträckor som har byggts i Finland finns det inga indikationer på att flygaska i bär- förstärkningslager har bidragit till frosthalka.

Beständighet

Det saknas anvisningar för hur frostbeständigheten skall verifieras i ATB Väg. Erfarenheter finns i Finland från motsvarande tester med stabiliserade lager varför finska metoder och praxis användes om utgångspunkt, se bl a Lahtinen (2001).

Bestämning av mekanisk nedbrytning baserades också på erfarenheter från referensprojekt från Finland, se bl a Bilaga D, Lahtinen (2007). Vid stabilisering med bindemedel finns en risk att krympning kan leda till reflektionssprickor. Inga sådana erfarenheter finns från Finska provsträckor med flygaska, Lahtinen (2007). I de nu aktuella applikationerna kommer tillsatsen av cement och Merit 5000 att vara förhållandevis små, några enstaka %, varför krympning inte undersöks vidare i detta projekt.

Vad gäller kemisk beständighet diskuterades tidigt i projektet risken att ballast med innehåll av sulfidmineral (pyrit) kan orsaka korrosionsproblem.

Baserat på lagningsförsök utförd av WSP (2004) på berg-/ballastmaterial, där materialet bedömdes som inert enligt Naturvårdsverkets mottagningskriterier för deponier (NFS 2004:10) gjorde Vägverket bedömningen att frågan inte behövde utredas vidare.

Flygaskornas innehåll av svavelföreningar och fri kalk är också viktigt, då dessa kan leda till bildning av ettringit. Ettringit kan orsaka svällning (s.k. volymbeständighetsproblem) vilket kan leda till uppsprickning eller till kollaps, Nordström och Thorsell (2003). De aktuella flygaskorna bedömdes klara volymbeständighetskraven med god marginal, Sundblom (2004). Eftersom ballastmaterialet inte heller bedömdes innehålla höga halter av svavelföreningar gjordes bedömningen att frågan inte behövde utredas vidare. Laboratiestudier med avseende på kemisk beständighet utfördes därför inte inom ramen för projektet.

Påverkan av vägsalt undersöks i finska försök med flygkastabiliserade vägar, Lahtinen (2007). Inga påverkan kunde påvisas inom ramen för dessa undersökningar. Frågan utreddes inte närmare inom ramen för detta projekt.

Utförande

Lämpliga blandningar, packningsegenskaper och vattenkvot samt hållfasthetsutveckling studerades på laboratorium för att kunna bedöma hanterbarhet och praktiskt utförande. De sammantagna resultaten används också för utformning av kontrollprogram.

Miljö- och hälsa

Platsspecifik miljöbedömning utförs med stöd av Bendz et al (2006) och Vägverket (2007). Som underlag för denna bedömning undersöks materialens totalinnehåll och konstruktionsdelars lagningspotential. Kompletterande underlag avseende förutsättningar i omgivning i anslutning till provsträckor inhämtas också för den platsspecifika bedömningen.

En detaljerad avvägning av resurs- och hushållningsaspekter för de aktuella applikationerna har inte ingått i uppdraget för projektets genomförande. Däremot görs en avvägning baserat på litteraturstudier som underlag för en ”kvalitativ” bedömning och upprättande av anmälan.

3.1.2 Undersökningsprogram

Laboratoriearbetena indelas i steg för en etappvis utveckling av applikationerna CBÖ respektive CGÖ.

- Steg 1: Karaktärisering av material

I det första steget ”karaktärisering” utförs undersökningen i syfte att beskriva de ingående materialens grundläggande egenskaper. Dessa egenskaper används vid bedömning av flygaskornas och ballastmaterialets lämplighet och utgör även materialinformation till kvalitetskontroll. Ändrade materialegenskaper medför att konstruktionsdelens tekniska egenskaper ändras.

- Steg 2: Identifiering av lämplig blandning

I det andra steget utförs undersökningar på ett antal olika blandningsrecept som underlag för att välja en blandning för respektive applikation, dvs konstruktionsdel. I detta steg varieras förhållandet mellan flygaska, cement och Merit (inkl ballast i fallet CBÖ) inom ett intervall eller ”fönster”. Intervall avgränsas baserat på litteraturstudier och resultat från Steg 1. I syfte att få fram lagningsdata, i tid för projektet, utfördes lagningsförsöken på blandningar som bestämdes mitt i Steg 2, dvs. innan slutligt resultat på hållfasthet och frostbeständighet erhöles. Detta medförde att lagningsförsökens recept inte överensstämde med det slutliga receptet efter Steg 3.

Slutlig blandning föreslås sedan baserat på krav relaterat till tryckhållfasthet, tryckhållfasthetsutveckling och frostbeständighet hos de undersökta proverna tillsammans med allmänna förutsättningar avseende utförande.

- Steg 3: Fördjupad undersökning av valda blandningar

I det tredje avslutande steget undersöks den valda blandningen för respektive applikation med avseende på kvalitets- och utförandeaspekter, tjällyftning och lakbarhet.

Kvalitets- och utförande aspekter undersöks genom att bestämma hur avvikelser från optimala förhållanden, med avseende på packningsgrad och vattenkvot, påverkar valda blandningars tryckhållfasthet, tryckhållfasthetsutveckling och frostbeständighet.

3.2 Steg 1 – Karaktärisering av material

Flygaskornas vattenkvot, kornstorlekssammansättning samt halt av oförbränt (TOC) och CaO innehåll är parametrar som kan användas vid kontroll av materialen. Ändringar hos dessa parametrar ger information om flygaskans härdningskapacitet och därmed lämplighet som stabiliseringsmedel. Utvecklingen av tryckhållfastheten ger indikation om behov av tillsats av andra bindemedel, som exempelvis cement och Merit 5000. Flygaskornas tryckhållfasthet undersöktes efter 7, 14, 28 och 90 dagar. Tryckhållfasthet efter 90 dagar ger en indikation om härdning på längre sikt, dvs. om puzzolana reaktioner sker hos materialet.

Packningsegenskaperna undersöktes med hjälp av standard, reducerat och modifierad Proctor. Packningsgrad baseras på skillnader i torrdensitet vid olika vattenkvoter, men vid samma packningsenergi. För att utreda packningsenergens betydelse för torrdensitet undersöktes uppnådd ”packningsgrad” med hjälp av modifierad Proctor, där 5, 10, 15, 20 och 25 slag per skikt användes och där vattenkvoten hölls konstant, dvs vid optimal vattenkvot.

Även ballastmaterialets vattenkvot, kornstorlekssammansättning och mineral-sammansättning är viktiga materialegenskaper som kan påverka konstruktionsdelens packningsegenskaper och hållfasthet. Parametrar som undersöktes redovisas i Tabell 3.2. Valet av metoder baseras på handboken *Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar*, Tabell 2 och Tabell 3 i SGI-Information 18:4 (2006). I Bilaga 1 redovisas laboratorieresultat och nedan ges en sammanställning av utförda undersökningar.

Tabell 3.2 Karaktärisering av material – laboratoriemetoder.

Table 3.2 Characterization of material – laboratory methods

Undersökta parametrar	Material	Metod
Vattenkvot	ME, VU, B [£]	SIS-CEN ISO/TS 17892-1:2005
TOC	ME, VU	ISO 10694
Fri CaO	ME, VU	
Kornstorlekssammansättning	ME, VU, B	SS-EN 933-1
Packningsegenskaper	ME, VU	SS-EN 13286-2:2004
Tryckhållfasthet (7, 14, 28 och 90 dagar)	ME [#] , VU [§]	SS-EN 17892-7:2004
Mineralsammansättning (totalhalter)	ME, VU, B	SFS-EN 13656 ^{#, §} , WSP (2004b) [£]

[#] ME – flygaska från Mälarenergi AB, Västerås

[§] VU – flygaska från Vattenfall Ab Värme Norden, Uppsala

[£] B – ballastmaterial från Väg 56/70 förbi Sala, delsträcka å Lv 256

Flygaskornas materialkvalitet kan förändras med tiden. En viktig orsak till detta är ofta att bränslets sammansättning ändras med tiden. För att visa detta inhämtades även resultat från en tidigare undersökning, Mácsik, et al. (2004), av flygaskorna från respektive leverantör.

3.2.1 Flygaskor/råvara

I Tabell 3.3 redovisas bränsle och panna för respektive anläggning för åren 2003 och 2006. Bränslet i Mälarenergis anläggning var spillprodukter från skogsavverkning i form av grenar och toppar 2003, medan 2006 var bränslet till största delen kol med en mindre del spillprodukter. Bränslet i Vattenfalls anläggning var torv och trä (75 % / 25 %) 2003, medan 2006 var sammansättningen torv/trä (70% / 30%), med träpellets och torv från Vitryssland.

Tabell 3.3 Beskrivning av bränsle för respektive anläggning under 2003 och 2006

Table 3.3 Fuel description of the energy plants during 2003 and 2006

Företag	Anläggning	Bränsle 2003	Bränsle 2006	Panna
Mälarenergi AB	Kraftvärmeverket i Västerås	Spillprodukter från skogsavverkning i form av grenar och toppar	Spillprodukter från skogsavverkning i form av grenar och toppar & kol	CFB
Vattenfall Värme Uppsala AB	Uppsala	Torv/trä - 75%/25%	Kol/torv - 70%/30% (torv från Vitryssland)	Pulver

3.2.2 Materialegenskaper

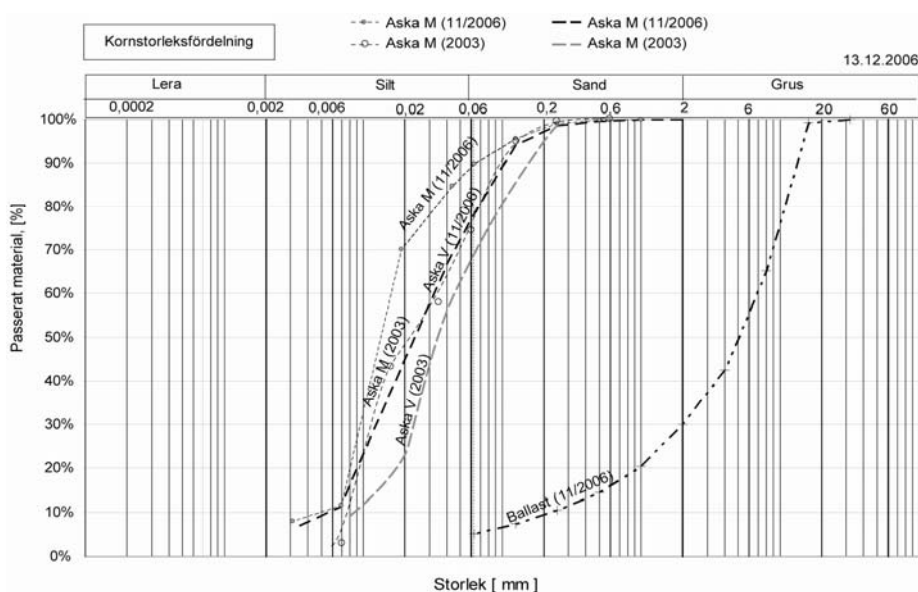
I Tabell 3.4 redovisas flygaskornas vattenkvot TOC-halt och innehåll av fri CaO för prov från 2003 och 2006. Flygaskorna var förhållandevis torra vid båda provtagningstillfällena, även om vattenkvoten varierar något. Även variationen av flygaskornas innehåll av organiskt kol var liten. Halten av CaO i Mälarenergis flygaska var lägre 2003 än 2006. År 2006 hade Vattenfalls flygaska något lägre innehåll av CaO, 7,6 %, än 2003 då det var 9,9 %. CaO är en viktig parameter för materialets hållfasthetsutveckling.

Tabell 3.4 Jämförelse av w, TOC och fri CaO hos flygaskorna från år 2003 och 2006.

Table 3.4 Comparison of w , TOC and free CaO of the investigated fly ash from 2003 and 2006.

Material	W, [%]	TOC, [LoI 550 C]	CaO, [%]
	2006 (2003)	2006 (2003)	2006 (2003)
Me	1,1 (0,1)	4,3 (4,6)	8,8 (4,6)
VU	0,2 (0,3)	2,0 (7,6)	7,9 (9,9)
Ballast	3,2	-	-

I Figur 3.1 redovisas flygaskornas kornstorleksfördelning för 2003 och 2006. Det framgår att båda flygaskorna var mer finkorniga vid kontrollen 2006 än 2003, (andelen siltfraktion var 5 – 10 % högre på bekostnad av sandfraktionen). Lerfraktionens andel undersöktes inte.



Figur 3.1 Flygaskornas och ballastmaterialets kornstorleksfördelning.

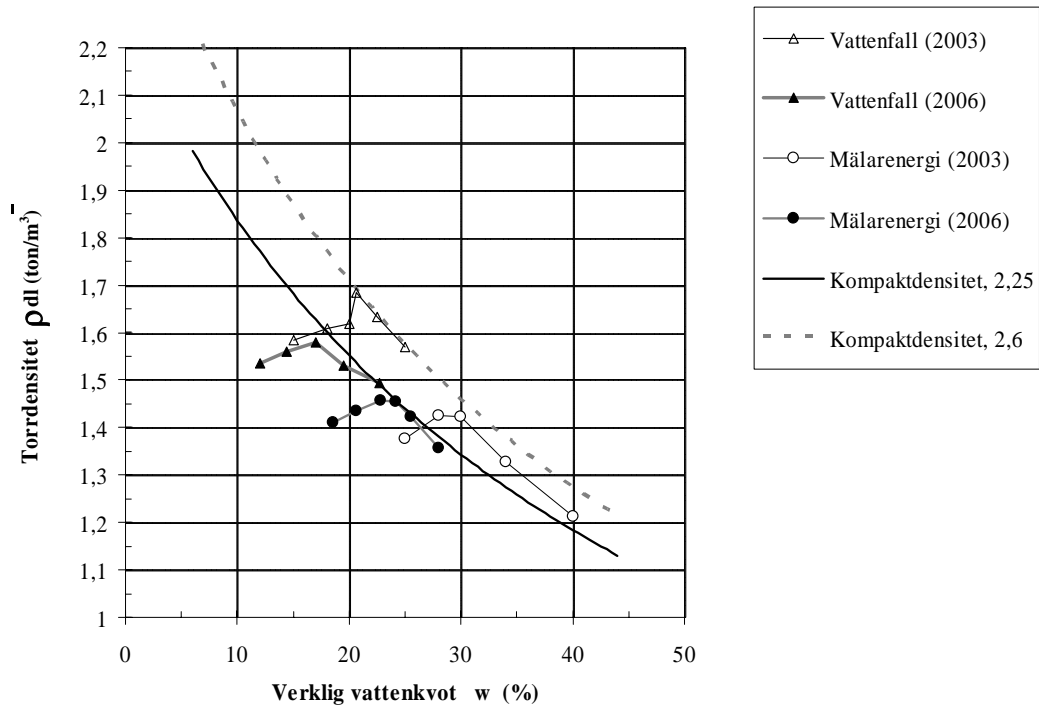
Figure 3.1 Particle size distributions of fly ash and ballast.

Mineralsammansättning hos flygaskor undersöktes genom bestämning av totalhalt och redovisas i Bilaga A. För egenskaperna hos ballasten hänvisas till WSP (2004b).

ME, Mälarenergis flygaska (2006)

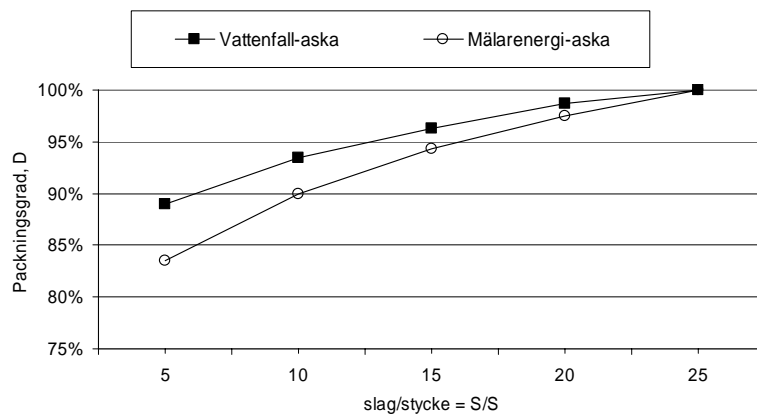
Flygaskans ursprungliga vattenkvot var 1,1 %. Flygaskans optimala vattenkvot vid packning var ca 23 %. Torrdensiteten som erhöles var då ca 1460 kg/m³, Figur 3.2. Vid standard Proctor (15 slag/skikt) erhöles en packningsgrad på ca 94 %, Figur 3.3 och Bilaga A:3. Packningsenergens betydelse för uppnådd packningsgrad undersöktes, se Figur 3.3. Provkropparna, som tillverkades med 93 – 94 % packningsgrad, undersöktes med avseende på tryckhållfasthet efter 7, 14, 28 och 90 dagar. Tryckhållfastheten ökade från ca 1,8 MPa efter 7 dygn till ca 5,5 MPa efter 28 dygn och till ca 13,3 MPa efter 90 dagar, Figur 3.4 och Bilaga A:2.

Utifrån packningskurvan som erhålls vid proctorförsöket görs bedömningen att materialets lägst möjliga kompakt densitet är ca 2250 kg/m^3 , Bilaga A:3. Notera att flygaskan hade andra packningsegenskaper 2003, se Figur 3.2.



Figur 3.2: Packningsegenskaper 2003 och 2006.

Figure 3.2 Proctor results 2003 and 2006.



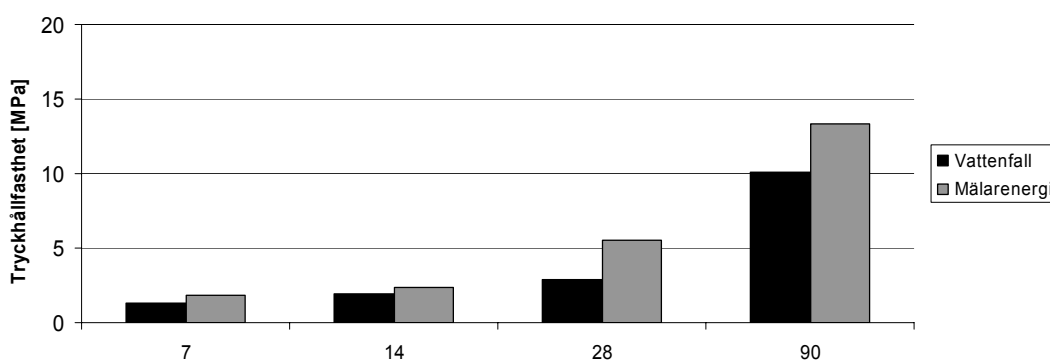
Figur 3.3 Effekten av arbetsmängden (slag/skikt) på packningsgraden vid optimal vattenkvot.

Figure 3.3 The effect of packing energy (compaction/layer) on the achieved degree of compaction at optimal water content.

VU, Vattenfall Uppsala (2006)

Flygaskans ursprungliga vattenkvot var 0,2 %. Flygaskans optimala vattenkvot var 17 %. Flygaskans torrdensitet var då ca 1 580 kg/m³, Figur 3.3 och Bilaga A:3. Vid standard Proctor (15 slag/skikt) erhöles en packningsgrad på ca 96 %, Figur 3.3. Packningsenergens betydelse för uppnådd packningsgrad undersöktes, se Figur 3.3. Provkropparna, som tillverkades med 93 – 94 % packningsgrad, undersöktes med avseende på tryckhållfasthet efter 7, 14, 28 och 90 dagar. Tryckhållfastheten ökade från ca 1,3 MPa efter 7 dygn till ca 2,9 MPa efter 28 dygn och till ca 10,1 MPa efter 90 dagar Figur 3.4 och Bilaga A:2. Materialets lägst möjliga kompaktdensitet bedömdes vara ca 2 250 kg/m³, Bilaga A:3. Notera att flygaskan hade andra packningsegenskaper 2003, se Figur 3.2.

Steg 1 - Enaxiell tryckhållfasthet vs. härdningstid



Figur 3.4 Härdningstidens betydelse för utveckling av tryckhållfasthet hos tillverkade provkroppar.

Figure 3.4 Influence of time on strength development of laboratory samples.

Materialens maximala torrdensitet och optimala vattenkvot inte är på samma nivå 2003 och 2006, vilket visar att flygaskornas kvalitet har förändrats. Orsaken bedöms vara att bränslet 2003 och 2006 var olika. Ändringen i grundläggande egenskaper mellan åren 2003 respektive 2006 bedöms som så stora att de sannolikt skulle resultera i annorlunda val av slutlig blandning för respektive applikation. I detta fall undersöks material med avseende på den råvara som tillhandahållits och framställts 2006.

3.3 Steg 2- Identifiering av lämplig blandning

I detta Steg undersöks olika blandningar som underlag för att välja en blandning för respektive applikation. Detta innebär att förhållandet mellan flygaska, cement och Merit (inkl ballast i fallet CBÖ) varierar inom ett intervall eller ”fönster”. Intervallet avgränsas baserat på litteraturstudier och resultat från Steg 1 för val av blandning som ska undersökas närmare i Steg 3.

De krav som utgör bas för bedömningar baseras på tryckhållfasthet, frostbeständighet och med avseende på blandningsteknik. Valet av metoder baseras på Tabell 2 i SGI-Information 18:4. (2006).

Tryckhållfasthet och frostbeständighet

Baserat på finska erfarenheter Lahtinen (2001) och SGI-Information 18:4 valdes utgångspunkten att provkroppens tryckhållfasthet efter utförd frostbeständighetstest inte får vara mindre än 75 % av den ursprungliga hållfastheten (ca 30 dgr). För tryckhållfastheten gäller vidare att den inte bör vara mindre än 3 MPa efter ca 30 dgr, SGI-Information 18:4. (2006). Idag saknas utförda försök för att göra bedömningar med avseende på frostbeständighet hos 90 dagars prover. Preliminär dimensionering som utfördes inom projektet indikerade samtidigt att tryckhållfastheter över 2 MPa kan förmodas leda till att de aktuella konstruktionerna blir överdimensionerade, se Kapitel 4.

Blandningsteknik

Homogeniteten hos de olika applikationer som ska åstadkommas i samband med utförandet beror av vald teknik. Blandningar av enbart bindemedel hanteras vanligen i en mixerstation vilken medger ett relativt noggrant förhållande mellan olika bindemedel kan åstadkommas.

Vid blandning av ballast och bindemedel (CBÖ) kan homogeniteten i vissa fall försämrans vid infräsning av stora mängder bindemedel (flygaska och cement/Merit). En annan begränsande faktor är den lägsta inblandningsmängden som är praktiskt möjlig. Inblandningens homogenitet styrs av valet av inblandningsteknik. Praktisk tillämpbar inblandningsmängd av bindemedel och ballast vid *infräsning* ligger mellan 6 – 20 %, vid *mixerstation* är det mellan 6 – 50 % och vid *skopblandning* ligger den mellan 30 - 50 %, Maijala (2007), Lahtinen (2001).

3.3.1 Frostbeständighetstest

De två försöksuppsättningar som användes för att undersöka provkropparnas frostbeständighet var genom en cyklisk och en konstant försöksuppsättning.

Cykliskt frostbeständighetstest, Cyklisk FBT

Vid ett cykliskt frysnings och tiningförsök, Tammirinne (2000), ställs den härdade provkroppen på en kapillär matta, där provet kan adsorbera vatten under minst 4 timmar vid rumstemperatur. Därefter förvaras provkroppen under 16 timmar i frysskåp med ca. -18°C. Sedan vänds provkroppen 180 grader och placeras på den kapillära mattan för att tining under 8 timmar i rumstemperatur. Denna frysnings och tiningscykel upprepas sedan 12 gånger. Provkroppens exaxliga tryckhållfasthet undersöks efter avslutat försök.

Konstant frostbeständighetstest, Konstant FBT

Vid konstant försöksuppsättning ställs den härdade provkroppen på en kapillär matta och tillåts absorbera vatten underifrån. Provets övre del utsätts för minusgrader (- 3°C), medan den undre delen hålls ofrusen (+ 1,5 – 2°C). Vid start belastas provet med ca 20 kPa. Belastningen sänks sedan till ca 3 kPa under försökets gång. Ändring av provkroppens höjd och temperaturvariationen i provkroppen registreras under försökets gång. Provkroppens exaxliga tryckhållfasthet undersöks efter avslutat försök. Denna metodik är snarlik den som används i Sverige för bestämning av tjällyftning se vidare i Kapitel 3.4.3.

Denna konstanta uppställning har utvecklats i samarbete mellan Uleåborgs universitet och Luleå tekniska universitet, Onninen (2000). I Lindh (2004) diskuteras även behovet av vidare utveckling av metoder.

Segregationspotential SP_0 [mm^2/Kh] beräknas baserat på uppmätt tjällyftning och temperaturvariation. Vid SP_0 0,1 – 0,2 bedöms provkroppen som icke tjälfarlig. Flygaska med $SP_0 < 0,5$ är erfarenhetsmässigt lämplig att användas i bär- och förstärkningslager, SGI-Information 18:4. Vid $SP_0 < 1$ bedöms provkroppen som ”tjälfarlig”.

3.3.2 Litteraturstudie - Tryckhållfasthet vs blandningsrecept

Nedan ges exempel på tryckhållfasthetsutveckling och frostbeständighet hos stabiliserat ballast, där flygaska från Hallstavik (HV), cement (Ce) och Merit (M) har använts som bindemedel. Siffrorna som anges är den procentuella andelen, dvs. HV10 +(Ce/M)3 anger att ballastmaterial (87 %) stabiliserad med 10 % flygaska från Hallstavik och totalt 3 % av en blandning av cement och Merit med 1/1 fördelning, se Tabell 3.6. I Figur 3.5 redovisas resultat från tryckhållfasthet efter 28 dygns härdning och efter cykliska och konstanta frostbeständighetstester. HV10+(Ce/M)3, Hv5+Ce3 och HV10+Ce3 är exempel på blandningar som klarar detta krav, Figur 3.1. I samtliga fall reducerades tryckhållfastheten mer efter cyklisk frostbeständighetstest (Cyklisk FBT) än efter konstant frostbeständighetstest, Figur 3.5. Statistisk metodik användes inte i detta projekt för att tydliggöra och bekräfta eventuella samspelseffekter hos olika bindemedel.

Tabell 3.5 Beteckning över bindemedel som ingick i litteraturstudien

Table 3.5 Binders included in the literature study

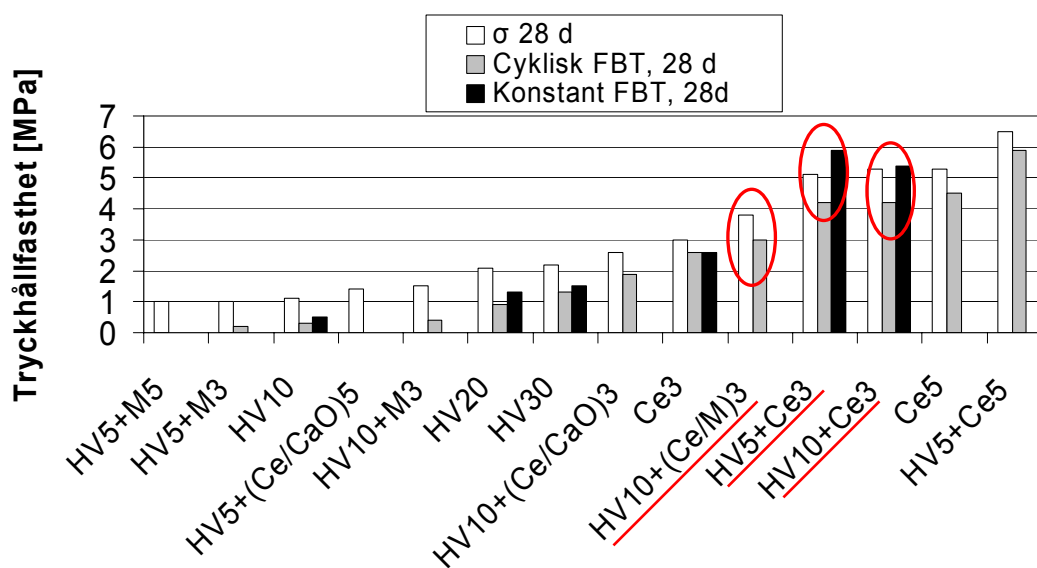
Bindemedel	Förkortning
Flygaska från Hallstavik, Holmen Paper	HV
Flygaska från Vattenfall Uppsala	VU
Flygaska från Mälarenergi, Västerås	ME
Flygaska från Stora Enso Fors	SEF
Flygaska från finska försök (3 flygaskor)	FA ⁽¹⁻³⁾
Byggcement	Ce
Merit 500	M
Osläckt kalk	CaO

Tabell 3.6 Bindemedelsrecept som redovisas i Figurerna 3.1 – 3.3

Table 3.6 Content of binder mixtures shown in Figure 3.1 – 3.3

	Ballast	Flygaska	Övriga bindemedel		
			Cement	CaO	Merit 5000
HV5+M5	90 %	5 %	-	-	5 %
HV5+M3	92%	5 %	-	-	3 %
HV10	90 %	10 %	-	-	-
HV5+Ce/CaO)5	90%	5 %	-	2,5 %	2,5 %
HV10+M3	87 %	10 %	-	-	3 %
HV20	80%	20 %	-	-	-
HV30	70%	30 %	-	-	-
HV10+(Ce/CaO)3	87 %	10 %	1,5 %	1,5 %	-
Ce3	-	-	3 %	-	-
HV10+(Ce/M)3	87 %	10 %	1,5 %	-	1,5 %
HV5+Ce3	92 %	5 %	3 %	-	-
HV10+Ce3	87 %	10 %	3 %	-	-
Ce5	-	-	5 %	-	-
HV5+Ce5	90%	5 %	5 %	-	-
VU	-	100 %	-	-	-
ME	-	100 %	-	-	-
FA ⁽¹⁻³⁾ 10+Ce3	87 %	10 %	3 %	-	-
VU50	50 %	50 %	-	-	-
SEF	-	100 %	-	-	-
SEF+Ce3	-	97 %	3 %	-	-
SEF+Ce5	-	95 %	5 %	-	-

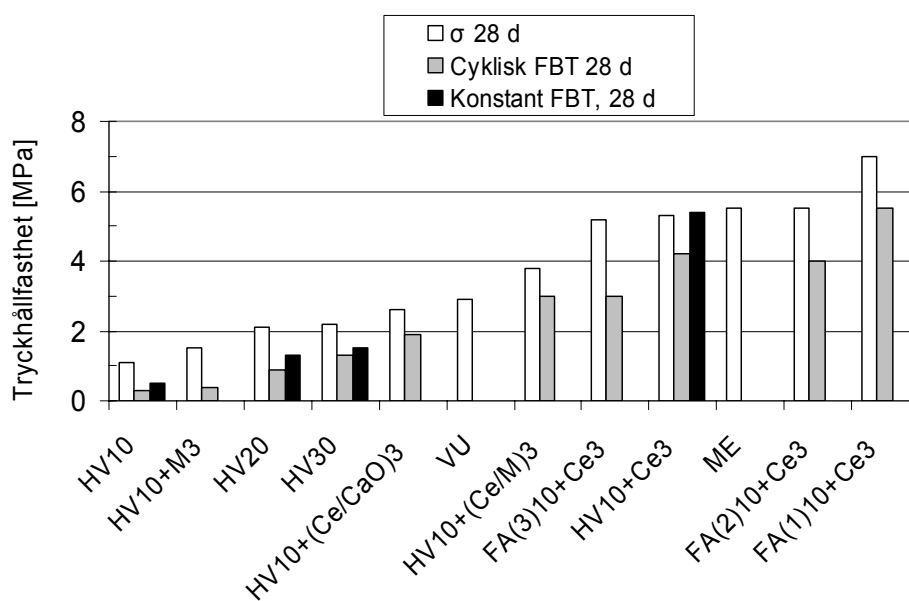
FA⁽¹⁻³⁾ tre olika flygaskor från Finland, Lahtinen et. al. (2005)



Figur 3.5 Resultat från stabilisering av grusmaterial med flygaska från Hallstavik, bearbetad efter Lahtinen et al. (2005). Rödmarkering visar blandningar som klarar frostbeständighetskrav.

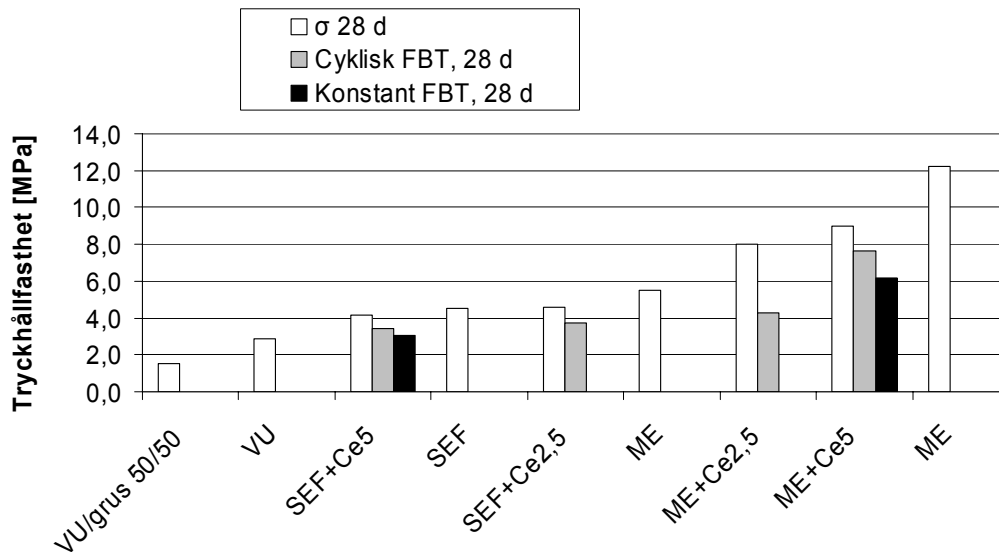
Figure 3.5 Results of fly ash stabilization of gravel material from Hallstavik, work on Lahtinen et al. (2005). Red marks shows mixers reaching requirement of frost susceptibility.

I Figur 3.6 görs en sammanställning av tryckhållfasthetsvärden hos olika flygkastabiliserade grusmaterial, samt hos härdad flygaska från Vattenfall Uppsala och Mälarenergi Västerås, Lahtinen et al. (2005). Som det framgår i Figureerna 3.5 och 3.6, ökade tryckhållfastheten hos ballastmaterial med ökande mängd tillsatt flygaska. Tryckhållfastheten hos ballast stabiliserad med 30 % flygaska (HV30) var högre än hos ballast stabiliserat med 20 % (HV20) som i sin tur gav högre tryckhållfasthet än HV10. Även blandningarnas tryckhållfasthet efter frysning/tining och frostbeständighetstest ökade med ökande mängd flygaska. Det krävdes dock tillsats av cement och/eller Merit för att klara beständighetskravet. HV10 med 3 % cement och Meritblandning (1/1) gav högre tryckhållfasthet både före och efter utförda tjaltester än HV30 utan tillsats av cement och Merit 5000, se Figur 3.6. Tillsats av Merit och CaO tillsammans med cement ger något lägre tryckhållfasthetsvärden än motsvarande tillsats av enbart cement. Skulle denna mätning ske senare, dvs efter t ex 90 dagar, skulle tendensen troligen vara stigande.



Figur 3.6 Tryckhållfasthet på tillverkade provkroppar bestående av grusmaterial stabiliserat med olika flygaskor och andra bindemedel. Se tabell 3.6.

Figure 3.6 Strength of laboratory samples containing gravel material stabilized with different fly ashes and other binders. Notice table 3.6.



Figur 3.7 Tryckhållfasthet på tillverkade provkroppar av stabiliserade bindemedel med och utan ballast, bearbetad av Lahtinen (2005) och Mácsik et al. (2004).

Figure 3.7 Strength of laboratory samples, containing stabilized binders with and without ballast, based on work of Lahtinen (2005) and Mácsik et al. (2004).

Stabilisering av obundna lager (jmf applikation CBÖ)

Resultaten redovisade i Figureerna 3.5- 3.6 indikerar att en tillsats av torr flygaska över 10 % med 3 % tillsats av cement och/eller Merit ger hållfasthetsvärden som är > 4 MPa. För att uppnå tillfredsställande frostbeständighet bör bindemedel av cement och/eller Merit vara större 2 - 3 %.

Konstruktionsdelar med enbart bindemedel (jmf applikation CGÖ)

Resultat som redovisas i Figur 3.7 indikerar att tryckhållfasthet på runt 8 MPa är att förvänta vid inblandning av cement eller Merit (ca 2,5 %). Även här gäller det att tillsats av cement och Merit behövs för att höja beständigheten mot cykler av frysning/tining. Tryckhållfastheter förväntas bli vara större än 6 MPa som en följd av tillsatser av cement/Merit.

3.3.3 Blandningsrecept

Baserat på sammanställningen ovan upprättades ett laboratorieprogram där olika förhållanden mellan bindemedel (inkl ballast för CBÖ) undersöktes inom ett begränsat intervall. Krav relaterat till blandningsteknik betraktas som ej styrande. Utan det är uppställda krav på tryckhållfasthet och frostbeständighet som styr val av blandning. I detta läge blandas alltså olika material för att åstadkomma provkroppar som ska representera de avsedda konstruktionsdelarna.

Valda blandningars packningsegenskaper kontrollerades (Proctortest) i syfte att bekräfta torrdensitet och packningsgrad hos tillverkade provkroppar, se Tabell 3.7 och Tabell

3.8. För CBÖ används flygaska från Vattenfall Uppsala och för CGÖ används flygaska från Mälarenergi.

Applikation - CGÖ

Konstruktionsdelen CGÖ består av enbart bindemedel. Undersökningen innefattar flygaska utan tillsats och flygaska med tillsats av cement och Merit, C/M, med tillsatsmängder 2, 3 och 5 %. Blandningsförhållandet mellan cement och Merit valdes till 1/1. Provkropparna undersöktes med avseende på tryckhållfasthet och frostbeständighet, se Tabell 3.7. Lakning på CGÖ utfördes på flygaska med 2 % Ce/Me som tillsatsmedel.

Tabell 3.7 Blandningsschema för undersökning av CGÖ prover. Beteckningen **x** avser enkelprov och **xx** avser dubbelprov

Table 3.7 Mixing schedule of investigations of CGÖ-samples, where **x** stands for single sample and **xx** stands for double samples

Bindemedel %	Betecknin g	Packning	Hållfasthet (1-axial)		Frostbeständighet	
			30d	90d	Cyklisk 30d	Konstant 90d
0	Ce/M0		x		x	x
2	Ce/M2	1^{&}	xx		xx	x
3	Ce/M3		x		x	x
5	Ce/M5		xx		xx	x

1[&] full proctor (4- 5 steg)

Applikation CBÖ

Konstruktionsdelen CBÖ består av ballast blandat med bindemedel. Materialtekniska egenskaper undersöktes hos ballastmaterial stabiliserad med 5, 8 och 12 % flygaska med tillsats av cement och Merit. Tryckhållfasthet och frostbeständighet undersöktes, se Tabell 3.8. Lakningsförsök på CBÖ utfördes på 8 % flygaska med + 3 % cement/merit som tillsatsmedel.

Tabell 3.8 Blandningsschema för undersökning av CBÖ prover. Beteckningen **x** avser enkelprov och **xx** avser dubbelprov

Table 3.8 Mixing schedule for investigations of CBÖ-samples, **x** stands for single sample and **xx** stands for double sample

Flygaska %	Ce/Me %	Beteckning	Procto r	Hållfasthet (1-axial)		Frostbeständighet	
				30d	90d	Cyklisk 30d	Konstant 30d
5	3	FA5+Ce/M3	1/2 ^{&}	xx	x	xx	
5	4	FA5+Ce/M4		x	x	x	
8	2	FA8+Ce/M3		x	x	x	
8	3	FA8+Ce/M4	1^{&}	xx	x	xx	x
8	4	FA8+Ce/M5		x		x	
12	2	FA12+Ce/M2	1/2 ^{&}	xx	x	xx	x
12	3	FA12+Ce/M3		x		x	

1[&] standard Proctor (4- 5 steg)

1/2[&] reducerad proctor (2 - 3 steg)

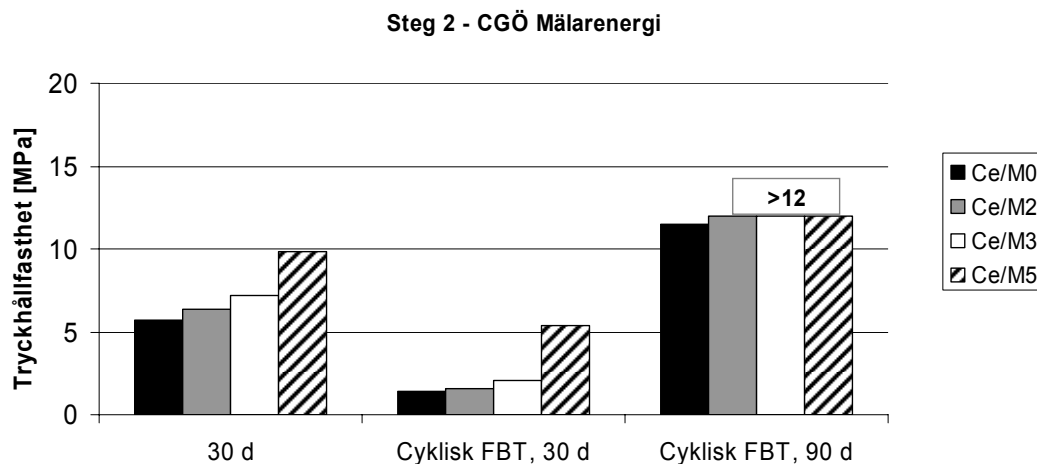
3.3.4 Resultat

I Bilaga B redovisas resultat från laboratorieundersökningar. Nedan sker en sammanfattande bedömning avseende de respektive applikationerna.

Applikation CGÖ

Undersökningen av flygaska från Mälarenergi med och utan tillsats av cement/Merit (CGÖ) visade att tryckhållfastheten ökade med tiden för samtliga undersökta blandningar och med stigande halt av cement och Merit. Undersökningen visade att ingen av materialen var frostbeständiga efter 30 dagar. Även med tillsats av 5 % Ce/M minskade tryckhållfastheten från 9,8 MPa till 5,4 MPa, dvs. en minskning > 25 %.

Prov som härdade 90 dagar innan det utsattes för cyklisk frostbeständighetstest uppvisade höga tryckhållfasthetsvärden efter cyklisk FTB, se Figur 3.8. Tryckhållfastheten efter 90 dagar innan undersöktes inte varför det saknas jämförvärden för bedömning av provernas frostbeständighet.

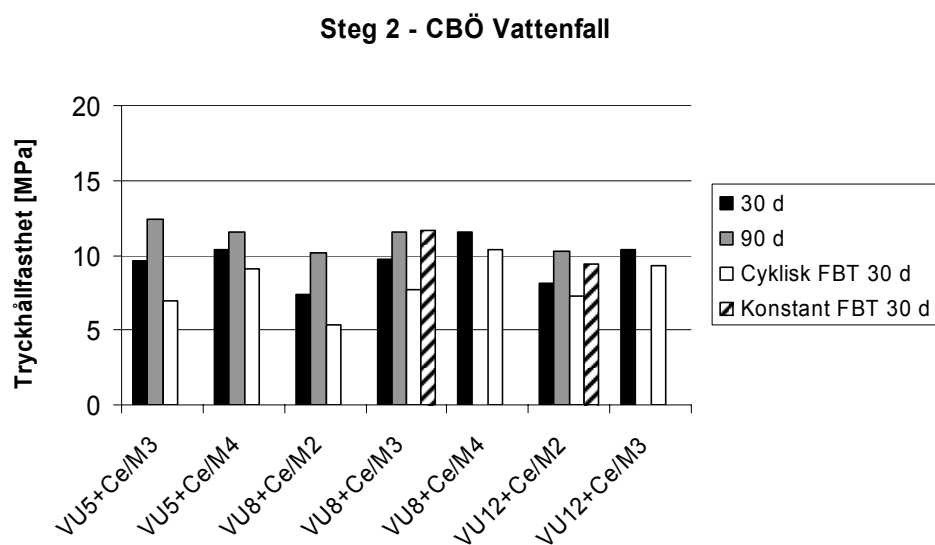


Figur 3.8 Tryckhållfasthet/frostbeständighet hos provkroppar med olika mängder bindemedel

Figure 3.8 Strength and frost susceptibility of samples with different amount of binders

Applikation CBÖ

Tryckhållfastheten hos den stabiliserade ballasten ökade med ökad härdningstid och med stigande tillsatsmängd cement/Merit. En kritisk faktor för hållfastheten var blandningens frostbeständighet främst mot cyklisk av frysning/tining. Av Figur 3.9 framgår att blandningarna VU5+Ce/M4, VU8+Ce/M4, VU12+Ce/M2 och VU12+Ce/M3 är de mest frostbeständiga blandningarna. Blandningarna uppvisar bra frostbeständighet, dvs. tryckhållfastheten efter 30 (28) dagar klarar det bestämda beständighetskriterier.



Figur 3.9 Tryckhållfasthet/frostbeständighet hos ballast stabiliserad med olika mängder bindemedel

Figure 3.9 Strength and frost susceptibility of samples stabilized with different amount of binders

3.3.5 Val av optimerad blandning

Applikation CGÖ

För CGÖ (Mälarenergi) var det 5 % som var den största tillsatsen av cement/Merit, blandning (Ce/Me5). Hållfastheten vid 5 % tillsatsmaterial var 9,8 MPa efter 30 dagar, men materialets frostbeständighet bedöms inte vara tillräcklig efter 30 dagar, Figur 3.7. Frostbeständighetstest (FBT) utfördes på prov som har härdat 90 dagar, däremot saknas det tryckhållfasthetsvärde på prov efter 90 dagars härdning. Efter FBT var tryckhållfastheten över 12 MPa i samtliga fall, Figur 3.8. Frostbeständigheten kunde dock inte utvärderas eftersom tryckhållfasthetsvärdet före FBT saknas. I syfte att klara frostbeständighetskravet höjdes därför tillsatsmängden av cement/merit från 5 % till 7 % inför undersökningar i Steg 3.

Applikation CBÖ

Baserat på resultat i Steg 2 för CBÖ lösningen, valdes blandningsförhållandet 86 % ballastmaterial, 12 % flygaska (Vattenfall) och 1 % cement och 1 % Merit 5000 (VU12+Ce/Me2) för vidare undersökning i Steg 3, eftersom blandningens tryckhållfasthet var mellan 7 – 10 MPa och var frostbeständigt, se Figur 3.9.

Vidare utvidgades undersökningen med även undersöka en CBÖ-lösning med flygaska från Mälarenergi. Baserat på resultat från Steg 2 med Vattenfalls flygaska valdes ett blandningsförhållande med 12 % flygaska (Mälarenergi) och 1,5 % cement och 1,5 % Merit 5000 (ME12+Ce/Me3).

3.4 Steg 3, Fördjupad undersökning av valda blandningar

I detta Steg undersöks valda blandningar med avseende på kvalitets- och utförandeaspekter, tjällyftning och miljötekniska egenskaper.

3.4.1 Undersökningsprogram

Kvalitets- och utförandeaspekter undersöks genom att bestämma hur avvikelser från optimala förhållanden, med avseende på packningsgrad och vattenkvot påverkar valda blandningars tryckhållfasthet, tryckhållfasthetsutveckling och frostbeständighet. Packningsgraden är förhållandevis lätt att lättkontrollera i fält och möjliggör därmed kvalitetskontroll. I avsnittet redovisas hur tryckhållfasthet och beständighet mot tjäle påverkades vid:

- höjning och sänkning av vattenkvoten från optimal nivå
- ändring i packningsgrad vid optimal vattenkvot.

De blandningar som undersöktes med avseende på kvalitets- och utförandeaspekter redovisas i Tabell 3.9. Notera att applikationen CBÖ undersöks med avseende på flygaska från både Mälarenergi och Vattenfall Uppsala.

Tabell 3.9 Undersökta blandningar i Steg 3

Table 3.9 Investigated mixtures in Stage 3

Applikation	Producent	Beteckning	Ballast, %	Flygaska, %	Ce/M, %
CBÖ	Vattenfall	VU12+Ce/M2	86	12	2
CBÖ	Mälarenergi	ME12+Ce/M2	85	12	3
CGÖ	Mälarenergi	Ce/M7	-	93	7

För lakförsök användes prover (30dgr) för respektive applikation utifrån de provkroppar som tillverkats i Steg 2. Detta gjordes av tidsskäl då krav förelåg på inlämnade av anmälan vid en viss tidpunkt. I Bilaga C redovisas resultat av utförda undersökningar. Nedan ges en kort sammanställning med kommentarer med avseende på erhållna resultat.

3.4.2 Resultat - Packningsgrad/vattenkvot

Applikation CBÖ - Vattenfall

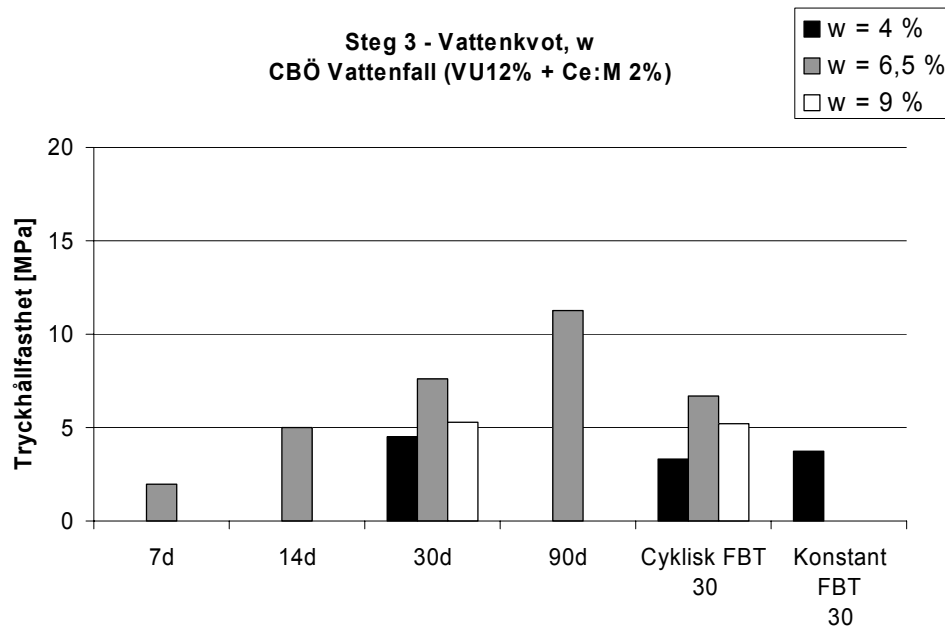
Undersökningen med CBÖ Vattenfall (VU12+Ce/M2) visade att vid optimal vattenkvot (6,5 %) och packningsgrad på 95 % ökade materialets tryckhållfasthet med tiden (mellan 7 och 90 dagar), Figur 3.10. Frysning/tining påverkade tryckhållfastheten om packning utfördes vid en vattenkvot som var lägre än optimal vattenkvot.

Resultaten visade att det är viktigt att vattenkvoten ligger på eller nära optimal vattenkvot för att er hålla tillfredsställande frostbeständighet. Vid 4 % vattenkvot minskade tryckhållfastheten från 4,5 MPa till 3,3 MPa, vilket är ca 2 % större än kriteriet för frostbeständighet (minskning med 25 %), Tabell 3.10. Vid 9 % vattenkvot erhö ll provet lägre tryckhållfasthet än vid optimal vattenkvot, men provet klarade kriteriet för frostbeständighet. Denna effekt bedöms orsakas av att hållfastheten hos proverna är knuten till bindemedelshalten och därmed vattenbindemedelstalet (vtb). Detta visar tendensen till att optimal vattenkvot vid packning är inte optimal för härdning, dvs hållfasthetsutveckling.

Tabell 3.10 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighetstest, hos CBÖ med VU12+Ce:M2 med varierande vattenkvot vid packning

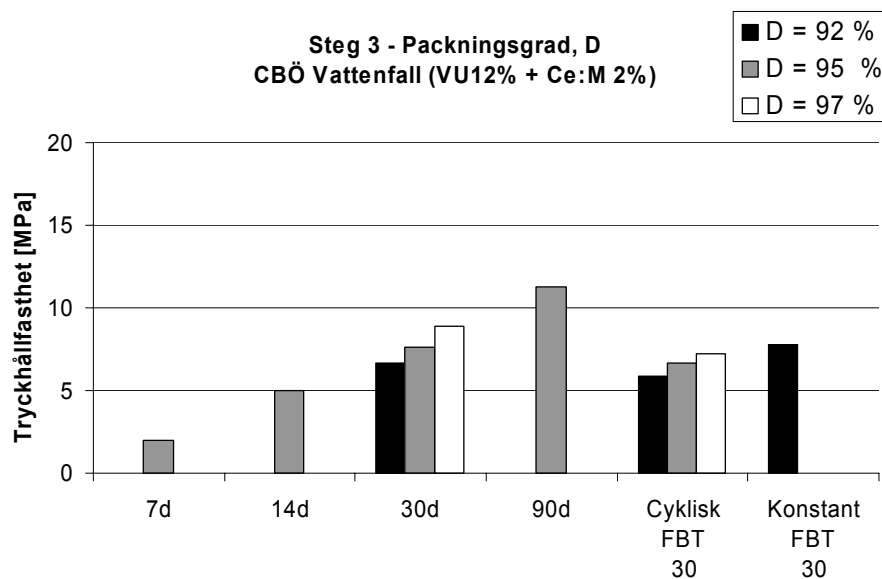
Table 3.10 Strength development and strength after frost susceptibility test, CBÖ with VU12+Ce:M2, proctor with different water content

Variabler	Tryckhållfasthet, MPa		Bedömning	
	30 d	Cyklisk FBT. 30 d	Minskning	Frostbeständigt
w = 4 %	4,5	3,3	27%	Nej
w = 6,5 %	7,6	6,7	12%	Ja
w = 9 %	5,3	5,2	2%	Ja
D = 92 %	6,7	5,9	12%	Ja
D = 95 %	7,6	6,7	12%	Ja
D = 97 %	8,9	7,2	19%	Ja



Figur 3.10 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighets-test beroende på vattenkvot vid packning.

Figure 3.10 Strength development and strength after frost susceptibility test, proctor with different water content



Figur 3.11 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighets-test beroende på packningsgrad.

Figure 3.11 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on compaction grade

Högre packningsgrad gav högre tryckhållfasthet, Figur 3.11. Samtliga prov klarade det uppställda kravet för frostbeständighet. Vid packningsgrad mellan 92 – 97 % minskar materialens tryckhållfasthet mellan 12 – 19 %. Den procentuella minskningen var störst för provet med högst tryckhållfasthet.

Blandningen bedöms därmed ge förutsättningar för en robust konstruktionsdel, dvs den klarade variation i både vattenkvot och packningsgrad utan att det nämnvärt påverkade materialets frostbeständighet, se Figurer 3.10 och 3.11. Vid 4 % vattenkvot, dvs vid vattenkvot lägre än den optimala på 6,5 % tangeras kraven för frostbeständighet och för lägsta rekommenderade tryckhållfasthet på 3 MPa. Resultaten visar därmed att vid packning bör vattenkvoten inte ligga på den ”torra” sidan om den optimala vattenkvoten. På den ”blöta” sidan utvecklas tryckhållfastheten sämre än vid optimal vattenkvot.

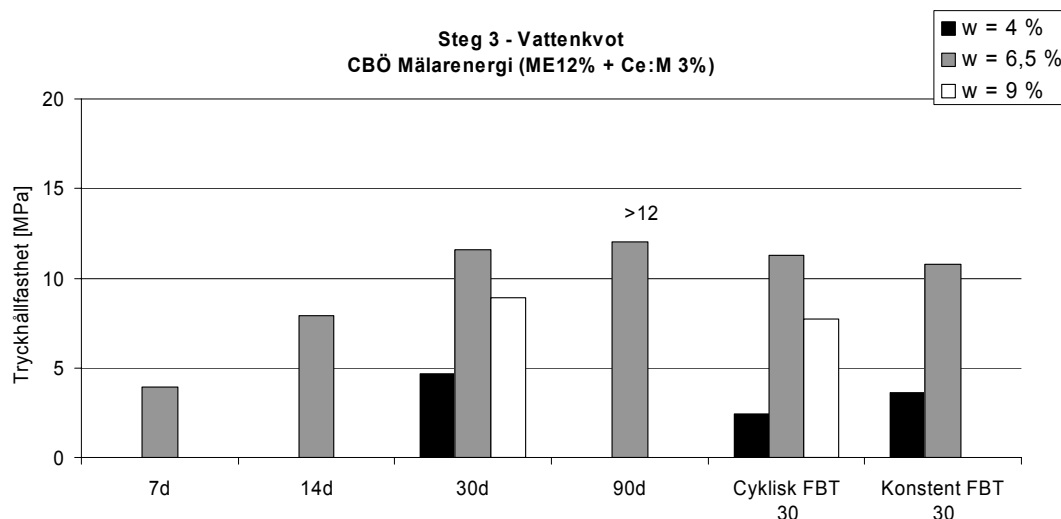
Applikation CBÖ - Mälarenergi

Undersökningen med CBÖ Mälarenergi (ME12+Ce/M3) visade att vid optimal vattenkvot och packningsgrad på 95 % ökade provets tryckhållfasthet med tiden (mellan 7 och 90 dagar), Figur 3.12. Packning på den torra sidan av den optimala vattenkvoten gav låga tryckhållfasthetsvärden och svag frostbeständighet. Provet klarar inte heller lägsta rekommenderade tryckhållfasthet på 3 MPa efter frostbeständighetstest. Resultaten visade vidare att det är viktigt att vattenkvoten ligger på eller strax över optimal vattenkvot för att erhålla tillfredsställande frostbeständighet, dvs samma erfarenhet som för Vattenfalls flygaska.

Tabell 3.11 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighetstest beroende på vattenkvot vid packning. ME12+Ce:M3

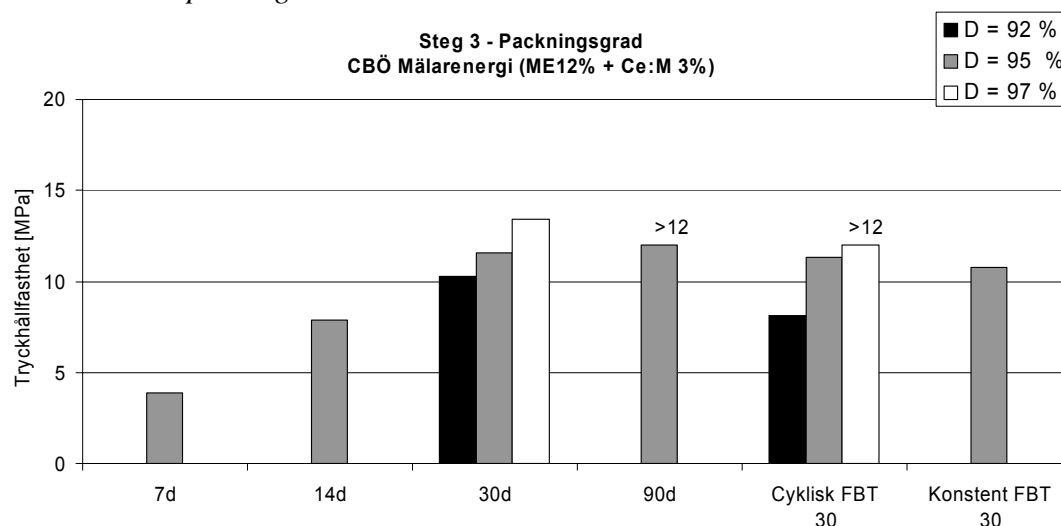
Table 3.11 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on water content and compaction grade. ME12+Ce:M3

Variabler	Tryckhållfasthet, MPa		Bedömning	
	30 d	Cyklisk FBT. 30 d	Minskning	Frostbeständigt
w = 4 %	4,7	2,4	49%	Nej
w = 6,5 %	11,6	11,3	3%	Ja
w = 9 %	8,9	7,7	13%	Ja
D = 92 %	10,3	8,1	21%	ja
D = 95 %	11,6	11,3	3%	ja
D = 97 %	13,4	≥12	< 10%	ja



Figur 3.12 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighets-test beroende på vattenkvot vid packning.

Figure 3.12 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on water content



Figur 3.13 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighets-test beroende på packningsgrad.

Figure 3.13 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on compaction grade

Högre packningsgrad gav högre tryckhållfasthet, Figur 3.13. Proverna visade beständighet mot cykler av F/T. Packningsgrad på ca 95 % eller högre ger tillfredsställande beständighet mot cykler av F/T. Packningsgrad mellan 92 och 97 % gav acceptabel frostbeständighet. Blandningen var lika robust som CBÖ Vattenfall, dvs. blandningen klarade variation i packningsgrad utan att det nämnvärt påverkade frostbeständigheten, se Figur 3.12 och Figur 3.13. Vidare visade resultaten att vid packning bör vattenkvoten inte ligga på den ”torra” sidan om den optimala vattenkvoten.

Applikation CGÖ

Undersökningen med CGÖ (Ce/Me7) visade att optimal vattenkvot (26 %) och packningsgrad på 92 % inte ger tillräcklig beständighet mot tjälpåverkan, Tabell 3.12. Vid optimal vattenkvot och $D = 92\%$ minskade tryckhållfastheten med 38 % efter cyklisk frostbeständighetstest.

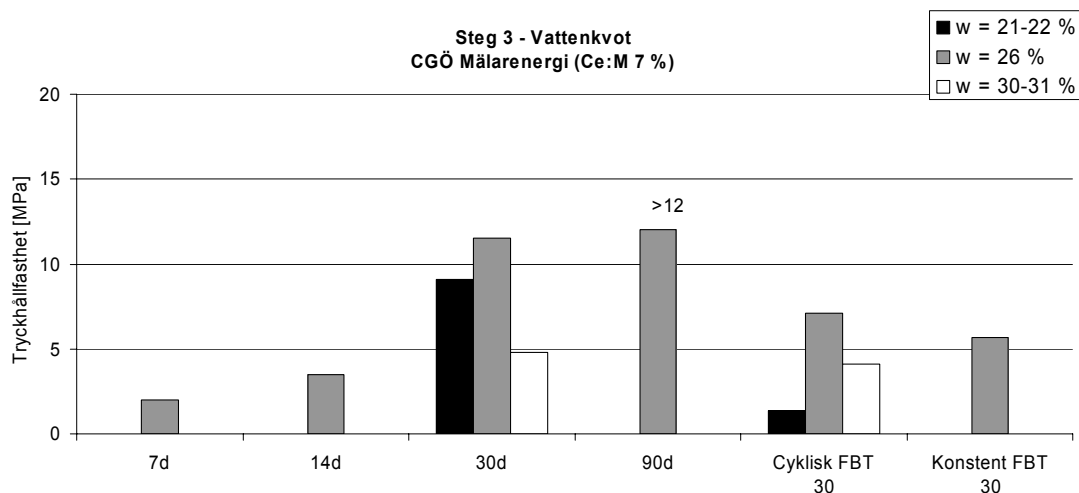
Tabell 3.12 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighetstest beroende på vattenkvot vid packning, CGÖ ME+Ce:Me7

Table 3.12 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on water content. CGÖ ME+Ce:Me7

Variabler	Tryckhållfasthet, MPa		Bedömning	
	30 d	Cyklisk FBT. 30 d	Minskning	Frostbeständigt
w = 21-22 %	9,1	1,4	85%	nej
w = 26 %	11,5	7,1	38%	nej
w = 30-31 %	4,8	4,1	15%	ja
D = 88-89 %	8,3	1,9	77%	nej
D = 92 %	11,5	7,1	38%	nej
D = max 94 %	12,3	9,2	25%	ja

Prov som tillverkades på den ”torra” sidan om den optimala vattenkvoten var inte frostbeständigt. Tryckhållfastheten minskade från 9,1 MPa till 1,4 MPa, Tabell 3.12 och Figur 3.14.

Provet vid optimal vattenkvot (26 %) och med 94 % packningsgrad var frostbeständigt, Tabell 3.12 och Figur 3.15. Packning med $D = 94\%$ och vid vattenkvot på ca 30 % gav tryckhållfasthet som var mindre än hälften (4,8 MPa) av det som erhöles vid $D = 92\%$ och optimal vattenkvot (11,5 MPa). Provet klarade dock frostbeständighetskriteriet, eftersom minskningen var enbart 15 %.

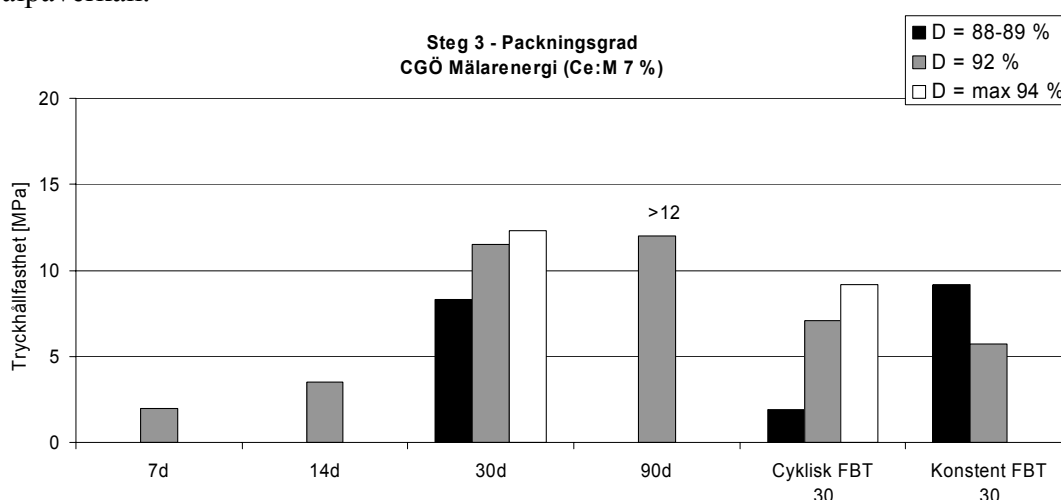


Figur 3.14 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighetstest beroende på vattenkvot vid packning.

Figure 3.14 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on water content

Provet på den ”torra” sidan klarade inte kriteriet för frostbeständighet. Provets tryckhållfasthet efter frostbeständighetstest var 1,4 MPa, en minskning med 85 %. Vid optimal vattenkvot och $D = 94$ tangeras frostbeständighetskriteriet. Tryckhållfastheten minskar från 12,3 MPa till 9,2 MPa, vilket är en minskning med 25 % av tryckhållfastheten, Figur 3.14. Dessa resultat gäller prover som härdade i 30 dagar.

Prov (CGÖ - ME+Ce:Me7) har efter härdning under 90 dagar erhållit tryckhållfasthet > 12 MPa, Figur 3.14. Undersökning i Steg 2 med 0 – 5 % Ce:Me tillsats hade tryckhållfasthetsvärden efter FBT på > 11,5 MPa, se Figur 3.8. Resultaten tyder på att provets frostbeständighet förbättras ju längre tid provet får härda innan det utsätts för tjälpåverkan.



Figur 3.15 Tryckhållfasthetsutveckling och tryckhållfasthet efter frostbeständighetstest beroende på packningsgrad.

Figure 3.15 Strength development and strength after frost susceptibility test, depending on compaction grade

3.4.3 Tjällyftning

Syftet med denna undersökning var att ta fram dimensioneringsunderlag för PMS-objekt. De tre olika blandningar som redovisas i Tabell 3.13 undersöktes med avseende på tjällyftning enligt Vägverket (2001). Materialen packades i en 600 mm hög cylinderformat tub, med optimal vattenkvot och packningsgrad som framgår i Tabell 3.13.

Tabell 3.13 Undersökta applikationer med avseende på tjällyftning

Table 3.13 Investigated applications related to frost expansion

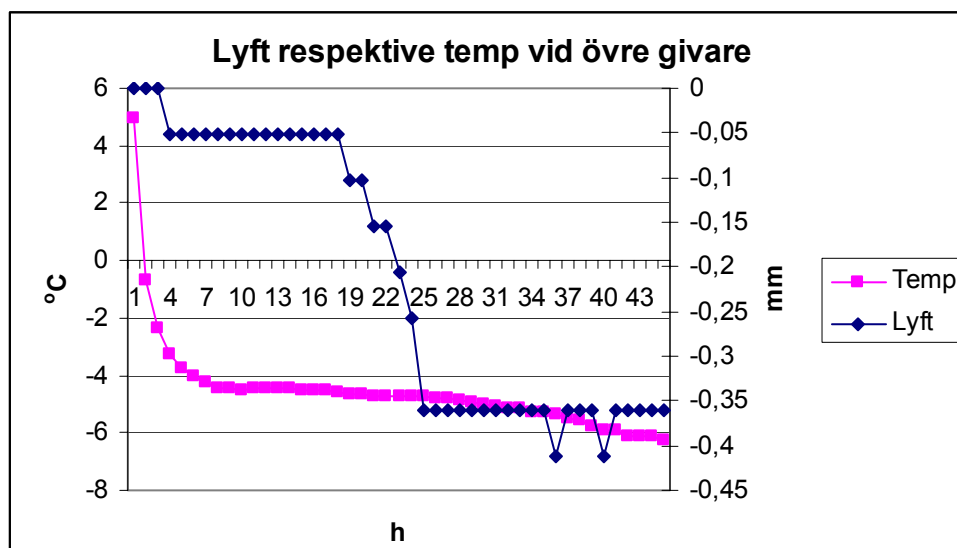
Applikation	Beteckning	Ballast %	Flygaska %	Ce/Me %	Vattenkvo t %	Packningsgrad d %
CBÖ-VU	FA12+Ce/Me2	86	12	2	6,5	100
CBÖ-ME	FA12+Ce/Me3	85	12	3	6,5	88
CGÖ-ME	Ce/Me7	-	93	7	26	86

Undersökningen på prov, med CBÖ bestående av 86 % ballast, 12 % flygaska från Vattenfall, 1 % Cement 1 % och Merit (FA12+Ce/Me2), visade att provet inte var lyftningsbenägen, dvs. ingen lyftning.

Undersökningen på motsvarande prov, med CBÖ bestående av 85 % ballast, 12 % flygaska från Mälarenergi, 1,5% Cement 1,5% och Merit (FA12+Ce/Me3), visade att inte heller detta prov var lyftningsbenägen, dvs. ingen lyftning.

Prov CGÖ, med flygaska från Mälarenergi, bestående av 93 % flygaska, 3,5 % Cement 3,5 % Merit, visade att provet inte var lyftningsbenägen, dvs. ingen lyftning. Provet visade dock negativ lyftning, alltså kompression, vid frysning, Figur 3.16.

Inget av proven visade någon lyftning. Materialen kräver alltså inga särskilda åtgärder med tanke på tjällyftning. Prov CGÖ visar på negativ lyftning, alltså kompression vid frysning, Figur 3.16. Detta beteende kan noteras vid frysning av finkorniga icke lyftningsbenägna jordar, alternativt tyder detta på en dålig initiell packning. Orsaken är en av temperaturen inducerad konsolideringsprocess samt en termisk kontraktion av partiklarna. Storleken av den negativa lyftningen betraktas som obetydlig för de aktuella konstruktionerna.



Figur 3.16 Uppmätt tjällyftning för applikation CGÖ-ME (Mälarenergi)

Figure 3.16 Measured frost heave, application CGÖ-ME (Mälarenergi)

3.4.4 Miljötekniska egenskaper

I Steg 1 undersöktes de ingående materialens totalhalter. I Steg 3 undersöktes lakningsegenskaper hos CBÖ med vattenfalls flygaska och CGÖ med Mälarenergis flygaska. Resultatet från laboratorieanalyser redovisas i Bilaga A (Steg 1) och 3 (Steg 3).

Nedan sker jämförelser i syfte att beskriva storleksordningen av totalhalter och lakningsegenskaper av resultat som erhållits. För miljöbedömningen som sådan hänvisas till Kapitel 9.

Material

Materialens totalhalter jämfördes med Naturvårdsverkets riktlinjer för förorenad mark, Naturvårdsverket 4638 (1997).

En jämförelse mellan totalhalter i flygaskorna från Mälarenergi, Västerås och Vattenfall, Uppsala visade att As, Ba, Cr, Ni och S halterna var högre i mälarenergis flygaska medan halterna av Cd och Zn var högre i Vattenfalls flygaska. Övriga undersökta element hade i storleksordning samma halter, Bilaga A. En jämförelse mot Naturvårdsverkets generella riktvärden, Naturvårdsverket 4638 (1997) visade att halterna ligger på motsvarande nivå eller under riktvärden för mindre känsligt markanvändning.

Ballast undersöktes med avseende på totalhalter och lakbarhet, WSP (2004) och WSP (2004b). Undersökningen visade att samtliga bergprov låg under Naturvårdsverkets gränsvärden för deponier, (NFS 2004:10).

Vägkonstruktion CBÖ och CGÖ (provkroppar/konstruktionsdelar)

Lakning utfördes på 89 % ballast, 8 % flygaska och 3 % tillsats av cement och Merit enligt CEN 14405 metoden. Lakvattnet analyserades för bedömning av olika metallers lakbarhet. Vid kolonnförsöket har vätske-/ fastfasförhållanden (L/S, dvs. liquid solid ratio) 0,1, 0,2, 0,5, 1, 5, 5 och 10 undersökts med avseende på metallinnehåll.

Lakbarheten hos provkroppar med CBÖ och CGÖ jämfördes med mottagningskriterier för inert avfall NFS 2004:10 och finska riktvärden för återanvändning av material, Finska Statsrådet (2006).

Undersökningen visade att CBÖ med Vattenfalls flygaska gav 5 -100 gånger lägre värden än mottagningskriteriet för inert avfall både vid låg L/S-kvot på 0,1 och vid hög L/S-kvot på 10, NFS 2004:10, se Bilaga C. Enligt de finska kriterierna skulle applikationen kunna nyttjas med eller utan asfaltbeläggning utan restriktioner. Blandningsförhållandet som undersöktes i Steg 3 ändrades till 86 % ballast, 12 % flygaska och 2 % cement/Merit. Ändringen bedöms inte påverka applikationens lakningsegenskaper nämnvärt.

En CBÖ-lösning med flygaska från Mälarenergi, med 85 % ballast 12 % flygaska och 3 % tillsatsmedel bedöms ge motsvarande lakningsegenskaper som med Flygaska från Vattenfall.

Lakningsresultat utfört på 98 % flygaska och 2 % tillsats av cement och Merit (CGÖ) visade att vid låg L/S lika med 0,1 låg lakbarheten under det som anges i kriteriet för inert avfall. Vid L/S på 10 låg lakbara halten av Ba och Mo över kriteriet för inert avfall, Bilaga C. Enligt de finska riktvärdena för återvinning kan CGÖ nyttjas med asfaltbeläggning. Den utförda tekniska undersökningen visade dock att tillsatsen av cement och Merit 5000 bör höjas till 7 %. Bedömningen är att lakbarheten av metaller minskar med tillsats av cement och Merit, Mácsik och Thurdin (2003).

4 Dimensionering och miljöbedömning

Detta kapitel beskriver utförd dimensionering och den miljöbedömning som gjorts i projektet.

4.1 Dimensionering med PMS Objekt

Som utgångspunkt för projektet har varit att genomföra en dimensionering med hjälp av Vägverkets beräkningshjälpmedel (PMS-Objekt) och därmed kunna använda resultatet både på allmänna vägar (statliga), kommunala gator och enskilda vägar och gator.

För dimensionering i PMS Objekt krävs information om två processer, dels bärförmåga och dels tjällyftning. Vad gäller bärförmåga så karakteriseras materialen främst med en styvhetsmodul (E-modul) och för tjällyftningen behövs främst information om lyfthastigheten. Den dimensionering som görs här behandlar framförallt bärförmågan hos vägkonstruktionen men hänsyn har även tagits till de tjällyftande processerna.

En konstruktionsdels E-modul är en stark förenkling av bärförmågan. Det omfattar antaganden om att materialet är linjärelastiskt, homogent, isotropt och inte spänningsberoende. Så är tyvärr oftast inte fallet men detta är dagens som man får anpassa sig till för att klassa material enligt Vägverkets normer. E-modulerna som är indata till PMS Objekt skall anges med säsongsvariationer. Detta innebär att man skall koppla det till variation i vatteninnehåll och temperatur. För nya applikationer där det finns få referensobjekt kan förhoppningsvis en korrelation skapas mellan till exempel enaxiella tryckförsök eller triaxialtester och uppmätta värden från fält. Ett ungefärligt intervall för uppskattning av E-modulen kan då skapas även om det inte är helt teoretisk korrekt och kan användas som ett riktvärde.

Samtidigt finns det ingen direkt koppling mellan traditionella laborietester och de E-moduler som finns i normerna och som är indata till PMS Objekt. Det närmsta det går att komma är genom fallviktsundersökningar på färdiga konstruktioner. För nya applikationer där det inte finns någon färdig lösning bör då lämpligen göras "benchmarking" mot andra lösningar för att kunna göra en koppling mellan exempelvis tryckhållfasthetsförsök, triaxialförsök och E-moduler.

4.1.1 Indata - Styvhetsmoduler

För att få fram information om lagermoduler för applikationer liknande de som skall användas i detta projekt har en inventering genomförts. Syftet med studien var att hitta pilotobjekt där antingen en stabilisering av de obundna lagren i en vägöverbyggnad utförts eller där bär- och/eller förstärkningslagret helt utgörs av ett stabiliserat lager. Denna sammanställning redovisas i Bilaga D. Inom ramen för studien söktes även kunskap om fallviktsmätning finns för identifierade projekt. För det stabiliserade materialet har viss del av informationen hämtats från det så kallade SwePave-konceptet, Ekdahl et al. (2004), som tillämpats i flera projekt och där stabilisering ingår.

Sammanfattningsvis konstateras i studien att ett fåtal försök går att finna där flygaska nyttjats med eller utan cement/Merit. Ännu färre är de pilotobjekt som följts upp och

utvärderats med fallvikt. Överhuvudtaget förefaller antalet pilotobjekt där stabilisering utförts på de obundna lagren vara mycket få till antalet i Sverige.

I Uppsalatrakten har ett flertal mindre objekt uppförts i form av skogsvägar, där de obundna lagren, som har en tjocklek av cirka 40 cm, utgörs av flygaska som solitärt material eller flygaska + grus. Resultaten från dessa vägar har enligt uppgift varit goda, men uppföljning saknas i form av fallviktsmätningar. Dokumentation kring vilka objekt som uppförts, och vilka som därefter utvärderats är bristfällig och ofta når inte informationen längre än till den ansvarige för ett specifikt projekt.

Det underlag som finns är således mycket begränsat och det är svårt att dra några slutsatser om styvhetsmoduler även i de fall där fallviktsmätningar finns. I regel saknas en kontinuerlig uppföljning med fallviktsmätning under flera års tid, vilket är nödvändigt för att kunna jämföra resultat. Resultaten från ett fåtal mätningar är starkt beroende av till exempel vattenkvoten i terrassen och således också styvheten i densamma, vilket har betydelse för hela vägkonstruktionens styvhet.

Vid samtliga försök har sällan information om lagermoduler (E-modul hos en konstruktionsdel, t ex ett stabiliserat bärlager) påträffats som kan ge vägledning om det aktuella materialets E-modul. Åsikter av subjektiv karaktär har dominerat i inventeringen. Utöver den input som utgjorts av finska erfarenheter har bl a följande kommentarer erhållits under inventeringen från svenska aktörer.

- Vid beräkningar i PMS Objekt bedöms CG-stabilisering ge ett bundet lager vars E-modul motsvarar hälften av den i laboratorium uppmätta Asp T., (2007).
- Pettersson Ö., (2007) ansåg att dimensionering med MS Objekt skulle bli mycket osäker även om E-moduler för flygaska återfanns för vissa pilotobjekt.
- Cement + Flygaska från Mälarenergi har vid laboratorietester från fältobjekt visat sig ha en E-modul omkring 4 GPa. Tiden kan ha betydelse för E-modulen på grund av att de puzzolana reaktionsprodukterna ökar med tiden. Persson P-E., (2007).
- Ett alternativ till PMS Objekt, Väg 5, utvecklas av Vägverket. Detta program ska vara mer öppet för stabiliserade material Huvstig A.,(2007).
- Ett cementbundet bärlager innehåller normalt en tryckhållfasthet av 12-15 MPa, Jansson S., (2007).

4.1.2 Val av styvhet och uppbyggnad för att undvika reflektionssprickor i slitlager av asfalt

För stabiliserade applikationer som skall ligga direkt under en asfalt är det av vikt att materialet inte blir för styvt eftersom detta kan leda till temperatur- och rörelseinducerade sprickor, jämför t ex Ringvägen Malmö. För att undvika dylika reflexionssprickor i slitlager av asfalt bör maximal enaxlig tryckhållfasthet begränsas till ca 2 MPa, se t ex Ekdahl (2004).

För att ytterligare minimera risken för reflektionssprickor används ofta också en polymermodifierad asfalt. Eventuellt kan man även använda sig av ett obundet bärlager som ”friktionslager” mellan det stabiliserade materialet och asfalten. Detta lager kan i så fall ta upp de rörelser som eventuellt uppstår.

De svenska erfarenheterna baseras främst på stabilisering med cement/kalk som bindemedel och med ledning av dessa förefaller det som naturligt att tillämpa ett ”rullager” då tryckhållfastheten för de aktuella applikationerna är betydligt större än 2 MPa och att kravet på frostbeständighet indirekt också kommer att ge tryckhållfastheter högre än dessa 2 MPa. Å andra sidan visar finska erfarenheter, Lahtinen (2007), att konstruktioner där också flygaska använts som bindemedel inte gett upphov till reflexionssprickor i asfaltbeläggningar. I detta projekt kommer vi därför att förorda den konservativa lösningen, dvs ett obundet lager mellan det stabiliserade lagret och beläggningen. I pilotskala rekommenderas dock att jämförelser göras mellan dessa två typlösningar, med eller utan ett ”rullager”.

4.2 Trafikförutsättningar

Grundläggande trafikdata i Tabell 4.1 har använts i dimensioneringarna. Trafikdata för Lv 256 har hämtats från projekteringsunderlag WSP (2007). Trots att dessa trafiksiffror använts har vi i detta projekt inte fullständigt kunnat återskapa de typsektioner (ÖB-konstruktioner) som har angivits. Skillnaden i konstruktionerna ligger i att det angivits ett något tunnare asfaltlitlager (-5 mm), ett tjockare AG-lager (+20 mm) och ett något tjockare förstärkningslager (+5 mm) för referenskonstruktionen gentemot de beräkningarna som gjorts i detta projekt.

För den enskilda vägen har trafiksiffror inte funnits tillgängliga. Istället har trafikbelastningen itererats fram med utgångspunkt att på ett rimligt sätt ”matcha” de typsektioner (500 mm) som angivits i Projekt Väg 56/70 förbi Sala.

Tabell 4.1 Grundläggande indata till PMS Objekt

Tabel 4.1 Basic data used for PMS Object

	Lv 256	Enskild väg
Klimatzon	2	2
Ref.hastighet	70	50
Län	Västmanland	Västmanland
ÅDTk	1700	100
Trafikförändring/år	1.5	1
Andel tunga fordon (%)	5	5
Std.axlar/tungt fordon	1.3	1,3
Beräknat antal std.axlar	946 625	52 763

4.3 CBÖ å Lv 256

Vid inblandning av olika stabiliserande bindemedel i överbyggnadsmaterial nämns ibland 200 mm som en lämplig tjocklek (exempel från väg 111, förbifart Viken i Skåne utförd av PEAB). I exemplet från väg 111 användes inblandning med cement/merit (80/20) där man dimensionerat en enaxiell tryckhållfasthet efter 28 dagar på 2 MPa 200C härdning. Grusmaterialet var av fraktionen 0-40 mm. Detta motsvarar uppskattat en E-modul (för beräkning i PMS Objekt) som motsvarar ca 2300 MPa. Detta är avsevärt högre än normala värden för ett obundet bärlager (450 MPa) men samtidigt betydligt lägre än de värden som tillämpas för det närmsta material (cementbundet bärlager). För ett sådant material används styvhetsmodulen (E-modul) 17 GPa oavsett klimatperiod och klimatzon enligt C4.9.3 i ATB Väg 2005. Dimensionerande tryckhållfasthet för att undvika risken för utmattningsbrott var 1 MPa.

Vägen avses få en stabilisering via en inblandning av bindemedel (flygaska, cement och Merit). Inblandningen görs i en ballast av krossgrus. Terrassförhållandena varierar längs sträckan. Materialtyp 4a har använts i beräkningarna trots att det bitvis är bättre förhållanden.

De konstruktioner som fås med PMS Objekt blir då nedanstående. Beräkning har gjorts med två olika materialstyvheter för det stabiliserade lagret eftersom inga direkt tydliga erfarenheter finns för denna typ av materiallager. Beräkningarna redovisas i Bilaga K. Noteras bör att beräkning med 1300 MPa är endast avsett som jämförelse. 2300 MPa betraktas som det realistiska alternativet. De utförda beräkningarna redovisas i Tabell 4.2 och jämförs där med den typsektion (Referens GBÖ) som föreslagits i Vägverkets projekt Förbifart Sala. Av Tabell 4.2 framgår att CBÖ (2300 MPa) ger en betydligt starkare konstruktion än vad som nås på referensvägen. För att vara något konservativ i bedömningen har som jämförelse ett alternativ med 1300 MPa använts som exempel. Även denna design visar på en betydligt ökad hållfast för att motstå den aktuella trafiklasten.

Tabell 4.2 Beräknande överbyggnadskonstruktioner (värden inom parentes från typsektioner för den aktuella vägsträckan)

Table 4.2 Calculated superstructure (values in parentheses are from reference road)

Konstruktion/Lager	1. Referens GBÖ	2. CBÖ 2300 MPa	3. CBÖ 1300 MPa	4. CBÖ 2300 utan bärlager
Slitlager	40 (35)	40	40	40
Bundet bärlager	40 (60)	40	40	40
Obundet bärlager	80	80	80	
Stabiliserat bärlager		250	250	250
Förstärkningslager	420 (425)			

Konstruktion 2 med CBÖ 2300 MPa och obundet bärlager (40, 40, 80, 250 mm) är det rekommenderade alternativet.

Undersökning av tjällyftning, Kapitel 3, resulterade att applikationen CBÖ inte gav någon tjällyftning. En normal GBÖ, dvs referensen, har ett tillåtet tjällyft på ca 120 mm.

Vid beräkningarna har projektet dock utgått från ett cementstabiliserat bärlager som mall. En sådan konstruktion har ett maximalt tillåtet tjällyft på ca 55 mm. Efter diskussion med Vägverket och deras Winnerholt (2007), är det rimligt att använda sig av samma tillåtna tjällyft för aktuell konstruktion som för en GBÖ (d v s 120 mm). Applikationerna i projektet har dimensionerats med ett maximalt tjällyft på 85 mm. Därmed är konstruktionen konservativt dimensionerad och erhåller en extra säkerhetsmarginal med avseende på tjällyftning. Med ledning av applikationens värmeledningsegenskaper bedöms den inte ge upphov till åtgärder för uppfylla krav på frosthalka, se även Kapitel 3.1.1.

4.3.1 Drift- och underhållsaspekter

Både referensalternativet (1) och CBÖ alternativet (2) har en teknisk livslängd på minst 20 år avseende asfaltutmattning och minst 40 år på terrassen. I en verklig situation behövs dock underhållsintervall som också styrs av skador i asfalten som t ex:

- dubbdäcksslitage
- åldring av bindemedlet
- stensläpp
- potthål
- spårbildning
- krympsprickor

Spårbildning utgörs av beläggningsslitage och permanent deformation (både i gruslager och i asfalten). Slitageberäkningen i PMS Objekt visar på ett litet beläggningsslitage på LV 256 (ca 4 mm över 20 år) för alla alternativen. Till detta skall läggas ett initialspår på maximalt 3 mm. Permanent deformation beräknas inte i PMS Objekt och förorsakas av efterpackning och plastisk deformation i asfalt och obundna lager. Konstruktioner med stabiliserade lager har mindre permanent deformation en ”Referens GBÖ” eftersom det stabiliserade lagret förhindrar permanent deformation av förstärkningslager och terrass. Den funktionella livslängden hos slitlagret i ”CBÖ 2300 MPa” är, pga. den ringa spårbildningen, ca 20 år. Den funktionella livslängden av slitlagret i ”Referens GBÖ” är mellan 15 och 20 år och beror främst på packning i de obundna lagren.

Framtida underhållskostnader skiljer för ”Referens GBÖ” och ”CBÖ 2300MPa” ”Referens GBÖ” behöver troligtvis ett nytt slitlager efter 15 och 20 år. Detta innebär att slitlagret behövs bytas en eller två gånger under 40 år. Om slitlagret behövs bytas endast en gång, behövs också extra förstärkning för att få tillräcklig teknisk livslängd. ”CBÖ 2300MPa” behöver ett nytt slitlager efter 20 år. Ingen extra förstärkning behövs för att få tillräcklig livslängd. I Tabell 4.3 sker en sammanställning av dessa åtgärder. Ovanstående underhållsacykler är en estimering av nödvändigt underhåll och är framtagna för att få en rimlig bedömning som underlag för kostnadsbedömningar i Kapitel 5.

Tabell 4.3 Jämförelse av drift och underhållsåtgärder mellan referens GBÖ och överbyggnaden med stabiliserat bärlager, CBÖ 2300 MPa

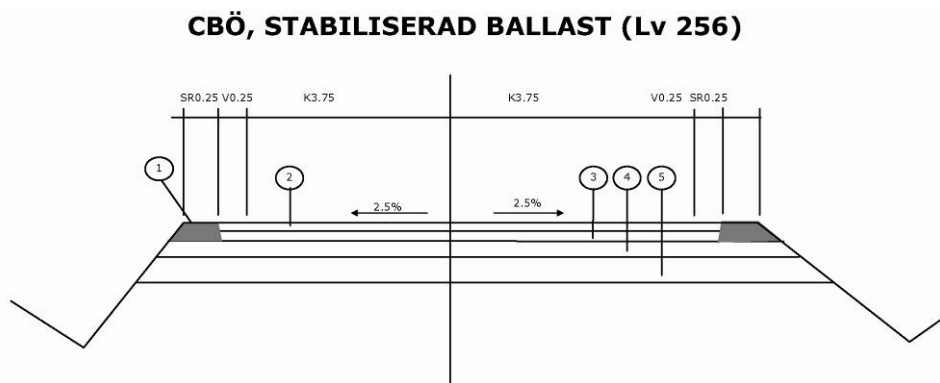
Table 4.3 Comparison of operation and maintenance between the reference GBÖ and the stabilized superstructure CBÖ 2300 MPa

År	Referens GBÖ		CBÖ 2300MPa	
15	Tunnskikt	(+20mm)		
20			fräsning (-40mm) AG (+40mm) Tunnskikt (+20mm)	Tunnskikt (+20mm)
30	Fräsning ABS	(-40mm) (+40mm)		

Ovanstående underhållscyklar är en estimering av nödvändigt underhåll och är främst uppbyggd för att få en rimlig bedömning som underlag för LCC beräkningen i Kapitel 10.

4.3.2 Typsektion och mängder

Typsektion och materialbehov för konstruktionsdelen framgår nedan av Figur 4.1 respektive Tabell 4.4. Utpetsning utförs enligt ATB Väg.



BENÄMNING	POS	MM	MATERIAL
STÖDREMSA	1	160	ENLIGT 100T0403
SLITLAGER	2	40	ABT16 160/220 KULKVARN SVÄRDE <9
BUNDET BÄRLAGER	3	40	AG22 160/220 KULKVARN SVÄRDE <14
OSTAB. BÄRLAGER	4	80	ENLIGT 100T0403
STAB. BALLAST	5	250	BALLAST OCH BINDEMEDEL

ÖVRIGT: EROSIONSSKYDD, MATERIALSKILJANDE LAGER ENLIGT 100T0407

Figur 4.1 Princip, typsektion på provsträcka Lv 256.

Figure 4.1 Principle section of Lv 256.

Tabell 4.5 Materialåtgång, CBÖ, med vägbredd på 8 m. Bindemedlet består av flygaska med lika delar cement och Merit 5000

Table 4.5 Use of material ,CBÖ, for road width 8 m. Binder consists of fly ash and equal amounts of cement and Merit 5000

Lager- tjocklek m	Torrdensitet kg/kbm	Ballast, ton/100m [85 %]	Flygaska, ton/1000 [12 %]	Cement/Merit 5000 ton/100m [3 %]	summa bindemedel ton/100m	summa bindemedel ton/880m
0,15	2150	219	31	4	39	341
0,25	2150	366	52	6	65	568
0,35	2150	512	72	9	90	795

4.4 CGÖ - Enskild väg

En inventering av utförda provsträckor har genomförts i projektet. Baserat på försök vid Uppsala kan uppskattas att flygaska som solitärt material inte ger någon märkbar hållfastökning jämfört med ett ordinärt och väl packat bärlager. Detta leder till en E-modul på ca 450 MPa. Tidigare erfarenheter visar på att man även bör tillsätta cement/Merit för att klara kraven på frostbeständighet. En sådan materialtillsättning ger också en betydligt styvare konstruktion. I det föreliggande projektet har betydande hållfasthet uppmäts där cement och merit tillsats flygaskan och som underlag för dimensionering har en E-modul på 4 000 MPa antagits.

Om man använder sig av grus som slitlager får man nedanstående beräknade konstruktioner, se Tabell 4.6. Trafikdata är dock något osäker för grusvägen (se Kapitel 3). Beräkningar redovisas i Bilaga L.

Tabell 4.6 Beräknande överbyggnadskonstruktioner för enskild väg

Table 4.6 Calculated superstructure for private road

Lager	Referens GÖ	CGÖ-4000	CGÖ-Opt*
Grusslitlager	50	80	80
Aska/cement/Merit	-	200	250
Bärlager	100	-	-
Förstärkningslager	350	-	-
Skyddslager	-	-	-

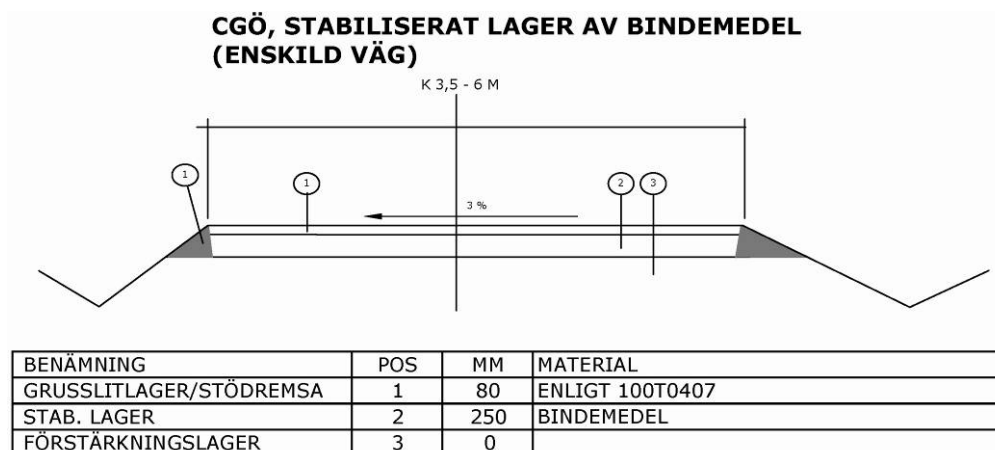
*Av utförandeskäl rekommenderas att lagret utförs med 250 mm tjocklek.

Rekommenderad överbyggnadskonstruktion för provsträckan är CGÖ-Opt.

Drift- och underhållsaspekter relaterat till den enskilda vägen beskrivs i Kapitel 6.

4.4.1 Typsektion och mängder

Typsektion och materialbehov för konstruktionsdelen framgår nedan av Figur 4.2 respektive Tabell 4.7. Utpetsning utförs enligt ATB Väg.



ÖVRIGT: EROSIONSSKYDD, MATERIALSKILJANDE LAGER ENLIGT 100T0407

Figur 4.2 Princip, typsektion å provsträcka Enskild väg.

Figure 4.2 Principle section for private road, "Enskild väg".

Tabell 4.7 Materialåtgång, CGÖ, med vägbredd på 3,5 m. Bindemedlet består av flygaska med lika delar cement och Merit 5000

Table 4.7 Use of material, CGÖ, road width 3.5 m. Binder consisting fly ash and equal amounts of cement and Merit 5000

Lager- tjocklek, m	Torr densitet, kg/m ³	Ballast, ton/100m [0 %]	Flygaska, ton/100m [93 %]	Cement/Merit, ton/100m [7 %]	Summa binde-medel, ton/100m	Summa bindemedel, ton/600m
0,15	1450	0	71	6	76	457
0,25	1450	0	118	8	127	761

4.5 Miljöbedömning

Miljöbedömningar kan utföras på olika nivåer, exempelvis materialnivå, platspecifik nivå, miljösystemanalys nivå (LCA). Bedömning på materialnivå bedöms ge svar på om materialet är lämpligt att gå vidare med till nästa bedömningsnivå eller inte. I den platspecifika nivån bedöms emissionerna från en specifik applikation och omgivning under och efter applikationens brukstid. På miljösystemnivå görs en avvägning av resurs- och hushållningsaspekter för aktuell applikation.

4.5.1 Platsspecifik bedömning av föroreningsrisk

Nedan redogörs en platsspecifik bedömning av CBÖ med flygaska från Mälarenergi/Vattenfall på länsväg 256 (0/870 – 1/750) och av CGÖ med flygaska från Mälarenergi på en enskild väg (grusväg) parallellt riksväg 70, 1/200 – 1/800.

Allmänt

Inom ramen för projektet ingick att utföra en platsspecifik bedömning av föroreningsrisk. Denna bedömning utförs med stöd av Bendz et al. (2006) och Vägverket (2007). Underlaget för bedömningen utgörs av materialens totalinnehåll, konstruktionsdelarnas lakningsegenskaper av ämnen, vägkonstruktionens utformning och omgivningsförutsättningarna relaterat till de valda provsträckorna.

Miljöriktlinjer för askanvändning bedöms baserat på totalhalter och lakningsegenskaper hos flygaskor från bio- och kolbränsle utfördes av Bendz et al. (2006). Miljöriktlinjerna indikerar att de flesta askorna kan komma till användning i anläggningskonstruktioner utan att innebära mer än ringa risk för de generella scenarier som beräkningarna baserades på.

Avstämning av miljöriktlinjerna görs baserat på vägledning för alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad Vägverket (2007). Information avseende provsträckorna inhämtades från Vägverkets projekteringsunderlag, Arbetsplan för väg 67 och 70 vid Sala, MKB 1995, Naturvårdsverkets kartverktyg ”Skyddad natur”, Naturvårdsverket (2007) och SGU:s ”Brunnsarkiv”, SGU (2007). Den platsspecifika bedömningen utfördes enligt Vägverket (2007), som värderar emissioner:

- från en konstruktion och i den ingående material, dvs. användningen
- till den omgivning där konstruktionen är lokaliserad
- under tiden då konstruktionen används

Bedömningen avser emissioner till mark, vatten och luft genom transport i löst fas (vatten), fast fas (t ex damning) och dess påverkan på människors hälsa och miljö under användning och efter avveckling.

Bindemedlet i denna studie utgjordes av flygaska med tillsats av cement och Merit. Undersökningen visar att tillsatsen av cement och Merit bidrar bl.a. till förbättrade hållfasthetsegenskaper och frostbeständighet. Två konstruktionsdelar undersöktes baserade på flygaska:

- ballast stabiliserad med flygaska, cement och Merit (jmf CBÖ)
- flygaska med tillsats av cement och Merit (jmf CGÖ).

Utförda lakningsförsök

Lakningsförsöken, som gjordes i Steg 2, utfördes på två blandningar, CBÖ och CGÖ, se ovan.

I fallet med CGÖ utfördes lakningen på en blandning bestående av 98 % TS flygaska med tillsats av 2 % TS cement/merit, Bilaga C2. I steg 3 höjdes dock tillsatsmängden cement/merit till 7 % TS för att klara frostbeständigheten hos konstruktionsdelen. En höjning av bindemedelsmängden medför att lakningen från materialet bedöms minska, dvs. miljömässigt är det en fördel att nyttja mer bindemedel.

I fallet med CBÖ utfördes lakningen på en blandning bestående av 89 % TS ballast, 8 % TS flygaska och 3 % TS cement/merit, Bilaga C2. I steg 3 ändrades tillsatsmängden från 8 % TS till 12 % TS flygaska och från 3 % TS till 2 % TS cement/merit. Syftet var att klara frostbeständigheten hos konstruktionsdelen. Det ändrade receptinnehållet bedöms påverka konstruktionsdelens lakningsegenskaper enbart marginellt.

Nedan redogörs en platspecifik bedömning av CBÖ med flygaska från Mälarenergi/Vattenfall på länsväg 256 (0/870 – 1/750) och av CGÖ med flygaska från Mälarenergi på en enskild väg (grusväg) parallellt riksväg 70, 1/200 – 1/800.

CBÖ

Lakningsundersökning på konstruktionsdelen visar att lakbarheten av metaller är låg, Bilaga C2. Främsta orsaken är att cement och Merit minskar lakbarheten:

- genom hydratiserings och puzzolana reaktioner,
- genom att ballastmaterial utgör ca 85 % av TS innehållet
- genom att provet packas vid optimal vattenkvot.

Dessa parametrar är därmed också viktiga vid fältkontroll. En motsvarande konstruktion på riksväg 90 väster om Sollefteå visar att konstruktionsdelens permeabilitet är låg, Mácsik och Thurdin (2003) och att utlakningen av ämnen är begränsad Thurdin (2004).

Försökssträckan ligger på länsväg 256 (0/870 – 1/750) söder om Sala, mellan Lilla och Stora Stampers, se Bilaga F. Den nya sträckningen ligger ca 200 m norr om den befintliga länsväg 256. Enligt MKB (1995) är det ett bälte av skog som kommer att skilja av den nya sträckningen från bebyggelsen. Inga skyddade områden förekommer längs vägsträckningen enligt Naturvårdsverkets kartverktyg Skyddad natur. Enligt brunnsarkivet, SGU (2007), finns det enbart 3 brunnar uppströms sträckan, ca 200 m söder om den nya sträckningen.

Damningsrisken minimeras genom att bindemedlet befuktas, vilket är även nödvändigt ur teknisk synpunkt. Blandningsförhållandet bedöms bli mellan 14 – 20 % (procent av torrsvikt) bindemedel och 80 – 86 % ballastmaterial.

Transport av ämnen från konstruktionen sker i huvudsak med vatten. Mängden vatten som passerar konstruktionen begränsas av asfaltlager. Vägdiken minimerar risken för infiltration av yt- och grundvatten. Inga vattendrag korsar sträckorna.

En samlad bedömning av konstruktionsdelen CBÖ är att flygaska-, cement- och Meritstabiliserat ballastmaterial i den nu aktuella konstruktionen och i den aktuella omgivningen är mindre än ringa föroreningsrisk.

CGÖ

Lakningsundersökning på konstruktionsdelen visar att lakbarheten av metaller är generellt låg, Bilaga C2 . En jämförelse med kriteriet för inert avfall visar att lakbarheten av molybden från CGÖ-prov tangerar detta. Främsta orsaken till den begränsade lakbarheten är att cement och Merit minskar lakbarheten:

- genom hydratiserings- och puzzolana reaktioner,
- genom att provet packas vid optimal vattenkvot.

Dessa parametrar är därmed också viktiga vid fältkontroll i fält. Resultat från fältuppföljning av en grusväg, stabiliserat med flygaska från Stora Enso Fors bruk visar att transport av tungmetaller från konstruktionen via yt- och grundvatten är begränsad. Transporten av tungmetaller från naturmaterial ligger i samma storleksordning som från en konstruktion med flygaska, Mácsik 2006. Lätt lakbara ämnen som Na, K, sulfater etc. styrs av mängden vatten. Vattenomsättningen begränsas genom packning som ger en täthet motsvarande < 25 mm/år, vilket begränsar utlakning av bl.a. Na, K och sulfater.

För att undvika damning på plats levereras bindemedlet ”jordfuktigt” tillstånd (med vattenhalt på ca 20 %).

Transport av ämnen från konstruktionen sker i huvudsak med vatten. Nederbördsvatten som passerar konstruktionen begränsas av CGÖ-konstruktionens täthet. Vägdiken minimerar risken för infiltration av yt- och grundvatten.

Den samlade bedömningen av konstruktionsdelen CGÖ i den aktuella omgivningen är att den utgör mindre än ringa föroreningsrisk.

4.5.2 Resurs- och hushållningsaspekter

En detaljerad avvägning av resurs- och hushållningsaspekter för de aktuella applikationerna har inte ingått i uppdraget för projektets genomförande. Däremot görs en avvägning baserat på Kärman et al. (2004) och Kärman et al. (2006) som underlag för en ”kvalitativ” bedömning och upprättande av anmälan. Undersökningen Kärman et al. (2006) visade att nyttiggörande av flygaskor i grusvägar är fördelaktigt ur utlakningssynpunkt jämfört med andra applikationer och deponering. Resurs- och hushållningsaspekter varierar beroende på objektspecifika faktorer såsom t ex transportavstånd.

5 Kalkylunderlag

Som underlag för Vägverkets projekt Väg 56/70 förbi Sala upprättades ett kalkylunderlag. Det skall tjäna som underlag för deras bedömning av kostnader för utförande av provsträckorna och beslut om genomförande. Kalkylunderlaget består av en arbetsbeskrivning, anmälan samt ett kontrollprogram.

5.1 Arbetsbeskrivning

Arbetsbeskrivningen, se Bilaga E har upprättats baserat på erfarenheter av utförande av liknande projekt i Sverige och Finland.

5.2 Anmälan

Inför nyttiggörande av applikationerna överenskomms med Vägverkets projekt att upprätta ett förslag till anmälan. Utformningen av anmälan baserades på Vägverket (2007) och redovisas i Bilaga F och G. Detta förslag på anmälan utgör underlag för Vägverkets anmälan som planeras tillställas det kommunala miljökontoret.

5.3 Kontrollprogram

För att kontrollera/verifiera applikationernas funktion i konstruktionen bör kontroll utföras i fält av både tekniska och miljömässiga aspekter. Därför upprättas ett kontrollprogram med syftet att verifiera olika funktionella egenskaper i samband med utförande och användning av applikationer samt utgöra ett kalkylunderlag.

För denna kontroll upprättades program för respektive applikation baserat på ATB Väg, Kapitel G3 med avseende på tekniska egenskaper. Miljöeffekter föreslås kontrolleras i miljöprogrammet genom analys av jord-, ytvatten- och grundvattenprover före och efter utförandet av provsträckor. Dessutom rekommenderas att olika referensprover före vägkonstruktionen byggs. Kontrollprogrammen redovisas i Bilaga H och I.

6 Ekonomisk potential

Syftet med den ekonomiska analysen av de båda applikationerna CBÖ (Lv 256) respektive CGÖ (Enskild väg) är att bedöma den ekonomiska potentialen i ett livscykelkostnadsperspektiv. Detta perspektiv ger en möjlighet att bedöma kostnader i ett vidare sammanhang och förutom investeringskostnader också bedöma drift- och underhållskostnader.

Inledningsvis genomfördes en inventering av olika verktyg för beräkning av livscykelkostnad för vägprojekt, Tabell 6.1. Av de inventerade metoderna valdes att utgå från MNV-metoden som utarbetats av Vägverket, VV Publ. 1991:053. Metoden valdes eftersom den kan anpassas och begränsas till frågeställningarna och tillgänglig data i de aktuella vägprojekten inom ramen för projektet. Metoden är lämplig för att jämföra olika alternativ för ett specifikt investeringsprojekt. I MNV-metoden summeras och redovisas investeringskostnaden och framtida drift- och underhållskostnader omräknade till nuvärde per kvadratmeter väg.

Tabell 6.1 Inventerade metoder inför val av LCC-modell och tillhörande aspekter

Table 6.1 Methods for selection of LCC-model and included aspects

Modell	Aspekter							
	Investeringskostnad	DoU-kostnad	Restvärde	Nuvärdeskostnad	Årskostnad	Samhällskostnad	Yttre miljö (trafik)	Arbetsmiljöökostnader
2Ö ⁽¹⁾	Ne j	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ne j	Ne j
MNV ⁽²⁾	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Olofsson ⁽³⁾	Ja	Ne	Ne	Ne	Ja	Ne	Ne	Ne
Lönsamhetskalkyl ⁽⁴⁾	Ja	Ja	?	?	Ja	Ja	Ne j	Ne j
Lönsamhetskalkyl DoU ⁽⁵⁾	Ne j	Ja	Ne	Ne	Ja	Ne	Ne	Ne

(1) VV Publ. 1997:126, (2) VV Publ. 1991:053, (3) Ullberg (2007), (4) Holmvik och Wallin (2007), (5) Holmvik och Wallin (2007)

6.1 Gemensamma förutsättningar

De konstruktioner som ingått i analysen är de optimerade stabiliserade överbyggnaderna CBÖ (rekommenderad konstruktion), CBÖ-alt (CBÖ utan obundet bärlager) och CGÖ och referenskonstruktionerna å Lv 256 respektive enskilda väg. Analysen har avgränsats till att omfatta investeringskostnaden och den uppskattade drift och underhållskostnaden för de båda objekten. De framtida drift- och underhållskostnaderna har räknats om till nuvärde med 4 % kalkylränta, Vägverket (1997) och SIKA (2005).

En högre kalkylränta skulle leda till att det blir ett lägre nuvärde på en framtida investering.

Som utgångspunkt för analysen används projekteringsunderlaget avseende typkonstruktioner. Som referensalternativ används de överbyggnader som föreslagits i Vägverkets projekt och som också de är baserade på en dimensionering enligt ATB Väg. Gemensamma förutsättningar för jämförelse med MNV metoden mellan det stabiliserade alternativet och 0-alternativet framgår av Tabell 6.2.

Tabell 6.2 Gemensamma förutsättningar vid jämförelse av LCC-kostnader

Table 6.2 Basic data for comparing LCC-costs

Vägdata	Trafikdata
Längd	ÅDT _{tot}
Bredd	Trafikmix
Hastigheter	Trafikutveckling
Livslängd	Trafikens fördelning
Ränta	

I LCC-analysen har underhållsstrategiernas påverkan på trafikanterna grovt uppskattats för applikationen CBÖ. För den enskilda vägen med grusslitlager har denna kostnad inte studerats eftersom representativa indata för trafikantkostnader saknas.

Generellt sett så ökar trafikantkostnaderna då underhållsåtgärderna utförs genom begränsad framkomlighet och ökad olycksrisk. Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är få underhållstillfällen som också genomförs under kort tid eftersträvansvärt, Vägverket (1997).

6.2 CBÖ å Lv 256

6.2.1 Vägkonstruktioner

Uppbyggnaden av de jämförda konstruktionerna presenteras i Tabell 6.3. De båda konstruktionerna är dimensionerade med PMS Objekt, se Kapitel 4.

Tabell 6.3 Uppbyggnad av referenskonstruktionen å Lv 256 (Referens GBÖ) och den stabiliserade konstruktionen (CBÖ, CBÖ-alt)

Table 6.3 Construction of superstructure of Lv 256 (reference GBÖ) and the stabilized construction (CBÖ, CBÖ-alt)

Lager (konstruktionsdelar)	Referens GBÖ [mm]	CBÖ [mm]	CBÖ-alt [mm]
Slitlager	40	40	40
Bundet bärlager	40	40	40
Obundet bärlager	80	80	-
Stabiliserat lager	-	250	250
Förstärkningslager	420	-	-

6.2.2 Livslängd

Livslängden för konstruktionerna har också beräknats med hjälp av PMS-Objekt. I Tabell 6.4 redovisas resultaten säkerhetsfaktorer relativt det dimensionerande antalet standardaxlar enligt ATB VÄG. Intervallet i säkerhetsfaktor för CBÖ baseras på antaganden om låg uppnådd eller hög uppnådd styvhetsmodul.

Tabell 6.4 Säkerhetsfaktor vid dimensionering med PMS-objekt baserat på dimensionerande antal standardaxlar

Table 6.4 Safety factors used in calculations with PMS-objekt

Lager	Dimensioneringstid	Referens GBÖ	CBÖ och CBÖ-alt
Slitlager	20 år	1,0	3,5-7,5
Terrass	40 år	1,9	8,5-13,5

Det framtida underhållsbehovet under en 40-årsperiod är uppskattat i avsnittet "Dimensionering", Kapitel 9 och framgår av Tabell 4.3.

6.2.3 Ekonomiska parametrar

Anläggnings- och drift- och underhållskostnaderna är normaliserade per kvadratmeter väg. I Tabell 6.5 redovisas använda kostnadsuppskattningar som ingår i LCC-modellen. Kostnaderna för respektive lager omfattar material och produktionskostnader för vägen. För alla konventionella lager har prisuppgifter från aktuellt vägprojekt använts. I kostnaderna för det stabiliserade lagret har materialkostnad inkluderats för ballastmaterial, cement och merit, blandningskostnad, 50 km transport av färdigt material och utläggning i konstruktionen. Flygaskorna har förutsatts tillhandahållas fritt utlastningsplatsen, dvs vid förbränningsanläggningen.

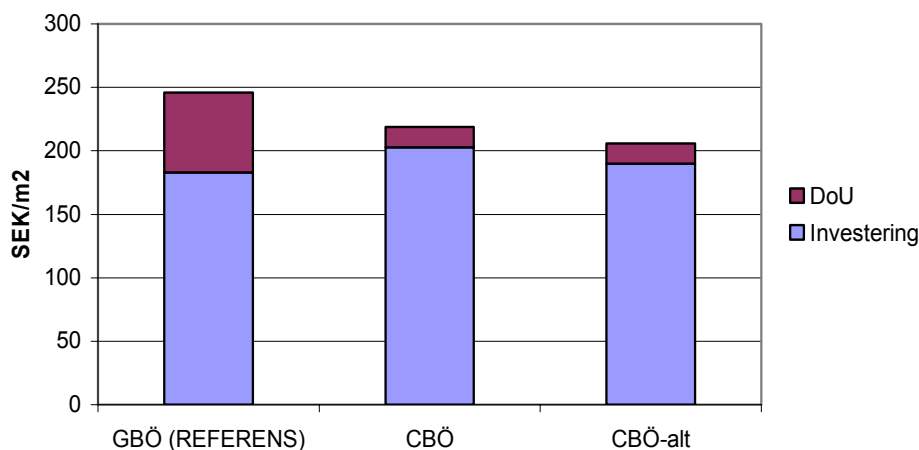
Tabell 6.5 Antagna kostnader LCC-analysen, kr

Table 6.5 Assumed costs for LCC-analysis, SEK

Lager	Referens GBÖ [SEK/m ²]	CBÖ [SEK/m ²]	CBÖ-alt [SEK/m ²]
<i>Överbyggnad</i>			
Slitlager	70	70	70
Bundet bärlager	65	65	65
Obundet bärlager	13	13	-
Stabiliserat lager	-	55	55
Förstärkningslager	35	-	-
<i>Underhållsåtgärder</i>			
Tunnskikt +20 mm	35	35	35
Fräsning, AG +40 mm, tunnskikt +20 mm	124	-	-
Fräsning, ABS + 40 mm	89	-	-

6.2.4 Resultat

Beräkningar enligt den sk MNV-metoden framgår av Bilaga J . Resultatet av LCC-analysen visas i Figur 6.1. Investeringskostnaden för CBÖ (203 SEK/m²) är högre jämfört med den konventionella överbyggnaden, referens GBÖ (183 SEK/m²), dvs ca 10% högre kostnad. Investeringskostnaden för CBÖ-alt är 190 SEK/m². Inkluderas driftskostnaderna i analysen blir resultatet omvänt och nuvärdeskostnaden blir lägre för det stabiliserade alternativet, ca 27 SEK/m² lägre för CBÖ respektive 40 SEK/m² för CBÖ-alt, billigare jämfört med det konventionella alternativet på referenssträckan eller ca 24-28 % lägre kostnad över den aktuella 40 års perioden.

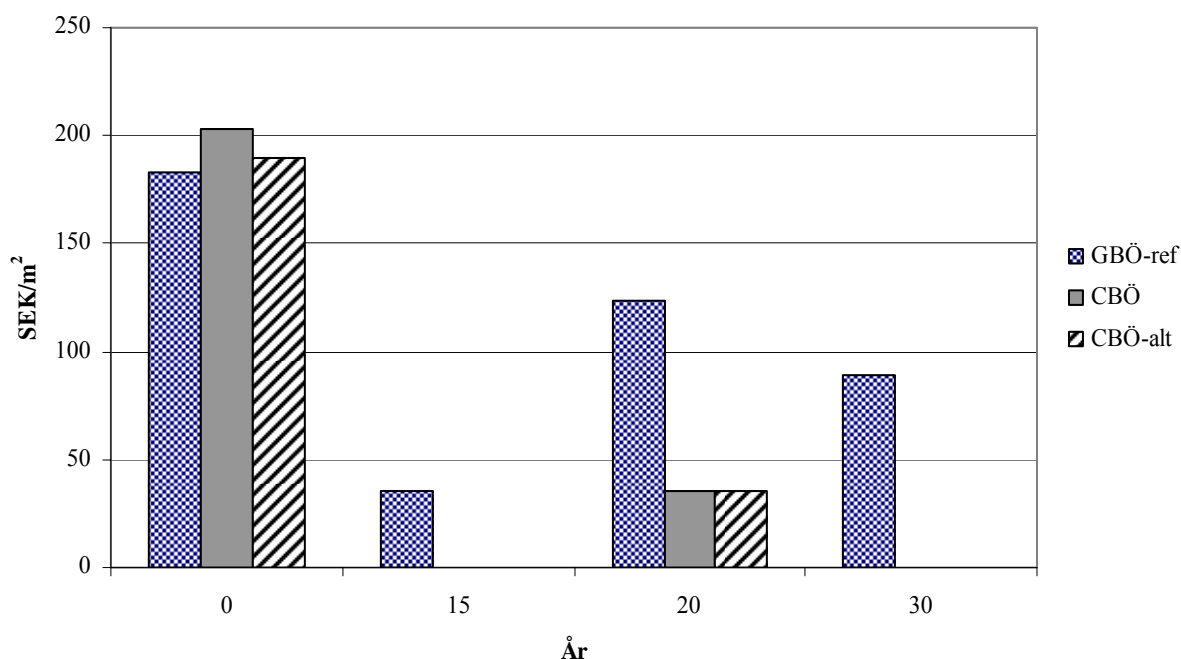


Figur 6.1 Resultat av LCC-analysen redovisat som nuvärde för en livscykel om 40 år med 4 % kalkylränta för olika alternativa överbyggnader å Lv 256.

Figure 6.1 Result of the LCC-analysis for different super structures for Lv 256 over a period of 40 years using 4 % interest rate.

Nuvärdesberäkningarna visar att det är ekonomiskt motiverat med den högre investeringskostnaden när drift- och underhållskostnaderna beaktas vid investeringen. Efter en 40-årsperiod är det strukturella tillståndet för terrassen bättre än för CBÖ och CBÖ-alt eftersom konstruktionen är överdimensionerad med 2-6 ggr kravet. Det innebär att förutsättningarna för att uppgradera vägen efter dimensioneringstidens slut är bättre jämfört med det konventionellt byggda referensalternativet. Konsekvenserna för vägkonstruktionen blir också mindre om trafikmängden och/eller axellasterna ökar.

Ur ett funktionsentreprenadsperspektiv är det intressant att se hur kostnaderna fördelar sig över tiden. I Figur 6.2 redovisas när investerings och drift- och underhållskostnaderna infaller i tiden under en 40-års period. Eftersom det rör sig om faktiska kostnader har inte kostnaderna reducerats med kalkylränta.



Figur 6.2 Översikt över hur kostnaderna för investering och drift- och underhåll fördelar sig under en 40-års period.

Figure 6.2 Distribution of costs, investment and operation, over a 40-years period.

6.3 CGÖ – Enskild väg

6.3.1 Vägkonstruktion

Uppbyggnaden av de konstruktioner som jämförs presenteras i Tabell 6.6. De båda konstruktionerna är dimensionerade med PMS Objekt. Referenskonstruktionen är en konventionell grus överbyggnad (GÖ) enligt ATB väg. För den cementstabiliserade grusöverbyggnaden (CGÖ) har styvhetsmodulen uppskattats.

Tabell 6.6 Uppbyggnad av referenskonstruktionen (Referens GÖ) och den stabiliserade konstruktionen (CGÖ)

Table 6.6 Design of reference structure (Referens GÖ) and the stabilized construction (CGÖ)

Lager (konstruktionsdelar)	Referens GÖ [mm]	CGÖ [mm]
Grusslitlager	50	80
Bärlager	100	-
Stabiliserat lager	-	250
Förstärkningslager	350	-

6.3.2 Livslängd

Livslängden för konstruktionerna har beräknats med hjälp av PMS-Objekt. I Tabell 6.7 redovisas resultaten säkerhetsfaktorer relativt det dimensionerande antalet standardaxlar

enligt ATB VÄG. För grusvägar saknas ett beräkningsbaserat dimensioneringskriterium för slitlagret utan tjockleken bestäms utifrån ÅDT. Säkerhetsfaktor för trycktöjning i terrass för CGÖ är baserad på beräkningar med ett tunnare slitlager än som beräknats och antas därför vara större än det som beräkningarna visade eftersom överbyggnadstjockleken ökats.

Tabell 6.7 Säkerhetsfaktor vid dimensionering med PMS-objekt baserat på dimensionerande antal standardaxlar

Table 6.7 Safety factors used in calculations with PMS-objekt.

Lager	Dimensioneringstid	Referens GÖ	CGÖ
Terrass	40 år	2,1	> 4

I LCC-analysen har uppskattad livslängd för terrass för en CGÖ-överbyggnad vara dubbelt så lång avseende antalet standardaxlar jämfört med referens GÖ. Vid 40 år belastas därför GÖ-konstruktionen med en förstärkningsåtgärd motsvarande ett nytt bär och grusslitlager.

Det finns idag ingen accepterad metod att förutse drift- och underhållsbehovet för grusvägar avseende åtgärder, Alzubaidi (1999, 2002), Vägverket och Banverket (1999) och Johansson (2005). I LCC-analysen har därför drift- och underhållsåtgärderna antagits vara lika fram till det att GÖ-konstruktionen förstärks. Drift och underhållsbehovet är uppskatta som genomsnittliga åtgärder för en grusväg i denna region Vägverket och Banverket (1999) och omfattar för de båda konstruktionerna:

- Hyvling vart 2:e år.
- Nytt slitlager vart 5:e år.
- Eventuell förstärkningsåtgärd för GÖ

6.3.3 Ekonomiska parametrar

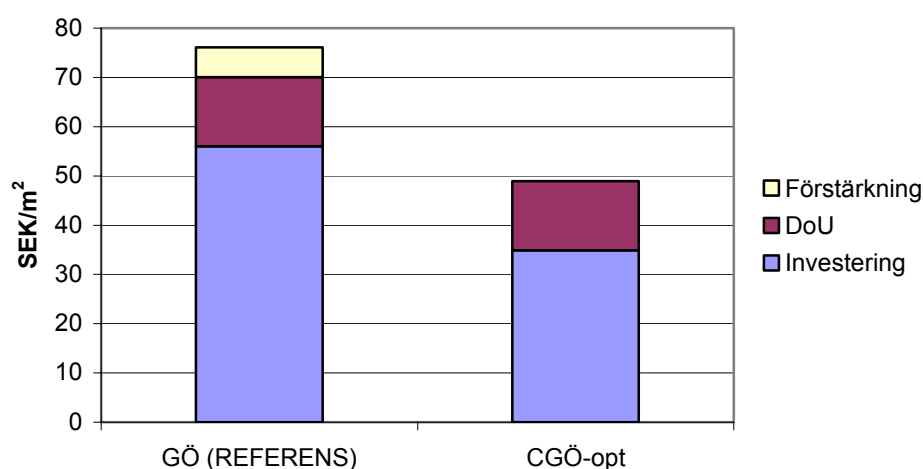
Den ekonomiska analysen baseras på en kalkylränta på 4 %. Anläggnings- och drift- och underhållskostnaderna är normaliserade per kvadratmeter väg. I Tabell 6.8 redovisas de kostnadsuppskattningar som gjorts i LCC-modellen. Kostnaderna för respektive lager omfattar material och produktionskostnader för vägen. Kostnaden för det stabiliserade lagret inkluderar materialkostnad för cement, merit, blandningskostnad för materialen, transportkostnad för blandningen 50 km och utläggning av det stabiliserade lagret med en asfalthägningsmaskin. Flygaska har förutsatts tillhandahållas fritt vid förbränningsanläggningen.

Tabell 6.8 Kostnadsantaganden i LCC-analysen, (kr/m²)Table 6.8 Assumed costs in the LCC-analysis (kr/m²)

Lager	Referens GÖ [SEK/m ²]	CGÖ [SEK/m ²]
<i>Överbyggnad</i>		
Grusslitlager	11	19
Bärlager	15	-
Stabiliserat lager	-	17,3
Förstärkningslager	-	-
<i>Underhållsåtgärder</i>		
Hyvling	0,33	0,33
Slitlager inkl. grusåtervinning	3,0	3,0
Förstärkning	29	-

6.3.4 Resultat

Resultatet av LCC-analysen visas i Figur 6.3. Investingskostnaden för CGÖ (35 SEK/m²) är lägre jämfört med den konventionella överbyggnaden referens GÖ (56 SEK/m²). Driftkostnaderna under en 40-årsperiod är lika för de två alternativen. Skillnaden i drift- och underhållskostnader mellan konstruktionerna beror på hur trafiken på vägen ser ut. Lätt trafik på vägen resulterar inte i speciella åtgärder för att återställa vägen efter 40 år. Om däremot tung trafik trafikerar vägen kommer återställningsarbeten att behövas vidtas. Dessa kostnader är inkluderade i figur 2 till en kostnad av 26 SEK/m² redovisade som nuvärde vid år 40.



Figur 6.3 Resultat av LCC-analysen redovisat som nuvärde för en livscykel om 40 år.

Figure 6.3 Results from the LCC-analysis shown as today's value in a 40 years life cycle.

Analysen visar att CGÖ-överbyggnaden är att föredra ur ett livscykelkostnadsperspektiv. Den har en lägre investeringskostnad och kommer att hålla betydligt bättre om vägen skulle utsättas för tung trafik enligt dimensioneringsresultaten.

7 Diskussion/slutsatser

I detta projekt har två applikationer utvecklats för användning som konstruktionsdelar i vägkonstruktioner. Applikationerna baseras på en metod där obundna lager stabiliseras med bindemedel. Bindemedel i denna studie utgörs av cement, Merit och flygaska som härstammar från förbränning av kol- och bibränslen. En applikation består av ballast blandat med bindemedel (CBÖ) som avser nyttjas i en överbyggnad med slitlager av asfalt och den andra applikationen utgörs av enbart bindemedel (CGÖ) som avser nyttjas i en överbyggnad med slitlager av grus. Projektet tjänar vidare som underlag för en demonstration av metoden att stabilisera obundna lager i praktiken och för detta ändamål har Vägverkets projekt ”Väg 56/70 förbi Sala” tjänat som bas för utvecklingen av de båda applikationerna. Arbetet har baserats på erfarenheter från forskning och utveckling avseende flygaskor i vägsammanhang både i Sverige och Finland. Vägverkets krav på vägkonstruktioner formulerade i ATB Väg, Vägverket (2005) tillsammans med verktyg (t ex PMS Objekt) som tagits fram av Vägverket har använts som utgångspunkt för arbeten. Vägverkets Vägledning för alternativa material, Vägverket (2007), handbok för flygaska, SGI (2006) och framtagna miljöriktlinjer för askor, Bendz et al (2006) har också tillämpats.

7.1 Diskussion

De krav som identifierats som primära och studerats närmare i arbetet avsåg bärförmåga, frostbeständighet samt ekonomi. För bedömning av bärförmåga behöver den funktionella egenskapen bestämmas genom att ta fram en styvhetsmodul för att kunna genomföra dimensionering. Denna styvhetsmodul fick ansättas genom korrelering av resultat från laboratorium, fält och erfarenheter då den inte går att ta fram analytiskt. Detta har i arbetet bedömts leda till en konservativ konstruktion ”på säkra sidan”. Å andra sidan blir då konstruktionen större och beräkning av kostnader följaktligen annorlunda i jämförelse med en mer ”precis” konstruktion. I praktiken erhåller avnämaren troligen en ”överdimensionerad” konstruktion i förhållande till sina krav. Ett annat angreppssätt för dimensionering hade varit att tillämpa det s.k. Swepavekonceptet, se t ex Ekdahl (2004b). Det hade bl a lett till att verifiering mellan lab och fält underlättas för det praktiska genomförandet. Som projektet ser ut nu så tillämpas en förhållandevis resurskrävande kontrollinsats i samband med utförandet. Det valdes dock inte med anledning av att krav och praxis inom Vägverket, dvs. PMS Objekt skulle tillämpas. Tjällyftningen hos applikationen som sådan har undersökts enligt vedertagen laboriemetod och befanns vara obetydlig.

Det finns olika primära kraven relaterat till beständighet hos konstruktionsdelen som sådan, dvs. det stabiliserade lagren. I projektet har vi fört ett kvalitativt och erfarenhetsbaserat resonemang med avseende på kemisk och mekanisk beständighet och sammanfattningsvis betraktat dem som hanterbara. För frostbeständigheten finns enbart övergripande krav formulerade, dvs. att applikationen ska vara frostbeständig. Det saknas närmare och mer precisa krav i Sverige varför erfarenheter från Finland utgjort utgångspunkt för krav baserade på reduktion av hållfasthet efter frysning/tinings cykler.

I detta sammanhang kan noteras att i den tidigare utgivna handboken är kravet något lägre >60% än det som nya erfarenheter tillämpats i projektet (minst 75 % av hållfastheten ska uppnås efter frostbeständighetstester).

Tillsatser av cement och Merit till flygaska förefaller förbättra provkropparnas frostbeständighet samtidigt som miljötekniska undersökningar indikerar att metaller fastläggs bättre. Det förefaller också som att lösningen med bindemedel och ballast är robustare än den med enbart bindemedel. Flygaskorna som använts i detta projekt skiljer sig på flera sätt åt på en materialnivå, men i detta sammanhang där de nyttjas som bindemedel är de förhållandevis jämbördiga. De egenskaper som mäts på de olika provkroppar som testats på laboratorium uppfyller med god marginal krav på funktionella egenskaper relaterat till den utförda dimensioneringen.

De kostnadsanalyser som genomförts visar att det bedöms vara ekonomiskt fördelaktigt att använda båda applikationerna, CBÖ och CGÖ, utifrån ett livscykelkostnadsperspektiv. Analysen har avgränsats att omfatta enbart investeringskostnader och drift- och underhållskostnader. Om även trafikantkostnader och olyckskostnader orsakade av vägarbeten inkluderas i modellen blir de stabiliserade alternativen än mer förmånliga då behovet av åtgärder förväntas reduceras. Investeringskostnaden för applikationerna faller ut som något kotsammare i jämförelse med de traditionella lösningarna. Å andra sidan är omfattningen av de båda planerade demonstrationssträckorna relativt begränsade och erfarenheter från andra likartade projekt visar på lägre investeringskostnader Lindh (2007). Analysen som utförts innehåller dock inga eventuella kostnader i form av extra försiktighetsåtgärder eller liknande mht till användning av bindemedel som klassificeras som avfall och därmed kan vara behäftade med krav på t ex kontroll från lokala miljömyndigheter. Då beräkningarna baseras på samma underlag avseende ingående kostnader för gemensamma material och arbetsmetoder så bör differenser i LCC-kostnader mellan alternativen reduceras även om inte de absoluta kostnaderna inte blir exakta. I beräkningarna har till exempel inte arbeten med terrassen inkluderats. MNV-metoden, Vägverket (1991), har använts tidigare som beslutsunderlag vid val av olika konstruktionslösningar (beläggningstyper) för vägprojekt för att studera om högre investeringskostnader kan motiveras med lägre drift- och underhållskostnader av Vägverket. De styrande kostnadsposterna i beräkningen är relaterad till drift- och underhållsaspekter. De antaganden som gjorts där är grova i den meningen att de dels baseras på de livslängder som beräknas fram av PMS-Objekt samt att det finns ett begränsat underlag avseende åtgärdsbehov för denna typ av lösningar. Det är notabelt att det också förefaller vara tunt med underlag avseende traditionella vägar och deras DoU kostnader allokerat till olika typer av vägkonstruktioner.

7.2 Slutsatser

De utförda arbetena indikerar att de primära kraven på en vägkonstruktion relaterade till dess bärförmåga, tjällyftning och beständighet som ställs av Vägverket kommer att kunna innehållas med god marginal. Den ekonomiska analysen indikerar vidare att applikationerna har god potential ur ett livscykelperspektiv samtidigt som investeringskostnaden förväntas bli högre för de applikationerna i jämförelse med de alternativ som föreslagits på "Väg 56/70 förbi Sala". De bedömningar som gjorts blir i många fall konservativa, i detta sammanhang, till nackdel för de stabiliserade lösningarna till följd av att underlag saknas.

Metoden kommer att betungas av den något större investeringskostnaden tillsammans med den allmänna aspekten att branschen, med enstaka undantag, inte är van att hantera dylika lösningar både hos avnämare, entreprenör som projektör. Här torde ett bredare perspektiv på kostnadsbilden t ex genom sk funktionsentreprenader kunna fungera som stöd för implementering av metoden. Projektet har utvecklat två applikationer där stabiliserade lager används i vägkonstruktioner. Applikationerna bedöms sammantaget ha en god potential för användning i vägkonstruktioner och bör demonstreras. Demonstrationen kan genomföras i flera syften, t ex för att dels åtnjuta de fördelar metoden ger i det enskilda vägprojektet och dels för att fortsätta utveckla metoden som sådan för praktisk tillämpning.

8 Fortsatta arbeten

De utförda arbetena inom projektet har gett kunskap om fler olika frågeställningar som bör vara av intresse att studera närmare. Beroende på vem som ställer frågan kommer olika arbeten att erfordras. Nedan utgår vi från en frågeställning där metoden med stabilisering ska utvecklas och göras praktiskt tillämpbar och fortsatta arbeten föreslås för att primärt utveckla den dimensionering som genomförs.

Vägkonstruktionen som helhet

Vad gäller dimensionering och utformning av överbyggnaden som helhet är det tydligt att de egenskaper som kan mätas i laboratorium behöver korreleras genom kontroll och uppföljning av befintliga projekt. Detta förefaller gälla oavsett om PMS-objekt eller annat beräkningsverktyg kommer att tillämpas. I detta sammanhang kommer det vara centralt att tillämpa ett gemensamt förhållningssätt för dimensionering och utförande som också kommer att vara robust i ett framtidsperspektiv.

Konstruktionsdelen

Den utgångspunkt som används som krav på frostbeständighet behöver genomlysas och preciseras. Idag används mer eller mindre olika metoder för bestämning av frostbeständigheten i Finland, Tjeckien, Tyskland och Sverige. Även den kemiska beständigheten med avseende på vägsaltning behöver belysas. Utförandeaspekter relaterade till drift- och underhåll behöver belysas tillsammans med frågeställningar beträffande återvinning och återbruk.

Praktisk tillämpbarhet

Uppdatering av handboken för flygaskor, SGI (2006) bedöms som aktuell med ledning av vunna kunskaper. I detta arbete bör ingå en dokumentering och sammanställning av finska och svenska erfarenheter avseende vissa kritiska frågeställningar. Nämda handbok avser primärt flygaskor och sannolikt skulle ett bredare tekniskt stöd avsett för bindemedel i en bredare mening ge mer stöd för stabiliseringsmetoden som sådan, jämför t ex den så kallade KC-pelarehandboken, SGF (2000). Processer kopplade till anmälan/tillstånd samt avtalskonstruktioner mellan beställare, projektör och entreprenör behöver också tydliggöras.

Sammantaget bedöms genomförande av demonstrationsprojekt som den enskilt viktigaste punkten för fortsatta arbeten och en grundförutsättning för att utveckla metoden vidare.

9 Referenser

Benämningar

ATB Väg 2005 *Allmän teknisk beskrivning*, Vägverkets Publikation 2005:112 ISSN 1401-9612. Vägverket, Borlänge.

VVMB *Vägverkets metodbeskrivningar*, se www.vv.se

SS, SS-EN *Svensk Standard*. Standardiseringen i Sverige, Stockholm.

Litteratur/referenser

Alzubaidi, H. 1999. *Drift och underhåll av grusvägar – en litteraturstudie*, VTI meddelande 852:1999, VTI, Linköping.

Alzubaidi, H. 2002. *Tillståndsbedömning av grusvägar*, VTI Särtryck 346:2002, VTI, Linköping.

Asp T., 2007. *Personlig kommunikation*. Asp Thomas, Vägverket Borlänge 2007.

Assarson, K G., 1976. *Bärighetsförbättring och stabilisering av kohesions- och mellanjordar med kalk*. Malmö, Cementa.

Bendz D., Wik O., Elert M. och Håkansson K., 2006, *Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande - etapp 2*. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport: 979.

Cederlöw T. 2007. *Personlig kommunikation WSP*, Karlstad

Ekdahl U., Bengtsson P-E och Rydén N., 2004. *A new framework for analytical pavement design based on systematic control during construction work*, NGM 2004.

Ekdahl U., Rydén N., 2004 b. *Swepave – ett nytt vägbyggnadskoncept*. SGF, Grundläggningdagen 2004.

Finska statsrådet 2006. *Finska Stadsrådets förordning om återvinning av avfall i markbyggnad 591/2006*. (På finska)

Hermansson Å. 2002. *Modelling of frost heave and surface temperatures in roads*. Luleå Tekniska universitet. Doctoral thesis. ISSN 1402-1544 / ISRN LTU-DT--02/13--SE / NR 2002:13

Hermelin K., 2007. *Personlig kommunikation*. Hermelin Klas, Vägverket Borlänge 2007.

Holmvik, N. och Wallin, H. 2007. *Användning av livscykelanalys och livscykelkostnad inom Norden*, Thesis 155, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Huvstig A., 2007. *Personlig kommunikation*. Huvstig Anders, Vägverket, 2007.

Jansson S., 2007. *Personlig kommunikation*. Jansson Stig, Cementa (2007).

Johansson, K. 2005. *Planeringshjälpmedel för ökad tillgänglighet på grusvägnätet: en studie av datorverktyget HDM-4*, LIC 2005:42, LTU, Luleå.

Kézdi, A., (1979). *Stabilized earth roads – Development in geotechnical engineering* 19. Elsevier Scientific Publishing Company. ISBN (vol 19) 0-444-99786-5.

Kärrman E., Olsson S., Magnusson Y. och Peterson A (2006) Miljösystemanalys för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport: 953

Kärrman E., Van Moeffaert D., Bjurström H., Berg M. och Svedberg B. 2004. *Förutsättningar för att askor kommer till användning i vägar*. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport r: 849

Lahtinen P. 2001. *Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads*. Doctoral thesis for Helsinki University of Technology. Finnra Report 70/2001.

Lahtinen P., Jyrävä H., Maijala A. och Mácsik J. 2005. *Flygaskor som bindemedel för stabilisering av grusmaterial*. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport 918.

Lahtinen P. 2007. *Personlig kommunikation*, Ramböll, Luopioinen Finland.

Lindh, P, Hermansson, Å., 2004. *Test method to evaluate frost performance and frost heave of stabilised soil*. Väg- och vattenbyggaren, s 28-30 nr 4, 2004 Stockholm.

Lindh, P., 2004. *Compaction- and strength properties of stabilised and unstabilised fine-grained tills*. Doctoral thesis, Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Lund University. Lund.

Lindh P., 2007. *Personlig kommunikation*, PEAB, Malmö Sverige.

Mácsik J., Svedberg B. Lenströmer S. och Nilsson T. 2004. *FACE: Flygaska i geotekniska anläggningar, Etapp 1: Inventering/Tillämplighet*. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport 870.

Mácsik J. 2006. *Flygaska som förstärkningslager i grusväg*. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport 949.

Mácsik J. och Thurdin R. 2003. *Askblandningar i anläggningsprocesser (etapp 2)*. <http://www.projektbanken.z.lst.se/rapporter/Fil-200344102553.pdf>

Mårten Janz och Sven-Erik Johansson, 2002. *The Function of Different Binding Agents in Deep Stabilization*. Svensk Djupstabilisering, Rapport no 9.
NFS 2004:10 *Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall*.

Naturvårdsverket. 1997: *Generella riktvärden för förorenad mark*. Naturvårdsverkets rapport 4638. ISSN 0282-7298, ISBN 91-620-4638-1.

Naturvårdsverket. 2007. Kartverktyget Skyddad natur, <http://www.naturvardsverket.se/sv/Arbete-med-naturvard/Skydd-och-skotsel-av-vardefull-natur/Skyddad-natur/>

Nordström E. och Thorsell P-E. (2003): *Energiaskor i betongrelaterade tillämpningar - Normer, praxis och erfarenheter*. Askprogrammet. Miljöriktig användning av flygaskaor. Rapport 828

Onninen H., 2000. *Method description TPPT-R07 - Frost heave test, thaw compression test*. VTT Communities and infrastructure, draft 31.10.1999, translation 10.02.2000.

Persson P-E., 2007. *Personlig kommunikation*. Persson Per-Erik, Cementa.

SGI-Information 18:4. 2006. *Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar – Handbok*. Munde H., Svedberg B., Macsik J., Maijala A., Lahtinen P., Ekdahl P. och Néren J.

SGF. 2000. *Kalk- och kalkcementpelare, Vägledning för projektering, utförande och kontroll*. SGF Rapport 2:2000, Linköping 2000.

SGU. 2007. Brunnsarkivet. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Arbete-med-naturvard/Skydd-och-skotsel-av-vardefull-natur/Skyddad-natur/>

Pettersson Ö., 2007. *Personlig kommunikation*. Petterson Örjan, Flygfältsbyrån 2007.

SIKA. 2005. *Den samhällsekonomiska kalkylen – en introduktion för den nyfikne*, Rapport 2005:5, Statens Institut för Kommunikationsanalys, Östersund.

Sundblom H., 2004. *Användning av energiaskor som fyllermaterial vid betongtillverkning*, Miljöriktig användning av askor 848.

Tammirinne, M. 2000. *Kuormitetuissa maarakenteissa käytettävien sidottujen uusiomateriaalien pitkäaikaiskäyttäytyminen laboratoriossa*. Tekes, Ympäristögeotekniikka-ohjelma, VTT, Yhdyskuntatekniikka, Väylät ja ympäristö, Tutkimusraportti 541. Espoo 2000. In Finnish

Ullberg, J. 2007. *Telefonkontakt*, Vägverket Region Norr, Luleå.

WSP. 2004. *Urlakningstest på bergmaterial för Väg 70, Förbifart Sala.*

WSP. 2004 b. *Karakteriserings- och analysresultat från borrhärdar, Väg 70 förbi Sala*
Vägverket. 1991. Modell för nuvärdesberäkning av en vägs funktionskostnad, VV Publ.
1991:053, Borlänge.

Vägverket. 1997. *Översyn betongvägsalternativ, VV Publ. 1997:126, Vägverket,*
Borlänge.

Vägverket. 1997. *Vägverkets samhällsekonomiska kalkylmodell – ekonomisk teori och*
värderingar, VV Publ. 1997:130. Vägverket, Borlänge.

Vägverket och Banverket. 1999. *Dimensionering av drift-, underhålls- och*
bärighetsåtgärder inom väg- och järnvägssektorn, Slutrapport för de strategiska
områdena Dimensionering av drift-, underhålls- och bärighetsåtgärder inom väg- och
järnvägssektorn, November 1999, Borlänge.

Vägverket. 2001. *VVMB 301 Beräkning av tjällyftning, VV Publ 2001:101. Vägverket*
2001 Borlänge.

Vägverket. 2005. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion, ATB Väg 2005.*
Publikation 2005:112, Vägverket, Borlänge, 2005. ISSN 1401-9612.

Vägverket. 2007. *Alternativa material i väg- och järnvägsbyggande. Publikation*
2007:110, Vägverket, Borlänge, oktober 2007. ISSN 1401-9612.

Åhnberg H., Johansson S-E., Retelius A., Ljungkrantz C., Holmqvist L. och Holm G.
1995. *Cement och kalk för djupstabilisering av jord. En kemisk - fysikalisk studie av*
stabiliseringseffekter, SGI rapport no 48.

A Laboratorie resultat, Steg 1, Karakterisering A1-3

A.1

SALA

82113663-03

Material	Beteckning
Flugaska från Mälarenergi (ME)	ME
FlygaskaVattenfall (VU)	VU
Ballast	B

Steg 1: Karakterisäring

	w [%]	Lol (550°C)	TOC ISO 10694	Fritt CaO [%]
ME	1,1	4,0	4,3	8,8
VU	0,2	0	2,0	7,9
Ballast	3,2			

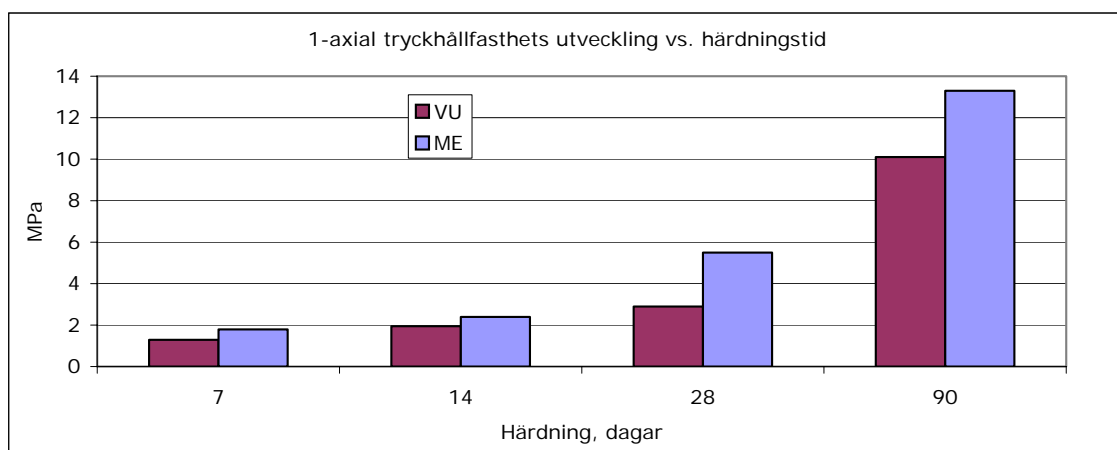
A.2

FUD-SALA Labtester
 STEG 1

Härningstid d	Tryckhållfasthet (MPa)	
	VU	ME
7	1,3	1,8
14	2,0	2,4
28	2,9	5,5
90	10,1	13,3

Provstycknummring	
GBÖ	TBÖ
11A,B	111 A,B
11C,D	111 C,D
11 E,F	111 E,F
11 G,H	111 G,H

packning wopt / D 93-94 %



A.3

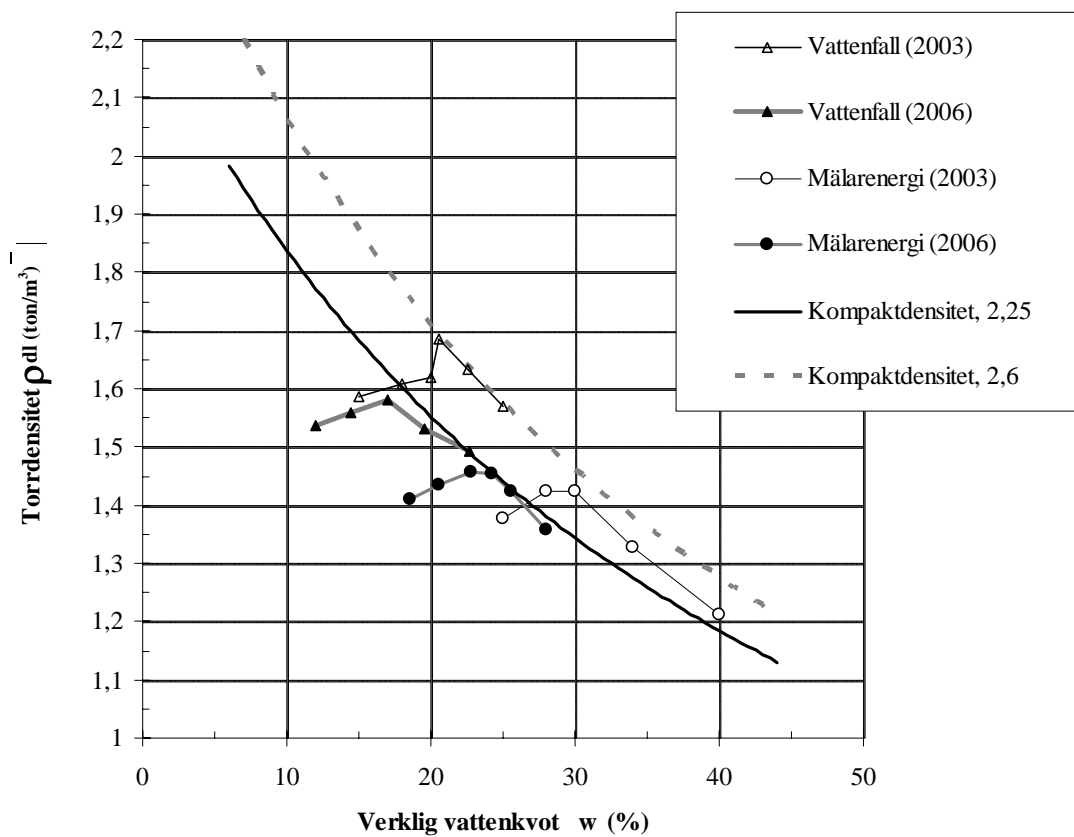
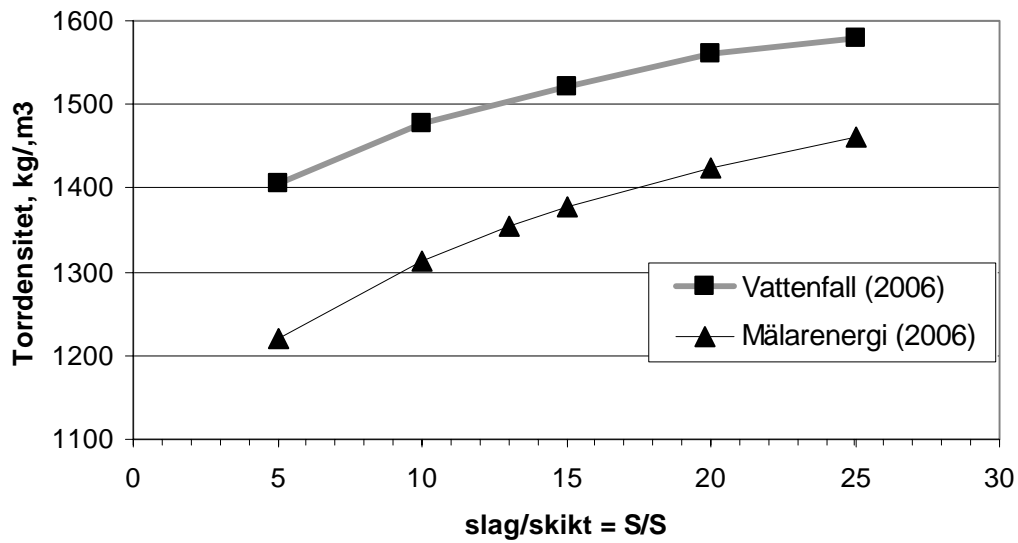
SALA Labtester
 STEG 1

Proctor 2006		
Slag/Skik	Vattenfall (2006)	Mälarenergi (2006)
S/S	Torrdensitet, kg/m ³	Torrdensitet, kg/m ³
5	1405	
10	1477	
15	1521	
20	1560	
25	1580	
5		1220
10		1314
13		1354
15		1377
20		1423
25		1460

Proctor 2006		
w [%]	Vattenfall (2006)	Mälarenergi (2006)
	Torrdensitet, ton/m ³	Torrdensitet, ton/m ³
12	1,536	
14,4	1,56	
17	1,58	
19,5	1,531	
22,7	1,494	
18,6		1,411
20,6		1,436
22,8		1,458
24,2		1,454
25,5		1,424
28		1,358

Proctor 2003		
w [%]	Mälarenergi (2003)	Vattenfall (2003)
	Torrdensitet, ton/m ³	Torrdensitet, ton/m ³
25	1,376	
28	1,425	
30	1,424	
34	1,327	
40	1,212	
15		1,585
18		1,608
20		1,618
20,6		1,684
22,5		1,634
25		1,57

Effekten av arbetsmängden (slag/skikt) vid packning



B Laboratorie resultat, Steg 2 – Screening B1-2

B.1

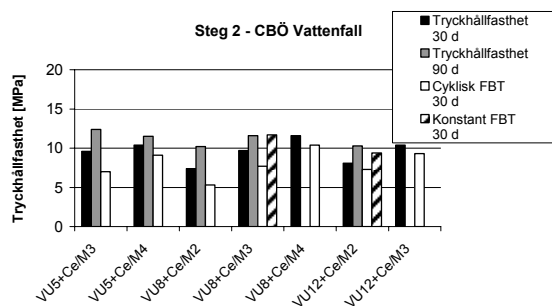
Steg 2; CBÖ Vattenfall (VU)

Påverkan av olika mängder av Cement/Merit på tryckhållfasthet och frostbeständighet

Aska %	Ce/Me %	Tryckhållfasthet (1-axial)		Cyklisk FBT 30 d		Konstant FBT 30 d		Tryckhållfasthet (1-axial) 90 d	
		MPa, 30d	Provstycken	MPa	Provstycken	MPa	Provstycken	MPa	Provstycken
5	3	9,6	SA-21	7,0	SAJ-22			12,4	SAR-23
	4	10,4	SA-24	9,1	SAJ-26			11,5	SA-25
8	2	7,4	SA-28	5,3	SAJ-29			10,2	SAR-30
	3	9,7	SA-31	7,7	SAJ-33	11,7	SAR-34	11,6	SA-32
	4	11,6	SA-36	10,4	SAJ-37				
12	2	8,1	SA-39	7,3	SAJ-41	9,4	SAR-42	10,3	SA-40
	3	10,4	SA-43	9,3	SAJ-44				

Steg2-CBÖVattenfall.pdf

	Tryckhållfasthet 30 d	Tryckhållfasthet 90 d	Cyklisk FBT 30 d	Konstant FBT 30 d	Minskning av Tryckhållfasthet	Frotsbeständigt
VU5+Ce/M3	9,6	12,4	7		27%	Gränsfall
VU5+Ce/M4	10,4	11,5	9,1		13%	ja
VU8+Ce/M2	7,4	10,2	5,3		28%	Gränsfall
VU8+Ce/M3	9,7	11,6	7,7	11,7	21%	ja
VU8+Ce/M4	11,6		10,4		10%	ja
VU12+Ce/M2	8,1	10,3	7,3	9,4	10%	ja
VU12+Ce/M3	10,4		9,3		11%	ja



B.2

Steg 2; CGÖ Mälarenergi aska

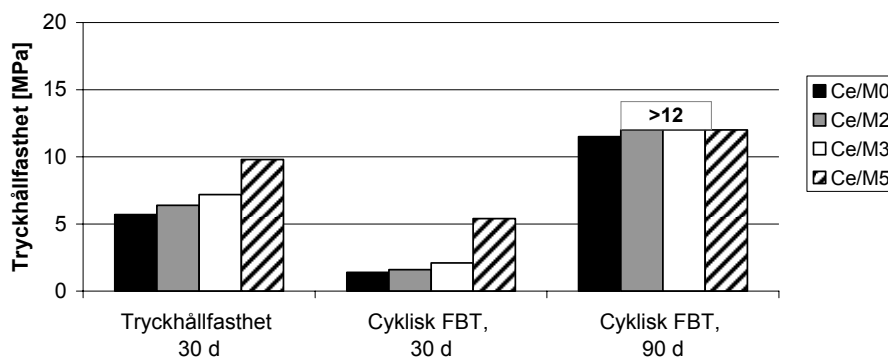
Påverkan av olika mängder av Cement/Merit på tryckhållfasthet och frostbeständighet

Ce/Me %	Hållfasthet (1-axial)	Provstycken	Cyklisk FBT	Cyklisk FBT
	MPa, 30d		MPa, 30d	MPa, 90d
0	5,7	SA-112	1,4	11,5
2	6,4	SA-115	1,6	>12
3	7,2	SA-119	2,1	>12
5	9,8	SA-122	5,4	>12

CGÖ Mälarenergi (aska stabiliserad + Ce:Me 7 %)

	Tryckhållfasthet 30 d	Cyklisk FBT, 30 d	Cyklisk FBT, 90 d	Minskning av Tryckhållfasthet	Frotsbeständigt
Ce/M0	5,7	1,4	11,5	75%	nej
Ce/M2	6,4	1,6	12	75%	nej
Ce/M3	7,2	2,1	12	71%	nej
Ce/M5	9,8	5,4	12	45%	nej

Steg 2 - CGÖ Mälarenergi



C Laboratorieresultat, Steg 3, C1-3

C.1 Laboratorieresultat Steg 3, Beständighet

Steg 3: CBÖ (Vattenfall och Mälarenergi) och CGÖ (Mälarenergi)

Tryckhållfasthet och frostbeständighet vs vattenkvot och packningsgrad
CBÖ Vattenfall (ballast stabiliserad med v-aska 12 % + Ce:Me 2 %)

	Proctor	Packning	Tryckhållfasthet (1-axial), MPa						Minskning av tryckhållfastheten	Frotsbeständigt	
			7d	14d	30d	90d	Cyklisk FBT 30	Konstant FBT 30			
4					4,5			3,3	3,7	27%	Gränsfall
w = 6,5 %	x	x	2,0	5,0	7,6	11,3		6,7		12%	ja
9					5,3			5,2		2%	ja
92%					6,7			5,9	7,8	12%	ja
D = 95 %	x	x	2	5	7,6	11,3		6,7		12%	ja
97%					8,9			7,2		19%	ja
			Provstyckena SA-53								
w (grund) och D (grund) från samma proctortest											

CBÖ Mälarenergi (ballast stabiliserad med m-aska 12 % + Ce:Me 3 %)

	Proctor	Packning	Tryckhållfasthet (1-axial), MPa						Minskning av tryckhållfastheten	Frotsbeständigt	
			7d	14d	30d	90d	Cyklisk FBT 30	Konstant FBT 30			
4					4,7			2,4	3,6	49%	nej
w = 6,5 %	x	x	3,9	7,9	11,6	>>12		11,3	10,8	3%	ja
9					8,9			7,7		13%	ja
92%					10,3			8,1		21%	ja
D = 95 %	x	x	3,9	7,9	11,6	>>12		11,3	10,8	3%	ja
97%					13,4			>12		< 10 %	ja
			Provstyckena SA-73								
w (grund) och D (grund) från samma proctortest											

CGÖ Mälarenergi (aska stabiliserad + Ce:Me 7 %)

	Proctor	Packning	Tryckhållfasthet (1-axial), MPa						Minskning av tryckhållfastheten	Frotsbeständigt	
			7d	14d	30d	90d	Cyklisk FBT 30	Konstant FBT 30			
21-22 %					9,1			1,4		85%	nej
w = 26 %	x	x	2,0	3,5	11,5	>>12		7,1	5,7	38%	nej
30-31 %					4,8			4,1		15%	ja
88-89 %					8,3			1,9	9,2	77%	nej
D = 92 %	x	x	2	3,5	11,5	>>12		7,1	5,7	38%	nej
max 94%					12,3			9,2		25%	ja
			Provstyckena SA-132								
w (grund) och D (grund) från samma proctortest											

	Recept	w, %	D, %	Tjällyft, mm	SP, mm ² /Kh	Bedömning
CBÖ VU	VU12+Ce/M2	4	95	0,4	< 0,1	Ej tjälkänsligt
CBÖ VU	VU12+Ce/M2	6,5	92	0,5	< 0,2	Ej tjälkänsligt
CGÖ ME	Ce/M7	26	92	1,7	0,3	Något tjälkänsligt
CGÖ ME	Ce/M7	26	89-90	1,7	0,3	Ej tjälkänsligt

C.2 Laboratorieresultat, Steg 3, Lakningsegenskaper



Sample code: SAL-118															
Sample material: 2 % Ce/Me CGÖ Mälarenergi															
Cumulative L/S-ratio	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Fe	Sb	Se	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0,1	0,00006	0,0001	0,25	0,000008	0,00003	0,0103	0,0002	0,123	0,0001	0,00001	0,0003	0,00001	0,0005	0,0005	0,00017
0,2	0,00011	0,0002	0,54	0,000016	0,00005	0,0191	0,0003	0,215	0,0001	0,00001	0,0003	0,00001	0,0010	0,0006	0,00025
0,5	0,00018	0,0003	2,06	0,000032	0,00008	0,0312	0,0005	0,323	0,0002	0,00007	0,0005	0,00003	0,0019	0,0012	0,00043
1,0	0,00021	0,0006	6,51	0,000052	0,00011	0,0372	0,0007	0,423	0,0003	0,00035	0,0010	0,00005	0,0031	0,0027	0,00067
2,0	0,00027	0,0011	12,92	0,000103	0,00016	0,0506	0,0011	0,630	0,0005	0,00127	0,0019	0,00010	0,0055	0,0060	0,00113
5,0	0,00042	0,0066	31,29	0,000162	0,00109	0,0693	0,0031	1,271	0,0011	0,00267	0,0071	0,00025	0,0110	0,0121	0,002818
10,0	0,00067	0,0187	50,84	0,000212	0,00194	0,0708	0,0051	2,224	0,0086	0,00342	0,0096	0,00050	0,0225	0,0191	0,013848
Inert 0,1 §	0,06		4	0,02		0,1	0,6	0,2	0,12	0,15		0,10	0,04	1,20	
Inert 10 §	0,5		20	0,4		0,5	2	0,5	0,4	0,5		0,06	0,1	4	

Sample code: SAL-35A+B															
Sample material: Ballast + 8 % FA + 3 % Ce/Me CBÖ Vattenfall															
Cumulative L/S-ratio	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Fe	Sb	Se	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
0,1	0,00008	0,0257	0,14	0,000001	0,00009	0,0003	0,0019	0,002	0,0004	0,00059	0,0001	0,000005	0,0001	0,0006	0,00004
0,2	0,00012	0,0298	0,25	0,000002	0,00016	0,0005	0,0033	0,003	0,0006	0,00121	0,0001	0,00001	0,0002	0,0012	0,00008
0,5	0,00022	0,0327	0,55	0,000005	0,00031	0,0012	0,0066	0,007	0,0013	0,00266	0,0003	0,00002	0,0004	0,0025	0,00017
1,0	0,00029	0,0343	0,91	0,000010	0,00046	0,0021	0,0097	0,012	0,0020	0,00423	0,0006	0,00005	0,0006	0,0040	0,00034
2,0	0,00035	0,0361	1,37	0,000019	0,00065	0,0035	0,0134	0,020	0,0028	0,00621	0,0012	0,00009	0,0009	0,0087	0,00113
5,0	0,00050	0,0463	2,54	0,000050	0,00166	0,0081	0,0227	0,038	0,0043	0,00865	0,0028	0,00025	0,0015	0,0155	0,00729
10,0	0,00199	0,3126	3,36	0,000101	0,00238	0,0153	0,0314	0,051	0,0059	0,01080	0,0063	0,00143	0,0026	0,0611	0,03443
Inert 0,1 §	0,06		4	0,02		0,1	0,6	0,2	0,12	0,15		0,10	0,04	1,20	
Inert 10 §	0,5		20	0,4		0,5	2	0,5	0,4	0,5		0,06	0,1	4	

§ NFS 2004:10 Naturvårdsverkets föreskrifter - om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall;

Finska riktvärde som exempel (591/2006 Statsrådets förordning om återvinning av vissa avfall i markbyggnad):

*grusbeläggning					0,5	0,5	0,5		0,1	2,0
*asfaltbeläggning					3,0	6,0	1,5		0,5	3,0
Enligt dessa är Molybden i Mälarenergi CGÖ det ämne som orsakar att materialskiktet skulle ha asfaltbeläggning i Finland										

Lakningsegenskaper



Sample material: 2 % Ce/Me CGÖ Mälarenergi					
Sample code	L/S ratio	V(sample)	pH	EC at 25°C	REDOX
	[l/kg]	[l]			
SAL-118/K1	0,1	0,05306	12,6	>2230	-96
SAL-118/K2	0,1	0,05903	12,6	2070	-124
SAL-118/K3	0,3	0,16021	12,5	1250	-51
SAL-118/K4	0,5	0,25823	12,5	704	-41
SAL-118/K5	1,0	0,53333	12,4	509	-25
SAL-118/K6	3,0	1,50614	12,3	336	-21
SAL-118/K7	5,0	1,87790	12,2	242	-13
		0,71131	12,2	209	-87

Sample material: Ballast + 8 % FA + 3 % Ce/Me CBÖ Vattenfall					
Sample code	L/S ratio	V(sample)	pH	EC at 25°C	REDOX
	[l/kg]	[l]			
SAL-35A+B/K1	0,1	0,25502	12,7	829	-32
SAL-35A+B/K2	0,1	0,24272	12,7	728	-35
SAL-35A+B/K3	0,3	0,76457	12,5	605	-78
SAL-35A+B/K4	0,5	1,26667	12,4	484	-39
SAL-35A+B/K5	1,0	2,31555	12,4	339	16
SAL-35A+B/K6	3,0	5,2272	12,2	231	-11
		2,71384	12,1	209	6
SAL-35A+B/K7	5,0	5,3929	12,1	165	-18
		7,801	11,9	132	57

D PM Sammanställning fallviktsmätningar

FUD-Projekt, Provsträcka med stabilisering av obundna material i Sala

PM – Pilotobjekt med fallviktsmätningar

Datum 2007-01-18 koncept
Uppdragsnummer 2006022
Utgåva/Status PM/Koncept

Organisation
Uppdragsledare/handläggare Richard Sandberg
Granskare Peter Ekdahl

Beställarens referens Peter Ekdahl, Ramböll

Inledning

I samband med uppförandet av en flygskestabiliserad väg i Salaområdet har frågan väckts hur en sådan väg ska dimensioneras med hjälp av Vägverkets datorprogram PMS Objekt. Det som är av intresse är att undersöka hur styvhetsmodulerna i programmet ska uppskattas för stabiliserade lager, i det här fallet flygaska.

Bakgrund

I den aktuella vägen ska stabiliseringsmaterialet till bär- och förstärkningslager utgöras av flygaska blandat med cement och Merrit.

Dimensionering i PMS Objekt kräver kännedom om de ingående materialens bärförmåga och tjälegenskaper. Bärförmågan hos ett material beskrivs i styvhetsmoduler som varierar med årstiden och tjälegenskaperna beskrivs genom tjällyftning samt värmeledningsförmåga för fruset och ofruset material. I dagsläget finns inga sådana tydliga materialegenskaper framtagna för alternativa eller stabiliserade material.

Det finns ingen omedelbar koppling mellan traditionella laborietester och de styvhetsmoduler som återfinns i PMS Objekt. För att kunna analysera material vars materialegenskaper inte är framtagna till PMS Objekt måste undersökningar därför utföras i fält, framför allt med fallvikt. En ideal situation vore om fallviktsmätningar kunde utföras vid olika årstider, samt i regelbundna tidsintervall under flera års tid. Resultaten från fallvikt kan sedan jämföras med resultat erhållna för samma material i laborietester. Från detta kan slutsatser dras om vilka fältegenskaper ett enbart laborietestat, men liknande, material troligen uppträder i fält.

För nya material som inte finns i några färdiga referensobjekt kan då en översiktlig korrelation skapas mellan till exempel enaxiella tryckförsök eller triaxialtester och E-modul i fält. Ett ungefärligt intervall för var E-modulen bör ligga skapas således.

Teori

Styvhetsmodulerna i PMS Objekt är knutna till fallviktsmätningar. Fallviktsmätning utförs på ytlagret av en färdig konstruktion och E-moduler erhålls för den färdiga överbyggnaden. Ur datafilen som erhålls vid fallviktsmätning kan E-modulen för respektive lager utvärderas under förutsättning att att vägöverbyggnadens lagertjocklekar är kända.

Syfte

Syftet är att hitta pilotobjekt där antingen en stabilisering av de obundna lagren i en vägöverbyggnad utförts eller där bär- och/eller förstärkningslagret helt utgörs av ett

alternativt material. När pilotobjekt lokaliserats undersöks om uppföljning till dessa finns i form av fallviktsmätningar.

Metod

För att undersöka var pilotobjekt där de obundna lagren innehåller stabiliserade material eller utgörs av alternativa material upprättas i det primära skedet en lista över sakkunniga personer inom området. Stabiliseringen indelas i två huvudgrupper där den ena utgörs av cementbundna bärlager och den andra av flygaskor eller andra bindemedel.

I ett andra skede söks pilotprojekt i rapporter för samma huvudgrupper.

Tillvägagångssätt

I det initiella skedet eftersöks pilotprojekt där stabiliserade material använts i de obundna lagren. När ett sådant projekt är funnet efterfrågas vilken typ av stabilisering som utförts. Därefter efterfrågas om fallviktsmätningar utförts. Om svaret är jakande efterfrågas om resultaten är framtagna för respektive lager och var tillgång till dessa kan fås. Om fallviktsmätningen är utförd på ytan av vägöverbyggnaden och således måste beräknas efterfrågas datafilen/erna från fallviktsmätningen/arna, om möjligt årstid när den/de är utförd/a och var tillgång till dessa kan erhållas. För detta fall krävs även kännedom om lagertjocklekarna i vägöverbyggnaden. Om ingen fallviktsmätning finns för ett visst pilotobjekt utförs ingen vidare undersökning av det objektet. Tillvägagångssättet sammanfattas i tabell 1.1.

Tabell 1.1. Tillvägagångssätt.

Pilotobjekt	Typ av stabilisering	Fallviktsmätning (Ja/Nej)	Antal	Årstid	Resultat för enskilt lager	Vem har utfört fallviktsmätning?	Lagertjocklekar

Pilotobjekt

Befintliga pilotobjekt där stabilisering av de obundna lagren genomförts lokaliserades genom kontakter som bidrog med direkt information samt information i form av rapportunderlag.

Kontakter

En preliminär lista över personer som kunde besitta information rörande stabiliserade obundna lager upprättades. Listan utökades efter hand i samråd med personerna på den preliminära listan. Detta resulterade i den kontaktlista som återfinns i bilaga 1.

Kommentarer

Utöver uppgifter om pilotobjekt och tillhörande fallviktsmätningar erhöles vid samtal med kontaktpersonerna enligt bilaga 1 ytterligare information som bedömdes vara av intresse vid utformandet av ett dimensioneringsunderlag.

Vid beräkningar i PMS Objekt bedöms CG-stabilisering ge ett bundet lager vars E-modul motsvarar hälften av den i laboratorium uppmätta (Asp, T, Vägverket).

Örjan Pettersson, Flygfältsbyrån, har utfört dimensionering av betongytor, där flygskkestabiliserade material från Mälarenergi ingått i undergrunden. Till detta användes ett belgiskt program som han anpassat till ATB Väg. Pettersson ansåg att dimensionering med PMS Objekt skulle bli mycket osäker även om E-moduler för flygaska återfanns för vissa pilotobjekt.

Cement + Flygaska från Mälarenergi har vid laborietester från fältobjekt visat sig ha en E-modul omkring 4 GPa. Tiden kan ha betydelse för E-modulen på grund av att de puzzolana reaktionsprodukterna ökar med tiden. (Persson, Per-Erik).

Ett alternativ till PMS Objekt, VägFem, utvecklas av Vägverket. Detta program ska vara mer öppet för stabiliserade material. Huvudansvaret för utvecklingen av detta program har Anders Huvstig (Vägverket). Involverad är också Lars Björk (Vägverket). En dimensionering av Väg 31, där stabilisering med kalk och cement är tänkt att användas, utfördes av Björk med VägFem. Utöver denna dimensionering utfördes även vissa beräkningar i PMS Objekt som kontroll. Till dessa valdes cementbundet bärlager. Resultaten från Väg 5 och PMS Objekt avvek kraftigt från varandra. Björk betonade att cementblandningen vid stabilisering för det fallet var låg, omkring 1 procent. Ett cementbundet bärlager innehåller normalt en tryckhållfasthet av 12-15 MPa (Jansson, S, Cementa).

Underlag

Underlaget utgörs av kontakter med personer efter bilaga 1, samt av material från rapporter. Rapportunderlaget som använts i rapporten redovisas nedan efter författarnamn.

ATB Väg

Styvhetsmodulen för ett cementbundet bärlager sätts till 17 GPa oavsett klimatperiod och klimatzon enligt C4.9.3 i ATB Väg 2005.

Resultat

Resultaten från underlaget återfinns i bilaga 2, eftersom den inte ryms i fulltext i dokumentet. Det som särskilt kan noteras är att antalet pilotobjekt där stabilisering av de obundna lagren genomförts är få. Ännu färre är de pilotobjekt som följts upp och utvärderats med fallvikt.

Alla projekt i Finland 4-5 st visar att E-modulen ökar med tiden Lahtinen (2007). I Uppsalatrakten har ett flertal mindre objekt uppförts i form av skogsvägar, där de obundna lagren, som har en tjocklek av cirka 40 cm, utgörs av flygaska som solitärt material eller flygaska + grus. Resultaten från dessa vägar har enligt uppgift varit goda, men uppföljning saknas i form av fallviktsmätningar.

Slutsatser

Antalet pilotobjekt där stabilisering utförts på de obundna lagren är mycket få till antalet i Sverige. Pilotobjekt där bär- och/eller förstärkningslager utgörs av enbart ett alternativt material är ännu färre. Dokumentation kring vilka objekt som uppförts, och vilka som därefter utvärderats är bristfällig och ofta når inte informationen längre än till den ansvarige för ett specifikt projekt.

Det underlag som finns är således mycket begränsat och det är svårt att dra några slutsatser om styvhetsmoduler, även i de fall där fallviktsmätningar finns. I regel saknas en kontinuerlig uppföljning med fallviktsmätning under flera års tid, vilket är nödvändigt för att kunna jämföra resultat. Resultaten från ett fåtal mätningar är starkt beroende av till exempel vattenkvoten i terrassen och således också styvheten i densamma, vilket har betydelse för hela vägkonstruktionens styvhet.

Bilaga 1

Företag	Namn	Telefonnummer	Mobilnummer	
Cementa	Jansson, Stig	08 625 68 16		
Vägverket	Hermelin, Klas	0243 757 05		
Vägverket	Hagert, Christer	0243 751 14		
Vägverket	Renman, Peter	0611 440 37		
Vägverket	Uvsting, Anders	031 63 50 80		Huvudaktör vid utvecklandet av Väg 5, ett alternativ till PMS Objekt
Vägverket	Mårtensson, Bertil		070 332 70 01	
Vägverket	Connie Olsson	044 19 51 54		
Vägverket	Thomas Asp	031 63 50 85		
Vägverket	Johan Ullberg	0920 24 38 91		
Vägverket	Lena Reidaman	08 757 68 75		Övergripande insikt, ingen kunskap om stabiliserade obundna bärlager
Vägverket	Björk, Lars	036 19 21 46		Var med i utvecklingen av Väg 5, ett alternativ till PMS Objekt
Ecoloop	Mácsik, Josef	08 442 77 61	073 030 0419	
Ramböll	Ekdahl, Peter	040 10 54 58		
Värmeforsk	Ribbing, Claes	08 441 70 97	070 633 0343	
VTI	Lorents, Carl-Johan	013 20 42 77	070 310 42 77	
VTI	Hultqvist, Bengt-Ake	013 20 42 73		
VTI	Håkan Carlsson	013 20 43 11		
Mälarenergi	Nerén, Jens	021 39 53 57		
Mälarenergi	Persson, Per-Erik	021 290 10	070 649 90 10	
Vattenfall	Göthlin, Caroline	026 838 86		
Vattenfall	Sjösten, Ghita	08 739 68 07	070 582 74 27	Övergripande insikt, ingen kunskap om stabiliserade obundna bärlager
Vattenfall	Wallin, Bo	018 26 91 76		
SGI	Arm, Maria	013 20 18 07		Ingen info
SGI	Ahnberg, Helene	013 20 18 57		
SGI	Ränberg, Yvonne	013 20 18 93		Ingen info
SGI	Lindh, Per			
Flygfältsbyrån	Petterson, Örjan	013 36 43 91	070 535 16 19	Var med och utformade materialtabellerna till PMS Objekt
PEAB	Ulf Ekdahl			Överlämnar denna kontakt till Peter då de har närmare kontakt. Information kan här fås om E-moduler över cement + kalk.

Bilaga 2

Pilotobjekt	Typ av stabilisering	Fallviktsmätning (Ja/Nej)	Antal	Årstid	Resultat för enskilt lager	Vem har utfört fallviktsmätning?	Lagertjocklekar
Hallstavik		Ja				Peter Ekdahl	
Norberg		Ja				Peter Ekdahl	
Västerås	Cement + Aska	Nej, cylinderprov			4 GPa	Mälarenergi	
Halland E 6	Cement (CG)	Ja				Håkan Carlsson	
Yttre Ringvägen Malmö	Cement (CG)	Nej					
Ramp E4 Norr om Norrköping	Bottenaska	Nej					
Väg 55 utanför Uppsala	Cement (CG)	Nej, cylinderprov			8 GPa		
E 20 Eskilstuna Arpus	Cement (CG)	Nej					
Väg 694 (grusväg)	Bottenaska (Materialskiljande lager)	Ja				Johan Ullberg	
Väg 694 (grusväg)	Flygaska (Bär- och förstärkningslager)	Ja				Johan Ullberg	
Väg 44 Västra Götaland	Cemenstabilisering (Undergrund, mossjord)	kan kontrolleras vid behov					
Väg 32 Eksjö-Mjölby	Cemenstabilisering (Undergrund, mossjord)	kan kontrolleras vid behov					
Lorensborgsgatan Malmö	Kalkstabilisering	kan kontrolleras vid behov					
Kombiterminal Helsingborg	Kalkstabilisering (3 lager)	kan kontrolleras vid behov					
Väg 273 Stockholm	Cement (CG)	kan kontrolleras vid behov					
Anslutning till Väg 273 Stockholm	Cement (CG)	kan kontrolleras vid behov					
Riksväg 90	Flygaska (solitärt, flera referenssträckor)	Ja				Diskett finns, annars Peter Renman	
Skogsblivsväg (Norrälje)	Bottenaska + Flygaska + Bergkross	Nej					
Skogsblivsväg Venge/Barby	Bottenaska + Flygaska + Bergkross	Nej					
Byggmarknad (ej väg) Knivsta	Bottenaska + Flygaska + Bergkross	Nej					
Väg 95	Skum	Ja				Rapportunderlag finns, styvheten varierar	
Väg 356	Skum	Nej					
Väg 365	Skum	Nej					
Väg 392 Ansvar - Salmi	Skum	Ja				Rapportunderlag finns, styvheten varierar	

Ytterligare referenssträckor å Finland

Alt Mat	Väg	Typ av stabilisering	Byggnadsår
	Luopioinen, Rajalantie	tierakenne/kantava krs, massiivirakenne	1996
Fiberaska	Jämsä, Pt16569,01/1340-2890	Grusväg; stabiliserad med fiberaska*	1998
	Luopioinen, Pihtisalmentie, Pt 13981/1/340/760 ja 13981/1/2000/2500	Grusväg; stabiliserad med fiberaska*	2003
Flygaska	Pt 14567/01; Koria (Elimäki)	Grusväg; stabiliserad med flygaska	2001
	Pt 14567/01/1500-2550; Koria (Elimäki)	Grusväg; stabiliserad med flygaska	1998
	Sipoo, Pt 11636; plv 3200-3580	Asfaltbeläggning; stabiliserade med flygaska	1997
	Tornio, Pt 19552 / 01/1450-2050	Asfaltbeläggning; stabiliserad med flygaska	1999
Gypsum	Maaninka, Käänninmentie, Pt 16207 / 3600-5240	Grusväg, stabiliserad med gips-flygaska	1999
Stålslagg	Tornio, Pt 19552 / 01/1450-2050	Asfaltbeläggning; stabiliserad med stålslagg	1999
Stabiliserad bergkross / äldre terrass el överbyggnad	Rautavaara, K187 - 14/9500-10500	Flygaska och gips som bindemedel	2004
	Maaninka, Käänninmentie, Pt16207 / pvl 30-1700	Flygaska och gips som bindemedel	1999
	Inkoo, Solbergintie, Degerby-Tyris, Pt11146, plv 0-3000	Flygaska som bindemedel	2000
	Luopioinen, Mt 3201/03-04 Kouhijoki-Kynnärö; 3201/2/1058/5851 ja 3201/4/0/7356	Flygaska som bindemedel	2002

*Fiberaska, avser blandning av flygaska och fiberslam

E Exempel på arbetsbeskrivning

Exempel på arbetsbeskrivning

FUD-Sala, Provsträcka med
stabilisering av obundna
material

Datum 2007-04-27
Uppdragsnummer 61780619927
Utgåva/Status Koncept

Peter Ekdahl Peter Ekdahl
Uppdragsledare Handläggare Granskare

Ramböll RST, del av Ramböll Sverige AB
Isbergs gata 3
211 19 Malmö

Telefon 040-10 54 00
Fax 040-30 59 05
www.ramböllrst.se

Organisationsnummer 556133-0506

FUD-Sala, Provsträcka med stabilisering av obundna material Exempel på arbetsinstruktioner

1. Stabiliserad ballast

1.1 Generellt

Dessa arbetsinstruktioner baseras på erfarenheter från liknande projekt i Sverige och Finland. Instruktionerna är skrivna med utgångspunkt att tjäna som exempel för aktuellt projekt (FUD-Sala), där ballastmaterialet (bergkross eller dylikt, eller övre delen av en existerande grusväg) stabiliseras.

Bindemedlet består mestadels av flygaska, som har blandats med cement och Merit 5000. Tillägg av cement och Merit ger en bättre beständig mot frys- och töcykler.

Tester och prövningar i laboratorium före dimensioneringen har utförts för val av bindemedlet och dess mängd. Dessa tester utgör riktvärde för bindemedlets vattenkvot och den bindemedelbundna ballastens packningsgrad. Före användningen av bindemedel måste i vissa fall vatten tillsättas för att otimera bindemedlets reaktivitet.

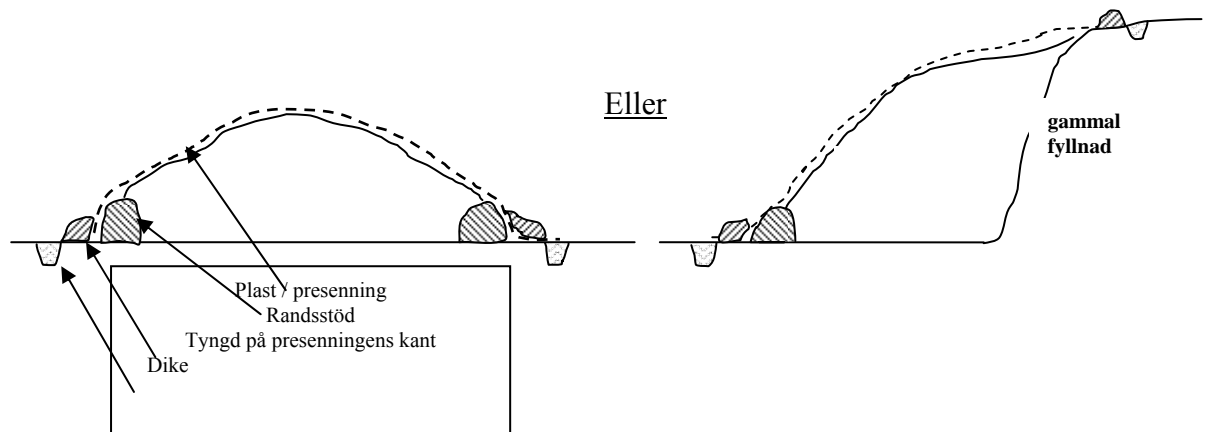
Det är värt att notera att materialens egenskaper varierar något. Därför måste, i synnerhet för flygaskan, både maximal torr skrymdensitet och optimal vattenkvoten kontrolleras före inblandning av bindemedlet. Därefter görs detta vid behov under inblandningsarbetet. Resultat av dessa kontrolltester möjliggör justering av bindemedlet och behov av vatten under byggnadsarbetet.



1.2 Tillverkning av bindemedel

Transport och lagring av bindemedelkomponenter

Torra bindemedelskomponenter (cement och Merit 5000) levereras antingen i stora säckar eller i en bulkbil (till inblandningsställe, där bindemedlet inblandas). Vatten för inblandningen måste finnas tillgängligt (t ex via bulkbil). Flygaskan används torr (utan vattning) vid inblandningen. Lagring görs lämpligen i en silo. Om flygaskan lagras i högar kan följande skyddsmetod användas:



Om högar av flygaska blir våta på ytan så måste den härdade ytan, och allt annat som har härdat, tas bort innan vidare arbete. Bara den torra delen kan användas som bindemedel.

1.3 Inblandning

Bindemedlet framställs på en blandningsstation. Efter att alla torra komponenter har inblandats, inblandas vattnet upp till rätt vattenkvot. Efter vatten har tillförts, måste materialet användas omedelbart (i praktiken inom 4 timmar) för att försäkra en bra härdning. Vid annan målsättning anges åtminstone följande:

- stabiliseringsbredden och -längden (m)
- bindemedelsmängden per väg- m^2 (kg/m^2)
- packningsgraden (%) för det stabiliserade lagret

För inblandningen måste följande detaljer beaktas:

- hantering av alla olika komponenter
- mängden av olika komponenter skall kontrolleras
- inblandningen skall vara homogen
- inblandningskapacitet skall räcka till

Inblandningen utförs av aktör som är ansvarig för inblandningens kvalitetskontroll. I synnerhet är följande synpunkter viktiga:

- Den relativa andelen av olika komponenter för bindemedlet måste vara konstant. Om det konstateras att det inblandade bindemedlet inte motsvarar de krav som har ställts, får bindemedlet inte användas för byggnationen
- Inblandningskvalitet och produktens homogenitet skall uppföljas okulärt vid kvalitetskontrollen under byggnation. Provtagning och prövning av färdiga bindemedelsinblandningar används för kontroll och för att utreda möjliga problemsituationer.
- Den inblandade massan måste användas för byggandet inom fyra (4) timmar efter vatten har inblandats. Äldre massor får inte användas.
- Det rekommenderas att göra en testinblandning före starten av det egentliga inblandningsarbetet.
- Den inblandade massans vattenkvot vid inblandningen är högre än vattenkvoten vid byggandet – genast efter inblandningen av vatten startar reaktioner där flygaska och andra komponenter binder vatten under reaktioner.

1.4 Stabiliseringsprocessen

Ballastlagret:

Efter utläggning av ballastmaterialet för bärlagret kan ballastlagret bevattnas (vid behov, i synnerhet om vädret är torrt eller bindemedlets vattenkvot är låg). På så sätt är vattningsbehovet mindre vid senare processteg och vattnet blir bättre inblandat i ballastskiktet vid fräsningsblandningen (inblandningen av bindemedlet med ballast).

Utläggning av bindemedel:

Bindemedellagret utläggs jämnt på ballastlagret. Tjockleken för bindemedelslagret eller bindemedelsbehov beräknas med hjälp av materialförbrukningskalkyler och vägen areal. Bindemedlet läggs ut med lämplig utrustning på den eventuellt bevattnade ballasten.

Stabiliseringsfräsning:

Efter att bindemedlet lagts ut fräses ballast och bindemedel ihop med en ”stabiliseringsfräs”. Fräsningsdjup bestäms utifrån ballastdjupet (t.ex. 250 mm).

Packning:

Efter infräsning görs eventuellt en avjämning på ytan innan packning.

Så snart som möjligt efter fräsningen utläggs ett tunt lager (ca 50 mm) bergkross/grus på den frästa ytan. Packningen kan (och bör) göras på denna utjämnings-/skyddslager, som skyddar mot t.ex. hjulspår i början av härdningsprocessen. Arbetsmängden är oftast 5 – 7 överfarter (1-vals vibrationsvält, 10-12 ton). Den första överfarten kan med fördel göras utan vibrering. Efter detta skall vägytan avjämnas med en hyvelmaskin och vid behov också vattnas (kontroll med Troxler). Resterande packningsöverfarter görs med vibrering.

Vid packningen måste särskild hänsyn tas till en jämn packning av vägkanterna.

Behovet av packning kan bäst kontrolleras med hjälp av en provpackning (se: kvalitetskontroll) före det egentliga byggandet samt genom Troxler-mätningar under byggnadsarbetes lopp.

Övrigt:

Vid kraftigt regn bör stabiliseringsprocessen avbrytas och bindemedlet skyddas mot regn. Bindemedlet (t.ex. efter utläggningen) får inte påverkas av regn. Skyddslagret utläggs så snart som möjligt för den egentliga packningen. Asfaltbeläggningen kan läggas senare.

1.5 Kvalitetskontroll

Ett detaljerat kontrollprogram kan innehålla följande (siffrorna tjänar som exempel):

1. Kvalitetskontroll av flygaska före början av inblandningsarbete: vattenkvot, kornstorleksfördelning, reaktivitet (hur väl flygaskans egenskaper motsvarar egenskaper av de prov, som använts vid labbförsök).
2. Kvalitetskontroll vid inblandningsarbetet: kontroll av vattenkvot samt den rätta mängden av komponenter i bindemedlet; dokumentering av kontrollresultat och iakttagelser är viktigt. Bindemedelmassornas viktiga parameter måste vara kända och inom toleranser före bindemedlet transporteras till byggnadsplatsen. I början kan kontrollen göras efter varje 30 ton bindemedel. Senare när det har försäkrats att kvalitetsvariationerna är tillräckligt små, kan kontrollen utföras mera sällan, t.ex. efter varje 100 ton bindemedel. Bindemedelmassorna skall följa vissa toleranser (se nedan exempel)

Tabell 1 Exempel på kontrollvariabler

9.1.1.1 Binde medel (inblandning)	Vattenkvot [%]			
	Mål	Godkännande	Måste justeras (antingen vattenkvot eller mängd av bindemedel)	Särskild uppskattning av en ansvarig person / utrangering
Receipt = ...	30 %	20-30 %	w < 25 % tai w > 30 %	w > 40 %

3. Prov (å 2 kg i början av processen och därefter 0,5 kg efter varje 200 inblandade ton) av alla inblandningskomponenter lagras välpackade för extra kontroll vid behov.

4. Dokumentering på byggnadsplatsen

- Bindemedellaster: ankomsttid, placering
- Vädret
- Tiden för olika steg av arbetsprocessen
- Foto (t.ex. på olika steg av arbetsprocessen)

5. Provpackning: Före början av stabiliseringsarbete utförs provpackning. Efter varje övergång med vältmaskinen görs Troxler-mätning. Baserat på dessa resultat väljs arbetsmängd för packningen, dvs. mängd överfarter med välten.

6. Proctortest på ballasten utförs också före början av stabiliseringsarbete för att kontrollera maximal torrdensitet och optimala vattenkvot.

7. Packningsarbetet kontrolleras under hela stabiliseringsprocessens lopp med hjälp av Troxler-mätningar. Mätningar kan göras t.ex. var 100 meter av den stabiliserade vägsträckan, både på mitten och varierande på vänstra och högra kanten (+ 0,5 m) av

vägen. Troxler-mätningar måste omfatta hela lagret (inte bara ytan), dvs. 0-10 cm, 0-20 cm, 0-30 cm.

I början av processen skall Troxler-resultat kalibreras så, att (parallellt med Troxler-mätningar) bestäms vattenkvoten också i laboratoriet (minst 5 parallella mätningar med båda system) och densitet med hjälp av volymetermätningar (minst 3 parallella mätningställe med båda system).

Tabell 2 Exempel på kontroll krav för fräsning och packning

9.1.1.2 Material	Vattenkvot [%]			
	Mål	Godkännande	Måste vattnas	Mera bindemedel
Ballast inblandad med bindemedlet	7.5-8.0 %	6.5 – 9.0 %	< 6.5 %	> 9.0 %

8. Laborrietester / kontrolltester (t.ex. Proctortest och tryckhållfasthet efter 28 d härdning) på provmaterial från den frästa vägsträckan (från mitten och kanterna av vägen) t.ex. efter var 250 meter stabiliserad väg. Behov av provmaterial: á 1 liter.

9. Mätning av lagertjocklekar; dokumentering

10. Uppskattning av använt bindemedel (kg/m^2); dokumentering

2. Stabiliserat lager av bindemedel

2.1 Generellt

Dessa arbetsinstruktioner baseras på erfarenheter från liknande projekt i Sverige och Finland. Instruktionerna är skrivna med utgångspunkt att tjäna som exempel för aktuellt projekt (FUD-Sala) där ett lager av enbart en blandning av olika bindemedel används.

Materialet består för det mesta av flygaska blandas med cement och/eller Merit 5000. Tillägg av cement och Merit åstadkommer att bärlagret är bättre beständigt mot tjälpåverkan och frysning-tiningscykler. Vid inblandningen måste också vatten inblandas så att materialets reaktivitet är optimalt vid härdningen.

Tester i laboriet för dimensioneringen är grundläggande för valet av material. Dessa tester har också grundlagt riktvärde för t.ex. materialets vattenkvot och packningsgrad.

Det är värt att notera att alla materialens egenskaper varierar något. Därför måste i synnerhet för flygaskan både maximal torr skrymdensitet och optimal vattenkvoten kontrolleras innan inblandningen startas. Därefter skall kontroll göras vid behov under inblandningsarbetet. Resultat av dessa kontroller möjliggör justering av materialets behov av vatten under byggnadsarbetet.

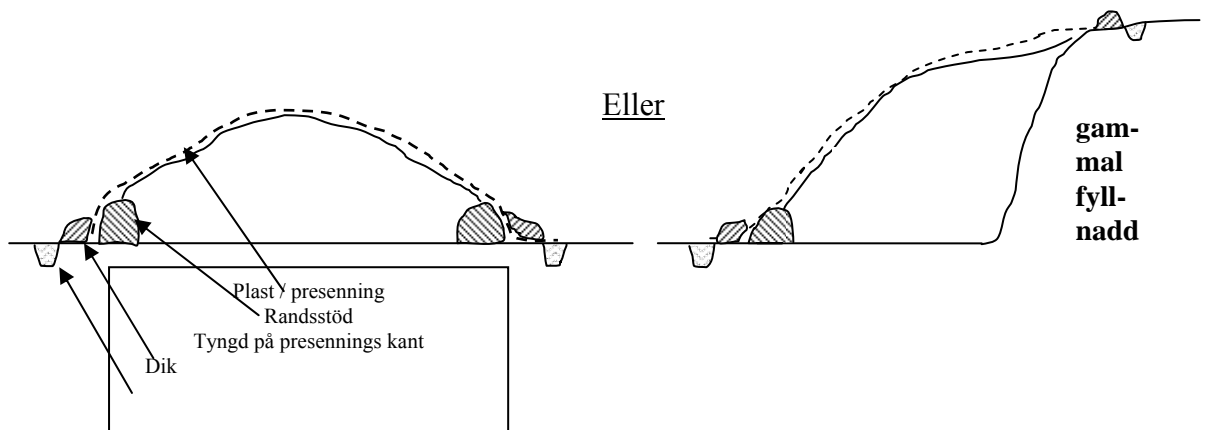
Kvalitetskontroll under byggnation rekommenderas göras enligt de instruktioner som ges här.



2.2 Inblandning av flygaska med cement och Merit

Transport och lagring av komponenter

Torra bindemedelkomponenter (cement och Merit 5000) levereras antingen i stora säckar eller i en bulkbil (till inblandningsställe, där bindemedlet inblandas). Vatten måste finnas tillgängligt även för inblandningen (t.ex. med en bulkbil). Flygaskan används torr (utan vattning) för inblandningen. Om lagring behövs är det bäst att lagra flygaskan i en silo. Om flygaskan måste lagras i högar, kan följande skyddsmetod användas:



Om högen med flygaska blir våt så måste den härdade ytan, och allt annat som har härdat, tas bort. Bara den torra delen kan användas som bindemedel.

Inblandning

Inblandningen ("bindemedlet) framställs på en blandningsstation. Efter att alla torra komponenter har inblandats, inblandas också tillräckligt vatten för den rätta vattenkvoten. Efter vatten har tillsats så måste materialet användas omedelbart (i praktiken inom max. 4 timmar) för att säkerställa en bra härdning efter stabiliseringen. För valet av inblandningsmetoden beaktas följande:

- mängden av olika komponenter skall kontrolleras
- inblandningen skall vara homogen
- inblandningskapacitet skall räcka till

Inblandningen utförs av aktör som också är ansvarig för inblandningens kvalitetskontroll. I synnerhet är följande punkter viktiga:

- Den relativa andelen av olika komponenter för inblandningen måste vara konstant. Om det konstateras att inblandningen inte motsvarar de krav som har ställts, får materialet inte användas för byggandet
- Inblandningskvalitet skall uppföljas också okulärt vid kvalitetskontrollen för byggandet. Provtagning och prövning av färdiga inblandningar används för kontroll och för att utreda möjliga problemsituationer.
- Den inblandade massan måste användas för byggandet inom max. fyra (4) timmar efter vatten har inblandats. Äldre massor skall inte användas.
- Det rekommenderas att göra en testinblandning före starten av det egentliga blandningsarbetet.
- Den inblandade massans vattenkvot vid inblandningen är högre än vattenkvoten vid byggandet – genast efter inblandningen av vatten startar reaktioner där flygaska och andra komponenter binder vatten under reaktioner.

2.3 Byggnation

Kantstöd:

En kantstöd av grus/bergkross rekommenderas på sidorna av underlagret. Med kantstöden är det möjligt att effektivt packa den inblandade massan även nära vägkanterna. Därmed säkerställs också att den inblandade massan inte flödar över vägkanten i diken.

Ett tätt kantstöd kan byggas med hjälp av väghyveln. Dess höjd bör vara minst + 50 mm i jämförelse med det packade bärlagret (om målet för bärlagrets tjocklek är 250 mm, måste kantstödens höjd vara minst 300 mm).

På samma gång kan underlagrets lutning (från vägmitt till de båda kanter) kontrolleras och justeras.

Utläggning och packning av den inblandade massan:

Det är viktigt att utläggning och packning av massorna görs mot transporttrafikens riktning. På detta sätt kan man minimera den tunga trafiken på det nypackade, men inte härdade, bärlagret.

Den inblandade massan utläggs i två lager på det färdiga underlaget t.ex. med hjälp av asfaltläggaren. Båda lager packas lätt men den egentliga packningen görs efter att hela mängden för den rätta tjockleken har nåtts.

Packningen görs med en valsmaskin (vältmaskin). Det rekommenderas att använda en vältmaskin där slagslängden kan justeras. Det bundna bärlagrets övre delar kan packas mera effektivt om det är möjligt att förkorta vältmaskinens slagslängd vid de sista överfarterna.

Arbetsmängden är oftast 4 - 6 överfarter (bestäms med hjälp av provpackning före byggstart). Den första överfarten görs utan vibration, därefter med vibration.

Efter ca 1-3 överfarter direkt på flygskemassan utläggs skyddslagret. På detta körs de tre sista överfarterna. Det översta lagret skyddar även ytan mot regn samt mot t.ex. hjulspår i början av härdningsprocessen. Ingen trafik tillåts på den utlagda flygskamassan före packning.

Innan översta lagret läggs ut skall vägytans lutning och jämnhet kontrolleras och vid behov justeras.

Särskild omsorg måste riktas på packningen vid vägkanter!

Om arbetet måste avbrytas för natten måste lagret täckas med skyddslagret över natten.

Packningssystemet och del lagrens lösa höjd skall kontrolleras och justeras med hjälp av provpackning. Kontrollen görs också vid packningsprocessen.

2.4 Övrigt

Genast efter packning på skyddslagret är vägen färdig att användas åtminstone med lättare trafik. Tyngre trafik samt trafik på vägkanterna bör undvikas under de första dagarna efter packning (helst ca 1 vecka) så att härdningen får starta i lugn och ro. Vid kraftigt regn skall arbetet stoppas och lagret medskyddas. Massan med flygaska (t.ex. efter utläggning) får inte påverkas av regn. Efter att skyddslagret är utlagt stör eller skadar eventuellt regn. Skyddslagret måste i alla fall utläggas så snart som möjligt för den egentliga packningen och alltid före nattetid.

2.5 Kvalitetskontroll

Ett detaljerat kontrollprogram kan innehålla följande (se också instruktioner för stabiliserad ballast):

1. Kvalitetskontroll av flygaska före början av inblandningsarbete: vattenkvot, kornstorleksfördelning, reaktivitet (hur väl flygaskans egenskaper motsvarar egenskaper av det prov, som använts för labförsök).

2. Kvalitetskontroll vid inblandningsarbetet: kontroll av vattenkvot samt den rätta mängden av komponenter i flygskamassan; dokumentering av kontrollresultat och iakttagelser är viktigt. Flygskemassornas viktiga parameter måste vara kända och inom toleranser före det att bindemedlet transporteras till bygglatsen. I början kan kontrollen göras t.ex. efter varje 30 ton av färdig inblandning. Senare, när det har försäkrats att kvalitetsvariationerna är tillräckligt små, kan kontrollen utföras mera sällan, t.ex. efter varje 100 ton av färdig inblandning. De inblandade flygskamassorna bör bestämmas med toleranser .

3. Prov (t.ex. á 2 kg i början av processen och därefter t.ex. 0,5 kg efter varje 200 inblandad ton) av alla inblandningskomponenter lagras välpackade för extra kontroll vid behov.

4. Dokumentering på byggplatsen

- Transporterade laster: ankomsttid, placering

- Vädret
- Tiden för olika steg av arbetsprocessen
- Foto (t.ex. på olika steg av arbetsprocessen)

5. Provpäckning: Före början av byggarbetet utförs provpäckning. Efter varje övergång med välten görs Troxler-mätning. Baserat på dessa resultat väljs arbetsmängd för packningen, dvs. mängd av överfarer med vältmaskinen. Härigenom kontrolleras också packningen för de två separata dellagren av flygaskamassan.

6. Packningsarbetet kontrolleras under hela stabiliseringsprocessen med hjälp av Troxler-mätningar. Mätningar kan göras t.ex. på varje 100 meter av den stabiliserade vägsträckan, både på mitten och varierande på vänstra och högra kanten (+ 0,5 m) av vägen. Troxler-mätningar måste omfatta hela lagret (inte bara ytan), dvs. 0-10 cm, 0-20 cm, 0-30 cm.

I början av processen skall Troxler-resultatet kalibreras så att (parallellt med Troxler-mätningar) bestäms vattenkvoten också i laboratoriet (minst 5 parallella mätningar med båda system) och densitetet med hjälp av volymetermätningar (minst 3 parallella mätningställe med båda system).

7. Mätning av lagertjockleker; dokumentering

3. Kontroll och uppföljning

För att kontrollera/verifiera de askblandade materialens bärighetsbidrag i konstruktionen bör man göra belastningsmätning i fält. Detta bör göras både under byggfasen och efter färdigställandet. Under byggfasen använder man med fördel statisk plattbelastning och på färdig vägtyta tung fallvikt.

Med plattbelastningen kan man konstatera det bidrag asklagret har på Ev2-värdet. Jämförelsetal finns i ATB Väg för olika lagertytor.

Med tung fallvikt samlas deflektionsvärden som sedan kan analyseras så att enstaka lagers E-moduler framgår. Fallviktsdata kan också användas för att bärighetsklassificera hela konstruktionen enligt metodbeskrivning VVMB 114:2000.

Kompletteras med separat program.

F Anmälan Lv 256 – CBÖ

Anmälan om användande av flygaska vid stabilisering av ballast i en vägkonstruktion på väg lv 256 (0/870 – 1/750)

ADMINISTRATIVA UPPGIFTER

Anmälan enligt förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd och tillhörande bilaga med hänvisning till SNI-kod 90.007-C, SFS 1998:899. Användning av stabiliserad ballast i en vägkonstruktion med ringa föroreningsrisk. Bindemedlet som används för stabiliseringen av ballast utgörs av en blandning av flygaska, cement och Merit 5000.

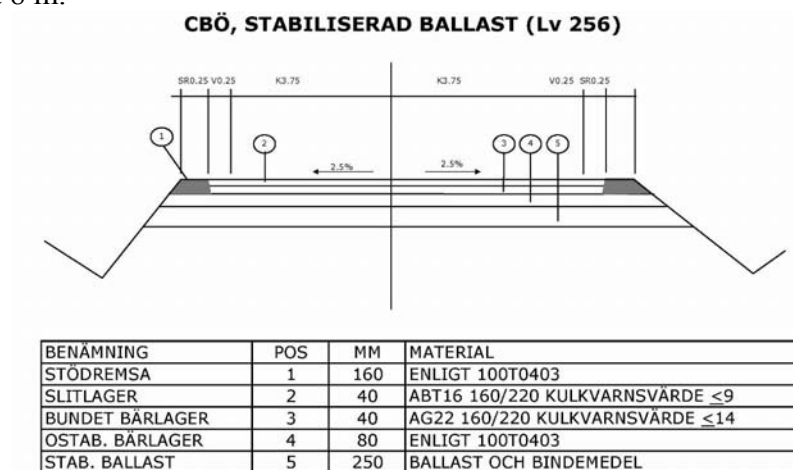
Information om verksamhetsutövaren:

Verksamhetsutövare
Adress
Kontaktperson
Telefon
Fastighetsbeteckning
Fastighetsägare

Vägverket Region Mitt

BESKRIVNING AV VERKSAMHETEN (§ 25, SFS 1998:899)

Inom en del av Vägverkets projekt ”Förbifart Sala” kommer en provsträcka med stabiliserat bärlager att prövas. Provsträckan anläggs som en del av ett FUD-projekt (*Forskning, Utveckling och Demonstration*) och avser en kortare del av Lv 256, sektioner 0/870 – 1/750. Vägkonstruktionens utformning redovisas i Figur 1. Vägens bredd är ca 8 m.



Figur 1 Delar i den planerade vägkonstruktionen på Lv 256 (principskiss).

Genom att stabilisera bärlagret kan vägens bärförmåga bibehållas samtidigt som konstruktion kan göras tunnare varvid materialbehovet kan reduceras. Ballastmaterial stabiliseras med bindemedel bestående av flygaska, cement och Merit 5000. Flygaskan är en kol- och torvbaserad flygaska som levereras av Mälarenergi AB. Blandning av bindemedlet utförs av Mälarenergi, på en fast blandningsstation inom Mälarenergis verksamhetsområde i Västerås. Installation sker genom utläggning av ballast följt av utläggning av bindemedel med asfaltläggare. Damningsrisken minimeras genom att bindemedlet befuktas, vilket är även nödvändigt ur teknisk synpunkt. Blandningsförhållandet bedöms bli mellan 14 – 20 % (procent av torrsvikt) bindemedel och 80 – 86 % ballastmaterial. Därefter fräses ballast och bindemedel ihop. Arbetet avslutas med att materialet packas innan övriga lager läggs ut. Efter packning kommer lagret med det stabiliserade materialet att bli 250 mm tjockt. Åtgången av flygaska är ca 52 ton/100 m och 12 ton cement/merit/100 m. Provsträckans längd bedöms bli ca 880 m, vilket medför att ca 460 ton flygaska kommer att användas som bindemedel i vägkonstruktionen.

BESKRIVNING AV MILJÖEFFEKTER

I den aktuella applikationen bedöms det stabiliserade bärlagret utgöra mindre än ringa föroreningsrisk. Bedömningen baseras på totalhalter och lakningsegenskaper hos ingående material som legat till grund för en generell bedömning baserat på miljöriktlinjer för askor, Bendz et. al (2006).

I samband med bindemedelsinblandning kan damning uppkomma. Eventuell damningsrisk minimeras genom att bindemedlet befuktas. Bindemedlets vattenkvot vid utläggning ligger på ca 25 %.

ANVÄNDNING AV DET STABILISERADE BALLASTMATERIALET I FÖRHÅLLANDE TILL DE SK. HÄNSYNSREGLERNA I 2 KAP. MILJÖBALKEN

- Kunskapskrav (§ 2)

Platsen och materialet är välundersökt.

Kunskap beträffande bindemedlet har inhämtats i form av laboratorieundersökningar beträffande hållfasthet, täthet, total innehåll och lakningsegenskaper. Flygaskors tekniska och miljömässiga egenskaper är dokumenterade i flertalet pilotstudier. Det finns erforderlig erfarenhet av användning av materialet, bl.a. Bendz (2006), Mácsik (2003). Den aktuella applikationen är en vedertagen konstruktion.

Det stabiliserade materialet är väl undersökt med avseende på geotekniska och miljötekniska egenskaper och undersökningsresultaten används för att dimensionera och utforma vägkonstruktionen.

Ballastmaterialet bedöms inte innehålla förhöjda halter av försurande pyrithaltigt material.

- Försiktighetsmått (§ 3)

Planering, projektering och utförandet av provsträckan sker med stöd av ”Vägledning

Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad”, Vägverket (2007) och Handbok - Flygaska

i mark- och vägbyggnad, SGI Information 18.4. 2006.

Arbetet utförs under hösten, vilket leder till att risken för damning minimeras. Sträckan byggs inte intill bostadshus, minsta avståndet är ca 50 m. Inga brunnar finns inom ett område på ca 50 m från vägsträckan. Det stabiliserade lagret kommer att placeras ovan grundvattenytan med god marginal. För att undvika damning på plats levereras bindemedlet ”jordfuktigt” tillstånd (med vattenhalt på ca 20 %). Bindemedel och ballast blandas på plats.

Kontroll avseende tekniska egenskaper baseras på krav för cementbundna lager enligt ATB Väg 2005. Kontrollprogram av applikationens miljöeffekt sker med hjälp av analys av jord-, ytvatten- och grundvattenprover före (referens) och efter utförandet, se Tabell 1. Fyra grundvattenrör (miljörör) installeras på sträckan. Jordprover tas på 0- 150 mm djup.

Tabell 1 Kontrollprogram miljö.

Prov till analys	Antalet prover per år		
	Före utförande	Efter utförande	År 2
Grundvatten ref ^{&}	1	1	1
Grundvatten 1 ^{&}	1	1	1
Grundvatten 2 ^{&}	1	1	1
Grundvatten 3 ^{&}	1	1	1
Ytvatten, referens ^{&}	1	1	1
Ytvatten 1 ^{&}	1	1	1
Ytvatten 2 ^{&}	1	1	1
Jordprov ref [£]	1	-	-
Jordprov 1 [£]	-	1	1
Jordprov 2 [£]	-	1	1

[&] Vattenprov, analys utförs exempelvis av enligt analysmetod V-3a (Analytica eller motsvarande) efter filtrering samt mätning av pH och kond.

[£] Jordprover undersöks enligt analysmetod MG1 + pH (Analytica eller motsvarande).

- Produktvalsprincipen (§ 4)

Genom att stabilisera bärlagret visar undersökningar och erfarenheter att vägens bärförmåga ökar samtidigt som materialbehovet minskar. Det finns också underlag som visar att underhållsbehovet av vägen minskar genom att stabilisera bärlagret med bindemedel, Lahtinen (2001). Syftet med den aktuella provsträckan är att den ska tjäna som underlag för en närmare bedömning av lämplighet och potential för lösningar med stabilisering av obundna lager.

Den minskade åtgången av ballast blir av storleksordningen 0,4 m per löpmeter väg, vilket motsvarar ca 5 600 ton på den aktuella sträckan. Materialvalet motiveras med att lösningen inte medför ökad miljöpåverkan och sparar naturresurser samt energiåtgång.

- Hushållning (§ 5)

Konstruktionen medför att råvaror, transporter och energi sparas samt att de goda tekniska egenskaperna hos materialet kommer till användning. Objektspecifik miljösystemanalys är inte utförd, däremot finns det angränsande studier, Kärrman (2006) som visar att användning av flygaska (bio-, torv- och kolflygaska) i anläggningstekniska applikationer ger miljönytta bl.a. i form av låga emissioner till vatten och besparing av naturresurser och energi.

När konstruktionen tjänat ut bedöms det stabiliserade materialet kunna återbrukas i vägapplikation. I det fall detta inte är aktuellt kan materialet deponeras.

- Val av plats (§ 6)

Lokalisering har ingått i bedömningen av miljöeffekter och det stabiliserade ballastmaterialet används inte i ett område med stort eller mycket stort skyddsvärde eller känslighet. Avståndet till enskilda brunnar längs sträckan är större än 50 m.

Området längs vägsträckningen är klassat som särskilt värdefullt strövområde, 0/900 m – 1/750.

- Rimlighetsavvägning (§ 7)

Projektet avser användning av flygaska som bindemedel för stabilisering av ballast i ett forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprojekt inom vilket en provsträcka utförs. Användning av stabiliserat lager i vägkonstruktionen har bedömts ge upphov till en platsspecifik föroreningsrisk som är mindre än ringa.

Provsträckan följs upp med kontrollprogram avseende miljö- och teknik. Den medför även tekniska och miljömässiga fördelar genom minskade transporter, bättre

resurshållning, minskad energiåtgång och ökad bärförmåga samt minskade drift- och underhållskostnader.

BILAGOR:

- Plan-, sektions- och profilritningar (ej bilagda)

Referenser (ej bilagda):

- Arbetsplan för väg 67 och 70 vid Sala, Vmn 100 75, Miljökonsekvensbeskrivning, 27 juni 1995.
- Vägverket (2007): *Vägledning – Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad*. Under tryckning, kontaktperson Lindgren Åsa, Vägverket Borlänge, tel 0243-75 000.
- Bendz D., Wik O., Elert M. och Håkansson K. 2006. *Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande*. Värmeforsk, Miljöriktig användning av askor rapport 979 www.varmeforsk.se/databas/databas_index.html.
- SGI Information 18.4. 2006. Handbok - Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar. www.swedgeo.se/publikationer/sgi-inf.html
- E. Kärrman, S Ohlsson, Y. Magnusson och Anna Petersson (2006). Miljösystemanalys för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande, Värmeforsk rapportserie, www.varmeforsk.se/databas/databas_index.html
- J. Mácsik (2003). Askblandningar i anläggningsprocesser (etapp 2). EU:s strukturfond Mål 1 Södra skogslänsregionen. www.z.lst.se/eu/index.htm
- P. Lahtinen (2001). Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads. Doctoral Thesis Finnra Reports 70/2001. Helsinki University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki Finland.
- Byggvarudeklaration, yttre miljö – Cement http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/667B7534-D61B-4950-B594-0FF88D4B1064/0/Byggvarudeklarationcement_dec03.doc
- Merit 5000, typgodkänd av SITAC, <http://www.merox.se/index.pl/merit>
- Totalinnehåll och lakningstest – bindemedel

G Anmälan Enskild väg – CGÖ

Anmälan om användande av flygaska i stabiliserat lager i en vägkonstruktion, på enskild väg parallellt rv 70, 1/200 – 1/800

ADMINISTRATIVA UPPGIFTER

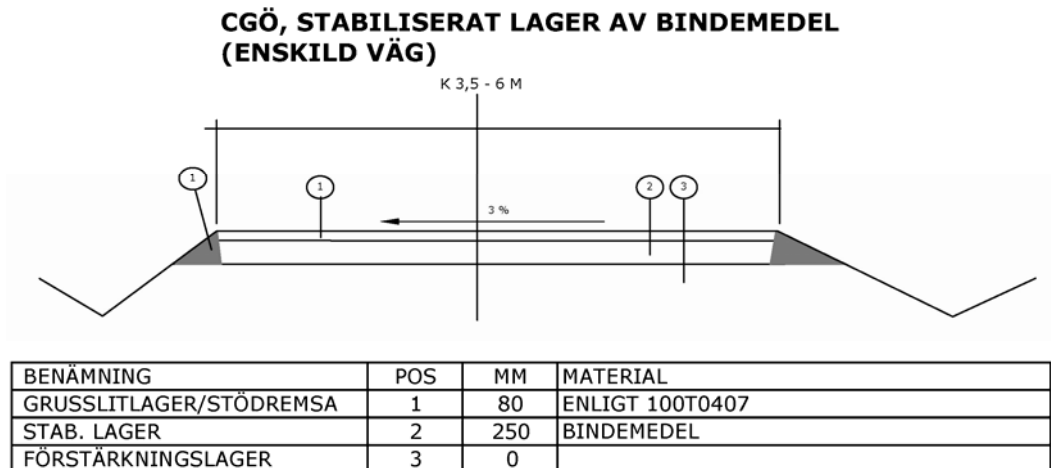
Anmälan enligt förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd och tillhörande bilaga med hänvisning till SNI-kod 90.007-C, SFS 1998:899. Användning av stabiliserat lager i en vägkonstruktion med ringa föroreningsrisk.

Information om verksamhetsutövaren:

Verksamhetsutövare	Vägverket Region Mitt
Adress	
Kontaktperson	
Telefon	
Fastighetsbeteckning	
Fastighetsägare	

BESKRIVNING AV VERKSAMHETEN (§ 25, SFS 1998:899)

Inom en del av Vägverkets projekt ”Förbifart Sala” kommer en provsträcka med stabiliserat lager att provas. Provsträckan anläggs som en del av ett FUD-projekt (Forskning, Utveckling och Demonstration) och avser en kortare del av en grusväg parallellt Rv 70, sektioner 1/200 – 1/800. Vägkonstruktionens utformning redovisas i figur 1. Vägens bredd är ca 3,5 m.



ÖVRIGT: EROSIONSSKYDD, MATERIALSKILJANDE LAGER ENLIGT 100T0407

Figur 1 Delar i den planerade vägkonstruktionen på enskild väg (principskiss CGÖ).

Genom ett stabiliserat lager kan vägens bärighet bibehållas med en tunnare konstruktion och materialbehovet kan därmed minskas. Flygaska stabiliseras med bindemedel bestående av 93 % (procent av torrsvikt) flygaska och 7 % cement/merit 5000. Damningsrisken minimeras genom att bindemedlet befuktas, vilket är även nödvändigt ur teknisk synpunkt. Flygaskan är en kol- och torvbaserad flygaska som levereras av Mälarenergi AB. Blandning av bindemedlet utförs av Mälarenergi, på en fast blandningsstation inom Mälarenergis verksamhetsområde i Västerås.

Installation sker genom utläggning av bindemedel med asfaltläggare. Därefter packas det utlagda materialet innan slitlager läggs ut. Efter packning kommer lagret med det stabiliserade materialet att bli 250 mm tjockt. Materialåtgången beräknas till ca 120 ton flygaska/ 100 m väg och ca 8 ton cement/Merit 5000 per 100 m. Sträckans längd bedöms bli ca 600 m, vilket medför att ca 710 ton flygaska kommer att användas som bindemedel i vägkonstruktionen.

BESKRIVNING AV MILJÖEFFEKTER

I den aktuella applikationen bedöms vägkonstruktionen med det stabiliserade lagret utgöra mindre än ringa föroreningsrisk. Bedömningen baseras på totalhalter och lakningsegenskaper hos ingående material som legat till grund för en generell bedömning baserat på miljöriktlinjer för askor, Bendz et. al (2006).

Eventuell damningsrisk minimeras genom att bindemedlet befuktas inom Mälarenergis verksamhetsområde i Västerås. Bindemedlets vattenkvot vid utläggning och packning ligger på ca 25 %.

ANVÄNDNING AV DET STABILISERADE BALLASTMATERIALET I FÖRHÅLLANDE TILL DE SK. HÄNSYNSREGLERNA I 2 KAP. MILJÖBALKEN

- Kunskapskrav (§ 2)

Platsen och materialet är välundersökt.

Kunskap beträffande bindemedlet har inhämtats i form av laboratorieundersökningar beträffande hållfasthet, täthet, total innehåll och lakningsegenskaper. Flygaskors tekniska och miljömässiga egenskaper är dokumenterade i flertalet pilotstudier. Det finns erforderlig erfarenhet av användning av materialet, bl.a. Bendz (2006), Mácsik (2003). Den aktuella applikationen är en vedertagen konstruktion.

Det stabiliserade materialet är väl undersökt med avseende på geotekniska och miljötekniska egenskaper och undersökningsresultaten används för att dimensionera och utforma vägkonstruktionen.

Försiktighetsmått (§ 3)

Planering, projektering och utförandet av provsträckan sker med stöd av ”Vägledning Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad”, Vägverket (2007) och Handbok - Flygaska i mark- och vägbyggnad, SGI Information 18.4. 2006.

Arbetet utförs under hösten, vilket leder till att risken för damning minimeras. Sträckan byggs inte intill bostadshus, minsta avståndet är ca 750 m. Inga brunnar finns inom ett område på ca 75 m från vägsträckan. Det stabiliserade lagret kommer att placeras ovan grundvattenytan med god marginal. För att undvika damning på plats levereras bindemedlet ”jordfuktigt” tillstånd (med vattenhalt på ca 20 %).

Kontroll avseende tekniska egenskaper baseras på krav för cementbundna lager enligt ATB Väg 2005. Kontrollprogram av applikationens miljöeffekt sker med hjälp av analys av jord-, ytvatten- och grundvattenprover före (referens) och efter utförandet, se Tabell 1. Fyra grundvattenrör (miljörör) installeras på sträckan. Jordprover tas på 0- 150 mm djup.

Tabell 1 Egenkontroll, miljö

Prov till analys	Antalet prover per år		
	Före utförande	Efter utförande	År 2
Grundvatten ref ^{&}	1	1	1
Grundvatten 1 ^{&}	1	1	1
Grundvatten 2 ^{&}	1	1	1
Dikesvatten, referens ^{&}	1	1	1
Dikesvatten 1 ^{&}	1	1	1
Dikesvatten 2 ^{&}	1	1	1
Jordprov ref [£]	1	-	-
Jordprov 1 [£]	-	1	1
Jordprov 2 [£]	-	1	1

[&] Vattenprov, analys utförs exempelvis av enligt analysmetod V-3a (Analytica eller motsvarande) efter filtrering samt mätning av pH och kond.

[£] Jordprover undersöks enligt analysmetod MG1 + pH (Analytica eller motsvarande).

- Produktvalsprincipen (§ 4)

Genom att stabilisera bärlagret visar undersökningar och erfarenheter att vägens bärförmåga ökar samtidigt som materialbehovet minskar. Det finns också underlag som visar att underhållsbehovet av vägen minskar genom att stabilisera bärlagret med bindemedel, Lahtinen (2001). Syftet med den aktuella provsträckan är att den ska tjäna som underlag för en närmare bedömning av lämplighet och potential för lösningar med stabilisering av obundna lager.

Reduceringen av krossad ballast förväntas bli av storleksordningen 0,2 m per löpmeter väg, vilket motsvarar ca 800 ton per 600 m väg. Materialvalet motiveras med att lösningen inte medför ökad miljöpåverkan och sparar naturresurser samt energiåtgång.

- Hushållning (§ 5)

Konstruktionen medför att råvaror, transporter och energi sparas samt att de goda tekniska egenskaperna hos materialet kommer till användning. Objektspecifik miljösystemanalys är inte utförd, däremot finns det angränsande studier, Kärroman (2006) som visar att användning av flygaska (bio-, torv- och kolflygaska) i anläggningstekniska applikationer ger miljönytta bl.a. i form av låga emissioner till vatten och besparing av naturresurser och energi.

När konstruktionen tjänat ut bedöms det stabiliserade materialet kunna återbrukas i vägapplikation. I det fall detta inte är aktuellt kan materialet deponeras.

- Val av plats (§ 6)

Lokalisering har ingått i bedömningen av miljöeffekter och det stabiliserade lagret används inte i ett område med stort eller mycket stort skyddsvärde eller känslighet. Avståndet till enskilda brunnar längs sträckan är större än 70 m.

Området längs vägsträckningen saknar särskilda naturvärden.

- Rimlighetsavvägning (§ 7)

Projektet avser användning av flygaska som bindemedel för stabiliserat bärlager i ett forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprojekt inom vilket en provsträcka utförs. Användning av stabiliserat lager i vägkonstruktionen har bedömts ge upphov till en platsspecifik föroreningsrisk som är mindre än ringa.

Provsträckan följs upp med kontrollprogram avseende miljö- och teknik. Den medför även tekniska och miljömässiga fördelar genom minskade transporter, bättre resurshållning, minskad energiåtgång och ökad bärförmåga samt minskade drift- och underhållskostnader.

BILAGOR:

- Plan-, sektions- och profiltritningar (bifogas ej)

Referenser (ej bilagda):

- Arbetsplan för väg 67 och 70 vid Sala, Vmn 100 75, Miljökonsekvensbeskrivning, 27 juni 1995.
- Vägverket (2007): *Vägledning – Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad*. Under tryckning, kontaktperson Åsa Lindgren Vägverket Borlänge, tel 0243-75 000.
- Bendz D., Wik O., Elert M. och Håkansson K. 2006. *Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande*. Värmeforsk, Miljöriktig användning av askor rapport 979 www.varmeforsk.se/databas/databas_index.html .
- SGI Information 18.4. 2006. Handbok - Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar. www.swedgeo.se/publikationer/sgi-inf.html
- E. Kärrman, S Ohlsson, Y. Magnusson och Anna Petersson (2006). Miljösystemanalys för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande, Värmeforsk rapportserie, www.varmeforsk.se/databas/databas_index.html
- J. Mácsik (2003). Askblandningar i anläggningsprocesser (etapp 2). EU:s strukturfond Mål 1 Södra skogslänsregionen. www.z.lst.se/eu/index.htm
- P. Lahtinen (2001). Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads. Doctoral Thesis Finnra Reports 70/2001. Helsinki University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki Finland.
- Byggvarudeklaration, yttre miljö – Cement http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/667B7534-D61B-4950-B594-0FF88D4B1064/0/Byggvarudeklarationcement_dec03.doc
- Merit 5000, typgodkänd av SITAC, <http://www.merox.se/index.pl/merit>
- Totalinnehåll och lakningstest - bindemedel

H Kontrollprogram CBÖ

FUD – Sala, Provsträcka med stabilisering av obundna material

Kontrollprogram - CBÖ



Datum	2007-04-27
Uppdragsnummer	2006022
Utgåva/Status	Koncept 2007-08-14
Organisation	Ecoloop AB
Uppdragsledare	Bo Svedberg
Handläggare	Josef Mácsik, Peter Ekdahl
Beställarens referens	Värmeforsk Service AB, Projekt Q6-632

Inledning

Bakgrund

Inom ramen för rubricerat projekt ingår att ta fram ett program för kontroll och uppföljning med avseende på utförande och användning av de produkter som tas fram i den första delen av projektet FUD-Sala. Projektet Förbifart Sala tillämpar idag en egenkontroll med entreprenören som utförare och beställaren gör ”stickprov”.

Syfte

Syftet med programmet är att identifiera olika funktionella egenskaper som ska verifieras i samband med utförandet och användning av framtagna produkter. Programmet ska vidare tjäna som underlag för kalkylering av kostnader förknippade med kontroll relaterat till utförandet.

Metod/tillvägagångssätt

Programmet tar sin utgångspunkt i ATB VÄG 2005 och då främst kapitel G3 för CBÖ (ballast+tillsatsmaterial).

Beskrivning av åtgärder sker utifrån kapitel G3 (bifogas ej).

Definitioner

- CBÖ (tidigare GBÖ): Överbyggnad med bitumenbundet slitlager och en stabiliserad ballast eller mao ett bindemedelsbundet bärlager.
- Bindemedel: Bindemedel består av en blandning av flygaska, cement och Merit 5000.

Avgränsning

I det kontrollprogram som föreslås här ingår inte aktiviteter avseende FoU.

Detta kontrollprogram avser det stabiliserade lagret och ej kontroll av angränsande konstruktionsdelar eller konstruktionen som helhet.

CBÖ, STABILISERAD BALLAST (IV 256)

I avsnitt G3 med komplettering behandlas bärlager av bundet grus. Kraven med avseende på hållfasthet, tjocklek, jämnhet och tvärfall avseende bärlager av bundet grus anges och har formulerats för statistisk acceptansk kontroll.

UTFORMNING

G3 Bärlager av bindemedelbundet grus, nybyggnad

För information avseende vald typsektion se PM Dimensionering, daterat 2007-04-27.

G3.1 Utformning

G3.1.1 Bredd

Bredden är samma som bredden på slitlager av asfalt. Stödremsa av krossat bergmaterial ”vallar” in den stabiliserade ballasten.

G3.1.2 Sprickanvisningar

Inga.

G3.1.3 Hållfasthet

Lager med CG skall uppfylla kraven på tryckhållfasthet enligt Tabell G3.1-1a. Hållfastheten skall kontrolleras enligt avsnitt G3.4.1.

Tabell G3.1-1a Krav på tryckhållfasthet bestämd vid normaltidsprovning, dvs efter 28 dygn.

	Stabiliserad ballast i CBÖ-konstruktion MPa
Medelvärde \bar{x}	≥ 6
Standardavvikelse, s	-
Grovt fel G_f för enskilt mätvärde	≤ 3

G3.1.4 Lagertjocklek

Kontroll av mängd utlagd ballast kan ske med hjälp av vägning. Kontroll av bindemedelsmängd per ytenhet kan utföras exempelvis med hjälp av duk med känd yta, där efter utläggning vägs materialet som hamnade på dukmaterialet. För att beräkna andelen bindemedel behövs materialens torrdensitet, vattenkvot och den utlagda tjockleken hos respektive lager, samt ytans storlek.

Avvikelse: Den beräknade bindemedelsmängden kan variera inom intervallet 15 ± 3 viktprocent (beräknad på torr vikt).

Lager med CG skall uppfylla kraven på tjocklek enligt Tabell G3.1-2. Övre gränser får överskridas om kraven på nivå på ovanliggande lager kan uppfyllas. Tjockleken skall kontrolleras enligt avsnitt G3.4.2.

Tabell G3.1-2 Krav på tjocklek.

	Stabiliserad ballast i CBÖ-konstruktion mm
Medelvärde \bar{x}	inom $R \pm (10 - 0,62s)$
Standardavvikelse, s	≤ 15
Grovt fel G_f för enskilt mätvärde	$\leq R - 20$

R är den tjocklek som tagits fram vid dimensionering i detta fall 250 mm.

G3.1.5 Jämnhet

Lager med CG skall uppfylla kraven på jämnhet enligt Tabell G3.1-3.

Jämnheten skall kontrolleras enligt avsnitt G3.4.3.

Tabell G3.1-2 Krav på jämnhet.

A och B mm	C Mm	A-C samt B-C mm
≤ 5	≤ 8	≤ 8

G3.1.6 Tvärfall

Lager med CG skall uppfylla kraven på tvärfall enligt Tabell G3.1-4.

Tvärfallet skall kontrolleras enligt 3.4.4.

Tabell G3.1-4 Krav på tvärfall.

	Krav på tvärfall
Rätskiva	$S \leq 0,55$ \bar{x} inom $0 \pm (0,55 - 0,46s)$
Bogserad mätvagn	$\bar{x}_i \quad 0 \pm 1,2$ för 95% av den kontrollerade körfältslängden och alla x_i inom $0 \pm 1,4$

G3.2 Material

Ingående material till den stabiliserade ballasten skall ha kända och dokumenterade egenskaper i de avseenden som har betydelse för deras användning.

Delmaterial får inte innehålla skadliga mängder av sådana beståndsdelar som kan försämra det stabiliserade lagrets egenskaper eller funktion.

G3.2.1 Ballast

Ballast med kornstorleksfördelning 0/45 nyttjas.

Material skall vara deklarerade enligt europeisk standard SS-EN 13242 ”Ballast för obundna och hydrauliskt bundna material till väg- och anläggningsbyggande”.

Vid tillverkning av ballast skall ballast som är lämplig med hänsyn till kemisk och fysikalisk påverkan användas.

G3.2.1.1 Krav på deklarerade egenskaper

Materialegenskaper beskrivna i avsnitt E11.1.1.1 i ATB Väg 2005 skall vara deklarerade.

G3.2.2 Bindemedel

Bindemedlets kvalitet kontrolleras av leverantören (Mälarenergi) som verifierar detta genom följesedel. Bindemedelblandningen består av 80 % flygaska, 10 % cement och 10 % Merit 5000 mätt som viktprocent.

Mälarenergi utför kontinuerlig kontroll av blandningskvaliteten. Bindemedlets vattenkvot direkt vid utläggning ligger på 25 %.

G3.2.3 Vatten

Skall uppfylla kraven i EN 1008.

G3.3 Utförande

G3.3.1 Tillverkning och utförande

Blandningsreceptet vid stabilisering av ballast är 850 kg ballast och 150 kg bindemedel med avseende på torrsvikt.

Bindemedlets, ballastens och produktens (det stabiliserade lagret) vattenkvot är av intresse av flera orsaker. Vatten styr nämligen både härdning och packningsegenskaper. På grund av härdning blir även tiden mellan blandning och packning av färdig produkt en viktig parameter. Produktens vattenkvot ska vara optimal för packning. Optimal vattenkvot vid packning ligger på ca 6,5 %.

För att blanda ballast och bindemedel finns det olika strategier. Nedan ges det tre exempel:

Strategi 1: Ballast och bindemedel blandas på en blandningsstation. Vatten tillsätts vid blandningen för att uppnå optimal vattenkvot, ca 6,5 %. Blandningsstationen kan vara ett stationärt eller mobilt verk. Den färdiga blandningen transporteras sedan till

den aktuella vägen på flakbil som bör vara täckt under transport. Transporten ska planeras så att väntetid på arbetsplatsen undviks. Blandningen läggs ut med någon typ av läggare (asfaltläggare) vid behov justeras med väghyvel och packas med vält. För att beräkna utläggningstjockleken behövs kunskap om materialets torrdensitet före och efter packning.

Strategi 2: Blandningen av ballast och bindemedel sker direkt på vägen. Utläggning sker genom utläggning av ballast i ”rätt” tjocklek”. Ballastmaterialet befuktas så att det stabiliserade ballastmaterialets vattenkvot blir ca 6,5 %. Utläggning av bindemedel sker med asfaltläggare i ”rätt” tjocklek. Bindemedlets vattenkvot är ca 25 %. Med hjälp av ballastmaterialets respektive bindemedlets torrdensitet kan tjockleken hos respektive lager räknas fram. Efter utläggning av bindemedellagret fräses ballast och bindemedel ihop. Lagret justeras därefter med väghyvel och packas med vält.

Strategi 3: Bindemedlets vattenkvot är 25 %. Ballastmaterialets vattenkvot anpassas för att blandningens vattenkvot ska ligga på ca 6,5 %. Ballast och bindemedel blandas med hjälp av skopa. Blandningen kan utföras på samma ställe där ballastmaterial lagras. Den färdiga blandningen transporteras sedan till den aktuella vägen på flakbil som bör vara täckt under transport. Transporten bör planeras så att väntetid på arbetsplatsen undviks. Blandningen läggs ut med någon typ av läggare samt justeras med väghyvel och packas med vält. För att beräkna utläggningstjockleken behövs kunskap om materialets torrdensitet före och efter packning.

Generella krav: Stabiliserad ballast får inte läggas på fruset underlag och får inte utsättas för minusgrader under de första 30 dyggen efter utförandet. Vid läggningen får inte fritt vatten finnas på underlaget. Vattenkvoten anpassas för att uppnå optimal packning och väntetid på arbetsplatsen bör undvikas. Observera att bindemedlet ska skyddas mot regn före infräsning och packning.

Packning: Efter blandning av ballast och bindemedel jämnas utan av och packning utförs med vibrationsvält (10-12 t). Därefter läggs ett lager (50 mm) på ytan, bestående av obundet bärlager. Packningen fortsätter på denna utjämnings-/skyddslager, som också skyddar ytan mot t.ex. hjulspårbildning i början av härdningsprocessen. Arbetsmängden är bedöms bli 5 – 7 överfarer med vältmaskin. Den första övergången görs utan vibrator resterande överfarer sker med vibrator. Efter avslutad packning justeras vägytan med väghyvel. Vid behov vattnas vägytan. Viktigt att vägkanterna får en jämn packning. Behov av arbetsmängden för att uppnå tillräcklig packning kan kontrolleras med hjälp av provpackning som utförs i förväg. Packningsgrad kan mätas med Troxler under byggnadsarbetes lopp.

Råd om proportionering, tillverkning och utläggning av bindemedelsbundet grus finns i Svensk Byggtjänst publikation "Betonghandboken, Arbetsutförande", avsnitt 23.2.

För att uppnå funktionskraven krävs det även kontroll av de ingående materialens och blandningens vattenkvot, andel bindemedel och dess "härdningskapacitet".

G3.3.1.1 Vattenkvot

Den stabiliserade ballastens vattenkvot ska vara ca 6,5 %. Bindemedlets vattenkvot är ca 25 %, vilket utgör ca 3 % vattenkvot hos den stabiliserade ballasten. Ballastmaterialets vattenkvot bör ligga runt $4,1 \pm 1$ % för att säkerställa vattenkvot på 6,5 % hos den stabiliserade ballasten.

Efter utläggningen bevattnas lagret (vid behov, i synnerhet om vädret är torrt eller om bindemedlets vattenkvot är låg). Bevattningsbehovet minskar därmed i senare processteg och en mer homogen vattenkvot kan uppnås.

Under störtregn ska stabiliseringsarbetet avstanna. Bindemedlet skyddas mot regn: Efter den första packningen stör eller skadar eventuellt regn inte det stabiliserade ballastmaterialet. Skyddslagret ska läggas ut snarast möjligt.

G3.3.1.2 Bindemedel (blandning)

Bindemedlets vattenkvot vid leverans är ca 25 % (naturfuktigt). Observera att bindemedel som lagras förlorar sin härdningskapacitet och kan inte nyttjas som bindemedel.

G3.3.1 Härdning

Det utförda stabiliserade lagret skall skyddas mot uttorkning. Någon av följande metoder kan användas:

- ✓ Försegling med obundet bärlager (vilket föreslås tillämpas i projektet).
- ✓ Täckning med geotextil. Geotextilen bör ligga kvar och hållas fuktig med vatten under minst 5 dygn.
- ✓ Härdning med vatten under minst 5 dygn.

G3.4 Kontroll

Kontroll av att kraven på hållfasthet, lagertjocklek, jämnhet och tvärfall uppfylls skall ske enligt de metoder för statistisk acceptanskontroll som anges i VVMB 908 "Statistisk acceptanskontroll" och med iakttagande av de ytterligare anvisningar för stickprovsurval, mätning mm.

Kontrollen för byggarbetsplatsen omfattar kompletteringar avseende vattenkvot (G3.4.5) och packningsgrad (G3.4.6).

G3.4.1 Hållfasthet

Kontroll av hållfastheten skall utföras enligt Tabell G3.4-1.

Tabell G3.4-1 Kontroll av tryckhållfasthet vid normaltidsprovning av provkroppar från det stabiliserade lagret.

Kontrollobjekt	3 000 m ² lageryta. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten ½, se VVMB 908.
Stickprov	n = 9, borrkärnor uttagna vid kontrollpunkter bestämda med slumpmässigt urval inom kontrollobjektets yta enligt VVMB 908. Alternativt kan kontroll utföras på samma borrkärnor som tagits ut för kontroll av tjocklek.
Mätförfarande	Hållfasthetsmätning av provkropp enligt SS EN 12504-1 och SS EN 13286-41. Borrkärnor skall ha slankhetstalet 1,0.
Mätvariabel	Normaltidsvärde för provkroppens tryckhållfasthet (MPa).
Kriterievariabel	x , s, G _f
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.3.

G3.4.2 Tjocklek

Kontroll av tjockleken skall utföras enligt Tabell G3.4-2.

Tabell G3.4-2 Kontroll av tjocklek av det stabiliserade lagret.

Kontrollobjekt	3 000 m ² lageryta. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten ½, se VVMB 908.
Stickprov	N=9, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt slumpmässigt förfarande beskrivet i VVMB 908.
Mätförfarande	Provkroppar tas ut enligt SS EN 12504-1. Lagertjockleken bestäms med mätning enligt VVMB 903.
Mätvariabel	Lagertjocklek (mm).
Kriterievariabler	x , s, G _f
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.4

G3.4.3 Jämnhet

Kontroll av jämnheten skall utföras enligt Tabell G3.4-3.

Tabell G3.4-3 Kontroll av jämnhet av det stabiliserade lagret.

Kontrollobjekt	Vägsträcka av 400 m längd eller körfält av 800 m längd. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten $\frac{1}{2}$, se VVMB 908.
Stickprov	N = 15, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt förfarande med urvalsmall, beskrivet i VVMB 107 och VVMB 908.
Mätförfarande	3 m rätskiva med tre mätdon. Mätning skall utföras enligt VVMB 107.
Mätvariabler	Rätskivenormal avvikelse (mm) i var och en av rätskivans mätpunkter (1, 2 och 3).
Kriterievariabler	<i>I varje kontrollpunkt:</i> A: Rätskivenormal avvikelse i mätpunkt 1 B: Rätskivenormal avvikelse i mätpunkt 3 C: Rätskivenormal avvikelse i mätpunkt 2 Differens: A-C och B-C. <i>Totalt:</i> Andel kontrollpunkter med godkända värden på samtliga kriterievariabler.
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.5 Antalet godkända kontrollpunkter skall vara minst 12 av 15.

G3.4.4 Tvärfall

Kontroll av tvärfall skall utföras men någon av metoderna enligt Tabell G3.4-4 eller Tabell G3.4-5.

Tabell G3.4-4 Stabiliserat lager. Kontroll av tvärfall genom mätning med rätskiva.

Kontrollobjekt	Vägsträcka av 400 m längd eller körfält av 800 m längd. Samtliga kontrollobjekt skall undersökas.
Stickprov	N = 15, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt förfarande med urvalsmall, beskrivet i VVMB 107 och VVMB 908.
Mätförfarande	3 m rätskiva, med monterad lutningsmätare. Mätning skall utföras enligt VVMB 107.
Mätvariabler	Avvikelse från riktvärdet för lagerytans lutning tvärs vägen, mätt i procentenheter.
Kriterievariabler	x, s.
Acceptansvillkor	Enligt krav i avsnitt G3.1.6.

Tabell G3.4-5 Stabiliserat lager. Kontroll av tvärfall genom mätning med bogserad mätvagn.

Kontrollobjekt	Vägsträcka av 400 m längd eller körfält av 800 m längd. Samtliga kontrollobjekt skall undersökas.
Stickprov	Kontinuerlig analog mätning.
Mätförfarande	Mätning skall utföras enligt VVMB 108.
Mätvariabler	Maximal avvikelse från riktvärdet för lagerytans lutning tvärs vägen, mätt i procentenheter.
Kriterievariabler	x_i (enskild observation).
Acceptansvillkor	Se krav på tvärfall, avsnitt G3.1.6.

G3.4.5 Vattenkvot

Vattenkvoten bestäms för första lasset samt därefter minst en gång per påbörjad 100 m³.

Kontrolleras innan blandning och packning:

Material	Vattenkvot [%]			
	Mål	Godkänns	Måste vattnas	Mera bindemedel
Ballast inblandad med bindemedlet	7.5-8.0 %	6.5 – 9.0 %	< 6.5 %	> 9.0 %

G3.4.6 Packningsgrad/torr skrymdensitet (torrdensitet)

Kontrollen utförs på provkroppar som tas, samt med hjälp av mätning i fält exempelvis med Toxler. Mätning med Toxler görs 100:de meter, i vägmitt, och 0,5 m innanför vägkanterna, på varierande vänster och höger sida. Mätningar med Toxler omfattar hela skiktjockleken, 0 – 100 mm, 100 – 200 mm och 200 – 250 mm. Toxler ska kalibreras exempelvis med hjälp av vattenvolymeter och vattenkvotsmätningar.

Kontrollobjekt	3 000 m ² lageryta. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten ½, se VVMB 908.
Stickprov	N=9, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärlängd inom kontrollobjektet enligt slumpmässigt förfarande beskrivet i VVMB 908.
Mätförfarande	Provkroppar tas ut enligt SS EN 12504-1. Lagertjockleken bestäms med mätning enligt VVMB 903.
Mätvariabler	Packningsgrad, % (torr skrymdensitet ton/m ³)
Kriterievariabler	x , s , G_f
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.8

G3.5 Dokumentation

G3.5.1 Utformning och utförande

Utformningen med uppgift om vattenkvot, hållfasthet och lagertjocklek skall redovisas. Tillämpad produktionsmetod skall anges. Övrigt redovisas:

- Bindemedellaster: ankomsttid, placering (t.ex. vägsträckan)
- Väder, regn sol och temperatur
- Tiden för olika steg i arbetsprocessen
- Foto (t.ex. på olika steg av arbetsprocessen)

G3.5.2 Resultat från kontroller

Resultat från kontroll av vattenkvot, densitet, hållfasthet, lagertjocklek, jämnhet och tvärfall skall dokumenteras och redovisas.

I Kontrollprogram – CGÖ

FUD – Sala, Provsträcka med stabilisering av obundna lager

Kontrollprogram - CGÖ



Datum	2007-04-27
Uppdragsnummer	2006022
Utgåva/Status	Koncept
Organisation	Ecoloop AB
Uppdragsledare	Bo Svedberg
Handläggare	Josef Mácsik, Peter Ekdahl
Beställarens referens	Värmeforsk Service AB, Projekt Q6-632

Inledning

Bakgrund

Inom ramen för rubricerat projekt ingår att ta fram ett program för kontroll och uppföljning med avseende på utförande och användning av de produkter som tas fram i den första delen av projektet FUD-Sala. Vägverkets projekt Förbifart Sala tillämpar idag en egenkontroll med entreprenören som utförare och beställaren gör ”stickprov”.

Syfte

Syftet med programmet är att identifiera olika funktionella egenskaper som ska verifieras i samband med utförandet och användning av framtagna produkter. Programmet ska vidare tjäna som underlag för kalkylering av kostnader förknippade med kontroll relaterat till utförandet.

Metod/tillvägagångssätt

Programmet tar sin utgångspunkt i ATB VÄG 2005 och då främst kapitel G3 för det stabiliserade lagret (med enbart bindemedel).

Beskrivning av åtgärder sker utifrån kapitel G3. Kapitel G3 bifogas ej.

Definitioner

- CGÖ: Överbyggnad med cementbundet lager med slitlager av grus, i detta fall ett bundet lager som består av härdat bindemedel.
- Bundet lager: Lager sammansatt av, i detta fall, enbart bindemedel (flygaska, cement och Merit 5000).

Avgränsning

I det kontrollprogram som föreslås här ingår inte aktiviteter avseende FoU med avseende på de båda applikationerna. Detta kontrollprogram avser det stabiliserade lagret och ej kontroll av angränsande konstruktionsdelar.

Enskild väg – CgÖ, STABILISERAT LAGER

Överbyggnaden CGÖ är uppbyggd av:

- ✓ Grus som slitlager
- ✓ Bindemedel som bär- och förstärkningslager

I kompletteringen till kapitel G anges krav på egenskaper hos det stabiliserade lagret och krav på material och utförande. Kraven på hållfasthet, tjocklek, jämnhet, tvärfall, packningsgrad och torrdensitet avseende det stabiliserade lagret anges och har formulerats för statistisk acceptansk kontroll.

UTFORMNING

G3 Stabiliserat lager av bundet bindemedel

För information avseende vald typsektion se PM Dimensionering, daterat 2007-04-27.

G3.1 Utformning

G3.1.1 Bredd

Bredden på det stabiliserade lagret är samma som slitlagrets bredd. Stödremsa av krossat bergmaterial vallar in det stabiliserade lagret.

G3.1.2 Sprickanvisningar

Inga.

G3.1.3 Hållfasthet

Det stabiliserade lagret skall uppfylla kraven på tryckhållfasthet enligt Tabell G3.1-1a. Observera att bindemedel som lagras förlorar sin härdningskapacitet och kan inte nyttjas som bindemedel.

Hållfastheten skall kontrolleras enligt avsnitt G3.4.1.

Tabell G3.1-1a Krav på tryckhållfasthet bestämd vid normaltidsprovning, dvs efter 28 dygn.

	Stabiliserat lager i CGÖ-konstruktion MPa
Medelvärde \bar{x}	≥ 7
Standardavvikelse, s	-
Grovt fel G_f för enskilt mätvärde	≤ 4

G3.1.4 Lagertjocklek

Det stabiliserade lagret skall uppfylla kraven på tjocklek enligt Tabell G3.1-2. Övre gränser får överskridas om kraven på nivå på ovanliggande lager kan uppfyllas. Tjockleken skall kontrolleras enligt avsnitt G3.4.2.

Kontroll vid utläggning av bindemedelstjocklek per ytenhet kan utföras exempelvis med hjälp av duk med känd yta, där efter utläggning vägs materialet som hamnade på duk. Vid lagertjocklek > 150 mm hos det stabiliserade lagret läggs bindemedlet ut i två lager med packning av varje lager.

Tabell G3.1-2 Krav på tjocklek.

	Stabiliserat lager i CGÖ – konstruktion mm
Medelvärde \bar{x}	inom $R \pm (10 - 0,62s)$
Standardavvikelse, s	≤ 15
Grovt fel G_f för enskilt mätvärde	$\leq R - 20$

R är den tjocklek som tagits fram vid dimensionering i detta fall 250 mm.

G3.1.5 Jämnhet

Det stabiliserade lagret skall uppfylla kraven på jämnhet enligt Tabell G3.1-3.

Jämnheten skall kontrolleras enligt avsnitt G3.4.3.

Tabell G3.1-2 Krav på jämnhet.

A och B mm	C mm	A-C samt B-C mm
≤ 5	≤ 8	≤ 8

G3.1.6 Tvärfall

Det stabiliserade lagret skall uppfylla kraven på tvärfall enligt Tabell G3.1-4.

Tvärfallet skall kontrolleras enligt 3.4.4.

Tabell G3.1-4 Krav på tvärfall.

	Krav på tvärfall
Rätskiva	$S \leq 0,55$ \bar{x} inom $0 \pm (0,55 - 0,46s)$
Bogserad mätvagn	\bar{x}_i $0 \pm 1,2$ för 95% av den kontrollerade körfältslängden och alla x_i inom $0 \pm 1,4$

G3.1.7 Packningsgrad/torrdensitet

Kontrollen av det stabiliserade lagrets densitet och packningsgrad utförs på provkroppar som tas för kontroll av hållfasthet.

Tabell G3.1-5 Packningsgrad/torrdensitet

	Packningsgrad	Torrdensitet
Medelvärde \bar{x}	92	2100
Standardavvikelse, s	-	-
Grovt fel G_f för enskilt mätvärde	≤ 88	≤ 2000

G3.2 Material

Material till det stabiliserade lagret skall ha kända och dokumenterade egenskaper i de avseenden som har betydelse för deras användning.

Delmaterial får inte innehålla skadliga mängder av sådana beståndsdelar som kan försämra det cementbundna grusets egenskaper eller funktion.

G3.2.1 Bindemedel

Bindemedlets kvalitet och vattenkvot kontrolleras av leverantören (Mälarenergi AB) som verifierar detta med följesedel. Bindemedelblandningen består 93 viktprocent flygaska, 3,5 viktprocent cement och 3,5 viktprocent Merit 5000. Bindemedlets vattenkvot (massa vatten/ massa torrsvikt) vid leverans är 25 %, vilket motsvarar en vattenkvot på 20 %.

G3.2.3 Vatten

Skall uppfylla kraven i EN 1008.

G3.3 Utförande**G3.3.1 Tillverkning och utförande**

Bindemedlets vattenkvot är av intresse av flera orsaker. Vatten styr både härdning och packningsegenskaper. Därmed blir tiden mellan inblandning av vatten och packning av färdig produkt en viktig parameter. Bindemedlet kommer med en vattenkvot på ca 25 %, dvs. med optimal vattenkvot. Bindemedlet transporteras till lägningsstället på flakbil och bör vara täckt under transporten. Transporten bör planeras så att väntetid på arbetsplatsen undviks.

Stödremsa av krossat berg- eller befintligt vägmateriäl läggs ut på vägen. Den kan byggas med hjälp av väghyvel. Stödremsans höjd bör vara minst 50 mm över det packade bärlagrets yta, dvs. om bärlagret tjocklek är 250 mm, måste stödremsans höjd vara minst 300 mm. Bindemedlet läggs ut mellan stödremorna med någon typ av läggare, samt justeras med väghyvel alternativt med asfaltläggare och packas med

vält. Vid lagertjocklek > 150 mm läggs bindemedlet ut i två lager med packning efter varje lager. Stödremsan hindrar att bindemedel hamnar på vägslänt och i diken.

Utläggning och packning av bärlagret ska göras mot transporttrafikens riktning. På detta sätt undviks den tunga trafiken på det nypackade men inte härdade bärlagret.

Packningen görs med en vält. Det rekommenderas att använda en sådan vält med justerbar slaglängd. Det bundna bärlagrets övre delar kan packas mera effektivt om det är möjligt att förkorta vältmaskinens slaglängd vid de sista överfarterna. Arbetsmängden uppnås med ca 4 - 6 överfarter med vält. Antalet överfarter bestäms efter kontroll av packningsgraden som utförs före byggstart. Den första överfarten ska göras utan vibrator, därefter med vibrator.

Efter ca 1-3 överfarter kan skydds-/slitlagret (t.ex. 80 mm av grus/bergkross) läggas ut. De tre sista överfarterna körs på skyddslagret. Skyddslagret skyddar ytan mot regn samt mot t.ex. hjulspår i början av härdningsprocessen. Ingen trafik tillåts på det utlagda bärlagret före packningen.

Innan slitlagret läggs på ska vägytans lutning och jämnhet kontrolleras och vid behov justeras. Slitlager ska alltid läggas ut innan arbetet avslutas för dagen.

Bindemedlet får inte läggas på fruset underlag och får inte utsättas för minusgrader under de första 30 dyggen efter utläggning och packning. Vid utläggningen får inte fritt vatten finnas på underlaget. Bindemedlet ska användas utan lagring. Lagring medför att materialet blir olämpligt att nyttja.

Efter att slitlager har lagts ut på det stabiliserade lagret kan vägen trafikeras av personbilar. Tyngre trafik samt trafik på vägskanter ska undvikas under den första 1 vecka.

Råd om och utläggning finns i:

- ✓ Flygaska i mark- och vägbyggnad. Grusvägar, Information SGI 18
- ✓ Svensk Byggtjänst publikation "Betonghandboken, Arbetsutförande", avsnitt 23.2.

För att uppnå funktionskraven krävs det även kontroll av de ingående materialens vattenkvot, andel tillsatsmedel och dess "härdningskapacitet".

G3.3.1.1 Vattenkvot

Bindemedlet transporteras med en vattenkvot på ca 25 %, vilket är optimalt för packning.

Under störtregn sak arbetet stoppas och bindemedlet skyddas mot regn. Efter skyddslagret har utlagts stör eller skadar eventuell regn inte bärlagret.

G3.3.1.2 Härdning

Det stabiliserade lagret skall skyddas mot uttorkning och trafik (lätt trafik kan tillåtas efter att slitlagret har packats).

Någon av följande metoder kan användas för att skydda mot uttorkning:

- ✓ Försegling med lager av ballast (slitlager).
- ✓ Täckning med geotextil. Geotextilen bör ligga kvar och hållas fuktig med vatten under minst 5 dygn.
- ✓ Härdning med vatten under minst 5 dygn.

G3.4 Kontroll

Kontroll av att kraven på hållfasthet, lagertjocklek, jämnhet och tvärfall uppfylls skall ske enligt de metoder för statistisk acceptanskontroll som anges i VVMB 908 "Statistisk acceptanskontroll" och med iakttagande av de ytterligare anvisningarna för stickprovsurval, mätning mm.

Kontrollen för byggarbetsplatsen omfattar kompletteringar avseende vattenkvot (G3.4.5) och packningsgrad (G3.4.6).

G3.4.1 Hållfasthet

Kontroll av hållfastheten skall utföras enligt Tabell G3.4-1.

Tabell G3.4-1 Kontroll av tryckhållfasthet vid normaltidsprovning av provkroppar från det stabiliserade lagret.

Kontrollobjekt	3 000 m ² lageryta. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvals sannolikheten 1/2, se VVMB 908.
Stickprov	n = 9, borrhärnor uttagna vid kontrollpunkter bestämda med slumpmässigt urval inom kontrollobjektets yta enligt VVMB 908. Alternativt kan kontroll utföras på samma borrhärnor som tagits ut för kontroll av tjocklek.
Mätförfarande	Hållfasthetsmätning av provkropp enligt SS EN 12504-1 och SS EN 13286-41. Borrhärnor skall ha slankhetstalet 1,0.
Mätvariabel	Normaltidsvärde för provkroppens tryckhållfasthet (MPa).
Kriterievariabel	x , G _f
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.3.

G3.4.2 Tjocklek

Kontroll av tjockleken skall utföras enligt Tabell G3.4-2.

Tabell G3.4-2 Kontroll av tjocklek för det stabiliserade lagret.

Kontrollobjekt	3 000 m ² lageryta. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten ½, se VVMB 908.
Stickprov	N=9, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt slumpmässigt förfarande beskrivet i VVMB 908.
Mätförfarande	Provkroppar tas ut enligt SS EN 12504-1. Lagertjockleken bestäms med mätning enligt VVMB 903.
Mätvariabel	Lagertjocklek (mm).
Kriterievariabler	x, s, G _f
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.4

G3.4.3 Jämnhet

Kontroll av jämnheten skall utföras enligt Tabell G3.4-3.

Tabell G3.4-3 Kontroll av jämnhet för det stabiliserade lagret.

Kontrollobjekt	Vägsträcka av 400 m längd eller körfält av 800 m längd. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten ½, se VVMB 908.
Stickprov	N = 15, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt förfarande med urvalsmall, beskrivet i VVMB 107 och VVMB 908.
Mätförfarande	3 m rätskiva med tre mätdon. Mätning skall utföras enligt VVMB 107.
Mätvariabler	Rätskivenormal avvikelse (mm) i var och en av rätskivans mätpunkter (1, 2 och 3).
Kriterievariabler	<i>I varje kontrollpunkt:</i> A: Rätskivenormal avvikelse i mätpunkt 1 B: Rätskivenormal avvikelse i mätpunkt 3 C: Rätskivenormal avvikelse i mätpunkt 2 Differens: A-C och B-C. <i>Totalt:</i> Andel kontrollpunkter med godkända värden på samtliga kriterievariabler.
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.5 Antalet godkända kontrollpunkter skall vara minst 12 av 15.

G3.4.3 Tvärfall

Kontroll av tvärfall skall utföras men någon av metoderna enligt Tabell G3.4-4 eller Tabell G3.4-5.

Tabell G3.4-4 Stabiliserat lager. Kontroll av tvärfall genom mätning med rätskiva.

Kontrollobjekt	Vägsträcka av 400 m längd eller körfält av 800 m längd. Samtliga kontrollobjekt skall undersökas.
Stickprov	N = 15, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt förfarande med urvalsmall, beskrivet i VVMB 107 och VVMB 908.
Mätförfarande	3 m rätskiva, med monterad lutningsmätare. Mätning skall utföras enligt VVMB 107.
Mätvariabler	Avvikelse från riktvärdet för lagerytans lutning tvärs vägen, mätt i procentenheter.
Kriterievariabler	x, s.
Acceptansvillkor	Enligt krav i avsnitt G3.1.6.

Tabell G3.4-5 Cementbundet grus. Kontroll av tvärfall genom mätning med bogserad mätvagn.

Kontrollobjekt	Vägsträcka av 400 m längd eller körfält av 800 m längd. Samtliga kontrollobjekt skall undersökas.
Stickprov	Kontinuerlig analog mätning.
Mätförfarande	Mätning skall utföras enligt VVMB 108.
Mätvariabler	Maximal avvikelse från riktvärdet för lagerytans lutning tvärs vägen, mätt i procentenheter.
Kriterievariabler	x_i (enskild observation).
Acceptansvillkor	Se krav på tvärfall, avsnitt G3.1.6.

G3.4.5 Vattenkvot

Vattenkvoten bestäms för första lasset samt därefter minst en gång per påbörjad 100 m³.

G3.4.6 Packningsgrad/torr skrymdensitet

Kontrollen utförs på provkroppar som tas för kontroll av hållfastheten, se Tabell G3.4-1.

Tabell G3.4-1 Kontroll av packningsgrad och torrdensitet vid normaltidsprovning av provkroppar från bärlager av cementbundet grus

Kontrollobjekt	3 000 m ² lageryta. Kontrollobjekt skall utväljas för undersökning med urvalssannolikheten 1/2, se VVMB 908.
Stickprov	N=9, kontrollpunkterna valda i längs- och tvärled inom kontrollobjektet enligt slumpmässigt förfarande beskrivet i VVMB 908.
Mätförfarande	Provkroppar tas ut enligt SS EN 12504-1. Lagertjockleken bestäms med mätning enligt VVMB 903.
Mätvariabler	Packningsgrad, % (torr skrymdensitet ton/m ³)
Kriterievariabler	x , G _f
Acceptansintervall	Enligt krav i avsnitt G3.1.8

G3.5 Dokumentation

G3.5.1 Utformning och utförande

Utformningen med uppgift om vattenkvot, hållfasthet och lagertjocklek skall redovisas. Tillämpad produktionsmetod skall anges. Övrigt redovisas:

- Bindemedellaster: ankomsttid, placering (t.ex. vägsträckan)
- Väder, regn sol och temperatur
- Tiden för olika steg i arbetsprocessen
- Foto (t.ex. på olika steg av arbetsprocessen)

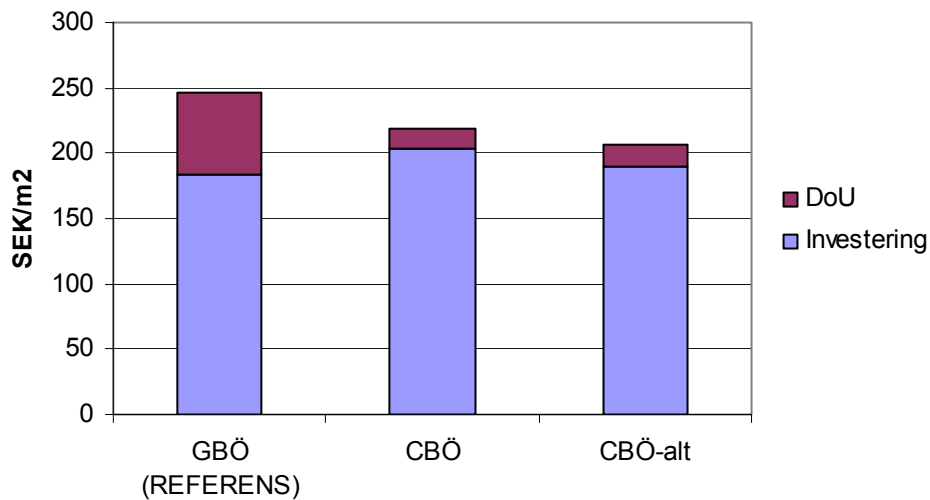
G3.5.2 Resultat från kontroller

Resultat från kontroll av vattenkvot, densitet, hållfasthet, lagertjocklek, jämnhet och tvärfall skall dokumenteras och redovisas.

J MNV – FUD Sala

Bilaga 10 Koncept 2007-09-17
LV 256

ANLÄGGNINGSKOSTNADER ÖVERBYGGNAD	GBÖ (REFERENS)		CBÖ		CBÖ-alt		
	Tjocklek [mm]	SEK/m ²	Tjocklek [mm]	SEK/m ²	Tjocklek [mm]	SEK/m ²	
Förstärkningslager	420	35	0	0	0	0	
Stabiliserat bärlager	0	0	250	54,9	250	54,9	
Obundet bärlager	80	13	80	13	0	0	
Bundet bärlager	40	65	40	65	40	65	
Slitlager	40	70	40	70	40	70	
Summa anläggningskostnader SEK/m²		183	202,9		189,9		
DRIFT OCH UNDERHÅLLSKOSTNADER	År	SEK/m ²	Nuvärde SEK/m ²	SEK/m ²	Nuvärde SEK/m ²	SEK/m ²	Nuvärde SEK/m ²
Tunnskikt +20 mm	15	35	19,43				
Fräsning, AG, tunnskikt	20	35	15,97				
Tunnskikt +20 mm	20			35,00	15,97	35	15,97
Fräsning, ABS	30	89	27,44				
Summa DoU-kostnader SEK/m²			62,85		15,97		15,97
Summa anläggning och DoU-kostnader SEK/m²			245,85		218,87		205,87

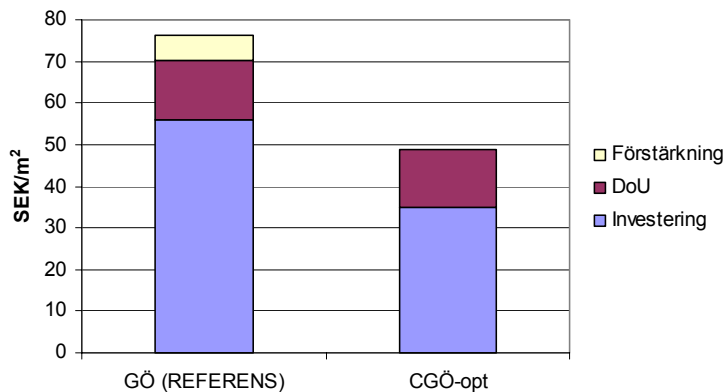


VÄRMEOFORSK

Bilaga 10 Koncept 2007-09-17
ENSKILD VÄG (OBELAGD)

ANLÄGGNINGSKOSTNADER ÖVERBYGGNAD	GÖ (REFERENS)		CGÖ-opt	
	Tjocklek [mm]	SEK/m ²	Tjocklek [mm]	SEK/m ²
Förstärkningslager	350	30	0	0
Stabiliserat lager	0	0	250	17,3
Bärlager	100	15	0	0
Gruslitage	50	11	80	17,6
Summa anläggningskostnader SEK/m²		56		34,9

DRIFT OCH UNDERHÅLLSKOSTNADER	År	SEK/m ²	Nuvärde SEK/m ²	SEK/m ²	Nuvärde St	
Nytt slitlager	5	2,97	2,44	2,97	2,44	
	10	2,97	2,01	2,97	2,01	
	15	2,97	1,65	2,97	1,65	
	20	2,97	1,36	2,97	1,36	
	25	2,97	1,11	2,97	1,11	
	30	2,97	0,92	2,97	0,92	
	35	2,97	0,75	2,97	0,75	
	40	2,97	0,62	2,97	0,62	
	Hyvling	2	0,33	0,31	0,33	0,31
		4	0,33	0,28	0,33	0,28
6		0,33	0,26	0,33	0,26	
8		0,33	0,24	0,33	0,24	
10		0,33	0,22	0,33	0,22	
12		0,33	0,21	0,33	0,21	
14		0,33	0,19	0,33	0,19	
16		0,33	0,18	0,33	0,18	
18		0,33	0,16	0,33	0,16	
20		0,33	0,15	0,33	0,15	
22		0,33	0,14	0,33	0,14	
24		0,33	0,13	0,33	0,13	
26		0,33	0,12	0,33	0,12	
28		0,33	0,11	0,33	0,11	
30	0,33	0,10	0,33	0,10		
32	0,33	0,09	0,33	0,09		
34	0,33	0,09	0,33	0,09		
36	0,33	0,08	0,33	0,08		
38	0,33	0,07	0,33	0,07		
40	0,33	0,07	0,33	0,07		
Förstärkningsåtgärd	40	29	6,04	0,00	0	
Summa DoU-kostnader SEK/m²			14,05		14,05	
Summa anläggning och DoU-kostnader SEK/m²			70,05		48,95	
Totalt inkl förstärkningsåtgärd SEK/m²			76,10		48,95	



K PMS objekt CBÖ

Skapad med PMS Objekt version 4.2

Utskriftsdatum: 2007-09-14 14:16

Projektinformation - askvägar-ecoloop

Skapat: 2006-12-19 13:41

Kommentarer till projektet

Avsnittsinformation - stab GBÖ_2300

Avsnitt nr:	7	
Avsnittstyp:	NYBYGGNAD	
Skapat datum:		2007-04-28 18:56
Vägnummer:	256	
Klimatzon:	Klimatzon 2	
Referenshastighet(km/h):	70	
Antal körfält:	1	
Län:		Västmanland
Dimensioneringsperiod(år):	20	
Avsnittslängd(m):	100	
Vägbredd(m):		8
Vägremsbredd(m):	0.3	
Vägtyp:	Normal sektion	
Körfältsbredd riktning 1:	3.75	
Körfält:		"Riktning 1"
StartpunktX:	0/870	
StartpunktY:		
StartpunktZ:		
SlutpunktX:	1/750	
SlutpunktY:		
SlutpunktZ:		
Släntriktning riktning 1:	1:3	
Släntriktning riktning 2:	1:3	
Stödremsa:	0.3	
Skapat av:	Peter Ekdahl	
Organisation:		Ramböll Sverige AB

Kommentarer till avsnittet

Stabilisering av ballast med aska/cement/merrit-2300 MPa

--Sidbrytning--

Anmärkningar

1. Tjällyftsberäkningen uppfyller inte kraven enligt ATB VÄG

Trafikberäkning avsnitt

Beräkningsmetod: standardaxlar		Angivet	ekvivalent	antal
Ekvivalent antal standardaxlar:	946 625			

--Sidbrytning--

Konstruktionens uppbyggnad

överbyggnadstyp: förändrad!		Överbyggnaden	ej	sparad	men
Egen överbyggnadstyp:	JA				
Materialtyp, övre terrass:	4a - Blandkornig jord > 30%				
Tjälfarlighetsklass övre terrass:	3 - Måttligt tjällyftande				

Lager

Lageröversikt

Lager	Tjocklek(mm)	Förändrat	Namn
1	40		Bitumenbundet
slitlager			
2	40		Bitumenbundet
bärlager			
3	80		Obundet bärlager
4	250		Cementbundet
bärlager			
5	0		Skyddslager
6	0		NEJ
jord > 30%		ÖVRE TERRASS	4a - Blandkornig

Total tjocklek ovanför övre terrassyta: 410

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter Senvår	Sommar	Tjällossningsvinter Höst	Tjällossning	
1	14500 12000 11000		13000 11500	4000	
2	14500 12000 11000		13000 11500	4000	
3	1000	450	150 450	450	300
4	2300 2300 2300		2300 2300	2300	
5	1000	85	1000 100	100	70
6	1000	40	1000 50	50	30

Övriga egenskaper

Lager	Lyft λ_{ofr}	ω	ρ λ_{fr}	η	σ_r
1	NEJ 2	0.01	2200 2	0.17	0.13
2	NEJ 2	0.01	2200 2	0.17	0.13
3	NEJ 1.33	0.03	2000 1.02	0.25	0.24
4	NEJ 1.2	0.01	2400 0.9	0.09	0.27
5	NEJ 1.8	0.13	1900 2.43	0.28	0.88
6	JA 1.61	0.2	1700 2.5	0.36	0.94

--Sidbrytning--

Bärighetsberäkning

Beräkningsmetod: Egen

Korrigeringsfaktor för dränering(FD): 1.0

Antal axellaster, ackumulerad avseende:

Krav i underkant bitumenlager

Ntill, bb: 2 734 632

Nekv: 946 625

Kvot: 0.35

Terrassytekrav

Ntill, te:	6 334 057	
Nkv * 2:	1 893 250	
Kvot:		0.30

Vertikala trycktöjningar(strain)

Töjning i terrassytan, enstaka last(strain)

Beräknad:	0.0010	
Största tillåtna:	0.0024	
Kvot:		0.43

Töjningar i detalj(strain)

Dragtöjning i bitumenlager, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter Sommar	Höst	Tjällossning	Senvår	
0.000085	0.000187	0.000151	0.000129	0.000186	0.000132

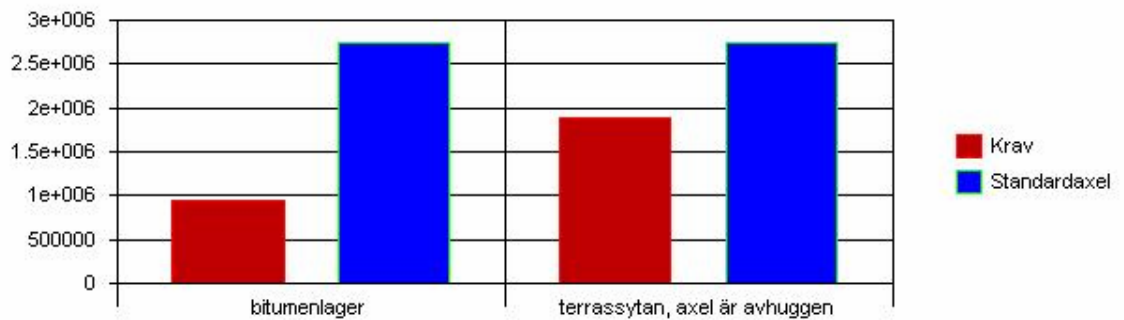
Trycktöjning i terrassytan, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter Sommar	Höst	Tjällossning	Senvår	
0.000082	0.000090	0.000400	0.000348	0.000365	0.000330

Trycktöjning i terrassytan, enstaka last

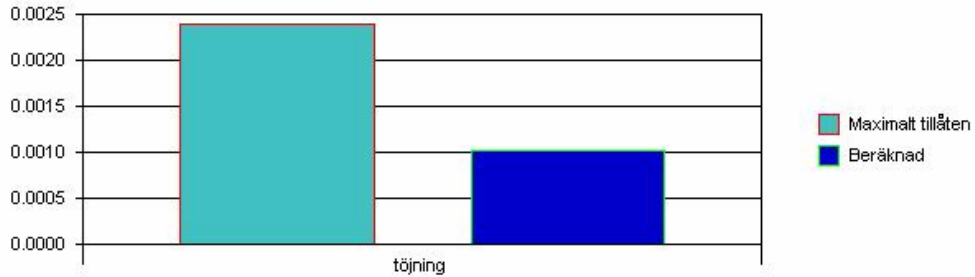
Vinter	Tjällossningsvinter Sommar	Höst	Tjällossning	Senvår	
0.000207	0.000227	0.001021	0.000889	0.000934	0.000841

Antal axellaster, avser töjning i:



Antal axellaster, avser töjning i bitumenlager och terrassyta

Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last



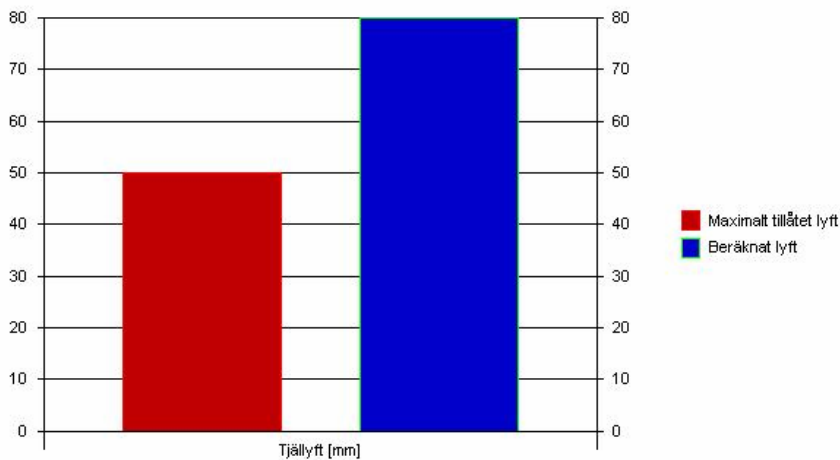
Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last
--Sidbrytning--

Tjälberäkning

VViS Id:	1913	
Beräknat lyft(mm):	80	
Maximalt beräknat tjäldjup(mm):	752	
Max tillåtet lyft(mm):	50	
Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag):	0.5	
Lyfthastighet under terrass(mm/dag):	1.5	
Grundvattentemperatur(C):	6.0	
Kvot:		1.60
VViS stationsnamn:	Kumla	
X koordinat:	6638000	
Y koordinat:	1546000	
Z koordinat:	0	
Använd säsong:	93/94	

Kommentar:

Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft



Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft

Avancerad bärighetsberäkning

Avancerad bärighetsberäkning är ej utförd.

Avancerad enstaka last beräkning

Avancerad enstaka last beräkning är ej utförd.

Massabeläggningars egenskaper

Massabeläggningars egenskaper är ej utförd.

Beläggningsslitage

Slitageberäkning är ej utförd.

--Sidbrytning--

Volym och kostnadsberäkning

Lagerinformation

Nr	Material Volym[m ³]	Kostnad[kr]	Tjocklek[mm]	
1	Bitumenbundet slitlager	-1	40	36
2	Bitumenbundet bärlager	-1	40	37
3	Obundet bärlager	-1	80	72
4	Cementbundet bärlager	-1	250	228
5	Skyddslager	0	0	0
6	5 - Silt 0	0	0	0
Volum för lagermaterial:			373 m ³	
Kostnad för lagermaterial:			0 kr	
Total volym:			373 m ³	
Total kostnad:			0 kr	
Avsnittlängd:			100 m	
Vägbredd:			8 m	
Väggrensbredd:			0.3 m	

Stödremsa:	0.3 m
Släntlutning riktning 1:	1:3 m
Släntlutning riktning 2:	1:3 m

Material i stödremsa:	Lagermaterial används i stödremsa
Material i släntlutning över 1:2:	Lagermaterial används i släntlutning
Övriga volym:	--
Övriga kostnader:	--

Lagerkostnader

Överbyggnadsmaterial	Kostnad/ton	Kostnad/m³	Borttagningskostnad/m³
Bindlager	--	--	--
Bitumenbundet bärlager	--	--	--
Bitumenbundet slit & bärlager	--	--	--
Bitumenbundet slitlager	--	--	--
Bitumenindränkt makadamlager	--	--	--
Bärlager grusväg	--	--	--
Cementbetong T2,5	--	--	--
Cementbetong T3,5	--	--	--
Cementbetong T4,5	--	--	--
Cementbundet bärlager	--	--	--
Förstärkningslager grusväg	--	--	--
Förstärkningslager krossat material	--	--	--
Förstärkningslager obunden bergkross	--	--	--
Förstärkningslager okrossat material	--	--	--
Grusslitlager	--	--	--
Obundet bärlager	--	--	--
Skyddslager	--	--	--
Äldre bärlager	--	--	--
Äldre förstärkningslager	--	--	--

L PMS objekt CBÖ

Skapad med PMS Objekt version 4.2
Utskriftsdatum: 2007-09-14 14:21

Projektinformation - askvägar-ecoloop

Skapat: 2006-12-19 13:41

Kommentarer till projektet

Avsnittsinformation - aska grusväg stab_4000

Avsnitt nr:	6	
Avsnittstyp:	NYBYGGNAD	
Skapat datum:		2007-04-24 22:31
Vägnummer:	enskild väg	
Klimatzon:	Klimatzon 2	
Referenshastighet(km/h):	70	
Antal körfält:	1	
Län:		Västmanland
Dimensioneringsperiod(år):	20	
Avsnittslängd(m):	100	
Vägbredd(m):		7.5
Vägrensbredd(m):	0	
Vägtyp:	Normal sektion	
Körfältsbredd riktning 1:	3	
Körfält:		"Riktning 1"
StartpunktX:		
StartpunktY:		
StartpunktZ:		
SlutpunktX:		
SlutpunktY:		
SlutpunktZ:		
Släntriktning riktning 1:		
Släntriktning riktning 2:		
Stödremsa:	0	
Skapat av:	Peter Ekdahl	
Organisation:		Ramböll Sverige AB

Kommentarer till avsnittet

Enskild väg aska/cement/merrit-4000MPa

--Sidbrytning--

Anmärkningar

Inga anmärkningar finns för avsnittet.

Trafikberäkning avsnitt

Beräkningsmetod: Angivet ekvivalent antal standardaxlar
Ekvivalent antal standardaxlar: 1 000 000

--Sidbrytning--

Konstruktionens uppbyggnad

överbyggnadstyp: Överbyggnaden ej sparad men förändrad!

Egen överbyggnadstyp: JA

Materialtyp, övre terrass: 4a - Blandkornig jord > 30%

Tjälfarlighetsklass övre terrass: 3 - Måttligt tjällyftande

Lager

Lageröversikt

Lager	Tjocklek(mm)	Förändrat	Namn
1	80		NEJ
2	250		JA
grusväg			
3	0		NEJ
4	0		NEJ
> 30%			ÖVRE TERRASS

Grusslitlager
Förstärkningslager

Skyddslager
4a - Blandkornig jord

Total tjocklek ovanför övre terrassyta: 330

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter Sommar	Höst	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår
1	1000		100		50
		300	500	200	
2	4000		4000		4000
		4000	4000	4000	
3	1000		1000		70
		85	100	100	
4	1000		1000		30
		40	50	50	

Övriga egenskaper

Lager	Lyft λ_{ofr}	ω	ρ λ_{fr}	η	σ_f
1	JA 1.45	0.15	1700 1.95	0.36	0.71
2	JA 1.2	0.13	1800 0.9	0.32	0.73
3	NEJ 1.8	0.13	1900 2.43	0.28	0.88

4 JA 0.2 1700 0.36 0.94
 1.61 2.5
 --Sidbrytning--

Bärighetsberäkning

Beräkningsmetod: GÖ

Korrigeringsfaktor för dränering(FD): 1.0

Vertikala trycktöjningar(strain)

Töjning i terrassytan, enstaka last(strain)

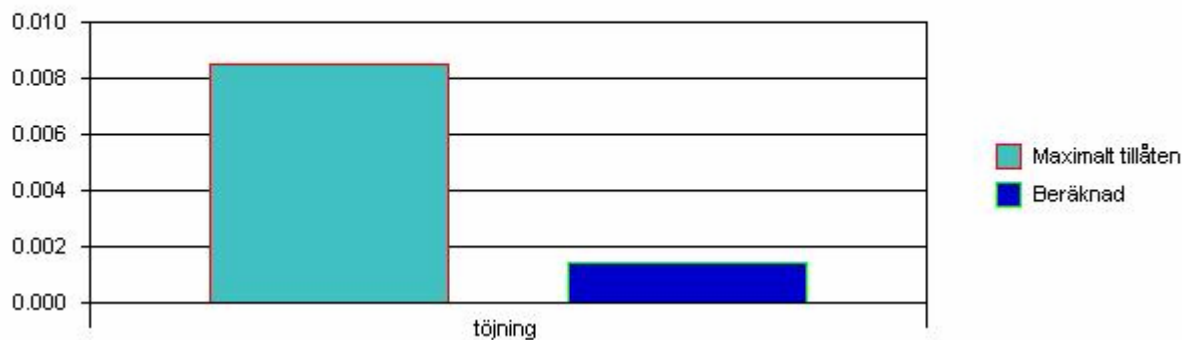
Beräknad: 0.001407
Största tillåtna: 0.008500
Kvot: 0.17

Töjningar i detalj(strain)

Trycktöjning i terrassytan, enstaka last

Vinter	Tjällossningsvinter Sommar	Höst	Tjällossning	Senvår	
0.000301	0.000301	0.001407	0.001277	0.001182	0.001182

Trycktöjning i terrassytan, av enstaka last



Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last
 --Sidbrytning--

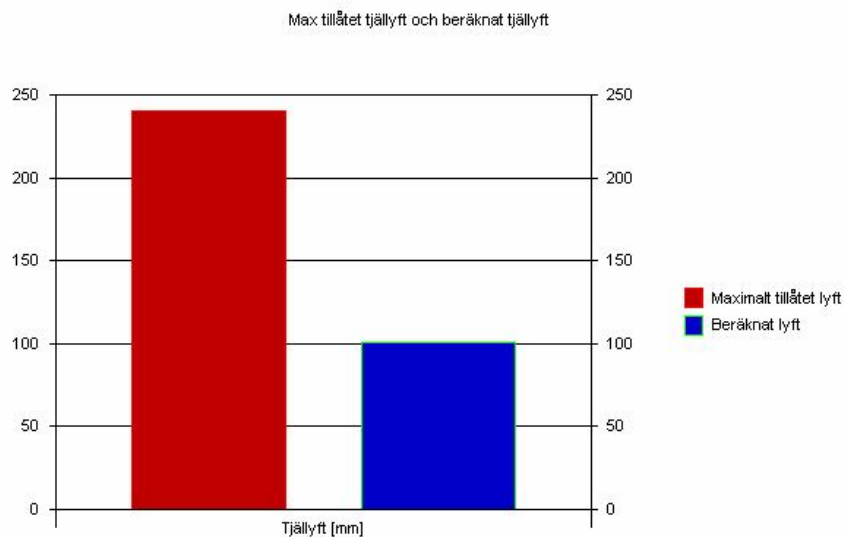
Tjälberäkning

VViS Id:	1913
Beräknat lyft(mm):	101
Maximalt beräknat tjäldjup(mm):	672
Max tillåtet lyft(mm):	240
Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag):	1.5
Lyfthastighet under terrass(mm/dag):	1.5
Grundvattentemperatur(C):	6.0
Kvot:	0.42
VViS stationsnamn:	Kumla
X koordinat:	6638000

Y koordinat: 1546000
Z koordinat: 0
Använd säsong: 93/94

Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag) är förändrat från: 0.5 till 1.5

Kommentar:



Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft

Avancerad bärighetsberäkning

Avancerad bärighetsberäkning är ej utförd.

Avancerad enstaka last beräkning

Avancerad enstaka last beräkning är ej utförd.

Massabeläggningars egenskaper

Massabeläggningars egenskaper är ej utförd.

Beläggningsslitage

Slitageberäkning är ej utförd.

--Sidbrytning--

Volym och kostnadsberäkning

Lagerinformation

Nr	Material Volym[m ³]	Kostnad[kr]	Tjocklek[mm]	
1	Grusslitlager	-1	80	64
2	Förstärkningslager grusväg	-1	200	168
3	Skyddslager	0	0	0
4	4a - Blandkornig jord > 30%	0	0	0

Volum för lagermaterial: 232 m³

Kostnad för lagermaterial: 0 kr

Total volym: 232 m³

Total kostnad: 0 kr

Avsnittlängd: 100 m

Vägbredd: 7.5 m

Väggrensbredd: 0 m

Stödremsa: 0 m

Släntlutning riktning 1: m

Släntlutning riktning 2: m

Material i stödremsa: Lagermaterial används i stödremsa

Material i släntlutning över 1:2: Lagermaterial används i släntlutning

Övriga volym: --

Övriga kostnader: --

Lagerkostnader

Överbyggnadsmaterial	Kostnad/ton	Kostnad/m ³	Borttagningskostnad/m ³
Bindlager			--
	--		--
Bitumenbundet bärlager		--	
--		--	
Bitumenbundet slit & bärlager		--	
--		--	
Bitumenbundet slitlager		--	
--		--	
Bitumenindränkt makadamlager		--	
--		--	
Bärlager grusväg		--	
--		--	
Cementbetong T2,5		--	
--		--	
Cementbetong T3,5		--	
--		--	
Cementbetong T4,5		--	
--		--	
Cementbundet bärlager		--	
--		--	
Förstärkningslager grusväg		--	
--		--	
Förstärkningslager krossat material		--	
--		--	
Förstärkningslager obunden bergkross		--	
--		--	
Förstärkningslager okrossat material		--	
--		--	
Grusslitlager		--	
--		--	
Obundet bärlager		--	
--		--	
Skyddslager		--	
--		--	
Äldre bärlager		--	
--		--	
Äldre förstärkningslager		--	

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

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS 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