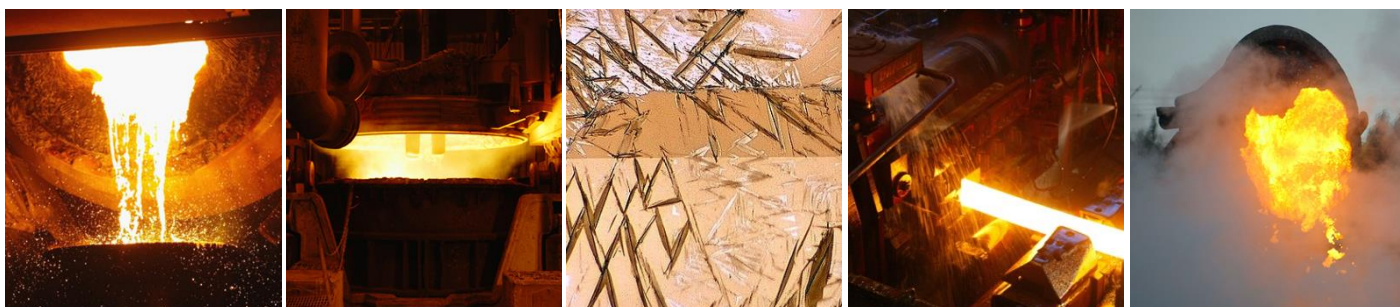


Slaggasfalt – en tyst och hållbar vägbeläggning för tätbebyggda områden

*Slag asphalt – a silent and sustainable paving for
densely built-up areas*

Lotta Lind

Kommitté 55016 publicerad 2016-09-06



Med stöd från:



**STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM**

Sammanfattning

Projektet har bedrivits mellan 1 oktober 2013 och 15 juni 2016 med en unik sammansättning av aktörer i hela värdekedjan från stål- och metallproducenter, slaggbearbetning, asfaltstillverkare och VTI till Trafikverket. Tre rapporter med testresultat för slaggasfaltens goda egenskaper har publicerats av VTI. Dessutom har bl.a. tre vetenskapliga artiklar och en mall för produktinformationsblad för slaggasfalt publicerats. Ett tioårskontrakt mellan Ovako Bar AB och NCC Roads om leverans av ljusbågsugnsagg som ballast i asfalt undertecknades 2015-09-30.

Tio slaggar från metallindustrin har undersökts för ballastegenskaper och slitageegenskaper hos asfalt tillverkad med respektive slaggballast. De flesta slaggerna har goda ballastegenskaper som motsvarar bra bergmaterial. Tester för skjuvhållfasthet har gett helt ny kunskap där asfaltbeläggningar med slagg från stålindustrin som ballast fungerar bättre än konventionell ballast över hela registret med olika temperaturer och belastningshastigheter. Slitageegenskaper testade enligt Prall visar på hög nötningsresistens. Användning av slagg som ballast i asfalten i bind- och bärlager (ABb-asfalt), där mycket höga krav på beständighet mot spårbildning p.g.a. belastning finns, visar mycket lovande resultat för alla slaggtypen.

Bildningen av PM₁₀-partiklar från ABS8- och ABS11-beläggning med slagg var förhållandevis låg och jämförbar med de mest lågemitterande ABS11- beläggningar som provats för PM₁₀ i en vägsimulator (PVM). Dubben betedde sig inte som förväntat, så inga definitiva slutsatser kan dras. Analyser i svepelektronmikroskop (SEM) för de bildade partiklarna i PVM visar förväntat resultat för mineral- och metallfragment.

Ökad användning av slagg i asfalt leder till minskad användning av jungfruliga material (bergkross). Materialets goda beständighet ger möjlighet till tunnare asfaltslager. Den goda vidhäftningen mellan slagg och bitumen kräver mindre mängd av bitumen och vidhäftningsmedel och minskar både kostnader och miljöpåverkan. Vidhäftningen kan också utnyttjas för bullerreducerande asfalt med ett s.k. dränerande slitlager med större andel hålrum. En mer beständig vägkonstruktion med slagg kräver mindre frekvent underhåll och färre omläggningar, och ger längre livslängd och lägre underhållskostnader.

Projektet skulle ursprungligen slutrapporteras den 30 september 2015, men då projektgruppen och administrationen förbrukat mindre resurser än beräknat, ansöktes om förlängd dispositionsrätt av de kvarvarande projektmedlen för att öka och säkerställa en nationell och internationell resultatspridning. Ansökan beviljades och projektet förlängdes till den 15 juni 2016. Under förlängningstiden har projektet presenterats muntligt och skriftligt vid sex olika tillfällen nationellt och internationellt. Dessutom har en ny projektidé vuxit fram och en ansökan om forskningsmedel har beviljats av SBUF, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

Nyckelord:

Slaggasfalt, egenskaper, stabilitet, hållfasthet, bildning av PM₁₀-partiklar, sociala fördelar, öppna värdekedjor, asfalt, restprodukter

Summary

The project was conducted from October 1, 2013 to June 15, 2016 with a project group of a unique combination of actors from all parts of the value chain from steel and metal producers, slag processing, asphalt manufacturers and VTI to the Swedish road administration, Trafikverket. Three reports with test results showing the good qualities of the slag asphalt have been published by VTI. In addition, among other things, three scientific articles and a template for the product information sheet for slag asphalt were published and the project was presented at several national and international occasions. One ten-year contract between Ovako Bar AB and NCC Roads on the delivery of electric arc furnace slag as aggregate in asphalt was signed 2015-09-30.

Ten different slag types from the Swedish metallurgical industry have been examined for aggregate properties and wear characteristics of asphalts made with the respective slag aggregate. Most slags show good ballast characteristics corresponding to high quality rock materials. Tests for shear strength has given new knowledge indicating that asphalt with slag from metallurgical industry as ballast performs better than asphalt with conventional ballast over the whole range of different temperatures and frequencies. Wear properties tested according Prall show high wear resistance.

Use of slag as aggregate in the asphalt binder mixes (ABb asphalt), where the demands of resistance to rutting due load are very high, shows very promising results for all slag types.

The formation of PM10 particles from ABS8 and ABS11 slag asphalt was relatively low and comparable to the lowest emitting ABS11 coatings of conventional types previously tested for PM10 in the road simulator (PVM). However, the studs did not behave as expected, so no definitive conclusions can be drawn. Analyses by scanning electron microscopy (SEM) of the particles formed during the tests show the expected result for mineral and metal fragments.

Increased use of slag in asphalt leads to reduced use of virgin materials (i.e. crushed rock). The material's excellent resistance allows for thinner asphalt layer. The good adhesion between the slag and bitumen requires less bitumen and adhesion additives and therefore reduces both costs and environmental impact. The good adhesion can also be utilized in the production of noise reducing asphalt with a so called draining surface course with a larger proportion of cavities. A more durable road construction with slag asphalt requires less frequent maintenance and fewer repairs, and provides longer life and lower maintenance costs.

The project was originally planned to be reported on September 30, 2015, but as the project team and the administration had spent less resources than calculated, an application for extended disposition of the remaining project funds to increase and guarantee national and international dissemination was made. The application was granted and the project was extended to June 15, 2016. During the extension, the project has been presented orally and in writing on six different national and international occasions. In addition, a new project idea has emerged and an application for research funding has been granted by Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF.

Keywords:

Slag asphalt, properties, stability, strength, formation of PM10 particles, social benefits, open value chains, asphalt, by-products

INNEHÅLL

1	Inledning	4
2	Mål	6
3	Teoretisk/teknisk bakgrund	7
4	Genomförande och resultat	8
4.1	Ballast- och Prall-tester	9
4.2	Stabilitet och beständighet hos bindlagerasfalt	12
4.3	Vägsimulatortest.....	15
5	Diskussion	21
6	Slutsatser	25
7	Nyttiggörande av resultat och fortsatt arbete	26
8	Hållbarhet	28
9	Referenser	29
10	Bilagor	1
10.1	Bilaga 1 Projektorganisation och medverkande.....	1
10.2	Bilaga 2 Publikationer	3
10.3	Bilaga 3 Annan resultat- och kunskapsförmedling	5
10.4	Bilaga 4 Beskrivning av programmet.....	6

1 INLEDNING

Slagg från järn- och ståltillverkning har många egenskaper som gör den mycket användbar som ballast i asfalt [1, 2]. Dessa positiva egenskaper utnyttjas t.ex. i produkten ”Steel Pavé”, som produceras och säljs av SteelPhalt, ett företag inom Harsco Metals Group Ltd, England sen många år tillbaks[3]. I Sverige är användningen däremot hittills mer begränsad: ett antal provsträckor och rondeller med slaggasfalt har lagts och följts upp under många år och slagg från ett några verk används kommersiellt i liten skala som ballast i asfalt. Slaggasfalt är en för Sverige underutnyttjad produkt med egenskaper som kompletterar dem hos traditionell asfalt.

Ett syfte med projektet var att göra slaggasfalt till det naturliga valet för vägar i tätbebyggt område, där det pga. trängsel är komplicerat att göra underhållsarbete och där hög hållfasthet i t.ex. rondeller och vid trafikljus därför är ett önskemål, samt där buller och partikelbildning från trafiken är problem. **Ett andra syfte** var att öka materialhushållningen i samhället genom att använda slaggar (alternativt material), som produceras i samband med ståltillverkning istället för bergkross (traditionellt material) vars egenskaper ofta resulterar i asfalt med sämre prestanda än slaggasfaltens.

Med representanter i arbetsgruppen från alla led i kedjan från slaggproduktion, via forskare och myndigheter till produktion och användning av asfalt, har intressenter på alla nivåer varit involverade i diskussionerna, erfarenhetsutbytena och produktutvecklingen och fått samma information vid samma tillfällen. Samarbetet inom projektet och informationsflödet från det har gjort att kunskapsnivån på alla nivåer har höjts väsentligt avseende de unika egenskaperna hos olika typer av slagg i asfalt.

Som ett resultat av projektet förväntas flera nya typer av slagg från flera företag att komma till användning och nya specialiserade produkter kommer kunna läggas till listan över användningsområden. Detta bidrar till att uppfylla visionen i SIO-programmet för metalliska material. Projektet som helhet har dessutom bidragit till uppfyllandet av samtliga steg i programmet (se nedan Kap. 2 Mål, och Bilaga 10.4).

Angående de legala aspekterna på användningen av slagg som ballast i asfalt gäller följande:

- Samtliga slaggar, som är aktuella för asfaltstillverkning, är REACH-registrerade biprodukter. Undersökningarna av slaggernas potentiella påverkan på miljö och hälsa, som gjorts i samband med REACH-registreringen, har inte gett några indikationer på några farliga egenskaper [4].
- Eftersom det finns harmoniserade standarder för ballast i asfalt publicerade, tillsammans med ett annex gällande alternativa material, måste slagg för asfaltstillverkning CE-märkas.

Följande metallföretag har deltagit i projektet och bidragit med nedan beskrivna slaggtyper för de genomförda testerna, samtliga projektmedlemmar framgår i Bilaga 10.1.

Företag	Ort	Slaggtyp (REACH)
Befesa ScanDust AB	Landskrona	SMS
Höganäs Sweden AB	Höganäs	EAF C
Outokumpu Stainless AB	Avesta	EAF S
Ovako Bar AB	Smedjebacken	EAF C
Ovako Sweden AB	Hofors	EAF C
SMT AB	Sandviken	EAF S
SSAB Merox AB	Oxelösund och Luleå	ABS och BOS
Uddeholms AB	Uddeholm	EAF S
Vargön Alloys AB	Vargön	NFS

Slaggtyp (REACH)	Slaggens ursprung
ABS	Luftkyld masugnsslagg
BOS	Stålslagg, låglegerad ståltillverkning i LD-konverter
EAF C	Stålslagg, låglegerad ståltillverkning i ljusbågsugn
EAF S	Stålslagg, höglegerad ståltillverkning i ljusbågsugn och AOD-konverter
SMS	Övrig stålslagg
NFS	Slagg, inte ståltillverkning

Kortnamnen i listan ovan är enligt nomenklaturen i REACH och dessa akronymer används genomgående i denna rapport för redovisade resultat.

2 MÅL

Målsättningen med projektet var att, genom fördjupad och breddad kunskap om slaggasfalt och dess egenskaper, ta fram produktionsrutiner och produktinformationsblad för slaggasfalt för att öka användningen av slagg i asfalt.

I Sverige används idag slagg från ett några slaggproducenter kommersiellt i liten skala som ballast i asfalt. Efter genomförande av detta projekt förväntas kunskapsnivån hos alla intressenter på flera nivåer ha höjts väsentligt avseende de unika egenskaperna hos olika typer av slaggasfalt. Därför kommer flera företag och fler typer av slagg att komma till användning och nya specialiserade produkter kan läggas till listan över användningsområden för flera slagstyper.

Projektet planerades att genom ett bransch- och sektorsöverskridande samarbete skapa förutsättningar för slaggasfalt som en ny, unik produkt för bättre stadsmiljö och därigenom:

- Höja kunskapsnivån och ändra attityderna hos intressenter på alla nivåer i samhället
- Skapa ett erkännande av alla tekniska och miljörelaterade fördelar med slaggasfalt

Som en följd av detta förväntas projektet att bidra till:

- Ökade marknadsandelar för slaggasfalt i Sverige
- Ökad resurshushållning och resurseffektivitet i det svenska samhället

Genom detta projekt kommer slagg från ståltillverkning till ökad användning i en för Sverige ny applikation för de flesta företag och slaggar, samtidigt som användningen av jungfruliga råvaror (traditionella material) kan minska, liksom användningen av bitumen och vidhäftningsmedel. Detta bidrar både till att uppfylla visionen i SIO-programmet (se bilaga 10.4) för metalliska material och till att steg 5 i programmet, ”Öka resurseffektiviteten”, uppfylls. Samtidigt uppfylls steg 6 i programmet, ”Minska miljöpåverkan”, genom att slaggasfalt resulterar i minskat buller, ökad livslängd hos vägbeläggningar som utsätts för hård belastning (t ex i rondeller, vid tung trafik, mm), minskad användning av jungfruliga material/minskad brytning av berg och troligen minskad damning från dubbdäcksslitage. Målet att publicera tydliga och informativa produktinformationsblad syftar på både steg 1, ”Utveckla erbjudandet” och steg 3, ”Öka materialutvecklingstakten”. För att lyckas med genomförandet av projektet, dvs. uppnå de uppsatta målen, var projektgruppen sammansatt av representanter från alla steg i kedjan från stål-/slagg-produktion, slaggförädling, FoU och materialtester, till tillverkning och användning av asfalt, samt myndigheter och beslutsfattare. I och med detta är projektet ett mycket gott exempel på steg 2, ”Öppna värdekedjan”. Projektet har också gett helt ny kompetens hos både asfalt- och stålindustrin och synliggörandet av dess samhällsnyttiga produkter bidrar till att öka attraktiviteten för branschens hållbarhetsarbete. Samtliga sju steg finns således med i ett och samma projekt.

3 TEORETISK/TEKNISK BAKGRUND

Slagg från järn- och ståltillverkning har många egenskaper, t.ex. hög stabilitet, bra slitstyrka, beständighet och friktion, samt bullerreducerande effekt och god vidhäftning till bitumen (pga. av slaggernas basiska egenskaper), som gör den mycket användbar som ballast i asfalt [1, 2]. Den goda vidhäftningen skulle bl.a. kunna vara en av anledningarna till den konstaterat högre stabiliteten, beständigheten och skjuvhållfastheten hos slaggasfalt än hos traditionell asfalt. Slaggasfalt har dessutom, tack vare slaggens porositet, bättre friktion och är bullerdämpande. I Sverige är användningen av slaggasfalt trots dessa positiva egenskaper hittills mycket begränsad. En av orsakerna till den låga användningen i Sverige är en historiskt sett mycket strikt tillämpning av miljölagstiftningen. Med ny lagstiftning och strategier för en cirkulär ekonomi, krav på ökad resurseffektivitet och det faktum att slaggasfaltens egenskaper kan lösa flera av trafikens miljöfrågor, har nya möjligheter öppnats.

Alla de internationellt kända goda egenskaperna hos slaggasfalt behövde bekräftas och kunskaperna om dem fördjupas genom praktiska tester på slaggballast och slaggasfalt från ett stort antal olika svenska slaggleverantörer. För att bredda undersökningarna ytterligare har även en slagg, som inte härrör från järn- och ståltillverkning och som är något surare, ingått i projektet.

Kunskaperna om hur beständig slaggasfalt är mot slitage och partikelbildning vid användning av dubbdäck är obefintlig i världen. Jernkontorets Teknikområde Restprodukter (TO55), genomförde ett internt forskningsprojekt (55014), där *en* typ av slaggasfalt gjord på EAF C slagg testades med avseende på dubbdäcksslitage i VTIs vägsimulator (PVM). Dessutom testades slitagehållfastheten på lab hos flera olika typer av slaggasfalt med s.k. Prall-test och flera slaggballasttyper undersöktes i lab-skala med flera olika stentester. Resultaten från det föregående projektet ingår som bakgrund till detta fördjupade projekt och resultaten från de båda projekten (55014 och 55016) diskuteras i denna rapport.

4 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT

Tio olika slaggtyper (nio stycken basiska slaggtyper från järn- och ståltillverkning och en något surare slag från icke ståltillverkning) har testats med följande metoder:

- Ballasttester i lab-skala på alla slaggtyper, förbehandlade på olika sätt, samt slitagetester i lab-skala med s.k. Prall-test på asfalter av slitlagertyp med samma slagger.
- Tester på lab av stabilitet (dynamisk kryptest) och beständighet (skjuvhållfasthet) hos ABb-asfalt (bindlager), lab-tillverkad av alla slaggtyper och på asfaltprover borrade ur tre stycken olika, mer än tio år gamla slaggasfalter i ”verkligheten”.
- Slitagetest i pilotskala i PVM (VTIs vägsimulator) på en typ av slaggasfalt.

Provning av ballastegenskaper gjordes med standardiserade testmetoder (se avsnitt 4.1) för att undersöka den fysiska kvalitén på slaggballast och jämföra den med bergkrossballast. För att dessutom utreda hur provberedningen påverkar kvalitén hos den framtagna slaggballasten gjordes den dels genom enbart siktning till önskade analysfraktioner direkt ur materialet och dels genom en kombinerad krossning och siktning.

Prall-test är en standardiserad test i lab-skala för undersökning av slitageegenskaperna beroende av dubbdäcksanvändning hos asfalten i slitlagret på en väg. Slitlagret är den asfalt som ligger på ytan av vägen och som utsätts för slitage från trafiken. Under slitlagret på en väg ligger det s.k. bindlagret som har till uppgift att stabilisera vägen. Stora krav ställs på detta lager med avseende på stabilitet och beständighet och därför läggs ofta mycket pengar på bl.a. bindemedel för att uppnå kraven. Den goda vidhäftningen mellan bindemedel och slaggballast kan därför vara en stor fördel för kvalitén på bindlagret. Genom bl.a. minskad bindemedelsmängd och minskat/uteblivet behov av tillsatt vidhäftningsmaterial används färre resurser och leder till sänkta kostnaderna för tillverkningen av detta.

Ursprungligen planerades undersökning av ABb-slaggasfalt med dynamisk kryptest och tester på vattenkänslighet. Eftersom det dels är välkänt att vidhäftningen hos bitumen på slagg är mycket god och dels ABb-asfalt (bindlagret under slitlagret) normalt i vägen inte utsätts för vatten, valdes att i stället för test av vattenkänsligheten, göra tester på skjuvhållfastheten.

Skjuvhållfasthetstest innebär att en asfaltsprovkropp belastas i två riktningar, vilket ger en skjuvpåverkan på provkroppen. Detta utförs vid olika temperaturer och med olika frekvenser hos den pulserade lasten. Resultaten från testet speglar hur en asfaltbeläggning klarar trafikbelastningen (framförallt i t ex rondeller, på busshållplatser och vid ljussignaler där vridande/skjutande belastning uppstår från cirkulerande och bromsande/startande trafik) under olika klimatförhållanden.

Vid **dynamisk kryptest** utsätts en provkropp för en pulserande belastning och den deformation man fått efter 3600 pulser mäts. På detta sätt mäts hur mycket asfalten töjs under belastning och resultatet beskriver hur snabbt stabiliteten hos ett asfaltmaterial försämras.

För att i pilotskala undersöka slitagepåverkan från dubbdäck på slaggasfalt (slitlagerasfalt) utnyttjades VTI:s vägsimulator (PVM), där fyra bildäck drivs i varierande hastigheter på en cirkelformad, asfalterad bana. Under testet kan olika parametrar följas, såsom asfaltslitage, däck- och dubbslitage, partikelbildning (uppsamling av partiklar under drift för fysikaliska och kemiska undersökningar).

Alla tester utfördes på VTI. De använda metoderna och resultaten från dem finns redovisade i detalj i tre testrapporter [E1, E2 och E3]. Slaggasfalt Delrapport A, Ballastegenskaper och slitegenskaper enligt Prall, Slaggasfalt Delrapport B, Stabilitet och skjuvegenskaper hos slaggasfalt, Slaggasfalt Delrapport C, Slitage och bildning av inandningsbara partiklar (PM₁₀).

Nedan redovisas en kortare sammanfattning av de använda testmetoderna och resultaten. Dessa diskuteras sedan vidare i kapitel 5 och 6.

4.1 Ballast- och Prall-tester

Ballasttesterna utfördes på enligt gällande europastandarder för egenskaperna nötningsresistens, sprödhet och kornform:

- SS-EN 1097-1 nötningsmotstånd (micro-Deval)
- SS-EN 1097-2 motstånd mot fragmentering (Los Angelesvärde)
- SS-EN 1097-9 motstånd mot nötning av dubbdäck (Nordiska kulkvarnsmetoden)
- SS-EN 933-3 kornform – Flisighetsindex

Resultaten från alla ballasttesterna sammanfattas i Tabell 1 nedan och Trafikverkets krav på Kulkvarnsvärden för asfaltballast ses i Tabell 2. Genom jämförelse mellan kulkvarnsresultaten i Tabell 1 och kraven i Tabell 2 kan konstateras att många slagger håller god kvalitet och att kvaliteten kan höjas genom att både krossa och sikta materialet före användning (se vidare diskussion i avsnitt 5).

I rapporten Slaggasfalt Delrapport A, Ballastegenskaper och slitegenskaper enligt Prall, VTI Notat 10-2015¹, finns en mer detaljerad redovisning.

¹ <http://www.vti.se/en/publications/pdf/slag-asphalt-interim-report-a--aggregate-properties-and-wear-characteristics-according-to-prall.pdf>

Slaggtyp	Densitet		Kulkvarn		Los Angeles och Microdeval			Flisighetsindex		Anm.
	Fraktion	Mg/m ³	Fraktion	A _N	Fraktion	M _{DE}	LA	Fraktion	FI	
EAF S	8/11,2	3,03	8/11,2	9,1	-	-	-		-	s
EAF S	11,2/16	3,03	11,2/16	11,8	10/14	8	19		-	s
EAF S	11,2/16	3,02	11,2/16	17,6	10/14	10	28	4/31,5	4	ks
NFS	8/11,2	3,23	8/11,2	10,5	-	-	-		-	ks*
NFS	10/12,5	3,23	11,2/16	10,0	10/14	8	16	8/16	6	ks
EAF C	8/11,2	3,18	8/11,2	20,5	8/11,2	14	26		-	s
EAF C	11,2/16	3,45	11,2/16	12,9	10/14	9	17	8/11 & 11/16	2 & 1	ks
EAF C	8/10	3,46	11,2/16	12,9	10/14	10	16	8/16	3	ks
EAF C	8/11,2	3,81	8/11,2	8,6	-	-	-		-	ks
BOS	8/11,2	3,54	8/11,2	8,2	-	-	-		-	ks
BOS					10/14	7	14	4/16	5	ks
ABS	8/11,2	2,71	8/11,2	12,1	8/11,2	11	20			ks
SMS	11,2/16	2,88	11,2/16	14,6	10/14	13	18	10/16	6	ks
SMS	8/11,2	2,88	8/11,2	13,3	-	-	-		-	ks**
SMS	11,2/16	2,54	11,2/16	22,1	-	-	-		-	ks
EAF S	8/11,2	3,56	8/11,2	14,1	-	-	-		-	ks
EAF S	8/11,2	2,68	8/11,2	29,4	-	-	-		-	s***
EAF S	11,2/16	2,85	11,2/16	15,2	-	-	-		-	ks
EAF C	8/11,2	3,58	11,2/16	12,6	10/14	9	15	8/16	3	ks
EAF S	11,2/16	3,40	11,2/16	32,9	10/14	19	31	4/16	6	s

Anm.

* Enkelprov utfört pga materialbrist

** För stor spridning, omprov ej utfört pga materialbrist

*** För stor spridning, omprov ej utfört pga dåligt kulkvarnsvärde

s Materialet siktat

ks Materialet krossat och siktat

Tabell 1: Sammanställning av resultaten från ballasttesterna (företagsgrupperade resultat).

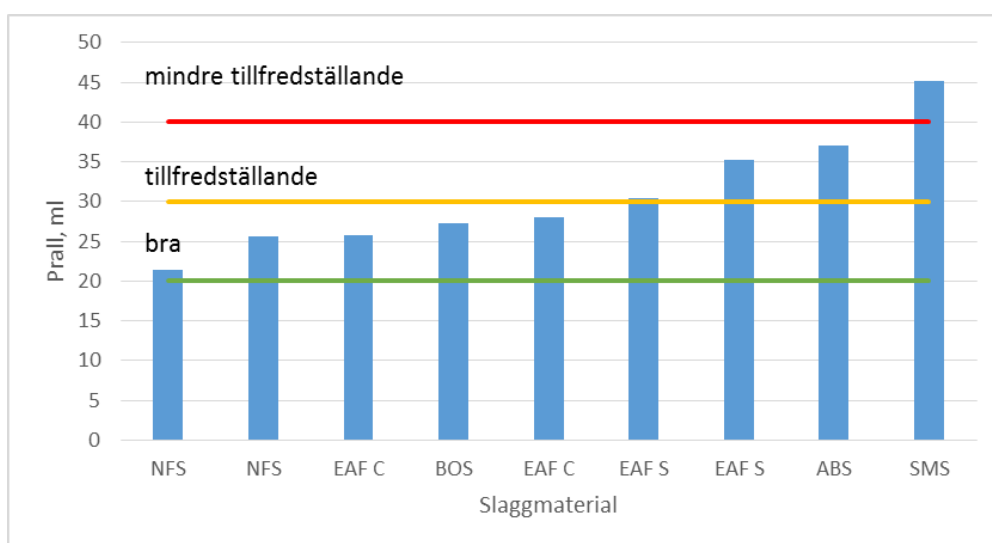
Flisighetsindex (FI)		ÅDT _{k,just} x 1000			
		<0,5	0,5-1,5	1,5-3,5	3,5-7,0
Slitlager	ABT	≤20	≤20	≤20	≤20
	ABS	≤20	≤20	≤15	≤15
	ABD	≤20	≤20	≤15	≤15
Bindlager	ABb	≤20	≤20	≤20	≤20
Bärlager	AG	≤20	≤20	≤20	≤20
Los Angelesvärde (LA)		ÅDT _{k,just} x 1000			
		<0,5	0,5-1,5	1,5-3,5	3,5-7,0
Slitlager	ABT	≤25	≤25	≤25	≤25
	ABS	≤25	≤25	≤25	≤20
	ABD	≤25	≤25	≤20	≤20
Bindlager	ABb	≤25	≤25	≤25	≤25
Bärlager	AG	≤25	≤25	≤25	≤25

Micro-Devalvärde (M _{DE})		ÅDT _{k,just} X 1000			
		<0,5	0,5-1,5	1,5-3,5	3,5-7,0
Slitlager	ABT	-	-	-	-
	ABS	-	-	-	-
	ABD	-	-	-	-
Bindlager	ABb	≤15	≤15	≤15	≤10
Bärlager	AG	≤15	≤15	≤15	≤15
Kulkvarnsvärde		ÅDT _{k,just} x 1000			
		<0,5	0,5-1,5	1,5-3,5	3,5-7,0
Slitlager	ABT	≤14	≤14	≤10	≤7
	AS	≤14	≤10	≤7	≤7
	ABD	≤14	≤10	≤7	≤7
Bindlager*	ABb	≤14	≤14	≤14	≤10
Bärlager*	AG	≤14	≤14	≤14	≤10

*/ om lagret ska trafikeras (annars inga krav på kulkvarn)

Tabell 2: Trafikverkets krav på kulkvarnsvärde för ballast till asfaltbeläggning

Prall-testerna utfördes enligt den standardiserade metoden SS-EN 12697-16. Asfaltmassa blandades på VTI:s laboratorium, med respektive slagg, enligt receptet bergmaterial 0/4 mm och slagg 4/8 och 8/11,2 mm. Provkroppar av beläggningstypen ABS 11 70/100 (slitlagerasfalt) tillverkades sedan med hjälp av Marshallpackning enligt SS-EN 12697-30. Provkropparna blir 63 mm höga och en diameter på 100 mm. För Pralltester delas dessa på mitten och testet utförs på den sågade ytan. Figur 1, visar resultaten från Prall-testerna tillsammans med Trafikverkets riktlinjer för asfalt. Där ses att många av slaggasfaltarna uppvisar god eller mycket god slitstyrka, vilket även bl.a. är kopplat till ballastegenskaperna.

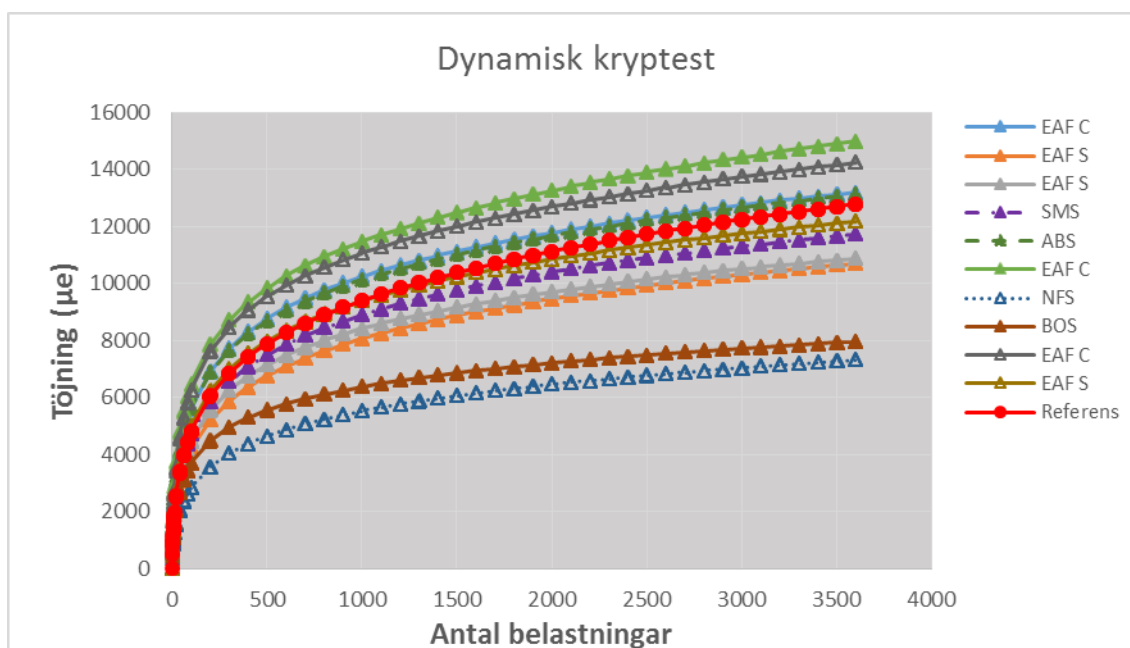


Figur 1: Prall-tester med Trafikverkets riktvärden inlagda som horisontella linjer

4.2 Stabilitet och beständighet hos bindlagerasfalt

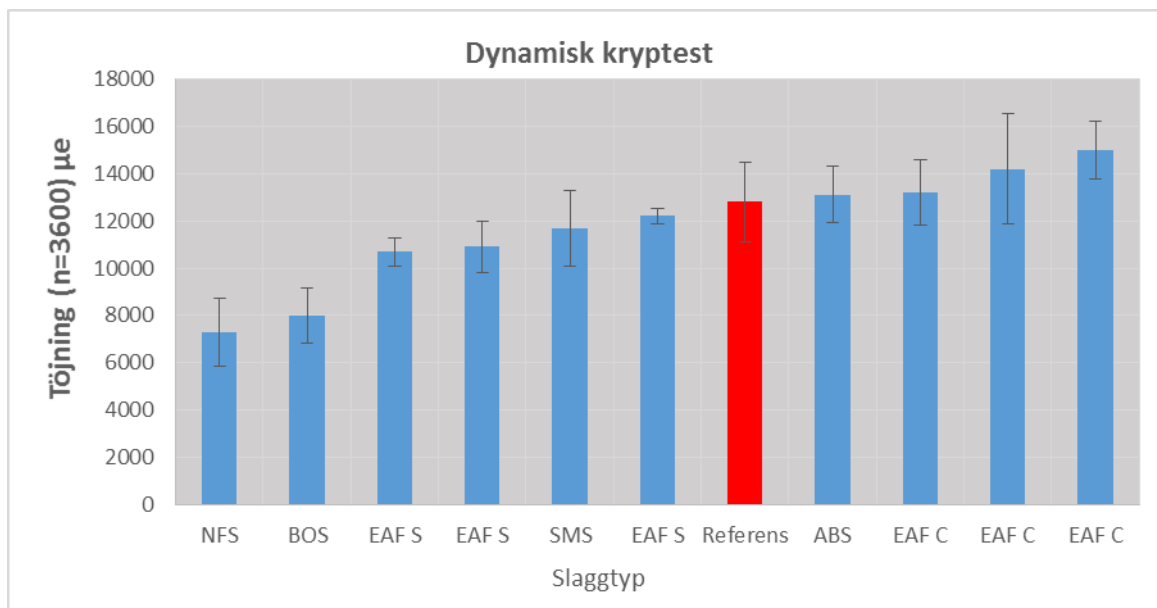
För tillverkning av slaggasfalt av typen bindlagerbeläggning siktades de 10 olika slaggmaterialen och referensmaterialet (bergkross, Skårlunda) i fraktionerna 4-8, 8-11,2 och 11,2-16 mm och proportionerades tillsammans med granitiskt bergkrossmaterial i fraktion 0-4 mm från bergtåkten i Skårlunda och bindemedel 70/100 till beläggningstypen ABb 16. Proportionering gjordes med utgångspunkt från Trafikverkets krav (kalkylvärden), varefter bindemedelshalten justerades med avseende både på densiteten och porositeten hos respektive slagg. Materialen värmdes till +160 °C och blandades i en laboratorieblandare av tvångsblandartyp. Inga vidhäftningsmedel tillsattes. För tillverkning av plattor packades massorna med en stålvalsält enligt VTIs metod (samma metodik som används vid tillverkning av prover till VTIs provvägsmaskin, se avsnitt 4.3, nedan). Ur dessa plattor togs sedan borrkärnor med diameter 150 mm för bestämning av stabiliteten med hjälp av dynamisk kryptest och skjuvhållfasthet.

Dynamiskt kryptest genomfördes enligt FAS Metod 468, där deformationen hos provkropparna efter 3600 belastningscykler mäts och uttrycks i mikrostrain. Figur 2 nedan redovisar töjningen (deformationen), dvs. resultaten från dynamisk kryptest, hos de 10 olika lab-tillverkade slaggasfaltstyperna beroende av antalet belastningar, dvs stabiliteten, jämfört med referensen.



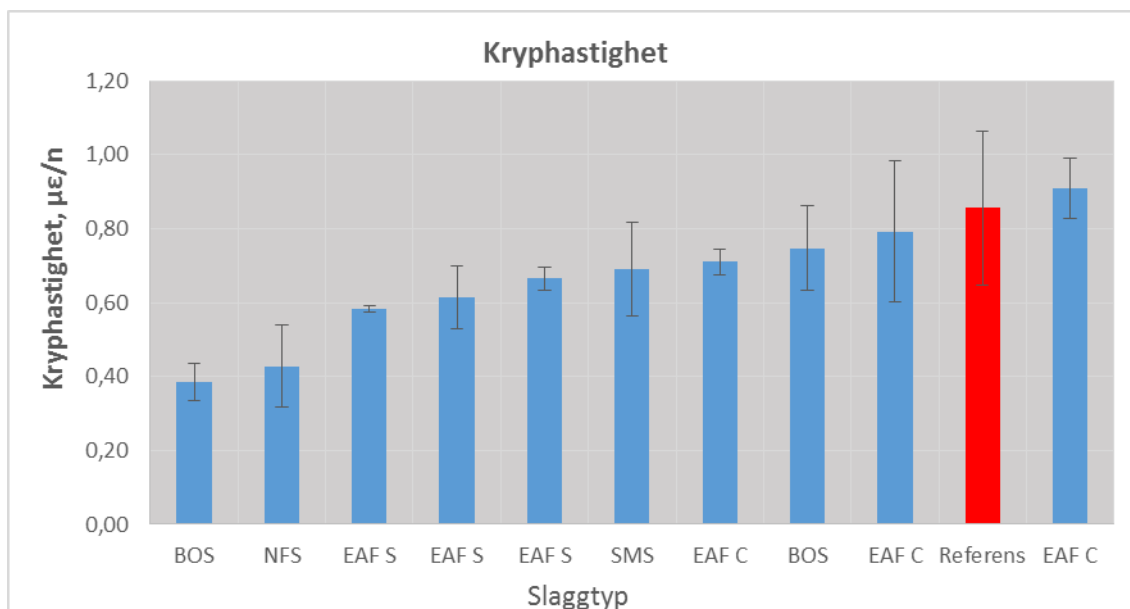
Figur 2: Dynamisk kryptest på ABb16 70/100 med olika slaggar som ballast och en referens

Figur 3 visar hur stor töjningen var hos respektive asfaltstyp efter 3600 belastningar (fordonsöverfarer).



Figur 3: Töjning efter 3600 pulser och standardavvikelse på ABb16 70/100 med olika slaggar som ballast och en referens (sorterade efter töjningsnivå).

Krypfastheten beskriver hur snabbt stabiliteten hos ett asfaltmaterial försämras vid belastning. I figur 4 nedan ses att nästan alla slaggena visar lägre kryptfasthet än provet med konventionell ballast, vilket innebär att stabiliteten försämras långsammare för slaggena.



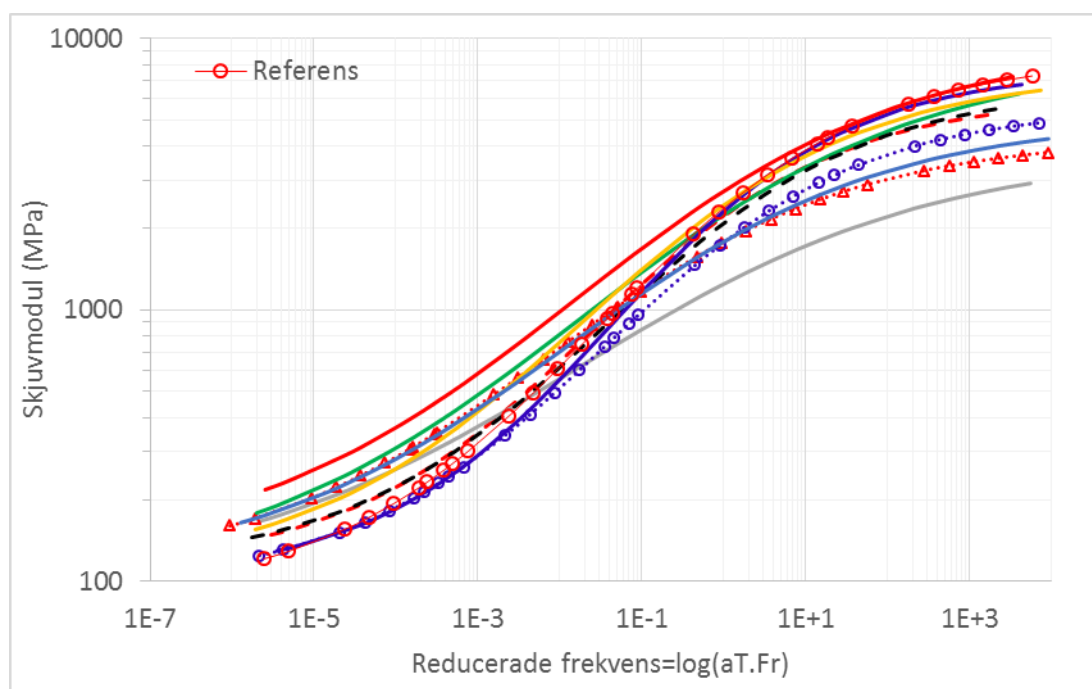
Figur 4: Krypfastighet och standardavvikelse på ABb16 70/100 med olika slaggar som ballast och en referens (sorterade efter kryptfastighet).

Sammantaget visar resultaten från dynamisk kryptest att slaggasalternativen uppvisar mycket god stabilitet jämfört med referensen.

Skjuvhållfasthetstesterna utfördes enligt metod utvecklad på VTI där en asfaltsprovkropp limmas mellan två stålplattor och belastas i två riktningar: en statisk last som ”klämmer ihop” provkroppen och en pulserande last vinkelrätt mot den statiska lasten som ger en skjuvpåverkan på provkroppen. Detta utförs vid olika temperaturer och med olika frekvenser hos den pulserade lasten. Resultaten från testet presenteras dels med skjuvmodulen som beskriver förhållandet mellan skjuvspänning och töjning, och dels med fasvinkeln eller fasförskjutningen som är en parameter som beskriver materialets motstånd mot permanenta deformationer under olika förekommande belastningar i fält (främst beroende på bindemedlets elasticitet och viskositet vid olika temperaturer).

Reologiska egenskaper, såsom skjuvmotstånd, viskositet och permanenta deformationer, är viktiga egenskaper hos beläggningar särskilt för utsatta platser som trafik Korsningar, busshållplatser mm. Eftersom skjuvhållfastheten undersöktes vid olika temperaturer och frekvenser (belastningshastigheter), var det möjligt att presentera resultaten i s.k. Masterkurvor. Fördelen med denna typ av komplexa undersökningar är att masterkurvorna speglar hur beläggningarna fungerar under olika årstider och vid olika trafik hastigheter.

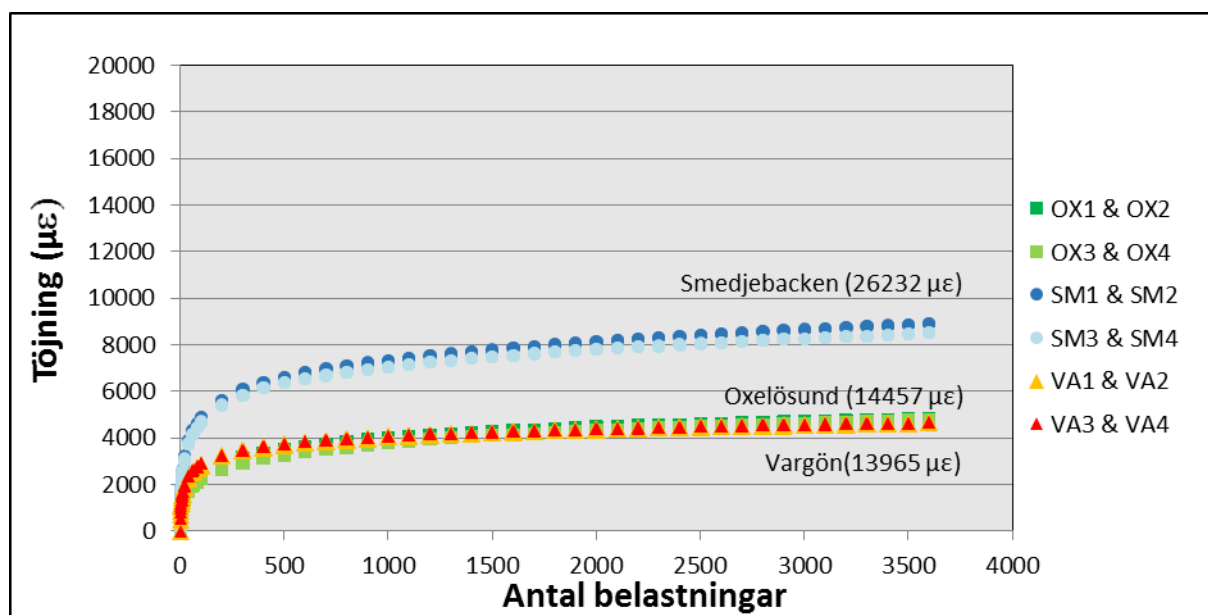
I Figur 5 ses att de flesta beläggningarna med slaggballast uppvisar en flackare masterkurva än referensen, vilket betyder att slaggasfalt är mindre temperaturkänslig än referensmassan, både mot hög och låg temperatur.



Figur 5: Masterkurvor för skjuvmodulen hos de 10 slaggasfaltarna ABb16 70/100 och referensen

För att även få en uppfattning om hur slaggasfalt fungerar över tiden utfördes borrning på tre objekt som var 10-15 år gamla. Dessa slitlagerbeläggningar hade tillverkats med slagg som ballast och två av dem ligger inom industriområdena i Oxelösund respektive Vargön, medan

det tredje ligger i en rondell i Smedjebacken. Alla tre beläggningarna trafikeras fortfarande, men ytan i Oxelösund har lagts över någon gång för ganska många år sedan, så att slaggasfaltan där idag ligger som ett bindlager. NCC fick uppdraget att borra ut provkroppar för bestämning av dynamisk kryptest enligt FAS Metod 468 på VTI. För att få en uppfattning om beläggningstyp och packningsgrad analyserades provkropparna även avseende bindemedelshalt, kornkurva och hålrumsinhalt. Resultaten från testerna sammanfattas i Figur 6.



Figur 6: Dynamisk kryptest för borrhärdar från 3 objekt. Kurvorna visar aktuella provresultat medan siffror inom parentes avser ålderskorrigerade värden.

I rapporten Slaggasfalt Delrapport B, Stabilitet och skjuvegenskaper hos slaggasfalt, Notat 19-2015², finns mer utförliga beskrivningar av de olika testerna. Resultaten diskuteras också vidare i kapitel 5 och 6.

4.3 Vägsimulatortest

PVM består av en 16 meter lång cirkelrund bana som kan beläggas med valfri vägbeläggning. Maskinen roterar kring en central vertikal axel på vilken sex hjulaxlar är monterade. På dessa kan olika typer av däck monteras. Fyra av axlarna är i drift och drivs av elmotorer. Vid provning sänks hjulen ner mot banan tills önskat axeltryck ställts in och hjulen driver sedan maskinen att rotera. Hastigheten kan varieras steglöst upp till 70 km/h. I hastigheter över 30 km/h kan en excenterrörelse kopplas in vilket gör att hjulen inte kör i samma spår utan rör sig över nästan hela banbredden.

I tester i PVM rör sig däcken i en ganska snäv cirkelformig bana, vilket medför att ett däck rör sig något långsammare mot underlaget i dess innerkant än i ytterkanten. Detta i sin tur medför

² <http://www.vti.se/sv/publikationer/utvardering-av-slagg-som-ballast-i-asfaltbelaggnig--stabilitet-och-skjuvegenskaper-hos-slaggasfalt/>

en liten vridning av kontaktytan, så att dubbarna i däckkanterna skrapar lite i längsled istället för att bara slå. Detta medför att slitaget är större i PVM än i verkligheten.

Dubbdäcksslitage av vägbeläggningar orsakar emissioner av inandningsbara partiklar (PM₁₀) vars tillåtna halt i omgivningsluften är reglerad enligt en miljökvalitetsnorm. Ett sätt att minska partikelemissionen är att anpassa beläggningarnas egenskaper. För att studera slitagepartiklarna separat, utan inblandning av partiklar från avgaser och andra antropogena och naturliga källor, krävs att partiklarna kan genereras och provtas i en miljö där andra källor är minimerade. Detta kunde åstadkommas genom att mätinstrumenten placerades i den slutna hallen runt simulatören.

Tillverkning av provplattor till PVM gjordes med hjälp av vält av en stålvalsvält (av typen ”gångbanevält”). Materialet proportionerades för att erhålla den valda beläggningstypen; dvs. ABS8 med 70/100 bitumen och tidigare en ABS 11 också med 70/100 bitumen. Material <4 mm bestod av granit och material > 4 mm av slag från Ovako Bar enligt följande recept för ABS8-beläggningen:

- filler 11,3 % Granit från Skärlunda, Norrköping
- 0-4 mm 15,5 % Granit från Skärlunda, Norrköping
- 4-8 mm 73,2 % Slagg från Ovako Bar Smedjebacken
- bindemedelshalt 6,4 %

+ fibrer 0,3 % av mängden asfaltmassa

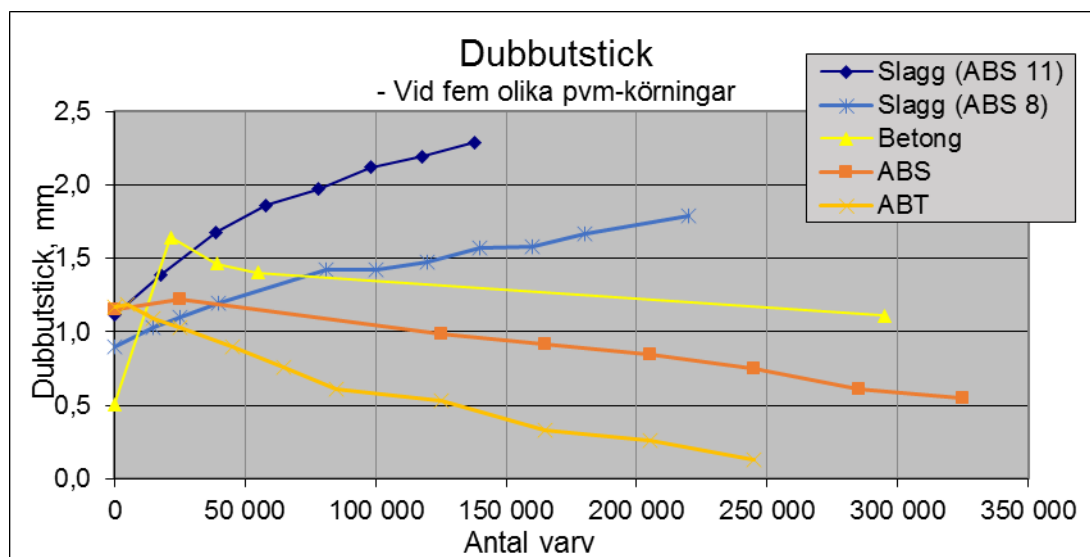
Som referenser användes resultaten från ett antal i provvägsmaskinen tidigare testade asfaltsbeläggningar av typerna ABS11 och ABS16 tillverkade på samma sätt. Dessa försök har utförts med samma däckstyp som slaggbeläggningarna i detta projekt, Nokian Hakkapeliitta 7. Före testerna strippades beläggningen på bitumenhinnan genom inkörning i 70 km/h i 25 000 varv med dubbdäck av typen Gislaved Nordfrost under våta förhållanden.

Partikelmängder och partiklarnas storleksfördelning från ca 10 nm och ner till 10 µm mättes och PM₁₀ har provtagits med kaskadimpaktor för storleksupplöst grundämnesanalys med PIXE (partikelinducerad röntgenemission). Filterprover togs även med SFU (stack filter unit) för undersökning av partikelformer mha svepelektronmikroskopi.

Vid tester med dubbdäck i PVM uppstår även en fraktion mycket små partiklar, s.k. ultrafina partiklar (< 100 nm). Partiklarna är inte bortslitet stenmaterial, som dominerar PM₁₀, utan har en mer komplex och flyktig sammansättning. Källan och bildningsprocessen är i dagsläget okänd, men är oberoende av ballasttyp och verkar vara knuten till däckens dubbar. Även effekter på denna partikelfraktion studerades i experimentet. Förutom partikelparametrar mättes även temperaturer i däck, beläggning och luft, relativ luftfuktighet och dubbutstick vid försöken.

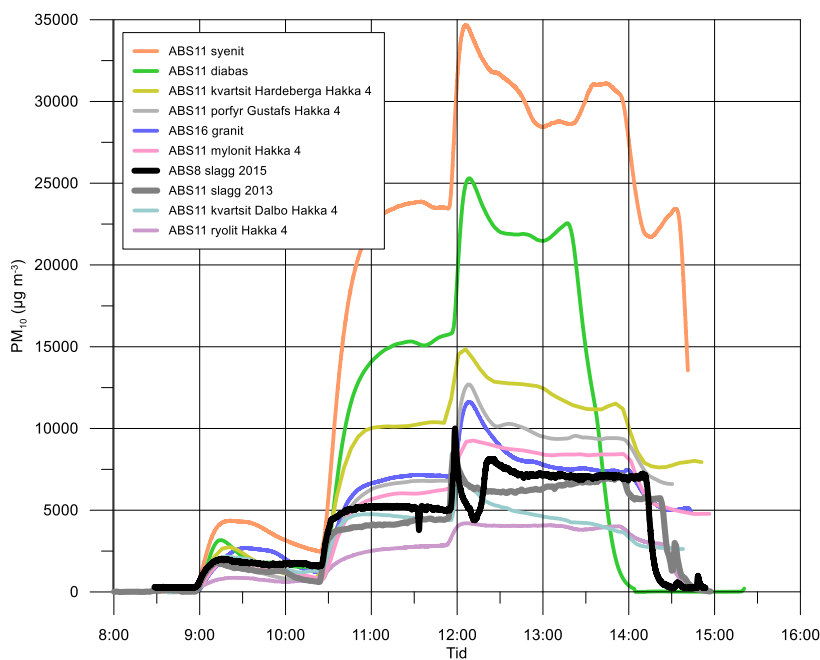
Utvärdering av slitagemätningarna försvårades av att dubbutsticket varierade mer för slaggasfalterna jämfört med försök med olika stenmaterial som testats tidigare i VTIs provvägsmaskin. I Figur 7 nedan visas mätningen av dubbutstick efter olika antal varv vid olika försök i PVM. Man ser här att dubben slits fortast på ABT - beläggningar, något

långsammare på ABS - beläggning och ännu långsammare på betongbeläggning. På de aktuella slaggasfaltbeläggningarna, däremot ökar dubbutsticket med antal varv.



Figur 7: Jämförelse av dubbutstick vid körningar i PVM på olika typer av material

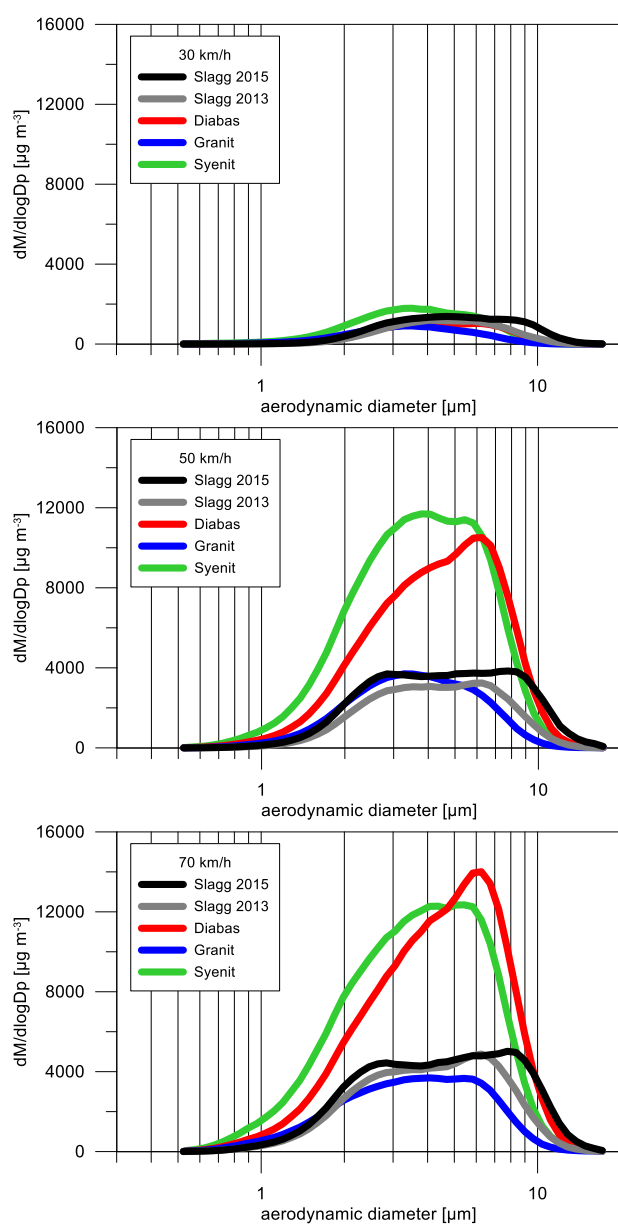
Uppsamling och mätning av partikelmängder utfördes före slitagemätningarna och innan det onormala däckslitaget och dubbutsticket startade, så bedömningen är att resultaten från partikelmätningarna ändå är trovärdiga och relevanta. Halterna av PM₁₀ i PVM-hallen stiger med ökande hastighet i likhet med för stenbeläggningar (se Figur 8). Bildningen av PM₁₀ från slagg är medelhög jämfört med stenbeläggningar testade med samma däckstyp.



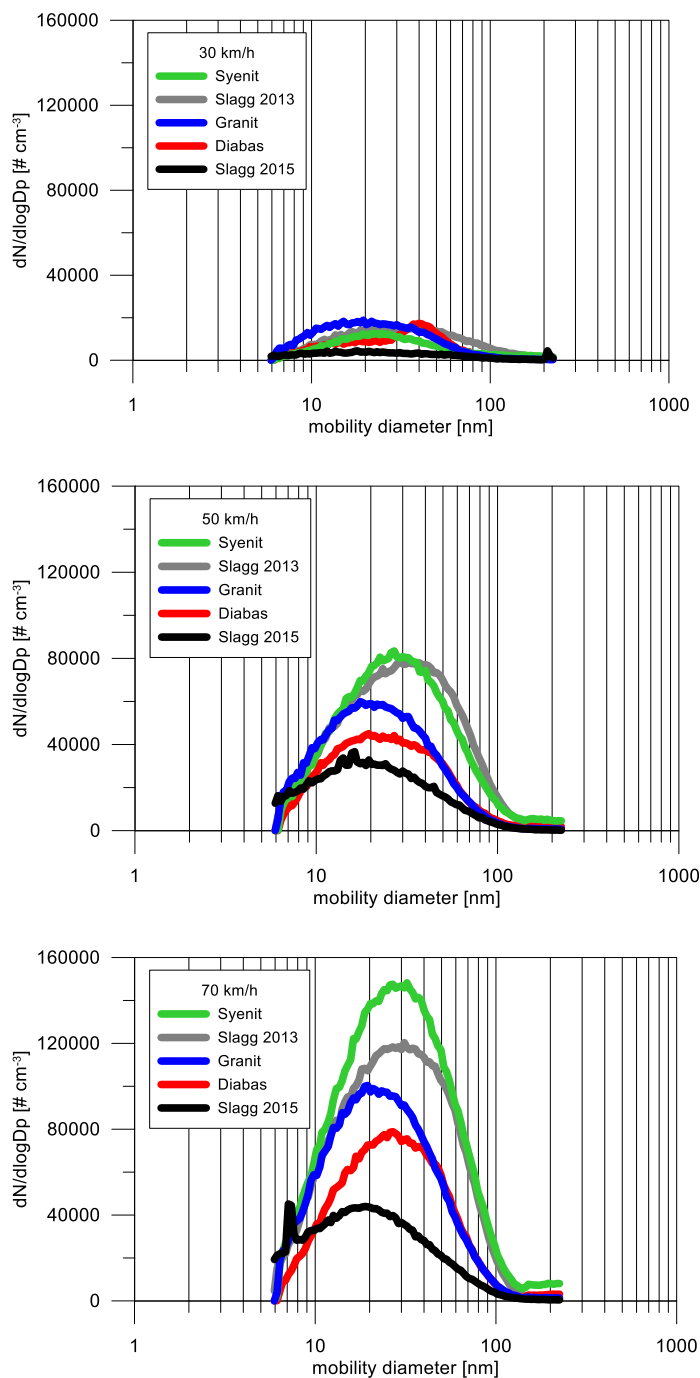
Figur 8: PM₁₀-halter under försöket med ABS 8 slaggasfalt i PVM, jämfört med ABS11 slaggasfalt som provades 2013 och några andra ABS11-beläggningar med stenmaterial i ballasten. Observera att beläggningarna som genererar de två översta kurvorna är specialbeläggningar

Massfördelningen för PM₁₀ från beläggningarna med slagg är, liksom för flera andra beläggningar, bimodal med toppar vid ca 3 och 6 µm (Figur 9). Den för ABS8 med slagg skiljer sig något från den för ABS11 med slagg genom att den grova moden är lite grövre och har något högre halter. Halterna ökar med stigande hastighet och massfördelningen är i mycket lik referensbeläggningarnas. Skillnaden vid 30 km/h är liten, men ökar vid 50 och 70 km/h, då syeniten och diabasen ökar mer i koncentration än slaggen och graniten.

Antalsfördelningarna hos partiklarna (Figur 10) domineras helt av partiklar mellan 10-100 nm, s.k. ultrafina partiklar. Erfarenhetsmässigt är dessa sannolikt inte mekaniskt bortslitna utan har troligen ursprung i processer relaterade till friktionsvärme vid dubbdäcksanvändning, oberoende av ballasttyp. PM₁₀ från de provade slaggbeläggningarna skiljer sig inte nämnvärt från andra testade asfaltsbeläggningar med stenballast.

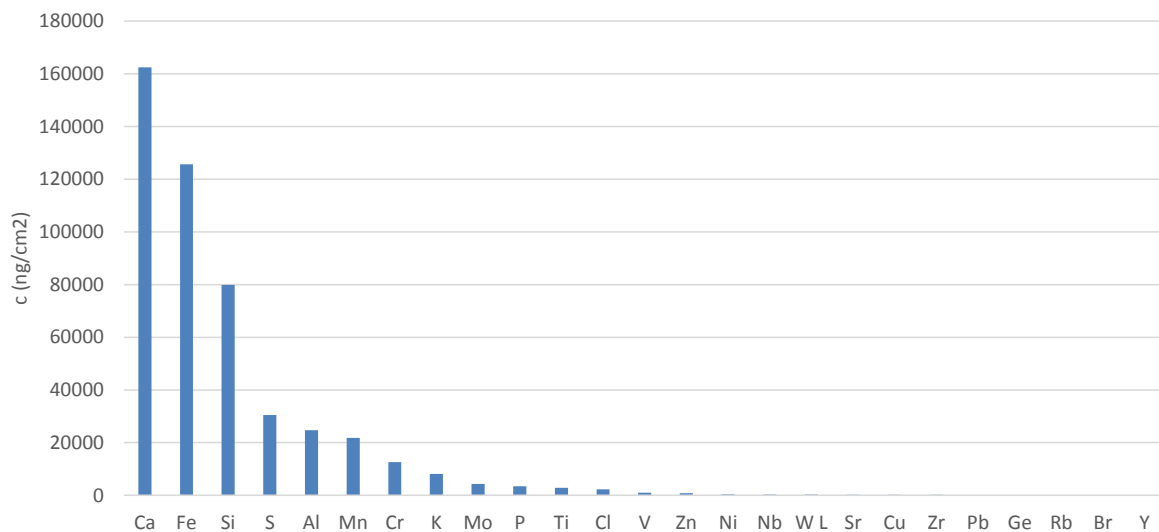


Figur 9: Massfördelning hos partiklar från slaggasfalt jämfört med tre beläggningar med sten i ballasten.



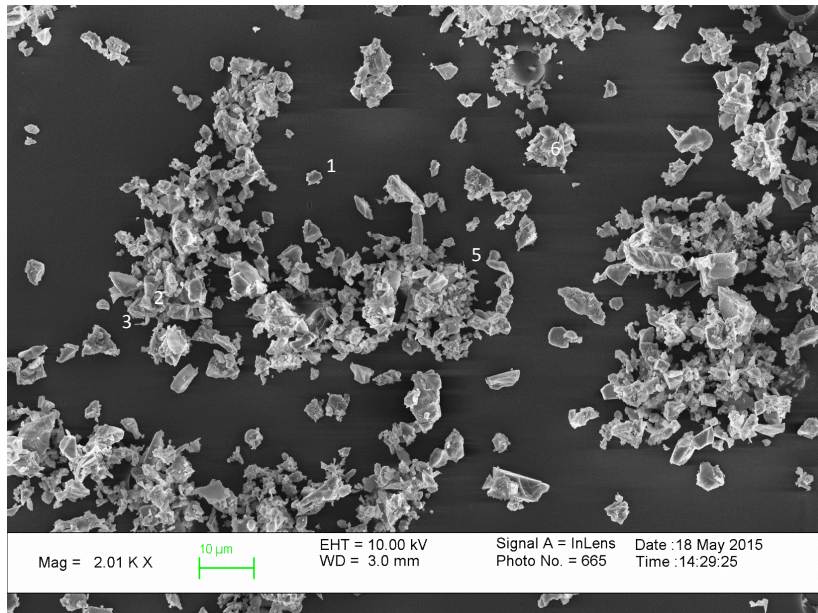
Figur 10: Antalsfördelning hos partiklar från slaggasfalt jämfört med tre beläggningar med sten i ballasten.

Kemanalysen av partiklarna från de tolv stegen i kaskadimpaktorn visar att de primära grundämnena i fraktionen som dominerar massan (1-10 μm) är kalcium, järn och kisel (se Figur 11, nedan), vilket som väntat i stort speglar kemanalysen hos slaggen.



Figur 11: Summerade koncentrationer av grundämnen i PM₁₀ från slagbeläggning sorterade från högst till lägst.

Generellt är partiklarna enligt SEM-undersökningen kantiga, korniga eller flakiga fragment. Övervägande antalet uppvisar typiska morfologiska drag av mineralfragment med mussliga brottytor (små skålformade brottytor, som är karaktäristiskt för alla kvartstyper) och skarpa kanter. Figur 12, nedan, visar ett exempel på en översiktsbild över partiklar i storleksfraktionen 2,5-10 µm tagen i svepelektronmikroskopet.



Figur 12: SEM översikt 2, grova partiklar 2,5 - 10 µm.

I Slaggasfalt Delrapport C, Slitage och bildning av inandningsbara partiklar (PM₁₀), Notat 24-2015³ finns mer detaljerade beskrivningar av testerna och resultaten diskuteras vidare i kapitel 5 och 6.

³ <http://www.vti.se/sv/publikationer/slaggasfalt-delrapport-c--slitage-och-bildning-av-inandningsbara-partiklar-pm10/>

5 DISKUSSION

Slagg har många egenskaper som gör att den lämpar sig mycket bra som ballast i asfalt, t.ex. hög stabilitet, bra slitstyrka, beständighet och friktion, samt god vidhäftning till bitumen. Slaggasfaltens höga beständighet, tack vare bl.a. dessa egenskaper, gör den mycket användbar på vägsträckor som utsätts för stora påfrestningar, t ex i rondeller, på busshållplatser och vid trafikljus. För att bekräfta dessa egenskaper hos slaggasfalt och fördjupa kunskaperna om dem genomfördes ett antal olika tester på tio olika slaggtyper från svenska slaggproducenter:

- Ballasttester, för att undersöka den fysiska kvalitén på slaggballast och jämföra den med bergkrossballast.
- Prall-test för undersökning i lab-skala av slitageegenskaperna beroende av dubbdäcksanvändning.
- Skjuvhållfasthetstester för att visa hur en asfaltbeläggning klarar trafikbelastningen (framförallt i t ex rondeller, på busshållplatser och vid ljussignaler där vridande/skjutande belastning uppstår från cirkulerande och bromsande/startande trafik) under olika klimatförhållanden.
- Dynamiska kryptester för att mäta hur mycket asfalten töjs under belastning och beskriva hur snabbt stabiliteten hos ett asfaltsmaterial försämras.
- Vägmaskinstest (PVM) för att i pilotskala undersöka slitagepåverkan och partikelbildning från användning av dubbdäck på slaggasfalt.

Eftersom skjuvhållfastheten undersöktes vid olika temperaturer och frekvenser (belastningshastigheter), var det möjligt att presentera resultaten i s.k. Masterkurvor (Fig. 5). Fördelen med denna typ av komplexa undersökningar är att man kan bedöma hur beläggningarna, helt oberoende av vilket material som testas, fungerar under olika årstider och vid olika trafikhastigheter. Resultaten från skjuvhållfasthetstesterna visar att asfaltbeläggningarna med alla slaggtyperna som ballast fungerar bättre än konventionell ballast över hela registret med olika temperaturer och frekvenser (belastningshastigheter). Detta visar sig i att masterkurvorna i Figur 5 för de flesta beläggningarna med slaggballast är flackare än för referensen, dvs. de visar högre skjuvmoduler vid höga temperaturer, där risken är stor för spårbildning, och lägre moduler vid låga temperaturer och höga frekvenser, då risken är stor för sprickor, i jämförelse med referensen. Detta är nya kunskaper om en viktig egenskap, som kan undersökas vidare.

Den höga stabiliteten hos slaggasfalt kan bero på många av egenskaperna hos slaggballasten. En egenskap som anses viktig är att slagg är basisk jämfört med bergkross och därför ger bättre vidhäftning mot bitumen, det sura bindemedlet i asfalt. I den här studien har även en slagg från icke ståltillverkning, som är något surare än järn- och stålslaggerna, ingått. Resultaten från dynamiska kryp- och skjuvhållfasthetstesterna visar även här på mycket goda resultat både gällande nytillverkad (Fig. 2-4) och gammal (Fig. 6) asfalt. Detta förklaras dels av att denna slagg, trots att den är något surare än övriga slaggar, ändå är betydligt mer basisk än bergmaterial och dels bekräftar det att även andra egenskaper, som stabilitet, porositet, mm hos slaggen spelar stor roll för asfaltens stabilitet och beständighet.

Användning av slagg som ballast i asfalten i bind- och bärlager (ABb-asfalt), där kraven på bl.a. stabilitet (= beständighet mot plastisk deformation, dvs. spårbildning pga. belastning) är mycket höga, är generellt mycket lovande för alla testade slaggtyper. Asfalttillverkarna lägger idag pengar på extra mycket bindemedel (bitumen) och vidhäftningsmedel för tillverkning av dessa asfaltslager för att uppnå tillräcklig beständighet. Denna användning får många positiva effekter:

- Minskad användning av jungfruliga material (bergkross).
- Minskad användning av bitumen och vidhäftningsmedel – minskade kostnader och minskad miljöpåverkan från bitumentillverkning/användning.
- Beständiga vägkonstruktioner, som kräver mindre frekvent underhåll – mindre trafikproblem och minskade kostnader

Stabilitetstesterna på borrproverna från gammal asfalt bekräftar också att kvalitén på slaggasfalt är mycket god fortfarande efter mer än 10 års tuff användning (Fig. 6). Även den okulära bedömningen av borrkärnorna visar att de klarat dessa år mycket bra, både vad gäller stabilitet och vidhäftning.

I bebyggda områden finns behov av att sänka bullernivåerna och många olika försök görs för att tillverka bullerdämpande asfalt [7, 8]. Oftast tillverkas bullerreducerande asfalt genom att ett s.k. dränerande slitlager med större andel hålrum (dvs. en mindre tät massa) används. Den konstaterat högre vidhäftningen av bitumen på slaggballast än på bergkrossballast ger då en stor fördel genom att öka hållfastheten hos den öppnare massan. Trafikverkets uppföljningar av några vägar antyder även att slaggens porösa struktur ger slaggasfalten bullerdämpande egenskaper. Den bullerdämpande effekten från porös slaggballast är dock betydligt mindre än den från asfalt med mindre andel hålrum. Effekten av porositeten uppnås dessutom bara när det finns hålrum/porer i slitlagret, men inte om slaggballast används i bind- och bärlagren.

Det finns relativt många, positiva erfarenheter från hela världen, från användning av slaggasfalt. Däremot var kunskapen om hur slitaget av slaggasfalt vid användning av dubbdäck i stort sett obefintlig före genomförandet av detta projekt.

Testerna med dubbdäck i VTIs vägsimulator, PVM, gav inga entydiga resultat avseende asfaltslitaget pga. att ett oväntat beteende hos dubben försvårade utvärdering. Av resultaten framgår att slitaget på slaggasfalten väl följer slitaget på ”normala” beläggningstyper upp till ca 50 000 varv, men har sedan plötsligt utvecklats snabbare för slaggasfalten (Fig. 7). Det noterades också att däckens gummi slitits hårt och att en del dubbar trillat ur eller slagits av [E3]. Provvägsmaskinens roterande rörelse (motsvarar konstant körning i hög hastighet i rondell) tillsammans med slaggballastens egenskaper (slitstarkt material och porig struktur som ger vassa kanter) och metallinnehållet kan vara bidragande orsaker till ökat däckslitaget och dubbutstick. Fler förklaringar kan finnas och detta fenomen behöver utredas vidare. Slitageresultaten kan jämföras med resultaten från de Prall-försök som utförts på samma slaggmateriel och ett antal andra slaggmateriel i detta projekt, som visar mycket god nötningsresistens.

Eftersom uppsamling och mätning av partikelmängder utfördes före slitagemätningarna och innan det onormala däckslitaget och dubbutsticket startade, så är bedömningen att resultaten från partikelmätningarna ändå är trovärdiga och relevanta.

Bildningen av PM₁₀ (inandningsbara partiklar) från både ABS8 och ABS11 med slagg var förhållandevis låg och jämförbar med de mest lågemitterande ABS11- beläggningar som provats för PM₁₀-bildning i PVM med samma däckstyp (Fig. 8). Halterna av PM₁₀ i PVM-hallen stiger med ökande hastighet i likhet med för stenbeläggningar. Nivåerna är likartade hos ABS8 och ABS11 med slagg och medelhöga jämfört med andra testade beläggningar av nordisk typ.

Massfördelningen för PM₁₀ från ABS8 med slagg är, liksom för flera andra beläggningar, bimodal med toppar vid ca 3 och 6 µm (Fig. 9). Den för ABS8 med slagg skiljer sig något från den för ABS11 genom att den grova moden är lite grövre och har något högre halter. Halterna ökar med stigande hastighet och massfördelningen är i mycket lik referensbeläggningarnas. Skillnaden vid 30 km/h är liten, men ökar vid 50 och 70 km/h, då syeniten och diabasen ökar mer i koncentration än slaggen och graniten.

Vid tester med dubbdäck i PVM uppstår även en fraktion mycket små partiklar, s.k. ultrafina partiklar (< 100 nm) (Fig. 9, 10). Partiklarna är inte bortslitit stenmaterial, som dominerar PM₁₀, utan har en mer komplex och flyktig sammansättning. Källan och bildningsprocessen är i dagsläget okända, men knutna till däckens dubbar och helt oberoende av vilket ballastmaterial som använts i asfalten. Det bör även påpekas att emissionerna av ultrafina partiklar från fordonsavgaserna är betydligt högre än de mängder som bildas vid dubbdäcksslitage.

Antalsfördelningarna hos de uppsamlade partiklarna vid PVM-testerna med slaggasfalt i projektet dominerades helt av dessa ultrafina partiklar, liksom från andra testade asfaltsbeläggningar med stenballast (Fig. 10). ABS 8 med slagg uppvisar däremot en påtagligt lägre koncentration än ABS 11 med slagg, vilket är positivt men har inte undersökts vidare inom detta arbete.

Inom arbetet med REACH-registrering av slagg har undersökningarna av slaggernas potentiella påverkan på miljö och hälsa inte gett några indikationer på några farliga egenskaper. Inom dessa undersökningar har även både kort- och långtids in vivo tester (på råttor) av påverkan från inandning av partiklar från finmald masugnsslagg har genomförts. Resultaten ger ingen antydning till problem vid inandning, som kan relateras till slaggen. In vitro tester (på icke levande material) av partiklar från alla fem typslagger, två bergkrossmaterial och två referensmaterial pågår.

Undersökningarna av de olika slaggernas ballastegenskaper är gjorda med metoder som är *standardiserade för bergkrossballast*. Dessa metoder har både nu och tidigare visat att det inte är helt optimala för att testas på tillverkad slagg. Modifierade metoder för alternativa material skulle behöva utvecklas för att säkerställa en ökad användning. Resultaten från testerna inom detta projekt visar trots det på goda resultat, där flera av slaggerna mycket väl kan konkurrera

med traditionellt ballastmaterial (bergskross). Vid jämförelser med Trafikverkets ballastkrav [5 och E1] visar det sig att flera av de testade materialen uppfyller kraven avseende hållfasthet och kornform.

Genom jämförelse av resultaten i Tabell 1 framgår det att de material, som både krossats och siktats för att få fram önskade analysfraktioner, ofta håller högre kvalitet än de som bara siktats fram. I de fall prover från samma leverantör har tagits fram både genom enbart siktning och genom krossning + siktning har kulkvarnsvärdena gått från underkända till godkända enligt Trafikverkets krav i Tabell 2. Krossning före siktning gör att materialet delar sig i sprickanvisningar och att svagare kanter, hörn och bitar smulas sönder. Eftersom slagg naturligt bildar poriga bitar med fler kanter och hörn än krossat berg, har denna förkrossning av slagg visat sig mer viktig för att få fram stabil slaggballast av god kvalitet.

Förutom tekniken för framtagning av slaggballasten har även slaggens densitet (troligen bl.a. kopplat till porositeten) en avgörande betydelse för ballastegenskaperna (jämför i Tabell 1 slaggprover från samma leverantör, men med olika densitet). Jämförelsen mellan de erhållna Prall-värdena och Trafikverkets riktvärden (Fig. 1) visar också att många av slaggasfalterna uppvisar god eller mycket god slitstyrka, vilket även bl.a. är kopplat till ballastegenskaperna. Genom optimering av förbehandlingen av materialen kan därför troligen både ballastegenskaperna och Prall-värdena förbättras ytterligare något. Inom det här projektet har dock ingen utvärdering av det stora antalet olika sikt- och/eller krossningsmetoder genomförts, vilket eventuellt skulle ge ytterligare möjligheter.

6 SLUTSATSER

Slaggasfaltens mycket goda beständighet har bekräftats genom tester på tio olika slaggballasttyper och asfalt tillverkad med dessa. Resultaten visar att asfaltbeläggningarna med slagg som ballast fungerar bättre än konventionell ballast över hela registret med olika temperaturer och frekvenser (belastningshastigheter). Den goda vidhäftningen mellan slagg och bitumen kan också utnyttjas då bullerreducerande asfalt tillverkas med ett s.k. dränerande slitlager med större andel hålrum (dvs. en mindre tät massa). Slaggasfalt utgör alltså ett mycket högvärdigt asfaltsalternativ för användning där den gör mest nytta, dvs. där det krävs hög hållfasthet till exempel i rondeller, på busshållplatser och vid trafikljus, samt där bullerreduktion önskas och i tätbebyggda områden där reparationer och ombyggnationer skapar trängsel och andra problem.

Det bransch- och sektorsöverskridande samarbetet inom projektet och det ur deltagarsynvinkel mycket breda slaggasfaltseminariet inför projektet, har:

- Höjt kunskapsnivå och ändrat attityderna hos intressenter på alla nivåer i samhället
- Skapat ett erkännande av alla tekniska och miljörelaterade fördelar med slaggasfalt

Som en följd av detta har projektet skapat förutsättningar för slaggasfalt som en ny, unik produkt för bättre stadsmiljö för fler producenter och för fler slaggtyper. Projektet har enligt projektplanen levererat tre testrapporter [E1-E3], två vetenskapliga artiklar för presentationer vid internationella konferenser publicerats samt en mall till produktblad som företagen kan använda i sitt respektive arbete att produktifiera slaggballast för asfaltstillverkning. Projektet har översiktligt analyserat hur en bra slaggballast tas fram. Resultaten visade att slaggballast som både krossats och siktats fram håller högre kvalitet än ballast som enbart siktats fram.

7 NYTTIGGÖRANDE AV RESULTAT OCH FORTSATT ARBETE

De nya och utvidgade kunskaperna och erfarenheterna från projektet angående både hur en slaggballast av bra kvalitet tas fram och vilka typer av slaggasfalt och vilka applikationer för dessa som bäst utnyttjar de unika egenskaperna slaggen ger asfalten kan direkt användas av såväl slaggproducenter som asfaltstillverkare och myndigheter. Nya slaggasfaltprodukter kommer att nå marknaden och den framtagna produktbladsmallen kommer att underlätta och förtydliga marknadsföringen.

En stor fördel och framgångsfaktor för projektet och för alla inblandade har varit den brett sammansatta projektgruppen, där alla led i kedjan från slaggproducenter, via forskare och myndigheter, till asfaltstillverkare och – användare var representerade. Detta gav många utvecklande diskussioner och en snabb och bred spridning av vunna kunskaper till alla nivåer samtidigt.

Den viktigaste nya kunskapen om slaggasfalt som projektet resulterade i var den att skjuvförsöken visade att asfaltbeläggningarna med slagg som ballast fungerar bättre än konventionell ballast över hela registret med olika temperaturer och frekvenser (belastningshastigheter). Detta behöver bekräftas och ytterligare tester på ABb-asfalt där förhållandena har optimerats för respektive slaggtyp.

För att ytterligare fördjupa och bredda kunskaperna är följande områden intressanta för vidare utredning:

- Slaggernas kemiska egenskaper (sammansättning, basisitet, mm) och deras densitet kan i viss mån påverkas genom modifieringar av råvaruanvändningen, processparametrar, mm vid slaggtillverkningen. En vidare utredning av hur de dessa egenskaper kan modifieras och hur de påverkar slaggernas ballastegenskaper och hur kvalitén hos resp. slaggasfalt därmed också påverkas behöver genomföras.
- Resultaten visade att slaggballast som både krossats och siktats fram håller högre kvalitet än ballast som enbart siktats fram. Inom detta projekt fanns dock inget utrymme att utreda hur olika metoder för siktning och krossning påverkar den resulterande ballastkvalitén. Tester med olika tekniker för siktning och krossning samt jämförelser mellan bergmaterial och slagg behöver genomföras, bl.a. utgående från SBMI-rapporten om krossning av bergmaterial.
- De standardiserade metoderna för test av ballastegenskaper har både nu och tidigare visat tendenser till att inte vara optimala för slaggmaterial och resultaten har ibland inte känts representativa. Metoderna behöver utvärderas och modifierade metoder skulle eventuellt behöva utvecklas.

Denna rapport innehåller en sammanfattning av de tekniska/vetenskapliga resultat projektet tagit fram. Projektet skulle ursprungligen slutrapporteras den 30 september 2015, men då projektgruppen och administrationen krävt mindre resurser än beräknat, ansöktes om förlängd dispositionsrätt av kvarvarande projektmedel för att öka och säkerställa en nationell och internationell resultat spridning. Ansökan beviljades och projektet

förlängdes till den 15 juni 2016.

Under förlängningsperioden 2015-10-01 – 2016-06-15 har följande aktiviteter för resultatspridning genomförts:

1. Den 11 november 2015 anordnades ett slaggasfaltseminarium med över 60 deltagare där många olika aspekter på slaggasfalt presenterades och diskuterades.
2. En muntlig presentation av projektet gjordes vid Transportforum i Linköping i januari 2016. Totalt deltog ca 1100 personer på konferensen, varav ca 30 åhörare vid sessionen då projektet presenterades. Ett stort antal deltagare från VTI och från PEAB.
3. En presentation av projektet i form av en artikel och en poster gjordes vid den internationella konferensen TRB i Washington i januari 2016. Totalt ca 14000 deltagare, däribland även några personer från projektgruppen.
4. Projektet presenterades muntligt vid Programkonferensen Metalliska Material i Stockholm i mars 2016.
5. En muntlig och skriftlig presentation av projektet gjordes vid den internationella konferensen Eurobitume i Prag i juni 2016. Flera av personerna i projektgruppen deltog tillsammans med ett stort antal från VTI.
6. Projektledaren nominerades av det svenska beläggningsutskottet i NVF till Sveriges representant i FoU-tävlingen vid Nordiskt Vägforums kongress, ViaNordica2016, i Trondheim i juni 2016. Både en skriftlig och en muntlig redovisning av projektet gjordes och belönades med silvermedalj.

De tre publicerade artiklarna finns listade i Bilaga 2e.

Förutom detta hölls den 15-16 februari 2016 ett ”framtidseminarium” där stora delar av projektgruppen deltog. Under seminariet bestämdes att projektgruppen med sin unika sammansättning ska leva vidare och att nya projekt ska drivas. Sedan dess har en ny projektidé vuxit fram och en projektansökan ”Proportionering av slaggasfalt” skickades till SBUF den 2016-08-15 och beviljades i september. Samarbetet mellan branscherna fortsätter alltså i första skedet under ytterligare två år.

8 HÅLLBARHET

Projektets effekt	<p>Minskad brytning och krossning av berg tillsammans med ökad användning av slagg, dvs. ökad resurseffektivitet</p> <p>Hög hållfasthet hos slaggasfalt ger längre livslängd, färre reparationer och därmed lägre kostnader och mindre trafikproblem som uppstår vid ombyggnad av väg</p> <p>Den goda beständigheten ger möjlighet till ny dimensionering av beläggningar, dvs. tunnare asfaltslager</p> <p>Den goda beständigheten ger möjlighet till minskad användning av bindemedel och vidhäftningsmaterial.</p> <p>Minskad damning från asfaltslitage ger bättre stadsmiljö</p> <p>Minskat buller ger bättre stadsmiljö</p>
Jämförelseobjekt	Vägar belagda med ”traditionell” asfalt (med bergkrossballast)

+ innebär en förbättring jämför med tidigare, Listan A-F är justerad jmf med mallen för att vara neutrala och tydliga, ordningen är dessutom ändrad i relation till mallen som finns för ansökningar.

	1. Insatsvaror	2. Tillverkning	3. Användning	4. Återvinning	5. Resthantering
A. Användning av resurser	+	+	+	0	0
B. Utsläpp av växthusgaser	+	+		0	0
C. Övriga utsläpp	+	+	+	0	0
D. Påverkan på den naturliga miljön	+	+	+	0	0
E. Arbetsmiljö och hälsa	0	0	+	0	0
F. Respekt för mänskliga rättigheter	0	0	0	0	0
G. Jämställdhet och mångfald	0	0	0	0	0

	Område (t.ex. A-I, E-4)	Beskrivning av hur projektet påverkar hållbarhetsområdet
Aspekter med -		
Aspekter med +	C: 1-3	Minskad brytning och krossning av berg, färre reparationer av vägar
	A: 1-3	Ökad användning av slagg, minskad brytning och användning av berg, mindre användning och produktion av bitumen och vidhäftningsmedel, färre reparationer av vägar
	B: 1-2	Minskad brytning och krossning av berg
	D: 3	Minskat buller och damning, färre reparationer

9 REFERENSER

- [1] VTI Notat 5-2008. Torbjörn Jacobson. Stålslagg i asfaltbeläggning – Kunskapsöversikt.
- [2] VTI Notat 19-2013. Torbjörn Jacobson och Nils Gunnar Göransson. Stålslagg i asfaltbeläggning. Fältförsök 2005 – 2012.
- [3] www.steelphalt.com
- [4] Chemical Safety Report, Ferrous Slag from The REACH Ferrous Slags Consortium
- [5] VTI-notat 7-2007. Torbjörn Jacobson och Lars-Göran Wågberg. Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan av faktorer.
- [6] VTI rapport 867 A. Emissioner av inandningsbara partiklar från dubbdäcksslitage av vägbanor – en jämförande studie
- [7] VTI rapport 843. Erfarenheter av bullerreducerande beläggningar
- [8] VTI rapport 842. Provvägsförsök på E4 Huskvarna med bullerreducerande asfaltbeläggning

10 BILAGOR

10.1 Bilaga 1 Projektorganisation och medverkande

a) Lista på medverkande forskare och industrirepresentanter

Namn	Organisation
Mattias Warne	Befesa ScanDust AB
Ingemar Goldkuhl / Peter Frank	Harsco Metals Sweden AB
Björn Haase	Höganäs Sweden AB
Eva Blixt	Jernkontoret
Lotta Lind	LindsKan AB
Gunnar Ruist	Outokumpu Stainless AB
Torbjörn Sörhuus	Ovako Bar AB
Kjell Pålsson	Ovako Sweden AB
Olle Sundqvist	Sandvik Materials Technology AB
Jeanette Stemne/Diana Orrling	SSAB Merox AB
Eva-Lill Bergenfur/Börje Gustafsson	Uddeholms AB
Annelie Papadopoulos	Vargön Alloys AB
Roger Lundberg	NCC Roads AB
Anders Gudmarson	PEAB Asphalt AB
Henrik Sjöholm/Lars Jansson	Skanska Sverige AB
Mats Jonsson/Hamid Sedaghali	Svevia AB
Patrik Molander	Sandahls Grus och Asphalt AB
Torbjörn Jacobson	Trafikverket
Leif Viman	VTI

b) Kort beskrivning av projektorganisationen

Projektet har finansierats med medel från Vinnova och har bedrivits som en del av SIO-programmet Metalliska Material. Den totala budgeten för projektet var 3.55 MSEK, varav 1.75 MSEK var bidrag från Vinnova och 1.8 MSEK utgjordes av naturainsatser från företagen. Projektet har bedrivits mellan 2013-10-01 – 2016-06-15.

Projektet skulle ursprungligen ha slutrapporterats den 30 september 2015, men tack vare en effektiv projektgrupp och administration förbrukades mindre resurser än beräknat och en ansökan om förlängd dispositionsrätt gjordes. Förlängning beviljades t o m 2016-06-15 för att öka och säkerställa en nationell och internationell resultatspridning. Se vidare kapitlet om Resultatspridningen.

Styrgrupp för projektet har varit Jernkontorets teknikområde för restprodukter, TO55.

Ordförande för projektkommittén: Kjell Pålsson, Ovako Sweden AB

Koordinator: Eva Blixt, Jernkontoret

Projektledare: Lotta Lind, LindsKAN AB

Testutförare: Leif Viman, VTI

10.2 Bilaga 2 Publikationer

- a) Granskade publiceringar (publicerat eller accepterat för publicering av tidskrift med vetenskaplig förhandsgranskning eller liknande)

Nr	Titel	Författare	Tidskrift
A1			
A1			
A3			

- b) Manuskript skickade till granskad publicering (inskickat till tidskrift med vetenskaplig förhandsgranskning)

Nr	Titel	Författare	Tidskrift
B1			
B2			

- c) Manuskript under bearbetning (avsett för publicering i tidskrift med vetenskaplig förhandsgranskning)

Nr	Titel	Författare
C1		
C2		

- d) Avhandlingar (både publicerade och under utarbetande)

Nr	Titel	Författare	Datum
D1			
D2			

- e) Delrapporter och interna rapporter

Nr	Titel	Författare	Rapportnummer
E1	Slaggasfalt Delrapport A, Ballastegenskaper och slitegenskaper enligt Prall	Leif Viman	VTI Notat 10-2015
E2	Slaggasfalt Delrapport B, Stabilitet och skjuvegenskaper hos slaggasfalt	Leif Viman Safwat Said	VTI Notat 19-2015
E3	Slaggasfalt Delrapport C, Slitage och bildning av inandningsbara partiklar (PM10)	Leif Viman Mats Gustafsson	VTI Notat 24-2015

f) Övrig dokumentation

Nr	Titel	Författare	Beskrivning
F1			
F2			
F3			

10.3 Bilaga 3 Annan resultat- och kunskapsförmedling

a) Tekniska och populärvetenskapliga publiceringar (utan vetenskaplig förhandsgranskning)

Nr	Titel	Författare	Tidskrift
1	Produktblad Slaggasfalt	Resp stålföretag	

b) Ogranskade internationella konferenspublikationer

Nr	Titel	Författare	Konferens
1	Performance Evaluation of Slag Asphalt Mixtures Based on Laboratory and Road Simulator Tests	Abubeker W. Ahmed, Leif Viman, Lotta Lind	TRB, USA januari 2016
2	Evaluation of Slag as Aggregate in Asphalt Mixtures	Abubeker W. Ahmed, Leif Viman, Lotta Lind	EE, Prague juni 2016
3	Slag Asphalt, a silent and sustainable paving for urban areas	Lotta Lind	ViaNordica2016, Trondheim juni 2016

c) Ogranskade svenska konferenspublikationer

Nr	Titel	Författare	Konferens

d) Seminarier etc.

Nr	Titel	Författare	Datum, plats
1	Slaggasfaltseminarium	JK/TO55	Jernkontoret 2013-04-03
2	Slaggasfaltseminarium	JK/TO55	Jernkontoret 2015-11-11

10.4 Bilaga 4 Beskrivning av programmet

Projektet SLAGPHALT 55016 är en del av det strategiska innovationsprogrammet

Metalliska material

Det strategiska innovationsprogrammet **Metalliska material** är ett samverkansprogram mellan Jernkontoret, Svenskt Aluminium och Gjuteriföreningen som delfinansieras av VINNOVA och löper under åren 2013–2016.-

Programmets syftar till att förverkliga den strategiska innovationsagendan **Nationell samling kring metalliska material** vars långsiktiga vision är att svensk metallindustri ska vara ett centralt element i världens strävan att forma en bättre framtid. Det innebär att dess erbjudanden till kund måste ligga i den absoluta tekniska, ekonomiska och miljömässiga framkanten och utvecklas av drivna och engagerade människor. Samtidigt ska tillverkningsmetoderna ha ett så litet miljömässigt fotavtryck som det bara är möjligt.

Programmet stödjer insatser inom sju insatsområden för förnyelse, tillväxt och ökad konkurrenskraft:

1. Utveckla erbjudandet!
2. Öppna värdekedjan!
3. Öka materialutvecklingstakten!
4. Öka flexibiliteten!
5. Öka resurseffektiviteten!
6. Minska miljöpåverkan!
7. Öka kompetensen och attraktiviteten!

Programmets insatser består förutom FoU-projekt som valt i öppna utlysningar, även av strategiska projekt och aktiviteter.

Programkontor, med ansvar för ledning och administration av programmet, är Jernkontoret.



DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt transportfrågor. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, 111 87 Stockholm · Kungsträdgårdsgatan 10
Telefon 08-679 17 00 · Fax 08-611 20 89
E-post office@jernkontoret.se · www.jernkontoret.se

