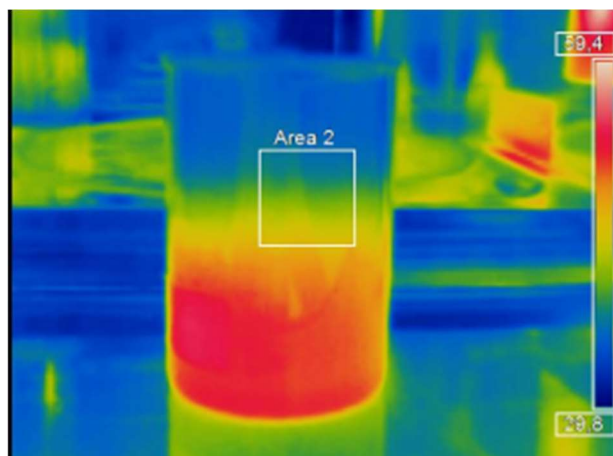


KOLDIOXIDFRI ENERGILÖSNING FÖR ASFALTMATERIAL

Delrapport etapp 1



**Författare: Roger Nilsson, Katarina Ekblad
och Patryk Witkiewicz,**

Skanska Sverige AB

2020-11-16

Ett projekt med bidrag från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

och

SBUF

LKAB

ecoloop

COMBITECH

SKANSKA

NYNAS

Glafir

GEARC
SWEDEN AB

L
LULEÅ
TEKNIKA
UNIVERSITET

TRAFIKVERKET

vti

SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling

INNEHÅLL

INNEHÅLL.....	1
FÖRORD OCH SAMMANFATTNING	2
BAKGRUND	4
SYFTE	5
GENOMFÖRANDE.....	5
FÖRBEREDELSE OCH VAL AV MATERIALTYPER.....	5
UNDERÖKNING AV INGÅENDE MATERIAL.....	6
STENMATERIAL.....	6
FILLER.....	7
MAGNETITMATERIAL	8
BINDEMEDEL	9
FRAMTAGNING AV BLANDNINGSRECEPT.....	10
LABORATORIEBLANDNING	11
MAGNETITHALTENS PÅVERKAN PÅ UPPVÄRMNINGSHASTIGHETEN	14
ANALYS AV KVALITETSPARAMETRAR PÅ UTFÖRDA PROVBLANDNINGAR...17	17
WEBBINARIUM.....	18
FÄLTFÖRSÖK PÅ E6 NORDREÄLVBRON VID KUNGÄLV.....	19
LITTERATURFÖRTECKNING	38

FÖRORD OCH SAMMANFATTNING

Föreliggande delrapport redovisar resultat i SBUF-projekt 137432, ”Koldioxidfri energilösning för asfaltmaterial Etapp 1”. Projektet är en fortsättning av ett tidigare BVFF-projekt, 2017, samt ett Vinnova-projekt, UDI-1 från 2018. Utmaningsdriven innovation (UDI) är samverkansprojekt som långsiktigt arbetar med att lösa samhällsutmaningar för att bidra till hållbarhetsmålen i Agenda 2030.

I dessa projekt utfördes initiala tester med innovativ uppvärmningsteknik för asfaltmaterial som bygger på en fossilfri teknik. Den teknik som användes var mikrovågor som tillsammans med en effektiv mikrovågsabsorbent, järnmalm i form av magnetit, visade sig nå god uppvärmningskapacitet. Vidare observerades en snabbare och jämnare uppvärmning hos asfaltmaterialet med magnetit jämfört med traditionell massa. Uppvärmad mängd massa i de initiala testerna var upp mot 50 kg.

De positiva resultaten i labbmiljö samt mindre fältförsök ledde fram till ett fortsättningsprojekt inom Vinnova, UDI-2. I detta projekt, som SBUF medfinansierar, är målet att vidareutveckla tekniken och materialen samt testa dem i ett fullskaleprojekt. I existerande projekt kommer även en gjutasfaltblandare driven av mikrovågsteknik att utvecklas och byggas. Projektet kommer att växla upp uppvärmd massa från ca 50 till ca 500 kg.

Huvudresultaten från Etapp 1 är följande:

- Magnetitfiller styvar inte upp bindemedlet lika mycket som egen- eller kalkfiller
- Optimal inblandningsmängd av magnetit i gjutasfaltmaterial är ca 12%
- Framtagna recept ger gjutasfalt som uppfyller ställda krav
- Initiala recept med lagningsmassa har gett positiva resultat
- Gjutasfalt med inblandad magnetit går att tillverka i traditionella verk
- Matning av magnetitfiller bör säkerställas för större mängder
- Initiala mätningar ger att magnetit kraftigt ökar uppvärmningen i massan.
- Traditionell utläggning med sprider funkar bra. Materialet upplevdes inneha god läggbarhet samt bearbetbarhet
- En grövre yta observerades för gjutasfaltytan med magnetitinblandning

Inom Etapp 2 kommer följande arbete att utföras:

- Fortsatt receptarbete för att optimera gjutasfalt och lagningsmassa
- Verifiering av funktionella krav och funktionella egenskaper
- Analys av åldringsegenskaper, värmeledningsegenskaper samt avsvauningsegenskaper

- Initiala försök där optimala material värms upp med utvecklad mikrovågsblandare
- Fullskaleförsök på skarpt Trafikverksprojekt i Stockholmsområdet
- Kvalitetssäkring av material och tillverkningsprocessen
- Klimat- och energianalyser, LCA
- Arbetsmiljö- samt jämställdhetsaspekter
- Branschgemensam Seminarium/Webbinarium för att sprida kunskap

Om UDI-2 projekt kommer att demonstrera teknikens potential och möjligheter finns diskussioner på att ansöka om ett fortsättningsprojekt inom UDI-3. I detta steg kommer projektet att undersöka om tekniken går att skala upp uppvärmd massa från ca 500 kg till ca 5000 kg med inriktning mot asfaltbeläggningar.

Författarna önskar tacka projektmedlemmarna, Gjutasfaltföreningen GAFS, BINAB och DAB för gott och utvecklande samarbete samt genomförande av material- och fullskaleförsök. Vidare vill vi tacka styr- och referensgruppen. Slutligen tackas huvudfinansiärerna SBUF, Vinnova och Trafikverket.

BAKGRUND

Bygg- och anläggningssektorn har inom ramen för Fossilfritt Sverige arbetat fram en färdplan som tydliggör hur branschen, tillsammans med politiker och andra beslutsfattare, kan möjliggöra en omställning till ett fossilfritt Sverige.

Genom att skapa en samsyn kan färdplanen bidra till att utvecklingen mot klimatneutralitet möjliggörs och påskyndas genom en rad uppmaningar och förslag. Färdplanen baseras på klimatneutralitet 2045 samt att en halvering skall uppnås till 2030. Målet till 2030, anses kunna uppnås med tillgänglig teknik. Men att målet till 2045, kommer kräva innovationer och utvecklande av ny teknik.

Eftersom bygg- och anläggningsbranschen är relativt resurskrävande finns stora utmaningar avseende minskad klimatpåverkan. Målen är högt satta och innovationer i form av nya tekniska lösningar, bättre energieffektivitet, klimatsmarta material, optimerade byggmetoder kommer att erfordras.

Redovisade studier har visat att uppvärmningen, varmhållningen och tillverkningen av asfaltmaterial står för upp mot 54% av den totala klimatpåverkan vid anläggande av asfaltvägar.

I ett tidigare Trafikverksprojekt, BVFF, från 2017 samt ett Vinnova-projekt från 2018, har en innovativ uppvärmningsteknik för asfaltmaterial, som bygger på fossilfri teknik undersökts. Den teknik som användes var mikrovågor som tillsammans med en effektiv mikrovågsabsorbent, järnmalm i form av magnetit, kan nå tillräcklig uppvärmningskapacitet.

Dessa försök visade positiva resultat i labbmiljö samt i mindre fältförsök.

För att vidareutveckla tekniken samt testa den i ett fullskaleprojekt har Vinnova godkänt och beviljat en fortsättning av projektet.

I dagsläget hanteras uppvärmning med träpellets samt bio-olja som fossilfria bränslen. Det pågår dock en diskussion inom EU om detta. Förbränning ger alltid CO₂ även om bränslet är förnyelsebart. Genom att använda en klimatneutral uppvärmning- samt energikälla kan betydande minskningar av CO₂ erhållas.

Detta Vinnova-projekt innefattar flera arbetspaket, varav Skanska leder två, AP3 och AP5. Skanska är dock involverade i samtliga arbetspaket.

Projektets sammansättning och breda kompetens borgar för att hitta en branschgemensam lösning. Combitech bidrar med kompetens om mikrovågorsteknik, LKAB bidrar med kunskap om magnetit, Nynas AB bidrar med kompetens om bitumen, Skanska bidrar med kompetens om asfaltmaterial, receptur och tillverkningsprocessen, VTI bidrar med kvalitetssäkring och materialkompetens, LTU bidrar med LCA, jämställdhetsperspektiv och arbetsmiljö och Trafikverket är processägare och möjliggör fältförsök. Ecoloop, Glasir och GeoArc bidrar till processutveckling.

Projektet har etablerat samarbete med Gjutasfaltföreningen, GAFFS, för utvärdering av teknik och material. BINAB medverkade i UDI-1. Projektets systemstudier ska stötta policy och upphandling för att driva mot CO₂ fri asfaltshantering.

SYFTE

Projektet bidrar till att minska energiåtgången och klimatpåverkan, inom asfaltområdet genom att utveckla, skala upp och marknadsföra unik mikrovågsteknik för CO₂- och fossilfri uppvärmning av asfaltmaterial.

Målet är att ta fram blandningsrecept för en gjutasfaltmassa och en lagningsmassa, för att kunna utföra fältförsök av mikrovågsuppvärmd asfalttillverkning, på ett Trafikverksobjekt.

Kunskapen i detta projekt kan bidra till förändrade upphandlingssystemen, mot CO₂-fri asfalthantering.

Skanskas del av projektet, innebär att ta fram blandningsrecept för en gjutasfalt och en lagningsmassa, bidra med know-how inom produktion och utläggning av asfalt, samt utföra utläggningen av asfaltbeläggningen. Skanska kommer också att bistå med laboratorieanalyser av de ingående materialen samt utföra blandningar som syftar till att ta fram fungerande invägningsrecept.

I denna del av projekt har mikrovågstekniken testats på gjutasfalt och lagningsmassa. Recept har och kommer att tas fram där delar av finmaterialdelen, ersätts med magnetit.

Traditionella samt mer utvecklade labbtester av materialen har och kommer att utföras för att säkerställa kvaliteten.

Laboratieblandningar utifrån framtagna recept, kommer att blandas och värmas i en nyutvecklad labblandare med mikrovågsteknik. När material och utrustning säkerställts kvalitetsmässigt kommer ett fältförsök att utföras på ett Trafikverkets projekt under fältmässiga förhållanden.

GENOMFÖRANDE

Denna rapport beskriver etapp 1 av projektet, som innefattar de delar i projektet som Skanska deltagit i, från projektets start till och med utläggning av gjutasfalt i fullskaleförsök på ett Trafikverksobjekt.

FÖRBEREDELSE OCH VAL AV MATERIALTYPER

Skanska ansvarade för AP3, ett arbetspaket vars uppgift var att ta fram blandningsrecept, för en lagningsmassa och en gjutasfalt, med och utan tillsatt magnetit. Vi valde en handläggningssmassa av typen ABT 8 160/220, som lagningsmassa och PGJA 11 40/100-75, som gjutasfalt.

ABT 8 160/220, betyder en tät asfaltbetong med största nominella stenstorlek 8 mm och ett mjukt bindemedel med penetrationen mellan 160 och 220 mm-1. Receptet är dessutom utformat så att det ska vara en smidig massa att lägga ut, även för hand.

PGJA 11 40/100-75, betyder en gjutasfalt med största nominella stenstorlek 11 mm och ett polymermodifierad bitumen med penetrationen mellan 40 och 100 mm-1 samt en mjukpunkt på minst 75°C.

Krav på ingående material, slutprodukternas kornstorleksfördelning, minsta bindemedelshalt och kvalitetsparametrar för de olika asfaltstyperna, finns beskrivet i

¹Trafikverkets kravdokument, Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529 Version 4.0.

Vi samlade in produktblad och säkerhetsdatablad på samtliga ingående material, för att få nödvändig information om materialen.

UNDERÖKNING AV INGÅENDE MATERIAL

Vi började med att undersöka relevanta egenskaper, för de ingående materialen, stenmaterial, fillermaterial, magnetit och bindemedel.

Stenmaterial

Stenmaterialen vi skulle använda vid blandning av lagningsmassan, kom från Skanskas täkt i Upplands Väsby, även kallad Vällsta och stenmaterialet till gjutasfalten, kom från BINABs asfaltverk på Arlanda.

På Skanskas stenmaterial skulle vi använda fraktionerna 0/2, 2/4 och 4/8 mm. På BINABs stenmaterial skulle vi använda fraktionerna 0/2, 2/4, 4/8 och 8/11 mm.

För att få rätt kornstorleksfördelning i de recept vi skulle ta fram, behövde vi bestämma kornstorleksfördelning på varje fraktion. Detta gjordes enligt provningsmetod SS-EN 933-1:2012 Ballast - Geometrisk egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning. Dessa analyser utfördes på VTI's laboratorium i Linköping, se tabell 1 och 2, nedan.

Tabell 1, Kornstorleksfördelning i passerad vikts-%, för stenmaterial från Skanskas täkt Vällsta

Sikt, mm	Vällsta 0/2	Vällsta 2/4	Vällsta 4/8
31,5			
22,4			
16			
11,2			100,0%
8		100,0%	93,4%
5,6	100,0%	99,9%	44,8%
4	99,9%	94,5%	9,5%
2	88,7%	8,1%	2,1%
1	61,7%	2,7%	1,6%
0,5	44,8%	1,9%	1,5%
0,25	31,5%	1,5%	1,5%
0,125	21,0%	1,3%	1,4%
0,063	13,3%	0,9%	1,0%

Tabell 2, Kornstorleksfördelning i passerad vikts-%, på stenmaterial från BINAB

Sikt, mm	Binab 0/2	Binab 2/4	Binab 4/8	Binab 8/11
31,5				
22,4				
16				100,0%
11,2	100,0%		100,0%	99,5%
8	99,3%	100,0%	99,7%	25,2%
5,6	98,9%	100,0%	99,4%	4,3%
4	98,4%	92,7%	95,6%	0,8%
2	87,6%	1,2%	44,4%	0,2%
1	64,6%	0,4%	32,5%	0,2%
0,5	48,3%	0,4%	24,3%	0,2%
0,25	30,4%	0,3%	15,4%	0,2%
0,125	12,1%	0,3%	6,2%	0,2%
0,063	2,6%	0,2%	1,4%	0,1%

För att få rätt bindemedelshalt i de recept vi skulle ta fram, behövde vi bestämma korndensiteten, på varje fraktion. Korndensiteten används för att korrigera bindemedelshalt enligt beskrivning i ¹Trafikverkets kravdokument, Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529 Version 4.0. Korndensiteten bestämdes enligt provningsmetod SS-EN 1097-6:2013 Ballast - Geometrisk egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption, Bilaga G. Även dessa analyser utfördes av VTI, se tabell 3, nedan.

Tabell 3, Korndensitet på stenmaterial från Skanska Vällsta och BINAB

Stenmaterial	Korndensitet, Mg/m ³ :
Vällsta 0/2	2,80
Vällsta 2/4	2,75
Vällsta 4/8	2,75
BINAB 0/2	2,67
BINAB 2/4	2,67
BINAB 4/8	2,69
BINAB 8/11	2,70

Filler

Det fillermaterial vi skulle använda vid blandning av lagningsmassan, var egenfiller som kom från Skanskas täkt i Upplands Väsby och fillermaterialet till gjutasfalten, var kalkfiller som vi fått från BINAB.

För att få rätt kornstorleksfördelning i de recept vi skulle ta fram, behövde vi bestämma kornstorleksfördelning på båda fillermaterialen. Bestämningarna utfördes med laserdiffraktion av VTI, enligt en egenutvecklad provningsmetod, se tabell 4, nedan.

Även på fillermaterialen behöver bestämma korndensitet. Korndensiteten på filler bestämdes enligt provningsmetod SS-EN 1097-7:2008 Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 7: Bestämning av korndensitet hos filler – Pyknometermetod. Även dessa analyser utfördes av VTI, se tabell 6, nedan.

Magnetitmaterial

För att kunna mäta magnetitinblandningens effekt på uppvärmningen av lagningsmassa och gjutasfalt, gjordes inblandningar av magnetitmaterial.

Tidigare projekt har visat att magnetitfiller ger större effekt vid mikrouppvärmning, än ett grövre magnetitmaterial. Därför tänkte vi använda magnetitfiller i första hand, men vid större halt inblandning, behöver vi även använda ett grövre material. Det magnetitfiller vi har använt i våra provblandningar är Magnitet 0,09 VD och det grövre magnetitmaterial som vi har använt är MagnaDens 2s, båda kommer från LKAB Minerals i Kiruna.

Även på magnetitmaterial behövde vi veta kornstorleksfördelning och korndensitet. Magnetitfillret skickades därför också till VTI för analys, se tabell 4..

Kornstorleksfördelning på MagnaDens 2s har däremot analyserats på Skanskas laboratorierum i Västerhaninge, se tabell 5.

Tabell 4, Kornstorleksfördelning i passerad-vikts%, på de olika fillermaterialen

Kornstorlek, mm	Egenfiller Vällsta	Kalkfiller, BINAB	Magnetitfiller
2,0	100,0	100,0	100,0
1,0	100,0	100,0	100,0
0,5	100,0	100,0	100,0
0,25	98,6	99,9	100,0
0,128	89,8	96,2	100,0
0,063	69,8	81,2	91,0

Tabell 5, Kornstorleksfördelning i passerad-vikts%, på MagnaDens 2s

Sikt, mm	Magnetit 0/2
31,5	
22,4	
16,0	
11,2	
8,0	
5,6	
4,0	100
2,0	99
1,0	81
0,5	48
0,25	23
0,125	10
0,063	4,4

Tabell 6, Korndensitet på de olika fillermaterialen

Fillermaterial	Korndensitet, Mg/m ³ :
Egenfiller Vällsta	2,77
Kalkfiller BINAB	2,65
Magnetitfiller	5,11

Resultaten visar att magnetitfiller är betydligt tyngre än både kalkfiller och egenfiller. Detta kommer ha stor påverkan på det sammansatta materialets korndensitet.

Bindemedel

De bindemedel som vi skulle använda i projektet var ett penetrationsbitumen 160/220 till lagningsmassan och ett polymermodifierat bindemedel 40/100-75 till gjutasfalten. Dessa bindemedel kom från Nynas AB.

För att kunna ersätta delar av stenmaterialet med magnetitmaterial, behövde vi veta hur magnetitmaterialet påverkar asfaltmassornas utläggningsegenskaper. Därför gjorde vi blandningar med bindemedel och filler och jämförde analysresultaten av dessa.

De egenskaper som vi ansåg vara mest relevanta är mjukpunkt och penetration, före och efter simulerad åldring, med en metod som heter RTFOT.

Dessa egenskaper analyserades på enbart bindemedel och på bindemedel med 25% inblandning av egenfiller, kalkfiller och magnetitfiller. Dessa blandningar och analyser utfördes på Skanskas laboratorium i Gunnilse.

Mjukpunkten bestämdes enligt provningsmetoden SS-EN 1427:2015 Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av mjukpunkt - Kula och Ring-metoden, Penetrationen bestämdes enligt provningsmetoden SS-EN 1426:2015 Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av penetration och RTFOT utfördes enligt provningsmetoden SS-EN 12607-1:2014 Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av förhårdningsegenskaper under inverkan av värme och luft - Del 1: RTFOT- metoden.

De provningsresultat vi fick jämförde, vi med kraven för de rena bindemedlen som är beskrivet i ¹Trafikverkets kravdokument, Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529 Version 4.0, se Tabell 1 och 2 nedan. Resultat markerad med grön färg är inom toleranserna i ¹Bitumenbundna lager och resultat markerad med röd färg är utanför toleranserna. Det finns dock inga krav på bitumen med inblandning av filler.

Resultatet på det rena bindemedlet 160/220, motsvarar kraven för relevanta egenskaper i ¹Bitumenbundna lager. Blandningen med 160/220 och 25% egenfiller, blev som förväntat något hårdare än resultatet av bara 160/220. Penetrationen på denna blandning fick lägre penetrationsvärde, än kravet på rent bitumen. Blandningen med 160/220 och 25% magnetitfiller, håller sig däremot inom kravet på rent bitumen, se tabell 7 nedan. Resultaten visar att egenfiller styvar upp bindemedlet mer än vad magnetitfiller gör.

Tabell 7, Resultat av 160/220 utan och med inblandning av filler

Egenskaper	Enhet	Krav på 160/220:	160/220	160/220 + Egenfiller	160/220 + Magnetitfiller
Penetration vid 25°C:	*0,1 mm	160-220	185	146	167
Mjukpunkt:	°C	35-43	39,8	40,8	40,8
Efter RTFOT:					
Viktförändring:	%	≤ 1,0	-0,128	-0,057	0,186
Penetration vid 25°C:	*0,1 mm		101	78	86
Bibehållen penetration:	%	≥ 37	54,6	53,4	51,5
Mjukpunkt:	°C		46,4	47,2	45,8
Mjukpunktsökning:	°C	≤ 11	6,6	6,4	5,0

Resultaten på det rena bindemedlet 40/100-75, motsvarar kraven för relevanta egenskaper i ¹Bitumenbundna lager. Blandningen med 40/100-75 och 25% kalkfiller och blandningen med 40/100-75 och 25% magnetitfiller, blev också något hårdare än resultatet av bara 40/100-75, men blandningarna håller sig fortfarande inom kraven för det rena bindemedlet, se tabell 8 nedan. Resultaten visar att kalkfiller styvar upp bindemedlet mer än vad magnetitfiller gör.

Tabell 8, Resultat av 40/100-75 utan och med inblandning av filler

Egenskaper	Enhet	Krav på 40/100-75:	40/100-75	40/100-75 + Kalkfiller	40/100-75 + Magnetitfiller
Penetration vid 25°C:	*0,1 mm	40-100	48	42	46
Mjukpunkt:	°C	≥ 75	90,6	90,0	91,5
Efter RTFOT:					
Viktförändring:	%	≤ 0,5	0,029	0,043	-0,100
Penetration vid 25°C:	*0,1 mm		37	31	35
Bibehållen penetration:	%	≥ 50	77,1	73,8	76,1
Mjukpunkt:	°C		89,5	91,0	89,0
Mjukpunktsökning:	°C	≤ 10	-1,1	1,0	-2,5

Dynamic Shear Rheometer (DSR) är en mångsidig laboratorieutrustning, som kan prova en mängd fundamentala reologiska egenskaper, i viskösa material. DSR har länge använts i exempelvis matindustrin och färgindustrin i Sverige, men även för vägbyggnadsmaterial i exempelvis USA. Under de närmsta åren kan vi förvänta oss, att DSR-provning förväntas ingå i kravspecifikationen för polymermodifierade bitumen. På ännu längre sikt kan även DSR komma att ersätta flera provmetoder för konventionella bitumen.

För att kunna jämföra olika reologiska egenskaper på bindemedelsblandningarna ovan, kommer vi att utföra tester med vår DSR-utrustning. Under Etapp 1 har vi bara utfört enstaka tester med DSR, men en utökad provning kommer ske i Etapp 2, för att få värdefull information om hur magnetiten påverkar bindemedlens egenskaper.

FRAMTAGNING AV BLANDNINGSRECEPT

Som tidigare nämnts var vår uppgift att ta fram blandningsrecept på lagningsmassa, ABT 8 160/220, handläggningssmassa och på gjutasfalt, PGJA 11 40/100-75, med och utan tillsatt magnetit.

När vi påbörjade denna uppgift, utgick vi från verkens invägningsrecept på Skanskas asfaltverk i Vällsta och BINAB's gjutasfaltverk på Arlanda.

Sten-, filler- och magnetitmaterialens konstorleksfördelning lades in i en excelfil för beräkning av asfaltblandningarnas sammansatta kornfördelning. Dessa jämfördes med specifikationer för respektive massatyp, som finns i ¹Trafikverkets kravdokument, Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529 Version 4.0. Samtliga blandningsrecept vi tog fram, ligger inom dessa specifikationer.

Bindemedelshalten korrigerades, för gjutasfaltens sammansatta sten-, filler- och magnetit-materials korndensitet. Bindemedelshalten minskades ju mer magnetitmaterial, som tillsattes i massan. Vid kontroll av kvalitetsparametrar för gjutasfalten, märkte vi att ju mer magnetit gjutasfalten innehöll, ju styvare blev gjutasfalten. Vi såg även vid analyserna på blandningarna med bindemedel och filler, att magnetitfiller inte styvar upp bindemedlet, lika mycket som egenfiller och kalkfiller gör. Därför korrigerades inte blandningarna i försöken som senare, utfördes hos DAB.

Korrigerings av bindemedelshalten gjordes inte heller på lagningsmassan, eftersom den inte är lika konsistensberoende som gjutasfalten.

LABORATORIEBLANDNING

Blandningsrecepten som tagits fram, användes vid de laboratorieblandningar av lagningsmassa och gjutasfalt, som utfördes på Skanskas laboratorium i Västerhaninge.

Vi använde samma sten-, fillermaterial och bitumen, som används vid det aktuella verket. Dessa material transpporterades till laboratoriet, se



Bild 1: Stenmaterial och filler, som användes vid laboratorieblandningarna på Skanska Sveriges laboratorium i Västerhaninge, 2020.



Bild 2, 3 och 4: Magnetitfiller och bitumen, som användes vid blandningarna på Skanska Sveriges laboratorium i Västerhaninge, 2020.

Först torkades och vägdes samtliga fraktioner upp, enligt aktuellt blandningsrecept och materialen placerades i värmeskåp, vid den önskade blandningstemperaturen. Materialet tillsattes sedan i blandaren i en bestämda ordningsföljd, se tabell 9. Tillsättning av materialen utfördes medan asfaltsblandaren var igång på låg hastighet. När allt material hade tillsatts, ökades blandarens hastighet till max under 3 minuter. Sedan sänktes hastigheten under resterande blandningstid.

Tabell 9: Blandningsparametrar på gjutasfalt och lagningsmassa

	PGJA 11 40/100-75	ABT 8 160/220
Stenmaterial från	BINAB, Arlanda	Skanska, Vällsta
Bitumen	40/100-75	160/220
Blandningstemperatur (°C)	200	150
Blandningstid (min)	120	3
Temperatur efter blandning	150	145
Blandningsordning	1. Stenmaterial 2. Kalkfiller 3. Magnetit 4. Bitumen	1. Stenmaterial 2. Filler 3. Magnetit 4. Bitumen

Blandare är byggt för att kunna hålla temperaturen på massan under blandningstiden, för vanlig asfaltmassa. Vid blandningarna av gjutasfalt, som kräver 2 timmars blandningstid, hann massan svalnade till runt 150°C. Därför var gjutasfalten lite trögare än den hade varit vid 200°C men tillräcklig bearbetbar, för att man skulle kunna tillverka provkuber. Se bild 5, nedan.



Bild 5: Laboratorieblandare, på Skanska Sveriges laboratorium i Västerhaninge.

ABT 8 160/220 tillverkades med tillsatts av 0 respektive 10% magnetitmaterial. Vi använde 5% magnetitfiller, Magnetite 0.09 VD och 5% av det grövre magnetitmaterial, MagnaDens 2s, för att få rätt magnetithalt men inte för hög fillerhalt i massan. Vi tillverkade 50 kg av varje blandning, massan lät vi svalna innan den paketerades och skickades till Combitech, för försök i deras prototypblandare med mikrovågsuppvärmning, Star Trek.

PGJA 11 40/100-75 tillverkades med tillsatts av 0, 4, 8, 12, 17, 20 och 40% magnetitmaterial. Vid högre halt magnetit, än fillerhalten i gjutasfalten, tillsattes även det grövre magnetitmaterial. Vi tillverkade 50 kg av varje blandning.



Bild 6: Färdigblandad gjutasfaltsmassa, efter 2 timmar blandningstid, på Skanska Sveriges laboratorium i Västerhaninge, 2020.

När blandningstiden var klar, tillverkades 12 st kuber, i storleken 7*7*7 cm, i speciella gjutformar. 6 st kuber, av varje blandning, skickades till Combitech för försök att hitta den optimala magnetithalten, i deras mikrovågsgugn.

2 st kuber av varje blandning analyserades med avseende på stämpelbelastning och formstabilitet på Skanskas laboratorium i Upplands Väsby, Vällsta.



Blid 7: Gjutasfaltskuber, efter tillverkning utförd på Skanska Sveriges laboratorium i Västerhaninge, 2020.

Resterande gjutasfalt sparades i pappkartonger, för vidare undersökning.



Bild 8: Gjutasaltsprover, 12st och resterande gjutasfalt efter blandning, utförd på Skanska Sveriges laboratorium i Västerhaninge, 2020.

MAGNETITHALTENS PÅVERKAN PÅ UPPVÄRMNINGSHASTIGHETEN

För att undersöka om och hur halten magnetit i gjutasfalt skulle påverka uppvärmningshastigheten, gjorde vi olika blandningar.

Först blandade vi bindemedel och olika fyller i glasbägare. Glaset i bägarna var av typen borosilkatglas, som enligt Combitech skulle påverka mikrovågornas effekt på blandningarna, minimalt. Blandningarna skickades till Combitech, för analys av temperaturökning och effektupptag. Hos Combitech värmdes proverna i en mikrovågsugn, tillsammans med samma mängd vatten, i samma typ av bägare. Temperaturen mättes på bitumenblandningarna med en IR kamera och på vattnet med

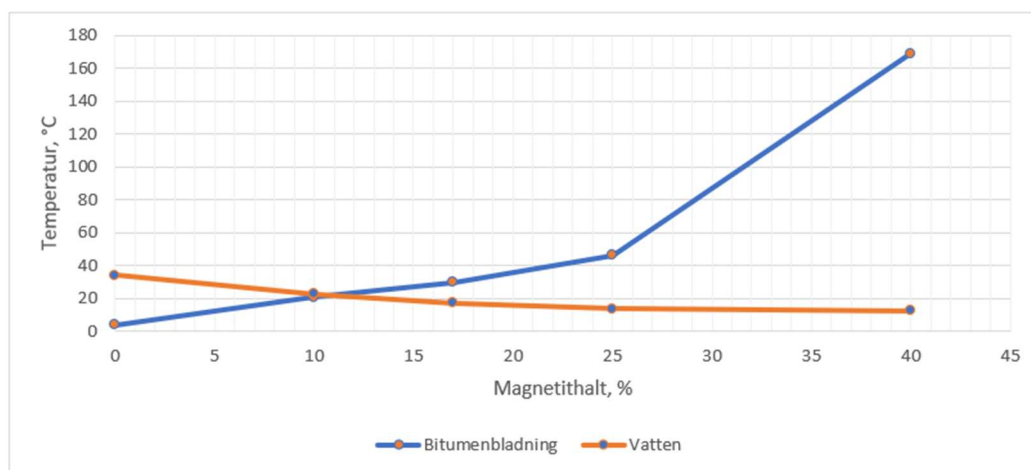
instickstermometer, före och efter 90 s värmning i mikrovågsugnen. Temperaturökning och effektupptagning beräknades.

Vatten har hög absorptionskapacitet för mikrovågor, därför visar en lägre temperaturökning på vattnet att bitumenblandningarna absorberat mer mikrovågor.

Tabell 10, Temperaturökning och effektupptag i bitumen och vatten beroende på magnetithalt

Blandning	Bitumenblandning		Vatten	
	Temperatur, °C	Effektupptag, W	Temperatur, °C	Effektupptag, W
100 % Bitumen	4,2	9,0	34,1	307
10% magnetit+90 % Bitumen	21,0	47,5	22,8	200
17% Magnetit+83% Bitumen	29,8	71,0	17,4	155
25% magnetit+75% Bitumen	46,3	120	13,8	124
40% Magnetit+60% Bitumen	169,2	514	12,8	111

Diagram 1, Temperaturökning i bitumen och vatten beroende på magnetithalt



Det kunde konstateras att temperaturökningen och effektupptaget ökar med ökad halt magnetit i proverna. Vi undrade om detta även sker i gjutasfalt och i lagningsmassa, eftersom dessa innehåller stenmaterial, som kan skärma mikrovågorna.

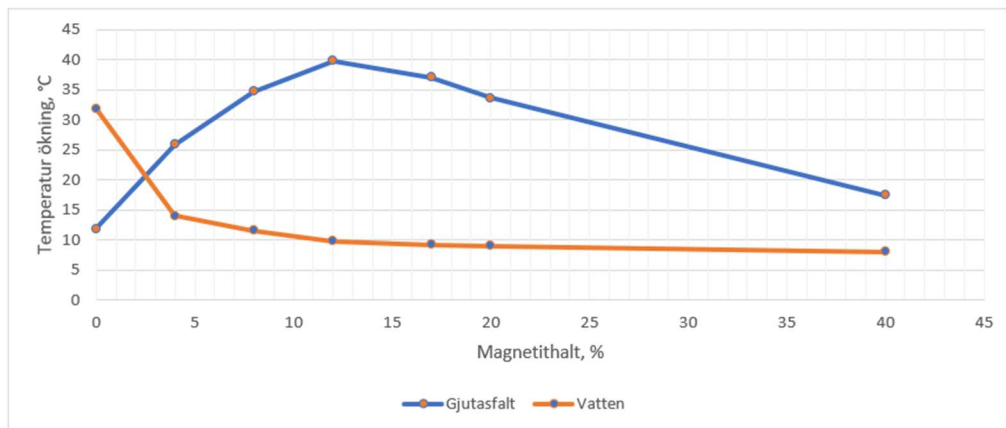
Därför gjorde vi laboratorieblandningar på PGJA 11 40/100-75, med olika halt magnetit, för att hitta den optimala magnetithalten. Vi skickade 6 st gjutasfaltkuber, av varje blandning, för nya uppvärmningsförsök.

Kuberna ställdes ovanpå varandra 2 och 2, värmdes i mikrovågsugn, tillsammans med samma mängd vatten. Temperaturökningen mättes, som tidigare försök.

Tabell 11, Temperaturökning och effektupptag i gjutasfalt och vatten beroende på magnetithalt

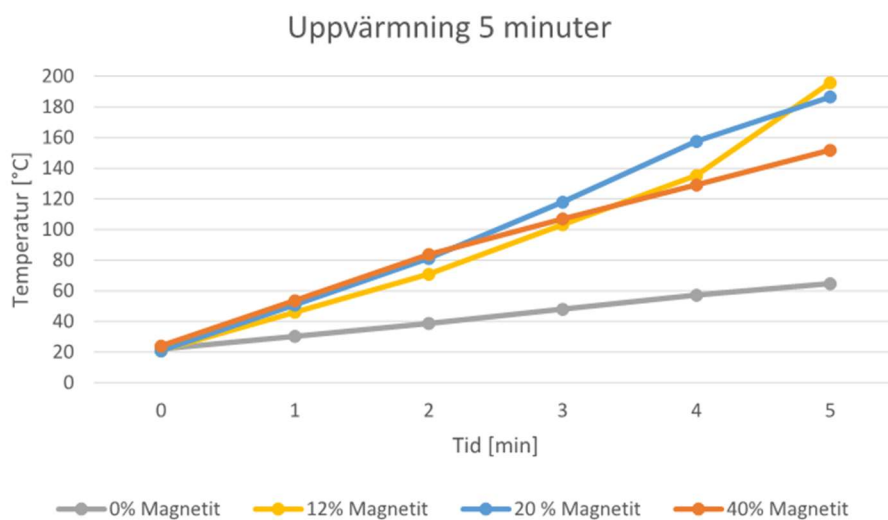
Magnetithalt, %	Gjutasfalt			Vatten		
	Temperatur, °C	Effektupptag, W	Vikt, g	Temperatur, °C	Effektupptag, W	Vikt, g
0	11,9	212	1704,5	31,85	290,5	192
4	25,9	464	1713	14	130	196
8	34,7	620	1709	11,6	107	194
12	39,85	747	1793	9,8	90	194
17	37,05	716,5	1849,5	9,25	83,5	190,5
20	33,65	659,5	1874,5	9,05	83	193,5
40	17,45	379,5	2081,5	8,1	74	193

Diagram 2, Temperaturökning i gjutasfalt och vatten beroende på magnetithalt



Några kuber värmdes dessutom under 5 minuter, i mikrovågsugn, för att se hur gjutasfalten reagerade i högre temperatur. Även här visade det sig att kuber med 12%, hade störst temperaturökning.

Diagram 3, Temperaturökning i gjutasfalt under uppvärmning i 5 minuter, beroende på magnetithalt



0% magnetit

12% magnetit

20% magnetit

40% magnetit

Bild 9: Gjutasfaltkuber efter 5 minuters uppvärmning i mikrovågsugn.

Vi konstaterade att bäst effekt vid mikrovågsuppvärmning av gjutasfalt, fick vi vid 12% magnetithalt. Denna halt verkar vara den optimala för de gjutasfaltblandningar, som vi

utfört med ingående material. Beslut togs då att vi i fullskaleförsöken hos DAB, skulle använda 12% magnetit i gjutasfalten.

ANALYS AV KVALITETSPARAMETRAR PÅ UTFÖRDA PROVBLANDNINGAR

Leveranskontroll på gjutasfalt utförs i enlighet med ¹Trafikverkets kravdokument, Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529 Version 4.0, genom stämpelbelastning enligt SS-EN 12697-20:2020 Vägmateriäl - Asfaltmassor - Provningsmetoder - Del 20: Stämpelbelastning av kub- eller cylinderformad provkropp och formstabilitet enligt Bilaga B i SS-EN 12970:2000 Gjutasfalt och asfaltmastix Definitioner, krav och provningsmetoder. Kraven enligt ¹Bitumenbundna lager för stämpelbelastning är 1-6 mm och för formstabiliteten under 8 mm. Analyserna utfördes på Skanskas laboratorium i Vällsta och samtliga blandningar var godkända enligt dessa krav. Trots att bindemedelshalten korrigerades, för gjutasfaltens sammansatta korndensitet, visar resultaten i tabell 12 och 13, att ju mer magnetit gjutasfalten innehåller, ju styvare blir gjutasfalten. Därför bör nog inte bindemedelshalten korrigeras, vid tillsatts av magnetitmaterial.

Tabell 12: Resultat på stämpelbelastning på kuber med olika magnetithalt

Tid (min)	Stämpelbelastning (mm)						
	0 % magnetit	4 % magnetit	8 % magnetit	12% magnetit	17% magnetit	20% magnetit	40% magnetit
1	2,43	1,85	1,40	1,71	1,25	1,16	1,16
2	2,91	2,30	1,69	2,07	1,53	1,40	1,41
4	3,45	2,78	2,02	2,46	1,85	1,67	1,68
8	4,07	3,29	2,38	2,89	2,16	1,96	1,96
15	4,72	3,81	2,73	3,29	2,47	2,26	2,24
30	5,52	4,41	3,14	3,78	2,81	2,52	2,53

Tabell 13: Resultat på formstabilitet på kuber med olika magnetithalt

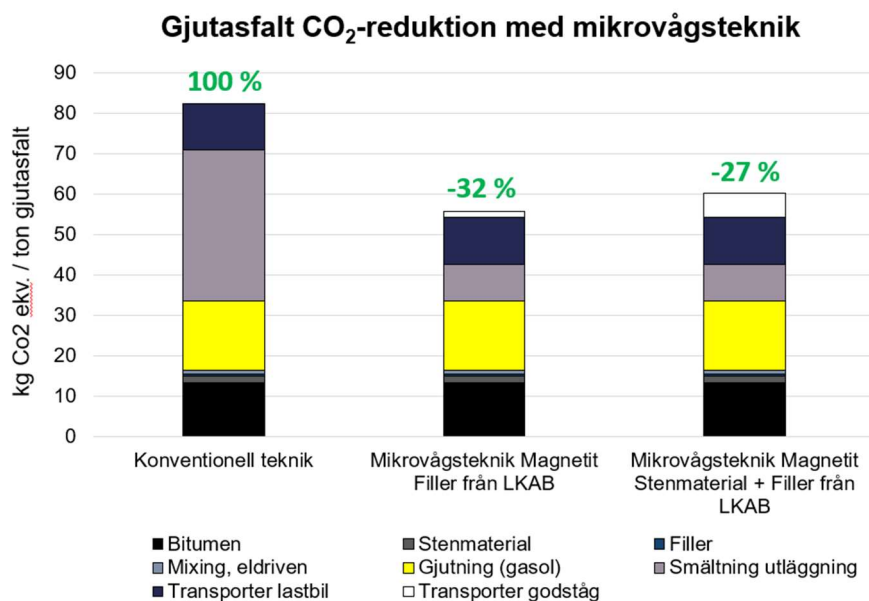
Formstabilitet (mm)						
0 % magnetit	4 % magnetit	8 % magnetit	12% magnetit	17% magnetit	20% magnetit	40% magnetit
5,83	4,48	4,43	2,45	1,20	1,43	0,75

WEBBINARIUM

Projektet höll ett Webinarium 26 maj 2020, för att redovisa och diskutera några av de resultat som projektet hade kommit fram till.

Ecoloop redovisade en beräkning som de gjort på reduktionen av koldioxid vid mikrouppvärmning av gjutasfalt.

Diagram 4, Ecoloops redovisning av koldioxidreduktionen på mikrovågsuppvärmd gjutasfalt



Combitech förklarade att mikrovågar är elektromagnetiska vågor som består av ett elektriskt och ett magnetiskt fält. Detta elektriska fält, får vattenmolekylerna i materialet att röra på sig och då genereras värme. Med mikrovågar kan man få en snabbare, bättre kontrollerad och mer energibesparande uppvärmning, i jämförelse med konventionell teknik. Deras demonstration av sin Star Trek, se bild 10, en mikrouppvärmd blandare, visar att en lagningsmassa innehållande 10% magnetit ger 20% snabbare uppvärmning och 25% mindre energiåtgång. Bild 11 visar när mikrouppvärmd lagningsmassa, har tömts ut från Star-Trek.



Bild 10, Star Trek



Bild 11, Mikrouppvärmd lagningsmassa

FÄLTFÖRSÖK PÅ E6 NORDREÄLVBRON VID KUNGÄLV

För att utvärdera om gjutasfalt med magnetit (12%), går att lägga ut i fält, ordnade Trafikverket en provsträcka vid pågående renovering av E6 Nordreälvbron. En sträcka på ca 120 meter (K1) avsattes för tre olika testtytor om ca 40 meter vardera. Bild 12 och 13 nedan, visar Nordreälvbron. Implenia är huvudentreprenör och ansvarar för renoveringen och har anlitat DAB för att utföra isolering av körbanan.



Bild 12 och 13: Nordreälvbron vid Kungälv.

Innan tillverkningen av gjutasfalt med magnetit påbörjades utfördes laboratorieblandningar på DAB's laboratorium i Kungälv. PGJA 11 tillverkades i laboratorieblandare med det material som normalt används. 12% av det kalkfiller som normalt tillsätts, ersattes med magnetitfiller av typen Magnetite 0.09 VD. Normal bindmedelshalt tillsattes och erfaren personal kände på och utvärderade gjutasfaltens konsistens. Resultatet av utvärderingen var att blandningen ansågs ha rätt konsistens för att kunna tillverkas och läggas ut. Tillsatser med vax samt mer bindemedel gjordes på försök. Provkuber tillverkades för analys av stämpelbelastning och formstabilitet, för de olika blandningarna. Se resultaten för analyserna i tabell 14.

Tabell 14: Resultat på stämpelbelastning och formstabilitet, på laboratorieblandningar gjorda av DAB

	12 % magnetit Bm-halt 7,4% Vax 0%	12 % magnetit Bm-halt 7,4% Vax 4 %	12% magnetit Bm-halt 7,8% Vax 4 %
Stämpelbelastning, mm efter 30 min	3,3	2,3	3,3
Formstabilitet, mm	0	0	0

Samtliga resultat var godkända enligt krav och tillverkning i verket ansågs möjligt.

Tillverkning av gjutasfaltblandningarna (PGJA11, samt PGJA11 med magnetit) utfördes vid DABs anläggning i Kungälv. För att tillsätta magnetiten (filler) användes en befintlig skruvmatare som normalt använd för lättare tillsatsmaterial. Magnetiten levererades i storsäck som lyftes in till inmatningen. Bild 14-17 visar matningen av magnetiten.



Bild 14, Inmatning av magnetit från storsäck.



Bild 15-17, Inmatning av magnetit från storsäck.

Det uppstod problem med matningen av magnetiten då mataranordningen inte var anpassad för den tunga magnetiten. Vidare var matningen relativt brant och materialet tenderade att fastna. Trots att magnetiten är mycket tyngre än traditionella tillsatsmedel kunde magnetiten till slut matas in med lite hjälp. Bild 18 visar den branta inmatningen samt manuell nedskakning av magnetiten.

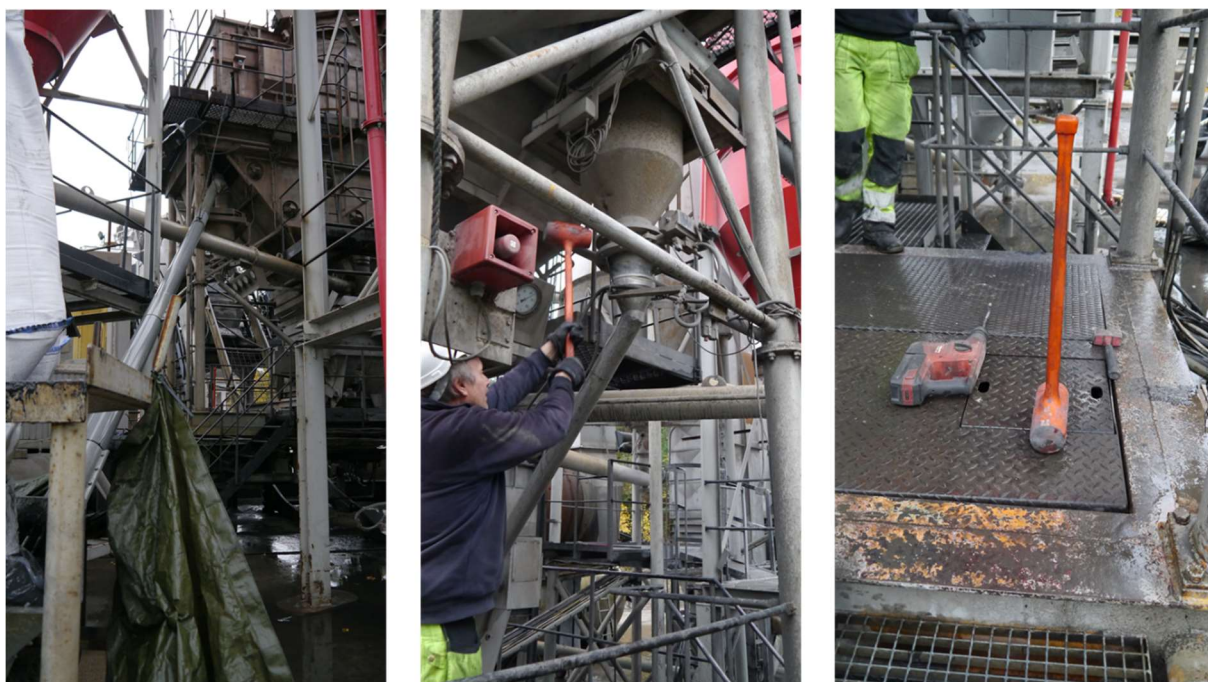


Bild 18-20, Den branta inmatningen samt manuell nedskakning av magnetiten.

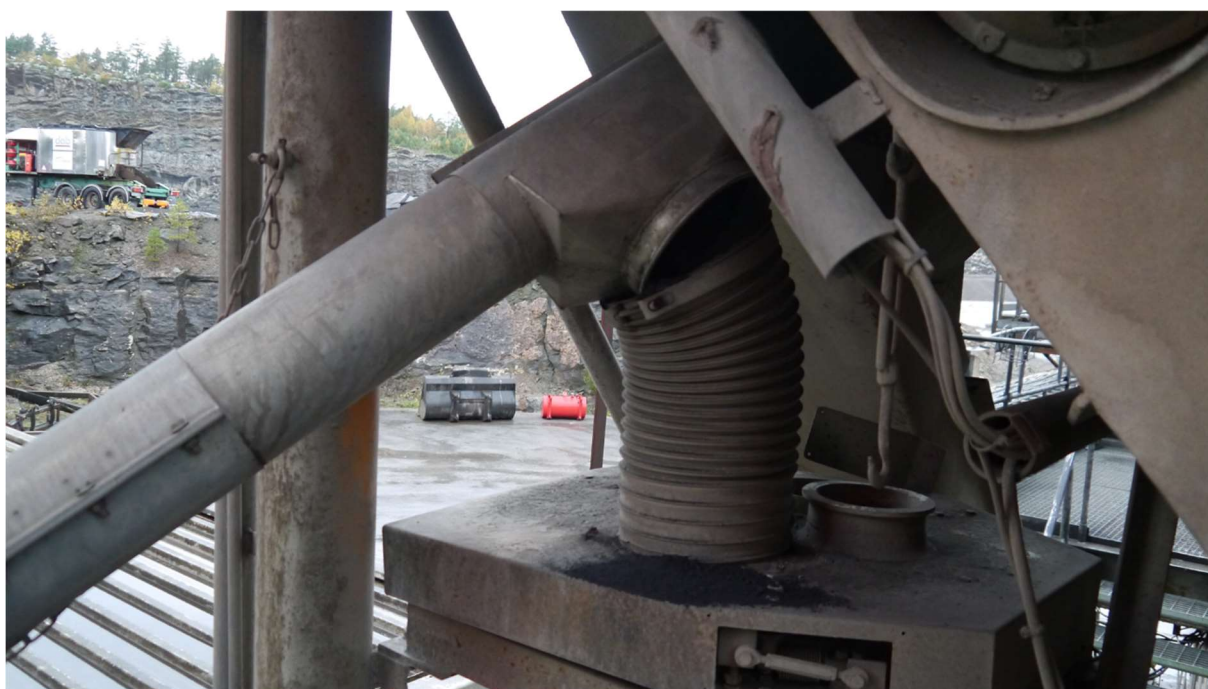


Bild 21, Inmatningen av magnetit ner i blandaren.

För att mata magnetit i framtida applikationer föreslås att materialet lagras i egna silos som fillermaterialet och tappas nedåt, enligt Bild 23-24.

Bild 21, visar del av matningen som skakade loss vid infästningen.



Bild 22-24, Inmatningen av magnetit via t.ex. fillertorn rekommenderas för förvaring av magnetit.



Bild 25, Kontrollrum.

Bild 25 visar kontrollrummet där styrning av verket samt blandningar kontrolleras, på DABs anläggning i Kungälv. Torktrumma, fillersilos, "hund", bitumentankar samt gjutasfaltblandare kan tydligt urskiljas, se bild 26-29.



Bild 26, DABs anläggning i Kungälv

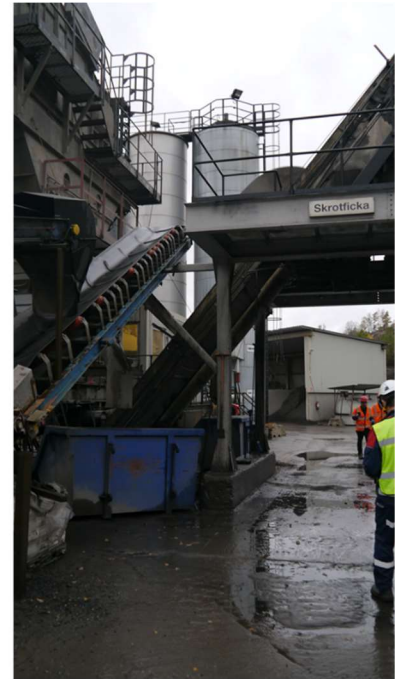


Bild 27-29, De olika blandarna på DABs anläggning i Kungälv.



Bild 30, De olika blandarna på DABs anläggning i Kungälv.

Bilderna visar DABs tre gjutasfaltsblandare 40+100+40 ton. Gjutasfalten med 12% magnetit kördes upp dagen före läggning och placerades i G1, Den vanliga gjutasfalten lagrades i G3. Gjutasfaltmaterialen lastades under morgonen för transport till arbetsplatsen på E6 Nordreälvbron, se bild 31-33.



Bild 31, Gjutasfaltbilar ska lastas inför transport till arbetsplatsen.



Bild 32, Gjutasfaltbilar ska lastas inför transport till arbetsplatsen.



Bild 33, Gjutasfaltbil som lastas inför transport till arbetsplatsen.



Bild 34 och 35, Uttagning av prov på gjutasfaltblandningarna på verk.

Produktionsprover samt kompletterande materialuttag utföres för senare analyser inom projektet, vilket illustreras i bild 34 och 35.

Analys av stämpelbelastning och formstabilitet, på gjutasfalten med och utan magnetit utfördes på DAB's laboratorium i Kungälv. Se resultaten för analyserna i tabell 15.

Tabell 15: Resultat på stämpelbelastning och formstabilitet, på verksblandningar gjorda av DAB

	0 % magnetit Verk	0 % magnetit Bil	12% magnetit Verk	12% magnetit Släp
Stämpelbelastning, mm efter 30 min	3,5	3,7	3,2	2,5
Formstabilitet, mm	0	0	0	1

Samtliga resultat var godkända enligt Trafikverkets krav.

Bild 36, visar del av E6 Nordreälvbron som avsatts för fältförsök. Under fältförsöket varierade vädret så att läggningen fick senareläggas på grund av regn. Efter regnet blev det uppehåll så att underlaget kunde blåsas rent från fukt och gynnsamma förhållande för utläggning kunde erhållas, se bild 37 och 38.



Bild 36, Arbetsplatsen på E6 Nordreälvbron

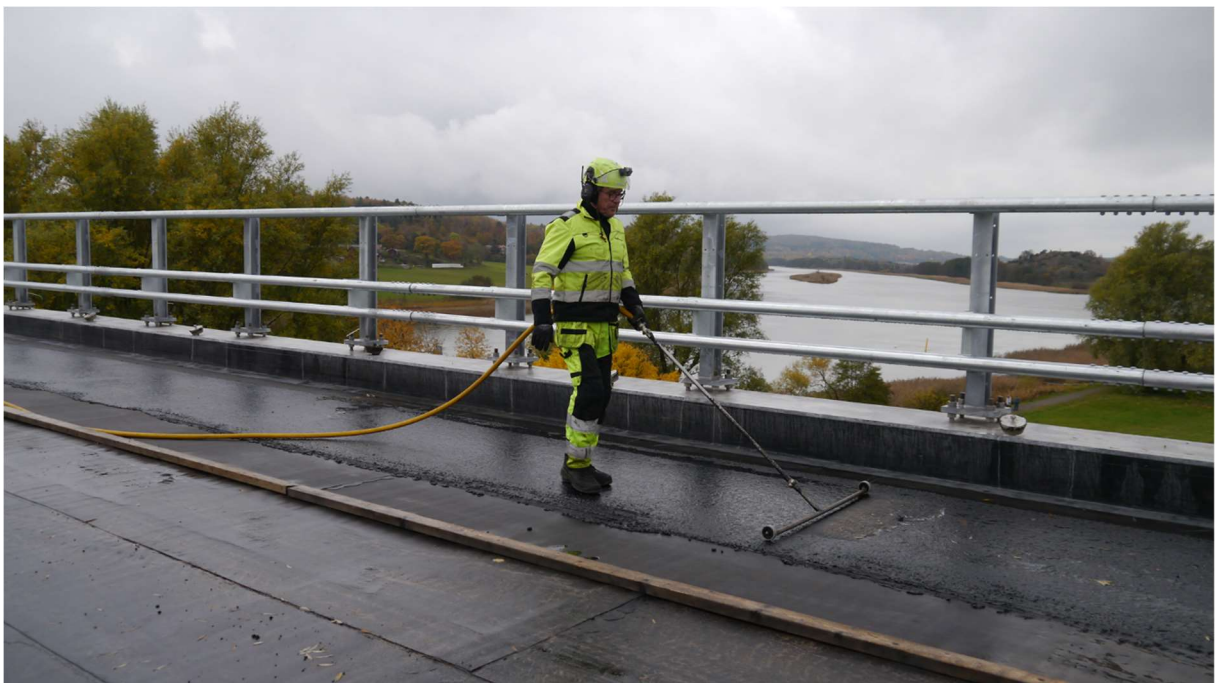


Bild 37, Arbetsplatsen på E6 Nordreälvbron



Bild 38, Arbetsplatsen på E6 Nordreälvbron

Gjutasfalten i de tre provsträckorna, lades ut med en sprider bil, se bild 39-42.



Bild 39, Sprider bil på E6 Nordreälvbron

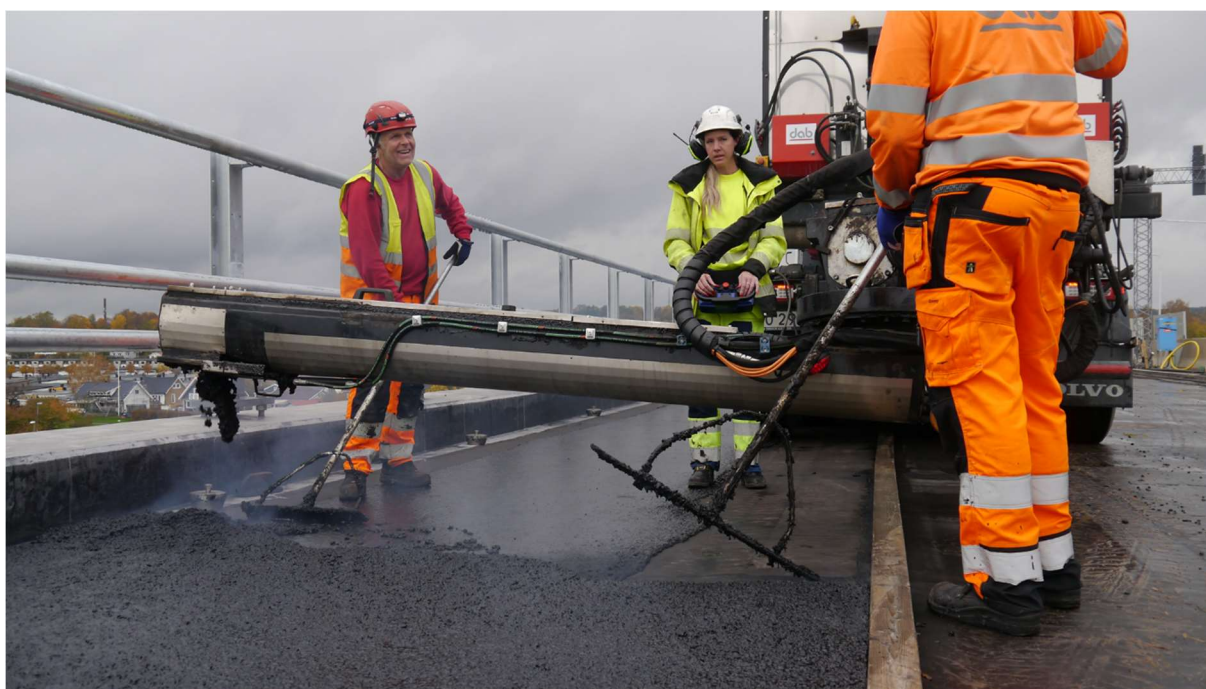


Bild 40, Utläggning med sprider bil på E6 Nordreälvbron

Utläggningen gick bra och DABs personal konstaterade att läggbarhet samt bearbetbarhet var fullgod.



Bild 41, Läggnig av gjutasfalt med magnetit på E6 Nordreälvbron



Bild 42, Läggnig av gjutasfalt med magnetit på E6 Nordreälvbron



Bild 43, Påfyllnad av gjutasfalt med magnetit på E6 Nordreälvbron



Bild 44-45, Ytan på gjutasfalt med magnetit på E6 Nordreälvbron

DABs personal konstaterade dock att ytan på gjutasfalten med magnetit var grövre än ytan med vanlig gjutasfalt. Vad detta beror på är inte klarlagt. En orsak kan vara att magnetiten förstyrkar gjutasfalten och minskar nedsjunkningen av stenmaterialet.

Under läggningen placerade ett antal förtillverkade temperaturmätare i gjutasfalten för att studera avsvalningsförloppet och värmeegenskaperna. Temperaturen mättes i fyra olika nivåer över 4 cm.



Bild 46, Temperaturmätning av gjutasfalt med magnetit på E6 Nordreälvbron



Bild 47-48, Temperaturmätning av gjutasfalt med magnetit på E6 Nordreälvbron



Bild 49, Temperaturmätning av gjutasfalt med magnetit på E6



Bild 50, Uppföljning av temperaturmätningar under avsvälningen.



Bild 51, Stort intresse av provläggningen.

Provläggningen hade stort intresse av flera aktörer inom branschen. Ett antal olika parametrar loggades och läggningen filmade för ett antal olika efter analyser. Fullskaleförsöken blev väldigt lyckat tack vare en mycket god samverkan mellan Implenia, DAB samt projektet. Till projektet har även knutits ett examensarbete för att utvärdera avsvälningen

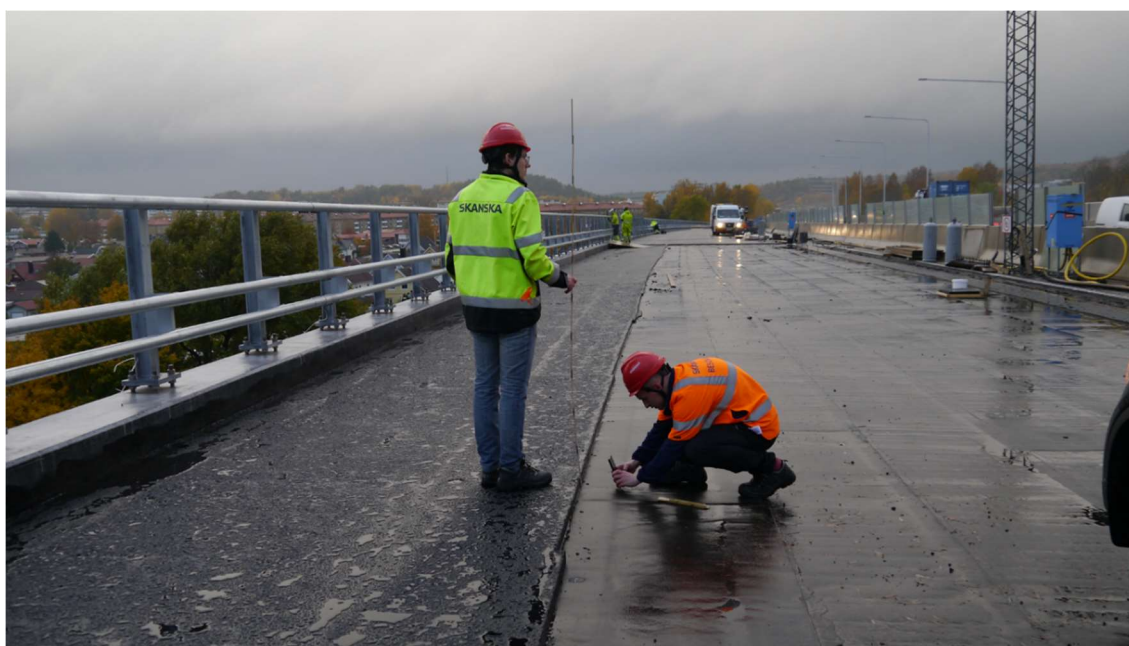


Bild 52, Examensarbetare från LTU, dokumenterar utförda provsträckor.

Dagen efter läggningen samlades provmaterial in för vidare analyser, se bild 53.



Bild 53, Provmaterial

Ett antal värmekameraanalyser utfördes för kommande energibetraktelser. Resultatet från utfört fältförsök kommer att analyseras i Etapp 2 av projektet.



Bild 52, Bild från värmekamera, på verket under tillverkning.

LITTERATURFÖRTECKNING

- 1) Bitumenbundna lager, Trafikverkets Kravdokument för asfaltbeläggningar, TDOK 2013:0529 Version 4.