

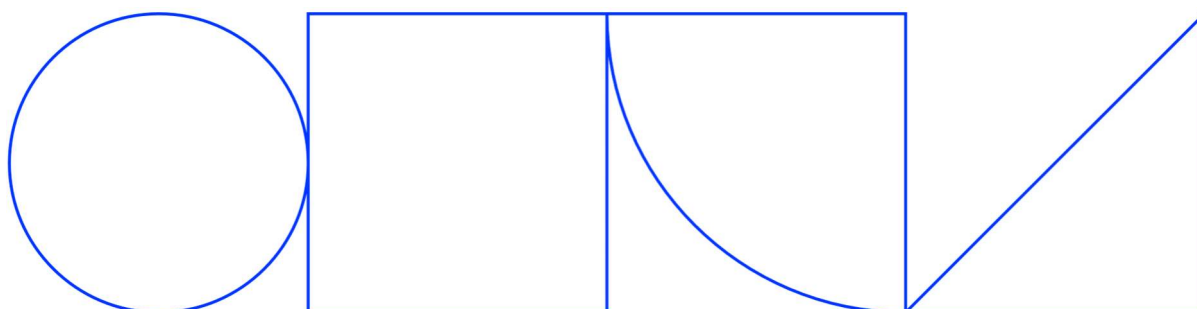
PROJEKTNR. 14183

Utveckling av beständiga asfaltskarvar, del 2.

Slutrapport

Patryk Witkiewicz
Skanska Sverige AB, VTC Support och Utveckling

2025-08-14



Förord:

Det har varit intressant och givande att genomföra detta projekt. Som vanligt uppstår det några oväntade händelser under projektets gång som måste hanteras med en positiv attityd och engagemang för att nå ett framgångsrikt avslut. Genom insatser från alla deltagare i projektet har denna rapport framgångsrikt slutförts och förhoppningsvis kommer den att stödja branschen i att skapa mer hållbara fogar mellan betong- och asfaltsbeläggningar i framtiden.

Ett stort tack till projektets referensgrupp för ert stöd, era synpunkter och ert intresse för detta viktiga ämne. Önskar härmed också framföra tacksamhet till SBUF och Trafikverket, som delfinansierade projektet och därigenom visade tilltro till att detta projekt kan ge gemensam nytta för branschen.

Rapportens huvudförfattare är Patryk Witkiewicz från Skanska, med stöd av övriga i styr- och referensgruppen.

Projektledare:

- Patryk Witkiewicz, *Skanska Sverige AB*

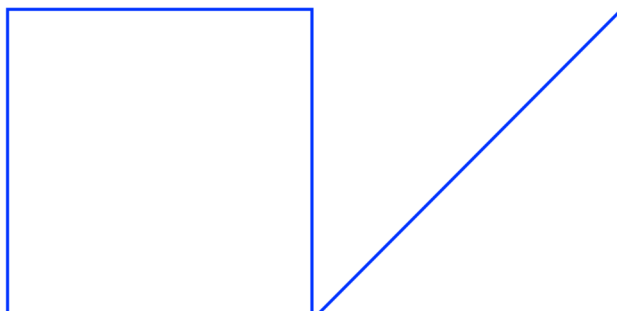
Styr- och referensgrupp:

- Katarina Ekblad, *Skanska Sverige AB*
- Kenneth Lind, *Trafikverket*
- Ehsan Ghafoori, *VTI*
- Jiqing Zhu, *VTI*
- Manfred Partl, *KTH*
- Alvaro Guarin, *KTH*
- Kader Khalid, *NCC Industry AB*
- Jenny-Ann Östlund, *Peab Asfalt AB*

Stockholm, augusti 2025

Patryk Witkiewicz

Projektledare, Skanska Sverige AB



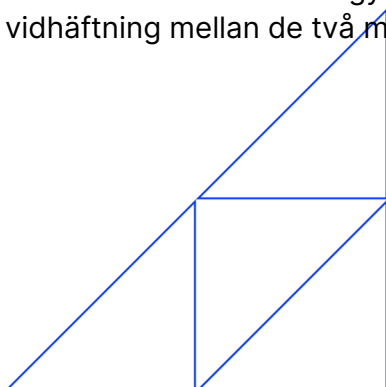
Sammanfattning och slutsatser:

En avgörande aspekt vid vägbyggen är att se till att det finns en god vidhäftning i fogarna mellan olika material för att undvika prematura skador. Speciellt när det gäller två material som har väldigt olika egenskaper såsom asfalt och betong. Det kan bli utmanande att konstruera en bra fog mellan material som är viskoelastisk som asfalt och styv som betong. På grund av deras annorlunda egenskaper har de också olika beteenden under miljö- och trafikbelastningar. Exempel på dessa fogar kan observeras vid busshållplatser, brodäck, spårvagnsplattor, flygplatser, parkeringsplatser och liknande.

Det huvudsakliga målet med detta projekt är att analysera hur olika byggmetoder och tekniker påverkar kvaliteten på fogar mellan beläggningar, där en sida är byggd av asfalt och den andra är byggd av betong.

Vid utvärdering av asfalt-mot-asfalt fog finns det endast ett empirisk test, hållrumshaltanalys, som utvärderar om arbetsfogen är godkänd eller inte. Det är omöjligt att analysera asfalt-mot-betong fog på samma sätt därför är det viktigt att kunna utvärdera fogarnas beständighet på annat sätt, till exempel med hjälp av mekaniska tester. För att få en djupare insikt i fogarnas mekaniska egenskaper har två nya metoder använts för att undersöka fogarnas kapacitet att motstå skjuvning samt bedöma styrkan i vidhäftningen: "Skjuvtest" och "3-punktsskjuvtest". Tillsammans med andra mekaniska testmetoder som IDT, DT och 4PB-test, som har utvecklats i tidigare forskning (Ghafoori Roozbahany E. 2013), kan "Skjuvtest" och "3-punktsskjuvtest" fungera som effektiva verktyg för att undersöka arbetsfogar mellan asfalt- och betongbeläggningar.

Resultaten från laborietester indikerade att det är fördelaktigt att skapa arbetsfogar med lutande geometri (45°) i stället för att använda vertikala arbetsfogar. Generellt för båda asfaltmaterialen (ABT11 och ABS16) visade två behandlingar mycket lovande resultat, nämligen Sealflex och PMB-45°. PMB-45° visade störst motståndskraft mot skjuvning samt betydligt högre energiupptagning (vilket indikerar fogens flexibilitet och dess återhämtningsförmåga efter ett brott), medan Sealflex uppvisade något lägre motståndskraft mot skjuvning men avsevärt lägre energiområde. PMB (vertikal fog) visade liknande resultat som JB, medan N2 tätningssmassa uppvisade en mycket begränsad motståndskraft mot skjuvning och rekommenderas därför inte som en lösning för vägar, utan snarare för brotätningssmassa. En betydelsefull upptäckt är att det är nödvändigt att ta bort cementskivan från betongytan innan behandling tillämpas för att säkerställa en god vidhäftning mellan de två materialen (betong och asfalt).



Innehållsförteckning

Förord:	
Sammanfattning och slutsatser:	
1. Bakgrund	4
2. Syfte	5
3. Antaganden	6
4. Genomförande	8
4.1 Introduktion	8
4.1.1 Materialegenskaper	8
4.1.2 Exempel på fogar mellan asfalt och betong	8
4.2 Laboratoriestudie	11
4.2.1 Metodval	11
4.2.2 Materialval	13
4.2.2.1 Betong	14
4.2.2.2 Asfalt	14
4.2.3 Konstruktionsparametrar (behandlingar och geometri)	16
4.2.3.1 Behandlingar	16
4.2.3.2 Geometri	18
5. Provtillverkning – genomförande	20
5.1 Gjutning av betongplattor	20
5.2 Utveckling av packningsmetod för fogar	21
5.3 Behandlingar för fogar	23
5.4 Provberedning	25
6. Testning	28
7. Resultat	30
7.1 Skjuvtest	30
7.2 3-punktsskjuvtest	31
8. Slutsatser	33
9. Rekommendationer och framtida arbete	34
10. Litteraturförteckning	35
Figurer:	36
Tabeller:	37

1. Bakgrund

I nya asfaltkonstruktioner förekommer det ofta utmaningar med asfaltskarvar. Skarvarna bildas mellan två asfaltbeläggningar som ligger bredvid varandra och skapar en potentiellt svag punkt i beläggningen.

När ny varm asfalt möter befintlig kall asfalt, är vidhäftningen i kontaktytan betydligt sämre än om asfalten läggs varm till varm. I del 1 av Utveckling av beständiga asfaltskarvar, SBUF 13368 (Witkiewicz 2021), kom projektet fram till hur dessa asfaltskarvar kan förbättras.

Problematiken förvärras ytterligare när asfaltmassa ska integreras med ett beläggningsslager bestående av ett helt annat material, som betong. Exempel på dessa skarvar kan observeras vid busshållplatser, brodäck, spårvägsplattor, på flygplatser med mera. Efter en snabb kontroll av några sådana konstruktioner, strax efter att de byggts, avslöjas allvarliga problem. Skillnaderna i de två materialen gör det väldigt svårt att sammanfoga dem med varandra och skapa en beständig skarv. Materialen har olika kemiska och mekaniska egenskaper, vilket kan leda till sämre vidhäftning och därmed lägre beständighet som i sin tur kan resultera i tidig nerbrytning av beläggningssytan. Det som kan ha störst påverkan på vidhäftningen mellan materialen är deras olika ytstruktur och hållfastheten.

Tidigare utvecklingsprojekt, (Witkiewicz 2021), om asfaltskarvar visade möjligheten att använda mekaniska tester för att utvärdera asfaltskarvar, mellan två asfaltytor. All erfarenhet och kunskap från dessa studier kan användas för att hitta lämplig fogningsteknik och utvärderingsmetod för beläggningsskarvar där endast en av sidorna i skarven består av asfaltmaterial. Planen är att försöka tillämpa testningsmetod/-er som utvecklades i tidigare projekt för att testa och utvärdera beläggningsskarvar. Mindre modifikationer och anpassning av fixturer kommer säkerligen behövas att göras men principen av tidigare utvecklade testningsmetoder borde vara lämpliga även för denna typ av beläggningsskarvar.

2. Syfte

Projektets huvudsakliga syfte är att analysera hur olika byggmetoder och tekniska lösningar påverkar kvaliteten och hållbarheten hos beläggningsskarvar mellan asfalt och betong. Projektet är främst inriktad på att identifiera de konstruktionsparametrar som har störst inverkan på förbättring av kvaliteten på denna typ av beläggningsskarvar.

Ett sekundärt syfte är att utveckla och anpassa mekaniska tester som på ett enkelt sätt kan utvärdera beständigheten hos denna typ av beläggningsskarvar, baserat på erfarenhet från tidigare SBUF-projekt (Witkiewicz 2021).

3. Antaganden

I det tidigare projektet, (Witkiewicz 2021), konstaterades att mekaniska tester som utvecklades i projektet är lämpliga för att utvärdera asfaltskarvar, skarvar asfalt mot asfalt. I detta projekt, där har liknande skarvar testats, fast mellan olika material, skarvar asfalt mot betong. Samma fixturer, som tillverkades med hjälp från VTI och KTH, har använts. Endast några mindre modifikationer gjordes, för att anpassa utrustningen till provkropparnas form.

Detta SBUF-projekt är tätt kopplad till BVFF-projektet, Utredning av byggandets inverkan på speciella belägningsfogar Belägningsfog mellan asfalt och betong, VTI rapport 1211, (Ghafoori, Utredning av byggandets inverkan på speciella belägningsfogar Belägningsfog mellan asfalt och betong 2024). I VTI:s projekt testas ett slitlager (ABS 11) och bärlager (AG 22) mot betongyta samt olika byggmetoder, foggeometri och ytbehandlingar provas. De två massasorterna med sitt stenskelett och penetrationsbitumen har vissa egenskaper (ytstruktur, porositet, vidhäftningsegenskaper, visköselastiska egenskaper och så vidare) som har betydande inverkan på skarvarnas beständighet. I detta SBUF projekt är syftet att komplettera och utöka provningen med ytterligare två massasorter som skiljer sig betydligt i sin struktur och egenskaper från ABS 11 och AG 22. Massasorterna som används ofta mot betongytor är:

- TSK (på broar),
- ABD (på busshållplatser, som grund för CEMPLA),
- ABS (busshållplatser, bensinstationer, parkeringar),
- ABT/ABTs (flygplatser, bensinstationer, parkeringar).

Därför är det av intresse att undersöka flera massasorter som ofta används i verkligheten. Ur branschperspektiv bestämdes det att komplettera VTI:s undersökning med massasorter som ofta används i kontakt med betong plattor/vägar det vill säga ABS 16 och ABT 11. Dessa två typer av asfalt har annorlunda egenskaper än ABS 11 och AG 22 och ger bra bild på skillnader i skarvbeständighet beroende på olika egenskaper.

I detta projekt ligger fokus på att utvärdera olika byggmetoder, till exempel olika vinklar, fräsning av ytan och olika behandlingar (till exempel klister, PMB, gummiband) av skarvar mellan betong och ABS 16 och ABT 11. På de olika varianterna av skarvar kommer två mekaniska tester, som utvecklades i första delen av projektet, utföras. Det ena testet kallas för *"Skjuvtest"* och andra för *"3-punktsskjuvtest"*. Fixturer utvecklades av Skanska och VTI och tester genomfördes på laboratorium hos KTH.

Resultaten förväntas ha en betydande inverkan på kvalitet och beständighet av beläggningsskarvar mellan asfalt- och betongytor. Resultaten förväntas även ge riktlinjer avseende tillverkning och utvärdering av dessa beläggningsskarvar. Därför kan både vägmyndigheter och entreprenörer ha stor nytta av dessa resultat. Entreprenörer kan förbättra sina konstruktionsmetoder för att konstruera beständiga beläggningsskarvar och vägmyndigheterna kan uppdatera sina krav.

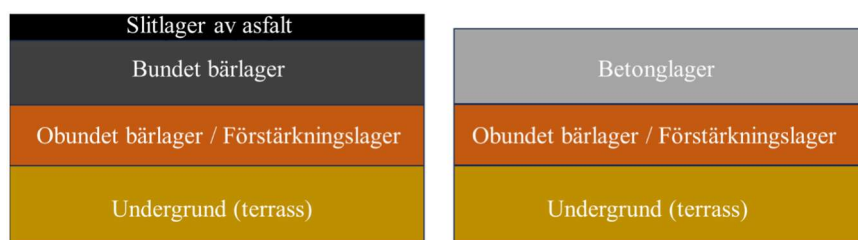
För modellering (Discrete Element Modeling), packningssimulering, CFT (Compaction Flow Test) ansvarar VTI inom ramen av BVFF-projekt (Ghafoori, Utredning av byggandets inverkan på speciella beläggningsfogar Beläggningsfog mellan asfalt och betong 2024). Testning av tillverkade prover utfördes både av VTI och Skanska på KTH:s laboratorium.

4. Genomförande

4.1 Introduktion

4.1.1 Materialegenskaper

Asfaltbeläggningar som är sammansatta av mineralaggregat och bituminösa material benämns flexibla beläggningar; medan cementbaserade betongbeläggningar kategoriseras som styva beläggningar (Asfaltsboken). Dessa använder cement i stället för bitumen för att skapa bindning mellan aggregaten. Flexibla beläggningar är generellt tjockare än de styva och består av flera olika lager, se figur 1. Enligt bransch erfarenheter är de mer kostnadseffektiva att konstruera och underhålla, med en förväntad livslängd på upp till 15 till 20 år. Styva beläggningar är kostsamma att bygga och underhålla, enligt SBUF-rapport HÅLLBARA BETONGVÄGAR – UNDERHÅLL (ETAPP I) (Nilsson 2022). Till skillnad från flexibla beläggningar deformeras styva beläggningar inte i hög grad under trafikbelastning och i ännu mindre utsträckning vid temperaturvariationer än vad asfaltsbeläggningar gör. Styva beläggningar anses ha en längre livslängd än de flexibla och uppvisar högre bärförmåga (Nilsson 2022).



Figur 1. Schematisk bild över en vägkonstruktion med bindemedelsbundet slitlager och bärlager samt med cementbundet slitlager.

4.1.2 Exempel på fogar mellan asfalt och betong

I situationer där asfaltbeläggningar används som den primära typen av beläggning, kan dessutom betongbeläggningar tillämpas på områden där beläggningen utsätts för avsevärt tyngre eller mer statisk trafikbelastning. Ett bra exempel på tung trafik och statiska belastningar är flygplatser. Där förekommer vanlig flygtrafik med flygplan som kan ha en vikt upp till 280 ton, men de största flygplatserna, såsom Arlanda flygplats, måste vara förbereda för världens största flygplan som har en vikt på cirka 640 ton, (Världens största flygplan på Arlandabesök 2021). För att säkerställa god stabilitet, flexibilitet, textur och friktion appliceras asfalt på samtliga landningsbanor samt de flesta rullbanor. Beläggningen på taxibanor och parkeringsytor övergår emellertid ofta till styvare alternativ, det vill säga betongbeläggningar, på grund av statiska belastningar från parkerade flygplan som kan leda till deformation i asfalten. I Figur 2 syns parkeringsytor avsedda för flygplan vid flygplatsen i Newark, USA.



Figur 2. Newark International Airport. Källa: FAA changes Newark runway operations after near mid-air collision | Air transport | The Guardian. Foto: Mark Lennihan/AP.

På det allmänna vägnätet där bilar, lastbilar eller bussar kommer parkera eller stanna under längre perioder uppstår samma problematik som den vid flygplatser. På flygplatser är det generellt vedertaget att man föredrar styva och deformationsresistenta beläggningar gjorda av betong. Parkeringar, bensinstationer, busshållplatser byggs ofta av betong som kan stå emot varma väderförhållande, särskilt på somrarna då asfalten kan bli mjukare och börja deformeras. Figur 3 och Figur 4 visar exempel på fogar mellan asfalt och betong på bensinstation respektive busshållplats.



Figur 3. Exempel på fog mellan asfalt och betong på bensinstation vid Costco i Orillia. Källa: <https://www.densona.com/product-groups/denso-road-products/>.



Figur 4. Exempel på fog mellan asfalt och betong på busstation. Källa: Jim Saksa, PlanPhilly, <https://why.org/articles/streetsplainer-what-s-with-those-concrete-pads-in-front-of-bus-stops/>.

Även på motorvägar där det förväntas att vara mycket trafik och stående fordon konstrueras vissa ytor med betongbeläggning, se figur 5. Stora korsningar eller på- och avfarter är belastade med mycket trafik och fordonen tvingas ofta att vänta för att komma in i trafiken. Där är beläggningen utsatt för många svängande fordon, som bidrar till skjuvningskrafter i beläggningen. Därför är det att föredra att bygga dessa platser med betong.



Figur 5. Exempel på fog mellan asfalt och betong på motorvägar. Källa: Mark Petersen, Ayresassociates.

Ett ytterligare exempel på fog mellan asfalt och betong som ofta tillämpas på broar är ett expansionsfogs system eller fingerfog, se figur 6.



Figur 6. Exempel på fog mellan asfalt och betong på bron. Källa: <https://austroads.gov.au/latest-news/new-technical-specifications-provide-guidance-on-the-use-of-joints-and-metal-components-in-bridge-construction>.

Fogarna i beläggningen betraktas ofta som den svagaste punkten i beläggningen, såvida de inte är designade och konstruerade med särskild noggrannhet för att möjliggöra lastöverföring mellan två olika material (asfalt och betong) eller för att fogen ska kunna absorbera rörelsen mellan de två sidorna. Självklart kan det uppstå större problem om två olika typer av beläggningar med olika egenskaper, placeras intill varandra och utsätts för trafik- och miljöbelastningar. Därför är risken för sprickbildning och vatteninträngning avsevärt högre, om inte extra omsorg ägnas åt deras konstruktion och underhåll, se fFigur 7.



Figur 7. Skadad fog mellan asfalt och betong i Carroll County US Rte 24 bro över BNSF RR. Källa: <https://www.modot.org/projects/us-route-24-bridge-rehabilitation-carroll>.

För att förebygga de nämnda problemen finns det åtgärder som kan användas för att öka fogarnas hållbarhet och flexibilitet. I denna rapport redovisas och prövas de mest lovande behandlingsmetoderna och konstruktionstekniker för fogar mellan betong och asfalt. De mest effektiva metoderna och behandlingarna valdes ut efter diskussion med entreprenörer och experter inom fogbyggande. Mer detaljerad beskrivning av metoder och behandlingar listas i kapitel 4, i denna rapport.

4.2 Laborariestudie

4.2.1 Metodval

För tillfället finns det inga standardiserade mekaniska provningsmetoder för att bedöma fogar mellan två olika material. Det traditionella Leutner-testet tillämpas för att bedöma skjuvhållfastheten mellan två asfalter i asfaltbeläggningar och är byggt för att testa cirkelformade prover med behandling mellan lagren. Eftersom det inte går att borra cirkelformade prover med diameter 100 eller 150 mm genom fogytan, så är denna fixtur olämplig för att testa vertikala fogar. I en tidigare studie (Ghafoori Roozbahany E. 2013) presenterades fyra mekaniska testmetoder avsedda att bedöma mekaniska egenskaper hos asfaltbeläggningfogar:

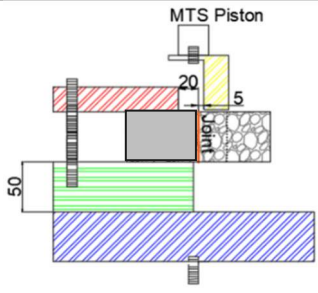
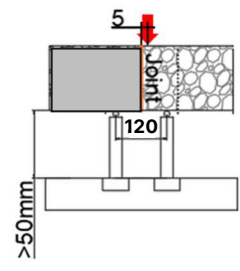
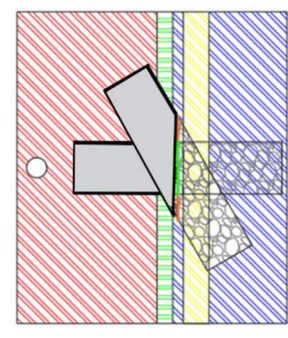
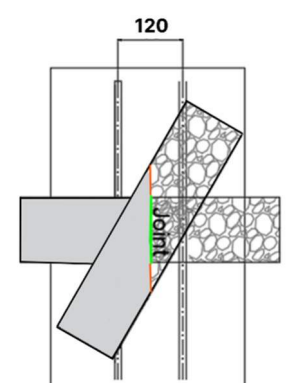
- Direkt dragprovning
- Indirekt dragprovning
- 3-punktsskjuvtest
- Skjuvtest

De metoder som har tagits fram har framgångsrikt visat på att de går att användas för identifiering av konstruktionsparametrar och tekniker för att förbättra arbetsfogars kvalitet (Witkiewicz 2021). Även om dessa tester är effektiva för att utvärdera asfaltbeläggningsfogar, finns det fortfarande ett behov av att utforska möjligheten att använda dessa mekaniska tester i specifika situationer där asfalt- och betongbeläggningar möts. Denna studie avser därför att identifiera de mest passande mekaniska testerna som kan bidra till att utvärdera asfalt-betongfogarna. I samarbete med VTI och KTH genomfördes provtestning av samtliga fyra nämnda tester, varefter två tester valdes ut som uppvisade de mest stabila och konsekventa resultaten, nämligen skjuvtest och 3-punktsskjutest. Vid den direkta dragprovningen uppstod tekniska problem med limningen, som visade sig vara otillräckligt stark när dragtestet utfördes i temperaturer under 0° C, vilket resulterade i brott i limningen i stället för i fogarna (Ghafoori, Utredning av byggandets inverkan på speciella beläggningsfogar Beläggningsfog mellan asfalt och betong 2024).

Undersökningen analyserar och jämför potentiella effekter av varierande material (olika asfaltmassor), byggmetoder (vinklade fogar) samt tekniker (olika behandlingar). Genom detta avser den att skapa en vetenskaplig kunskapsgrund som stödjer förbättringen av kvaliteten på beläggningsfogar mellan närstående asfalt- och betongytor.

I tabell 1 nedan presenteras en skiss av fixturer utvecklade av Mekaniska Avdelningen, KTH. De nyskapade fixturerna "Skjuvtest" och "3-punktsskjuvtest" syftar till att mäta den maximala kraften för arbetsfogarna, där kraften är riktad parallellt till fogytan.

Tabell 1. Skiss på två mekaniska tester använda i projektet (sido- och toppvy).

Testtyp:	"Skjuvtest"	"3-punktsskjuvtest"
Sidovy		
Toppvy		

För att inte förstora fogen från stålfixturer applicerades belastningskraft 5 mm ifrån fogarna i båda testerna, se tabell 1. Detta bidrog till att fånga skjuvhållfastheten hos fogen och att förhindra punktliga skador som annars kunde ha minskat fogens beständighet i förväg och gett ett snedvridet utfall (Witkiewicz 2021).

4.2.2 Materialval

Projektet handlar om att testa beständigheten på fogar mellan två olika material, det vill säga betong och asfalt. Inför laboratorieundersökningarna valdes två olika asfaltmassor samt en betongblandning. Utifrån den information som samlades in i modelleringsavsnittet (Ghafoori 2024) antogs det att placeringen av grovkornig asfaltblandning intill ett finkornig betonglager borde resultera i den mest kritiska situationen för vidhäftningsbrott mellan de två "hopfästade" materialen (asfalt- och betonglager). Därför var det motiverat att studera effekten av konstruktionsparametrar och material för att förbättra de mekaniska egenskaperna hos fogarna. Med hänsyn till den vanliga metoden inom fogkonstruktion i fält, så tillverkades betongplattor först och efter detta genomfördes packningen av asfaltsdelen.

4.2.2.1 Betong

Vid tillverkning av betongdelen användes C30/37 cement samt stenmaterialet från Skanskas krossanläggning i Upplands Väsby. Efter att VTI genomfört modelleringssimulation (Ghafoori, Utredning av byggandets inverkan på speciella belägningsfogar Belägningsfog mellan asfalt och betong 2024) fattades beslutet att tillverka betongsidan med en maximal stenstorlek på enbart 8 mm för att åstadkomma det mest negativa scenariot för vidhäftning. I detta fall kommer ytan av aggregatet vid kapade betongsidan att vara betydligt mindre än vad som normalt förekommer i fält, där de största stenarna har storlekar mellan 11 och 18 mm. För betongens vatten-cementförhållande antogs $v_{tc}=0,55$. Hela betongreceptet använd i projektet finns i figur 8.

			Densitet	%	Mängd (kg/m ³)	Korrigerad (kg/m ³)	Torrsvikt (kg/m ³)	Blandningsvikt (kg/m ³)
Cement Anläggning FA	k -faktor=	1	3040		360	360	360	360
Vatten			1000		198	198	198	134,4
Filler		1	2850		0	0	0	0
Slagg	k -faktor=	1	2850	0%	0	0	0	0
Flytmedel SXA	Torrhalt	24%	1100	1,00%	3,6	3,6	0,864	3,6
Acc	Torrhalt	24%	1100	0,0%	0	0	0	0
Luftporbildare MA 105	Torrhalt	1%	1100	0,0%	0	0	0	0
järnoxid	Torrhalt	100%	2599	0,0%	0	0	0	0

Recept: Betong för Skarvar C30/37	
Datum:	18-11-2022
UPPVÄGDA MÄNGDER	
	6 liter
Cement Anläggning FA	2,16 kg
Vatten	0,81 kg
Filler	0,00 kg
Slagg	0,00 kg
Flytmedel SXA	0,022 kg
Acc	0,000 kg
Luftporbildare MA 105	0,000 kg
järnoxid	0,000 kg
Fukt	0,43
Absorption	0,06
Ösel	0,00 kg
Järna 0-8N	0,00 kg
Vällsta 0-8	11,17 kg
Swecem slagg	0,00 kg
Celsa slagg	0,00 kg
Vällsta 8-16	0,00 kg
Flygaska	0,00 kg
	14,65 kg

	Fukthalt	Absorptions-faktor		Densitet	%	Mängd (kg/m ³)	Korrigerad (kg/m ³)	Torrsvikt (kg/m ³)	Blandningsvikt (kg/m ³)
Ösel	2,0%	0,10%	0,0	2630	0,0%	0	0	0	0
Järna 0-8N	1,0%	0,40%	0,0	2650	0,0%	0	0	0	0
Vällsta 0-8	4,0%	0,60%	10,7	2700	100,0%	1790	1861	1790	1861
Swecem slagg	0,0%	0,60%	0,0	2890	0,0%	0	0	0	0
Celsa slagg	0,0%	0,60%	0,0	2890	0,0%	0	0	0	0
Vällsta 8-16	0,0%	0,50%	0,0	2650	0,0%	0	0	0	0
Flygaska	0,0%	0,50%	0,0	2650	0,0%	0	0	0	0
Absorberat vatten			10,7			1790		1790	
Fukt			71,6						
Ballast total:								1790	
Vctekv:								0,550	
Luft:								2,00%	
Densitet								2351	

Figur 8. Betongrecept för betong använd i tillverkning av betongplattor.

4.2.2.2 Asfalt

Två typer av asfaltblandningar med varierande kornstorleksfördelning samt olika största nominella stenstorlek (NMAS) valdes för att undersöka om resultaten skulle variera beroende på förändringar i asfaltsdelen. I samråd med VTI bestämdes det att Skanska kommer komplettera deras val av två massasorter AG 22 och ABS 11 med två andra massasorter, nämligen ABT 11 och ABS 16. Genom att använda fyra olika massasorter med varierande maximal nominell aggregatstorlek (NMAS) som sträcker sig från 11 till 22 mm, samt med olika strukturer, erhålls en tydlig bild av hur dessa parametrar påverkar resultat. Detta projekt innefattar provning av fogar byggt med ABT 11 och ABS 16. För båda blandningarna användes penetrations bitumen 70/100. Stenmaterial för blandningarna tillverkades på Skanskas krossanläggning i Upplands Väsby. Vid tillverkning av ABT 11 70/100 användes stenmaterial med kulkvarnsvärde <14 medan för ABS 16 70/100 användes stenmaterial från Rembo med kulkvarnsvärde <7. Arbetsrecepten för de två belägningsmassor visas i figur 9.

Arbetsrecept Beläggningssmassa

Produkt
ABT 11 70/100
Leverantör
Skanska Industrial Solutions AB
Asfaltverket Vällsta
Objekt
Fr.o.m datum
2022-04-11
T.o.m datum

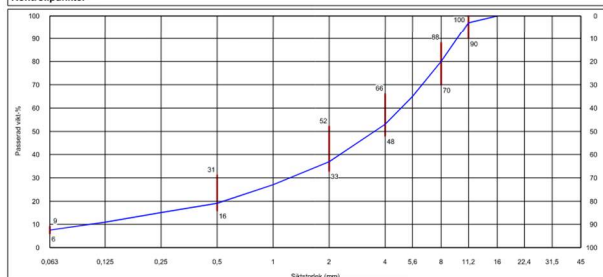
Stenmaterial
Leverantör
Skanska Industrial Solutions AB
Vallstakrossen
Sammansatt kondensitet (Mg/m³)
2,720
Flisighetsindex (FI)
100/0
Krossytgrad (C)
100/0
Micro-Deval värde (MDE)
10
Los-Angeles värde (LA)
25
Kulvarmsvärde (AN)
14

Tillsatsmedel
Zycotherm (%)
0,1
Retursafat, RA (%)
40
Mjukpunkt enl. EN 1427 (°C)
65,0
Kulvarmsvärde (AN)
10

Beläggningssmassa / Beläggning
Bindemedelstyp
70/100
Bindemedelshalt (vikt-%)
6,20
Skrymdensitet (Mg/m³)
2,415
Kompaktdensitet (Mg/m³)
2,465
Marshallhållum (vol.-%)
2,0

Notering
Asfaltmassan kan innehålla Retursafat. Se giltig deklaration på 16 RA 0/11 vid aktuellt tillverkningsdatum.

Kornstorleksfördelning (Passerad vikt-%)
Gränslinje ABT 11 70/100 - TDOK 2013:0529 V 3.0-4.0
Siktstorlek (mm)
0,063 0,125 0,25 0,5 1 2 4 5,6 8 11,2 16 22,4 31,5 45
Receptvärde
7,5 11,0 15,0 19,0 27,0 37,0 53,0 65,0 80,0 97,0 100,0
Kontrollpunkter



Uplands Väst 2023-02-06

Arbetsrecept Beläggningssmassa

Produkt
ABS 16 70/100 kkv<=7
Leverantör
Skanska Industrial Solutions AB
Asfaltverket Vällsta
Objekt
Fr.o.m datum
2022-04-13
T.o.m datum

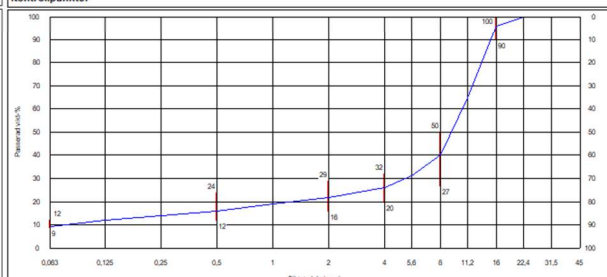
Stenmaterial
Leverantör
Skanska Industrial Solutions AB
Rembo
Sammansatt kondensitet (Mg/m³)
2,660
Flisighetsindex (FI)
100/0
Krossytgrad (C)
100/0
Los-Angeles värde (LA)
20
Kulvarmsvärde (AN)
7

Tillsatsmedel
Cellulosafiber (%)
0,3
Zycotherm (%)
0,1
Retursafat, RA (%)
40
Kulvarmsvärde (AN)
7

Beläggningssmassa / Beläggning
Bindemedelstyp
70/100
Bindemedelshalt (vikt-%)
6,20
Skrymdensitet (Mg/m³)
2,365
Kompaktdensitet (Mg/m³)
2,419
Marshallhållum (vol.-%)
2,2

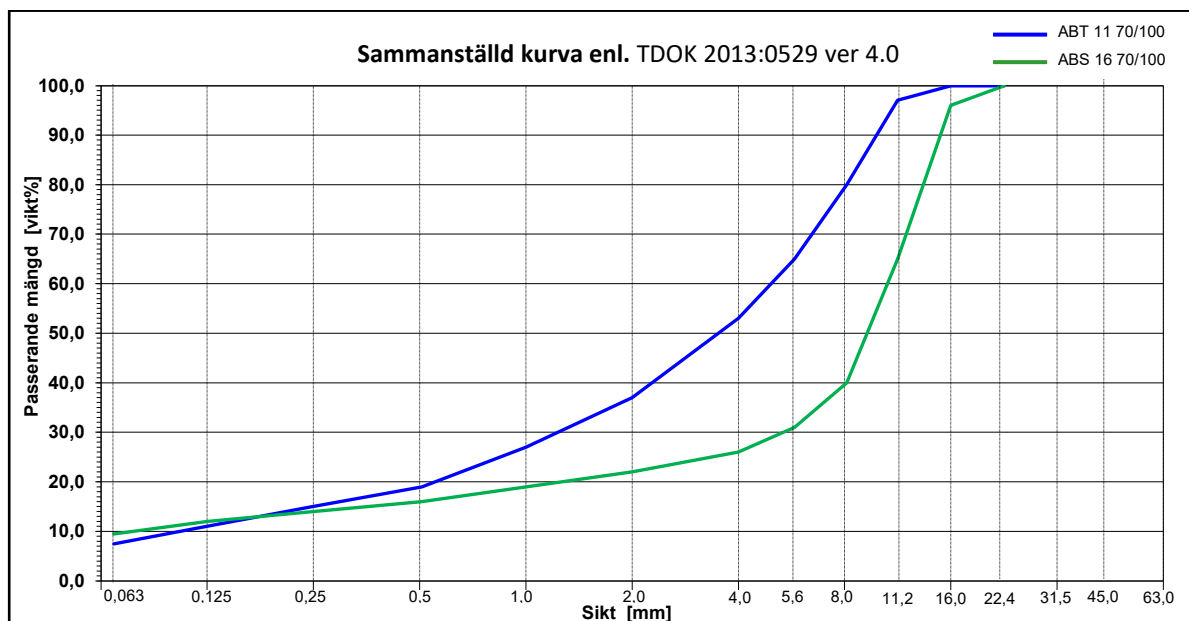
Notering
Asfaltmassan kan innehålla Retursafat. Se giltig deklaration på 16 RA 0/11 vid aktuellt tillverkningsdatum.
Stenmaterialet klarar kkv6

Kornstorleksfördelning (Passerad vikt-%)
Gränslinje ABS 16 70/100 - TDOK 2013:0529 V 3.0-4.0
Siktstorlek (mm)
0,063 0,125 0,25 0,5 1 2 4 5,6 8 11,2 16 22,4 31,5 45
Receptvärde
9,5 12,0 14,0 16,0 19,0 22,0 26,0 31,0 40,0 65,0 96,0 100,0
Kontrollpunkter



Figur 9. Arbetsrecepten för ABT 11 70/100 och ABS 16 70/100 kkv≤7 beläggningssmassa. Källa: Skanska.

Figur 10 visar sammanlagd fördelning av kornstorlekar för båda asfaltmassor för att illustrera skillnader i strukturen mellan ABT 11 och ABS 16.



Figur 10. Jämförelse av kornstorleksfördelning för ABT 11 och ABS 16. Källa: Patryk Witkiewicz

4.2.3 Konstruktionsparametrar (behandlingar och geometri)

4.2.3.1 Behandlingar

Fogband

Fogband är ett polymermodifierat bitumenbaserat material i form av band, som skapar en elastisk fog och limning mellan olika konstruktionsmaterial tillsammans med nybelagd asfalt. Fogband används vid nybeläggning av asfalt vid anslutning mot betong, kantsten, brunnar och mellan befintlig och nylagd asfalt.

Användning av fogbandet – Det måste säkerställas att fogkanten är ren och fri från skräp. Fukt ska inte förekomma. Om ytan är fuktig måste den förvärmas med gasol innan banden läggs på. För att placera fogbandet på fogen på rätt sätt måste det tryckas ner så att den fäster ordentligt. Bandet bör installeras ungefär 5 mm ovanför körbanans nivå. Sedan tillsätts den varma asfalten. Asfalten som används bör ha en temperatur på minst 120° C, för att smälta bandet och säkerställa en perfekt sammanfogning mellan den befintliga ytan och den nya beläggningen. Fogbandet levereras i rullar i olika dimensioner men 40 x 10 mm är en standard och det är det som användes i projektet. Bild på fogband visas i figur 11.



Figur 11. Fogband med dimensioner på 40 x 10 mm. Foto: Patryk Witkiewicz

Fogmassa (N1/N2)

Fogmassa N1 och N2 är heta, bearbetbara, elastiska, bitumenbaserade tätningsmedel för sprickor och fogar i asfalt och betong. Båda typerna är mycket flexibla men N2 påstås förutom flexibilitet, även ha högre hårdhet än N1 och förväntas ge både flexibla och hårda fogar. SS-EN 14188-1:2004, Krav på varmapplicerade fogmassor för vägar och flygfält, beskriver N2-materialet som normal tätningsmassa med lägre utvidgning än N1-materialet, som beskrivs som Elastisk, se tabell 2.

Tabell 2. Skillnader i flexibilitet mellan N1 och N2 fogtätningsmaterial. Källa: SS-EN 14188-1:2004.

Material	Typ av fogmassa
Elastisk – hög utvidgning	N1
Normal – låg utvidgning	N2

Egenskaper av N2 fogtätning, visas i figur 12, som användes i projektet:

- PMB baserad
- Ca 25% flexibilitet
- Ca 60% elastiskåtergång
- Optimal arbetstemperatur på endast 160 - 180 C°
- Bra bearbetbarhet och vidhäftning
- Hög väder- och åldringsbeständighet
- Vatten- och vägsaltbeständig



Figur 12. Fogtätningssmassa i en klump. Foto: Patryk Witkiewicz.

Sealflex ©

Sealflex är en flexibel kall vägfog. Det är en bitumenmassa utan lösningsmedel, tixotropisk (droppfri) och kan bearbetas ner till -5°C, vilket gör den frostbeständig. Genom en särskild modifiering av plastmaterialet har produkten blivit högflexibel och har förmågan att överbrygga sprickor. Genom att använda produkten skapas en kvalitativ berikning av bindemedel i fogområdet, vilket leder till beständiga fogförbindningar av färdiga fogar vid asfaltbeläggning. Det är möjligt att applicera skiktjocklekar på upp till 5 mm, även mot vertikala asfaltfogar, utan svårigheter. Enligt experter och producenter är Sealflex en effektiv lösning för fogning, särskilt vid låga temperaturer. Denna produkt används för att skapa flexibla och permanenta fogar mellan asfalt och asfalt, oavsett om det rör sig om beläggning som läggs "varmt-till-kallt" eller "varmt-till-varmt". Den används även som klister mellan asfalt och betong. Dock har dess inverkan på de mekaniska egenskaperna hos betong-asfaltsfogar inte blivit undersökt eller jämförd med andra typer av behandlingar. Appliceringsexempel visas i figur 13.



Figur 13. Sealflex© efter applicering. Källa: <https://infracare.se/skarv-ytforsegling/infraroad-sealflex>.

PMB (Polymermodifierade Bitumen)

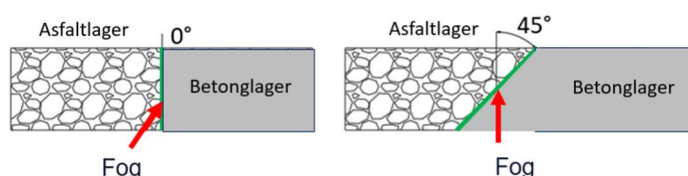
Polymermodifierade bitumen (PMB) används ofta i asfaltblandningar som läggs på högtrafikerade vägar som utsätts för regelbundna påfrestningar från olika typer av fordon. Polymerer som tillsätts i bitumen ger främst elasticitet och utmärkta bindningsegenskaper för stenskelettet i asfaltblandningen. Det förhindrar stensläpp och deformationer under hög trafikbelastning på vägen. PMB är ett bitumen som kännetecknas av både styrka och elasticitet och kan fungera väl som fogklistor, varför det beslutades att undersöka PMB som ett bindemedel mellan asfalt och betong. Testresultat från en studie (Ghafoori 2022), visade att en polymermodifierad bitumen med SBS, hade högre vidhäftningen till stenmaterialet än övriga PMB. Därför användes denna typ av polymermodifierat bitumen i denna undersökning. Sammanställning av egenskaper för SBS PMB och Sealflex® presenterades i tabell 3.

Tabell 3. Sammanställning av egenskaper för SBS PMB och Sealflex®.

Egenskap, enhet	Metod	SBS PMB, 40/80-80	Sealflex®, 60/90-70
Penetration vid 25°C, 0,1mm	SS-EN 1426	61	60-90
Mjukpunkt, °C	SS-EN 1427	97,5	≥ 70
Deformationsenergi vid 5°C (50mm/min dragtöjning), J/cm ²	SS-EN 13589/EN 13703	vid 4°C=70	≥ 16
Motstånd mot förhårdning vid 163°C			
a. Bibehållen penetration vid 25°C, %	SS-EN 1426	-	≥ 60
b. Mjukpunktsökning, °C	SS-EN 1427	-	≤ 8
c. Viktförändring, %	SS-EN 12607-1	0,04	≤ 0,5
Flampunkt, °C	SS-EN ISO 2592	338	≥ 250
Brytpunkt Fraass, °C	SS-EN 12593	-30	≤ -15
Elastisk återgång vid 10°C, %	SS-EN 13398	-	-
Elastisk återgång vid 25°C, %	SS-EN 13398	-	≥ 85

4.2.3.2 Geometri

Förutom de olika behandlingsalternativen beslutades att två vinklar skulle provas, nämligen 0° och 45°, se figur 14. Tidigare studier (Witkiewicz 2021) har visat att vinklade fogytter förbättrar hållbarheten hos fogarna, tack vare den större kontaktytan mellan lagerna och den kraft som uppstår från vältning med en mer vertikal verkan.



Figur 14. Två olika vinklar som bestämdes att undersöka i projektet (0° och 45°).

En sammanställning av plattor med alla varianter presenterades i en tabell 4. Totalt 10 varianter för varje test (inkluderande 2 massasorter, 2 vinklar och 4 olika behandlingsmaterial). Benämning som befinner sig i tabellen 4 är använd i kapitel med resultaten.

Tabell 4. Sammanställning av alla varianter (2 massasorter, 2 vinklar, 4 behandlingsmaterial).

Massasort	Behandling	Geometri	Benämning
ABS16	Sealflex	0°	ABS16-SFX
	Fogband	0°	ABS16-JB
	PMB	0°	ABS16-PMB
	PMB	45°	ABS16-PMB-45
ABT11	Sealflex	0°	ABT11-SFX
	Fogband	0°	ABT11-JB
	PMB	0°	ABT11-PMB
	PMB	45°	ABT11-PMB-45
	PMB (1 cm)	0°	ABT11-PMB-1cm
	Fogmassa N2 (1 cm)	0°	ABT11-N2-1cm

5. Provtillverkning – genomförande

5.1 Gjutning av betongplattor

Första steget i fogtillverkningen var att gjuta betongplattor med 0-8 stenmaterial och C30/37 cementtyp. Betongblandning utfördes på Skanskas laboratorium i Upplands Väsby enligt recept anpassat till projektets ändamål (som används i betongvägar). Själva blandningsprocessen genomfördes i skålblandare med kapacitet på ca 15 kg. Från varje blandning kunde 4 trälådor 30x15x5 cm fyllas med betong. Varje trälåda rymde cirka 4 kg betongpasta, se figur 15. Det var viktigt att inte överskrida en höjd av 5 cm på betongplattorna, eftersom formen för asfaltsidan hade en exakt höjd på 5 cm. Om betongsidan var högre, skulle den riskera att gå sönder vid vältning, vilket skulle leda till att proverna förstördes. Därefter lades trälådorna fyllda med betong på ett skakbord och vibrerades i syfte att få bort luft och säkerställa bra homogenitet. Efter blandning placerades trälådorna på en plan yta för härdning.



Figur 15. Process av betongblandning. Foto: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafoori.

Efter en månads härdning avlägsnades betongplattorna från sina formar. Betongplattorna tillverkades med raka fogtyor, 0° och fogtyor med lutning, 45°, se figur 16.

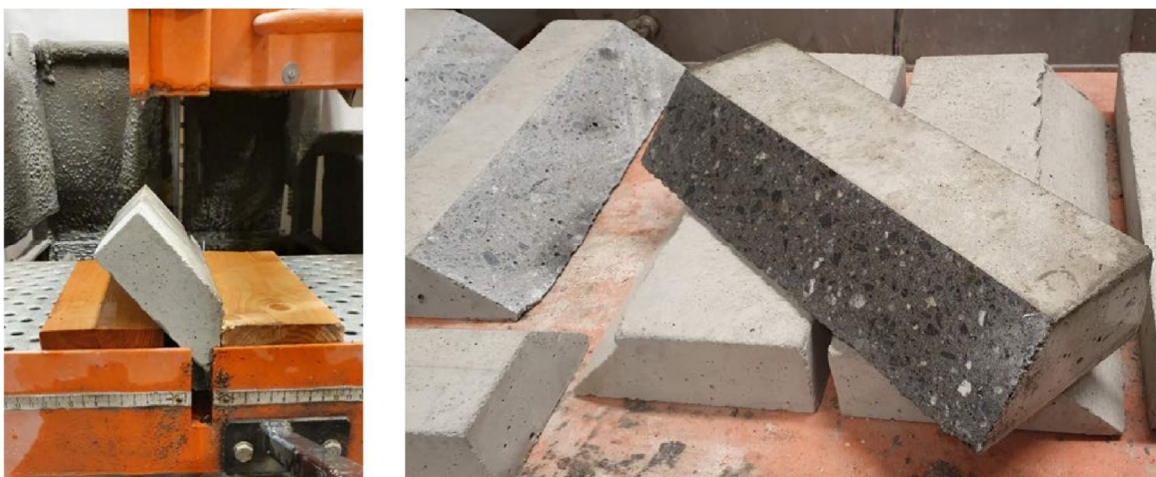


Figur 16. Betongplattor avlägsnade från träformar (0° och 45°). Foto: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafoori.

Efter det första försöket att skapa en fog mellan de tillverkade betongplattorna och asfalten noterades att vidhäftningen mellan betongytan och den kompakterade asfalten var mycket svag. Anledningen var en tunn cementhud som kraftigt minskade vidhäftningen mellan de två materialen. I samråd med arbetsgruppen beslutades det att betongplattor bör sågas för att främst ta bort cementpulver som har fastnat på ytan, samt för att nå fram till stenarna i tvärsnittet, vilket visade sig att förbättra vidhäftningen. Sågning av betongplattor visas i figur 17.

5.2 Utveckling av packningsmetod för fogar

Som nämnts i föregående kapitel behövdes de härdade betongplattor sågas för att åstadkomma en bättre vidhäftning mot betongsidan. Både betongplattor med raka kanter och de med 45° vinklade kanter, sågades med diamantklinga i en bordsåg. Exempel på sågning med 45° vinkel visas i nedanstående figur 17.



Figur 17. Sågning av betongplattor med vinkel 45°. Foto: Patryk Witkiewicz.

Vid tillverkningen av plattorna användes en vält på räls och en stålform med dimensionerna 625 × 500 × 50 mm placerades undertill, se figur 18. Välten har en vikt på 1650 kg med en vibrationsfrekvens på max 50 Hz.



Figur 18. Vält på en räls som användes för packning av plattor. Foto: Patryk Witkiewicz.

Framställningen av arbetsfogar skedde i flera steg. För att skapa fogarna ställdes först två av de härdade betongplattorna rygg mot rygg och trycktes ner i ramen, innan asfaltsblandningarna placerades intill dem. Figur 19 visar ett exempel på stålramen med placering av betongplattor före produktion. Två plattor tillverkades under en vältning. Tack vare sågningen, blottades stenmaterialet på betongens fogyta, se figur 19 (till höger), där de utvalda behandlingarna applicerades. Efter applicering av behandling tillsattes asfaltmassa intill betongplattan och välten kompakterade asfaltplattan till bestämd hålrums halt enligt asfaltrecept. Det var viktigt att betongplattorna är ungefär 1 mm lägre än kanten av stålformen, vilket går att observera på figur 19 (till höger) för att förhindra betongen att gå sönder under vältning.

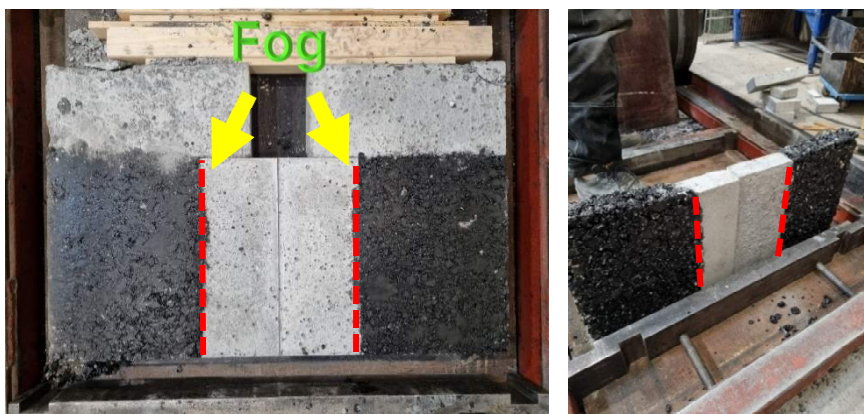


Figur 19. Exempel på placering av betongplattor före produktion av fogar. Foto: Patryk Witkiewicz.

För att nå önskad packningsgrad vältades massan enligt följande schema:

- 10 överfarter med statisk vältning
- 10 överfarter med vibrationer
- 10 överfarter med statisk vältning

Det var avgörande att tillverka den andra delen av plattan, med varm asfaltmassa, snabbt för att inte tappa temperaturen. Både asfaltmassa och varm behandling behövde ha rätt temperatur för att säkerställa tillräcklig sammanfogning. Vältningen utfördes därför direkt efter asfaltmassan hade tillsatts. För att kunna ta bort hela plattan med fog måste asfalten svalna. Efter vilotiden i stålformen placerades hela plattan (asfalt-betong) på en jämn yta för att förebygga deformationer och skador i själva fogen. Ett exempel på två färdigställda plattor presenteras i figur 20. Vid varje tillfälle tillverkades två identiska plattor (samma variant) som sedan provades i två tidigare nämnda mekaniska tester nämligen skjuvtest och 3-punktskjuvtest.

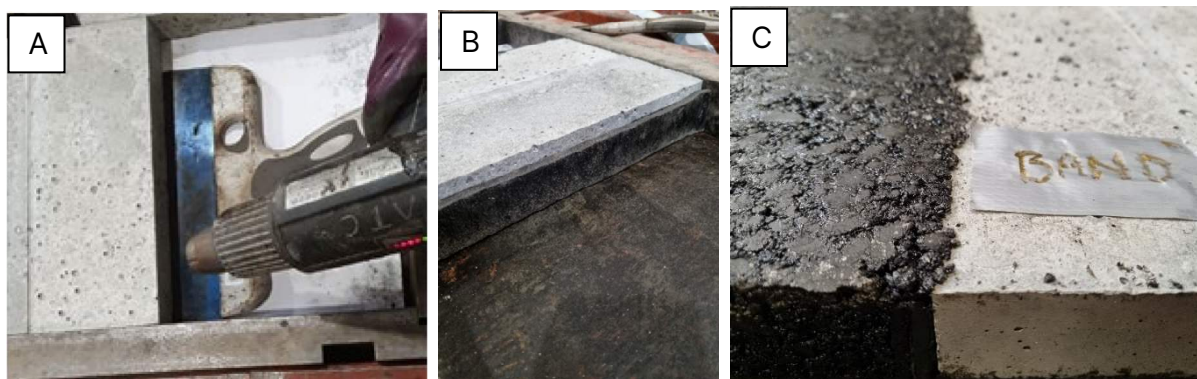


Figur 20. Ett exempel på fog mellan två färdigställda betong-asfaltsplattor. Foto: Patryk Witkiewicz.

5.3 Behandlingar för fogar

Fogband

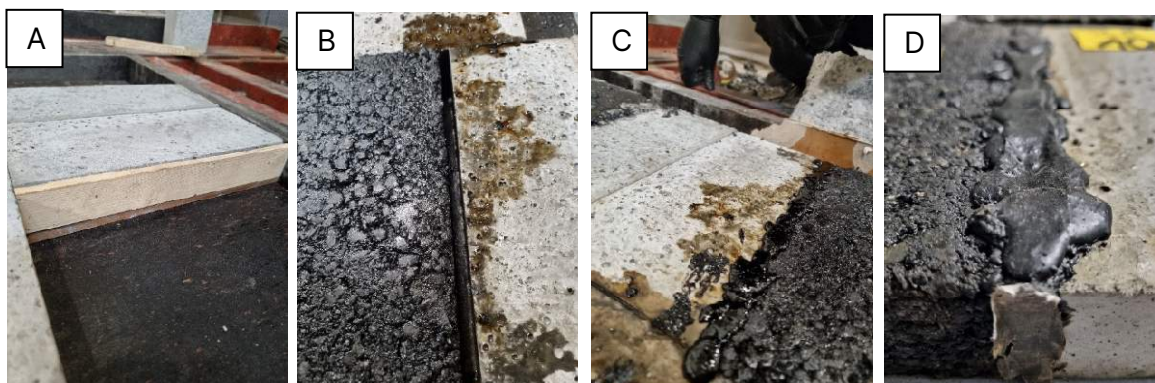
Fogband är gjort av elastiskt gummiliknande material som fästes på ena sidan, betongsidan i detta fall, och smältes av värmen när uppvärmd asfaltmassa lades bredvid. För att fästa fogbandet på korrekt sätt behövdes uppvärmning av befintlig fogyta (betongsida) till ungefär 80°C med värmepistol och sedan klistrades fogbandet mot fogytan. Därefter placerades den uppvärmda ABS 16 eller ABT 11 asfaltmassan bredvid och komprimerades. Då skapades en tät, elastisk och hållbar fog mellan de två materialen. Tillverkning av plattor med fogband visas i figur 21.



Figur 21. Produktion av en fog med fogband. A) Uppvärmning av betongsidan till 80°C med värmepistol, B) Klistring av fogbandet, C) Komprimering av asfaltsdelen. Foto: Patryk Witkiewicz.

Fogmassa, N2 – 1 cm

Fogtätningen utfördes genom att fylla ett 1 cm brett spår mellan betongplattan och asfaltsplattan med N2-material, vilket hade upphettats till 160°C innan fyllning. N2-materialet är i fast tillstånd vid rumstemperatur och blir flytande när det värms upp. N2 används ofta för att fylla stora sprickor i vägar eller teknologiska distanser mellan betongplattor. För att skapa ett spår med en bredd av 1 cm mellan betongplattan och asfalten placerades en träskiva med en bredd av 1 cm, och asfaltmassan komprimerades intill träskivan. När asfaltmassan hade kallnat, togs träskivan bort, vilket ledde till att ett spår på 1 cm bredd bildades. Det följande steget var att betongsidan i spåret uppvärmdes till ungefär 80°C med en värmepistol. Spåret sprayades därefter med ett grundskikt och fylldes med uppvärmt N2-material. Både N2 och grundskikt tillhandahålls av företaget Infracare. Produktion av fogar med N2 visas i figur 22.



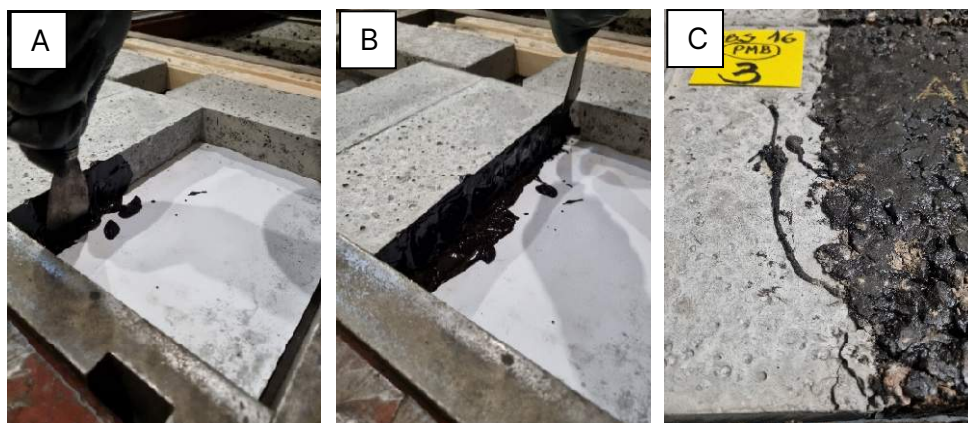
Figur 22. Produktion av en fog med N2 (1 cm). A) Träplanka som 1 cm distans innan packning av asfalt, B) 1 cm bredd spår efter packning av asfalt, C) Fog direkt efter fyllning spår med N2, D) Fog med N2 efter svalning. Foto: Patryk Witkiewicz.

Sealflex ©

Sealflex är en kall applikation som appliceras på fogytan på samma sätt som bitumen men utan att den behöver värmas upp. Sealflex är en bitumenmassa som inte innehåller lösningsmedel, är tixotropisk (droppfri) och tål frost ner till -5°C. Genom en unik modifiering med polymerer är produkten mycket flexibel och har förmågan att övervinna sprickor. Den befinner sig i flytandeform vid rumstemperatur, har en brunaktig färg och kan, på grund av tixotropi, appliceras i skikt på upp till 5 mm utan att rinna. Efter applicering av Sealflex lades asfalten bredvid och komprimerades med en vält enligt förutbestämt schema. Plattan fick ligga kvar i formen tills asfalten svalnat.

PMB

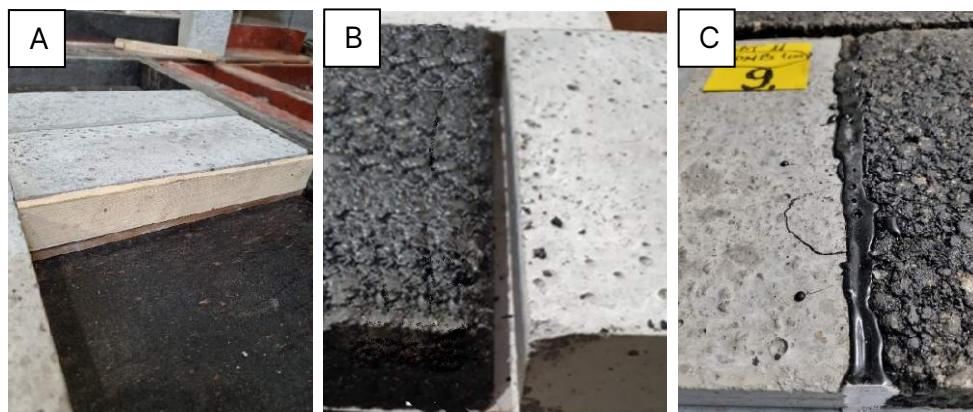
Polymermodifierad bitumen upphettades till 180°C och applicerades direkt på betongytan med spatel, såsom visas på figur 23. Därefter omedelbart placerades en asfaltmassa med temperatur på 160°C bredvid betongplattan och komprimerades med en vält enligt förutbestämt schema. Plattan fick ligga kvar i formen tills asfalten svalnat.



Figur 23. Produktion av en fog med PMB. A) Applicering av PMB på betongsidan av fogen med spatel, B) PMB applicerad längst hela fogen, C) Fog efter packning av asfaltdelen. Foto: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafoori.

PMB – 1 cm

I den här behandlingen användes samma polymermodifierad bitumen som när betongytan applicerades men i stället för ett tunt lager av bitumen fylldes nu ett 1 cm spår med PMB på exakt samma sätt som med N2-materialet. För att skapa ett spår mellan asfalts- och betongplattan användes samma teknik som för N2 materialet, med träskiva mellan båda materialen. Därefter en upphettat polymermodifierad bitumen, till 180°C, hälldes direkt i spåret, såsom visas på figur 24. Med PMB produkt ingen uppvärmning av betongsidan eller sprayning av fog med grundskikt innan hällning av PMB behövdes. Efter hela produktionsprocessen plattan fick ligga kvar i formen tills asfalten och bitumen svalnade.



Figur 24. Produktion av en fog med PMB (1 cm). A) Träplanka som 1 cm distans innan packning av asfalt, B) 1 cm bredd spår efter packning av asfalt, C) Fog efter svalning (1 cm tjock). Foto: Patryk Witkiewicz.

5.4 Provberedning

Totalt 20 plattor med olika varianter tillverkades inom ramen av projekt, 10 plattor per test därav 4 plattor med ABS 16 och 6 plattor med ABT 11 massan, se tabell 4 i kapitel 4.2.3.2 Geometri. Figur 25 visar 10 plattor som tillverkades för 3-punktsskjuvtest. Lika många plattor tillverkades även för skjuvtest.



Figur 25. Ett set av 10 plattor med olika fogvarianter tillverkade för 3-punktsskjuvtest. Foto: Patryk Witkiewicz.

Från varje tillverkad platta skars fem balkformade prover ut med dimensionerna 50×50×350 mm, se figur 26. För att garantera att proverna hade en så enhetlig packningsgrad som möjligt, avlägsnades 5 mm från varje kant av plattan för att eliminera eventuell bristande packning (det brukar vara något sämre packning nära kanterna).



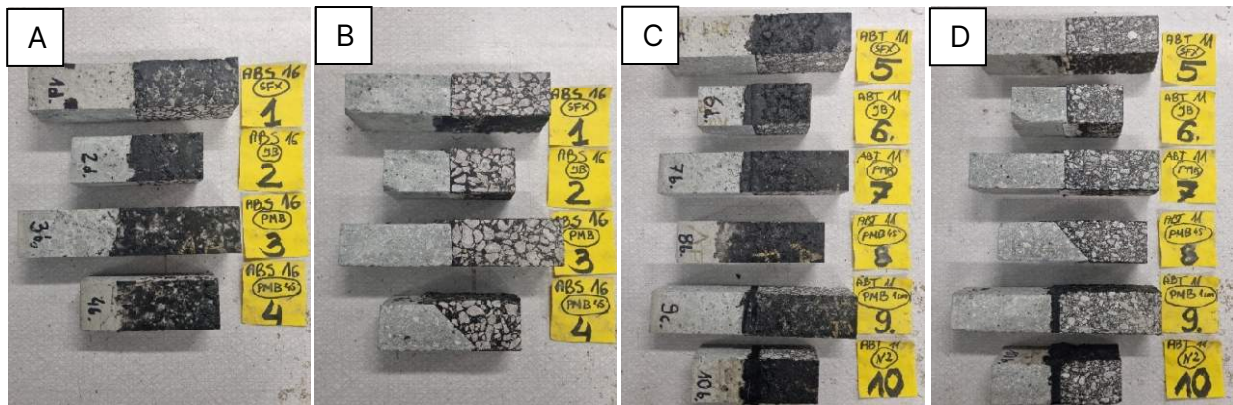
Figur 26. Exempel på sågning av plattor till balk-prover med dimensioner 50x50x350 mm. Foto: Patryk Witkiewicz.

Alla prover lagrades på en jämn yta, se figur 27 och skickades därefter till KTH för laboratorieanalyser i deras labb. Analyserna genomfördes av Skanska och VTI på specialanpassade fixturer till en servohydraulisk utrustning från Material Test System, MTS. Fixturerna skapades specifikt för detta projekt av Mekanisk Avdelning på KTH. Laboratoriet är en del av Avdelningen för Materialvetenskap på KTH.



Figur 27. Prover förberedda för testning. Foto: Patryk Witkiewicz.

Innan test utfördes en visuell bedömning av fogarna för att eventuellt utesluta prover som var skadade eller hade defekter i fogarna. I figur 28 visas proverna ovanifrån samt deras tvärsnitt för att bedöma deras tillstånd. Skadade prover avlägsnades och uteslöts från testning.

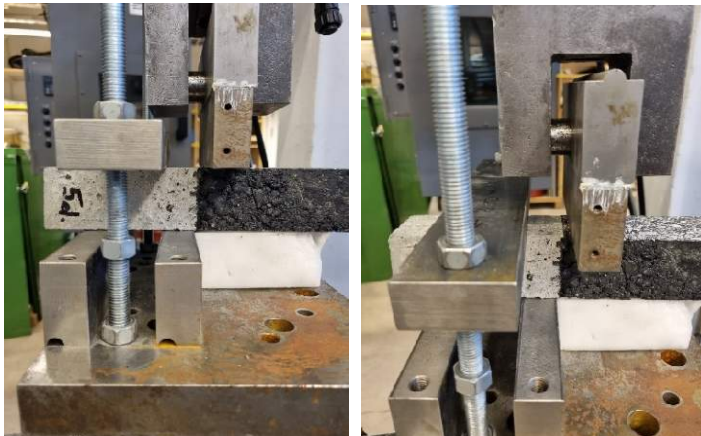


Figur 28. Visuell bedömning av fogar innan testning. A) ABS 16 70/100 topp vy, B) ABS 16 70/100 tvärsnitt, C) ABT 11 70/100 topp vy, D) ABT 11 70/100 tvärsnitt. Foto: Patryk Witkiewicz.

6. Testning

Som tidigare nämnts valdes två provningsmetoder, nämligen skjuvtest och 3-punkts-skjuvtest, för att bedöma de förberedda fogarna.

Skjuvtestet, som visas i figur 29, var en någon modifierad metod från den tidigare studien (Witkiewicz 2021), där skjuvhållfastheten hos olika asfaltbeläggningfogar analyserades. Testet genomförs på rektangulära balk-prover som till hälften består av betong och hälften av asfalt. Belastningen justerades till en hastighet av 5 mm/min vid 20°C, då detta har undersökts i det tidigare projektet och bekräftats vara effektivt. Testningsprocessen genomfördes på följande sätt: betongkomponenten inneslöt mellan stålfixturer för att förhindra att balken rörde sig. Balken placerades så att belastningshuvudet befann sig längs med fogen, med ett avstånd på 5 mm från fogen. Under asfaltdelen lades ett flexibelt stöd för att förhindra deformationer i asfalten innan testet påbörjades.



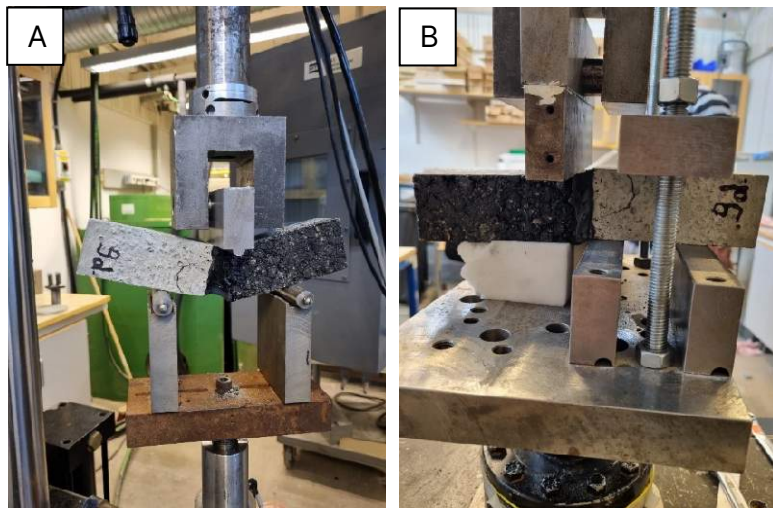
Figur 29. Uppsättning av skjuvtest. Foto: Patryk Witkiewicz.

3-punktskjuvtest, som visas i figur 30, har tidigare prövats på fogar mellan två asfaltsdelar och visade sig vara en lämplig metod för att bedöma fogens hållbarhet. Det justerades spannet mellan stödet för balkens dimensioner och testet genomfördes med en hastighet av 5 mm/min vid 20°C. Balken utsattes för last på asfaltssidan och placerades så att belastningshuvudet befann sig längs med fogen, med ett avstånd på 5 mm från fogen.



Figur 30. Uppsättning av 3-punktskjuvtest. Foto: Patryk Witkiewicz.

Figur 31 visar prover efter utförda tester. Resultat från testning presenterades i grafer och maximal kraft på MTS-skärmen och lagrades i form av rådatafiler, som sedan bearbetades och analyserades av projektledaren.

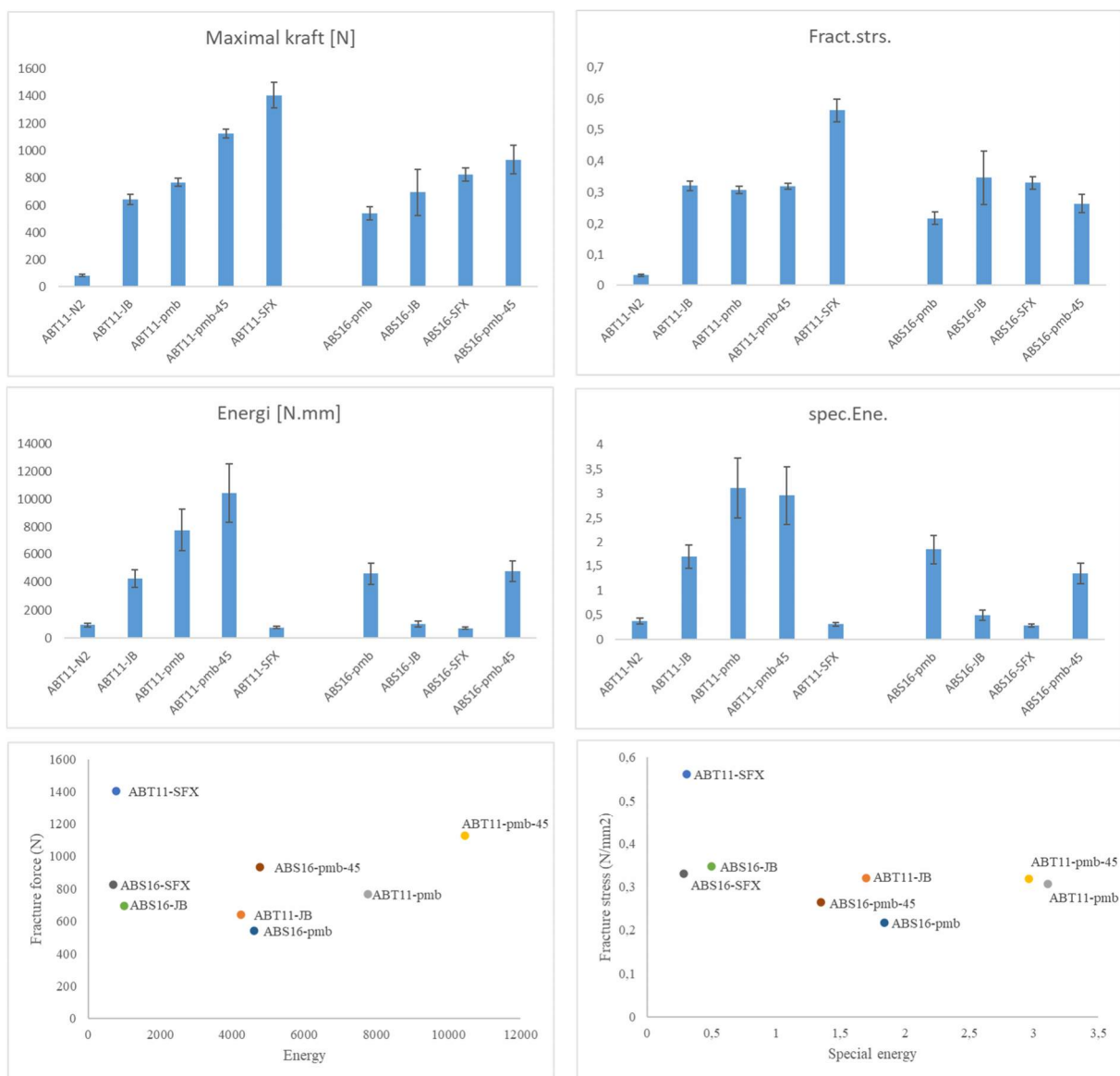


*Figur 31. Provkroppar efter provning i A) 3-punktsskjuvtest-fixtur, B) Skjuvtest-fixtur.
Foto: Patryk Witkiewicz.*

7. Resultat

7.1 Skjuvtest

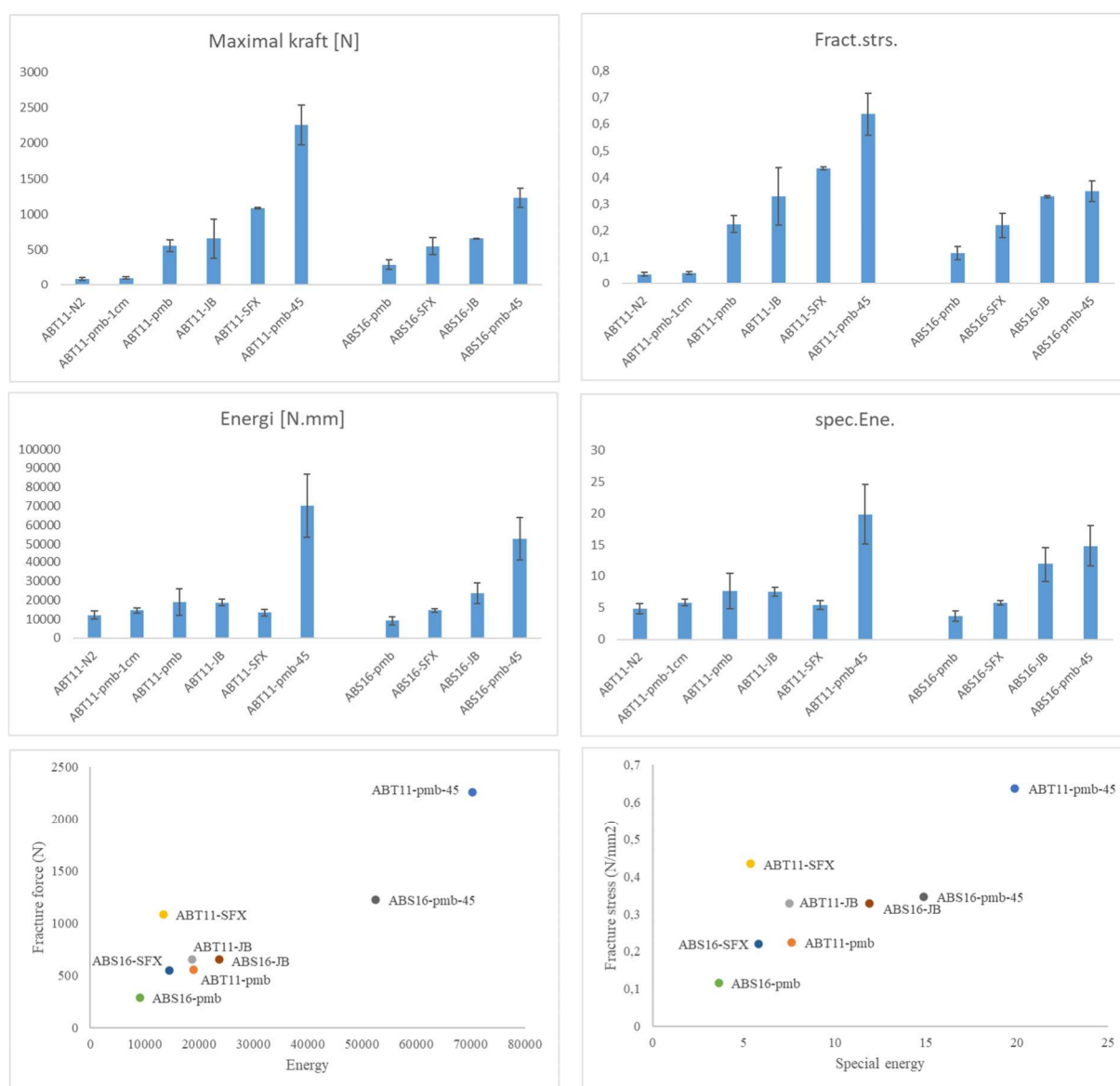
Utifrån skjuvtestet kan slutsatsen dras att för ABT 11-massan uppnåddes den högsta maximala kraften med Sealflex-behandlingen, medan den näst bästa prestationen tillhörde varianten med PMB-45°. För ABS 16-massan visade fogbehandlingen med PMB-45° sig vara den mest effektiva, och Sealflex placerade sig på andra plats. De två alternativen visade den högsta prestandan för båda asfaltmaterialen när det gällde maximal skjuvhållfasthet. Alla resultat från skjuvtestet presenteras i figur 32.



Figur 32. Resultat från skjuvtestet.

7.2 3-punktsskjuvtest

Efter utförande av ett 3-punktsskjuvtest kan det konstateras att för ABT 11-massan uppnåddes den högsta maximala kraften med PMB-45°-behandlingen, medan den näst bästa varianten var den som innehöll Sealflex. För ABS 16-massan var även här PMB-45° behandlingen bäst, och varianten med JB kom på andra plats. Det är värt att påpeka att resultaten för Sealflex var mycket nära dem med JB-behandlingen. Som i skjuvtestet (kapitel 7.1) visade två varianter de bästa resultaten för båda asfaltmaterialen (PMB-45° och Sealflex), men även JB-behandlingen för ABS16 massan uppnådde goda resultat avseende maximal skjuvhållfasthet. Alla resultat från 3-punktsskjuvtestet presenteras i figur 33.



Figur 33. Resultat från 3-punktsskjuvtestet.

Det är värt att påpeka att de två behandlingarna, Sealflex och PMB-45, uppnådde klart bästa resultat på maximal styrka innan brott. Det är emellertid också viktigt att beakta den beräknade energin efter varje test och här framgår det att Sealflex hade avsevärt mindre ackumulerad energi än PMB-45. Det innebär att fogarna som är behandlade med Sealflex är hållbara och motståndskraftiga, men när en skada inträffar uppstår oväntade sprickor och skador. Fog med PMB-45 lagrar betydligt mer energi, vilket gör att skador uppstår långsammare och mer gradvis. PMB-45-behandlingen visar en mer flexibel bindning mellan betong och asfalt jämfört med Sealflex-behandlingen.

8 Slutsatser

Baserat på de uppnådda resultaten från laboratorieundersökning av asfalt mot betongfogar drogs följande slutsatser:

- Skjuvtestet och 3-punktsskjuvtestet som tillämpades i denna studie gjorde det möjligt att rangordna de producerade asfalt-betongfogarna baserat på deras förmåga till longitudinell skjuvning.
- Resultat från båda skjuvtestet och 3-punktsskjuvtestet (vid 20°C) visade att fogar behandlade med Sealflex och PMB-45° fick det största motståndet mot de applicerade skjuvningskrafterna, i jämförelse med de övriga behandlingarna.
- I fogen med Sealflexbehandlingen ingen återhämtning förväntas efter att ha nått den kritiska brottgränsen. Denna typ av fog har en relativt låg flexibilitet, och därför antas att behandlingen är känslig även vid små rörelser i beläggningar. PMB-45° hade betydligt mer ackumulerad energi och mer elastisk återhämtning kan förväntas.
- De fogar som behandlades med hög polymermodifierat bitumen (PMB) i denna studie var den näst bästa sortens klister efter Sealflex. Deras kapacitet att återhämta sig efter att ha genomgått betydande deformation under skjuvtest utgjorde emellertid en tydlig fördel jämfört med Sealflex.
- Bland fogar som behandlades med polymermodifierad bitumen (PMB) en gränssnittsnedlutning på 45° gav ett ökat skjuvningsmotstånd i jämförelse med fogar som hade vertikala gränssnitt.
- Fogband (JB) var mer flexibel än fogar behandlade med PMB och sealflex och hade ungefär samma kapacitet för skjuvning som PMB behandling. Dessutom ingen återhämtning sker efter genomförd testning.
- N2-behandlingen tycks inte ge någon märkbar motstånd mot skjuvningskrafter jämfört med de övriga behandlingarna. Detta tyder på att denna form av behandling inte kan ses som lastöverföring mellan de två sidorna av fogarna, utan snarare som en elastisk tätning.

9 Rekommendationer och framtida arbete

Från detta utvecklingsprojekt kan följande rekommendationer och idéer för framtida arbete anges:

- Fler vinklar skulle kunna provas för att identifiera den bästa vinkel som ger de bästa resultaten i mekaniska tester.
- Skapa oregelbundenheter på ytan av fogarna för att förbättra vidhäftningen (genom fräsning, sandblästring, borring m. m.).
- De två föreslagna testmetoderna (skjuvtest och 3-punktsskjuvtest) är effektiva för att bedöma fogar och rangordna dem. Att utveckla en testutrustning dedikerat speciellt för att testa fogar och att standardisera denna metod skulle vara fördelaktigt för hela asfaltbranschen.
- Utarbeta en metod eller procedurbeskrivning för mekanisk prövning av fogar.
- Ytterligare mekaniska tester kan tillämpas för att bedöma asfalt-betongfogar för att ge en mer detaljerad insikt om hur olika fogbehandlingar kan påverka vägfogar vid varierande belastningsförhållanden.
- Det föreslås att utforska fler varianter av asfalt- och betongblandningar, samt nya behandlingar och byggtekniker, för att utveckla och implementera en effektiv och systematisk strategi för att konstruera specifika beläggningar där betong- och asfaltlager möts.
- Det framstår som nödvändigt att avlägsna cementskivan innan fogbehandlingarna tillämpas för att säkerställa en bra vidhäftning mellan betong- och asfaltytan.
- N2-behandlingen kan emellertid skapa en mycket flexibel koppling mellan de båda materialen, vilket ger en hög förmåga att återhämta sig efter att ha varit utsatt för betydande deformationer. Sådan behandling kan rekommenderas som tätningsskikt vid broar som är utsatta för horisontella rörelser kopplad till termisk expansion eller rörelser av själva brodelar, inte trafik.

10 Litteraturförteckning

Ghafoori Roozbahany, E., Partl M. N. & Witkiewicz P. J., "*Fracture testing for the evaluation of asphalt pavement joints*", Road Materials and Pavement Design, Volume 14, Issue 4, pages 764-791, 2013.

Witkiewicz P., "*Utveckling av beständiga asfaltskarvar, del 1*", SBUF 13 368, 2021

Ghafoori, E. "*Utredning av byggandets inverkan på speciella beläggningsfogar Beläggningsfog mellan asfalt och betong.*" VTI rapport 1211, 2024.

Asfaltsboken, <https://asfaltboken.se>

Nilsson, R, Saleh, I, Gustafsson, M, "*HÅLLBARA BETONGVÄGAR – UNDERHÅLL ETAPP I*", SBUF 13 373, 2022

Världens största flygplan på Arlandabesök. (2021). *Swedavia Airports Press- och nyhetsrum*. Hämtat från <https://www.swedavia.se/arlanda/Press/varldens-storsta-flygplan-pa-arlandabesok/>

SS-EN 14188-1:2004, Del 1: Krav på varmapplicerade fogmassor för vägar och flygfält

Ghafoori, E. "*Improving durability of open-graded asphalt pavements.*" VTI rapport 1148A, 2022.

Figurer:

Figur 1. Schematisk bild över en vägkonstruktion med bindemedelsbundet slitlager och bärlager samt med cementbundet slitlager.	8
Figur 2. Newark International Airport. Källa: FAA changes Newark runway operations after near mid-air collision Air transport The Guardian. Foto: Mark Lennihan/AP.	9
Figur 3. Exempel på fog mellan asfalt och betong på bensinstation vid Costco i Orillia. Källa: https://www.densona.com/product-groups/denso-road-products/	9
Figur 4. Exempel på fog mellan asfalt och betong på busstation. Källa: Jim Saksa, PlanPhilly, https://whyy.org/articles/streetsplainer-what-s-with-those-concrete-pads-in-front-of-bus-stops/	10
Figur 5. Exempel på fog mellan asfalt och betong på motorvägar. Källa: Mark Petersen, Ayresassociates.	10
Figur 6. Exempel på fog mellan asfalt och betong på bron. Källa: https://austroads.gov.au/latest-news/new-technical-specifications-provide-guidance-on-the-use-of-joints-and-metal-components-in-bridge-construction	10
Figur 7. Skadad fog mellan asfalt och betong i Carroll County US Rte 24 bro över BNSF RR. Källa: https://www.modot.org/projects/us-route-24-bridge-rehabilitation-carroll	11
Figur 8. Betongrecept för betong använd i tillverkning av betongplattor.	14
Figur 9. Arbetsrecepten för ABT 11 70/100 och ABS 16 70/100 $kkv \leq 7$ beläggingsmassa. Källa: Skanska.	15
Figur 10. Jämförelse av kornstorleksfördelning för ABT 11 och ABS 16. Källa: Patryk Witkiewicz.	15
Figur 11. Fogband med dimensioner på 40 x 10 mm. Foto: Patryk Witkiewicz.	16
Figur 12. Fogtätningssmassa i en klump. Foto: Patryk Witkiewicz.	17
Figur 13. Sealflex® efter applicering. Källa: https://infracare.se/skarv-ytforsegling/infraroad-sealflex	17
Figur 14. Två olika vinklar som bestämdes att undersöka i projektet (0° och 45°).	18
Figur 15. Process av betongblandning. Foto: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafoori.	20
Figur 16. Betongplattor avlägsnade från träformar (0° och 45°). Foto: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafoori.	21
Figur 17. Sågning av betongplattor med vinkel 45°. Foto: Patryk Witkiewicz.	21
Figur 18. Vält på en räls som användes för packning av plattor. Foto: Patryk Witkiewicz.	22
Figur 19. Exempel på placering av betongplattor före produktion av fogar. Foto: Patryk Witkiewicz.	22
Figur 20. Ett exempel på fog mellan två färdigställda betong-asfaltsplattor. Foto: Patryk Witkiewicz.	23
Figur 21. Produktion av en fog med fogband. A) Uppvärmning av betongsidan till 80°C med värmepistol, B) Klistring av fogbandet, C) Komprimering av asfaltsdelen. Foto: Patryk Witkiewicz.	23
Figur 22. Produktion av en fog med N2 (1 cm). A) Träplanka som 1 cm distans innan packning av asfalt, B) 1 cm bredd spår efter packning av asfalt, C) Fog direkt efter fyllning spår med N2, D) Fog med N2 efter svalning. Foto: Patryk Witkiewicz.	24
Figur 23. Produktion av en fog med PMB. A) Applicering av PMB på betongsidan av fogen med spatel, B) PMB applicerad längst hela fogen, C) Fog efter packning av asfaltdelen. Foto: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafoori.	25

Figur 24. Produktion av en fog med PMB (1 cm). A) Träplanka som 1 cm distans innan packning av asfalt, B) 1 cm bredd spår efter packning av asfalt, C) Fog efter svalning (1 cm tjock). Foto: Patryk Witkiewicz.	25
Figur 25. Ett set av 10 plattor med olika fogvarianter tillverkade för 3-punktsskjuvtest. Foto: Patryk Witkiewicz.	26
Figur 26. Exempel på sågning av plattor till balk-prover med dimensioner 50x50x350 mm. Foto: Patryk Witkiewicz.	26
Figur 27. Prover förberedda för testning. Foto: Patryk Witkiewicz.	27
Figur 28. Visuell bedömning av fogar innan testning. A) ABS 16 70/100 topp vy, B) ABS 16 70/100 tvärsnitt, C) ABT 11 70/100 topp vy, D) ABT 11 70/100 tvärsnitt. Foto: Patryk Witkiewicz.	27
Figur 29. Uppsättning av skjuvtest. Foto: Patryk Witkiewicz.	28
Figur 30. Uppsättning av 3-punktsskjuvstest. Foto: Patryk Witkiewicz.	28
Figur 31. Provkroppar efter provning i A) 3-punktsskjuvtest-fixtur, B) Skjuvtest-fixtur. Foto: Patryk Witkiewicz.	29
Figur 32. Resultat från skjuvtestet.	30
Figur 33. Resultat från 3-punktsskjuvtestet.	31

Tabeller:

Tabell 1. Skiss på två mekaniska tester använda i projektet (sido- och toppvy).	13
Tabell 2. Skillnader i flexibilitet mellan N1 och N2 fogtättningsmaterial. Källa: SS-EN 14188-1:2004.	16
Tabell 3. Sammanställning av egenskaper för SBS PMB och Sealflex ©.	18
Tabell 4. Sammanställning av alla varianter (2 massasorter, 2 vinklar, 4 behandlingsmaterial).....	19