

UTVECKLING AV BESTÄNDIGA ASFALTSKARVAR



Författare: Patryk Witkiewicz,

Skanska Sverige AB

2021-06-21

Ett projekt med bidrag från



SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling

INNEHÅLL

INNEHÅLL	1
SAMMANFATTNING	2
1) BAKGRUND	3
2) SYFTE	4
3) METOD OCH GENOMFÖRANDE	4
4) RESULTAT OCH SLUTSATS	12
5) REKOMMENDATIONER	14
REFERENSER	15

SAMMANFATTNING

Arbetsfogar är en viktig del i alla vägkonstruktioner eftersom de förekommer när ny beläggning läggs bredvid befintlig beläggning. I de fall att en arbetsfog är dåligt konstruerad kan en förtidig försämring av vägen initieras, vilket i sin tur kan orsaka vägskador följt av en förkortad livslängd för beläggningen. I dagsläget finns det endast ett empirisk test, hållrumshaltanalys, som utvärderar om arbetsfogen är godkänd eller inte. För att bättre förstå fogarnas mekaniska egenskaper har två nya testmetoder använts för att analysera fogarnas skjuvningskapacitet och utvärdera styrkan i sammankopplingen: "Cantilever shear test" och "3-point shear test". I kombination med densitetsmätningar och andra mekaniska testmetoder såsom IDT, DT och 4PB-test, vilka utvecklats i tidigare studier (Ghafoori et al., 2013), kan "Cantilever shear test" och "3-point shear test" bli bra verktyg för undersökning av arbetsfogar.

Resultaten från laborietester visade att det är fördelaktigt att konstruera arbetsfogar med lutande geometri (45°, 60°) istället för att ha vertikala arbetsfogar. Generellt kan konstateras att ju större vinkel (från vertikal plan) desto starkare sammankoppling mellan ny och befintlig asfalt (bland testade vinklar). Resultaten visade också att vältning från varm sida ("Hot-to-Cold" packningsmetod) förbättrar fogens beständighet mot skjuvningskrafter och därför rekommenderas denna vältningsmetod.

Styr- och referensgrupp

Manfred Partl	<i>Kungliga Tekniska Högskolan</i>
Roger Nilsson	<i>Skanska</i>
Jonas Ekblad	<i>NCC</i>
Mats Wendel,	<i>Peab</i>
Torsten Nordgren	<i>BVFF/Trafikverket</i>

Arbetsgrupp

Patryk Witkiewicz	<i>Skanska (Projektledare)</i>
Ehsan Ghafoori Roozbahany	<i>Kungliga Tekniska Högskolan/VTI</i>
Alvaro Guarin	<i>Kungliga Tekniska Högskolan</i>

1) BAKGRUND

Arbetsfogar bildas exempelvis vid uppbyggnationer av nya asfaltkonstruktioner eller mellan parallella körfält, vid utbyte av sektioner med förbrukad livslängd eller vid punktvisa reparationer på lagd beläggning. Rent tekniskt är fogen den kontaktyta som bildas mellan befintlig och nylagd asfaltbeläggning som lagts bredvid varandra. Beroende på arbetsfogens placering i vägbanan kan två typer av fogar bildas, vinkelräta tvärgående fogar samt parallella längsgående fogar. I det fall att en arbetsfog är dåligt konstruerad kan en förtidig försämring av vägen initieras, vilket i sin tur kan orsaka vägskador följt av en förkortad livslängd för beläggningen. En förtidig försämring av vägen, så som stora potthål eller sprickbildning, kan även vara en trafikfara för trafikanter – och i synnerhet för motorcyklister.

I dagsläget testas fogar genom hålrumsanalys i enlighet med TDOK 2013:0529. Denna enkla empiriska metod ger en snabb bedömning av hur tät asfalten är i och runt arbetsområdet. Metoden undersöker däremot inte hur stark sammankopplingen är mellan två fogytor eller hur beständig fogen är för olika brott. Trots arbetsfogarnas betydelse finns ej heller några standardiserade och funktionsbaserade utvärderingsmetoder i Sverige för att undersöka dess kvalitet.

Möjligheten att använda prestationsbaserade tester för kvalitetsranking bland fogar redovisas i Ghafoori et al. (2013), där resultaten visade på att en kombination av parametrar, så som klistertyp, försegling och packningsteknik, kan ha en betydande inverkan på fogarnas hållbarhet. De tre metoder som utvecklades i studien undersökte arbetsfogarna ur ett böjnings- och draghållfasthetsperspektiv. Packningstekniken granskades mer närgående i Ghafoori et al., (2015; 2016), i vilken en packningssimulator utvecklades i syfte att mäta partikelflödet under packning. Båda dessa studier är tidigare studier av nuvarande arbetsgrupp och har fungerat som viktiga underlag för att kunna analysera asfaltbeläggnings arbetsfogar i detta projekt.

Författarens ambition är att med denna rapport bidra till utveckling av en ny standardiserad testningsmetod som ger möjlighet att undersöka mekaniska egenskaperna av arbetsfogar.

2) SYFTE

Projektets syfte är att utveckla och utvärdera två nya testmetoder för analys av asfaltbeläggningssfogar med avseende på skjuvningsstyrka och ge konstruktionsrekommendationer baserad på resultaten från dessa studier.

3) METOD OCH GENOMFÖRANDE

För att uppnå projektets syfte utvecklades två nya testmetoder och sex plattor med asfaltbeläggning tillverkades. På grund av svårigheten att konstruera fogar med större vinkel i verkliga projekt dvs. med 45° och 60° borrning av prover från vägen utelämnades. Nedan återfinns en djupare genomgång av de två valda testmetoder.

Val av asfaltsmassatyp

I detta projekt låg fokus på arbetsfogar i det översta beläggningsslagret, i asfaltens slitlager. En av de vanligaste massasorterna för slitlager är stenrik asfaltbetong (ABS) och därför valdes en ABS 11 70/100 för provtillverkning i detta projekt. ABS 11 70/100 betyder att en stenrik asfaltbetong med största nominella stenstorlek 11 mm och ett medelhårt bindemedel med penetrationen mellan 70 och 100 mm⁻¹ använts (SS-EN 13108-5: SMA).

Asfaltmassan tillverkades i 165 °C vid Skanskas asfaltverk i Upplands Väsby i enlighet med rådande krav i TDOK 2013:0529. Totalt tillverkades 500 kg ABS-massa som samlades i kartonger à 15 kg, se Figur 1, för vidare provtagning och analys. För att minska massans oxidation stängdes kartongerna efter fyllning och transporterades slutligen till laboratorium. Produkt- och säkerhetsdatablad på samtliga ingående material återfinns i Bilaga 1 och arbetsrecept för analyserad asfaltmassa återfinns i Figur 2. Krav på ingående material, slutprodukternas kornstorleksfördelning, minsta bindemedelshalt och kvalitetsparametrar för ABS asfaltstypen finns beskrivet i Trafikverkets kravdokument, Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529.



Figur 1. Insamlad asfaltmassa (ABS 11 70/100) för tillverkning av plattor (källa: Patryk Witkiewicz).

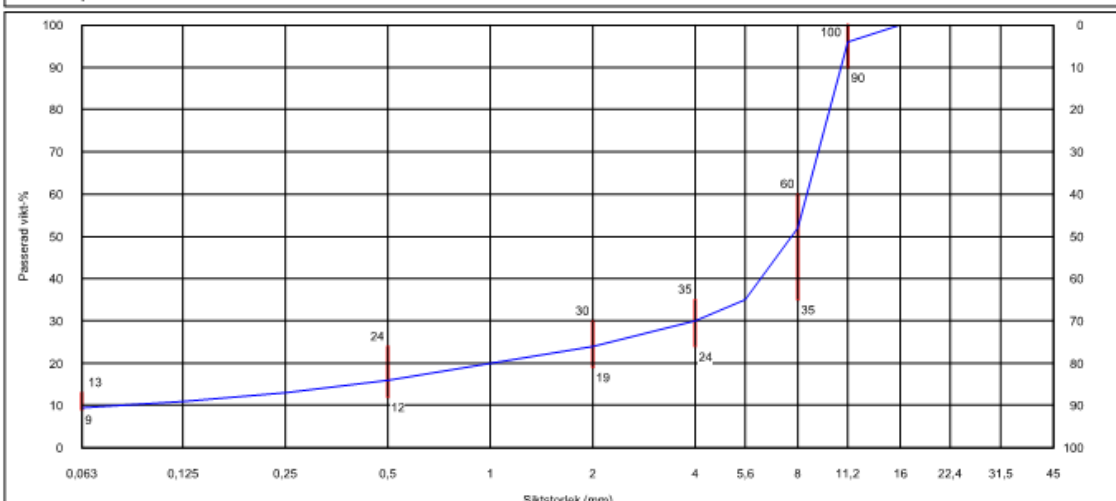
SKANSKA

Arbetsrecept Beläggingsmassa

Produkt ABS 11 70/100 kkv<=7	Recept : Version 1000341-19-1	Beställare
Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Vällsta		
Objekt	Fr.o.m datum 2019-04-01	T.o.m datum 2020-01-01

Stenmaterial Leverantör Skanska Sammansatt korndensitet (Mg/m ³) 2,680 Flisighetsindex (FI) <15 Krossytegrad (C) 100/0 Los-Angeles värde (LA) <20 Kulkvarnsvärde (AN) <7 Tillsatsmedel Cellulosafiber (%) 0,3 Zycotherm (%) 0,1	Beläggingsmassa / Beläggning Bindemedelstyp 70/100 Bindemedelshalt (vikt-%) 6,40 Skrymdensitet (Mg/m ³) 2,365 Kompaktdensitet (Mg/m ³) 2,429 Marshallhålrum (vol.-%) 2,6 Notering "
---	---

Kornstorleksfördelning (Passerad vikt-%)	Gränslinje ABS 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	9,5	11,0	13,0	16,0	20,0	24,0	30,0	35,0	52,0	96,0	100,0			
Kontrollpunkter														

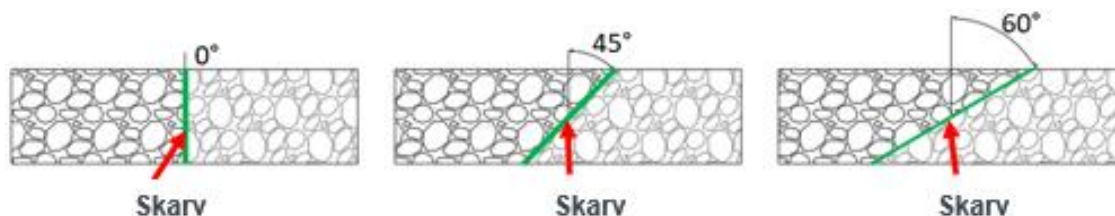


Upplands Väsby 2021-05-18

Figur 2. Recept för massan använd i projektet - ABS 11 70/100 kkv≤7, Asfaltverk: Upplands Väsby, 2019 (källa: Skanska AB).

Val av faktorer

Arbetsfogars beständighet påverkas i synnerhet av två faktorer: geometri och packningsmetod (Roozbahany et al., 2015; Roozbahany et al., 2013). Även andra ytbehandlingsmetoder såsom fogklistring, fogförsegling, foguppvärmning spelar stor roll i förbättring av fogarnas kvalitet men just geometri och packningsmetod har dominerande inverkan på fogarnas beständighet därför i detta projekt la man fokus på dem två parametrar. Gällande geometriska förhållanden påvisades att ju större arbetsfogens vinkel var i förhållande till den vinkelräta nollpositionen desto högre blev stresskraften ($\bar{\sigma}_{max}$), där en högre stresskraft ger en bättre beständighet för arbetsfogen. I Roozbahany et al. (2013) studerades vinklarna 0°, 15°, 30° och med det i beaktande valdes i denna studie att undersöka vinklarna 45°, 60° (Figur 3). Detta i syfte att antingen bekräfta hypotesen att en större vinkel genererar en bättre fogkonstruktion eller förkasta hypotesen och finna den vinkelmässiga brytpunkt som genererar ett sämre resultat.



Figur 3. Skiss på 3 utvalda inklinationen: A) 0°, B) 45°, C) 60°.

Vidare påvisades att en Hot-to-Cold-packningsmetod gav ett bättre resultat än Cold-to-Hot-metoden (Roozbahany et al., 2013). Skillnaden mellan de två metoderna beror på hur den första vältningen av ett nytt asfaltlager genomförs, se Figur 4. I en Cold-to-Hot-metod välts beläggningen från den kalla, befintliga beläggningen, mot den varma, nylagda beläggningen. Hot-to-Cold-metoden trycker å andra sidan varm massa mot den kalla befintliga vägbeläggningen. I båda metoderna befinner sig välten cirka 15 cm från arbetsfogen och passagen mellan lagerna sker utan vibrationer. Efter vältningsens första passage välts beläggningen och dess arbetsfogar i enligt med ordinarie vältningschema.



Figur 4. Packningsmetod beroende på vältposition. A) "Cold-to-Hot" (C-H), B) "Hot-to-Cold" (H-C).

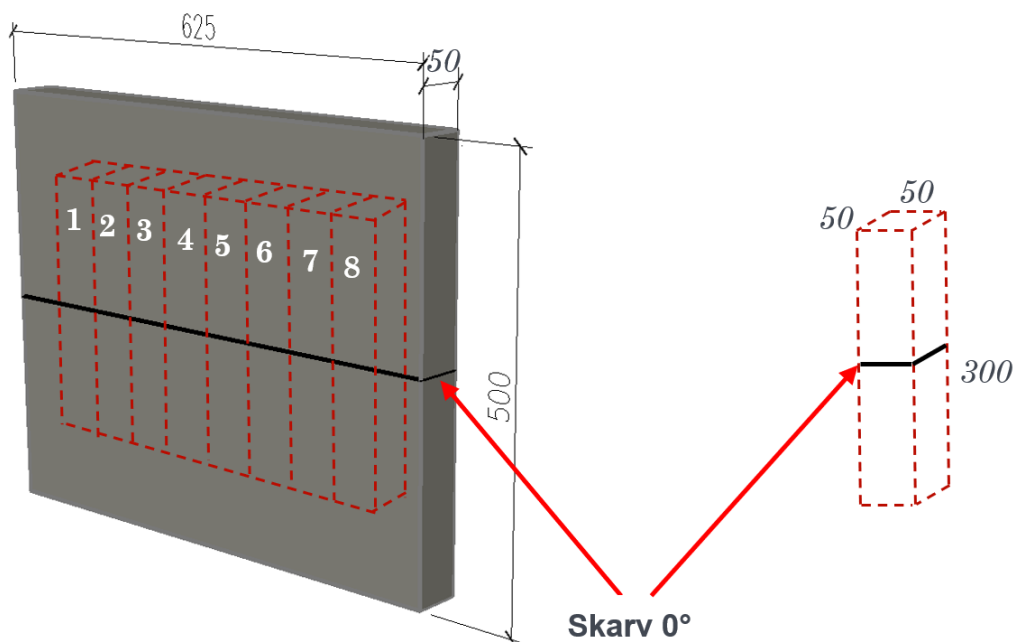
Baserat på ovan information valdes sex varianter av arbetsfogar ut för vidare studier i detta projekt, se Tabell 1.

Tabell 1. *Projekts försöksdesign.*

Packningsmetod \ Vinkel	Cold-to-Hot (C-H)	Hot-to-Cold (H-C)
0°	0-C-H	0-H-C
45°	45-C-H	45-H-C
60°	60-C-H	60-H-C

Provtillverkning

Baserat på antagandet att arbetsfogarna påverkas av ovanstående faktorer bestämdes i samråd med projektets styr- och arbetsgrupp att tillverka sex plattor à 625 × 500 × 50 mm med olika varianter av arbetsfogar för vidare studier, se Figur 5. Plattorna tillverkades på Skanskas laboratorium i Västerhaninge samt sågades till åtta balkar à 50 × 50 × 300 mm utifrån bäst passform för nyutvecklade metoder "Cantilever shear test", "3-point shear test". Balkproverna analyserades därefter under 2020 på KTH, Stockholm.



Figur 5. Skiss på stor platta (625 × 500 × 50 mm) och kapningsplan. Kapade prov (balk 300 × 50 × 50 mm).

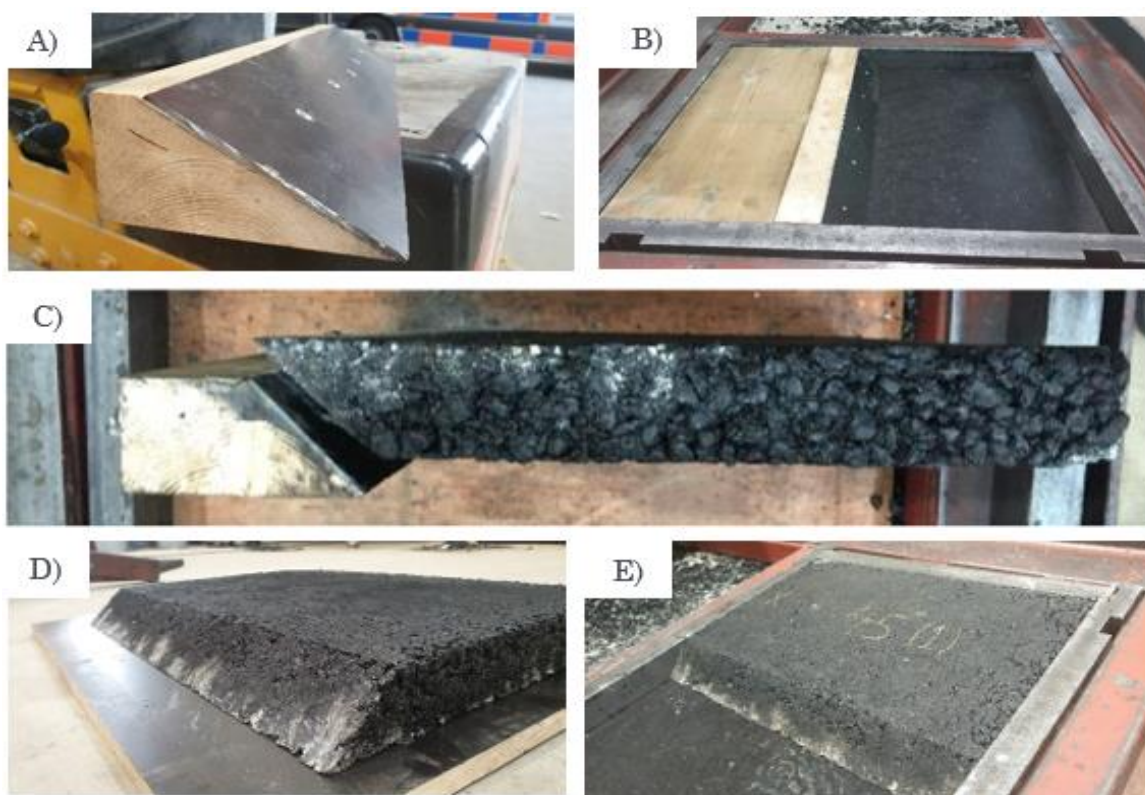
Plattframställning

Vid plattframställningen placerades en vält på en räls och asfaltmassa i en stålform med mått 625 x 500 x 50 mm placerades undertill, se Figur 6. Välten vägde 1650 kg med en vibrationsfrekvens på max 50 Hz.

Framställningen av arbetsfogar skedde därefter i flera steg och finns visualiserat i Figur 7A-E. Först vältades en delplatta med en insatt vinkelkil, där vinkeln bestämdes i enlighet med bestämd försöksdesign från Tabell 1. När den första delplattan svalnat vändes den upp och ner i stålformen och förbereddes slutligen inför packning av den andra delhalvan. För utformningen av vinkelkilen tillverkades en bräda med stålplåt för att skydda brädans kontaktyta mot den varma asfalten.



Figur 6. Vält på räls på labbet i Västerhaninge (källa: Patryk Witkiewicz).

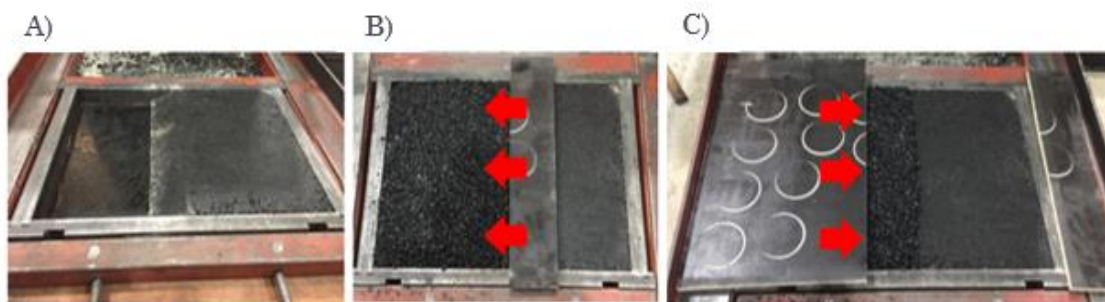


Figur 7. Packning av delplatta. A) Vinkelkil, B) Stålform förbered för packning, C) Delplatta efter packning, D) Vändning av delplatta upp och ner, E) Färdig delplatta i väntan på asfaltmassa för slutlig plattbildning (källa: Patryk Witkiewicz).

För att nå önskad kompakteringsgrad vältades massan enligt följande schema:

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

För att tillverka den andra delen av plattan lades varm asfaltmassa i formen bredvid färdigställd delplatta. Vid packningen av den andra halvan användes packningsmetoderna Hot-to-Cold eller Cold-to-Hot, i enlighet med Tabell 1. I syfte att simulera vältens position och trummans överhäng vid laboratorieförsöken lades även en slät plank ut på asfaltmassan innan vältning. Placeringen av plankan beror på vald packningsmetod och redovisas därför genom röda pilmarkeringar i Figur 8B, 8C samt 8A.

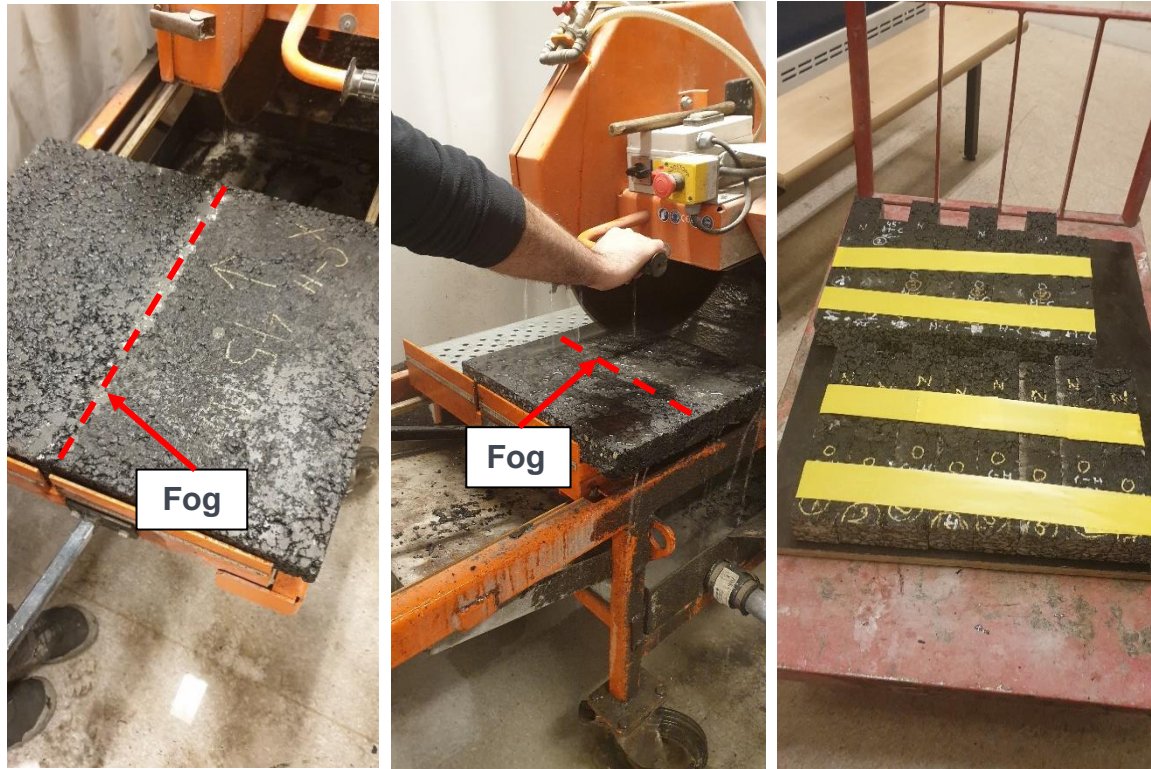


Figur 8. Visualisering av de två packningsmetoderna i labbmiljö. A) Stålformen förberedd för packning av arbetsfog, B) "Cold-to-Hot" (C-H), C) "Hot-to-Cold" (H-C) (källa: Patryk Witkiewicz, Ehsan Ghafooriroozbahany).

Efter fem överfarter med plankan togs plankan bort och vältningen fortsatte enligt ovanstående vältningsschema. Vid slutförd kompaktering lämnades plattan för att svalna innan den togs ut ur formen. Brytningsytan mellan de två delplattorna bildade slutligen den arbetsfog som projektet analyserade.

Framställning av prover

Från varje tillverkad platta sågades åtta balkprover ut med måtten 50 × 50 × 300 mm. Sämre kompaktering är ett fenomen som oftast förekommer vid belägningars ytterkanter och för att undvika risken av att få prover med sämre kompaktering togs proverna därför endast från plattornas mittområden. Samtliga prover förvarades på plan yta och transporterades sedan till KTH för fortsatta analyser i deras laboratorium. Figur 9 nedan återger en bild av arbetsgången.

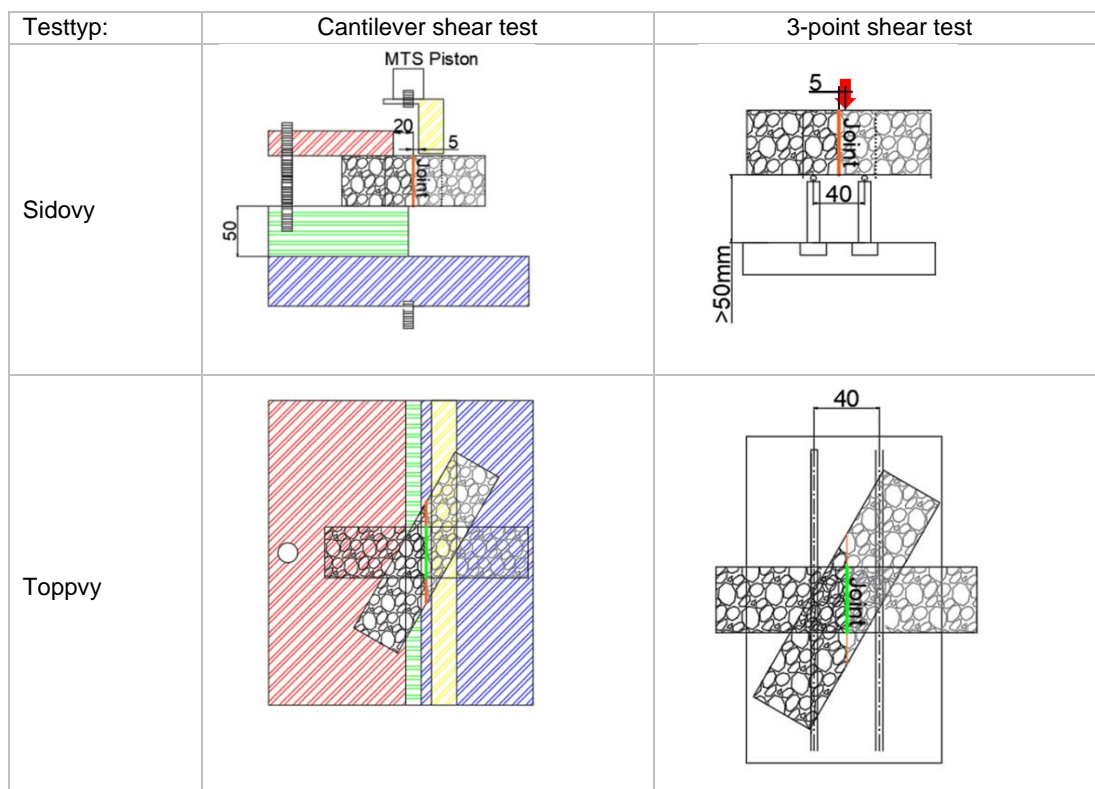


Figur 9. Sågning av plattor till prover (Åtta balkar med mått: 50 × 50 × 300 mm): A) markering och förberedelser på plattan innan sågning, B) sågning, C) lagring av färdiga prover (Källa: Patryk Witkiewicz).

Utveckling av testmetod

De metoder som tagits fram i arbetsgruppens tidigare studier (Roozbahany et al., 2013) har visat på att de framgångsrikt går att användas för identifiering av konstruktionsparametrar och -tekniker för att förbättra arbetsfogars kvalitet. Metoderna undersökte dock enbart arbetsfogars böjnings- och draghållfasthet. Därför valdes i detta projekt att komplettera tidigare metoder med ytterligare två metoder för att analysera fogarnas skjuvningsegenskaper.

I Figur 10 nedan redovisas en skissbild av fixturer framtagna av Mekaniska Avdelningen, KTH. De nya fixturerna "Cantilever shear test" och "3-point shear test" avser mäta maximal kraft för arbetsfogarna, där kraften är parallell till fogytan.



Figur 10. Fixturer "Cantilever shear test" och "3-point shear test".

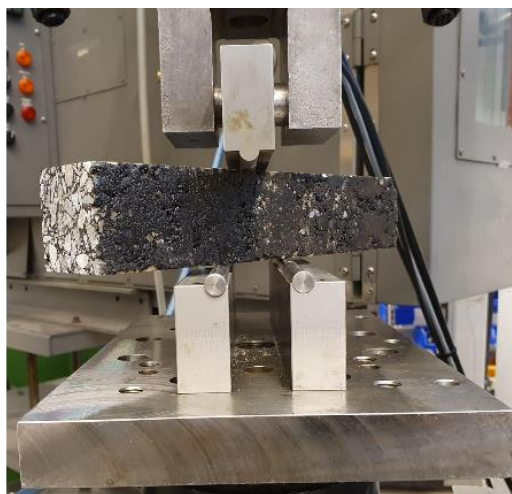
För att inte förstöra fogen från stålfixturer applicerades 5 mm belastningskraft från fogarna i båda testerna, se Figur 10 och Figur 11. Detta hjälpte för att fånga hela fogens skjuvningshållfasthet samt eliminera punktskador som hade kunnat försvaga fogens beständighet i förväg och ge ett snedvridet resultat.

Figur 11 visar testningen i verkligheten. Totalt testades 48 prover, där hälften av proverna testades i "Cantilever shear test" (Figur 11 A) och hälften i "3-point shear test" (Figur 11 B). Resultatet presenterades som medelvärdet på 4 tester (4 prover/fogvariant/utrustning).

A)



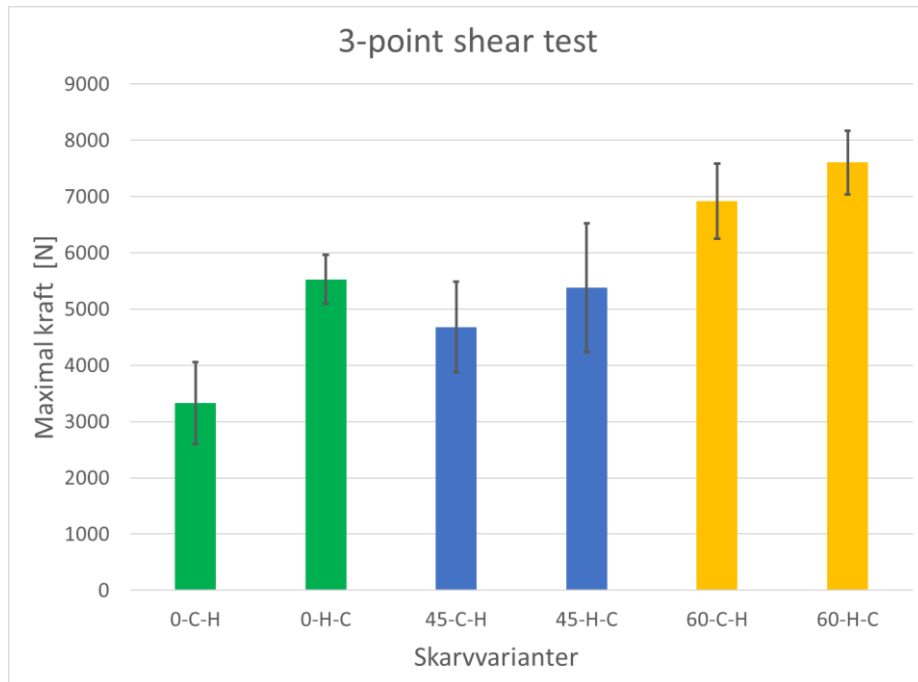
B)



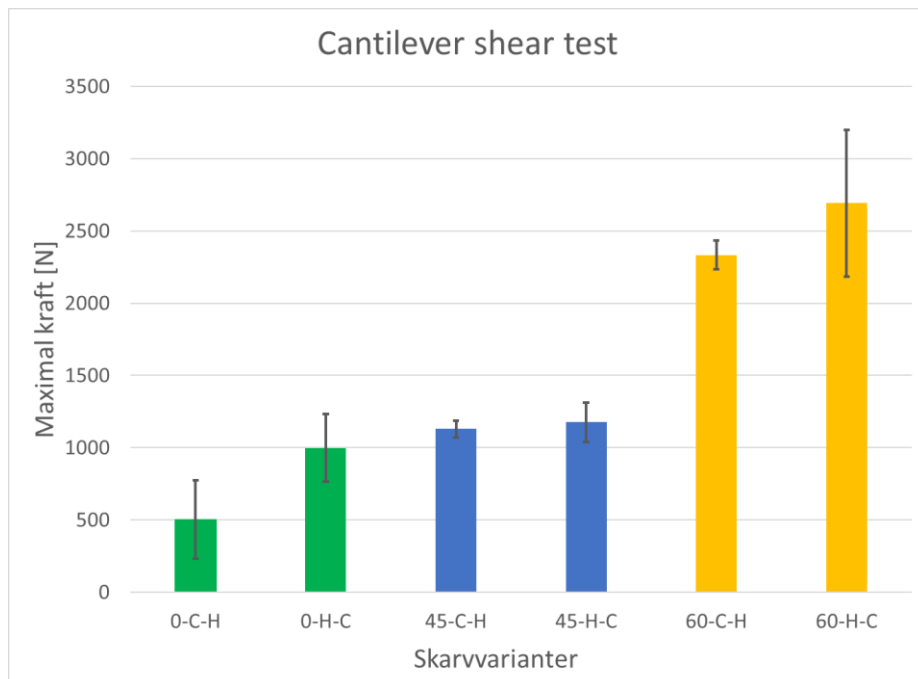
Figur 11. Testning av prover på KTHs asfaltlaboratorium: A) "Cantilever shear test", B) "3-point shear test" (källa: Ehsan Ghafoorirozbahany).

4) RESULTAT OCH SLUTSATS

Skjuvningstesterna utfördes vid 25 °C under förskjutningskontrollerat villkor och med en belastningshastighet på 5 mm/min. Figur 12 visar resultatet för "3-point shear test" och Figur 13 för "Cantilever shear test". Resultaten visas som medelvärde på 4 tester och avvikelser i svarta felstaplar (Figur 12 och 13).



Figur 12. Resultat för "3-point shear test".



Figur 13. Resultat för "Cantilever shear test".

Utifrån resultaten kan konstateras att de två nyutvecklade testerna har varit lämpliga för utvärdering av skjuvningsegenskaperna hos arbetsfogar.

Från ”3-point shear test” kan följande slutsatser dras:

- Fogar med 60 ° inklination klarade störst kraft innan brott
- Packningsmetoden ”Hot-to-Cold” gav ett något bättre resultat (högre maximal kraft) än ”Cold-to-Hot” packningsmetod hos alla inklinationer (0°, 45°, 60°)
- ”Hot-to-Cold” packningsmetod med vertikala arbetsfogar (0°) klarade minst kraft innan brott

Från ” Cantilever shear test” kan följande slutsatser dras:

- Fogar med 60 ° inklination klarade störst kraft innan brott
- Ju större fogvinkel (mellan 0° - 60°, mätt från vertikalplan) desto högre maximal kraft erhålls
- ”Hot-to-Cold” packningsmetod verkade ha störst påverkan på vertikala fogar (0°) och försumbar påverkan på fogar med 45° inklination

Konklusioner:

- Effekten av arbetsfogarnas geometri (fogvinkel) har mer betydande inverkan på skjuvningsegenskaper hos de testade arbetsfogar än komprimeringsätt. Speciellt visade arbetsfogar med 60° inklination bättre beständighet mot skjuvningskrafter.
- Det visade sig att vertikala arbetsfogar (0°) efter komprimering från den varma sidan (H-C) fick betydligt högre maximala skjuvningskrafter jämfört med C-H packningsmetod.
- Val av lämplig foggeometri och packningsteknik kan avsevärt öka styrkan i en fogkonstruktion. Kombinationen av de två parametrar påverkar arbetsfogarnas egenskaper mest.

5) REKOMMENDATIONER

Arbetsfogar är en viktig del av vägkonstruktion och bör konstrueras på bästa möjliga sätt. Idag finns inte byggrekommendationer som baseras på laboratorietestmetoder. Hållrumshalt är det enda test som utförs på arbetsfogar i nuläget och den visar hur mycket porer som finns i asfaltskroppar, hur tät den är, men inte hur beständig fogen är. För att bättre förstå de mekanismer som orsakar förstörelsen av arbetsfogar och kunna utvärdera dess egenskaper borde fler testningsmetoder utvecklas baserad på mekanisk provning. Testmetoderna som presenterades i denna studie visade sig vara ett bra verktyg för utvärdering av arbetsfogar avseende skjuvningsegenskaper och tillsammans med densitetsmätningar kan dessa testmetoder bidra till att den lämpligaste konstruktionen väljs.

Det visade sig även fördelaktigt att använda H-C-packningsmetoden hos alla testade foginklinationer ($0^\circ, 45^\circ, 60^\circ$), men störst inverkan hade den på vertikala arbetsfogar (0°). Vertikala arbetsfogar är en av de vanligaste använda foginklinationer i branschen. Därför rekommenderas att den första statiska överfarten med vält görs från den varma sidan vilket medför att asfaltmassan "trycks" mot fogytan. Detta förbättrar bindningen i fogen och ökar fogens beständighet i avseende på skjuvningsförmåga. Det skulle därmed kunna vara fördelaktigt att använda vibrationer i H-C packningsmetoden för ännu effektivare förflyttning av asfaltmassan mot fogytan. Rekommendationen är att undersöka den varianten i framtiden.

För att få bättre sammankopplade arbetsfogar rekommenderas att konstruera med vinkel snarare än med vertikala fogar. Detta då en för stor vinkel gör den befintliga sidan av fogen benägen för sprickning under vältning. Därför är det viktigt att välja vinkel med stor noggrannhet baserat på asfaltmassans maximala nominella stenstorlek. Rekommendationen är därför att välja lutningen på ett sådant sätt att de grova aggregaten på arbetsfogens båda sidor kan bindas med varandra i mer än 80 % av den totala fogytan.

Detta projekt utvecklades i samarbete med VTI och för att få hela bilden om forskning som gjordes inom arbetsfogar det rekommenderas att läsa VTI:s rapport "Development of advanced evaluation and construction methods for asphalt joints" från 2020 (Ghafoori E., 2020).

REFERENSER

Bahia, H. U., and B. C. Paye. "Minimum Pavement Lift Thickness for Superpave Mixtures". No. WHRP 03-02, 2001.

Ghafoori E., "Development of advanced evaluation and construction methods for asphalt joints", [VTI rapport 1069A \(diva-portal.org\)](#), 2020.

Ghafoori Roozbahany E., Part 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.

Ghafoori Roozbahany, E., Partl, M. N. & Guarin, A. "Particle Flow during Compaction of Asphalt Model Materials." Construction and Building Materials, 100(15), 273-284, 2015.

Ghafoori Roozbahany E., Part M. N. "A new test to study the flow of mixtures at early stages of compaction." Materials and Structures 49.9: 3547-3558, 2016.

Prithvi S. Kandhal, Rajib B. Mallick A STUDY OF LONGITUDINAL JOINT CONSTRUCTION TECHNIQUES IN HMA PAVEMENTS (INTERIM REPORT - COLORADO PROJECT), NCAT Report 96-03, February 1996.

TDOK 2013-0529 Bitumenbundna lager.