

---

# NCC Roads Sverige

## FoU Asfalt

---

### Projekt Limning del 1b

#### Provning enligt Leutners modifierade metod för skjuvtest



**Fredrik Elesand**  
**Rapport 2012-05**  
**(SBUF-projekt 12468)**  
**(FUD-info: Ärende-ID 4582)**

*Distribution: Fri*

# Sammanfattning

Från att tidigare ha använt bitumenlösning, så introducerades under 1990-talet ett miljöklister, som är en klisteremulsion utan lösningsmedel. Idag används nästan uteslutande bitumenemulsioner för klistring av asfaltbeläggningar. Sedan asfaltbranschen har övergått från att klistra med bitumenlösning till bitumenemulsion så har det uppmärksammats att det klister vi idag använder, inte alltid ger så bra vidhäftning som förväntat. Den forskning som har genomförts tyder på att skjuv- och draghållfastheten i gränssnittet mellan två lager är beroende av klistringen. Klistereffekten i sin tur är beroende av fuktigheten, strukturen och temperaturen i vägen, samt inte minst utförandet.

Syftet med den här delrapporten är att utföra provning enligt Leutners modifierade metod för skjuvtest. Genom att i projekt limning utföra skjuvtester, är målsättningen att kunna avgöra om Leutners metod skall användas till en kvalitetskontroll efter utförd klistring. Metoden skall bedömas utifrån vilken precision den har och hur praktiskt tillämpbar den är.

Efter att ha utfört drygt 130 skjuvtester i den här studien, kan följande slutsatser dras:

- Precisionen i metoden är bra, sett till de provningar som utfördes på laborietillverkade provkroppar.
- Inga kravnivåer för brottkraft eller skjuvspänning kan bestämmas genom den provning som utförts i den här studien, dock kan det värde som anges i den Schweiziska standarden på motsvarande 0,85 MPa i skjuvspänning anses vara en rimlig lägsta nivå.
- Laborietillverkade provkroppar uppvisar en betydligt högre skjuvspänning än borrhärnor som är tagna i fält.
- BETS och NYPOL (40/100 -75) hade betydligt bättre vidhäftning än BE50R i de laborietillverkade provkropparna.
- De provkroppar som tillverkades i laboriet i Kärra utan klister uppvisade förvånansvärt höga skjuvspänningsvärden.
- BE50R verkar inte märkbart påverka vidhäftningen mellan två beläggningsslager jämfört med ett gränssnitt helt utan klister. De laborietillverkade provkroppar från Kärra där BE50R användes, gav lägst maximal skjuvspänning. Likaså var det i princip samma skjuvspänningsvärden i de med BE50R klistrade borrhärnorna som de oklistrade borrhärnorna från Stäketvägen.

Baserat på den forskning som finns, och de tester som utförts i den här studien anses det inte finnas anledning till att använda andra skjuvtestmetoder än Leutners modifierade metod. Skjuvtestning bör utökas med fler fältprover. Ett testprogram med provkroppar av olika typer av asfaltmassa och klister bör utformas. Testprogrammet bör även omfatta skillnader i vidhäftningsförmågan mellan två beläggningsslager beroende på temperatur, fuktighet, ytors beskaffenhet och använd klistermängd.

Möjligheterna till ett internationellt samarbete bör undersökas, och för att komma vidare i projektet bör utökade resurser tillföras i någon form.

# Förord

I den här rapporten presenteras de skjuvtester som i Projekt Limning har utförts med det modifierade skjuvtestet enligt Leutner (EN 879 E). Provningsen utfördes med den skjuvtestutrustning som har införskaffats till projektet, och är en av tre testmetoder som är föreslagna av CEN för bestämning av vidhäftning mellan två beläggningslager.

Det arbete som presenteras i den här rapporten har utförts och sammanställts av Fredrik Elesand, NCC Roads. Rapporten är en del i Projekt Limning och är samfinansierat av SBUF, Trafikverket, Nynäs AB samt NCC Roads.

Arbetet har utökats med flera serier laboratorieprovning, vilket har inneburit att projekttiden har blivit längre än planerat.

Referensgruppen i projektet består av:

Bo Sävinger	NCC Roads
Kenneth Olsson	Skanska
Torsten Nordgren	Trafikverket
Nils Ulmgren	NCC Roads
Jonas Ekblad	NCC Roads
Lennart Holmqvist	Peab
Sven Fahlström	Nynäs AB
Leif Viman	VTI

Göteborg i maj 2012

Bo Sävinger  
Projektledare

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Förord .....	ii
1 Projekt Limning .....	4
1.1 Bakgrund.....	4
1.2 Syfte och mål .....	4
1.3 Metod.....	5
2 Utrustning och inledande provning .....	6
2.1 Utförande .....	8
2.2 Testomgång 1.....	10
2.3 Testomgång 2.....	11
2.4 Testomgång 3.....	12
3 Fältprover - Gamla Stäketvägen .....	14
3.1 Provyta.....	14
3.2 Borrning .....	17
3.3 Provning.....	19
3.4 Resultat Stäketvägen.....	20
3.5 Summering Stäketvägen .....	23
4 Laboratorieprover Kärra 1 .....	23
4.1 Provberedning .....	23
4.2 Provning.....	25
4.3 Summering Kärra 1 .....	27
5 Laboratorieprover Kärra 2 .....	28
5.1 Provberedning .....	28
5.2 Provning.....	29
5.3 Summering Kärra 2.....	32
6 Resultat .....	32
7 Diskussion och slutsats.....	36
7.1 Andra provmetoder .....	38
7.2 Slutsats .....	40
8 Rekommendationer.....	40
9 Källförteckning.....	42

# 1 Projekt Limning

## 1.1 Bakgrund

En väg består oftast av flera beläggningslager, varvid en del av vägbyggnadsprocessen består i att sammanfoga de olika lagren så att de blir konstruktivt samverkande. Detta kan åstadkommas på flera sätt, varav det vanligaste är att det sker med hjälp av ett vidhäftningsmedel, även kallat klister. Sammanfogningen sker genom att ett tunt lager klister appliceras på ett befintligt, bundet lager innan ett nytt lager läggs. Syftet med klistringen är att få de båda asfaltlagren att samverka, och därmed bl.a. motverka förskjutningar mellan olika asfaltlager. Bristfälligt utförd klistring bidrar sannolikt till minskad vidhäftningsförmåga och en ökad risk för glidning mellan lagren. Detta kan resultera i icke önskvärda skador som sprickor, spårbildning och potthål i beläggningen som i sin tur påverkar vägens livslängd negativt.

Från att tidigare ha använt bitumenlösning, så introducerades under 1990-talet ett miljöklister, som är en klisteremulsion utan lösningsmedel. Idag används nästan uteslutande bitumenemulsioner för klistring av asfaltbeläggningar. Sedan asfaltbranschen har övergått från att klistra med bitumenlösning till bitumenemulsion så har det uppmärksamats att det klister vi idag använder, inte alltid ger så bra vidhäftning som förväntat. Den forskning som har genomförts tyder på att skjuv- och draghållfastheten i gränssnittet mellan två lager är beroende av klistringen. Klistereffekten i sin tur är beroende av fuktigheten, strukturen och temperaturen i vägen, samt inte minst utförandet.

Emellanåt har det konstaterats att klistringen inte alltid utförs professionellt. Kontroll av utlagd mängd klister görs oftast i efterhand och det saknas idag metoder för att kontrollera det klister som används. Det saknas framförallt analysmetoder för att prova om ett asfaltlager har häftat fast i tillräcklig omfattning. Brister i klistringen är en ofta förekommande anmärkning vid kvalitetsrevisioner.

En grundläggande del i att förbättra kvaliteten i klistringsprocessen är att kunna bestämma vidhäftningsförmågan mellan två lager. Forskning och utveckling kring detta är beroende av att lämpliga testmetoder finns tillgängliga. Inom den europeiska standardiseringsorganisationen, CEN utarbetas för närvarande tre förslag till testmetoder. En viktig del av det inledande arbetet i projekt limning har varit att studera de metoder som presenterats av CEN, men även andra testmetoder som har använts i tidigare studier.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med den här delrapporten är att utföra provning enligt det utkast till standard som CEN har presenterat för skjuvtest (EN 879 E, 2009). Genom att i projekt limning utföra skjuvtester, är målsättningen att kunna avgöra om Leutners metod skall användas till en kvalitetskontroll efter utförd klistring. Metoden skall bedömas utifrån vilken precision den har och hur praktiskt tillämpbar den är.

Förutom att undersöka olika testmetoders funktionalitet, är det av intresse att kunna redovisa vilka typer av klistermaterial som har använts i tidigare studier, samt att presentera hur olika testparametrar påverkar vidhäftningsförmågan i ett gränssnitt. Det som presenteras i den här rapporten ska ligga till grund för ett fortsatt arbete i syfte att förbättra klistrets funktion i en normalt vedertagen svensk vägbyggnadsprocess.

Utifrån syftet och målet med skjuvtestningen har följande frågeställning utvecklats:

- Är skjuvtestmetoden praktiskt tillämpbar?
- Erbjuder skjuvtestmetoden en godtagbar reproducerbarhet och repeterbarhet?
- Vilka parametrar påverkar vidhäftningen i gränssnittet mellan två beläggningslager?
- Hur bra klistereffekt har vi i de klistermaterial vi använder idag?
- Kan skjuvtestet användas till att bedöma kvaliteten på utförd klistring?

## 1.3 Metod

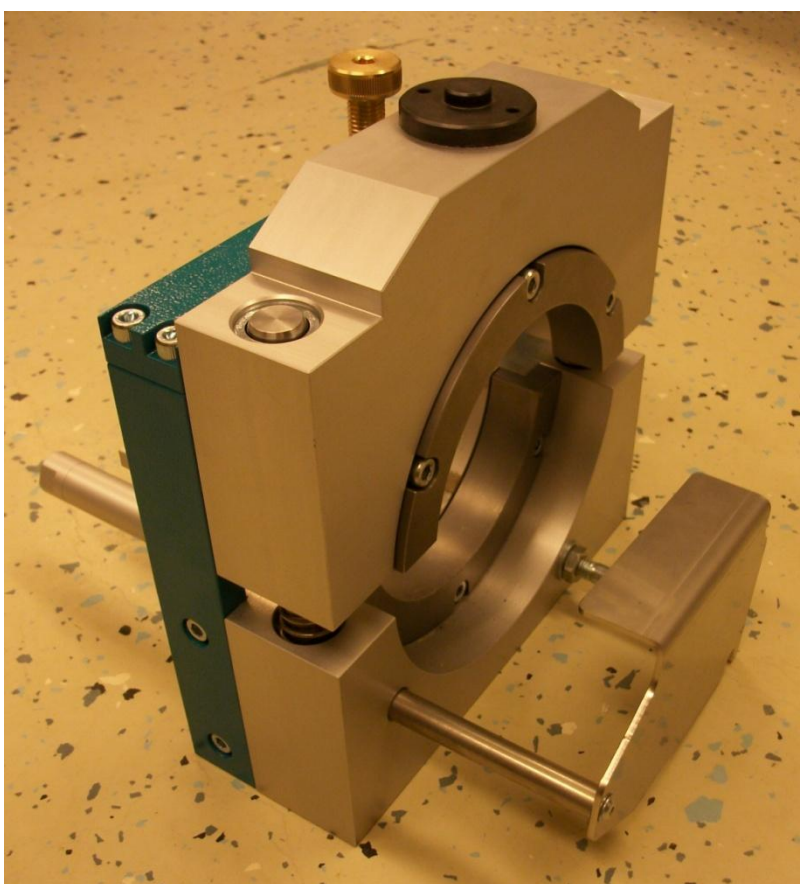
Efter utförd litteraturstudie och genomgång av CENs testmetoder beslutades det i projektets referensgrupp att skjuvtest enligt Leutners modifierade metod skall utföras. Detta med argumentet att skjuvtestet verkar vara den mest praktiska av de tre CEN-metoderna, både i utförande och i provberedning. En skjuvtestanordning införskaffades till projekt limning, och provningen förlades till NCCs väglaboratorium i Upplands Väsby.

Provningsplanen delades upp i tre steg, där det första steget bestod i att studera, testa och kalibrera utrustningen och utveckla provningsförfarandet. I ett andra steg tillverkades en provyta med ett vanligt klister, där en större mängd provkroppar borrades upp och skjuvtestades. I ett tredje steg utfördes skjuvtester på laboratorietillverkade provkroppar med olika klistermaterial. Provningsplanen planerades också till att utföras på fler än ett laboratorium.

Som en del i att bedöma hur praktiskt tillämpbar metoden är har befintliga universaltestmaskiner använts. Det är en förutsättning att testutrustningen skall kunna användas med den laboratorieutrustning som används idag.

## 2 Utrustning och inledande provning

Utrustningen består av en skjuvtestanordning för skjuvtest enligt Leutner, se figur 2-1. Den är i det närmaste identisk i konstruktionen med den schweiziska apparaten för skjuvtest kallad LPDS, som finns beskriven i projekt linnings litteraturstudie. Utrustningen är anpassad till provning av cylindriska provkroppar med en nominell diameter på 150 mm, och kan monteras i en vanlig universal testmaskin. Skjuvringarna i skjuvtestanordningen är utbytbara, vilket gör det möjligt att använda den till provkroppar av olika diameter.



**Figur 2-1** Utrustning enligt Leutner för skjuvtest (Foto: Fredrik Elesand 2011)

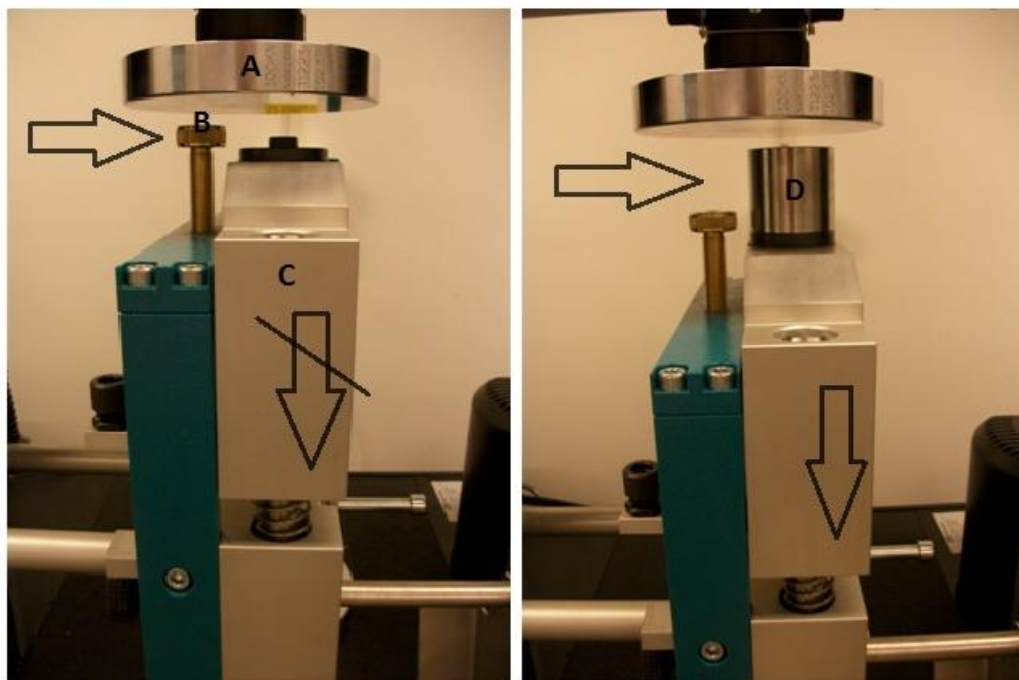
Skjuvtestanordningen som användes till projektet var tillverkad utan det mellanrum på 5 mm mellan skjuvringarna som anges i CEN-beskrivningen för metoden (Elesand, 2011).

Anledningen till att vilja ha en marginal runt gränssnittet, är att det i princip aldrig är en helt rak skarv mellan två beläggningsslager i en provkropp. Utan denna marginal finns även risken att gränssnittet inte helt hamnar mellan skjuvringarna, vilket leder till att den registrerade skjuvspänningen kan bli missvisande. Detta åtgärdades i den här studien genom att en 5 mm tjock distansring i metall tillverkades och monterades innanför den överliggande skjuvringen som sitter på den rörliga delen av apparaten, se figur 2-2 på nästa sida.



**Figur 2-2** Montering av distansring på 5 mm i tjocklek, som placerades innanför den övre skjuvringen. Detta för att få en avståndsmarginal mellan skjuvringarna, och på så vis minimeras risken att gränssnittet i provkroppen delvis hamnar under en av skjuvringarna. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

När skjuvanordningen monterades i testutrustningen upptäcktes att delar av testmaskinen stöter ihop med delar av skjuvanordningen, se figur 2-3. Detta åtgärdades genom att en distanskolv tillverkades och monterades ovanpå ramen för skjuvanordningen. På så vis kan den rörliga delen i skjuvtestanordningen korrekt tryckas ner med hjälp av testmaskinen.



**Figur 2-3** Testapparatens belastningsplatta (A) som skall kunna trycka ner att den rörliga delen (C) stöter ihop med fixeringsskruven (B), som dras åt för att hålla fast det undre lagret i provkroppen. Lösningen var att låta tillverka en distanskolv (D) och montera den på skjuvanordningen. Vid testning centreras sedan distanskolven under belastningsplattan. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

Efter de inledande modifieringarna placerades sedan skjuvanordningen i testmaskinen med testkolven centrerad under belastningsplattan. I figur 2-4 visas hela utrustningen, med en provkropp fixerad i skjuvanordningen, klar för provning.



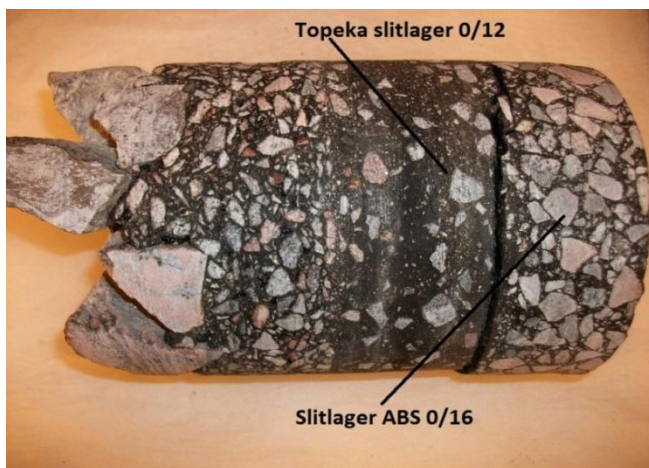


**Figur 2-4** Skjuvanordningen monterad med en provkropp i testmaskinen, och klar för provning. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

## 2.1 Utförande

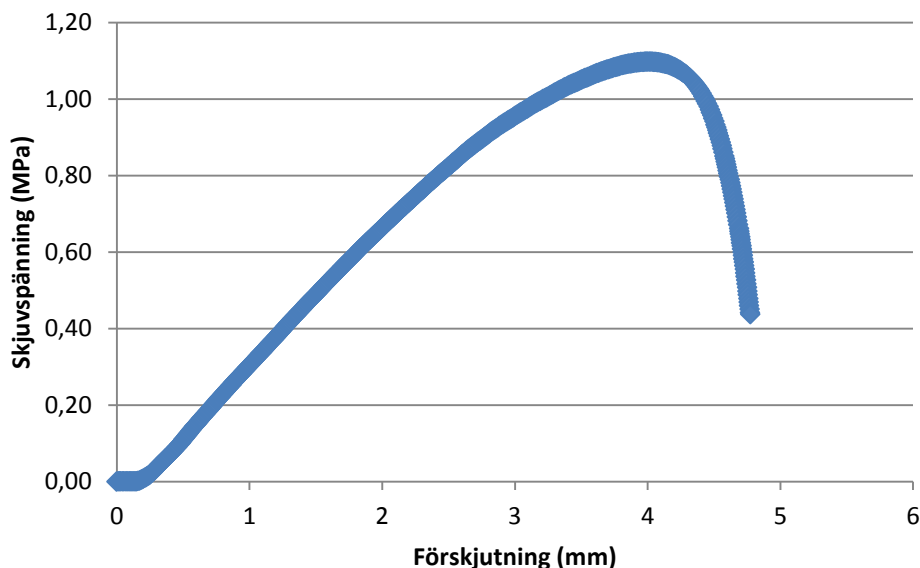
De inledande serierna med skjuvtester utfördes på provkroppar med en diameter på  $150 \pm 2$  mm. Det första så kallade pilot-testet utfördes på två provkroppar för att se att (och hur) utrustningen fungerar. Därefter delades testprogrammet upp i tre testomgångar, i syfte att testa utrustningen.

Provkropparna i pilot-testet och testomgång 1 bestod av borrhärnor tagna i fält där skjuvtesten utfördes i gränssnittet mellan ett Topeka slitlager (0/12), och en ABS16 (se figur 2-5). Klistermängd och klistertyp som använts till provkropparna var inte känd, men i de inledande testerna var det inte av avgörande betydelse då syftet primärt var att prova och kalibrera utrustningen.



**Figur 2-5** I det inledande pilot-testet och testomgång 1 undersöktes skjuvspänningen i gränssnittet mellan ett gammalt slitlager (Topeka 0/12), och ett nytt slitlager (ABS 0/16). Provkroppen på bilden har genomgått ett skjuvtest, och vidhäftningen mellan de båda lagren har släppts. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

Testerna utfördes i rumstemperatur (ca 20 °C), och provkropparna utsattes för en belastning på 50 mm/min. Testvärden från provningen loggas i ett dataprogram, och kan visualiseras med hjälp av en graf som visar brottkraften eller skjuvspänningen i förhållande till förskjutningen under testet. Dataprogrammet loggar hela händelseförloppet med inställningsbara intervall, och rådatan från testet exporterades i den här studien till en textfil för vidare beräkning. I figur 2-6 visas en typisk graf över skjuvspänningen i förhållande till förskjutningen, där den maximala skjuvspänningen vid brott kan avläsas. Ur grafen kan sedan vid behov den maximala styvhetsmodulen beräknas, samt förskjutningen mellan provkroppens beläggningslager, som uppstår i samband med skjuvning.



**Figur 2-6** Skjuvspänning som funktion av förskjutning, typiskt resultat

## 2.2 Testomgång 1

Pilot-testet och den första testomgången utfördes i syfte att testa och kalibrera utrustning, utförande och dataprogram. De två inledande pilot-testen gjordes utan ett mellanrum på 5 mm mellan skjuvringarna. Det framgick att utan ett mellanrum mellan skjuvringarna är det i princip omöjligt att få gränssnittet runt hela provkroppen att ligga mellan skjuvringarna. För att detta ska kunna ske skall antingen lagren vara exakt vinkelräta i gränssnittet (vilket ej är praktiskt möjligt), eller så utökas marginalen mellan skjuvringarna.

Dock skall påpekas att även med en marginal på 5 mm är det svårt att få gränssnittet att ligga helt mellan skjuvringarna. Efter det inledande pilot-testet gjordes skjuvtest på 6 nominellt likadana provkroppar. I tabell 2-1 nedan redovisas brottkraften, förskjutningen, och den beräknade skjuvspänningen för provkropparna i den första testomgången. Skjuvspänningen beräknas genom att den maximala brottkraften divideras med arean av borrhårens cirkulära yta:

$$\tau = \frac{F}{\pi r^2}$$

Där:

$\tau$  = Skjuvspänning

F = Brottkraft

r = Provkroppens radie

**Tabell 2-1** Resultat från utförda skjuvtester i testomgång 1. Provkropparna bestod av borrhåren tagna i fält

Provkropp (Ø 150 mm)	Brottkraft (kN)	Förskjutning (mm)	Max skjuvspänning (MPa)
1	20,2	5,8	1,14
2	19,4	3,5	1,10
3	27,6	3,0	1,56
4	24,9	8,3	1,41
5	23,1	3,2	1,31
6	22,4	4,1	1,27
Medelvärde	22,9	4,7	1,30
Standardavvikelse	3,0	2,0	0,17
<b>Variationskoefficient</b>	<b>0,13</b>		<b>0,13</b>

Vid en jämförelse med resultaten som Piber m.fl. (2009) presenterade i sin RILEM rapport, så kan det konstateras att maximala skjuvspänningsvärden på 1,10 - 1,56 MPa är rimliga för den här typen av test. Standardavvikelsen mellan de sex provkropparna ligger på 0,17 MPa ( $0,13\bar{\tau}$ ), vilket är något högre än de resultat som redovisades i den omfattande ringanalysen utförd inom RILEM (Piber m.fl. 2009).

## 2.3 Testomgång 2

Den andra testomgången omfattade sex provkroppar som borrats upp från en väg utanför Gävle. Klistertyp och klistermängd som använts till asfaltbeläggningen är inte känd, men proverna togs från en och samma sektion i en nylagd väg. Resultaten från skjuvtesten sammanfattas i tabell 2-2 nedan. Den femte provkroppen avviker markant, och efter en okulär besiktning av provkroppen tyder det mesta på att provet belastades skevt under skjuvtestet. Kraften verkade inte i gränssnittet som önskat, utan mestadels i den ena beläggningen och där av en troligen missvisande hög skjuvspänning. Det höga och avvikande värdet i provkropp 5 gör att standardavvikelsen blir stor.

**Tabell 2-2** Resultaten från skjuvtester utförda på provkroppar som borrats upp från en vägsektion utanför Gävle

Provkropp nr (Ø 150 mm)	Brottkraft (kN)	Förskjutning (mm)	Max skjuvspänning (MPa)
1	26,4	4,3	1,49
2	18,2	2,6	1,03
3	19,3	3,8	1,09
4	25,6	3,5	1,45
(5)	52,6	9,5	2,98)
6	15,7	2,2	0,89
Medelvärde	26,3	4,3	1,49
Standardavvikelse	13,5	2,7	0,77
<b>Variationskoefficient</b>	<b>0,52</b>		<b>0,52</b>

**Tabell 2-3** Korrigerade statistiska värden i tabell 2-2, där den kraftigt avvikande provkroppen med en skjuvspänning på 2,98 MPa ej är medräknad.

Medelvärde	21,0	3,28	1,19
Standardavvikelse	4,72	0,86	0,27
<b>Variationskoefficient</b>	<b>0,22</b>		<b>0,22</b>

Om det avvikande resultatet från provkropp 5 utesluts blir standardavvikelsen för den maximala skjuvspänningen i de återstående fem provkropparna 0,27, och medelvärdet blir 1,19 MPa. En skattning av repeterbarhetsstandardavvikelsen blir då  $0,22\bar{\tau}$ , vilket även det är högre än vad Piber m.fl. (2009) noterat.

## 2.4 Testomgång 3

Till den tredje och avslutande testomgången användes provkroppar som tillverkats genom gyratorisk packning på ett väglaboratorium. Syftet med den här testomgången var, förutom att som i de tidigare försöken testa funktion och precision, att utföra klistring av provkroppar.

Det första som gjordes var att provkropparna sågades till och putsades med en torr pensel, så att ytorna som skulle klistras blev släta och fria från smuts. Därefter applicerades provkroppens cirkulära yta med ett lager klister på motsvarande 0,2 respektive 0,3 kg/m<sup>2</sup>.

Mängden klister för varje provkropp togs fram genom att först beräkna arean av provkroppens cirkulära yta. Här nedan visas hur mängden klister som motsvarar 0,2kg/m<sup>2</sup> räknas fram för en provkropp med diametern 150 mm.

$$\Rightarrow \pi 75^2 = 17671 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{Provkroppens area i m}^2 = 0,017671$$

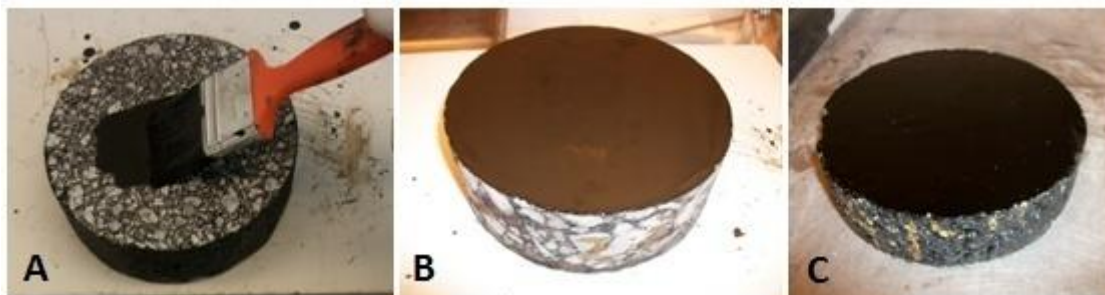
$$\Rightarrow 0,2\text{kg} \times 0,017671 = 0,0035342\text{kg}$$

$$\Rightarrow \mathbf{3,5g}$$

Mängden 0,2 kg/m<sup>2</sup> motsvarar då således 3,5g för en provkropp med diametern 150 mm, och 0,3kg/ m<sup>2</sup> motsvarar då mängden 5,3g.

Klistret värmdes först upp i en varmluftsugn till ca 70 °C, och ett jämnt lager applicerades sedan på provkroppens cirkulära yta med hjälp av en pensel, vilket visas i figur 2-7A. I den här studien användes en katjonisk raskbrytande bitumen emulsion bestående av 50 % bitumen (Nynas BE50R). Brytningstiden för en bitumen emulsion skall normalt vara ca 30 minuter och varierar beroende på klistertyp, temperatur och appliceringsmängd. Detta är enkelt att se då klistret i form av emulsion har en brunaktig färg (figur 2-7B), som sedan övergår till en svart färg när vattnet avdunstat (figur 2-7C).

När klistret fått bryta på det undre lagret sammanfogades den limmade ytan med ett färdigpackat lager, och provkroppen placerades därefter i rumstemperatur i minst två dygn. En 20 kg:s vikt placerades på provkroppen för att få tillräcklig vidhäftning mellan lagren.



**Figur 2-7** Emulsionen (klistret) värms upp till ca 70 °C och appliceras i ett jämt lager med hjälp av en pensel (A). Innan vattnet har avdunstat har emulsionen en brunaktig färg (B). Efter ungefär 45 minuter har emulsionen fått en svart färg, vilket betyder att allt vatten har avdunstat. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

Resultaten från utförda skjuvtester med en klistermängd på 0,2 kg/m<sup>2</sup> redovisas i tabell 2-4 nedan. För att undersöka om det finns några tecken på att klistermängden kan påverka vidhäftningen användes motsvarande 0,3 kg/m<sup>2</sup> på fyra provkroppar från samma tillverkningsserie. Resultaten från de testerna redovisas i tabell 2-5.

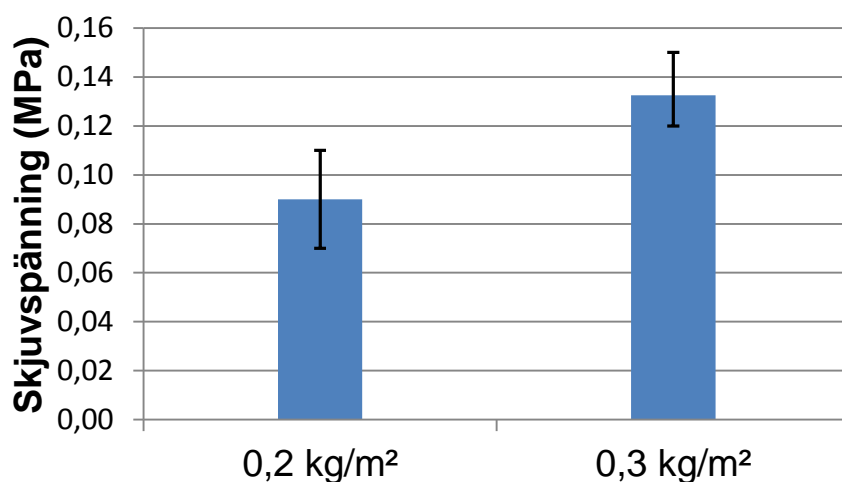
**Tabell 2-4** Brotthållfasthet och skjuvspänning på provkroppar med sågade ytor i både över och underliggande lager. Klistermängden är här motsvarande 0,2 kg/m<sup>2</sup>

Provkropp (Ø 150 mm)	Brottkraft (kN)	Förskjutning (mm)	Max skjuvspänning (MPa)
1	1,9	2,9	0,11
2	1,9	4,4	0,11
3	1,8	5,2	0,09
4	1,3	2,7	0,07
5	1,2	6,5	0,07
Medelvärde	1,6	4,3	0,09
Standardavvikelse	0,3	1,6	0,02
<b>Variationskoefficient</b>	<b>0,19</b>		<b>0,22</b>

**Tabell 2-5** Brotthållfasthet och skjuvspänning på provkroppar med sågade ytor i både över och underliggande lager. Klistermängden är här motsvarande 0,3 kg/m<sup>2</sup>

Provkropp (Ø 150 mm)	Brottkraft (kN)	Förskjutning (mm)	Max skjuvspänning (MPa)
1	2,0	2,4	0,12
2	2,5	6,9	0,14
3	2,6	5,3	0,15
4	2,0	6,6	0,12
Medelvärde	2,3	5,3	0,13
Standardavvikelse	0,3	2,0	0,02
<b>Variationskoefficient</b>	<b>0,13</b>		<b>0,17</b>

I figur 2-8 sammanfattas mätningarna för provkroppar med en klistermängd på 0,2 kg/m<sup>2</sup> respektive 0,3. De fyra provkropparna med 0,3 kg/m<sup>2</sup> uppvisar en högre skjuvspänning i gränssnittet, vilket indikerar att mängden klister kan påverka klistereffekten på ofrästa, släta och noggrant rengjorda ytor. Vid denna provning har provkropparna med 0,3 kg/m<sup>2</sup> klistermängd en något högre brotthållfasthet än prover med 0,2 kg/m<sup>2</sup>. Dock är testerna utförda i för liten skala för att kunna dra några större slutsatser utifrån provningen.



**Figur 2-8** Brotthållfasthet för prover med 0,2 kg/m<sup>2</sup> respektive 0,3 kg/m<sup>2</sup> klistermängd. Felstaplarna indikerar max- och min- värden.

I testomgång 3 blev variationskoefficienten 22 % respektive 17 %, och vid en jämförelse av den maximala skjuvspänningen ges indikationer på att en klistermängd på 0,3 kg/m<sup>2</sup> ger bättre vidhäftning än 0,2 kg/m<sup>2</sup>. Det skall påpekas att provningen utförts på prov med mycket låg texturberoende friktion. Skjuvspänningen för provkropparna i den tredje testomgången är betydligt lägre än de i testomgång 1 respektive 2. Detta beror på att borrhärnorna i de första testomgångarna var tagna i fält, där beläggningarna hade packats och ytan inte var slät. Ytorna i både det undre och det övre lagret var i de här provkropparna sågade, och klistringen utfördes på kalla och färdigpackade provkroppar.

## 3 Fältprover - Gamla Stäketvägen

På uppdrag av Projekt Limning lades under juli månad 2011 en 30 meter lång beläggning vid ett gammalt industriområde på Gamla Stäketvägen utanför Upplands Väsby. Syftet med beläggningen var att ta en större mängd borrhärnor från provytan, och sedan systematiskt utföra skjuvtester på borrhärnorna. 165 provkroppar borrades upp från provytan, vilket gjordes ungefär en vecka efter utförd beläggning. Drygt 70 provkroppar skjuvtestades av NCC i Upplands Väsby, och 30 provkroppar skickades till Nynas AB för provning. Skjuvtesterna utfördes i Upplands Väsby under augusti månad 2011, och Nynas utförde sina skjuvtester i början på oktober. Testerna utfördes i rumstemperatur (19-21°C) efter att provkropparna tempererats i ca 20° C under minst 6 timmar, och belastningshastigheten var 50 mm/min.

### 3.1 Provyta

Provytan för provkropparna delades upp i tre sektioner på 10 meter vardera, där skillnaden är klistermängden (se figur 3-1). Den första sektionen klistrades flödigt, den andra sektionen lades med en betydligt mindre mängd klister, och den sista sektionen lades helt utan klister. Detta för att kontrollera om det var möjligt att se en tydlig klistereffekt mellan en ej klistrad, och en klistrad yta. Det skall noteras att den befintliga ytan inte sopades före klistringen, då den ansågs av läggarna vara okulärt fri från smuts.

Det klister som användes var BE50R, och som beläggning utlades en ny c:a 40 mm tjock ABT16 på ett befintligt, gammalt lager ABT16, vilandes på en AG22 i botten (se figur 3-3).

Beläggningen lades ut strax efter utförd klistring och utan att klistret fått bryta nämnvärt. En nackdel med det är att klistret fastnar på läggarens däck, och klistereffekten kan påverkas. Dessutom vill gärna klisteremulsioner, i takt med att de bryter, tränga upp i den ovanliggande beläggningen, vilket kan påverka klistereffekten negativt. Den varma asfaltmassan bidrar till detta, då emulsionen blir väldigt varm och ”skummar” uppåt.

Inga krav ställdes på hållfasthet, hålrum eller densitet, utan det primära målet var att undersöka om det var möjligt att se tydliga skillnader i olika mängder klister vid normala förhållanden.

Som framgår av bilderna i figur 3-1 och 3-2 på nästa sida, blev den yta som klistrades sparsamt inte så bra som önskat. Klistret har inte helt täckt vägytan, och själva resultatet blir ett randigt mönster med varierande klistermängd i klistringsriktningen. Detta verkar vara ett problem som är vanligt återkommande vid klistring, och orsaker till detta kan vara att emulsionen hade för låg temperatur i samband med klistringen, att den separerat innan klistring, eller att alla dysorna på klistermopeden inte har fungerat som de ska. De provkroppar som togs upp från den sparsamt klistrade ytan har därmed inte en likvärdigt jämn klistring, där flera av provkropparna delvis är klisterfria. Detta medför givetvis att det är väldigt svårt att göra en jämförelse med de provkroppar som tagits upp från den sparsamt klistrade ytan.



**Figur 3-1** Försöket delades upp i tre olika sektioner på 10 m vardera. En delyta applicerades med mycket klister, en delyta med lite klister, och en delyta lämnades helt klisterfri. (Foto: Tomas Åström, 2011)





**Figur 3-2** Ytan som klustrades sparsamt, med en ungefärlig täckningsgrad på 50 %. (Foto: Tomas Åström, 2011)



**Figur 3-3** Efter utförd klustring packades en 30 meter lång sträcka med en c:a 40 mm tjock ABT16. (Foto: Tomas Åström, 2011)

## 3.2 Borrning

Drygt en vecka efter att beläggningen lagts, togs totalt 165 borrprover med en nominell diameter på 150 mm. Provkropparna märktes med ett nummer, 1-165 och en pil markerade i vilken riktning beläggningen var gjord (se figur 3-4). Sektionerna numrerades enligt följande:

- Sektion 1: 1-55, beläggning med mycket klister;
- Sektion 2: 56-110, beläggning med lite klister;
- Sektion 3: 111-165, beläggning utan klister.

Den ursprungliga borrplanen bestod i att ta fem provkroppar i varje led, 500 mm från ytterkant till 500 mm från innerkant på beläggningen, vilket visas i figur 3-4. Detta för att någorlunda kunna urskilja klistringen rad för rad om det visar sig vara stora skillnader i resultaten från skjuvtesterna.

När de första raderna med provkroppar togs upp, framgick det att den äldre beläggningen var för tunn på ena halvan av vägen, varvid det inte gick att få den tjocklek på minst 30 mm per lager som skjuvtestanordningen kräver. Tjockleken på det undre lagret skall dock vara minst 40 mm för att på ett korrekt sätt kunna fixera provkroppen i skjuvtestapparaten. För slitlager som har en tjocklek på 15 – 30 mm, kan en cirkulär förlängningsplatta tillverkad i aluminium eller starkare material användas. Den limmas då på ovansidan av slitlagret, för att på så vis få en tjocklek på minst 30 mm. Alla borrkärnor fick därför tas på den andra halvan av beläggningen, och den ursprungliga borrplanen frångicks (se figur 3-5). Detta resulterade i att provkropparna inte borrades systematiskt med 5 provkroppar i varje rad, och numreringen blev i slutändan delvis mindre systematisk, vilket framgår av figur 3-5 och 3-6.



**Figur 3-4** Borrkärnorna märktes med ett nummer, samt åt vilken riktning som beläggningen gjordes. (Foto: Tomas Åström, 2011)



**Figur 3-5** Totalt 165 borkärnor med en nominell diameter på 150 mm togs upp från Gamla Stäketvägen. (Foto: Tomas Åström, 2011)

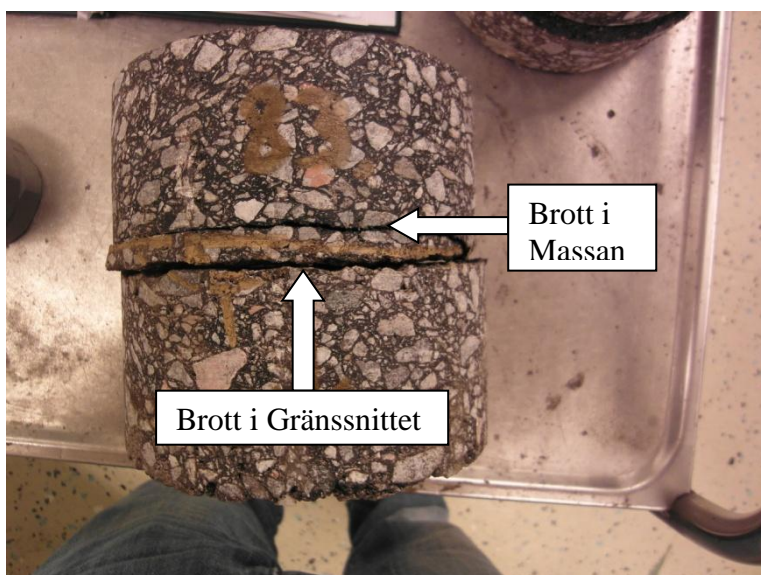


**Figur 3-6** Numreringen av provkropparna blev mindre systematisk efter det att den ursprungliga borkplanen inte gick att fullfölja. (Foto: Tomas Åström 2011)

### 3.3 Provning

Skjuvtesterna i den här studien utfördes enligt den av CEN föreslagna skjuvtestmetoden för att bestämma vidhäftningen i gränssnittet mellan beläggningsslager. Provningsen utfördes i huvudsak på NCC Roads väglaboratorium i Upplands Väsby, och en jämförelse gjordes sedan mot provkroppar som testades i en Leutner apparat vid Nynas ABs laboratorium i Nynäshamn. Syftet med den här provningen var att göra en bedömning av precisionen i metoden, samt att undersöka skillnader i vidhäftning mellan en oklistrad yta, en sparsamt klistrad yta samt en flödigt klistrad yta.

Borrkärnorna lagrades i 6 veckor, och varje provkropp tempererades i 20 °C under minst 6 timmar innan provning. När diametern för varje provkropp kontrollerades visade det sig att diametern för alla 165 provkroppar varierade mellan 150,5 -155 mm, vilket gjorde att många av proverna var för stora för de skjuvringar som var anpassade för provkroppar på 150 mm i diameter. Normalt skall skjuvringar med en diameter på 151 mm användas till provkroppar på 150 mm, för att få en något lös passform. Nu fick provkropparna ofta tvingas fast med kraft, i och med att skjuvringarnas diameter var 150 mm, vilket kan tänkas påverka spänningarna i provkroppen (och dess form). Detta ledde senare till att en uppsättning skjuvringar med dimensioner 151,152 och 153 mm i diameter införskaffades inför provningen i Kärra. Dessutom var en del provkropparna något skeva i sin form, vilket i en del fall gjorde det svårt att få gränssnittet i provkropparna att ligga helt mellan de båda skjuvringarna. Detta ledde i några fall till att brottet delvis inträffade i en av beläggningarna, snarare än parallellt med gränssnittet, vilket kan leda till avvikande skjuvspänning. Ett exempel på detta visas i figur 3-7 nedan, som dock inte uppvisade en skjuvspänning som var avvikande. Den maximala skjuvspänningen för provkropp 83 var 0,47 Mpa, och medelvärdet för provkropparna i samma serie var just 0,47. Att provkropparna inte blev vinkelräta kan bero på ojämnheter i den gamla vägytan, eller att borrhningen inte skett helt vertikalt vid provtagningen.



**Figur 3-7** Ett exempel på hur det kan se ut när kraften inte går parallellt med gränssnittet. I det här fallet är det en kombination av att provkroppen är skev, och att provkroppen inte placerats helt mellan skjuvringarna. Resultatet blir att belastningen delvis sker i massan. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

### 3.4 Resultat Stäketvägen

Provningsen utfördes i serier med 5 slumpmässigt utvalda provkroppar från varje klistersektion, och skjuvtestning utfördes med en belastningshastighet av 50 mm/min. Upplägget var att först prova borrhärdor med mycket klister (provkroppsnummer 1-55), sedan de med mindre klister (56-110), och slutligen provkroppar utan klister (111-165). Totalt provades 21 provkroppar med mycket klister, 19 med liten mängd klister, och 12 utan klister i gränssnittet. Anledningen till att färre provkroppar utan klister provades, var att deras diameter översteg ofta 152,5 mm vilket gjorde det besvärligt att få fast dem. Att diametern var större på en del borrhärdor beror troligtvis på att borren som användes blev mer och mer sliten i takt med antalet borrhärdor som borrats upp. Mycket tyder på att innerdiametern på borren blev större, då de flesta borrhärdor med nummer 120 och uppåt översteg 152 mm. Även några av borrhärdorna med lite klister hade en diameter som gjorde det svårt att fixera provkropparna i Leutner apparaten. I några serier var därmed provkropparna helt enkelt för stora (och/eller skeva) för att få fast i skjuvtestanordningen, eller så var de skadade och i för dåligt skick för att kunna provas. Det hade givetvis varit lämpligt att haft utbytbara skjuvringar under provningen, för att ha en större tolerans på borrhärdornas diameter.

Flera av provkropparna (8st) från den oklistrade ytan rasade isär i samband med borringen. De provkroppar som togs upp och skjuvtestades visade sig ändå ha likvärdiga skjuvspänningsvärden som de båda klistrade vägsektionerna. I figur 3-8 på sidan 21 visas en av de provkroppar som provades från den oklistrade vägsektionen. Ytan kan jämföras med provkroppen i figur 3-9, som är från den flödigt klistrade ytan.

Den första provserien bestod av 5 slumpmässigt utvalda provkroppar med mycket klister, och provningen varvades sedan med provkroppar från respektive provyta, och resultaten från provningen redovisas i tabell 3-1 nedan.

Skjuvtesterna som utfördes på labbet i Nynäshamn skiljde sig så till vida att de hade utbytbara skjuvringar, och därmed kunde passformen anpassas till skillnad från den provning som utfördes i Upplands-Väsby. Däremot utfördes provningen av Nynas AB utan den 5 mm marginal mellan skjuvringarna som CEN-metoden kräver. (se beskrivning i kapitel 2).

**Tabell 3-1** Den maximala skjuvspänningen,  $\tau_{max}$ , i provkroppar från Gamla Stäketvägen 2011

Klistermängd (BE50R)	Antal prover	Minsta Värdet $\tau_{max}$	Högsta värdet $\tau_{max}$	Medel-Värdet $\bar{\tau}_{max}$	Standard-avvikelse $S_{\tau_{max}}$	Variations-koefficient $S_{\tau_{max}}/\bar{\tau}_{max}$
Mycket klister NCC	21	0,23	0,90	0,42	0,14	33 %
Mycket klister Nynäs	10	0,40	0,84	0,57	0,16	28 %
Lite klister NCC	19	0,29	0,89	0,47	0,17	36 %
Lite klister Nynäs	10	0,30	0,85	0,50	0,18	36 %
Utan klister NCC	12	0,15	0,66	0,38	0,14	37 %
Utan klister Nynäs	10	0,29	0,87	0,56	0,20	36 %



**Figur 3-8** En typisk provkropp från den oklustrade ytan som genomgått ett skjuvtest. Den maximala skjuvspänningen i den här provkroppen uppgick till 0,40 Mpa. (Foto: Fredrik Elesand 2011)



**Figur 3-9** Typexempel på en provkropp från den sektion som klustrades flödigt efter utfört skjuvtest. Den maximala skjuvspänningen i den här provkroppen uppgick till 0,57 Mpa. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

För att kunna bedöma precisionen i provningen beräknas variationskoefficienten fram genom att ta standardavvikelsen delat med medelvärdet. Normalt kan en variationskoefficient på upp till 15 % ( $0,15\bar{\tau}$ ) vid laborietestning vara godtagbar, och i RILEMS studie (Piber m.fl 2009) redovisades en variationskoefficient på upp till 12 % för en helt homogen yta. I en annan nyligen utförd studie redovisade Mohammad m.fl. (2011) en variationskoefficient på mellan 7,2 % -14,2% med en för den studien utvecklad metod för skjuvtest, Louisiana Interlayer Shear Strength Tester (LISST).

I de tester som utförts på Stäketvägens provkroppar var delytan som klustrats sparsamt inte heltäckande, och täckningsgraden bedöms ha varit ungefär 50 %. Den flödigt klustrade ytan var heltäckande, men på bilderna syns det att det hade fastnat klister på däckan. De provkroppar som tagits där täckningsgraden varit sämre kan uppvisa avvikande resultat, men det var inte möjligt att avgöra var i varje vägsektion respektive provkropp tagits upp. Av

resultaten framgår det att repeterbarheten är över 15 %. Däremot är det en jämn variationskoefficient sett över hela provningen. Skjuvtesterna som har utförts på provkroppar med lite klister, respektive inget klister, ligger stadigt på 36-37 % både i NCCs respektive Nynas resultat. Där vi har mycket klister avviker variationskoefficienten något, men ligger runt 30 %. Detta kan tolkas som att det snarare är skillnader i provkropparna, än i själva testutförandet.

Den flödigt klistrade ytan såg homogen ut i klistringen, dock framgår det av bilderna av att det är hjulspår i klisterytan och det innebär att klistret till viss del fastnat på däck. Den sparsamt klistrade ytan var inte homogen och täckningsgraden uppskattas till ungefär 50 % (se figur 3-1 och 3-2 på sidan 15 respektive 16). I figur 3-10 nedan, visas en av de provkroppar som togs upp från vägsektionen med lite klister. Där är den cirkulära ytan täckt med 60-70 % klister, men skjuvspänningen var inte avvikande mot medelvärdet för provkropparna för varken den sparsamt klistrade ytan, eller den flödigt klistrade ytan.



**Figur 3-10** En av provkropparna som togs upp från den sparsamt klistrade ytan. Täckningsgraden blev långt ifrån 100 %, vilket tydligt framgår här. Dock var den maximala skjuvspänningen normal i förhållande till provkropparna som testades i den här studien. 0,47 Mpa, som kan jämföras med de värden som presenteras i Tabell 3-1.

Skillnaderna i skjuvspänning var inte så stora mellan de olika ytorna, och i de tester som Nynas utförde hade provkropparna utan klister medelvärdet 0,56 Mpa och de med mycket klister ett medelvärde på 0,57 (se tabell 3-1).

Klistret tilläts inte bryta före utläggning av asfaltmassa, vilket eventuellt kan påverka resultatet. Att skjuvspänningen varierar så kraftigt i de tester som utfördes på borrhörnorna från Gamla Stäketvägen, kan bero på flera faktorer:

- Att provkropparna inte togs upp systematiskt.
- Att provkropparnas diameter i många fall översteg 150 mm och fick tvingas fast i provningsutrustningen.
- Att provkropparna som togs upp var skeva i sin form, vilket betyder att gränssnittet är skevt och gör det svårt att få gränssnittet helt mellan båda skjuvringarna. Vilket ledde till att provningen inte gick att utföra korrekt.
- Att den befintliga, underliggande ytan vid Stäketvägen var ojämn och spårig
- Att klistret som användes inte har så bra vidhäftning som önskat.
- Att ytan inte rengjordes ordentligt före klistring, vilket kan göra att klistret inte fäster på grund av smuts och lösa partiklar.

## 3.5 Summering Stäketvägen

För att summera delprojektet vid Gamla Stäketvägen kan det konstateras att det var stora skillnader i skjuvspänningen inom varje provserie, det vill säga att repeterbarheten i de utförda testerna låg över  $0,15\bar{\tau}$ . Detta kan vara en effekt av att provytan och provkropparna helt enkelt inte var tillräckligt bra för att få homogena prover. Skall provkroppar tas upp i syfte att utvärdera en metod för vidhäftning mellan beläggningslager, eller klistereffekten efter utförd klistring, ställer det betydligt högre krav på utförande av provyta och borring.

## 4 Laboratorieprover Kärra 1

I det här kapitlet beskrivs den provning som har utförts på laboratorietillverkade provkroppar vid NCCs väglaboratorium i Göteborg. Syftet med den här provningen var att tillverka homogena provkroppar med dem emellan så identiska egenskaper som möjligt, och fastställa om det går att få en godtagbar precision i metoden. Till provkropparna användes tre olika typer av klistermaterial. Detta för att undersöka skillnader i klistereffekt mellan olika klister. Till provningen användes en bitumenemulsion, en tunnskiktsemulsion och ett polymermodifierat bitumen. En serie provkroppar tillverkades även utan klister för att kunna göra en jämförelse av klistermaterialens effekt.

Totalt tillverkades 20 provkroppar med en diameter på 150 mm, och med en lagertjocklek på ungefär 60 mm. Inför den här testningen hade utbytbara skjuvringar införskaffats, då det i metoden anges att skjuvringar med en motsvarande diameter på 151 mm skall användas för provkroppar med en diameter på 150 mm. Till den här provningen användes således skjuvringar med en diameter på 151 mm för att få en något lös passform runt provkropparna.

### 4.1 Provberedning

Framställningen av provkroppar gjordes genom gyratorisk packning, och varje provkropp packades i två omgångar. Först packades ett undre lager med asfaltmassa ABT16 med basbitumen 70/100, som sedan fick svalna i packformen i minst ett dygn. Sedan applicerades klister, efter uppvärmning, jämnt över den svala provkroppen med pensel. När klistret fått bryta (i de två fall där emulsion användes) fylldes formen med asfaltmassa och packades gyratoriskt på det klistrade, undre lagret. I figur 4-1 visas en serie där ett undre lager ABT16 har packats och klistrats, och den gyratoriska kompaktorn som användes vid tillverkning av provkropparna.

Totalt tillverkades tre serier med en typ av klistermaterial i varje, och en fjärde tillverkades helt utan klister. I tabell 4-1 nedan visas de inställningar som användes i samband med den gyratoriska packningen.

**Tabell 4-1** Information om den gyratoriska packningen

Packningsbelastning	Tillverknings-temperatur	Packnings-hastighet	Rotationsvinkel	Densitet
0,60 MPa	150 °C	30 varv/minut	1°	2150-2200 kg/m <sup>3</sup>





**Figur 4-1** Bilden till vänster visar fem provkroppar där ett lager ABT16 packats gyrotoriskt, och där ett lager klister applicerats. Efter att emulsionen fått bryta packades ännu ett lager ABT16 på detta. Bilden till höger visar den gyrotoriska kompaktorn som användes vid tillverkningen av provkropparna i Kärra. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

Provkropparna packades och efter kontrollmätning var varje provkropp 150 mm i diameter, och ca 50 mm i tjocklek. Det som inte var helt optimalt var att det inte gick att urskilja ett tydligt gränssnitt i provkropparna, och detta beroende på att det var samma typ av asfaltmassa i båda lagren. Det hade varit smidigare med en ABT16 i botten, och exempelvis en ABT8 som topp. Här visade sig marginalen på 5 mm vara tacksam, då lagertjockleken inte varierade mer än maximalt 0,5 mm upp eller ner. Det gick således att mäta sig fram till gränssnittet, och risken att gränssnittet inte skulle hamna mellan skjuvringarna vid testning vara minimal.

Mängden klister som applicerades var motsvarande den rekommenderade maximala mängd för bitumenemulsion på 0,5 kg/m<sup>2</sup> som finns angiven i VVAMA (2010). Detta motsvarar en mängd restbitumen på 0,25 kg/m<sup>2</sup> för BE50R som består av ungefär 50 % vatten. BETS består i sin tur av drygt 30 % vatten, och för att få en motsvarande mängd restbitumen på 0,25 kg/m<sup>2</sup> applicerades 0,36 kg/m<sup>2</sup> BETS. Nypol 40/100 -75 applicerades med en mängd på 0,25 kg/m<sup>2</sup> då det inte var någon emulsion. I tabell 4-2 nedan sammanfattas de klistermaterial som användes, samt vilket mängd klister som applicerades.

**Tabell 4-2** De klistermaterial som användes till de laborietillverkade provkropparna i Kärra, och beräknad klistermängd som applicerades. Mängden motsvarar en rest bitumenhalt på 0,25 kg/ m<sup>2</sup>

	Klistermaterial	Klistermängd (kg/m <sup>2</sup> .)	Applicerad mängd på provkropp (g)	Temperatur på klistret vid klistring
Serie 1	BE50R	0,50	8,8	70-90
Serie 2	BETS	0,36	7,3	70-90
Serie 3	Nypol 40/100 -75	0,25	4,3	140-150
Serie 4	Inget klister	0	0	

BE50R och BETS gick att applicera utan större problem, men den senare innehåller latex och en mindre mängd vatten, vilket gjorde att den var mer svårhanterlig. Mängden korrigerades genom att avlägsna överflödigt mängd klister med hjälp av en trasa. Nypolen var besvärligare

att pensla på, då den inte innehåller vatten alls. Den första provkroppen fick en för hög mängd klister, då det upptäcktes att när den väl applicerats gick det inte att reducera mängden. Den var mycket klubbig och i den bemärkelsen svårhanterlig. Nypolens egenskaper var märkbart mer elastisk och då den inte innehåller vatten var det i princip omöjligt att få en lika homogent klistrad yta som med de båda emulsionerna. Dessutom var det förhållandevis höga ythålrum i provkropparna, och med den skrovliga yta i den massan (se figur 4-2 nedan) som användes är det svårare att stryka på ett jämnt lager Nypol med mängden 0,25 kg/m<sup>2</sup>.



**Figur 4-2** provkropparna som klistrades i den här testomgången hade en förhållandevis skrovlig gränssnittsytta. (Foto: Fredrik Elesand 2011)

För att förenkla detta kan en idé vara att använda exempelvis en gasvärmare, men helst borde givetvis en polymermodifierad emulsion användas för att kunna stryka ut ett jämnt lager över ytan som skall klistras.

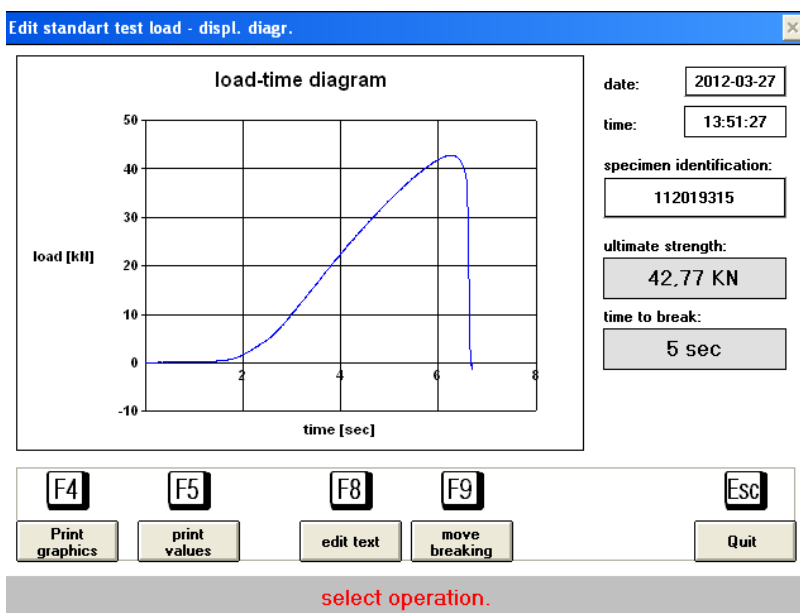
## 4.2 Provning

Provningen utfördes med samma skjuvtestanordning som användes på NCCs laboratorium i Upplands Väsby. Skjuvtestapparaten placerades i en testmaskin som klarar en max belastning på 50 kN (se figur 4-3 på nästa sida), och i det program som tillhör utrustningen redovisas resultatet i en graf där kraften och tiden anges (se figur 4-4). Tiden har ingen betydelse för just de här skjuvtesterna, men programmet var förinställt så. Provkropparna utsattes som i de tidigare testerna för en belastningshastighet av 50 mm/min, och tempererades till 20 °C i minst ett dygn före provning.

Med de provkroppar som tillverkades i laboratoriemiljö, samt att skjuvringar av olika diameter fanns att tillgå, blev både provning och repeterbarheten i testerna betydligt mer tillfredställande än i de föregående fälttesterna. Skjuvspänningsvärdena i testerna ligger betydligt högre än tidigare, men det är föga förvånande då tillverkningen av provkroppar och klistringen går att kontrollera på ett helt annat sätt än i fält. De värdenivåer i skjuvspänning som fås i de här testerna är inte representativa för en beläggning i fält, och en jämförelse med tidigare provning är inte relevant. I de här testerna kan damm och smuts på de klistrade ytorna helt uteslutas, vilket givetvis påverkar skjuvspänningsvärdet i positiv riktning. Primärt var i de här testerna precisionen (repeaterbarheten) av intresse, och vilka skillnader i skjuvspänning som kan påvisas mellan de olika klistermaterialen.



**Figur 4-3** Leutnerapparaten monterad med en provkropp i den testmaskin som användes vid NCCs laboratorium i Göteborg. (Foto: Fredrik Elesand 2011)



**Figur 4-4** Skärmdump på den mjukvara som används till testmaskinen i NCCs våglaboratorium i Kärra där kraften redovisas i en graf. Brottkraften i det här exemplet uppgick till 42,77 kN och skjuvspänningen räknas sedan ut mot arean av gränssnittsytan i provkroppen. I det här fallet blir skjuvspänningen 2,42 Mpa för en provkropp med diametern 150 mm.

Resultaten från skjuvtesterna framgår av tabell 4-3 på nästa sida, där varje serie består av fem provkroppar och skjuvspänningen i varje provkropp redovisas samt medelvärde, standardavvikelse och repeterbarheten i varje serie. Som synes är repeterbarheten betydligt bättre än i de tidigare testerna, och för tre av serierna ligger variationskoefficienten på ner till 7 %. För serien med BE50R hamnar repeterbarheten på 13 %, som kan anses vara godtagbart. Med rätt provberedning, och med rätt förutsättningar med exempelvis utbytbara skjuvringar pekar resultaten på en vettig precision i metoden.

**Tabell 4-3** Resultat från utförda skjuvtester med provkroppar bestående av ABT16 i båda lagren, och som packats gyratoriskt i laboratorium. Klistret applicerades i de här försöken på osågade ytor.

Klister	Skjuvspänning (MPa) $\tau_{max}$	Medelvärde (MPa) $\bar{\tau}_{max}$	Standard- avvikelse $S_{max}$	Variations- koefficient $S_{\tau_{max}}/\bar{\tau}_{max}$
BE50R	1,37	1,54	0,20	13,0 %
	1,54			
	1,37			
	1,58			
	1,84			
BETS	1,97	1,89	0,14	7,4 %
	1,90			
	2,03			
	1,66			
	1,91			
Nypol 40/100-75	1,95	1,98	0,14	7,0 %
	2,08			
	2,05			
	1,76			
	2,07			
Klisterfritt	1,82	1,93	0,14	7,2 %
	1,98			
	1,79			
	2,13			
	1,95			

Om en jämförelse görs mellan de klistermaterial som användes här, så uppvisar det polymermodifierade bitumenet högst maximal skjuvspänning. Anmärkningsvärt var också att lagren inte gick att dela på efter brott, då det polymermodifierade klistermaterialet höll ihop provkroppen även efter att brott inträffat. Det var tydligt att dess elastiska egenskaper påverkade vidhäftningen. I alla andra skjuvtester är provkropparna helt delade i gränssnittet efter utförd provning.

Anmärkningsvärt är också att den klisterfria serien har högre skjuvspänning än alla serier förutom den serie där Nypol 40/100 -75 användes som klistermaterial. Efter kontroll gick inte att se några tydliga skillnader i tillverkningsprocessen, eller i utförandet av skjuvtesterna. En teori kan vara att emulsionsmängden går ner i ythållrummen av det undre lagret vid klistring, men det bör inte påverka i så stor grad att skillnaden blir så markant mellan BE50R och en oklistrad yta. Dessutom går det övre lagrets massa ner i det undre lagrets ythållrum i samband med packning. Skjuvspänningen mellan en klistrad provkropp och en oklistrad provkropp borde rimligtvis ligga på åtminstone samma nivå. Det skall påpekas att de här testerna utfördes i liten skala, och med en typ av asfaltmassa. Detta kan dock vara ett tecken på att ett klister inte har samma effekt på en skrovlig yta där asfaltmassan har ett förhållandevis stort ythållrum, jämfört med en tätare massa och en jämnare yta.

## 4.3 Summering Kärra 1

Utrustningen fungerade relativt väl och värdena för repeterbarhet och variationskoefficient visar betydligt större säkerhet än vid fältprovningen. Klistringen utfördes på laboratorietillverkade provkroppar med skrovliga ytor (osågade), och i den här studien hade de klister som var polymermodifierade bättre maximal skjuvspänning än den icke-

polymermodifierade BE50R. De provkroppar som tillverkades helt utan klister hade högre skjuvspänningsvärden än BE50R, och resultaten låg på ungefär samma nivå som BETS.

## 5 Laboratorieprover Kärra 2

Efter att ha utfört provning på förhållandevis skrovliga och osågade ytor, gjordes ytterligare tre serier med provkroppar där klister applicerades på sågade ytor (se exempel i figur 5-1 nedan). Detta för att få en mindre påverkan av friktion från massan jämfört med en provkropp som efter gyratorisk packning fått en skrovlig yta (se kapitel 4). I fält är ofta de ytor som klistras slitna och polerade, och därigenom sker klistringen i de flesta fall på släta ytor (såvida det inte handlar om exempelvis frästa ytor).

Samma typ av asfaltmassa användes som i föregående kapitelns provkroppar, det vill säga en ABT16 med basbitumen 70/100. Som klister användes BE50R, och en nyutvecklad polymermodifierad emulsion från Nynas AB. Den information som givits angående klistret var att det är en polymermodifierad emulsion, med arbetsnamnet x, och som innehåller 30 % vatten. Målet var också att en serie provkroppar med BETS skulle tillverkas, men det gick inte att få tag på BETS vid tidpunkten när provkropparna tillverkades (februari och mars 2012). En serie tillverkades även utan klister för att användas som en referens i provningen, och för att jämföras mot skjuvspänningsvärdena i de klistrade provkropparna.



**Figur 5-1** Till den andra testomgången i Kärra tillverkades provkroppar med samma typ av asfaltmassa som i den första (ABT16 70/100). Skillnaden var att den här gången utfördes klistringen på sågade ytor, varvid asfaltmassa packades gyratoriskt ovanpå detta. (Foto: Fredrik Elesand 2012)

### 5.1 Provberedning

Asfaltmassan värmdes först upp till 150° C, och ca 4 kg fylldes i gyratoriska formar med en innerdiameter på 150 mm. Asfaltmassan packades sedan gyratoriskt, på samma sätt som i föregående kapitel, till provkroppar med en diameter på 150 mm och en tjocklek på 100 mm. Efter ungefär 45 minuter pressades de tillverkade provkropparna ur formarna, som därefter lagrades i 7 dagar. Därefter sågades provkropparna i två delar, där varje ny provkropp bildade en 50 mm tjock botten som sedan klistrades och slutligen packades med ännu ett 50 mm tjockt lager med asfaltmassa.

För att kunna klistra och sedan packa ett ovanliggande lager med asfaltmassa på den undre sågade provkroppen, värmdes en gyrokompform upp något och provkroppen kunde sedan tryckas ner i formen igen. Formens värmdes upp för att få den att expandera något så att den kalla, färdigtillverkade provkroppen kunde placeras i botten på formen igen.

Klistret levererades i 1 liters burkar, och värmdes upp till 90 °C innan det applicerades med pensel direkt på det undre lagrets sågade yta. Temperaturen sjönk något i takt med att provkropparna klistrades, men den understeg aldrig 80 °C under appliceringen av klister. Ytan som klistrades rengjordes genom att den spolades av och fick torka i samband att den sågades till. Den klistrade ytan får därigenom anses ha varit fri från smuts före klistring. Mängden klister som användes motsvarade 0,25 kg/m<sup>2</sup>, och den mängd emulsion som applicerades visas i Tabell 5-1 nedan.

Klistret fick sedan bryta tills allt vatten var synligt avdunstat, vilket är enkelt att avgöra då färgen på klistret gått från brunt till svart. Brytningstiden i rumstemperatur (ca 20 °C) för BE50R var ca 45 minuter, och den polymermodifierade emulsionen som av Nynäs AB var märkt med x bröt på ca 30 minuter.

När klistret fått bryta på den undre och sågade provkroppen, fylldes formen med ungefär 2 kg varm asfaltmassa. Därefter gjordes återigen en gyratorisk packning, och efter att provkroppen tagits ur formen fick den stå i ytterligare en vecka innan skjuvtesterna utfördes. Precis som den första provomgången i Kärra packades provkropparna i 140 gyrationer.

**Tabell 5-1** Den emulsionsmängd som användes motsvarar en mängd restbitumen på 0,25 kg/m<sup>2</sup>.

	Klistermaterial	Vattenmängd	Klistermängd (kg/m <sup>2</sup> )	Applicerad mängd på provkropp (g)	Temperatur på klister vid klistring (° C)
Serie 1	BE50R	50 %	0,50	8,8	80-90
Serie 2	BE - "X"	30 %	0,36	7,3	80-90
Serie 3	Inget klister	-	-	-	-

Provkropparna tillverkades i serier om sex i varje, där den första serien bestod av BE50R och den andra bestod av en polymermodifierad emulsion märkt med x som är under utveckling av Nynäs AB. Tre provkroppar med BE50R, och tre med x skickades till VTI för att användas till framtida dragtester och tre från varje serie användes till att utföra skjuvtester på NCCs laboratorium i Kärra, Göteborg. Tre provkroppar tillverkades även utan klister i syfte att användas till skjuvtesterna.

## 5.2 Provning

Efter att provkropparna fått mogna i totalt 14 dagar utfördes skjuvtester på totalt 9 provkroppar. Gränssnittet mellan de båda lagren i provkroppen var förhållandevis enkelt att se tack vare den undre sågade ytan som klistrats, och sedan packats med varm asfaltmassa. Gränssnittet märktes som i de tidigare skjuvtesterna upp med guldfärg, varvid provkroppen sedan med noggrannhet placerades så att gränssnittet hamnade mellan skjuvtestapparatens båda skjuvringar. Skjuvringar med en diameter på 151 mm användes, och provkropparna kunde fixeras i apparaten utan anmärkning. Den maximala skjuvspänningen för den första, andra och tredje provkroppen blev 1,78, 1,71 respektive 1,75 MPa. Med en standardavvikelse på 0,03 och ett medelvärde på 1,75 blev variationskoefficienten för provkropparna med BE50R låga 1,9 %. I samband med en kontroll av brottytorna fanns till synes inga tecken på annat än att brottet skett i själva gränssnittet.

De provkroppar där det polymermodiferade klistret användes i gränssnittet, blev resultaten högre än för BE50R. Medelvärdet för skjuvspänningen hamnade på 2,17 Mpa och standardavvikelsen i de tre utförda skjuvtesten blev 0,06. Detta ger en variationskoefficient på 2,7 %.

Slutligen provades de tre provkroppar som tillverkats helt utan klister i gränssnittet. När den första provkroppen skjuvtestades så small det till något i samband med brottet. Provkroppen uppvisade en maximal skjuvspänning på 2,23 MPa, vilket är något högre än de tidigare 6 provkropparna med klister. Vid en kontroll fanns inga tecken på att den tillförda kraften delvis har gått ner i asfaltmassan, och brottet tycks ha gått i gränssnittet. Även den andra och den tredje provkroppen gav ifrån sig ett ljud i form av en liten smäll i samband med att skjuvningen fullbordades. Medelvärdet för de tre provkropparna som tillverkats utan klister hamnade på 2,41 MPa. Standardavvikelsen hamnade på 0,19, och detta dividerat med medelvärdet ger en variationskoefficient på knappt 8 %. Precisionen i skjuvtesterna tycks vara bra, men det skall påpekas att det var bara 3 provkroppar i varje serie som provades i den här testomgången.

De laboratorietillverkade provkropparna som testades här uppvisade överlag ett förhållandevis högt skjuvspänningsvärde, och för de provkroppar som testades i den här serien uppvisade de oklistrade provkropparna högst skjuvspänning, och BE50R lägst skjuvspänning. Resultaten för skjuvtesterna som utfördes i den här testomgången sammanfattas i tabell 5-2.

**Tabell 5-2** Resultaten från de utförda skjuvtesterna i den andra testomgången i Kärra, där klister applicerats på en sågad yta och ett övre lager med ABT16 packats på detta.

Klister	Skjuvspänning (MPa) $\tau_{max}$	Medelvärde (MPa) $\bar{\tau}_{max}$	Standard- avvikelse $S_{max}$	Variations- koefficient $S_{\tau_{max}}/\bar{\tau}_{max}$
BE50R	1,78 1,71 1,75	1,75	0,03	0,019
X	2,14 2,14 2,24	2,17	0,06	0,027
Klisterfritt	2,23 2,60 2,42	2,41	0,19	0,077

Ett exempel på hur gränssnittsytorna kan se ut efter provning visas i figur 5-2 på nästa sida, där de tre provkroppar som klistrats med "x" genomgått skjuvtest. I figur 5-3 visas ett nyligen utfört skjuvtest på en provkropp där inget klister har använts mellan beläggningsslagen.



**Figur 5-2** Provkropparna som klustrades med produkten "x". Här upplagda efter utförda skjuvtester. (Foto: Fredrik Elesand 2012)



**Figur 5-3** En av de provkroppar utan klister som skjuvtestades i Kärra. På bilden syns det undre sågade lagret i provkroppen, och delar av asfaltmassa som är kvar från det övre lagret efter utförd skjuvtest. Just den här provkroppen uppvisade näst högst skjuvspänning av alla provkroppar som testades i den här studien, 2,42 Mpa. (Foto: Fredrik Elesand 2012)



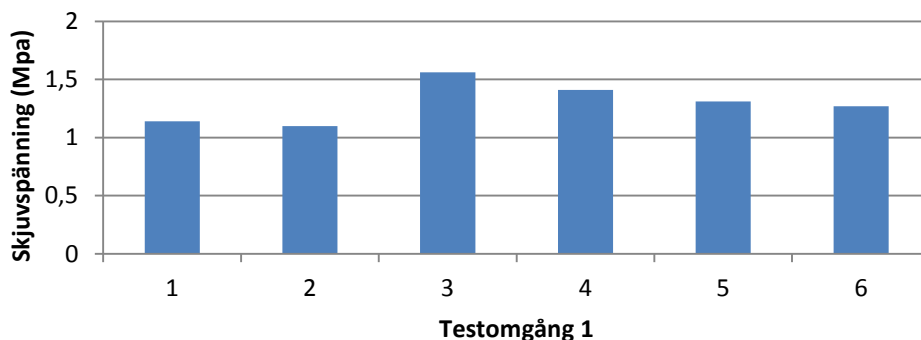
## 5.3 Summering Kärra 2

Provningsmetoden fungerade bra och standardavvikelser och variationskoefficienter ligger på bättre nivåer än vid fältprovningen och Kärra 1. Provkropparna tillverkades i laboratoriemiljö, och ytorna som klistrades i det här testet var sågade. De oklistrade provkropparna uppvisade högst maximal skjuvspänning, följt av den polymermodifierade emulsionen. BE50R uppvisade lägst testvärden.

## 6 Resultat

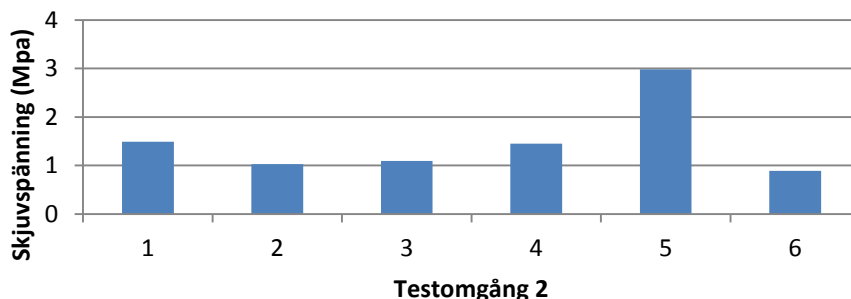
För att på ett överskådligt sätt redovisa resultaten från de skjuvtester som utförts i den här studien, så presenteras i det här kapitlet en grafisk sammanfattning på den maximala skjuvspänningen i de provkroppar som testades. Varje delprovning presenteras i ett stapeldiagram, med kortfattade beskrivningar.

### Inledande provning - Upplands väsby



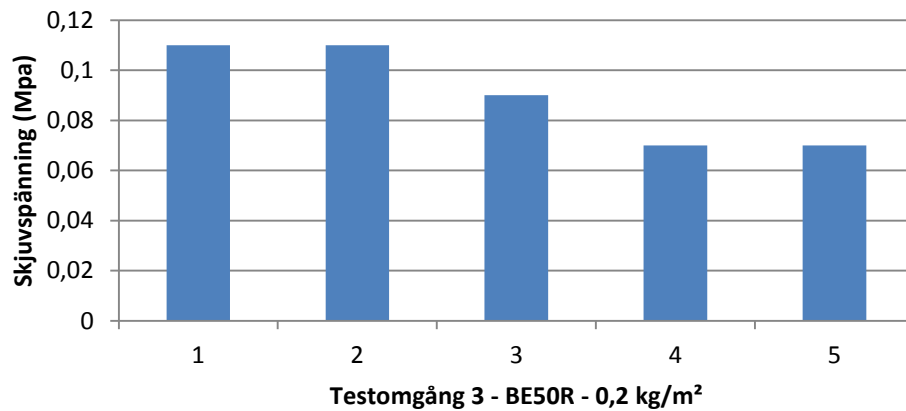
**Figur 6-1** Den här studiens första testomgång med fältprover uppvisade en variationskoefficient på 0,13 (13 %) Medelvärde för den maximala skjuvspänningen hamnade på 1,30 Mpa.

### Inledande provning - Upplands Väsbby



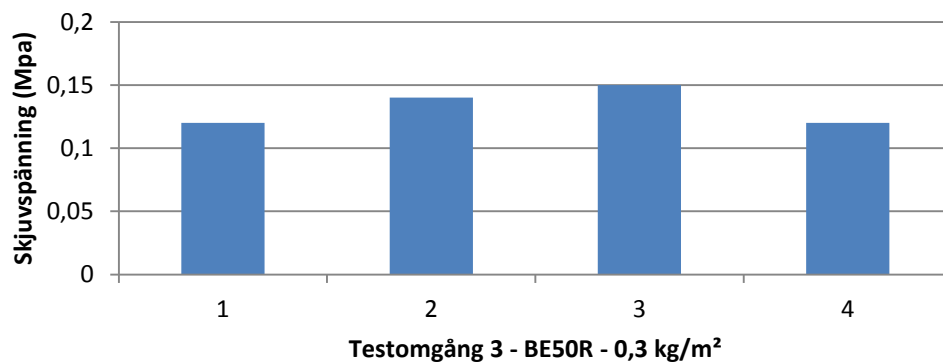
**Figur 6-2** Resultat från de skjuvtester som utfördes på provkroppar som tagits från en vägsektion i Gävle. Medelvärde för skjuvspänning var här 1,49 Mpa, och variationskoefficienten 0,52. Utesluts den avvikande provkroppen (5) fås ett medelvärde på 1,19 och en variationskoefficient på 0,22 för provkropp 1,2,3,4 och 6.

## Inledande provning - Upplands väsby



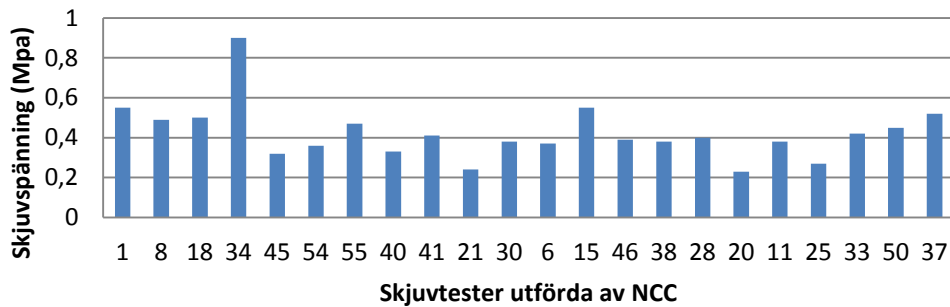
**Figur 6-3** I den tredje testomgången klistrades två sågade ytor ihop, och provkropparna fick betydligt lägre maximal skjuvspänning än i de föregående testomgångarna. Medelvärdet för provkroppar som klistrats med 0,2 kg/m<sup>2</sup> BE50R uppvisade ett medelvärde på 0,09 Mpa, och en variationskoefficient på 0,22.

## Inledande provning - Upplands Väsby



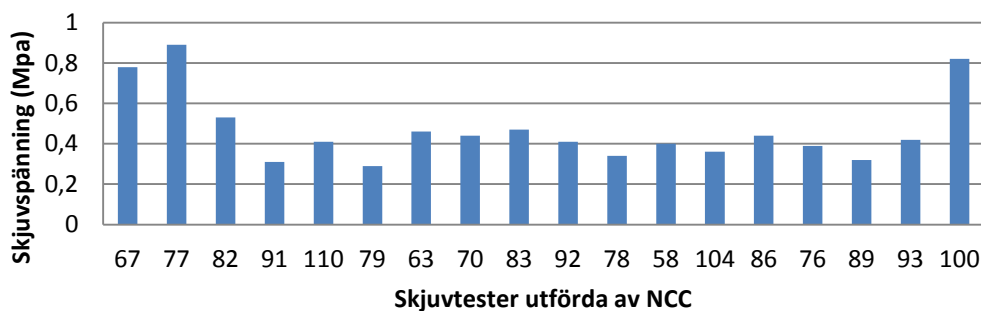
**Figur 6-4** Medelvärdet för provkroppar med sågade ytor som klistrats med 0,3 kg/m<sup>2</sup> BE50R blev 0,13 Mpa, och variationskoefficienten 0,17.

## Fältprover Stäketvägen - BE50R (Flödigt)



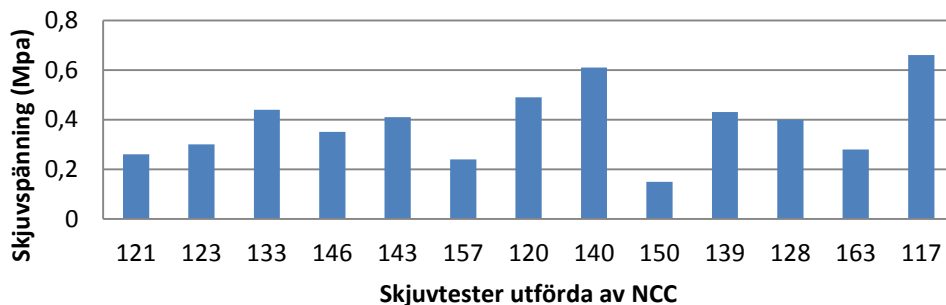
**Figur 6-5** Den maximala skjuvspänningen för 22 provkroppar från (gamla) Stäketvägen som klistrats med mycket klister. Provningsen utfördes i augusti 2011 på NCCs väglaboratorium i Upplands-Väsby. Medelvärdet är 0,42 Mpa och den skattade repeterbarheten 0,33 $\bar{\tau}$ .

## Fältprover Stäketvägen - BE50R (sparsamt)



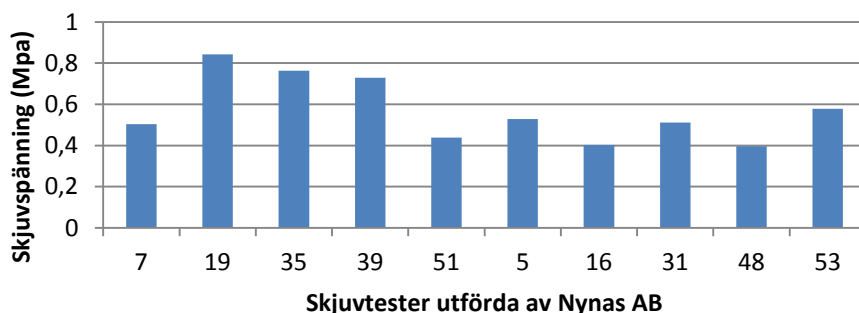
**Figur 6-6** 18 provkroppar från vägsektionen med lite klister skjuvtestades av NCC, och medelvärdet för den maximala skjuvspänningen blev 0,47Mpa. Den skattade repeterbarheten hamnar på 0,36 $\bar{\tau}$ .

## Fältprover Stäketvägen - Klisterfritt



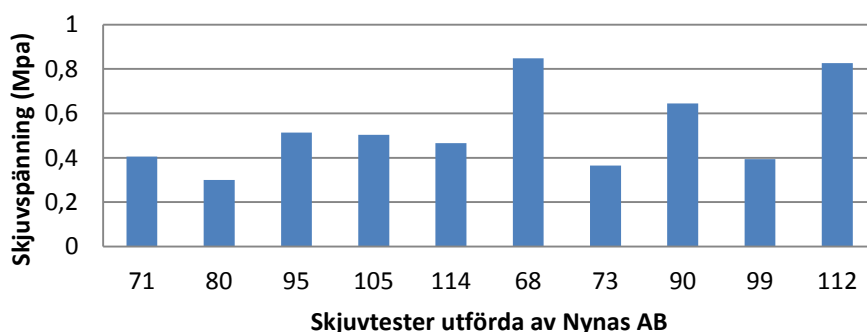
**Figur 6-7** 13 provkroppar testades av NCC från den klisterfria vägsektionen. Medelvärdet för den maximala skjuvspänningen blev 0,38 Mpa, och den skattade repeterbarheten 0,37 $\bar{\tau}$ . Flertalet av de provkroppar som skulle testas var för stora, och kunde helt enkelt inte monteras och testades i skjuvtestanordningen.

## Fältprover Stäketvägen - BE50R (Flödigt)



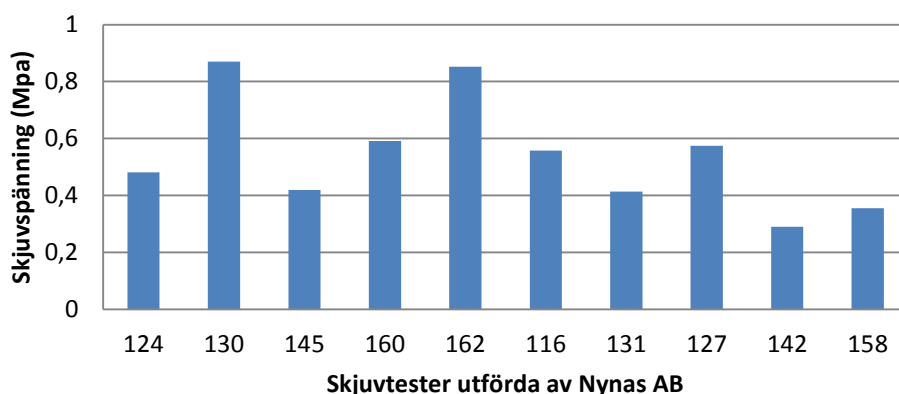
**Figur 6-8** 10 provkroppar från Stäketvägen med mycket klister testades i Nynäshamn, och medelvärdet för den maximala skjuvspänningen blev 0,57 Mpa. Den skattade repeterbarheten är här 0,28 $\bar{\tau}$ . Provkropp 16 hade en diameter på 155 mm, vilket gjorde det svårt att få den att passa i provriggen.

## Fältprover Stäketvägen - BE50R (Sparsamt)



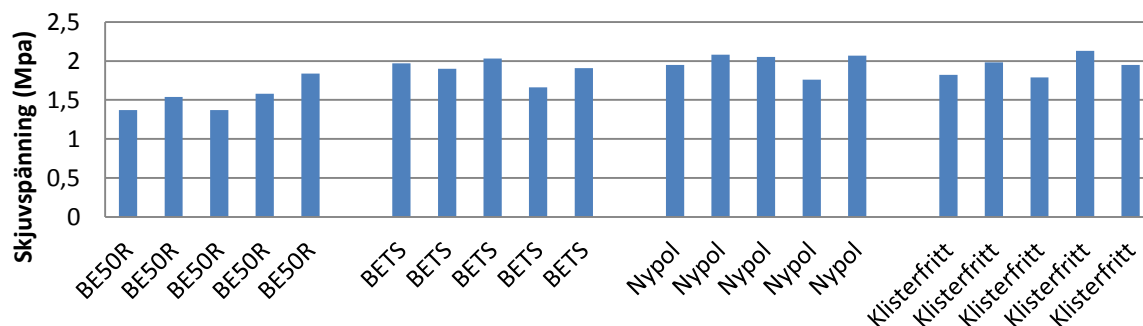
**Figur 6-9** Resultaten från de 10 provkroppar med lite klister som testades i Nynäshamn. Provkropp nr 80 hade en väldigt sandig fogyta, och det undre lagret var sprucket och föll i två delar vid provning. Medelvärdet för den maximala skjuvspänningen för de 10 provkropparna blev 0,50 Mpa, och den skattade repeterbarheten 0,36 $\bar{\tau}$ .

## Fältprover Stäketvägen - Klisterfritt



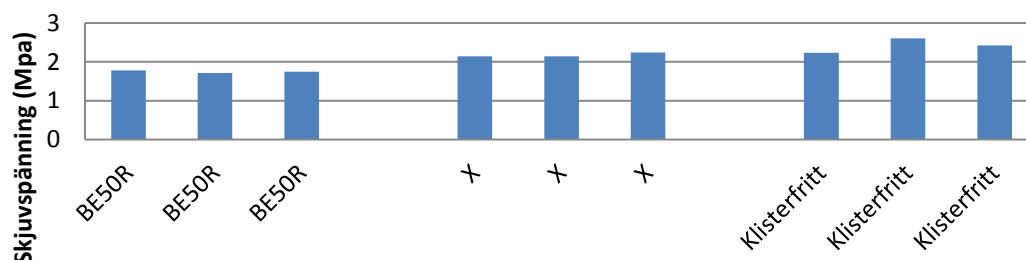
**Figur 6-10** Medelvärdet för de 10 klisterfria provkropparna som testades i Nynäshamn blev 0,56 MPa, och den skattade repeterbarheten 0,36 $\bar{\tau}$ .

## Skjuvtest på laborietillverkade provkroppar - Kärra 1



**Figur 6-11** Sammanfattning av de första laborietillverkade provkropparna som skjuvtestades på NCCs väglaboratorium i Kärra, Göteborg. Generellt sett högre, och tätare spridning på resultaten här än i de tidigare utförda skjuvtesten. Den skattade repeterbarheten ligger här på  $0,07\bar{\tau}$  -  $0,17\bar{\tau}$ .

## Skjuvtest på laborietillverkade provkroppar - Kärra 2



**Figur 6-12** Resultaten från den sista provomgången i Kärra med laborietillverkade provkroppar. Generellt sett höga värden jämfört med den inledande testningen i Upplands-Väsby och provkropparna från Stäketvägen. Anmärkningsvärt är att de klisterfria provkropparna har högst maximal skjuvspänning. Den skattade repeterbarheten låg här på ungefär  $0,02\bar{\tau}$  -  $0,08\bar{\tau}$  för tre provkroppar.

## 7 Diskussion och slutsats

Målet med den här studien var i första hand att utvärdera det modifierade Leutnertestet, och göra en bedömning på hur metoden fungerar rent praktiskt. Utvärderingen har skett genom att för projektet införskaffa en Leutnerapparat för skjuvtest, och modifiera utrustningen enligt CENs föreskrifter för metoden. Skjuvanordningen får anses vara lätthanterlig, och kan användas i en vanlig universal testmaskin. Utförandet är i sig enkel och praktisk, och det är snarare kvalitén på provkropparna som påverkar precisionen än själva provningsförfarandet. Provkropparnas beläggninglager bör ha en tjocklek på minst 40 mm för att de ska kunna monteras och fixeras på ett bra sätt i apparaten. Slitlagret som skall skjuvas under den främre skjuvringen kan ha en tjocklek på ner till 30 mm. Är lagret tunnare, blir provberedningen opraktisk då en förlängningsplatta i metall måste användas (vilket ej har testats i den här studien). Provkropparna skall ha en diameter som är 1 mm mindre än skjuvringarnas diameter, det vill säga att för en provkropp med en diameter på 150 mm skall skjuvringar med

en diameter på 151 mm användas. Är provkroppens diameter för stor i förhållande till utrustningen leder detta till att provningen inte kan utföras på ett korrekt sätt.

Den kravnivå som är satt i den *schweiziska standarden* för skjuvtest, Schweizer Norm SN 670461. (2000), med en brottkraft på 15 kN få anses vara en rimlig lägsta nivå. Det motsvarar en maximal skjuvspänning på 0,85 MPa för en provkropp med en diameter på 150 mm. Medelvärdet i proverna från Gamla Stäketvägen ligger på 0,38 – 0,57 MPa och klistringen som utfördes där kan inte anses som optimal. De prover som tillverkades i laboratorium under kontrollerade former låg på mellan 1,54 och 2,14 MPa i medelvärde. De värdena är inte rimliga att kräva för provkroppar tagna i fält, men resultaten tyder på att det kan vara *rimligt att kräva minst 0,85 MPa i maximal skjuvspänning*.

De tester som utfördes på provkropparna från Gamla Stäketvägen var i sig inget framsteg resultatmässigt, men det stora antalet utförda skjuvtester gav en mycket god förståelse för utförandet i metoden. Det framgick tydligt hur viktigt det är att borrkärnorna har de dimensioner som är angivna för metoden. Precisionen i resultaten från NCC:s väglaboratorium, överensstämmer relativt bra med resultaten från Nynas AB. Att variationskoefficienten i den maximala skjuvspänningen är hög för samtliga vägsektioner från Stäketvägen, kan bland annat bero på provberedningen eller att klistret inte har gett den klistereffekt som förväntas.

*Den första provomgången vid laboratoriet i Kärra* får anses som ett stort steg i rätt riktning med tanke på att medelvärdet för *reperterbarheten i metoden hamande på 8,65 %*. Detta visar på en bra precision i metoden, och att det snarare är kvaliteten på provkropparna som är av betydelse för utfallet. Den *andra testomgången i Kärra, där provkroppar med sågade ytor* användes, visade sig *precisionen vara ännu bättre*. Detta torde bero på att det var betydligt enklare att applicera klistret jämnt på de sågade ytorna jämfört med de provkroppar som hade skrovliga ytor. I figur 7-1 visas dels en provkropp med skrovlig yta (Kapitel 4), och en provkropp med sågad yta (Kapitel 5) Det var dock endast tre provkroppar som testades i den andra testomgången i Kärra, vilket minskar sannolikheten för att få ett avvikande värde jämfört med de tidigare utförda skjuvtesterna.



**Figur 7-1** Provkroppen till vänster hör till den första testomgången i Kärra, och den högra provkroppen med en sågad yta hör till den andra testomgången. (Foto: Fredrik Elesand 2012)

## 7.1 Andra provmetoder

Som en del i arbetet har kontakt tagits med två forskarteam i USA, där andra provmetoder än det modifierade Leutnertestet nyligen har använts. Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI tillverkade på uppdrag av Projekt Limning en prototyp enligt den metod som har beskrivits i en rapport från 2011 (Hakimzadeh m.fl) kallad *fracture energy based interface bond test (IBT)*. Metoden är ett slags dragtest, och efter inledande testning drogs slutsatsen att metoden och provberedningen var opraktisk. Förutom att såga till provkropparna, krävs att plattor limmas på undersidan och översidan av den sågade provkroppen (se figur 7-2). På VTI gjordes plattor i metall istället för trä. I figur 7-3 visas den rigg som togs fram som en provtagningsvariant av *ASTM D7313* (2011), samt de provkroppar och plattor som användes till provningen som utfördes av VTI i Linköping.

Metoden kan vara användbar i forskningssyfte, men referensgruppen i projekt limning anser inte att metoden i dagsläget är lämplig till att användas som ett kvalitetstest.



**Figur 7-2** Fracture energy based interface bond test (IBT), är en typ av dragtest som testades vid VTI. På bilden syns en preparerad provkropp före, under och efter utförd testning. Det framgick tidigt i provningen att metoden, och provberedningen får anses vara besvärlig och opraktisk (Hakimzadeh m.fl. 2011).



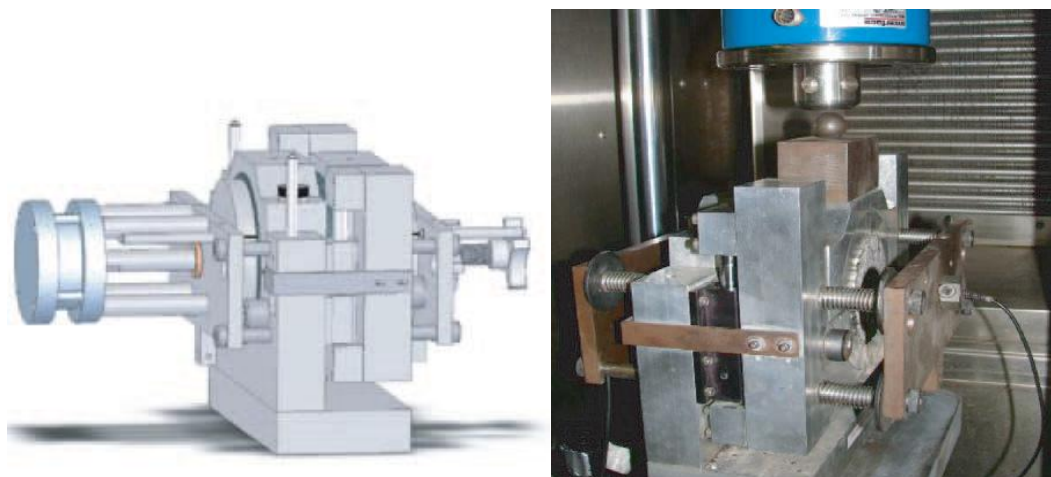
**Figur 7-3** På VTI tillverkades en prototyp enligt den amerikanska metod (ASTM D7313) som beskrivs i figur 7-2 (Foto: VTI 2012).



**Figur 7-4** En 150 mm provkropp sågas till med dimensionerna 130x85x38 mm, med ett snitt som går 50 mm in i provkroppen. Därefter limmas plattor på provkroppen som behövs för att montera provkroppen i testriggen. (Foto: VTI 2012)

Mohammad m.fl. har nyligen publicerat en rapport (2012) där en metod för skjuvtest och en metod för dragtest har använts och utvärderats. Projekt limning deltog i början av 2012 i ett webinar (online-seminarium) som anordnades av Transportation Research Board, TRB där forskningen i den studien presenterades. Förutom forskning och utveckling av två testmetoder lades stor vikt i den att diskutera klistermaterial, utrustning och förfarandet i samband med utläggning av klister. Den metod för skjuvtest som presenterades i den studien kallas *the Louisiana Interlayer Shear Strength Tester (LISST)*, och användes till att bestämma skjuvspänningen i gränssnittet mellan två beläggningslager (se figur 7-5). Resultaten visade en variationskoefficient som för alla serier låg på under 10 %. Dragtestet, *the Louisiana Tack Coat Quality Tester (LTCQT)* användes i syfte att utvärdera klistereffekten i olika klistermaterial. Variationskoefficienten för de tester som utfördes med dragtestutrustningen blev 11 %, och det ansågs av forskarna visa en godtagbar precision i metoden.

Någon fördjupning i den studien har inte gjorts i samband med den här delrapporten, då bedömningen är att det för dagen inte finns något värde i att använda ytterligare en variant av skjuvtest. De resultat som fått med Leutner apparaten i projekt limning uppvisar en precision som är tillfredställande.



**Figur 7-5** Illustration på den skjuvtestapparatur som användes i en större amerikansk studie som presenterades i april 2012 (Mohammad m.fl., 2012)



## 7.2 Slutsats

Baserat på de resultat och erfarenheter som erhållits från den här studien kan följande slutsatser dras:

- Precisionen i metoden är bra, sett till de provningar som utfördes på laboratorietillverkade provkroppar.
- Inga kravnivåer för brottkraft eller skjuvspänning kan bestämmas genom den provning som utförts i den här studien, dock kan det värde som anges i den Schweiziska standarden på motsvarande 0,85 MPa i skjuvspänning anses vara en rimlig lägsta nivå.
- Laboratorietillverkade provkroppar uppvisar en betydligt högre skjuvspänning än borrhärdar som är tagna i fält.
- BETS och NYPOL hade betydligt bättre vidhäftning än BE50R i de laboratorietillverkade provkropparna.
- De provkroppar som tillverkades i laboratoriet i Kärra utan klister uppvisade förvånansvärt höga skjuvspänningsvärden.
- BE50R verkar inte märkbart påverka vidhäftningen mellan två beläggningslager jämfört med ett gränssnitt helt utan klister. De laboratorietillverkade provkroppar från Kärra där BE50R användes, gav lägst maximal skjuvspänning. Likaså var det i princip samma skjuvspänningsvärden i de med BE50R klistrade borrhärdarna som de oklistrade borrhärdarna från Gamla Stäketvägen.

## 8 Rekommendationer

Skall klistereffekten utvärderas i ett klister, skall de ytor som klistras vara täta, blåstras och slipas så att de är helt plana. Detta för att få så lite påverkan av friktionen i ett material som möjligt. Skall projekt limning gå vidare med skjuvtester, bör ett testprogram utformas där provkroppar rutinmässigt tas upp från alla möjliga typer av beläggningar i fält för att samla ihop en stor erfarenhetsbas.

För att kunna få fram en kravnivå för den maximala skjuvspänningen, krävs en betydligt mer omfattande provning av flera olika typer av asfaltmassor och klistermaterial. Provytor skall tillverkas med stor noggrannhet och för de provkroppar som tas upp skall diametern kontrolleras med jämna mellanrum i samband med att de borras upp. Dessutom bör en metod för att kunna uppskatta klistermängden tas fram, i likhet med den standard som finns för detta i USA, *ASTM D2995 – 99* (2009).

Då forskning i ämnet pågår, och att det uppskattningsvis inte finns resurser i Sverige till att utföra en alltför omfattande provning, kan det vara lämpligt att ta del av de resultat som CEN och RILEM får fram. En idé kan vara att försöka ansluta projekt limning till de eventuella provprogram som finns inom CEN och/eller RILEM. Vi har nu trots allt utrustningen och kunskapen i Sverige kring den modifierade Leutner metoden för skjuvtest, och kan uppvisa en godtagbar precision i de tester som utförts på kontrollerat tillverkade provkroppar.

Statens väg- och forskningsinstitut, VTI har på uppdrag av projekt limning utfört dragtester vid sidan av de skjuvtester som presenterats i den här rapporten. En dragtestutrustning har tillverkats av VTI för ändamålet, och provning har utförts på provkroppar från projekt limning. Vidare har dragtestning påbörjats projekt limning genom att en student från Bergsskolan under april och maj månad 2012 skall utföra ett examensarbete i ämnet. Projekt

limning har till detta införskaffat en apparat för dragprovning, och testerna kommer att utföras enligt den metod för dragtest som har presenterats av CEN. Beslut om vidare dragprovning kan sedan baseras på erfarenheterna från den studien, som är planerad att redovisas under 2012.

Baserat på den forskning som finns, och de tester som utförts i den här studien anses det inte finnas någon anledning till att använda andra skjuvtestmetoder än Leutners modifierade metod.

Skjuvtestning bör utökas med fler fältprover. Ett testprogram med provkroppar av olika typer av asfaltmassa och klister bör utformas. Testprogrammet bör även omfatta skillnader i vidhäftningsförmågan mellan två beläggningslager beroende på temperatur, fuktighet, ytors beskaffenhet och använd klistermängd.

Möjligheterna till ett internationellt samarbete bör undersökas, och för att komma vidare i projektet bör utökade resurser tillföras i någon form.

Dragtestning med CENs förslag till metod har påbörjats, och det rekommenderas att resultaten från den studien inväntas innan ett beslut tas om en eventuell fortsättning för dragtestet.

## 9 Källförteckning

ASTM D2995 – 99 (2009) Standard Practice for Estimating Application Rate of Bituminous Distributors. ASTM International, the American Society for Testing and Materials.

ASTM D7313 – 07a (2011) Standard Test Method for Determining Fracture Energy of Asphalt-Aggregate Mixtures Using the Disk-Shaped Compact Tension Geometry. ASTM International, the American Society for Testing and Materials.

CEN/TC 227 WG2 N879 (2009) *Surface dressing, sprays and slurry surfacing*. Leutner (Modified) Shear Bond Strength Method. DRAFT August 2009. Sekretariat ACLAND/BSI

Elesand, F. (2011) *Projekt Limning del 1a - En litteraturstudie över testmetoder för bestämning av vidhäftning mellan beläggningslager* NCC Roads Sverige. FoU Asfalt.

Hakimzadeh, S., Buttlar, W.G., Ahmed, S., Exline, M., Kebede, N.A. (2011) *Development of Fracture Energy Based Interface Bond Test for Asphalt Concrete*. University of Illinois at Urbana-Champaign

Mohammad, L., Elseifi, M., Bae, A., Patel, N., Button, J., Scherocman, J. (2012) NCHRP - Report 712. *Optimization of Tack Coat for HMA placement*. Washington D.C.: Transportation Research Board – ISBN: 978-0-309-21397-4

Piber, H., Canestrari, F., Ferrotti, G., Lu, X., Millien, A., Partl, N., Petit, C., Phelipot-Mardelé, A., och Raab, C. (2009) RILEM interlaboratory test on interlayer bonding of asphalt pavements. *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*. Volume 1. Lieden: CRC Press/Balkema - ISBN: 978-0-203-8674-88 (e-book)

Schweizer Norm SN 670461. (2000) Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner). SNV, Swiss Association for Standardization

VV AMA Anläggning 09, rev 2. (2010) Borlänge: Trafikverket. Publikation 2010:094 – ISBN 978-91-7467-068-4.

