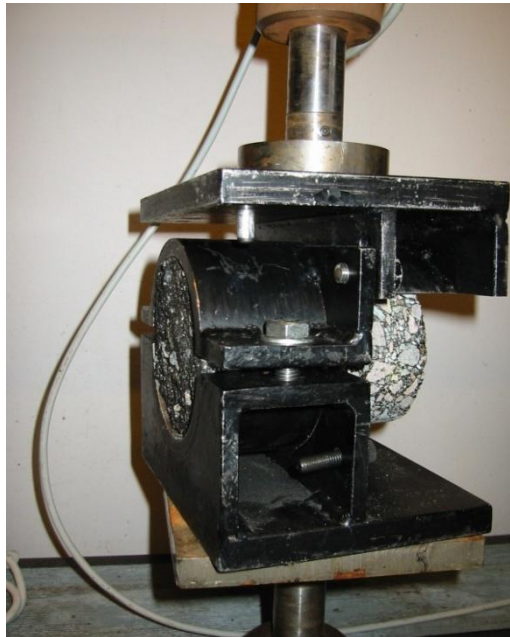

NCC Roads Sverige

FoU Asfalt

Projekt Limning del 1a

*En litteraturstudie över testmetoder för
bestämning av vidhäftning mellan
beläggningsslager*



Fredrik Elesand

**Rapport 2011-03
(SBUF-projekt 12468)**

Distribution: Fri

Förord

Denna rapport är en del av ett examensarbete i berg- och anläggningsteknik som har genomförts av Fredrik Elesand. Den har utförts som en inledande del i Projekt Limning och är ett projekt samfinansierat av SBUF, Trafikverket, Nynas AB samt NCC Roads.

Arbetet är en litteraturstudie över analysmetoder för bestämning av vidhäftning mellan beläggningsslager, med fokus på precisionen i de testmetoder som finns tillgängliga idag.

Utgångspunkten är de tre testmetoder som för tillfället håller på att utarbetas inom CEN och består av skjuv-, vrid- och dragtest. Denna redovisning är den första delen i litteraturstudien och kommer att följas upp av ett mindre test i laboratorium av metoderna samt ett prov i fält/labbar med skjuvtest. Denna sista del kallas då del 1b.

Referensgruppen i projektet består av:

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

Göteborg i april 2011

Bo Sävinger

Sammanfattning

En väg består oftast av flera på varandra liggande beläggningslager, varvid en del av vägbyggnadsprocessen består i att sammanfoga de olika lagren så att de blir konstruktivt samverkande. I en världsomfattande undersökning framgick att det var mestadels katjoniska emulsioner som användes. Klisterdoseringen varierade mellan 0.12-0.40 kg/m², och de enda länder som hade någon form av standardiserad testmetod var Österrike (dragtest) och Schweiz (skjuvtest).

På grund av mångfalden faktorer som påverkar vidhäftningen mellan två lager, är konsekvensen således att många olika testmetoder har utvecklats och föreslagits för ändamålet. Det råder ingen samstämmighet kring vilken som är mest lämpad för att bestämma vidhäftningen mellan två väglager. Det är ytterst få ringanalyser som har gjorts i syfte att utveckla en specifik testmetod, och de metoder som hittills använts har varit modifierade för just den studien. Orsaken till att det saknas generell kunskap i ämnet är att det är många faktorer som är av betydelse för hållfastheten i en väg, och i gränssnittet mellan beläggningarna i vägen.

Inom den europeiska standardiseringsorganisationen CEN, finns för närvarande tre testmetoder för bestämning av vidhäftningsförmågan mellan beläggningslager föreslagna. Det modifierade Leutnertestet är en enkel och praktisk metod för skjuvtest i laboratoriemiljö, och kan utföras i en vanlig marshallmaskin. Dragtestet (The Pull-Off Test) används för att testa draghållfastheten i gränssnittet mellan två beläggningslager. Metoden är lämplig att använda till tunna beläggningslager, och för att utvärdera klistereffekten i olika vidhäftningsmaterial. Torque Bond test är en metod som används för att bestämma skjuvhållfastheten i ett gränssnitt genom att det maximala vridmomentet vid brott mäts.

I den forskning som hittills har utförts, kan det konstateras att forskarna till stor del har fokuserat på att jämföra olika klistermaterial och tagit fram optimala klisterdoseringar för olika temperaturer och material. RILEMS forskning är den mest omfattande, och resultaten från den studien är av störst intresse för testning av skjuvhållfastheten i ett gränssnitt mellan asfaltlager.

Skjuvtester i enlighet med den modifierade Leutnermetoden som utarbetas inom CEN bör inledas omgående. I ett första skede bör testutrustningen provas och kalibreras på bästa sätt innan omfattande testning utförs. Dragtestet bör användas för att testa draghållfastheten mellan beläggningslager, och är den metod som är bäst lämpad för att testa klistereffekten i olika klistermaterial. Det krävs i nuläget mer praktisk kunskap om metoden, innan tester i större skala kan utföras. Vridmomentstestet är lämpligast att använda då skjuvhållfastheten behöver bedömas i fält, och laboratorietester rekommenderas för att få praktisk erfarenhet av metoden.

Innehållsförteckning

Förord.....	i
Sammanfattning	ii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
2 Allmänt	3
2.1 Vidhäftningsmedel.....	3
2.2 Utförande av klistring	4
3 Tidigare erfarenheter	5
4 Testmetoder	16
4.1 Leutner Test (Modified).....	17
4.2 Torque Bond Test	22
4.3 Pull- Off Test Method.....	25
5 Diskussion och Slutsatser	29
6 Rekommendationer	31
7 Källförteckning	32

1 Inledning

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 troligen 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, vilket resulterar i att skjuvspänningen försämras markant. 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 slags 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.

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 fundamental del i att kunna förbättra kvaliteten i klistringsprocessen är att bestämma vidhäftningsförmågan mellan två lager. Forskning och utveckling kring detta är beroende av att lämpliga testmetoder finns tillgängliga för att kunna bestämma vidhäftningsförmågan mellan två beläggningslager. Inom den europeiska standardiseringsorganisationen, CEN finns för närvarande tre testmetoder för bestämning av vidhäftningsförmågan mellan beläggningslager föreslagna. En viktig del av det inledande arbetet i detta projekt är att studera de testmetoder som finns tillgängliga, och framförallt undersöka i vilken utsträckning de metoder som presenterats av CEN har använts i tidigare studier.

1.2 Syfte

Den inledande delen i projektet är en litteraturstudie över analysmetoder för bestämning av vidhäftning mellan bundna beläggningsslager, med tyngdpunkt på precisionen i de olika testmetoderna. Detta mot bakgrund av att det idag ej finns annat än knapphändiga rekommendationer för hur klistringsförfarandet ska gå till, och att det inte finns standardiserade föreskrifter över hur kontroll av vidhäftningen i ett gränssnitt mellan två beläggningsslager skall utföras.

Syftet med studien är att studera de testmetoder som finns tillgängliga och då i första hand de studier som hittills gjorts med anknytning till de tre som kommer att utarbetas inom CEN-standardiseringen. Eventuella kravnivåer och undersökningar som rör utförandet tas upp sekundärt i den här rapporten. Utifrån syftet med studien finns följande frågeställningar:

- Finns det testmetoder som är standardiserade för ändamålet någonstans i världen idag?
- I vilken utsträckning har det utförts tester på vidhäftningsförmågan i ett gränssnitt, och vilka kravnivåer finns eventuellt för olika metoder?
- Vilken grad av reproducerbarhet och repeterbarhet erbjuder de aktuella testmetoderna?
- Finns normala värdenivåer och vad är en normal variation efter klistring, bortsett från metodernas standardavvikelse?
- Vilka parametrar är av betydelse, och vilka referensramar finns utformade för att kunna bestämma klistereffekten?

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. Tanken är att det som presenteras i den här rapporten ska ligga till grund för ett fortsatt arbete i syfte att förbättra klistrets funktion i en normal vedertagen svensk vägbyggnadsprocess.

1.3 Metod

Den inledande delen består av en litteraturstudie över tillgängliga test- och analysmetoder, där studien fokuserar på precisionen i olika metoder. Arbetet inleddes med att undersöka vad som finns beskrivet i Sverige, och därefter successivt gå vidare och undersöka vad som finns beskrivet internationellt. Tidigt i arbetet togs en beskrivning fram på de olika testmetoderna utifrån de utkast på en europeisk standard som CEN presenterat. Utifrån den beskrivningen har sedan studien fokuserat på att hitta forskning som utförts med hjälp av liknande testmetoder, och speciellt vad som kan betraktas som det senaste inom området.

Litteraturstudien är baserad på digitala publiceringar, samt det material som handledare och deltagare från referensgruppen i Projekt Limning har haft möjlighet att bidra med.

2 Allmänt

2.1 Vidhäftningsmedel

Ett vidhäftningsmedel, eller klister som det också kallas, är en väldigt tunn applicering av asfaltemulsion eller bindemedel som läggs på ett befintligt asfaltlager. Internationellt brukar klistret benämnas som tack coat eller bond coat.

En bitumenemulsion består av små sönderdelade droppar av bitumen som flyter omkring i vatten. Det blir också vanligare med tillsatser, som gummi och plast. En mindre miljövänlig variant av klisteremulsion är där lösningsmedel (t.ex. nafta) är tillsatt för att få önskade egenskaper i klistret. Den här typen av bitumenlösning, som internationellt kallas cutback bitumen, används i princip inte längre då det är skadligt för omgivningen och direkt hälsovådligt för de som hanterar bitumenlösningen.

Det finns två huvudtyper av emulsioner där den mindre vanliga varianten är anjonisk, som är emulsioner där partiklarna är negativt laddade och skall användas tillsammans med positivt laddade aggregat. Den andra och vanligaste typen av emulsion är katjonisk (positivt laddade partiklar) och skall i teorin användas där aggregaten är negativt laddade. Det som bestämmer vilken laddning partiklarna har beror på det emulgeringsmedel som tillsätts. I praktiken släpper den katjoniska emulsionen ifrån sig vatten snabbare jämfört med den anjoniska typen. I de flesta fall används katjoniska emulsioner i Sverige, likväl som internationellt. Enligt Nynas AB (2011) låg användandet av katjoniska emulsioner i Europa på 95 %. Den svenska standarden för katjoniska bitumenemulsioner är SS-EN 13808 (2005), och finns angiven i VVTBT (2010).

Restbitumen, eller återstod är den mängd som finns kvar när allt vatten avdunstat emulsionen. Brytningshastigheten är den tid det tar för bitumen att bryta och anta sin ursprungliga form, och klassificeras som:

- Raskt brytande, R
- Medelbrytande, M
- Sakta brytande, S

De vanligaste klistertyperna i Sverige är katjoniska, raskbrytande bitumenemulsioner med en återstod på 50 – 60 % bitumen. I tabell 2.1 presenteras de vanligaste typerna av bitumenemulsion som levereras av Nynas AB.

Tabell 2.1 Nynas AB emulsionsprodukter som är avsedda för klistring av asfalt

Produkt	Återstod Bitumen	Brytningshastighet
Nynas BE 50R	50 %	Raskbrytande
Nymuls TC 103 (BE 50R Höst)	50 %	Raskbrytande
Nymuls TC 101 (BE 55RLF)	55 %	Raskbrytande (lösningsfri)
Nynas BE 60R	60 %	Raskbrytande

Nordamerika

De typer av långsamt brytande emulsioner som används till klistring i Nordamerika innehåller enligt Tack Coat Guidelines (2009) maximalt 43 % vatten och tillsatser, och kan spädas ut ytterligare med vatten (diluted emulsion). Långsamt brytande emulsioner är den vanligaste typen av klister och rekommenderas inte vid låga temperaturer.

Medelbrytande emulsioner innehåller maximalt 45 % vatten och tillsatser, och skall ej spädas ut med mer vatten. Typiskt för en medelbrytande emulsion är att den i regel har en högre viskositet vilket gör att den är svårare att lägga ut och få en enhetlig applicering.

Raskt brytande emulsioner tillverkas med tillsatser som ökar brythastigheten, och består av maximalt 43 % vatten och kan spädas ut ytterligare med mer vatten. Den här typen av emulsion används vanligtvis nattetid, i kyliga väderförhållanden eller då det helt enkelt krävs att utläggningen går snabbt.

2.2 Utförande av klistring

I VVTBT (2010) finns ingen specifik beskrivning över klistringsförfarandet. I VVAMA anläggning (2010) finns anvisningar för hur klistring skall utföras, men den beskrivning som är angiven i ATB Väg 2002 (2001) sammanfattar proceduren bra:

Före utförande av massabeläggning skall ett bituminöst underlag klistras så att ytan blir väl täckt. Klistringen skall utföras med en bitumenemulsion som är avsedd för detta eller med annan lämplig produkt som godkänts av beställaren. Underlaget får vara fuktigt vid klistring, men fritt vatten får inte förekomma. På en klistrad yta skall om möjligt beläggning utföras innan arbetet avslutas. Om en klistrad yta där beläggning inte utförts skall trafikeras, skall ytan pudras med sand eller finkornig massa och vältas innan den får trafikeras. Innan beläggning utförs på sådan yta skall denna åter klistras men med mindre klistergiva.

Mängden bitumenemulsion bör ligga inom intervallet 0,15 - 0,40 kg/m² beroende på underlagets textur, ålder och använd klistertyp.

Då massor utläggs i flera skikt skall klistring ske mellan varje skikt. Vid klistring av frästa ytor skall dessa vara fuktiga. Klistringen skall utföras i vägens båda längdriktningar. Klistermängden skall ökas med 0,1 kg/m² i förhållande till mängd på ofräst yta.

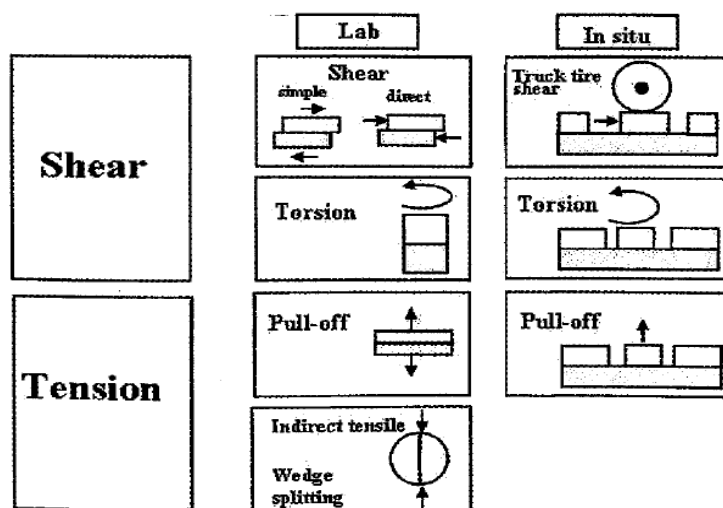
Endast i undantagsfall bör bitumenlösning användas.

I VVAMA (2010) anges en doseringsmängd bitumenemulsion på 0,3-0,5 kg/m² vid klistring av asfaltmassa, och en doseringsmängd bitumenprimer med mängden 0,15-0,40 kg/m² vid klistring av gjutasfalt.

Enligt FAS Asfaltbok (1995) är klistermängden beroende av underlagets beskaffenhet, och riktvärdet var satt till 0,2 - 0,4 kg/m². Klistermängden är beroende på en mängd olika faktorer, och de flesta studier som har gjorts har varit i syfte att försöka få fram en optimal applicering av klister. Internationellt varierar doseringen på mellan 0,18 - 0,40 kg/m². Mohammad m.fl. (2002) menar att en optimal dosering ligger på 0,09 kg/m² för en typisk katjonisk, raskbrytande bitumenemulsion, och Al-Qadi m.fl. (2008) redovisade i en annan studie att den optimala doseringen är 0,18 kg/m² för en långsamt brytande anjonisk polymermodifierad emulsion.

3 Tidigare erfarenheter

På grund av mångfalden faktorer som påverkar vidhäftningen mellan två lager, har flera olika testmetoder utvecklats och föreslagits. I figur 3.1 ges en principiell överblick av olika metoder som har använts för att bestämma vidhäftningsförmågan i ett gränssnitt mellan två väglager.



Figur 3.1 Testmetoder för uppskattning av vidhäftningen mellan två beläggningslager, för fältbruk respektive laboriemiljö (Raab och Partl 2009).

The International bitumen emulsion federation, IBEF beslutade vid världskongressen för bitumen i Bordeaux, Frankrike 1997 att en världsomfattande kartläggning över användandet av tunna klisterbeläggningar skulle utföras. Detta resulterade i den förmodligen största undersökning som gjorts kring användandet av klistermaterial, och resultatet publicerades av Roffe och Chaignon (2002) några år senare. De länder som bidrog med information var Spanien, Frankrike, Italien, Japan, Nederländerna, Storbritannien och USA. I studien efterfrågades information gällande vilken typ av klister, klisterdosering, test- och analysmetoder, och konstruktionsmetoder som används. Dessutom samlades uppgifter in gällande tiden det tar från det att klistret har applicerats och ovanpåliggande lager har lagts ut. Det framgick av studien att det var mestadels katjoniska emulsioner som användes. Klisterdoseringen varierade mellan 0.12-0.40 kg/m², och de enda länder som hade någon form av standardiserad testmetod var Österrike (dragtest) och Schweiz (skjuvtest).

Intresset för hur ett klister påverkar hållfastheten mellan två beläggningslager och livslängden i en väg har funnits i minst 30 år, men det är först på senare år som mer ingående studier har genomförts. I en tidig svensk studie finansierad av Svenska Byggtreprenadföreningen, SBEF utfördes skjuvningstest i syfte att undersöka vägbildning i asfaltbeläggningar (Tyllgren, 1978). Färdiga provkroppar tempererades i luft till 25 °C, och fixerades mellan förskjutbara infästningar där avståndet mellan infästningarna var 11,3 mm. Testning utfördes genom att normalkraft tillfördes mot de plana sidorna av provkroppen för att simulera det tryck från fordonstrafiken som går ner vertikalt i en väg. Provkroppen belastades samtidigt med en konstant deformationshastighet vertikalt mot normalkraften till dess att brott inträffade. Klistermängder som användes var 0,12, 0,24, 0,32 och 0,41 kg/m², och skjuvhållfastheten i gränssnittet mellan två asfaltlager låg på mellan 0,4 MPa och 0,6 MPa.

I en studie utförd av NCC och Veidekke gjordes skjuvförsök i borrkärnor tagna dels från väg 57 mellan Flen och Skebokvarn och dels Västerås (Ulmgren och Kullander, 2003). Skjuvtester utfördes med apparatur som kan liknas det av CEN föreslagna skjuvtestet. Proven lagrades i 3 dygn, och utsattes för belastning i rumstemperatur, ca 22 °C. Testerna utfördes på den till synes vanligaste typen av klisteremulsion som används i Sverige även idag, Nynas BE50R, vilket är en raskbrytande bitumenemulsion bestående av 50 % bitumen. Det framgår inte av rapporten vilken diameter eller tjocklek det var på borrkärnorna. På väg 57 bestämdes brottkraften i gränssnittet till 0,78 MPa, och borrkärnan från Västerås uppvisade en något lägre skjuvkraft på 0,76 MPa. De redovisade värdena är medelvärden av tre provningar för respektive borrkärna där klister av samma typ har använts. Det framgår inte vilken mängd klister som användes, eller hur proven belastades.

Den största leverantören av bitumenemulsion i Sverige idag är Nynas AB, och de presenterar på sin hemsida (2008) fyra testmetoder för kontroll av vidhäftningsförmågan mellan två beläggningslager, varav två bygger på standardiserade metoder i Schweiz (skjuvtest) respektive Österrike (skjuv- och dragtest). Den tredje metoden är vridmomentstestet som kallas för den brittiska metoden, och den fjärde testmetoden som Nynas listar på sin hemsida är en prototyp i utvecklingsstadiet för provning in-situ, som kallas för The Quebec method. Nynas AB skriver vidare på sin hemsida att de flesta katjoniska klisteremulsioner skall appliceras med en mängd på 0,12 till 0,40 kg/m².

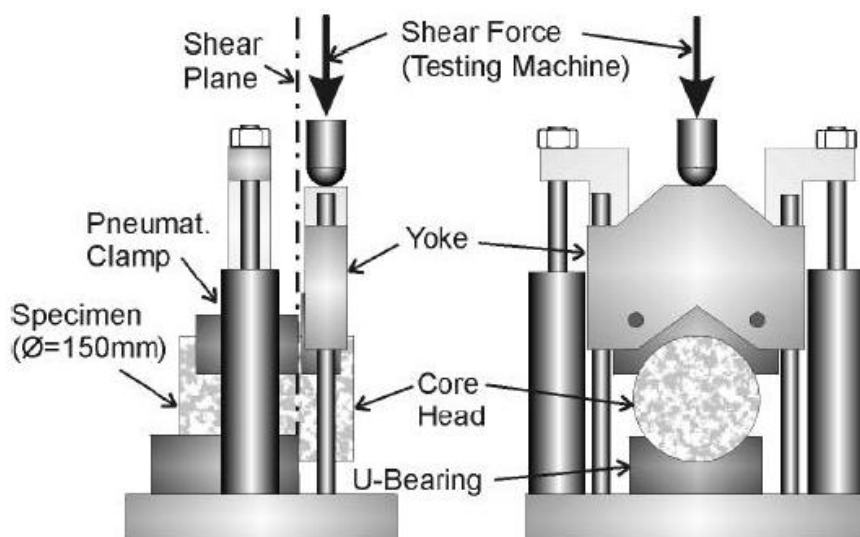
Uzan m.fl. (1978) forskade kring egenskaper i vidhäftningsförmågan mellan asfaltlager. Resultaten var baserade på resultat från utförda skjuvtester i laboriemiljö. Testerna utfördes på en typ av varmblandad asfaltmassa i syfte att mäta skjuvhållfastheten i gränssnittet med hänsyn till klisterdoseringen, som i den här studien var 0,49, 0,97, 1,46, och 1,94 kg/m², samt försök utan klister. Studien fastslog att genom att applicera ett klister mellan två plattor förstärks vidhäftningsförmågan i gränssnittet, och att det finns en optimal dosering för den maximala skjuvhållfastheten. Provkropparna utsattes för en konstant horisontell belastningshastighet på 2.5 mm/min, och vid två olika test temperaturer. När provkropparna testades i 25°C redovisades en optimal dosering på 0,97 kg/m², och vid 55°C låg den optimala doseringen på 0,49 kg/m².

I studier där provkroppar har belastats både vertikalt och horisontellt har det påvisats att risken för förskjutningar minskar då normalspänningen ökar. Detta innebär att även om en högre belastning på vägtytan resulterar i högre horisontalspänningar (som i sin tur kan orsaka glidningar) så bidrar en högre normalspänning till att motverka förskjutning mellan två lager.

Den vanligaste modellen för skjuvtest är den som utvecklades av Leutner (1979) i Tyskland. Leutners testmetod är ett direkt skjuvtest, vars princip kan liknas vid en giljotin där vertikal belastning tillförs provkroppen för att åstadkomma en förskjutning mellan dess lager (se avsnitt 4.1). Vid användandet av det förenklade skjuvtestet fixeras provkroppen i en slags form där skjuvkraften tillförs genom hela kroppen (se figur 3.2). Vissa metoder möjliggör att provkroppen belastas med normalkraft vinkelrätt mot skjuvkraften. Detta för att simulera de påfrestningar vägen utsätts för in-situ i form av fordonstrafik.

Ett annan slags skjuvtest är där en provkropp utsätts för ett vridmoment (torsion) tills dess att brott inträffar, och kan användas både för laborietester och i fält. Dragtest är i sin enkelhet en metod för att dra isär en provkropp som är sammansatt av två ihop limmade beläggningar. I framförallt USA har metoder använts där en testplugg av metall fästs direkt på en klistrad yta, för att sedan avlägsnas från densamma. Den typen av test används för att prova klistereffekten i olika klistermaterial, både i labortiemiljö och in-situ.

Enligt Canestrari m.fl. (2005) har The Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA) utvecklat en standardiserad metod för att bestämma skjuvhållfastheten i fogen mellan två asfaltbeläggningar. Metoden är av schweizisk standard SN 670 461 och en testapparat kallad LPDS (Layer-Parallel Direct Shear) skall användas till att belasta provkroppar med en diameter på 150 mm (se figur 3.2). Metoden är ett Leutner modifierat skjuvtest, och den metod som för närvarande utarbetas inom CEN kan härledas tillbaka till den här Schweiziska normen. Principiellt är det ett enkelt, direkt skjuvtest där en provkropp belastas med 50.8 mm/min. Standard temperatur vid testning är 20 °C. En lägsta nivå för brottkraften är satt till 15 kPa för gränssnittet mellan slitlager och bindlager, samt 12 kPa mellan bindlager och bärlager.



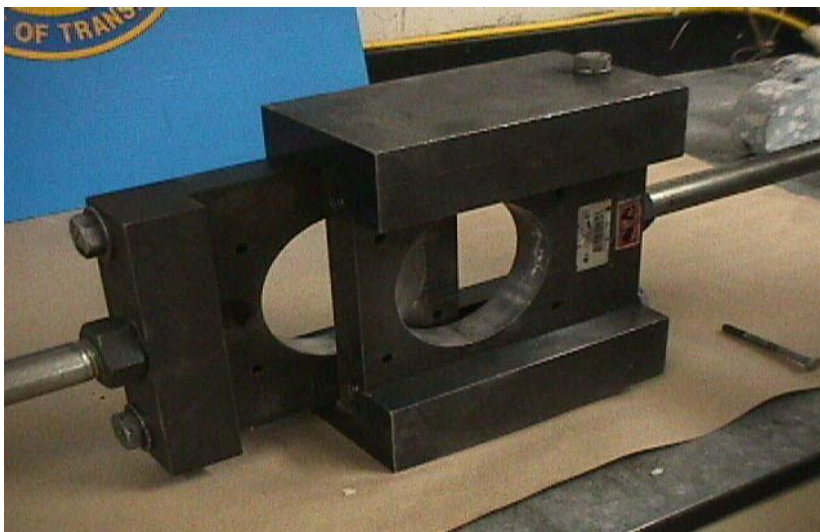
Figur 3.2 Layer Parallel Direct Shear (Canestrari, 2005).

I Österrike finns en standardiserad metod för dragtest (ÖNORM, B 3639-2), vilken det i många fall refereras till i de tidigare studier som har gjorts där en provkropp dras isär. Det finns även en standard för skjuvtest (ÖNORM, B 3639-1) i Österrike och det mesta tyder på att skjuvtestet är detsamma som den Schweiziska standarden, och att CEN-metoderna för drag- respektive skjuvtest är utarbetade utifrån de två.

I USA finns ingen standardiserad metod för att bestämma vidhäftningsförmågan i ett klister. The American Society of Testing and Materials (ASTM) har publicerat två standarder som kan användas till detta, men enligt Woods (2004) har de testmetoderna inte vad som krävs för utvärdera klistereffekten i ett klistermaterial. Mohammad m.fl. (2002) använde ett enkelt skjuvtest (Superpave Shear Tester) i sina studier med syfte att bedöma skillnader mellan olika klistermaterial, samt att bestämma en optimal dosering av klister. I testet användes fyra olika emulsioner och två bindemedel som klistermaterial. Testet utfördes dels på provkroppar utan klister och dels med en klisterdosering på 0.09, 0.12, 0.45 och 0.90 kg/m². Skjuvtesten utfördes i två olika temperaturer, 25°C och 55°C. Det vidhäftningsmaterial som visade sig ha bäst skjuvhållfasthetsegenskaper, var en katjonisk raskbrytande polymermodifierad emulsion med hög viskositet. Optimal dosering ansågs vara 0.09 kg/m² vid båda test temperaturer.

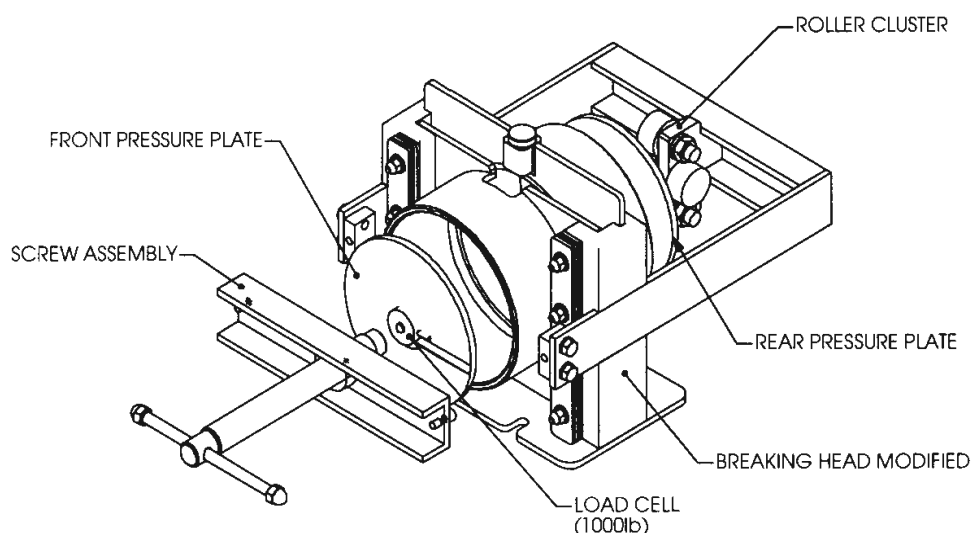
Sholar m.fl. (2004) utvecklade en apparat, the Florida DOT Shear Tester (FDOT), i syfte att bedöma huruvida fukt, klisterdosering, och ballastens växelverkan kan påverka vidhäftningsförmågan mellan två asfaltlager. Skjuvanordningen är enkel och praktisk, och bygger så som de flesta skjuvanordningar på Leutners ursprungliga apparat. Provkroppar med

en diameter på 150 mm luftkonditioneras vid $25 \pm 1^\circ\text{C}$ i minst 2 timmar, och utsätts under testet för en belastning motsvarande 50.8 mm/min till dess att brott i gränssnittet sker. Dosering, använd klistertyp, ytans struktur och underlagets beskaffenhet visade sig enligt den här studien vara faktorer som tydligt kan påverka klistereffekten i gränssnittet. I deras sammanfattning står vidare att vid tester där vatten har tillförts klisterytan, så sjunker vidhäftningsförmågan markant jämfört med tester utan vatten. Den dosering av klistre som användes i undersökningen var 0.00, 0.091, 0.226 och 0.362 kg/m². I studien redovisades att klistermängden var av liten betydelse för skjuvhållfastheten, och rekommendationen är enligt de utförda testerna en minimal dosering på 0.091 kg/m², och en maximal dosering på 0.266 kg/m². Klistret visade sig ha en högre effekt på finkornigare ytor, jämfört med skrovliga, grovkorniga ytor. Dock visade det sig att frästa ytor hade högst skjuvhållfasthet, vilket i den här studien tyder på ytornas beskaffenhet är av större betydelse än klistret.



Figur 3.3 Giljotinliknande skjuvanordning för bestämning av hållfastheten i ett gränssnitt mellan två beläggningslager (Sholar m.fl., 2004).

West m.fl. (2005) utförde skjuvtester med en modifierad testanordning (NCAT Shear Tester) liknande det Leutnertest som utarbetas inom CEN. I den här studien undersöktes hur belastning med en normalkraft vinkelrätt mot en horisontellt tillförd skjuvkraft påverkar hållfastheten. Syftet med att tillföra en normalkraft är att undersöka nyttan av den friktion som uppstår beroende av beläggningslagrens struktur. Proven belastades med normalspänning i tre nivåer: 0 kPa, 69 kPa, och 138 kPa.



Figur 3.4 NCAT Bond Strength Device (West m.fl., 2005).

Som klister användes en medelbrytande högviskösa emulsion och en långsamt brytande lågviskösa emulsion, samt ett bindemedel. Testen utfördes med en skjuvbelastning på motsvarande 50.8 mm/min vid tre olika temperaturer: 10°C, 25°C, och 60°C. Enligt forskarna är testtemperaturen den faktor som har störst inverkan på hållfastheten i gränssnittet. I takt med att provkroppens temperatur ökade så sjönk den maximala brottkraften i klisterfogarna mellan lagren markant. Vid 10°C respektive 25°C påverkades vidhäftningen inte märkvärdigt av normalkraften. Efter utförd testning redovisades att brottkraften i den här studien låg mellan 0,35 MPa och 0,69 MPa.

I en annan amerikansk studie (Taschman m.fl. 2006) undersöktes vidhäftningen mellan ett befintligt bärlager och ett nyligen lagt slitlager. Syftet var att undersöka hur ytans skrovlighet, härdningstid och restmaterial påverkar klistereffekten. Dessutom undersöktes skillnader mellan hållfastheten i beläggningen under hjulspåren och materialet under mitten i vägbanan. I gränssnittet mellan beläggningslagren användes en katjonisk långsamt brytande klisteremulsion med låg viskositet. Totalt testades 151 borrhärdningar varav 74 testades i skjuvanordningen som utvecklats av Florida Department of Transportation (Sholar m.fl. 2004), och 77 utsattes för belastning i form av vridmoment (Torque Bond Test). Dragtesten utfördes in-situ med en apparat kallad UTEP Pull-Off Test där en metallplatta limmas direkt på ett undre lager som applicerats med ett lager klister.

Tabell 3.1 Jämförelse mellan de tre olika metoderna som användes av Taschman m.fl. (2006).

	Skjuvtest (FDOT)	Vridmomentstest	Dragtest (UTEP)
Typ av belastning	Skjuvning	Vridmoment	Dragkraft
Belastningsintervall	50.8 mm/min	90°C vridning med skiftnyckel inom 30 ± 15 sekunder	Okänt
Borrhärdningens diameter	150 mm	150 mm	127 mm
Testvillkor (lab)	25 ± 1°C i minst 2 timmar	20 ± 2°C i 4-16 timmar	18.15 kg (40 lb) belastning i 10 minuter

I tabellen ovan skall noteras att vid dragtestet så är diametern på 127 mm dimensionen på kontaktytan mellan testpluggen och belägningsytan. Provkroppar med en diameter på 100 mm är normalt att föredra vid vridmomentstestet. Detta för att reducera storleken på momentet som krävs för brott i gränssnittet. Efter utförda skjuvtest med FDOT- anordningen framkom det att frästa ytor ger en betydligt bättre skjuvhållfasthet i gränssnittet, och att ett klisters inverkan är minimal under sådana omständigheter. Klistret ökade betydligt drag- och skjuvhållfastheten i gränssnittet där ytorna var plana och släta. En ökad dosering restbitumen i klistret påverkade inte vidhäftningen i gränssnittet nämnvärt. Härdningstiden ansågs vara av liten betydelse för klistereffekten. Generellt sett gav skjuvtestet resultat som överensstämmer med tidigare studier. Detta torde bero på att samma belastningsintervall användes som i LPDS, att testerna utfördes i rumstemperatur, samt att provkropparna var av samma diameter som i tidigare publicerade testrapporter.

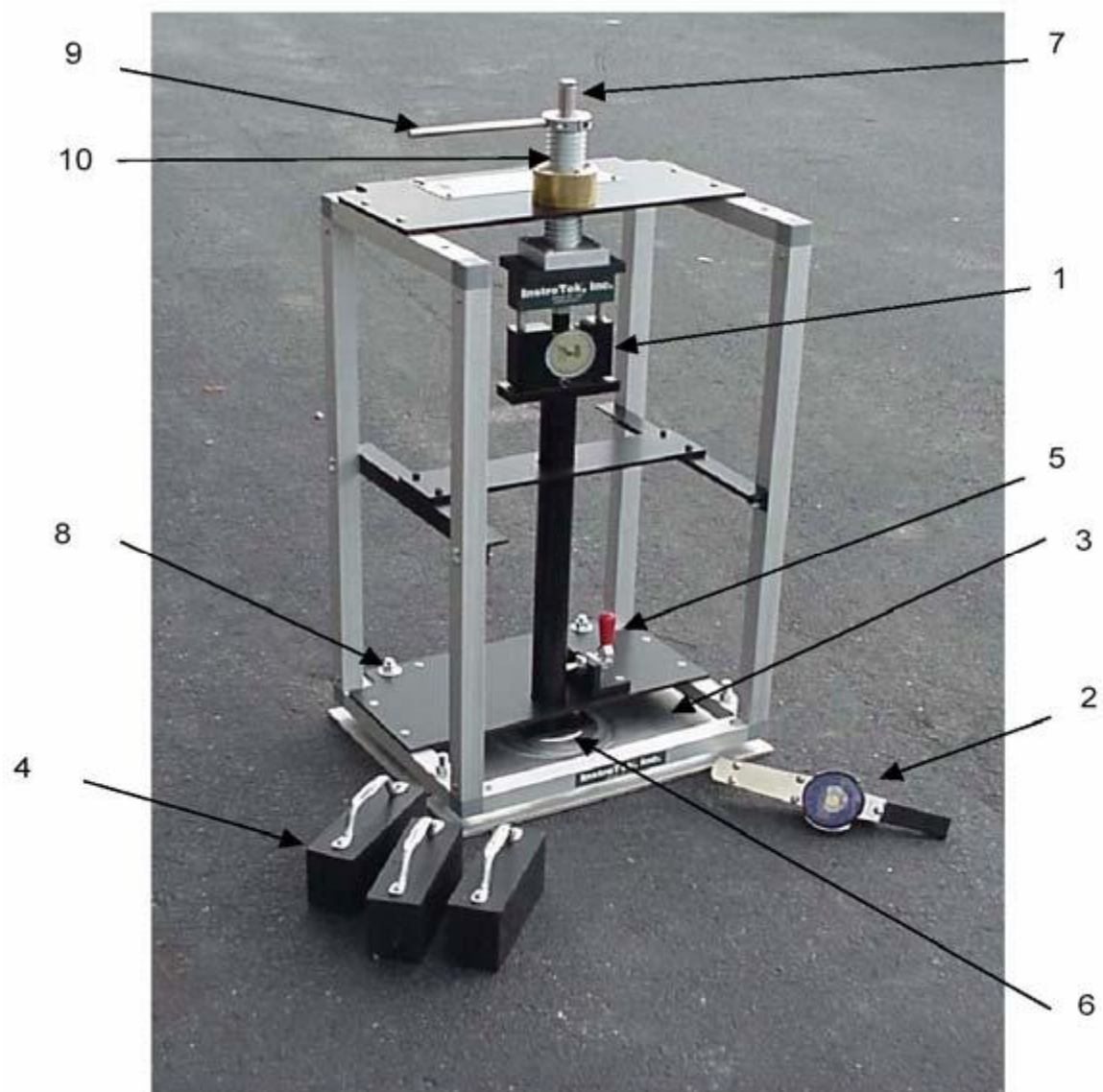
Resultaten mellan de olika vridtesten visade sig överensstämma med de skjuvtest som utfördes. Provkropparna avsedda för vridmomentstestet fick ligga i en temperatur på $5 \pm 2^\circ\text{C}$ under 28 dagar.

Dragtestet som användes i studien har utvecklats på The University of Texas i El Paso (UTEP Pull-Off test) och mäter klistermaterialets draghållfasthet innan ett ovanpåliggande lager läggs på. Proceduren är enkel, och testanordningen placeras på en klisterbeläggning 30 minuter efter att det lagts ut. En vridmomentsnyckel är monterad på apparaten, och används för att avlägsna testplattan från den klistrade ytan. Vridmomentsnyckeln roteras medsols tills dess att testplattan ligger plant mot den klistrade beläggningen.

En belastning på ca 18 kg (40 Ib) tillförs vertikalt ner genom testapparaturen under 10 minuter för att testplattan skall fästa ordentligt med klisterbeläggningen. Därefter avlägsnas belastningen, och vridmomentsnyckeln vrids motsols för att få testplattan att släppa från klisterytan. Vridmomentet som krävs för att få testplattan att släppa från klisterytan registreras i Nm och konverteras till max brottkraft med hjälp av ett konverteringssystem. Gemensamt för resultaten från alla tre testmetoderna framgick det att sektioner med oslipade asfaltbeläggningar hade högre draghållfasthet än sektionerna med slipade/släta beläggningsslager, och att det egentligen var den enda signifikativa faktorn i de utförda testerna. Inga av de tre testerna ansågs vara lovande till att användas in-situ, men skjuvtestet ansågs vara den mest lovande till laboratorietester. Nackdelen med vridmomentstestet är att det kräver en 28 dagars vänteperiod för provkropparna, och att vridskjuvningen inte är representativ för de belastningar som uppstår i fält. Dragtestet fungerade inte bra då det var svårt att få testplattan att fästa ordentligt mot klisterbeläggningen innan själva dragtestet.

InstroTek Inc. utvecklade en prototyp för dragtest som liknar den metod som beskrivs i ASTM standard D4541. "Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers". Metoden kallas ATACKer (Woods och Buchanan, 2004) och består av en mekanism där både vridmoment och draghållfasthet kan testas, som visas i figur 3.5.

En testplatta belastas med normalkraft, och den dragkraft eller det vridmoment som krävs för att bryta vidhäftningen registreras.



- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. Kraftmätare | 6. Kontaktplatta |
| 2. Vridmomentsmätare | 7. Vridmomentsnyckel |
| 3. Testplatta | 8. Nivelleringsbult |
| 4. Vikter | 9. Körspak |
| 5. Rotationsstoppare | 10. Drivskruv |

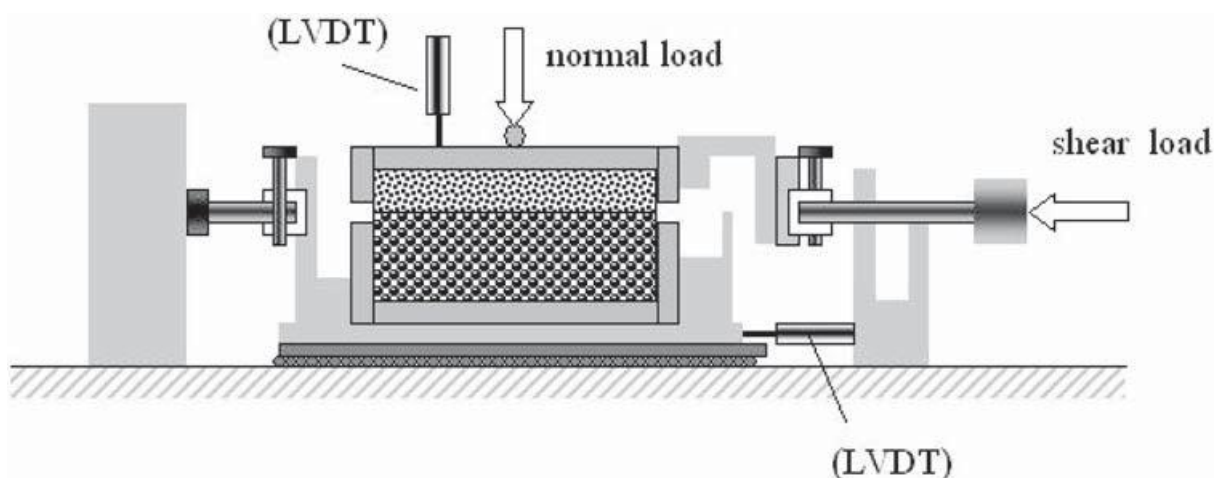
Figur 3.5 ATACKer™ (Woods, 2004).

I en större studie utförd av Woods och Buchanan (2004) användes Atacker för dragtest i fält, och en Leutnerliknande metod användes för skjuvtest i laboriemiljö. Provkropparna till skjuvtestet var provkroppar av asfalt med en diameter på 152 mm och 75 mm i tjocklek. Provkropparna packades i en gyratorisk kompaktor, varefter ett klisterlager applicerades på provkroppen som slutligen placerades i en dammfri miljö, med en temperatur på 24°C i 24 timmar. Efter att provkroppen luftats klart så packades ett 50 mm tjockt asfaltlager ovanpå den klistrade ytan och när en återgång på 467 N från den uppnådda maximala belastningen avbröts testningen. Provkropparna bedömdes då vara helt förskjutna och provningen fullbordad. Klisterdoseringen var 0.23, 0.41 och 0.59 kg/m² och som klistermaterial användes en katjonisk och anjonisk långsamt brytande bitumenemulsion samt en medelbrytande katjonisk bitumenemulsion

Illinois Center for Transportation (Al-Qadi m.fl. 2008) konstruerade en apparat för att undersöka skjuvhållfastheten mellan cementbetong- och asfaltbeläggningar. Med testanordningen belastas ett cylindriskt prov med skjuvkraft i vertikalt led och normalkraft tillförs horisontellt. Testerna utfördes med en konstant förskjutning på 12 mm/min. Provkropparna bestod av ett undre lager och ett övre lager med en diameter på 100 mm. Provkroppens tjocklek var på 115 mm, där det undre lagret var 60 mm tjockt. Cementbetongbeläggningen togs från en väg bana lagd på The Advanced Transportation Engineering and Research Laboratory (ATREL) vid University of Illinois i Urbana-Champaign. Asfaltbeläggningen packades gyrotoriskt på cementbetongbeläggningen efter det att dess yta applicerats med klister. Efter att provkroppen packats fick den mogna i fyra timmar innan testning. Det visade sig att minsta skevhet i vertikalt led mellan de båda lagrena påverkade precisionen i testningen. Som klister användes två typer av anjonisk långsamt brytande emulsion där den ena var polymermodifierad. Vid en jämförelse var det tydligt att skjuvhållfastheten sjunker i takt med att temperaturen ökar, och att en optimal dosering på $0,18 \text{ kg/m}^2$ bestämdes för de tester som hade gjorts i den här studien.

Canestrari m.fl. (2005) utförde en statistisk analys i syfte att studera repeterbarheten i två testprototyper. Den ena metoden, ASTRA (Ancona Shear Testing Research and Analysis) har utvecklats av Università Politecnica delle Marche i Ancona, Italien sedan 1992 varvid den andra metoden, LPDS är utvecklad av EMPA i Schweiz. Till LPDS användes cylindriska provkroppar med en diameter på 150 mm. Konstant förskjutning på 50.8 mm/min. Skjuvspänning och förskjutning noteras kontinuerligt för att kunna bestämma den maximala skjuvhållfastheten, som är den parameter som används för att undersöka repeterbarheten i testmetoden. Temperaturen för testet är 20°C .

ASTRA-enheten består av en skjuvbox där normalkraft vinkelrätt mot en horisontell skjuvkraft belastar en provkropp som har en diameter på 100 mm. Apparaten är placerad i en klimatkammare för möjligheten att kontrollera fuktighet och temperaturändringar. Provkropparna utsätts för en konstant förskjutning och en konstant normalkraft, som under normala förhållanden är 2.5 mm/min respektive 0.2 MPa. Under testet registreras skjuvspänning och förskjutning både vertikalt som horisontellt för att sedan kunna bestämma den maximala skjuvspänningen. Detta precis som vid användandet av det direkta skjuvtestet (LPDS) för att bestämma repeterbarheten i testet.



Figur 3.6 ASTRA (Canestrari m.fl., 2005).

Provkroppar med en diameter på 100 mm togs från plattor som tillverkats med en laborativt där det undre lagret hade en tjocklek på 70 mm, och det övre lagret var 30 mm tjockt. Borrkärnorna förvarades i rumstemperatur i 10 dagar, och luftades ungefär 8 timmar i 20°C före testning. Provningsen utfördes på tre olika vägbeläggningar, där den första typen var sammansatt helt utan klister mellan lagren. En polymermodifierad emulsion användes till vägbeläggning nummer två och beläggningarna i den tredje typen var sammansatta av en vanlig katjonisk emulsion. Två vägar anlades med hjälp av en asfaltutläggare, och packades med en vält (se figur 3.7). Klister applicerades med ungefär 0,15 kg/m² för både vägbeläggning 2 och vägbeläggning 3. Borrkärnor togs enligt ett väldefinierat mönster. Varje borrkärna märktes med en speciell numrering, som specificerar vart i den utlagda vägen provet togs. Borrkärnorna hade en nominell diameter på 100 mm eller 150 mm, och på provkropparna markerades vägbeläggningens utlagda riktning, och testerna utfördes sedan i enlighet med denna riktning.

Båda testmetoder visade resultat som kan approximeras med en normalfördelning. Den direkta skjuvmetoden uppvisade högre skjuvspänningsvärden än ASTRA - metoden på grund av skillnaden i randvillkoren (hastighet, geometri, etc.) metoderna emellan. Den här forskningen var en förstudie till den omfattande undersökning som RILEM (International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures) tekniska kommitté för bitumiösa material initierade 2006. I denna internationella ringanalys tillämpades samma testmetoder som Canestrari m.fl. (2005) använde i sina studier. 14 laboratorier från 11 olika länder deltog, där Sverige fanns representerat genom Nynas AB.

Lista över de 14 laboratorier som deltog i studien:

- Amt der Kärntner Landesregierung - Bautechnik, Klagenfurt, Austria
- EMPA Dübendorf, Switzerland
- Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Vienna, Austria
- Institut für Straßenwesen der TU Braunschweig, Braunschweig, Germany
- Laboratoire 3MsGC, Centre Universitaire de Génie Civil, Egletons, France
- National Centre for Asphalt Technology, Auburn, AL, U.S.A
- National Cheng Kung University, Department of Civil Engineering, Tainan, Taiwan
- NCPE University of Nottingham, Nottingham, UK
- Nynas AB, Nynäshamn, Sweden
- Nynas UK AB, South Wirral, UK
- Road and Bridge Research Institute, Jagiellonska, Poland
- Transport Research Centre of CEDEX, Madrid, Spain
- Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy
- University of California Pavement Research Centre, Richmond, CA, U.S.A.

Resultaten publicerades av Piber m.fl. (2009) och är den hittills mest omfattande studien i syfte att utvärdera användandet av skjuv- respektive vridmomentsmetoder för bestämning av vidhäftningen mellan två beläggningsslager. Målet med studien var att bestämma repeter-, respektive reproducerbarheten i de skjuvtest som har föreslagits av deltagarna. Dessutom avsågs med studien att bestämma korrelationer mellan olika testmetoder, och att utvärdera betydelsen av olika testbetingelser.

Skjuv- och vridtest genomfördes på totalt 1400 borrkärnor. Testprogrammet var utformat som sådant att sju provkroppar testades för varje signifikativt testvillkor. Testvillkoren varierade i form av diameter, testtemperatur, belastningshastighet, normalkraft vinkelrätt mot gränssnittet

och provkroppens mognad. Under testen mättes den maximala skjuv-, eller vridmomentet och motsvarande förskjutning, varvid den maximala skjuv-, eller vridspänningen kunde beräknas.

Studien visade att det generellt sett är bra samstämmighet i de olika enkelriktade monotona, statiska skjuvtesten. Den uppnådda precisionen i de utförda skjuvtesten ansågs som tillfredställande.

Noggrannheten i skjuvtesten, med en absolut homogena yta i en vägsektion är:

- Repeterbar standardavvikelse $S_r = 0,05\bar{\tau}$
- Reproducerbar standardavvikelse $S_R = 0,12\bar{\tau}$

Påverkan av temperatur, provkropparnas diameter, och provhastigheten kan matematiskt uppskattas och tydliga samband kunde hittas i resultaten. När det gäller provkropparnas diameter, konstaterades det att skjuvspänningsvärdet för 150 mm proven var lägre i alla temperaturer än de testade borrhärdar med en diameter på 100 mm.

Två laboratorier utförde tester i syfte att undersöka hur provkropparnas mognad påverkar skjuvhållfastheten i gränssnittet. Det framgick att skjuvhållfastheten ökade i takt med tiden, och på drygt ett år ökade hållfastheten med upp till 27 %. Laboratorium 1 använde sig av ett modifierat Leutnertest, och laboratoriet två utförde tester med ASTRA utrustningen.

Tabell 3.2 Resultat från RILEM studien med två deltagande laboratorier. Här studerades redovisas hur skjuvspänningen är beroende av provkropparnas mognad.

Laboratorium	1		2	
Provningsvillkor	D = 150 mm V = 50 mm/min Normalspänning = 0 MPa		D = 100 mm, v = 2.5 mm/min Normalspänning = 0.2 MPa	
Testdatum	Maj 2006	Nov 2007	Jun 2006	Nov 2007
Temperatur	Skjuvspänning (MPa)			
10°C	2.03	2.49	0.95	1.09
20°C	1.23	1.59	0.68	0.68
30°C	0.58	0.98	0.37	0.44

Ett förhållande påträffades som möjliggör beräkning av hur testhastigheten påverkar skjuvhållfastheten. Friktionsparametern föreföll vara ungefär linjärt beroende av normalspänningen. Det gäller också för lutningen av den linjära regressionen mellan skjuvspänningen med eller utan normalspänning. Oberoende av testförhållandet i gränssnittet verkar skjuvspänningen mellan två lager ha samma relation till temperaturen i provkroppen.

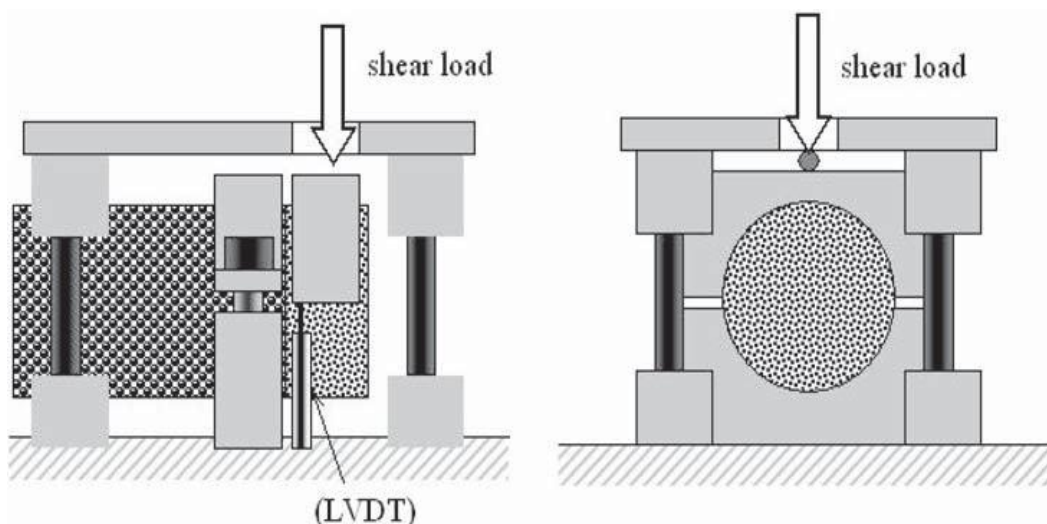
Under de senaste åren har det i Europa varit ett ökat intresse för att utveckla testmetoder för att kontrollera vidhäftningen i ett gränssnitt mellan två beläggningslager. Raab och Partl (2009) på EMPA sammanställde i en artikel resultaten av en omfattande studie i Schweiz där fokus låg i hur de underliggande beläggningslagren påverkas på lång sikt.

I sammanställningen jämfördes resultat från tester utförda med det modifierade skjuvtestet, LPDS på högtrafikerade vägar efter 9-13 år. Enligt forskarna är detta skjuvtest en pålitlig testmetod för att bestämma skjuvhållfastheten i ett gränssnitt mellan två beläggningar.

Collop m.fl. (2009) redovisade resultaten från en studie som gjorts i syfte att undersöka skjuvhållfastheten mellan laborietillverkade provkroppar och borrkärnor tagna i fält. I studien användes ett skjuvtest av typ Leutner, som modifierats med ett 5 mm mellanrum i skjuvplanet för att reducera skador som kan uppstå när gränssnittet är skevt. Dessutom användes en metallcylinder som förlängning till provkroppar med mycket tunna beläggningslager. Samma forskarteam (Collop m.fl. 2010) har utarbetat ett automatiserat vridmomentstest i syfte att bestämma skjuvhållfastheten mellan beläggningslager. En bra korrelation i resultaten upptäcktes där testen utfördes i 600 N/min och testning med 180°/min.



Figur 3.7 Borrkärnor till RILEM studien togs från en testsektion i Ancona, Italien. (Piber m.fl. 2009).



Figur 3.8 Det modifierade skjuvtestet som användes i RILEM studien, tillsammans med ASTRA (Piber m.fl. 2009).

När det gäller testmetoder råder ingen samstämmighet kring vilken som är mest lämpad för att bestämma vidhäftningen mellan två väglager. I de flesta fall har detta undersöks genom att testa skjuvhållfastheten i ett gränssnitt. Det är ytterst få ringanalyser som har gjorts i syfte att utveckla en specifik testmetod, och de metoder som hittills använts har varit modifierade för

just den studien. Orsaken till att det saknas generell kunskap i ämnet är att det är många faktorer som är av betydelse för hållfastheten i en väg, och framförallt i gränssnittet mellan beläggningarna i vägen.

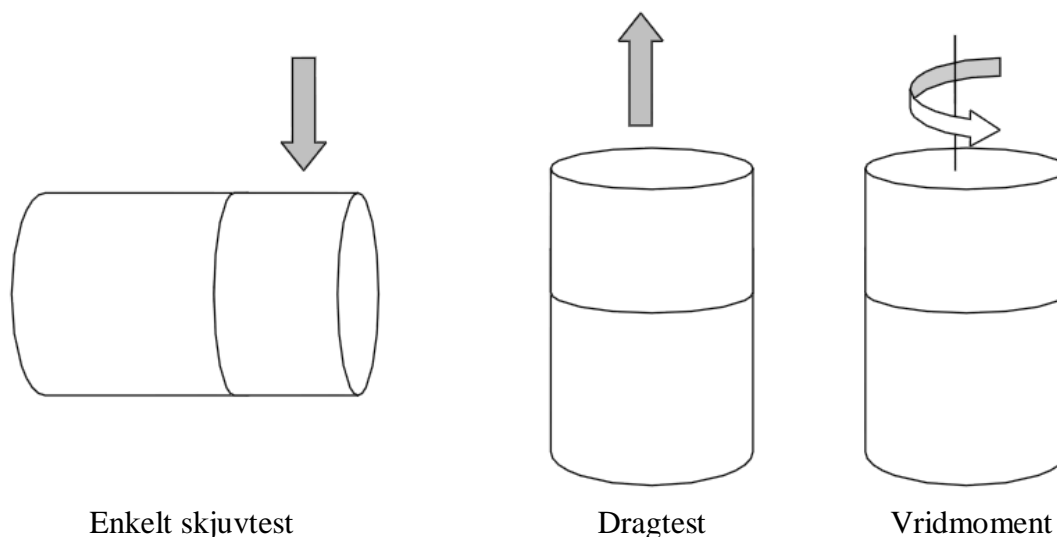
Gemensamt för de tester som redovisats är att olika fysikaliska egenskaper i beläggningen, gränssnittet mellan beläggningarna och vidhäftningsförmågan i det klister som används vid skjuvtest är av stor betydelse. I den litteratur som finns kring ämnet indikeras att de främsta faktorerna som påverkar hållfastheten i ett gränssnitt mellan två beläggningsslager är:

- Temperatur;
- Typ av beläggnings- och klistermaterial;
- Beläggningsslagrens struktur;
- Materialets mognad, ålder;
- Klisterdosering;
- Spänningsfördelning och belastning i vägmassan.

4 Testmetoder

I det här kapitlet följer en sammanfattning av de metoder som har använts i tidigare studier, med en detaljerad beskrivning på de tre testmetoder som för närvarande utarbetas inom CEN.

Testning utförs normalt på cylindriska provkroppar, och en generalisering över de metoder som används för att bestämma brottkraften mellan två beläggningsslager kan göras enligt figur 4.1. Varje metod har sina för- och nackdelar varvid det enkla skjuvtestet används för att kontrollera skjuvhållfastheten i laboriemiljö, och vridmoment används primärt för skjuvtest in-situ. Dragtestet används vanligtvis i syfte att undersöka vidhäftningen mellan tunna lager, där minst ett lager har en tjocklek på upp till 15 mm.



Figur 4.1 Generalisering av de metoder som används för att uppskatta vidhäftningsförmågan mellan 2 lager

En sammanfattning över de metoder som har presenterats i föregående kapitel, och det är dessa som vanligtvis har använts för test av skjuv-, och draghållfasthet samt vridmoment presenteras i tabell 4.1.

Tabell 4.1 Sammanfattning av vanligen använda testmetoder för test av hållfastheten i ett gränssnitt mellan två beläggningslager.

Skjuvtest	Dragtest	Vridmoment
ASTRA (Italien)	UTEF (US)	Torque Test (GB)
FDOT Shear tester (US)	ATACKER (US)	ATACKER (US)
LPDS (Schweiz)	Österrikiska metoden	
NCAT Shear tester (US)		
Superpave Shear Tester (US)		

Sett till den forskning som finns så klassificeras testmetoderna i tre huvudkategorier, baserade på den typ av belastning som används i utförandet:

Den Schweiziska metoden (Leutner test) där en borrkärna på 150 mm i diameter utsätts för skjuvbelastning, där krav på minsta skjuvspänning är 15 kN i gränssnittet mellan slitlager och bindlager samt 12 kN i vidhäftningen mellan bindlager och bärlager. Metoden bygger på Leutners och är standardiserad i Schweiz (SN 670 461)

Den Österrikiska metoden (Pull-Off Test Method) innebär att metallplattor limmas på provkroppar i båda ändar. Borrkärnan genomgår sedan ett dragtest där syftet är att dra isär de två lager som provkroppen består av. Dragspänning måste överstiga 1.5 N/mm² för modifierade klister, och 1 N/mm² för vanliga, icke modifierade klister. ”Penalties are distributed” för varje 0,1 N/mm² som understiger specifikationen. Metoden är standardiserad i Österrike (ÖNORM B 3639 - 2:1997 07 01).

Den Brittiska metoden (Torque Bond Test), har utvecklats inom British Board of Agrément (2004) där metallplattor limmas på vardera änden en provkropp med en diameter på 100 mm. Provkroppen undergår sedan vridmoment tills dess att brott uppstår i gränssnittet mellan de båda beläggningslager som provkroppen består av. Metoden är ej standardiserad.

CEN har valt att vidareutveckla de tre ovanstående testmodellerna till europeisk standard, och syftet med den här rapporten är att utvärdera de metoderna och huruvida det är praktiskt möjligt att införa en svensk standard för ändamålet. Vidare följer här en beskrivning för de olika metoderna, baserad på det förslag till europeisk standard som utarbetats inom CEN.

4.1 Leutner Test (Modified)

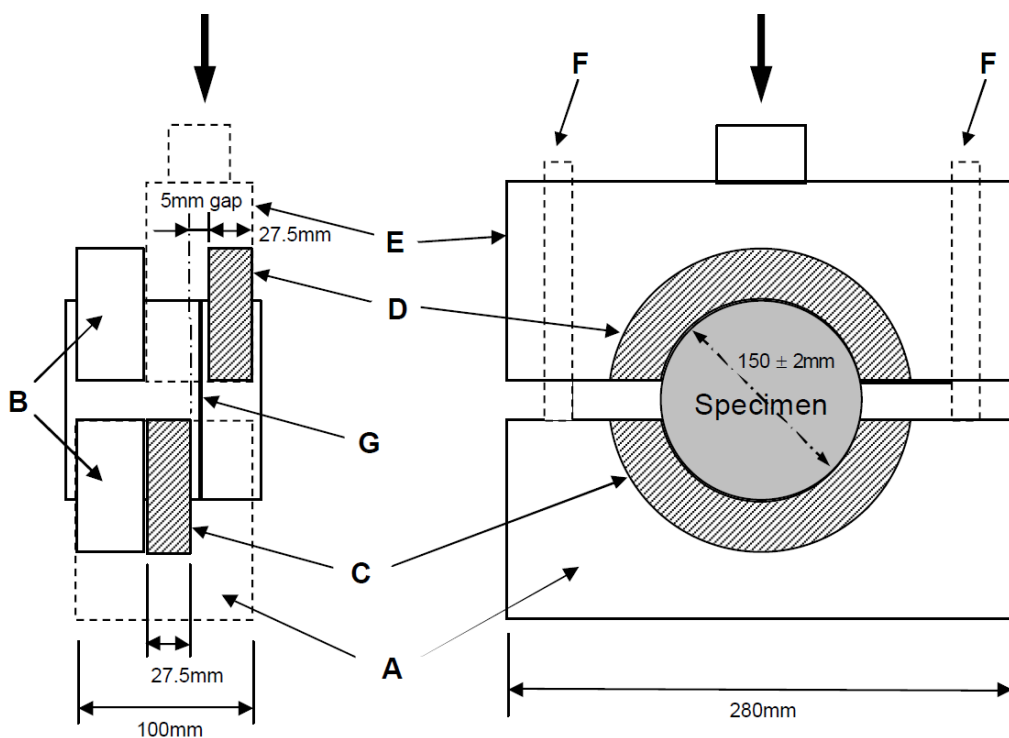
Sett till de testmetoder som har presenterats i den här rapporten, är det modifierade versioner av Leutners skjuvtest som är vanligast. Den här testmetoden bygger på schweizisk standard SN 670 461, Layer Parallel Direct Shear och har utarbetats inom CEN. Metoden användes i RILEMS testprogram tillsammans med ASTRA, och är den metod som visat sig vara mest praktisk av alla testmetoder.

Sammanfattning

Cylindriska provkroppar med en nominell diameter på 150 mm undergår direkt skjuvbelastning i en temperatur på 20°C. Provningsen utförs med ett modifierat Leutner test i laboratoriemiljö. Den maximala skjuvkraft i MPa som krävs för att separera det övre och det undre lagret i provkroppen skall registreras i gränssnittet (limfogen) .

För vedertagen testning skall det övre lagret ha en tjocklek på minst 30 mm, tillika det undre lagret. Tunna lager som är mindre än 30 mm, men över 15 mm i tjocklek, är det möjligt att använda en förlängning i form av en metallplatta.

Utrustning



Figur 4.2 Principskiss över apparaturen för det modifierade Leutner testet.

Apparatur för skjuvtest enligt figur 4.2, sammansatt av en huvudkropp (A) på vilken själva hållaren för provkroppen skruvas på (B) och den undre skjuvringen (C). Den övre skjuvringen monteras på den övre delen (E) av apparaten, som är rörlig över glidstavarna (F). Mellanrummet mellan skjuvringarna är 5 mm.

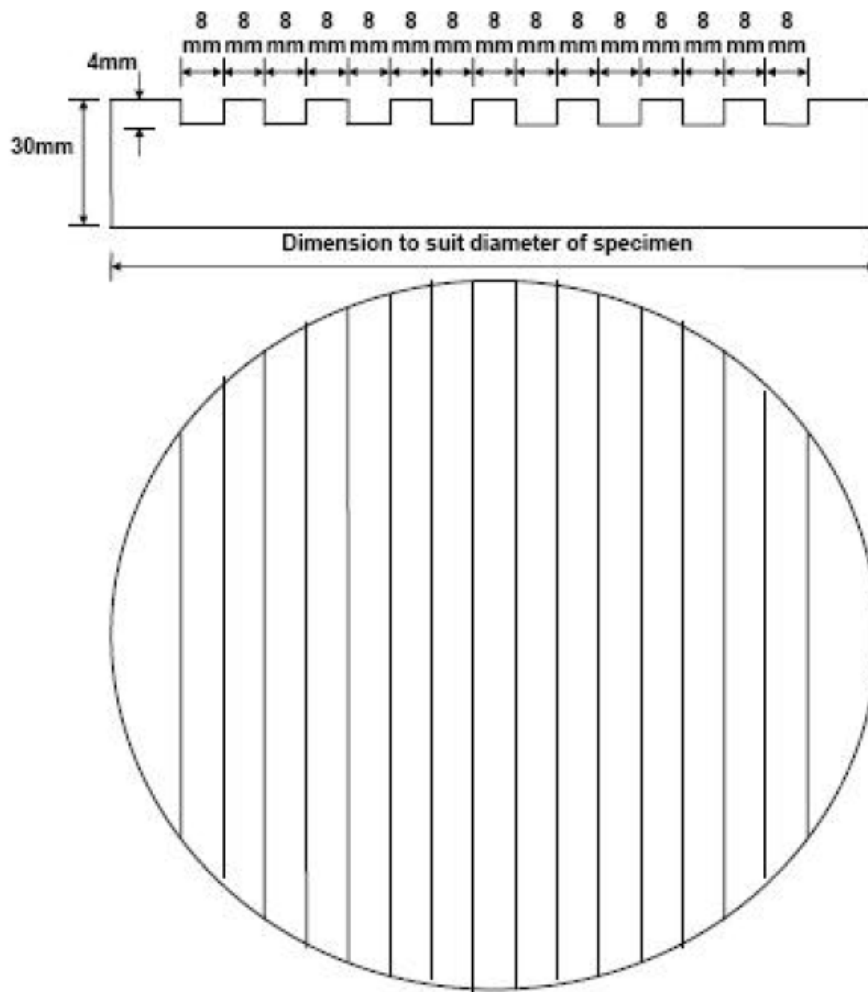
En förlängningsplatta tillverkad i aluminium eller starkare material, enligt figur 4.2

En monteringsram som är kapabel att klara en konstant vertikal förskjutning med 50 ± 2 mm i minuten, och en maximal belastning på åtminstone 50 kN.

Ett lämpligt lim som vid behov av en förlängningsplatta används för montering av dito.

Ett dataloggningssystem för dokumentation av belastning och förskjutning under testning.

Schematic Drawing of the Metal Plate Extension



Figur 4.3 Förlängningsplatta i metall

Provberedning

Provkropparna skall ha en diameter på $150 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, och det skall vara minst 30 mm material över och under gränssnittet som ska testas. För tunna beläggningar med en tjocklek på mellan 15 - 30 mm skall en förlängningsplatta i metall limmas fast i det övre lagret. Borrkärnor tas från en väg in-situ eller från laborietillverkade plattor som har packats med en laborietillverkat slitlager limmas sedan på de packade plattorna.

Provning

Diameter och tjocklek på provkroppen skall bestämmas och avrundas med millimeter precision. Provkroppen skall placeras i en temperaturstyrd luftkonditionerad miljö med en temperatur på $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ i minst 5 timmar. När provet tas från den tempererade miljön får tiden till dess att testet är utfört inte överstiga 15 minuter.

Lämpliga skjuvringar används för att forma en lös passform runt provkroppen som skall användas och monteras på Leutnerapparaturens monteringsram. Till exempel används ringar med en diameter på 151 mm för en provkropp på 150 mm. Om en förlängningsplatta används skall dess diameter överstiga provkroppens (dock inte mer än 2 mm) och skjuvringarna skall

generera i en lös passform runt förlängningsplattan (ungefär 1 mm). Den räfflade ytan i förlängningsplattan ska limmas på ovansidan på det översta lagret av provkroppen.

Provkroppen skall placeras i testanordningen och gränssnittet anpassas mellan den undre och övre skjuvringen. Om en förlängningsplatta är monterad, ska riktningen i den räfflade ytan vara vinkelrät mot den tillförda skjuvbelastningens riktning. Sedan fixeras provkroppen i hållaren, och kontrollera att den sitter fast.

Testapparaturen skall placeras i monteringsramen, och justeras till dess att den övre skjuvringen nästan har kontakt med provkroppen.

Ett dataloggningssystem för att registrera belastning och förskjutning startas och skjuvtestet påbörjas. Belastning tillförs med $50,0 \pm 2$ mm varje minut och avbryts när provningsramen når sin gräns på 7 mm i förskjutning.

När testet är utfört, skall testapparaturen demonteras och provkroppen avlägsnas. Skjuvkraften F , registreras med en noggrannhet på 0.1 kN och förskjutningen δ , avrundas till närmaste 0,1 mm. Båda sidor av provkroppen skall undersökas för att se om synliga sprickor och andra anomalier uppstått. Registrera eventuella kommentarer vid behov.

Beräkning

Skjuvspänning bestäms enligt följande formel:

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

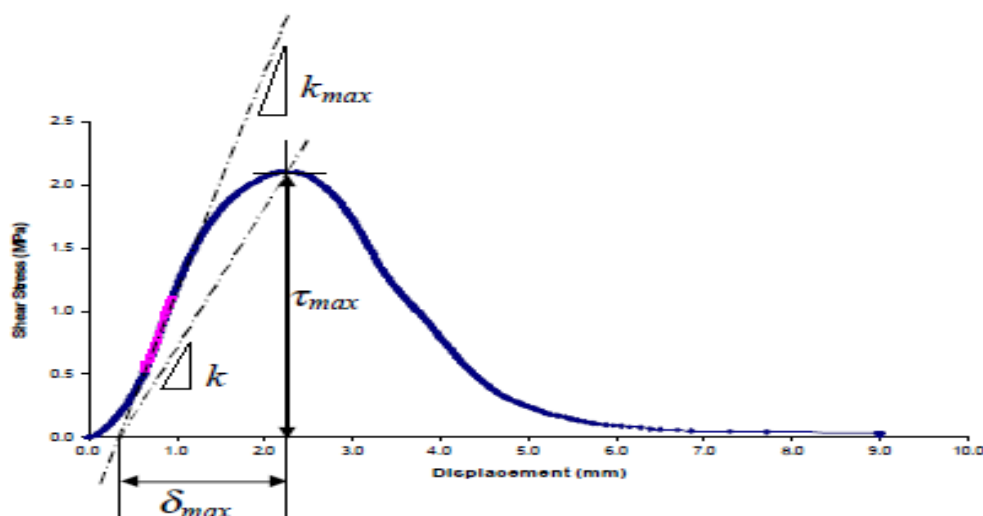
τ = Skjuvspänning i MPa

F = Belastning i kN

r = Provkroppens radie (före test)

Använd sedan den beräknade skjuvspänning och den registrerade förskjutningen och plotta sedan skjuvspänning/förskjutningsdiagram.

Figure A2: Example of shear stress vs displacement data plot



Figur 4.4 Exempel på diagram över skjuvspänning i förhållande till förskjutning.

Diagrammet används sedan för att bestämma följande:

τ_{\max} Maximal skjuvspänning [MPa] i gränssnittet med en noggrannhet på 0,01.

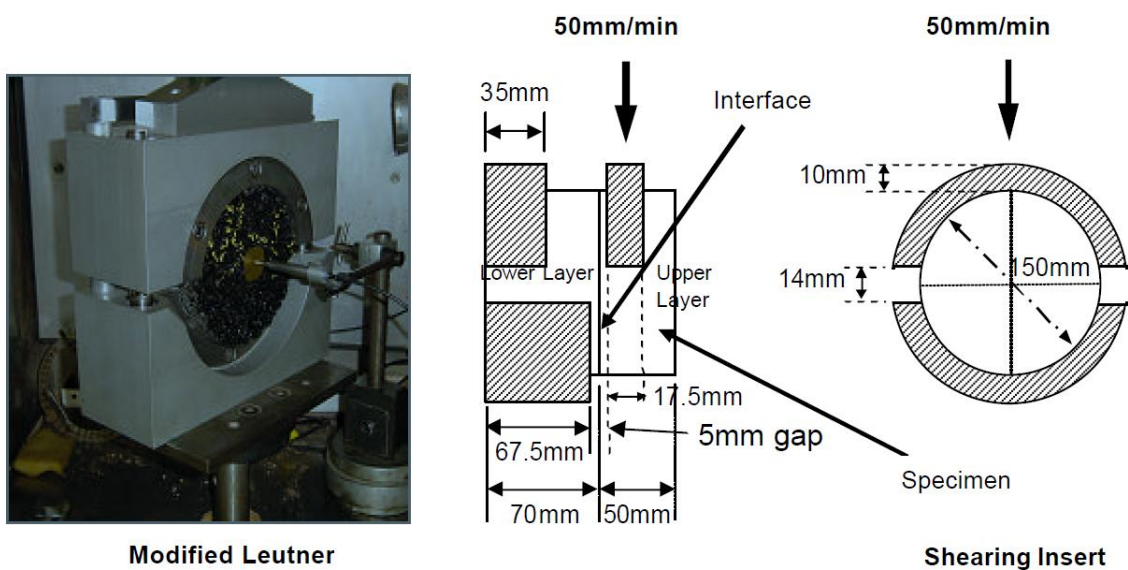
δ_{\max} Förskjutning vid maximal skjuvspänning [mm], med en noggrannhet på 0,1

k_{\max} Maximal styvhetsmodul för skjuvspänning [MPa/mm], med en noggrannhet på 0,01

k Styvhetsmodul för skjuvspänning [MPa/mm], med en noggrannhet på 0,01

Precision

Precision är ej bestämd för metoden.



Figur 4.5 Typexempel för ett CEN-modifierat Leutner test

4.2 Torque Bond Test

Den här beskrivningen bygger på det förslag till europeisk standard som har utarbetats inom CEN. Metoden är ett vridmomentstest som skall användas för att bestämma skjuvhållfastheten mellan ett övre lager och ett undre lager i en väg.

Sammanfattning

Vridmomentstestet skall utföras antingen in-situ eller i laboratoriemiljö med borrhärnor. I fält skall en stålplatta limmas på vägytan, och vid laboratorietest fästs en stålplatta på ovansidan av en provkropp. Den festsatta stålplattan roteras med hjälp av en vridmomentsnyckel för att bestämma den roterande skjuvhållfastheten i förbindelsen mellan det övre och det undre lagret i provkroppen.

Om det översta lagret har en tjocklek på mer än 15 mm, krävs att man borrar sig ner i det underliggande lagret för att separera det översta lagret från kringliggande material. För material som är under 15 mm i tjocklek, kan det vidhäftande lagret testas i fält utan borrar. Vid laboratorietest skall provkroppen luftas i den temperatur testet skall utföras i, och för tester in-situ skall temperaturen vid provtillfället registreras.

Utrustning

Borrutrustning för utbörning av provkroppar som är lämplig för att borra ut borrhärnor med en diameter på 100 mm och 200 mm i bitumiöst material.

En vridmomentsnyckel som är utrustad med en avläsningsenhet som anger det maximala vridmomentet. Verkyget skall vara kalibrerat för ett omfång på 0-350 Nm, med en läsbar skala som har en noggrannhet på åtminstone 10 Nm. Den skall vara inpassad med en hylsa, som möjliggör att stålplattor enkelt kan monteras och avlägsnas.

En metallplatta av lättmetall som har en diameter på 95 ± 5 mm och en tjocklek på 14 ± 2 mm. Plattan skall ha en koppling som gör det möjligt att ansluta den till vridmomentsnyckeln. Det har visat sig att kopplingar på 12,7 mm och 19,05 mm är lämpliga att använda.

Gjutform för att innesluta och fixera laboratoriekropparna.

Termometer som är läsbar till $0,1^{\circ}\text{C}$, och med en noggrannhet på $0,5^{\circ}\text{C}$

Linjal som är läsbar ner till 1 mm.

Skjutmått för mätning av en borrhärnas diameter

Klocka eller timer läsbar med en ackuratess på 1 sekund

Vattenpass för att kontrollera laboratorietillverkade provkroppar

Tempererat vattenbad för provkroppar, som kan hålla en temperatur på $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Lämpligt lim, för att fästa metallplattan i provkroppen. Vidhäftningsförmågan skall självfallet vara så pass bra i limmet att metallplattan inte släpper före brott sker i provkroppens gränssnitt.

Provberedning

Provkropparna skall ha en diameter på 100 mm, och borrkärnan skall vara minst 80 mm i tjocklek under gränssnittet. Det övre lagret skall ha en tjocklek på minst 15 mm. Borrkärnorna tas från en väg in-situ eller från laboratorietillverkade plattor som har packats med en laboratorievält enligt EN 12697 -33 och EN 12697-35. Ett laboratorietillverkat slitlager limmas sedan på de packade plattorna. Det är viktigt att ytorna inte skadas på borrkärnorna, då det påverkar testresultatet. Sex provkroppar testas och ett medelvärde tas sedan fram och redovisas som ett resultat.

Provning

Borrkärnan placeras i en form, med murbruk eller injekteringsbruk som underliggande bädd, så att det övre lagret och det klistrade gränssnittet som ska testas ligger 20 ± 10 mm över kanten på själva formen. Det är av högsta vikt att provkroppen inte lutar, då det påverkar testresultatet. Vattenpass används för att kontrollera att provkroppen är placerad vinkelrätt mot formen, och att det övre lagrets yta ligger i horisontell linje med gjutformen. Metallplattan limmas sedan fast på provkroppen varefter luftkonditionering sker i en temperatur på $20 \pm 2^\circ\text{C}$ under fyra till sexton timmar. Tiden för luftningen av provkropparna registreras tillsammans med temperaturen. Testning utförs sedan med en temperatur på $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Vid testning fixeras gjutformen med den beredda provkroppen så att den sitter fast. Sedan belastas provet genom att vridmomentsnyckeln dras med en vinkel på 90° inom 30 ± 15 sekunder. Det är viktigt att vridmomentet tillförs parallellt med ytan på provkroppen, avvikelser på $\pm 10^\circ\text{C}$ är godtagbara. Belastning sker tills dess att fogen mellan lagren i provkroppen släpper.

Vid provning registreras värdet på vridmomentet vid brott, M i Nm. Det är viktigt att temperaturen noteras i gränssnittet omedelbart efter att brott har inträffat. En okulär besiktning görs, där provkroppen och ytorna i gränssnittet undersöks. Den visuella bedömningen av ytan efter att brott i fogen inträffat, ska utföras enligt följande klassificering:

- A) I den ovanliggande asfaltmassan.
- B) Delvis i gränsytan, delvis inom asfaltmassan (mixed break)
- C) I gränsytan.
- D) Delvis i gränsytan, delvis i den underliggande asfaltmassan (mixed break)
- E) I den underliggande asfaltmassan
- F) Delvis eller helt i limmet.

Vid ett så kallat ”mixed break”, skall varje del uppskattas med en noggrannhet på 10 %. Diametern på provkroppen kontrolleras efter utförd provning i två riktningar ungefär 90° från varandra, och medelvärdet av de båda mätningarna registreras med en noggrannhet på 1 mm.

Beräkning

Följande formel används för att beräkna skjuvhållfastheten i gränssnittet för varje provkropp:

$$\tau = \frac{12M \times 10^6}{\pi D^3}$$

Där:

τ = Skjuvspänning i gränssnittet (kPa)

M = Maximalt vridmoment vid brott (Nm)

D = Provkroppens diameter (mm)

Beräkna sedan medelvärdet den maximala skjuvspänningen, τ i de sex utförda testerna.



Figur 4.6 Vridmomentstest i laboratoriemiljö (Taschman, 2006)

4.3 Pull- Off Test Method

Den här beskrivningen bygger på det förslag till testmetod och utförande för bestämning av vidhäftningsförmågan mellan två lager som har presenterats av CEN i september 2009. Utkastet bygger på den i Österrike standardiserade metoden, som det refereras till i tidigare studier. Metoden är avsedd för testning i laboriemiljö, och skiljer sig från de amerikanska metoderna för dragtest som utförs in-situ.

Sammanfattning

En testkolv limmas fast på ovansidan av en provkropp som består av två sammanfogade beläggningslager. Testkolven dras sedan av provkroppen med lämplig dragprovningssapparat vid en specificerad temperatur och med en kontinuerlig belastning.

Vid provning dras testkolven loss vinkelrätt från provkroppen med dragkraftsökningen 200 N/s och den maximala kraften vid brott samt den cirkulära ytan för stålstämpeln registreras. Resultatet presenteras som draghållfastheten i det vidhäftande materialet och anges i MPa.

Utrustning

Provkroppen skall ha en diameter på 150 mm och en tjocklek på minst 60 mm. Skadade provkroppar kasseras omgående.

Testkolv i stål med en diameter på 100 mm \pm 1 mm och en tjocklek på åtminstone 20 mm.

Maskin för test av draghållfasthet med kapacitet till en konstant belastning utan slag på minst 30 KPa. Enheten ska mäta belastningen vid brott med en noggrannhet på 2 % av lasten.

Stålstämpel med en inre diameter på 105 mm \pm 1 mm och en yttre diameter på 300 mm \pm 1 mm. Tjockleken bör vara minst 25 mm, för att säkra kontakt mellan provkroppen och testapparaturen.

Lim för att fästa testkolven på provkroppen

Kalibrerade termometrar för att mäta temperaturen under testet.

Borrmaskin som är bestyckad med diamantborr för provkroppar. Borrkronan skall ha en inre diameter på 100 mm \pm 2 mm, och vara ställbar i djupled.

Slipmaskin för tillredning av ytan på provkroppen.

Krumcirkel skall användas för att mäta diametern av den cirkulära ytan på insidan av ringspåret, med en observerbar precision på 0,1 mm.

Provberedning

Form

Provkroppen kapas till en tjocklek på ungefär 60 mm, parallellt med ovansidan. Med en bormaskin utrustad med diamantbestyckad borkrona, skärs ett ringspår in i ovansidan på provkroppen. Spår djupet ska vara ungefär 10 mm djupt ner i det bitumiösa substratet som normalt är varmblandad asfaltmassa. Ringspåret skall ha en inre diameter på $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. Det är avgörande att alla skador (till exempel spjälkning) som kan uppstå i samband med beredning av provkropparna skall minimeras. Borring ska ske med en ej skadad borr, balanserat, slätt och utan synlig excentricitet.

Slipning av fästyta

Ovansidan på provkroppen slipas med slipmaskin och ytan ska vara synligt slät, så att testpluggen kan fästas mot den cirkulära ytan inuti ringspåret. Hur mycket ytan behöver slipas beror på råheten/skrovligheten i provkroppens yta. Normalt räcker det med att slipa ner ytan 2 till 3 mm. Det är viktigt att inte värma upp asfaltmassan för mycket, då dess egenskaper då förändras.

Limning av testkolv på provkroppen

Innan testkolven fästs på provkroppen skall ovansidan av provkroppen kontrolleras så att den är torr och synligt fri från damm, fett och annat som kan försämra vidhäftningen. Testkolven ska fästas mot provkroppen i området inom ringspåret med hjälp av lim. Ringspåret ska hållas helt fritt från lim.

Luftning

Den beredda provkroppen med den fastlimmade testpluggen tempereras under minst 12 timmar, i en temperatur på $0^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C}$ eller $10^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ (beroende på vilken temperatur testet skall utföras i).

Montering

Efter luftning ska provkroppen monteras i testapparaturen inom 30 sekunder efter det att provkroppen avlägsnats från luftningsanordningen. Den färdigpreparerade provkroppen monteras med kraft, så att stålstampen fixeras på plats.

Provning

Provet belastas med ett konstant tryck på 200 N/s ($25 \text{ kPa/sec} \pm 5 \text{ kPa/sec}$), tills dess att fogen släpper. Den maximala kraften F_{max} i N och diametern på den cirkulära ytan D i m innanför stålringen registreras.

Beräkning

Ytans area, A innanför stålringen beräknas, med en noggrannhet på $0,1 \text{ mm}^2$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \pi r^2$$

Där:

D = Diametern på den cirkulära ytan innanför stålringen med en noggrannhet på $0,1 \text{ mm}$.

Draghållfastheten σ [MPa] beräknas sedan som den maximala kraften genom arean på den cirkulära ytan innanför stålringen.

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A}$$

Där:

σ = Draghållfastheten i MPa med en noggrannhet på 0,1 MPa

F_{\max} = Den maximala kraften i N med en noggrannhet på 1 N.

A = Ytans area, A innanför stålringen

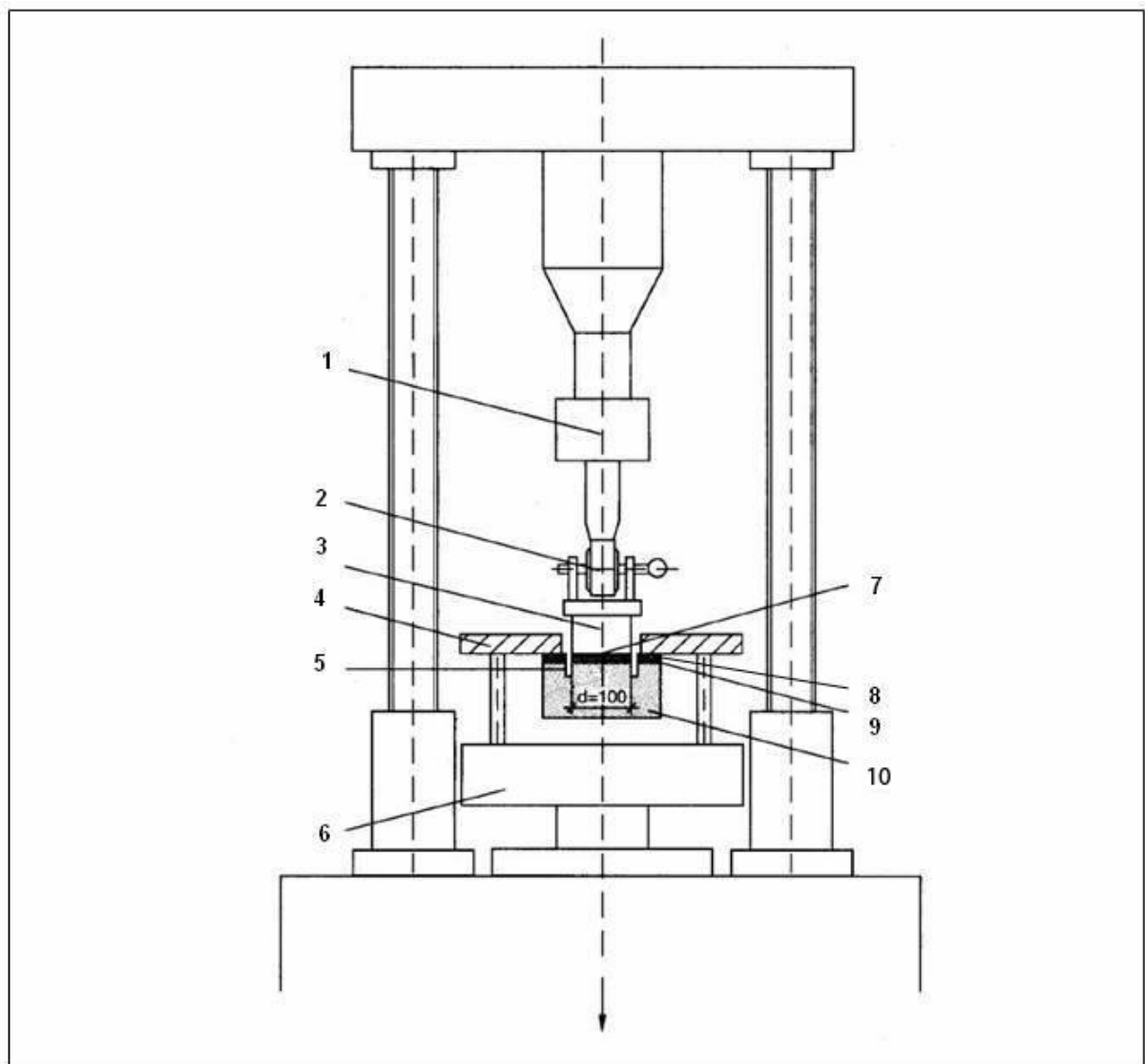
Den visuella bedömningen av ytan efter att brott i fogen inträffat, ska utföras enligt följande klassificering:

- A) I den ovanliggande asfaltmassan.
- B) Delvis i gränsytan, delvis inom asfaltmassan (mixed break)
- C) I gränsytan.
- D) Delvis i gränsytan, delvis i den underliggande asfaltmassan (mixed break)
- E) I den underliggande asfaltmassan
- F) Delvis eller helt i limmet.

Vid ett så kallat "mixed break", skall varje del uppskattas med en noggrannhet på 10 %.

Precision

Noggrannheten för testmetoden har inte fastställts.



Figur 4.7 Principskiss över apparatur för dragtest.

Teckenförklaring:

1. Kraftarm
2. Fäste
3. Testplugg
4. Motplatta
5. Ringspår
6. Stödplatta
7. Lim, som fogar ihop testpluggen med provkroppen
8. Provkroppens övre lager
9. Gränssnitt
10. Provkroppens undre lager

5 Diskussion och Slutsatser

Det råder idag ingen samstämmighet kring vilken metod som är bäst lämpad för kontroll av vidhäftningen mellan beläggningslager, dock kan det konstateras att forskning kring vidhäftningen mellan lager, klisterförfarandet och användandet av klistermaterial har tilltagit de senaste åren.

För att kunna praktisera enhetliga, standardiserade testmetoder måste det vara möjligt att få fram likvärdiga resultat vid upprepade försök som är utförda under samma förhållanden. Då det självfallet är en omöjlighet att utföra helt identiska test, så krävs det att varje metod kan uppvisa en godtagbar precision.

Den nyligen genomförda ringanalys som har utförts inom RILEM, med deltagare från 14 laboratorier i 11 länder, är av stort intresse då syftet har legat i att undersöka precisionen i testmetoder med anknytning till den här rapporten.

I den forskning som hittills har utförts, så kan det konstateras att forskarna har fokuserat på att jämföra olika klistermaterial och de har försökt ta fram optimala klisterdoseringar för olika temperaturer och material. Inga omfattande studier kring precisionen i olika testmetoder finns utförda före RILEM studien. I Nordamerika har flertalet tester gjorts i syfte att ta fram prototyper för ändamålet, och i de flesta fall skiljer sig resultaten från varandra. Det beror förutom att testmetoderna skiljer sig något i utförande, och att inga studier har utförts med fullt enhetliga parametrar (klistermaterial, beläggningsmaterial, doseringsmängd etc.).

Skjuvtestet är en enkel och praktisk metod som kan utföras i en vanlig marshallmaskin. De flesta skjuvtester som har utförts bygger på Leutners direkta skjuvtest, dock med egna små modifieringar, ofta med skillnader i hur monteringsramen sitter i förhållande till provkropp och apparatur. De tester som har utförts av arbetsgruppen inom RILEM är utförda i enlighet med de testparametrar som finns angivna i den av CEN utarbetade Leutnermetoden. En nackdel med metoden är att den är känslig, och det är viktigt att belastningen på provkroppen tillförs rätt i limfogen.

Dragtestet utförs genom att en metallplatta limmas fast på ovansidan av en provkropp, som sedan dras isär med hjälp av en dragtestningsmaskin tills dess att brott inträffar. Metoden används för att testa draghållfastheten i gränssnittet mellan två beläggningslager, och är lämplig att använda där klistereffekten i ett vidhäftningsmaterial skall utvärderas. Nackdelen med metoden är att provberedningen är omständlig.

Vridmomentstestet är en metod som kan användas både i laboriemiljö, och in-situ. Metoden har en nackdel i att provberedningen är tidskrävande. Vridmomentet måste dessutom tillföras provkroppen horisontellt, och utan en automatisering av utförandet är det nästan en omöjlighet att få ett helt vinkelrätt utförande i alla test som utförs i stor skala.

Det är svårt att avgöra vad som kan anses som normala värdenivåer enbart genom att studera den forskning som finns. Forskarna har i de flesta fall använt sig av egna modifierade testanordningar, olika doseringsmängder, olika klistermaterial och olika vägmaterial i sina studier. I RILEMS studie låg normala värden för skjuvhållfastheten på över 1,0 MPa, som kan jämföras med de värden på ungefär 0,8 MPa som uppmättes i de tester som Veidekke utförde på RV 55 (Ulmgren, 2004). Det kan jämföras med de låga kravnivåer på 0,15 MPa som är satta enligt den schweiziska standarden. Enligt CEN förespråkas en nivå på 0,5 MPa, och den gränsen kan tyckas vara en rimlig gräns. Dock skall poängteras att inga kravnivåer, eller konkreta värdenivåer finns bestämda för vad som kan anses som normalt vid en god och

mycket väl utförd klistring. Precisionen i den modifierade Leutnermetoden kan anses som tillfredställande, baserat på den forskning som utförts inom RILEM.

I Nordamerika har testning i många fall utförts på provkroppar bestående av betong i ett undre lager och varmblandad asfalt i ett övre lager, och brottkraften har visat sig vara betydligt lägre än i tester med enbart asfalt. Det mesta tyder dock på att flera olika faktorer påverkar skjuv- och draghållfastheten i gränssnittet mellan två lager.

En slutlig sammanfattning kan göras:

- RILEMS forskning är den mest omfattande, och resultaten från den studien är av störst intresse för testning av skjuvhållfastheten i ett gränssnitt mellan asfaltlager;
- Det finns ingen bestämd undre brottgräns för hållfastheten i ett gränssnitt;
- Hållfastheten i ett gränssnitt sjunker i takt med att temperaturen ökar;
- Hållfastheten i ett gränssnitt är bättre i ojämna ytor, men kräver mer klister;
- Hållfastheten är sämre i släta ytor, men kräver mindre klister;
- Provning sker i de flesta fall med en test temperatur på 20°C alternativt 25°C;
- Klistermaterialet påverkar till viss del resultatet, även om vägytans beskaffenhet är av större betydelse för vidhäftningen;
- Doseringsmängd påverkar till viss del vidhäftningen, men är också beroende av ytornas beskaffenhet.

Klistermängd

Enligt FAS Asfaltbok (1995) beror klistermängden på underlagets beskaffenhet, och riktvärdet är 0,2 - 0,4 kg/m². I VVAMA (2010) anges en doseringsmängd bitumenemulsion på 0,3-0,5 kg/m² vid klistring för asfaltmassa, och en doseringsmängd bitumenprimer med mängden 0,15 - 0,40 kg/m² vid klistring för gjutasfalt. Klistermängden är beroende på en mängd olika faktorer, och de flesta studier har utförts i syfte att försöka få fram en optimal applicering av klister. Internationellt varierar doseringen på mellan 0,18 - 0,40 kg/m². Mohammad m.fl. (2002) menar att en optimal dosering ligger på 0,09 kg/m² för en polymermodifierad katjonisk medelbrytande bitumenemulsion, och Al-Qadi m.fl. (2008) redovisade i en annan studie att den optimala doseringen är 0,18 kg/m² för en långsamt brytande anjonisk polymermodifierad emulsion.

6 Rekommendationer

För att få kunskap om hur de olika testmetoderna fungerar krävs praktisk erfarenhet. Sett till de tidigare erfarenheter som har presenteras i den här rapporten, och avsaknaden av modern svensk forskning som rör vidhäftningen mellan beläggningslager rekommenderas att de tre CEN metoderna testas och utvärderas enligt följande rekommendation:

- Skjuvtester i enlighet med den modifierade Leutnermetoden som utarbetas inom CEN bör inledas omgående. I ett första skede bör testutrustningen provas och kalibreras på bästa sätt innan omfattande testning utförs.
- Dragtestet bör användas för att testa draghållfastheten mellan beläggningslager, och är den metod som är bäst lämpad för att testa klistereffekten i olika klistermaterial. Det krävs i nuläget mer praktisk kunskap om metoden, innan tester i större skala kan utföras.
- Vridmomentstestet är lämpligast att använda då skjuvhållfastheten behöver bedömas i fält, och laborietester rekommenderas för att få praktisk erfarenhet av metoden.

Vidare rekommenderas en vidareutveckling av litteraturstudien, med ytterligare fördjupningar i olika klistermaterial och doseringsmängd. Detta bör fortlöpa simultant med den inledande testningen för att ge en bra grund till en mer omfattande testning i projektet. Forskningen inom ämnet pågår, och de framsteg som görs inom genom CEN, IBEF, RILEM och USA bör kontinuerligt uppdateras, hanteras och diskuteras inom Projekt Limning.

7 Källförteckning

Al-Qadi, I.L., Carpenter, S.H. Leng, Z., Ozer, H. (2008) *Tack coat optimization for HMA overlays: Laboratory Testing*. Research Report FHWA-ICT-08-023. Illinois Center for Transportation. ISSN: 0197-9191

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

ATB Väg 2002 Kapitel F Bitumenbundna lager s.24-25 (2001) Borlänge: Vägverket publikation 2001:111 – ISSN 1401-9612

Canestrari, F., Ferrotti, G., Partl, M., Santagata E. (2005) *Repeatability of Interlayer Shear Resistance determined with Two Test Procedures*.

Collop, A.C., Sutanto, M.H., Airey, G.D., Elliott, R.C. (2009) Shear bond strength between asphalt layers for laboratory prepared samples and field cores. *Construction and Building Materials* 23. s.2251–2258

Collop, A.C., Sutanto, M.H., Airey, G.D., Elliott, R.C. (2010) Development of an automatic torque test to measure the shear bond strength between asphalt. *Construction and Building Materials* 25. s.623-629

FAS Asfaltbok. (1995) Stockholm: Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige FAS – ISBN 91 -971916-2-0

Leutner, R. 1979. Untersuchungen des Schichtenverbunds beim bituminösen Oberbau. Bitumen. *Journal No:3*: 84–91.

Mohammad, L.N., M.A. Raqib, and B. Huang. (2002) Influence of Asphalt Tack Coat Materilas on Interface Shear Strength. *Transportation Research Record No. 1789, Bituminous Paving Mixtures 2002*.s.56-65

Nynas AB (2011) Artikel på hemsida. Tillgänglig på Internet:
http://www.nynas.com/templates/Page_8454.aspx?epslanguage=EN

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. Ledien: CRC Press/Balkema - ISBN: 978-0-203-8674-88 (e-book)

Raab, C., Partl, M.N. (2009) Interlayer bonding of binder, base and subbase layers of asphalt pavements: Long term performance. *Construction and Building Materials* 23. s.2926–2931

Roffe, J.C., Chaignon, F. (2002) *Characterisation Tests on Bond Coats: Worldwide Study, Impact, Tests, and Recommendations*. Thessaloniki: 3rd International Conference Bitouminous Mixtures and Pavements

Sholar, G., Page, G., Musselman, J., Upshaw, P., and Moseley, H. (2004). Preliminary Investigation of a Test Method to Evaluate Bond Strength of Bituminous Tack Coats. *Association of Asphalt Paving Technologists* - ISSN: 0270-2932. Vol. 73, s.771-801.

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

Svensk standard SS-EN 13808:2005. (2005) *Bitumen och bituminösa bindemedel - Ramverk för specificering av katjoniska bitumen emulsioner*. SIS, Swedish Standards Institute.

Tack coat guidelines (2009) Sacramento: State of California Department of Transportation, Division of Construction. Tillgänglig på Internet:

www.dot.ca.gov/hq/construc/publications/tackcoatguidelines.pdf

Tashman, L., Nam, K., and Papagiannakis, T. (2006). *Evaluation of the Influence of Tack Coat Construction Factors on the Bond Strength Between Pavement Layers*. WCAT Report 06-002, Washington Center for Asphalt Technology.

Tyllgren, P., (1978) *Vågbildning i asfalbeläggningar*. Stockholm: SBEF rapport nr. 20

Ulmgren, N., Kullander, B. (2003) *"Miljöklistor"- Klisteremulsion utan lösningsmedel*. NCC Roads Sverige. FoU Asfalt.

Uzan, J., Livneh, M., Eshed, Y. (1978) Investigation of adhesion properties between asphalt-concrete layers. *Asphalt Paving Technology*, vol. 47, s.495–521.

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

VVTBT bitumenbundna lager 09 rev 2 (2010) Borlänge: Trafikverket. Publikation 2010:093 – ISBN 978-91-7467-067-7.

West, R.C., Zhang, J., and Moore, J. (2005). *Evaluation of Bond Strength Between Pavement Layers*. NCAT Report No. 05-08. Auburn: National Center for Asphalt Technology.

Woods, M.E., Buchanan, M.S. (2004) *Field Tack Coat Evaluator (ATAcker™)*

ÖNORM B 3639-2:1997 07 01. (1997) *Asphalts for road construction and related purposes - Testing - Pull-off-resistance in contact surfaces of asphalt layers*. Austrian Standards Institute.

ÖNORM B 3639-1:1997 07 01. (1997) *Asphalts for road construction and related purposes – Testing – Shear resistance in contact surfaces of asphalt layers*. Austrian Standards Institute.

