

# *Gjutasfalt som slitlager på broar och viadukter*

## *Preliminär rapport*

**Robert Karlsson och Ylva Edwards**  
Avd. Vägteknik, KTH

### **Sammanfattning**

Föreliggande rapport är en litteraturstudie som är tänkt att ligga till grund för ett forskningsprojekt om gjutasfalts lämplighet som slitlager på broar och viadukter. I forskningsprojektet ska förutsättningarna studeras för läggning av gjutasfalt som slit- och bindlager. Detta förfarande skulle väsentligt minska produktionskostnaderna. Behovet av forskning på gjutasfalt är stort och ska ses mot bakgrund av de senaste årens utveckling av modifierade bindemedel som ökat potentialen för nya framsteg och förbättringar.

Få artiklar av absolut relevans har påträffats i litteraturen. Det är således inte möjligt att med säkerhet ange förutsättningarna för att lyckas med ovan nämnda föresats. Kunskaper om provning och materialegenskaper, samt erfarenheter från näraliggande applikationer av gjutasfalt har sammanställts och ger en positiv bild. Det framgår av befintlig kunskap att vid proportionering bör särskild hänsyn tas till risk för sprickor vid låg temperatur, risk för spårbildning vid hög temperatur samt att mängden bindemedel i ytan bör minimeras för att förhindra uppkomst av sprickor. Det bör också finnas tillfredsställande sätt att uppnå god friktion på den trafikerade ytan.

Studien pekar på ett identifierat behov av forskning och en stor utvecklingspotential.



<b>1</b>	<b>INTRODUKTION.....</b>	<b>5</b>
1.1	BAKGRUND .....	5
1.2	SYFTE OCH AVGRÄNSNING.....	5
1.3	METOD .....	5
1.4	DEFINITIONER.....	6
<b>2</b>	<b>GJUTASFALT SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL .....</b>	<b>6</b>
2.1	BINDEMEDEL .....	7
2.2	STENMATERIAL.....	8
2.3	PRODUKTION OCH LÄGGNING .....	8
2.4	ANVÄNDNINGSMRÅDEN .....	9
<b>3</b>	<b>MEKANISMER VID NEDBRYTNING .....</b>	<b>9</b>
3.1	DEFORATIONER.....	10
3.2	GLIDNING .....	10
3.3	SPRICKBILDNING .....	10
3.4	NÖTNING (DUBBDÄCK) .....	10
3.5	BLÅSBILDNING .....	10
<b>4</b>	<b>PROVNING I LABORATORIUM.....</b>	<b>11</b>
4.1	KARAKTERISERING AV BINDEMEDEL .....	8
	<i>Reologi.....</i>	<i>11</i>
	<i>Kemisk sammansättning .....</i>	<i>13</i>
	<i>Åldringsresistens.....</i>	<i>14</i>
4.2	DEFORATIONSEGENSKAPER .....	14
	<i>Resilient- och Styvhetsmodul .....</i>	<i>15</i>
	<i>Stämpelbelastning.....</i>	<i>15</i>
	<i>Kryptest.....</i>	<i>16</i>
	<i>Formstabilitet .....</i>	<i>16</i>
	<i>Wheel Track och Provvägsmaskiner.....</i>	<i>16</i>
	<i>Skjuvning .....</i>	<i>17</i>
4.3	UTMATTNING.....	17
4.4	LÅGTEMPERATUREGENSKAPER.....	18
	<i>Bakgrund .....</i>	<i>18</i>
	<i>Teori.....</i>	<i>18</i>
	<i>Modern karakterisering av lågtemperaturregnskaper.....</i>	<i>19</i>
4.5	NÖTNINGSRESISTENS .....	19
4.6	VIDHÄFTNING MELLAN SIKT ELLER MOT UNDERLAG .....	20
4.7	VATTENKÄNSLIGHET OCH TÄTHET .....	20
<b>5</b>	<b>ERFARENHETER FRÅN FÄLT OBSERVATIONER.....</b>	<b>20</b>
5.1	SLIT- OCH BINDLAGER PÅ BROAR.....	20
5.2	SLITLAGER PÅ VÄGAR.....	21
<b>6</b>	<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>22</b>
	<b>BILAGOR.....</b>	<b>24</b>



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Brobanepplattor beläggs i regel med tätskikt och beläggning för att skydda mot saltbemängt vatten och trafikslitage. I praktiken kan detta innebära beläggningssystem med tätskikt (ibland i flera lager), eventuellt dränerande skikt, skyddslager, bindlager och slitlager. Anbringandet av de olika skikten innebär stora kostnader. Konventionella slitlager kan på grund av otillräcklig packning få sämre egenskaper eftersom vibrerande värtar ej kan användas på broar. Vinsten kan således bli stor om förfarandet kan förenklas.

På lågtrafikerade broar har gjutasfalt använts som enda beläggningsskikt. Gjutasfalt är både tät och slitstark. Behovet av dränering är mindre än för beläggningssystem med asfaltbetong som slitlager eftersom gjutasfalten är tät och vatten kan avledas genom endast ytavrinning. Om både bind- och slitlager läggs med gjutasfalt behövs inga gas- eller grundavlopp på bron. Anslutning mot fogar blir lättare med gjutasfalt än med asfaltbetong som slitlager. Anledningen till att gjutasfalt inte använts på mer trafikerade broar är bl. a svårigheten att kombinera täthet, stabilitet (resistens mot permanenta deformationer) vid höga temperaturer och flexibilitet vid låga temperaturer, samtidigt som beläggningen måste ha en viss total tjocklek för att minimera risken för blåsbildning. Täthet, stabilitet och flexibilitet ställer motstridiga krav på gjutasfaltens sammansättning ifråga om mängden bindemedel och bindemedlets styvhet. Det senaste decenniet har nya kunskap och erfarenhet om polymermodifierat bitumen kommit till stor användning i gjutasfalt. Polymerer kan minska temperaturens inverkan på bindemedlets styvhet och ge större elasticitet i bindemedlet, dvs. stabiliteten ökar utan att risken för sprickor vid låga temperaturer ökar. Lång erfarenhet av gjutasfalt i bro- och vägbeläggningssammanhang bör i kombination med ny teknik och polymermodifierat bitumen utgöra goda förutsättningar för en fortsatt utveckling av beläggningstekniken på broar.

## 1.2 Syfte och avgränsning

Litteraturstudien ingår som förstudie till ett projekt med syftet att utreda gjutasfaltens lämplighet som slit- och bindlager på broar i totala skikt om minst 90 mm. Gjutasfaltbeläggningar som utförts i skikt med större tjocklek än normalt har bedömts som speciellt intressant. Syftet med litteraturstudien är att samla relevant kunskap inom området för att belysa förutsättningarna för en lyckad satsning med gjutasfalt på broar och vara till stöd i det fortsatta projektet. Studien behandlar endast tekniska aspekter på användningen av gjutasfalt som slit- och bindlager på broar. Det krävs emellertid också att paralleller dras till erfarenheter från liknande funktioner, t.ex. som enkla slitlager, bindlager eller tätskikt. Även kunskap och erfarenhet från forskning av generell karaktär med relevans för ämnet återges.

## 1.3 Metod

Föreliggande rapport är en sammanställning av kunskap om gjutasfalt som slitlager och tätskikt på broar. En litteratursökning har genomförts av dokumentalist Claes Eriksson på VTI där databaserna TRAX, IRRD och TRIS har genomsökts. Sökningar på Internet har också ingått. Med anledning av det ringa antalet påträffade publikationer har sökningarna breddats till att även inkludera relevant litteratur om t.ex. erfarenheter av gjutasfalt som slitlager på vägar. På detta sätt har kunskaperna kompletterats på specifika områden.

Utvecklingspotentialen för enkla beläggningsskikt i tjockare lager kan knytas till användningen av polymermodifierat bindemedel under senare tid. Nyttan av äldre litteratur är därmed begränsad, och relevant senare litteratur har varit svår att finna. Man kan även räkna med ett visst motstånd mot att publicera eventuella misslyckade försök med tjocka gjutasfaltsskikt. För kompletterande information skickades e-post med följande förfrågan till 22 experter på gjutasfalt i Europa (se bilaga 5): "Do you know if polymer modified coarse aggregate mastic asphalt

(Gussasphalt) applied in one single thick layer has been used or tried in your country as wearing course on bridges?”.

Rapporten ska kompletteras under projektets gång.

#### 1.4 Definitioner

Följande definitioner gäller i denna rapport:

**Gjutasfalt** Blandning utan hålrum av bitumen, filler och stenmaterial. Stenmaterialet kännetecknas av kontinuerlig gradering från filler upp till ca 16 mm.

**Mastix** Blandning av filler och bitumen. Max partikelstorlek 2 mm.

**Kryp** Kvarstående deformation p.g.a. last med lång varaktighet eller upprepad belastning.

**Utmattning** Försvagning till följd av upprepad belastning.

## 2 Gjutasfalt som konstruktionsmaterial

Gjutasfalt kännetecknas bl.a. av att den gjuts, är tät och ger en beläggning med hög slitstyrka. Detta gör gjutasfalten lämplig som slitlager på vägar, som slit- och bindlager på broar samt som beläggning på parkeringsdäck och terrasser. Även vid lagningar och mindre objekt är gjutasfalt ett alternativ. Den högre kostnaden för gjutasfalt är annars en begränsning för vidare användning. Användningen av gjutasfalt som slit- och bindlager är särskilt intressant med tanke på bronns relativt begränsade längd. Etableringskostnaden för gjutasfaltläggning är låg och ingen vältning krävs. Laggning av slitstark stenrik asfaltbetong (ABS) kan försvåras av att vibrerande vältning ej tillåts på broar.

Exempel på svenska och tyska beläggningar på broar ges i bilaga 1 och 2. För många svenska broar föreskrivs idag ett bindlager (kombinerat skydds- och bindlager på 50 mm) av polymermodifierad gjutasfalt (PGJA). PGJA kan läggas också som slitlager (40 mm) i samma system. Beläggningssystemet benämns typbeläggning nr 6 i BRO 2002.

Gjutasfalt har högt bindemedelsinnehåll vilket betyder god vidhäftning mellan bindemedel och stenmaterial samt begränsad åldring vid brukstemperatur. God vidhäftning och täthet ger minskad risk för stensläpp och vatteninducerade skador. Nackdelen med högt bindemedelsinnehåll är att stenskelettets stabiliserande förmåga minskar avsevärt. Detta måste i gjutasfalt kompenseras av en stabil och styv mastix [1].

Stabiliteten hos gjutasfalt är viktig för dess funktion. I [2] har spårtillväxt undersökts i laboratorium med en wheel-tracking utrustning och följande rangordning av faktorer vid proportionering gjorts:

1. Bindemedelshalt
2. Förhållandet mellan andelarna krossad sand och natursand
3. Andel grovfraktion
4. Andel filler
5. Största stenstorlek
6. Grovfraktionens sammansättning

Även andra faktorer såsom bindemedlets typ och styvhet samt typ av filler spelar stor roll. I följande avsnitt beskrivs sammansättning, produktion och användning av gjutasfalt.

## 2.1 Bindemedel

I gjutasfalt är hålrummet helt fyllt av bindemedel. Jämfört med asfaltbetong måste bindemedel och mastix vara styvare för att ge gjutasfalten acceptabel stabilitet mot deformationer. Detta kan uppnås genom styvare bitumen och tillsatser av t. ex. naturasfalt eller polymerer samt hög fillerhalt. Bindemedelshalten påverkar också gjutasfaltens stabilitet. Större bindemedelsöverskott ger som regel lägre stabilitet men bättre bearbetbarhet.

Naturasfalt (Trinidadasfalt) har länge använts som tillsats i bindemedel för gjutasfalt. Den är mycket hård och uppges förbättra gjutasfaltens bearbetbarhet och stabilitet [3] utan försämring av andra egenskaper. Naturasfalt innehåller normalt hög halt ”bituminiserat” finmaterial av finare partikelstorlek än det filler som vanligen tillsätts i gjutasfalt. Detta tros vara en förklaring till den styvhetshöjande effekten.

Polymerer ger i regel styvare bindemedel vid högre brukstemperaturer under varma och soliga sommardagar, medan förändringen i styvhet vid kallare väderlek är förhållandevis liten. Brukstemperaturområdet ökar således hos polymermodifierade bindemedel [3]. Detta är särskilt viktigt i Sverige där spannet ofta är stort mellan sommar- och vintertemperaturer. Den vanligaste polymeren i gjutasfalt är SBS (styren-butadien-styren), men en mängd olika typer av polymerer har använts i bitumen och asfaltmassa. Polymerer kan indelas i plaster och elastomerer enligt tabell 1. Att polymeren är beständig vid höga tillverknings- och utläggningstemperaturer är av avgörande betydelse vid användning i gjutasfalt.

Från Tyskland rapporteras att tillsats av naturgummi i bitumen ger positiva effekter vid både höga och låga temperaturer (högre styvhet respektive mindre risk för sprickbildning). Mängden tillsatt naturgummi bör ej understiga 3 vikt-% av totala mängden bindemedel [4, 5]. Gummi (både syntetiskt och naturligt) kan även tillsättas som gummigranulat. Gjutasfaltens egenskaper påverkas av gummits ursprung, partikelstorlek, bitumenets ”lösande förmåga”, blandningstid (optimalt 2 – 4 timmar), samt mängden tillsatt gummi [5]. Mängden gummigranulat bör vara mellan 10 och 20 vikt-% [5].

Flyttillsatsmedel kan tillsättas i syfte att sänka temperaturen vid tillverkning och läggning. Detta kan förbättra arbetsmiljön (mindre emissioner) och minska energibehovet.

**Tabell 1: Modifierande tillsatser till bituminösa bindemedel [6].**

Typ	Exempel
I. Tillsatser	
1. Filler	Kalk, carbon black, flygaska
2. Vidhäftningsmedel	Organiska aminer och amider
3. Extenders	Lignin, svavel
4. Anti-oxidanter	Zinkantioxidant, fenoler, aminer
5. Organo-metaller	Organomangan och -kobolt substanser
6. Andra	Skifferolja, gilsonit, kisel, oorganiska fibrer
II. Polymerer	
1. Plaster	
(a) Termoplaster	Polyetylen (PE) Polypropylen (PP) Polyvinylklorid (PVC) Etylvinylacetat (EVA)
(b) Härdplast	Epoxihartser
2. Elastomerer	
(a) Naturgummi	
(b) Syntetiskt gummi	Styren-butadien blocksampolymer (SBR) Styren-butadien-styren blocksampolymer (SBS) Etenpropengummi (sampolymerisation av etylen propylen och dien-monomer, EPDM) Butylgummi (sampolymerisation av isobutylen och isopren, IIR)
3. Återvunnet gummi	
4. Fibrer	Polyesterfibrer, polypropylenfibrer
III. Reaktiva tillsatser	Additionsreaktion (bitumen + monomer) Vulkanisering (bitumen + svavel) Nitreringsreaktion (bitumen + salpetersyra)

## 2.2 Stenmaterial

Bindemedel är dyrt och således är det ekonomiskt att minimera stenskelettets hålrum i gjutasfalt (och därmed mängden bindemedel som åtgår för utfyllnad av dessa). Hålrummen minimeras genom kontinuerlig kornfördelning. Stenmaterialet har stor betydelse för gjutasfaltens slitstyrka, friktion och ljushet samt bidrar till mekaniska egenskaper som stabilitet. Gjutasfaltbeläggningar anses ha hög slitstyrka, vilket kan bero på god vidhäftning mellan sten och bindemedel. Både grova och finare stenfraktioner kan hållas kvar i beläggningsytan och bidra till gjutasfaltens slitstyrka. Ökad mängd grovt material i gjutasfalt ger högre stabilitet men sämre bearbetbarhet vid gjutningen [7, 8].

Fillret anses kunna bidra till ökad styvhet och stabilitet hos gjutasfalt. Verkan av olika fillertyper kan variera kraftigt [9, 10]. Starkt ytaktiva material (material som bl.a. kan ge starka bindningar på sina ytor) som t.ex. släckt kalk anses förstyyva mastixen mer än andra fillertyper. I [9] visas hur ett skifferfiller förstyyvar gjutasfalt mer än ett kalkstensfiller, och i [10] visas stabilitetsskillnader mellan gjutasfalter med två olika kalkstensfiller.

Sand eller chipsten, ofta lätt bituminiserad, appliceras på gjutasfaltens ovanyta eftersom den bindemedelsrika ytan annars riskerar få bristfällig friktion. Chipsten kräver extra utrustning för applicering, och svårigheter kan uppstå med vidhäftningen i polymermodifierade beläggningar.

## 2.3 Produktion och läggning

Hantering vid produktion, transport och läggning av gjutasfalt skiljer sig avsevärt från konventionell asfaltbetong. Gjutasfalt är en suspension (partiklar uppslammade i vätska) av stenmaterial i bindemedel och kräver omrörning från verk till utläggning för att förhindra



separation. Temperaturen måste hållas inom vissa gränser. Den ska vara tillräckligt hög för god bearbetbarhet, men inte så hög att bindemedlets egenskaper försämras. Omrörningen bidrar även till jämn temperatur i tanken. Särskilt polymermodifierat bindemedel kan relativt snabbt skadas av för höga temperaturer (jämför avsnitt 4.1). Värmeåldringsprocessen kan fördröjas om avdunstning och tillgång på syre minimeras i tankutrymmet.

Gjutningen kan utföras för hand (se figur 1) eller med hjälp av läggare. Tjockleken hos ett gjutasfaltlager varierar i regel mellan 25 och 40 mm. Enligt Ranier Wruck (BAST i Tyskland) riskerar tjockare beläggningar att få anrikning av bindemedel i ytan som sedan kan spricka vid nedkylning [11]. I Tyskland föreskrivs maximal tjocklek på 4 cm [12]. Ett fåtal tjocka enskiktsbeläggningar har påträffats i litteraturen. En ligger på bron över Bosporen i Turkiet och är i genomsnitt 45 mm tjock [13]. Från Japan rapporteras 60 mm på enstaka stålbroar (se avsnitt 5.1).

Gjutasfalt behöver ej komprimeras, men tröga massor kan läggas med vibrerande skrid. Sand eller chipsten, som strös på beläggningen i syfte att öka friktion och ljushet, ska vältas in i ytan. Vältning med räfflad vält förbättrar texturen [28].



Figur 1 Läggnig av gjutasfalt på bro med handredskap (t.v.) och nylagd gjutasfalt med stenbeströdd yta (t.h.).

## 2.4 Användningsområden

Fördelarna med gjutasfalt är bl.a. slitstyrka och täthet. Beläggningen kan relativt snabbt trafikeras, kräver lite underhåll och kan göras jämförelsevis tunn. Vanliga användningsområden är broar, vägunderhåll, parkeringsdäck och garagegolv. Gjutasfalt används också som golvbeläggning inom industri och lantbruk samt till tak, terrasser, balkonger och deponier. Gjutasfalt kan göras syrafast genom användning av särskilt bindemedel. På grund av låg etableringskostnad lämpar sig gjutasfalt även för lagning av begränsade ytor eller i samband med spårfräsning.

Tätheten är en stor fördel på broar. Det är av avgörande betydelse för betongbroars beständighet att saltbemängt vatten hindras från att tränga in i brobanepattan. Betongkonstruktionen riskerar annars att skadas allvarligt genom frostsprängning och/eller armeringskorrosion.

## 3 Mekanismer vid nedbrytning

I avsnittet redogörs för de vanligaste orsakerna till negativ påverkan och nedbrytning av gjutasfalt som slitlager och tätskikt på broar. Gjutasfalt kan deformeras och slitas av trafik. Den kan också spricka vid låga temperaturer eller rörelser i beläggningen eller underlaget. I vissa fall finns risk för blåsbildning. Vid utveckling av gjutasfaltmassor är det viktigt att mekanismerna

bakom nedbrytning är klargjorda, så att sammansättning och utförande kan motstå nedbrytning och ge optimal livslängd. Det är i detta sammanhang avgörande att de provningsmetoder som används förmår spegla och tydliggöra mekanismerna bakom nedbrytningen.

### **3.1 Deformationer**

Bindemedlet påverkar i hög grad gjutasfaltens deformationsegenskaper. I asfaltbetong däremot är stenmaterialet viktigare. Anledningen är att bindemedlet fyller hålrummet mellan stenarna i gjutasfalt, vilket minskar kontaktrycket och låsningen mellan stenar. Detta ställer stora krav på bindemedlets stabilitet, särskilt vid höga temperaturer och långsam trafik, då det bituminösa bindemedlet mjuknar. Förhållandevis styvt bitumen används i gjutasfalt. Det är dessutom vanligt att bindemedlet modifieras med tillsatser för att ytterligare öka styvheten och stabiliteten.

Vanliga deformationsskador i gjutasfalt är spårbildning efter tung långsamgående trafik. Spårbildning kan förvärras där fordon bromsar eller accelererar [14].

### **3.2 Glidning**

Glidning och brott mellan beläggningsslagren eller mot underlaget kan uppstå i samband med höga horisontella krafter och/eller bristande vidhäftning. Detta kan i sin tur leda till ökade deformationer och sprickbildning. Stor lutning och kraftig solstrålning ökar risken för glidning på broar.

### **3.3 Sprickbildning**

Sprickor uppkommer när material töjs och belastas över sin förmåga, vilket kan förefalla enkelt. Sprickbildning i gjutasfalt kompliceras dock av såväl materialets komplexitet som påfrestningarna det utsätts för. Vanligen uppkommer sprickor där påfrestningarna är som störst, t.ex. över skarvar eller sprickor i underliggande material. Speciellt gäller detta vid låga temperaturer då gjutasfalt är styv och mindre följsam. Låga temperaturer kan i sig leda till stora påkänningar i gjutasfalt till följd av krympning vid nedkylning. Teorin bakom sprickbildning vid låga temperaturer behandlas i avsnitt 4.4.

Sprickor kan indelas i flera kategorier beroende på ursprung och utseende. När det gäller utseende talar man om longitudinella (längs vägen), transversella (tvärs vägen), diagonala, block-, glid- och alligatorsprickor. Strukturella brister kan ge sprickor som inte faller i någon av dessa kategorier, t.ex. sprickor på grund av lagningar eller skarvar mellan gjutasfalt och annat material. Bristande vidhäftning och skillnader i deformationsegenskaper är primära orsaker.

### **3.4 Nötning (dubbdäck)**

Både konventionell asfalt och gjutasfalt får sin resistens mot nötning främst genom stenmaterialet. Slitstyrkan hos gjutasfalt kan förbättras genom invältning av sk. chipsten eller genom val av bättre stenmaterial. Gjutasfaltens förmåga att motstå nötning skiljer sig förmodligen något från konventionell asfalt, eftersom konventionell asfalt kräver stor andel grovt stenmaterial i beläggningssytan för att uppnå god nötningresistens. Gjutasfalt däremot (med mycket god inre vidhäftningsförmåga) förmår hålla kvar även mindre fraktioner i beläggningen. Den initiella friktionen på gjutasfalt kan därmed höjas genom avsandning.

### **3.5 Blåsbildning**

Problem med blåsbildning i gjutasfalt kan uppstå för system med tätskikt av polymerbitumenmatta på betongunderlag. Betongens kvalitet och fukthalt, liksom vädersituationen, utförandet och tjockleken på beläggningen är parametrar som har betydelse för uppkomsten av blåsor mellan tätskikt och betong. F Schütz [15] har angivit höga ångtryck mellan tätskikt och betongyta vid temperaturökningar som orsak till blåsor. När vattenånga expanderar förloras kontakten mellan lagren och blåsor bildas. Gjutasfaltens temperatur kan vid läggning vara över 200°C och förekomst av vatten i betongen kan få en förödande effekt. Primern har avgörande betydelse vid isolering av betongytor. Enligt BRO 2002 ska betongen förbehandlas

med primer av bitumenlösning. Vidhäftningen mellan tätskikt och primerbehandlad betong ska uppgå till minst 0.5 MPa vid provning på en bro och provningstemperatur 20°C. Vid högre temperaturer sjunker vidhäftningen och ligger (enligt gränskurva i BRO 2002) på cirka 0.2 MPa vid 30°C. Belastningen från beläggningen förväntas tillsammans med vidhäftningen mellan matta och betong vara större än den sammanlagda påkänningen från vattentryck, ångtryck och lufttryck på beläggningen. Egentyngden från ett brobeläggningssystem med total tjocklek cirka 90 mm uppgår till cirka 180 kg/m<sup>2</sup> och ger en nedåtriktad belastning på cirka 0.002 MPa. Vidhäftningen har således avgörande stor betydelse. (Den sammanlagda påkänningen på en betongbottenplattas överbyggnad med grundvattentryck på bottenplattans undersida kan enligt beräkningar för ett specifikt fall uppgå till 0.04 MPa [16]) Trots krav på produktens kvalitet, underlag, appliceringsarbete och yttre omständigheter uppstår ibland problem med blåsbildning mellan tätskikt och underlag eller i tätskikten. En hypotes till skadeorsak är att stora dragspänningar som överskrider dragbrottspåningen kan uppstå i tätskiktets (polymerbitumenmattans) undre bitumenskikt vid mycket små redan befintliga eller vid utförandet uppkomna håligheter. Den lilla blåsans volym kan därmed öka i en upprepad process till följd av temperaturvariationer och eventuellt fuktflöde i betongen [16]. Försegling av betongen, med epoxi i två skikt, ger avsevärt mindre risk för blåsbildning och kan enligt bronormen användas som ett alternativ på trafikerade bottenplattor och i tråg av betong. Epoxi som försegling har också använts på Öresundsbrons brobanepatta. Risken för blåsbildning minskar med tjockare beläggningslager på grund av den värmeisolerande effekten.

## 4 Provning i laboratorium

Provning av gjutasfalt kan utföras vid proportionering, kontroll och utredning samt vid forskning och utveckling av nya produkter. Metoderna som används vid kontinuerlig produktionskontroll skiljer sig i regel avsevärt från dem som används vid forskning och utveckling. Vid produktionskontroll prioriteras enkelhet och snabbhet. Vid forskning och utveckling prioriteras istället hur väl mätningarna simulerar de påfrestningar gjutasfaltens utsätts för i sin funktion som beläggning och/eller noggrann kontroll på ingående parametrar. Eftersom denna litteraturstudie utgör underlag för ett utvecklingsprojekt återges här både enkla och mer avancerade provningsmetoder. De enkla metoderna redovisas i syfte att underlätta erfarenhetsåterkopplingen till redovisade objekt från litteraturen. De mer avancerade metoderna beskrivs i generella ordalag som en bakgrund till modern provningsmetodik för forskning och utveckling. Exempel på karakterisering av gjutasfaltbeläggningar vid utvärdering av försöksobjekt ges i bilagorna 3 och 4.

### 4.1 Karakterisering av bindemedel

Bituminösa bindemedel kan sägas ha fyra egenskaper som måste kontrolleras för att säkerställa bitumenets funktion: reologi, vidhäftning, kohesion och beständighet. Med reologi menas hur bindemedlets styvhet/konsistens varierar med temperatur och last. Kohesion (ett vagt begrepp i bitumensammanhang) är relaterat till hållfasthet och duktilitet, d. v. s. maximala spänningar och töjningar i bindemedlet som kan leda till "brott".

#### *Reologi*

Reologi är läran om tidsberoende deformationer och är av stor vikt vid studier av bitumen och asfaltmassa. Bitumen är ett viskoelastiskt material. Detta innebär t. ex. att bitumen är hårt vid kyla och snabb belastning (trafiklast, slag m. m.), medan det är mjukt vid höga temperaturer och långsam belastning, (köande fordon eller sättningar i underliggande lager). Det klassiska sättet att karakterisera bitumen är att bestämma penetration (vid 25°C), mjukpunkt (höga brukstemperaturer), kinematisk viskositet vid 135 och 180°C (läggning – dock för låg temperatur förläggning av gjutasfalt) samt Fraass brytpunkt (låga brukstemperaturer), vilket förväntas ge en uppfattning om bindemedlets deformationsegenskaper vid olika temperaturer. Deformationer som uppkommer när bitumen belastas är även starkt beroende av belastningstid. Även

belastningshistoria kan inverka. En nackdel med de klassiska empiriska måtten är att de svårigen kan relateras till någon fundamental storhet eller till varandra.

Utvecklingen under det senaste decenniet har gått mot ökad användning av reometrar för karakterisering av viskoelastiska egenskaper hos bitumen vid olika temperaturer och belastningstider. Oftast används cyklisk, sinusformad belastning (omväxlande drag och tryck) varvid de viskösa och elastiska komponenterna av deformationen bestäms samtidigt. De parametrar som bestäms är i regel:

- $G^*$  - Komplexmodul, skjuvspänning dividerad med skjuvtöjning
- $\delta$  - Fasvinkel, "tidsförskjutning" mellan spänning och töjning vid cyklisk belastning
- $G'$  - Lagringsmodul, den elastiska komponenten i komplexmodulen ( $G^* \cdot \cos\delta$ )
- $G''$  - Förlustmodul, den viskösa komponenten i komplexmodulen ( $G^* \cdot \sin\delta$ )

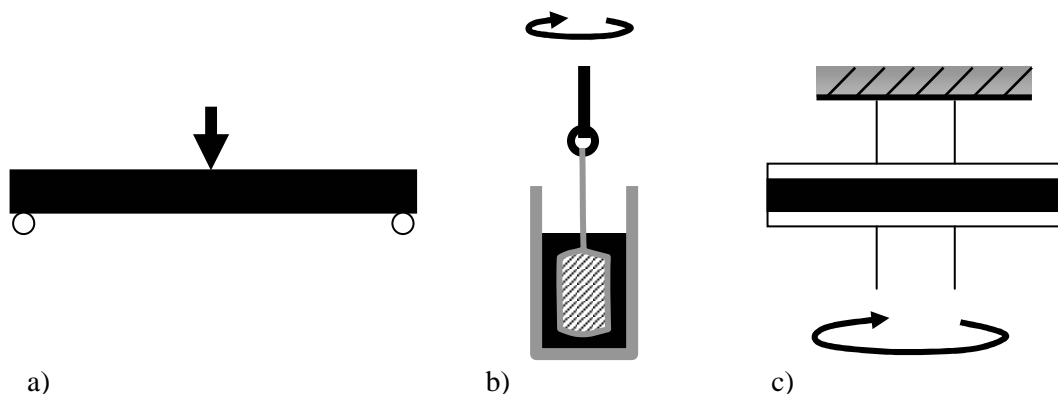
En av fördelarna med detta betraktelsesätt är möjligheten att skilja på de för bitumen så viktiga egenskaperna elasticitet (formstabilitet) och relaxationsförmåga (töjbarhet). Fasvinkeln ger information om hur stor del av deformationen som är elastisk respektive viskös. Om fasvinkeln är noll är deformationen helt elastisk och den pålagda kraften beror av vilken deformation som föreskrivs. Är deformationen helt ur fas med den pålagda lasten är fasvinkeln 90 grader ( $\pi/2$  rad) och deformationen helt viskös, dvs. materialet beter sig som en vätska och den pålagda kraften beror av vilken deformationshastighet som föreskrivs. Bitumen uppvisar hela skalan från helt elastisk respons vid kyla till helt viskös vid hög temperatur.

För bituminösa material resulterade det amerikanska forskningsprogrammet SHRP (Strategic Highway Research Programme) i ett system som benämns SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements). Systemet innefattar nya testmetoder, utrustning och specifikationer samt mjukvara för prediktering av beläggnings långtidsegenskaper. Mätmetoder för bestämning av fundamentala funktionella egenskaper hos bindemedel för asfaltbeläggningar introducerades. Bindemedelsspecifikationen inriktar sig på att kontrollera tre nedbrytningsmekanismer (permanent deformation, sprickbildning vid låg temperatur, utmattning) samt åldring. Följande mätutrustningar ingår:

- BBR (Bending Beam Rheometer) och DTT (Direct Tension Tester) för egenskaper vid låga temperaturer.
- DSR (Dynamic Shear Rheometer) för egenskaper vid normala till höga temperaturer (temperaturer mellan BBR/DTT och RV).
- RV (Rotational Viscometer, även kallad Brookfield) för egenskaper vid höga temperaturer.

Bindemedelsspecifikationen är funktionsrelaterad, och de olika typerna av bindemedel (PG = Performance Grade) är anpassade efter klimatförhållanden. Samma krav gäller för samtliga bindemedel, men kravgränser specificeras vid olika temperaturer beroende på var (i vilken klimatzon) bindemedlet ska användas.

Anledningen till att dessa varianter existerar, för att i princip mäta samma sak, är att de reologiska egenskaperna varierar så starkt för bitumen vid olika temperaturer. Spänningstillståndet i ett prov är inte heller homogent utan varierar. (Med homogen spänning och töjning menas att de är lika i hela provet, något som eftersträvas men i praktiken inte uppnås). Följaktligen har det varit svårt att ta fram en generell metod för bestämning som passar alla förutsättningar. För karakterisering av ett bindemedels reologiska egenskaper över hela det spann av temperaturer som kan komma ifråga vid produktion och i bruk behövs i själva verket flera metoder som kompletterar varandra. Vanligen används BBR vid låga temperaturer, Brookfield (RV) vid höga temperaturer och DSR vid temperaturer där emellan.



Figur 2 Provning med a) böjreometer (BBR) b) Brookfield och c) plattreometer (DSR).

Elastisk återgång är en viktig egenskap för att minimera de permanenta deformationer som bidrar till spårbildning i en beläggning. Provning kan utföras t. ex. enligt EN 13398. Vid provningen dras provet ut till 200 mm, varefter det direkt klipps av på mitten och får relaxera. Den elastiska återgången anges efter 30 minuters relaxation och redovisas som återgång i procent av den totalt utdragna längden.

#### Kemisk sammansättning

Kemiska egenskaper såsom molekylers storlek, form och fördelning av mellanmolekylära bindningar bestämmer i stor utsträckning funktionella egenskaper som vidhäftning, styvhet, hållfasthet och åldringsbenägenhet. Tyvärr är den kemiska sammansättningen hos bitumen oerhört komplex och utgörs av tusentals (kanske miljontals) olika kemiska komponenter. En exakt kemisk karakterisering blir därmed omöjlig och även meningslös. De funktionella egenskaperna kan för närvarande inte förutsägas med någon större precision ens med hjälp av mycket noggrann kemisk karakterisering, men många bindemedel kan på goda grunder "diskvalificeras". Nyttan av kemisk karakterisering är emellertid stor vid kontroll eller vid undersökningar där något misslyckats. Ofta krävs att ett flertal kemiska metoder kombineras med andra undersökningar för att slutsatser ska kunna dras. Tabell 2 ger exempel på metoder för kemisk karakterisering som använts för bitumen. Användningen av polymerer i gjutasfalt kan vara en ytterligare anledning till att studera bindemedelskemi.

Tabell 2 Exempel på kemiska analysmetoder och användningsområden.

Egenskap	Analysmetod
Molekylviktsfördelning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPC – Gel Permeation Chromatography</li> <li>• VPO – Vapor Pressure Osmometry</li> </ul>
Löslighet/Stabilitet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Löslighet i toluen</li> <li>• Heithaus-titrering</li> <li>• Iatroskan/Tunnskiktskromatografi med flamjonisering</li> <li>• Corbett-fraktionering</li> </ul>
Funktionalitet och molekylär uppbyggnad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IR – Infraröd spektroskopi</li> <li>• UV/Vis spektroskopi</li> <li>• NMR – Nukleär Magnetresonans</li> </ul>
Element (Grundämne)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atomspektroskopi</li> </ul>

Lagringsstabiliteten hos polymermodifierat bitumen varierar och kontinuerlig omrörning är i regel ett krav för att undvika separation. Lagringsstabiliteten kan undersökas genom provtagning i tankar eller genom lagring av prov i laboratoriet. Skillnader för prov som tagits ut i toppen respektive botten av lagrat bindemedel kan sedan undersökas med hjälp av kemiska metoder (IR,

GPC) och reologiska metoder. Exempel på en standardiserad lagringsmetod är EN 13 399 där polymerbitumen lagras 72 tim vid 180°C.

#### *Åldringsresistens*

Både bitumen och polymerer åldras i ett polymermodifierat bindemedel. De mest betydelsefulla mekanismerna är avdunstning och oxidation. Möjligtvis kan även termisk krackning av polymerer ske vid höga temperaturer i samband med produktion och läggning av polymermodifierad asfaltmassa eller gjutasfalt. Vid laboratorieåldring ska åldringen motsvara den som bindemedlet utsätts för under produktion, transport och utläggning samt under sin livstid på t.ex. en bro. Av praktiska skäl måste åldringstiden bli mycket kortare i laboratoriet. Åldringsbetingelserna skiljer sig väsentligt mellan gjutasfalt och konventionell asfalt vad gäller produktionstemperaturer och bindemedlets exponering för syre. De metoder som används för laboratorieåldring av bindemedel till konventionell asfaltmassa är således mindre lämpliga (t.ex. TFOT, RTFOT (Rolling Thin Film Oven) och PAV) och bör därför anpassas till betingelserna som gäller för gjutasfalt.

En metod för kontroll av asfaltmastix för att uppskatta inverkan av åldring ingår i BRO 2002. I korthet utförs provningen på följande vis: Minst två ton asfaltmastix tappas ner i en transportblandare och blandas i denna under totalt 60 timmar. Under de första 50 timmarna ska massans temperatur vara 190°C ± 5°C varefter temperaturen ska höjas till 215°C ± 5°C och sedan bibehållas där under 6 timmar. Slutligen höjs temperaturen till 230°C ± 5°C under de sista 4 timmarna. Prover tas kontinuerligt ut för bestämning av stämpelvärde och formstabilitet.

Damm redovisade en undersökning av hur polymermodifierat bitumen påverkas av lagring vid olika temperaturer [17]. I undersökningen visas hur penetration, brytpunkt, mjukpunkt och elastisk återgång påverkas under lagring vid 210, 230, 250 och 270°C. Fyra bindemedel studerades. Polymerbitumen med finfördelad SBS, ”cross-linked” SBS respektive EPDM ingick samt ett ”konventionellt” bitumen (B45 med 2% Trinidad Epuré) som referens. Resultaten från undersökningen kan i förstone verka förvirrande eftersom t.ex. mjukpunkten i några fall förändrades mer vid låg lagringstemperatur än vid de högre temperaturerna. Resultaten kan bero på att åldringsmekanismerna hos bitumen och polymerer är olika vid olika temperaturer och att åldring av bitumen leder till ökad styvhet medan åldring av polymerer i regel leder till minskad styvhet. Den elastiska återgången visar dock relativt entydigt hur åldring genom lagring vid högre temperaturer försämrar modifierade bindemedel. Uppenbarligen var påverkan stor på det SBS-modifierade bindemedlet vid högre temperaturer, särskilt över 230°C. Ett par timmars lagring vid 210°C kunde däremot rentav förbättra den elastiska återgången hos icke-”cross-linked” SBS. Detta kan också bero på att polymeren inte varit tillräckligt väl blandad vid åldringstestets början. EPDM-modifierat bindemedel påverkades minst.

#### **4.2 Deformationsegenskaper**

De reologiska principerna för bestämning av bitumens deformationsegenskaper kan även användas för gjutasfalt. Filler och stenmaterial komplicerar beskrivningen något, men inte i samma utsträckning som för konventionell asfalt där styrkan mer beror av stenskelettet. Vanligen är det av intresse att veta både de resilienta och de permanenta deformationerna, dvs. de återgående och de kvarvarande deformationerna. Nästan hela deformationen vid en fordonsöverfart är resilient. Resilientmodulen (eller styvhetsmodulen) har betydelse för lastspridning men kan även relateras till andra fenomen som t.ex. utmattning och bildandet av reflexionssprickor. Kvarvarande deformationer leder främst till spår och liknande ojämnheter. Underlaget är av stor vikt i praktiken för gjutasfaltens deformation. Därför kan betingelserna variera beroende på om en brofarbana är av stål eller betong.

Provningsmetoderna som används för att karakterisera deformationsegenskaper varierar i utformning och ambitionsnivå. De enklaste metoderna (t.ex. stämpelbelastningsprovning och formstabilitet) lämpar sig för kontinuerlig produktionskontroll, medan de mer avancerade (t.ex.

utmattningsprovning) bara används vid forskning och utveckling av nya produkter. Inom modern asfaltforskning karakteriseras asfaltens fundamentala materialegenskaper främst genom s. k. monoton och cyklisk provning (utmattning och cykliskt/dynamiskt kryp). Med monoton provning kan asfaltens deformationsegenskaper vid godtycklig belastning karakteriseras. Deformationerna är sammansatta av elastisk, viskös och plastisk deformation. Viskös deformation är tidsberoende kvarstående deformation medan plastisk deformation är icke tidsberoende kvarstående deformation. Monoton provning och utmattning beskrivs nedan tillsammans med de ”vanliga” metoderna för karakterisering av gjutasfalt och asfaltbetongs deformationsegenskaper.

#### *Resilient- och styvhetsmodul*

Eftersom varken asfaltbetong eller gjutasfalt är idealt elastiskt, och styvheten dessutom varierar med både belastningstid och temperatur, brukar det som motsvarar Hookes E-modul (spänning genom återgående töjning) istället benämnas resilient- eller styvhetsmodul. De förmodligen vanligaste och mest spridda metoderna för att karakterisera styvhet är enaxiellt drag eller tryck/drag och indirekt drag. För provning av både bitumen och asfaltmassa existerar flera metodkonfigurationer med olika för- och nackdelar. För mer information hänvisas till [18].

Här återges endast FAS Metod 454 för bestämning av styvhetsmodul hos asfaltbetong genom pulserande pressdragprovning. Ett cylinderformat prov utsätts på mantelytan för en diametral, cyklisk last. Den vid avlastning uppmätta återgående deformationen mäts vinkelrätt mot belastningen. Den deformation som mäts är därmed ett resultat av att provkroppen sväller i sidled när provkroppen trycks ihop. Metoden kräver i likhet med andra metoder vissa antaganden men är i gengäld förhållandevis enkel i utförandet.

#### *Stämpelbelastning*

Stämpelbelastningsprovning är en av de vanligaste metoderna för karakterisering av gjutasfalt deformationsegenskaper. Vid provning trycks en stämpel ner i gjutasfalten under viss tid varefter nedsjunkningen mäts. I Europanormen för ”Mastic asphalt for waterproofing” (dvs. både mastix och gjutasfalt som tätskikt) EN12970:2000 specificeras endast stämpelbelastningsprovning. Enligt denna metod belastas en kub eller platta av gjutasfalt med stämplor som har olika geometri beroende på temperatur och belastningstid. Följande fem försöksuppställningar förekommer (temperatur; stämpelarea; belastningstid): (40°C; 500 mm<sup>2</sup>; 30 min), (22°C; 100 mm<sup>2</sup>; 5 h), (25°C; 31.7 mm<sup>2</sup>; 60 + 10 s), (25°C; 500 mm<sup>2</sup>; 6 min) och (40°C; 500 mm<sup>2</sup>; 31 min).

I Sverige används FAS metod 447 för asfaltmastix, spårjutasfalt och gjutasfalt med nominell största kornstorlek < 8 mm, samt FAS metod 465 för gjutasfalt. I litteraturen nämns även dynamisk (eller cyklisk) stämpelbelastning. Vid bestämning av stämpeltryck med FAS metod 465 belastas en kub av gjutasfalt med en plan cirkulär stämpel. Den totalt verkande kraften är 525 N och stämpelns belastningsyta är 500 mm<sup>2</sup>. Stämpelns intryck i kuben bestäms efter 30 minuter med en noggrannhet av 0.01 mm. Även en sk. intryckskurva kan bestämmas om avläsningar görs efter 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60 och 120 minuter. Innan provning tempereras provform med kub i vatten vid 40 ± 1°C under minst 60 minuter.

I ett par artiklar ges exempel på dynamisk stämpelbelastningsprovning där last påförs under 0.1 sekunder följt av 3.4 sekunders vila. Detta anses bättre spegla fältförhållande än statisk stämpelbelastning och krypförsök [8, 10]. Temperaturen vid provning bör spegla de förhållanden som är dimensionerande, d. v. s. beläggningstemperaturen under varma somrardagar. Enligt en provningsvariant provas gjutasfalten vid 22°C och belastas cykliskt under 0.2 s med 240 kPa följt av 1.5 s med 30 kPa [19]. Schellenberg förordar dynamisk stämpelbelastning för höghållfasta gjutasfaltprodukter, eftersom statiskt stämpeltryck på mindre än 2 mm inte kan mätas med tillfredsställande precision [20]. Enligt metoden används en cylindrisk gjutasfaltprovkropp (diameter 150 mm och höjd 60 mm) och stämpel med diameter 43 mm. Provningen utförs vid 35°C. Inträngningsdjupet bestäms efter 6000 belastningscykler samt efter ytterligare 4000 cykler.

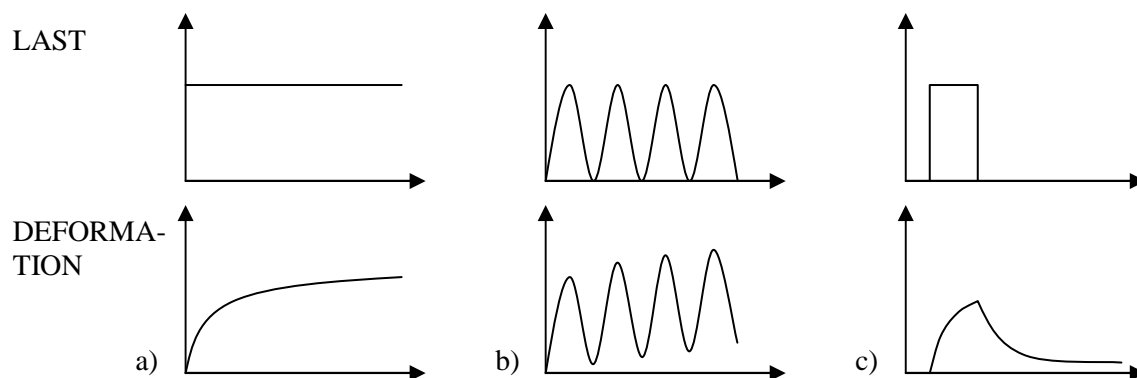
### Kryptest

Med kryp menas deformationer som uppstår efter lång tid. Kryp kan uppkomma som ett resultat av både statisk belastning (jfr. figur 3a) och upprepad s. k. cyklisk eller dynamisk belastning, (jfr. figur 3b). Kryp av statisk last uppkommer således även i ovan nämnda stämpelbelastningsprov. Stabilitet med dynamiskt kryp kan bestämmas enligt FAS Metod 468. Denna metod liknar i allt väsentligt dynamisk stämpelbelastning med undantag för andra geometriska mått på prov och utrustning samt andra tider för belastning. Lastpulsen är en 0.5 Hz (fyrkantsvåg 0-100 kPa) med statisk förbelastning på 10 kPa i 10 minuter.

Inom aktuell forskning studeras s. k. creep-recovery försök (kryp-återhämtning) under vilket ett prov analyseras med hjälp av en fyrkantspuls (jfr. figur 3c). Denna typ av försök syftar, till skillnad från dynamiskt kryp och utmattningsförsök, inte till att undersöka hur materialet deformeras eller försvagas under upprepad belastning. Istället vill man få en bild av de fundamentala komponenter som bygger upp varje materialmodell:

- Elasticitet – Den del av deformationen som återgår
- Viskositet – Den del av deformationen som inte återgår och är tidsberoende
- Plasticitet – Den del av deformationen som inte återgår och inte är tidsberoende

De olika komponenterna kan sägas vara viktiga ur olika aspekter. Elastisk deformation ger inga kvarstående deformationer i form av t.ex. spår. Viskös deformation ger visserligen kvarstående deformation men även spänningsrelaxation och därmed mindre risk för sprickor. Plastisk deformation tros indikera skadeuppkomst. Provingen ställer emellertid stora krav både på utrustning och på analys.



Figur 3 Belastningar och deformationer vid statisk kryp (a), dynamiskt kryp (b) och creep-recovery (c).

I en tysk undersökning visas hur filler och bitumen påverkar krypegenskaperna hos gjutasfalt [9]. Skifferfiller som hade stor förstyvande verkan på mastixen minskade krypdeformationerna i likhet med styva bindemedel. Även tillsatser av styv Trinidad Epuré och Lucobit minskade krypdeformationerna.

### Formstabilitet

Förmågan hos gjutasfalt att motstå deformationer vid höga temperaturer kan uppskattas genom mätning av formförändring efter lagring vid hög temperatur. BRO 2002 föreskriver provning enligt SS-EN 12 970, vilket innebär lagring vid 80°C. Formförändringen får uppgå till högst 8 mm.

### Wheel-track och provvägsmaskiner

En rad utrustningar och maskiner med rullande hjul finns i bruk för accelererad provning av spårdjup. Mindre utrustningar (som t. ex. belastar plattor av storlek cirka 35x50 cm<sup>2</sup>) förekommer



liksom stora maskiner för provning av färdiga vägkonstruktioner (t.ex. HVS Heavy Vehicle System). För gjutasfalt på broar torde de mindre wheel-tracking utrustningarna kunna simulera uppkomst av spår till följd av trafikbelastning eftersom brobeläggningskonstruktionen är relativt tunn. Ett problem vid provning av beläggningar på vägar kan annars vara underliggande lagers betydelse för spårbildningen. Ett annat problem vid accelererad provning är att verklig trafik ej kan återges korrekt i fråga om tid mellan fordon och variation i läge (sidled).

Inför byggandet av bron över Stora Bält jämfördes beläggningar av gjutasfalt med beläggningar uppbyggda av mastix (som tätskikt) och stenrik asfaltbetong. Det konstaterades att spårdjupet var större för beläggningarna av gjutasfalt. Man påpekade emellertid att gjutasfalten diskriminerats vid provningen eftersom verklig trafik inte följer exakt samma spår utan driver något i sidled. Den tidigare erfarenheten var att gjutasfaltbeläggningar var lika bra eller bättre. En viss minskning av spårtillväxten vid användning av polymermodifierat bindemedel (Caribit) kunde även konstateras [21].

Inför byggandet av Jiangyin-bron i Kina gjordes en utvärdering vid universitetet i Nottingham, England. Styvhet, kryp, utmattnings- och spårbildning bestämdes [22]. Undersökningen är särskilt intressant för att den (kanske omedvetet) belyser svårigheterna i att bedöma framtida prestanda genom laboratorieförsök. Exempelvis visade krypförsök och provning i wheel-tracking utrustning motstridiga resultat för gjutasfalt med olika bindemedel (5% EVA polymer jämfördes med omodifierade varianter). Gjutasfalten med det polymermodifierade bindemedlet uppvisade hög styvhet och lite kryp, vilket var väntat, men sämre utmattningssegenskaper och hög spårtillväxt i wheel-tracking försök. Hög styvhet och dåliga utmattningssegenskaper är förvisso förknippade med varandra, men sambandet beror på försöksförutsättningarna och några definitiva slutsatser om livslängd från utmattningsförsök är generellt sett svåra att dra. (Detta diskuteras vidare i nästa avsnitt.) Både krypförsök och wheel-tracking försök förväntas ge information om spårtillväxt och bör inte uppvisa motstridiga resultat. I en annan undersökning kunde relativt god koppling erhållas mellan krypförsök och två typer av spårkorningstrustningar [23].

### *Skjuvning*

För tätskikt på betong finns en CEN-metod (prEN 13653) för provning av skjuvhållfasthet. En provkropp (220x110 mm<sup>2</sup>) bestående av betongunderlag, tätskikt och beläggning skjuvas med konstant deformationshastighet 10 mm/min. Kraften anbringas 15° från skiktplanet.

### **4.3 Utmattnings-**

Alla typer av vägkonstruktioner utsätts för upprepade belastningar, som var för sig inte utgör någon risk för skadeuppkomst, men som tillsammans och efter lång tid kan leda till uppkomst av sprickor. Det är viktigt att i detta sammanhang skilja på utmattnings- och kryp. Tyvärr förekommer en del begreppsförvirring på detta område. Kryp är kvarstående deformationer av upprepad eller statisk belastning, medan utmattnings- egentligen bara handlar om försvagning i materialet efter upprepad belastning. Normalt förekommer både kryp och utmattnings- samtidigt, vilket gör det svårt att skilja på hur stor del av en skada som är ren utmattnings-. Upprepad belastning kan i vissa fall vara gynnsamt och t. ex. medverka till att uppkomna sprickor i beläggningen läker vid hög omgivningstemperatur (jfr. packning).

Vid utmattningsprovning kan antingen en viss last (spänning) föreskrivas eller en viss deformation (töjning) upprepas kontinuerligt eller med viloperioder. Olika provningsbetingelser kan ge stora variationer i utmattningslivslängd för ett och samma material. Ett exempel är inverkan av styvheten hos ett givet material. Generellt sett leder ökad styvhet till kortare livslängd om belastningen styrs utifrån den föreskrivna deformationen (styrd töjning), medan livslängden ökar om belastningen styrs utifrån en given belastningsnivå (styrd spänning). Anledningen är att spänningen successivt avtar vid ett töjningsstyrt försök, när materialet försvagas, medan töjningen successivt måste öka för att bibehålla en given spänningsnivå i ett försvagat material. Det verkliga förhållandet i fält torde variera från fall till fall och vara en

kombination av både töjnings- och spänningsstyrd utmattning. Resultat från utmattningsförsök ska således tolkas med stor försiktighet.

Den litteratur som påträffats om utmattning av gjutasfalt och asfaltmastix har behandlat stålbroar, vilket förefaller naturligt då stålfarbanor har en viss nedböjning vid tung belastning [21, 24]. I dessa fall provas beläggning och stålfarbana tillsammans och med en geometri och last som efterliknar fältförhållanden. Provning kan utföras vid olika temperaturer, även om provningen kan tyckas mest angelägen vid låga temperaturer då risken för sprickbildning är hög. För stålfarbanor kan de ökade nedböjningarna vid högre temperaturer emellertid ge svårare belastningsfall. Lasten kan påföras direkt på beläggningsytan, som i det danska pulsatorstestet, eller via stålet enligt tysk norm.

#### **4.4 Lågtemperaturegenskaper**

##### *Bakgrund*

Under de kalla vintrarna 1942-1943 sprack gjutasfaltbeläggningar på många håll i Sverige. Detta föranledde Hallberg och Lindholm att 1947 studera gjutasfaltens känslighet för sprickbildning vid låga temperaturer [25]. De gjöt gjutasfalt runt en porslinscylinder (med låg värmeutvidgningskoefficient) som placerades i en klimatbox och kylde från +20 till -60°C på 6 timmar. Sprickuppkomst detekterades genom ett tunt skikt av elektrisk ledande zink på gjutasfaltens yta varpå den aktuella temperaturen avlästes. Hallberg och Lindholm konstaterade att både bindemedlets och stenmaterialets ursprung hade stor betydelse för spricktemperaturen. (Deras undersökningar om filler är ej av nutida intresse eftersom slutsatsen var att asbestfiber var överlägset kalkstensfiller). De studerade inverkan av sju olika bindemedel och fann att skillnaden i spricktemperatur var stor, men att samband saknades helt mellan spricktemperatur och penetration, mjukpunkt och Fraass' brytpunkt. Avsaknaden av samband kan ha berott på att de studerade bindemedlen hade mycket varierande ursprung och sammansättning (jfr. resultat nedan). Vid jämförelser av spricktemperaturer för gjutasfalt med granit (Stockholm), diabas, kalifältspat (Margretelunds fältspatgruva), kvarts (Resarö) respektive finkorning diorit (Resarö) observerades att spricktemperaturen för gjutasfalt med granit var cirka -35°C, medan proven med övriga stenmaterial kunde kylas ner till mellan -49 och -66°C utan att spricka (en del försök avbröts före -60°C). Hallberg och Lindholm observerade att sprickorna gick igenom graniten men runt kvartsen. De menade att graniten, med sammansättning av flera olika mineraler med olika värmeutvidgningssegenskaper, påverkades av stora inre spänningar.

##### *Teori*

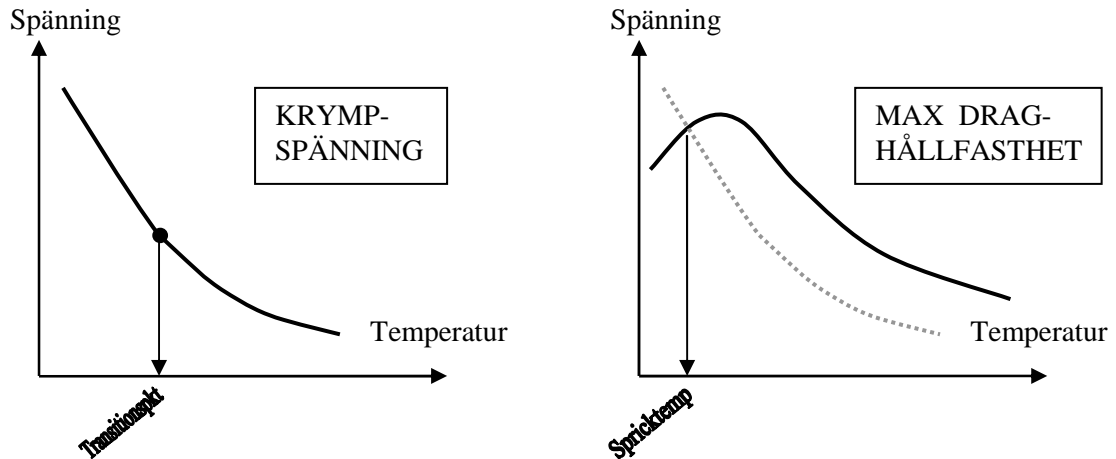
Förenklat beror risken för sprickbildning i gjutasfalt, liksom i vanlig asfalt, på hur mycket gjutasfalt krymper när temperaturen sjunker. Den beror också på hur stora dragspänningar gjutasfalt tål innan den spricker. Krympningen i sig är inget problem, men i praktiken är gjutasfalt i vägbeläggningar förhindrad att krympa i horisontalled eftersom vägarna är kontinuerliga. Då uppstår spänningar som drar i beläggningen och bibehåller dess längd. Spänningens storlek är beroende av både bindemedlets och stenmaterialets längdutvidgningskoefficient (som beskriver längdförändringen per meter och grad Celsius). Bitumen har relativt stor längdutvidgningskoefficient och krymper därmed mycket [27].

En annan faktor av stor betydelse för spänningens storlek är gjutasfaltens förmåga att relaxera, d. v. s. i vilken omfattning spänningen gradvis avtar i gjutasfalt och bindemedlet deformeras permanent. Den temperatur vid vilken ett material förlorar sin förmåga att relaxera brukar kallas glaspunkt, glasövergång eller transitionspunkt (se figur 4). Denna temperatur varierar för olika bitumen och beror t.ex. på styvhet och kemisk sammansättning.

Draghållfastheten hos gjutasfalt kan t.ex. bestämmas med dragprov. Peffekoven [26] bestämde hållfastheten för gjutasfalt vid olika temperaturer. Kurvornas principiella utseende visas i figur 4 och liknar för övrigt kurvorna för konventionell asfalt [27]. Gjutasfalt tål generellt sett högre

dragspänning än asfaltbetong på grund av sitt höga bindemedelsinnehåll. Typiskt för hållfastheten är att ett maximum nås vid en låg temperatur vilket förmodligen beror på att materialet blir sprött när det inte längre kan relaxera.

Med kunskap om hur krympspänningen tillväxer vid fallande temperatur och maximal hållfasthet kan man teoretiskt förutsäga att sprickbildning uppkommer när kurvorna för krympspänning och hållfasthet sammanfaller (se figur 4).



Figur 4 Spänningstillväxt i kontinuerlig beläggning vid fallande temperatur (vänster). Principiell beskrivning av maximal hållfasthet hos gjutasfalt vid olika temperaturer (höger).

#### Modern karakterisering av lågtemperaturegenskaper

Den kritiska spricktemperaturen kan bestämmas genom att karakterisera gjutasfaltens egenskaper i enlighet med beskrivningen i figur 4 ovan eller genom TSRST (Tensile Strain Restrained Specimen Test). TSRST har använts inom det amerikanska Superpave Mix Design för att karakterisera lågtemperaturegenskaper hos asfaltbetong. Vid bestämning av kritisk spricktemperatur med TSRST limmas ett avlångt asfaltprov fast i båda ändarna och temperaturen sänks. Temperatur och kraft som åtgår för att hålla kvar det krympande provet mäts och lagras. När sprickor uppkommer minskar den kraft som åtgår för att hålla fast asfaltprovets ändrar.

Vid KTH har omfattande undersökningar av asfaltmassors lågtemperaturegenskaper utförts med TSRST. Undersökningarna har till viss del omfattat gjutasfalt, både med och utan polymermodifierat bindemedel [27]. Tre viktiga slutsatser kan dras från dessa försök:

- Inga stora skillnader i spricktemperatur mellan gjutasfalt och konventionell asfaltbetong kan observeras
- Polymerer tycks ge positiv inverkan på spricktemperaturen, åtminstone om mjukare bastbitumen används
- Gjutasfalt uppnår avsevärt högre spänningar, förmodligen beroende på det höga bindemedelsinnehållet som bidrar till ökad krympning.

#### 4.5 Nöttningsresistens

I vägverkets allmänna tekniska beskrivning ATB Väg 2003 föreskrivs att slitlager på vägar med mer än 500 ÅDT ska provas med avseende på nöttningsresistens enligt Prall (prEN 12687-16). Under provningen exiteras stålkulor till rörelse som nöter på provytan. Grundtanken med provningen är att simulera inverkan av dubbdäck. Vid provning enligt Tröger används istället ett slags "nålpistol" som hamrar på belägningsytan.

Vid jämförelser av nöttningsresistans enligt Prall och Tröger för asfaltbetong (av typ ABT 11) och gjutasfalt befanns gjutasfalt med polymermodifierat bindemedel vara mest resistent mot nötning [9]. Bindemedlet verkade därmed spela en viss roll för slitaget. Stenmaterial och filler var av samma ursprung men olika gradering för asfalt och gjutasfalt.

#### **4.6 Vidhäftning mellan skikt eller mot underlag**

God vidhäftning mellan alla lager i beläggnings- och mot broytan är viktigt för ett isolerings- och beläggningssystem. För närvarande finns dock inga specifika provningsmetoder för gjutasfaltbeläggningar. En metod för tätskikt på betongbroar har tagits fram inom CEN TC 254 WG6 (prEN 13596) där hela beläggnings- eller delar av den kan provas. En stålstamp limmas fast på provytan med samma mått ( $\varnothing 50$  mm eller  $50 \times 50$  mm<sup>2</sup>). Vid provning dras stålstampeln loss med dragkraftsökningen  $0.15$  N/s mm<sup>2</sup> och dragkraften applicerad lodrätt mot provytan. Dragkraften vid brott liksom typen av brott registreras. Provnings- och utföras i fält. Exempel på krav enligt BRO 2002 ges i bilaga 6.

#### **4.7 Vattenkänslighet och täthet**

Gjutasfalt anses normalt vara tät om inga sprickor förekommer. Därmed är känsligheten för t. ex. stripping mycket låg. Alla material har dock någon form av permeabilitet (genomsläpplighet) för vattenånga.

## **5 Erfarenheter från fältobservationer**

Gjutasfalt har använts som slitlager under lång tid med goda erfarenheter. Detta gäller speciellt i Tyskland. Det konstateras att gjutasfalt visserligen är dyrare än andra alternativ, t. ex. ABS, men goda bruksegenskaper och lång livstid kan göra gjutasfalt till ett överlägset alternativ [28].

### **5.1 Slit- och bindlager på broar**

I Tyskland är tilltron stor till gjutasfalt på broar beroende på dess goda täthet och beständighet. Bara i staden Hamburg finns 2500 broar med i många fall gjutasfaltbeläggning. Süderelbbrücke i Hamburg är konstruerad med en ortotrop stålplatta belagd med 3 mm epoxiharts, 37 mm gjutasfalt 0/11 och 34 mm gjutasfalt 0/16. Bindemedlet är modifierat med en elastomer. Bron byggdes 1986 och besiktigades efter 14 år då mer än 40 miljoner fordon (varav ca 17 % tunga fordon) passerat. Spårdjupet var i medeltal mindre än 5 mm i det mest trafikerade körfältet. Ytan uppvisade tillräcklig friktion och inget stensläpp (chipsten). [17, 29]. Det bör tilläggas att man inte i Tyskland numera använder dubbdäck.

Inför byggandet av bron över Stora Bält i Danmark startade ett ambitiöst projekt i syfte att utveckla en optimal beläggning. En stor mängd provningsmetoder av intresse, i samband med föreliggande rapport, är väl beskrivna och använda. Exempel på provningsmetoder som nyttjades är dynamiskt kryp, wheel-tracking, glidningsförsök, 3- och 5-punkts böjtest. Ett flertal bindemedel, stenmaterial, filler och beläggningstyper provades och slutligen valdes en omodifierad gjutasfalt.

I Japan används gjutasfalt som bindlager på stålbroar. Broisolering används ej och som slitlager läggs i regel asfaltbetong. Gjutasfalten läggs i ett skikt på 30-40 mm, men om ståldäcket är försett med stålbulnar läggs 60 mm. Gjutasfalten karakteriseras enligt japansk standard med avseende på bindemedelshalt, viskositet enligt Luer vid 240°C, stämpelvärde, lågtemperaturflexibilitet (böjtest vid -10°C) och dynamisk stabilitet vid 60°C [30, 31].

Hicks et al. [32] har sammanställt erfarenheter kring användning av gjutasfalt och asfaltmastix på stålbroar fram till år 2004 (d. v. s. även planerade). Den allmänna åsikten tycks vara att dessa beläggningar har en livslängd på 20 år eller mer. Som exempel anges the Forth Bridge (Storbritannien, GB) vars beläggning varade 21 år, the Severn Bridge (GB) 24 år, Bogazici bron

(Gussasfalt, Turkiet) 19 år, samt att the Humber Bridge (GB) efter 18 år fortfarande håller. Broarna har även krävt förhållandevis lite underhåll.

## 5.2 Slitlager på vägar

Gjutasfalt har använts i mer än 60 år på tyska vägar. Inför restaureringen av vägnätet i efterkrigstidens Tyskland togs det berömda Berlinerreceptet för gjutasfalt fram. Man anser att dessa beläggningar har hållit god standard. De senaste 20 årens trafikökning och utveckling av nya beläggningstyper har emellertid medfört ökade krav också på gjutasfalt.

## 6 Diskussion och slutsatser

Den redovisade litteraturen ger inget definitivt svar på frågan om förutsättningarna för användning av gjutasfalt som både slit- och bindlager, av total tillräcklig tjocklek för att undvika bl. a. med blåsbildning, på broar. Ett flertal indikationer på att polymermodifierad gjutasfalt bör kunna motsvara förväntningarna har påträffats liksom beskrivningar av olika funktionsrelaterade problem som bör tas i beaktande. Exempel på detta är:

- Om tjockare lager än 35 mm läggs kan bindemedel anrikas i ytan med ökad risk för sprickbildning
- Stabilitet vid höga brukstemperaturer kan åstadkommas genom kontroll av a) massans sammansättning b) stenmaterialets egenskaper c) fillrets egenskaper d) bindemedlets egenskaper och modifiering
- Beständigheten vid låga brukstemperaturer ska beaktas och styrs främst av bindemedlets egenskaper
- Friktionen på gjutasfaltens i regel bindemedelsrika yta måste hållas på en acceptabel nivå.

En fortsättning på projektet rekommenderas med ovanstående punkter i särskilt beaktande. Även övriga mekanismer för nedbrytning, slitage och blåsbildning ska beaktas, men verkar ha mindre betydelse för användningen av gjutasfalt som slit- och bindlager i enkla skikt på broar.

Att den förestående utvärderingen i laboratoriet genomförs i nära anslutning till utläggning i fält, d. v. s. på material som tillverkats, transporterats och lagts ut under samma reella betingelser, är av avgörande betydelse för undersökningens tillförlitlighet och den fortsatta uppföljningen i fält. Utvärderingen av förfarandet med gjutasfalt som slit- och bindlager på broar bör således ske genom fältförsök som kopplas till laboratorieprovning. Laboratorieprovningen ska dokumentera de initiella materialegenskaperna samt spegla och möjliggöra god tolkning av fältförsöken. Härigenom kan ytterligare förbättringar föreslås och ökad kunskap erhållas. För att få en god uppfattning om gjutasfaltens egenskaper och funktion föreslås i första hand att följande provning ingår i laboratorieundersökningen:

- Erfarenhetsåterkoppling:
  - Statisk stämpelprovning
  - Formstabilitet
- Spårbildning:
  - Dynamiskt kryptest eller dynamisk stämpelprovning
  - Analys av viskoplastiska egenskaper med enaxiell belastning (Creep-recovery)
- Sprickbildning:
  - TSRST före och efter åldring
- Karakterisering av bindemedel (före och efter åldring):
  - BBR för lågtemperaturogenskaper
  - DSR för karakterisering av bruks- och högtemperaturogenskaper
  - IR och GPC för dokumentation av kemisk sammansättning

Eventuellt kan även följande undersökas:

- Nötningsegenskaper

- Vidhäftning
- Karakterisering av stenmaterial

## 7 Referenser

- [1] Blumer M "Verwendung von Trinidad Naturasphalt – Erfahrungen und Kenntnisstand 1984/85" Die Asphaltstrasse 2. 1985
- [2] Kast O "Standfestigkeit von Gussasphaltschichten unter extreme langsamen und schwerem Verkehr" Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 335, 1981
- [3] "Gussasphalt auf Brücken" Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 335, 1981.
- [4] Vater E J, Herold C "Einfluss von Kautschukzusätzen bei Gussasphaltdeckschichten" Bitumen 2, 1982.
- [5] Grosshans D "Asphaltbefestigungen mit hoher Standfestigkeit" Bitumen 1, 1990.
- [6] Isacson U, Lu X "Testing and appraisal of polymer modified road bitumens – state of the art" Materials and structures, 28, 1995. pp.139-159
- [7] Dübner R "Fahrbahndecken aus asphalt". (Arbeitsgemeinschaft der bitumen-industrie EV, 1994
- [8] Ditter K "Deckschichten aus Walzgussasphalt und Splitt-Mastix-Asphalt für hochbeanspruchte fahrbahnen" IRF World Meeting, Stockholm, 1-5 June, 1981.
- [9] "Weiterführung der Ermittlung des einflusses der wichtigen materialtechnischen Faktoren und der mischgutzusammensetzung auf den verschleiss bituminöser fahrbahndecken mit zusätzlicher prüfung des widerstandes gegen verformung". (Forschung Strassenbau und strassenverkehrstechnik, Heft 388, 1983
- [10] "Ansprache des verformungswiderstandes von Gussasphalt mit dem dynamischen Eindringversuch mit ebenem Stempel – Weiterentwicklung und Bewertungshintergrund". (Forschung Strassenbau und strassenverkehrstechnik, Heft 798, 2000
- [11] Wruck R. Personlig kommunikation. 2003
- [12] Beratungsstelle für Gussasphaltnwendung e.V. "Tabellen zum Asphaltkalender 2003" 2003.
- [13] Jilani G G "Asphaltbeläge auf stahlbrücken in Istanbul" Internationaler Naturasphalt Kongress, Leipzig, Tyskland. 1995
- [14] Kloss H D, Stapel S "Gussasphalt oder asphalteinbeton für scwerbelastet strassen., Strassen- und tiefbau 8. 1971
- [15] Schütz F "Isolering av byggnadsverk med asfalt och tjära" Tidskriften Byggmästarens förlag, 1945.
- [16] Hedenblad G "Bottenplattas förmåga att motstå vattentryck" VV-rapport 1999
- [17] Damm K W "Erfahrungen in Hamburg mit der Verwendung polymermodifizierter Bindemittel für Gussasphaltbrückenbeläge" Bitumen 1, 1990.
- [18] Lundström R „Utmattning av asfalt – En litteraturstudie“ Avd. VägtekNIK, KTH, TRITA-IP AR 01-92. 2001
- [19] Schellenberg K "Verhalten von Gussasphalt im Strassenbau, Brückenbau und auf Parkdecks" Bitumen 4. 1981
- [20] Schellenberg K, Schellenberg P "Optimierung der Zusammensetzung und der Eigenschaften von Gussasphalt an einem Beispiel Bitumen 2. 2001
- [21] "Storebælt – Belægning til Østbro" Statens Vejlaboratorium, Danmark. 1993.
- [22] Elliot R C, Sida M "Performance testing of mastic asphalt for bridge surfacing" Euroasphalt & Eurobitume, Proceedings, Barcelona, pp. 1022-1028. 2000

- [23] Hills J F, Brien D, van der Loo P J, Sommer P "Der Zusammenhang zwischen Spurbildungs- und Kriechprüfungen an Asphaltmassen, Teil I und II" Strasse und Autobahn 1 & 2, 1975.
- [24] Edwards Y, Westergren P "Polymer modified waterproofing and pavement system for the High Coast bridge in Sweden" VTI rapport 430 A. 2001.
- [25] Hallberg S, Lindholm N "Köldsprickor i gjutasfalt" Meddelande 74, Statens väginstitut, Stockholm,.1947.
- [26] Peffekoven W "Behaviour of Gussasphalt at low temperatures"
- [27] Zeng H "On the low temperature cracking of asphalt pavements" Doktorsavhandling. TRITA-IP FR 95-7. Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm. 1995
- [28] Kast O "Asphaltsonderbeläge für hochbelastete Stadtstrassen" Verkehrswege für die mobile Gesellschaft, Deutscher Strassenkongress, Mannheim,.1984.
- [29] Damm K-W, Harders O "Long-term performance of bridge deck surfacings for heavy traffic" Euroasphalt & Eurobitume, Proceedings, Barcelona. 2000
- [30] Colldin Y "Isolering och beläggning på stålbroar – Minnesanteckningar från en studieresa till Japan" VTI notat Nr V186. 1992
- [31] Tada H "The environment of pavements in Japan and the adoption of modified asphalts, particularly in bridge paving" The journal of the institute of asphalt technology No.39, Japan. 1987
- [32] Hicks R G, Dussek I J, Seim C "Asphalt surfaces on steel bridge decks" Transportation Research Record 1740, pp. 135-142. 2000

## Bilagor

Bilaga 1: Beläggningar på brobaneplattor av betong enligt BRO 2002.....	25
Bilaga 2: Tyska gjutasfaltbeläggningar på betongbroar enligt [12].....	29
Bilaga 3: Provningsmetoder och testresultat för Süderelbbrücke nära Hamburg <b>1984</b> [29].....	31
Bilaga 4: Provningsmetoder och testresultat för Süderelbbrücke nära Hamburg <b>1998</b> [29].....	32
Bilaga 5: Experter som tillfrågats om användningen av gjutasfalt i deras länder.....	33
Bilaga 6: BRO 2002, 6. Tätskikt och beläggning, Bilaga 6-5 Krav på epoxipreparat.....	34



Bilaga 1: Beläggningar på brobaneplattor av betong enligt BRO 2002.

**Tabell 62-1 Beläggningar för brobaneplattor av betong**

Typbeläggning		Tjocklek (mm)	
Nr	Uppbyggnad		
1	1aIA 2aIA	110	(110)
2	1IIA	110	
3	1IIB 2aIB	110	(110)
4	1IIIA 2IIIA	100	(95)
5	1IIIB 2IIIB	100	(95)
6	1IIIC 2IIIC	100	(95)
7	3bIA 4bIA	150	(150)
8*	1aIVD 2aIVD	≥170	(≥170)
9	3E/4E		(≥130)
10	F	≥70	
11	G	≥255	

\*) Bindlager V och/eller IV, se 62.114.

Nr anger uppbyggnad av beläggning med val av tätskiktsalternativ.

Uppbyggnad anger både tätskikts- och beläggningsuppbyggnad.

- Första siffrorna anger tätskiktsalternativ, se tabell 62-2.
- Efterföljande bokstav (gemen) anger skyddslageralternativ, se tabell 62-3.
- Romersk siffra därefter anger typ av bindlager, se tabell 62-4.
- Avslutande bokstav (versal) anger slitlagertyp, se tabell 62-5.
- Tjockleksangivelse avser tätskikt med asfaltmastix. Värdet inom parentes avser isoleringsmatta.
- Med membranisolering gäller för nr 7 och nr 9 samma tjocklek som med isoleringsmatta

Tjockleksangivelser, för bitumenbundna skyddslager och slitlager, avser minimitjocklekar. Vid användande av isoleringsmatta mäts tjockleken från isoleringsmattans översida utan att tjockleken vid skarvarna tas med.

Angivna mått på tjockleken på bindlagret är exklusive justeringar på grund av ojämnheter i underlaget. Ojämnheter i underlaget ska enligt 62.312 utjämnas i bindlagret. För att jämna ut dessa ojämnheter får den angivna tjockleken för bindlager variera  $\pm 20$  mm. Vid utförande med skyddsbetong, betongbeläggning E och direktgjuten slitbetong justeras ojämnheter i underlaget på motsvarande sätt men i nämnda lager.

*Angående ojämnheter i brobaneplattans överyta, se 44.533.*

**Tabell 62-2 Tätskikt**

Beteckn.	Typer	Tjocklek (mm)
1	Asfaltmastix med polymer	10
2	Isoleringsmatta	5
3	Membranisolering	10
4	2 lager isoleringsmatta	10

**Tabell 62-3 Skyddslager**

Beteckn.	Typer	Tjocklek (mm)
a	ABT 4 / B 160/220 *	10(15)
b	Skyddsbetong	70

\*10 mm ABT 4 / B 160/220 gäller för utförande med asfaltmastix. 15 mm ABT 4 / B 160/220 gäller för utförande med isoleringsmatta.

**Tabell 62-4 Bindlager**

Beteckn.	Typer	Tjocklek (mm)
I	ABb $\geq$ 11 / B 70/100	50
II	ABb $\geq$ 11 / B 70/100	60
III*	PGJA	50
IV	ABb $\geq$ 11 / B 70/100	
V	Obundet bärlager/AG	

\* Kombinerat skydds- och bindlager

*Om deformationsresistensen enligt ATB VÄG, kapitel I ska gälla för bindlagret anges detta i den tekniska beskrivningen.*

**Tabell 62-5 Slitlager**

Beteckn.	Typer	Tjocklek (mm)
A	ABS ≤16 / B 70/100	40
B	ABD ≤16 / B 70/100	40
C	PGJA	40
D	Asfaltbeläggning som på anslutande väg	
E	Betongbeläggning	≥120
F	Direktgjuten slitbetong	≥70
G	Betongbeläggning enligt ATB VÅG, kapitel G	≥180

62.122

För spännarmerade brobaneplattor ska klass 1 eller 2 enligt tabell 62-6 väljas.

*För övriga broar kan tabell 62-6 tjäna som vägledning.*

**Tabell 62-6 Kvalitetsklasser för beläggningar på brobaneplattor av betong**

Klass	Tätskikt	Bindlager	Slitlager
1	2	IV	A*
	4	-	G
2	4	-	E
3	1, 2	**	**
	3	-	E
4	-	-	F

\* Angående utbyte av slitlager, se 62.112.

\*\* Alla uppbyggnader av bind- och slitlager enligt tabell 62-1 är möjliga alternativ.

*Siffror och bokstäver i tabell 62-6 finns förklarade i 62.121.*

- *Klass 1 innehåller två täta lager och är de uppbyggnader som förväntas hålla längst. De kan med fördel väljas på broar med stor trafikintensitet och även där begränsningar av trafiken vid arbeten på bron är svåra att genomföra.*

*Begränsningen av livslängden avgörs i första hand av slitlagren som dock kan fråsas flera gånger utan att tätskikten eller skydds- och bindlager av PGJA förstörs.*

*I alternativet med skydds- och bindlager av PGJA kan även slitlagret bytas ut utan att tätskiktet eller skydds- och bindlagret förstörs.*

*I alternativet med betongbeläggning E med två lager isoleringsmatta måste även tätskiktet bytas då slitlagret byts ut.*

- *Klass 2 innehåller två täta skikt men under betongbeläggningen finns också inneslutna asfaltlager där stripping kan begränsa livslängden och orsaka att hela uppbyggnaden måste bytas.*

*Alternativet kan väljas då anslutande slitlager på vägen utformas som betongbeläggning*

- *Klass 3 har ett tätskikt och kan väljas som ett enklare alternativ på alla broar, förutom på broar med spännarmerad brobaneplatta.*

*Begränsningen av livslängden avgörs i första hand av de asfaltlager som ligger på tätskiktet. Vid byte av bindlagret på grund av t.ex. stripping måste också tätskiktet bytas.*

*Här förekommer även skyddslager av ABT 4 / B 160/220 som är instabilare än massor med större stenstorlek och som ofta får ett högt hålrum. Ett lager tätskikt är också känsligare för misstag vid utförandet vilket kan förkorta livslängden på tätskiktet och konstruktions betongen.*

*I alternativet med betongbeläggning E med membranisolering är den svagaste delen den mjuka membranisoleringen.*

- *Klass 4 innehåller inget tätskikt och kan väljas på alla broar förutom på broar med spännarmerade brobaneplattor.*

*Begränsningen av livslängden avgörs av betongens kvalitet och beständighet i den miljö den befinner sig i. Utförande med slitbetong kan innebära en förkortad livslängd på konstruktionsbetongen på grund av att tätskikt saknas.*

Bilaga 2: Tyska gutasfaltbeläggningar på betongbroar enligt [12].

Abdichtungen mit Gußasphaltschutzschicht für Beläge auf Betonbrücken sowie auf Trog- und Tunnelsohlen				
0	1	2	3	4
Beläge auf Betonbrücken		Ergänzungen für Beläge auf Trog- und Tunnelsohlen (Anhang zur ZTV-BEL-B Teil 1)		
1 Ausführungsgrundlagen	nach ZTV-BEL-B für den Bereich der Bundesfernstraßen			
2 Bauarten	VOB, DIN 18354, Für den Bereich der Bundesfernstraßen zusätzlich: ZTV-BEL-B, ZTV-K, ZTV-SIB, Zusammenstellung der geprüften Stoffe und Stoffsysteme. Für Blocken der Deutsche Bahn AG: (AIB) 835.9101			
3 Besondere Anforderungen an die Betonunterlage	Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweißbahn	Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff	Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweißbahn	Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff
4 Abdichtung: Grundierung, Versiegelung, Kratzspachtelung	<p>1 Gußasphaltschutzschicht</p> <p>2 Dichtungsschicht aus Bitumen-Schweißbahn</p> <p>3 Grundierung des Betons</p>	<p>1 Gußasphaltschutzschicht</p> <p>2 Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff</p> <p>3 Grundierung des Betons</p>	<p>1 Gußasphaltschutzschicht</p> <p>2 Dichtungsschicht aus Bitumen-Schweißbahn</p> <p>3 Versiegelung des Betons</p>	<p>1 Gußasphaltschutzschicht</p> <p>2 Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff</p> <p>3 Grundierung des Betons (2-lagig)</p>
Dichtungsschicht	<p>Alter des Betons mindestens 21 Tage</p> <p>Ebenheitstoleranz: max. 10 mm auf 4 m</p> <p>Abriebfestigkeit: <math>\geq 1,5 \text{ N/mm}^2</math></p>	<p>Grundierung oder Kratzspachtelung aus lösemittelfreiem, niedrigviskosem, hitzebeständigem Epoxidharzsystem</p> <p>Rautiefe <math>\geq 1,5</math> und <math>\leq 2,5 \text{ mm}</math></p> <p>Abriebfestigkeit <math>\geq 1,5 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>kleinster Einzelwert <math>\geq 1,0 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Flüssigkunststoffe auf Basis von Polyurethan-Elastomeren, hitzealterungsbeständig und bitumenverträglich gemäß TL-BEL-B Teil 3</p>	<p>Grundierung oder Kratzspachtelung aus lösemittelfreiem, niedrigviskosem, hitzebeständigem Epoxidharzsystem</p> <p>Rautiefe <math>\geq 1,5</math> und <math>\leq 2,5 \text{ mm}</math></p> <p>Abriebfestigkeit <math>\geq 1,5 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>kleinster Einzelwert <math>\geq 1,0 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Bitumen-Schweißbahn mit hochliegender Trägerlage oder metallkaschiert gemäß TL-BEL-B Teil 1</p>	<p>Mindestens zweilagige Grundierung aus lösemittelfreiem, niedrigviskosem, hitzebeständigem und bitumenverträglichem Epoxidharzsystem</p>
Schutzschicht aus Gußasphalt	Gußasphalt gemäß ZTV-BEL-B			
5 Fugen	ZTV-Fug-StB (in Vorbereitung) ist zu beachten			
	Bei mehr als zwei Gußasphaltschichten übereinander, für alle Schichten Gußasphalt 0/11 S, Eindringtiefe der Schutzschicht $\leq 2,0 \text{ mm}$ , der Zwischenschicht $\leq 2,5 \text{ mm}$			
	Blockfugen sind dauerhaft zu entwässern. Die Art der Abdichtung über Blockfugen ist abhängig von der Größe der zu erwartenden Bewegungen.			

Abdichtungen mit Gußasphaltschutzschicht für Beläge auf Betonbrücken sowie auf Trog- und Tunnelsohlen				
0	1	2	3	4
Bauarten	Beläge auf Betonbrücken nach ZTV-BEL-B für den Bereich der Bundesfernstraßen		Ergänzungen für Beläge auf Trog- und Tunnelsohlen (Anhang zur ZTV-BEL-B Teil 1)	
	Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweißbahn	Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff	Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweißbahn	Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff
6 Ausführung	Nach den anerkannten Regeln der Technik, z.B. ZTV-BEL-B Teil 1 Die Richtlinien und Richtzeichnungen für Brücken und andere Ingenieurbauwerke sind zu beachten	Nach den anerkannten Regeln der Technik, z.B. ZTV-BEL-B Teil 3 Die Richtlinien und Richtzeichnungen für Brücken und andere Ingenieurbauwerke sind zu beachten	Nach Anhang zur ZTV-BEL-B Teil 1	Nach Anhang zur ZTV-BEL-B Teil 1
6.1 Vorbereitung der Betonoberfläche	Abtragend vorbereiten (s. ZTV-SIB, Tabelle 2)	Abtragend vorbereiten (s. ZTV-SIB, Tabelle 2)		
6.2 Grunderlegung/Versiegelung	Bei Niederschlag, Taubildung oder Nebelneisse, Objekt- und Lufttemperaturen < 8°C und > 40°C darf nicht eingebaut werden  Grunderlegung 300 bis 500 g/m <sup>2</sup> , mit Quarzsand gemäß Ausführungsanweisung des Stoffherstellers abstreuen, nicht gebundenen Quarzsand entfernen.  Versiegelung ca. 600 g/m <sup>2</sup> , falls erforderlich, in einem weiteren Arbeitsgang aufbringen  Bei Überschreiten der zulässigen Rauchtiefe ist eine Kratzspachtelung erforderlich	Bei Niederschlag, Taubildung oder Nebelneisse, Objekt- und Lufttemperaturen < 8°C und > 40°C darf nicht eingebaut werden  Bettoberfläche durch ein- oder mehrmaliges Auftragen bis zur Sättigung grunderlegen. 1. Lage mit 300 bis 500 g/m <sup>2</sup> durch Fluten aufbringen, im frischen Zustand mit Quarzsand abstreuen, nicht gebundenen Quarzsand entfernen.  Versiegelung in zwei Arbeitsgängen aufbringen, zweite Lage mindestens 600 g/m <sup>2</sup>		Grunderlegung mindestens zweilagig aufbringen, zweite Lage mindestens 300 g/m <sup>2</sup>
6.3 Dichtungsschicht	Temperatur der Unterlage > 0°C Lufttemperatur ≥ 5°C  Witterungsbedingte Unterbrechungen nicht nachteilig  Dicke 4,5 bis 5,5 mm  Überdeckungen der Bitumen-Schweißbahnen lang: 8 cm; bei Edelstahl 10 cm quer: 10 cm; bei Edelstahl 20 cm Querröhre mehr als 50 cm versetzen	Objekttemperatur ≥ 8°C und ≤ 30°C Temperatur der Unterlage mindestens 3 K über Taupunkttemperatur Lufttemperatur ≥ 8°C und ≤ 30°C Relative Luftfeuchtigkeit ≤ 85% Objektfeuchtigkeit ≤ 5%  Witterungsbedingte Unterbrechungen nachteilig Einbau nur bei optimalen Witterungsbedingungen möglich  Dicke ≥ 2 mm und ≤ 6 mm, zulässige Dicke auch bei Überdeckungen nicht überschreiten (elastische Verformung)  Dichtungsschicht in gleichmäßiger Dicke mit geeignetem Auftragverfahren herstellen  Dost- und Mischfehler können zur Unbrauchbarkeit führen Hohlraumgehalt ≈ 15 Vol.-%  Der Aushartungsgrad ist witterungsabhängig und muß vor dem Einbau der Schutzschicht erreicht sein.  Konstruktion unter Kappen und im Übergangsbereich Fahrbahn/Kappe gem. ZTV-BEL-B Teil 1	Versiegelung in zwei Arbeitsgängen aufbringen, zweite Lage mindestens 600 g/m <sup>2</sup>	
6.4 Schutzschicht aus Gußasphalt	Konstruktion unter Kappen und im Übergangsbereich Fahrbahn/Kappe gem. ZTV-BEL-B Teil 1	Konstruktion unter Kappen und im Übergangsbereich Fahrbahn/Kappe gem. ZTV-BEL-B Teil 3		Die Dichtungsschicht ist so an die Trog- und Tunnelwände anzuschließen, daß Hinterläufigkeit ausgeschlossen ist.
6.5 Fugen	Kurzfristig nach Einbau der Dichtungsschicht aufbringen. Überdeckungen der metallkaschierten Bitumen-Schweißbahnen unmittelbar vor Einbau der Gußasphaltschutzschicht mit hitzeständigen, nicht saugendem Selbstklebeband abkleben. Lufttemperatur ≥ 3°C. Wechselseitige Schichtdicken in einem Arbeitsgang als Höhenausgleich möglich. Dicke an keiner Stelle < 2,5 cm, Dicken > 4 cm zweilagig. Eberheit bei Handeinbau 10 mm, bei maschinelltem Einbau 6 mm unter der 4 m-Latte. Bei Deckschichten aus Walzasphalt Oberfläche der noch heißen Gußasphaltschutzschicht mit Edelsplitt 2/5 oder 5/8 in einer Menge von etwa 1 kg/m <sup>2</sup> abstreuen.	Kurzfristig nach Einbau der Dichtungsschicht aufbringen. Überdeckungen der metallkaschierten Bitumen-Schweißbahnen unmittelbar vor Einbau der Gußasphaltschutzschicht mit hitzeständigen, nicht saugendem Selbstklebeband abkleben. Lufttemperatur ≥ 3°C. Wechselseitige Schichtdicken in einem Arbeitsgang als Höhenausgleich möglich. Dicke an keiner Stelle < 2,5 cm, Dicken > 4 cm zweilagig. Eberheit bei Handeinbau 10 mm, bei maschinelltem Einbau 6 mm unter der 4 m-Latte. Bei Deckschichten aus Walzasphalt Oberfläche der noch heißen Gußasphaltschutzschicht mit Edelsplitt 2/5 oder 5/8 in einer Menge von etwa 1 kg/m <sup>2</sup> abstreuen.		
	Fugen sind gemäß ZTV-BEL-B Teil 1 und Teil 3, Abschnitt 5.6, herzustellen und mit Fugenmasse so zu verfüllen, daß keine bewegungshemmenden Fremdkörper eindringen können. Alle Fugen sind regelmäßig zu reinigen und zu warten.			

Bilaga 3: Provningsmetoder och testresultat för Süderelbbrücke nära Hamburg **1984** [29].

		Mastic asphalt protection course 0/11		Mastic asphalt wearing course 0/16	
		Mix design	Conformity test mean	Mix design	Conformity test mean
Binder content	M-%	7,0	7,3	7,1	6,9
Filler	M-%	25,8	26,6	25,8	26,8
Sand	M-%	25,4	25,8	25,3	23,2
Chippings >2mm	M-%	48,8	47,6	48,9	50,0
Indentation test					
5cm <sup>2</sup> /40°C	Mm	2,1	2,4	1,2	1,5
30min	Mm	2,3	2,9	1,4	1,7
60min					
Bending tensile strength $\delta_{22^\circ\text{C}}$	N/m m <sup>2</sup>	5,3	6,3		8,1
Bending tensile strength $\delta_{0^\circ\text{C}}$	N/m m <sup>2</sup>	15,7	16,9		12,9
Relation $\delta_{22}/\delta_{0}$		0,34	0,37		0,63
Compressive strength $\delta_{d22^\circ\text{C}}$	N/m m <sup>2</sup>	8,0	7,7		10,7
Relation $\delta_{22}/\delta_{d22}$		0,68	0,81		0,76
Quality of recovered binder					
Softening point ring and ball	°C		62,7		62
Penetration	Mm/ 10		37		40
Breaking point a. Fraass	°C		-13		-13,6
Elastic recovery at 25°C	%		74		77
ductility b. 25°C	Cm		33		46

Bilaga 4: Provningsmetoder och testresultat för Süderelbbrücke nära Hamburg **1998** [29].

		GA 0/11	GA 0/16
Passing 0,09 mm sieve	M-%	26,5	26,6
Remaining on 2 mm sieve	M-%	48,8	50,5
Remaining on 5 mm sieve	M-%	28,3	37,8
Remaining on 8 mm sieve	M-%	15,0	24,8
Content of Luxovite	M-%		21,7
Natural : crushed sand		1 : 1	1 : 1
Binder content	M-%	7,4	7,0
Softening point Ring and Ball	°C	64,5	64,8
Bulk density	g/cm <sup>3</sup>	2,414	2,886
Indentation at 40°C,5cm <sup>2</sup> ,30 min	mm	2,4	1,7
Increase after further 30 min	mm	0,5	0,4

		Protection course GA 0/11			Wearing course GA 0/16		
		1	2	m	1	2	m
Rut depth on heavy traffic lane *	mm				5,5	4,0	4,75
Rutting test results in laboratory **: 20000 wheel passes at 40°C	mm	7,73	6,86	7,3	4,02	3,77	3,9
Dynamic indentation at 35°C*** after 6000 load cycles	mm	7,17	6,54	6,86	2,62	2,9	2,76
after 10000 load cycles	mm	9,24	8,56	8,91	3,28	3,7	3,49
Cooling test							
Temperature at break	°C	-30,6	-31,5	-31,1	-29,3	-28,2	-28,8
Max. therm. Tensile stress	N/mm <sup>2</sup>	5,945	5,555	5,750	5,2	5,85	5,525

Binder from			
<i>Softening point Ring and Ball</i>	°C	64,5	64,3
Penetration at 25 °C	Mm/10	33,8	33
Ductility at 25 °C	cm	65,3	50,5
Breaking point a. Fraaß	°C	-13,3	-10,8
Elastic recovery	%	66,3	51,5
DSR			
G* at 50°C	Pa	124	116
G* at 60°C	Pa	49	47
δ at 50°C	Pa	62	62
δ at 60°C	Pa	64	64
BBR			
T <sub>300M Pa</sub>	°C	-24,7	-22,9
T <sub>m=0,3</sub>	°C	-25,8	-24,4



Bilaga 5: Experter som tillfrågats om användningen av gjutasfalt i deras länder.

Nr	Namn och land
1	F. Zandvoort, NL
2	Andreas Bernhard, CH
3	Annette Kraus, D
4	Derek Ives, GB
5	Einar Paulsen, N
6	Enrico Eustacchio, A
7	Lieve Glorie, B
8	Gerhard Fassbender, D
9	Jorge Lopes, PT
10	Jana Motlova, CZ
11	Jim Batchelor, GB
12	Jouko Lamsa, FI
13	Jacques Vandewynckel, B
14	Paolo Aganetti, I
15	E J Vater, D
16	Michel Fagnat, F
17	Niclas Hallevall, S
18	P M Spillemaecker, F
19	Santiago Otero, E
20	Vibeke Wegan, DK
21	Otto Harders, D
22	R Wruck, D
23	K.Schellenberg, D

Bilaga 6: BRO 2002, 6. Tätskikt och beläggning, Bilaga 6-5 Krav på epoxipreparat.

**Tabell 5. Krav på vidhäftning mellan försegling av epoxi och gjutasfalt**

Provning	Krav	Kommentar	Metod
20. Gjutasfalt	Medelvärdet av tre dragprov ska vara $\geq 1,0$ MPa.	<p>Provplåtar ska förbehandlas 61.313 och behandlas med två lager epoxi enligt 61.353. Efter härdning, i 7 dygns vid <math>23 \pm 2</math> °C och en relativ luftfuktighet på <math>50 \pm 2</math> %, Påförs ett 30 mm tjockt lager av polymmermodifierad gjutasfalt enligt 63.232. Gjutasfalten ska ha en temperatur av <math>215 \pm 5</math> °C.</p> <p>Vidhäftningen mellan gjutasfalten och epoxin ska provas efter lagring i 5 dygn vid <math>23 \pm 2</math> °C och en relativ luftfuktighet på <math>50 \pm 2</math> %.. Dragprovningen ska utföras vid <math>20 \pm 1</math> °C med en cirkulär provyta <math>\varnothing</math> 50 mm och med dragkraftsökningen 200 N/sek.</p>	