

Uppdragsgivare:

Vägverket Huvudkontoret

171 73 Solna

Handläggare på Vägverket:

Pereric Westergren

Projektledare på VTI:

Torbjörn Jacobson

Datum:

2007-11-07

Diariennr:

2005/0655-29

Indränkt makadam

Kunskapsöversikt

Torbjörn Jacobson



vti

Förord

Ökat intresse för indränkt makadam (IM) har initierat en kunskapsöversikt inom detta område. Studien skall bl. a ligga till grund för ett FoU-program men även peka på brister och utvecklingsmöjligheter för tekniken.

Undersökningen har finansierats av Vägverket, Borlänge. Kontaktman har varit Pereric Westergren, VV huvudkontoret. Från VTIs sida har Torbjörn Jacobson varit projektledare. Försöken har bedrivits inom en arbetsgrupp för tankbeläggningar med representanter från entreprenörer, bindemedelstillverkare, beställare och VTI. Följande personer har ingått i gruppen:

- Kurt Edlund, Vägverket, Region Mitt (ordförande)
- Pereric Westergren, Vägverket, huvudkontoret
- Mats Sandgren, Vägverket Region Mitt
- Björn Carlqvist, Vägverket Produktion
- Ingmar Gustafsson, Vägverket Region Sydöst
- Georg Danielsson, Vägverket Region Norr
- Niklas Johansson, Skanska
- Ulf Lillbroända, Nynäs AB
- Svante Johansson, Travecon HB (sekreterare)
- Torbjörn Jacobson, VTI

Ett särskilt tack riktas till Rune Fredriksson och Björn Carlqvist på Vägverket Produktion samt Niklas Johansson som bidragit med för rapporten viktig information.

Stockholm i november 2007,

Torbjörn Jacobson

Innehåll

INLEDNING	4
HISTORIK	4
BESKRIVNING AV IM-BELÄGGNINGAR SOM ANVÄNDS IDAG	7
UTFÖRANDE OCH TYPER AV IM I ATB VÄG	7
KVALITETSKRAV PÅ STENMATERIAL	12
EGENSKAPER	14
FUNKTIONELLT INRIKTAD PROVNING.....	16
FÖRBÄTTRINGAR AV IM-TEKNIKEN?	17
FÖRSLAG PÅ FOU-PROGRAM	19
REFERENSER.....	21

Inledning

Olika varianter av indränkt makadam, IM, används till förstärknings-, bär- och slitlagerbeläggningar på låg-, medel- och högtrafikerade vägar. Beläggningstypen anses vara mycket kostnadseffektiv och är dessutom resurssnål. Stenmaterialet behöver inte värmas upp och tillverkningen sker på vägen med lokala material, vilket minimerar energiåtgång och materialtransporter. Beläggningstypen har också en mycket god flexibilitet, vilket gör den särskilt lämplig på vägar med sämre undergrundsförhållanden, dålig bärighet och ojämna tjällyftningar.

Framförallt har intresset för de typer av IM som används till slitlager eller kombinationen slit- och bärlager (IMT) ökat på senare år. Idag läggs flera miljoner kvadratmeter av IMT (indränkt makadam tät) årligen på lågtrafikerade vägar. Även justeringsmassor av indränkt makadam (JIM) används framförallt i norra Sverige vid profilförbättringar och fläckvis lagning av nedslitna vägar.

Mot denna bakgrund har det framförts önskemål från både beställare och entreprenörer om ett FoU-projekt med fokus på indränkt makadam och främst IMT. Frågor som i första hand bör belysas är relevanta provningsmetoder för indränkt makadam, vilken effekt åtgärden har på bärigheten, relevanta krav på stenmaterialet samt typ och mängd av bindemedel. Anvisningarna i ATB VÄG anses idag vara otillräckliga. De behöver ses över och eventuellt revideras.

IM har på senare år blivit särskilt viktig för de entreprenörer som arbetar med tankbeläggningar. Eftersom ytbehandlingar numera huvudsakligen endast får läggas fram till och med semestertider så finns det behov av andra typer av tankbeläggningar som kan läggas senare på säsongen. Annars ökar risken för att tankbeläggningstekniken får svårare att överleva i Sverige pga att säsongen blir för kort. IM går, till skillnad från ytbehandling, även bra att lägga efter semestern och fram till och med hösten.

Historik

Det finns litet skrivet om indränkt makadam trots att beläggningstypen är mycket gammal. Olika varianter av makadamlager började användas under senare delen av 1800-talet när krossningstekniken utvecklades för grus- och bergmaterial. Arbetsförfarandet med spridning av bindemedel på ett nylagt lager av makadam med lämplig korngradering kallades för indränkning. Beläggningstyperna fick benämningen asfaltmakadam, tjärmakadam och emulsionsmakadam beroende på vilket bindemedel som användes. Principen för indränkningförfarandet var att med sorterat stenmaterial bygga upp ett stenskelett med grovt material som genom indränkningen av bindemedel och tillsats av kilsten eller grus/sand blev en så tät massa/beläggning som möjligt med god motståndskraft mot trafikens påkänningar.

I Sverige användes indränkt makadam (ofta med slitlager av ytbehandling) först i städerna men från början av 1930-talet även på det framväxande belagda vägnätet på landsbygden. Tankbeläggningar (indränkt makadam och ytbehandling) ansågs i standard, beskaffenhet och kostnad ligga mellan grusvägar och högklassiga massabeläggningar. De goda erfarenheterna av indränkt makadam gjorde att

beläggningstypen alltmer började användas som förstärknings- och bärlager även på de högtrafikerade vägarna. Under 1950- och framförallt 1960-talet förstärktes många vägar och flygfält vid till och ombyggnad med tjär- eller bitumenindränkt makadam. Även vid nybyggnad var IM vid denna tidpunkt ett vanligt förekommande bärlager.

De tidigare varianterna av makadamkonstruktioner var:

- Ofylld makadam - hade högt hålrum pga mycket ensartat material, kunde bli instabil och omlagras samt rivas upp av trafiken
- Fylld makadam – efter vältningen av makadammen fylldes lagret med finare stenkross och vältades på nytt – ansågs ibland kunna få bättre bärighet än välgraderat bärlagergrus och bättre stabilitet än ofylld makadam
- Indränkt makadam - bindemedlet utgjordes av asfalt (bitumen) eller tjära i uppvärmd, emulgerad eller löst form. Det fanns hel- och halvindränkning. Vid helindränkning (fullständig indränkning) var makadamlagret öppet och makadamstenarna genom lagrets hela tjocklek bundna av bitumen. Vid halvindränkning (lätt indränkning) fylldes en del av hålrummet i den undre delen av lagret med grus eller sand. Endast i övre delen av lagret var makadamstenarna bundna med bitumen. Bitumenåtgången och därmed kostnaderna blev lägre för den senare varianten, vilket gjorde den populärare än helindränkt makadam
- Det fanns även cementbruksbunden makadam.

Redan tidigt förstod man vikten av att makadamaterialet hade god kvalitet för ett gott resultat. Svagt berg krossades lätt ned vid vältningen, vilket ledde till att fyllnadsgraden av bitumen blev sämre. Även vagnshjul innebar en stor påfrestning för de ytligare liggande stenmaterialen. Därför utvecklades i början av förra seklet provningsmetoder för stenaterialet till makadam. Förutom krav på goda mekaniska egenskaper (starkt och segt material prioriterades) fick inte stenaterialet vara alltför stängligt eller flisigt på grund av risken för nedkrossning. Materialet fick inte heller vara vittrat eller sprucket och det skulle vara rent från smuts, lera mm. Filosofin var att använda ett så bra material som möjligt. Normalt användes grövre sorteringar än idag, 30-45 eller 45-60 mm. Även tjockare lager än idag förekom (upp till 100 mm). Det var underlagets beskaffenhet och trafikmängden som avgjorde hur tjockt lagret skulle vara. Förhållandevis kubiskt material prioriterades men det fick inte vara alltför rundat. Makadamlagret skulle också ha en homogen sammansättning.

Med tiden slutade man använda vägtjära i IM. Den ansågs vara för mjuk för de ökade trafiklasterna och gav ibland upphov till våg- och spårbildning under sommaren. Det påpekades också i specifikationerna att underlaget skulle vara tillfyllest eftersom bärighetseffekten av en IM inte var tillräcklig för att kompensera undermåliga obundna bär- eller förstärkningslager. Inte heller undergrunden fick vara för dålig. Flexibiliteten var dock god, vilket reducerade risken för uppkomst av sprickor. Stor vikt lades också på dräneringsåtgärder. Tjälfarliga jordarter schaktades bort närmast vägytan eller isolerades med hjälp av icke tjälfarliga jordarter.

Utförandet av IM ansågs som ett hantverk och var arbetskrävande. För ett bra resultat krävdes stor omsorg om utrustning och material samt erfaren, kvalitetsmedveten personal. Packningen var mycket viktig. Indränkningen fick ske först när makadampartiklarna var väl inkilade i varandra (inget material fick röra sig under slutskedet av packningen). Valet av korngradering och kornform var viktig för detta ändamål. Ibland sandades eller lades kilsten på makadamlagret innan det packades i torrt tillstånd. Innan ytan dränktes in sopades den. En förnyad giva med kilsten skedde efter indränkningen varefter lagret återigen vältades.

Bindemedlets mängd, temperatur och viskositet fick anpassas efter lagrets tjocklek och sammansättning. Med tiden ansågs emulsion ge det bästa resultatet. Varmt bitumen krävde torrt och varmt väder vid utförandet samt absolut torr vägbana. Risken var att bindemedlet inte skulle tränga ned tillräckligt i makadamlagret och ej fästa fullständigt om materialet var fuktigt. Överskott av bindemedel i ytan kunde ge upphov till deformationer och blödningar. Emulsionerna var i regel mer lättflytande än de uppvärmda bindemedlen. De stelnade inte heller lika fort efter utläggningen. Stenmaterialet kunde och skulle vara fuktigt vid indränkningen vilket innebar att emulsionstekniken inte var lika väderkänslig som tekniken med varma bindemedel. Ofta blev indränkningen också mer homogen med emulsion. Bitumenhinnorna på stenmaterialet blev inte heller lika tjocka vid spridning av emulsion som vid varmt bindemedel. Det minskade risken för vågbildning i beläggningen. På den tiden var emulsionerna inte lika lagringsstabila som idag. Sent på hösten var nyindränkt emulsionsmakadam känslig för frost och bitumenet kunde tvättas bort av regn och trafik. Därför började bitumenlösning användas vid höstarbeten.

Emulsionen (även bitumenlösning och varm asfalt) skulle vara baserad på relativt hårda bindemedel (penetration mellan 110-150) för att bindförmågan (vidhäftningen) skulle bli så bra som möjligt.

När IM användes till (dammfri) vägbeläggning ytbehandlades den en tid (några veckor till ett år) efter utförandet. Enbart IM ansågs ge för grov yta för att kunna trafikeras. Idag används IMT om vägytan skall trafikeras.

Avslutningsvis ges en kortfattad arbetsbeskrivning för utförandet av indränkning.

Helindränkning (fullständig indränkning)

1. Makadam, gradering 45-60 mm, lades ut jämnt till ca 7,5-10 cm tjocklek, löst mått. Lagret vältades med 10-12 tons vält
2. Bindemedlet (varm asfalt) spreds ut jämnt med 6,5-8 kg/m²
3. Finmakadam, spreds som kilsten, ca 20-30 l/m²
4. Ytan vältades omsorgsfullt, medan asfalten ännu var varm, så att kilstenen pressades ned i hålrummen i ytan
5. Ytan befriades från lösa partiklar genom sopning
6. Bindemedel spreds på nytt, 2-3 kg/m² och täcktes med finmakadam, 5-15 mm, ca 10-15 l/m², som vältades omedelbart
7. Ej bunden finmakadam sopades bort efter någon tid.

Vid helindränkning användes huvudsakligen varmt bitumen.

Halvindränkning (lätt indränkning)

1. Vägbanan revs upp lätt och påfördes ett tunt lager (1-2 cm tjockt) av bärlagergrus eller bindjord
2. Makadam, gradering 45-60 mm, lades ut jämnt till ca 7,5 cm tjocklek, löst mått. Lagret vältades med 10-12 tons vält
3. Stenlagret fylldes upp till 1-2 cm från ytan med fint grus eller bindjord, som nedborstades vid samtidig vattning och vältning. Vältningen fortsatte, under vattning och påförande av eventuellt erforderligt nytt material, tills makadamlagret blev fullständigt fast, jämnt och homogent
4. Vägbanan sopades omsorgsfullt tills stenarna var rena och gruset mellan dem på föreskriven höjd
5. Emulsion, 3,5-5,0 kg/m², spreds på en lätt fuktig väg bana
6. Finmakadam, 5-15 mm, ca 10 l/m², spreds och vältades
7. Efter någon tid, ca 1 månad lades en första ytbehandling
8. Ej bundet stenmaterial sopades bort efter en tid

Vid halvindränkning användes huvudsakligen emulsion men även bitumenlösning förekom.

Beskrivning av IM-beläggningar som används idag

Utförande och typer av IM i ATB VÄG

Vid produktion av indränkt makadam sprids bindemedel på ett nypackat makadamlager utlagt med mekanisk utläggare. Ytan flisas av med en finkornig stenmaterialsortering och packas igen. Makadamlagret skall dränkas med bindemedel anpassat till underlagets temperatur så att indränkningdjupet blir det avsedda, normalt 2-3 cm. Övriga delar av makadamlagret förblir obundet. Bindemedlet skall spridas med en rampspridare avsedd för ändamålet. Vid utförande av IMT skall ytan mellan bindemedelsspridningarna göras smetfri med stenmaterial (kilsten) och vältas igen. Efter den andra bindemedelsspridningen skall ytan tätas med stenmaterial 0-4, 0-8 eller 4-8 mm och vältas med en överfart. Löst stenmaterial skall avlägsnas från vägbanan så snart detta kan ske utan att ytan skadas, dock senast efter 3 dygn.

De beläggningstyper som finns i ATB VÄG är:

- IM 40, IM 60 (siffrorna anger tjocklek i mm) med sortering 16-22 eller 8-22 mm
- IMT 40, IMT 60 med sortering 8-22 eller 16-22 mm
- JIM med sortering 8-16, 8-22, 16-22, 8-32, 16-32 eller 32-63 mm

JIM (justeringsmassor av indränkt makadam) används huvudsakligen till lagningsmassor för kanthäng, deformationer och sättningar.

Kilsten för IM och IMT är sorteringarna 4-8 eller 8-11 mm och för JIM sorteringarna 8-11 eller 16-22 mm beroende på grovfraktionens kornstorleksfördelning.

IM och IMT kan läggas med en lagertjocklek av 40 eller 60 mm. Det innebär att flera lager av partiklar kommer att ligga på varandra eftersom sorteringarna ligger på 8-22 eller 16-22 mm. En tumregel för lämplig lagertjocklek är att den skall vara klart mindre än 2 gånger största stenstorlek för att maximal skjuvhållfasthet skall utvecklas vid belastning.

De bindemedel som används till IM, IMT och JIM är:

- | | | |
|-------------------|-------------------------|---------|
| ▪ BL 1500R | vid underlagstemperatur | 0-10°C |
| ▪ BL 4500R | ” | 10-20°C |
| ▪ BE 65R | ” | 10-30°C |
| ▪ Bitumen 330/430 | ” | >30°C |

Bindemedlet utgörs normalt av bitumenemulsion eller bitumenlösning. Även varmt bitumen kan användas. Bindemedelsmängden varierar beroende på beläggningstyp och lagertjocklek. Vid utförande av IMT sprids bindemedlet i två omgångar (påslag). Skillnaden i bindemedelsmängd mellan IM40/IMT40 och IM60/IMT60 är liten (endast 2 hg per kvadratmeter för IM60/IMT60).

I följande bildserie visas de olika stegen vid utläggning och indränkning av IMT. Beläggningen lades på mindre vägar söder om Växjö år 2006.



Bild 1 Nyutlagd, opackad yta av makadam, 8-22 (IMT).



Bild 2 Vältning av IM-lagret.



Bild 3 Nypackad yta innan indränkning med bitumenemulsion.



Bild 4 Spridning av första bindemedelsgivan.



Bild 5 *Spridning av kilsten, 8-11 mm.*



Bild 6 *Packning av IM och kilsten.*



Bild 7 *Spridning av andra bindemedelsgivan och tätningmaterial.*



Bild 8 *Spridning av 0-8 mm för tätning av ytan.*



Bild 9 *Vältning efter spridning av tätningsmaterialet.*



Bild 10 *Vägytan efter en tids trafik.*

Kvalitetskrav på stenmaterial

På stenmaterial till grovsorteringen ställs krav på följande parametrar:

- Flisighetsindex, FI
- Krossytegrad, C
- Micro-Devalvärde, M_{DE}
- Micro-Devalvärde, M_{DE} , på trafikerat lager
- Los Angeles-värde, LA

Samma krav gäller för trafikklass $\dot{A}DT_{k,tung} < 100$ som för $\dot{A}DT_{k,tung}$ 100-200. Kvalitetskraven på stenmaterial till indränkt makadam är detsamma som för ballast till AG. Med tanke på att tätningsmaterialet i IMT kommer att trafikeras (fungerar delvis som pågrus i ytbehandling) bör kraven även gälla detta material.

Flisighetsindex har ersatt det tidigare flisighetstalet. Metoderna har ett relativt gott samband för de flesta stenmaterial men det finns en väsentlig skillnad mellan de båda metoderna. Vid flisighetsindex är det andelen mycket flisiga partiklar som undersöks medan för flisighetstalet det är medianflisigheten hos provningsfraktionen. För makadamlager kan både flisighetsindex och flisighetstalet vara relevant att undersöka. Flisighetsindex beskriver i praktiken hur stor andel av partiklarna som riskerar att krossas eller brytas ned pga att de är flisiga/stängliga. Flisighetstalet, som beskriver hela materialets kornform, bör vara mer relevant när kornformens betydelse för stabiliteten ställs i fokus. Det finns även ett mått som beskriver andelen kubiska korn, kubicitetsindex, CI, hos materialet. Det måttet skulle kunna vara intressant för IM där alltför rundat material riskerar att försämrar stabiliteten. Metoden är inte normerad utan har tagits fram (Henrik Broms) för att beskriva andelen korn med flisighetstal $< 1,25$ i provmaterialet. Vid flisighetsindex kan fraktioner upp till 80 mm testas. Vid flisighetstalet gjordes provning på fraktioner mellan 5,6-16 mm men i princip finns ingen övre gräns för provning av kornform om bara siktar och provmängden anpassas för vald provfraktion.

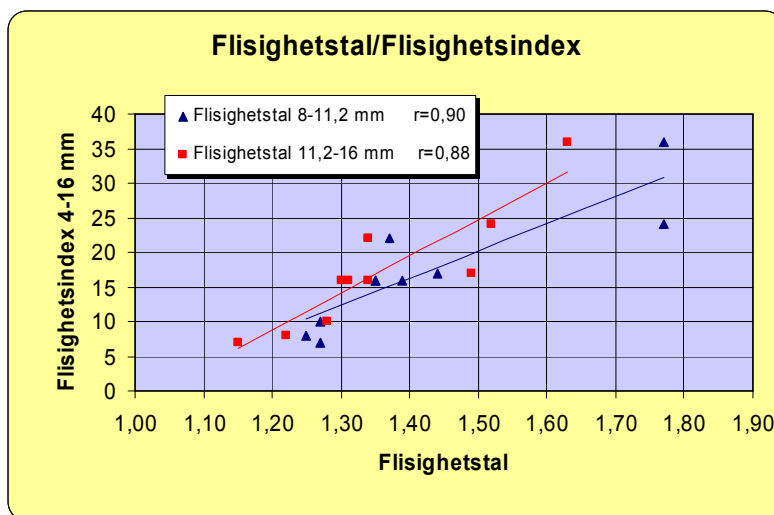
Begreppet kornform innefattar även partiklarnas råhet eller ytskrovlighet. Den egenskapen kan ha en minst lika stor inverkan på materialets stabilitet som flisighet och stänglighet. Materialets råhet, ytskrovlighet eller inre friktion beskrivs genom flödestest (fransk metod, ingår i Europastandarden för ballast). Utrustningar finns för olika provningsfraktioner upp till 20 mm.

I Europastandarden har sprödhetstalet ersatts av Los Angelesprovning (LA). Vid LA bestäms motstånd mot fragmentering (krossning). Vid Los Angelesprovning utsätts i princip varje korn i analysprovet för likartad belastning. Los Angelestalet påverkas inte lika mycket av kornformen som det tidigare sprödhetstalet. Vid Los Angelesprovning sker utvärderingen vid 1,6 mm-sikten där analysprovets krosskurva är ganska flack. Det finns ett gott samband mellan Los Angelesmetoden och sprödhetstalet om hänsyn tas till kornformen. Analysfraktion för ballast är 10-14 mm vid Los Angelesprovning och 5 kg provmaterial testas vid analysen.

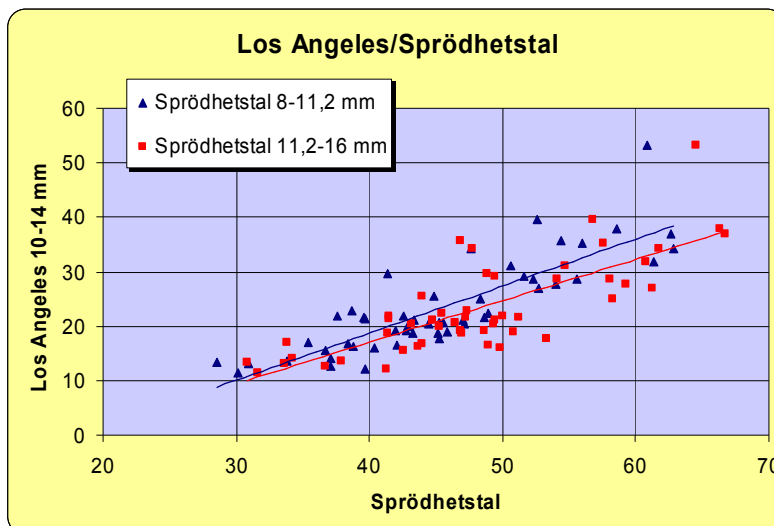
Bestämningen av motstånd mot nötning utförs för slitlager genom kulkvarn (resistens mot avnötning från dubback) medan för bärlager (och grovballast) det är

micro-Devalmetoden som föreskrivs. Det finns en god korrelation mellan de båda metoderna. I båda fallen analyseras fraktionerna 8-11 eller 11-16 mm.

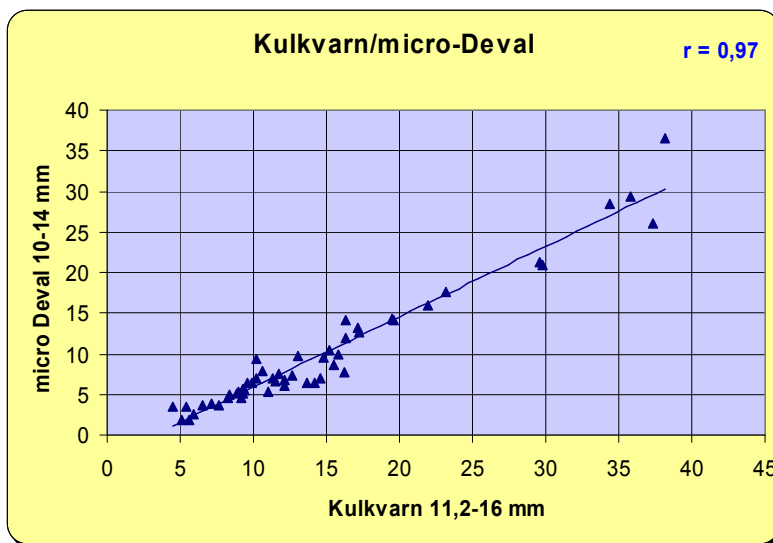
I VTI notat 37-2004 beskrivs kornform och mekaniska egenskaper hos grov ballast enligt nya Europastandarder (Viman L. och Broms H.). En jämförelse görs också mellan de svenska kraven på grov ballast och de franska kraven. I många fall är de svenska kraven strängare än de franska (kan bero på att vi genomgående har bättre stenmaterial i Sverige). I följande figurer ges korrelationer mellan olika provningsmetoder för ballastmaterial.



Figur 1 Korrelation mellan flisighetsindex och flisighetstal.



Figur 2 Korrelation mellan Los Angelesstal och sprödhetstal.



Figur 3 Korrelation mellan micro-Deval och kulkvarnsvärde.

Egenskaper

Indränkkt makadam har fungerat bra som bärlager enligt tidigare väginventeringar. Den är inte vattenkänslig till skillnad från bärlagergrus. Materialet bör inte användas i alltför tjocka lager i relation till största stenstorlek för maximal stabilitet. De grövre stenarna kan omlagras eller släppa från lagret initialt om de inte kilats fast ordentligt i lagret. Beläggningstypen anses dock generellt ha god stabilitet genom bra stenkontakt mellan partiklarna i stenskelettet och den vidhäftning som bindemedlet ger.

Som tidigare nämnts så uppmärksammades stenmaterialkvaliteten redan när beläggningstypen utvecklades. Berg/grus till indränkt makadam ansågs behöva vara av god kvalitet (hållfasthet). Kornformen fick inte heller vara för dålig. Alltför flisiga, stängliga eller rundade (kubiska) partiklar skulle undvikas. Påkänningarna på kontaktytorna mellan partiklarna kan bli stora i ensartade makadamlager som saknar armerande bruk. Materialet måste också klara vältning utan att krossas ned. IMT måste dessutom tåla dubbdäckstrafik utan att nötas ned i förtid (ungefär samma krav som för ytbehandling bör ställas). För kubiskt material anses inte heller bra för att uppnå god stabilitet. Erfarenheter från fält har visat att partiklar med skrovliga, råa ytor har givit ett makadamlager med bra stabilitet medan partiklar av hårda stenmaterial med släta ytor inte kilat fast sig i lagret på samma sätt vid vältningen. Därmed har lagret blivit känsligare för omlagring och stensläpp (partiklarna har rört på sig när ytan trafikerats).

Indränkkt makadam hårdnar successivt med tiden. Avgörande för lagrets hållfasthet är hur pass väl bindemedlet trängt ned i konstruktionen och fördelat sig i stenskelettet. Penetrationsgraden (nedträngningsförmågan) hos bindemedlet påverkas förutom av temperaturen och hållrumshalten (porsystemet) även i hög grad av bindemedlets viskositet. Tanken är att bindemedlet skall limma ihop stenarna med lagom tjocka bitumenhinnor till ett bundet lager i åtminstone den övre delen av makadamkonstruktionen. IM anses ha lägre styvhet jämfört med

massabeläggningar. Den har dock bra skjuvhållfasthet vid ökad belastning genom sten mot stenkontakten i lagret.

Tätheten hos lagret är avhängigt av fyllnadsgraden. En IMT, som får två indränkningar av bindemedel, bör bli tät, vilket kan vara viktigt om materialen i underliggande lager är vattenkänsliga. Vanlig IM anses dock vara vattengenomsläpplig.

Även makadamlagrets flexibilitet är avhängigt av bindemedelsmängden men anses överlag vara god. Dess flexibilitet förhindrar sprickbildning, speciellt om deformationer, sättningar eller tjällyftningar förekommer i vägkroppen. IM är även en effektiv åtgärd för att förhindra uppkomsten av reflektionssprickor. Den anses också ha bra återläkningsförmåga om sprickor uppstår.



Bild 11 Gata med IMT i Gästrikland.



Bild 12 Beläggning av IMT efter ett års trafik.

Funktionellt inriktad provning

Det är svårt att på laboratoriet testa provkroppar eller borrhärdar av indränkt makadam. Provkropparna blir ömtåliga och faller lätt sönder. I ett makadamlager indränks endast det övre skiktet helt och hållet med bindemedel (ca 2-3 cm). Övriga delar av lagret blir delvis indränkta eller får ingen indränkning alls. Det innebär att borrhärdarna inte får tillräcklig tjocklek med hänsyn till maximal stenstorlek för undersökningar av materialets mekaniska egenskaper. Därför ställs kraven i de tekniska anvisningarna på provningar av de ingående materialen, makadammen och bindemedlet och inte på blandningar av dessa.

Borrhärdar kan dock ge svar på hur långt och väl bindemedlet trängt ned i makadamlagret och i viss mån dess vidhäftning genom okulär bedömning. I de flesta fall brukar det vid borrhärdning gå att få upp åtminstone delar av IM-lagret. Vid besiktning av borrhärdar kan även eventuell stripping noteras.

I ett examensarbete (provningssätt för vägkonstruktioner med diffusa lagergränser, Lekström, L. och Ossmer G.) har utsågade prov från laboratorietillverkade provplattor av Runbase, vilken är en indränkt makadam tätad med asfaltmassa, testats. Vid provningen inspändes provkropparna med höjden 50 och 100 mm i former för att de inte skulle röra sig i sidled under försökets gång. De undersöktes med avseende på deformationsresistens och styvhetsmodul genom dynamiska belastningar i en MTS-utrustning. Som referens testades AG22. Provningssättet påverkades av rörelser i sidled i materialet på grund av att kantstödet i formen var för dåligt, vilket försvårade utvärderingen. En slutsats var att AG22 hade en aning bättre mekaniska egenskaper (deformationsresistens) än Runbase. Styvhetsmodulen gick inte att bestämma. Om enbart IM hade testats hade provresultaten sannolikt blivit än mer svårtolkade pga randeffekterna från formen.

Runbase har också testats i provvägsmaskin (Finland) och provvägsförsök (Sverige). Resultaten från försöken visade att Runbase hade sämre mekaniska egenskaper än AG22. Hela provkroppar för analys gick inte att ta ut vid försöket i provvägsmaskinen i Finland.

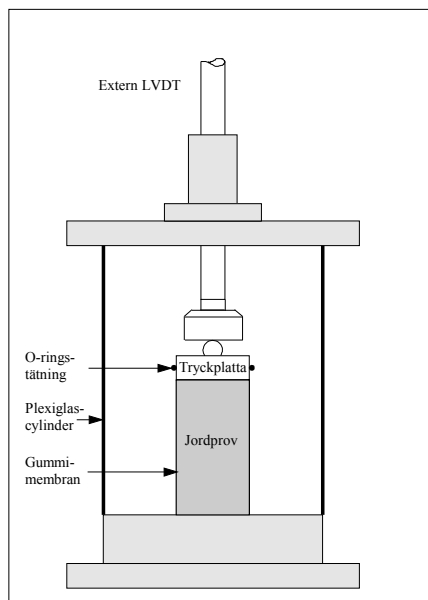
Jämförande undersökningar genom dynamisk triaxialprovning på makadamlagret utan inblandning av bindemedel är vid FoU-tester ett alternativ till provning av den färdiga produkten. Funktionsprovning av obundna material utförs i regel genom dynamiskt triaxialförsök för att simulera spänningar vid trafiköverfarter. Någon vedertagen standard för sådan provning föreligger dock inte och resultaten beror bland annat på vilket sätt som materialet packats, vilka spänningsförhållanden provkroppen belastas vid och hur töjningen i provkroppen mäts. Vattenkvoten spelar dessutom en stor roll för obundna materials deformationsegenskaper, såvida finmaterialhalten är tillräckligt hög (för IM har den dock liten betydelse).

Vid provning av obundna vägmaterial bestäms i regel deformationen vid olika laster. Utifrån den elastiska deformationen kan *styvhetsmodulen* beräknas, vilken kan användas till indata vid analytisk dimensionering. Eftersom obundna material

ofta har spänningsberoende egenskaper, utförs provningen vid stegvis ökande spänningsnivåer varvid både vertikal- och horisontal (kammar) tryck varieras. I samband med provningen erhålls också data för beräkning av materialets känslighet för permanent deformation. *Permanent deformationen* används idag inte som indata vid analytisk dimensionering men är ett viktigt mått på materialets stabilitet och därmed risken för deformationer i vägen.

Vid tidigare försök på VTI av obundna bärlager har provkropparna packats med hjälp av en fransk metodik ("vibrocompresseur"), vilken är föreslagen som Europastandard vid treaxialprovning av bärlagermaterial, medan själva provningen i huvudsak följer amerikansk standard (SHRP protokoll P 46).

Mekaniska egenskaper på obundna bärlager, slagger, asfaltgranulat med mera har på VTI testats genom treaxialförsök. Det finns sålunda ett stort referensmaterial om det blir aktuellt att testa makadamlager.



Figur 4 Utrustning för dynamisk treaxialutrustning (Maria Arm, SGI).

Fallviktsmätning i fält bör kunna fånga upp bärigheten hos konstruktioner med IM. Hänsyn måste dock tas till att hållfastheten utvecklar sig över tiden genom trafikens efterpackning och den förhårdning som sker hos bindemedlet. Fallviktsmätning vid olika tidpunkter efter utförandet skulle kunna fånga upp hållfasthetstillväxten. Fallviktsdata måste också korrigeras för temperaturen om olika konstruktioner skall kunna jämföras med varandra och om de skall användas till indata vid dimensionering. Mätningarna bör inte utföras under den varma perioden på sommaren (materialet kan deformeras).

Förbättringar av IM-tekniken?

IM kan vara känsligt för mekanisk åverkan under byggskedet (de 2 första dyggen). Om ensartade grova fraktioner används kan ytan bli ojämn. Det är framför allt stabiliteten hos makadamlagret som kan vara den svaga länken i utförarskedet.

Stenarna rör på sig och rivs ibland upp av trafiken. Mer relevanta krav på stenmaterialet anses nödvändigt. Stenen bör i genomsnitt vara något flisig och stänglig för att stabiliteten skall bli tillräcklig. Andelen mycket flisiga korn får dock inte bli för stor. Då kan partiklarna krossas ned vid vältningen eller senare genom trafikpåkänningen. Kilstenen är också viktig för makadamlagrets stabilitet, åtminstone under utförarskedet innan lagret hårdnat till. Tidigare inblandades eller lades finkorniga lager ut på vägytan innan makadamlagret lades i syfte att vid vältningen tränga upp och förbättra låsningen mellan de grövre partiklarna.

IM ansågs i början kräva mycket bra stenmaterial genom att påkänningarna (nedkrossningen) från järnklädda vagnshjul och skodda hästar var stor. När gummidäcken senare kom ansågs den mekaniska påkänningen från trafiken bli betydligt lägre. Dubbdäckstrafiken kräver dock att ett någorlunda slitstarkt stenmaterial fortfarande används. Ensartade lager anses behöva ett homogent material med bra kvalitet eftersom påkänningarna i kontaktytorna mellan stenmaterialpartiklarna blir stora vid tung belastning. Svagt berg kan lättare krossas ned hos ensartade lager som saknar ett armerande bruk. Därför bör stenmaterialkvaliteten fortfarande vara god för IM även om förutsättningarna ändrats sedan IM introducerades. På vägar med mycket låg trafikvolym behöver sannolikt inte stenmaterialet ha lika hög kvalitet som på vägar med högre trafik. När IM används till slitlager (IMT) så måste även finmakadammen som läggs på ytan (kilstenen) ha tillräckligt god kvalitet. Det är oklart om kvalitetskravet idag även gäller för kilstenen.

Stenmaterialets kornkurva anses idag inte vara optimal för IM. Längre och grövre sorteringar efterfrågas, t ex 16-32 mm för IM 40 och IMT 40 samt 16-32 eller 22-45 mm. Lagertjockleken bör vara klart mindre än 2 ggr största stenstorlek. Idag används 8-22 och 16-22 mm med kilsten 4-11 eller 8-11. Om längre fraktioner och grövre stenmaterial används kan ytan få sämre jämnhet, vilket måste beaktas vid IMT. Val av kilsten och finmakadam bör ta hänsyn till detta. Förr i tiden ytbehandlades IM-lager om ytan skulle trafikeras. Ådrande eller sliten IMT kan med tiden behöva ytbehandlas för att ytan skall förbli intakt.

Val av bindemedel görs idag efter underlagets temperatur. Vanligtvis används under sommaren bitumenemulsion och under hösten bitumenlösning. Andra typer av bindemedel har börjat användas inom tankbeläggningsområdet, vilket kan vara av intresse även för IM, t ex polymermodifierade emulsioner och mjukbitumen. Framför allt mjukbitumen har börjat användas allt mer för IM. Emulsionens konsistens och bryttid samt mängden bindemedel är frågor som bör tas upp inom detta område.

IMT har börjat användas inom tätorter och kan bli ett tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt intressant alternativ till massabeläggningar. IMT på gator och vägar i kommuner kan behöva ha särskilda specifikationer. IMT har på lågtrafikerade landsbygdsvägar blivit en populär förstärknings- och underhållsåtgärd mycket genom att beläggningen både ger ett bärighetstillskott och en trevlig yta för trafikanterna (ett mellanting mellan tät asfaltbetong och ytbehandling). I tätorter har vägytans textur större betydelse för framkomlighet, buller mm medan flexibiliteten inte är lika viktig. Däremot är stabiliteten hos lagret ännu mer viktig

genom att hastigheterna är lägre, mer vridmoment förekommer och statiska laster är vanliga. Val av stenmaterial och bindemedel till IMT för tätorter bör därför särskilt belysa stabilitet och ytans beskaffenhet (textur, jämnhet, friktion, slitstyrka, buller).

Enligt de tekniska beskrivningarna i ATB Väg skall utföraren skriftligt lämna ett arbetsrecept till beställaren, senast två veckor innan arbetet utförs. För ytbehandling är det möjligt att upprätta ett recept i förväg då underlaget går att inspektera och har stor betydelse för dimensioneringen. För indränkt makadam gäller andra förutsättningar. Eftersom produktion av indränkt makadam eller ”blandningen av massan”, sker direkt på väg, måste det slutgiltiga receptet upprättas då produktionen startats. Entreprenören måste använda sin branschkunskap och erfarenhet och anpassa bindemedelsmängden till en rad faktorer, såsom väderbetingelser, stenmaterialets kornkurva och sammansättning, bindemedlets förmåga att tränga ner, täcka och väta stenarna mm. Arbetet bör därför startas med en provspridning och i samband med detta, kan ett arbetsrecept upprättas som överlämnas till beställaren.

Med tanke på att tankbeläggningar är en mycket resurssnål teknik föreligger en stor potential i framtiden. Metoder med lågt energibehov kommer att få en allt större betydelse i samband med ökade energikostnader och krav på minskade utsläpp av växthusgaser.

Förslag på FoU-program

Utifrån studien och synpunkter från flera personer i tankbeläggningsbranschen föreslås följande aktiviteter:

- Översyn av kornstorleksfördelning, makadamfraktion i förhållande till lagertjocklek
- Översyn av krav på kornform
- Relevanta krav för stenmaterialets (makadam och kilsten) hållfasthet utifrån trafikpåkänning
- Typ av bindemedel och bindemedelsmängd
- Alternativt bindemedel till bitumenlösning
- Belysa faktorer kopplade till utförande
- Tidpunkten på året för utförande
- Karakterisering av vägytans beskaffenhet med avseende på tekstur, jämnhet, friktion, slitstyrka, buller
- Behöver IMT ytbehandlas efter en tid – långsiktig uppföljning
- Stabilitet, lastfördelande egenskaper, flexibilitet, beständighet och täthet
- Miljöaspekter
- Ekonomiska aspekter (kostnadseffektivitet)
- Krav vid upphandling

FoU-projektet bedrivs genom fältstudier kompletterade med laboratorieprovning. Ett par provvägsförsök bör genomföras där fokus ligger på materialets kornstorleksfördelning, typ av bindemedel (mjukbitumen, bitumenemulsion,

bitumenlösning) och bindemedelsmängd. På senare år har relativt mycket bitumenlösning använts vid läggning av IM på hösten. På grund av önskemål hos beställaren att inte använda bindemedel innehållande lösningsmedel bör ett alternativt bindemedel tas fram som inte innehåller lösningsmedel. Uppföljningarna kan innefatta borrhärdighet, utveckling av bärighet och spår, tätheten hos IM-lagret samt mätning av ytans tillstånd och egenskaper. På laboratoriet bestäms materialets kornform, kornstorleksfördelning, petrografiska sammansättning samt andra viktiga parametrar som LA-tal och micro-Deval. Några jämförande treaxialförsök av styvhetsmodul och deformationsresistens kan utföras för att få en uppfattning om skillnader mellan valda sorterings egenskaper.

Även äldre IM-beläggningar bör följas upp genom t ex mätning av bärighet och textur samt okulär besiktning av skador eller andra tillstånd.

Fokus i studierna bör ligga på IMT. Projektet bör förutom tekniska faktorer även belysa miljöaspekterna, både för arbets- och den yttre miljön samt ekonomiska aspekter.

FoU-projektet bör bedrivas i nära samarbete med beställare (Vägverket), materialtillverkare och entreprenörer. Det läggs upp i samarbete med tankbeläggningssgruppen. Resultaten från FoU-projektet ligger till grund för en revidering av IM-avsnitten i ATB VÄG eller AMA samt en FoU-rapport.

Referenser

Carlqvist B. **Skriftliga synpunkter på IM.** 2006

Fredriksson R. **Indränkta makadam och massabunden makadam.** Presentation på Tankdagen 2005

Höbeda P. **Erfarenheter av makadamlager för vägkonstruktioner – resultat av litteraturstudie och förslag till ny bergbitumenkonstruktion.** VTI meddelande 529

Jacobson T. **Återvinning av krossad asfalt som bär- och förstärkningslager. Del 1 – Karakterisering och egenskaper genom laboriestudier.** VTI notat 31-2002

Jacobson T. **Presentation av tankbeläggningar.** Presentation på Tankdagen 2005

Johansson N. **Muntliga synpunkter på IM.** 2006

Lekström, L. och Ossmer G. **Provningsmetod för vägkonstruktioner med diffusa lagergränser.** KTH examensarbete 2004

Martén N. **Om indränkning och ytbehandling.** VTI meddelande 32

Viman L. och Broms H. **Kornform och mekaniska egenskaper hos grov ballast enligt nya Europastandarder.** VTI notat 37-2004

Vägverket. **ATB VÄG 2005, kapitel F och I**