

Kapitel 7

KALL ÅTERVINNING I VERK



Innehållsförteckning

7.1 ALLMÄNT	80
7.2 TILLVERKNING AV ASFALTMASSA - OLIKA TYPER AV VERK	80
7.2.1 KONTINUERLIGA BLANDNINGSVERK.....	81
7.2.2 SATSBLANDNINGSVERK	82
7.3 ASFALTGRANULAT	82
7.4 INBLANDNING AV VATTEN OCH STENMATERIAL	83
7.4.1 OPTIMAL VATTENKVOT (VÄTSKEINNEHÅLL)	83
7.4.2 INBLANDNING AV STENMATERIAL	84
7.5 NYTT BINDEMEDEL	84
7.5.1 BINDEMEDELSHALTER.....	85
7.5.2 TILLSATSER	85
7.6 TRANSPORT, UTLÄGGNING OCH PACKNING AV MASSA.....	85
7.7 EGENSKAPER HOS NYLAGD BELÄGGNING	86
7.8 MATERIALPROVNING OCH KRAV PÅ GRANULAT, MASSA OCH BELÄGGNING	87
7.8.1 ALLMÄNT	87
7.8.2 PROPORTIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR.....	89
7.8.3 FÖRUNDESRÖKNING AV ASFALTGRANULAT ELLER RETURASFALT	89
7.8.4 PROPORTIONERING INRIKTAD MOT FUNKTIONELLA EGENSKAPER.....	89
7.8.5 PROVPREPARERING.....	90
7.8.6 PROVNINGSMETODER	91
7.8.7 REKOMMENDERADE BINDEMEDELSHALTER, FUKTINNEHÅLL OCH EMULSIONSMÄNGDER	92
7.8.8 REKOMMENDERADE KRAV PÅ INGÅENDE MATERIAL	93
7.8.9 REKOMMENDERADE KRAV PÅ ÅTERVINNINGSMASSA	94
7.8.10 REKOMMENDERADE KRAV PÅ BELÄGGNING	95
7.9 ERFARENHETER FRÅN UPPFÖLJNINGAR I FÄLT SAMT EGENSKAPER HOS KALLTILLVERKAD ÅTERVINNINGSMASSA	95
7.9.1 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	95
7.9.2 PROVVÄGAR OCH KONTROLLSTRÄCKOR.....	96
7.9.3 SAMMANSTÄLLNING AV ERFARENHETER FRÅN FÄLTUNDERSÖKNINGAR	97
7.9.4 SKADOR SOM KAN UPPKOMMA VID KALL ÅTERVINNING	98
7.9.5 ERFARENHETER AV RETURASFALT.....	99
7.9.6 VILKA EGENSKAPER HAR KALLA ÅTERVINNINGSMASSOR	101
7.9.7 VILKA EGENSKAPER FÅR BORRÄRNOR FRÅN BELÄGGNINGEN?	102
LITTERATURFÖRTECKNING	103

7.1 Allmänt

Kall återvinning av asfaltbeläggning är en resurssnål teknik eftersom materialet inte behöver värmas upp. Genom att blandningsverken är lätta att flytta minskar också transportbehovet. Vid kall återvinning kan massan bestå av upp mot 100 % returafalt men för att få ett bra resultat är det viktigt att returafalten har förebehandlats på ett riktigt sätt. Tekniken har blivit allt vanligare på senare år och har samtidigt genomgått en stark utveckling. Ett flertal olika verk har tagits fram eller modifierats för kallblandning av massor. 1997 fanns det ett 20-tal verk i landet för tillverkning av nytillverkad eller återvunnen kallblandad massa. Tillverkningsvolymerna har stigit i takt med den tekniska utvecklingen och Vägverket upphandlade under säsongen 1998 ca 520 000 ton kalla återvinningsmassor.

Vid kall återvinning i verk utgörs det nya bindemedlet av bitumenemulsion. I de flesta fall tillsätts dessutom vatten och stenmaterial. Olika varianter av blandningsförfaranden har utvecklats för att massan skall bli så homogen som möjligt och för att stenmaterialet skall få en bra täckningsgrad. Kalla massor kan ibland bli tröga och därför inblandas vatten som har en smörjande inverkan på massan. Det är dock viktigt att mängden nytt bindemedel, vatten samt eventuell tillsats av stenmaterial tas fram efter förprovning på laboratoriet. Syftet är att ge massan en lämplig sammansättning för att säkerställa att beläggningen får god funktion.

Kall återvinningsmassa (emulsionsbeläggning)

Emulsionsbeläggningar hårdnar med tiden, mycket beroende på hur snabbt materialet hinner torka ut. På så sätt har vädret och årstiden stor betydelse för den här typen av beläggningar. Vid blandningen i verket klibbar bindemedlet fast vid granulatet och det är ovanligt med bindemedelsavrinning under tillverkning och transport av massan. När massan packas hårdnar den. Vägytan kan dock fortfarande vara förhållandevis mjuk den första tiden men tål ändå normal trafik utan problem. Ytan hårdnar successivt när vattnet avdunstar och genom den nödvändiga efterpackningen från trafiken som slutligen knådar och packar till vägytan.

7.2 Tillverkning av asfaltmassa - olika typer av verk

Sedan 1960-talet har det utvecklats en rad olika typer av kallblandningsverk som enkelt kan flyttas mellan olika objekt och som är anpassade både för nytillverkning av asfaltmassor och för asfaltåtervinning. Moderna kallblandningsverk har samma precision som varmblandningsverk även om styrsystemen är mindre omfattande. Vid kall tillverkning uppvärms inte granulat och stenmaterial utan har vid blandningen samma temperatur som omgivningen. Temperaturen på bindemedlet ligger på 50-60 °C.

Kontinuerliga blandningsprocesser dominerar, men även satsblandningsverk förekommer (bild 7-1). Normalt kan den här typen av verk producera 100-150 ton massa i timmen. Gemensamt för verken är att de är lätta att flytta och att igångsättningstiden efter flyttning är kort (några timmar). Det innebär att tekniken lämpar sig väl för småskalig verksamhet genom att uppställning kan ske nära vägobjektet eller mellanupplaget, vilket också minskar transportbehovet.

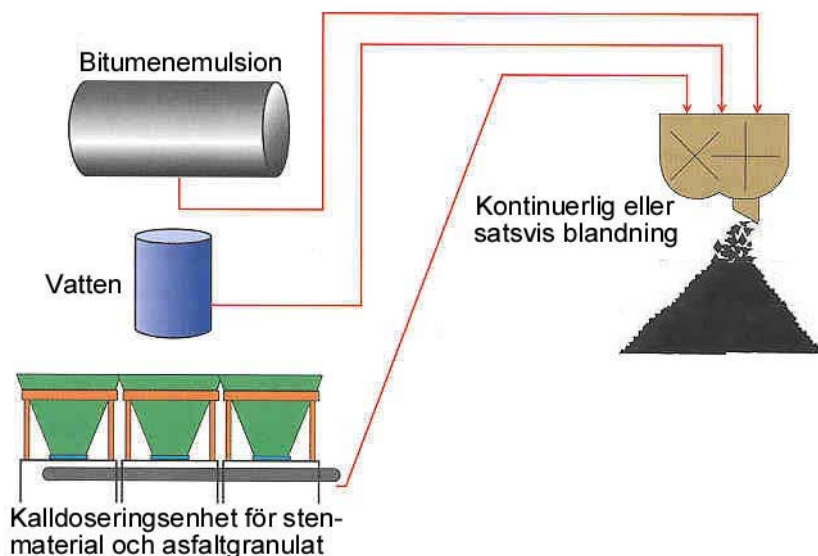


Bild 7-1 Principskiss av verk för tillverkning av kallblandad återvinningsmassa.

7.2.1 Kontinuerliga blandningsverk

Vid kall tillverkning i denna typ av verk delas normalt det ingående materialet upp i två eller tre fickor (t ex två sorteringar med granulat och en med stenmaterial). På transportören mellan kalldosering och verk sammansätts den slutliga graderingen genom ett kontinuerligt flöde och skickas till blandaren där emulsion och vatten tillsätts. Blandningen sker kontinuerligt och blandaren är försedd med motroterande bladförsedda axlar (tvångsblandare, bild 7-2). Den färdigblandade emulsionsmassan töms därefter i en lagringsficka, på marken eller direkt på lastbil.

Blandningsförfarandet kan skilja sig mellan olika verk och det finns ett flertal varianter på stegvis inblandning av emulsion, granulat och stenmaterial i blandaren (bild 7-3). För att de grövre materialen skall få en bra täckningsgrad brukar de, tillsammans med bindemedlet, tillsättas i början av blandaren. För skonsammare blandning av massan förekommer också frifallsblandare (bild 7-2).

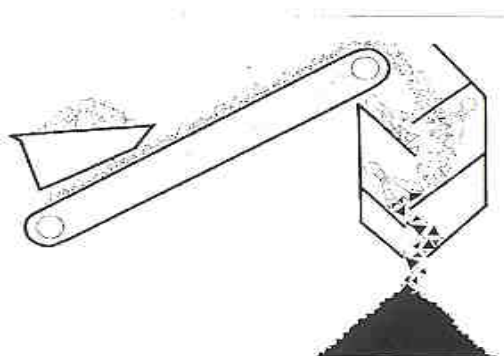


Bild 7-2 Principen för frifallsblandare (vänster) och bild av tvångsblandare (höger).



Bild 7-3 Kontinuerliga verk för kalla massor.

7.2.2 Satsblandningsverk

Vid satsblandningsverk (bild 7-4), som är vanligast förekommande för halvvarma asfaltmassor men ibland även används för kalla massor, blandas det kalla granulatet med emulgerad bitumen. Vid behov tillsätts stenmaterial och vatten och blandning sker satsvis i ca 30 sekunder. Normalt innehåller satserna mellan 1 000 och 1 500 kg men även större satser förekommer. Materialen förs på transportband, via en bandvåg, från kalldoseringsenheten till satsblandaren. Här tillsätts emulsion, och vid behov också vatten, varpå den slutliga blandningen sker. Asfaltmassan lastas från blandaren direkt på marken, på lastbil eller i förvaringsficka.



Bild 7-4 Blandningsverk för satsvis tillverkning av kallblandad massa.

7.3 Asfaltgranulat

Asfaltgranulat är benämningen på krossad eller fräst asfaltbeläggning (bild 7-6). Granulatkornen består huvudsakligen av klumpar av bindemedel och stenmaterial (beläggning) av varierande storlek, men även inslag av stenmaterial kan förekomma. För att återvinningsbeläggningen skall få en jämn och bra kvalitet måste de gamla asfaltmassorna krossas (sönderdelas) och sorteras (bild 7-5). Fräsmassor kan ibland ha en lämplig sammansättning och behöver då inte krossas. För slitlager bör inte största stenstorleken

överskrida 16 mm och för bärlager 22 mm. När granulatet fraktioneras brukar det delas upp i en fin- resp grovfraktion. Lämpliga sorteringar kan vara 0-8, 8-16 eller 8-22 mm.



Bild 7-5 Grovsortering av asfaltgranulat. Klumpar större än 22 mm tas bort.

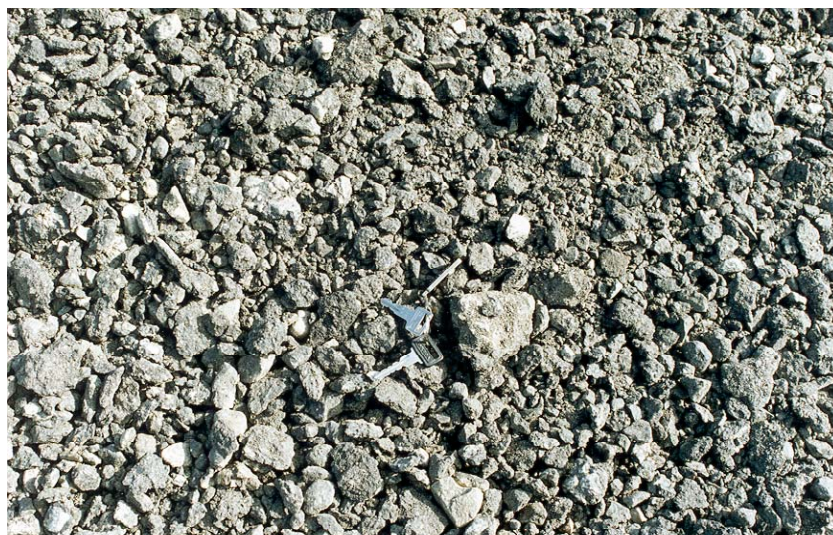


Bild 7-6 Närbild på osorterat asfaltgranulat.

7.4 Inblandning av vatten och stenmaterial

För att öka massans blandningsbarhet och samtidigt göra massan mer hanter- och packningsbar bör vatten tillsättas. Vattnet kan antingen tillsättas i granulatet eller i blandaren. Om granulatet från början innehåller alltför hög fuktkvot (>5 %) bör inget vatten tillsättas eftersom emulsionen också innehåller vatten. Andra faktorer som påverkar valet av vattentillsats är emulsionskvoten och väderleken. Vid torr och varm väderlek bör vatteninblandningen höjas och vid fuktigt väder minskas.

7.4.1 Optimal vattenkvot (vätskeinhåll)

För att massan skall få bästa möjliga packningsegenskaper bör optimal vätskekvot eftersträvas. Med vätskekvot menas emulsionskvot + vattenkvot i granulatet. Packningskurva

bestämd vid olika vätske- eller vattenkvoter enligt tung instampning eller Marshallpackning anger lämpligt fukttinnehåll. På välgraderade material (fräst eller krossat granulat) brukar optimal vätskekvot ligga nära 7 %. Vatteninnehållet i massan påverkas av fukten i upplaget, tillsatt vattenmängd samt emulsionsmängden. Det innebär, om 3 % emulsion tillsätts, att det totala vatteninnehållet i granulatet (ingående vatten i granulatet + det som tillsätts) bör vara ca 4 %.

7.4.2 Inblandning av stenmaterial

Inblandning av stenmaterial görs för att höja materialets stabilitet om granulatet innehåller för hög halt bindemedel (>6 %) eller för att förbättra massans konsistens och läggbarhet. Om granulatet redan från början innehåller hög andel stenmaterial (>20 % naturmaterial), dvs om obundet material har kommit med vid uppgrävning, bör inblandning av grövre stenmaterial (>8 mm) undvikas, speciellt om massan skall användas till slitlager. Stenrika, kalla återvinningsmassor kan bli separationsbenägna, vilket bör beaktas vid utlastning, transport och utläggning. Annars riskerar ytan att få stenlossning i ett tidigt skede.

7.5 Nytt bindemedel

Vid kall återvinning i verk inblandas en eller flera typer av bindemedel i granulatet och bindemedlet utgörs normalt av bitumenemulsion, men även skummat bitumen kan förekomma. Ett flertal typer av bindemedel förekommer men hittills har emulsioner baserade på mjukbitumen varit vanligast förekommande. För återvinning finns ett antal olika emulsioner som redovisas i tabell 7-1.

Tabell 7-1 Vanliga emulsioner vid kall återvinning i verk.

Enligt äldre specifikation	Enligt CEN-standard	Anmärkning
BE 60M/2 000	BE 60M/V1 500	Baserad på mjukbitumen
	BE 60M/V3 000	”
BE 60M/5 000	BE 60M/V6 000	”
BE 60M/10 000	BE 60M/V12 000	”
BE 60M/B180	BE 60M/160/220	Baserad på hårdare bitumen

Bitumenemulsion

Bitumen eller bitumenblandning emulgerad i vattenfas möjliggör hantering av massa vid lägre temperatur. Förutom bitumen innehåller emulsion alltid vatten samt mindre mängder av syra, salt och emulgatorer av amintyp. Bitumenemulsioner kan vara baserade på mjukare eller hårdare bitumen. Andelen bitumen i emulsioner för återvinning ligger på 60-67 %. Andelen bitumen i emulsionen framgår av typsiffran efter förkortningen (BE 60M/2 000). Den följande bokstaven anger hur snabbt emulsionen bryter (R=raskt, M=medel, S=sakta) medan de sista siffrorna anger viskositeten på basbitumenet.

Emulsionerna baserade på mjukbitumen riktar sig mot vägar där flexibla egenskaper efterfrågas, t ex vägar med dålig bärighet, ojämna tjällyftningar eller där vintrarna är stränga. Emulsioner baserade på hårdare bindemedel riktar sig mot vägar med större krav på styvhet och stabilitet. När emulsioner innehållande styvare bindemedel (viskositet >10 000) används

är det viktigt att massan inte blir för styv och svårhanterlig och detta bör beaktas vid valet av bindemedel. En mindre provläggning eller labprovningar kan ligga till grund för bedömning av massans konsistens. Det är också viktigt att ta reda på om blandningsverket fungerar för den här typen av massor.

7.5.1 Bindemedelshalter

Det är viktigt att skilja på kall återvinning av asfaltbetong och asfaltgrus (varmt tillverkade massor typ ABT, AG) och de beläggningar som är gjorda med mjukare bindemedel såsom asfaltemulsionsbetong (AEB, AEG), mjukgjord asfaltbetong (MJAB, MJAG, MJOJ) och oljegrus (OG). De sistnämnda, som betecknas som kalla eller halvvarma massor, innehåller lägre bindemedelshalt än varmtillverkad asfalt och behöver därför mindre mängd nytt bindemedel. En annan skillnad är att bindemedelsåldringen är mindre för kalla och halvvarma beläggningar på grund av att de inte upphettats vid massatillverkningen och därför inte blivit oxiderade i samma utsträckning som varma massor.

7.5.2 Tillsatser

Inga extra vidhäftningsmedel behöver tillsättas eftersom emulsion innehåller fettaminer. En mindre mängd cement (1-2 %) kan förbättra både beständighet och mekaniska egenskaper.

7.6 Transport, utläggning och packning av massa

Kalla återvinningsmassor innehåller hög andel av grövre partiklar, både granulat och stenmaterial, och är därmed separationsbenägna. Materialseparationer uppkommer om grövre korn kan rulla nedför en rasslänt och en felaktig i- eller urlastning av massan kan därför medföra anhopningar av grövre partiklar i delar av beläggningen. Därför bör separationsrisken beaktas vid lastning, transport och lossning av massan. Kalla återvinningsmassor är inte speciellt fuktkänsliga eftersom de innehåller vatten och inte är uppvärmda. Däremot behöver beläggningen en period med torrt och helst varmt väder för att vattnet skall hinna avdunsta så att beläggningen hårdnar. Av den anledningen bör inte kalla återvinningsbeläggningar läggas för sent på året och temperaturen skall vid utförandet ligga över +5 °C.

De läggare och vältrar som används för kalla återvinningsmassor är i princip desamma som för nytillverkad kall massa. Erfarenheterna har visat att kalla asfaltmassor kan vara relativt tröga att lägga ut, speciellt vid styvare bindemedel. Det kan vara svårt att få skriden att flyta jämnt på massan, bitumen kan klibba fast på bottenplattan och knivarna samt det kan vara svårt att få ett homogent materialflöde mellan tråget och skriden. Resultatet kan bli en viss vågbildning och/eller ojämnheter på beläggningsytan. Lämpliga lagertjocklekar kan vara 80-120 kg/m². Även tunnare slitlager har lagts (50 kg/m² ÅA 11 mm).

Packningen bör utföras med både en stålvalsvält och en gummihjulsvält i separata enheter. Även kombivältrar kan användas. Stålvalsvälten (steg 1) ger packning på djupet medan gummihjulsvälten (steg 2) knådar (tätar) till vägbanan, vilket är viktigt för att ytan skall få en bra hållbarhet och textur under den första tiden. Antalet överfarter och behovet av vältrar kan bestämmas genom en provpackning på vägen (i början av objektet). Normalt brukar 4-6 överfarter användas vid stålvalsvältningen. Eftersom massorna kan vara tröga bör stålvalsvälten ha en relativt hög linjelast (totalvikt över 14 ton).

Efter avslutad packning bör ytan avsändas, dels för att skydda ytan från stenplock men även för att skydda trafikanterna från bindemedelsstänk.



Bild 7-7 Utläggning och packning av kallt återvunnet asfaltbärlager. I detta fall användes en kombinerad stålvals- och gummihjulsvält.



Bild 7-8 Utläggning och packning av kallt återvunnet asfaltslitlager.

7.7 Egenskaper hos nylagd beläggning

Vägytan kan till en början vara mjuk och känslig för mekaniska påkänningar, speciellt nära vägrenarna och på utsatta platser. Exempel på påkänningar som kan orsaka skador är belastning från däck och stödben på arbetsfordon samt vridmoment från tunga fordon. Planeras dikningsarbeten, utlastning av timmer etc. bör detta göras innan åtgärd. Kall återvinningsbeläggning kan därför vara en olämplig åtgärd för vägar/gator med stort inslag av statiska påkänningar eller skjuvningar.

Beläggningen härdar med tiden men det kan ta några veckor eller, om åtgärden görs på hösten, ett halvår innan ytan hårdnat till ordentligt. Trafikmängden och temperaturen är faktorer som inverkar på härdningsförloppet. Separerade ytor och dåliga skarvar/fogar bör förseglas i ett tidigt skede. Om beläggningen erhåller stenlossning eller materialsläpp första vintern kan beläggningen bli bättre följande år. Om problemet kvarstår bör dock ytan förseglas och en beredskap för detta bör finnas.

Kallblandade beläggningar brukar erhålla en efterpackning under det första året på 2-4 mm (storleken är bl a beroende av lagertjockleken), men efter det att beläggningen hårdnat minskar spårbildningen till måttliga nivåer (någon mm per år).



Bild 7-9 Nylagd kallt återvunnen beläggning (övre vänster). Mekaniska skador på nylagd yta (övre höger). Kallt återvunnen beläggning efter ett års trafik (nedre vänster). Närbild på kallt återvunnen beläggning efter ett års trafik (nedre höger).

7.8 Materialprovning och krav på granulat, massa och beläggning

7.8.1 Allmänt

För att beläggningar med återvunnet asfaltmaterial skall få acceptabel kvalitet och funktion behöver granulatet ha en lämplig gradering och återvinningsmassan en lämplig sammansättning. Inblandning av ett nytt bindemedel är nödvändig för att massan skall binda ihop och ibland behövs även tillsats av stenmaterial för att få hanterbarhet och stabilitet. Granulatets korngradering och vatteninnehåll har betydelse för massans homogenitet, bearbet- och packbarhet. Uppgifter om bindemedelshalt och det gamla bindemedlets egenskaper är nödvändig information för val av erforderlig mängd och typ av nytt bindemedel som skall användas.

Eftersom äldre asfaltbeläggningar kan ha mycket varierande ursprung och sammansättning bör vid högre trafikvolymkrav på funktionellt inriktade egenskaper ställas vid proportionering av återvinningsmassa. Egenskaper som kan vara viktiga att bestämma på massan är styvhetsmodul, draghållfasthet, stabilitet, konsistens och beständighet. Vid provningen måste prepareringen av provkropparna noggrant styras upp för att relevanta, jämförbara resultat skall erhållas.

När förprovningen är klar bör en provläggning av massan enligt arbetsreceptet göras. En provläggning är det bästa sättet för att få svar på om massan går att hantera och lägga ut. Enligt tidigare erfarenheter av kalla massor kan, efter det att produktionen kommit igång, en viss korrigering av arbetsreceptet bli nödvändig.

Provningen görs i följande steg

Provtagning

- Prov tas från väg eller upplag

Karakterisering av retur-asfalt

- Bindemedelshalt och kornkurva på extraherat material
- Penetration, mjukpunkt eller viskositet på återvunnet bindemedel
- Kornkurva (enligt tvättsiktning) och fukthinnehåll på granulat

Materialkontrollerna ligger till grund för val av återvinningsmetod och bindemedelstyp. Materialets sammansättning och bindemedlets beskaffenhet används för att bestämma lämpliga bindemedelshalter vid proportioneringen samt behovet av vattentillsats och stenmaterialinblandning.

Proportionering

- Preparering och härdning av provkroppar
- Hållrumshalt, stabilitet, pressdraghållfast eller styvhetsmodul
- Vattenkänslighet (ibland frys-töbeständighet)

Proportioneringen ligger till grund för val av arbetsrecept.

Kvalitetskontroll av massa

- Bindemedelshalt, kornkurva och vatteninnehåll
- Preparering och härdning av provkroppar
- Hållrumshalt, stabilitet, pressdraghållfast eller styvhetsmodul
- Vattenkänslighet

Vilka anvisningar finns för kall återvinning?

I Vägverkets komplement till VÄG 94 "Teknisk Beskrivning Väg, Beläggningsarbeten med återvunnen asfaltbeläggning (TBVbel ÅA)" finns anvisningar för kall och halvvarm återvinning (1). Där framgår krav på granulat, rekommenderade fukt- och bindemedelshalter, beskrivning av samt riktlinjer för proportionering och kvalitetskontroll samt tillhörande specifikationer.

I följande avsnitt ges en mer detaljerad beskrivning över vad som bör ingå i ett provningsförfarande för kalla återvinningsmassor.

7.8.2 Proportioneringsföresättningar

Beroende på objektets karaktär kan kraven delas in i kategorier efter trafikvolym och typ av väg/gata/yta som skall åtgärdas:

- Kategori 4 : bostadsgator och vägar med $\text{ÅDT}_t < 500$ fordon, GC-vägar, planer, P-ytor
- Kategori 3: vägar med ÅDT_t 500-1500 fordon och gator/ytor där det ställs större krav med avseende på hållfasthet och beständighet
- Kategori 1 och 2: vägar med $\text{ÅDT}_t > 1500$ fordon.

För kategori 4 gäller krav på ingående material och återvinningsmassa. För kategori 3 gäller krav på ingående material och att receptet för återvinningsmassan är framtaget genom proportionering inriktad mot funktionella egenskaper. För kategori 1 och 2 krävs särskild utredning (där ställs högre krav).

Följande maximala partikelstorlekar rekommenderas:

Slitlager

Bostadsgator	11 mm
Vägar/planer/ytor	11 eller 16 mm.

Bärlager

Samtliga typer av gator/vägar/ytor	16 eller 22 mm.
------------------------------------	-----------------

7.8.3 Förundersökning av asfaltgranulat eller returafalt

För att karakterisera och bedöma asfaltmaterialet som skall återvinnas bör en förundersökning göras. Resultatet ligger till grund för val av metod, typ och mängd av nytt bindemedel samt behov av stenmaterialinblandning. Representativa prov uttas från upplag eller genom borrprov från befintlig väg. Ur proven bestäms:

- kornstorleksfördelning på granulat (tvättsiktning)
- bindemedelshalt och kornstorleksfördelning på extraherat material
- penetration eller mjukpunkt på återvunnet bitumen (vid hårdare bitumen) eller
- kinematisk viskositet (60°C) på återvunnet bindemedel (vid mjukbitumen).

Vatteninnehållet kan variera i granulatet, vilket bör beaktas vid proportionering och produktion av massa. Om bindemedelshalten eller kornstorleksfördelningen varierar för mycket i upplaget bör materialet i möjligaste mån homogeniseras vid lagring och inmatning i verket. Det kan göras genom omblandning av materialen, genom skiktvis lagring av materialen i mellanupplaget och genom ett bra förfarande när granulatet skall utlastas till kalldoseringsenheterna. Standardavvikelsen på bindemedelshalten och kornstorleksfördelningen (extraherat material, t ex fillerhalten och passerande mängd på sikt 4 mm) kan ligga till grund för bedömning av materialets homogenitet.

7.8.4 Proportionering inriktad mot funktionella egenskaper

Funktionellt inriktad proportionering innebär att receptet för återvinningsmassan tas fram genom relativa, jämförande provningar på provkroppar av granulat, bindemedel och vatten i olika proportioner (bild 7-10). Efter det att provkropparna lagrats/härdats testas de med avseende på mekaniska egenskaper och beständighet. Den blandning som bäst uppfyller ställda krav (t ex enligt TBV-återvinning) väljs.

Provningarna görs genom dubbelprov och vid exempelvis fyra olika bindemedelshalter (rekommenderade bindemedelshalter framgår av avsnitt 7.8.7). Bindemedelshalterna väljs utifrån bindemedelsinnehållet och kornkurvan i granulatet samt hur pass åldrat det gamla bindemedlet är. Det innebär bland annat att en större bindemedelstillsats bör eftersträvas vid förhårdnat, åldrat bindemedel och en mindre giva när bindemedlet är mjukare och fräschare. Skillnaden i bindemedelshalt (restbitumenhalt) bör vara 0,4 procentenheter mellan provblandningarna. Ett sammanslaget prov av granulat från upplaget kan ligga till grund för proportioneringen. För att provningarna skall bli jämförbara måste provningsförfarandet styras upp enligt följande avsnitt.

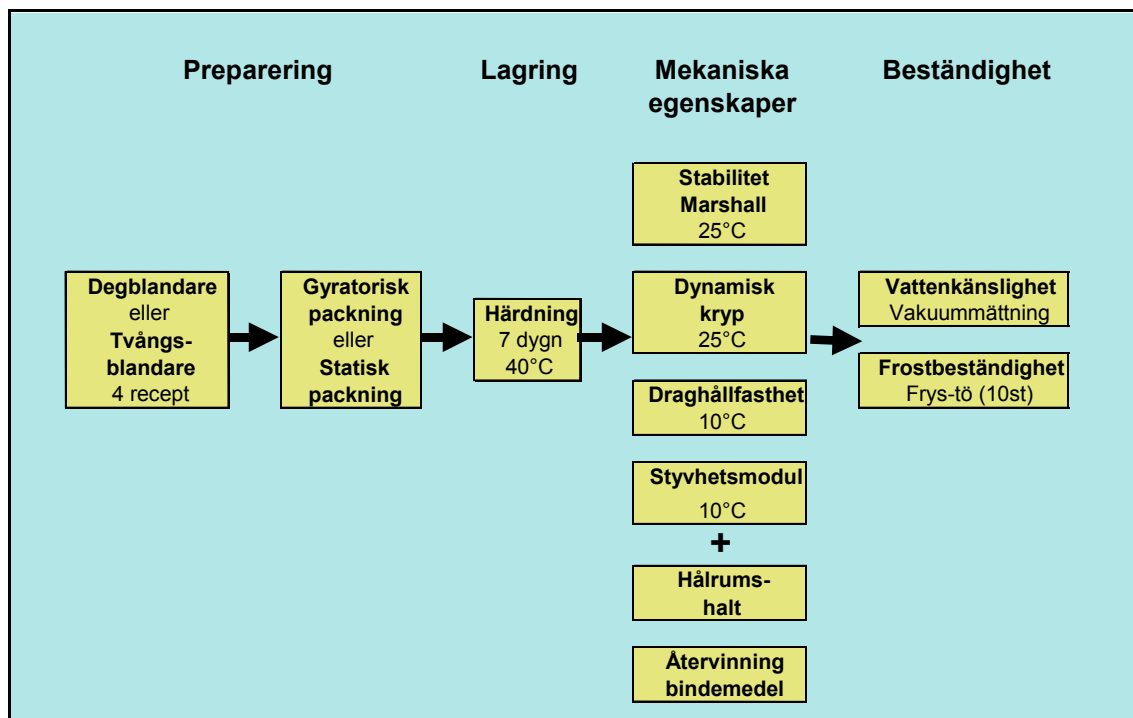


Bild 7-10 Exempel på proportioneringssystem inriktat mot funktionella egenskaper för kalla massor.

7.8.5 Provpreparering

Blandning

- degblandare eller tvångsblandare

Tillverkning av provkroppar

- statisk packning vid rumstemperatur eller
- gyratorisk packning vid rumstemperatur eller
- Marshallpackning vid +60 °C

Härdning av provkroppar

- 7 dygn vid +40 °C eller
- 4 dygn vid förhöjd temperatur, +60 °C.



Bild 7-11 Preparering av provkroppar genom blandning i Hobart (degblandare) och statisk packning.



Bild 7-12 Innan provet packas i statisk press förpackas massan med en stav (20 slag utmed kanterna och 20 slag i mitten av formen). På så sätt kan partiklarna orientera sig i formen innan den statiska lasten läggs på som packar ihop materialet.

7.8.6 Provningsmetoder

Provningen av massans egenskaper kan omfatta följande:

- hållrumshalt
- pressdraghållfasthet vid +10 °C
- styvhetsmodul vid +10 °C (lastfördelande förmåga och flexibilitet)
- stabilitet enligt Marshall eller dynamisk kryptest vid +25 °C
- vattenkänslighet

- frys-töbeständighet och saltkänslighet
- konsistens och täckningsgrad.

Typen av asfaltslager (bär- eller slitlager) avgör vilka metoder som skall väljas. För slitlager får vattenkänslighet och pressdraghållfasthet stor betydelse medan för bärlager stabilitet och styvhetsmodul är väsentliga egenskaper. Det är viktigt att partiklarna (granulat och stenmaterial) i massan får en bra täckningsgrad och att massan blir bearbetbar. En provläggning kan vara nödvändig för att slutligen kontrollera massans läggbarhet vid valt arbetsrecept.



Bild 7-13 Vattenlagring av provkroppar och fryslåda för frys-töförsök.

7.8.7 Rekommenderade bindemedelshalter, fukttinnehåll och emulsionsmängder

Granulat

Bindemedelshalten i granulatet bör vara 3,0-6,0 vikt-%. Vid höga bindemedelshalter kan stenmaterial behöva tillsättas granulatet så att önskad bindemedelshalt uppnås. Vid för hög bindemedelshalt kan beläggningen få plastiska deformationer medan bindemedelsfattiga granulat kan ge dålig beständighet om för litet nytt bindemedel tillsätts.

Fuktkvoten i granulatet bör ligga inom följande nivåer:

- återvinningsmassa för bärlager: 3,0-5,0 vikt-%
- återvinningsmassa för slitlager: 2,0-4,0 vikt-%.

Emulsionsmängd och restbitumenhalt

Tillsatt emulsionsmängd baserad på BE 60M:

- återvinningsmassa för bärlager: 1,0-2,5 vikt-%, restbitumenhalt 0,6-1,5 %
- återvinningsmassa för slitlager: 2,0-4,0 vikt-%, restbitumenhalt 1,2-2,4 %.

Om annan emulsion med lägre eller högre bitumeninnehåll används måste omräkning ske så att samma restbitumenhalt erhålls. Riktvärdet anpassas till den typ av beläggning som skall återvinnas. För kall återvinning av asfaltbetong eller asfaltbundet grus ligger riktvärdet mellan 2,0-3,0 vikt-% emulsion beroende på typen av lager (bär- eller slitlager). Om hårdare bindemedel skall användas (visk >10 000) kan riktvärdet höjas något.

För mjukgjorda beläggningar (innehållande mjukbitumen eller vägolja), vilka från början innehåller mindre mängd bindemedel än asfaltbetong och asfaltgrus, ligger kalkylvärdet överlag något lägre än ovan angivna värden.

Asfaltmassa

Den totala bindemedelshalten i massan (gammalt och nytt bindemedel) bör ligga i följande intervall:

- bärlager: 4,5-6,5 vikt-%
- slitlager: 6,0-7,5 vikt-%

Vid återvinning av mjukgjord asfalt ligger värdena på lägre nivåer.

Hur mycket bindemedel skall tillsättas ?

Mängd och typ av nytt bindemedel bestäms av bindemedelshalten i granulatet, hur pass åldrat det gamla bindemedlet är, ursprunglig beläggningstyp, tillsats av stenmaterial samt om återvinningsmassan skall användas till bär- eller slitlager. I princip tillsätts mer bindemedel när asfaltbetong återvinns och mindre för mjukgjorda beläggningstyper. Slitlager kräver också mer bindemedel än bärlager.

Det totala vätskeinnehållet, tillsatt mängd emulsion + vattenkvoten i granulatet, bör ligga mellan 6,0-7,0 %. Optimal vattenkvot kan bestämmas genom packningskurva enligt tung instampning eller Marshallinstampning (vid tre eller fyra vattenkvoter) på granulat eller massa.

7.8.8 Rekommenderade krav på ingående material

Med ingående material avses här det material som matas in i verket, således inkluderande även nytt tillsatt material. Kraven medför att krossning och/eller sortering av granulat/asfaltkakor i de flesta fall måste utföras. Följande krav kan ställas:

Asfaltgranulat

- bindemedelshalt
- granulatkurva (tvättsiktning).

Lämplig granulatkurva (tvättsiktning) för det ingående materialet vid kall återvinning framgår av bild 7-14. Kornkurvan får bryta en av de inre linjerna.

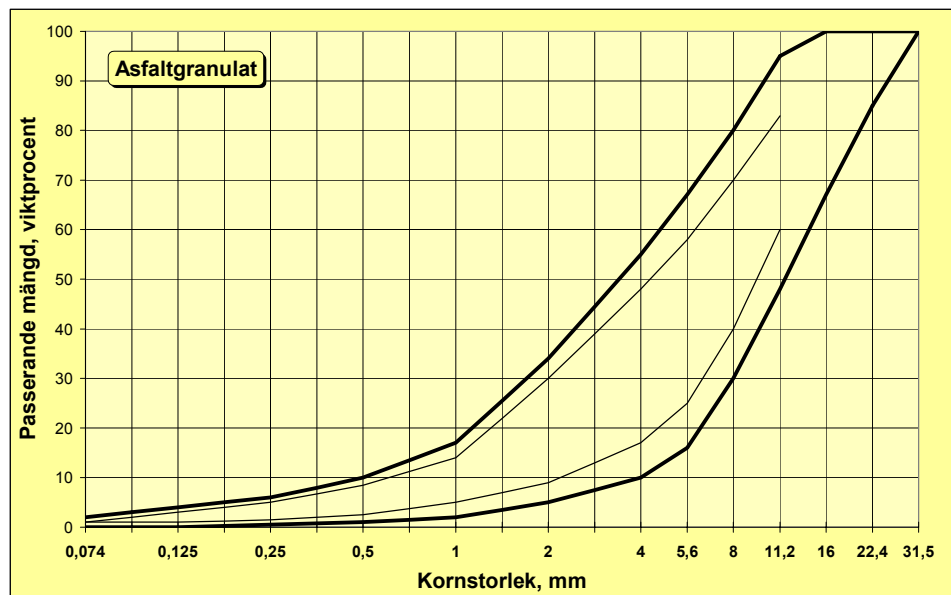


Bild 7-14 Lämplig korngradering för granulat.

Bindemedel (emulsion)

För vägar med krav på flexibilitet:

- emulsioner baserade på mjukbitumen med kinematiska viskositeten lika med eller mindre än 5 000 mm²/s.

För vägar med större krav på styvhet och stabilitet:

- emulsioner baserade på bitumen med kinematiska viskositeten större än 5 000 mm²/s.

Stenmaterial

- om avsikten är att förbättra stabiliteten bör helkrossat material tillsättas
- om avsikten är att förbättra enbart massans bearbetbarhet eller täta upp massan bör naturgrus eller sand (rundat material) tillsättas.

7.8.9 Rekommenderade krav på återvinningsmassa

Kvalitetskontrollen bör omfatta dels krav på bindemedelshalt och vattenkvot på massaprov, dels krav på hålrum, styvhetsmodul, pressdraghållfasthet och vattenkänslighet på instampade provkroppar.

Kategori 4

Krav på och kontroll av återvinningsmassa:

- bindemedelshalt i bärlager
- bindemedelshalt i slitlager
- vattenkvot.

Kategori 2 och 3

För kategorierna 2 och 3 gäller, förutom kraven för kategori 4, också egenskapskrav på instampade prov av återvinningsmassa. Följande parametrar kan ingå:

- hålrumshalt
- pressdraghållfasthet vid +10 °C
- styvhetsmodul vid +10 °C

- stabilitet enligt Marshall, vid +25 °C
- vattenkänslighet – vidhäftningstal.

Valet av provningsmetoder avgörs beroende på aktuell beläggningstyp.

7.8.10 Rekommenderade krav på beläggning

De krav som finns i VÄG 94 kan även användas (eventuellt med vissa modifieringar) för kalla återvinningsbeläggningar. Krav för följande egenskaper hos beläggningen rekommenderas:

- jämnhet
- spårbildning
- tvärfall
- stenlossning
- friktion.

Kraven kan ställas på relativt nylagd yta (helst bör ytan ha legat en tid) och/eller efter garantitiden (1-3 år). På bostadsgator kan det vara svårt att mäta jämnheten och spårdjupet med hjälp av RST-mätbil på grund av att brunnar, skarvar med mera inverkar på resultatet. Det är viktigt att påpeka att nylagda återvinningsmassor är känsliga för mekaniska påkänningar eftersom ytan till en början är mjuk och därför bör denna typ av asfaltmassor undvikas på utsatta platser.

7.9 Erfarenheter från uppföljningar i fält samt egenskaper hos kalltillverkad återvinningsmassa

7.9.1 Användningsområden

Kalla återvinningsmassor har använts främst till slitlager men även till bärlager på låg- till medeltrafikerade landsvägar över hela landet. Även i kommuner har den här typen av beläggningar använts men då har det huvudsakligen handlat om vägar i kommunernas ytterområden och inte gator i tätorten även om exempel på sådana finns. Det finns också exempel på kalla återvinningsmassor som använts till bärlager i vägrenar eller gång- och cykelbanor.

Kommunal återvinning

I Borlänge har alla gamla asfaltmassor återvunnits sedan slutet av 1980-talet. Kall återvinning i verk har varit den dominerande tekniken men även halvvarm återvinning har testats. I ett försök att använda slitlager av kall återvinningsmassa på bostadsgator har en ÅABT 11 med emulsion baserad på B180 provats på några villagator. När maximala stenstorleken begränsas till 11 mm blir ytan tätare och jämnare än vid konventionell återvinning som oftast har material upp till 22 mm.



Bild 7-15 Kall återvinningsbeläggning på villagata.

7.9.2 Provvägar och kontrollsträckor

VTI har, på uppdrag av Vägverket, haft en provningsverksamhet sedan i mitten av 1980-talet och ett stort antal försök har gjorts (2, 3, 4, 5, 6). Resultaten har varit mycket varierande, allt från lyckade till misslyckade försök. I allmänhet erhåller återvinningsbeläggningar ungefär likvärdiga material- och vägyteegenskaper som motsvarande typer av nytillverkade kallblandade beläggningar. De bästa sträckorna i VTIs uppföljningar är i vissa avseenden jämförbara med konventionell varmblandad asfalt med undantag för jämnheten i längsled, IRI-värdet, som överlag är sämre. Recepturen, och framför allt bindemedelsinnehållet, har en mycket avgörande betydelse för återvunna beläggningars egenskaper och hållbarhet. Tidiga vägsador har huvudsakligen orsakats av för hög (plastiska deformationer) eller för låg (beständighetssador) tillsats av nytt bindemedel. Innehåller granulat redan från början hög halt bitumen ökar också risken för deformationer. Med tiden kan beläggningen erhålla sten- och materialsläpp som sannolikt är den vanligaste orsaken till driftåtgärder på den här typen av beläggningar.

Provvägsförsök i Värmland 1992 (Saxån)

Ett större provvägsförsök utfördes sommaren 1992 på riksväg 63 i Värmland (3, 5). Återvinningsmassor testades både som bär- och slitlager. Erfarenheterna efter 7 års uppföljning visade på stora skillnader mellan de olika provsträckorna. I bild 7-16 framgår betydelsen av bindemedelsinnehållet i återvinningsbeläggning. Bäst av slitlagersträckorna klarade sig den med tillsats av 3,0 % emulsion (baserad på mjukbitumen) som fick en mycket måttlig utveckling av spår, stensläpp och bärighetssprickor och var jämförbar med de bästa referenserna av nytillverkad varm massa. Sträckan med 2,0 % emulsion erhöll markant mer sprickor och stensläpp. Sträckan med 4,0 % emulsion blev mycket tät och slät med följd att inga stensläpp eller sprickor observerades under 7 års trafik men beläggningen fick en del plastiska deformationer på grund av det höga bindemedelsinnehållet (7,5-8,0 % bitumen sammantaget). Hos bäragersträckorna var skillnaden relativt liten mellan tillsats av 1,5 och 3,0 % emulsion medan den utan emulsionstillsats erhöll sprickor i ett tidigt skede. Noterbart var att samtliga referenser med varm massa (AG och ABT) erhöll bärighetssprickor ungefär samtidigt som återvinningssträckorna trots att bärigheten låg på en betydligt högre nivå enligt utförd fallviktsmätning.

Resultaten från provvägen i Saxån ligger delvis till grund för kraven i TBVbel ÅA 1999 (Vägverkets anvisningar).

2,0 % emulsion



3,0 % emulsion



4,0 % emulsion



Spårbildning

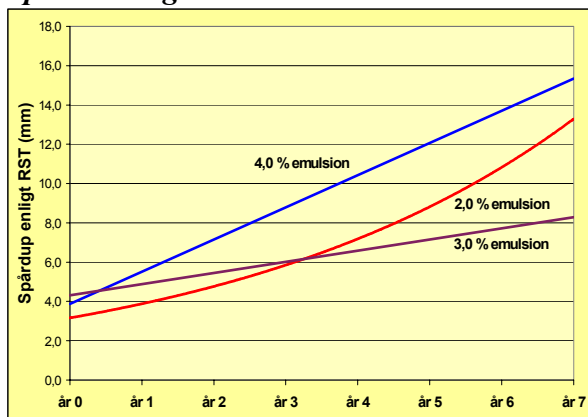


Bild 7-16 Provsträckor på riksväg 63, Saxån, efter 7 års trafik. Både bär- och slitlagren utgjordes av kall återvinningsbeläggning.

7.9.3 Sammanställning av erfarenheter från fältundersökningar

Utifrån de resultat och erfarenheter som erhållits från provvägar, kontrollsträckor och skadeutredningar har följande sammanställning gjorts.

Plastiska deformationer

- kan förekomma om bindemedelsinnehållet är för stort; mindre deformationer kan gå tillbaka med tiden genom trafikarbetet

Efterpackning

- några millimeter per lager (vid lager av 50 mm); påverkas av hålrums halt och packningsinsats

Spårbildning

- i de flesta fall måttlig; normalt minst tio års livslängd

Jämnhet

- något ojämn; vanligt värde på IRI 1,5-2,0 mm/m på senare år

Blödningar

- normalt inga problem men ytan kan bli svärtad eller till en början fet

Friktion

- normalt bra; vid fet yta något lägre

Ytskrovlighet

- ungefär som ABT, 0,3-0,5 mm i makrotextur enligt RST-mätning (RRMS-värde) och 0,5-0,8 mm mätt med Sand Patch; slätare vid högt bindemedelsinnehåll och skrovligare för torra massor

Separationsbenägenhet

- ibland stor, speciellt om stor andel grövre stenmaterial eller granulat Korn ingår massan; bör beaktas noggrant vid tillverkning och utläggning

Bärförmåga

- som andra kalla eller halvvarma, nytillverkade beläggningar eller högre; lägre än AG; påverkas av hårdheten på det nya bindemedlet och förstärkningen av granulatet

Flexibilitet/sprickkänslighet

- något sämre än nytillverkade kalla eller halvvarma beläggningar; påverkas av hårdheten på det nya bindemedlet, bindemedelshalten och hur pass åldrat materialet är; inhomogena massor får försämrade egenskaper

Stenlossning/materialsläpp/vattenkänslighet/beständighet

- torra ytor blir raa och öppnare, problem i separerade ytor, försegling kan bli nödvändig; vid för låg bindemedelshalt stor risk för materialsläpp; vid saltning eventuellt ökad risk för uppmjukning och materialsläpp, som är den vanligaste orsaken till åtgärder

Slaghål

- normalt ingen risk; separerade ytor och torra massor blir mer känsliga

Ytans hårdhet

- är mjuk i början, speciellt nära vägrenarna; ytan hårdnar genom trafikarbete och vattenavdunstning

Ytans utseende

- svarta bollar kan förekomma; ytan ser något flammig ut, ibland något torr; har blivit mycket bättre på senare år

Fogar, skarvar

- noggrant arbete nödvändigt, annars risk för materialsläpp.

7.9.4 Skador som kan uppkomma vid kall återvinning

De typer av skador eller problem som kan uppträda på kalla återvinningsbeläggningar är:

- Sten- och materiallossning
- Plastiska deformationer (materialomlagringar)
- Mekaniska skador på grund av att vägytan är mjuk
- Blödningar (svärtning)

- Ojämnheter på grund av tröglagd massa
- Separationer.

Stenlossning



Plastiska deformationer



Vågbildning (ojämnheter)



Bild 7-17 Exempel på skador som kan uppkomma på kalla återvinningsbeläggningar.

7.9.5 Erfarenheter av returasfalt

Sammansättningen och egenskaperna hos returasfalt kan i hög grad variera beroende på en rad faktorer såsom ursprunglig beläggningstyp, förekomst av lagningsmassor, åldring, krossning, nötning, bindemedelsförluster, materialsläpp med mera. Vid bortgrävning och fräsning kan en sammanslagning av olika beläggningstyper ske samtidigt som obundet material kan komma med i massorna. Trots detta uppvisar mellanupplag ibland en förvånansvärt homogen sammansättning med avseende på bindemedelshalt och kornkurva (bild 7-18). Möjligheterna att förändra bindemedelshalten i granulat genom fraktionsuppdelning kan vara begränsade eftersom bindemedel förekommer både i de finare och grövre fraktionerna (bild 7-18) även om den finaste fraktionen innehåller högst halt bitumen.

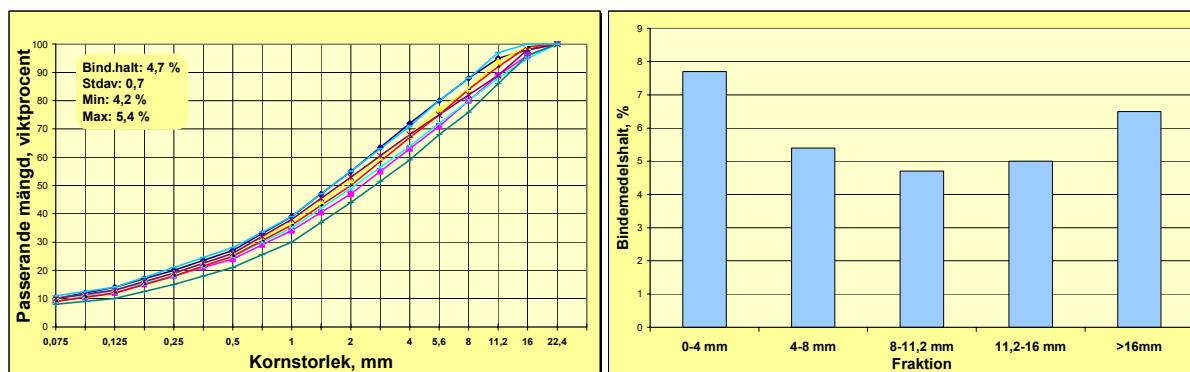


Bild 7-18 Exempel på spridningen hos kornkurva och bindemedelshalt i ett mellanlager av asfaltgranulat (vänster) samt fördelningen i bindemedelshalt mellan olika fraktioner från samma material (höger).

Bindemedelshalten och kornkurvan (både granulatkurvan och den extraherade kurvan från retur-asfalten) kan variera mellan olika upplag och även inom upplaget vilket beskrivs i bild 7-19. Granulaten kommer från Skåne i söder till Norrbotten i norra Sverige. I de flesta fall har den ursprungliga beläggningen varit ABT + AG men inslag av andra beläggningar finns också.

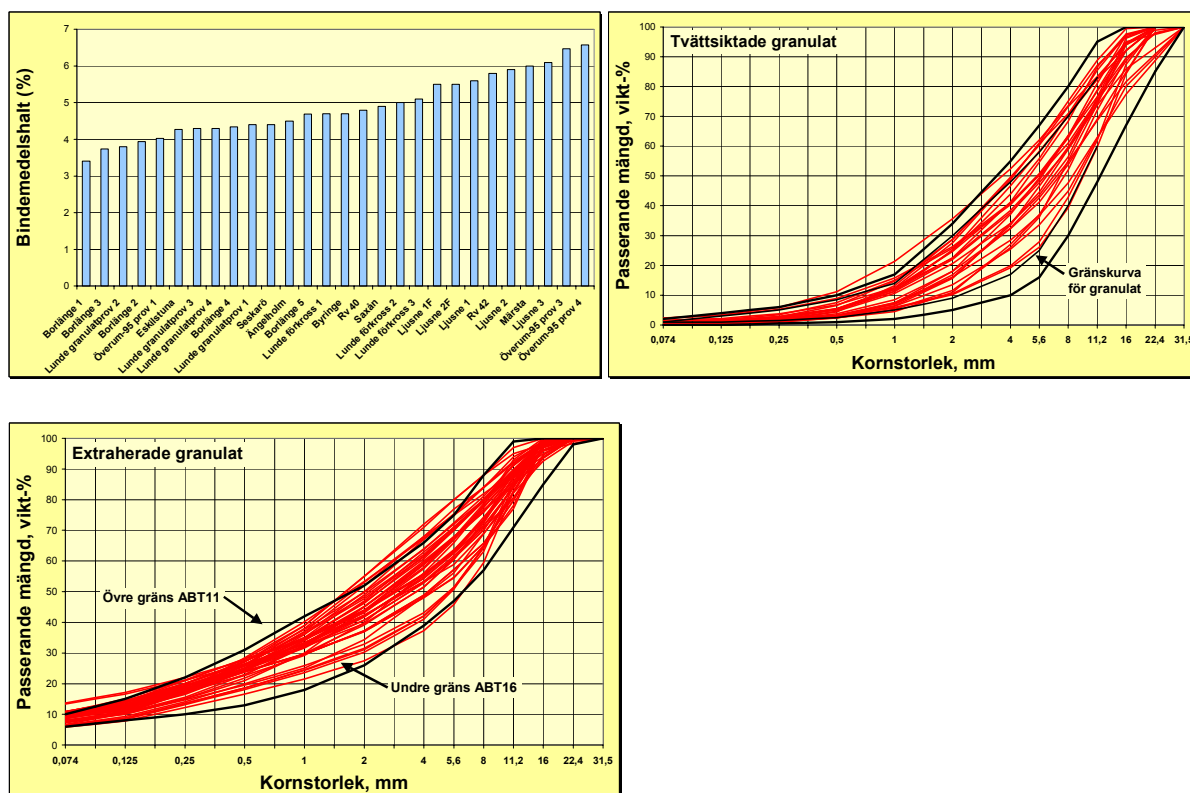


Bild 7-19 Sammanställning över bindemedelshalt i olika asfaltgranulat (övre vänster) samt kornkurvor på tvättsiktat (övre höger) och extraherat granulat (nedre vänster). Asfaltmaterialen utgörs huvudsakligen av äldre ABT- och AG-beläggning.

7.9.6 Vilka egenskaper har kalla återvinningsmassor

I följande avsnitt sammanfattas de viktigaste erfarenheterna från laboratorieprovning av kall återvinningsmassa och en del exempel från proportionering ges. Provning av massor innehållande emulsion och vatten skiljer sig från varm asfaltmassa men i princip används samma metoder och utrustningar medan provprepareringen är olika mellan de två massatyperna.

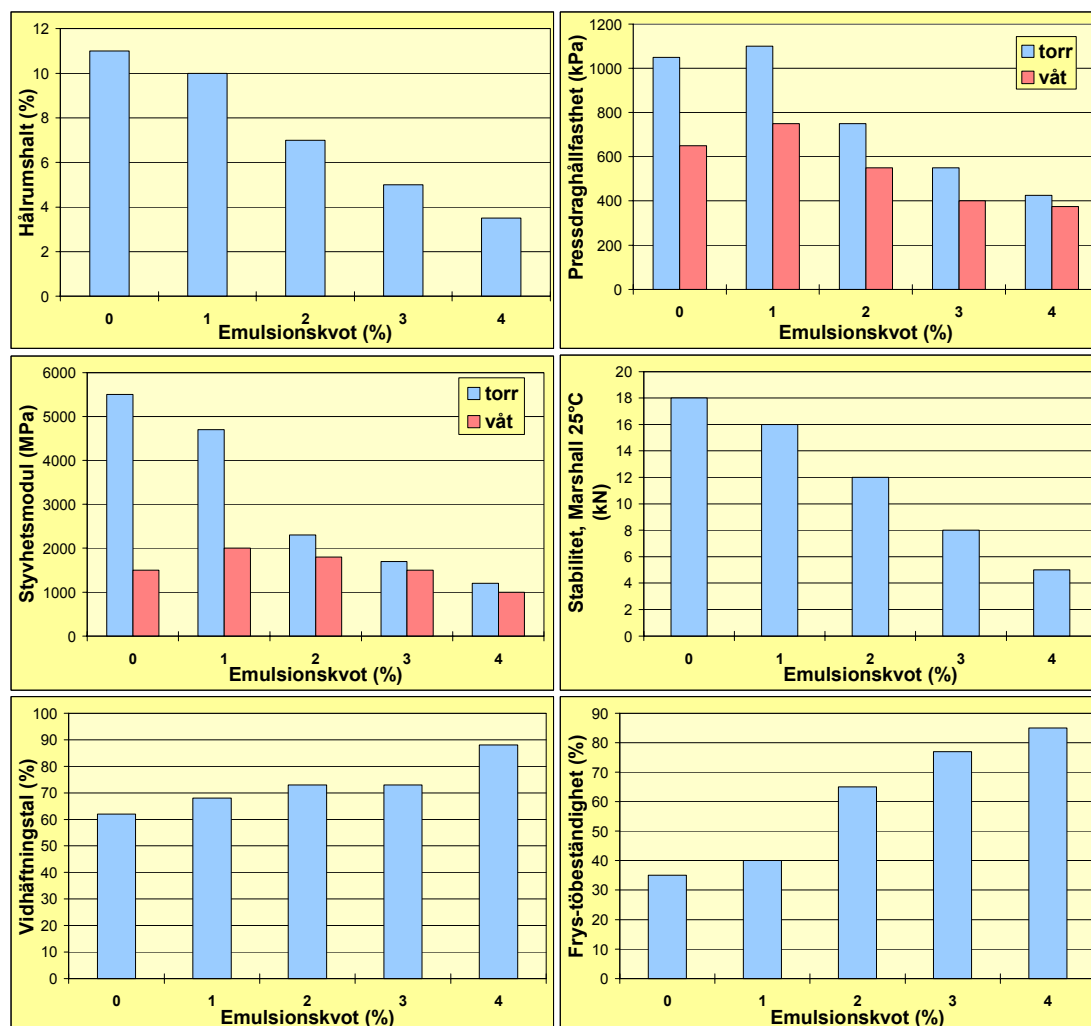


Bild 7-20 Exempel på resultat från proportionering av kall återvinningsmassa. Vid provningen testades massa med fem olika recept (0, 1, 2, 3, och 4 % emulsion). Vattenkvoten i granulatet var 3 %. Inget stenmaterial tillsattes. Innan provningen lagrades proverna, som tillverkats genom statisk packning, i 7 dygn vid 40 °C.

Provning av massa - proportionering

Det är förhållandevis komplicerat men möjligt att testa mekaniska egenskaper hos kallblandad återvinningsmassa. Det är dock många parametrar kopplade till provprepareringen som kan inverka på resultatet och som måste beaktas och styras upp vid provningen. Exempel på dessa är blandningsförfarande, packningsmetod, lagringstid, val av provningsmetod, temperaturer vid konditionering och provning m m. De egenskaper som hittills visat sig kritiska i ett tidigt skede ute på vägen är stabilitet och beständighet. Den allt mer förfinade blandningstekniken,

tvåstegsblandning, kan vara svår att efterlikna vid labprovning. I bild 7-20 ges exempel på resultat från funktionellt inriktad proportionering av kalla återvinningsmassor.

Det är av fundamental betydelse att undersökningen innehåller tester på provkroppar som både härdat en tid vid ideala förhållanden (torrlagrade prov) och som sedan vattenmättats (sämsta tillståndet). Provning av enbart torrlagrade prov skulle ge ett missvisande och skönmålande resultat. Kalla asfaltmassor kommer att innehålla vatten i varierande grad under hela sin livstid. Det är dock viktigt att materialet ges möjlighet att härda ordentligt innan provningen, vilket sker genom lagring vid förhöjd temperatur (7 dygn, 40 °C).

Som ett alternativ till funktionellt inriktad proportionering kan erforderlig mängd nytt bindemedel tas fram genom analys av den gamla asfaltens sammansättning och det gamla bindemedlets egenskaper. Den typen av proportionering används ibland utomlands. Halten nytt bindemedel brukar då korrigeras efter bindemedelsinnehållet, kornkurvan och det gamla bindemedlets viskositet eller penetration. Som utgångspunkt måste ett utgångsvärde tas fram som är anpassat till den aktuella beläggningstypen som skall återvinnas. När homogena förhållanden råder (granulatet består av en beläggningstyp med någorlunda homogen sammansättning) kan den här förenklade formen av proportionering fungera. En förutsättning är dock att utgångsvärdet ligger ”rätt” vilket inledningsvis kräver omfattande labprovningar och en längre tids fälterfarenheter.

Val av packningsmetod samt provets lagringstid och temperatur inverkar, ibland markant, på provningsresultatet. Statisk- eller gyratorisk packning har givit den bästa överensstämmelsen med borrhärdingar från vägen. Marshallpackning ger ofta för hög hållrumshalt på grund av materialets fjädrande förmåga.

7.9.7 Vilka egenskaper får borrhärdingar från beläggningen?

Borrhärdingar från beläggningen används för att beskriva materialets/lagrets tillstånd i vägen och hur det förändras med tiden. VTIs uppföljningar av provsträckor har visat att materialets tillstånd och egenskaper högst avsevärt förändras med tiden, ofta i en positiv riktning, åtminstone de första åren. Trafikarbetet i kombination med massans fortsatta härdning, både knådar och packar beläggningen med följd att ytan blir hårdare. På nylagd massa kan det vara svårt att få upp hela, provningsbara borrhärdingar. Efter ett par månaders trafik brukar dock hela prov erhållas.

Vid provtagningen är det viktigt var på vägen provet tas, främst om det är i hjulspåren (där trafiken går) eller bredvid. Beläggningens egenskaper kan skilja markant mellan dessa ytor. Helst bör provtagningen omfatta prov både från hjulspår och mellan dessa men huvuddelen av proven bör tas i hjulspåret (där den tunga trafiken går) eftersom det är där materialets/asfaltens egenskaper har störst betydelse och även påverkas mest. Provpunkterna kan väljas ut genom slumpstalstabel.

Innan borrhärdingarna testas är det viktigt att de lagras en bestämd tid (ca en månad vid rumstemperatur) så att vattnet hinner avdunsta. Provningen görs sedan på både torr- och vattenlagrade prov och enligt samma förfarande som vid förprovningen. Borrhärdingar kan ha följande egenskaper enligt uppföljningar från provsträckor med kall återvinning (både bär- och slitlager).

- *Hålrums halten* ligger normalt mellan 4-20 vol-% beroende på beläggningens ålder, läge på vägen, receptur och på typen av objekt. I hjulspåren minskar hålrums halten markant under de första åren på grund av trafikens efterpackning. Skillnaden mellan hjulspåren och intilliggande beläggning är i genomsnitt ungefär 5 procentenheter men varierar från fall till fall. Efter ca ett års trafik brukar hålrums halten i hjulspåret ligga mellan 5-10 vol-%, men lägre och högre värden kan också förekomma. Hålrums halter på 1-3 vol-% i kombination med relativt höga bindemedelshalter har visat sig ge upphov till plastiska deformationer.
- *Pressdraghållfastheten* vid 10 °C på torrlagrade prov ligger mellan 200-1200 kPa om emulsioner baserade på mjukbitumen används. Resultatet påverkas främst av beläggningens ålder och hålrums haltens storlek. Pressdraghållfastheten på vattenmättade prov blir lägre och hamnar inom intervallet 100-700 kPa. Om hårdare bindemedel används kan pressdraghållfastheten hamna mellan 700-1000 kPa på ca ett år gammal beläggning.
- *Styvhetsmodulen* vid 10 °C är förhållandevis hög för återvinningsmassor, 1 000-5 000 MPa på torrlagrade prov. Modulvärdet påverkas markant av mängd och typ av nytt bindemedel och om proven testas i vått eller torrt tillstånd.
- *Stabiliteten* och brottdeformationen har endast bestämts i några fall och då enligt dynamisk kryptest eller Marshallstabilitet vid rumstemperatur. Provningsresultatet visade mycket bra överensstämmelse med erfarenheterna från vägen (spårbildningen) och resultatet påverkades markant av bindemedelsinnehållet i beläggningen. De krav som finns i TBVbel ÅA på Marshallstabilitet avser labtillverkade prov.
- *Vattenkänsligheten* (förhållandet i pressdraghållfasthet mellan våt- och torrlagrade prov) brukar i allmänhet vara bra, 60-100 %. Allt för låg bindemedelsinblandning kan ge lägre värden (<50 %) och indikera dålig beständighet. Resultatet påverkas också av vattenmättnadsgraden vid vakuummätningen som i sin tur påverkas av hålrums halten i materialet. De högsta vattenmättnadsgraderna erhålls inom hålrumsintervallet 7-14 vol-%. Borrkärnor brukar erhålla lägre värden än labtillverkade prov, speciellt med tiden.
- *Frys-tökänsligheten* (förhållandet i pressdraghållfasthet mellan prov som utsatts för vattenmättnings + frys-töväxling och torrlagrade prov) har hittills inte undersökts på borrkärnor utan endast vid förprovningsresultat av labtillverkade prov. Denna test kan vara mer utslagsgivande (strängare) än vattenkänsligheten.

Litteraturförteckning

1. *Vägverket*: "Teknisk Beskrivning Väg. Beläggningsarbeten för kall och halvvarm återvinning av asfaltbeläggningar (TBVbel ÅA)", 2000.
2. *Jacobson, Torbjörn*: "Kall återvinning av asfaltbetong. Laboratieprovning och provvägar." Lägesrapport 44-94, VTI notat V168.
3. *Jacobson, Torbjörn*: "Kall återvinning av asfaltbeläggning", VTI meddelande 764, 1995.

-
4. *Jacobson, Torbjörn*: "Återvinning av asfaltbeläggning – svenska erfarenheter", VTI särtryck, 1996.
 5. *Jacobson, Torbjörn & Hornwall, Fredrik*: "Kall återvinning av asfaltbeläggning, Provvägsförsök i Värmland – sju års erfarenheter", VTI notat 62-1999.
 6. *Jacobson, Torbjörn & Hornwall, Fredrik*: "Kall och halvvarm återvinning. Uppföljning av provvägar och kontrollsträckor". Lägesrapport 1999, VTI notat 8-2000.