

SLUTRAPPORT

Återvunna material för fallvänlig asfalt

Kenth Johansson, RISE AB

**RE:
SOURCE**

Slutrapport för projekt:

Återvunna material för fallvänlig asfalt

Engelsk titel: Recycled materials for injury-preventive asphalt

Projektperiod: 2020-01-15 – 2022-09-30

Datum: 2022-11-30

Projektnummer: 49770-1

Darienummer: 2019-021590

Projektledare: Kenth Johansson

Organisation: RISE Research Institutes of Sweden AB

Adress: Box 5604, 114 86 Stockholm

Ev. övriga projektdeltagare: PEAB Asfalt AB, Svensk Däckåtervinning AB, Ragn-Sells Däckåtervinning AB/Genan A/S

Nyckelord: 5–7 st: Fallvänlig asfalt, gummigranulat, cykelbanor, återvunna fordonsdäck, stötdämpande

RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram och finansieras av

VINNOVA

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Förord

Målet med projektet var att utveckla och anlägga en teststräcka med fallvänlig, gummiinnehållande asfaltsbeläggning i syfte att resultera i nya, mer välutvecklade metoder (protokoll) för utvärdering av olika stötdämpande gång- och cykelbanor med fokus på vägbeläggningarnas materialegenskaper och ökad trafiksäkerhet. RISE Material och Ytdesign har med Kenth Johansson som projektledare genomfört projektet tillsammans med Viveca Wallqvist och en arbetsgrupp bestående av:

- Lars Jansson med kollegor, PEAB Asfalt AB
- Carl Zide, SDAB/Massbalans AB
- Carsten Sigvert, Genan A/S
- Mats Lawesson, Lunds kommun

Projektet har finansierats av Energimyndigheten inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet RE:Source och deltagarna i arbetsgruppen.

Innehåll

1. Sammanfattning.....	4
2. Summary	5
3. Inledning och bakgrund	6
4. Genomförande	8
5. Resultat och diskussion.....	10
5.1. Del 1: Projektresultat t.o.m. läggning av teststräcka på Dalbyvägen i Lund sommaren, 2020	10
5.2. Del 2: Projektresultat efter läggning av teststräcka på Dalbyvägen i Lund sommaren, 2020	12
5.2.1. Ytkemiska analyser av de ingående materialen	15
5.2.1.1. Prover som analyserats	15
5.2.1.2. Analysmetoder	16
5.2.2. Examensarbete vid Lunds universitet.....	38
6. Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg.....	39

7. Publikationslista	40
8. Projektkommunikation	41
9. Referenser.....	42
10. Bilagor	42

1. Sammanfattning

För att transportpolitiska-, klimat- och hälsomål, såsom funktionsmål och hänsynsmål skall kunna uppnås behöver cykel- och gånginfrastruktur prioriteras då cykling är positivt för hälsan, resulterar i mindre utsläpp av koldioxid från vägtrafiken och medför mindre intrång i trafikmiljön. Sedan införandet av nollvisionen har motortrafikskador minskat stadigt i Sverige. För de oskyddade trafikanterna är trenden tyvärr den motsatta; antal skadade och dödade ökar. En stor majoritet är offer från trafikolyckor med oskyddade trafikanter.

Målet med projektet var att utveckla och anlägga en teststräcka med fallvänlig, gummiinnehållande asfaltsbeläggning i syfte att resultera i nya, mer välutvecklade metoder (protokoll) för utvärdering av olika stötdämpande gång- och cykelbanor med fokus på vägbeläggningarnas materialegenskaper och ökad trafiksäkerhet. Projektet förväntades också leda till en ökad användning av återvunnet gummi från uttjänta fordonsdäck, vilket skulle möjliggöra en förflyttning högre upp på avfallstrappan i stället för enkel energiåtervinning och ersätta jungfruliga oljebaserade mjukgörande material som annars skulle behöva användas för att uppnå samma funktion. Teststräckans asfaltsbeläggning hade initialt mycket goda och ”fallvänliga” egenskaper, men beständigheten var bristfällig. Materialet på teststräckan började spricka upp redan efter några veckor och beslut fattades därför om att den fallvänliga asfalten skulle ersättas med en traditionell asfaltsbeläggning. Problemen med teststräckans dåliga beständighet ledde till att utvärderingen med avseende på arbetsmiljö vid läggning, stötupptagande förmåga, friktion, egenskaper vid drift- och underhåll, beständighet över årstiderna samt utvärdering av cyklisternas och fotgängarnas upplevelser av materialen med hjälp av perceptionsstudier i fält, mm, tyvärr fick ställas in.

En stor del av projektet har i stället ägnats åt att försöka klargöra varför teststräckan i Lund var så mycket sämre än en tidigare lagd teststräcka i Uppsala (fortfarande i gott skick efter 5 år). En nyckelfråga har varit att försöka klargöra om bitumen har kunnat migrera in i gummigranulatens porer under förbehandlingen och för detta har avancerade ytkemiska analyser har använts. Det har varit utmanande eftersom gummigranulaten och bitumen har en mycket snarlik kemisk sammansättning vilket gör det svårt att särskilja materialen. Svepelektronmikroskopi med energidispersiv röntgenspektroskopi (SEM/EDS) ger

intressant och viktig information om materialens sammansättning, men kan tyvärr inte besvara frågan om bitumen har trängt i gummiporerna eller inte. Både Ramanmikroskopi och Fourier Transform Infraröd (FTIR) spektroskopi bekräftar våra misstankar om att det bitumen som användes i Uppsala har penetrerat in i gummigranulatens porer emedan det bitumen som användes i Lund inte har trängt in i gummiporerna. Vi har inom projektet också utvecklat en ny avancerad metod för identifiering av bitumenfördelning i gummigranulat med hjälp av Ramanmikroskopi. En viktig slutsats från projektet är därför att det är viktigt att använda "rätt" sorts bitumen och ha tillräckligt lång förbehandlings-tid så att gummigranulaten hinner mättas med bitumen.

Planen framöver är att mha Ångturboverket anlägga åtminstone två nya teststräckor i anslutning till befintliga cykelbanor i närheten av ångturbon och utvärderas med avseende på stötdämpning (kritisk fallhöjd), friktion, hållbarhet och cyklisters acceptans, mm, på samma sätt som var tänkt i detta projekt.



2. Summary

For transport policy, climate, and health goals, such as functional goals and consideration goals to be achieved, cycling and walking infrastructure needs to be prioritized as cycling is positive for health, results in less emissions of carbon dioxide from road traffic and entails less intrusion into the traffic environment. Since the introduction of the zero vision, motor traffic injuries have steadily decreased in Sweden. For the unprotected road users, the trend is unfortunately the opposite; number of injured and killed increases. A large majority are victims of traffic accidents with unprotected road users.

The goal of the project was to develop and construct a test stretch with fall-friendly, rubber-containing asphalt pavement with the aim of resulting in new, more well-developed methods (protocols) for the evaluation of various shock-absorbing footpaths and cycle paths with a focus on the material properties of the road surfaces and increased traffic safety. The project was also expected to lead to an increased use of recycled rubber from end-of-life vehicle tires, which would enable a move up the waste ladder rather than simple energy recovery and replace virgin oil-based plasticizers that would otherwise have to be used to achieve the same function. The test stretch's asphalt pavement initially had very good and "fall-friendly" properties, but the durability was lacking. The material on the test rail began to crack after just a few weeks, and the decision was therefore made to replace the fall-friendly asphalt with a traditional asphalt coating. The problems with the poor durability of the test track led to the evaluation about the work environment during installation, shock absorbing capacity, friction, properties during operation and maintenance, durability over the seasons and evaluation of the cyclists' and pedestrians' experiences of the materials using perception studies in the field, etc., unfortunately had to be cancelled.

A large part of the project has instead been devoted to trying to clarify why the test section in Lund was so much worse than a previously laid test section in Uppsala (still in good condition after 5 years). A key question has been to try to clarify whether bitumen has been able to migrate into the pores of the rubber granules during the pre-treatment and for this advanced surface chemical analyzes have been used. It has been challenging because the rubber granules and bitumen have a very similar chemical composition, which makes it difficult to distinguish the materials. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) provides interesting and important information about the composition of the materials, but unfortunately cannot answer the question of whether the bitumen has penetrated the rubber pores or not. Both Raman microscopy and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy confirm our suspicions that the bitumen used in Uppsala has migrated into the pores of the rubber granules, while the bitumen used in Lund has not penetrated the rubber pores. We have also developed a new advanced method for the identification of bitumen distribution in rubber granules using Raman microscopy. An important conclusion from the project is therefore that it is important to use the "right" kind of bitumen and to have a sufficiently long pretreatment time so that the rubber granules have time to be saturated with bitumen.

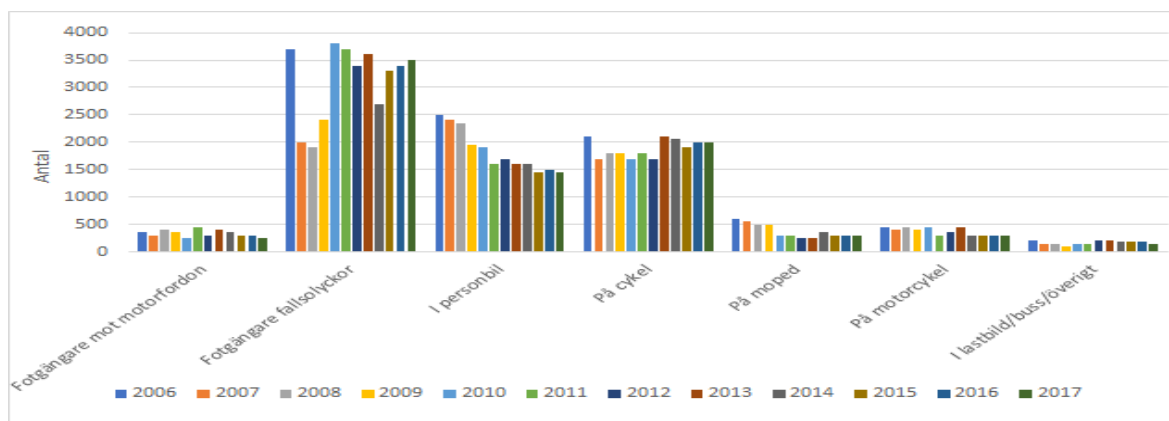
The plan going forward is to use the Steam Turbo unit to build at least two new test stretches in connection with existing cycle paths in the vicinity of the steam turbine and to be evaluated regarding shock absorption (critical drop height), friction, durability and cyclists' acceptance, etc., in the same way as was envisaged in this project.

3. Inledning och bakgrund

Transportinfrastrukturen behöver utvecklas och förbättras för att transportpolitiska-, klimat- och hälsomål, såsom funktionsmål och hänsynsmål, skall kunna uppnås [1]. Trafikverket, kommuner och regioner har vissa krav på utformning, funktion och användning av transportsystemet. För att uppnå ovanstående mål behöver cykel- och gånginfrastruktur

prioriteras då cykling är positivt för hälsan, resulterar i mindre utsläpp av koldioxid från vägtrafiken och medför mindre intrång i trafikmiljön [2]. I Sverige beräknas cykling utgöra 10 % av allt resande [3]. Det svenska cykelvägnätet utgörs av cirka 22 800 km. Dessa är fördelade på statliga cykelvägar (cirka 2800 km eller 12,3 procent), kommunala cykelvägar (cirka 18 900 km eller 82,9 procent) och enskilda cykelvägar (cirka 1100 km eller 4,8 procent) [4].

Sedan införandet av nollvisionen har motortrafikskador minskat stadigt i Sverige. För de oskyddade trafikanterna är trenden tyvärr den motsatta; antal skadade och dödade ökar. En stor majoritet är offer från trafikolyckor med oskyddade trafikanter. Se Figur 1.



Figur 1: Antal allvarligt skadade i transportsystemet mellan 2006–2017. Källa: Trafikverket, (2019).

Idag är singelolyckor ett stort problem inom trafiksäkerheten. I statistiken om allvarligt skadade i transportsystemet mellan 2006 och 2017 syns att mellan 1 600 – 2 200 personer skadades i samband med cykel som transportmedel och mellan 1 800 – 3 700 fotgängare skadades (se Figur 1) [5]. År 2013 dog cirka 1 662 personer, och över 270 000 sökte akut sjukvård efter att ha skadats i fallolyckor i trafik- och idrottsmiljöer med en totalkostnad på 24,6 miljarder kronor [6]. Forskning visar att en stor del av skadorna uppstår vid singelolyckor, vars orsaker kan härledas till trafikmiljön. Genom att göra denna mer förlåtande kan skador undvikas. RISE har under senare år fokuserat på olika materials inverkan på stötdämpande egenskaper exv. hos cykelbanor, bl. a med finansiering av Trafikverket och Vinnova. Inom BVFF-projektet ”Nya material för säkra vägbeläggningar för cyklister och fotgängare” (TRV 2015/53804) har testbanor på AstaZero med olika vägbeläggningar som utvecklats i tidigare projekt utvärderats m.a.p. cyklisters upplevelse/acceptans, årstid och olika fysikaliska egenskaper. I projektet ingick cykelpaneler med nära 100 försökspersoner, vilket är världens största undersökning vad gäller cyklisters upplevelser av material i olika vägbeläggningar. Försökspersonerna fick betygsätta olika attribut, tex: acceleration, inbromsning, manövrering av cykel och grepp/kontakt med cykelbanan. Studien gav mycket intressanta resultat med höga betyg m.a.p. acceptans och visar att nya material kan ge betydligt mer stötdämpande cykelbanor än dagens. Dessa testbanors hållbarhet var något sämre än referensbeläggningen, vilket motiverat ett fortsatt intensivt utvecklingsarbete. Detta har resulterat i en testbana med ”fallvänlig asfalt generation 2.0” som testats i mindre skala med mycket positiva resultat i Uppsala.

Vid RISE Stockholm har genomförts flera närliggande projekt; ”Förlåtande asfalt för cykel- och gångbanor” (Vinnovaprojekt som avslutades våren 2019) skall bidra till minskade skador genom förlåtande miljöer. Testbanan med fallvänlig asfalt-generation 2.0 ovan har utvecklats och anlagts inom ramen för detta projekt, se Figur 5 nedan. Projektet studerade även olika miljöfaktorer (bland annat mätning av asfaltsrök, polyaromatiska kolväten, mm.). Resultaten visade att låga tillverknings temperaturer (ca 90 °C) med modifierade bindemedel i asfalten ger mindre utsläpp än konventionella tillverkningsmetoder. BVFF-projektet 2016–025 ”Biomekanisk optimering av stötdämpande beläggning som fallskadeprevention för fotgängare och cyklister”, ett doktorandprojekt vid KTH, har utförts delvis i samarbete med RISE. RISE har också deltagit i ”Saferup!”, ett EU-projekt inom Marie Curie-programmet, som syftar till utbildning av 15 doktorander inom området säkra och hållbara cykel- och gångbanor. Ett av projekten handlade om inblandning av gummigranulat (från Ragn-Sells) i asfalten.

Detta projekt förväntades leda till en ökad användning av återvunnet gummi från uttjänta fordonsdäck, vilket skulle möjliggöra en förflyttning högre upp på avfallstrappan i stället för enkel energiåtervinning och ersätta jungfruliga oljebaserade mjukgörande material som annars skulle behöva användas för att uppnå samma funktion. Projektet förväntades också resultera i nya, mer välutvecklade metoder (protokoll) för utvärdering av olika stötdämpande gång- och cykelbanor med fokus på vägbeläggningarnas materialegenskaper. De nya väldokumenterade cykelbanorna skulle anläggas som teststräckor hos intresserade kommuner eller andra offentliga aktörer efter innovationsupphandling. Vi förväntade oss att projektet skulle identifiera minst en kommersiellt gångbar produkt, och stödja offentliga aktörer vid innovationsupphandlingar för fortsatt introduktion av fler teststräckor.

4. Genomförande

Projektarbetet var ursprungligen uppdelat i fyra arbetspaket:

AP 1. Information till kommuner om koncept och material Kontakta svenska kommuner och berörda myndigheter för att informera om det nya konceptet och de nya lovande materialen.

AP.2. Inventering av möjliga etableringar länkat till kommunernas behov och entreprenörernas tillgänglighet vid aktuell plats.

AP 3. Läggnings och utvärdering. Teststräckor med nya stötdämpande asfaltsbeläggningar anläggs och utvärderas inkluderande arbetsmiljö vid läggning, stötupptagande förmåga, friktion, egenskaper vid drift- och underhåll, beständighet över årstiderna samt utvärdering av cyklisternas och fotgängarnas upplevelser av materialen med hjälp av perceptionsstudier i fält. Detta innebär paneltester med försökspersoner som går och cyklar minst fyra gånger (en gång per årstid) under projekttiden. Om möjligt kommer djupanalys av STRADA-fall,

om sådan uppkommer på aktuell sträcka, också utföras. Parallellt med detta kommer samverkan med övriga branschaktörer, exv. metodgruppen för provning och kontroll av vägmaterial och vägytor, ske så att konceptet förankras och fler aktörer kompetensutvecklar inom området för att möta eventuella kommande krav.

AP 4. Projektkoordinering

Projektdeltagare och dess roller:

- **RISE AB, Avd. ”Material och Ytdesign”**: Projektkoordinator, Diskussioner med olika kommuner angående läggning av teststräckor med fallvänlig asfalt, utvärdering av lagda testytor (bl a HIC-(Head Injury Criterion)-mätningar, ytkemiska analyser av de modifierade asfaltsmaterialen (bl a SEM (Svepelektronmikroskopi), Konfokal Raman Spektroskopi, FTIR (Fourier Transform Infrarödspektroskopi)).
- **Ragn-Sells Däckåtervinning AB**: Ursprungligen tänkt leverantör av gummigranulat. Meddelade strax före projektstart att de inte kunde leverera till projektet.
- **Genan A/S**: Leverantör av gummigranulat i stället för Ragn-Sells
- **PEAB Asfalt AB**: Labtester med olika sammansättningar av fallvänlig asfalt. Anläggning av testytor och teststräcka med fallvänlig asfalt i Lund.
- **Svensk Däckåtervinning AB**: Ansvarig för kontakter och diskussioner med olika kommuner och materialleverantörer angående läggning av teststräckor med fallvänlig asfalt.

Pga av projektets utveckling (se nedan) kan denna rapport delas in i två delar:

1. Projektresultat t.o.m. läggning av teststräcka på Dalbyvägen i Lund
2. Projektresultat efter läggning av teststräcka på Dalbyvägen i Lund

5. Resultat och diskussion

5.1. Del 1: Projektresultat t.o.m. läggning av teststräcka på Dalbyvägen i Lund sommaren, 2020

Våren-2020:

- Byte av projektpartner (Genan A/S ersätter Ragn-Sells Däcksåtervinning AB som leverantör av gummigranulat till projektet). Se Ändringsbeslut 2020-02-26.
- Kick-Offmöte med samtliga projektpartners 19 februari, 2020 hos PEAB Asfalt i Västberga.
- Initiala blandningar och labskaletester av olika asfaltsbeläggningar på PEABs asfaltslab i Västberga. Framställning av olika provkroppar (t ex Marshallpuckar) för att hitta lämplig sammansättning till teststräckan i Lund.
- Presentation för och diskussion med olika kommuner, t ex Helsingborg, Lomma, Lund, angående fallvänliga asfaltsbeläggningar på cykelbanor
- Diskussioner med PEAB Asfalts läggingspersonal i Lund och representanter från Lunds Kommun inför anläggning av teststräckan i Lund.

Sommaren-2020:

- Anläggning av olika testytor med olika asfaltsammansättningar inom PEAB Asfalts område i Lund. Se Figur 2.



Figur 2: Testytor med olika asfaltsammansättningar inom PEAB Asfalts område i Lund

- Karakterisering av lagda testytor m.a.p. deras stötupptagningsförmåga genom HIC-(Head Injury Criterion)-mätningar (se Figur 3) och nötningstester med vinterväghållningsmaskin. HIC-mätningarna resulterade i bestämning av ”Kritisk Fallhöjd”. Ju högre kritisk fallhöjd desto mer stötdämpande är beläggningen. Vanlig standardasfalt har en kritisk fallhöjd på 0.2–0.3 m. Den kritiska fallhöjden hos de undersökta testytorna varierade mellan 0.9-1.2 m, beroende på beläggningarnas sammansättning och omgivningens temperatur. Man kan alltså säga att dessa beläggningar är ca 5 gånger mer stötdämpande än en vanlig standardasfaltbeläggning. Nötningstester på testytorna med en sopmaskin med stålborstar från Lunds Renhållningsverk (ytorna sopades ett flertal gånger, motsvarande ca två års soparbete) gav också positiva resultat och visade att de hade en god beständighet direkt efter eller i anslutning till läggningen.



Figur 3: HIC (Head Injury Criterion)-utrustning för bestämning av Kritisk Fallhöjd

- Slutligt beslut om asfaltsbeläggningens sammansättning, bl a baserat på resultat från HIC-mätningarna och nötningstesterna.
- 13 juli, 2020 utfördes läggning av teststräcka på en trafikerad cykelväg längs Dalbyvägen i Lund, cirka 300 meter lång. Den gamla beläggningen togs bort, underlaget justerades och den nya asfalten lades ut direkt på det obundna materialet. Utläggningen gick bra och beläggningen såg efter utförandet bra ut. Se Figur 4. Tyvärr fanns det ingen möjlighet att mäta Kritisk Fallhöjd på den

nylagda teststräckan pga rådande pandemi, men den bedömdes av närvarande PEAB- och SDAB-personal vara minst lika hög som på testytorna inom PEAB Asfalts område.



Figur 4: Läggnings av teststräcka (ca 300 m) med fallvänlig asfalt längs Dalbyvägen i Lund 13 juli, 2020.

5.2. Del 2: Projektresultat efter läggning av teststräcka på Dalbyvägen i Lund sommaren, 2020

Tyvär visade regelbundna inspektioner av teststräckan på bristande beständighet endast några veckor efter läggningen. Stenaggregat och gummigranulat lossnade från beläggningen. En möjlig förklaring till resultatet kan vara att det obundna underlaget på vissa ställen har varit mjukare vilket medfört att massan inte svarat på den packningsenergi som tillförts via vältarna. Som jämförelse var underlaget vid provytorna en hårt packad industriplan. Kombinationen av de sämre packningsförutsättningarna tillsammans med den rörelse som uppstår i beläggningen av trafiken kan ha medfört att beläggningen inte har haft tillräcklig kohesion, inre styrka. Gummigranulatet och stenmaterial har av den anledningen släppt. En annan bidragande orsak var förmodligen att gummigranulaten inte hade hunnit mättas av bitumen innan de blandades med ballasten. Försök att efterbehandla/repamera asfaltsbeläggningen utfördes, bl a genom applicering av en bitumen-emulsion men detta misslyckades tyvärr.

Ett gemensamt beslut fattades därför om att den fallvänliga asfalten skulle ersättas med en traditionell asfaltsbeläggning (AG-material). Detta utfördes av Peab Asfalt på uppdrag av Lunds kommun och den fallvänliga gummiasfalten forslades bort och återvanns som bärlager i en skogsväg som sedan täcktes av ett gruslager.

Teststräckans bristande beständighet har lett till att Miljöförvaltningen (MF) i Lund har ifrågasatt fortsatt användning av gummimaterial inom kommunen. Det bör dock noteras att det använda gummit från uttjänta fordonäck, levererat av Genan A/S, är miljöttestat och lakbarheten underskrider dricksvattenkvalitet. Kemiska ämnen i gummit är hårt bundna i materialet. Dessutom är gummit bundet i asfaltsmassan. Asfalten och de korn som kan slitas bort är tyngre än vatten och kommer därmed inte flyta bort med regnvattnet. Eventuella gummikorn kommer hamna nära vägen. Storleken på gummigranulatet är 2-6 mm så delar av materialet kan teoretiskt definieras som mikroplast (mindre än 5 mm). Planen var också

att placera ett mikropplastfilter i en av dagvattenbrunnarna för att mäta hur många gram granulater som fångas och vilken potentiell spridningsrisk som föreligger. Efter diskussioner med MF har projektgruppen fått lov att anlägga nya testytter inom PEAB Asfalts område i Lund. Om utvärderingen av dessa ger bra resultat kan MF ev. ge dispens och tillåta läggning av en ny teststräcka i Lund. Anläggning av nya testytter har dock tyvärr inte kunnat utföras inom ramen för detta projekt.

Resultaten visade som sagt att teststräckans asfaltsbeläggning initialt hade mycket goda och "fallvänliga" egenskaper, men beständigheten var bristfällig. Materialet på teststräckan började spricka upp redan efter några veckor. Det är allmänt känt sedan flera år tillbaka att förbehandling av gummigranulat med bitumen är en kritisk parameter vid tillverkning av gummiasfalt. I detta projekt ville vi undersöka om de goda resultaten från teststräckan i Uppsala 2017 kunde upprepas (se Figur 5). Där förbehandlades gummigranulaten med ett mjukbitumen (V6000) i ett s.k. Ångturboverk kvällen innan läggningen vid 80 °C (utan ånga). Morgonen efter blandades det förbehandlade gummit med ballast och ny bitumen med ånga i Ångturbon. Denna bana är än idag, 5 år senare, i bra skick och visar inga tendenser till sprickbildning eller bristande beständighet.

I Lund ville vi se om vi kunde få ett lika bra resultat i ett vanligt asfaltverk. Även här förbehandlades gummigranulaten med bitumen (polymermodifierat bitumen (PMB)) i asfaltverket men endast någon timme samma morgon innan de blandades till asfalt och anlades. Mjukbitumen V6000 kunde inte användas då det inte klarar temperaturen som användes i asfaltverket (140 °C). Vi misstänker att förbehandlingstiden blev för kort och att gummigranulaten inte hann mättas eller bli helt täckta med bitumen och att de därför torkade ut. Det är ännu oklart vilken roll Ångturbon och tidsaspekten spelade vid läggningen i Uppsala, men det skulle kunna vara så att ångan underlättar omblandningen av gummit med bitumen och ballasten. Några av målen med fortsättningen av detta projekt har därför varit att försöka klargöra Ångturbons och förbehandlingstidens roll vid framställning av beständig gummiasfalt.



Figur 5: Teststräcka med fallvänlig asfalt i Uppsala.

Enligt projektplanen skulle teststräckan utvärderas med avseende på arbetsmiljö vid läggning, stötupptagande förmåga, friktion, egenskaper vid drift- och underhåll, beständighet över årstiderna samt utvärdering av cyklisternas och fotgängarnas upplevelser av materialen med hjälp av perceptionsstudier i fält. Detta skulle ha inneburit paneltester med försökspersoner som går och cyklar på teststräckan minst fyra gånger (en gång per årstid) under projekttiden. En cykelbana med standardasfalt på andra sidan Dalbyvägen skulle ha använts som referens.

Då Lunds kommun ersatt teststräckan med en traditionell asfaltsbeläggning kunde den ursprungliga projektplanen av förklarliga skäl inte genomföras. Den har därför ersatts med en alternativ plan (enl. Energimyndighetens beslut 2020-11-25). Den nya planens målsättning har varit:

- Att mha olika ytkemiska analyser av de ingående materialen, gummigranulat och bitumen och färdig asfalt, ifrån både Uppsala och Lund, försöka få en koppling mellan materialens kemiska sammansättning och deras fysikaliska egenskaper och påvisa eventuella skillnader i sammansättning som skulle kunna förklara skillnaden i beläggningarnas beständighet.
- Att bli studera tidsfaktorn vid förbehandling av gummi med bitumen (Examensarbete vid Lunds Tekniska Högskola, delvis finansierat av detta projekt och i samarbete med PEAB Asfalt och Genan A/S)

- Att utvärdera varför övergången från småskalig (inom tidigare projekt anlagd teststräcka) till storskalig process (inom projektet anlagd teststräcka) för beredning och läggning av massan orsakat minskad beständighet

5.2.1. Ytkemiska analyser av de ingående materialen

5.2.1.1. Prover som analyserats

Prover från asfaltsbeläggningarna både i Lund och i Uppsala har samlats in och analyserats:

- I Uppsala: Mjukbitumen V6000 från PEAB Asfalt, gummigranulat från Ragn-Sells AB (både med och utan förbehandling med V6000)
- I Lund: Polymermodifierat bitumen (PMB) 40/80–55) från PEAB Asfalt och gummigranulat från Genan A/S.

Utöver prover från de båda teststräckorna har provblandningar utförts på lab hos RISE i syfte att försöka simulera de respektive förbehandlingsprocesserna.

Simulering av förbehandlingen av gummigranulat i Uppsala

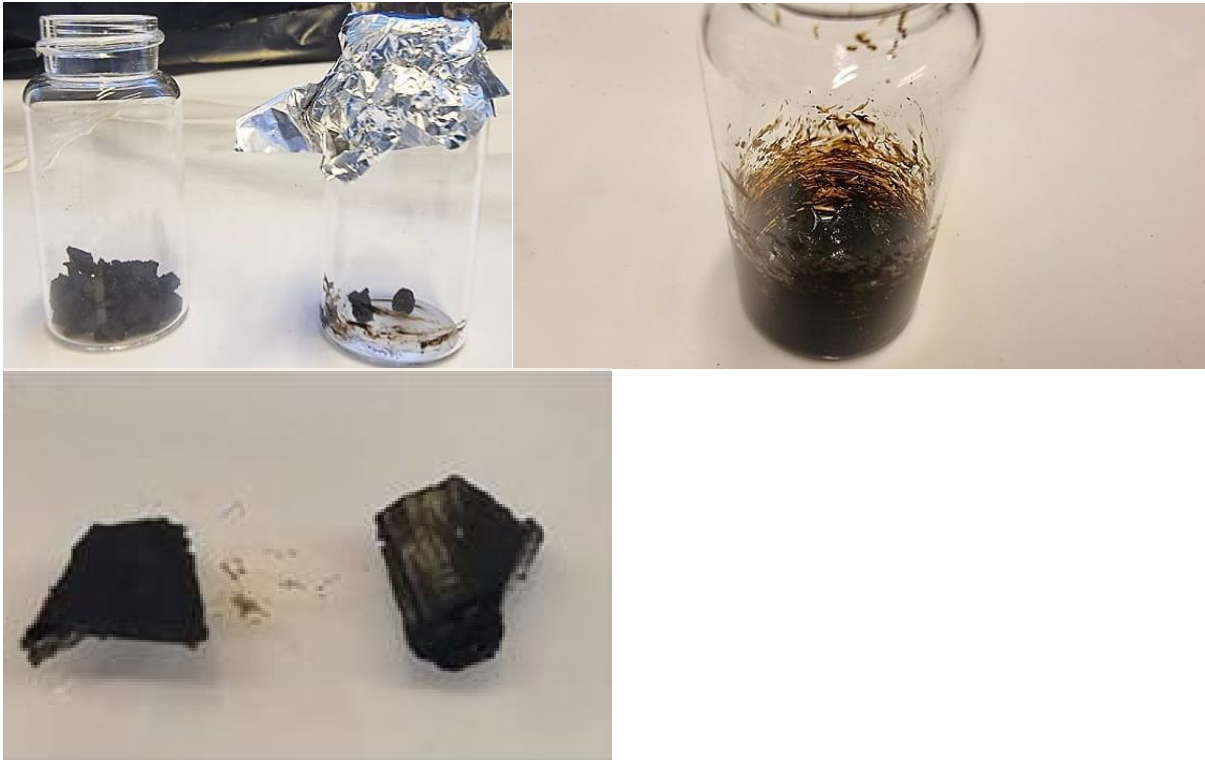
Mjukbitumen V6000 värmdes till 80°C i 1 h. Gummigranulat från Ragn-Sells tillsattes så att bitumenkoncentration blev 10 vikt-%, blandades och förvarades i en ugn vid 80°C. Därefter stängdes ugnen av och blandningen fick svalna över natten (totalt ca 18 h). Se Figur 6.



Figur 6: Förbehandling av gummigranulat med bitumen enligt procedur i Uppsala

Simulering av förbehandlingen av gummigranulat i Lund

Polymermodifierat bitumen (PMB 45/80–55) värmdes till 140°C i 1 h. Gummigranulat från Genan tillsattes så att bitumenkoncentration blev 7 vikt-%, blandades under 1 h i en ugn vid 140 °C. Se Figur 7.



Figur 7: Förbehandling av gummigranulat med bitumen enligt procedur i Lund

5.2.1.2. Analysmetoder

Följande analysmetoder har använts:

- Svepelektronmikroskopi med energidispersiv röntgenspektroskopi (SEM/EDS)
- Konfokal Ramanmikroskopi
- Fourier Transform Infraröd (FTIR) spektroskopi

5.2.1.2.1. SEM/EDS-analyser

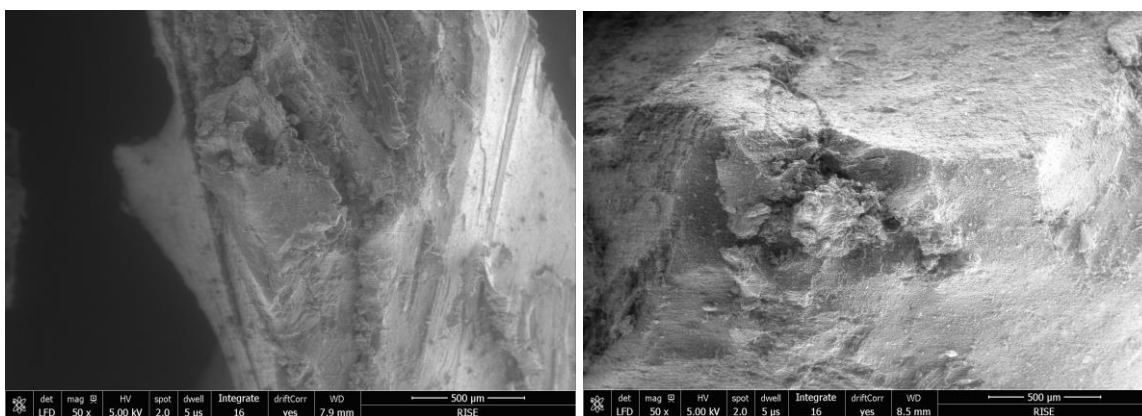
Svepelektronmikroskopi med energidispersiv röntgenspektroskopi (SEM/EDS) är den mest kända och mest använda av ytanalytiska tekniker. Högupplösta bilder av yttopografi, med utmärkt skärpedjup, produceras med hjälp av en högfokuserad, skannande (primär) elektronstråle. Primärelektronerna genererar många sekundära elektroner med låg energi. Intensiteten hos dessa sekundära elektroner styrs till stor del av provets yttopografi. En bild av provytan kan således konstrueras genom mätning av sekundär elektronintensitet som en funktion av positionen för den svepande primära elektronstrålen. Analysen av karakteristiska röntgenstrålar (EDS-analys) som emitteras från provet ger mer kvantitativ elementär information. Sådan röntgenanalys kan begränsas till analytiska volymer så små som 1 kubikmikron.

SEM-analyser av gummigranulat:

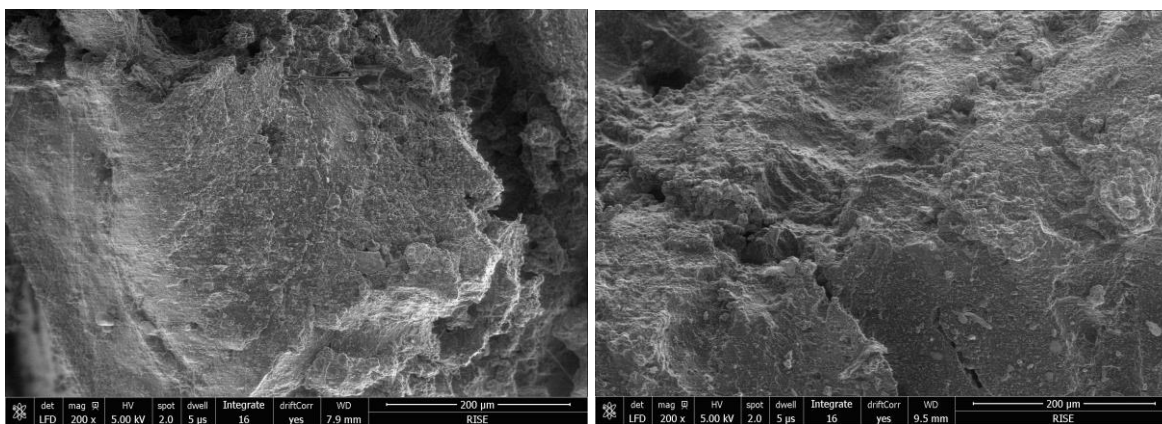
Ett syfte med analyserna var till exempel att undersöka om bytet av gummigranulatsleverantör under projektiden har haft någon inverkan på asfaltsbeläggningarnas sammansättning och beständighet, dvs om den kemiska sammansättningen i granulaten från Ragn-Sells skiljer sig från sammansättningen i Genans granulater.

Jämförelse mellan yttopografin hos gummigranulat från Ragn-Sells och Genan vid olika förstoringar

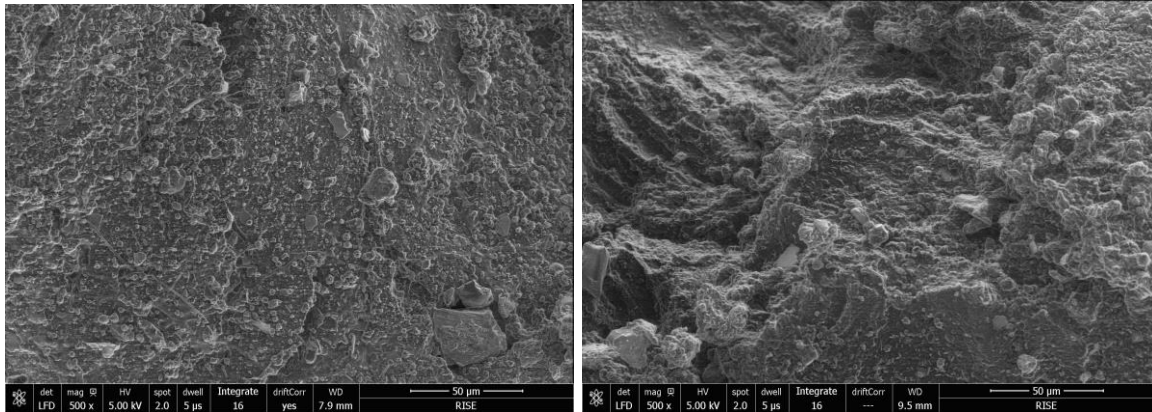
Typiska SEM-bilder på olika gummigranulat från både Ragn-Sells och Genan vid olika förstoringar visas i Figur 8–11 nedan.



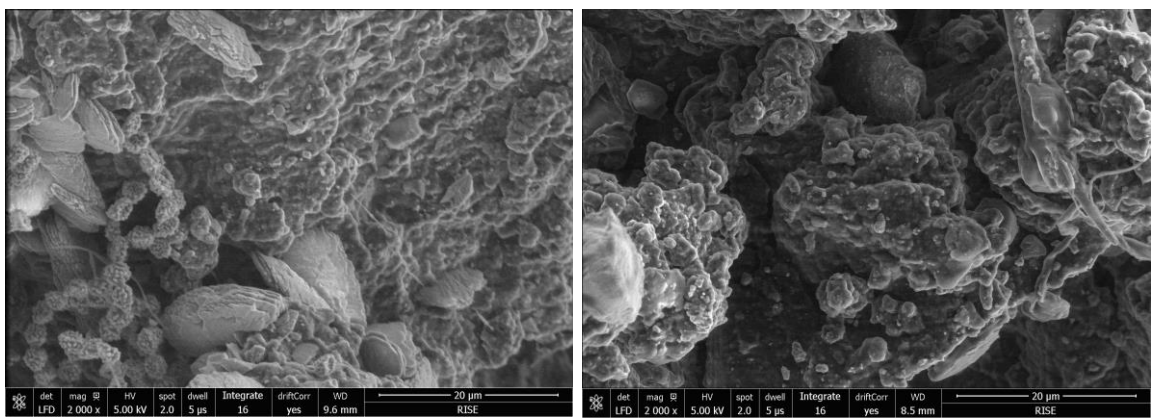
Figur 8: *Vänster:* Ragn-Sells gummi; *höger:* Genan gummi vid 50 x förstoring



Figur 9: *Vänster:* Ragn-Sells gummi; *höger:* Genan gummi vid 200 x förstoring



Figur 10: *Vänster:* Ragn-Sells gummi; *höger:* Genan gummi vid 500 x förstoring

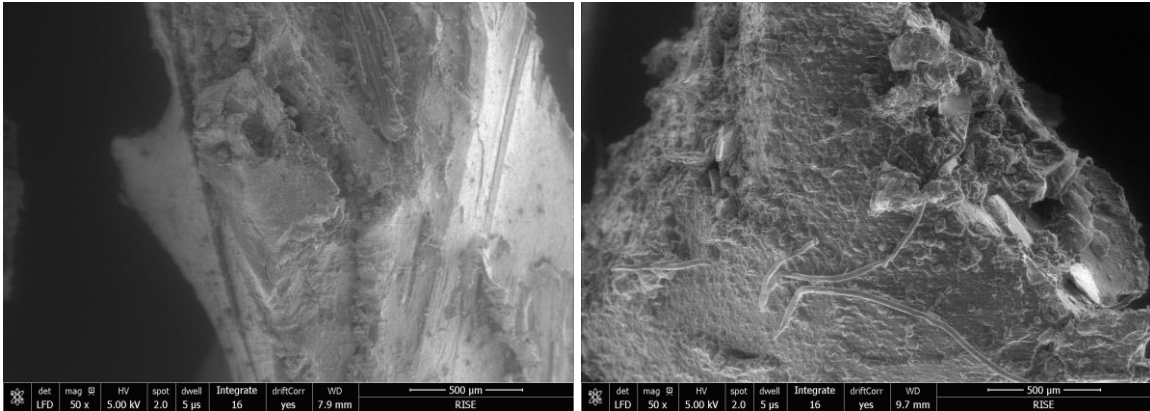


Figur 11: *Vänster:* Ragn-Sells gummi; *höger:* Genan gummi vid 2000 x förstoring

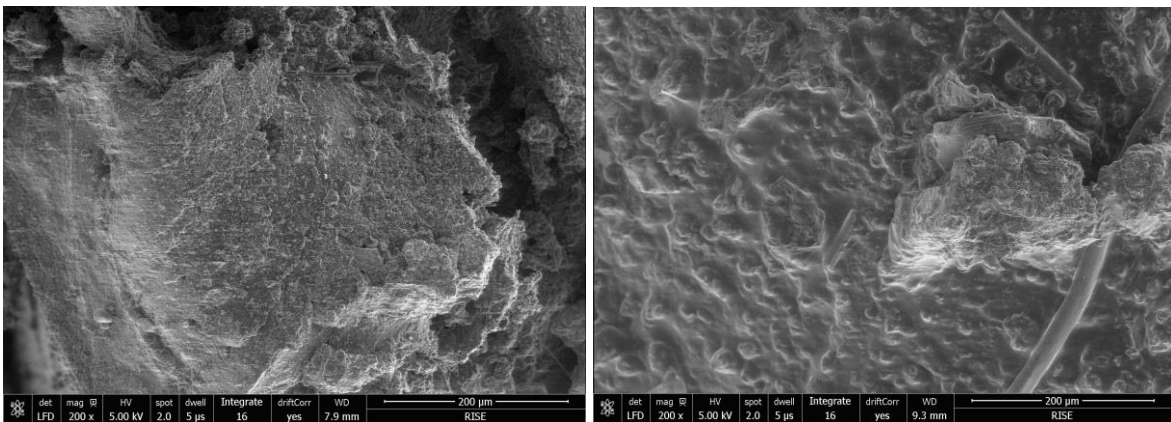
En slutsats från SEM-analyserna är att yttopografin varierar mellan olika granulat och även på olika ställen på ett och samma granulat. Man kan därför inte fastslå att det är någon speciell skillnad i yttopografi mellan granulat från Ragn-Sells och Genan.

Jämförelse mellan yttopografin hos gummigranulat från Ragn-Sells med och utan förbehandling med bitumen

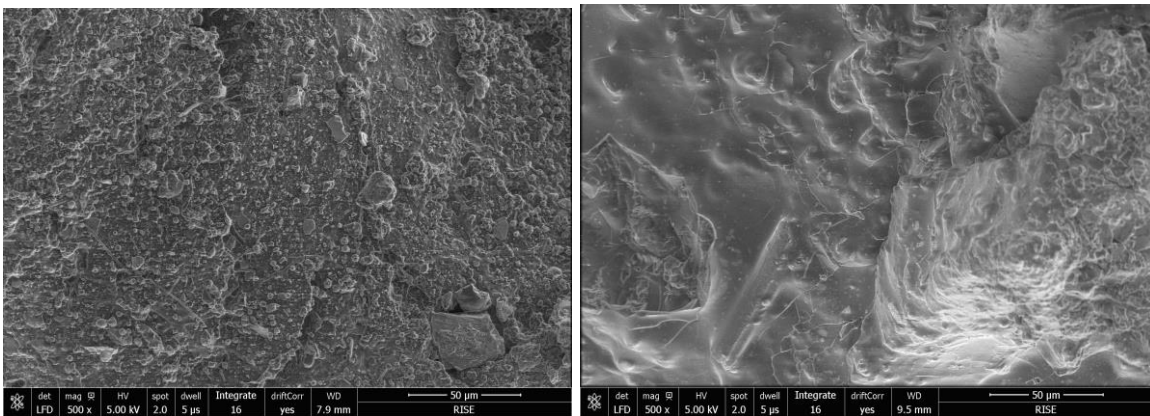
Obehandlade gummigranulat från Ragn-Sells har jämförts med granulat som har förbehandlats med mjukbitumen V6000 (som användes vid läggning av teststräckan i Uppsala). Några typiska SEM-bilder på gummigranulat från Ragn-Sells med och utan förbehandling vid olika förstoringar visas i Figur 12–15 nedan.



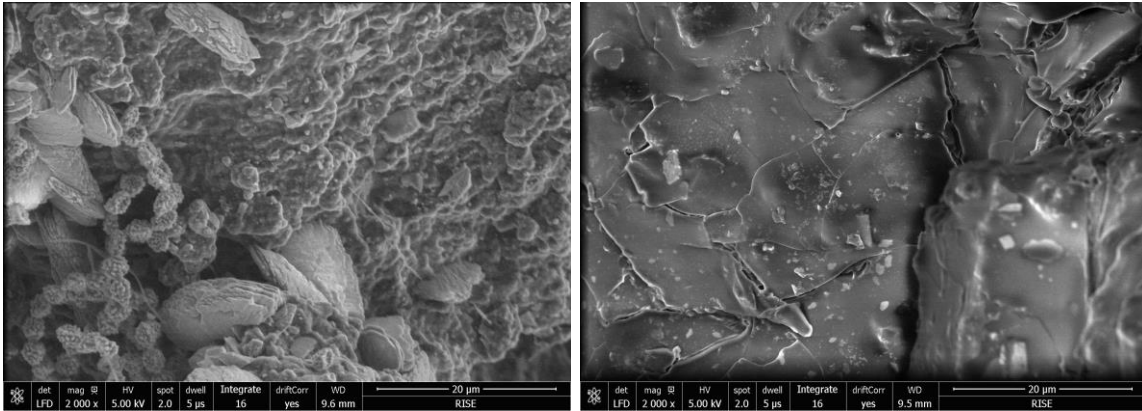
Figur 12: Yttopografi hos: *vänster*: Obehandlat gummi; *höger*: Förbehandlat gummi vid 50 x förstoring



Figur 13: Yttopografi hos: *vänster*: Obehandlat gummi; *höger*: Förbehandlat gummi vid 200 x förstoring



Figur 14: Yttopografi hos: *vänster*: Obehandlat gummi; *höger*: Förbehandlat gummi vid 500 x förstoring

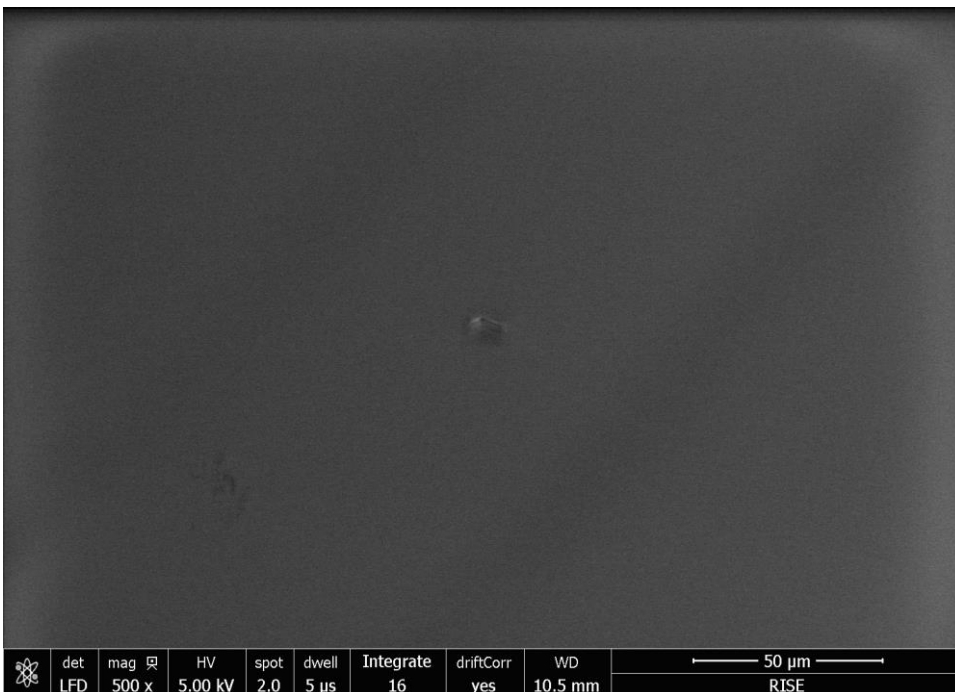


Figur 15: Yttopografi hos: *vänster:* Obehandlat gummi; *höger:* Förbehandlat gummi vid 2000 x förstoring

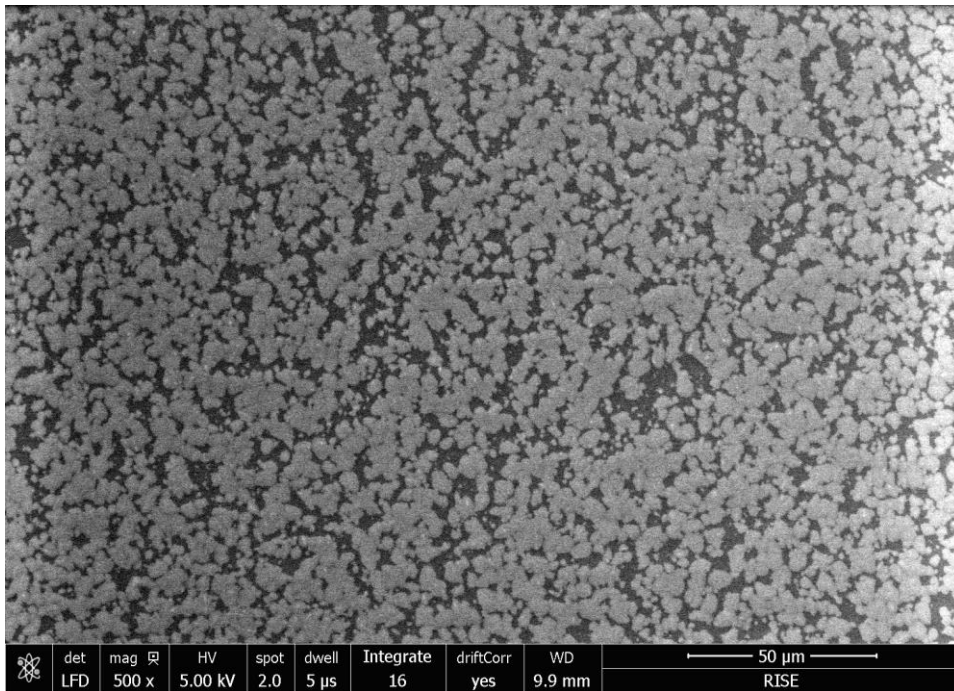
SEM-bilderna i Figur 12-15 visar på skillnader i yttopografi mellan obehandlat och förbehandlat gummi. Det förefaller som om bitumen fyller ut ojämnheter på granulatens yta. Däremot kan man inte se om bitumen har trängt in i gummits porer.

SEM-analyser av bitumen

De två olika bitumen som använts, mjukbitumen V6000 och polymermodifierat bitumen PMB 40/80-55, har analyserats m.a.p. yttopografi och några typiska SEM-bilder visas nedan i Figur 16 och 17 vid samma förstoring.



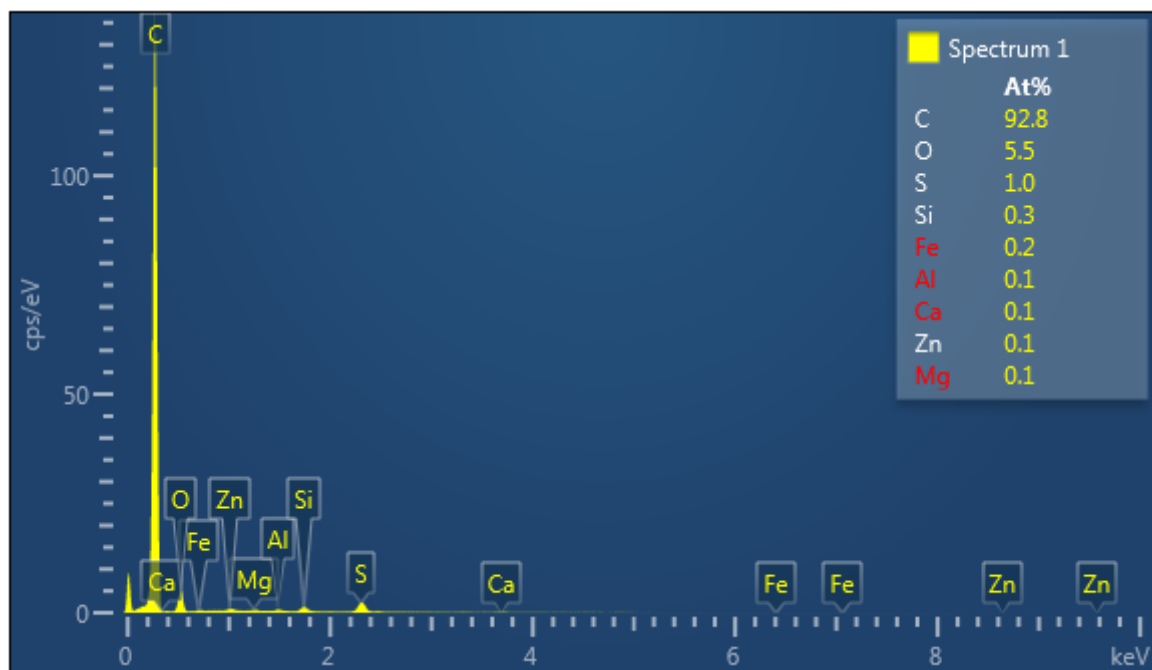
Figur 16: Yttopografi hos mjukbitumen V6000. Förstoring: 500 x



Figur 17: Yttopografi hos polymermodifierat bitumen PMB 40/80–55. Förstoring: 500 x

EDS-analys av gummigranulat och bitumenprover

EDS-analys har använts för bestämning av grundämnessammansättningen hos de olika gummigranulaten och bitumenproverna. Ett typiskt ”EDS-spektrum” visas i Figur 18 (här för gummigranulat förbehandlat med bitumen) och resultaten är sammanställda i Tabell 1.



Figur 18: EDS-spektrum för gummigranulat förbehandlat med bitumen

Tabell 1: Grundämnessammansättning hos olika gummigranulat och bitumenprover enligt EDS-analys

Prov	Koncentration (atom-%)				
	C	O	S	Si	Zn
Gummigranulat Genan	95.6 ± 0.2	3.1 ± 0.2	0.50 ± 0.02	0.47 ± 0.03	0.27 ± 0.03
Gummigranulat Ragn-Sells	95.3 ± 0.8	3.5 ± 0.7	0.04 ± 0.01	0.84 ± 0.03	0.24 ± 0.01
Gummigranulat Ragn-Sells-Förbehandlat med bitumen	92.7 ± 0.4	5.5 ± 0.3	1.0 ± 0.1	0.30 ± 0.02	0.10 ± 0.03
Mjukbitumen V6000	97.0 ± 0.3	1.9 ± 0.2	1.1 ± 0.1	-	-
PMB 40/80-55	96.3 ± 0.3	2.6 ± 0.1	1.1 ± 0.03	-	-

Som framgår av Tabell 1 har de båda gummigranulaten mycket lika sammansättning. EDS-analysen visar på förekomsten av många grundämnen men de flesta i mycket låga halter. De mest signifikanta grundämnena är C, O och S och återfinns både i gummigranulaten och bitumenproverna, vilket gör det svårt att särskilja dessa när de blandas. Gummiproverna innehåller fler grundämnen än bitumenproverna, t ex Si och Zn, men halterna är för låga för att vara signifikanta. Det med bitumen förbehandlade gummigranulatet innehåller

Slutsatsen från SEM/EDS-analyserna blir att de ger intressant och viktig information om materialens sammansättning, men de kan tyvärr inte besvara frågan om bitumen har trängt i gummiporerna eller inte.

5.2.1.2.2. Konfokal Ramanmikroskopi

Konfokal Ramanmikroskopi (eller Spektrometri) är en högflexibel analysmetod som möjliggör karakterisering av en mängd olika material, oftast utan påverkande provpreparering. Med hjälp av denna teknik kan man inte bara mäta fördelningen av olika komponenter i ett prov utan även bestämma om dessa komponenter har förändrats i dess kemiska struktur på grund av yttre påverkan. RISE äger en Witec Alpha 300 RAS som är utrustad med två olika lasrar som utsätter provet för en väldefinierad våglängd av ljus. Grön 532 nm laser användes i denna studie. Provet växelverkar med ljuset och ändrar våglängden på olika sätt som möjliggör en analys av den kemiska strukturen genom ett så kallat Ramanspektrum. Lasereffekten optimerades till cirka 0,7–1 mW för att förhindra nedbrytning av proverna (vissa skador inträffar redan vid 3–5 mW.) Mätningarna utfördes i ett singelspektrumläge, avbildningsläge och konfokalt avbildningsläge. Följande prover har analyserats:

Bitumen: Mjukbitumen V6000, Polymermodifierad bitumen (PMB 40/80–55)

Gummigranulat: obehandl. Genan, obehandl. Ragn-Sells, Ragn-Sells förbehandlat med V6000 bitumen

Asfalt: Asfaltsprover från teststräckor i Lund och Uppsala

Mätkonceptet som använts i denna studie (grad av oordning)

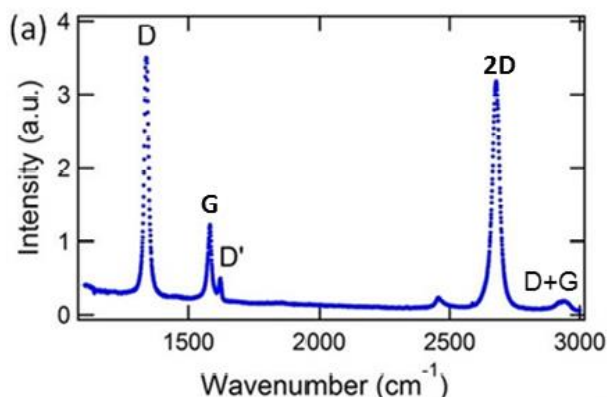
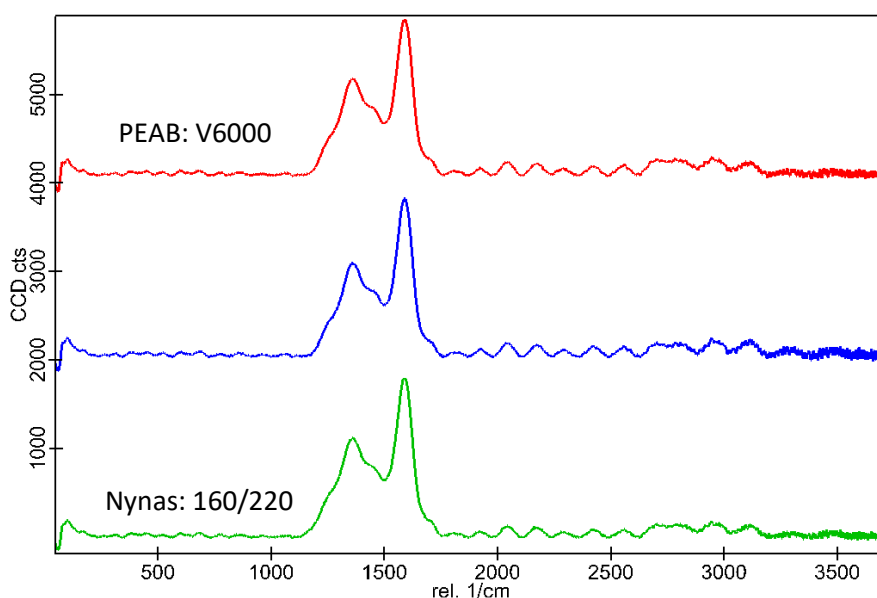


Fig.19 Raman spektrum

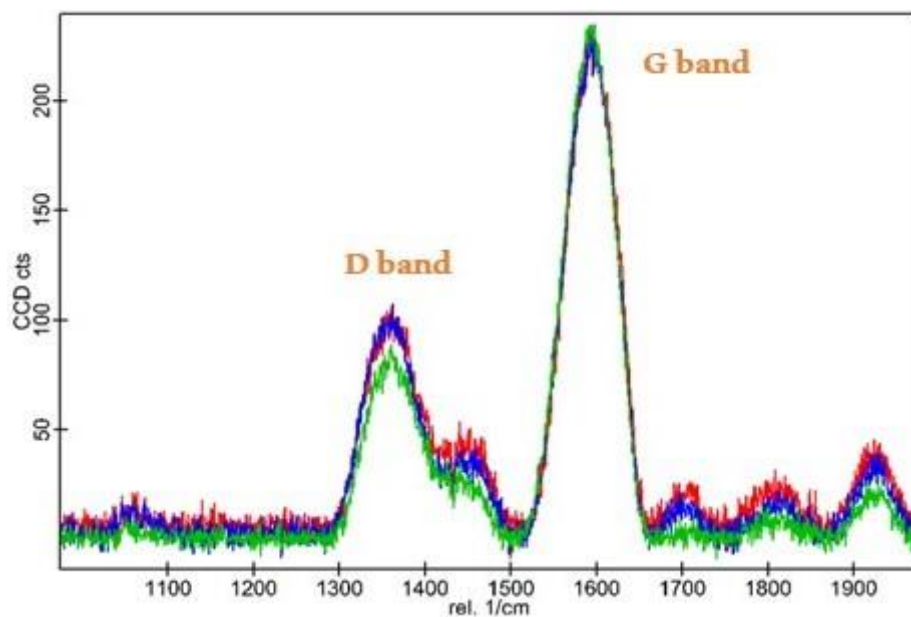
Oordning i det kristallina gittret orsakar förändringar i grafen-ramanspektra (Figur 19). Det mest uppenbara är uppkomsten av nya toppar, den så kallade D ($\sim 1200\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$). Intensitetsförhållandet mellan det störningsinducerade D-bandet och det första ordningens tillåtna tangentiella G-bandet, inklusive beroendet av ID/IG med excitationslaservåglängden används för identifiering av oordningsgraden. Genom användning av förhållandet mellan toppintensiteter ID/IG kan man använda Raman-spektra för karakterisering av oordningsnivån.

Raman spektra för olika bitumen

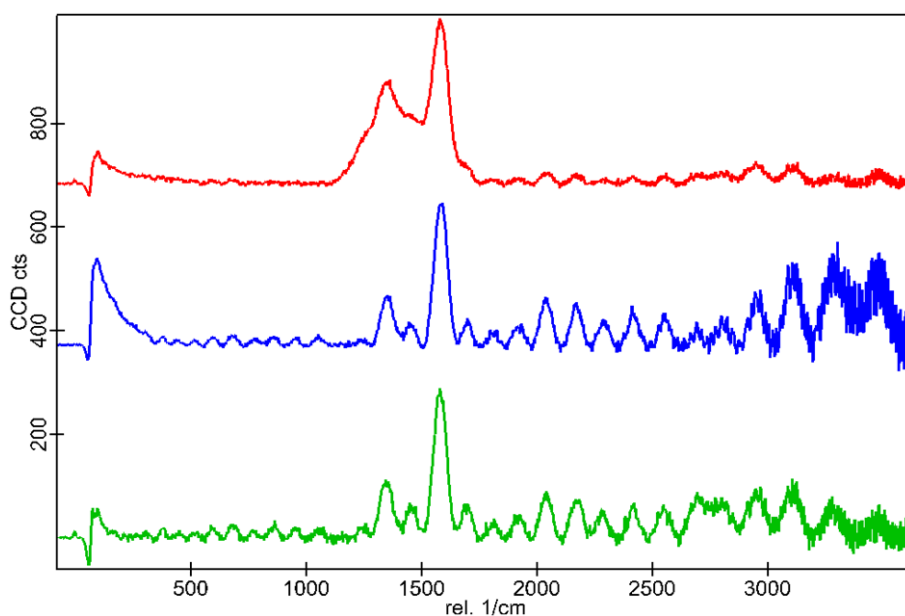
Några typiska Ramanspektra för några olika bitumenprover visas i Figur 20–22.



Figur 20: Typiska Ramanspektra för bitumenprover, Mjukbitumen V6000 och 160/220



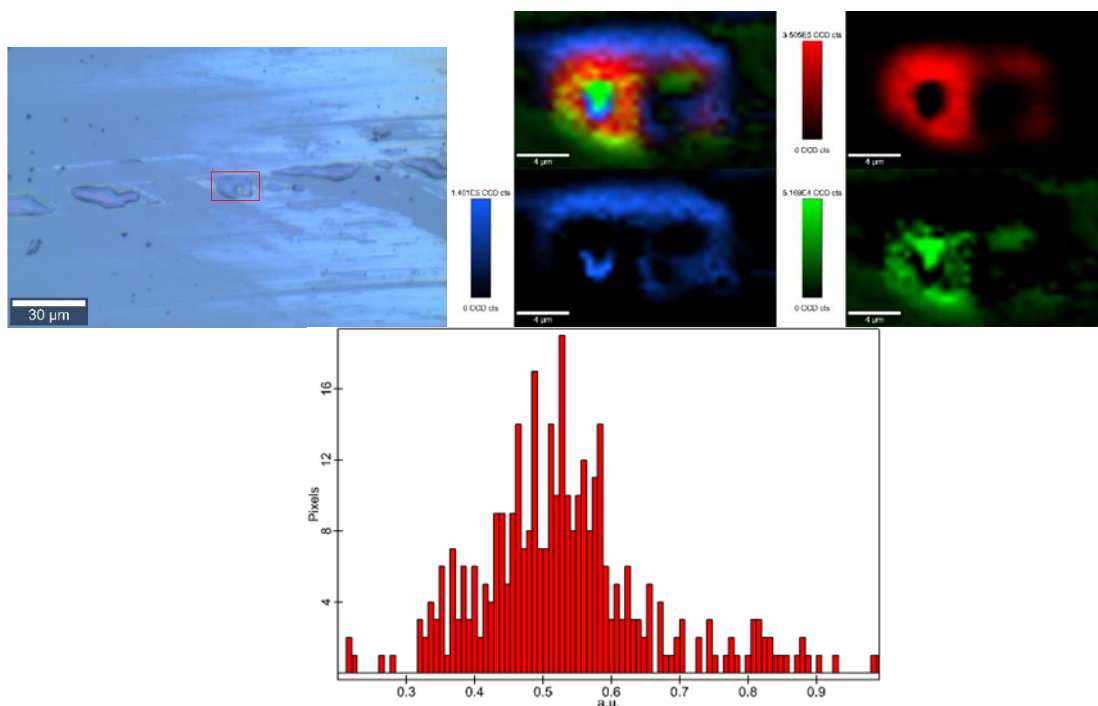
Figur21: Högupplösta mätningar med 1800-gitter av V6000 (blå och röd signal) och 160/220 (grön signal) bitumenprover.



Figur 22: Typiska Ramanspektra för polymermodifierat bitumen, PMB40/80-55

Uppenbarligen är D- och G-banden identifierbara och en Lorentzian-topp kan anpassas för att utvärdera graden av oordningsförhållande.

En Raman-avbildning för PMB-bitumen visas i Figur 23.

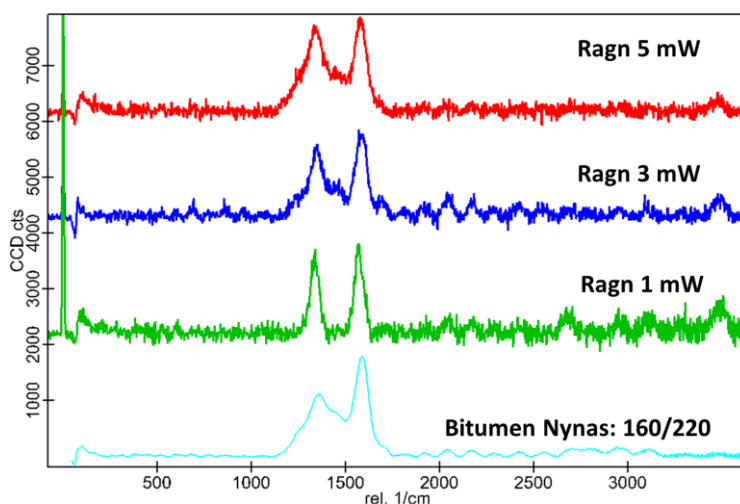


Figur 23: En Raman-avbildning utfördes på bitumendroppar (PMB) (till vänster). De utvärderade Raman-kartorna för tre komponenter erhöles (bilden till höger). Tre olika komponenter är för bitumen men med vissa skillnader i grad av störning. Graden av oordning ($I(D)/I(G)$ -förhållande) utvärderades för varje uppmätt pixel och dess fördelning visas som ett histogram (undre bild).

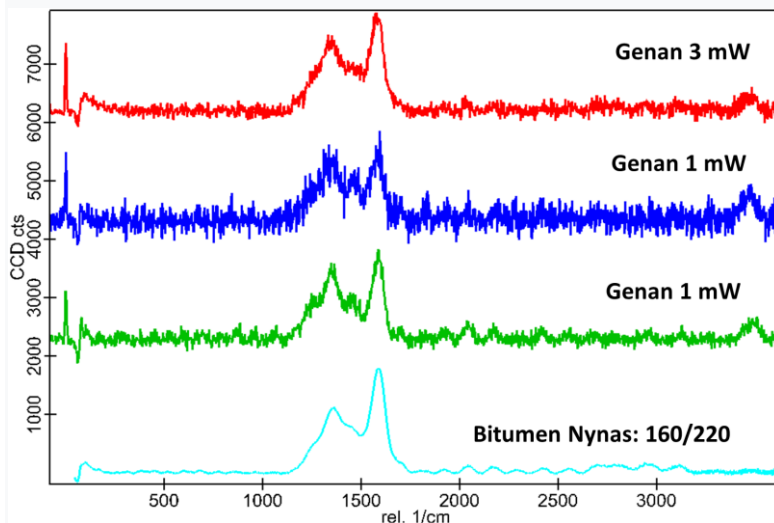
Fler Ramanavbildningar för olika bitumen återfinns i bifogad Ramanrapport.

Raman spektra för olika gummigranulat

Typiska Ramanspektra för olika gummigranulat visas i Figur 24 och 25 nedan.



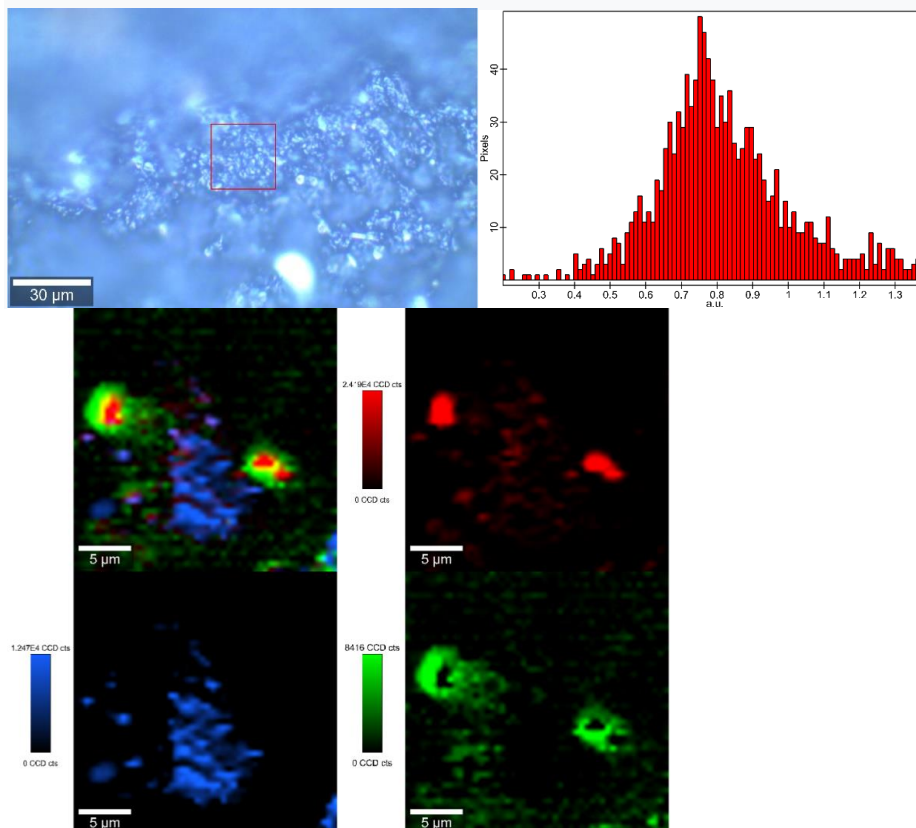
Figur 24: Typiska Ramanspektra för Ragn-Sells gummiprover, vid olika lasereffekter jämfört med bitumen 160/220



Figur 25: Typiska Ramanspektra för Genan gummiprover, vid olika lasereffekter jämfört med bitumen 160/220

Fler Ramanspektra för olika gummigranulat visas i bilagd Ramanrapport.

För att få mer statistik utfördes Raman-avbildning för att studera graden av störningsfördelning via utvärderade I(D)/I(G)-histogram. Se Figur 26.

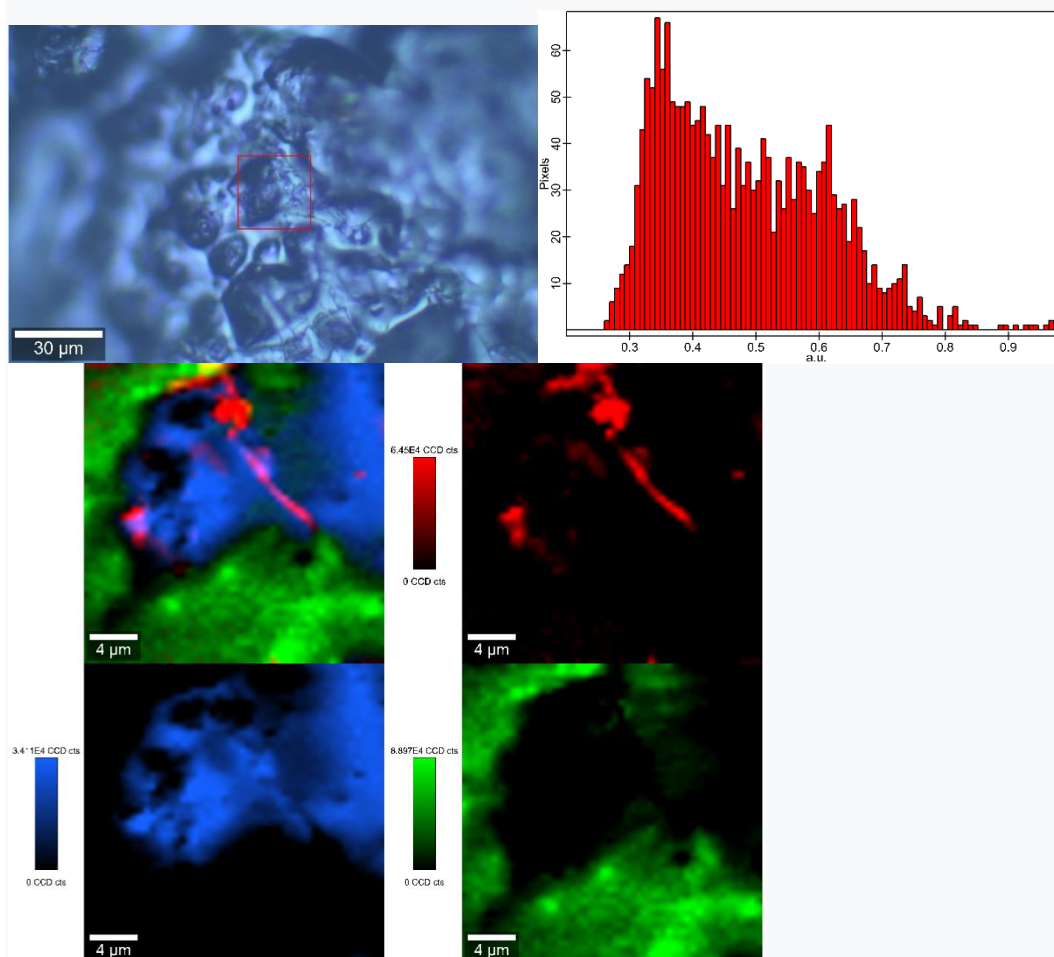


Figur 26: En Raman-avbildning av Ragn-Sells gummi utfördes i det röda fyrkantmarkerade området (till vänster). De utvärderade Raman-kartorna och olika komponenter erhöles (bild

längst ner). Olika komponenter uppvisar viss variation i materialsammansättning eller grad av oordning. Graden av oordning utvärderades för varje uppmätt pixel och dess fördelning visas som ett histogram (bilden till höger)

Gummigranulat (Ragn-Sells) förbehandlat med V6000 bitumen

Ramanavbildning av gummigranulat (Ragn-Sells) förbehandlat med V6000 bitumen (från Uppsala) visas i Figur 27.



Figur 27: En Raman-avbildning Gummigranulat (Ragn-Sells) förbehandlat med V6000 bitumen. Utfördes i det röda fyrkantmarkerade området (till vänster). De utvärderade Raman-kartorna och olika komponenter erhöles (bild längst ner). Olika komponenter uppvisar viss variation i materialsammansättning eller grad av oordning. Graden av störning utvärderades för varje uppmätt pixel och dess fördelning visas som ett histogram (bilden till höger). Beräknade I(D)/I(G)-förhållande presenteras i Tabell 2.

Fler Ramanavbildningar för olika gummigranulat återfinns i bifogad Ramanrapport.

I(D)/I(G)-förhållande för olika bitumen- och gummi prover

I(D)/I(G)-förhållande för olika bitumen- och gummi prover har beräknats från olika Ramanavbildningar och sammanställts i Tabell 2 nedan.

Tabell 2: Uppmätta grad av oordning-kvoter I(D)/I(G) för olika bitumen- och gummiprover

Samples	Spectra			Map			Average	Average
	1	2	3	1	2	3	Spectra	Map
Bitumen								
V6000,	0.44	0.59	0.44				0.49±0.09	
160/220,	0.36	0.6	0.51				0.49±0.12	
PMB	0.35	0.38	0.8	0.65	0.51	0.59	0.51±0.25	0.58±0.07
Rubbers								
Ragn-Sells	0.92	0.85	0.92	0.7	0.78	0.75	0.89±0.04	0.74±0.04
Genan	0.75	0.77	0.7	0.75	0.76	0.72	0.74±0.04	0.74±0.02
Förbehandlat gummi			Peak1	0.44	0.36	0.35		0.38±0.05
			Peak2	0.56	0.56	0.54		0.55±0.02

Graden av oordning är mindre för bitumen än för gummi. Variationen i I(D)/I(G) är relativt liten mellan olika bitumen. I(D)/I(G)-förhållandet för båda gummin är mycket lika enligt Raman-kartläggning (bättre statistik), medan 3-punktsspektramätningar tyder på att I(D)/I(G) är större för gummigranulaten från Ragn-Sells. Viktigt: förbehandlade prover (V6000 och Ragn-Sells gummigranulat från Uppsala) uppvisar två karakteristiska fördelningar, en runt 0,4 som är nära bitumenprover och en runt 0,55 som är närmare gummi (eller variation i bitumen).

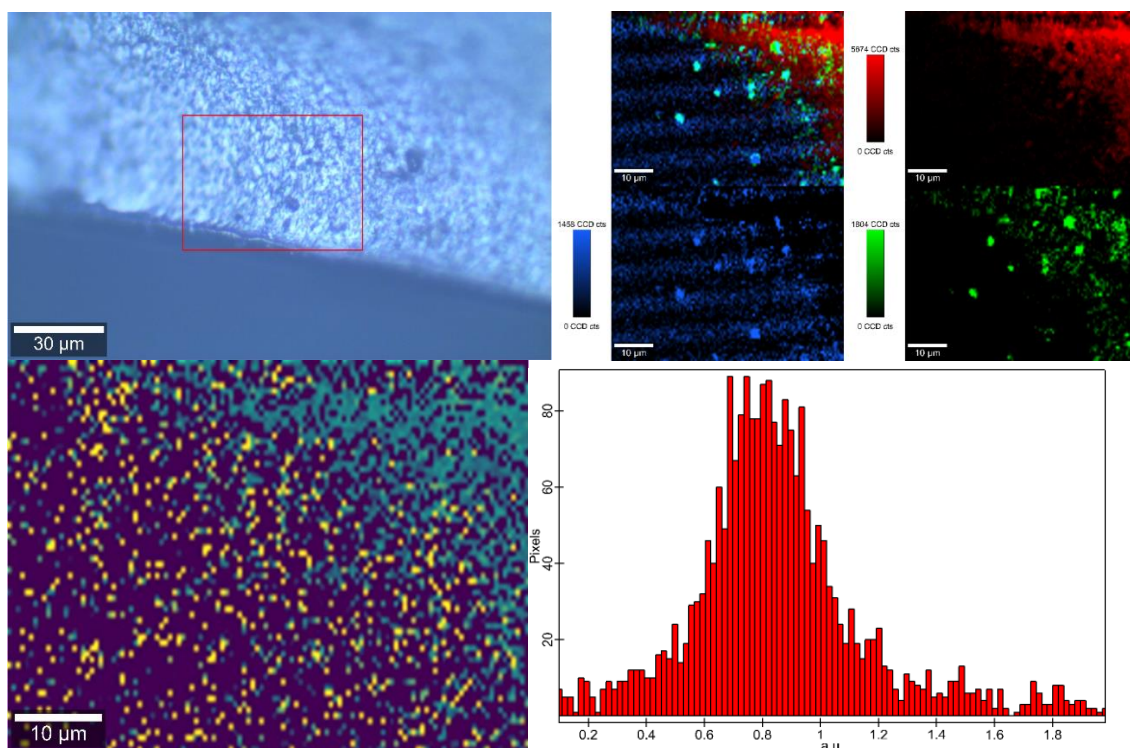
Bitumen adsorptionstester

Ramananalys av olika bitumen i kontakt med gummigranulat.

Simulering av förbehandlingen av gummigranulat i Lund

Prov: PMB 7% och Genan gummigranulat 93%

En Ramanavbildning av ett gummiprov som förbehandlats enligt receptet i Lund, dvs 1h blandning vid 140 °C, visas i Figur 28.



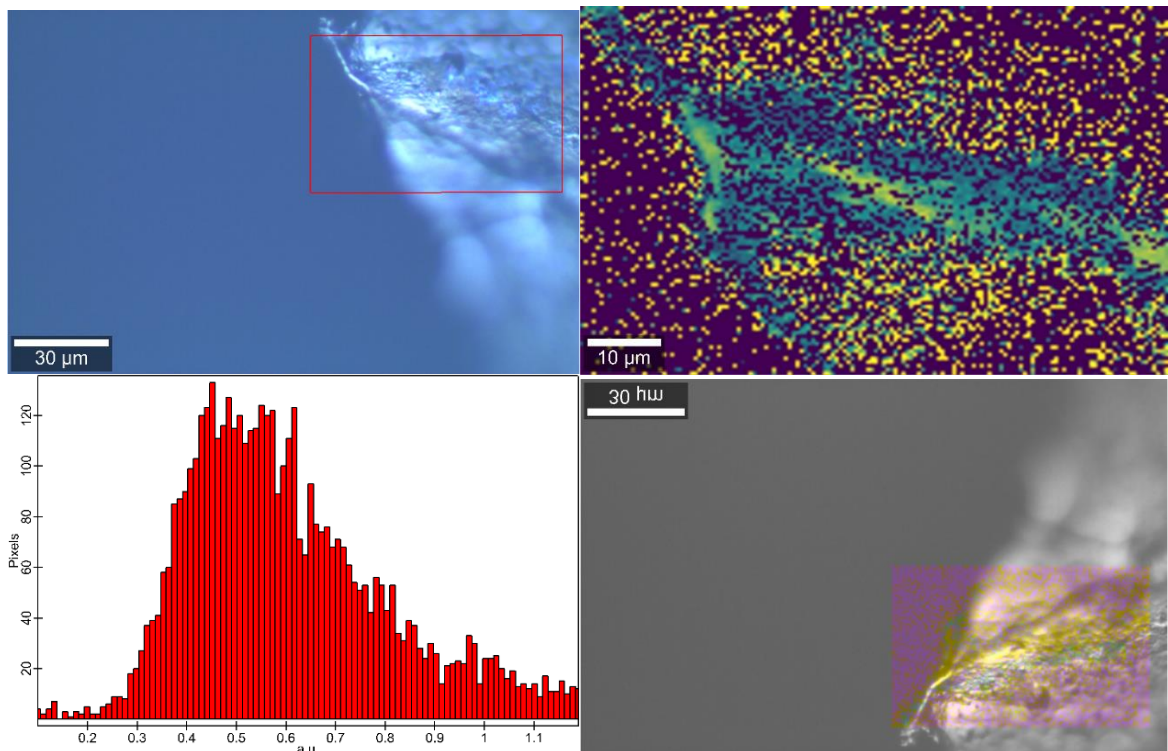
Figur 28: Prov: PMB 7% och Genan gummigranulat 93% Den optiska bilden för det studerade området, där Raman-kartan mättes inom det röda rektangulära området (till vänster, övre raden). Motsvarande rekonstruerade Raman-kartor som visar vissa fördelningar (främst gummi) (till höger, övre raden). Den beräknade I(D)/I(G)-kvotskartan för det studerade området (till vänster, nedre raden). Det beräknade I(D)/I(G)-distributionshistogrammet (till höger, nedre raden). **Det finns en tydlig stark fördelning vid 0,8 som kan tilldelas gummigranulat** (se Tabell 2 ovan). Därmed kan man dra slutsatsen att hela området huvudsakligen består av gummigranulat. Nästan ingen signal från bitumen.

Som framgår av Figur 28 verkar inget bitumen (PMB) ha migrerat in i gummigranulatets porer. Finns endast på granulatets yta. Fler Ramanavbildningar för detta prov finns i bifogad Ramanrapport.

Simulering av förbehandlingen av gummigranulat i Uppsala

10 % V6000 och 90 % Ragn-Sells gummigranulat

En Ramanavbildning av ett gummiprov som förbehandlats enligt receptet i Uppsala, dvs 1h blandning vid 80 °C följt av ca 16 h lagring, visas i Figur 29.



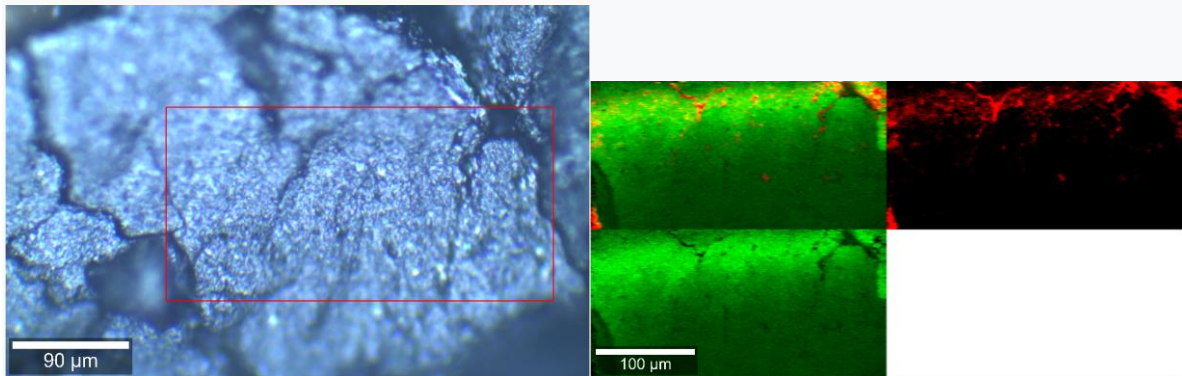
Figur 29: Prov: 10 % V6000 och 90 % Ragn Sells gummigranulat. Den optiska bilden för det studerade området, där Raman-kartan mättes innanför det röda rektangulära området (till vänster, övre raden). Den beräknade I(D)/I(G)-kvotskartan för det studerade området (till höger, övre raden). Det beräknade I(D)/I(G)-distributionshistogrammet (till vänster, nedre raden). Överlagringen av bitumenfördelning via I(D)/I(G) (0,1 till 0,5) visas till höger i den nedre raden. Det finns en tydlig fördelning på 0,49 som kan tilldelas Bitumen. Det finns också en fördelning på cirka 0,6–0,9 som kan tilldelas gummigranulat.

Som framgår av Figur 29 verkar mjukbitumen (V6000) ha migrerat in i gummigranulatets porer. Fler Ramanavbildningar för detta prov finns i bifogad Ramanrapport.

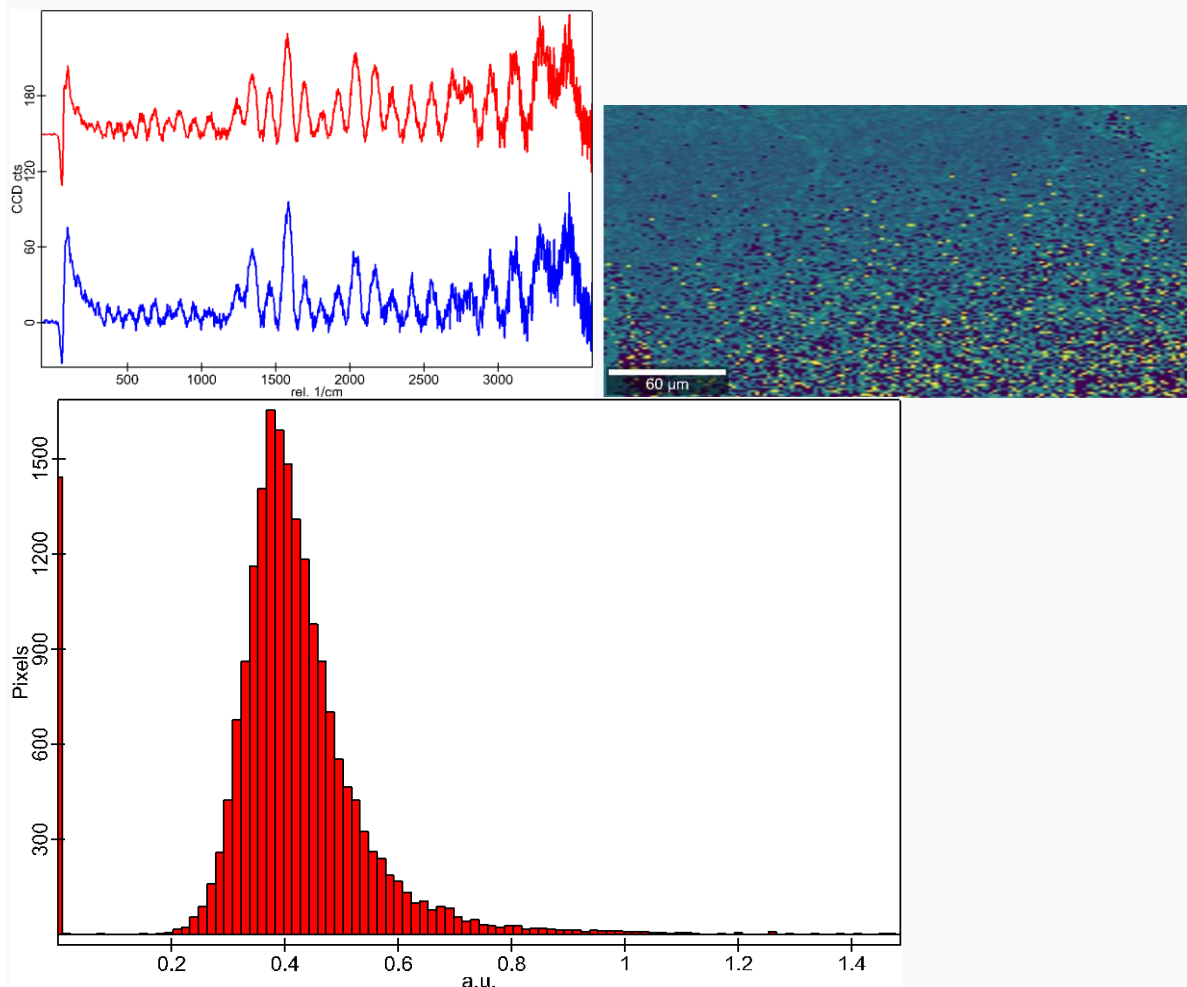
Ramananalys av asfaltsprover

Vi har även utfört Raman-avbildning på asfaltprover. Se Figur 30–33. På grund av en hög ytråhetsvariation kunde endast små områden av intresse studeras.

Asfalt från Uppsala



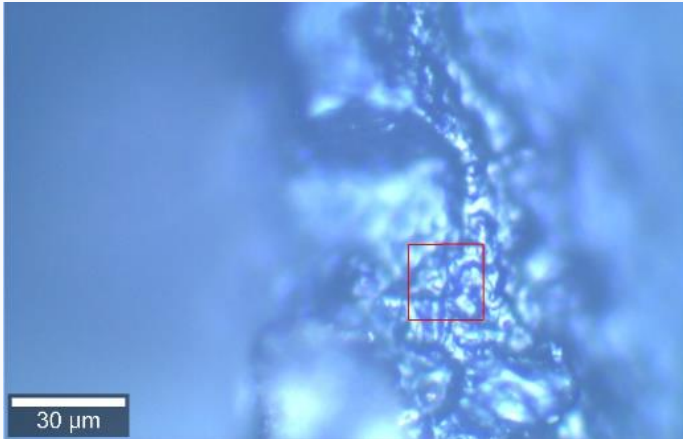
Figur 30. *Vänster:* Optisk bild för det studerade området, där Raman-kartan mättes inom det röda rektangulära området. *Höger:* Motsvarande rekonstruerade Raman-kartor. Två typiska spektra mättes på detta område. Fördelningen är ganska homogen.



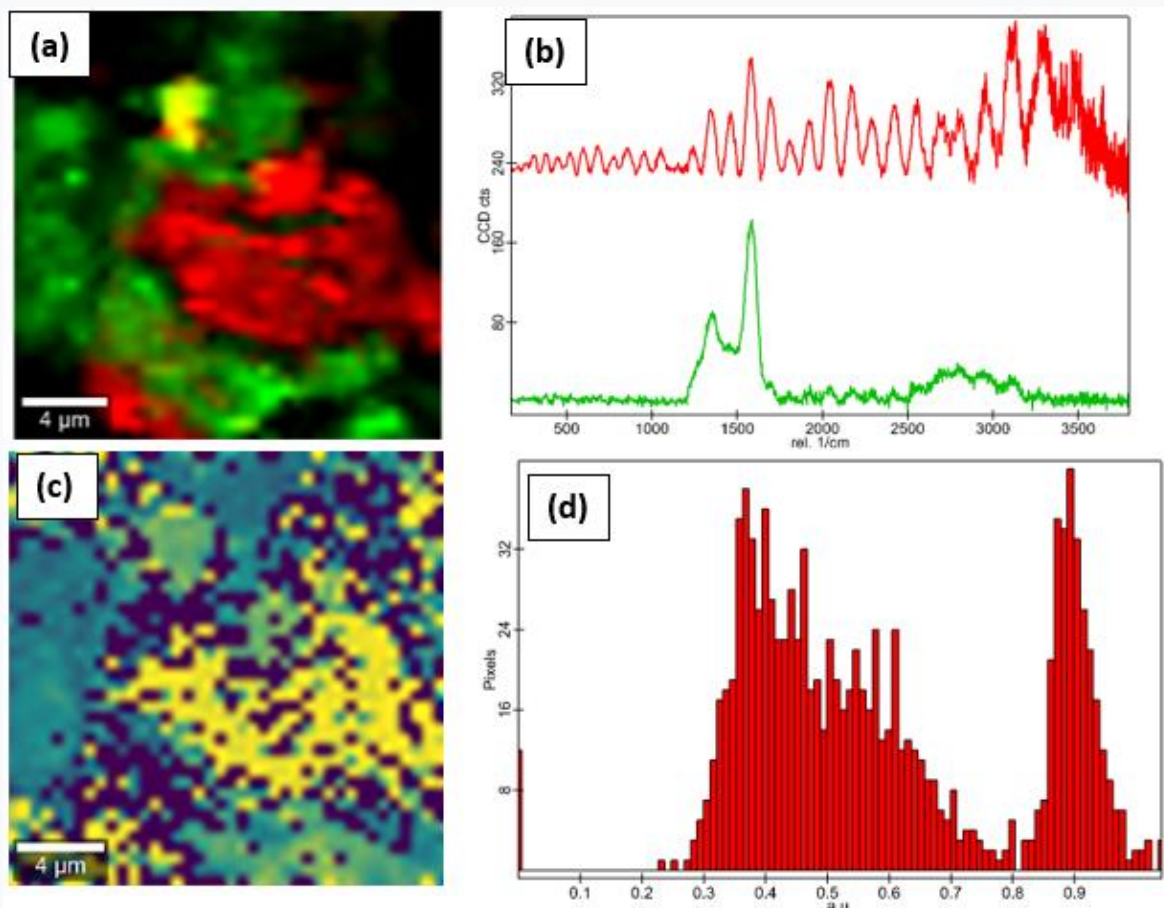
Figur 31. *Vänster:* Två typiska spektra som används för att rekonstruera Raman-kartan. *Höger:* Motsvarande rekonstruerade Raman-kartor. Två typiska spektra mättes på detta område. Fördelningen är ganska homogen. *Undre:* Beräknat I(D)/I(G)-fördelningshistogram

Av Figur 30–31 framgår att det finns en tydlig stark fördelning på 0,39 som kan tilldelas Bitumen. Det finns en liten topp på 0,68 som kan tilldelas en gummipartikel. Av detta kan man dra slutsatsen att hela området huvudsakligen består av bitumen.

I en annan asfaltspartikel från Uppsala: Se Figur 32–33.



Figur 32: Optisk bild av det avbildade området (röd) före testet



Figur 33: Den uppmätta Raman-fördelningskartan på asfaltpartikel (a). Motsvarande spektra i samma färger visas i (b). De rekonstruerade I(D)/I(G)-kvotmapparna (c) och motsvarande histogram finns i (d).

Fler Raman-fördelningskartor över asfaltsprover (även från Lund) visas i bifogad Ramanrapport.

Här visar vi att det är möjligt att särskilja bitumen och gummi även i komplexa asfaltprover genom att använda detta tillvägagångssätt. Skanningar av stora ytor är dock komplicerade på grund av stor variation i ytråhet.

Analys och huvudslutsatser från Ramananalyserna:

Vi har utvecklat en ny avancerad metod för identifiering av bitumenfördelning i gummigranulat med hjälp av Ramanmikroskopi. Vi kan studera inträngning av bitumen in i gummigranulat vid en ökning av bitumenkoncentrationen. V6000-bitumenet har en större inträngningsgrad in i gummigranulaten vid 10 % koncentration under förbehandlingen än för 7 % PBM-bitumen. Den sistnämnda förefaller inte migrera in i gummigranulaten. Ramananalyserna visar god korrelation med FTIR-analyserna nedan. Den utvecklade metoden kommer att resultera i en vetenskaplig publikation.

5.2.1.2.3. Fourier Transform Infraröd (FTIR) spektroskopi

Frågeställning inför FTIR-analyserna: Kan bitumen migrera in i gummigranulatens porer och i så fall hur långt?

Metod och prover

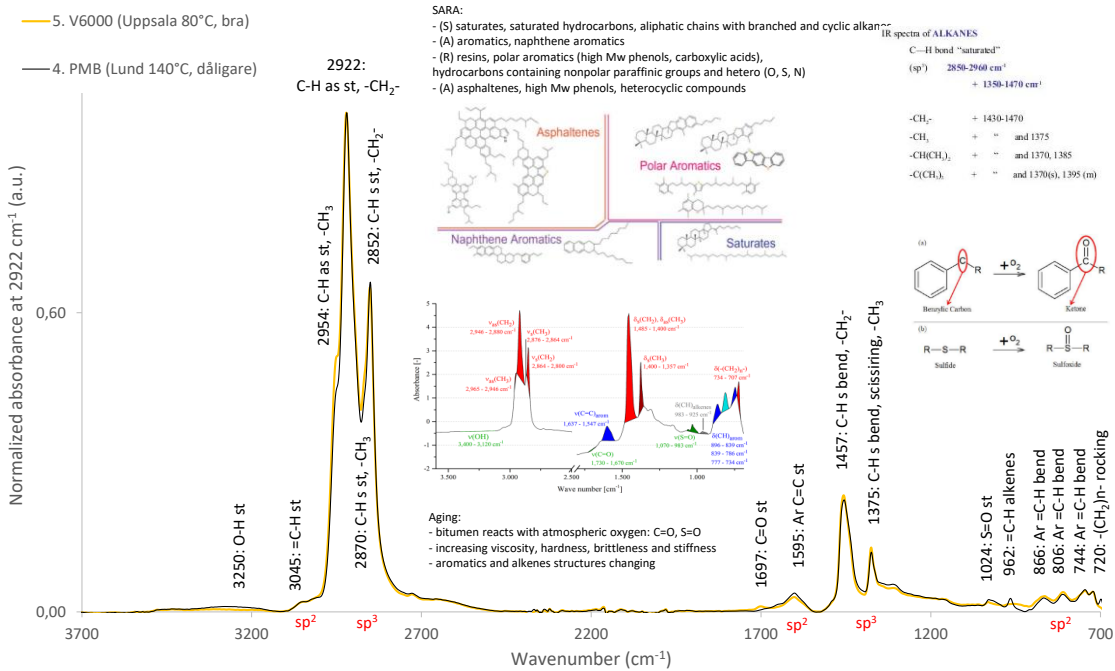
FTIR-spektroskopi är baserat på hur IR-ljus förändrar dipolmomenten i molekyler. Attenuated Total Reflectance (ATR) har blivit den primära provtagningsmetoden för FTIR-spektroskopi. Imaging (Avbildande) ATR-FTIR spektroskopi är baserad på en kombination av statisk FTIR-spektroskopi med ljusmikroskopi. Det ger möjlighet att analysera kemiska sammansättningar på mikrometernivå av olika material. Dessutom kan fördelning och placering av olika komponenter över tjockleken av ett prov mätas såväl som dess homogenitet. I detta projekt har både ATR FTIR spektroskopi och Imaging ATR FTIR mikroskopi använts. Följande prover har analyserats:

- Gummigranulat från Genan A/S
- Gummigranulat från Ragn-Sells AB
- Gummigranulat från Ragn-Sells förbehandlat med V6000 i Ångturbo (utan ånga)
- Mjukbitumen V6000
- Polymermodifierat bitumen (PMB)

Dessutom har nyskapade tvärsnitt av de gummigranulaten analyserats.

ATR-FTIR-analys av bitumen

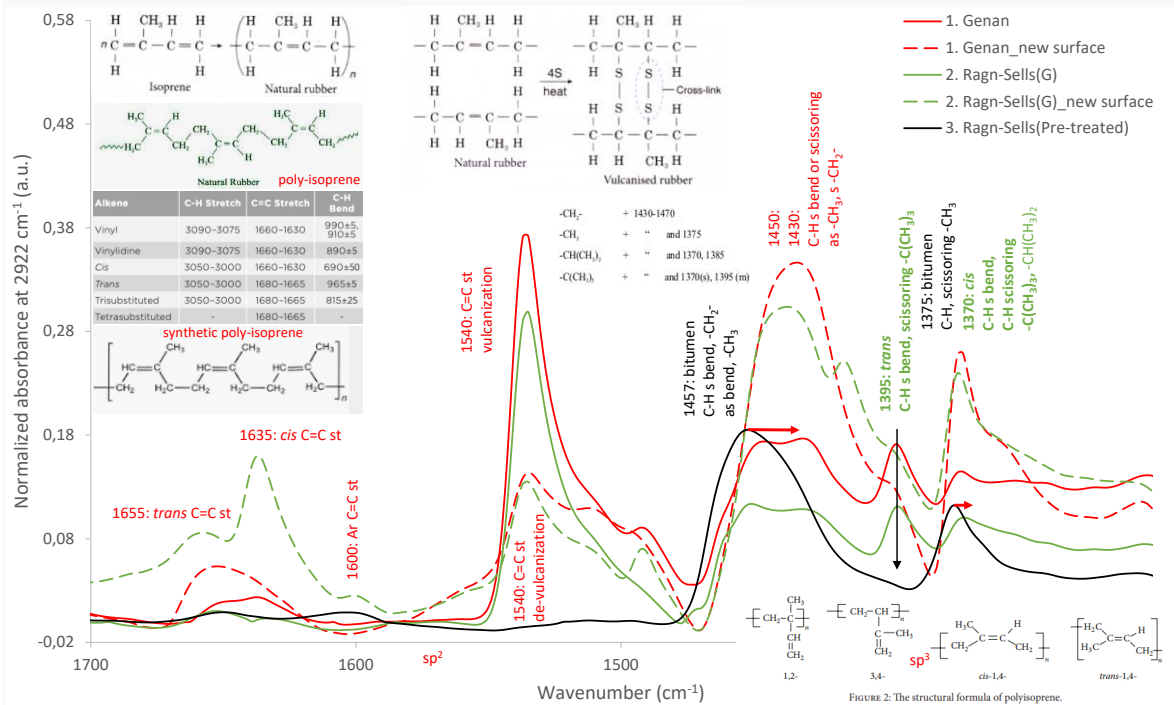
ATR-FTIR-spektra för de olika bitumenproverna visas i Figur 34. Därav framgår att den kemiska sammansättningen i två bitumenproverna (spektrum 4. PMB (Lund) och spektrum 5. V6000 (Uppsala)) är mycket lika.



Figur 34: ATR-FTIR-spektra för bitumenprover. Svart spektrum (nr 4): Polymermodifierat Bitumen (PMB 40/80-55), Gult spektrum (nr 5): Mjukbitumen V6000 inkl. referenspektra och kompletterande molekylstrukturinfo.

ATR-FTIR-analys av gummigranulaten

ATR-FTIR-spektra för de olika gummigranulaten visas i Figur 35.



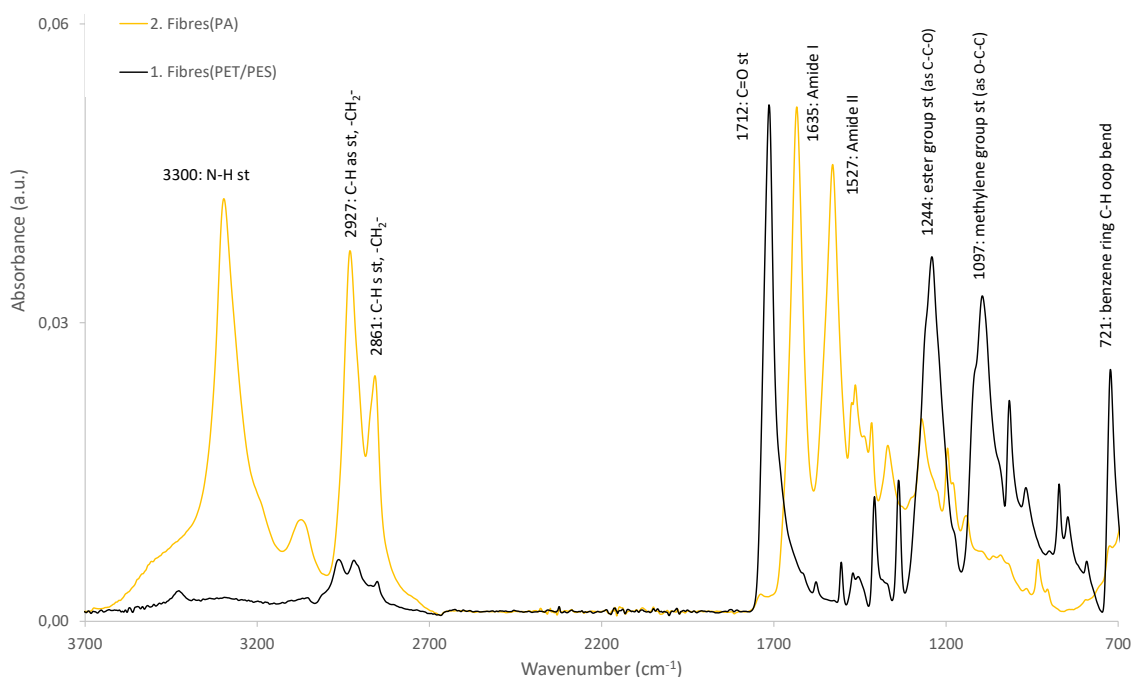
Figur 35: ATR-FTIR-spektra för gummigranulatprover.

Spektra för de två ”gamla” gummiytorna (spektrum 1. Genan och 2. Ragn-Sells(G)) har visat fyra signaler: vid 1540 cm^{-1} , $1450\text{--}1430\text{ cm}^{-1}$, 1395 cm^{-1} och 1370 cm^{-1} . Signalerna vid 1540 cm^{-1} och 1395 cm^{-1} kunde inte detekteras i bitumenspektrumen (Figur 34) och kunde därför användas för identifiering av områden i gummiproverna utan bitumenpenetrering (se spektrum 3. Ragn-Sells (Pre-treated)) i Figur 35).

Spektrumen för de två nya gummiytorna i Figur 35 (1. Genan-ny yta och 2. Ragn-Sells(G)-ny yta) visar liknande signaler som de gamla ytorna: signalen vid 1540 cm^{-1} var lägre i intensitet vilket indikerar den lägre graden av avvulkanisering av gummit inuti pelletsen. Signalerna vid 1430 cm^{-1} och 1370 cm^{-1} var högre i intensitet än motsvarande signaler i de gamla ytornas spektra.

ATR-FTIR-analys av fibrer

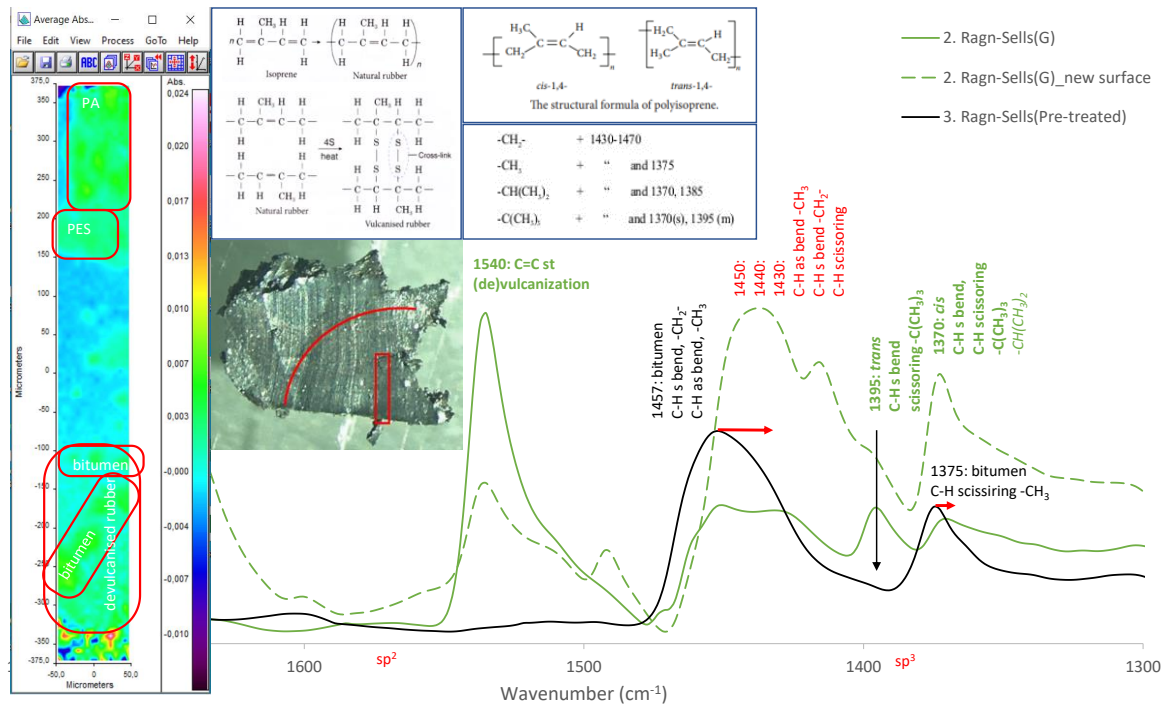
FTIR-analyserna visar också att båda gummigranulaten innehåller polymera fibrer. Se Figur 36. Gummit från Genan innehåller polyetylenterftalat eller liknande polyester (PET/PES) och Ragn-Sellsgummit innehåller polyamid (PA, sannolikt PA6:6, Nylon)).



Figur 36: ATR-FTIR-spektra för polymerfibrer i gummigranulaten. Svart spektrum (nr 1): PET/PES fibrer (i gummit från Genan), Gult spektrum (nr 2): PA fibrer (i gummit från Ragn-Sells).

Imaging ATR FTIR-analys av gummigranulat förbehandlat med bitumen

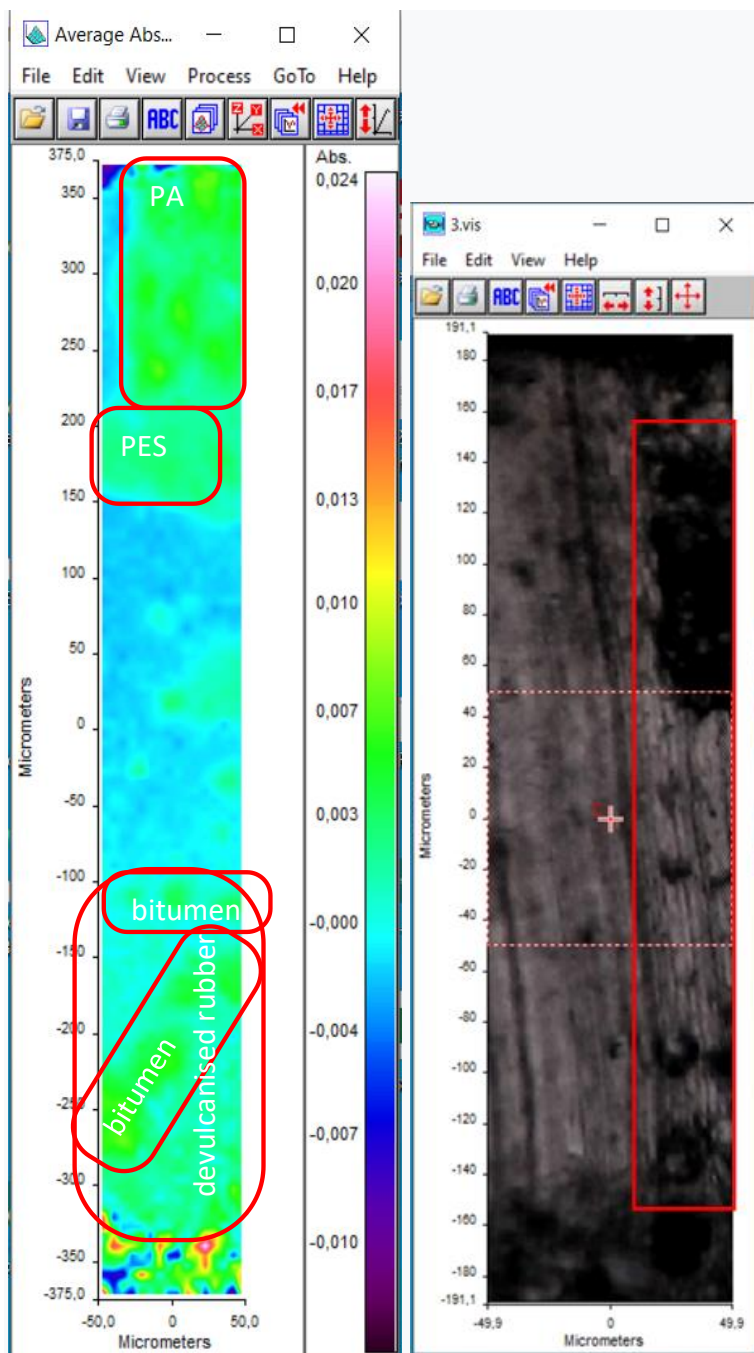
Fig. 37 nedan visar a) ATR FTIR-spektra med huvudsignalerna som diskuterats ovan, b) den synliga bilden av granulatet (3. Ragn-Sells (Förbehandlad)) efter klyvning och mätt med Imaging ATR FTIR-spektroskopi



Figur 37: Kombination av ATR FTIR spektroskopi och Imaging ATR FTIR mikroskopi för analys av gummigranulat förbehandlat med bitumen

Granulatet skars för att kunna mäta penetrationen av bitumen från kanten av granulatet in i dess bulk. Den röda rektangeln indikerar uppmätt yta av granulatets snittyta. Den röda kvartscirkeln indikerar trycket från Ge-kristallen som appliceras på provet. Figur 37 visar också c) den så kallade fullspektrala bilden av den uppmätta arean av provet med områdena för de angivna komponentfördelningarna

Fig. 38 visar att den yta av snittytan som är närmast ytan av det ursprungliga gummigranulatet (eller kanten av granulatet) huvudsakligen var avvulkaniserad och att det finns bitumen närvarande. Arealen av skärytan ovanför denna visade lägre intensitet av 1540 cm^{-1} -signalen, vilket indikerar oförändrat gummi eller mindre förändrat gummi. Arealen av snittytan ovanför detta oförändrade gummi indikerar närvaron av PES(PET) och/eller PA fibrer.



Figur 38: *Vänster:* Uppförstoring av komponentfördelningskarta i Figur 33 (enl. Imaging ATR-FTIR); *Höger:* Mikroskopibild över analyserat område.

Slutsatser FTIR-analyser

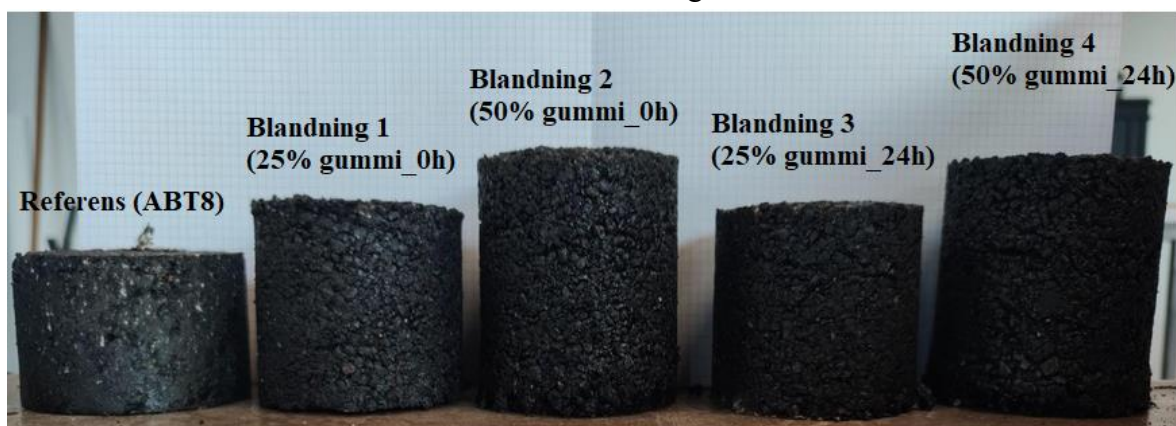
ATR FTIR- och Imaging ATR FTIR-spektroskopianalyserna visar att mjukbitumen V6000 kan migrera in i gummigranulatet och att penetrationsdjupet är cirka 100–200 μm från kanten av granulatet (se Figur 34-*Höger*).

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att de ytkemiska analyserna har varit utmanande eftersom gummigranulaten och bitumen har en mycket snarlik kemisk sammansättning. Detta gör att det varit svårt att särskilja materialen. Vi har dock både mha Raman- och FTIR-

analyser kunnat visa att bitumen som användes i Uppsala migrerar in i gummigranulatens porer. Samtidigt visar Ramananalyser att det bitumen som användes i Lund inte penetrerar in i gummigranulatens porer (åtminstone inte vid de betingelser som användes vid anläggningen av teststräckan i Lund).

5.2.2. Examensarbete vid Lunds universitet

Ett examensarbete har genomförts i samarbete med LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg Lunds universitet: *"Fallvänlig asfalt för gång- och cykelbana - En studie kring inverkan av tid, gummiinblandning och lagringsförhållande på hållfastheten"* (<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9054738>). Syftet med examensarbete var att skapa ett underlag som kan fungera som stöd vid försök att hitta ett optimalt arbetsrecept för den fallvänliga asfalten. Asfaltsprover som tillverkats och utvärderats inom ramen för examensarbetet visas i Figur 35.



Figur 35: Asfaltsprover som tillverkats och utvärderats inom ramen för examensarbetet

Resultatet från examensarbetet skall kunna användas för att förbättra det befintliga arbetsreceptet. Några viktiga resultat från arbetet:

- Marshallstabilitetstestet inte är användbart för gummibeläggningar i sin nuvarande utformning, vilket gör jämförelse mellan referensblandningen ABT8 och gummiblandningarna orättvis. Därför rekommenderas inte denna typ av tester, utan en vidareutveckling av metoden föreslås.
- Analys av resultatet för hållfastheten i de båda studerade punkterna är nästan lika, vilket kan utnyttjas vid en vidareutveckling av Marshallstabilitetsmetoden eller någon annan standard.
- Temperaturen spelar en avgörande roll vid blandning och kompaktering.
- Förbättring av provkropparnas kompaktering kan ske via fler antal slag och/eller större tyngd hos hammaren.

Anledningen till att övergången från småskalig (inom tidigare projekt anlagd teststräcka i Uppsala) till storskalig process (inom projektet anlagd teststräcka i Lund) för beredning och läggning av massan har resulterat i minskad beständighet, har utretts. Efter flera olika ytkemiska analyser av de ingående materialerna har vi bl a funnit att val av bitumen och gummigranulatets förbehandlingstid med bitumen är mycket viktiga faktorer. I Uppsala användes ett s.k. mjukbitumen (V6000) som har en betydligt lägre viskositet än mer vanliga bitumen. Detta betyder att mjukbitumen är mer lättflytande redan vid 80 °C och kan därför vid förbehandling av gummigranulaten lättare penetrera in i granulatens porer så att de mäts med bitumen. Efter blandning av gummi och bitumen i en timme vid 80 °C, tilläts granulaten ligga i kontakt med bitumen över natten (ca 16 h) utan värmning, innan de blandades med ballast och mer bitumen till färdig asfaltsmassa efterföljande morgon. Våra ytkemiska analyser bekräftar att mjukbitumen har penetrerat in i granulatens porer. Förbehandlingen ägde rum i ett s.k. Ångturboverk och en viktig frågeställning i projektet har varit vilken inverkan detta verk har haft på förbehandlingen av gummit. Både förbehandlingen av gummit och färdigblandningen av asfaltsmassan ägde rum i Ångturboverket, men då förbehandlingen skedde utan ånga tror vi verket var av underordnad betydelse. Däremot kan det ha spelat en större roll vid färdigblandandet av asfaltsmassan då den utfördes i närvaro av ånga. Vi hoppas kunna klargöra detta inom kommande projekt.

I Lund användes ett polymermodifierat bitumen (PMB 40/80–55). Det har en betydligt högre viskositet än V6000 och måste värmas upp till minst 140 °C för att den skall kunna användas som bindemedel i asfalt. I Lund förbehandlades gummigranulaten endast ca 1 h med bitumen innan de blandades med ballast och mer bitumen till färdig asfaltsmassa. Våra ytkemiska analyser visar att polymermodifierat bitumen inte har penetrerat in i granulatens porer utan återfinns endast på deras yta. Detta faktum menar vi återspeglas i att granulaten och bitumen torkar ut snabbare, gör ytskiktet sprödare, ger sämre bindning till ballasten och leder till försämrade beständighet. Beläggningen på teststräckan i Uppsala, där gummigranulaten blivit mättade med bitumen, är än idag, 5 år senare, i bra skick och visar inga tendenser till sprickbildning eller bristande beständighet, trots belastning från tung trafik (lastbilar, traktorer, personbilar, mm.) till och från.

6. Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Målet med projektet var att utveckla och anlägga en teststräcka med fallvänlig, gummiinnehållande asfaltbeläggning i syfte att resultera i nya, mer välutvecklade metoder (protokoll) för utvärdering av olika stötdämpande gång- och cykelbanor med fokus på vägbeläggningarnas

materialegenskaper. Teststräckans asfaltsbeläggning initialt hade mycket goda och ”fallvänliga” egenskaper, men beständigheten var bristfällig. Materialet på teststräckan började spricka upp redan efter några veckor och beslut fattades därför om att den fallvänliga asfalten skulle ersättas med en traditionell asfaltsbeläggning (AG-material).

Avancerade ytkemiska analyser av ingående material, både i beläggningen i Lund och i en tidigare lagd beläggning i Uppsala (som fortfarande är intakt efter 5 år), visar på intressanta (och avgörande?) skillnader. Analyserna har varit utmanande eftersom gummigranulaten och bitumen har en mycket snarlik kemisk sammansättning vilket gör det varit svårt att särskilja materialen. En ny, avancerad metod för identifiering av bitumenfördelning i gummigranulat med hjälp av Raman-mikroskopi har utvecklats inom projektet och kommer att publiceras inom kort. Det bitumen som användes i Lund hade inte kunnat migrera in i gummigranulaten, dels beroende på hög viskositet, dels för kort förbehandlingstid. Projektet har bl a visat på vikten av att använda ”rätt” sorts bitumen och ha tillräckligt lång förbehandlingstid så att gummigranulaten hinner mättas med bitumen.

Problemen med teststräckans dåliga beständighet ledde till att utvärderingen med avseende på arbetsmiljö vid läggning, stötupptagande förmåga, friktion, egenskaper vid drift- och underhåll, beständighet över årstiderna samt utvärdering av cyklisternas och fotgängarnas upplevelser av materialen med hjälp av perceptionsstudier i fält, mm, tyvärr fick ställas in.

Planen framöver är att mha Ångturboverket anlägga åtminstone två nya teststräckor i dess närhet:

1. En där gummit förbehandlas i ångturbon och blandas sedan med aggregat + bitumen till färdig massa i ångturbon
2. En där gummit förbehandlas i ångturbon men blandas sedan med aggregat + bitumen till färdig massa i vanligt verk (med den typen av bitumen)

Teststräckorna kommer att anläggas i anslutning till befintliga cykelbanor i närheten av ångturbon och utvärderas m.a.p. stötdämpning (kritisk fallhöjd), friktion, hållbarhet och cyklisters acceptans, mm, på samma sätt som var tänkt i detta projekt.

7. Publikationslista

Vad har publicerats, var/i vilket sammanhang, samt en sammanfattning av exempelvis förekommande artiklar med fokus på vad vi kan lära av projektet. Det kan t ex vara korta sammandrag av skrivna artiklar, både publicerade och manus.

Projektet har genomförts i nära samarbete med ett av doktorandprojekten inom Horizon 2020-Marie Sklodowska-Curie Actions-Innovative Training Networks projektet ”Saferup! (Sustainable, Accessible Safe, Resilient and Smart Urban Pavements)”. Doktorsarbetets titel: “*Vulnerable User’s Protection with Advanced Recycling Paving Materials – Design and Characterization of Rubber-based Impact-Absorbing Pavement Materials for Bike Lanes and Sidewalks*”. Författare: Dr. Christina Makoundou (Dr Makoundou är numera anställd hos RISE AB).

8. Projektkommunikation

Se olika medieklipp från projektet. De flesta är hämtade i samband med läggningen av teststräckan på Dalbyvägen i Lund, men en del är också reportage från internationella konferensen i Seattle.

- [2020-07-09 Skånska Dagbladet- Lund först i världen med fallvänlig asfalt](#)
- [2020-07-13 Skånska Dagbladet - Asfalten som kan rädda liv](#)
- [2020-07-14 Sydsvenska Dagbladet - Cyklister ska testa fallvänlig asfalt](#)
- [2020-07-13 Sveriges Radio -Här testas fallvänlig asfalt](#)
- [2020-07-13 P4 Malmöhus -Fallvänlig asfalt testas i Lund](#)
- [2020-07-13 SVT Malmö -Ny fallvänlig asfalt testas i Lund](#)
- Hufvudstadsbladet
- [2020-07-12 TT Sydsvenskan - Mjuk asfalt ska minska skador i fallolyckor](#)
- [2020-07-13 TT Ny Teknik - Mjukare asfalt med gummi kan rädda liv](#)
- [2020-07-13 Däckavisen -Världspremiär för fallvänlig asfalt i Lund](#)
- [2020-07-13 Dagens Näringsliv - Asfalten som mildrar fall](#)
- [2020-07-14 Lunds kommun - Theo 6 år testar](#)
- [Daily Mail -Scientists test BOUNCY pavements made from recycled tyres like flooring from children’s playgrounds – saying they could save THOUSANDS of lives](#)
- [Forbes -Rubber Road Idea Bounces Back](#)
- [Telegraph -Rubber pavements could soften the blow for stumbling pedestrians](#)
- [Daily Star -New 'bouncy pavements' could save 'thousands of lives' a year, scientists say](#)
- [Road -Car tyres to be recycled for surfacing footways and cycle paths? Trial to get underway in Sweden](#)

9. Referenser

1. Trafikverket. 2021. Transportpolitiska mål. Hämtade den 04-12-2021. <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/2020-i-korthet/transportpolitiska-mal>
2. RISE. 2018. Förlåtande asfalt för cykel- och gångbanor.
3. Svensk Cykling. 2018. Cykeltrendrapport. Hämtad den 21-02-2021 från Massbalans, 2020.
4. SKR. 2021. Drift och underhåll. Hämtad 05-04-2021, från <https://skr.se/samhallsplaneringinfrastruktur/trafikinfrastruktur/driftochunderhall.291.htm>
5. Trafikverket. 2019. Berg, H.-Y., Å. Forsman, and R. Fredriksson. Hur såg trafiksäkerhetsutvecklingen ut 2018? in Resultatkonferens trafiksäkerhet 2019.
6. Schylander. J. 2014. Fallolyckor- Statistik och analys. ISBN 978-91-7383-487-2.

10. Bilagor

1. Rapport från Ramananalyser (Dr Illia Dobryden)
2. Rapport från FTIR-analyser (Dr Jasna Stevanic-Srndovic)
3. Doktorsavhandling Bologna Universitet (Dr Christina Makoundou)
4. Examensarbete Lunds universitet (Ashraf Al Saidi och Ghulam Murtaza Begzad)



RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram som fokuserar på att utveckla cirkulära, resurseffektiva materialflöden. Vårt mål är att uppnå en hållbar materialanvändning där vi håller oss inom planetens gränser.

**RE:
SOURCE**

resource-sip.se