

Läggning av vägasfalt med och utan gummiinblandning: Exponering, luftvägseffekter, inflammation och genotoxicitet. Slutrapport.

1. Sammanfattning

Projektet har genomfört luftmätningar i fält som har kompletterats med en experimentell studie med upphettning av standardbitumen och gummibitumen. Asfaltarbetare har undersökts då de arbetat med standardbitumen (113 män) och gummibitumen (51 män). Som jämförelsegrupp rekryterades grönskötselarbetare (100 män).

Luftmätningarna visade genomgående halter under gällande nivågränsvärden. Men asfalträken består av mycket små partiklar och de exponeringsnivåer som uppmättes för maskinförare och plattställare låg ofta vid nivåer som i tidigare studier visats ge ögon- och slemhinneirritation. Både vid arbete med vanlig asfalt och gummiasfalt fanns i flera fall exponering för nitrosaminer, som anses vara cancerframkallande för människa. Halterna låg i några fall över de tekniska gränsvärden som används i Tyskland.

I den experimentella studien sågs betydligt högre partikelhalter vid 160°C än vid 140°C, men vid samma temperatur var partikelhalterna högre för gummi- än standardbitumen. Halterna från gummibitumen vid 140°C, var dock lägre än från standardbitumen vid 160°C. Gummibitumen gav högre halter än standardbitumen av PAHer, särskilt bens(a)pyren (ett cancerframkallande ämne) och bensotiazol (slemhinneirriterande).

De medicinska undersökningarna talar för en ökning av irriterande besvär under asfalteringssäsongen, inflammation och oxidativ belastning. Däremot sågs ingen påverkan på lungfunktionen och inte tecken på DNA-skada.

Studien visar att det är angeläget att hålla asfalttemperaturen så låg som möjligt, särskilt vid arbete med gummiasfalt som tenderar att ge högre exponering än konventionell asfalt för små partiklar, PAHer och slemhinneirriterande ämnen. Det är angeläget att försöka identifiera och eliminera källan till nitrosaminbildning.

Företagshälsovårdens tekniska och medicinska del kan ha en viktig roll i att dels följa symptom och lungfunktion hos asfaltarbetare, dels att vid episode med besvär hos flera i arbetslaget försöka härleda utlösande faktorer.

2. Studiens bakgrund och utformning

2.1 Bakgrund

Arbete med vägasfalt har i norska och tyska studier visats vara associerat med luftvägsbesvär, reducerade lungvolym och en lätt inflammatorisk reaktion. Ögon-, näsa- och halsirritation har observerats vid en tämligen låg exponering för asfalträk (0,23 mg/m³ mätt som totalpartiklar). Underlaget för riskbedömning och riskhantering avseende exponering för asfalträk vid arbete med vägbeläggning med asfalt är otillräckligt. I en nyligen färdigställt kunskapsunderlag (Kriteriegruppen för hygieniska gränsvärden, Arbete och hälsa 2011:45(3)) gjordes bedömningen att data saknas för att fastställa kritisk effekt vid exponering för asfalträk vid vägbeläggningsarbete. Fältstudier på exponerade arbetare vid användning av nutida vägbeläggningstekniker visar att asfalträk är

genotoxiskt, men exponeringsnivåer angavs ej. Arbete med asfalt vid vägbeläggning konkluderades vara möjligen carcinogent. Man påtalade också att experimentella studier talar för att hudupptaget av polyaromatiska kolväten, en ämnesgrupp med flera både kända och misstänkta carcinogener, kan vara betydande vid exponering för asfaltrök.

Frågan har ytterligare aktualiserats av en osäkerhet kring riskbedömningen för vägbeläggning med asfalt med gummiinblandning. Emissionernas kemiska sammansättning har studerats i USA (NIOSH) och Sverige (Previa). De sammantagna resultaten talar för att, jämfört med vanlig asfalt, är halterna av carcinogena polyaromatiska kolväten (PAHer) högre vid arbete med asfalt med gummiinblandning. Temperaturen var kritisk för avgången av PAHer, med 170 °C som brytpunkt för en kraftig ökning. Man påvisade också bildning av ett slemhinneirriterande ämne – bensotiazol. Utifrån mätresultat i gummiindustrin kan man befara exponering för cancerframkallande N-nitrosaminer från det upphettade gummigranulatet, men detta har inte studerats för arbete med gummiinblandad asfalt. Partiklarnas storleksfördelning är avgörande för upptaget i kroppen, men otillräckligt karakteriserad.

De medicinska effekter av arbete med gummiinblandad asfalt som studerats avser irritation. I studierna från USA var irritationssymtom i ögon, näsa, respektive hals, 2-3 gånger vanligare vid arbete med gummiinblandad, jämfört med konventionell, asfalt.

Projektet syftar till att ge underlag för riskbedömning genom

- monitorering av ämnen med kända dos-responsförhållanden för oönskad effekt (PAHer, N-nitrosaminer)
- direkt monitorering av oönskade effekter (luftvägspåverkan, genotoxicitet)
- att belysa skillnader mellan asfalt med gummiinblandning och konventionell asfalt avseende exponering och hälsoeffekter.

2.2 Utformning

Projektet har huvudsakligen genomförts som fältstudier ute på asfalteringsarbeten under perioden 2012-2015. Exponeringsmätningarna i fält har kompletterats med en experimentell studie i laboriemiljö för att få helt standardiserade förhållanden.

Ursprungligen planerades fältstudierna genomföras enbart under 2012 och 2013, men läggingsarbeten med gummiinblandad asfalt var färre än förväntat och det var relativt ofta också samma personer som utförde arbetena. Studien utökades därför till att omfatta också 2014 och 2015. 31 arbetare undersöktes både då de arbetade med vanlig asfalt och gummiasfalt, eftersom det ger en större statistisk styrka då en person jämförs med sig själv. Arbetare sysselsatta med grönskötsel vid samma företag, eller parkarbete i kommuner, har varit kontrollpersoner. De valdes ut så att de liknade asfaltarbetarna avseende ålder och rökvanor. Snusning var mindre vanlig bland kontrollpersoner än bland asfaltarbetare, men kvalsterallergivar vanligare. I vissa analyser har vi justerat för de bakgrundsfaktorer som redovisas i tabellen nedan. Samtliga undersökta är män.

Undersökta grupper: Arbete med standardbitumen ("vanlig" asfalt), gummibitumen (gummiasfalt) samt kontrollpersoner (grönskötsel, parkarbete).

	<i>“Vanlig” asfalt</i>	<i>Gummiasfalt</i>	<i>Kontroller</i>	<i>P värde</i>
<i>Antal</i>	116	51*	100	--
<i>Ålder (Median; 5%-95%)</i>	43 (24-59)	42 (22-61)	46 (24-62)	0,29
<i>BMI (Median; 5%-95%)</i>	28 (22-38)	28 (23-35)	27 (22-35)	>0,3
<i>År i asfalteringsarbete (Median; 5%-95%)</i>	12 (1-29)	10 (1-38)	--	--
<i>Astmadiagnos (%)</i>	7%	7%	13%	0,27
<i>Livslång icke-rökare (%)</i>	74%	70%	65%	0,07
<i>Aldrig varit snusare (%)</i>	47%	56%	66%	0,02
<i>Positiv allergitest (%)</i>	36%	27%	35%	>0,3
<i>Kvalsterallergi (%)</i>	14%	9%	24%	0,05
<i>Pälsdjursallergi (%)</i>	19%	6%	13%	0,27
<i>Pollenallergi (%)</i>	33%	22%	24%	0,25

* 31 av dessa personer undersöktes också då de arbetade med “vanlig” asfalt.

2.3 Deltagande forskargrupper

Projektet har koordinerats från Arbets- och miljömedicin i Lund och genomförts i nära samarbete med fr a Ergonomi och aerosolteknologi, Lunds tekniska högskola, och IVL i Stockholm. Arbets- och miljömedicin i Göteborg har bistått med vissa analyser och i fältstudierna, i de senare har vi även fått hjälp från Arbets- och miljömedicin i Umeå och i Örebro.

2.4 Referensgrupp

En referensgrupp har varit knuten till projektet bestående Torsten Nordgren (trafikverket), Björn-Inge Björnberg (SEKO), Björn Samuelson (Sveriges Byggindustrier), Karl-Johan Andersson (SEKO, NCC), Anders Englund (tidigare medicinskt ansvarig för Bygghälsan). Gruppen har haft central betydelse för projektets genomförbarhet.

3. Luftmätningar och mätning av hudexponering i fält

3.1 Genomförda mätningar

Det har inom projektet gjorts exponeringsmätningar vid asfaltläggning under sammanlagt 17 mättdagar åren 2012 och 2013. Gummiasfalt har lagts vid 10 av dessa dagar och vanlig asfalt vid 7 dagar. År 2012 mättes vid läggning av gummiasfalt under 5 mättdagar (Skellefteå, Lycksele och Göteborg) och vanlig asfalt under 3 mättdagar (Åhus, Tomelilla och Tygelsjö). År 2013 mättes vid gummiasfaltläggning under 5 mättdagar (Boden, Luleå och Örebro) och vid läggning av vanlig asfalt under 4 mättdagar (Göteborg och Örebro).

De flesta mätningarna har gjorts vid läggning på stora vägar utanför tätbebyggt område, dock har mätningarna i Göteborg 2013 gjorts på genomfartsled inne i staden och mätningarna i Tygelsjö 2012

vid asfaltering av en gång- och cykelväg. Vi det sistnämnda tillfället användes en mindre asfaltläggare samt handvält.

Vid mätningarna i Örebro, som genomfördes under 2+2 mätdagar under två på varandra följande veckor, lades första veckan vanlig asfalt vid normal resp sänkt temperatur och andra veckan gummi-asfalt under motsvarande förhållanden. Detta för att jämförelse lättare skulle kunna ske mellan läggning av de olika asfalttyperna samt hur asfaltmassans temperatur påverkar exponeringen. Genom detta upplägg hölls omgivningsförhållandena så konstanta som möjligt mellan mätdagarna. Vädret var också tämligen stabilt under båda veckorna.

De parametrar som mätts är respirabelt damm, totaldamm, partikelstorlek, polyaromatiska kolväten (PAH; 32 olika), bensotiasol, nitrosaminer (9 olika) samt bensen. Bensen har provtagits med passiv provtagare, alla övriga parametrar med pumpad provtagning.

Vid de första provtagningstillfällena mättes några ytterligare kolväten förutom bensen, nämligen toluen, xylen och naftalen. På grund av att halterna av dessa genomgående befanns vara under detektionsgränsen beslöts att fortsättningsvis slopa dem. Inför de avslutande mättillfällena i Örebro beslöts att även slopa bensen, då även bensenhalterna var mycket låga.

Respirabelt damm har provtagits på separat filter med hjälp av cyklon med lämplig avskiljningskaraktär. Totaldamm har provtagits med samma utrustning som PAH och bensotiasol, nämligen via ett system med seriekopplat filter och adsorptionsrör (XAD-2). Partiklar och tyngre PAH-föreningar avsätts på filtret medan lättare PAH-föreningar och bensotiasol passerar filtret men adsorberas på adsorptionsröret. Sammanlagt har 32 olika PAH-föreningar analyserats. I resultatsammanställningen nedan presenteras dock enbart summa PAH samt bens(a)pyren. Nitrosaminer har provtagits på en speciell typ av provtagare (Thermosorb/N) som är anpassad just för detta.

I huvudsak har mätningarna varit personburna, men av praktiska skäl har i vissa fall provtagarna placerats stationärt nära där arbetstagaren normalt vistas. De som burit provtagare har vid de flesta provtagningstillfällena varit maskinföraren, en eller två plattställare samt föraren av 1:e välten. I nästan samtliga fall har personen burit passiv provtagare för bensen samt cyklon och filter för respirabelt damm. Då det är svårt att bära mer än två provtagningspumpar utan att arbetet hindras har han dessutom burit provtagare för antingen PAH och bensotiasol eller för nitrosaminer. Vid några av tillfällena då stationär mätning skett har samtliga parametrar mätts samtidigt.

I samband med luftmätningarna togs också tejpprover på hudpartier på händer och i ansikte efter avslutat skift för bedömning av hudexponering för pyren. Halterna var genomgående låga.

3.2 Resultat

Partikelstorlek, mätt med Impaktor (5 steg; 4 mätningar varav 3 på gummi-asfalt) visade att nästan allt material fanns på de två lägsta stegen dvs <0,5 µm.

Sammanställning av övriga mätningar, inklusive jämförelse mellan läggning av gummi-asfalt och vanlig asfalt:

Respirabelt damm (mg/m³)

Nivågränsvärde 5 mg/m³

	Antal prover	Spridning	Median	Medelvärde
Gummiasfalt:				
Maskinförare	9	0,04 – 1,33	0,32	0,50
Plattställare	12	0,04 – 1,18	0,21	0,35
Vältförare	10	<0,02 – 0,27	0,07	0,09
Vanlig asfalt:				
Maskinförare	7	0,06 – 0,61	0,24	0,27
Plattställare	7	0,19 – 0,53	0,48	0,40
Vältförare	5	<0,02 – 0,09	0,04	0,04

Totaldamm (mg/m³)

Nivågränsvärde saknas (före 2005 10 mg/m³)

	Antal prover	Spridning	Median	Medelvärde
Gummiasfalt:				
Maskinförare	6	<0,02 – 1,39	0,29	0,44
Plattställare	7	0,02 – 3,07	0,20	0,68
Vältförare	5	<0,02 – 0,59	0,06	0,22
Vanlig asfalt:				
Maskinförare	6	0,11 – 0,60	0,24	0,30
Plattställare	7	0,11 – 1,18	0,22	0,43
Vältförare	6	0,02 – 0,26	0,06	0,09

Nitrosaminer (µg/m³)

Nivågränsvärde saknas*

	Antal prover	Spridning	Median	Medelvärde
Gummiasfalt:				
Maskinförare	9	<0,04 – 1,51	0,12	0,38
Plattställare	10	<0,04 – 0,58	0,18	0,21
Vältförare	7	<0,04 – 0,21	0,05	0,07
Vanlig asfalt:				
Maskinförare	6	<0,04 – 0,52	0,17	0,20
Plattställare	6	<0,04 – 0,24	0,04	0,07
Vältförare	3	<0,04 – 0,08	<0,04	0,04

*Tyskt tekniskt gränsvärde för gummiindustrin: 0,5 µg/ m³ eller 1,0 µg/ m³ beroende på produktionsavdelning

Summa PAH (µg/m³)

Nivågränsvärde saknas

	Antal prover	Spridning	Median	Medelvärde
Gummiasfalt:				

Maskinförare	6	1,52 – 9,23	4,23	5,04
Plattställare	7	1,51 – 9,81	3,16	4,10
Vältförare	5	1,32 – 1,89	1,61	1,64
Vanlig asfalt:				
Maskinförare	6	1,13 – 5,88	3,10	3,28
Plattställare	7	1,23 – 6,15	3,62	3,21
Vältförare	6	0,71 – 6,24	0,82	1,72

Bens(a)pyren (ng/m³)

Nivågränsvärde 2000 ng/m³

	Antal prover	Spridning	Median	Medelvärde
Gummiasfalt:				
Maskinförare	6	<0,1 – 14,7	2,1	4,6
Plattställare	7	<0,1 – 18,8	1,0	4,3
Vältförare	5	<0,1 – 2,0	0,2	0,6
Vanlig asfalt:				
Maskinförare	6	0,1 – 13,3	4,0	4,8
Plattställare	7	0,4 – 8,9	2,6	4,7
Vältförare	6	<0,1 – 0,6	<0,1	0,2

Bensotiasol (µg/m³)

Nivågränsvärde saknas

	Antal prover	Spridning	Median	Medelvärde
Gummiasfalt:				
Maskinförare	5	1,94 – 3,24	2,49	2,56
Plattställare	5	1,53 – 3,69	2,08	2,34
Vältförare	4	1,01 – 2,11	1,32	1,44
Vanlig asfalt:				
Maskinförare	4	0,36 – 2,63	0,87	1,18
Plattställare	4	0,17 – 0,37	0,26	0,26
Vältförare	3	0,23 – 1,61	0,37	0,74

3.3 Kommentar till resultaten

Det är mycket tydligt att nästan alla partiklar som detekteras är respirabla. Fraktionerna totaldamm och respirabelt damm är nästan identiska. I det enda fall då halten totaldamm väsentligt avviker från detta mönster kan det förklaras med att snabb trafik nära inpå arbetsplatsen virvlade upp damm. Att partiklarna är små (<0,5 µm; dvs i samma storleksordning som avgaspartiklar) bekräftas också av några mätningar med impaktor.

De uppmätta lufthalterna är i allmänhet högre för maskinförare och plattställare och lägre för vältförare, vilket var vad man kunde förvänta.

Resultaten från mätningarna i Örebro visar att det finns tendenser till att halterna av både partiklar, PAH-föreningar och bensotiazol är högre vid läggning av gummiasfalt jämfört med vanlig asfalt, liksom att exponeringen är lägre vid sänkt läggningstemperatur. Sett över alla mätningarna är resultatet inte lika tydligt att gummiasfalt ger högre exponering, men här kan ju omgivningsfaktorerna skilja sig väsentligt.

Jämfört med gällande gränsvärden – riktvärden för arbetsmiljön är halterna generellt låga. Ett undantag är nitrosaminer där nivåer över det tyska tekniska gränsvärdet uppmätts. Nitrosaminer ger cancer i djurförsök och anses vara cancerframkallande också hos människa.

Bensotiazol saknar gränsvärde. Det har en stark och obehaglig lukt och är slemhinneirriterande. Halterna tenderar att vara högre vid arbete med gummiasfalt och kan möjligen bidra till akuta besvär.

Vad gäller övriga exponeringar finns det även om marginalen till rådande nivågränsvärden för arbetsmiljön är mycket god, ändå skäl till eftertanke vad gäller små partiklar, samt PAHer. En totaldammhalt som genereras av små partiklar, som asfaltrök, svetsrök, motoravgaser, ger jämfört med när samma halt genererad av större partiklar en mycket större yta gentemot t ex luftvägarnas slemhinna. Vid experimentella exponeringsnivåer på 0,1-0,3 mg/m³ för dieselavgaser under några timmer ses luftvägsirritation, övergående lungfunktionspåverkan och en inflammatorisk reaktion. Vid exponering för asfaltrök ner till 0,23 mg/m³ har ögon-, näsa- och halsirritation observerats (Arbete och hälsa 2011;45(3)). De här uppmätta halterna ligger som medianvärde på 0,30-0,68 mg/m³ för maskinförare och plattställare.

Vad gäller t ex bens(a)pyren, som är ett cancerframkallande ämne (tillhörande gruppen PAHer), är de uppmätta halterna som högst ca 1/100-del av nivågränsvärdet för arbetsmiljön som är 2000 ng/m³. WHO har angivit riktlinjer för luftkvalitet i den allmänna miljön (WHO Air Quality Guidelines) som är avsedda att skydda även grupper som kan vara särskilt känsliga (t ex gravida och spädbarn) och angivit ett riktvärde på 0,1 ng/m³ vilket beräknas ge ett extra cancerfall per 100 000 personer (livstids exponering, 24 tim/dygn, 7 dagar). I svenska storstäder ligger man dock högre, på ca 0,2 ng/m³ som årsmedelvärde i Stockholm. Ett arbetsliv på 40 år med exponering omkring 4-5 arbetsdagar/vecka, 20-30 veckor/år (asfalteringssäsong), motsvarar ca 1/10 av den exponering som finns i WHOs riskberäkning, dvs för att hålla samma lågrisknivå skulle man kunna gå upp till 1 ng/m³ eller möjligen något högre om man antar att känsligheten kan vara lägre än i den allmänna befolkningen. I våra mätningar ligger medianvärdena för maskinförare och plattställare på 1-4 ng/m³, dvs i denna storleksordning.

Vad gäller nitrosaminer tycks det, i motsats till vad vi förväntade, inte finnas något tydligt samband med om man lägger gummiasfalt eller vanlig asfalt, inte heller med om temperaturen är normal eller sänkt. Detta tyder snarast på att källan till de nitrosaminer, som trots allt hittas i flera prover, har en annan källa än gummit i gummiasfalten. En möjlig källa skulle kunna vara släppmedel som tillsätts asfaltmassan vid asfaltverket. Dessa kan innehålla aminföreningar som vid upphettningen skulle kunna omvandlas till nitrosaminer. Att närmare undersöka detta har dock legat utanför projektets ram.

3.4 Bedömning

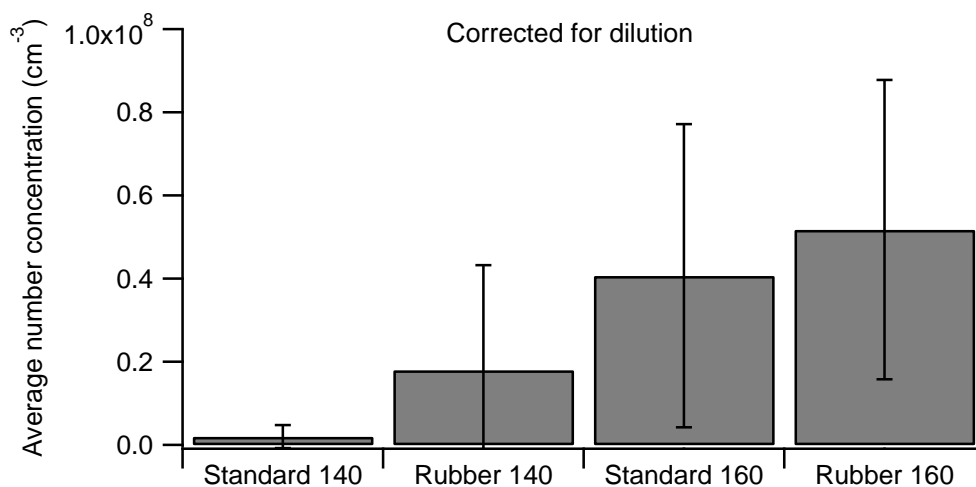
Sammanfattningsvis ligger de uppmätta halterna av asfaltrök (mätt som totaldamm) som medianvärden för maskinförare och plattställare vid de nivåer som i andra studier gett en ökad

förekomst av irritation i ögon, näsa och hals, halterna tenderer att vara högre vid läggning av gummi-asfalt än vid läggning av konventionell asfalt. Vid läggning av gummi-asfalt är också halterna av bensotiazol, som är ett starkt luktande samt slemhinneirriterande ämne, högre. Det finns en exponering för nitrosaminer där nivåerna vid vissa provtagningar för maskinförarna klart överskrider de tekniska gränsvärden tillämpas i Tyskland. Man bör sträva efter att identifiera och om möjligt eliminera källan till detta.

4. Experimentell studie med jämförelse av emissioner från konventionell asfalt och asfalt med gummiinblandning

För att identifiera eventuella skillnader i partikel emissioner mellan vanlig bitumen och bitumen med gummitillsatser har experiment utförts i laboratoriemiljö. De två olika bitumentyperna har värmts upp till två olika temperaturer (140 och 160 °C). Högst antalskoncentration av partiklar emitterades vid uppvärmning till 160 °C av bitumen med gummitillsatser (figur). Vid denna temperatur är partikelemissionerna runt 30 % högre vid uppvärmning av gummibitumen jämfört med vanlig bitumen. Vid 140 °C är emissionerna av partiklar runt 9 gånger högre för bitumen med gummi. Emissionerna visade sig dock i samtliga fall vara mycket beroende på temperaturvariationerna under experimenten.

Koncentrationer i partikelantal vid uppvärmning av vanlig bitumen (standard) och bitumen med gummitillsatser (Rubber). Två olika temperaturer användes, 140 och 160 °C.



Halten av totala PAHer, men framför allt benso(a)pyren, samt av bensotiazol var högre (ca 5 ggr) för bitumen med gummitillsats än för vanligt bitumen både vid 140 grader och 160 grader (tabell).

PAH halter och halt av bensotiazol vid uppvärmning av standardbitumen och gummibitumen till 140 och 160 °C. I värdena ingår både partikelfas och gasfas. I totala PAHer ingår 32 olika analyserade ämnen.

Ämne (µg/m ³)	Standardbitumen		Gummibitumen	
	140 °C	160 °C	140 °C	160 °C
Naftalen	460	810	280	440

2-metylnaftalen	140	240	120	160
1-metylnaftalen	90	150	80	110
Bensotiazol	20	30	150	160
Bens(a)pyren	0.04	0.06	0.28	0.39
Totala PAHer	710	1270	520	760

Sammanfattningsvis visar den experimentella studien att höjning av temperaturen från 140 grader till 160 grader ger en kraftig ökning av antalet partiklar som bildas. Detta gäller såväl vanlig asfalt som gummi-asfalt. Både vid 140 grader och 160 grader avgår mer partiklar från gummi-asfalt än vanlig asfalt. Gummi-asfalt vid 140 grader ger dock en lägre partikelhalt än vanlig asfalt vid 160 grader.

Halterna av bens(a)pyren och bensotiazol var vid både 140 grader och 160 grader högre vid upphettning av gummibitumen än standardbitumen.

5. Mätning av exponering genom urinprovtagning

I projektet insamlades urinprov vid två tillfällen från varje deltagare: före exponering på måndag morgon, samt i slutet av arbetsveckan på torsdag eftermiddag. Vi mätte fyra olika PAH-metaboliter: 1-hydroxypyren (1-HP), 2-hydroxyfenantren (2-OH-Phen), summan av flera hydroxylerade benso[A]pyrener (BaP) och hydroxylerad benso[A]antracen (BaA). Utsöndringen av dessa metaboliter avspeglar alla olika upptagsvägar (såväl andningsvägar som hud). Halterna anges justerade för kreatinin eftersom urinen blir mer koncentrerad vid vätskeförluster (t ex arbete i värme).

Före exponering var halten av 1-HP och 2-OH-Phen högre hos både de som skulle lägga konventionell asfalt och de som skulle lägga gummi-asfalt, jämfört med kontrollerna (justerat för rökvanor). Efter fyra dagars arbete ökade 1-HP 1,75 gånger hos de som lagt konventionell asfalt (median: 0,04 till 0,07 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin) och 2,75 gånger hos de som lagt gummi-asfalt (0,04 till 0,11 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin). På motsvarande sätt ökade 2-OH-Phen 1,5 gånger hos de som lagt konventionell asfalt (0,13 till 0,20 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin) and 1,7 gånger hos de som lagt gummi-asfalt (0,14 till 0,24 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin). Hos kontrollpersonerna ökade varken 1-HP eller 2-OH-Phen. Halterna av BaP and BaA var låga (mer än 95% av proven var under detektionsgränsen) för alla deltagare, både före och efter arbete.

Sammantaget kan de högre halterna av 1-HP och 2-OH-Phen före arbetsveckans början hos asfaltarbetarna jämfört med kontrollpersonerna tala för en kvardröjande effekt av den föregående arbetsveckans exponering. Halterna steg under arbetsveckan, möjligen något mer vid arbete med gummi-asfalt än konventionell asfalt.

6. Medicinska effekter

6.1 Undersökningar

Varje deltagare fyllde i tre frågeformulär, ett före exponering på måndag morgon, ett i slutet av arbetsveckan (torsdag eftermiddag) och ett utanför asfalteringssäsongen (januari månad). Varje formulär innehåll frågor om bl a symptom från ögon och övre luftvägar (näsa), samt nedre luftrvägar (pip i bröstet, tungt i bröstet, andnöd, hosta).

Lungfunktionen mättes två gånger (måndag morgon och torsdag eftermiddag) med spirometry och bedömdes som procent av förväntat värde för forcerad vitalkapacitet [FVC (%)] och forcerad expiratorisk volym 1 sekund [FEV₁ (%)].

Blodprov insamlades måndag morgon och torsdag eftermiddag på arbetsplatsen. Biomarkörer för inflammation inkluderade C-reaktivt protein (CRP), interleukin 6 (IL-6) och interleukin 8 (IL-8) som analyserades för alla deltagare. Serumamyloid A (SAA; en markör för lungskada) analyserades bara för de 31 arbetare som undersökts både när de arbetat med att lägga vanlig asfalt och gummi-asfalt. DNA extraherades för att mäta telomerlängd (TL; på gruppnivå ett mått på biologiskt åldrande och cancerrisk) och antal kopior av mitokondriellt DNA (mtDNA copy number; ett mått på oxidativ belastning).

6.2 Besvär från slemhinnor och luftvägar, astma och KOL

Före arbetsveckans början var ögonirritation, näsirritation och hosta de vanligast rapporterade symptomen utan skillnad mellan de tre grupperna. Endast en person (från kontrollgruppen) rapporterade att de hade KOL. Förekomsten av läkardiagnosticerad astma var 7% hos både de som undersöktes då de skulle lägga konventionell asfalt och de som skulle lägga gummi-asfalt, 13% i kontrollgruppen hade astma ($p=0,27$). I slutet av arbetsveckan sågs inte heller någon skillnad i symptomförekomst mellan de tre grupperna.

Svarsfrekvensen utanför asfalteringssäsongen var tillfredställande (83% för vanlig asfalt, 71% för gummi-asfalt, 73% för kontrollerna). Liksom i början på arbetsveckan dominerade ögonirritation, näsirritation och hosta.

Vi beräknade incidens av akuta besvär, dvs besvär som rapporterades i slutet av arbetsveckan men inte fanns innan den började. Incidensen av ögonbesvär var högre hos de som arbetat med vanlig asfalt än hos kontrollpersonerna (8% mot 2%, $p=0,07$).

Symptom under arbetsveckan, samt nytillkomna symptom under veckan

	Symptom under arbetsveckan		Nya symptom under veckan	
	Vanlig asfalt	Gummi-asfalt	Vanlig asfalt	Gummi-asfalt
Pip (Nej/Ja, %)	25/5 (17%)	25/1 (4%)	26/2 (7%)	22/1 (4%)
Trångt i bröstet (Nej/Ja, %)	28/2 (7%)	26/0 (0%)	26/2 (7%)	23/0 (0%)
Andnöd (Nej/Ja, %)	30/0 (0%)	26/0 (0%)	28/0 (0%)	23/0 (0%)

Hosta (Nej/Ja, %)	24/6 (20%)	22/4 (15%)	25/3 (11%)	20/3 (13%)
Ögonirritation (Nej/Ja, %)	24/6 (20%)	24/2 (8%)	25/3 (11%)	22/1 (4%)
Näsirritation (Nej/Ja, %)	21/9 (30%)	22/4 (15%)	27/1 (4%)	20/3 (13%)
Näsblödning (Nej/Ja, %)	29/1 (3%)	26/0 (0%)	27/1 (4%)	23/0 (0%)
Nedre luftvägssymptom (Nej/Ja, %)	23/7 (23%)	24/5 (17%)	23/5 (18%)	22/4 (15%)
Övre luftvägssymptom (Nej/Ja, %)	18/12 (40%)	24/5 (17%)	23/5 (18%)	22/4 (15%)

Vid jämförelse av symptom i början av arbetsveckan under säsongen och symptom utanför säsongen, fanns det en högre förekomst av besvär av hosta, ögonirritation och näsirritation under säsongen bland de som undersöktes då de arbetade med vanlig asfalt ($p=0,025$, $p=0,039$, $p<0.001$ för varje symptom), liksom hos kontrollpersonerna ($p<0.001$, $p<0.001$, $p=0.005$). Bland de som undersöktes då de arbetade med gummi-asfalt var bara förekomsten av hosta signifikant vanligare ($p<0.001$).

Det fanns vissa indikationer på en högre besvärsförekomst hos de som hade den högsta exponeringen för asfaltrök (maskinförare och plattställare), medan besvärsförekomsten hos de med lägre exponering var mer i nivå hos den i kontrollgruppen. Skillnaderna var dock inte statistiskt signifikanta.

Besvär från nedre respektive övre luftvägar under arbetsveckan (inklusive nytillkomna besvär) efter exponeringsnivå. För besvärsförekomst bland kontroller se not.

	Symptom under arbetsveckan			Nya symptom under arbetsveckan		
	Lägre	Högre	p	Lägre	Högre	p
Nedre luftvägs-symptom (Nej/Ja, %)	60/8 (12%)	66/19 (22%)	0,13	62/6 (9%)	57/11 (16%)	>0,3
Övre luftvägs-symptom (Nej, Ja, %)	46/22 (32%)	54/31 (37%)	>0,3	74/11 (13%)	69/16 (19%)	>0,3

Not: Lägre exponering: vält, klister, lagbas; högre exponering: Maskin, plattställare, handläggning. Besvärsförekomst hos kontroller: Nedre luftvägssymptom under arbetsveckan: 15% (varav nytillkommet 10%); Övre luftvägssymptom: 32% (nytillkommet 12%)

Sammanfattningsvis var irritation i ögon och näsa, liksom hosta, de vanligast rapporterade symptomen hos asfaltarbetarna. Jämförelse av besvär under säsongen och utanför

säsongen gav vissa belägg för att besvären är arbetsrelaterade. Det var visserligen så att både asfaltarbetare och kontroller hade mer besvär under säsongen, men asfaltarbetarna beskrev orsaken till sina besvär som exponering för asfaltrök och kontrollerna att det var gräsklipp under gräsklippningsarbete som irriterade.

6.3 Lungfunktion

Lungfunktionen före arbetsveckans början skilde inte mellan de som skulle utföra vanligt asfalteringsarbete och kontrollerna. De som skulle göra gummi-asfaltarbetet hade något högre FVC (%) ($\beta=4.6$, 95%CI: 0.5, 8.7, $p=0.03$) och FEV₁ (%) ($\beta=3.8$, 95%CI: -0.6, 8.3, $p=0.09$) och kontrollerna. Efter en veckas arbete fanns hos de som utfört arbete med vanlig asfalt ingen sänkning i varken FVC (%) (medelvärde från 96.0 till 95.7, $p=0.45$) eller FEV₁ (%) (99.9 till 99.1, $p=0.16$). Däremot fanns in liten sänkning hos de som arbetat med gummi-asfalt i både FVC (%) (98.2 till 96.4, $p=0.06$) och FEV₁ (%) (100.7 till 99.1, $p=0.05$). En liknande sänkning fanns emellertid också i kontrollgruppen [FVC (%): 92.9 till 92.0, $p=0.08$; FEV₁ (%): 97.6 till 96.2, $p=0.008$].

Sammanfattningsvis var lungfunktionen generellt något högre hos asfaltarbetarna än hos kontrollerna, vilket kan vara resultat av en selektionseffekt (healthy worker effect). En lätt sänkning i lungvolymerna sags över arbetsveckan hos både de som utfört arbete med gummi-asfalt och hos kontrollerna. Det är osäkert om detta kan tillskrivas arbetet.

6.4 Inflammation

De som skulle utföra gummi-asfaltarbetet hade något högre halter av IL-6 ($\beta=3.02$, 95%CI: -0.10 till 6.15, $p=0.06$) och IL-8 ($\beta=9.68$, 95%CI: 5.59 till 13.8, $p<0.001$) än kontrollerna. Ingen sådan skillnad observerades mellan de som skulle arbeta med vanlig asfalt och kontrollerna. Efter fyra dagars arbete sags inga klara mönster vad gäller förändring av dessa markörer.

Ett svagt positivt samband sågs mellan antal år i asfaltarbetet och IL-6 ($\beta=0.04$, 95%CI: -0.008 to 0.09, $p=0.09$) bland arbetarna. Ett positivt samband sågs också mellan förändring 1-HP i urin ($\beta=0.64$, 95%CI: 0.009 to 1.26, $p=0.047$) och CRP, vilket talar för att en större ökning av 1-HP (en markör för asfaltrök) under asfalteringen var förenad med större ökning av CRP.

Sammantaget talar högre nivåer av IL-6 och IL-8 bland gummi-asfaltarbetarna, samt en positive association med antal år som asfaltarbetare på en (sub-)kronisk inflammation hos asfaltarbetarna. Det fanns inga klara belägg för ett akut inflammatoriskt svar under arbetsveckani form av en stegring av IL-6 eller IL-8, men en ökning av en biomarker för asfaltrök var förenad med en ökning av CRP.

6.5 Oxidativ belastning

Mitokondriellt DNA (MtDNA copy number), en markör för oxidativ belastning, var 0.14 enheter (95% konfidensintervall: 0.08 – 0.20) högre hos de som skulle lägga vanlig asfalt och 0.08 enheter (95% konfidensintervall: 0.01 – 0.17) högre hos gummi-asfaltarbetarna

jämfört med kontrollerna. Det fanns ett positivt samband mellan mtDNA copy number och 2-OH-Phen, men inte med 1-HP i urin. Inget samband sågs med antal år i asfaltarbete.

Sammanfattningsvis talar ökningen av mtDNA copy number och den positiva associationen med 2-OH-Phen i urin för en ökad oxidativ belastning, uttryckt som ett kompensatoriskt svar i form av mitokondriellt DNA.

6.6 DNA-skada

Vi har använt två markörer för DNA-skada: 8-oxo-dG i urin, samt telomerlängd i perifera lymfocyter. Ingen ökning sågs av 8-oxo-dG under arbetsveckan (minskade istället i alla tre grupperna). Det fanns inte någon skillnad i telomerlängd mellan de tre grupperna. Däremot sågs ett samband mellan högre halt av PAH-metaboliter (1-HP och 2-OH-Phen) och längre telomerlängd hos asfaltarbetarna. Telomerlängden påverkades inte av antalet år i asfalteringsarbete.

Vi fann inte hållpunkter för akut DNA-skada under arbetsveckan i form av en ökning av 8-oxo-dG i urin. Vi fann inte heller hållpunkter för mer långsiktig skada i form av kortare telomerlängd. Istället fanns ett positivt samband mellan PAH-metaboliter och längre telomerer. Detta är tvärtemot vad man skulle förvänta sig eftersom flera PAH-er är genotoxiska (DNA-skadande) och ger cancer. En förklaring kan vara att asfalträken ger en inflammation som ger ett inflöde av yngre celler till blodbanan. Dessa yngre celler har längre telomerer.

6.7 Jämförelse mellan arbete med vanlig asfalt och gummi-asfalt

I jämförelsen av besvär och medicinska fynd hos de 31 asfaltarbetare som undersöktes både då de arbetade med vanlig asfalt och gummi-asfalt, fanns symptom från lägre luftvägarna hos 7 (23%) arbetare då de arbetade med vanlig asfalt, medan 5 (17%) rapporterade sådana besvär då de arbetade med gummi-asfalt. Vad gäller övre luftvägssymptom rapporterade 12 (40%) detta under arbete med vanlig asfalt och 5 (17%) vid arbete med gummi-asfalt ($p=0.25$ Fisher's exakta test). Ingen skillnad i lungvolym eller i inflammationsbiomarkörer sågs mellan de två typerna av asfalteringsarbeten. Ingen skillnad sågs heller i förändring av mtDNA copy number eller i telomerlängd.

Sammanfattningsvis sågs ingen skillnad mellan perioder med arbete med vanlig asfalt och gummi-asfalt hos de 31 arbetare som undersöktes vid bådadera, detta gällde såväl symptom, lungvolym, inflammation, oxidativ belastning som DNA-skada.

7- Konklusion och bedömning av åtgärdsbehov

De genomförda exponeringsmätningarna och den experimentella studien visar att temperaturen är kritisk. Tidigare studier (PREVIA) har visat en påtaglig ökning av asfalträken vid 170 grader, vi såg experimentellt en mycket tydlig skillnad mellan 140 och 160 grader. Vid en given temperatur är bildningen av små partiklar högre för gummi-bitumen än standardbitumen. Halten av bens(a)pyren och av bensotiazol är cirka fem gånger högre. Laktagelserna stöds av fältmätningarna men skillnaderna är högre mindre tydliga. Bestämning av metaboliter av pyren och fenantren i urin bekräftar en exponering för PAH-er.

Exponeringen för asfalträk, mätt som totaldamm, ligger för maskinförare och plattläggare ofta över de nivåer som i tidigare studier visats kunna ge irritation i ögon och övre luftvägar.

Detta innebär att det är angeläget att hålla temperaturen så låg som möjligt. För att undvika en högre exponering vid exponering vid arbete med gummiinblandad asfalt måste temperaturen hållas lägre än vid arbete med konventionell asfalt.

I fältmätningarna identifierades en exponering för nitrosaminer, som finns både vid arbete med vanlig asfalt och gummi-asfalt, källan till detta bör identifieras och om möjligt elimineras.

I de medicinska undersökningarna identifieras en ökning av slemhinnebesvär och hosta, samt inflammation, och oxidativ belastning, men inte hållpunkter för DNA-skada. Tidigare studier, bl a i Norge, talar för att det kan finnas en ökad risk för KOL och astma (se vidare Arbete och hälsa 2911;45 (3)).

Förutom åtgärder för att generellt minska exponeringen för asfaltrök, samt identifiera källan till nitrosaminbildning, kan det därför finnas skäl att involvera den medicinska och tekniska företagshälsovården i att följa asfaltarbetarna med medicinska kontroller. Dessa kan ha ett dubbelt syfte, dels att identifiera luftvägssjukdom i tidigt skede, dels att närmre undersöka episoder med akuta besvär hos flera i arbetslaget för att identifiera utlösande faktorer.

7. Insatser som skett och planeras för att resultatet ska komma till praktisk användning i arbetslivet

Resultaten kommer att rapporteras vid vetenskapliga kongresser (närmast EPICOH i Barcelona September 2016), samt i vetenskapliga publikationer.

Vi har kontinuerligt informerat vår referensgrupp som innehåller representanter för Trafikverket (beställaren av vägasfalteringsarbeten i Sverige), samt arbetsmarknadens parter (SEKO och Sveriges byggindustrier). De kommer att diskutera resultaten vidare. Ett behov av en kortfattad och pedagogisk broschyr riktad till asfaltarbetarna har diskuterats och skulle eventuellt kunna utformas i samarbete med AFA-försäkring.