



Göteborgs universitet

Naturvetenskaplig problemlösning

28 maj 2001

En studie över gummipartiklars spridning och påverkan på miljön

Daniel Hansson
Decima Henningsson
Carin Sanderoth
Carina Åberg

Handledare:
Bertil Dynefors

Sammanfattning

I personbilsdäck används högaromatiska oljor som mjukgörare för att förbättra däckets egenskaper. Oljorna innehåller polyaromatiska kolväten, PAH, av vilka flertalet är cancerogena. Vid friktion mellan däck och vägbanan slits gummipartiklar loss från bildäcket och hamnar i miljön. Denna förslitning genererar årligen 12 400 ton gummipartiklar längs Sveriges vägar. Om vi antar att gummipartiklarna har samma kemiska sammansättning som däckets slitbana, ger detta ett årligt utsläpp på 16 ton PAH i Sverige. Partiklarna sprider sig i miljön och det är denna spridning och deras miljöpåverkan, vi har studerat. För detta ändamål har vi utvecklat en spridningsmodell och teoretiskt undersökt koncentrationen PAH i en sjö belägen intill en motorväg. Koncentrationen PAH i botten sedimentet i sjön uppgick efter tre år till 70 mg PAH/m³.

Abstract

Car tires contain high aromatic oils which are added during production as softeners which changes the properties of the tyre. The oil itself contains a group of chemical compounds called Poly Aromatic Hydrocarbons, PAHs, of which many are proved to be carcinogenic. Friction between tyre and road cause rubber particles to be released into the environment. This result in more than 12 400 metric tonnes of rubber particles being released annually in Sweden alone. Assuming that the rubber particles have the same chemical mixture and composition as the car tyre they originate from, result in a 16 metric tonne discharge of PAHs annually in Sweden. These rubber particles scatter in the environment and it is this spreading and their impact on the environment we studied. We have developed a model for this purpose and made a theoretical study on a lake situated near a highway. The concentration of PAH in the sedimentation layer of the lake after three years was 70 mg PAH/m³.

1 Inledning

I bildäck tillsätts en högaromatisk olja, HA-olja, för att göra däckets mjukare. HA-oljan innehåller polyaromatiska kolväten, PAH, av vilka flera är klassade som cancerogena. Naturvårdsverket har framställt en lista över olika föroreningars farlighet. Dessa klassas enligt låga, måttliga, höga eller mycket höga. Under klassen mycket höga finns ämnen som inte ens bör hanteras av en person kunnig inom området eller vars användning ska avvecklas. Det är i denna grupp som PAH återfinns [1]. Vid djurförsök där HA-olja strukits över huden på möss har upp till 96% av mössen utvecklat hudcancer. Oljan klassas därför som potentiellt cancerogen. [2] EU har bestämt att HA-olja som innehåller över 3% polycykliska aromater, PCA, skall klassas som cancerframkallande [3]. I PCA återfinns bland annat PAH.

Gummipartiklar slits bort från bildäck vid friktion mellan vägbanan och däckets. Partiklar slits även bort från vägbanan, men det kommer inte att behandlas i denna rapport. Diametern på de partiklar som utgör största delen av massan från däckslitage är större än $10\ \mu\text{m}$ och detta medför att de kommer att falla till marken [4]. Utsläpp av PAH från däckslitage är högre än utsläpp från avgaser och även högre än från slitage av vägbanan [5].

Spridning av PAH kan påverka levande organismer i sjöar, mark och sediment. De flesta PAH är mycket fettlösliga [6] och svårnedbrytbara och kommer därför att ansamlas uppåt i näringskedjan. Eventuellt kan utsläpp av PAH från personbildäck utgöra ett miljöproblem, därför avser vi undersöka saken närmare i denna rapport.

Inledelsevis förklarar rapporten vad ett däck innehåller, begreppen HA och PAH utreds och däckpartiklarnas nedbrytning beskrivs. Därefter förklaras med hjälp av en modell hur långt och med vilken fördelning partiklarna sprids i miljön. Till sist ges resultat, miljöpåverkan diskuteras och en slutsats ges.

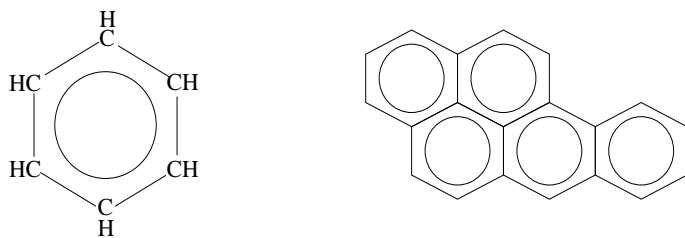
2 Däckets innehåll och nedbrytning

För att ett bildäck skall uppnå alla förväntningar som vi konsumenter har på dess egenskaper såsom säkerhet, komfort, hållbarhet och en mängd andra faktorer, är däckets uppbyggt av cirka 85% gummiblandning, 12% stål och 3% textil. Det är framförallt genom att ändra gummiblandningen som däckets egenskaper förändras. I gummiblandningen finns högaromatiska oljor, så kal-

lade HA-oljor [5].

HA-oljan är en slaggprodukt som fås när råolja renas vid basoljetillverkning för framställning av till exempel smörjmedel [3]. När däcket tillverkas tillsätts oljan som mjukgörare och används, då den är billig, även som utdrysare i gummiblandningen. Ett personbilsdäcks slitbana innehåller cirka 1 till 1,5 liter HA-olja, vilket utgör drygt 20% av gummiblandningen i slitbanan. [5]

De högaromatiska oljorna innehåller polyaromatiska kolväten som är en grupp kemiska föreningar uppbyggda av cykliska kolväten, så kallade aromater, se figur 1. PAH är indelade i två grupper, substituerade och osubstituerade. De osubstituerade aromaterna består av enbart kol och väte, medan de substituerade har en eller flera väte ersatta med en annan atom eller förening [7]. Båda grupperna består av tre eller fler aromatringer där många osubstituerade PAH är cancerogena [8].



Figur 1: Den vänstra figuren visar en bensenring som är den enklaste aromaten. Den högra figuren visar en kedja med bensenringar som bildar ämnet benzo(a)pyrene, en förening som är starkt cancerogen och finns i HA-oljan.

Det finns olika mätmetoder för att bestämma halten PAH i HA-olja. Den metod som används av EU är IP 346. Då tillsätts extraktet dimetylsulfoxid, DMSO, för att extrahera polycykliska aromater, PCA, ur HA-oljan. Dessa aromater består inte enbart av kolväteföreningar utan även av andra föreningar som kan ha mutagena effekter [9]. Metoden tar inte enbart hänsyn till PAH-halten, men har ändå visats vara en god metod då halten PAH i PCA är känd. IP 346 ger att PCA-halten i HA-oljan utgör 10 till 30% [5] och är PCA halten över 3% klassas den som cancerogen. Av dessa 10 till 30% är 0,07% osubstituerade PAH, men då många av de substituerade PAH är outforskade och därmed kan ha en cancerogen effekt, har vi valt att även ta med dessa. Tidigare uppskattningar av PAH i HA-oljan där både de substituerade och osubstituerade aromaterna är medräknade ger en siffra som är en tiopotens högre än då bara de osubstituerade räknats. Detta ger istället

att PAH utgör 0,7% av föreningarna i HA-oljan. [5]

När däckets slits frigörs partiklar från däckets slitbana. Vi antar att dessa partiklar har lika sammansättning som däckets slitbana. Gummit i partiklarna bryts ner då de hamnar i naturen. Nedbrytningen utav gummipolymererna sker med hjälp av oxidation, UV-strålning och ozonangrepp och tas efter hand över av svampar och bakterier, som bryter ned däckets på molekylnivå [10]. Ett försök gjort på nedbrytbarhet av däckets slitbanepartiklar i jordprover, visar att gummimassan halverades efter 16 månader [11]. Ett liknande försök där nedbrytbarhet av PAH testades under närmare tre års tid, visade att redan vid fyra aromatringar försvårades nedbrytningen avsevärt. Vid fem till sex ringar kunde ingen nedbrytning påvisas och till denna grupp tillhör de osubstituerade. [10] Försöken visade alltså att gummipartiklarna bryts ned snabbt medan PAH stannar i sin ursprungliga form, då HA-oljan inte är kemiskt bunden i däckets [12]. Det är först när PAH bryts ned till andra föreningar under metabolismen i organismen [9], som ohälsosamma effekter kan uppkomma.

3 Gummipartiklarnas spridning

Av de gummipartiklar som slits bort från bildäcket är cirka 1% i gasform, 5% luftburna och 94% faller till marken [13]. Spridning av partiklarna påverkas förutom av dess storlek även av omgivningen kring vägen, så som bebyggelse, skog eller öppen mark. Vind påverkar genom att virvla upp partiklarna och därmed öka spridningen, medan regn sköljer bort dem från vägen. [14]

Gummipartiklarnas storlek varierar beroende på däckets kvalitet, ålder och på hur sliten vägbanan är. Ju mer slitet däckets och vägbanan är, desto mindre blir partiklarna. [14] Partiklar mindre än 10 μm är luftburna och kan transporteras långa sträckor med vinden [4]. Vi antar därför att dessa partiklar blandas upp i en sådan stor volym att de inte kan anses ge något tillskott till koncentrationen av gummipartiklar vid vägkanten. Vad beträffar de större partiklarna faller de ned direkt på vägen eller ut vid sidan av den, men oftast inte längre bort än 30 m [11].

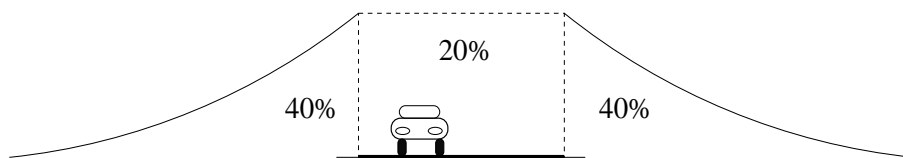
3.1 Modell över partiklarnas fördelning vid vägen

En spridningsmodell har utarbetats för att få en bild över hur gummipartiklar sprids från personbilsdäck. Då vi ej har funnit applicerbara modeller för vårt ändamål har vi själva konstruerat en förenklad modell som beskriver

gummipartiklarnas fördelning vid sidan av vägen. Partiklarnas utsläppskälla ses som en linjekälla eftersom bilen är i rörelse.

Modellen är uppbyggd av två delar där den ena delen beskriver vägen och luften ovanför den. De ekvationer som krävs för att i detalj beskriva luftomblandningen, orsakad av turbulens från bilen, är mycket komplexa. Vi antar därför att det här råder total kaos, vilket gör att luftblandningen med gummipartiklarna är homogen. Ett test visade att den högsta koncentrationen av partiklar återfinns 1,5 m ovanför väggkanten [15], därför väljer vi denna höjd som den högsta höjden varvid spridningen påbörjas. I gränsskiktet mellan de båda delarna i modellen avtar turbulensen tvärt och gummipartiklarna transporteras horisontellt till nästa del där vinden tar vid. Denna del är omgivningen vid sidan av vägen och beskriver partiklarnas fördelning ut i miljön. Partiklarna kommer att falla till marken i en bana, som beskrivs av tyngdkraften och vindhastigheten. Vinden antar vi vara konstant med ett årsmedelvärde på 3 m/s [16] och att det blåser lika mycket från alla vädersträck.

När en bil kör på vägen uppskattar vi att 20% av gummipartiklarna som emitteras från bildäcket kommer att fästa på vägbanan. Dessa partiklar kommer att sönderdelas och spridas av nästa passerande fordon vilken också avsätter 20% gummipartiklar på vägbanan. Övriga 80% av gummipartiklarna kommer fördela sig lika på båda sidor vägen, se figur 2. Vid nederbörd antar vi att alla gummipartiklar på vägen sköljs av till väggkanten. Detta medför att koncentrationen precis vid väggkanten kommer vara högre än vad vår modell kommer att ange.



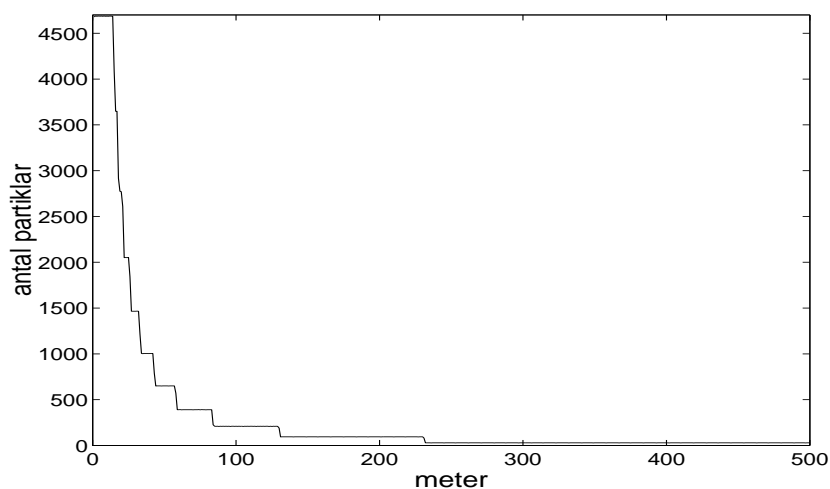
Figur 2: *Spridning av gummipartiklar från vägen vid torrt väder.*

I den del av vår modell som beskriver fördelningen av gummipartiklar längs väggkanten har vi tagit hänsyn till luftmotståndet, vindstyrkan, partiklarnas storlek, fördelning och utsläppshöjd. På grund av luftmotståndet kommer partiklarna att uppnå en sluthastighet, v_T , då tyngdaccelerationen och luftmotståndet befinner sig i jämvikt. Den slutgiltiga hastigheten kan beräknas enligt $v_T = \frac{mg}{6\pi r\eta}$, där m är massan, g är tyngdaccelerationen, r är partikelns

radie och η betecknar luftens viskositet. Då denna hastighet snabbt uppnås antar vi att partikeln har denna hastighet från start. Eftersom partikelns hastighet anses konstant, kan falltiden i y-led beräknas enligt $t_y = \frac{s}{v_T}$, där s är höjden varifrån partikeln faller. När partikeln faller mot marken kommer vindhastigheten, u , i x-led att påverka fallet horisontellt. Partikelns nedslagsplats angivet i meter från vägen kan därför beräknas enligt

$$x = t_y u = \frac{6\pi r \eta s u}{mg}.$$

Vi har valt att inrikta oss på partiklar i storleksordningen 50 till 300 μm , då vi genom vår modell kan se att det är dessa partiklar som hamnar inom 500 m från vägen. Partiklarna antas ha en jämn storleksfördelning. Höjden som partiklarna når på grund av turbulensen har delats upp i 0,1 mm stora intervall, ds , från vilka en partikel i varje storleksordning startar. Avståndet längs marken från utsläppskällan till nedslagsplatsen är uppdelat i 1 m breda intervall. För att göra dessa beräkningar konstruerades ett simuleringsprogram i MatLab. Programmet simulerade 165 000 gummipartiklars spridning och resultatet redovisades i en graf. Ur grafen kan utläsas att den högsta andelen av gummipartiklarna återfinns inom 40 meter från vägen, se figur 3.



Figur 3: *Spridning av gummipartiklar längs vägen enligt vår modell. Den högsta koncentrationen återfinns inom 40 meter från vägkanten då det blåser 3 m/s.*

Vi vill beräkna det årliga PAH-utsläppet, Q , från gummipartiklar som inte är luftburna. För att beräkna Q ställdes ett samband upp mellan olika gällande faktorer. Detta gav uttrycket

$$Q = EsNPmCp,$$

där E är emissionen gummipartiklar från bildäcket per kilometer, s är antal personbilskilometer per år (pbkm/år), N är antalet personbilar i Sverige under ett visst år, P är andelen av den totala personbilsparken med HA-olja i däcken under ett helt år, m är andelen HA-olja per däck, C är andelen PAH i HA-oljan och p är andelen partiklar från bildäcket som är större än $10\ \mu\text{m}$. Insättning av värden ger oss $Q=16$ ton. Detta är en ökning med drygt 10% jämfört med vårt uppskattade PAH-utsläpp på 14,52 ton 1994, det år då problemet med PAH i bildäck uppmärksammades av kemikalieinspektionen. Se appendix A.

3.2 Koncentrationen av PAH i en utvald sjö

Vi har valt att titta närmare på PAH-utsläppet till sjön Böksjön som ligger vid E4:an mellan Norrköping och Nyköping. Motorvägen löper under cirka 500 m precis utefter västra strandkanten, men en vägsträcka på 1 km har dränerats så att allt dagvatten rinner ned i sjön [15]. Volymen på sjön är 1 960 000 m^3 och avrinning från den är 49 l/s [17]. Vi får att 0,2% av vattenvolymen dagligen byts ut. Vi vet att det varje dygn passerar cirka 14 000 bilar [18] och varje bil släpper ut 0,2 g gummipartiklar/pbkm, av dessa faller 94% ner vid sidan av vägen, vilket resulterar i 2600 g gummipartiklar/dygn. Av dessa kommer 60% hamna i sjön och de övriga 40% hamnar utanför diket på andra sidan vägen och kommer inte att påverka koncentrationen i sjön. Totalt kommer 1600 g gummipartiklar att hamna i sjön varje dygn. Gummipartiklarna innehåller 20% HA-olja och 700 ppm av oljan består av osubstituerade PAH. Vi räknar enbart med osubstituerade PAH då riktlinjerna är beräknade på dessa. Detta resulterar i ett tillskott på 0,22 g PAH varje dygn i Böksjön. Då vi vet att PAH sedimenteras till botten och ej bryts ned inom 3 år, vill vi veta vilken koncentration som då har uppnåts. Genom att använda geometrisk serie $a \cdot \frac{x^n - 1}{x - 1}$, där a är massan PAH/dygn, x är den del vatten som inte byts ut genom avrinning och n är antal dagar, får vi att 98 000 mg PAH har hamnat i Böksjön efter tre år. Detta divideras med volymen för botten sediment, som torkat är 1400 m^3 om vi antar att sedimenteringsdjupet är 1 cm, bottenarean är lika stor som sjöns area vilken är 280 000 m^2 och hälften av sedimentet utgörs av vatten. Vi får koncentrationen efter tre år till

70 mg PAH/m³. Den svenska riktlinjen för PAH i bottensediment är 20 mg PAH/m³ [19].

4 Resultat

Användandet av HA-oljor i bildäck resulterar i ett PAH-utsläpp på 16 ton per år i Sverige. Modellen ger att den högsta koncentrationen gummipartiklar återfinns inom 40 m från vägkanten. I exemplet Böksjön visade det sig att koncentrationen på sjöns botten efter tre års exponering var 70 mg PAH/m³.

5 Diskussion och slutsats

I en begränsad omfattning kan PAH bildas naturligt i naturen, dock har människans användande av dessa långlivade organiska föreningar gjort att förhöjda halter återfunnits i naturen. Höga halter av PAH har hittats i bland annat musslor och hos vissa fiskarter och mikroorganismer har minskad fertilitet och mutationer i arvsmassan upptäckts [20]. Detta beror på att PAH inte gärna löser sig i vatten utan är fettlösliga och lagras i fettrik vävnad i organismer. Det är först när PAH bryts ned under metabolismen, ämnesom-sättningen, som vissa reaktiva föreningar kan bildas. Dessa kan angripa till exempel DNA och ge upphov till tumörer. PAH ger ingen akut toxisk effekt, utan det är först vid långtidsexponering som en effekt kan fås. [21]

I vår modell över gummipartiklars spridning kan vi se att den högsta koncentrationen av gummipartiklar återfinns vid vägkanten. Det är ofta här som eventuella diken finns, vilket leder till ytterligare spridning av gummipartiklarna genom avrinning av dagvatten. På grund av sin låga vattenlöslighet är PAH benäget att fästa vid andra partiklar som efterhand sedimenterar till botten. Detta leder till att en upplagring av PAH på botten kan ske, vilket påverkar bottenlevande organismer. De utsätts för en extremare exponering av PAH i vattnet än andra vattenlevande djur.

Exemplet Böksjön ger oss en mycket grov uppskattning av de PAH-halter som kan återfinnas i en sjö orsakat av HA-oljeanvändandet i slitbanegummit från bilar. Den uträknade halten PAH efter 3 år var över riktlinjerna. Inga tester på nedbrytbarheten av PAH har gjorts för längre tid än 3 år, alltså vet vi inte hur lång den egentliga nedbrytningstiden är. Om ekosystemet i sjön rubbas kommer även ekosystemen på land påverkas då de är i symbios med varandra. Undersökningar som har påvisat att PAH inte bryts ned inom rim-

lig tid ger oro för framtida bioackumulation av ämnet hos djur och människor.

När kemikalieinspektionen 1994 släppte sin rapport, Nya hjulspår, möttes den av stort motstånd från däckindustrin, men den har ändå gett resultat. Några av däcktillverkarna har idag HA-oljefria vinterdäck och använder istället en ersättningsolja, med polyaromat innehåll mindre än 3%, kallad MES-olja. Det har tyvärr visat sig att MES-oljan inte ger lika bra våtgrepp som HA-oljan och är därför endast utbytt i vinterdäck, dock är bara cirka 10% av dem fria från HA-olja.

Bilavgasers effekt på miljö och hälsa är något som de flesta är medvetna om. Undersökningar av PAH-utsläpp från personbilar visar att en bil med katalysator släpper ut cirka 0,18 mg PAH/pbkm och en bil utan katalysator cirka 0,49 mg PAH/pbkm [4]. Detta kan jämföras med att en bil med HA-olja i slitbanan släpper ut 0,28 mg PAH/pbkm. De nya däcken som innehåller MES-oljan har 98% [22] lägre PAH-utsläpp per personbilskilometer. Om HA-oljan hade ersatts med MES-olja i alla däck, hade det totala PAH-utsläppet orsakat av däckslitage och bilavgaser från bil med katalysator minskat med drygt 60%. Se appendix B.

Den förenklade modell vi har använt oss av återger inte verkligheten till fullo, exempelvis kommer avrinningen av dagvatten innehållande gummipartiklar från vägbanan ge en högre koncentration PAH vid väggkanten. Vi anser ändå att modellen ger oss en tillräckligt god approximation för att förklara spridningen. Enligt undersökningar hamnar majoriteten av partiklarna inom 30 meter från vägen [11], vilket stöder vår modell.

Det finns idag djurförsök som visar att PAH har en cancerogen effekt, dessa studier är dock gjorda i laboratorier och inte i försöksdjurens naturliga miljö. Vid provtagning av PAH i naturen är det svårt att kartlägga varifrån aromaterna kommer då det finns flera olika utsläppskällor, till exempel vedeldning. Fastän det inte går att bevisa att det är just från däckslitage ett visst PAH härstammar, är det ändå viktigt att minska PAH utsläppet orsakat av användandet av HA-olja.

Referenser

- [1] Naturvårdsverket: *Farlighetsbedömning av partiklar*
www.viron.se ,2000-12-20.
- [2] Nutt, A.R.: *Toxic hazards of rubber chemicals*
Elsevier Applied Science Publishers LTD, 1984. ISBN 0-85334-242-3.
- [3] Kommunförbundet Västernorrland: *Miljökriterier och deklARATIONER- däck*
www.y.komforb.se/manual/demo/ ,2000.
- [4] Pettersson, M., : *Luftföroreningar i staden*
www.miljoporten.stockholm.se , 2001-03-07.
- [5] Ahlbom, J., Duus, U.: *Nya hjulspår - en produktstudie av gummidäck*
6/94, Kemikalieinspektionen, 1994.
- [6] Schwarzenbach, R.P., Philip, M., Dieter, M.: *Environmental organic chemistry*
John Wiley and Sons, Inc., 1993. ISBN 0-471-83941-8.
- [7] Andersson, Sonesson, Tullberg: *gymnasiekemi 1*
Liber AB , ISBN 91-4700103-8, 1993, s.117.
- [8] National Toxicology Program: *National Toxicology Program (NTP) Home Page*
ntp-server.niehs.nih.gov , 2001-04-06.
- [9] Stang, G.: *PAC varies with the method of measuring Naphthenics*, 2/95, s.10-11.
- [10] Personlig kontakt, Ahlbom, J., Länsstyrelsen Västra Götaland, Duus, U., Konsult.
- [11] Candle, S-H., Williams, R.L: *Environmental degradation of tire-wear particles*
Vol 53, sid 903-913, Rubber Chemistry and Technology, 1980.
- [12] Göteborgsregionens kommunalförbund, Länsstyrelsen i Västra Götaland, Västra Götalandsregionen, Business Region Göteborg, Försökringsbolaget Folksam : *Ny lista på vinterdäck*

- utan giftiga oljor*
www.gr.to , 2001-02-10.
- [13] Gustafsson, M.: *Icke-avgasrelaterade partiklar i vägmiljön*
VTI meddelande 910, Väg- och transportforskningsinstitutet,
2001.
- [14] Bæcken, T.: *Miljøvirkninger av vegtrafikkens asfalt og dekkslitasje*
NIVA O-92090. Norsk institutt for vannforskning, 1993.
- [15] Thunqvist, E-L.: *Polloution of groundwater and surface water by roads - with emphasis on the use of deicing salt*
KTH Högskoletryckeri, Stockholm, 2000. ISBN 91-7170-600-3.
- [16] Luftnet: *Partikelhalten i Göteborgsluften*
www.miljo.goteborg.se/luftnet/ ,2001.
- [17] Norrköpings kommun: *Sjöar i Norrköping*
www.norrkoping.se , 2001-05-22.
- [18] Personlig kontakt, Holmgren, P., Vägverket, Borlänge.
- [19] Naturvårdsverket: *Levels of Contamination - Swedish EPA*
www.environ.se , 2001-05-28.
- [20] Oris, J.T, mfl.: *Toxicity of ambient levels of motorized watercraft emissions to fish and zooplankton in Lake Tahoe, California/Nevada, USA*
- [21] Thuvander, A, mfl.: *PAH I LIVSMEDEL - Vad vet vi om hälso-
risken*
www.slv.se , 2001-05-10.
- [22] Personlig kontakt, Nilsson, M.N, SVEN-CSP, AB Svenska Shell.
- [23] Personlig kontakt, Johansson, A., Vägverket.
- [24] SIKÅ: *Fordon i trafik efter fordonsslag och län vid årsskiftet 2000/2001*
www.sika-institute.se/databas/vagper.html , 2001-03-09.

- [25] Edwards, H., Beckman-Sundh, U., Andersson, C.: *Trafikarbetet uttryckt i fordonskilometer på väg i Sverige 1950 - 1997* Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI 439-1999 rapport, 1999.

Ett stort tack till vår handledare Bertil Dynefors och vår kontaktperson Jan Ahlbom. Vi vill också tacka Ulf Duus och Katarina Abrahamsson.

Appendix

A Årligt utsläpp av PAH från gummipartiklar

För att beräkna PAH utsläppet från personbilarnas däckslitage till den svenska miljön 2001 har vi att $Q = EsNPmCp$. De olika variablerna har i vårt fall satts till följande: E : För varje körd personbilskilometer slits 0,2 g gummipartiklar bort [13]. s : En genomsnittsbil i Sverige år 2000 körde cirka 15 560 km/år [23]. N : Vid årskiftet 2000/2001 fanns det 3 998 614 registrerade bilar i Sverige [24]. P : År 2001 var 10% av vinterdäcken, som gick att köpa i Sverige, fria från HA-olja i slitbanan [10]. Vägverket har uppgivit att 22,6% av årstrafiken utgörs av vinterdäckburna personbilar. Om vi antar att 10% av de använda bildäcken under vinterhalvåret utgörs av HA-oljefria däck medför detta att det under ett år är 97,74% av bilarna som använder däck där HA-olja finns i slitbanan. m : Ett däckslitbana innehåller drygt 20% HA-olja. C : De substituerade samt osubstituerade utgör tillsammans 0.7% av HA-oljan i ett bildäck. p : Andelen av de partiklar som faller direkt ned till marken eller inom ett närliggande område är 94%. Insättning i ekvationen ger $Q_{2001} = 16$ ton PAH. På samma sätt kan Q räknas ut för PAH-utsläppet från personbilarnas däckslitage till miljön 1994. Då fanns det 3 580 120 registrerade bilar i Sverige och de körde i snitt 15 414 km/år [25]. År 1994 fanns inga bildäck vars slitbana var fri från HA-olja [10] varför p sätts till 1. Övriga siffror antas vara samma som för 2001. Q_{1994} kan då beräknas till 14,52 ton PAH. Ökningen i PAH utsläpp sedan 1994 beräknas som $1 - \frac{Q_{1994}}{Q_{2001}}$, vilket blir 9,25%

B Jämförelse av PAH-utsläpp från avgaser och däckslitage

Utsläppet av PAH från katalysatorrenade personbilar, E_{kat} , är 0,18 mg PAH/pbkm. Den totala emissionen PAH, om alla bilar hade haft katalysatorer, kan beräknas som $Q_{kat} = E_{kat}sNp$. Antar vi samma siffror för s , N och p som i Appendix A räknas Q_{kat} ut till 10,53 ton PAH. Emissionen PAH från personbilsdäck, Q , varje år är 16 ton. Detta medför att den totala mängden PAH som släpps ut varje år till miljön via avgaser och bildäckslitage är $Q_{kat} + Q = 26,53$ ton. Utsläppet av PAH från bildäck i vilka HA-oljan ersatts av MES-oljan kan beräknas enligt $Q_{mes} = E_{mes}sNp$ där $E_{mes} = 0,0056$ mg PAH/pbkm. Insättning i ekvationen ger $Q_{mes} = 0,328$ ton PAH. Den totala mängden PAH som släpps ut varje år till miljön, om alla bilar hade haft däck i vilka slitbanan innehåller MES-olja samt katalysator på bilen, är $Q_{mes} + Q_{kat} = 10,858$ ton. Förändringen i PAH utsläpp beräknas som $1 - \frac{Q_{mes} + Q_{kat}}{Q_{kat} + Q}$, vilket ger 59% minskning av PAH utsläpp till miljön.