

## MATERIAL

### **Trä, Papper, Biopolymerer, Gummi, Metall Plast, Polyeten, PVC, Polyuretan, Polystyren, PET**

Miljöaspekter på råvaror, tillverkning, användning, återvinning och avfall har stor betydelse för val av och utveckling av material. Kemisk grundstruktur och kemiska additiver är ofta avgörande för vilka miljö- och hälsoproblem som kan uppstå.

Dokumentet svarar mot kap 15 (9 s) i kursboken Kemisk Miljövetenskap. Boken publiceras under 2008 på nätet i tolv delar som alla nås via denna översiktslänk.

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/72639.pdf>

## MATERIAL

LÖNN	<b>TALL (FUR)</b>	AL
ALM	<b>GRAN</b>	ASP
ASK	BJÖRK	RÖNN
BOK	EK	SÄLG

### Trä

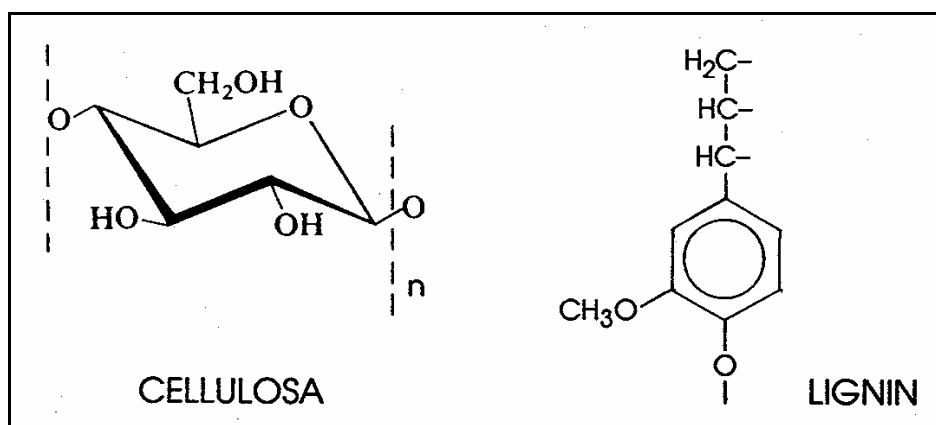
Från kretsloppssynpunkt har biomassabaserade material närmast idealiska förutsättningar eftersom råvaran är förnyelsebar. Detta framhålls också alltmer av skogsindustrin.

**Skogsbruk:** Miljövänliga skogsprodukter förutsätter ett ekologiskt acceptabelt skogsbruk. Under 1990-talet inleddes, under press från miljöorganisationer och konsumenter, en radikal omställning av hela det svenska skogsbruket. Bevarande av *hotade arter* och deras biotoper har, liksom skydd av fjällnära och andra *urskogar*, fått hög prioritet. Detsamma gäller skydd av artrika hotade biotoper som *alkärr* och *ädelövskogar*. Val av trädslag och skogsskötsel med hänsyn till den lokala växtplatsen, så kallad *ståndortsanpassning*, vinner snabbt insteg. Stora kalhyggen och monokulturer av gran är på väg ut.

**Skogsmaskiner:** Det mekaniserade skogsbruket använder dieselmotordrivna maskiner vilka svarar för ca 10% av NO<sub>x</sub>-utsläppen i Sverige. För smörjoljor och hydrauloljor introduceras nedbrytbara biomassabaserade oljor i stället för mineraloljor.

**Transporter:** De omfattande lastbilstransporterna för ved och trävaror är ett stort och svårt miljöminus med avseende på bl a *fossila bränslen*, *koldioxidutsläpp* och *kväveoxidutsläpp*.

**Rötskydd:** För vissa användningar av trä som byggnads- och konstruktionsmaterial behöver den naturliga biologiska nedbrytningen bromsas för att förlänga materialets livslängd. Detta har länge skett med impregneringsmedel innehållande *koppar* och tidigare även *krom* och *arsenik* som fungicider. Senare har främst *kreosottjära* med ett mycket högt innehåll av PAH använts. Vid impregneringsstationer har svårsanerad markförgiftning skett. Förbränning av behandlat trä utgör ett miljögiftshot. Miljövänligare nya metoder för rötskydd är acetylering av vedens OH-grupper och impregnering av veden med lignin från massaindustrins avlutar.



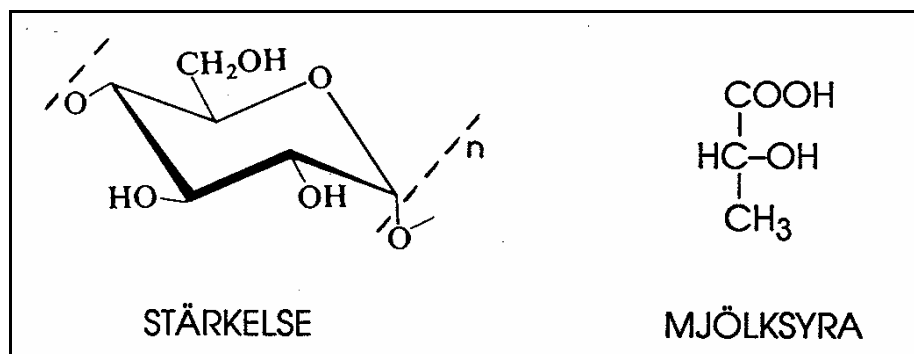
## Papper

**Kemisk pappersmassa:** Papper med hög styrka och beständighet framställs från massaved genom att vedens lignin kemiskt tas bort från veden. Detta sker i kokningsprocesserna vid *sulfatbruk* eller *sulfitbruk*. Den framställda pappersmassan består av långfibrig cellulosa och ger därför ett starkt papper. I båda processtyperna används svavelinnehållande kokkemikalier vilket medför utsläpp av *svaveldioxid*. Från sulfatprocessen emitteras också karakteristiskt stinkande luftföroreningar som metantiol, CH<sub>3</sub>SH, och dimetylsulfid, CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub>.

**Mekanisk pappersmassa:** Mekanisk friläggning av vedfibrer utan borttagning av lignin ger pappersmassa med högre utbyte men lägre styrka som passar för bl a tidningspapper. Vid förhöjd temperatur framställs *termomekanisk massa*. Framställningen är *elenergikrävande*.

**Massablekning:** Blekning av sulfatmassa och sulfitmassa i flera bleksteg med bl a *klor* och *klordioxid* (Cl<sub>2</sub> och ClO<sub>2</sub>) har länge använts för att eliminera efter kokningen återstående ligninrester. Delignifiering med *syrgas* har banat vägen för avveckling av klorblekning. För själva blekningen används då *väteperoxid*. Även mekanisk massa bleks med väteperoxid. Ett problem är att *komplexbildare* som EDTA, (HOOCCH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH<sub>2</sub>COOH)<sub>2</sub>, behövs för att förhindra oönskad metallkatalyserad nedbrytning av cellulosa. Avancerad biologisk rening behövs för nedbrytning av EDTA. Emissioner av svårnedbrytbara komplexbildare till vattenrecipienter förändrar metalljoners spridning och egenskaper och kan därigenom ge svåröverblickbara miljöeffekter.

**Papperstillsatser:** Ett stort antal funktionskemikalier används vid papperstillverkning, vid ytbehandling av papper, i tryckfärger, vid tryckning på papper och även vid avsvärtning av returpapper. Miljöoptimering och öppen redovisning av alla tillsatser behövs för att papper miljömässigt skall kunna konkurrera på bästa sätt.



## Nya biopolymerer

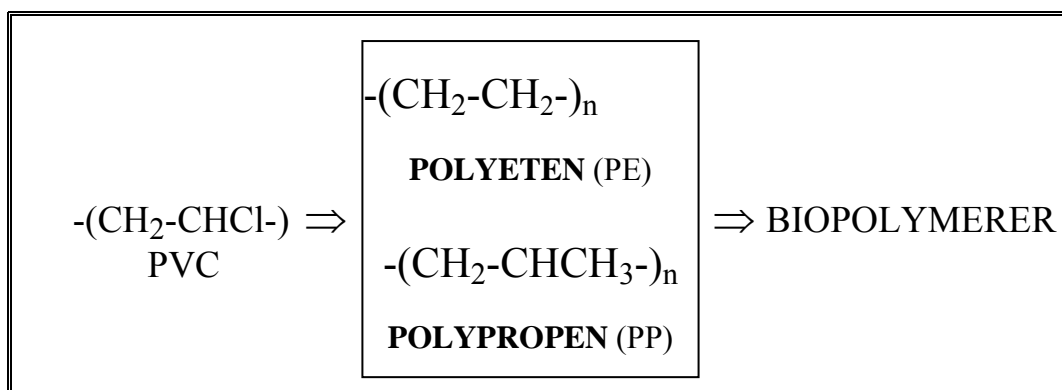
Under senare tid har intresset ökat för biopolymerer baserade särskilt på jordbruksråvaror. Ett motiv är insikten att de traditionella fossilbaserade plasterna knappast har någon framtid.

**Stärkelsebaserade material:** I Sverige har material baserade på *potatisstärkelse* visat på möjligheter för biopolymera material. Stärkelse består av *amylos* och *amylopektin* som utgörs av på olika sätt förgrenade glukoskedjor. Den kemiska kopplingen mellan glukosenheterna skiljer stärkelse från cellulosa. Internationellt har många produkter gjorda på *majsstärkelse* introducerats. Miljöanpassad odling är en förutsättning för biomassabaserade produkter med miljömässig konkurrenskraft.

**Mjölksyrabaserade material:** Från mjölksyra kan en *polyester* framställas via förestring av COOH-gruppen med den alkoholiska OH-gruppen i nästa molekyl under vattenavspjälkning. Mjölksyra är en biologiskt tilltalande monomer som ingår som en nödvändig komponent i ämnesomsättningen hos levande organismer inklusive människan. Specialprodukter för bl a kirurgi har tillverkats av mjölksyrapolymerer, som har stor utvecklingspotential. Likartade polymerer kan göras från 3-hydroxibutansyra som framställs mikrobiellt.

**Djärva mål:** En snabb miljödriven utveckling av nya biomassabaserade polymera material kan förväntas. Redan nu har visats att möjligheter finns att miljöanpassa vissa material så långt att produkterna efter användning kan bli djurfoder.

**Klassiska polymerer:** Möjligheter finns att göra även våra vanliga plaster förnybara genom att framställa monomererna från förnybara råvaror. Den nu dominerande plasten är polyeten. Monomeren eten kan kemitekniskt relativt enkelt framställas från etanol som i sin tur kan framställas från både grödor och vedråvara.



## Polyeten och polypropen

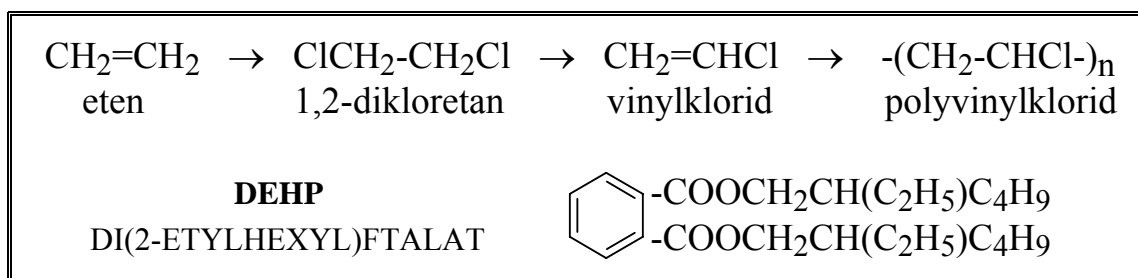
Bland de traditionella fossilbaserade plasterna dominerar polyeten på världsmarknaden och användningen av polypropen ökar snabbt. Båda polymertyperna räknas allmänt till de minst miljöfarliga plastmaterialen.

**Polyetenframställning:** I Sverige producerar krackeranläggningen i Stenungsund eten från *petroleumråvaror* med propen som biprodukt. Polyeten av olika slag framställs i separata stora anläggningar. Industrin har varit under press för att minska de stora utsläppen av *eten* och propen som via fotooxidantbildning kopplats till skogsskador i regionen. De diffusa etenutsläppen kommer från ett mycket stort antal punkter som lokaliserats bl a med hjälp av uppmärksammade spårhundar. Krackeranläggningen ger också utsläpp av bl a bensen och 1,3-butadien.

**Tillsatser:** Jämfört med PVC framstår både polyeten och polypropen som miljövänliga med avseende på användning och resthantering. En svag punkt är att många och dåligt deklarerade tillsatser förekommer även om mängderna är mindre än i andra plaster.

**Marknadsföring:** Produkter av polyeten och polypropen marknadsförs ofta effektivt som miljövänliga. Detta bygger på en oftast underförstådd jämförelse med PVC. Om jämförelser i stället görs med biomassabaserade material blir utfallet mindre fördelaktigt.

**Produkttrender:** En mängd plastdetaljer av PVC har under det senaste decenniet bytts ut mot polyeten eller polypropen i hundratals olika produkter som ett led i miljöanpassning och miljömarknadsföring av produkterna. Flera stora företag har systematiskt tagit bort PVC i sina produktsortiment. Polyeten och polypropen (polyolefiner) har också gjort inbrott i kvantitativt viktiga nischer för mjuk PVC som golvmattor och elkablar.



## Polyvinylklorid

I Sverige produceras mer än 100 000 ton PVC per år vid en stor anläggning i Stenungsund. Styv PVC används i Sverige mest för rör. Mängden mjukgjord PVC för främst kablar och golv har varit ungefär lika stor, men har minskat av miljöskäl.

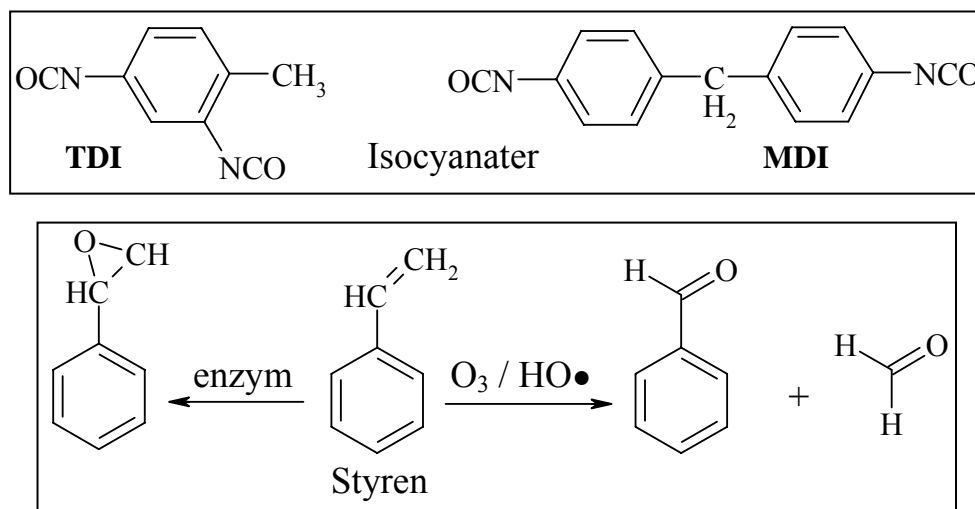
**Råvaror:** Framställningen sker från *eten och klorgas*. I Stenungsund erhålls eten från den centrala krackeranläggningen. Klorgas framställs fortfarande i den mycket elenergikrävande *kloralkaliprocessen* som medfört miljöproblem med klorgas och kvicksilverutsläpp.

**Mellanprodukter:** De två klorkolvätena *diklorethan* (EDC) och *kloreten* (vinylklorid, VCM) är hälsofarliga *cancerogena* ämnen i arbetsmiljön och även i utsläppen från tillverkningen. Vid framställningen bildas också ett miljöfarligt avfall av oflyktiga klorkolväten (EDC-tjära).

**Mjukgörare:** Mjukgjord PVC innehåller flera tiotal procent av lågmolekylära mjukgörare som lätt migrerar ut från plasten. Den dominerande mjukgöraren är *dioktylftalat* (DOP) eller di-(2-etylhexyl)ftalat (DEHP) som ibland betecknas som världens mest spridda miljögift. Dess lipofila egenskaper medför en anrikning i fett och levande organismer. Särskilt för PVC-leksaker som barn kommer i närmkontakt med har direkta förbud införts. Åtminstone vissa *ftalater* har *hormonimiterande* effekter. Tekniskt kan ftalater ersättas med mjukgörare av annat slag, men denna omställning har gått trögt för PVC.

**Resthantering:** Produkter av PVC har en livslängd som kan variera från mindre än ett år till mer än 100 år (för t ex rör). I slutändan deponeras eller förbränns vanligen avfallet mer eller mindre kontrollerat.

**Saltsyra och dioxiner:** Vid sopförbränning bildas försurande saltsyra från det klor som finns i PVC. Det höga klorinnehållet medför att viktmängden bildad saltsyra blir mer än 50% av viktmängden förbränd PVC. Saltsyran gör brandrök från PVC mycket korrosiv. Risk för dioxinbildning finns vid olika typer av *bränder och ofullständig förbränning* då material av PVC är inblandade. Dioxinbildningen kan katalyseras av bl a koppar.



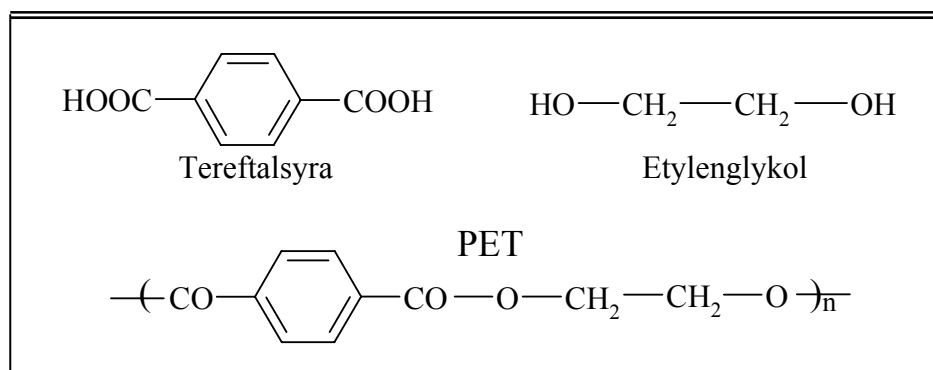
## Polyuretaner och polystyren

**Polyuretaner och isocyanater:** Polyuretaner (*PUR*) framställs genom polymerisering av isocyanater med polyalkoholer och får uretansekvensen  $\text{-NH-CO-O-}$  som grundstruktur. Isocyanater är akuttoxiska, genotoxiska och starkt *allergiframkallande*. För framställning ersätts nu TDI (toluendiisocyanat) av den mindre flyktiga MDI (difenylmetandiisocyanat). Denna isocyanat skall inte förväxlas med metylisocyanat ( $\text{CH}_3\text{-N=C=O}$ ) som orsakade den svåra katastrofen i Bhopal i Indien med tusentals dödsoffer. Isocyanater hydrolyseras vid kontakt med vatten till koldioxid och aminer som kan vara hälsofarliga.

**Konsumentprodukter:** Polyuretaner finns i många vardagliga produkter. Det har visat sig att isocyanater kan frigöras från dessa, speciellt vid uppvärmning. Särskilt för produkter som barn kommer i kontakt med har därför polyuretanmaterial börjat avvecklas. Miljöanpassat materialval kan alltså innebära att inte bara PVC utan också PUR väljs bort.

**Polystyren och styren:** Vid framställning av polystyren polymeriseras styren (etenylbensen). Styren används även som lösningsmedel vid framställning av armerad polyesterplast för bl a plastbåtar. Styren metaboliseras liksom andra alkener enzymatiskt till en genotoxisk epoxid. Atmosfärkemiskt reagerar styren med OH-radikalen eller ozon till bensaldehyd, formaldehyd och reaktiva radikaler. Utsläpp av styren till luft har minskats avsevärt genom skärpta krav.

**Skumplaster:** Skumplaster tillverkas av såväl polyuretaner som polystyren. Freoner har då använts för skumning men ersatts av mindre miljöfarliga gaser som pentaner och koldioxid. Freoner som isolergas i PUR-skum för kylskåp och fjärrvärmerör har ersatts vid tillverkning men finns kvar i äldre produkter.



## PET och plaståtervinning

Polyesterplasten PET (polyetylentereftalat) har fått en snabbt ökande användning särskilt som material för plastflaskor.

**Återanvändning:** Ett viktigt miljöskäl för ökad användning av PET har varit att PET-flaskor kan återanvändas. Detta sker för stora flaskor via pantsystem. Föroreningsrisker med krav på kontrollsystem försvårar dock återanvändning.

**Återvinning:** Flaskor av PET kan också återvinnas till *fleece*. Detta sker via pantning för små PET-flaskor. Materialets lätthet och en hög återvinningsandel gör att PET framstår som väl anpassat till producentansvaret för förpackningar.

**Miljö- och hälsoproblem:** De lätta PET-flaskorna har medfört en snabbt ökad konsumtion av buteljerade drycker jämfört med dricksvatten. Detta är negativt med avseende förbrukning av material och energi, och medför även ökade transporter. Än värre är det kanske att de allt större PET-flaskorna har medfört en stor och hälsofarlig ökning av konsumtionen av sötade drycker.

**Märkning för återvinning:** För att underlätta återvinning av plast har ett märkningssystem för olika typer av plast införts. Blandade plastmaterial ger oftast lägre kvalitet på återvunnet material. Följande sifferkoder inom en återvinningstriangel används. Efter PET är det främst hårdplast av polypropen och polyeten som återvinns från konsumentprodukter.

**1: PET** (polyetylentereftalat)

**3: PVC** (polyvinylklorid)

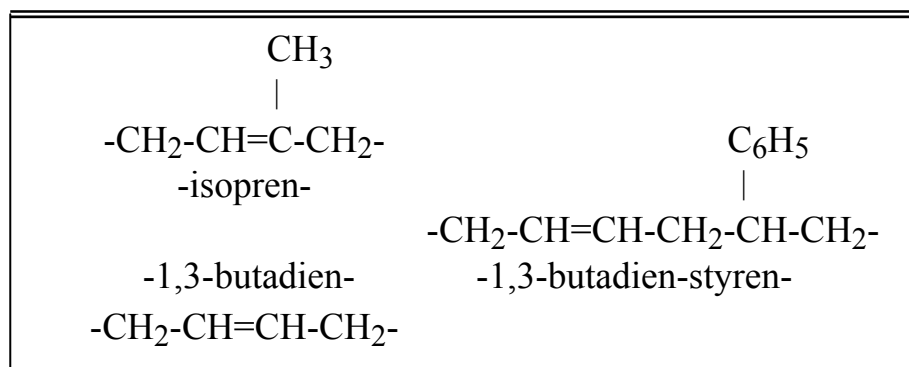
**5: PP** (polypropen)

**2: PE-HD** (polyeten, high-density)

**4: PE-LD** (polyeten, low-density)

**6: PS** (polystyren)





## Gummimaterial

**Gummipolymerer:** Naturgummi utgörs av polymerer av *isopren* (metyl-1,3-butadien). Det är ett förnybart material som utvinns från gummiträdet med hemvist i Sydamerika och mest omfattande odling i Sydostasien. Syntetiskt gummi är till stor del *styrenbutadiengummi* som är baserat på en sampolymer av styren och 1,3-butadien. Även syntetiska gummipolymerer av 1,3-butadien och isopren är vanliga.

**Butadien:** Det cancerogena ämnet *1,3-butadien* utgör en allvarlig hälsorisk vid *tillverkning* av syntetiska gummipolymerer. Butadien och bensen bildas också som framträdande toxiska flyktiga ämnen vid *ofullständig förbränning* av gummimaterial. Detta problem förvärras av att gummibränder ofta är svårsläckta.

**Tillsatser:** En dominerande produkt är gummidäck som innehåller hundratals mer eller mindre miljö- och hälsofarliga ämnen. Svavel och speciella funktionskemikalier används för vulkning (tvärbinding). En stor andel kol (kimrök) ingår oftast som fyllmedel. Tillsatser av mineraloljefraktioner med ett högt innehåll av PAH har fått stor uppmärksamhet. Beslut om avveckling av dessa har tagits. Dubbelbindingarna i polymererna gör gummit känsligt för oxidation från ozon och luftsyre, och därför används tillsatser av tekniska antioxidanter. En fortsatt sanering i djungeln av olika tillsatser torde vara nödvändig för att gummimaterialen skall bli miljömässigt acceptabla och långsiktigt konkurrenskraftiga.

**Vägslitage:** Mängden gummi inklusive tillsatser som slits av från däck och hamnar längs de svenska vägarna är ca 10 000 ton/år. Samtidigt bidrar särskilt dubbdäcken till att riva upp tiofalt större mängder av asfalt med dess innehåll av bl a komplexa polycykliska ämnen. Till detta kommer vägsalt, tensider från spolarvätska, metaller från korrosion och deponerade avgaskomponenter från bensin- och dieselfordon. Resultatet blir miljöförgiftning längs alla vägar och en luft med för trafikanterna hälsofarliga partiklar och gaser.

<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

## Metalliska material

Ett ohämmat uttag av ett stort antal tekniskt användbara metaller har orsakat svåra miljö- och hälsoproblem runt hela jorden. Problemet ökar med efterfrågan från expanderande ekonomier som Kinas. Grundläggande kretsloppsprinciper säger att uttag av lagerresurser som metaller bör minimeras.

**Järn och stål:** Stora materialflöden orsakar stora miljöproblem kopplade till järn och stål. Gruvavfall medför under hundratals år urlakning av många metaller till mark och vatten. Järn- och stålverk slukar mycket energi och emitterar svaveldioxid och kväveoxider. Stållegeringsmetallerna *nickel* och *krom* är välkända hälsofaror, och miljöförstöringen vid nickelutvinning i norra Ryssland är ökänd. Skrot förorenat med spilloljor och färger kan ge problem vid nedsmältning. Ökad och förbättrad återvinning samt bättre kontroll över kritiska steg i produktkedjan bör kunna göra järn och stål till miljömässigt bättre försvarbara material för viktiga produkter.

**Aluminium:** Aluminium är ett lätt och tekniskt sett attraktivt konstruktionsmaterial. Hög *elenergiförbrukning* vid tillverkning är en nackdel. Aluminiumframställningen i Sundsvall har angetts vara Sveriges största punktkälla för utsläpp av PAH till luft. Framställningen medför också utsläpp av fytotoxiska fluorider. Aluminiummetall är korrosionsbeständig och lämplig för återvinning.

**Tungmetaller:** Användning av metaller med hög atomvikt för material medför en mångfald miljö- och hälsoproblem. I Sverige framställs flera tungmetaller i Rönnskärsverkens stora metallurgiska anläggning i Skellefteå. Regionen runt Skellefteå är den mest förorenade i landet för flera miljöfarliga metaller. En mer vidsträckt spridning av metallerna sker via *korrosion* och avfall från produkter. *Bly* har ersatts för många användningar men finns kvar i stor mängd i batterier för fordon. *Koppar* löses ut från vattenledningar och prydnadsföremål. Kroppskontakt med metaller i t ex smycken har visat sig ge *immunologiska reaktioner* även för en så ädel metall som guld. Ur ekologisk synvinkel är kraftfulla styrmedel som bromsar utvinning och användning av tungmetaller motiverade.