

Historiska färgpigment i framtiden

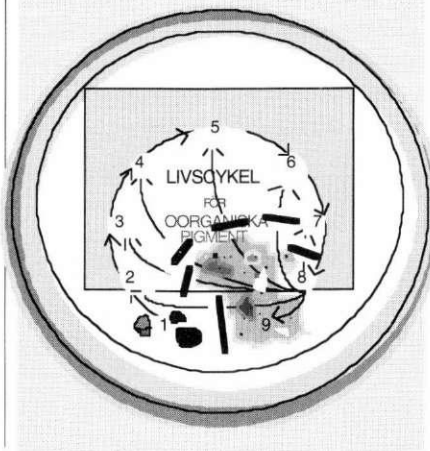
Ole Ingolf Jensen

Under 1900-talet, speciellt sedan 70-talet, har pigmenten på färgmarknaden förändrats avsevärt. Flera av de för hantverk och industri klassiska pigmenten har redan försvunnit. Detta gäller främst för blyvitt och kadmiumfärgerna, men ännu fler håller på att utgå, t. ex. kromgult och zinkgult. Orsaken är att miljökraven för industri- och byggnadsmaterial skärps alltmer.

Målarfärger består av pigment och bindemedel, där både pigment och bindemedel kan vara giftiga eller vådliga. Under de senaste århundradena har linoljefärg varit den vanligaste färgen inom hantverk och industri. Linoljan i sig är inte giftig (i ren form är den en nyttig matolja), men som målarfärg späds den vanligen ut med lacknafta eller terpentin, vilka är hälsovådliga. När färgen används och när

Tema: bebyggelsevård – teknik

En diskussion om de olika pigmentens toxicitet och relevans för framtida användning i ett ekologiskt hållbart samhälle



den torkar dunstar lösningsmedel bort och fyller luften. Därför har lösningsmedelsbaserad färg (linoljefärg, alkydfärg, m. fl.) förbjudits för inomhusbruk sedan 1987.

Pigment av giftiga tungmetaller

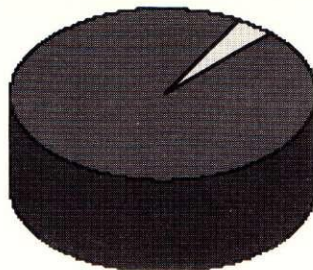
Problemet med många av de traditionella färgpigmenten, som har en lång hantverksmässig tradition, är att de består av tungmetaller varav flera är giftiga. Nästan samtliga av dessa pigment är oorganiska föreningar. Sett i ett historiskt perspektiv, från antiken till nutiden, är de viktigaste pigmenten föreningar med:

- *bly, plumbum*, Pb (blyvitt, bly-tenn-gult, kromgult, kromorange, kromrött, molybdenrött, Neapelgult, blymönja, massicot)¹
- *arsenik*, As (Schweinfurtergrönt,

Scheelesgrönt, auripigment, kungsgult, realgar)²

- *krom (chrom)*, Cr (kromgult, kromorange, kromrött, molybdenrött, zinkgult, strontiumgult, barytgult, kromgrönt, kromoxidgrönt, viridian (smaragd-grönt), zinkgrönt)³
- *koppar (cuprum)*, Cu (azurit, malakit, Egyptiskt blått, Spanskgrönt, Bremergrönt, Schweinfurtergrönt, Scheelesgrönt)⁴
- *kobolt (cobalt)*, Co (smalt, koboltblått, cerulean, koboltgrönt, koboltviolett, koboltgult)⁵
- *kvicksilver (hydrargyrum)*, Hg (cinnober, jodcinnober, kadmiumcinnober)⁶
- *kadmium (cadmium)*, Cd (kadmiumrött, kadmiumorange, kadmiumgult, kadmiumcinnober)⁷
- *selen*, Se (kadmiumrött)⁸
- *antimon (stibium)*, Sb (Neapelgult)⁹
- *molybden*, Mo (molybdenrött)
- *mangan*, Mn (mangansvart, manganviolett, mangangrönt, manganblått)¹⁰
- *zink*, Zn (zinkvitt, lithopon, zinkgrönt)¹¹
- *titan*, Ti (titanvitt, nickeltitangult)¹²
- *barium*, Ba (blanc fixe, lithopon, barytgult)¹³
- *järn (ferrum)*, Fe (ockror, terror, umbror, Pariserblått, Marsfärger, som är ett gammalt namn för syntetiska järnfärger: järnoxidrött, järnoxidgult, järnoxidsvart, järnoxidviolett (caput mortuum);¹⁴ OBS!: järnpigmenten tillsammans med titanvitt, är de enda som är uppbyggda av tungmetaller som inte är giftiga.

De oorganiska pigment som under de senaste hundra åren, har haft speciell betydelse inom hantverk och industri är föreningar med:



Figur 1. Världsproduktionen av pigment 1980. Förhållandet mellan produktionen av oorganiska och organiska pigment. Oorganiska pigment utgör 96 % medan organiska endast utgör 4 %.

- *bly* (blyvitt, kromgult, kromorange, kromrött, molybdenrött, blymönja)
- *arsenik* (Schweinfurtergrönt, Scheelesgrönt)
- *krom* (kromgult, kromorange, kromrött, molybdenrött, zinkgult, kromgrönt, kromoxidgrönt, zinkgrönt)
- *koppar* (Schweinfurtergrönt, Scheelesgrönt)
- *kobolt* (smalt, koboltblått, mindre betydelse)
- *kvicksilver* (cinnober, kadmiumcinnober)
- *kadmium* (kadmiumrött, kadmiumorange, kadmiumgult, kadmiumcinnober)
- *selen* (kadmiumrött)
- *molybden* (molybdenrött)
- *mangan* (mangansvart, manganviolett)
- *zink* (zinkvitt, zinkgrönt)
- *titan* (titanvitt, nickeltitangult)
- *barium* (blanc fixe)
- *järn* (ockror, terror, umbror, Pariserblått, Marsfärger)

De mest giftiga pigmenten, de som innehåller arsenik, har redan försvun-

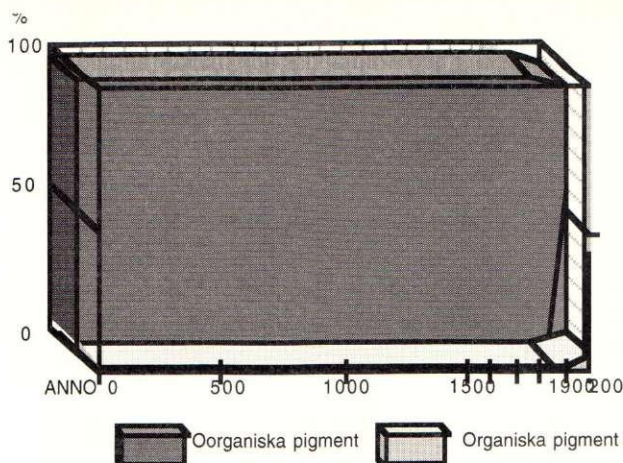
nit från marknaden, och flera andra pigment har också gått till historien.

Idag har endast en mindre del av dessa oorganiska pigment praktisk betydelse, medan andra har tillkommit, vilka är föreningar med:

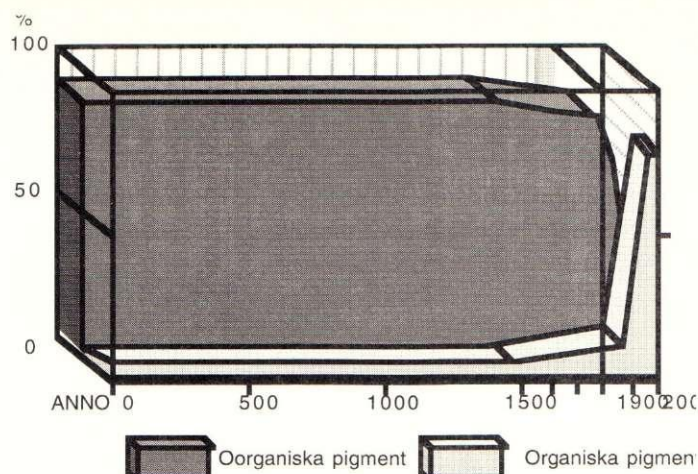
- *bly* (kromgult $PbCrO_4$, kromorange Pb_2OCrO_4 , kromrött Pb_2OCrO_4 , molybdenrött $Pb(Cr,Mo,S)O_4$, blymönja Pb_3O_4 , neapelgult $Pb_3(SbO_4)_2$, blyulfat $PbSO_4$, kalciumplumbat Ca_2PbO_4 , blycyanamid $PbCN_2$)
- *krom* (kromgult, kromorange, kromrött, molybdenrött, zinkgult $ZnCrO_4$, kromgrönt $PbCrO_4 + Fe_4[Fe(CN)_6]_3$, kromoxidgrönt Cr_2O_3 , zinkgrönt $ZnCrO_4 + Fe_4[Fe(CN)_6]_3$)
- *molybden* (molybdenrött $Pb(Cr,Mo,S)O_4$)
- *mangan* (mangansvart MnO_2 , manganviolett $NH_4MnP_2O_7$)
- *zink* (zinkvitt ZnO , zinkgrönt $ZnCrO_4 + Fe_4[Fe(CN)_6]_3$, lithopon $ZnS + BaSO_4$)
- *titan* (titanvitt TiO_2 , nickeltitangult $NiTi_2O_5$)
- *barium* (blanc fixe $BaSO_4$, lithopon $ZnS + BaSO_4$)
- *järn* (ockror Fe-haltig lera, terror Fe-haltig lera, umbror Fe-Mn-haltig lera, Pariserblått $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$, Marsfärger Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $FeOOH$).

Mängden av oorganiska och organiska pigment

Vid jämförelse av den totala produktionen av oorganiska och organiska pigment, är mängden av oorganiska pigment helt dominerande, se Figur 1. Från antiken och fram till 1900-talet har mängden av oorganiska pigment varit mer än 99 %



Figur 2. Produktionsmängden av oorganiska och organiska pigment i viktprocent. Idag utgörs mer än 50% av de oorganiska pigmenten av titandioxid. Organiska pigmenten utgör endast några få procent av den totala pigmentproduktionen.



Figur 3. Det ungefärliga antalet av de mest viktiga oorganiska och organiska pigmenten under de sista två tusen åren. Lägga märke till den dramatiska ökningen av antalet organiska pigment under 1900-talet.
© Ole Ingolf Jensen.

av den totala produktionen. Nu vid övergången till det tjugonde århundradet består majoriteten av pigment av oorganiska pigment, medan de organiska endast utgör en mindre del, se Figur 1. Det bör noteras att densiteten för de oorganiska pigmenten kan vara avsevärt högre än för organiska.

Den totala världspröduktionen av pigment uppskattas till omkring 5 miljoner ton per år, vilket motsvarar till följande fördelning mellan oorganiska och organiska pigment: ¹⁵

Oorganiska pigment (96 vikt %)
~ 4.800.000 ton/år/globalt
Organiska pigment (4 vikt %)
~ 200.000 ton/år/globalt

Trots att antalet av olika organiska pigment har ökat avsevärt under det sista århundradet, är det fortfarande de oorganiska pigmenten som i kvantitet helt dominerar marknaden. Från antiken och fram till början av 1900-

talet var de oorganiska pigmenten helt dominerande. Hälften av de oorganiska pigmenten består idag av titandioxid (titanvitt), vilket visas med en ljusare grå valör i den oorganiska delen av Figur 2. Sedan 1800-talets början har dock produktionen och antalet av olika organiska pigment ökat avsevärt, se Figur 3. Inom ramarna för de många nya organiska pigmenten finns nya möjligheter för att få fram miljövänliga färger av bra kvalitet.

Som framgår av Figur 3 har antalet av olika oorganiska pigment minskat under de senaste decennierna, medan de organiska pigmenten växer i antal. Många av de oorganiska pigmenten, vilka har en lång tradition, reagerar positivt med linolja, så att färgen blir seg och elastisk samt torkar snabbare. Detta gäller för alla pigment som innehåller bly. Pigment innehållande mangan eller kobolt, samt i viss utsträckning även järn främjar på olika sätt också

oljans torkningsförmåga. För organiska pigment gäller att de torkar långsamt i olja och att färgfilmen kan deformeras och krakelera.

Betydelsen av pigmentens och målarfärgernas påverkan på miljön, samt deras användning i ett framtida ekologisk hållbart samhälle, framgår bäst om man gör en livscykelanalys av pigmenten.

Färg och pigment

Man känner till ungefär 40.000 pigment, varav endast ca. 2.000, finns på marknaden. ¹⁶ En ännu mindre del utgörs av konstnärsfärger, av vilka det finns drygt 200 pigment, men endast omkring 100 har praktisk användning.

Färger kan indelas i tre huvudgrupper, inom vilka förändringarna av pigmenten sker olika snabbt inom respektive grupp. Snabbast sker förändringarna inom gruppen *konsumentfärg*,

mindre snabbt inom gruppen *industri- och yrkesmålarfärg*, och långsammare inom gruppen *konstnärsfärger*. Inom sistnämnda grupp förekommer de flesta av de gamla pigmenten och inom en viss kategori av färger, '*konserverfärger*', finns alla gamla pigment kvar.

Konsumentfärg

Med konsumentfärg menas färg som används av vanliga lekmän, vilka då och då målar i privata sammanhang. De antas att inte har någon kännedom eller specialkunskap om färger och därför införs lagar och förordningar för att skydda konsumenterna. Den exponering de utsätts för är periodisk och kortvarig. Flera av de tungmetallfärger, som man som lekman har kunnat köpa som torrpigment i den vanliga färghandeln (t. ex. kromgult, kromgrönt och zinkgult) har nyligen förbjudits.

Det är inom gruppen konsumentfärger som de största förändringarna har skett. Huvudparten av dessa färger är nu organiska, endast en liten del är oorganiska som, t.ex. titanvitt och de syntetiska järnfärgerna.

KOMMENTAR: Det används stora mängder konsumentfärg, men i förhållande till industri- och yrkesmålarfärg rör det sig endast om få procent av det totala förbrukningen. Då det inom denna grupp av färg i stort sett numera endast finns ogiftiga pigment (i Sverige, Skandinavien), utgör denna grupp inte längre något hot mot miljön här i landet vad avser pigment, men är tvärtom ett av de första stora stegen mot ett ekologiskt godtagbart samhälle.

Industrifärg/Yrkesmålarfärg

Detta är färg som används av yrkesmålare och inom industrin. Här

används enorma mängder färg och pigment, varav majoriteten är oorganiska. Produktionstekniskt och ur hållbarhetssynpunkt används fortfarande oorganiska pigment av giftiga tungmetaller. Exempel på detta är blymönja som används som rostskyddsfärg, kromgult och kromgrönt som fortfarande används i stor utsträckning. Andra pigment har däremot förbjudits. I Sverige och i resten av Skandinavien är det inte tillåtet att använda blyvitt inom hantverk, men i England som har ett mycket mer fuktigt klimat, är det fortfarande tillåtet att använda blyvittoljefärg. Förbudet av blyvitt har orsakat många svårigheter och problem inom industrin och yrkesmåleriet, men de börjar nu alltmer att lösas i takt med att nya produkter utvecklas.

Vid användning av industri- och yrkesmålarfärg förutsätts å ena sidan att den yrkeskunnige har kännedom om produktens farlighet och vet hur man skall skydda sig. Å andra sidan är exponeringen av färg/pigment långvarig (dagligen), varför behovet att kunna arbeta med ofarliga färger måste anses vara stort.

KOMMENTAR: Som följd av att det är inom denna färggrupp som den största mängden av färg/pigment förbrukas och att människor här dagligen kommer i kontakt med dessa färger, bör dessa vara så litet giftiga som möjligt och helst inte miljöfarliga. Tyvärr är det än så länge så, att många av dessa färger, t. ex. blykromater, både är giftiga och utgör ett hot mot miljön. Här finns fortfarande en rad giftiga pigment bestående av föreningar med: bly, kobolt, krom (Cr^{III} och Cr^{VI}), nickel, m. fl. Nya ofarliga färger måste

utvecklas för att bilda ett ekologiskt fungerande samhälle.

Konstnärsfärger

Karakteristiskt för konstnärsfärgerna är att de endast används i små kvantiteter. Därför finns här fortfarande många giftiga pigment. Konstnärsfärgerna kan delas in i tre grupper:

Studiefärger. Dessa används av amatörer och är förhållandevis billiga. De flesta är organiska färger och är imitationer av de oorganiska konstnärsfärgerna. T. ex. är kadmiumfärgerna imiterade med gula och röda azofärger, viridian (smaragdgrönt) av ftalocyaninrönt, coelinblått av ftalocyaninblått och titanvitt, etc. Blyvitt kan fortfarande köpas som oljefärg.

KOMMENTAR: Då nästan samtliga av dessa färger/pigment inte är giftiga (med undantag av blyvitt) och då de endast används i små kvantiteter utgör denna grupp praktiskt taget ingen miljöfara.

Konstnärsfärger har av tradition länge bestått av oorganiska s. k. mineralfärger och flertalet är det ännu idag. De syntetiskt framställda organiska pigmenten har som följd av färgteknologins utveckling fått allt bättre kvalitet, och används mer och mer som konstnärsfärg. Många av de oorganiska konstnärsfärgerna är dyra. Man kan fortfarande köpa kadmiumfärger. I Sverige finns de endast som färdigblandad tubfärg, men i Danmark finns de än så länge även som torrpigment.

KOMMENTAR: Inom denna färggrupp finns fortfarande en rad giftiga pigment innehållande: bly, kadmium, kobolt, krom (Cr^{III} och Cr^{VI}), kvicksilver, nickel och selen. Används endast i små

mängder, men kan – speciellt vid konstskolor – ge upphov till tungmetallföroreningar i avloppsvattnet.

'Konservatorfärger' används här som beteckning för nya färger med pigment som är identiska med gamla pigment. Generellt är de mycket dyra. Här kan man få tag i många av de pigment som annars har gått ur handeln, och inte finns inom det vanliga konstnärsfärgsortiment. Ett exempel är det starkt giftiga auripigment (engelska: orpiment) som kemiskt är arseniksulfid (även betecknad gul arsenik). Som pigment kan det köpas utan några former av restriktioner från speciella firmor, men vill man köpa motsvarande förening som kemikalie, är det endast möjligt om man har speciellt tillstånd att förvara och använda gifter.

KOMMENTAR: Det finns en rad giftiga pigment innehållande föreningar med: antimon, arsenik, barium, bly, kadmium, koppar, kobolt, krom (Cr^{III} och Cr^{VI}), kvicksilver, nickel, selen och strontium. Som följd av att de inte används i några större kvantiteter utgör de endast en mindre miljörisk, men de kan om de används felaktigt vara fatala.

Det bör uppmärksammas att lagarna för skydd och minskning av föroreningar från giftiga färger i stort sett bara gäller pigmentens giftighet i förhållande till människans hälsa. Ett undantag är förbudet mot industriell användning av kadmiumfärger.

Indelningen av pigment i de tre huvudgrupperna är relativt ny och har först tagit fart efter andra världskriget. Tidigare var det inte så stor skillnad mellan pigmenten inom de tre grupperna, helt enkelt för att det då inte fanns ett så stort urval. Det som var avgörande för om ett pigment användes

som konsumentfärg eller till konstmåleri var då som nu priset.

Generell kommentar. De största skillnaderna mellan å ena sidan konsumentfärg, industrifärg och yrkesmålarfärg och å andra sidan konstnärsfärger, är dels kvantiteten som används och dels livslängden för produkten, dvs. när pigmenten är förbrukade. Kvantiteten av pigment i första gruppen är i förhållande till andra gruppen enorm, och den har generellt sett kortare livslängd i förhållande till de pigment som används till konstnärsfärger. Målerier och dekorationer bevaras ofta i århundraden. Färg inom hantverk kan också bevaras länge, men då beror det ofta på att färgen har blivit övermålad. Gammal färg som tas bort vid renovering utgör såväl en hälsorisk som ett miljöhot när den innehåller pigment med giftiga tungmetallföreningar.

Livscykelanalys av oorganiska pigment

Pigmentens (och målarfärgernas) livscykel kan delas in i fyra faser: 1) tillverkning, 2) påföring, 3) användning eller existens och 4) nedbrytning.

Tillverkning av pigment

Det är inte vid den direkta tillverkningen av målarfärg, där pigment och bindemedel blandas, som de stora miljöproblemen finns. Det är när tillverkningen betraktas ur ett vidare ekologiskt perspektiv, som det även här finns gott om miljöproblem, nämligen de som är knutna till brytningen och förarbetningen av de malmer ur vilka de grundämnen utvinns som sedan används vid tillverkningen av oorganiska pigment. *Malmer och brytning av malm*

Vid tillverkning av oorganiska pigment är de viktigaste malmerna ¹⁷:

- för *krom* är det kromit, järnkromoxid: FeCr_2O_4 . Viktiga gruvor finns i Sydafrika, Albanien och Zimbabwe.¹⁸
- för *zink* och *kadmium* är det sphalerit eller zinkblände, zinkjärnkadmiumsulfid: $(\text{Zn},\text{Fe},\text{Cd})\text{S}$. Viktiga fyndigheter finns i USA, Kanada, Australien, Polen, Mexiko och Japan.¹⁹
- för *kvicksilver* är det cinnober, kvicksilversulfid: HgS , som finns i Spanien, Jugoslavien, Kina och USA.²⁰
- för *koppar* är det kopparkis/chalkopyrit, kopparjärnsulfid: CuFeS_2 och kopparglans, kopparsulfid: Cu_2S , Viktigaste fyndigheterna finns inom England, Sverige, Tyskland, Spanien, Sydafrika, Zambia och Chile.²¹
- för *bly* och blyföreningar är grå blyglans, blyulfid: PbS viktigast. Stora fyndigheter finns i Tyskland, Slovakien, England, Brittiska Columbia och Australien.²²
- för *kobolt* är kobaltin/koboltglans, koboltarseniksulfid: $(\text{Co},\text{Fe})\text{AsS}$ den viktigaste malmen. Finns i Sverige, Kanada och Zaire.²³
- för *aluminium* är bauxit, oren aluminiumoxid-hydroxid: AlOOH viktigast. Störst produktion i Frankrike, Jamaica, Guyana, Indonesien och Australien.²⁴
- för *mangan* är pyrolusit/ brunsten, mangandioxid: MnO_2 den viktigaste malmen; finns i Sydafrika, Brasilien, Kina och Indien.²⁵
- för *titan* är svart ilmenit, järntitanoxid: FeTiO_3 som finns i Norge, Finland, Sydafrika, Indien, Brasilien, USA och Kanada, och rutil, titandioxid: TiO_2 de mest betydelsefulla malmerna.

Störst fyndigheter finns i Norge, Schweiz och Australien.²⁶

- för järn är de mest betydelsefulla malmerna: magnetit, järnoxid: Fe_3O_4 , som finns i Sverige, Norge, Rumänien, m.fl.²⁷, hematit, järnoxid: Fe_2O_3 finns i England, USA, Venezuela, Brasilien, Kanada, Australien,²⁸ samt goethit, järnoxidhydroxid: FeOOH , som finns i Tyskland, Frankrike, England, USA, m. fl.²⁹

På många ställen förorsakar brytningen av dessa malmer stora miljöproblem i naturen, speciellt när tungmetaller från gruvorna förs med grundvatten och floder ut i landskapet omkring.

Från malm till kemikalie

Förarbetningen, raffineringen eller utvinningen av metall ur malmen, medför att fria grundämnen eller nya kemiska föreningar bildas, vilket ofta ger miljöföroreningar. Många malmer finns i form av sulfider (svavelföreningar) och första steget i processen är uppvärmning av malmen, då svavlet förbränns och försvinner ut i atmosfären i form av svaveldioxid. Det som blir kvar är malmen i form av metalloxid. Dessa behandlas med starka syror vilket leder till att lösliga metallsalter bildas, som renas genom olika kemiska och fysikaliska processer. Härmed förbrukas vanligtvis stora mängder vatten, och om det inte finns effektiva filter och andra anordningar för att fånga upp tungmetaller, förs de med vattnet ut i miljön. Kunskap och teknologi för att undvika sådana föroreningar finns, men om de används är en fråga om ekonomi och politik. Det bör nämnas att endast en mindre del

av de tungmetaller som utvinns går till fabrikation av pigment. Den största delen går till industrin, speciellt verkstadsindustrin i stort, t. ex. maskiner, bilar, verktyg etc. Vapenindustrin har stor förbrukning av tungmetaller. Att den globala produktionen av pigment, som innehåller giftiga tungmetaller, ändå utgör flera hundra ton varje år skall vi återvända till nedan.

Från kemikalie till pigment

Nästa steg, från rena kemikalier bestående av tungmetaller till själva fabrikationen av oorganiska pigment³⁰, kan också förorsaka miljöföroreningar, men behöver inte göra det, eftersom produktionsprocessen försiggår inom ett avgränsat område (fabriken). Om produktionen ger föroreningar eller ej beror på reningsprocesserna. Men då all rening är en ekonomisk belastning, kommer det även här att vara ekonomiska och politiska förhållanden som är avgörande för om det sker eller ej. Förhållandena kring kadmiumfärger är ett bra exempel på problemen.

Om kadmiumfärger

Bland kadmiumfärgerna är kadmiumsulfid och kadmiumselenid de mest ljusäkra av de röda, orange och gula pigmenten. Världsproduktionen av kadmumpigment uppgick mot slutet av 1970-talet till omkring 9.000 ton per år. Största delen ca: 75 % används inom plastindustrin, medan det inom keramik- inklusive glasindustrin används ca: 10 % och codingindustrin ca: 10 %. De resterande 5 % är fördelade över bl.a. konstnärsfärg, tryckfärg, kosmetika(!), läderfärg och gummi-färg.³¹ Då dessa varor förr eller senare hamnar på soptippen och då ämnen

därifrån så småningom sprids i miljön, är kadmiumfärger i början av 1980-talet förbjudna som industrifärg i bl. a. Sverige. Endast som konstnärsfärg är de tillåtna, men då mängden av kadmumpigment för konstnärsbruk endast utgör några få procent av den totala produktionen, har det inneburit att fabrikanterna fått reducera sin produktion avsevärt.

Sedan dess har även miljökraven vid själva tillverkningen skärpt. Kadmiumrött, som endast kan tillverkas genom bränning, består av de tre grundämnen kadmium, svavel och selen, där kadmium och selen är mycket giftiga och lätt tar vägen genom skorstenen ut i atmosfären. För att förhindra detta behövs dyrbara, speciella filter, som ökar produktionskostnaden, och gör att produktionen blir mindre lönsam. Detta innebär bl. a. att kadmumpigmenten hör till de dyraste pigmenten, men så länge konsumenterna vill betala, fortsätter produktionen. Om miljökraven skärps ytterligare står tillverkaren mellan två val: antingen att stoppa produktionen eller att flytta den till ett u-land där miljökraven inte är så höga.

Från pigment till målarfärg

Först när pigmenten, som är mycket finkorniga fasta partiklar, har tillverkats kan produktionen fortsätta utan att förorena miljön. Om tillverkningsprocessen, blandningen av pigment med bindemedel och lösningsmedel, sker i slutna system kan miljöföroreningar undvikas. I den grad systemen inte är slutna, kommer de att bidra till att förorena främst arbetsmiljön men även miljön kring fabriken.

Användning och påföring av målarfärg

Framtill omkring 1950 var det vanligt att målarna själva blandade eller rev sina färger med torrpigment och bindemedel (linolja, vallmoolja, m. fl.). Detta hade man gjort i århundraden och målarna själva hanterade, vägde och blandade torrpigmenten med bindemedel. Detta sätt att arbeta med pigmenten gjorde att målare ofta blev sjuka. Ja, en av dessa sjukdomar var så vanlig att den fick namn efter yrket och kallades målar kolik. Det var vanligen blyförgiftning. Den främsta orsaken var användningen av blyvitt, som var det viktigaste vita pigmentet i oljefärg. Att just detta pigment var så utbrett kom sig av att det fram till 1850-talet var det enda vita pigmentet, men också att det förenar sig med linoljan på ett sätt som ger bra måleritekniska egenskaper (färgen är mjuk, blir seg och stark). Det var inte själva målandet som orsakade blyförgiftningen, utan det skedde vid blandning av pigment och olja. De mycket finkorniga pigmenten bildar damm, som man lätt andas in. Vid lång tids exponering sker en ackumulering och blyförgiftningen blir akut. Problemet och faran vid inandning av pigment gäller vid arbete med alla typer av torrpigment.

Färg från hantverk till industri – För- och nackdelar

Idag då nästan all målarfärg tillverkas på fabrik är processen inte längre något hälsoproblem för målarna, vilket är ett stort framsteg för yrkesmålarnas miljö och hälsa.

En nackdel är dock att många målare har blivit främmande för de material de arbetar med, då de har en begränsad kännedom om vad färgerna består av.

Utveckling och tillverkning av målarfärg försiggår nu hos stora färgfirmor, där ingenjörer i laboratorier utvecklar nya produkter. Det tidigare empiriska kunnandet som hörde till målaryrket håller på att dö ut tillsammans med de gamla målarna för vilka målaryrket ännu var ett hantverk. Det är viktigt att man redan nu – i sista stund – tillvaratar resterna av denna gamla empiriska kunskap.³² Genom att förena denna kunskap med den kemisk-teknologiska kunskapen, menar jag att många av dagens måleriproblem kan lösas.

Om bindemedel

Ett miljöproblem som rör oljefärg är att den vanligtvis utspäds med lacknafta, terpentin, etc. När man målar och när färgen torkar, samt vid rengöring av penslar och redskap i terpentin avdunstar lösningsmedel som är vådliga och farliga att exponeras för under längre tid. För att undvika dessa förgiftningar förbjöts linoljefärg för inomhusbruk och är nu endast tillåten utomhus i Sverige.

Som ersättning kom de vattenbaserade latex- eller ”plast”-färgerna, som efter några decenniers användning dock har visade sig att inte vara fullt så ofarliga som man trott. Orsaken är tillsatsen av små mängder mjukgörare som är giftiga. Så inte heller här är de arbetsmässiga miljöproblemen helt lösta.

De flesta av dessa bindemedel ger dock vid nedbrytning ofarliga komponenter för miljön.

Färg- Målarfärg på objekten – existens

Vi använder pigment och målarfärg för att sätta färg på hus och byggnader, exteriört och interiört. Färg och pigment används i skapandet av konst samt för att ge färg åt en mängd olika föremål. Så länge som färgen uppfyller sitt primära syfte, att sitta kvar på föremålet, utgör den ingen miljöfara. När pigmenten väl har blandats med bindemedlet (oljan, etc.), och således sitter i bindemedlet, är de inte farliga. Detta är den enda tidpunkt då pigmenten knappast utgör något miljöproblem. Då målarfärger inte håller för evigt, utan är underkastade lagen om nedbrytning, kommer de förr eller senare att börja vittra sönder och brytas ner. De bleks eller blir fula på annat sätt och vi ersätter dem med nytt. Därmed fortsätter miljöproblemen.

När färgen blir gammal – nedbrytning

Målarfärg håller inte hur länge som helst. Efter några år eller decennier börjar färgen att spricka, flaga och lossna. Färglagren kan också efter många övermålningar ha blivit så tjocka och ojämna att de måste tas bort. Det sker antingen genom att färgen skrapas, bränns eller slipas bort. I och med det startar återigen pigmentens miljöpåverkan, då de sprids ut i miljön. Antingen faller de direkt på marken nära objektet, kanske på soptippen, eller också förs de som fint damm bort med luften, för att falla till jorden, t. ex. med regnvattnet. Om det bemålade materialet är trä, vilket ofta är fallet då färg har en bra skyddande effekt på trä, kommer det när det inte längre kan tjäna sitt syfte vanligtvis att bli

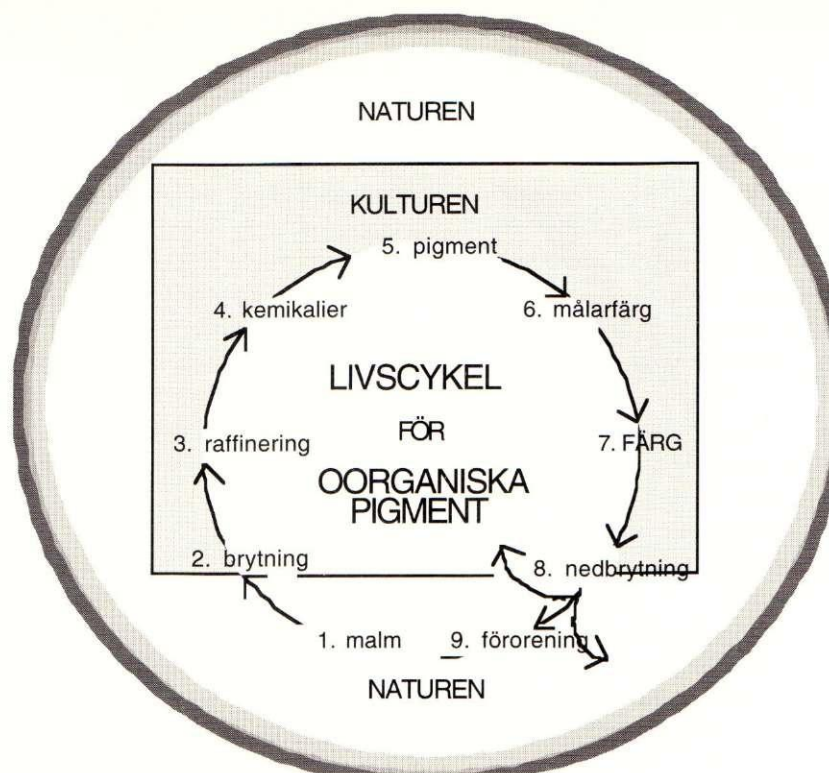
uppeldat. Tungmetall från pigmenten kommer då antingen att föras med röken upp i atmosfären för att sedan falla ned med regnet eller så kommer tungmetallen att finnas kvar på marken i askan. I båda fallen kommer vattnet att föra tungmetallen ned i jorden, och där bryts ned i enklare beståndsdelar och därmed sprids de olika tungmetallerna i grundvattnet.

Hur lång tid som går innan pigmenten bryts ned och vad som sker med dem beror på följande faktorer:

- bindemedlets stabilitet, linolfärg är t. ex. mer stabil än limfärg,
- pigmentens kemiska sammansättning och deras kristallografiska struktur har betydelse för deras stabilitet,
- pigmentens syra- och alkaliäktighet. T. ex. är koboltblått, som har spinellstruktur,³³ mycket stabilt både i syror och i baser, medan Spanskgrönt lätt löses upp i utspädd syra,
- regnvattnets respektive grundvattnets pH-värde,
- de kemiska förhållanden som råder i jorden, om de är oxiderande eller reducerande,
- vilka joner som är närvarande, samt
- koncentrationen av lösliga joner, och
- permeabiliteten (genomströmningen) i jorden.

Som framgår är förhållandena kring nedbrytning av pigment komplexa, och hur den sker beror på typen av bindemedel och pigment, därtill varierar nedbrytningen allt efter de lokala klimatiska, geologiska och geokemiska förhållandena.³⁴

När pigmenten har brutits ned kommer delar att upptas och ackumuleras i växter, annat upptas av djur och



Figur 4. Schematisk illustration av pigmentens livscykel från malm till oorganiska pigment och till färg, som vid nedbrytning blir till förorening. Den streckade linjen symboliserar att det avseende materia inte finns någon gräns mellan kultur och natur, utan att det ständigt sker en utväxling av ämnen. © Ole Ingolf Jensen.

människor, annat förs ut i floder och sjöar för att hamna i haven och ackumuleras i växter och djur, för att sedan via näringskedjor föras tillbaka till oss på land.

Vart pigmenten tar vägen? – Analysresultat
Resultaten av pigmentens livscyklar blir således en spridning av pigmentens beståndsdelar, dvs. tungmetallföreningar i miljön. För eller senare kommer de att bli upptagna av växter och djur och människor, där deras giftverkan gör sig gällande allt efter

deras karaktär och koncentration. Ett är dock säkert och det är att de inte kommer att försvinna från miljön, utan tvärtom kommer koncentrationen av giftiga tungmetaller att öka, så länge som vi använder dem på ett sådant sätt att de sprids, se Figur 4.

Hur stora mängder pigment?

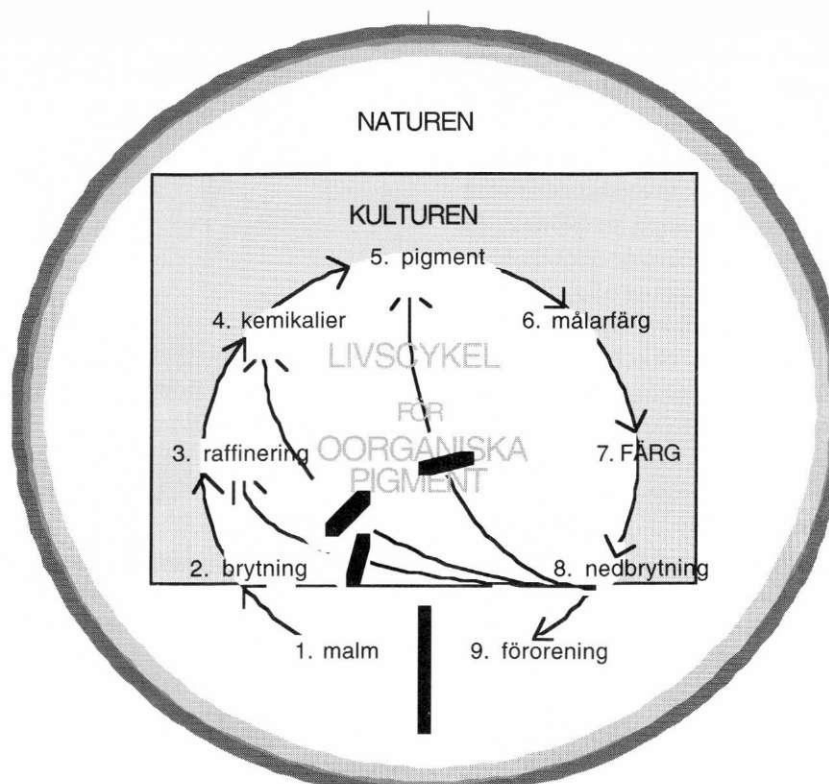
När man skrapar av målarfärg från sitt gamla hus, från en båt eller en bil, ser det inte ut som om det rör sig om stora mängder tungmetall. Det gör det säkert inte heller i det enskilda fallet.

Ser man däremot på de enorma mängder av pigment bestående av giftiga tungmetaller, som tillverkas varje år och därmed används, förtjänar det ändå uppmärksamhet. I mitten av 1980-talet blev produktionen av blykromatpigment (kromgult, -orange, -rött, molybdenorange, -rött) uppskattad till 100.000 ton/pr. år globalt sett.³⁵ I Sverige används per år 78 ton blymönja (huvudsakligen som rostskyddsfärg), 13 ton zinkkromat (zinkgult) och 32 ton zinksulfid.³⁶

De för oss och miljön mest giftiga tungmetallerna är bly, kvicksilver, kadmium och sexvärdigt krom.³⁷ Men inte alla tungmetaller är enbart giftiga, vissa är även nödvändiga som spårämnen. Detta gäller t. ex. järn, zink, mangan samt kobolt, koppar, krom, magnesium, molybden och selen,³⁸ men då är det endast i få milligram eller mikrogram (μg).

Pigmenten i ett ekologiskt hållbart samhälle – konklusion

Råmaterialet till pigment kommer från enstaka, lokala orter, och via bearbetning och förfördelning som pigment och färg sprids det till alla länder (speciellt i-länderna), för att slutligen som fint damm av tungmetallföreningar vara spridd över hela Jorden. Här följer den döda och nedbrutna materialagen för entropi och sprids. Livscykel för oorganiska pigment är inte ett verkligt kretslopp, utan en brutna linje, då det vanligtvis inte går tillbaka till ursprungsmaterialet. Därtill kommer att vittringsprodukterna inte är till någon nytta, tvärtom verkar de som gift och förorenar, se Figur 5.



Figur 5. Schematisk illustration av pigmentens livscykel, som visar att det inte är en verklig cykel, då alla linjer är "brutna" och inget av materialen återanvänds, varken vid raffinering, till kemikalier eller till återframställning av pigment. Nedbrytningen förorsakar endast föroreningar. © Ole Ingolf Jensen.

Teoretiskt kan man samla kretsloppen (sluta flödet) så att de giftiga tungmetallerna blir återanvända, men då det i praktiken är svårt att samla ihop tungmetallerna från pigmenten, liksom det är ekonomiskt oralistiskt, kommer de att spridas. Detta betyder, att de förr eller senare kommer tillbaka till oss och förgiftar vår miljö. Enda sättet att stoppa denna förorening är därför, att stoppa användandet av dessa giftiga pigment.

Resultatet av detta är att de flesta av de klassiska oorganiska pigmenten

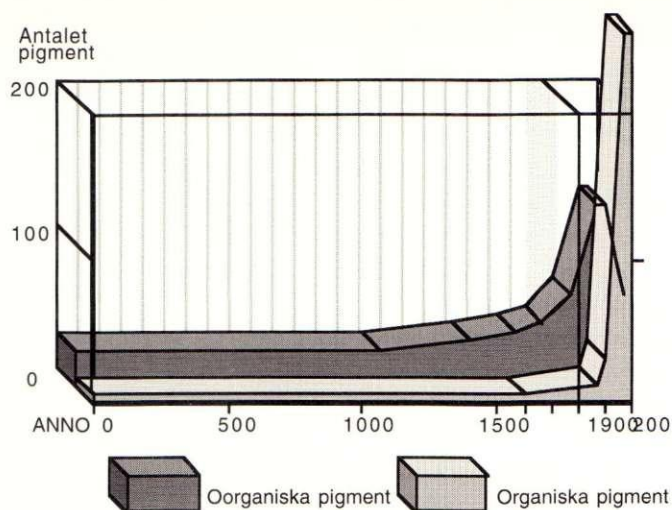
kommer att vara dömda att försvinna. Blyvitt, kromgult, zinkgult, strontiumgult, barytgult, neapelgult, cinnober, kadmiumrött, kromrött, molybdenrött, kromorange, kadmiumorange, molybdenorange, kromoxidgrönt, kromgrönt, zinkgrönt, viridian, koboltblått, koboltgrönt, koboltgult, koboltviolett, etc. – måste utgå. Om vi vill skapa ett ekologiskt samhälle måste vi sluta använda dessa toxiska ämnen. Därför har största delen av de klassiska oorganiska färgämnen eller pigmenten inte någon framtid i ett ekologiskt

hållbart samhälle, tvärtom utgör de ett hot mot detta. Bara några få såsom titanvitt, zinkvitt, jordfärgerna: järnoxidgult, marsorange, järnbrunt, järnoxidrött, marsviolett (*caput mortuum*) och järnoxidsvart samt ultramarinblått ser fortsättningsvis ut att få finnas. De naturliga jordfärgerna, ockror, terror, umbror, etc. kommer också alltmer att försvinna och ersättas av syntetiska järnpigment, en utveckling som redan har påbörjats. Det beror främst på problem med att skaffa fram jordfärger av samma ton och kvalitet, då fyndigheterna är begränsade och utvinningen kommer alltid att utgöra ett ingrepp i den naturliga miljön. De artificiella järnfärgerna kan lätt tillverkas av järnskrot, t. ex. gamla bilar.

Avloppsvatten och avfall som innehåller färg, bestående av tungmetaller kan renas vid reningsverk och sopstationer, förutsatt att det antingen finns kemiska reaktioner (t. ex. anerob sulfidfällning) eller filter som fångar upp tungmetallerna. När dessa förutsättningar finns utgör de ett bra sätt för att ta hand om tungmetallerna, och det finns därmed utgöra en potentiell möjlighet att återanvända dessa. Än så länge är sådana anläggningar mycket sällsynta och finns bara i enstaka fall. Då pigment bestående av tungmetall fortfarande utgör majoriteten av samtliga pigment, och ser ut att vara svåra att ersätta inom närmaste framtiden, finns här en möjlighet att minska föreningarna av tungmetall.

Förändringarna, som består i att de traditionella oorganiska pigmenten byts ut eller ersätts av moderna organiska, försiggår redan för fullt, se Figur 6.

Ett av stegen för att reducera förbrukningen av tungmetallfärger, i syfte



Figur 6. Förhållandet mellan antalet av de mest viktiga oorganiska och organiska pigmenten genom två tusen år. Lägg märke till den dramatiska förändringen i det 20:e århundradet där antalet av oorganiska pigment minskar medan de organiska pigmenten ökar starkt. Det bör observeras att figuren inte visar mängden av pigment (se Figur 2). © Ole Ingolf Jensen.

att skydda konsumenten, kommer från EU. Detta har lett till att lagstiftningen förbjuder konsumentfärger innehållande flera av de klassiska oorganiska pigmenten uppbyggda av tungmetaller. I en rapport från Kemikalieinspektionen står det:

Blyföreningar klassas som reproduktionstoxiska samt miljöfarliga med avseende på bioackumulation och toxicitet. All användning av bly och blyföreningar bör avvecklas på sikt. Blyulfat får inte användas som beståndsdel i färg. Från och med 1 juli 1996 är blyföreningar överstigande 0,5 % förbjudna i konsumentprodukter såsom färg.

Kromföreningar klassas som cancerframkallande (Cr^{VI}) allergiframkallande samt miljöfarliga med avseende på bioackumulation och toxicitet. Kromater är förbjudna över 0,1 % i konsument-

produkter från och med 1 juli 1996. Lösuviktsförsäljning av bly- och kromatpigment direkt till konsument, såsom kromgult (bl. a. blykromat), kromgrönt (bl. a. blykromat, blyulfat) och zinkgrönt (zinkkromat) är förbjudet efter 1 juli 1996.³⁹

*

Moderna organiska pigment

Arvtagarna till de färgglada oorganiska pigmenten, baserade på tungmetaller, blir de organiska pigmenten. Sedan antiken har det funnits några naturliga organiska pigment eller färger, varav de viktigaste har varit krapplack och indigo, därtill kommer florentinerlack (ur rödved), drakblod, gummigutta, Hookersgrönt, indisk gult, kochenillrött, karmín, kasslerbrunt (ur brunkol), purpur, saftgrönt, sepia, sköttgult (gullack ur rhamnusarters bär) och gullack (ur

gulholtz eller qercitronbark). Dessa har ersatts av en rad nya syntetiska av mycket bra kvalitet som nästan är jämbördiga med mineralfärgerna avseende ljusäkthet, syra- och alkaliäkthet, blandningsäkthet, etc. Framtidens pigment, som det ser ut idag blir sålunda:

De viktigaste moderna syntetiska organiska pigmenten:

- Ftalocyaninblått (monastralblått),
- Ftalocyaninrönt (monastralgrönt),
- Azogult (permanentgult, m. fl.),
- Azorött (permanentrött, m. fl.), kinakridonrött,
- Kinakridonviolett, karbazolviolett (dioxazinviolett).

Därtill kommer några oorganiska pigment:

- Lamps svart, kimrök,
- Syntetiska järnfärger,
- Ultramarinblått,
- Titanvitt, zinkvitt, blanc fixe.

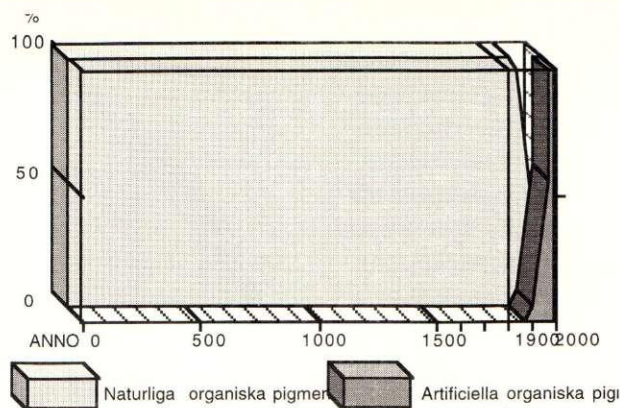
Utmaningen ligger i att lära sig använda dessa nya pigment så att vi också får fram färger av tekniskt hög kvalitet, vilka blir lika bra eller kanske till och med bättre än de vi nu känner till som traditionella linoljefärger. De nya syntetiska, organiska färgerna håller också helt på att ersätta de naturliga, organiska pigmenten, se Figur 7.

Livscykelanalys för organiska pigment

De organiska pigmenten tillverkas av kol- och oljeprodukter som har raffinerats till olika organiska föreningar.

Kol- och oljeutvinning

Vid brytning av kol eller borning efter och pumpning av olja, som bildar



Figur 7. Inom de industrialiserade länderna orsakar utvecklingen inom färgindustrin en dramatisk förändring från naturliga, organiska pigment till artificiella organiska pigment och färgämnen. Av de organiska pigmenten dominerar de syntetiska helt marknaden vid slutet av 1900-talet.
© Ole Ingolf Jensen.

grunden för hela den petrokemiska industrin, kommer det liksom vid transporter att kunna ske allvarliga föroreningar av miljön. Åtgärder finns för att undvika detta, och om de vidtas behöver det inte förorsaka föroreningar.

Raffinering och kemikalier

Från kol och olja utvinns en lång rad olika kemikalier som bildar råmaterial för de organiska pigmenten. Om processerna fungerar rätt, skall de inte förorsaka föroreningar av miljön.

Organiska pigment

Tillverkningen av de organiska pigmenten behöver inte förorsaka några miljöproblem, då produktionen sker på fabriker i slutna system. Att det inte fungerar perfekt ses av att 1-2 % av produktionen försvinner vid framställningen.⁴⁰

Några av de första syntetiska organiska färgerna (anilinfärgerna), som uppfanns i slutet av 1800-talet, var mycket giftiga, medan de högteknologiska organiska pigmenten av idag i stort sett

är ogiftiga. Av 4461 organiska färgämnen och pigment som har undersökts är 3669 icke-giftiga, endast 44 var giftiga.⁴¹ Som exempel kan nämnas att vissa kvaliteter av Lamps svart kan vara förorenade av polyaromatiska kolväten. Några pigment som innehåller klor (ex. diarylgult och pyrazolonpigment orange) avskärmar diklorbensidin vid uppvärmning till över 200°C.⁴²

Målarfärg med organiska pigment

Inom industrifärger är de organiska pigmenten idag de vanligaste och är den grupp som fortfarande växer. Som en följd av att många nya pigment har utvecklats och flera nya bindemedel har framkommit, tar den organiska färgindustrin här sin början (se Figur 6). Barnsjukdomar är inte ovanliga, men de kommer med all sannolikhet att elimineras.

Målarfärg

Nästan all målarfärg blandas idag på fabrik och pigmenten utgör knappast

någon hälsorisk. Endast bindemedlet kan, om det innehåller giftiga ämnen, vara vådligt.

Nedbrytning

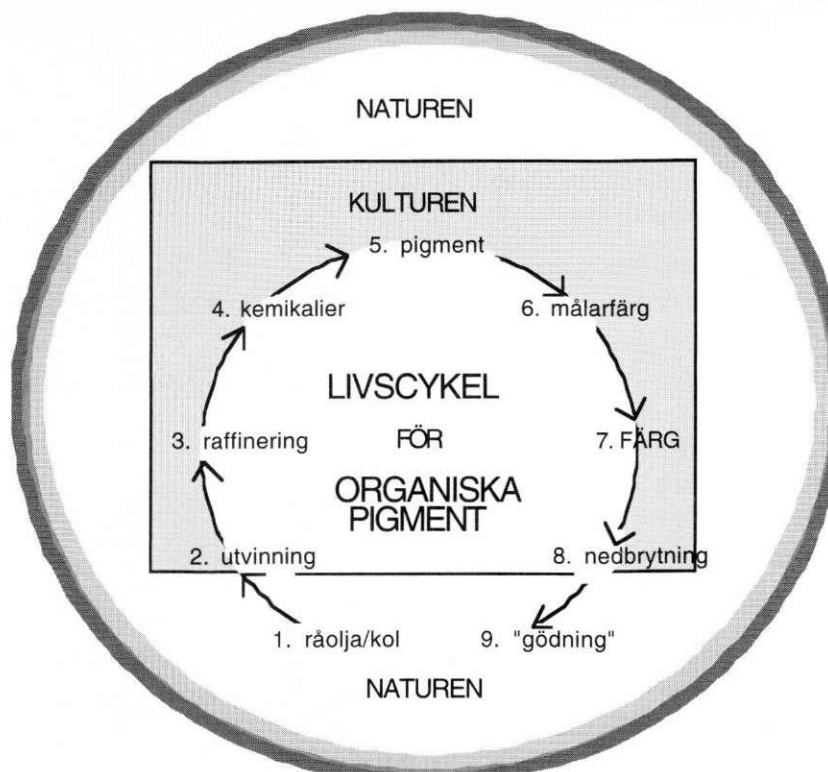
Även nedbrytningsprodukterna från de moderna organiska pigmenten är för det mesta ofarliga, och kan även vara till nytta för växter och djur, då ämnena kan fortsätta i andra kretslopp, se Figur 8. Det ideala målet är att organiska pigment vid nedbrytning reduceras till enkla föreningar som koldioxid, vatten, nitrat samt sulfat, klorid, etc.

De förorsakar sålunda inga eller endast få föroreningar och kommer därför att vara framtidens färger. Som följd av att de idag tillverkas av kol och olja kan deras nedbrytning medföra ett litet bidrag till bildningen av växthusgasen koldioxid. Genom att tillverka färgerna ur recent växtmaterial kommer all bildning av växthusgaser att undvikas.

Ett undantag vad gäller organiska färgers giftighet, är de specialfärger för botten på skepp och annat marint material som har bemålats med giftigt bindemedel för att hindra alger och liknande att växa.

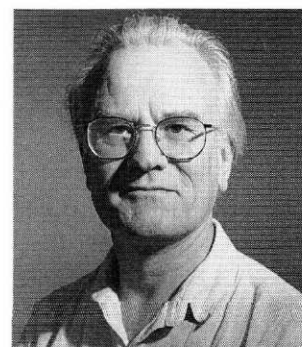
Nutidens och framtidens utmaning är att utveckla och ersätta de traditionella pigment uppbyggda av tungmetaller (varav många har speciella egenskaper, t. ex. rostskydd), med ofarliga organiska pigment.

De organiska pigmenten är framtidens färger, främst på grund av att



Figur 8. Livscykelanalys för organiska pigment. De förorenar inte miljön, utan tvärtom, när de bryts ner, kommer de till nytta som en sorts "gödning" för växter och djur. © Ole Ingolf Jensen.

de är i stort sett ofgiftiga och då de inte bildar giftiga ämnen när de bryts ned. Därför är ett skifte från oorganiska pigment uppbyggda av giftiga tungmetaller, till organiska pigment nästan utan giftverkan, en förutsättning för att vi kan skapa ett färggrant samhälle, som också är ekologiskt hållbart.



Fil. lic., Ole Ingolf Jensen, Institutionen för miljövetenskap och kulturvård, Avdelningen för kulturvård, Göteborgs Universitet.

Noter

1. Hansen & Jensen, 1991, pp. 83–86, 144–148.
2. Hansen & Jensen, 1991, pp. 111–112, 152–153.
3. Ibid. pp. 79–86.
4. Ibid. pp. 98–112.
5. Ibid. pp. 45–57.
6. Ibid. pp. 124–128.
7. Ibid. pp. 119–123.
8. Ibid. p. 122.
9. Ibid. p. 148.
10. Ibid. pp. 88–91.
11. Ibid. pp. 52, 86, 115–117, 142.
12. Ibid. pp. 58–59.
13. Ibid. pp. 85, 141–142.
14. Ibid. pp. 62–74.
15. Zollinger, 1991, p. 423.
16. Nicolaus, 1986, p. 112.
17. Hansen & Jensen, 1991, pp. 39–153.
18. Klein & Hurlbut, 1985, p. 389.
19. Klein & Hurlbut, 1985, p. 357.
20. Ibid. p. 362.
21. Ibid. p. 353, 357.
22. Ibid. p. 354.
23. Ibid. p. 368.
24. Ibid. p. 397.
25. Ibid. p. 383.
26. Klein & Hurlbut, 1985, p. 382.
27. Ibid. p. 388.
28. Ibid. p. 380.
29. Ibid. p. 396.
30. Hansen & Jensen, 1991, pp. 19–29.
31. Feller, 1986, p. 70.
32. Arbeten av denna karaktär har gjorts av Arne Bäck: Historiske Maleteknikker, ett annat av Kerstin Karlsdotter Lyckman som kommer att utges under titeln: *Målarnas hemlighet*.
33. Hedvall, 1915.
34. Pauly, 1967.
35. Lewis, 1988, p. 320.
36. Ahlbom et al., 1996, p. 82.
37. Odum, 1980, pp. 256–260.
38. Greer & Woodward, 1987, pp. 141–169.
39. Ahlbom et al., 1996, p. 82.
40. Zollinger, 1991, p. 423.
41. Ibid., p. 426.
42. Ahlbom et al., 1996, p. 84.

Litteratur

- AHLBOM, JAN, ULF DUUS & DANIELLE FREILICH, 1996: *En nyans grönnare. Rapport från kemikalieinspektionen*. Kemi 2/96. Göteborg och Bohus län, Länsstyrelsen, 1996.
- BÄCK, ARNE, 1993: *HISTORISKE MALETEKNIKKER. Ådring og marmorering*. Teaterteknikerforbundet i Danmark. Frederiksberg, 1993.
- FELLER, ROBERT L. editor, 1986: *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics*. Volume 1. Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
- GREER, RITA & ROBERT WOODWARD, 1987: *Vitaminer, Mineraler och andra Näringsämnen*. Forum, Stockholm, 1987.
- HALLSTRÖM, BJÖRN, 1986: *Måleriets Material*. Wahlström & Widstrand, Stockholm, 1986.
- HANSEN, FENGE & OLE INGOLF JENSEN, 1991: *FARVEKEMI. Uorganiske pigmenter*. København, Gads Forlag, 1991.
- HEDVALL, R. D., 1915: *Über de Reaktionen zwischen Kobaltoxydul und Aluminiumoxyd bei höheren Temperaturen*. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, Bd. 92. Leipzig/Hamburg, 1915.
- HERBST, WILLY & KLAUS HUNGER, 1987: *INDUSTRIELLE ORGANISCHE PIGMENTE*. Weinheim, Herstellung, Eigenschaften, Anwendung. VCH Verlagsgesellschaft, 1987.
- KLIEN, CORNELIUS & CORNELIUS S. HURLBUT, JR., 1985: *MANUAL OF MINERALOGY* (AFTER J. D. DANA). New York, John Wiley & Sons, Inc., 1985.
- LEWIS, PETER A. edit., 1988: *PIGMENT HANDBOOK. Vol. 1. Properties and Economics*. New York, John Wiley & Sons, 1988.
- LYCKMAN, KERSTIN KARLSDOTTER, 1997: *Målarnas hemlighet*, Avd. för Bebyggelsevård, Institut för Arkitekturhistoria, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Utges 1997.
- MYERS, RAYMOND R. & J. S. LONG, 1975: *PIGMENTS. Part 1. Treatise on Coatings. Volume 3*. Marcel Dekker, New York, 1975.
- NICOLAUS, KURT, 1986: *DuMont's Handbuch der Gemäldekunde. Material – Technik – Pflege*. Köln, DuMont Buchverlag, 1986.
- ODUM, EUGENE P., 1980: *EKOLOGI. Länken mellan natur och samhälle*. Stockholm, Wahlström & Widstrand, 1980.
- PAULY, HANS, 1967: *GEOKEMI*. København, Polyteknisk forlag, 1967.
- PREUSS, HAROLD P., 1974: *PIGMENTS IN PAINT*. New Jersey. Noyes Data Corporation, 1974.
- ZOLLINGER, HEINRICH, 1991: *Colour Chemistry, Syntheses, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments*. VCH. Weinheim, 1991.

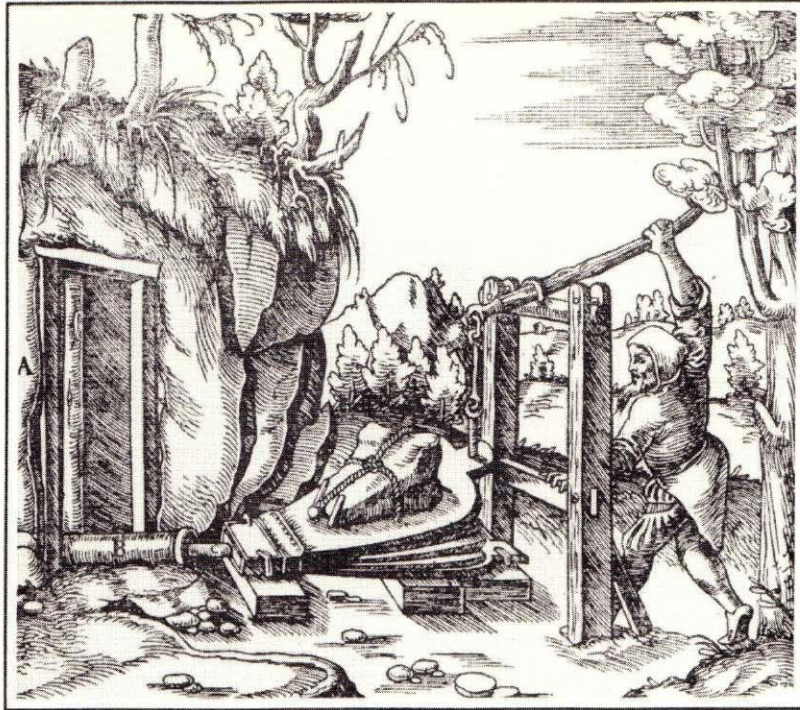


Figure 7. Ventilation of mine shafts.