

4.3 Analyseren en interpreteren.

We weten nu wel hoe onze vloeistof er moet uitzien om een perfect werkende machine te behouden, echter vaak zal de vloeistof welke we in de machine terugvinden niet helemaal aan dit beeld voldoen. In de vloeistof kunnen er na controle deeltjes worden teruggevonden die er natuurlijk niet in thuishoren. Deeltjes welke van verschillende oorsprong kunnen zijn. Ook kan het zijn dat de eigenschappen van de vloeistof, zoals bijvoorbeeld de viscositeit, niet meer aan de eisen voldoen.

Om te weten hoe een machine eraan toe is, moeten er dus stalen genomen worden, deze moeten geanalyseerd worden en, indien er zich onregelmatigheden voordoen, bepalen welke deze zijn, waar ze vandaan komen en wat er kan aan gedaan worden.

Als we dit alles willen beginnen toepassen, moeten we natuurlijk wel eerst weten welke mogelijkheden we hebben en hoe we deze kunnen gebruiken.

Alles hangt natuurlijk af van welke prioriteiten we stellen aan het onderhoud van onze machine en hoever we hier in willen opgaan.

Dit hoofdstuk probeert enig inzicht te geven in de mogelijkheden er zijn op het gebied van analyse van hydraulische vloeistoffen (en andere).

4.3.1 Verontreiniging in onze vloeistof.

We kunnen de vervuiling welke in onze vloeistof voorkomt opdelen in drie hoofdgroepen zijnde:

- beginvervuiling,
- externe vervuiling,
- interne vervuiling.

Beginvervuiling is de vervuiling welke afkomstig is van de vloeistof waarmee het systeem wordt bijgevuld. De bij te vullen vloeistof van het hydraulisch systeem is vaak ontoelaatbaar vervuild.

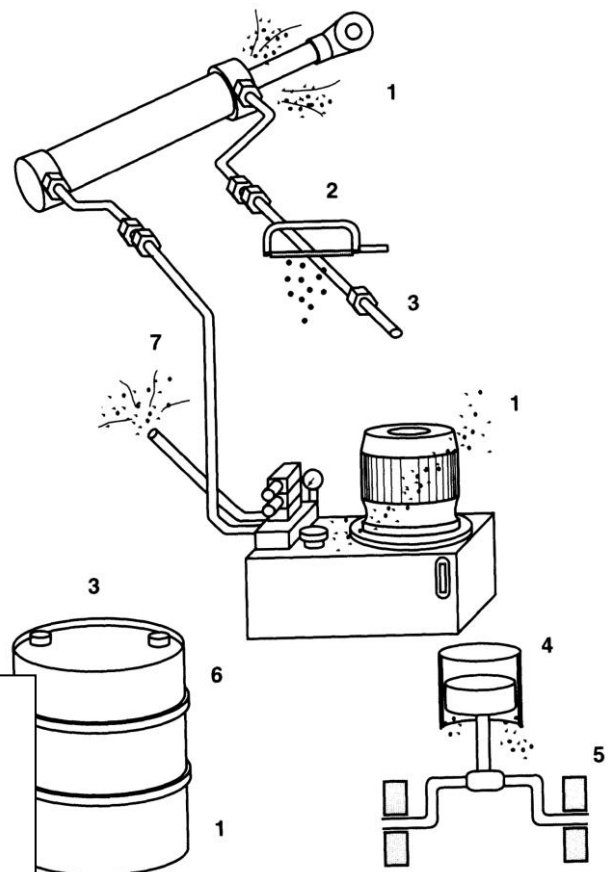
Het is belangrijk dat erop gelet wordt dat de vaten waar de vloeistof in wordt bewaard, goed afgesloten zijn en dat ze op een goede manier worden opgeslagen.

Richtlijnen hieromtrent worden door de fabrikant afgeleverd.

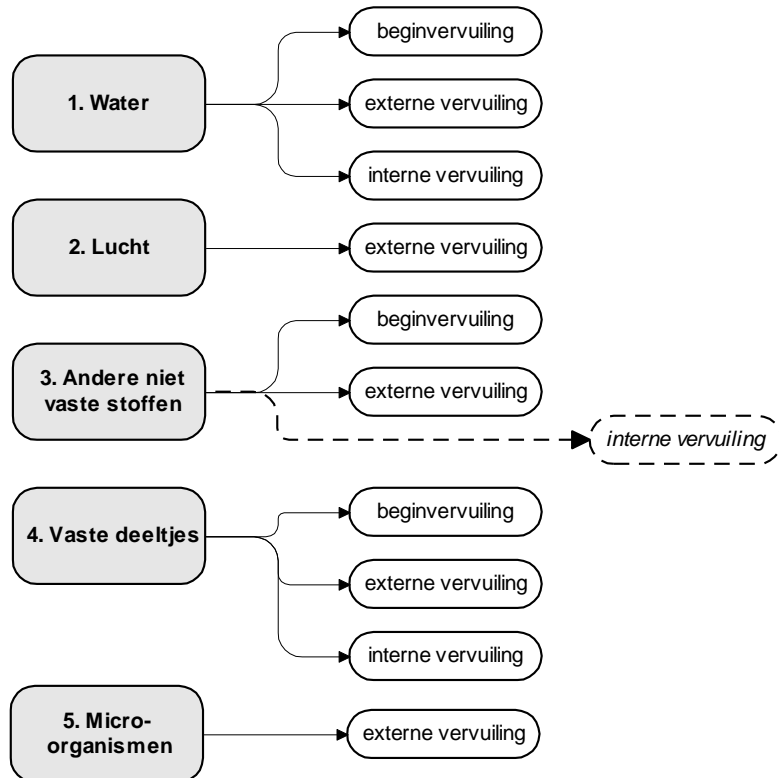
Vervuilende deeltjes uit de omgevingslucht geraken via de vulaansluiting en de dichtingen in het systeem. Deze aard van vervuiling wordt externe of van buiten in het systeem binnendringende vervuiling genoemd. De te verwachten vervuilingfactor hangt uitsluitend af van de omgevingsvervuiling en de uitvoering van het systeem en de componenten.

De bewegende delen in een hydraulisch systeem produceren eveneens vuildeeltjes (slijpsel). Deze aard van vervuiling wordt interne vervuiling genoemd.

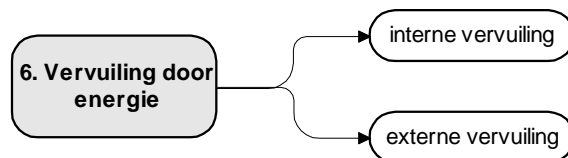
1	externe vervuiling
2	montage
3	beginvervuiling
4	interne vervuiling
5	slijpsel
6	verse olie
7	reparaties



In figuur 12 worden de bronnen van vervuiling in een installatie getoond.
 Wat kan er nu allemaal als vervuiling voorkomen in onze vloeistof?
 We kunnen zes groepen onderscheiden:



Los van deze vijf groepen, vinden we nog een groep. Deze is wellicht niet zo voor de hand liggend, waardoor hij meestal over het hoofd wordt gezien. Ook het verhelpen van deze vervuiler is niet evident, daar er hiervoor vaak zware veranderingen aan de machines moeten gebeuren.



4.3.1.1 Water.

Water in een vloeistofreservoir kan gevormd worden door condensatie van warme verzadigde lucht aanwezig in de vulvloeistof of later in het reservoir en door een lek in het koelsysteem. Water is meestal aanwezig in opgeloste toestand en daardoor onzichtbaar. Als de concentratie echter boven 200 tot 300 ppm (ml/1000 l) stijgt, dan is de vloeistof zodanig verzadigd dat het water vrijkomt. Bij langdurige stilstand (statische situatie) kan dit corrosie veroorzaken aan lager gelegen componenten en aan het reservoir (water is zwaarder dan vloeistof en zakt dus naar de bodem). In een dynamische situatie, waarbij het water in de vloeistof vermengd wordt, ontstaat er een mengsel (emulsie) met andere hydraulische en smerende eigenschappen.

Vanaf 300 ppm water wordt de olie afgekeurd.

Water kan ook een negatieve invloed hebben op bepaalde additieven, zoals het zink-additief dat dan kan samenklonteren. Dit heeft als gevolg dat er een gel ontstaat, die uiteraard nefast inwerkt op fijne hydraulische componenten, en die hoofdstroomfilters doet dichtslibben. Mede door de aanwezigheid van water zal ook het oxidatieproces van de vloeistof sterk versneld worden.

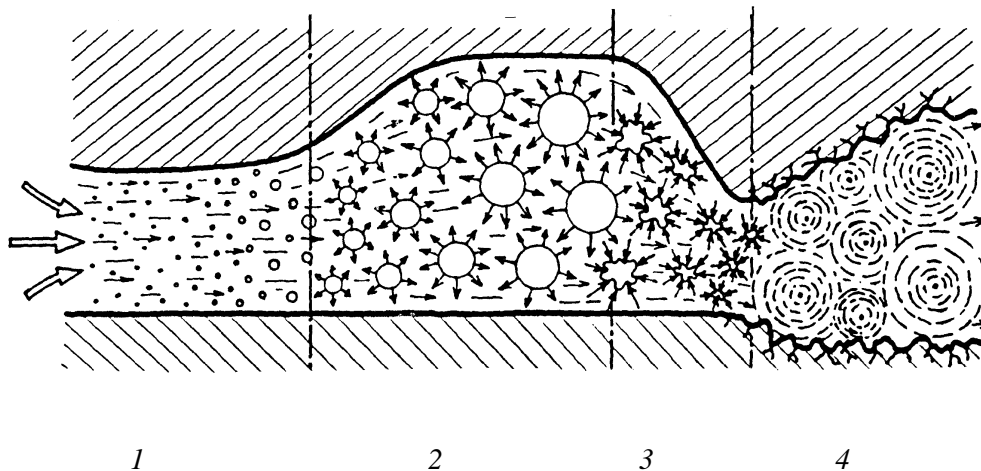
4.3.1.2 Lucht.

Lucht dringt via verschillende wegen de vloeistof binnen, o.a. via de afdichtingen. Maar veruit de belangrijkste oorzaak is het dynamisch gedrag van de vloeistof in het reservoir, waardoor de lucht onder de vorm van luchtbelletjes de vloeistof binnendringt. Heel belangrijk om weten is dat deze lucht uiteindelijk werd aangezogen door de onderdruk die wegstromende vloeistof veroorzaakt in het reservoir. Via de beluchtingfilter wordt, met lucht uit de omgeving, deze onderdruk gecompenseerd.

Wanneer de omgevingslucht sterk vervuild is, moet deze beluchtingfilter de deeltjes in de aangezogen lucht tegenhouden. Dikwijls is het de vuldop die tevens dienst doet als beluchtingfilter.

Maar lucht onder de vorm van luchtbellen kan nog andere nare effecten veroorzaken. Luchtbelletjes dringen binnen in de lagedrukgedeelten van het hydraulisch systeem. Wanneer er dan een drukstijging plaatsgrijpt, worden deze luchtbelletjes gecomprimeerd. Als daarna een expansie van de vloeistof plaatsgrijpt, in bijvoorbeeld een smoorventiel of een hydraulische motor, imploderen deze luchtbelletjes. Dit zijn als het ware mini explosies die plaatselijk hoge temperaturen doen ontstaan. Dit proces noemt men cavitatie. Er vormen zich dan ook verbrandingsresten onder de vorm van oliepolymeren.

Figuur 16 toont het verloop van dit proces.



Inloop : opgeloste lucht of gas, vluchtige vloeistoffen

Vergroting van de (lucht)bellen: drukdaling onder dampspanning, temperatuurstijging, verhoging van de vloeistof-samendrukbaarheid, vermindering van de viscositeit, risico voor vloeistof-oxidatie

Implosie van de bellen: plotse drukverhoging met trillingsverschijnsel

Beschadiging : drukgolven die tegen de oppervlakken slaan en het metaal aantasten, onregelmatig debiet, oppervlakkige erosie, verergerd door corrosie en trillingen.

Figuur 16: Cavitatie.

Samengevat kan men zeggen dat lucht in de vloeistof de oorzaak is van:

- onregelmatige (schoksgewijze) werking door volumeverandering van het medium,
- erosie van nauwe doorlaten in het regelsysteem,
- erosie van onderdelen ten gevolge van cavitatie,
- oxidatie en zwarting (door koolvorming) van de hydraulische vloeistof door de temperatuurstijging ten gevolge van cavitatie.

4.3.1.3 Andere niet-vaste stoffen.

Hiermee wordt bedoeld alle aan het systeem vreemd zijnde stoffen welke van niet vaste aard zijn.

Dit zijn enerzijds additieven welke onoordeelkundig aan de vloeistof worden toegevoegd. Hierdoor zal onze vloeistof zijn specifieke eigenschappen verliezen en zich niet meer gedragen zoals verwacht. Indien dit zich voordoet, kan er zich een verhoogde slijtage en beschadiging voordoen aan de gevoelige componenten.

Anderzijds kunnen dit andere vetten of vloeistoffen zijn, uit de omgeving afkomstig, al dan niet van de machine zelf. Soms wordt er van type of merk van vloeistof veranderd, en wordt het systeem niet grondig van de vorige vloeistof ontdaan. Ook hier kunnen zich dan dezelfde gevolgen voordoen zoals eerder vermeld.

4.3.1.4 Vaste deeltjes.

Contaminatie door vaste deeltjes kan verschillende oorzaken hebben:

a) geïmporteerde contaminanten

Contaminanten dringen binnen in de machine vanuit de omgeving, door een onzorgvuldig onderhoud of door nieuwe vloeistof te gebruiken die niet de juiste zuiverheidsklasse heeft. Ook het transport en de opslag van hydraulische vloeistoffen heeft invloed op de zuiverheid. De hoeveelheid stof en water in de atmosfeer van de werkomgeving, de wijze van afvullen van het systeem en de gebruikte afvulgereedschappen hebben echter nog een grotere invloed op de geïmporteerde contaminatie.

De via de beluchtingfilters aangezogen lucht kan contaminanten importeren. Ook kunnen contaminanten binnendringen via cilinderstangen, afdichtingsringen, slecht afgedichte reservoirs of gaten in de reservoirs.

b) reeds aanwezige contaminanten

Vooral bij nieuwe hydraulische apparatuur of bij gereviseerde installaties is de kans op contaminatie zeer groot. Voorbeelden hiervan zijn residu's van het productie- en assemblageproces van de machine, zoals bramen, lasparels, gietzand, afdichtingsmateriaal, verfdeeltjes die afschilferen, roestdeeltjes, water en vezels van schoonmaakdoeken.

c) gegenereerde contaminanten

Abrasieve slijtagereesten ontstaan in componenten tijdens normale en abnormale werking. Harsen en gelachtige producten ontstaan door een oxidatieproces. De oorzaken zijn meestal: materiaal incompatibiliteit, cavitatie, erosie, vloeistof-contaminatie door de reactie van water en zuurstof met de metaaldeeltjes als katalysatoren.

4.3.1.5 Micro-organismen.

Deze zijn verantwoordelijk voor storingen zoals corrosie van roestvrijstalen vaten, het verstopping van leidingen en brandstoffilters en het veroorzaken van gaten in de aluminium vleugeltanks van vliegtuigen. In het algemeen komt deze vervuiling bij hydraulische systemen met minerale olie nauwelijks voor, maar bij het toenemend gebruik van vloeistoffen op basis van water, zal deze vervuiling meer op de voorgrond gaan

treden. Vervuiling door micro-organismen is eenvoudig vast te stellen met het oog en de neus: het uiterlijk en de stank zijn onmiskenbaar. Water is onmisbaar voor alle leven, zodat in schone, watervrije, minerale olie slechts weinig micro-organismen voor komen. Zodra er echter water binnendringt in de olie kunnen micro-organismen zich snel in het vrije water vermenigvuldigen. Een grote vervuiling door micro-organismen kan in het algemeen tot vijf problemen aanleiding geven:

- *aantasting van de vloeistof,*
- *aantasting van de oppervlakken van de componenten,*
- *verstopping van de filters,*
- *snelle corrosie en stank en verkleuring van de vloeistof.*

4.3.1.6 Vervuiling door energie.

Energie kan in vele vormen in het systeem aanwezig zijn. Mogelijke energetische verontreinigingsvormen zijn:

- *thermische energie,*
- *mechanische energie,*
- *elektrische energie,*
- *magnetische energie,*
- *stralingsenergie.*

Hoewel energie in de bovengenoemde vormen niet grijpbaar is, kan de aanwezigheid ervan worden vastgesteld door te letten op de invloed ervan op het systeem waarin zij aanwezig is. Als een vloeistof energie opneemt, omzet of afgeeft zullen diverse fysische eigenschappen ervan veranderen en een toestandsverandering in het systeem veroorzaken. Als zo 'n toestandsverandering van de vloeistof gepaard gaat met een fase-overgang (bijvoorbeeld een verandering in een vaste of een gas- of dampvormige fase) is er een vervuiling gevormd welke storing kan veroorzaken. In de triobologie is zo 'n vervuiling wel bekend als veroorzaker van storing door cavitatie, de vorming van ijskristallen, enzovoort. Echter, het exact bepalen waar de vervuiler zich bevindt, is een moeilijke opgave, vooral indien het een combinatie is van factoren. Voor hydraulische systemen is vervuiling door thermische energie het belangrijkste.

a) Thermische verontreiniging:

De thermische energie in een vloeistof neemt toe door mechanische verliezen of een uitwendige warmtebron (een warme omgeving of een verwarmingselement). Het niveau van de thermische energie wordt uitgedrukt door de temperatuur van de olie. De maximale temperatuur van hydraulische olie is in de afgelopen jaren voortdurend omhoog gegaan. Een temperatuur boven de maximaal toegelaten bedrijfstemperatuur kan de volgende kettingreactie veroorzaken, die tot een totale verwoesting van het systeem leidt:

- *de viscositeit van de vloeistof daalt sterk,*
- *de hydrodynamische smering verandert in gemengde smering (met mechanische contact tussen de oppervlakken),*
- *interne lekkage neemt sterk toe,*
- *het mechanische rendement van de installatie neemt af,*
- *de vloeistof temperatuur neemt nog meer toe,*
- *afdichtingen verliezen hun functie en*
- *de vloeistof wordt chemisch afgebroken.*

Temperaturen onder 0° C kunnen de eveneens nadelige gevolgen hebben.

Het grootste gevaar van hoge vloeistoftemperaturen is de uiteindelijke afbraak van de vloeistof zelf. Bij deze afbraak worden harsachtige producten, zuren en slijmachtige stoffen gevormd. Deze leiden op den duur tot

het vastzitten van componenten en aantasting van de oppervlakken. Een hoge temperatuur versnelt de oxidatie van de olie.

b) Mechanische energie:

Als grootste mechanische energie in een hydraulisch circuit kunnen we de druk beschouwen. Te veel of te weinig is niet goed. Een te hoge druk veroorzaakt buitensporige slijtage van de componenten. Wanneer de hoge druk in een smooropening wordt omgezet in een hoge vloeistofsnelheid, ontstaat een zeer lage druk met gevaar van cavitatie, erosie van de kleppen en hoge geluidsniveaus. De vloeistof zelf wordt bij zeer hoge snelheden in nauwe smooropeningen gekraakt: vooral van polymeren met moleculen in de vorm van lange ketens (dikmakers), die worden toegevoegd ter verbetering van de viscositeitindex, worden de moleculen in kleine stukjes gebroken en gaat het effect verloren. Wanneer twee oppervlakken onder hoge belasting ten opzichte van elkaar bewegen zijn anti-slijtage additieven nodig. Daar de oppervlakken contact met elkaar maken en voortdurend over elkaar schrapen, dienen deze additieven steeds opnieuw aan die oppervlakken te worden toegevoegd. Dit vraagt dan een constante toevoer van anti-slijtage additieven aan de vloeistof.

c) Elektriciteit:

Het opwekken en transporteren van elektrische lading met vloeistoffen met een laag geleidingsvermogen (zoals koolwaterstoffen) kan een belangrijke vloeistofverontreiniging betekenen. Catastrofaal aflopende branden en explosies zijn hierdoor bij brandstofsysteemen reeds veroorzaakt, maar ook in hydraulische aandrijvingen en smeersysteemen kunnen vloeistoffen en componenten worden aangetast. Statische elektriciteit wordt opgewekt als twee verschillende materialen met elkaar in contact worden gebracht en vervolgens gescheiden. Deze omstandigheden doen zich in hydraulische systeemen voor waar een vloeistofstroom langs een vast oppervlak stroomt.

De neiging van een bepaalde vloeibare koolwaterstof om zich op te laden, hangt niet alleen van de geleidbaarheid van de vloeistof af. De samenstelling en de hoeveelheid verontreiniging in de vloeistof zowel als de stroomsnelheid en het materiaal van de wand hebben een uitgesproken effect op de lading. De gevolgen van elektrostatische lading kunnen onder andere zijn:

- aantasting van vloeistof en componenten tengevolge van overslaande vonken,*
- verlies van filterrendement door cohesie van vuildeeltjes en corrosie tengevolge van elektrische stromen.*

De hoeveelheid metallieke vaste vuildeeltjes of water in de vloeistof is één van de belangrijkste factoren die de geleidbaarheid bepalen. Als de hoeveelheid verontreiniging toeneemt stijgt de geleidbaarheid. De isolatiewaarde van de diverse in gebruik zijnde hydraulische oliën zijn ongeveer gelijk bij een laag verontreinigingsniveau. Daarom is de aard en de hoeveelheid van de verontreinigingen van veel grotere invloed op de geleidbaarheid dan de eigenschappen van de vloeistof zelf.

d) Magnetische velden:

Deze komen algemeen voor in hydraulische systeemen en wel ter plaatse van de elektromagneten op diverse elektromagnetische kleppen en bij diverse meetinstrumenten. Andere belangrijke bronnen zijn restmagnetisme in diverse onderdelen tengevolge van lasbewerkingen, magnetisch opspangereedschap en hijsmagneten. Hierdoor raken ijzerdeeltjes in de vloeistof gemagnetiseerd, die er daardoor toe neigen te gaan samenklonteren maar ook aan diverse kleponderdelen kunnen gaan kleven, met alle kwalijke gevolgen van dien. Wanneer de magneetveldlijnen in een klep van het huis naar de bewegende schuif lopen, kunnen ijzerdeeltjes in de olie de klepbeweging geheel blokkeren.

d) Straling:

Straling is energie die vanuit de omgeving aan het systeem wordt toegevoerd of door het systeem aan de omgeving wordt afgegeven. De effecten op het systeem zijn van zeer verschillende aard. Het effect op het materiaal van de componenten hangt af van het materiaal zelf en de soort straling.

Vooral de olie in hydraulische en smeersystemen is het meest gevoelig voor bestraling door deeltjes. Doch in de specificaties van de aan de vloeistof te stellen eisen komt de weerstand tegen straling meestal niet voor. Gelukkig is er wel veel onderzoek verricht aan het effect van straling op eenvoudige organische weefsels. Doch bij de meer ingewikkelde moleculaire structuren van smeermiddelen op minerale of synthetische basis is het niet doenlijk de exacte reacties te bestuderen. Er zijn echter wel veel waarnemingen uit de praktijk bekend die tot de volgende uitspraken leiden:

- De viscositeit kan eerst dalen maar soms ook stijgen,
- de zuurtegraad stijgt,
- de vluchtigheid neemt toe,
- de neiging tot schuimen neemt toe,
- de neiging tot verkolen neemt toe maar daalt soms ook wel,
- de ontstekingstemperatuur neemt af en
- de oxidatiebestendigheid vermindert.

Verder komt er altijd gas vrij als een koolwaterstof aan straling wordt blootgesteld, meestal waterstof en methaan uit minerale olie. Het overblijvende product van de ontleding is een gel dat alle spleten en filters verstopt en de betrouwbaarheid van het systeem aanmerkelijk vermindert.

4.3.2 Gevolgen van verontreiniging.

De nadelige gevolgen van de aanwezigheid van lucht is reeds duidelijk gemaakt in de voorgaande paragraaf.

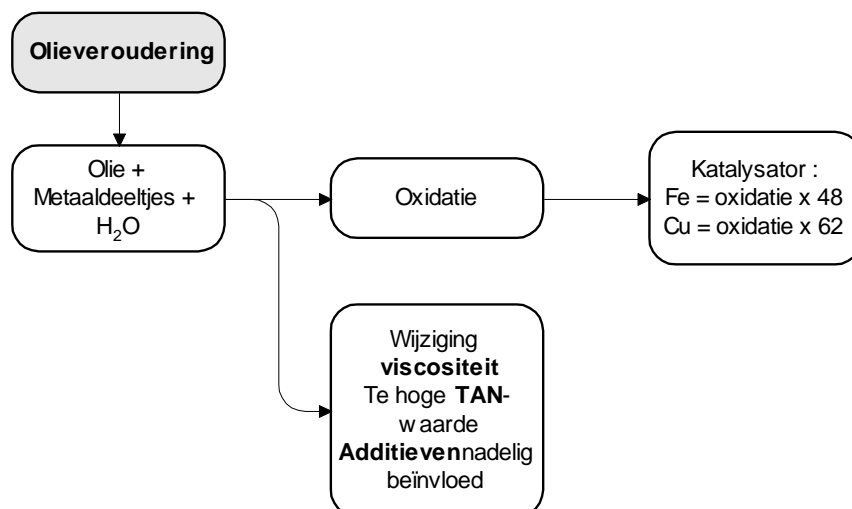
De gevolgen van de aanwezigheid van water, andere niet-vaste stoffen en vaste deeltjes zijn een samenspel van verschillende factoren, factoren afhankelijk van de aard van de vervuiling en de mate waarin deze aanwezig zijn.

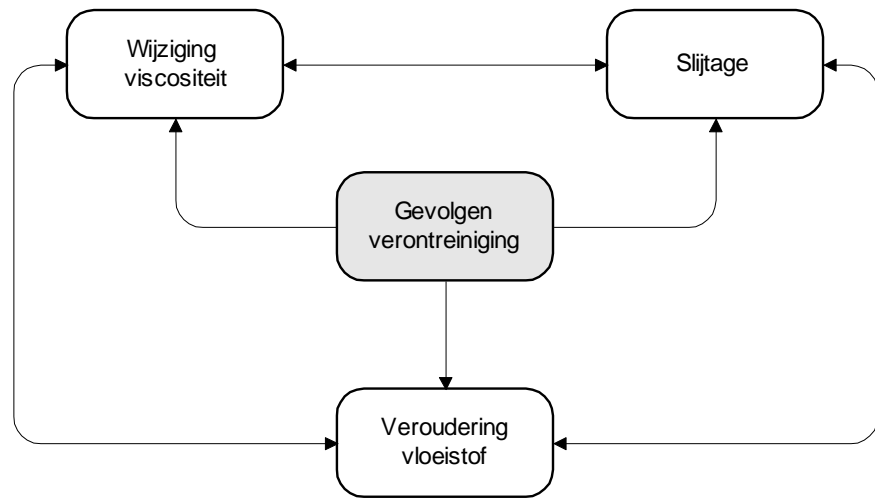
De grote gemeenschappelijke noemer, is de verandering van de viscositeit van de vloeistof. Verandering van viscositeit kan optreden door veroudering van de vloeistof. Verandering van viscositeit werkt slijtage en veroudering van de vloeistof in de hand.

Slijtage veroorzaakt verandering van viscositeit en veroudering van de vloeistof.

Het is duidelijk dat het niet gemakkelijk is om de oorzaak van vervuiling en symptomen van mogelijke problemen te éénduidig te bepalen. Het is een vicieuze cirkel waar het erop aan komt alle mogelijke ongeregelheden te bepalen en te verwijderen.

Samengevat:





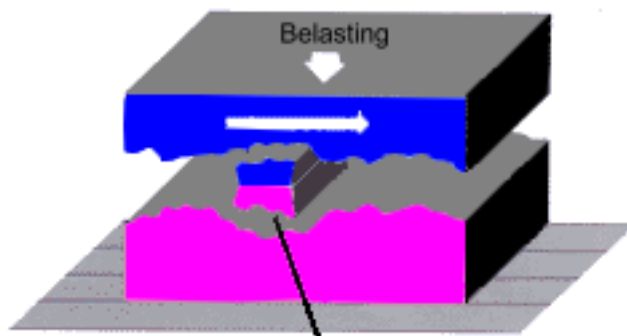
De slijtage in een machine kan verlopen op verschillende manieren. We kunnen hier onderscheid maken tussen:

- hechtende slijtage,
- abrasieve slijtage,
- corrosieve slijtage,
- contactcorrosie,
- erosieve slijtage,
- fretting,
- slijtage door vermoeiing.

4.3.2.1 Hechtende slijtage.

Overbelasting, lage vloeistofsnelheid en/of verlaagde viscositeit kan de oorzaak zijn van een verdunning van de smeerfilmdikte. Dit kan zover gaan dat er zich metaal op metaal contact voordoet. Hierdoor kunnen er microlassen ontstaan. Deze microlassen kunnen onder belasting loskomen van het omringende materiaal en zich met de vloeistof vermengen. Er vormen zich kraters en slijtagedeeltjes.

4.3.2.2 Abrasieve slijtage.

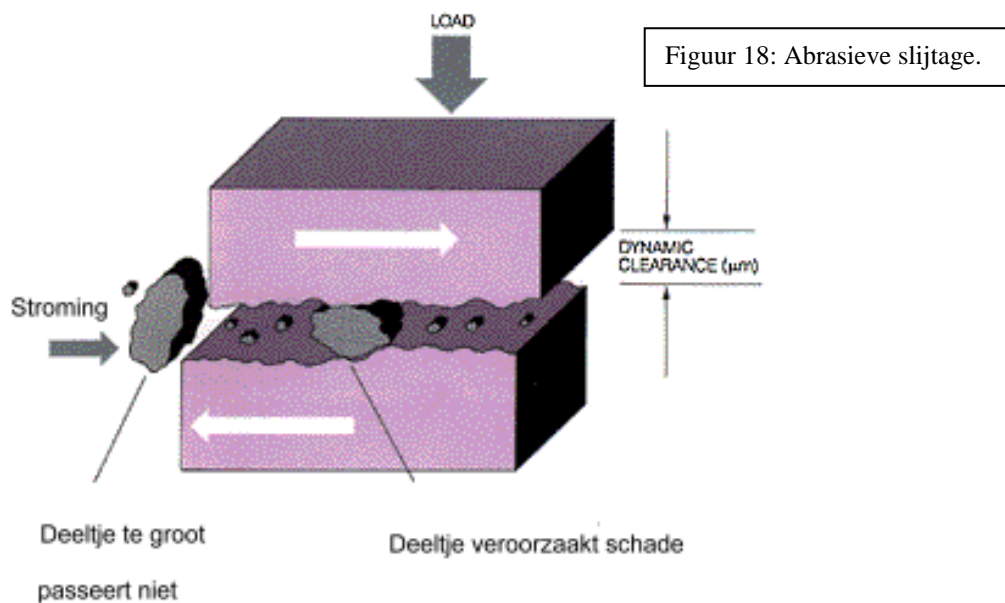


Figuur 17: Hechtende slijtage.

Bepaalde deeltjes kunnen door bepaalde omstandigheden worden gehard. Hierdoor worden ze harder dan het oorspronkelijke materiaal. Indien deze deeltjes niet worden verwijderd, zullen ze zorgen voor verder slijtage aan de onderdelen van de machine.

De deeltjes kunnen terecht komen tussen de open ruimte van twee bewegende oppervlakken. Hier zetten ze zich in vast en gaan zo beginnen insnijden op het tegenoverstaande oppervlak. Hierdoor ontstaan er nog meer slijtagedeeltjes en kan de speling tussen de twee oppervlakken vergroten.

De deeltjes welke het grootste gevaar vormen voor dit soort slijtage, zijn deze welke even groot of iets groter zijn dan de maximale speling van twee componenten.



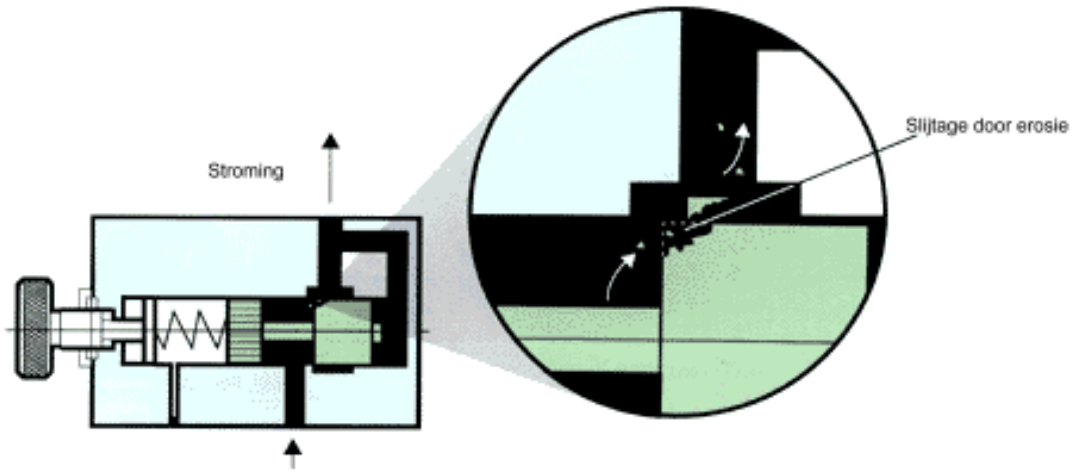
4.3.2.3 Corrosieve slijtage.

Dit is een chemische of galvanische aanval, gevolgd door de verwijdering van de reactieproducten (chemische complexen), door mechanische actie (wrijving). Dit kan worden voorkomen door het gebruik van doeltreffende materialen of door het gebruik van neutraliserende additieven in de vloeistof. Dit effect kan eveneens worden geminimaliseerd door de vloeistof tijdig te verversen.

4.3.2.4 Erosieve slijtage.

Slijtage door erosie is veroorzaakt doordat deeltjes over een bepaald oppervlak heen schuren of erop inslaan. Het effect is zeer tijdelijk. Het komt het meeste voor in componenten waar er een hoge stromingsnelheid optreedt. Doordat deeltjes herhaaldelijk inslaan op een bepaalde plaats, zal er na verloop van tijd een verzwakking optreden, waarna er zich beschadiging voordoet en er deeltjes kunnen loskomen.

Figuur 19: Erosieve slijtage.

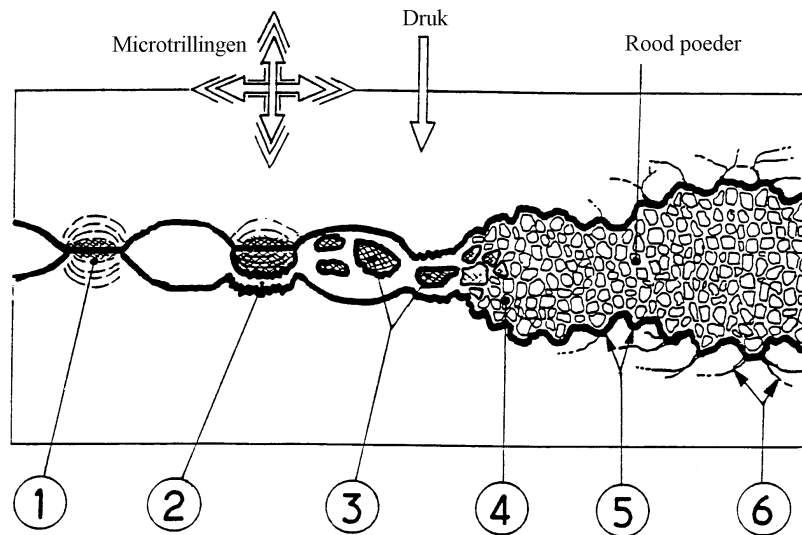


Al deze slijtageprocessen veroorzaken slijtagedeeltjes. Deze deeltjes kunnen we opdelen in twee groepen, namelijk:

- *Chips: deeltjes $> 30 \mu\text{m}$, ook bramen of spaanders. Deze ontstaan voornamelijk door pitting of sliding wear. Dit is het afbreken van ruwheidstoppen, ontstaan door microlasverbindingen.*
- *Silt: deeltjes $< 5 \mu\text{m}$ voornamelijk veroorzaakt door schuring.*

4.3.2.5 Fretting.

Door het afrukken van toppen ontstaan scheuren in de onderliggende materialen. Het optreden van deze scheuren noemt men ook wel fretting.

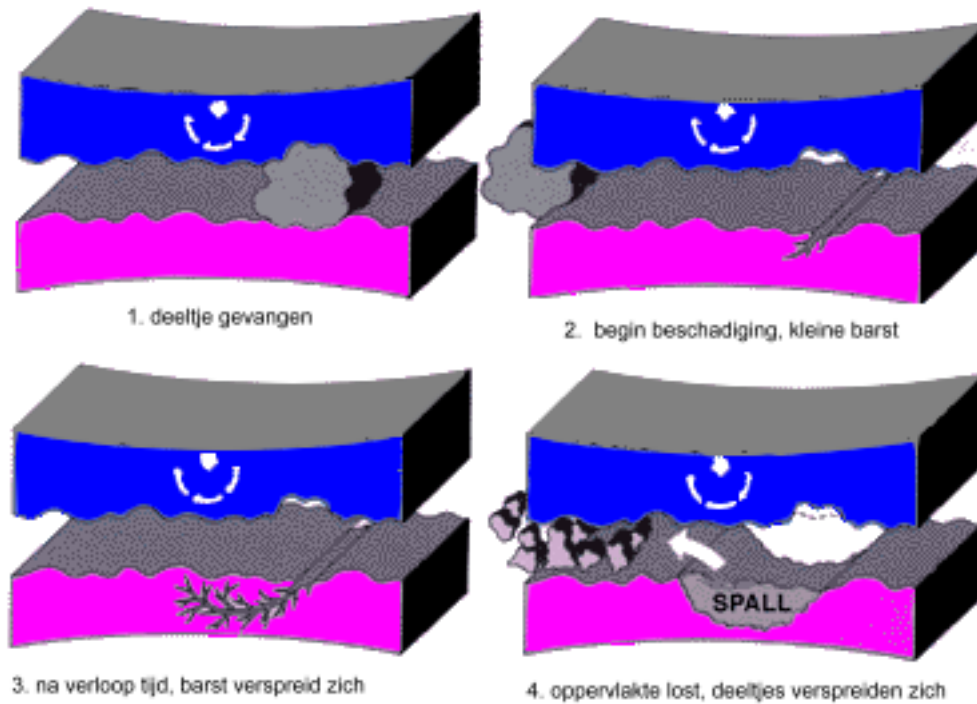


1. Aankleving en vorming van microlassen
2. Afbraak van microlassen
3. Losrukken van deeltjes
4. Oxydatie van deeltjes in harde ijzer-oxyde
5. Abrasieve actie door ijzer-oxyde
6. Verdere slijtage door vermoeiing

Figuur 20:

4.3.2.6 Slijtage door vermoeiing.

Door vervuiling van de vloeistof, fretting en overbelasting, kan er vermoeiing optreden in de onderdelen van de machine. Hierdoor kan er schade optreden en kan er nog meer contaminatie in de vloeistof terechtkomen.



Figuur 21: Slijtage door vermoeiing.

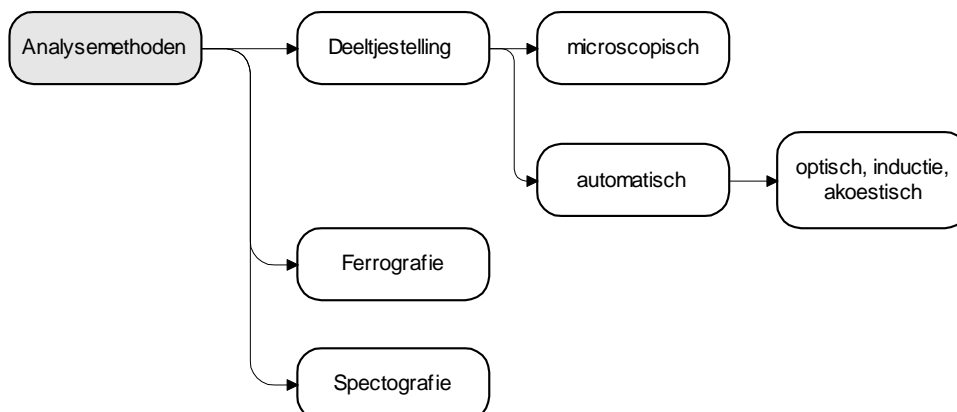
4.3.2.7 Contactcorrosie.

Corrosie ten gevolge van contact betekent de verwijdering van materiaal tussen twee oppervlakken die bijna in statisch contact met elkaar staan maar die wel onderhevig zijn aan mechanische trillingen en oscillatie. Dit leidt tot oxidatie van bepaalde deeltjes. Voor ijzermaterialen is er een toename van 'rood poeder'.

4.3.3 Analyseren van de staat van de vloeistof.

Om te weten hoe de vloeistof van onze machine eraan toe is, gaan we deze analyseren. Het analyseren van de vloeistof kan op verschillende manieren gebeuren. Alles hangt af van wat we willen te weten komen, hoe precies de analyse moet zijn en wat de analyse mag kosten.

Inderdaad, hier kan de kostprijs van de gebruikte apparatuur zwaar doorwegen, evenals de deskundigheid van de gebruiker.



Bijkomende onderzoeksmethoden zijn onder andere waterdetectie, TAN-evaluatie, TBN-evaluatie en sedimentanalyse.

Welke methode er gebruikt wordt, wordt dus vooral bepaald door de gegevens men wenst te bekomen, hoe snel men de gegevens wil verkrijgen en de kostprijs.

Het is duidelijk dat, indien men wil weten of het watergehalte in bepaalde machines niet te hoog is, men de stalen niet naar een laboratorium gaat sturen. Voor zulke analyses bestaan er redelijk simpele en goedkope toestellen, welke men dan zelf gaat gebruiken. Hierdoor kunnen dan bijvoorbeeld de kosten gedrukt worden.