

DROGEN VAN MATERIAAL IN DE KUNSTSTOFINDUSTRIE

De meeste kunststofmaterialen, zoals PA (nylon), PC en PET zijn hygroscopische materialen. Ze adsorberen vocht uit de omgevingslucht en geven vocht terug af aan droge lucht. Elk type kunststof kan een bepaalde hoeveelheid vocht vasthouden tussen de moleculaire ketens. Overtollige hoeveelheden vocht kunnen op de oppervlakte van de korrels condenseren (oppervlaktevocht). Niet-hygroscopische materialen, zoals PE, PP en PVC, adsorberen geen vocht, maar er kan zich nog steeds oppervlaktevocht voordoen. Het is aangetoond dat geadsorbeerd vocht in hygroscopische materialen en oppervlaktevocht in niet-hygroscopische materialen leiden tot productfouten; het probleem kan zo erg worden dat de productie volledig moet stilgelegd worden.

Het opwarmen van het materiaal, tot volledig in de kern van de korrel en tot op de hoogst mogelijke temperatuur is van het grootste belang om tot goede droogresultaten te komen. Het dauwpunt van de lucht is die temperatuur waarop de lucht met vocht verzadigd is. Het dauwpunt van de lucht laten zakken tot onder -20°C is voor het drogen van kunststoffen niet nodig.

De normale kwaliteit van perslucht heeft een dauwpunt van 5°C bij een druk van 7 bar, hetgeen overeenkomt met atmosferische lucht met een dauwpunt van -20°C op zeeniveau.

Er zijn twee manieren om vocht te verwijderen of om de hoeveelheid vocht die in kunststoffen aanwezig is, te verminderen:

- door de druk in de capillairen te verhogen en op die manier het vocht te verwijderen en via de lucht te evacueren (luchtdrogen), of
- door het vocht uit de capillairen te drijven door het materiaal onder lage druk te zetten (vacuümdrogen).

DE WARMELUCHT DROGER

Warmelucht drogers zijn heel eenvoudige toestellen. Het materiaal wordt in een droogtrechter gevoerd waar warme lucht langs de onderzijde wordt toegevoerd. De warme lucht stijgt doorheen het materiaal en warmt zo de korrels op; het vrijgekomen vocht wordt door de warme lucht opgenomen voordat die de trechter aan de bovenzijde verlaat. De vochtigheid van de omgevingslucht die gebruikt wordt om het materiaal te drogen is van doorslaggevend belang voor het droogresultaat. Als die omgevingslucht droog is, functioneert de droger beter, maar de vochtigheid van de omgevingslucht is nooit constant, en ze is zelden laag genoeg. Voor het drogen van hygroscopische materialen is de warmelucht droger niet geschikt.

DE DROGELUCHT DROGER

De drogelucht droger is al iets ingewikkelder. De lucht circuleert tussen een droogtrechter en een droger in een gesloten circuit, zodat de luchtvochtigheid constant laag gehouden kan worden. Het droogmiddel wordt met regelmatige tussenpozen geregenereerd door middel van warme lucht, en het vocht wordt in de droger vrijgegeven aan de omgevingslucht. Het vocht wordt uit het ene hygroscopisch materiaal (de kunststof) verwijderd en wordt daarna afgegeven aan een ander hygroscopisch materiaal (het droogmiddel) voordat het wordt vrijgegeven aan de omgevingslucht. Dit systeem heeft nadelen: veel bewegende delen, hoog energieverbruik, veel onderhoud en plaatsverlies (groter vloeroppervlak).

DE PERSLUCHT DROGER

De perslucht droger is ideaal voor het continu drogen van kunststoffen. Het combineert de voordelen van de warmelucht droger met die van de drogelucht droger, zonder diens nadelen. De perslucht droger verwarmt het materiaal voor met warme lucht, en gebruikt daarna een kleine hoeveelheid perslucht om het vocht uit het materiaal te halen. De perslucht wordt gedeprimeerd voordat ze wordt verwarmd en toegevoerd aan de onderzijde van de droogtrechter. De standaardkwaliteit van perslucht, met een dauwpunt van 5°C of lager bij een druk van 7 bar of meer is uitermate geschikt voor dit proces. De centrale luchtcompressor in de productiehal voert lucht naar verschillende drogers; hierdoor wordt er minder vloeroppervlak gebruikt in de productiehal, en worden de onderhoudskosten beperkt. Het energieverbruik van de perslucht droger is veel lager dan dat van een drogelucht droger. In bepaalde gevallen, zoals bij blaasvormen, kan het energieverbruik worden teruggebracht tot bijna NUL. De afvoerlucht van het proces wordt gebruikt voor het drogen, en de warmte wordt gerecupereerd van de luchtcompressor.

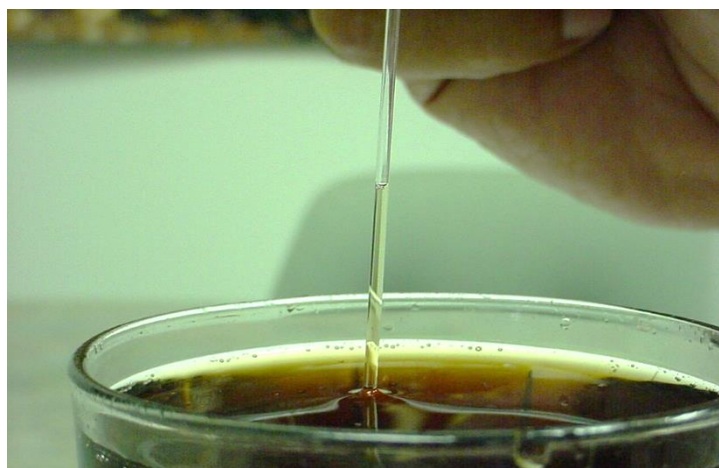
DE VACUÛMDROGER

Vacuümdrogen is de beste manier om kunststoffen te drogen per batch, maar voor het continu drogen bleken systemen met verschillende vacuümkamers in een carrousel toch niet de meest geschikte manier. Om een dergelijk systeem continu te laten werken, waren te veel bewegende delen nodig, waardoor er veel onderhoud nodig was. Wanneer er moet gewisseld worden naar een ander materiaal of een andere kleur, waren de kamers erg moeilijk te reinigen.

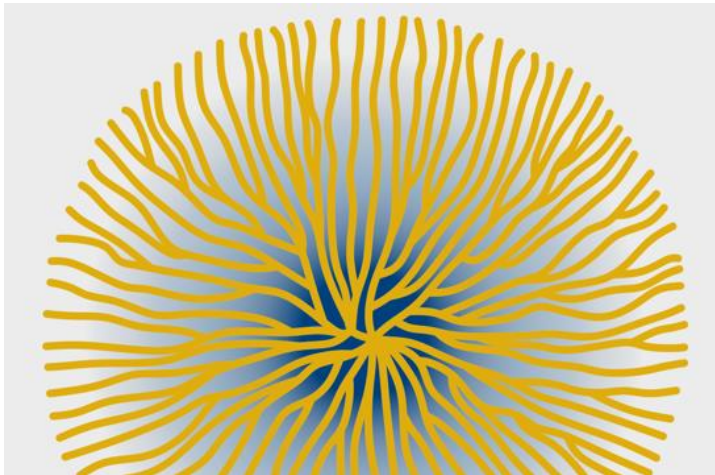
HYGROSCOPISCHE MATERIALEN

De meeste mensen kennen het capillair fenomeen; het kan aan de hand van een eenvoudige proef aangetoond worden. Steek een lang, dun glazen buisje in een glas gekleurd water en houd het vertikaal. Het water in het buisje zal nu hoger stijgen dan het wateroppervlak in het glas. Haal vervolgens het buisje uit het water, en U zult merken dat het water niet volledig terug uit het buisje valt. De capillair (in dit geval het dunne buisje) probeert water vast te houden (afhankelijk van de diameter van het buisje). Als een dunner buisje gebruikt wordt, zal het water hoger stijgen, en zal er meer water in het buisje achterblijven nadat het uit het water werd genomen.

Dit experiment toont aan dat een deel van het vocht dat geadsorbeerd wordt door de capillairen van hygroscopische materialen in die capillairen zal achterblijven, zelfs als het materiaal gedurende lange tijd is opgeslagen in een zeer droge omgeving.



De meeste kunststoffen, zoals PA (Nylon), PC en PET zijn hygroscopische materialen. Ze adsorberen vocht uit de omgevingslucht en geven vocht terug af aan droge lucht. Elk type kunststof kan een bepaalde hoeveelheid vocht vasthouden tussen de moleculaire ketens. Nylon bijvoorbeeld kan tot 2% van zijn eigen gewicht aan vocht vasthouden. Overvloedige hoeveelheden vocht kunnen op het oppervlak van de korrels condenseren (oppervlaktevocht). Niet-hygroscopische kunststoffen, zoals PE, PP en PVC, adsorberen geen vocht, maar er kan zich nog steeds oppervlaktevocht voordoen. De hoeveelheid vocht die wordt vastgehouden in de capillairen hangt af van het soort materiaal (de afstand tussen de moleculen), van de relatieve vochtigheid van de lucht rond de korrels, van de korrelgrootte en van de duur van de blootstelling aan de lucht.



Als we een korrel hygroscopisch materiaal doorsnijden, dan ziet het resultaat er onder de microscoop uit zoals links grafisch voorgesteld. De kunststofmoleculen zijn rood gekleurd, vocht is blauw en de lucht is geel.

Uiterst dunne capillairen lopen van het oppervlak naar de kern van de korrel. Het meeste vocht in de capillairen concentreert zich rond de kern van de korrel. Oppervlaktevocht wordt in deze illustratie niet weergegeven.

Bij niet-hygroscopische materialen is de doormeter van de capillairen kleiner dan de grootte van de watermoleculen; vandaar dat dergelijke materialen geen vocht kunnen adsorberen. Vocht kan echter wel condenseren op het oppervlak van de korrels.

Het is aangetoond dat geadsorbeerd vocht en oppervlaktevocht leiden tot productiefouten; het probleem kan zo erg worden dat de productie volledig moet stilgelegd worden. Het drogen van het materiaal is daarom van doorslaggevend belang bij het verwerken van kunststoffen.

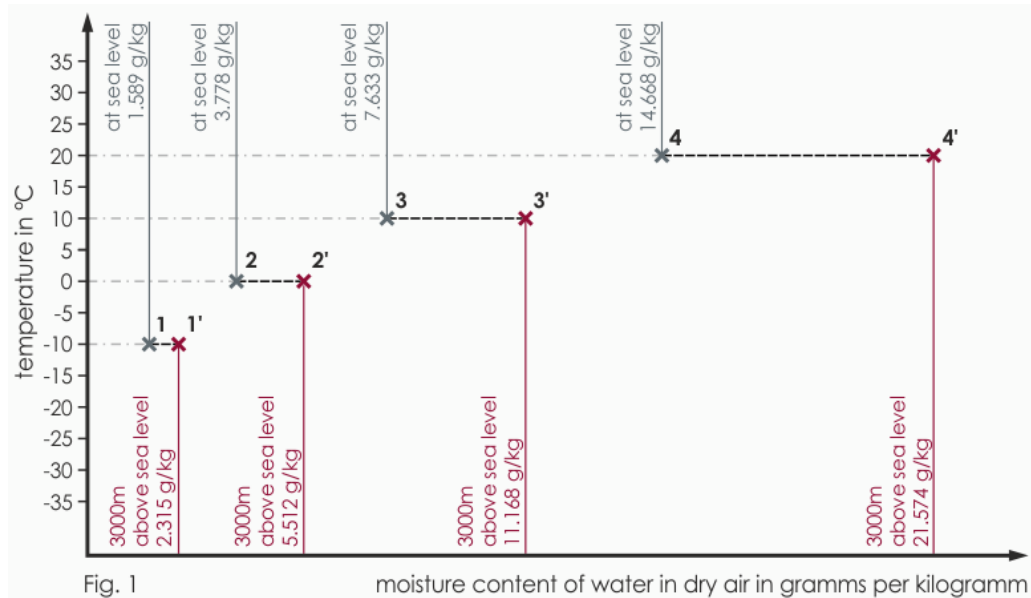
VERWARMEN

Door het materiaal te verwarmen zal de druk in de capillairen toenemen; hierdoor komen de watermoleculen in beweging waardoor meer vocht de capillairen zal verlaten. Als de temperatuur nog wordt verhoogd, zal nog meer vocht de capillairen verlaten. De luchtsnelheid op het oppervlak van de korrels speelt ook een rol in het droogproces. Een snelle luchtstroom zorgt voor een drukval op het oppervlak van de korrels, wat het verwijderen van vocht uit de capillairen vergemakkelijkt. De relatieve vochtigheid van de omgevingslucht is van grote invloed op de hoeveelheid vocht die uit het materiaal geëvacueerd wordt. Droge lucht kan meer vocht opnemen dan vochtige lucht. Een lagere relatieve luchtvochtigheid zal het proces in zekere mate versnellen. Een andere belangrijke factor is de lengte van de blootstelling aan warme, droge en snel bewegende lucht. Een langere blootstelling zal leiden tot minder achterblijvend vocht in de capillairen van het materiaal.

Het opwarmen van het materiaal, tot volledig in de kern van de korrel en tot op de hoogst mogelijke temperatuur is van het grootste belang om tot goede droogresultaten te komen.

VOCHTIGHEID

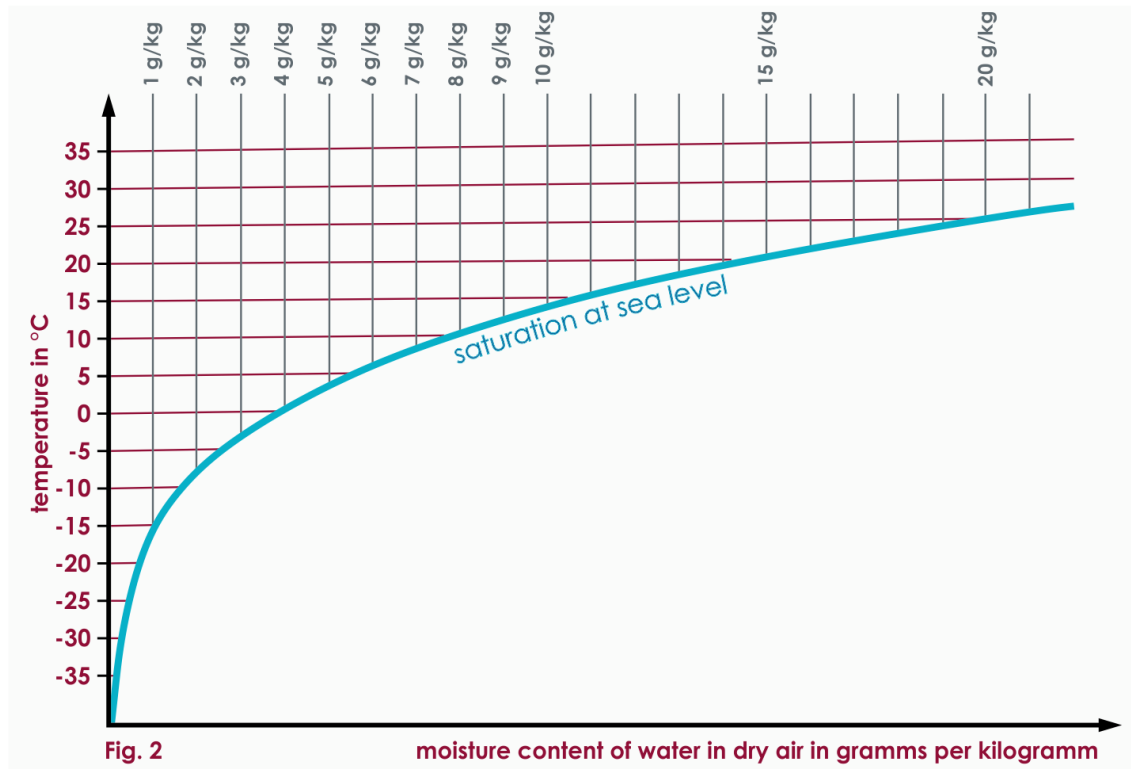
Begrippen als het **DAUWPUNT** en de **RELATIEVE VOCHTIGHEID** worden duidelijk uitgelegd in het **DIAGRAM VAN MOLLIER**.



Mollier (een Zwitsers wetenschapper) ontdekte dat lucht een bepaalde hoeveelheid nevel (onzichtbaar vocht) kan dragen op een bepaalde temperatuur en een bepaalde druk. Hij ontwierp een diagram (zoals in figuur 1) en noteerde de hoeveelheid vocht die 1 kilo droge lucht kon dragen terwijl ze toch doorzichtig bleef. Bijvoorbeeld: Eén kilo droge lucht kan verzadigd worden met 7.633 gram vocht op zeeniveau en op 10°C kan verzadigd worden met 11.168 gram vocht.

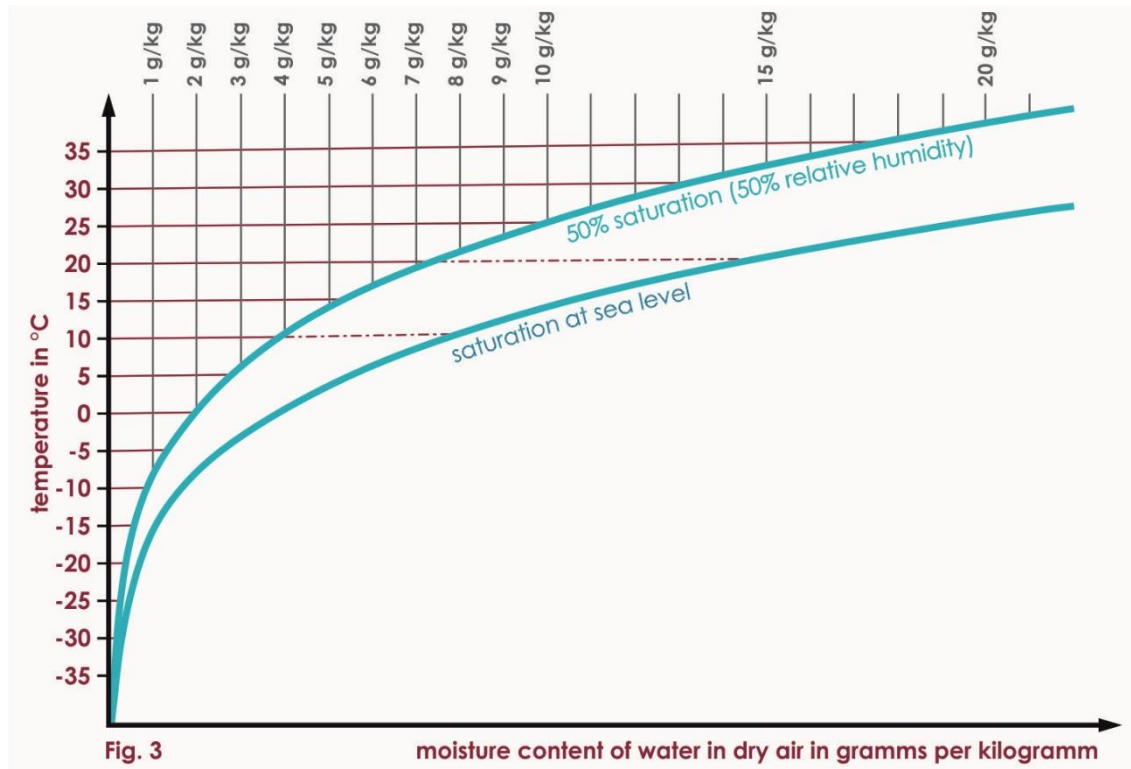
Op dezelfde temperatuur, maar op een hoogte van 3000 meter boven zeeniveau, kan één kilo droge lucht meer dan 11 gram onzichtbaar vocht dragen.

Door de luchttemperatuur te verhogen van 0°C naar 10°C, kan het maximale vochtaandeel (verzadiging) verhoogd worden met 3.855 gram. Wanneer de temperatuur verhoogd wordt van 10°C naar 20°C, kan het maximale vochtaandeel verhoogd worden met 7.035 gram. De toename van de temperatuur is in beide gevallen gelijk, maar de toename van het maximale vochtaandeel is bijna dubbel.



Door in een diagram alle verzadigingswaarden voor 1 kilo droge lucht op een bepaald drukniveau met elkaar te verbinden (afbeelding 2), komen we tot een curve, die de verzadigingscurve wordt genoemd. De curve in het voorbeeld is geldig voor ideale druk op zeeniveau.

Het feit dat het resultaat een curve is en geen rechte lijn geeft aan dat de relatie tussen de temperatuur en het maximale vochtaandeel niet lineair is. De verzadigingscurve begint bij -273°C , wat het Absolute Nulpunt is, met een maximaal vochtaandeel van nul, en bereikt bij een temperatuur van -15°C een maximaal vochtaandeel van 1 gram per kilo droge lucht. In dat bereik van het diagram zouden we de relatie tussen maximaal vochtaandeel en temperatuur gemakkelijk als een rechte lijn kunnen zien, omdat er een verwaarloosbare stijging van het vochtaandeel is van 0.0037 gram per graad Celsius. Tussen -15°C en 30°C ontstaat er echter wel een duidelijke curve. De verzadigingscurve toont zichtbaar aan hoe drastisch de toename van vocht is eer de lucht verzadigt op hogere temperaturen. Gelijkaardige diagrammen kunnen opgesteld worden voor verschillende hoogtes en voor verschillende drukwaarden. Mollier-diagrammen zijn altijd geldig voor EEN kilo droge lucht.



In praktijk is de omgevingslucht niet steeds verzadigd met vocht. Als de lucht op een bepaalde temperatuur en een bepaalde druk 50% bevat van het vochtaandeel dat de lucht onder de gegeven omstandigheden zou verzadigen, dan is de lucht voor 50% verzadigd (de relatieve luchtvochtigheid zou in dat geval 50% zijn).

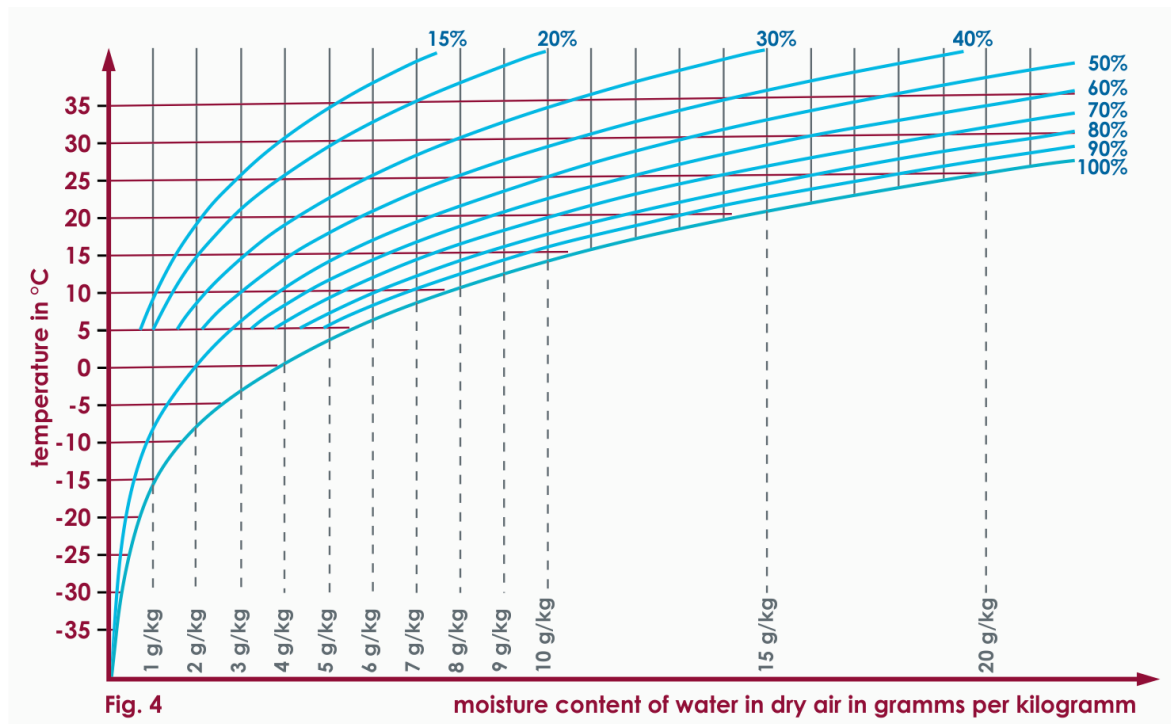
Mollier verbond de 50%-verzadigingswaarden in zijn diagram, en kwam opnieuw tot een curve (afbeelding 3).

Deze curve wordt bijgevolg de "50% RELATIEVE VOCHTIGHEIDSCURVE" genoemd. De relatieve luchtvochtigheid is de hoeveelheid vocht die aanwezig is in de lucht in verhouding tot de hoeveelheid vocht die de lucht bij een bepaalde temperatuur en druk zou verzadigen.

Dit kan op een identieke manier berekend worden voor gelijk welk percentage vocht in verhouding tot het maximale vochtaandeel bij dezelfde temperatuur en dezelfde druk.

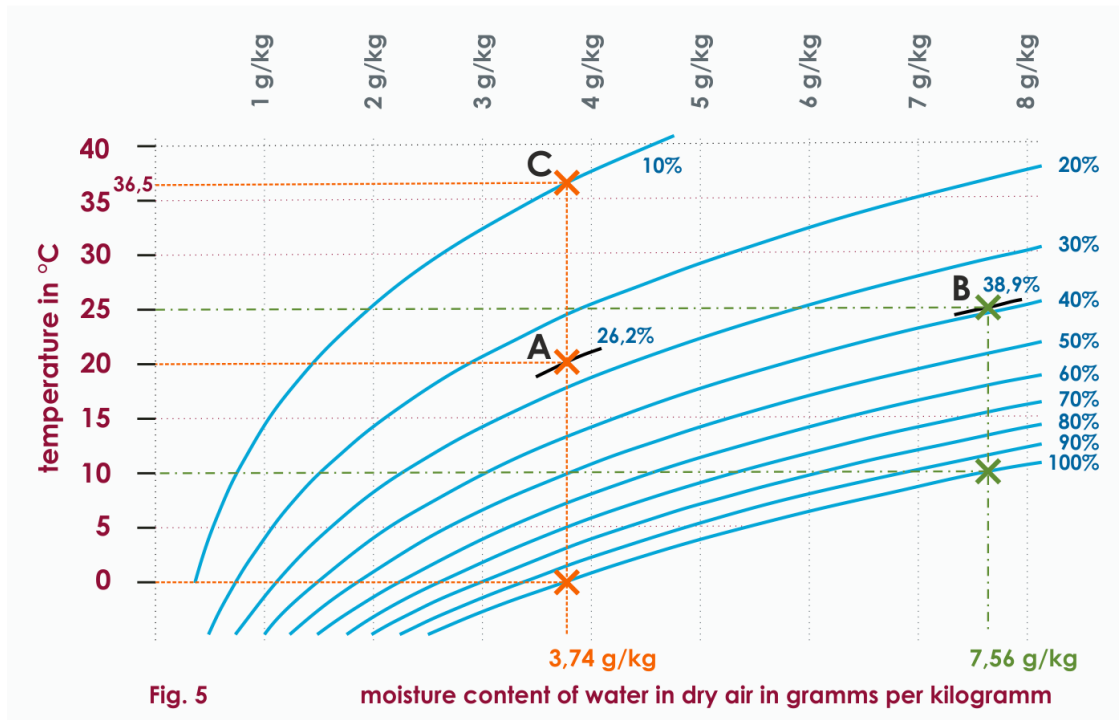
Psychometrische tabellen en Mollier-diagrammen kunnen opgesteld worden voor elk temperatuurbereik; zij kunnen zoveel relatieve vochtigheidscurves bevatten als er nodig zijn.

Het Mollier-diagram in afbeelding 4 bevat 10 curves voor relatieve vochtigheid, gaande van 15% tot 100% (verzadigingscurve).



Een kleine hoeveelheid vocht zal de lucht niet verzadigen op hogere temperaturen; bijgevolg zal de relatieve luchtvochtigheid op die temperatuur laag zijn. Als de lucht wordt afgekoeld tot een lagere temperatuur zal de relatieve luchtvochtigheid stijgen terwijl de temperatuur daalt, totdat de relatieve vochtigheid de waarde van 100% bereikt. Als de temperatuur dan blijft dalen, zal de lucht oververzadigd worden en zal de overtollige hoeveelheid vocht, boven het verzadigingspunt, verschijnen onder de vorm van mist, wolken of dauw.

Het dauwpunt van de lucht is de temperatuur waarop de lucht verzadigd wordt met vocht. Het dauwpunt van de lucht laten zakken tot onder -20°C is voor het drogen van kunststoffen niet nodig.



Punt A in afbeelding 5 geeft de lucht weer op zeeniveau, met een temperatuur van 20°C, een vochtaandeel van 3.74 gram/kilo en een relatieve vochtigheid van 26.2%.

Door de temperatuur van de lucht te verlagen naar 0°C wordt de relatieve vochtigheid verhoogd naar 100%, en de lucht is op dat moment verzadigd. De lucht in punt A heeft een **DAUWPUNT** van 0°C.

Bij punt C is de temperatuur 36.5°C en de relatieve vochtigheid is 10%. De lucht heeft een even groot vochtaandeel als in punt A, en punt C heeft ook een dauwpunt van 0°C.

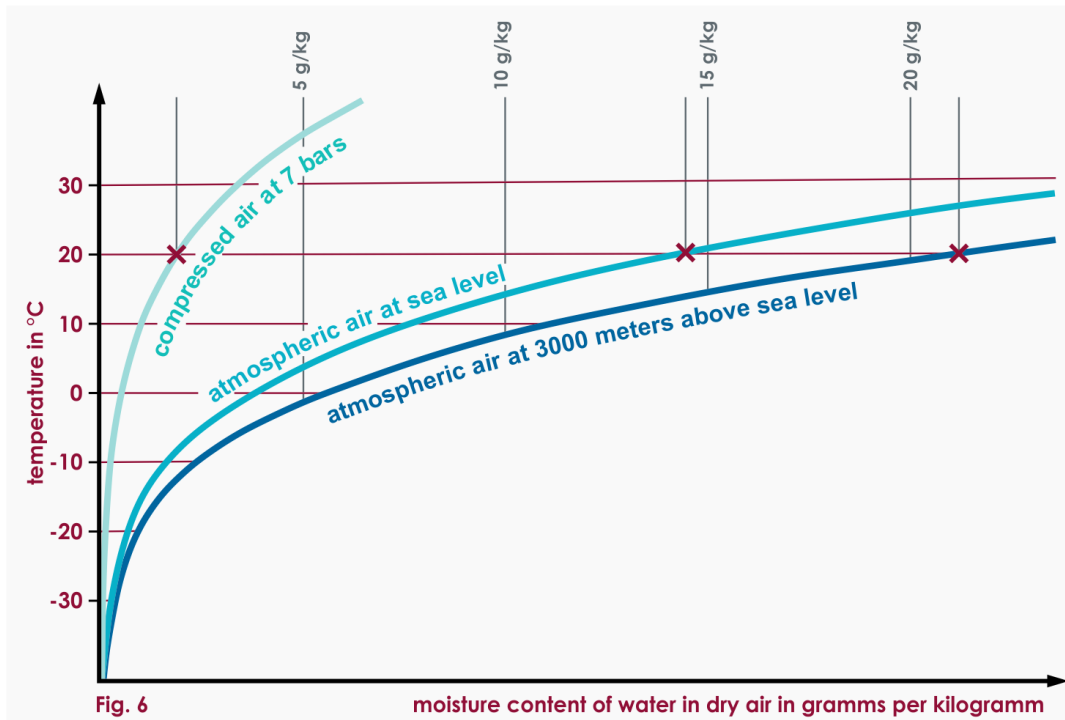
De temperatuur bij punt B is 25°C en de relatieve vochtigheid is 38.9%. Het vochtaandeel is 7.56 gram/kilo, en het dauwpunt is 10°C.

Uit de voorbeelden in afbeelding 5 kunnen we afleiden dat het dauwpunt van de lucht rechtstreeks gerelateerd is aan het vochtaandeel. Er is geen rechtstreeks verband tussen het dauwpunt en de temperatuur. Er is ook geen rechtstreeks verband tussen het dauwpunt en de relatieve vochtigheid.

Het dauwpunt houdt rechtstreeks verband met het vochtaandeel en met de verzadigingscurve.

De voorbeelden in afbeelding 5 tonen ook aan dat lucht met een temperatuur van 36.5°C en 10% relatieve vochtigheid beter geschikt is voor het droogproces dan lucht met een temperatuur van 20°C en een relatieve vochtigheid van 26.2%. Het dauwpunt is in beide gevallen identiek, maar de luchttemperatuur is hoger bij punt C, en de relatieve vochtigheid is bij punt C ook lager.

Voor het droogproces is de relatieve vochtigheid van de lucht belangrijker dan het dauwpunt.



De hoeveelheid vocht die nodig is om 1 kilo lucht op een bepaalde temperatuur te verzadigen, hangt af van de luchtdruk. In afbeelding 6 zien we dat 1 kilo lucht op zeeniveau, en op een temperatuur van 20°C tot 14.686 gram vocht kan dragen.

Op dezelfde temperatuur, maar op een hoogte van 3000 m boven zeeniveau, kan 1 kilo droge lucht meer dan 21.5 gram onzichtbaar vocht dragen. De luchtdruk is in dat geval lager dan de luchtdruk op zeeniveau.

Eén kilo perslucht, met een druk van 7 bar, kan amper 1.6 gram vocht dragen.

Omgevingslucht wordt oververzadigd met vocht wanneer het met hoge druk wordt samengeperst. De overtollige hoeveelheden vocht in perslucht (vloeibaar) kunnen op eenvoudige manier van de lucht gescheiden worden. Eens het overtollige vocht uit de lucht verwijderd is kan de lucht gedeprimeerd worden, waardoor we een erg droge atmosferische lucht krijgen.

Perslucht op een druk van 7 bar en een dauwpunt van 5°C, zal een dauwpunt hebben van -20°C wanneer het gedeprimeerd wordt tot atmosferische druk op zeeniveau. Perslucht op een druk van 30 bar en een dauwpunt van 3°C zal op zeeniveau een dauwpunt hebben van -36°C.

Normale perslucht met een dauwpunt van 5°C en een druk van 7 bar komt overeen met atmosferische lucht op zeeniveau met een dauwpunt van -20°C.

Er zijn twee manieren om vocht te verwijderen of om de hoeveelheid vocht die in kunststoffen aanwezig is, te verminderen:

- door de druk in de capillairen te verhogen en op die manier het vocht te verwijderen en via de lucht te evacueren (luchtdrogen), of
- door het vocht uit de capillairen te drijven door het materiaal onder lage druk te zetten (vacuümdrogen). Een combinatie van de twee is ook mogelijk.

DROGEN VAN MATERIAAL MET LUCHTDROGERS

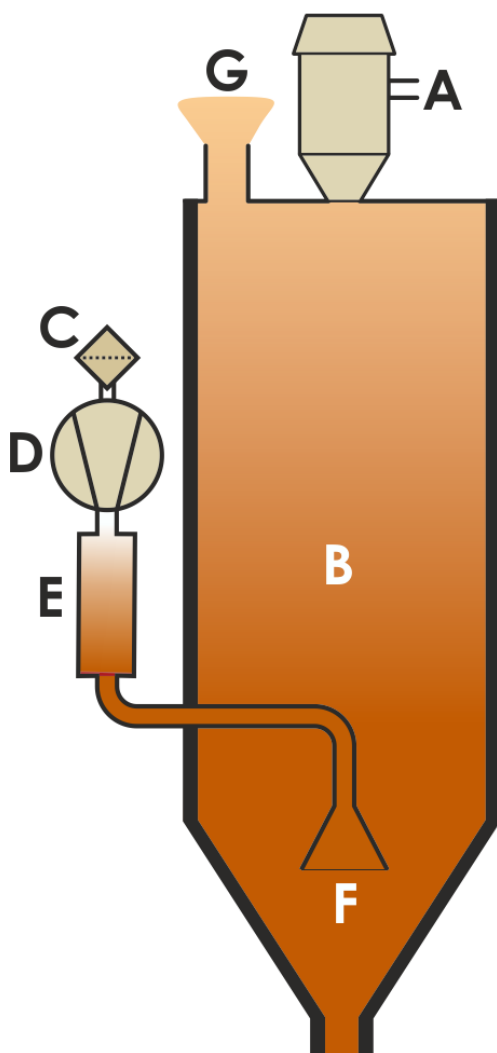
We moeten er rekening mee houden dat water (vocht) in ijs verandert bij een temperatuur van 0°C onder normale atmosferische druk op zeeniveau. Hoe lager de druk wordt, hoe meer het vriespunt stijgt. Bijgevolg moet het materiaal met het daarin aanwezige vochtaandeel opgewarmd worden voordat er overgegaan wordt op lage druk bij het vacuümdrogen.

Het materiaal verwarmen is dus erg belangrijk voor het droogproces. De meest gebruikte methode is om het materiaal te verwarmen in een droogtrechter. Andere vormen van opwarming, zoals microgolven of infrarood, zijn theoretisch bruikbaar, maar ze zijn niet erg praktisch voor het verwarmen van kunststoffen op industrieel niveau.

Er is een grote hoeveelheid lucht nodig om het materiaal te verwarmen op de gewenste temperatuur, maar eens de kunststof voldoende verwarmd is en het geadsorbeerde vocht verwijderd is van het oppervlak van de korrels, dan volstaat een kleinere hoeveelheid droge lucht meestal om het vocht uit de droogtrechter te evacueren.

De eenvoudigste vorm van materiaaldrogers in de kunststofindustrie zijn

WARMELUCHT DROGERS



Een hoppervuller A voert materiaal naar de droogtrechter B. Omgevingslucht wordt door een blazer D aangezogen doorheen een filter C, passeert via een verwarming E en gaat naar de verdeler F, waar het in het onderste deel van de trechter B verdeeld wordt. De warme lucht, die een lagere relatieve vochtigheid heeft, stroomt naar boven doorheen het materiaal in de trechter. Op die manier verwarmt de lucht het materiaal, het vocht dat zich bevindt in de capillairen tussen de moleculaire ketens in de korrels, en ook het gecondenseerde vocht dat zich op het oppervlak van de korrels bevindt. De druk in de capillairen van het materiaal neemt toe. De warme lucht die over het oppervlak van de korrels stroomt, kan een deel van het vrijgekomen vocht opnemen voordat het bovenaan (bij G) de trechter verlaat.

Hoe hoger de temperatuur van de luchtstroom doorheen de trechter, hoe lager de relatieve luchtvochtigheid. In een droogstelsel met warme lucht hangen de droogresultaten af van de vochtigheid van de omgevingslucht, omdat de temperatuur van de proceslucht beperkt is en zeker lager moet zijn dan de smelttemperatuur van het materiaal. Soms wordt de temperatuur van de luchtstroom nog verder beperkt door andere redenen, zoals oxidatie.

De warmelucht droger kan gebruikt worden als een continu droogstelsel, of voor het drogen van batchmateriaal.

Ze worden voornamelijk ingezet voor het drogen van oppervlaktevocht in niet-hygroscopische materialen.

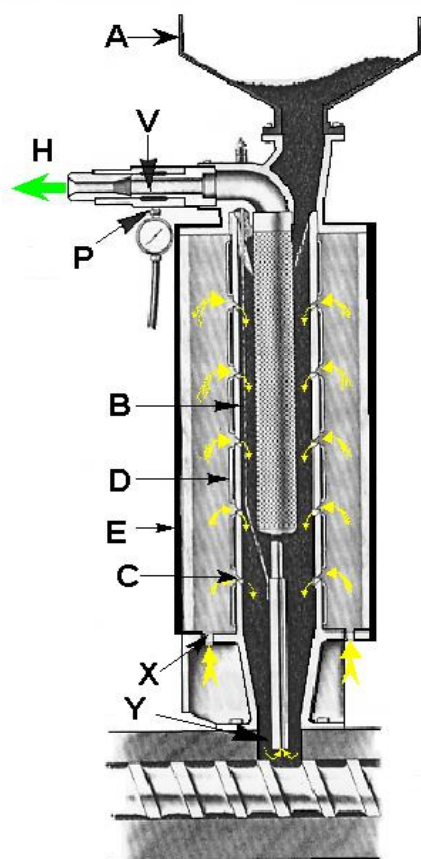
VOORDELEN

- Eenvoudig en compact systeem
- Lage investeringskosten
- Lage onderhoudskosten

NADELEN

- Niet geschikt voor het drogen van hygroscopische materialen
- Instabiele droging (afhankelijk van de toestand van de omgevingslucht)
- Relatief hoog energieverbruik

Er zijn ook andere vormen van warmelucht drogers. De meest eenvoudige vorm is de warmelucht oven: hier wordt warme lucht geblazen over platen waarop dunne laagjes kunststof liggen. Het materiaal moet met de hand op de platen gelegd worden, en het gedroogde materiaal moet ook manueel weer uit de oven verwijderd en in vaten opgeslagen worden.



De afbeelding links toont de meest gesofisticeerde vorm van warmelucht drogers. Hier wordt geprobeerd om materiaal te drogen in een continu droogstelsel onder lage druk, om het verwijderen van vocht uit het materiaal te versnellen. Het systeem wordt meestal rechtstreeks gemonteerd op de verwerkingsmachine.

Vanuit de vuller A wordt een sigaarvormige trechter B gevuld met materiaal. Rondom de wand van de trechter bevinden zich verwarmingsbanden D; tussen de verwarmingsbanden bevinden zich veel kleine gaatjes C. Perslucht P wordt toegevoerd aan een venturi V, om een vacuüm te creëren aan het einde van de aanzuigbuis Y in de trechter. Omgevingslucht dringt de behuizing van de droger E binnen langs de gaten aan de onderzijde X. De lucht wordt door de verwarmingsbanden opgewarmd voordat het in de trechter komt via de kleine gaatjes C. De warme lucht stroomt doorheen het materiaal naar beneden en stroomt daarna onder lage druk in de aanzuigbuis. Het gebruik van een venturi om bewegende delen te vermijden (een vacuümpomp of blazer) verhoogt de werkingskosten.

VOORDELEN

- Eenvoudig en compact systeem
- Lage investeringskosten; lage onderhoudskosten
- Betere droogresultaten dan de klassieke warmelucht droger

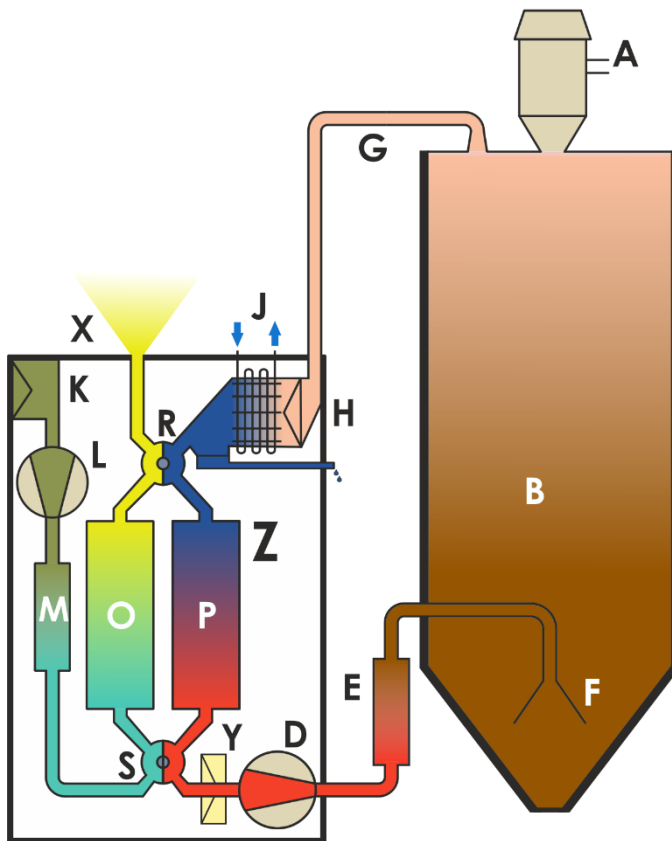
NADELEN

- Enkel inzetbaar bij kleine materiaalcapaciteit
- Instabiele droging (afhankelijk van de toestand van de omgevingslucht)
- Niet eenvoudig te reinigen bij materiaal- of kleurwissel

Het meest gebruikte type materiaaldroger in de kunststofindustrie is de

DROGELUCHT DROGER

De drogелucht droger is een verbeterde versie van de warmelucht droger. In plaats van omgevingslucht te gebruiken zoals warmelucht drogers doen, gebruikt de drogелucht droger verwarmde droge lucht om vocht van de korrels in de trechter B te verwijderen. De proceslucht in een drogелucht droger wordt in een gesloten circuit rondgepompt. De lucht G verlaat het systeem niet aan de bovenzijde van de trechter. Het wordt teruggevoerd naar de droger Z waar het opnieuw gedroogd wordt voor het weer wordt ingezet voor het verwijderen van vocht uit het materiaal in de trechter. De proceslucht circuleert voortdurend tussen de trechter B en de droger Z.



voortdurend tussen de trechter B en de droger Z.

De verwarmde en gedroogde proceslucht die onderaan in de droogtrechter wordt geblazen F heeft hier een veel lager en stabielere dauwpunt dan de omgevingslucht die gebruikt wordt bij warmelucht drogers. Dit geeft een kortere droogtijd en minder achtergebleven vocht in het gedroogde materiaal.

De lucht wordt bovenaan de trechter G weggezogen naar de droger Z, doorheen filter H en warmtewisselaar J, waar het afgekoeld wordt. De verdelers R en S leiden de lucht doorheen één van beide vaten (O en P) die gevuld zijn met droogmiddel. In ons voorbeeld wordt de proceslucht doorheen vat P geleid. Het droogmiddel (hooghygroscopisch materiaal) adsorbeert het vocht uit de proceslucht. De gedroogde lucht komt dan via de verdeler S aan de aanzuigzijde van de blazer D. De blazer

vervoert de gedroogde lucht via de verwarming E en de verdeler F weer naar de onderzijde van de trechter B.

Het droogmiddel adsorbeert steeds meer vocht, en na verloop van tijd moet het geregenereerd worden. Het droogmiddel in vat O wordt geregenereerd, terwijl het droogmiddel in vat P vocht opneemt uit de proceslucht. Voor het regeneratieproces zuigt een blazer L omgevingslucht aan doorheen een filter K.

In verwarming M wordt de regeneratielucht opgewarmd tot temperaturen tot 300°C; daarna wordt het via de verdeler S naar het droogmiddel in vat O geleid. De regeneratielucht verwijdert het vocht dat zich in het droogmiddel bevindt, en verlaat de droger dan weer X. Het verwarmde droogmiddel wordt dan eerst afgekoeld met omgevingslucht (verwarming M staat af) vooraleer het opnieuw gebruikt kan worden om proceslucht te drogen. De verdelers R en S worden daarna omgeschakeld, zodat de proceslucht nu naar vat O wordt geleid, en de verwarmde regeneratielucht naar vat P. Het geregenereerde droogmiddel in vat O droogt nu de proceslucht terwijl het verzadigde droogmiddel in vat P geregenereerd wordt. De regeneratiecyclus in drogелucht drogers wordt gecontroleerd door automatische timers of door dauwpuntmeters.

Het regeneratieproces zorgt voor veel energieverlies, maar het veroorzaakt ook spanningen (moleculaire zeef) doordat het droogmiddel eerst tot op regeneratietemperatuur wordt opgewarmd, om daarna weer afgekoeld te worden om de proceslucht te kunnen drogen. De korrels van het droogmiddel breken af tot stof, waardoor hun adsorptiecapaciteit achteruitgaat. Dit poeder wordt door de proceslucht ook meegenomen naar de droogtrechter. In sommige droogelucht drogers is een filter Y ingebouwd om te voorkomen dat het materiaal in de droogtrechter verontreinigd zou worden. Tijdens het droogproces komen chemische stoffen of additieven vrij uit het materiaal in de droogtrechter. De proceslucht voert die vrijgekomen chemische stoffen mee uit de droogtrechter naar het droogmiddel, waar het zich vastzet op het oppervlak van de droogkorrels die hierdoor opnieuw adsorptievermogen verliezen. Al vanaf de eerste regeneratiecyclus vermindert de efficiëntie van het droogmiddel; wanneer het niet langer in staat is om de proceslucht te drogen tot een aanvaardbaar dauwpunt, moet het vervangen worden.

Afhankelijk van het soort materiaal dat gedroogd moet worden, kan de droogtemperatuur ingesteld worden tussen 70°C en 200°C. Als de luchttemperatuur om het materiaal te drogen boven 110°C ligt, dan is de temperatuur van de teruggevoerde lucht G normaal gezien hoog. Echter, het droogmiddel adsorbeert geen vocht uit warme lucht. In dat geval moet de teruggevoerde lucht G gekoeld worden door koude lucht in de warmtewisselaar J voordat het naar het droogmiddel wordt geleid. Als de lucht eerst moet afgekoeld worden in de warmtewisselaar J, en daarna weer opgewarmd in verwarming E om de vereiste droogtemperatuur te halen, dan betekent dit veel energieverlies. Er zijn krachtige blazers nodig om de proceslucht doorheen luchtfilters H en Y, verdelers R en S, droogmiddel P en O, en het materiaal in droogtrechter B te voeren.

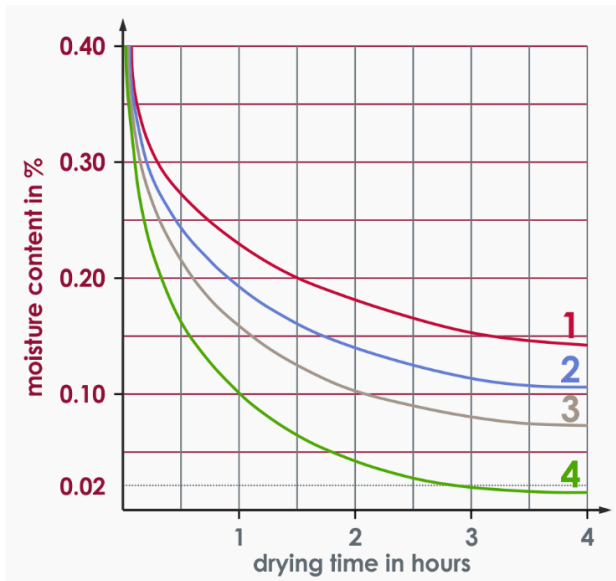
Stof uit het materiaal in de droogtrechter en van het droogmiddel wordt van de proceslucht gescheiden in filters H en Y. Deze luchtfilters moeten schoongemaakt of indien nodig vervangen worden. Verstopte filters verlagen de luchtstroom en bijgevolg ook de droogcapaciteit.

De verdelers R en S zijn bewegende delen, en zijn onderhevig aan slijtage. Door lekken in de verdelers kan de proceslucht zich mengen met regeneratielucht, wat ongewenste effecten met zich meebrengt.

De plotse wissel van het ene vat naar het andere na een regeneratiecyclus leidt tot plotse temperatuurwissels in de proceslucht. Daarbij kan het gebeuren dat de temperatuur van de proceslucht buiten het toegelaten bereik valt. Wanneer dat gebeurt, kan het oppervlak van de korrels onderaan in de droogtrechter te lijden hebben van die extreme temperaturen. Veel gebruikers hebben daarom de neiging om de temperatuur van de proceslucht eerder laag in te stellen, om temperatuurpieken te vermijden. Maar door de temperatuur van de proceslucht te verlagen, neemt ook de droogcapaciteit af. Daarenboven zal het drogen langer duren.

Veel studies tonen aan dat het drogen met verwarmde, droge lucht de meest geschikte manier is. Het opwarmen van de lucht om de relatieve vochtigheid te doen dalen heeft zijn beperkingen wanneer het gebruikt wordt om kunststoffen te drogen. De temperatuur om nylon te drogen mag maximaal 80°C zijn, omdat er bij hogere temperaturen oxidatie optreedt als er zuurstof aanwezig is in de droogtrechter.

Het verschil tussen drogen met warme lucht en met droge lucht wordt in het onderstaande diagram weergegeven. Curves 1, 2 en 3 tonen de droogresultaten van een warmelucht droger bij verschillende weersomstandigheden.



1- 20°C, 80% relatieve vochtigheid: het dauwpunt is 16°C. Na 4 uur drogen was de hoeveelheid achtergebleven vocht 0.14%.

2- 15°C, 70% relatieve vochtigheid: het dauwpunt is 9.5%. Hoeveelheid achtergebleven vocht na 4 uur drogen: 0.11%.

3- 0°C, 70% relatieve vochtigheid: het dauwpunt is -4°C. De hoeveelheid achtergebleven vocht was 0.1% na 2 uur, en 0.07% na 4 uur.

4- Bij gebruik van droge lucht met een dauwpunt van -20°C zakte de hoeveelheid achtergebleven vocht tot 0.1% na 1 uur, en tot 0.02% na 3 uur.

Het diagram toont duidelijk aan dat beide types drogers nylon met een hoog vochtigheidsgehalte (tot 2%) even snel kunnen drogen tot op een restwaarde van 0.35%. De droogresultaten met een drogelucht droger zijn inderdaad beter dan met een warmelucht droger, maar de klassieke drogelucht droger heeft ook heel wat nadelen.

VOORDELEN

- Stabiele, lage vochtigheid van de proceslucht
- Geschikt voor het drogen van hygroscopische materialen

NADELEN

- Afnemende efficiëntie (filters, droogmiddel en verdelers)
- Veel onderhoud vereist
- Hoog energieverbruik
- Bij drogen op hoge temperaturen moet de proceslucht met koelwater afgekoeld worden
- Groot vloeroppervlak vereist

Er zijn veel pogingen ondernomen om drogelucht drogers te verbeteren, maar geen enkele is erin geslaagd om de belangrijkste nadelen te elimineren.

Sommige fabrikanten maakten gebruik van zeer grote vaten voor het droogmiddel, zodat het langer duurde vooraleer van vat moest gewisseld worden. Maar toen bleek er meer energie nodig om de grote hoeveelheden droogmiddel te regenereren, en er was nog meer vloeroppervlak nodig omdat de droger veel groter was. Bijgevolg was ook de investeringskost veel groter.

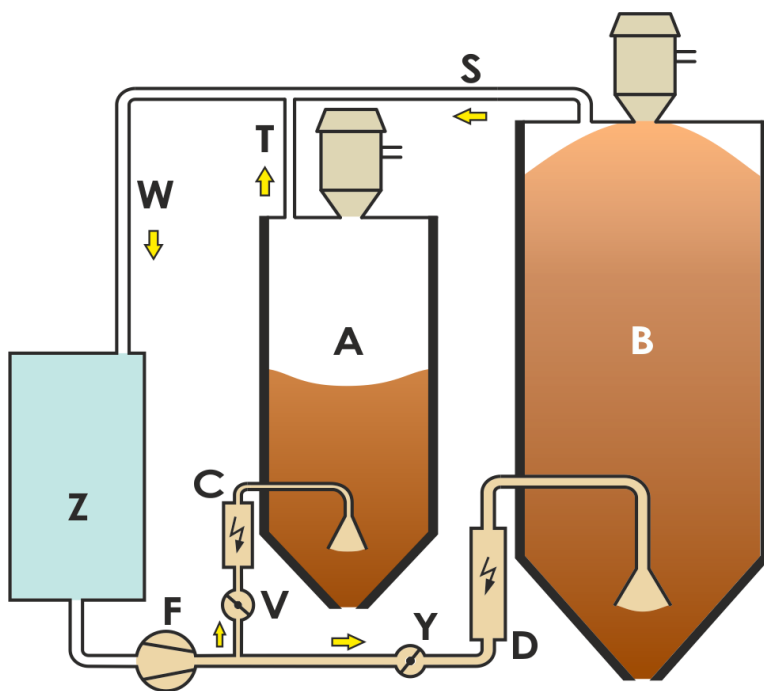
Andere fabrikanten maakten gebruik van meer dan twee vaten voor het droogmiddel, die op een carrousel werden geplaatst. Hierdoor werden de luchtverdelers veel complexer, en ze waren erg onderhevig aan slijtage. Ook hier was de investeringskost veel groter.

Sommige fabrikanten bieden een ander systeem aan:

CENTRALE DROGELUCHT DROGERS

De bedoeling is om de initiële kost te verminderen, en het nodige vloeroppervlak te reduceren. Het systeem bestaat uit één droger die droge lucht levert voor verschillende droogtrechters in verschillende afmetingen.

Aan elke trechter is een verwarming voor de proceslucht gemonteerd, zodat verschillende soorten materiaal in verschillende trechters met een verschillend materiaaldebiet kunnen gedroogd worden.



De blazer F zuigt gedroogde lucht aan uit de droger Z, en blaast het in een leiding met aftakkingen naar de verschillende trechters. In ons voorbeeld zijn er twee trechters met verschillende afmetingen A en B aanwezig. Eén van de aftakkingen voert droge lucht via een smoorventiel V en een verwarming C naar trechter A. De andere aftakking voert droge lucht naar trechter B via ventiel Y en verwarming D. De temperatuur van de proceslucht kan telkens aangepast worden, afhankelijk van het soort materiaal dat in elke trechter gedroogd moet worden. De smoorventielen V en Y kunnen aangepast worden, maar zijn normaal zo ingesteld dat de

luchtstroom aangepast is aan de afmetingen van de trechter (waarbij wordt aangenomen dat beide trechters volledig gevuld zijn met materiaal met een specifiek soortelijk gewicht). De teruggevoerde lucht van elke trechter T en S wordt via een centrale leiding W teruggevoerd naar de droger Z.

De teruggevoerde lucht bevat vocht, maar ook chemische stoffen en additieven die van het materiaal in de droogtrechters komen. Het vocht wordt van de proceslucht gescheiden in de droger, maar de additieven worden vermengd en gaan gewoon mee terug naar de droogtrechters.

De additieven en chemische stoffen die zijn meegenomen uit trechter B kunnen schadelijk zijn voor het materiaal in trechter A. Als één van beide trechters niet volledig gevuld of zelfs leeg is, maakt dat de luchtverdeling tussen beide trechters totaal verkeerd kan zijn. Automatische dempers kunnen geïnstalleerd worden in plaats van de vaste smoorventielen, om ervoor te zorgen dat de vereiste luchtstroom per trechter gegarandeerd is, maar dat zijn opnieuw onderdelen die onderhevig zijn aan slijtage. Bovendien verhoogt dit de investeringskost opnieuw.

VOORDELEN

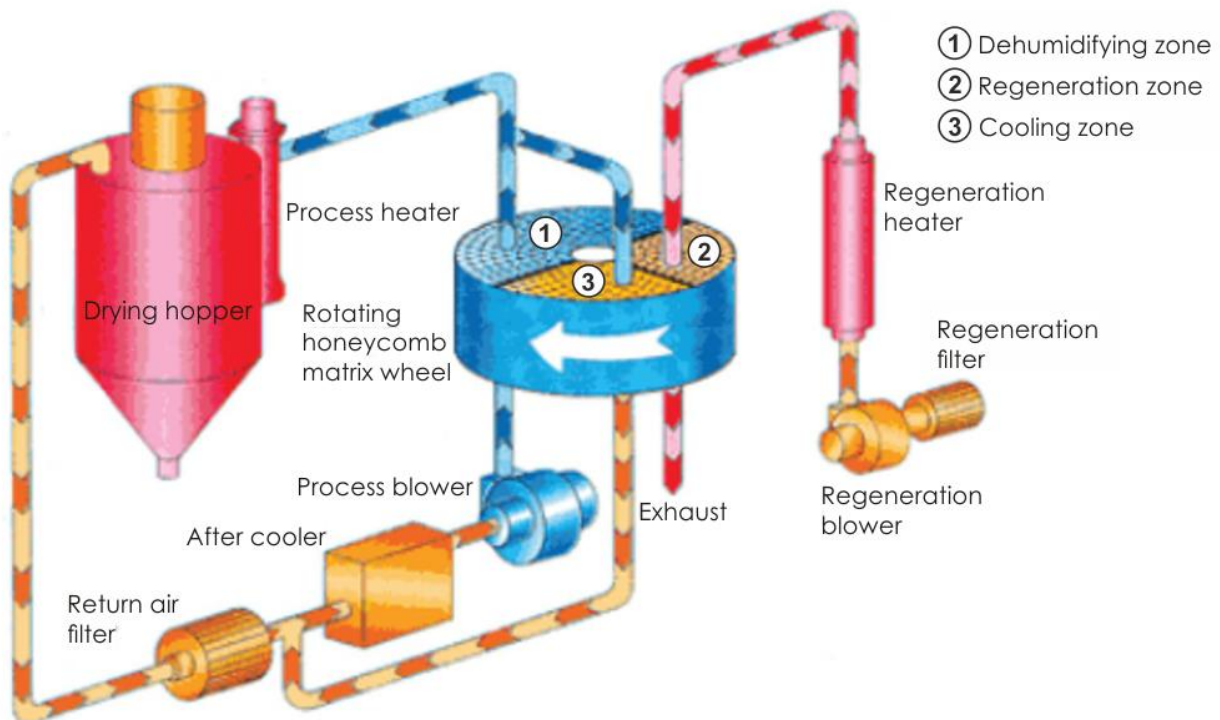
- Lagere investeringskost
- Kleiner vloeroppervlak
- Lagere onderhoudskosten (slechts één droger)

NADELEN

- Onstabiele luchtstroom van de proceslucht; onstabiele droging
- Vermenging van verontreinigingen tussen beide trechters
- Hoger energieverbruik

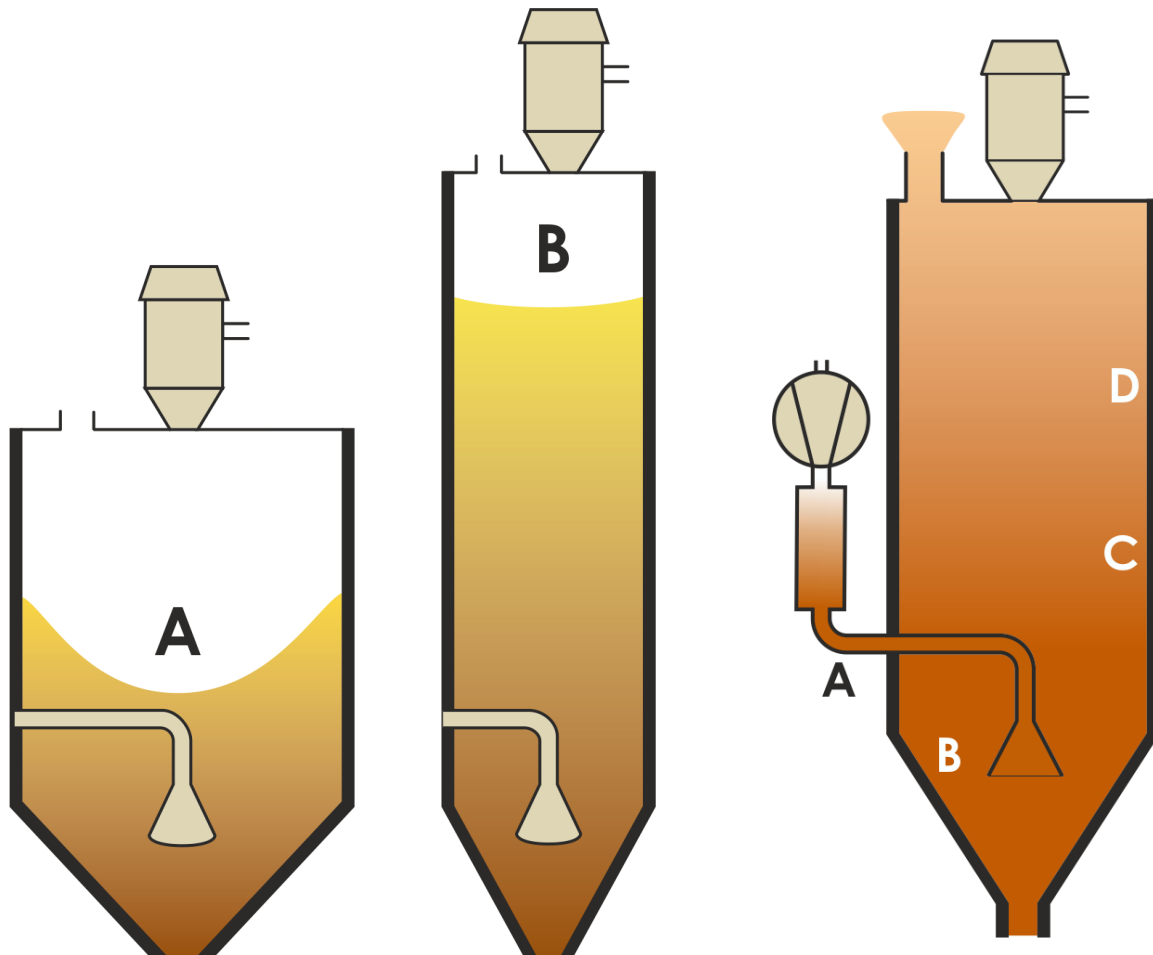
Eén van de belangrijkste verbeteringen aan de drogelucht drogers was de uitvinding van de droogtrommel. Hierdoor werden veel problemen opgelost die in het klassieke ontwerp aanwezig waren. De trommel draait continu rond.

Op die manier worden temperatuurpieken vermeden die optreden wanneer er gewisseld wordt tussen twee droogtoren. De trommel wordt afgekoeld door droge, koude lucht voordat hij de zone van de proceslucht bereikt. Hierdoor wordt de efficiëntie van het droogmiddel verbeterd. De levensduur van de trommel hangt nog steeds af van de mate van verontreiniging, hoewel hij al langer meegaat dan het droogmiddel in andere drogers.



Het belangrijkste nadeel van alle droogsystemen met droge lucht is dat het vocht verwijderd wordt uit één hygroscopisch materiaal (de kunststof) en dat het daarna wordt afgezet in een ander hygroscopisch materiaal (het droogmiddel) voordat het in de omgevingslucht vrijkomt. Hierdoor zijn er veel bewegende delen, een hoog energieverbruik, veel onderhoud en een groot vereist vloeroppervlak.

Het ontwerp van de droogtrechter is van groot belang bij alle droogsystemen. De droogresultaten hangen niet alleen af van het dauwpunt en van de temperatuur van de proceslucht. Andere belangrijke factoren zijn: de verblijftijd van het materiaal in hoge temperatuur, de luchtverdeling in de trechter, en de doorvoersnelheid van het materiaal in de trechter.



Wanneer het materiaal in het midden van de trechter sneller stroomt dan aan de zijkanen, treedt trechtersvorming op. Een smallere en langere trechter helpt om trechtersvorming te voorkomen; de lucht zal sneller kunnen stromen en de proceslucht wordt beter doorheen het materiaal verdeeld. De droogresultaten in trechter B zullen beter zijn dan in trechter A.

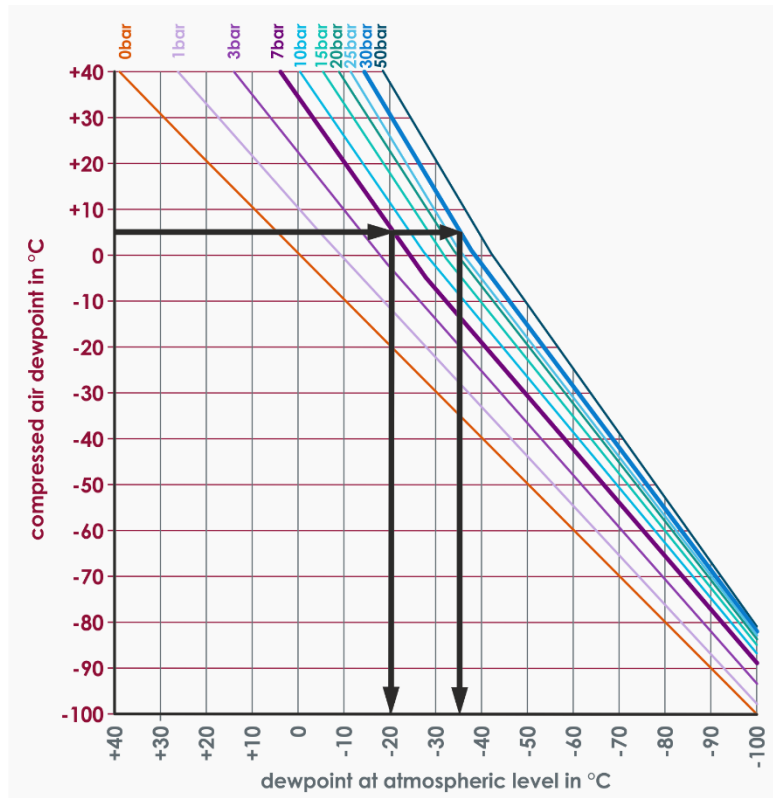
Bij het drogen van PC wordt de luchttemperatuur op punt A ingesteld op 120°C. In een klassieke trechter met een gewone luchtverdeler is er al een merkbaar temperatuurverval bij punt B; op punt C is de temperatuur nog lager en eens de lucht temperatuur punt D bereikt, was de temperatuur gezakt tot 75°C. Dit betekent dat het materiaal slechts korte tijd in het hoge temperatuurbereik verbleef.

Bijgevolg wordt het materiaal niet tot in de kern van de korrels verwarmd op de ingestelde temperatuur.

Door de luchtstroom te vergroten zal de temperatuur in de droogtrechter verhogen en zullen de droogresultaten verbeteren, maar het energieverbruik stijgt uiteraard ook mee.

DE PERSLUCHTDROGER

Om de nadelen van droge-luchtdrogers te vermijden, werd een andere aanpak geprobeerd. Die nieuwe uitvinding zag het licht in 1991. De persluchtdroger gebruikt droge lucht om het schadelijke vocht uit hygroscopisch materiaal in een trechter te verwijderen, maar het gebruikt droge perslucht in plaats van door het droogmiddel gedroogde lucht.

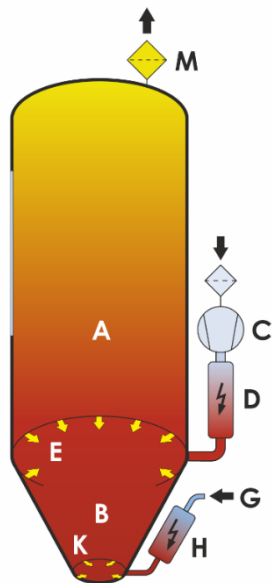


Omgevingslucht wordt oververzadigd met vocht wanneer het op hoge druk wordt samengeperst. De overtollige hoeveelheid vocht in perslucht (vloeibaar) kan eenvoudig van de proceslucht gescheiden worden. Door de lucht na het verwijderen van het vocht te decomprimeren, krijgen we een zeer droge atmosferische lucht. De afbeelding links is een dauwpunt-omzettingstabel. Bij 7 bar en een dauwpunt van 5°C is het overeenkomstig dauwpunt bij atmosferische druk -21°C. Perslucht op 30 bar met een dauwpunt van 5°C zou op zeeniveau een dauwpunt van -35°C hebben.

Het dauwpunt van de perslucht die normaal gebruikt wordt in de kunststofindustrie is 5°C bij 7 bar.

Als de lucht gedecomprimeerd wordt tot atmosferische druk, zakt het dauwpunt tot -21°C. Die luchtkwaliteit is meer dan voldoende voor het drogen van materialen.

Eens het materiaal op de hoogst mogelijke temperatuur opgewarmd is, is een kleine hoeveelheid droge lucht voldoende om het materiaal te drogen.



De persluchtdroger is op die twee feiten gebaseerd. Het systeem gebruikt twee trechters die boven elkaar geplaatst zijn. In de bovenste trechter wordt het materiaal verwarmd door warme lucht te laten circuleren doorheen het materiaal. Hierdoor wordt de druk in de capillairen verhoogd en wordt het vocht naar buiten gedreven. Een kleinere hoeveelheid warme, droge lucht wordt in de onderste trechter gebruikt om nog meer vocht uit het materiaal te halen en het uit de trechter te evacueren via een filter die aan de bovenzijde van de bovenste trechter gemonteerd is. De blazer C blaast lucht via de verwarming D naar de verdeler E. De verwarmde lucht stijgt doorheen het materiaal in het bovenste deel van de trechter A en verwarmt zo de korrels, waardoor de druk in de capillairen toeneemt. Vervolgens verlaat de lucht het reservoir aan de bovenkant via filter M. Een kleine hoeveelheid droge en gefilterde perslucht G wordt tot op atmosferische druk gedeprimeerd, en ze passeert verwarming H op weg naar de verdeler K aan de onderzijde van de trechter. Omwille van de decompressie zakt het dauwpunt van de voorgedroogde lucht. Die stijgt doorheen het voorverwarmde materiaal in het onderste deel van de trechter B en verwijdert onderweg het vocht van de materiaalkorrels. De droge lucht blijft stijgen doorheen het bovenste deel van de trechter A. Ze neemt het vrijgekomen vocht mee en verlaat de trechter via de filter M bovenaan de trechter.



waardoor de druk in de capillairen toeneemt. Vervolgens verlaat de lucht het reservoir aan de bovenkant via filter M. Een kleine hoeveelheid droge en gefilterde perslucht G wordt tot op atmosferische druk gedeprimeerd, en ze passeert verwarming H op weg naar de verdeler K aan de onderzijde van de trechter. Omwille van de decompressie zakt het dauwpunt van de voorgedroogde lucht. Die stijgt doorheen het voorverwarmde materiaal in het onderste deel van de trechter B en verwijdert onderweg het vocht van de materiaalkorrels. De droge lucht blijft stijgen doorheen het bovenste deel van de trechter A. Ze neemt het vrijgekomen vocht mee en verlaat de trechter via de filter M bovenaan de trechter.

Door gebruik te maken van perslucht in plaats van droogmiddelen zijn de persluchtdrogers van qip uiterst betrouwbaar en gemakkelijk te onderhouden.

De **UD/FD-serie** verliest zijn efficiëntie niet, zoals drogelucht drogers wel doen, en hij geeft uitstekende droogresultaten zolang een standaard kwaliteit perslucht toegevoerd wordt. De slijtage blijft beperkt tot de kleine blazer die warme lucht rond blaast in de bovenste trechter. De hoge en smalle trechter zorgt voor een optimale stroming van materiaal en lucht. Het materiaal wordt zo lang mogelijk blootgesteld aan de maximale luchttemperatuur, zodat de korrels tot in de kern worden opgewarmd.

De **UD/FD-serie** kan zo uitgerust worden dat ze kan werken met perslucht die afgevoerd wordt van de verwerkingsmachine en / of met warmte die gerecupereerd wordt van de luchtcompressor, waardoor energie bespaard wordt. Het drogen van materiaal voor blaasvormen kan zeer efficiënt gebeuren door gebruik te maken van lucht en warmte die van het proces gerecycleerd worden, waardoor de energiekost voor het drogen tot bijna NUL gereduceerd kan worden.

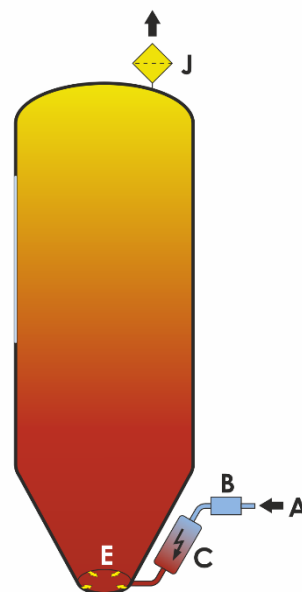
Door een centrale luchtcompressor in de productiehal te gebruiken, wordt plaats bespaard. Het systeem kan ook gebruikt worden als een centraal droogstelsel met meerdere droogtrechters, zonder de nadelen die verbonden zijn aan een centraal drogelucht droogstelsel.

VOORDELEN VAN DE PERSLUCHT DROGER (UD/FD-serie)

- Lage investeringskost
- Energiebesparing tussen 25% en 99% in vergelijking met drogelucht drogers
- Uitstekende en constante droogresultaten, zonder verlies van efficiëntie
- Zeer compacte uitvoering, weinig vloeroppervlak nodig
- Nagenoeg onderhoudsvrij



De **TD/CD/BD/ID-serie** is een eenvoudigere uitvoering van de persluchtdroger. Dit model heeft geen bewegende delen, en kan ingezet worden in geval van lage materiaaldoorvoer. Het is ook nagenoeg onderhoudsvrij. Een kleine hoeveelheid perslucht A wordt vanuit een centrale compressor toegevoerd naar de **TD/CD/BD/ID-serie** via een set ventielen B en een elektrische verwarming C, voordat het via de luchtverdeler in de droogtrechter komt. De perslucht wordt gedeprimeerd tot op atmosferische druk voordat het in verwarming C wordt opgewarmd; daardoor zakt het dauwpunt. De luchtverdeler geeft de warme lucht vrij via twee uitlaten D en E, op twee



niveaus in de droogtrechter, zodat het materiaal lang genoeg aan de maximale temperatuur wordt blootgesteld opdat de korrels tot in de kern opgewarmd worden. De persluchtstroom is variabel, afhankelijk van de doorvoer van het materiaal, en de trechter is smal en hoog om trechtersvorming van het materiaal tegen te gaan. De **TD/CD/BD/ID-serie** kan rechtstreeks op de extruder van de verwerkingsmachine gemonteerd worden, of ze kan naast de machine geplaatst worden; in dat geval wordt er een aanzuigkast gemonteerd die het gedroogde materiaal naar de extruder transporteert. De **TD/CD/BD/ID-serie** heeft geen verlies van rendement, en de droogresultaten blijven uitstekend zolang de toegevoerde perslucht van goede kwaliteit is.

VOORDELEN VAN DE KLEINE PERSLUCHTDROGER (TD/CD/BD/ID-serie)

- Lage investeringskost
- Uitstekende en constant droogresultaten, geen rendementsverlies op termijn
- Compacte droger; weinig vloeroppervlak nodig; kan ook direct op de extruder gemonteerd worden
- Nagenoeg onderhoudsvrij

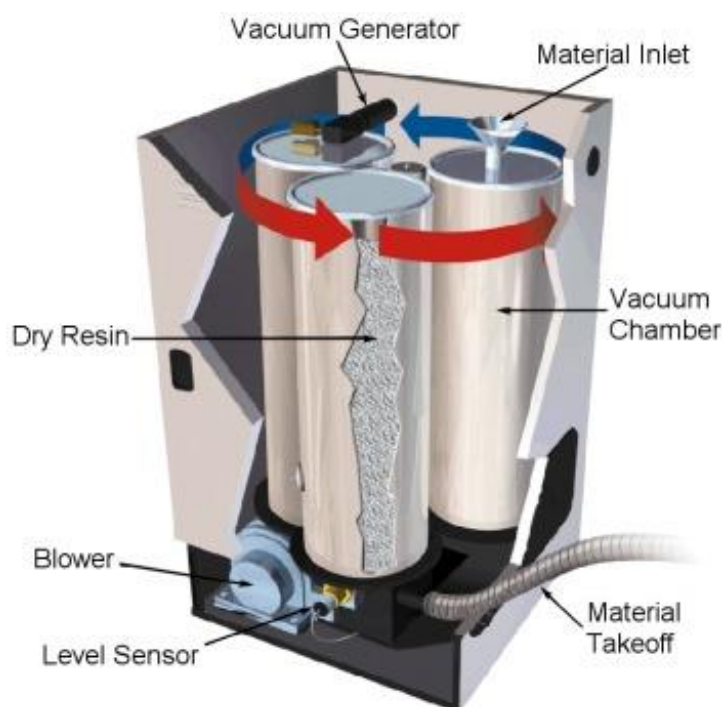
MATERIAAL DROGEN IN VACUUMDROGERS

Vacuümdrogers worden al vele jaren gebruikt voor het drogen van batchmateriaal. Ze zijn eenvoudig, snel en heel efficiënt. Ze worden in de kunststofindustrie niet zo vaak ingezet, omdat ze maar één batch materiaal per keer kunnen drogen; kunststofverwerkende machines hebben nu eenmaal een continue aanvoer van gedroogd materiaal nodig. Het materiaal wordt naar een vacuümkamer gevoerd, opgewarmd en onder lage druk gezet om het vocht uit de korrels te verwijderen. Het gedroogde materiaal wordt dan verwijderd en in vaten opgeslagen. Ook bij vacuümdrogers is het van groot belang dat de korrels tot in de kern verwarmd worden.

Continu vacuüm drogen werd in 1993 gepatenteerd. Het systeem leek erg veelbelovend toen het in laboratoriumcondities getest werd, maar de echte nadelen kwamen pas aan het licht toen het voor de kunststofindustrie op de markt verscheen. Het systeem bleek veel te ingewikkeld, met veel bewegende delen. De droger bestond uit verschillende vaten die op een soort carrousel gemonteerd waren. Het materiaal wordt in één van de kamers gebracht, en wordt door warme lucht opgewarmd. Daarna draait de carrousel en de kamer met het verwarmde materiaal wordt vacuüm getrokken, terwijl de volgende kamer gevuld en opgewarmd wordt. De carrousel draait opnieuw, en het gedroogde materiaal wordt uit de kamer verwijderd, terwijl de volgende kamer vacuüm getrokken wordt om het materiaal te drogen. De carrousel draait voortdurend, en de droger levert continu gedroogd materiaal naar de verwerkingsmachine. Korrels, stukjes korrel of stof gaan vastzitten tussen de bewegende delen van de carrousel of tussen de pakkingen, waardoor het gewenste vacuümniveau niet meer gehaald kan worden. Het droogproces valt uit, en de droger moet gereinigd worden vooraleer het gewenste vacuümniveau weer gehaald kan worden.

Het reinigen van de kamers (wanneer er van het éne materiaal of kleur gewisseld wordt naar een andere) is een bijzonder tijdrovende bezigheid. De kamers moeten daarvoor gedemonteerd worden.

Het systeem bevat vele bewegende delen. Slijtage is een groot probleem wanneer er continu vacuüm wordt getrokken.



In het besef dat continu vacuüm drogen met een droogcarrousel een mislukking was, en concentreerde zich daarom op het ontwikkelen en verbeteren van de persluchtdroger. Vele jaren later werd het systeem van de continu vacuümdroger met meerdere kamers heruitgevonden in de Verenigde Staten.

VOORDELEN

- Kleiner vloeroppervlak vereist
- Lage werkingskost
- Korte droogtijd

NADELEN

- Onstabiele droging
- Zeer hoge onderhoudskosten
- Moeilijk te reinigen bij materiaal- of kleurwissel
- Niet praktisch bij gebruik bovenop de extruder