

# Werkingsprincipe van de Injector voor Modelstoomketels

## 1. Woord vooraf:

De injector voor stoomketels is een eenvoudig, en dus betrouwbaar, systeem om water te voeden in een stoomketel onder druk en dit met de voorhanden zijnde stoom onder druk, meestal in dezelfde ketel. Bij de spoorwegen werden de eerste in gebruik genomen in 1860 !

De betrouwbaarheid is groot, ook in de modelbouw, indien hij gebruikt wordt binnen bepaalde vastgelegde grenzen.

## 2. Werkingsprincipe ( Zie fig. 1):

De injector bestaat uit drie opeenvolgende cilinders voorzien van een conische boring perfect in lijn opgesteld in een huis.

De eerste kegel noemt men de stoomkegel, de tweede de mengkegel en de derde de drukkegel. Verder ziet u ook nog een opgebouwd terugslagventiel en een overloop aansluiting. Deze twee zaken zullen we op het einde bespreken gezien ze een nevenfunctie hebben in het geheel van de injector.

### 2.1 De Stoomkegel ( Zie fig. 2):

Met behulp van een leiding voorzien van een kraan wordt de onder druk staande stoom toegevoerd aan de ingang van de stoomkegel. De stoomkegel bestaat uit drie verschillende profielen. Vanaf de ingang gaat hij conisch over naar een kleinere diameter om dan over een korte lengte in een cilindrische buis, de keel, te stromen en dan opnieuw terecht komt in een kegel die nu echter groter wordt in diameter naar de uitgang toe, de expanderende kegel.

Stoom onder druk bevat twee soorten energieën:

- A. Calorische energie gezien hij een bepaalde temperatuur heeft en dus warmte kan afgeven aan zijn omgeving door af te koelen en te condenseren . Deze energie wordt opgebruikt in de mengkegel.
- B. Kinetische energie. Dit is de energie die in stoom aanwezig is als hij onderdruk staat.

Het is deze kinetische energie die in het eerste profiel van de stoomkegel zal omgezet worden in stuwkracht en snelheid. Om dit te realiseren, met een zo hoog mogelijk rendement, laat men de stoom door middel van een kegel wegstromen (adiabatisch= zonder verlies van warmte aan de omgeving) tot op ongeveer 60 % van de oorspronkelijke voedingsdruk. Hierdoor stijgt de snelheid waarmee de stoom zich beweegt naar de ingang van de keel tot zeer hoge waarden namelijk sneller dan het geluid. (Dit is 300m/sec of 1080km/h) De hoek van de kegel is hier niet belangrijk, hij dient enkel om zachtjes over te gaan van een grote diameter naar een kleinere. De hoeveelheid stoom die hierdoor vloeit is enkel afhankelijk van de druk aan de ingang en de diameter van de keel. De keel is er enkel om

over te gaan naar de andere, expanderende kegel zonder daarbij de gelijkmatige doorvloeiing van de stoom te verstoren.

Willen we de stoom nog verder in snelheid laten stijgen dat moeten we zijn volume nu laten uitzetten. Van zodra de uitgangsdiameter iets groter wordt dan de keeldiameter zien we een forse groei van de snelheid. Bij modelinjectoren vindt men meestal als maximum voor de uitgangsdiameter een waarde =  $1,8 \times$  de keeldiameter. Aan de uitgang van de expanderende kegel hebben we nu de massa van de stoom die met een zeer grote snelheid (meer dan 500 m/sec of 1800km/h !!) naar buiten stroomt. De uitgang van de stoomkegel steekt een heel klein beetje binnen in de mengkegel. Anderzijds is er rondom de uitgangskegel water aanwezig. De wanddikte van de neus van de uitgangskegel is zeer scherp om het water zo dicht mogelijk in de omgeving van de uitstromende stoom te brengen. Hoe scherp is eigenlijk meer een mechanisch probleem om het aan te maken en anderzijds niet te snel te beschadigen bij montage en door slijtage bij gebruik.

## **2.2 Mengkegel ( Zie fig. 3)**

Zoals reeds vermeld steekt de stoomkegels met zijn uitgang in de ingang van de mengkegel. Rand om rand is hier water aanwezig en er ontstaat een botsing van stoom deeltjes met water deeltjes. Gezien de snelheid van de stoomdeeltjes zo vele malen groter is als die van de waterdeeltjes warden deze laatste meegesleept in dezelfde richting waarmede de stoomdeeltjes zich bewegen t.t.z. evenwijdig aan de aslijn van de injector. Ze worden dus meegesleept en dus als het ware ingeperst in de mengkegel.

Dit inpersen wordt nog versterkt doordat de stoom, die nu in contact komt met het water, gaat condenseren en zodoende in volume gaat krimpen. Om deze volume vermindering van de stoom te volgen heeft de mengkegel zijn conische vorm van doen. Moest de mengkegel cilindrisch zijn dan zou er nog meer water ingezogen worden en dit ten nadele van de snelheid waarmede het water de mengkegel zou verlaten. Dit is niet wenselijk want we willen juist het water aan de uitgang van de mengkegel een zo groot mogelijke snelheid geven. Het is dus ook belangrijk dat alle aangeleverde stoom in de stoomkegel omgezet wordt in water door te condenseren in de mengkegel. Dit condenseren heeft nog een tweede voordeel, de warmte van de stoom ( de calorische energie) wordt nu afgestaan aan het water. Zodoende zullen we met de injector koud water aanzuigen en warm water in de ketel spuiten wat positief is voor het rendement.

## **3. Drukkegel ( Zie fig. 3)**

Het water dat de mengkegel verlaat bezit een zeer grote snelheid en ziet dan de drukkegel voor zich opdoemen. Dit water dat een massa heeft en ook een snelheid is dus drager van kinetische energie. ( Vergelijk dit met de situatie als u in de auto zit aan 100km/h wat voor kinetische energie u bezit. Ze komt pas tot uiting als u gaat remmen of ergens tegenaan rijdt. De airbag zit er om deze van uw lichaam in noodgeval gedeeltelijk op te vangen. Kinetische energie is evenredig met het

kwadraat van uw snelheid. Als u 3 maal sneller gaat rijden dan is de kinetische energie 9 maal groter geworden! )

De ketel is aangesloten aan de drukkegel met behulp van een terugslagventiel om te verhinderen dat er water of stoom uit de ketel naar de injector zou vloeien als deze laatste niet in werking is. Als in de ketel een druk heerst van bijvoorbeeld 5bar(0,5MPa) moet het water dat uit de drukkegel komt en die dit terugslagventiel wilt opendrukken om in de ketel te stromen iets meer dan 5 bar druk kunnen opleveren. Dit zullen we realiseren met behulp van een eenvoudig apparaatje namelijk de drukkegel. De drukkegel werkt enkel met niet samendrukbare media zoals bv. water.

Om dit niet met moeilijke theorieën uit te leggen doen we dit aan de hand van een voorbeeld:

1. Een hamer in beweging bezit kinetische energie. Hij heeft immers een massa en ook een snelheid.

2. Om met diezelfde hamer een gat te maken in een houten plaat van 2cm dik kan men proberen met deze ronde hamer die een oppervlakte heeft van  $16\text{cm}^2$  direct op de plaat te slaan. Er zal geen gat in de plaat ontstaan omdat het oppervlak van de hamer veel te groot is en dus de kracht die per  $\text{cm}^2$  uitgeoefend wordt te klein is om er dwars doorheen te gaan. Indien we tussen de hamer en de plaat een stalen cilinder houden met een oppervlakte van  $1\text{cm}^2$  dan slaan we deze er inderdaad dwars door heen en hebben we een gat in de plaat. We hadden evengoed gebruik kunnen maken van een kleine hamer met een oppervlakte van  $1\text{cm}^2$ . Deze hamer zou een eigenaardige vorm krijgen indien wij zijn gewicht gelijk hielden aan dit van de grote hamer. De kleine hamer had ook veel minder kunnen wegen dan de grote hamer maar om er dezelfde kinetische energie in op te slaan als in de grote hamer, bij het moment van de botsing, hadden we hem dan een veel grotere snelheid moeten geven. ( De regels voor kinetische energie zeggen het volgende: Als de kleine hamer 100x minder weegt dan de grote hadden we hem een snelheid moeten geven die 10 maal groter was dan deze van de grote hamer om er dezelfde waarde aan kinetische energie in op te bergen.)

3. Wat speelt zich nu af aan de ingang van de drukkegel. We zitten hier met een kleine hamer ( = een fijne straal water) maar met een zeer grote snelheid. In de drukkegel wordt deze kleine hamer met zijn zeer hoge snelheid door de kegelvorm geleidelijk aan groter in oppervlak maar zijn snelheid gaat afnemen en dit naarmate hij dichter en dichter bij de uitgang van de drukkegel komt. De kinetische energie aanwezig in de hamer (= in de waterstraal) is op alle posities tussen in- en uitgang van de drukkegel dezelfde. ( We houden geen rekening met alle soorten rendementsverliezen die optreden) Hoe groter de diameter van de hamer wordt hoe kleiner de kracht per  $\text{cm}^2$  die hij kan opleveren als hij ergens in botsing zou komen. De botsing die er komt is tegen het terugslagventiel dat gesloten gehouden wordt door de keteldruk ( 6 bar). Als de diameter van de hamer ( = diameter van de waterstraal) te groot wordt dan kan hij onvoldoende kracht per  $\text{cm}^2$  opleveren om het ventiel te openen tegen de keteldruk in. Volgens ons voorbeeld, hij geraakt niet

meer door de houten plaat heen. De maximale diameter van de hamer of dus de waterstraal komt overeen met de uitgangsdiameter van de drukkegel en deze zal bepalen met hoeveel druk we in de ketel kunnen spuiten.

Aangezien er aan de ingang van de drukkegel miljoenen kleine hamers zich achter elkaar aanmelden die door de stoom aan de ingang van de mengkegel vooruit worden gedreven, wat dus overeenkomt met een continue stroom van kinetische energie (= waterstraal in beweging) blijft dit proces zich continu doorzetten naar de uitgang van de drukkegel en stroomt er continu water via het terugslagventiel in de ketel.

#### **4. Terugslagventiel aan de mengkegel. ( Zie fig. 1)**

Dit terugslagventiel is er nodig opdat de injector zou kunnen opstarten. In de opstartfase, die van heel korte duur is (seconden), moet de overtollige stoom, die niet tot condensatie kwam omdat er te weinig water en ook lucht uit de waterleiding meegesleurd werd, in het begin ergens kunnen ontsnappen zo niet zal hij de rest van de injector gaan blokkeren op zijn goede werking. Dit geschiedt via dit terugslagventiel dat aan de vrije lucht is aangesloten. Het spuwen via het terugslagventiel gaat door tot alleen nog water aangezogen wordt. Doordat de stoom er nu 100% in condenseert en dus zijn volume vermindert ontstaat een onderdruk halverwege in de mengkegel en zodoende gaat dit terugslagventiel vanzelf weer sluiten. Eenmaal de injector opgestart heeft dit terugslagventiel geen verdere functie. Moest er een onregelmatige stoom toevoer zijn dan kan dit ventiel er wel voor zorgen dat een automatisch heropstarten plaats grijpt.

#### **5. Overloop opening ( Zie fig. 1)**

Ook de overloop opening is er eigenlijk enkel nodig bij het opstarten alhoewel ze tijdens het normaal lopen van de injector meestal wel water afvoert. Bij het opstarten is er in de injector alles behalve een laminaire stroming. ( Dit wel zeggen dat alle miljoenen deeltjes water waaruit de waterstroom bestaat zich allen met dezelfde snelheid en in dezelfde richting voortbewegen.) Het water dat zich in het aanlopen meldt aan de ingang van de drukkegel spuit eerst in alle richtingen ( zoals een spray) en alles wat niet in de drukkegel komt wordt nu door de overloop direct naar buiten afgevoerd. Deze overloop opening (ringvormig tussen mengkegel en drukkegel) moet dus minstens zo groot zijn als de oppervlakte van de uitgang der mengkegel om alles snel af te voeren.

Bij het opstarten zal de waterstroom die ontstaat in de drukkegel door zijn hoge snelheid ook helpen om het water aan zijn ingang dat via de overloop probeert te ontsnappen aan te zuigen. Sommige injectors spuiten continu wat water via de overloop meestal met wat sputtering. De oorzaak hiervan is afhankelijk van de vele invloedsferen. Dit hoeft geen ramp te zijn. De uitgang van overloop en terugslagventiel kan constructief tot één enkele aansluiting gebracht worden, dit verandert niks aan de principiële werking.

#### **6. Algemene opmerkingen**

Een injector is ontwikkeld voor een bepaald drukgebied van de stoom en temperatuur van het water. Buiten deze gebieden kan hij heel wat nare kuren vertonen. De temperatuur van de stoom is eveneens belangrijk. (is ook met de druk verbonden) Bij voorbeeld een te lange leiding die hem te veel laat afkoelen in de beginfase maakt het opstarten moeilijk. Daarbij moet de stoom echt voor 100% gecondenseerd worden in de mengkegel. Dus oververhitte stoom gebruiken levert misschien geen problemen met super ijskoud water maar wel met lauw water. Gezien de stoom 100% moet condenseren in de mengkegel moet ook de temperatuur van het aangezogen water niet te hoog zijn. Een zwarte tender die uren in de zon staat levert geen koud water meer af en kan nefast zijn voor de injector. Een injector voeden via een water warmtewisselaar is uit den boze.

De injector zuigt water aan uit de tender. Als in de aanzuigleiding een lek is komt er lucht mee met het aangezogen water. Hierdoor gaat de injector ogenblikkelijk in de fout en slaat af. Dit soort lekken is niet gemakkelijk op te sporen gezien er alleen maar lucht naar binnen dringt en er niet altijd water uit weglekt bij afgeslagen injector. Een plastic waterslangetje kan hier veel laten zien. Indien u een injector zelf wilt bouwen, begin er niet aan zolang u geen duidelijke instructie hebt hoe u het gereedschap om de kegels aan te maken moet vervaardigen. Dat het een nauwkeurig onderdeel is moet uit de tekening van de injector blijken. Veel nauwkeurigheid wordt ook bekomen door de manier waarop men de onderdelen aanmaakt, zoals ruimen. Daarom diverse bewerkingen in een en dezelfde opspanning, maar ook het meten van de hoeken van kegels en uitgangsdiameter van kegels, etc. Echt iets voor gevorderden met zin voor nauwkeurigheid. Hou u aan alle afmetingen daar ze zeer kritisch zijn ten opzichte van elkaar. Een kleine wijziging kan al fataal zijn.

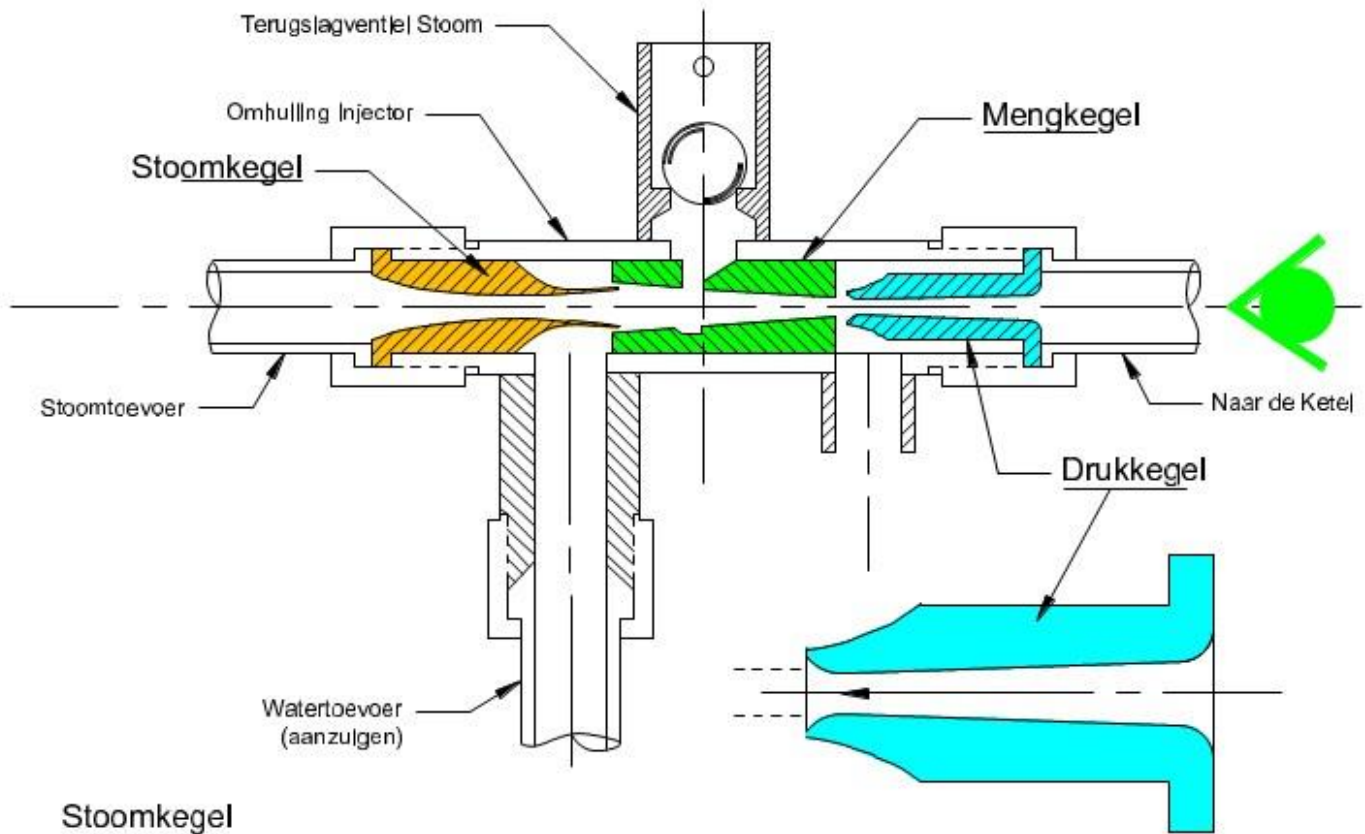
Aan en afvoer leidingen moeten allen met gladde overgangen aan de binnenkant uitgevoerd worden om zo weinig mogelijk drukverliezen en turbulenties te veroorzaken. Liefst geïsoleerde stoomleidingen, korte verbindingen naar de ketel en geen te scherpe bochten. Ook de inwendige diameter van de leidingen is belangrijk.

### **Geraadpleegde literatuur:**

- The Model Injector by Ted Crawford and Australian Model Engineering Magazine.
- Die Dampflokomotive Transpress reprint, Transpress Verlag
- De Lokomotief van G.J. Hartenrink & M.W. Mook 1906
- Diverse uitgaven van: The Model Engineer UK.  
Onder Stoom NI



# INJECTORS MODELBOUW



## Stoomkegel

