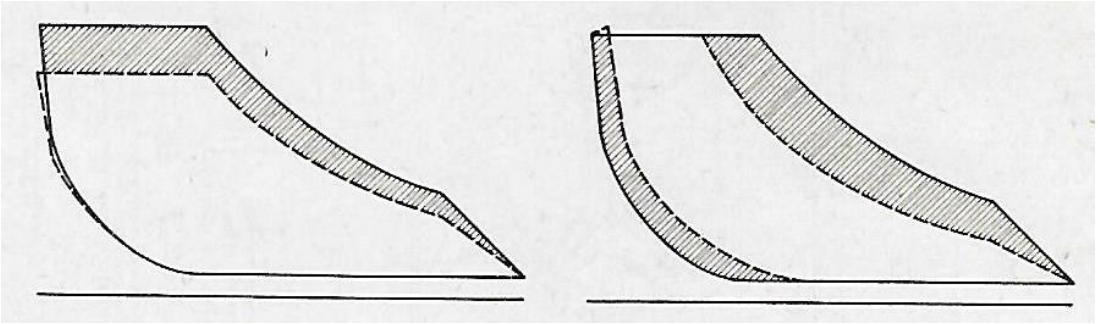
4.14.6 De regulateur

Een regulateur bij een stoommachine dient om bij veranderlijke belasting de omwentelingssnelheid van de machine binnen bepaalde grenzen te houden. Ook kan met een regulateur door het toerental te wijzigen de capaciteit van het opvoerwerktuig worden geregeld of de machine tegen een te hoog toerental, bijvoorbeeld als de belasting plotseling wegvalt, worden beveiligd.
De regeling kan bij zuigerstoommachines in hoofdzaak op twee manieren geschieden.

- Door de stoomtoevoer te regelen waarbij de begindruk van de stoom in de machine verandert.
- Door de vulling, dus het expansievoud te veranderen waarbij de begindruk constant blijft.

Men onderscheidt hierbij handmatig en door de machine zelf bediende mechanismen.

In de hier onder afgebeelde theoretische diagrammen zijn de veranderingen aangegeven volgens beide principes. Hierbij verdient de door het rechterdiagram weergegeven hoeveelheidsregeling de voorkeur ten opzichte van de in de linker figuur weergegeven smoorregeling, omdat hierbij niet alle energie in nuttige arbeid wordt omgezet.



Smoorregeling (druk) **Vullingsregeling (hoeveelheid)**

De regulateurs, waarvan zeer veel uitvoeringsvormen bestaan, maken meestal gebruik van de centrifugaal kracht om de voor het verstellen van de regelorganen benodigde kracht te leveren.
We onderscheiden hierbij de volgende twee hoofdprincipes:

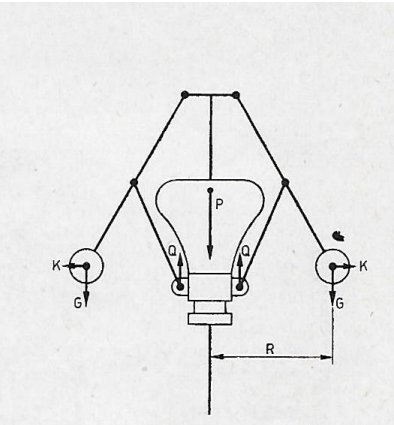
- De zogenoemde hulsregulateur die wordt toegepaste in combinatie met een smoorklep.
- De schijfregulateur die uitsluitend wordt toegepast in combinatie met een hoeveelheidsregeling.

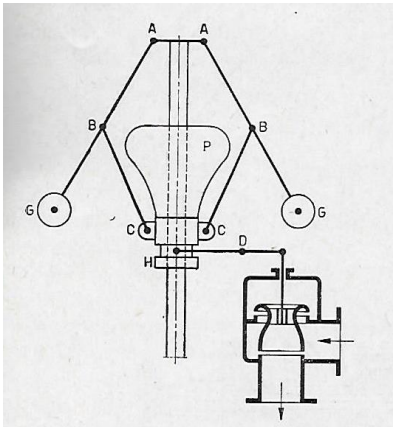
Hulsregulateur

De hulsregulateur wordt zoals hier voor is opgemerkt gebruikt om de machine te regelen door het veranderen van de toevoerdruk van de stoom.
In de hierna afgebeelde figuren is de principe werking van een hulsregulateur met gewichtsbelasting weergegeven. De as van de regulateur wordt via een overbrenging door de machine aangedreven waardoor de gewichten naar buiten worden geslingerd. Bij een bepaalde hoeksnelheid ω oefenen de gewichten G een middelpuntvliedende kracht K uit op het in A,B, en C scharnierende hefbomenstelsel van de regulateur.

$$K = \frac{G}{g} . R . \omega^2 = \frac{G}{g} . R . \left(\frac{2\pi\, n}{60}\right)^2 \; [\,kg]$$

De krachten Q op de huls H ten gevolge van de centrifugaal kracht worden in evenwicht gehouden door het hulsgewicht P van de regulateur. Indien nu door vermindering van de belasting de snelheid van de machine toeneemt, dus de hoeksnelheid groter wordt, dan neemt ook de centrifugaal kracht toe en worden de krachten Q op de huls groter. Als nu 2 Q – P groter is geworden dan de verstelkracht nodig om de smoorklep te verstellen, dan gaat de huls verschuiven en wordt de stoomtoevoer naar de machine geknepen.

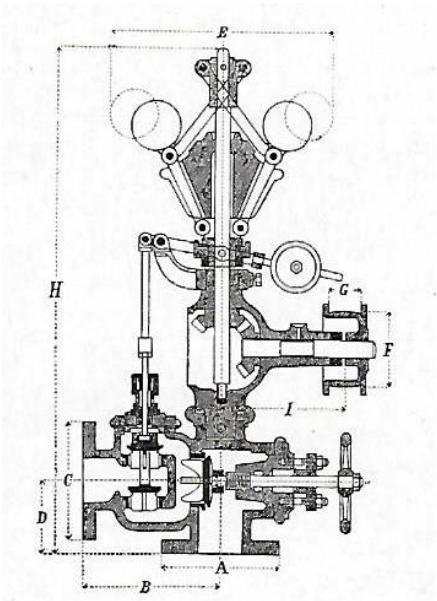




Schema's werking hulsregulateur

De rotatie snelheid van de machine neemt af tot er een nieuwe evenwichtstoestand is bereikt. Een dergelijke regulateur kan dus niet de rotatie snelheid exact constant houden. Immers bij een bepaalde hoeksnelheid hoort een bepaalde stand van de smoorklep. De machine zal daarom vol-belast dan ook langzamer draaien dan wanneer ze weinig of niet belast is Door de hefboom van de regelstang naar de smoorklep van een verschuifbaar gewicht te voorzien kan het hulsgewicht worden gewijzigd en daarmee het gewenste toerental van de machine worden ingesteld. Hiernaast is een combinatie van een regulateur met smoorklep aangegeven waarbij het gewicht is te zien waarmee het toerental is te regelen.

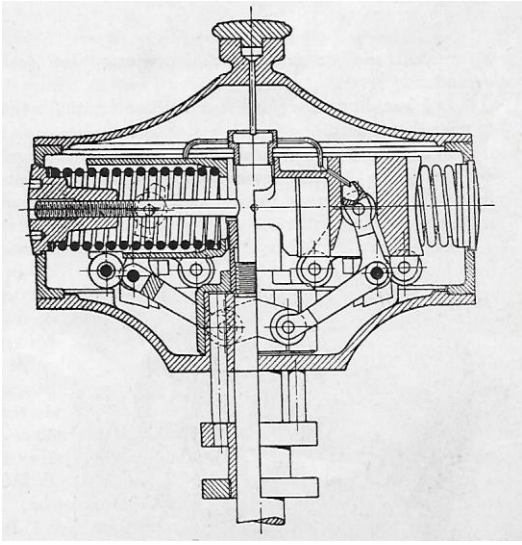
Hulsregulateurs treden pas in werking als een bepaald toerental van de machine wordt overschreden door vanaf dat moment de stoomtoevoer steeds verder af te sluiten. Tot het moment van ingrijpen staat de smoorklep vol open.



Hulsregulateur met smoorklep

Opmerkelijk is dat regulateurs vaak met een drijfriem of een snaar werden aangedreven. In de hier voor gegeven figuur is dat ook het geval. Dit betekent dat bij breuk van de riem of de snaar de machine over toeren kan raken of op hol kan slaan met als gevolg vliegwielexplosie dan wel andere ernstige machinebreuk.

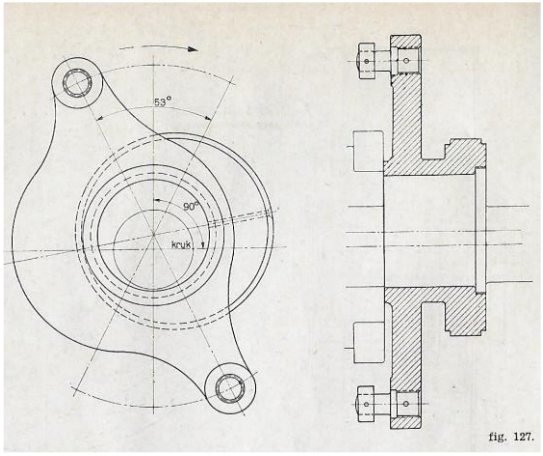
In de plaats van een hulsgewicht worden ook regulateurs toegepast die zijn uitgerust met druk of spiraalveren gecombineerd met gewichten. Het verschil tussen een veer en een gewicht is, dat de laatste een constante kracht gelijk aan het gewicht , op de huls uitoefent terwijl de veer een kracht uitoefent welke evenredig is met de indrukking. Buiten de hier beschreven regulateur zijn er vele uitvoeringen waarbij de centrifugaal gewichten over een rechte meestal horizontale, geleiding kunnen schuiven en door veren of gewichten worden belast. Het hele mechanisme is dan ondergebracht in een trommel. De hier boven afgebeelde figuur is hier een voorbeeld van. Men kan nu door de juiste keuze van de gewichten en de veren de regulateur de gewenste eigenschappen geven voor gevoeligheid en regelbereik. Bij de hierboven afgebeelde regulateur kan het toerental met behulp van het veranderen van de veerdruk versteld worden.



Veerbelaste hulsregulateur

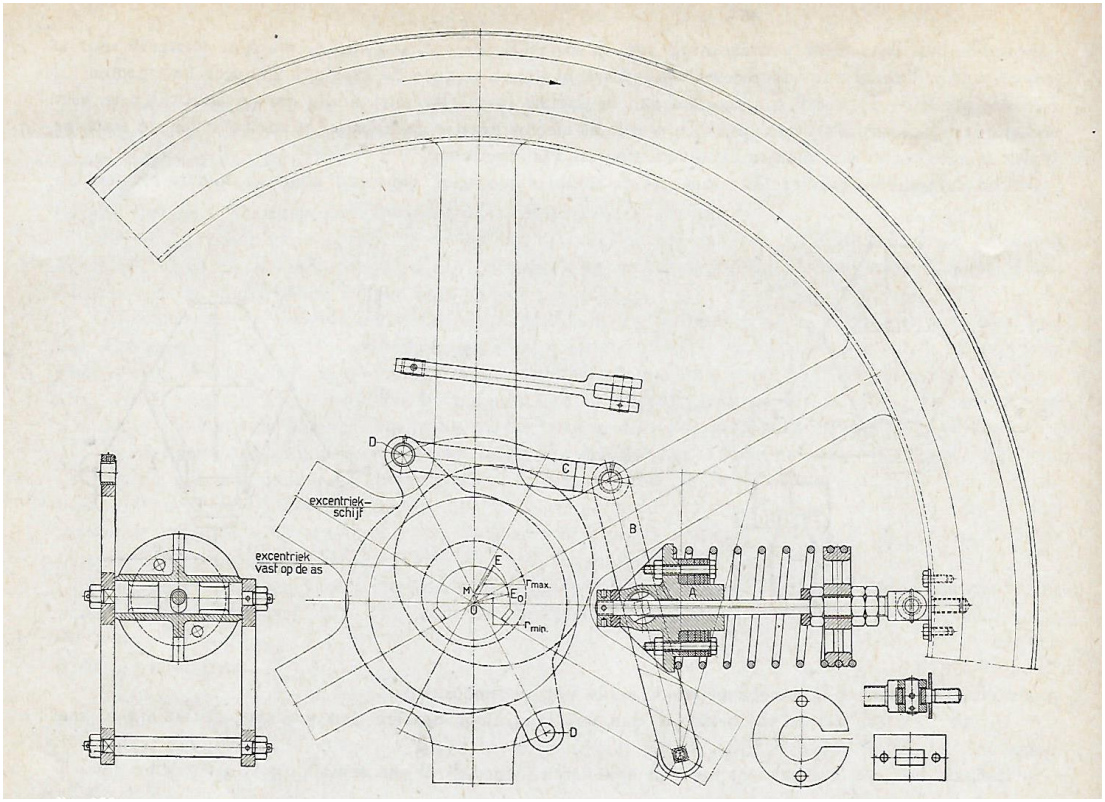
Schijfregulateur

De schijfregulateur wordt zoals reeds werd opgemerkt, gebruikt om de machine te regelen door het veranderen van de vulling. Dit type regulateur verzet het excentriek dat de stoomschuif van de machine aandrijft zodanig dat de voorloophoek en meestal ook de schuifslag veranderen. Ook van dit type regulateur zijn in de loop der tijd verschillende varianten ontwikkeld en toegepast. De werking berust op het principe dat je twee excentrieken tegen elkaar in laat werken en dat daardoor de excentriciteit van het ene excentriek door de ander kan worden opgeheven, de schuif niet meer wordt bewogen en de machine geen verse stoom meer krijgt toegediend.
In de praktijk worden beide excentrieken tot één geheel samen gebouwd waarbij de zogenoemde binnenexcentriek vast op de krukas gespied wordt terwijl de buitenexcentriek, de verstel-excentriek, draaibaar hiermee is verbonden.



Detail dubbel excentriek

De figuur op de hier onder geeft een dergelijke, in het verleden veel toegepaste, constructie weer. De veren en de gewichten die bepalend zijn voor het toerental van de machine zijn hier in het vliegwiel aangebracht.

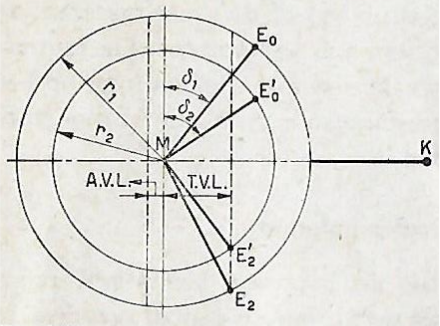


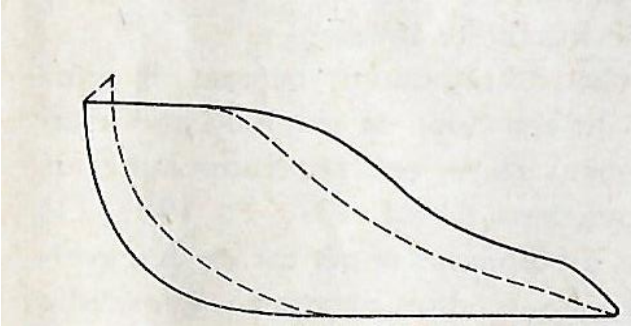
Schijfregulateur in vliegwiel (dubbelexcentriek)

De complete excentriek schijf is hier boven in detail weergegeven. We zien hier dat deze schijf kan draaien om het excentrische gedeelte op de krukas. Door het verdraaien van de losse buitenschijf veranderen zowel de voorloophoek als de excentriciteit.

In de hier na afgebeelde figuur is de voorloophoek veranderd van δ_1 tot δ_2 en de excentriciteit van r_1 tot r_2. Zetten we nu de lappen van de schuif uit op de hartlijn dan zien we dat de hoek welke de excentriek , dus ook de kruk van de machine , met de toevoer wordt doorlopen, veranderd is van E_0 ME_2 tot E_0' ME_2' en dus kleiner is geworden. Als we het diagram verder uitwerken zien we dat, door deze verandering, de stoomverdeling zodanig is geworden dat de voortoelaat groter, de vulling kleiner, de expansie groter, de uitlaat kleiner en de compressie groter is geworden. Deze laatste kan zelfs zo groot zijn dat de keteldruk wordt overschreden en er negatieve arbeid ontstaat. De machine wordt hierdoor een klein beetje afgeremd. Het oppervlak van het theoretische diagram, hier voorgesteld door de gestippelde lijnen, wordt kleiner en dus ook het door de machine

ontwikkelde vermogen. De boogvormige baan welke het middelpunt van het excentriek bij het verstellen kan afleggen noemt men de verstelweg van het excentriek. Bij het gegeven voorbeeld bedraagt deze 53°.





Invloed voorloophoek en excentriciteit op prestatie

Expansieschuiven

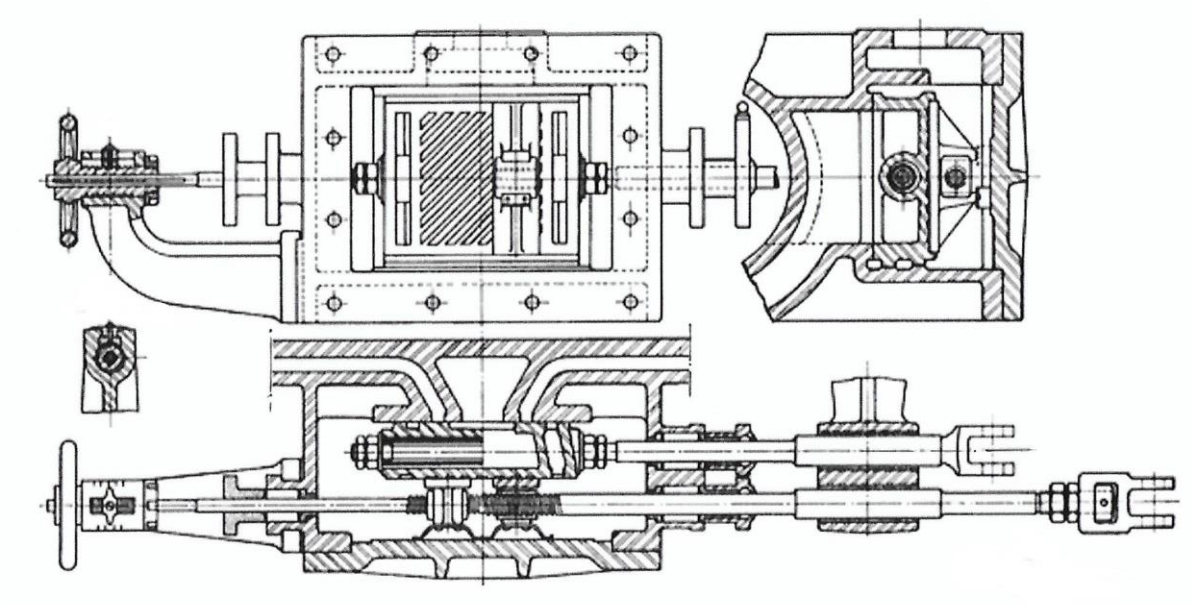
Zoals hier voor in deze paragraaf is aangetoond wordt de duur van de toevoer, en daarmee de expansie van de stoom, beheerst door de overlap aan de toevoerzijde, en van de afvoer en daarmee van de compressie, door de overlap aan de afvoerzijde. Met een gewone bakschuif kan men de machine dus al met expansie laten werken. Vergroot men de toevoerlap , dan wordt de vulling kleiner en werkt de machine met meer expansie. Is echter de afvoerlap te klein, dan begint de afvoer al gauw te vroeg en zou men dit willen verhelpen door vergroting van de afvoerlap, dan stijgt de compressie al spoedig boven de gewenste grens. Het blijkt daarom ondoenlijk met minder dan 50 % vulling te werken. Daar bovendien de stoomverdeling door middel van een bakschuif niet toelaat de vulling tijdens bedrijf te verstellen heeft men naar andere middelen gezocht om de vulling te regelen.

<u>Meijerschuif</u>

Een van de eerste pioniers op dit gebied die er in slaagde de expansie en daarmee het vermogen van de met een bakschuif uitgeruste stoommachien te regelen was Meijer te Mulhause. Hij plaatste hiertoe op de rug van de grondschuif een tweede schuif, de zogenoemde expansieschuif, die door middel van een afzonderlijke excentriek van af de machineas bewogen werd.

Het excentriek van de expansieschuif heeft een veel grotere voorloop hoek dan de grondschuif. Bij deze inrichting, die vaak is toegepast bij de stoommachines van gemalen, kan de machinist met behulp van een handwiel, dat buiten de de stoomschuifkast is geplaatst, op elk moment het gewenste vermogen, het toerental en daarmee het waterverzet van het gemaal regelen. Zoals uit de hierna volgende figuur blijkt bestaat de expansieschuif uit twee blokjes die op de tekening tegen elkaar liggen. De blokjes zijn evenals de schuifstang van linkse- en rechtse schroefdraad voorzien. Door nu aan het handwiel te draaien worden de blokjes van elkaar af of naar elkaar toe bewogen, waardoor de toevoerpoorten in de grondschuif verder openen of sluiten en de vulling wordt geregeld. Het handwiel is voorzien van een lange bus met spiebaan waar de verlengde schuifstang in heen en weer beweegt. Naast het handwiel is een blokje met een wijzer aangebracht dat, langs een schaallineaal bewegend, de grootte van de vulling aangeeft.

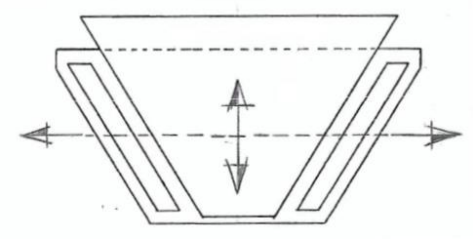
De grondschuif laat de stoom toe in de cilinder via de daarin aangebrachte kanalen en dus niet zoals bij de bakschuif langs de buitenkant. Het mag duidelijk zijn dat de vulling niet door de machine zelf wordt geregeld met behulp van een regulateur maar uitsluitend met de hand. Verder wordt met deze inrichting bereikt dat de in- en de uitlaat van elkaar zijn gescheiden waarbij de grondschuif de afvoer en de expansieschuif hoofdzakelijk de toevoer van de stoom beheerst. Een groot bezwaar van deze schuifconstructie is dat de stoomdruk de schuif met grote kracht tegen de spiegel drukt met een groot energieverbruik en veel slijtage als gevolg. Ook moet hierdoor de verstelinrichting noodgedwongen van een schroefdraad met geringe spoed worden voorzien om het handwiel zonder al te veel kracht inspanning te kunnen verdraaien.



Inrichting Meijerschuif

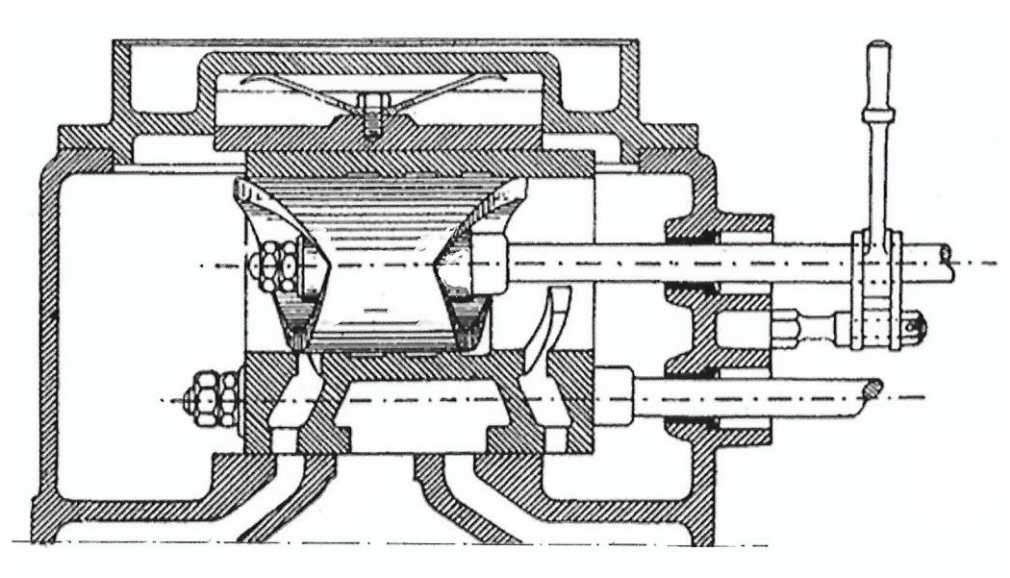
Ridderschuif

Uit de hier onder afgebeelde figuur is de werking van een vlakke Ridder expansieschuif af te leiden. De expansieschuif in de tekening wordt door een trapeziumvormige plaat voorgesteld. Deze plaat beweegt over de onderliggende grondschuif waarin twee paralellogramvormige sleufgaten zijn aangebracht. De grondschuif wordt door een excentriek aangedreven in een horizontale beweging. De expansieschuif wordt door een verstel-mechanisme, bijvoorbeeld de regulateur, in verticale richting bewogen. Door deze verstelling worden de poorten in de grondschuif eerder of later geopend dan wel gesloten en zal de expansie vroeger of later beginnen.



Principe werking Ridderschuif

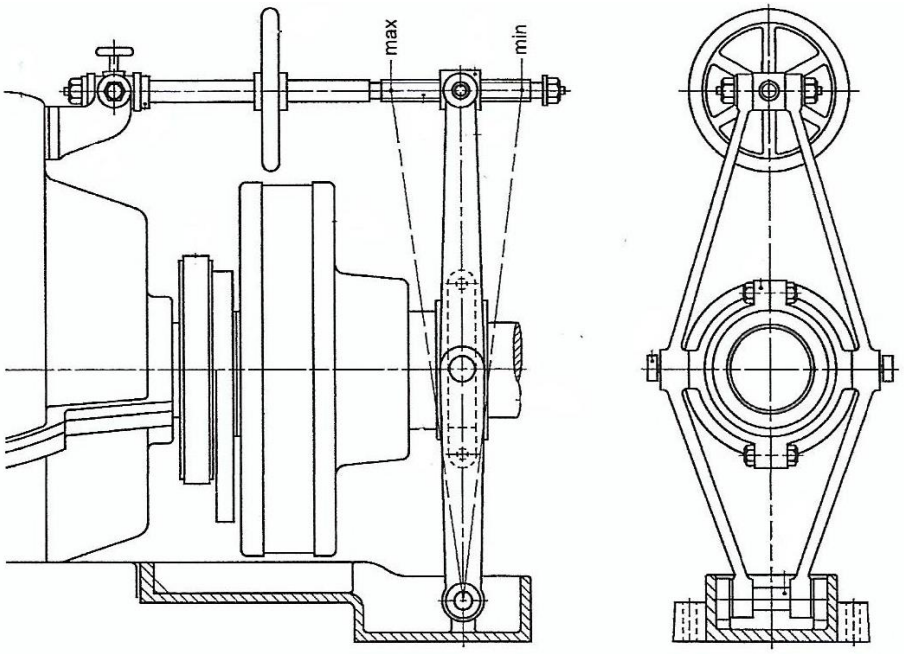
De verticale beweging van de schuif vindt plaats met een op de schuif geplaatste getande baan. In deze baan is een tandwieltje aangebracht dat met een stang met de regulateur verbonden is.
Denkt men nu de vlakke Ridderschuif samen met de rug van de grondschuif opgerold tot een hele of gedeeltelijke cilinder, dan ontstaat de vlakke Ridderschuif zoals hier is afgebeeld. De hartlijn van de expansie schuif en de grondschuif moeten hierbij samen vallen. De rug van de grondschuif vormt dan een holte met schroefvormige kanalen. De buisvormige expansieschuif, waarvan de randen eveneens schroefvormig zijn afgewerkt, past in deze holte. Door de expansieschuif te verdraaien wordt op identieke wijze een grotere of kleinere vulling verkregen en kan het gewenste vermogen en het toerental worden geregeld. Doordat de expansieschuif een ronde vorm heeft is deze ontlast en is de verstelkracht tot een minimum beperkt. Ook de slijtage van dit onderdeel is daardoor gering.
In de figuur van de Ridderschuif is een handbediening getekend. Door het bedieningshandel met behulp van een hefbomenstelsel met een regulateur te verbinden wordt een door de machine zelf geactiveerde regeling verkregen. Hier worden de expansieschuif en de grondschuif door aparte excentrieken bewogen.



Doorsnede Ridderschuif

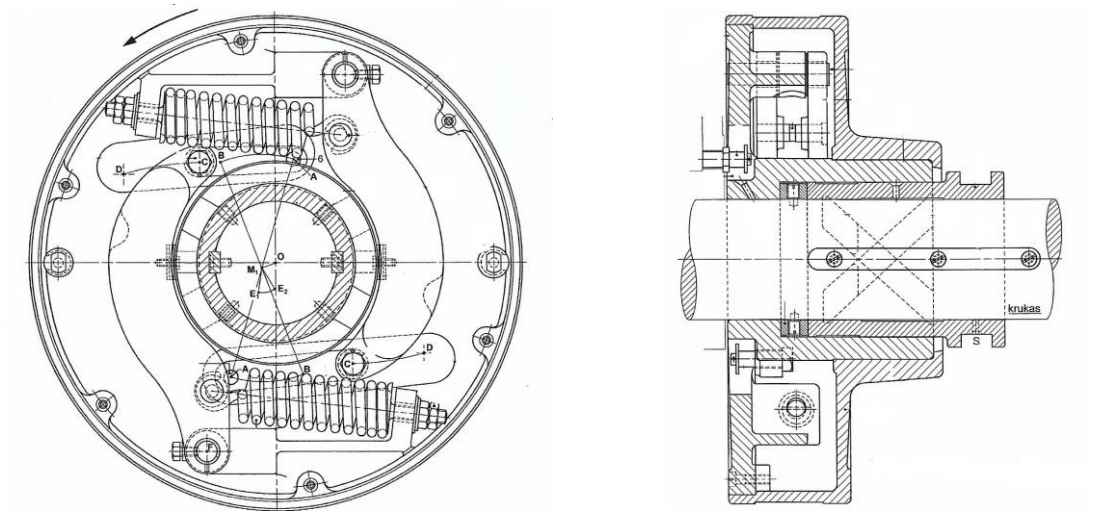
Verstelbaar excentriek

In de hier onder aangegeven tekening wordt een voorbeeld gegeven van een verstelbaar excentriek. De werking van het excentriek berust op die van een dubbelexcentriek zoals hiervoor is behandeld. Door het excentriek los op de krukas te bevestigen kan men de voorloophoek en daarmee de vulling van de machine tijdens bedrijf regelen. Het binnenexcentriek is met een spieverbinding vast op de krukas gezet. Het buitenexcentriek daarentegen is verdraaibaar om het binnenexcentriek aangebracht.



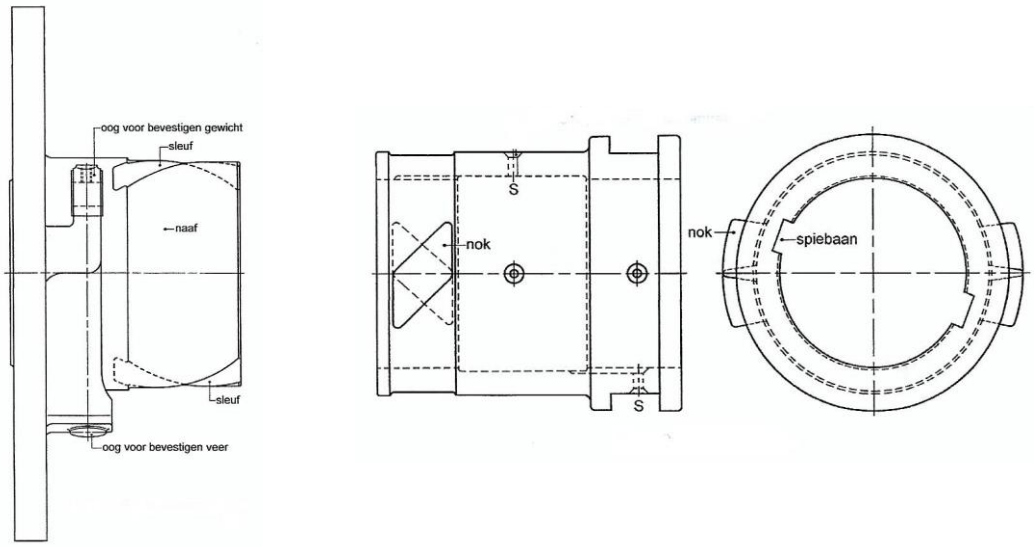
Verstelinrichting excentriek

De excentriekschijf is voorzien van holle as of naaf waarin twee schroefvormige sleuven zijn aangebracht. In deze naaf is een schuif bus met daarop twee nokken, die in de sleuven passen, bevestigd en met een spieverbinding met de krukas verbonden. De bus is glijdend op de as bevestigd en kan alleen in axiale zin worden verplaatst. Door de schuif bus, bijvoorbeeld met het in het voorbeeld getekende hefboomstelsel, draadstang en handwiel, naar binnen of naar buiten te bewegen zal de excentriekschijf over een bepaalde hoek worden verdraaid en dus de voorloophoek veranderen. De machine zal hierdoor met meer of minder expansie werken. Ook de excentriciteit en daarmee de slag van de schuif of de opening van de klep wordt bij het verstellen groter of kleiner, waardoor er meer of minder stoom naar de machine worden gevoerd met als gevolg dat het vermogen toe- of afneemt.



Verstelinrichting en regulateur

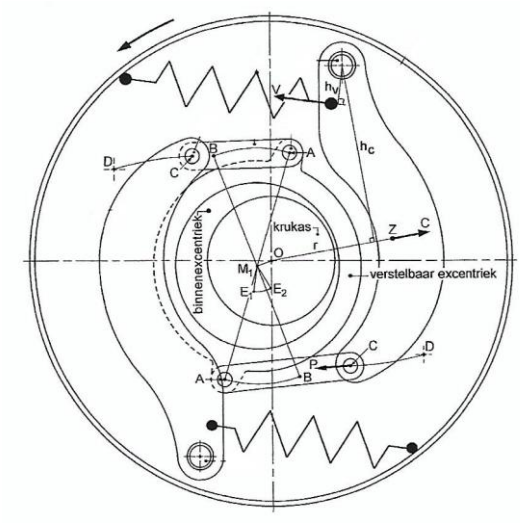
In de figuur hierboven is zowel de verstelinrichting als de hiermee gekoppelde veerbelaste gewichtsregulateur getekend. Hieronder zijn de details van de excentriekschijf waarop de gewichten en de trekveren van de regulateur zijn aangebracht, weergegeven. Het geheel is ondergebracht in een trommel.



Details van de verstelinrichting en regulateur

In de hierna volgende principe tekening is de werking van de verstelinrichting en de daarmee verbonden belaste gewichtsregulateur weergegeven. Als het draadblok naast het handwiel van de verstelinrichting wordt verplaatst van minimum naar maximum dan zal de schuifbus naar links

schuiven. De regulateurschijf en het verstelbare excentriek draaien dan rechtsom. Het middelpunt van het excentriek wordt dan over de verstelweg van E_2 naar E_1 verplaatst. Al naar gelang de belasting van de machine zal het toerental toenemen totdat het gevraagde vermogen in evenwicht is met het geleverde vermogen. Wanneer bij het, met behulp van de veren ingestelde maximum aantal omwentelingen, het effectief vermogen groter is dan het krachtverbruik zal het toerental nog verder toenemen en grijpt de regulateur in. Er ontstaat een grotere centrifugaalkracht waardoor de gewichten C naar buiten bewegen. De koppelstang doorloopt daarbij een gedeelte van de boog C-D in de hierbij afgebeelde figuur en draait het verstelbare excentriek linksom. Het middelpunt van het excentriek beweegt daarbij over de verstelweg richting E_2. De resulterende excentriciteit en dientengevolge de vulling worden kleiner. De gewichten bewegen zover naar buiten tot zich een evenwicht tussen het gevraagde en het geleverde vermogen heeft ingesteld. Als onbedoeld de belasting wegvalt, of er nog geen belasting aanwezig is ,zoals bij het opstarten van een droog opgestelde waaierpomp, zullen de gewichten maximaal uitslaan en tegen een nok aankomen. Het verstelexcentriek wordt nu zover teruggedraaid en de vulling zo klein dat de machine niet op hol slaat maar onbelast blijft doordraaien.



Schema verstelinrichting en regulateur

Het nominale toerental van de machine wordt ingesteld door de trekveren de juiste voorspanning te geven. Hiertoe moet de trommel worden verwijderd en moeten de moeren achter de veren worden aangedraaid voor een hoger toerental. Door de moeren terug te draaien wordt het tegenovergestelde bereikt. Het instellen van het nominale toerental is een eenmalige gebeurtenis en zal slechts plaatsvinden bij het opnieuw in bedrijf stellen na uitgebreide revisies of reparaties van de regulateur dan wel een gewenste verandering van de nominale pompcapaciteit en opvoerhoogte.