4.14 Stoommachine

Een stoommachine kan worden beschouwd als een motor. In het algemeen verstaat men onder een motor een toestel, dat de een of andere vorm van energie kan omzetten in mechanische arbeid. De energie bij een stoommachine wordt in de vorm van een heet en onder druk staand gas – i.c. stoom - aangevoerd. Bij een verbrandingsmotor en elektromotor zijn dat respectievelijk een vloeibare- of gasvormige brandstof en elektriciteit. Al naar gelang het soort motor wordt de energie binnen of buiten het toestel omgezet in de voor de motor bruikbare vorm. Samengevat kan de stoommachine als volgt worden gedefinieerd:

Een stoommachine is een werktuig, dat energie, door middel van verbranding van een brandstof, in een afzonderlijk toestel verkregen en in de vorm van stoom aangevoerd, in mechanische arbeid omzet.

4.14.1 Soorten stoommachines

Men kan zuigerstoommachines zoals hierna is aangegeven onderscheiden in:

Direct of indirect werkende machines
Onder een direct werkende machine verstaat men een machine, waarvan de zuigerstang direct verbonden is met het aan te drijven werktuig, of waarbij de ronddraaiende beweging is verkregen via een kruk – drijfstangmechanisme.
Van de indirect werkende machines noemen we in dit kader slechts de balansmachine. Hierbij is de zuigerstang van de machine verbonden met een balansarm die vervolgens de beweging overbrengt op het aan te drijven werktuig; de pomp.

Naar de stand van de hartlijn van de cilinders in verticale en horizontale machines
De cilinders c.a. van deze soort machines liggen in een horizontaal of in een verticaal vlak. Beide uitvoeringsvormen zijn toegepast bij de aandrijving van opvoer- en hulpwerktuigen van polder- en boezemgemalen. Soms bepaalt het soort aandrijfwerktuig of gekozen moet worden voor een verticale of een horizontale stoommachine: denk hierbij aan de oude zuigerpomp installaties van de gemalen in de Haarlemmermeer. Een verticale opstelling vergt in het algemeen een kleiner bouwoppervlak maar een grote bouwhoogte om reparaties aan de zuigers van de machines uit te kunnen voeren. Bij de horizontale opstelling is daarentegen een groot vloeroppervlak vereist. De ruimte voor het uitbouwen van een zuiger moet daarbij in het horizontale vlak worden gezocht.

Naar de toegepaste stoomverdelingsorganen, schuiven of kleppen
Men noemt de machine een kleppenmachine indien de toe- en afvoer van de stoom geschiedt door middel van kleppen. Bij verreweg de meeste stoommachines worden bovengenoemde functies verricht door zogenoemde bakschuiven, zuigerschuiven en bosschuiven. Bij de bak- en bosschuif wordt nog weer onderscheid gemaakt tussen een binnenladende en een buitenladende schuif.

Enkel of dubbelwerkende machines

Een dubbelwerkende stoommachine is een krachtwerktuig waarbij aan beide zijden van de zuiger stoom wordt toegelaten en dus arbeid wordt verricht. Ten opzichte van een enkelwerkende stoommachine wordt, bij gelijke cilinder inhoud en toerental, in een dubbelwerkende stoommachine ongeveer twee maal zoveel vermogen ontwikkeld. Bovendien is de gang van een dubbelwerkende machine rustiger. Wel moet bij een dubbelwerkende machine meer aandacht worden besteed aan de zuigerstangafdichting. Enkel werkende stoommachines zijn behoudens bij het Gemaal Stroink bij Blokzijl, waar een verticaal opgesteld Jaffa stoommachine heeft gestaan, in de Nederlandse bemaling niet toegepast.

Machines met of zonder condensatie

Bij een stoommachine die met condensatie werkt wordt de afgewerkte stoom naar een condensor geleid om hierin tot water te worden verdicht, terwijl bij een machine zonder condensatie, de afgewerkte stoom naar de buitenlucht of naar een verwarmingstoestel wordt geleid. Dit soort machines noemt men ook wel hogedruk machines, waarmee wordt aangeduid dat deze met hoge, atmosferische tegendruk werken.

De afgewerkte stoom, waarvan de druk iets hoger is dan die van de dampkring, bezit nog een grote hoeveelheid warmte energie waarvan bij een doelmatige inrichting, bijvoorbeeld het voorwarmen van het ketelvoedingwater, nog een groot deel kan worden gebruikt.

De voordelen van condensatie zijn:

1. De tegendruk achter de zuiger van de stoommachine kan bijna 1 kg/cm2 kleiner zijn waardoor de effectieve zuigerdruk eenzelfde bedrag groter is.
2. De stoomketel kan gevoed worden met warm dan wel warmer water waarmee op brandstof wordt bespaard.
3. Het ketelvoedingswater kan gedestilleerd water zijn hetgeen de levensduur van de stoomketel ten goede komt. Ook zijn de onderhoudskosten lager omdat de ketel minder vaak gereinigd hoeft te worden.

Bij condensatie wordt onderscheid gemaakt tussen injectie- en oppervlakte condensatie.

Injectiecondensatie

Bij injectie-condensatie wordt de afgewerkte stoom in directe aanraking gebracht met het afkoelingswater. Deze wijze van condenseren noemt men dan ook wel mengcondensatie en het toestel waar dit in gebeurt een mengcondensor. Een deel van het condensaat ook wel aangeduid als waste wordt aangewend als ketelvoeding water. Dit verklaart meteen dat een mengcondensor niet kan worden toegepast als er slechts brak koelwater beschikbaar is.

Oppervlaktecondensatie

Bij oppervlakte- condensatie wordt de stoom verdicht, door hem in aanraking te brengen met gekoelde oppervlakken, gevormd door een groot aantal nauwe dunwandige pijpjes, waar het afkoelingswater doorheen wordt gepompt. Het grote voordeel valt hier direct op. Het condensaat blijft gescheiden van het koelwater en kan na het verwijderen van de meegevoerde (cilinder)smeerolieresten naar de ketel worden gepompt.

Beide principes zullen verderop in deze leidraad nader uiteen gezet worden.

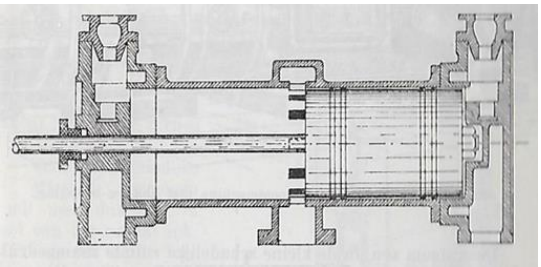
Naar de stromingsrichting van de stoom in de cilinder, wissel- of gelijkstroommachine

Wisselstroommachine

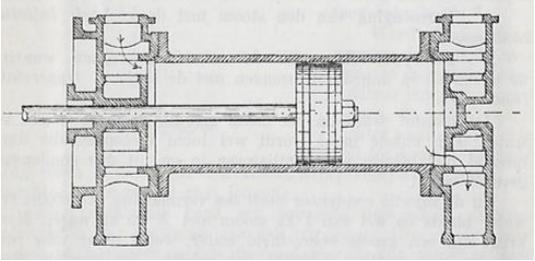
Bij een wisselstroommachine verlaat de stoom op nagenoeg dezelfde plaats de cilinder als waar de verse stoom binnen treedt. De verse stoom moet dus eerst de door de afgewerkte stoom afgekoelde vlakken opwarmen voor dat deze nuttige arbeid kan verrichten. Hoe groter het verschil in temperatuur tussen de verse- en afgewerkte stoom des te groter zijn de verliezen als gevolg van begincondensatie. Dit laatste is mede reden dat men stoommachines ontwikkeld heeft waar de expansie en daarmee de temperatuurdaling van de stoom over meerdere cilinders is verdeeld.

Gelijkstroommachine

Bij een gelijkstroommachine heeft de toelaat van stoom plaats over een klein gedeelte van de slag; daarna volgt expansie van de stoom, terwijl ongeveer 10 % voor het einde van de slag deze stoom wordt afgevoerd door openingen (poorten) die zich bij een dubbelwerkende machine in het midden van de cilinder bevinden. In tegenstelling tot de toevoer vindt de afvoer dus niet plaats via kleppen of schuiven maar door middel van de beweging van de zuiger langs de poorten in het loopvlak. De afgewerkte stoom stroomt in dezelfde richting weg als waarin de verse stoom in de cilinder is toegelaten. Hierdoor voorkomt men dat gedurende de uitlaat een sterke afkoeling langs tevoren verwarmde vlakken plaats vindt, zodat de begincondensatie van verse stoom geringer zal zijn. Doordat de poorten zich over de gehele omtrek bevinden stroomt de afgewerkte stoom gemakkelijk weg en behoeft de tegendruk nauwelijks te verschillen van de condensordruk. Terwijl het opvoeren van het vacuüm boven 80 % bij een wisselstroom installatie, wegens de begincondensatie geen nut heeft, kan bij een gelijkstroomstoommachine het vacuüm opgevoerd worden tot wel 95 %.



Gelijkstroommachine



Wisselstroommachine

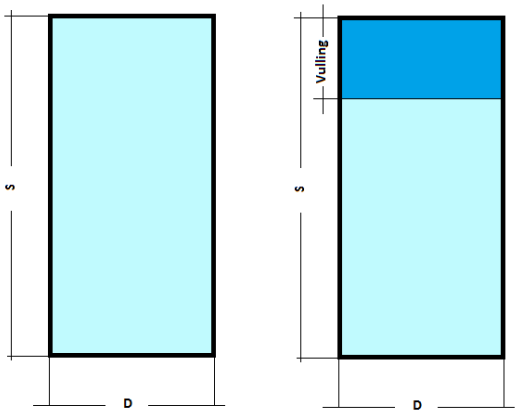
Bij een wisselstroommachine verlaat de stoom op nagenoeg dezelfde plaats de cilinder als waar de verse stoom binnen treedt. De verse stoom moet dus eerst de door de afgewerkte stoom afgekoelde vlakken opwarmen voor dat deze nuttige arbeid kan verrichten. Hoe groter het verschil in temperatuur tussen de verse- en afgewerkte stoom des te groter de verliezen als gevolg van begincondensatie. Dit laatste is mede reden dat men stoommachines ontwikkeld heeft waar de expansie en daarmee de temperatuurdaling van de stoom over meerdere cilinders is verdeelt.

Voldruk- of expansiemachines

Bij een voldruk machine wordt gedurende de gehele zuigerslag, stoom van keteldruk in de cilinder toegelaten.

Expansiemachines werken met een gedeeltelijke stoom toelaat gedurende de zuigerslag waardoor, zoals hierna wordt uiteengezet, de in de stoom opgeslagen energie beter wordt benut.
Bij de expansiemachine wordt tevens aangegeven in hoeveel stappen de expansie plaats vindt. Men onderscheidt hierin de compoundmachine waar de expansie in twee- en de tripel-expansiemachine waar dat in drie stappen plaats vindt. Soms wordt bij de benaming de rangschikking van zuigers benoemd bijvoorbeeld: een tandem-compound stoommachine. Deze bij bemalingsinstallaties veel toegepaste stoommachine heeft twee, in diameter verschillende, zuigers op een en dezelfde zuigerstang, waarbij de expansie van de stoom in twee stappen plaats vindt.

In de techniek spreken we van een volle toelaat of volle vulling als de stoommachine gedurende de gehele zuigerslag stoom van keteldruk krijgt toegevoerd. In dit geval wordt dus bij iedere slag van de zuiger een hoeveelheid verse stoom gelijk aan de cilinderinhoud verbruikt en daarna naar de volgende cilinder of de condensor afgevoerd. De stoomdruk in de cilinder blijft gedurende de gehele zuigerslag constant en is gelijk aan de druk van de verse stoom. Doordat het volle drukverschil tussen verse en afgewerkte stoom op de zuiger wordt uitgeoefend, zal deze met steeds de- zelfde kracht worden voortbewogen en veel arbeid (energie) leveren. Deze volle toelaat is verre van voordelig omdat er geen gebruik wordt gemaakt van de eigenschap van gassen, en dus ook stoom, om energie te leveren bij het expanderen of anders gezegd bij het uitzetten bij een lagere druk en temperatuur.



Voldruk machine **Expansiemachine**

Beschouwen we, om dit nader toe te lichten, bovenstaande figuur waar de rechthoeken twee even grote stoomcilinders voorstellen met een diameter D en een zuigerslag van S meter. Werkt deze cilinder met volle toelaat dan is voor iedere zuigerslag een hoeveelheid stoom nodig van:

$$A = \frac{\pi}{4}\ D^2\ .S\ [m^3]$$

Heeft de stoom een druk van P kg/m^2 en heerst onder de zuiger een druk van p kg/m^2 dan is de kracht waarmee de zuiger wordt verplaatst :

$$A = \frac{\pi}{4}\ D^2\ (P - p)\ [kg]$$

Aan het einde van de slag is een weg afgelegd van S meter en zal de stoom in de voldruk machine een arbeid hebben verricht van:

$$A = \frac{\pi}{4}\ D^2\ (P - p)\ .S\ [kg.m]$$

Als we daarentegen de stoom over slechts een deel, het eerste deel, van de zuigerslag toevoeren dan spreken we van een gedeeltelijke toelaat. In dat geval expandeert de stoom nadat de toelaat is gestopt en wordt er slechts een deel van de cilinderinhoud aan verse stoom verbruikt. Ook bij een gedeeltelijke toelaat wordt aan het einde van de slag de stoom naar een volgende cilinder of de condensor afgevoerd.
Laten we nu de stoom over slechts 25 % van de slag toe dan heeft de stoom een druk van P kg/cm² en zal expanderen naar een druk p kg/m² die even groot is als de tegendruk in het geval van de volle druk situatie. Ook de expanderende stoom, zij het in steeds mindere mate, zal de energie afgeven aan de zuiger. Met behulp van een indicateurdiagram kan worden aangetoond dat door deze expansie-machine dan een arbeid is verricht van 60 % van die van een voldruk-machine.
In formulevorm uitgedrukt:

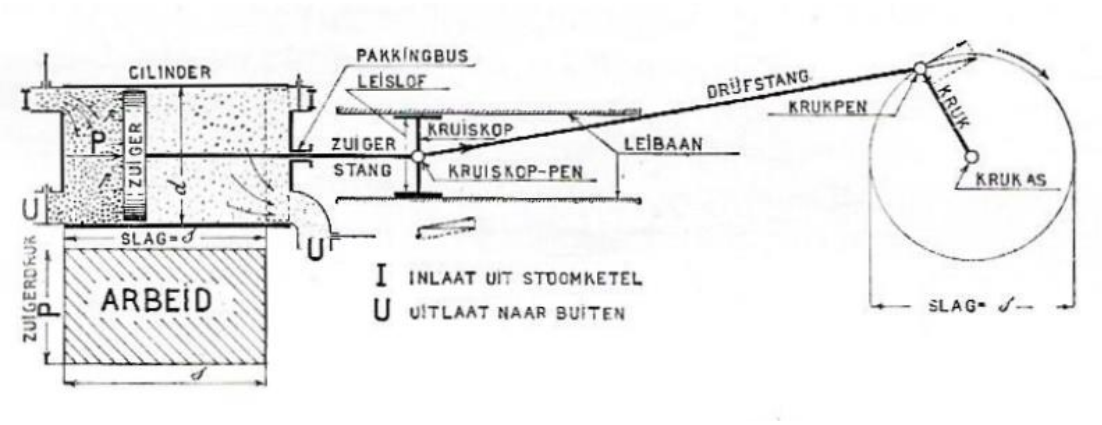
$$A = 0{,}6.\frac{\pi}{4}\ D^2\ (P - p)\ .\ S\ \ [\mathrm{kg.m}]$$

In dit voorbeeld van de expansiemachine hebben we slechts een vierde deel van de hoeveelheid stoom gebruikt ten opzichte van de voldrukmachine. Als we dezelfde hoeveelheid stoom naar de expansiemachine zouden voeren zal deze vier keer zoveel energie leveren.
In formule vorm uitgedrukt:

$$A = 4\ \mathrm{x}\ 0{,}6.\frac{\pi}{4}\ D^2\ (P - p)\ .\ S \quad \text{of} \quad A = 2{,}4.\frac{\pi}{4}\ D^2\ (P - p)\ .\ S\ \ [\mathrm{kg.m}]$$

Het koppel dat door een expansiemachine wordt ontwikkeld neemt tijdens de expansie steeds verder af. Bij een voldoende groot tegenwerkend koppel zal de machine dan stoppen. Dit is één van de redenen dat een expansiemachine altijd met een vliegwiel wordt uitgevoerd.
Volledruk stoommachines worden dan ook alleen toegepast waar een constant koppel over de volle slag van de zuiger wordt vereist zoals bij sommige ketelvoedingwaterpompen.

Bij de oorspronkelijk lage stoomdrukken bij stoommachines in het verleden, als gevolg van de constructieve beperkingen van de stoomketels, was expansie niet zo belangrijk. Stoom met een hogere stoomdruk maakte het mogelijk het al door James Watt (1736 – 1819) geopperde idee van expansie van de stoom praktisch toe te passen en de voordelen van een lager steenkoolverbruik op te strijken. Hogedruk-stoommachines werden voor het eerst in de praktijk gebracht door de vindingrijke Oliver Evans (1755 – 1819) in Noord Amerika en door een andere geniale uitvinder Richard Trevithick (1771 – 1833) in Engeland. Een minstens zo'n belangrijk ontwikkeling uit die tijd en waarmee ook op stookkosten kan worden bespaard is het zogenaamde compounderen. De expansie van de stoom vindt dan in meerdere stappen en in verschillende steeds groter wordende cilinders plaats.



Schematische voorstelling voldrukstoommachine

Bij de voldrukmachine wordt over de gehele slag stoom van keteldruk aangevoerd. Het energieniveau van de stoom bij het afvoeren is hoog. Meestal wordt deze energie voor verwarmingsdoeleinden gebruikt zoals het opwarmen van het ketelvoedingswater.

Schematische voorstelling expansiestoommachine

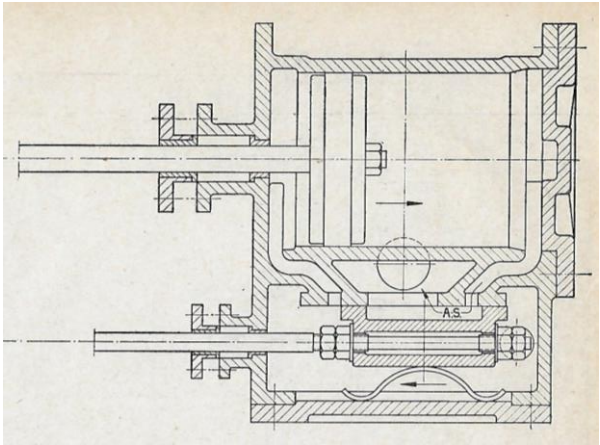
Bij de expansiemachine wordt slechts over een gedeelte van de slag stoom van keteldruk aangevoerd. Het overgrote deel van de energie in de stoom wordt als gevolg van de expansie, in de stoommachine omgezet in nuttige arbeid.

4.14.2 Begincondensatie en naverdamping meervoudige expansie

We zullen nagaan wat er gebeurt als bijvoorbeeld aan de dekselzijde van de cilinder van een expansiemachine stoom wordt toegelaten door middel van de stoomschuif.

De verse stoom van hoge temperatuur stroomt uit de schuifkast door de stoompoort naar de cilinderruimte achter de zuiger. De zuiger beweegt naar het deksel toe en, heeft zij een zekere afstand afgelegd, dan sluit de stoomschuif het toevoerkanaal en de stoom begint te expanderen in de cilinder. Tijdens deze expansie daalt zowel de druk als de temperatuur van de stoom. Is de zuiger ongeveer aan het einde van de slag gekomen dan opent de schuif de afvoerpoort en de afgewerkte stoom verlaat via dezelfde poort en langs de binnen- kant van de schuif de cilinder en wordt naar

buiten afgevoerd. Daarbij staan deze gedeelten van de cilinder en de stoompoort in verbinding met een ruimte waarin een betrekkelijk lage temperatuur heerst waardoor de wanden van de cilinder en de stoompoort eveneens sterk in temperatuur dalen. Wordt bij het begin van de volgende slag nu weer stoom toegevoerd aan A.S.-zijde, dan komt deze stoom direct in contact met deze veel koudere wanden van de stoompoort , de zuiger, de cilinderbodem en de cilinder. Het gevolg daarvan is dat een gedeelte van de toegevoerde stoom condenseert. Dit heeft plaats bij het begin van de zuigerslag, daarom spreekt men van begincondensatie, Naarmate de zuiger verder beweegt, komt een groter gedeelte van de cilinderwand met de verse stoom in aanraking. Dit wandgedeelte bevond zich even tevoren nog aan de deksel zijde van de zuiger waar op dat moment de afvoer met een veel lagere temperatuur plaats vindt.



Stoomcilinder en schuifkast

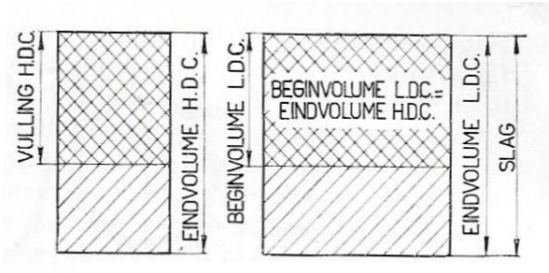
De condensatie wordt aanvankelijk dus steeds sterker en, omdat het condensaat een zeer klein volume heeft, zal de daardoor in de cilinder ontstane ruimte onmiddellijk worden aangevuld met verse stoom uit de schuifkast. De vulling van de cilinder zal bijgevolg een grotere stoomhoeveelheid vereisen dan men in verband met de cilinderafmetingen en de door de zuiger afgelegde weg geneigd zou zijn aan te nemen. De condensatie is vooral daarom zo sterk omdat de wanden onmiddellijk worden bedekt met een veel beter geleidend laagje water dat veel sneller de warmte opneemt dan stoom.

Is de toelaat beëindigt en dus de expansie begonnen, dan daalt de stoomdruk in de cilinder, waardoor het eerst op de wanden gevormde condensaat weer begint te verdampen. Dit verschijnsel noemen we naverdamping. Voor deze verdamping is veel warmte nodig die wordt onttrokken aan de cilinderwand , die daardoor weer in temperatuur daalt nadat ze eerst door de stoom was verwarmd. Deze verdamping is vooral sterk aan het einde van de slag dus als de afvoer begint en de cilinderruimte in verbinding staat met de condensor. De aldus gevormde damp wordt dus direct afgevoerd en zal dus geen nuttige arbeid leveren. Dientengevolge zal de tegendruk op de zuiger toenemen.

Het resultaat van de begincondensatie is dus dat het stoomverbruik van de machine groter wordt en dat door de na verdamping de wandtemperatuur wordt verlaagd en daardoor de ontwikkelde arbeid kleiner wordt.

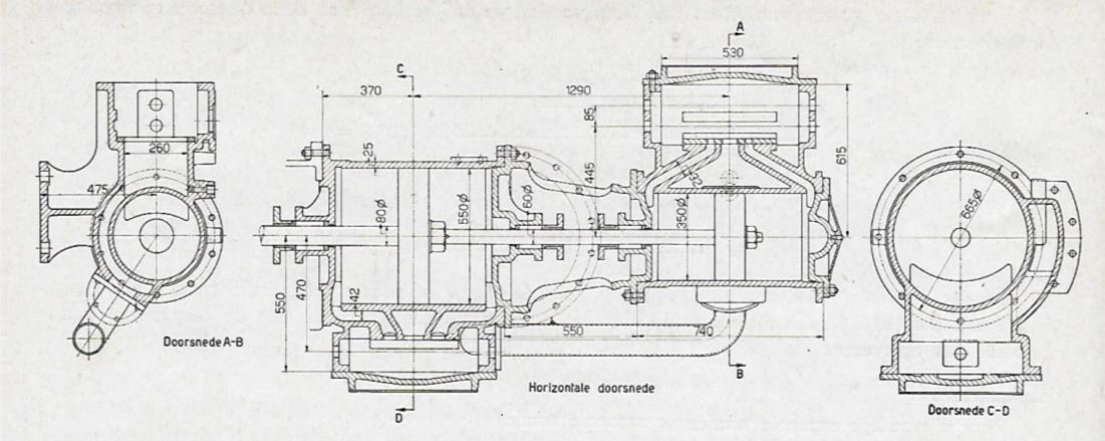
Beide verschijnselen geven dus een belangrijk verlies, een verlies dat des te groter zal zijn, naarmate de hoogste en laagste cilindertemperatuur tijdens het arbeidsproces meer van elkaar verschillen. Om deze reden kunnen we de expansie van de stoom in de cilinder niet te ver laten doorgaan, want dan worden de begincondensatie en de naverdamping zo sterk dat alle winst van de expansie weer verloren gaat. Men kan de condensatie in de cilinder verminderen door de cilinder te voorzien van een dubbele wand, mantel genoemd, en door in deze mantel verse stoom te laten

circuleren voordat deze in de schuifkast komt. De gemiddelde temperatuur van de cilinderwand wordt daardoor hoger en vindt er minder condensatie plaats. Deze mantel verwarming kost echter weer extra stoom, zodat de winst niet erg groot is.
Een beter resultaat bereikt men door de expansie van de stoom in meerdere trappen te laten plaatsvinden.
Men laat de stoom eerst expanderen in een eerste cilinder, de hogedrukcilinder (H.D.) genaamd. De vulling in deze H.D.-cilinder is, zoals onderstaande figuur laat zien, vrij groot bijvoorbeeld 60 %, waarna de stoom expandeert totdat het volume gelijk is geworden aan de totale inhoud van de H.D.-cilinder. Daarbij zijn zowel de spanning als de temperatuur gedaald. Leidt men nu de afgewerkte stoom uit de eerste cilinder naar een volgende, dan kan in deze tweede cilinder de expansie verder worden voortgezet en opnieuw energie aan de stoom worden onttrokken. De inhoud van de tweede cilinder, lagedrukcilinder (L.D.) genaamd, moet uiteraard groter zijn dan die van de H.D.-cilinder, want de volledige inhoud van de H.D. vormt de vulling van de L.D.



Schema van tweevoudige expansie

Deze stoomhoeveelheid moet zoals in de bijgaande figuur is aangegeven in de L.D.- cilinder verder expanderen. Ook in deze tweede cilinder dalen weer de druk en de temperatuur van de stoom. De afgewerkte stoom van de L.D. wordt tenslotte afgevoerd naar de condensor. Op deze wijze kan men het totale temperatuurverschil over twee afzonderlijke cilinders verdelen waardoor de schadelijke condensatie veel geringer zal zijn. Een werktuig zoals hier voor beschreven en hier onder afgebeeld noemt men een compoundmachine.



Doorsnedes tandem compound machine

Bij de hiervoor afgebeelde horizontale stoommachine zijn de H.D. en L.D.-cilinder op één zuigerstang geplaatst. De cilinders kan men ook naast elkaar plaatsen. De machine wordt dan korter maar complexer omdat er twee krukmechanismen nodig zijn.

Men kan de expansie ook in drie of als men niet opziet tegen een nog complexere machine te construeren zelfs in vier stappen laten plaatsvinden.

Cilinderverhouding bij meervoudige expansie

Door het totale temperatuurverschil bij expansie over meerdere cilinders te verdelen kan het verlies als gevolg van begincondensatie en na-verdamping worden beperkt. Aangegeven is dat daarbij de opvolgende cilinders een steeds grotere middellijn moeten hebben omdat het specifieke volume van de stoom bij elke trap groter wordt. De vraag is hoe groot moeten we de cilinderverhoudingen nemen. Kennen we de soort verse stoom dan weten we de druk en de daarbij behorende temperatuur. Hier nemen we aan dat dit verzadigde stoom is van 12 kg/cm2 (absoluut) en een temperatuur van 169,6 ºC. Wordt de stoom vervolgens naar een condensor afgevoerd dan mag men hiervoor een druk van 0,4 kg/cm² (absoluut) hanteren waarbij de temperatuur, 75,4 ºC, in de stoomtabel kan worden opgezocht. Uit deze gegevens kan zowel de temperatuurval als de drukval per trap worden afgeleid. Stellen we als tweede eis dat om constructie technische redenen en uniformiteit, de maximale zuiger- en de daaruit voortvloeiende drijfstangkrachten gelijk moeten zijn, dan kan men hieruit de gevraagde cilinderverhouding berekenen. We beschouwen een zogenoemde compoundmachine dus als een expansie in twee trappen.
Het totale temperatuurverschil is:

$$169{,}6 - 75{,}4 = 94{,}2 \ \ [°C]$$

Of per trap:

$$\frac{94{,}2}{2} = 47{,}1 \ \ [°C]$$

Daarmee wordt de stoomtemperatuur van de stoom in de L.D. stoomschuifkast;

$$169{,}6 - 47{,}1 = 122{,}5 \ \ [°C]$$

Deze temperatuur komt volgens de stoomtabel overeen met een druk van 2,2 kg/cm² .
Als nu D1 en D2 de diameters zijn van respectievelijk de H.D. en L.D. cilinder, dan kan bij gelijke drijfstangkracht de volgende betrekking worden opgesteld.

$$\frac{\pi}{4} D_1^2 (8 - 2{,}2) = \frac{\pi}{4} D_2^2 (2{,}2 - 0{,}4)$$

Of vereenvoudigd:

$$5{,}8 \, D_1^2 = 1{,}8 \, D_2^2$$

Dus:

$$\frac{D_1}{D_2} = \sqrt{\frac{5{,}8}{1{,}8}} = 1{,}8$$

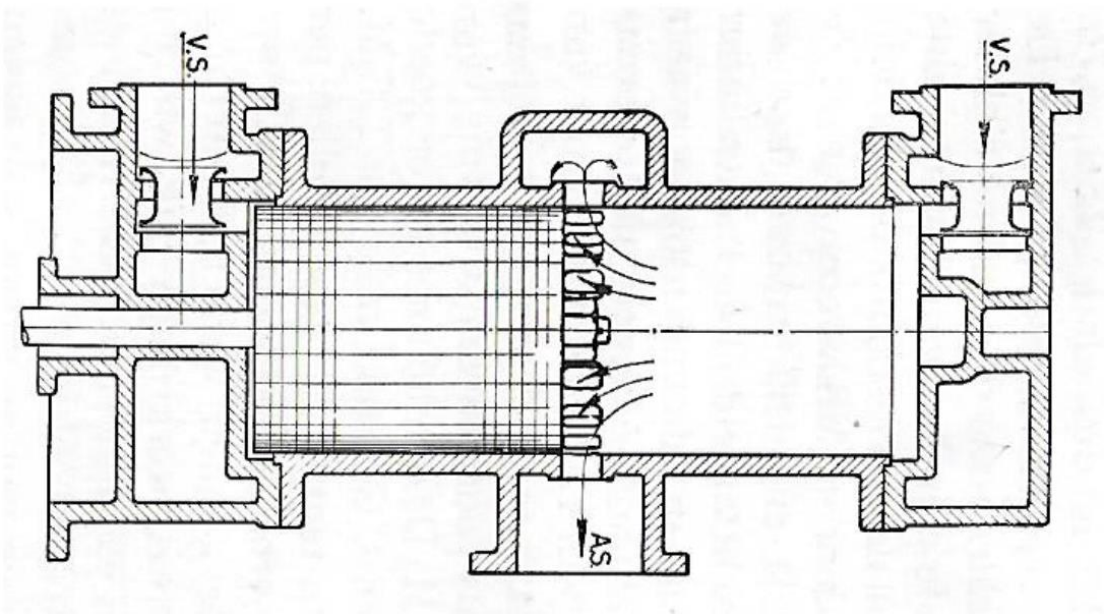
De zuigerdiameters verhouden zich als:

$$D_1 : \ D_2 = 1 : 1{,}8$$

De slagvolumes verhouden zich als:

$$D_1^2 : D_2^2 = 1^2 : 1{,}8^2 = 1 : 3{,}2$$

Bij de bovenstaande beschouwing is er steeds van uitgegaan dat de afgewerkte stoom aan dezelfde zijde van de cilinder wordt afgevoerd als ze is aangevoerd. Verlaten we dit principe en laten we de stoom toe aan één zijde van de cilinder en voeren we het af aan de andere zijde dan worden de temperatuurverschillen bij zowel de toevoer- als de afvoerzijde geringer, en treedt er minder begincondensatie en na-verdamping op. De afvoer bij een gelijkstroommachine vindt plaats via de in de cilinder aangebrachte poorten. Deze poorten zijn in de omtrek van de cilinder aangebracht en voeren de stoom van zowel de deksel als de as-zijde van de machine af. De zuiger die het moment van het openen en sluiten van de afvoer bepaalt heeft om die reden ongeveer de lengte van de slag. De toevoer vindt meestal plaats met kleppen of zogenoemde zuigerschuiven. Een groot aantal fabrikanten hebben machines geconstrueerd waarbij de toevoer en afvoer van de H.D.-cilinder volgens het wisselstroom en de L.D. -cilinder volgens het gelijkstroom principe is uitgevoerd.



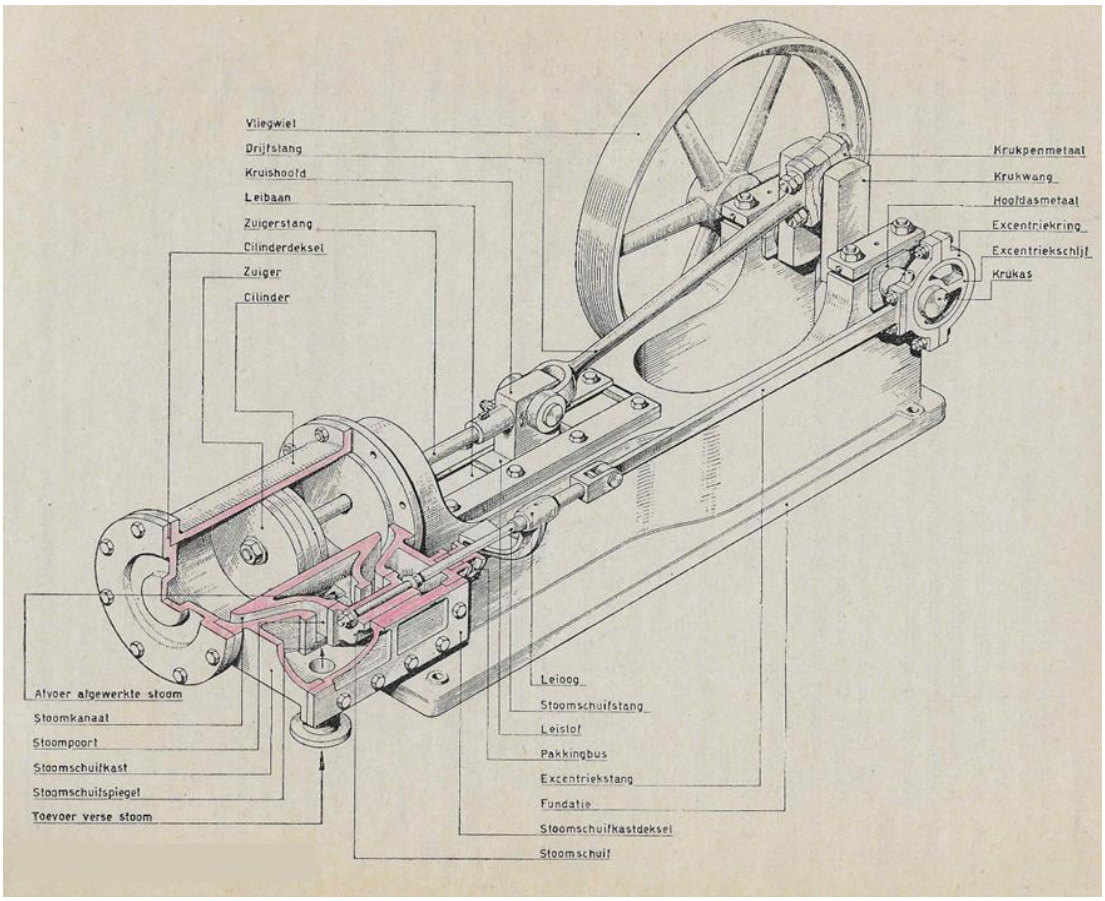
Gelijkstroommachine

4.14.3 Inrichting en werking zuigerstoommachine

In zijn meest elementaire vorm bestaat een stoommachine uit een cilinder waarin zich een zuiger bevindt die door middel van (stoom) druk (verschil) wordt bewogen.

Door fabrikanten van stoommachines is in de loop der tijd eindeloos gevarieerd op dit basisprincipe met het oogmerk de in de stoom aanwezige energie op een zo efficiënt mogelijke manier om te zetten in nuttige arbeid. Grote doorbraken hierin zijn geweest om de stoom buiten de stoomcilinder te laten condenseren en om slechts over een deel van de slag stoom toe te voeren. Deze vindingen moeten aan de Engelsman James Watt (1736-1819) uit Glasgow worden toegeschreven. James was instrumentmaker en kreeg in de winter van 1763-1764 een demonstratiemodel van de atmosferische stoommachine van Thomas Newcomen (1663-1729) ter reparatie aangeboden. Het viel hem op dat deze machine nogal kwistig met stoom omging als gevolg van het bij elke slag afkoelen van de cilinder om condensatie mogelijk te maken. Daarna diende de cilinder opnieuw tot een temperatuur van 100 °C gebracht te worden. Dit bracht hem op het idee om de condensatie buiten de cilinder in een aparte condensor te laten plaatsvinden.

Onderstaande tekening geeft de samenstellende onderdelen weer van een eenvoudige liggende zuigerstoommachine. Aan de hand van deze tekening zullen een aantal in de techniek gebruikelijke namen en de werking nader worden verklaard.



Liggende zuigerstoommachine

In de getekende stand wordt aan de linkerzijde van de zuiger, dat is de niet krukzijde (NKZ), stoom in de cilinder toegelaten. De rechterzijde, de krukzijde (KZ) is verbonden met de condensor. Bij een verticaal opgestelde stoommachine spreekt men in dit verband over topzijde(T) en bodem zijde (B). De stoom, die uit de stoomketel wordt toegevoerd, noemt men de verse stoom (VS) en de stoom die na het verrichten van arbeid de machine verlaat de afgewerkte stoom (AS). Door het drukverschil tussen de verse stoom en de afgewerkte stoom ontwikkelde kracht wordt de zuiger naar de kruk toe bewogen.
De weg, die de zuiger in de cilinder kan afleggen noemen we de slag van de machine. Heeft de zuiger het einde van de slag bereikt dan zorgt het stoomverdelingsmechanisme, in dit geval de zogenoemde bakschuif, ervoor dat nu de verse stoom aan de rechterkant wordt toegelaten , terwijl nu de linkerkant van de cilinder met de condensor in verbinding wordt gebracht. De zuiger wordt nu naar links bewogen. Na deze cyclus begint opnieuw de toelaat aan de linkerzijde van de zuiger waardoor hij een heen- en weergaande rechtlijnige beweging krijgt. Omdat de stoom aan beide zijden van de zuiger in de cilinder wordt toegelaten is de machine dubbelwerkend. Zuigerstoommachines zijn overigens op enkele uitzonderingen na, altijd dubbelwerkend.

Behoudens bij zuigerpompgemalen moet de in de stoommachine ontwikkelde arbeid worden afgegeven aan een draaiende as, vandaar dat de heen- en weergaande beweging van de zuiger met behulp van een kruk-drijfstangmechanisme wordt omgezet in een draaiende beweging. Daartoe is het uiteinde van de zuigerstang, scharnierend bevestigd met de drijfstang. Het andere eind van de drijfstang grijpt om de krukpen van de kruk.
Het scharnier dat gevormd wordt door de zuigerstang en de drijfstang noemen we het kruishoofd. Om er voor te zorgen dat het kruishoofd zich volgens de hartlijn van de zuigerstang beweegt en om de dwarskrachten op te vangen is dit voorzien van een of twee leisloffen en een leibaan. Deze leibaan is onderdeel van de machinefundatie.
De in kussenblokken (robuust uitgevoerde glijlagers) opgelegde hoofdas van de machine noemen we de krukas. In het voorbeeld is een aan twee zijden gelagerde krukas te zien. Soms wordt hiervan afgeweken en past men een zogenoemde overhangende kruk toe. De krukas heeft dan maar één wang waarin de krukpen is bevestigd en niet zelden ook een hoofdlager dat tussen de halve kruk en het vliegwiel is bevestigd.
Voor een regelmatige gang van de machine maar in sommige gevallen, bijvoorbeeld om een enkelwerkende stoommachine te kunnen starten, wordt een vliegwiel aangebracht. Het vliegwiel doet in bepaalde situaties tevens dienst als riemschijf.
De stoomverdeling van de stoommachine in het voorbeeld is ondergebracht in een speciale aangegoten kast. In deze kast bevindt zich de stoomschuif die er voor zorgt dat steeds op het juiste moment de stoompoorten naar de cilinder worden geopend dan wel afgesloten. De stoomschuif, een zogenoemde bakschuif, wordt met behulp van een excentriek op de krukas, een excentriekstang en een schuifstang aangedreven. De stoomverdeling kan, afhankelijk van de fabrikant en het ontwikkelingsstadium van de stoommachine, ook met behulp van kleppen, zuigerschuiven of zogenoemde bosschuiven plaats vinden.