

DE STOOMTURBINE VAN DE LAVAL EN DE HOOGEDRUK STOOMKETEL.

DOOR

A. VOSMAER.

Af en toe wordt de technische wereld verrast door mededeelingen uit de praktijk, zóo geheel in strijd met het als regel aangenomene of als maximum beschouwde, dat het in den aanvang dikwijls moeilijk is geloof te hechten aan zoo'n bericht.

Zoo was het voor eenige jaren, toen wij hoorden van een stoomturbine, welks as niet minder dan 30.000 revoluties per minuut maakte.

De grootste snelheden die men in de techniek bereikt had, waren die van de spullen der spinmachines; aanvankelijk 3000, stegen deze vrij spoedig daarop tot 5000 of 6000 revoluties per minuut; dat was al een zeer hoog bedrag, waarbij dan buitendien nog moest in aanmerking worden genomen, dat die spullen eigenlijk heel weinig arbeid deden en heel dun waren, zoodat de omtrek-snelheid gering bleef; en ten slotte is het dan toch de lineaire snelheid aan den omtrek die maatgevend is.

Toen het nog in den tijd was dat de dynamo-electrische machines slechts gemaakt waren voor zeer groote ankersnelheden en men dus, om niet te vervallen in sterke overbrengingen van groote op kleine riemschijven, de motoren ook zooveel sneller moest laten loopen, kwam er al vrij spoedig een streven bij de machinefabrikanten om zeer snel loopende machines te gaan bouwen.

Vergelijk eens de lompe balansmachines, die nog dikwijls in oudere

waterleidinginstallaties worden aangetroffen, bijv. in den Haag, met de bekende Westinghousemachine, die 300 à 400 slagen per minuut maakt, of met andere snelloopers, dan ziet men dadelijk de voordeelen van de snelloopers, (om andere redenen kunnen deze niet worden toegepast voor wateropvoer).

In alle richtingen der techniek ziet men meer en meer de snelheid van de bewegende deelen opgevoerd worden; waar men vroeger aan drijfassen een snelheid van ongeveer 100 rev. min. gaf, is dit bedrag zoo langzamerhand nu opgevoerd tot 300 à 400, voornamelijk na het initiatief der Amerikanen.

Tal van zeer goede snelloopende stoommachines zijn thans op de markt gebracht; wij noemen bijv. de Westinghouse, de Willans, de Carels, de Rayworth; wij waren dus al lang voorbereid op groote snelheid; maar niemand was zoo ver durven gaan als de Laval.

Het spreekt wel van zelf dat waar vroeger de vliegwiel der machines ook zoo groot waren, nu met de snelloopers deze veel kleiner konden doch ook moesten zijn, om toch evenveel levende kracht op te zamelen.

Zoolang vliegwiel vervaardigd werden van gietijzer mocht een omtreksnelheid van 1200 Meter niet overschreden worden; nu met het betere gietijzer gaat men al tot een grens van 1800 Meter; maar het is in Amerika lang geen zeldzaamheid dat zoo'n wiel uit elkaar vliegt, hoewel theoretisch bij goed ijzer het wiel dit pas doen mag als de snelheid bedraagt 4000 Meter per minuut.

Van daar dan ook een streven om de groote vliegwiel niet meer te maken van gietijzer doch te construeeren van staalplaat.

Indien dan nog buitendien gebruik gemaakt wordt van de buitengewoon groote sterkte van staaldraad, dan kan de snelheid worden opgevoerd tot 4500 Meter zonder het minste gevaar van breuk.

Groot was dus de verbazing en ook wel het ongeloof, toen het bericht kwam dat DE LAVAL roteerende stoommachines construeerde, waarbij de omtreksnelheid bedroeg meer dan 24.000 Meter per minuut, de as makende 30.000 revoluties.

Een dergelijk ongehoord hoog cijfer wekte alom eerst twijfel, daarna eerbied voor den persoon die zulk een resultaat had kunnen verkrijgen.

Het spreekt wel van zelf dat een heen en weer gaande beweging, zooals bijv. de bekende stoomzuiger, ten eenemale ongeschikt is voor een dergelijke snelheid; wij spreken hier natuurlijk niet van vibratoren,

die nog veel sneller gaan, doch van motoren, waarbij uit den aard der zaak groote massa's in beweging zijn.

TESLA's vibrators, ingericht overeenkomstig met steenboren, bewegen inderdaad zeer snel, n.l. 5.000 maal per minuut heen en weer, doch zij zoowel als de boren zijn toch nog steeds zeer klein in vergelijking met werkelijke motoren.

Het denkbeeld om de heen en weer gaande beweging van den zuiger eener stoommachine, die dan door de machine zelve dadelijk toch weer veranderd wordt in een roteerende van het vliegwiel, te vervangen door een onmiddellijk roteerende, is bij vele constructeurs opgekomen en ook tal van patenten zijn daarvoor aangevraagd; overleefd in den strijd om het bestaan heeft echter alleen de turbine van PARSON, die een zekere vermaardheid heeft, vooral na hare toepassing als scheepsmachine op de bekende *Turbinia*, de snelst loopende boot.

VAN PARSON's vroegere turbinemotoren maakte de as 10.000 rev. min.; later heeft hij dat cijfer verminderd tot ongeveer 5.000.

Ware niet DE LAVAL gekomen met zijn prachtige constructie van stoomturbine, dan zou zeer zeker PARSON's uitvinding veel meer toepassing gevonden hebben, nu het voor elektrische centraalstations, meestal midden in de stad is gelegen, van zoo groot belang is om machines te hebben die niet door hevig trillen overlast aan belendende perceelen te veroorzaken. (Niet lang geleden werd in Londen van overheidswege aan een centraal station gelast of het bedrijf te staken of de machines te vervangen door trillingsvrije machines; daar koos men toen de Parson's turbine).

Waar dus behalve de genoemde PARSON's stoomturbine, niettegenstaande het groote belang van het beginsel, geen enkele andere roteerende stoommachine er in geslaagd is zich baan te breken, daar heeft in zeer korten tijd de Laval-turbine verbazend veel opgang gemaakt en het is daarom dat wij meenden dat een beschrijving van deze hoogst interessante machine niet onnut zou zijn.

Allereerst dient te worden opgemerkt dat het niet de stoomdruk is die het schoepenrad in beweging brengt doch de stoomsnelheid; dat is eigenlijk het groote beginsel; daardoor wordt de geheele constructie beheerscht. De stoom treft de schoepen niet dan nadat hij volledig geëxpandeerd is; maar vandaar dan ook het groote belang van die enorme omtreksnelheid, daar de geëxpandeerde stoom bij het treffen van de schoepen een snelheid bezit van bijv. 70.000 Meter per min. en het in den stoom opgehoopte arbeidsvermogen het

voordeeligst gebruikt wordt, wanneer de snelheid van de schoepen ongeveer de helft bedraagt van die van den stoom, een cijfer dat echter voorloopig nog wel niet bereikt worden zal, al is men er reeds dicht bij.

Wanneer wij dus het genoemde beginsel in het oog houden, dan is de toepassing daarvan gemakkelijk te begrijpen, ook zonder afbeeldingen.

Gegeven zij dus droge stoom van uit een stoomketel van zegge 10 atmosfeer overdruk; laat dan deze zich volledig uitzetten in buizen van konischen vorm, zoogenaamde straalbuizen; aan de wijdere monding der straalbuis bevindt zich het schoepenrad; dit zal natuurlijk trachten zich met dezelfde snelheid als de stoom voort te bewegen, maar wordt daarin belemmerd omdat het tevens arbeid moet verrichten.

De snelheid van de turbine-as waarop genoemd schoepenrad bevestigd is, bedraagt bij de kleinere machines 30.000 rev. min. en wordt door een rondsel en een tandrad direkt gereduceerd tot op een tiende. De werkas maakt dus slechts 3000 rev. min.

Waar dus de geheele machine uit niets anders bestaat dan een klein schoepenrad, ook wel turbineschijf genoemd (voor een 5 paardekracht machine slechts 11 c.m. in diam.), met daar schuin tegenaan geplaatst een of meerdere stoomtoevoerbuizen; verder uit een op de as van genoemde schijf geplaatst rondsel en een hierin grijpend tandrad, daar is het niet te verwonderen dat het geheel allerzonderlingst klein is; een 5 P. K. machine is zoowat evengroot als een kleine gasmeter, en weegt 350 KG.

Zoo'n machine loopt absoluut trillingsvrij, behoeft geen fundeering en kan met behulp van een paar houtschroeven op een gewone werkbank vastgezet worden.

Dat naar evenredigheid een turbine van 100 of 300 paardekracht ook zeer klein is spreekt van zelf; de groote machines verschillen in niets van de kleine; alleen hebben zij een paar stoombuizen meer, en loopen met minder revoluties per minuut n.l. slechts 20.000.

Twee factoren zijn nu nog van groot belang; n.l. groote aanvangstemperatuur van den stoom en kleine eindtemperatuur, aangezien het door den stoom ontwikkelde arbeidsvermogen direct evenredig is aan het temperatuursverschil tusschen den in en uittredenden stoom.

Van daar eenerzijds het groote belang van condensatie van den stoom; daardoor wordt de einddruk b.v. een tiende atmosfeer; maar dan blijkt ook anderzijds het voordeel van het gebruik van stoom van hooge spanning, en de man die niet schroomde om omtrek-

snelheden van 24.000 meter per minuut toe te passen, schroomde dan ook niet om de stoomspanning van de gebruikelijke 10 à 12 atmosferen op te voeren tot 50, ja 100 en als max. 225 atmosfeer; over DE LAVAL's hoogedruk stoomketel zullen wij straks nog een paar bijzonderheden geven en laten het hier dus bij de bloote vermelding.

De stoomtoevoerbuis levert op zich zelf niets bijzonders; het is een zwak konische buis, welks verwijding aan de monding berekend moet zijn op het verschil van druk; als bijv. de stoomspanning bij de intree bedraagt 8 atm., de machine met condensatie werkt, en in den condensor een vacuum van 68 c.m. heerscht, dan moet de doorsnee aan de monding ongeveer tienmaal grooter zijn dan aan de intree; de stoomsnelheid is dan het boven vermelde bedrag van ruim 70.000 M. per min.

Bijzonder interessant uit een technisch oogpunt is de constructie van het schoepenrad; maar deze laat zich zeer moeilijk zonder goede afbeelding beschrijven; in het eerst werden de afzonderlijke kleine schoepjes, radiaal gevat tusschen twee stalen schijven, aan den omtrek gesloten door een omgekrompen ring; doch daar deze nog wel eens uit elkaar vloog, is deze constructie vervangen door een veel betere; de schoepjes zijn nu namelijk aan den rand haaks omgebogen zoodat elk een straal van den cirkel vormt met een stukje omtrek.

De as, of liever gezegd het asje, want het is maar heel dun, is vervaardigd van zeer goed staal, is zeer dun en zeer lang; daardoor is het mogelijk dat bij de ontzettende snelheid van ronddraaiing het geheel zoo zuiver loopt; de as centreert namelijk onder het loopen zich zelf, d. w. z. als de as loopt komt het zwaartepunt in de meetkunstige as.

Iets dergelijks ziet men bij tollen; zoolang ze zeer snel draaien schijnen zij stil te staan, doch als de snelheid onder een zeker bedrag komt gaan ze slingeren. Een zeer groote snelheid is daarvoor zelfs niet noodig; bij een maalmachine, die 3000 slagen in de minuut deed, heb ik altijd hetzelfde verschijnsel waargenomen; in den aanvang sterke trilling, doch bij normale snelheid volkomen rustigen gang.

Voor een 5 P.K. turbine is de dikte van het asje slechts 4 m.M. terwijl bijv. bij gewone snelheid van een drijf-as deze voor 5 P.K. al gauw een 30 m.M. genomen wordt. Zoo'n dun en buigbaar asje is voor deze turbines een hoofdvereischte, daar geen mechanische afwerking zoo zuiver kan zijn dat bij die snelheid trillingvrij loopen

zou kunnen bereikt worden; doch nu centreert zich de as van zelf en volkomen.

Het op deze as zittende rondsel, dat in een rad met tienmaal meer tanden grijpt en dus de snelheid reduceert tot op een tiende, is met het rad een prachtstuk van mechanischen arbeid; de afwerking der tanden van het stalen rondsel en het bronzen rad is tot op een duizendste millimeter nauwkeurig en de vervaardiging daarvan vereischt dan ook de allerbeste speciaal freesbanken; deze wisselraderen loopen in de olie, en zijn uit den aard der zaak dubbelkonische raderen.

Wat nu verder aangaat het geheel als stoommachine, levert het nog zeer belangrijke voordeelen op boven de bestaande; in de eerste plaats den bijna volkomen gelijkmatigen gang; doode punten zijn er niet en hoewel de massa van de bewegende deelen klein is, staat daar tegenover een enorme snelheid; deze wisselt tusschen volbelasting en leegloopen niet meer dan 0,75 pct., de geheele machine is ingepakt, vrij van stof en vereischt geen andere zorg dan olie in de smeerpotten te doen.

Nadeelen zijn slechts de nog te groote snelheid van 3000 rev. van de riemschijf, zoodat deze in de meeste gevallen nog eens moet worden verminderd, en het betrekkelijk groote stoomverbruik van de kleine motoren.

Nu is het stoomverbruik per paardekracht per uur voor een fabrikant een van de voornaamste factoren; maar gelukkig is de LAVAL er in geslaagd door toepassing van grooten stoomdruk het stoomverbruik belangrijk te reduceeren, zoodat nu de groote machines, mits werkende met condensatie, niet alleen kunnen wedijveren met de bestaande motoren, doch zelfs weldra beter zullen zijn.

Dat ook zonder toepassing van hoogedruk stoom de voordeelen wel opwegen tegen dit nadeel, mag worden afgeleid uit het zeer groote aantal turbines in zeer korten tijd vervaardigd in verschillende landen, aanvankelijk van klein vermogen doch in den lateren tijd veel meer van 100 P.K. en hooger, tot 300 P.K.

Indien de berichten omtrent het geringe stoomverbruik bij aanwending van hoogedruk stoom ook bij toepassing op groote schaal zullen bevestigd worden, en dat zal niet lang meer duren, dan gaat de stoomturbine van de Laval een schitterende toekomst tegemoet.

Nog een enkel woord over de reeds meermalen genoemde hoogedruk ketel van DE LAVAL tot besluit.

Er zijn twee middelen om het economisch rendement van een stoom-

machine te verhoogen, n.l. vergrooting der snelheid en verhooging van stoomdrukking.

Over het eerste hebben wij gesproken, maar het tweede middel brengt voor een gewone machine onoverkomelijke bezwaren met zich; bij verhoogden stoomdruk neemt ook de temperatuur van den stoom toe en bij zoo'n hooge temperatuur is het zeer moeilijk alle verbindingen stoomdicht te krijgen, aangezien geen pakking daar tegen bestand is; vooral geldt dit bezwaar voor de pakking-bussen der zuiger- en schuifstangen.

Deze moeilijkheid, waarop tot heden de toepassing van stoom van hooge spanning stuitte, doet zich niet voor bij de turbine, aangezien hier geen pakkingen voorkomen. Eenmaal dus de wenschelijkheid en mogelijkheid van hoogen stoomdruk aangenomen zijnde, was het voor iemand als DE LAVAL geen moeite om een ketel te construeeren die daartegen bestand was.

Het beginsel van zijn ketel komt eenigszins overeen met dat van den meer bekenden ketel van SERPOLET. Hij bestaat n.l. uit een dikwandige buis met nauwe opening; de waterruimte van den ketel is daardoor tot een minimum beperkt en de stoomvorming geschiedt oogenblikkelijk zoodra er water in die nauwe ruimte komt.

Een pomp perst het water er in en de zich direkt vormende stoom ontwijkt naar de turbine; voorraad stoom is er dus niet en de voeding van den ketel moet geheel automatisch geschieden in verband met den te verrichten arbeid; maar dan volgt hieruit ook dat de stoking eveneens geheel automatisch geschieden moet; want als er minder arbeid te verrichten valt dan is er minder stoom noodig, en als er minder stoom noodig is moet er ook minder gestookt worden.

Op welke wijze de geheele bediening van den ketel en wat daarbij behoort automatisch geschiedt, is zonder figuren niet te verklaren; genoeg zij het te vermelden, dat op de fabriek van DE LAVAL sedert twee jaar met hoogedruk ketels gewerkt wordt en op de afgeloopen tentoonstelling te Stokholm zes turbine-inrichtingen met hoogedruk onafgebroken gewerkt hebben; het gezamenlijk vermogen dier turbines bedroeg 500 P.K.

Om een voorstelling te kunnen vormen van eenige details mogen de volgende cijfers dienen. De ketel is gemaakt van stalenbuis, getrokken zonder naad, (het bekende Mannesmannrohr bleek hier minder goed te voldoen); deze buizen hebben 3,5 m.M. wanddikte en een inwendigen diameter van 20 m.M.; de totale buislangte bedraagt 470 Meter, de

stoomdrukking 200 atmosfeer, (bij deze spanning is de temperatuur 300° C.) en het stoomverbruik per effectief P.K. uur 7,1 KG.; genoemd cijfer heeft betrekking op een machine van 100 P.K.; bij een machine van 300 P.K. zou het 5.1 KG. bedragen per eff. P.K., een zeer gunstig cijfer, nog nimmer door eenige andere stoommachine bereikt; men houdt zich overtuigd dat zelfs dat cijfer nog verlaagd zal worden tot 3,5 KG. en als dat waar blijkt zou een nieuw tijdperk van stoomproductie aanvangen; want het is hopeloos iets dergelijks te verwachten van de machines van gewone constructie.

Om een denkbeeld te geven van het groote belang van gering stoomverbruik is het slechts noodig er op te wijzen dat één K.G. stoomverbruik meer op de 300 P.K. beteekent 300 K.G. stoom per uur meer, of bij dag- en nachtwerk $300 \times 8760 =$ ruim twee en een half miljoen K.G. per jaar; op zijn gunstigst genomen overeenkomende met 250 ton steenkool, wat nog al een belangrijk bedrag is.

Een ander, maar niet minder sprekend, bewijs van het belang van gering stoomverbruik is bijv., dat indertijd de gemeente Rotterdam bij de aanbesteding van machines voor de waterleiding bepaalde, dat voor elk K.G. stoom dat meer zou verbruikt worden dan gegarandeerd was een boete van *f* 40,000 zou worden geheven!

Premie op lager stoomverbruik, zooals in Amerika altijd tegenover boete staat, werd niet verleend.

De Mij. voor Scheeps- en Werktuigbouw »Fijenoord» maakte de machines en behaalde een schitterend succes; het stoomverbruik was 16,5 pct. lager dan gegarandeerd was en bedroeg 5,63 K.G. per indicator P.K. uur.

Voor zoover mij bekend is worden DE LAVAL's hoogedrukketels nog niet in den handel gebracht, omdat de fabrikant van het zoo juiste beginsel uitgaat, dat zijn systeem eerst dan de wereld in mag, indien het nabij het volmaakte is; het is echter zeer waarschijnlijk dat de fabriek dat stadium zeer spoedig bereikt zal hebben; het is niet alleen in het algemeen gesproken van zooveel waarde voor de techniek, dat dit systeem kant en klaar zal zijn afgewerkt, maar speciaal ook met het oog op de electrotechniek, met name elektrische verlichting en krachtsoverbrenging; want ook deze hangen zeer nauw samen met de kwestie: »hoeveel kost de paardekracht aan brandstof».

Moge die eenheidsprijs spoedig tot een zoodanig bedrag vallen dat gasverlichting tot het verledene gaat behooren.

Haarlem.