(RDM-collectie Johan Journée)

(Via Harry G. Hogeboom, Canada, www.kombuispraat.com)

DE STOOMTURBINE

LEERBOEK TEN DIENSTE VAN SCHOLEN
VOOR SCHEEPSWERKTUIGKUNDIGEN

DOOR

W. MORÉE

HOOFDOFFICIER MARINE-STOOMVAART-DIENST B.D.

ZESDE HERZIENE DRUK

27500

DE TECHNISCHE UITGEVERIJ H. STAM N.V.
CULEMBORG/HAARLEM - ANTWERPEN - KEULEN

III. Parsonsturbines S.S. „Nieuw-Amsterdam".

In fig. 118 zijn op $\frac{1}{32}$ van de ware grootte de BB-turbines afgebeeld op de „Nieuw-Amsterdam" van de H.A.L. De installatie is al dozijnen jaren in bedrijf en naar tegenwoordige begrippen wel wat verouderd en ingewikkeld, maar zij kan nog altijd gelden als een voorbeeld van een goede, grote scheepsturbine. De stoomdruk vóór de turbines bedraagt hier 35 ata, de stoomtemperatuur 390°C, normale waarden dus ook voor een moderne installatie. Het schip heeft twee schroeven, die 130 omw/min maken bij het volle vermogen van 17000 pk elk.

De gehele voortstuwingsinstallatie bestaat uit twee naast elkaar opgestelde volledige stellen parsonsturbines, één stel voor SB- en één voor BB-as, die elkaars spiegelbeeld zijn. Ieder stel wordt gevormd, zoals fig. 118 toont, door vier stuks turbines, hier genoemd de voorschakel (VS)-turbine, de hogedruk (HD)-, de middelbare druk (MD)- en de lage druk (LD)-turbine. Men spreekt hier van de VS-turbine, omdat zij met een afzonderlijke tandwieloverbrenging van 2,25 : 1 op de MD-turbine is geschakeld.

De verse stoom wordt toegevoerd in de VS-turbine en expandeert hierin van 35 op 17,5 ata. Van hier gaat de stoom naar de HD-turbine, waarin zijn spanning afneemt tot 4 ata. Vervolgens komt de stoom in de MD-turbine en neemt in druk af tot 1,6 ata. Tenslotte gaat de stoom naar de LD-turbine, waarin hij de condensorspanning van 0,04 ata, dat is een ijdel van 96%, bereikt bij niet te hoge temperatuur van het zeewater. De snelheden bij volle kracht van VS-, HD-, MD- en LD-turbine zijn achtereenvolgens 3600, 1600, 1600 en 1250 omw/min, dus belangrijk minder dan bij beide voorgaande installaties. Daarbij ontwikkelen deze turbines een vermogen van 3450, 5350, 2150 en 6050 apk, totaal 17000 apk per stel.

Uit de figuur blijkt, dat nergens in het vooruit-gedeelte van de turbine een curtiswiel is voorgeschakeld, we treffen hier uitsluitend reactieschoepen aan. De HD-achteruitturbine wordt gevormd door een drietraps curtiswiel, ondergebracht in het MD-huis. Het LD-gedeelte voor achteruit bevindt zich in de LD-turbine. Het bestaat hier uit een tweetraps curtiswiel, gevolgd door 10 reactietrappen. In totaal kunnen beide stellen turbines voor achteruit een vermogen van 22000 pk ontwikkelen, dat is $^2/_3$ van het vermogen voor vooruit. Ieder stel turbines heeft zijn eigen condensor, die dwarsscheeps onder de LD-turbine is geplaatst. We merken in de figuur nog verschillende bijzonderheden op:

VS-turbine. De rotor is massief en draagt drie groepen schoepen van verschillende lengte. Elke groep bestaat weer uit acht trappen, dat zijn acht stel leischoepen en acht stel loopschoepen, zodat deze gehele turbine 24 trappen bevat. De schoepen hebben eindafsluiting volgens de methode van parsons (zie fig. 88). Daar de stoomdruk hoog is, heeft het turbinehuis een dikke wand en zijn de horizontale flenzen met de verbindingsbouten zwaar uitgevoerd. We zien, dat van ieder boutgat een gleuf loopt naar de omtrek van de flens. Deze gleuf voorkomt trekken van de flenzen onder invloed van de grote warmtespanningen. Bij het hier heersende grote drukverschil van 17,5 ata, heeft men de aslabyrinten uit vier afdelingen doen bestaan, zodat er drie ringvormige kamers aanwezig zijn. De binnenste van deze kamers staat in verbinding met de toevoerzijde van de MD-turbine, zodat daar bij vol vermogen een druk heerst van 4 ata. De van binnen naar hier doorlekkende stoom verricht dus nog arbeid in de MD-turbine. De middelste kamer van het labyrint staat in verbinding met een plaats in het midden van de LD-turbine, waar een zeker ijdel bestaat. De buitenste kamer is verbonden met een stoomvat, waarin een kleine overdruk wordt onderhouden. De hoeveelheid stoom, die werkelijk naar buiten weglekt, is dus zeer gering. Het voorste aseinde heeft een stelblok met een inrichting om de rotor tijdens het bedrijf zo te verplaatsen, dat de lekspleet van de schoepen zo klein mogelijk wordt.

HD-turbine. Van deze turbine hebben we in fig. 75 reeds een afzonderlijke afbeelding gegeven en daarbij zijn ook haar voornaamste kenmerken genoemd. Hier vermelden we alleen enkele bijzonderheden, die nog niet zijn besproken. De turbine heeft totaal 52 trappen, verdeeld over vijf groepen van even lange schoepen. Alle schoepen zijn weer uitgevoerd met topafsluiting, zodat het kraagblok aan de voorkant van de rotor verstelbaar is. De schoepen uit de laatste twee groepen zijn voorzien van steundraden. Het achterste aseinde van de rotor is met een losse koppeling met de rondselas verbonden. De aslabyrinten bestaan uit drie afdelingen en bevatten daarom twee rondgaande kanalen, waarin de stoomdruk op verschillende hoogte wordt gehouden, om de lekkage van stoom naar buiten tot een minimum te beperken. We zien, hoe de verbindingsflens van de beide helften van het turbinehuis geheel rondom de turbine doorloopt en hoe dit scheidingsvlak zich ook nog uitstrekt

over de beide turbinestoelen, die als afzonderlijke aanhangsels aan voor- en achterzijde tegen het huis zijn bevestigd. De geruimde gaten in de flenzen zijn voorzien van een arcering. Dat is dus met ongeveer een derde gedeelte het geval. Ook hier is de stoomdruk nog hoog, zodat flenzen en bouten van zware constructie zijn.

MD-turbine. Deze heeft slechts weinig trappen, nl. drie groepen van zes. Het vermogen van deze turbine is trouwens ook veel minder dan dat van de andere turbines. Ook hier hebben de schoepen eindafsluiting, zodat de rotor weer kan worden verplaatst door middel van het verstelbare kraagblok aan de voorkant. De tweede en derde groep schoepen hebben in het midden een steundraad. Het voorste aseinde is door een enkele klauwkoppeling verbonden aan de as van het grote tandwiel van de VS-turbine, het achterste aseinde met een dubbele klauwkoppeling aan het MD-rondsel. In het turbinehuis is, zoals we reeds zeiden, ook het HD-gedeelte van de achteruitturbine opgenomen. We zien, dat dit drietraps curtiswiel in een afzonderlijke ruimte draait. Deze ruimte is door een schot van het vooruit-gedeelte gescheiden. Bij vooruit varen heerst in de loopwielruimte van het achteruit-gedeelte het ijdel van de condensor. Daarom is op de plaats, waar de rotor door het schot gaat, een lang labyrint aangebracht. Het curtiswiel is voorzien van openingen, om het ontstaan van verschil tussen de druk aan voor- en achterkant te voorkomen. De horizontale flens van het turbinehuis en de bouten zijn heel veel lichter gemaakt dan bij de VS- en HD-turbine, omdat de stoomdruk niet hoog meer is. Ook hier passen de bouten van de flenzen om de drie zuiver in geruimde gaten.

LD-turbine. De rotor van deze turbine is niet massief, omdat hij dan te zwaar zou worden. Ook is de rotor niet hol gemaakt, maar uit schijven opgebouwd. De buitendiameter is 1625 mm, zodat voor vol vermogen, waarbij $n = 1250$ omw/min, de omtrekssnelheid is:

$$u = \frac{\pi \,.\, 1{,}625 \,.\, 1250}{60} = 106 \text{ m/sec.}$$

Bij snelheden boven 125 m/sec worden de spanningen in de wand van een holle rotor te groot, zoals we vroeger hebben gezegd en dan wordt een schijvenrotor genomen, die reeds afzonderlijk in fig. 77 is afgebeeld. Bij de keuze van een schijvenrotor is men dus hier aan de veilige kant gebleven. Het vooruitgedeelte van deze turbine heeft in totaal 21 trappen, weer verdeeld in groepen met gelijke schoeplengte. De schoepen hebben geen eindafsluiting, zodat het kraagblok niet verstelbaar behoeft te zijn. We zien uit de figuur, dat alle schoepen voorbij de tweede groep zijn voorzien van steundraden; van de vijfde groep af hebben ze zelfs twee rijen steundraden, één nabij de omtrek en één in het midden. De aslabyrinten behoeven hier slechts af te sluiten tegen atmosferische druk, daar aan de binnenkant het ijdel van de condensor staat. Daarom is het labyrint maar van één rondgaande kamer voorzien, waarin versperstoom wordt toegelaten. In het LD-turbinehuis is ook de LD-turbine voor achteruit

ondergebracht. Zij bestaat uit een tweetraps curtiswiel en daarachter een aantal reactietrappen. Op het curtiswiel is de evenwichtszuiger voor het achteruit-parsonsgedeelte bevestigd. De afvoerruimte van de turbine, dat is dus het gedeelte tussen vooruit- en achteruitschoepen in, heeft grote vlakke wanden. Deze zijn dan ook gesteund door een raamwerk van stangen.

Het is van belang, deze installatie nog even te vergelijken met die van het S.S. „Rotterdam" van de H.A.L., in de vaart gekomen in 1959, dat is 21 jaar later dan de „Nw. Amsterdam". Het zijn beide dubbelschroefschepen met een volledig stel turbines op elke as. Een stel turbines bij de „Rotterdam" bestaat uit een HD-, een MD- en een LD-parsonsturbine. De HD heeft een voorgeschakeld tweetraps curtiswiel, de LD-turbine is dubbel uitgevoerd, met stoomtoevoer bij het midden van de rotor en stoomafvoer aan beide einden, wat een evenwichtszuiger onnodig maakt.

De achteruit-turbines bestaan uit twee gedeelten, een HD- en een LD-deel. De HD-achteruit wordt gevormd door een drietaps curtiswiel op de naar voren met tussenschakeling van een koppeling verlengde as van de MD-turbines. Deze HD-achteruitturbines voeren af naar een tweede curtiswiel, eveneens met 3 trappen, en geplaatst op het voorste rotorgedeelte van de LD-turbines in hetzelfde turbinehuis.

De tandwieloverbrengingen, systeem MAAG, hebben een dubbele vertraging. Iedere turbine-as heeft een rondsel, dat op zijn eigen tussenwiel werkt. De tweede rondsels van elk stel turbines werken alle drie op hetzelfde grote wiel.

Bij volle kracht vooruit draaien de HD-, MD- en LD-turbines achtereenvolgens met 4250, 4250 en 2980 omw/min en de schroef met 131,5 omw/min, waarbij de installatie in totaal een vermogen van 35000 apk levert.

Vergelijken we beide turbine-installaties met elkaar, dan krijgen we het bijgaande lijstje:

	„Nw. Amsterdam"	„Rotterdam"
Stoomdruk	35 ata	43 ata
Stoomtemperatuur	390°C	446°C
Totaal vermogen	34000 apk	35000 apk
Schroefsnelheid	130 omw/min	131,5 omw/min
Vaart van het schip	21 mijl/h	22 mijl/h
Totaal gewicht van turbines, condensors en tandwieloverbr.	507 ton	355 ton

We zien hieruit, dat er betrekkelijk weinig verschil is in stoomdruk en -temperatuur, vermogen en vaart. Ook de bruto-tonnemaat is voor beide schepen ongeveer gelijk, nl. ±38000 BRT. Alleen is de turbine-installatie van de „Rotterdam" 30% lichter dan die van de „Nw. Amster-

dam", wat dus wel een grote vooruitgang betekent, en tenslotte is uiteraard het brandstofverbruik veel gunstiger.

IV. **PAMETRADA-turbines.** [1])

Na de wereldoorlog heeft de firma Parsons zich verbonden met verschillende machinefabrieken in Engeland en met steun van de Engelse regering opgericht de „**P**arsons **A**nd **M**arine-**E**ngineering **T**urbine **R**esearch **A**nd **D**evelopment **A**ssociation", afgekort met de beginletters van deze woorden tot „PAMETRADA". Deze belangengemeenschap stelt zich ten doel metingen te verrichten en onderzoekingen te doen aan nieuw-gebouwde turbines van de verbonden firma's. Bovendien belast zij zich met het ontwerpen van nieuwe turbine-installaties. Daar dit alles van Parsons is uitgegaan, zal men in de vorm en de inrichting van deze ontwerpen veel terugvinden van de standaard-uitvoeringen, zoals Parsons die sedert lange jaren heeft gemaakt. Overigens betekent de naam PAMETRADA-turbine geen bepaald systeem, zoals Zoelly, Parsons of Curtis, maar het zijn slechts turbines die door PAMETRADA zijn ontworpen en waarbij verder een willekeurig systeem kan worden toegepast.

Deze ontwerpen worden ook in licentie uitgevoerd door andere machinefabrieken, o.a. Werkspoor in Amsterdam. In de figuren 119 en 120 bv. ziet men de bij laatstgenoemde fabriek gebouwde turbines voor een tankschip van 18000 ton. De voornaamste gegevens voor deze installatie zijn:

Begindruk van de stoom 36 ata.
Begintemperatuur 430°C.
IJdel in condensor 95%.

Vermogen	HD-turbine	norm.	3970,	max.	4210	apk.
„	LD- „	„	3530,	„	4040	„
„	totaal	„	7500,	„	8250	„
Snelheid	HD-turbine	norm.	5700,	max.	5870	omw/min.
„	LD- „	„	3565,	„	3672	„
„	schroefas	„	100,	„	103	„ .

Vermogen achteruitturbine 5350 apk bij 86,5 omw/min van de schroefas.

De HD-turbine is van het systeem Zoelly met 14 trappen, zoals fig. 119 doet zien. De loopwielen vormen ook hier, evenals in fig. 114, één geheel met de rest van de rotor. Het rotorlichaam heeft een grote diameter, dus ook een grote stijfte, teneinde de kritieke omwentelingssnelheid boven de hoogste bedrijfssnelheid te laten vallen. De rotor heeft aan het achtereinde een kraag voor een michell-blok en een losse flens voor een tandkoppeling. Aan het vooreinde is de as verlengd met een overhangend gedeelte dat is uitgevoerd als een tweetraps-curtiswiel. Dit deel vormt de

[1]) Voor een uitvoerige beschrijving van deze turbines met onderdelen wordt verwezen naar een artikel van H.L. Schwab in het Nautisch-Technisch Tijdschrift, 9e jaarg. no. 6 van juni 1956.

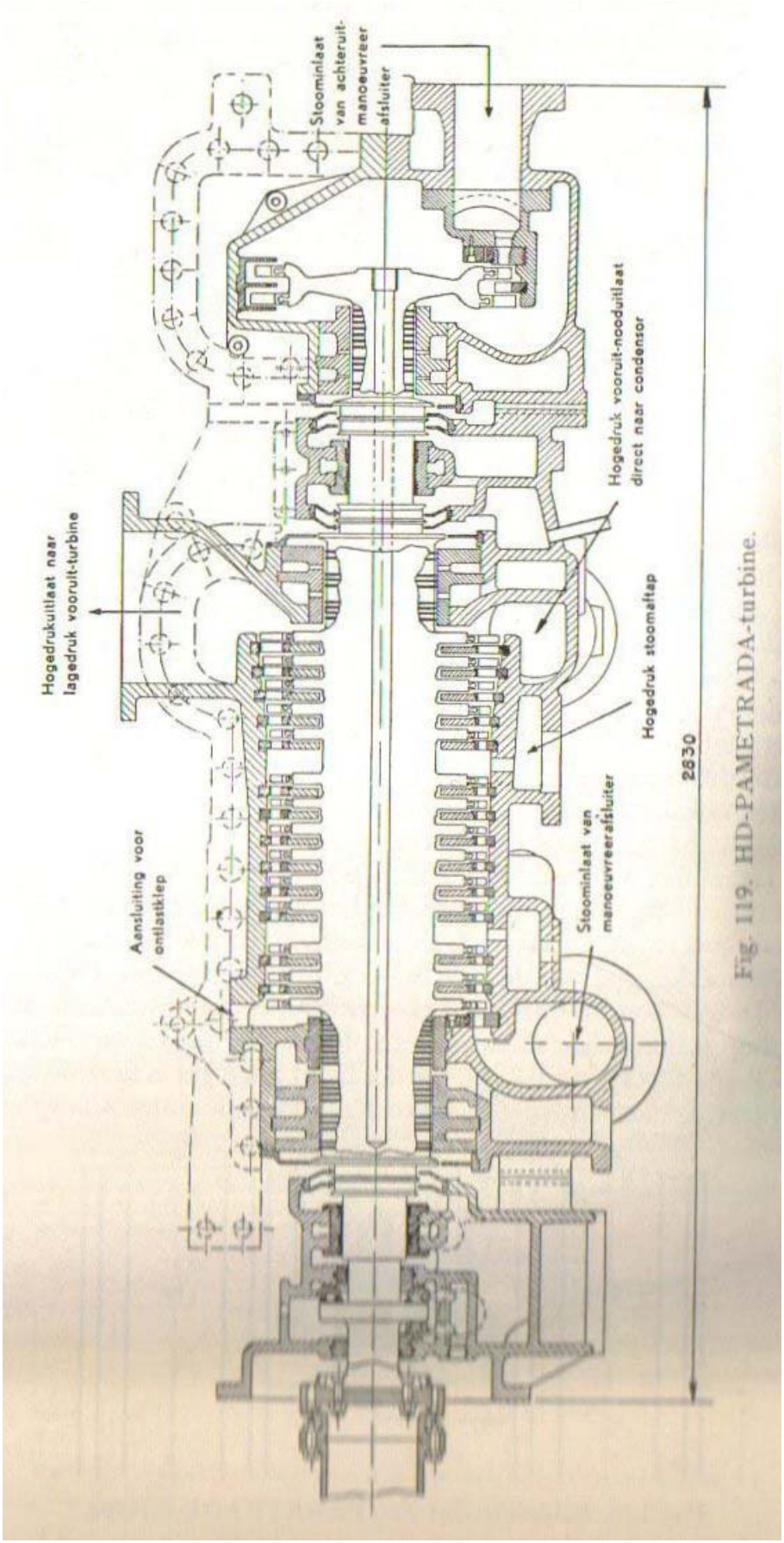


Fig. 119. HD-PAMETRADA-turbine.

HD-achteruitturbine. Bij deze turbine, zowel als bij het vooruitgedeelte, is de stoomtoevoerleiding aangesloten op het ondergedeelte van het huis. Dit heeft het voordeel, dat die leidingen niet behoeven te worden ontkoppeld, als de turbines moeten worden geopend.

Het HD-turbinehuis is met zijn achterkant, dus bij het michell-blok, vast op de machinefundatie in het schip bevestigd. De voorkant van het HD-huis heeft aan weerszijden van het asmetaal een glijvoet, zodat het huis vrij in lengterichting kan uitzetten en inkrimpen bij temperatuursveranderingen. Het HD-achteruithuis is tegen de voorzijde van het vooruithuis met bouten vastgezet en heeft eveneens aan weerszijden van zijn voorkant een glijvoet. Ook dit huis kan dus zonder bezwaar zich een eind in lengterichting verplaatsen bij temperatuursschommelingen. Verschil in uitzetting van turbinehuizen en rotor is mogelijk, doordat alle loopwielen, vooral ook dat van het achteruitgedeelte, een ruime speling in lengterichting hebben. Tussen de loop- en omkeerschoepen van het curtiswiel is deze speling zelfs meer dan 7,5 mm. Dit is natuurlijk bij deze gelijkedrukturbines geen bezwaar.

Men heeft de HD-achteruitturbine in een geheel afzonderlijk huis geplaatst om bij het plotseling toevoeren van stoom aan deze turbine tijdens het manoeuvreren geen moeilijkheden, in verband met de uitzetting, te krijgen aan het verdere gedeelte van de HD-turbine. Een bezwaar van die afzonderlijke achteruitturbine is overigens, dat de turbine-as nu van een extra-labyrint moet zijn voorzien bij de verbinding van het vooruit- en achteruit-gedeelte. Ter vermindering van de ventilatie-verliezen heeft men ook hier weer bij het achteruit-curtiswiei rondlopende gootjes aangebracht bij het niet-bestreken gedeelte van de loopschoepen.

Het straalbuissegment vóór het eerste loopwiel van de HD-turbine bestaat uit een stelsel opgebouwde gefreesde schotjes, die in een rand zijn geplaatst op de wijze van fig. 68. De tussenschotten worden gevormd door een vlakke stalen plaat die aan de buitenomtrek een krans van leischoepen draagt. Deze schoepen zijn in pakketten van 8 of 9 stuks aan elkaar gesoldeerd op gelijke wijze als dit gebeurt bij de gewone parsons-leischoepen volgens de methode van fig. 92. De dekband heeft nu echter de vorm van een stevige ring met een groef waarin een rand van de stalen schotplaat past.

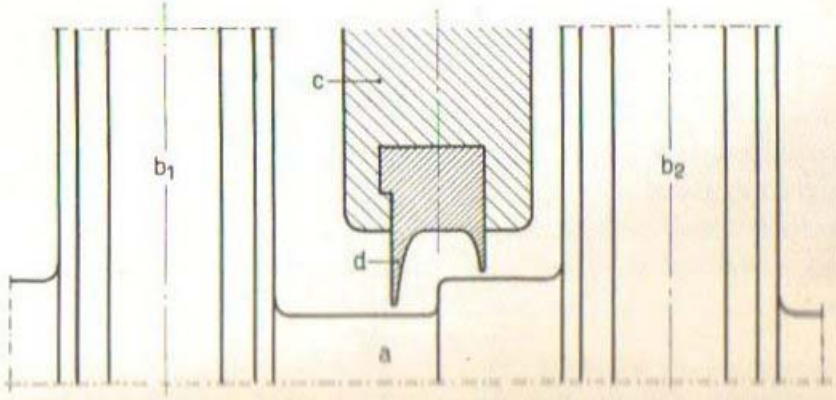
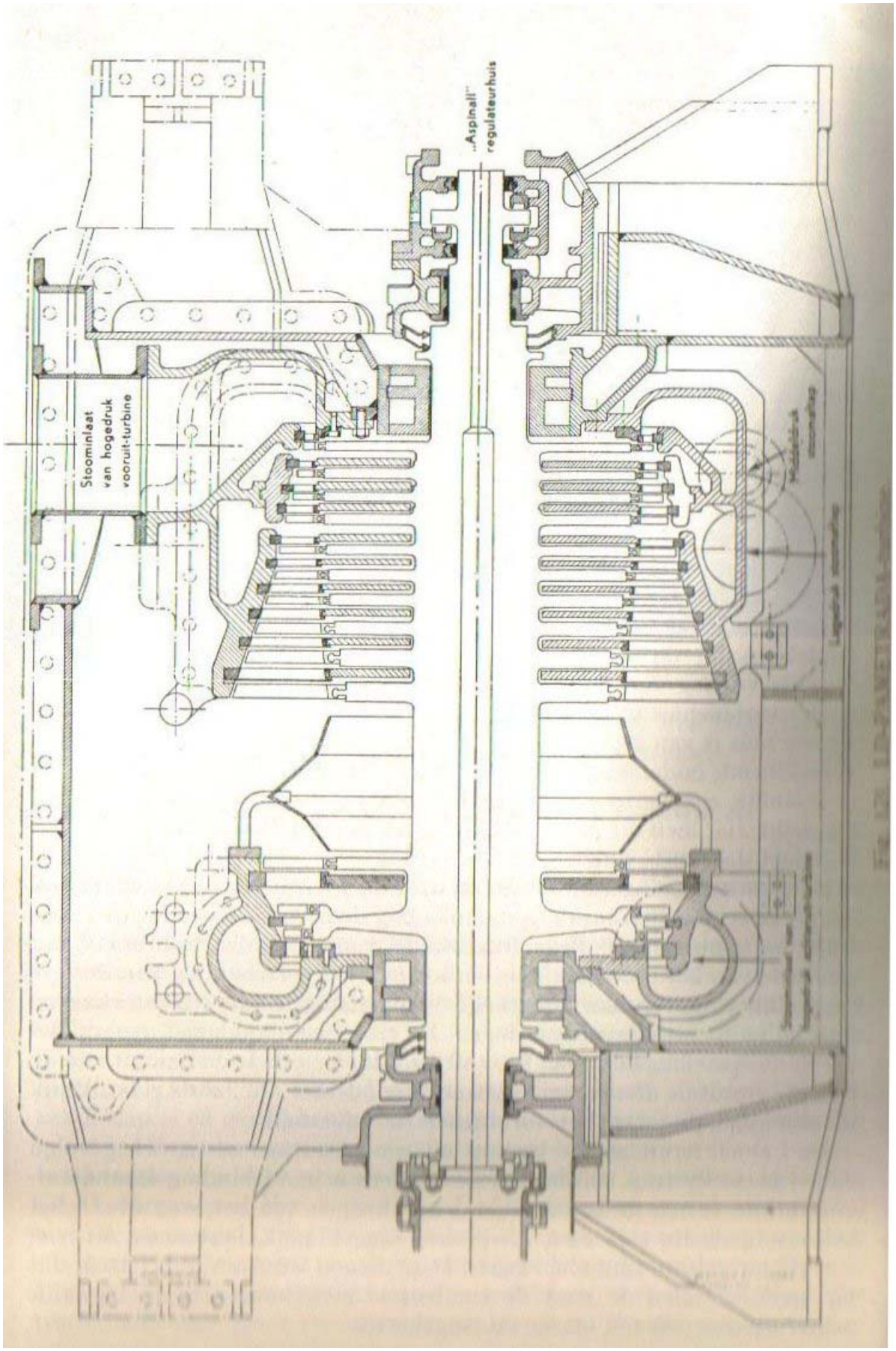


Fig. 120. Schotlabyrint van PAMETRADA-turbine.


Stoominlaat
van hogedruk
vooruit-turbine
„Aspinall"
regulateurhuis

Het binnengat van de schotplaat heeft een labyrint als op ongeveer ware grootte is afgebeeld in fig. 120. De ashals *a* tussen beide loopwielen b_1 en b_2 heeft dus een trapvormig gedeelte. In een groef van het schot *c* heeft men een bronzen labyrintring *d* aangebracht, die is uitgevoerd als de ringen in fig. 105 voor de aslabyrinten bij deze zelfde turbine. De beide scherpe randen die rondom de rotor in radiale richting een speling van 0,4 mm hebben, vallen weer in een verschillend vlak, zodat de lekstoom niet regelrecht van de ene spleet naar de andere kan doorschieten.

Uit fig. 119 blijkt nog, dat de totale lengte van deze HD-turbine maar 2 m 83 bedraagt.

In fig. 121 zien we een doorsnede van de LD-vooruit- en achteruitturbine, aangebracht in hetzelfde huis, wat hier geen bezwaar is, daar de aan de achteruitturbine toegevoerde stoom thans geen hoge temperatuur heeft. Evenals in de HD-turbine vormen ook hier alle loopwielen één geheel met het overige van de rotor. De as heeft aan de voorzijde een kraagblok om de juiste ligging van de rotor te handhaven en aan de achterkant een flens voor een tandkoppeling.

Het vooruit-gedeelte bestaat uit 5 zoellytrappen, gevolgd door 5 parsonstrappen. In bouw wijken deze twee systemen hier niet van elkaar af, alleen de schoepvorm is natuurlijk anders. De actieschoepen zijn voorzien van een dekband, de reactieschoepen niet. zoals uit fig. 122 blijkt. Toplekken bij de reactieschoepen worden zoveel mogelijk vermeden door de vrijslag van de schoeptoppen klein te maken.

Het turbinehuis is *dubbel* uitgevoerd, zoals uit fig. 121 blijkt. Het binnenste huis is van gegoten staal, het buitenste van plaatstaal, waarbij de verschillende onderdelen ervan aan elkaar zijn gelast. De buitenomkasting is eigenlijk een verlengstuk van het bovengedeelte van de condensor. Duidelijk ziet men dit in fig. 122, een foto van het ondergedeelte van het huis met daarin de rotor.

De toevoeropening voor de stoom naar de vooruit-turbine bevindt zich aan de bovenkant. Waar deze stoomleiding door de buitenomkasting passeert, heeft men de pijpflens door middel van een stalen membraan aan een flens van het buitenste huis verbonden. Deze verbinding kan dus gemakkelijk toegeven aan onderlinge verplaatsingen van stoomleiding en huis bij temperatuursveranderingen. De grote membraan ziet men duidelijk in de opstellingsfoto van fig. 140 uit § 36. De gehele onderkant van de turbine vormt de afvoeropening naar de condensor, die, zoals gebruikelijk is, onmiddellijk tegen het turbinehuis is bevestigd.

De LD-achteruitturbine bestaat uit een tweetraps curtiswiel, gevolgd door één zoelly-trap. In de met de condensor in verbinding staande afvoerruimte tussen de laatste rijen loopschoepen van het vooruit- en het achteruitgedeelte ziet men *keerplaten* aangebracht, bestaande uit vier aan elkaar gelaste conische ringen. Deze dienen weer om te beletten, dat bij vooruitdraaien de naar de condensor ontwijkende stoom tegen de achteruitschoepen zou blazen en omgekeerd.

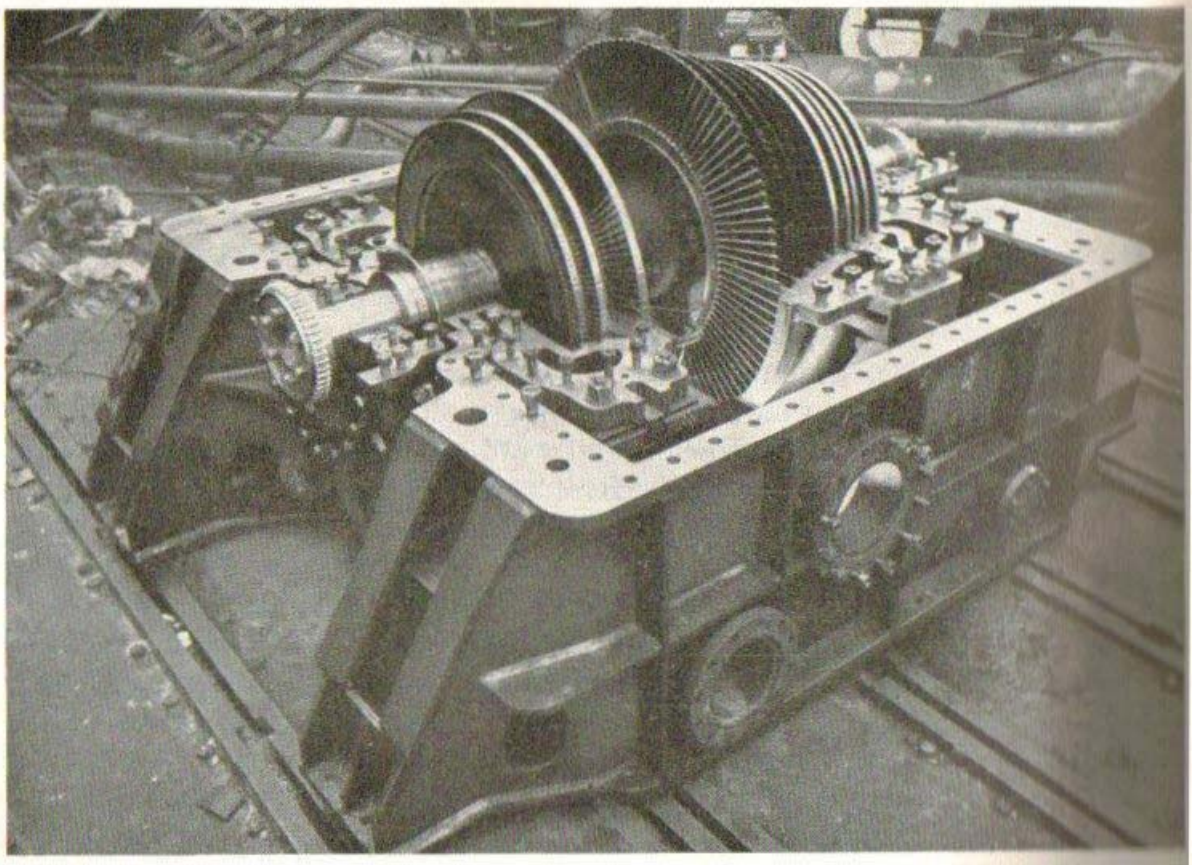


Fig. 122. Onderhelft LD-turbinehuis met rotor.

Fig. 121 is op dezelfde schaal getekend als fig. 119. Men krijgt dus gemakkelijk een indruk van de afmetingen van de LD-turbine.