DTU Bibliotek

Denne fil er downloadet fra

Danmarks Tekniske Kulturarv

www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

UNGDOMMENS INGENIØRBOG

AF ELLISON HAWKS

Industribiblioteket

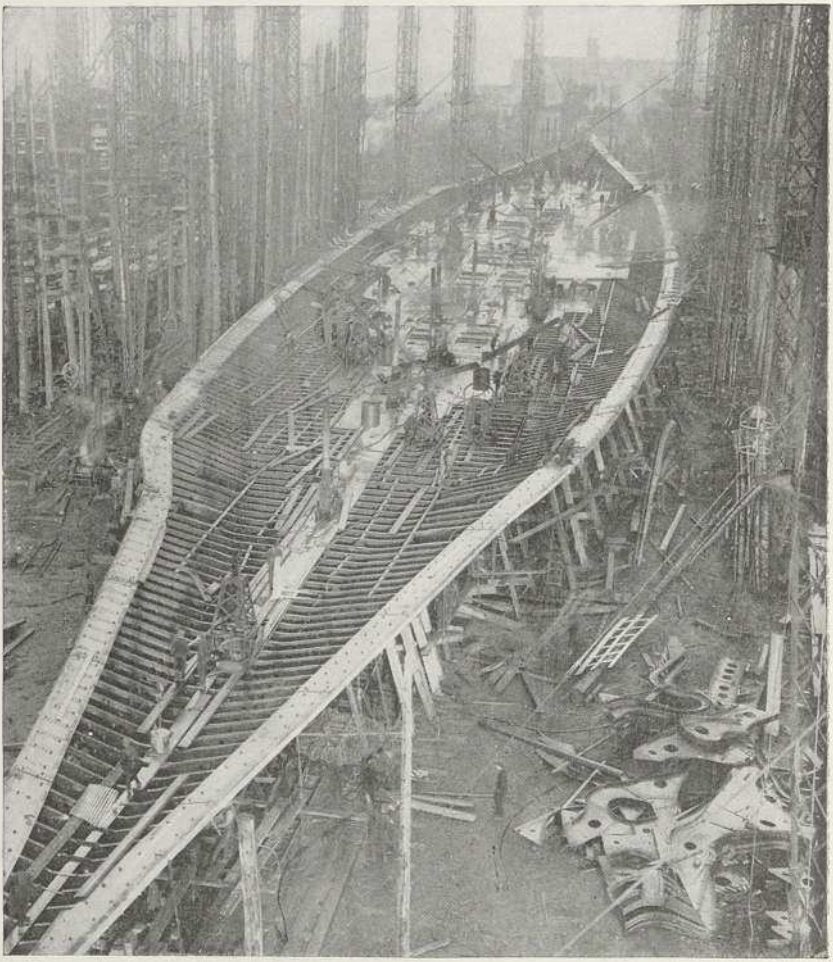
Grp: 62(09) Forfatter: E. Hawks.

Titel: Ungdommens Ingeniørbog.

Bind: Udgave: Trykaar: 1924

Industribiblioteket

(62.(09)



En stor Ingeniøropgave — Bygning af en moderne Oceandamper. „Aquitania" under Bygning set bagfra. *(Foto. Messrs. John Brown and Co., Ltd.)*

UNGDOMMENS INGENIØRBOG

UNGDOMMENS INGENIØRBOG

AF

ELLISON HAWKS

PAA DANSK VED KAPTAJN H. C. ULLIDTZ

GYLDENDALSKE BOGHANDEL - NORDISK FORLAG - KJØBENHAVN - KRISTIANIA
LONDON - BERLIN - MDCCCCXXIV

OPLAG: 10.000 EKSEMPLARER

PRINTED IN DENMARK
AARHUS STIFTSBOGTRYKKERI

KAPITEL I

KRAFT OG ARBEJDE

I

FREMBRINGELSE af den Kraft, der er nødvendig for ethvert skabende Arbejde, er absolut et af Ingeniørkunstens interessanteste Emner. I alle civiliserede Lande er Kraftens Betydning meget stor, thi ikke alene vore Værksteder, Fabriker og store Industriegne er afhængig af den, men det vil næsten være umuligt at nævne nogen Tilvirkning eller nogen Vare, som ikke i Tidens Løb har været knyttet til Anvendelse af Kraft.

Uden Kraft kunde vi ikke faa Gas og Elektricitet f. Eks. til Lys, thi Kraft er nødvendig til at drive Lyskilderne (Trykbeholdere og Dynamoer) paa Gas- og Elektricitetsværkerne. Kullene til vore Kakkelovne og Komfurer hejses op fra Minerne gennem Skakterne og bringes til vore Kulkældere ved Hjælp af Kraft, ligesom Kraften driver de Møller, der maler Mel til vort Brød, og de Væve, der sammenfletter Tøj til Klæder. Stenene til vore Huse og disses indvendige Udstyrelse, Sporvognen, vi kører med, ja selv Flyvemaskinen, vi flyver med, ligesom Tusinde andre Ting staar i Forbindelse med Kraft og dens Kilder.

Der findes adskillige Kraftkilder. Naturen leverer os Solvarmen, Vindkraften og Havets Ebbe og Flod. Andre Kilder, saasom Damp, Forbrænding og Elektricitet, skyldes Menneskets Opfindsomhed og dets Kendskab til Naturens Love. Vi ved jo allesammen, at Vand, der udsættes for Opvarmning ved Ild, bringes til at koge ved 100° Celsius under normalt Lufttryk, og at den derved frembragte Damp, naar

den indesluttes i Beholdere, kan udføre et vist Arbejde ved at drive en Maskine.

I de Lande, hvor Kul eller andet Brændstof let kan erholdes, anvendes Dampkraft i udstrakt Maalestok, men i andre Lande — f. Eks. Italien og Sverrig — hvor Brændstof er en sjælden Vare — er denne Form for Kraft ikke besparende. I Stedet for anvendes da Vandets Kraft, hvis Drift af Turbiner fremskaffer Lys og Varme. Svenske Vandfald leverer saaledes Elektricitet til en Del af Nordsjælland.

For Tiden skænker man Vandkraftens Muligheder og dens Anvendelse stor Opmærksomhed i alle Lande, thi det er efterhaanden gaaet op for os, at Jordens Beholdninger af Kul og Olie ikke er uudtømmelige. Der vil komme en Tid, da Forsyninger ikke længere kan fremskaffes, og Vand- og Vindkraft vil da blive vigtige Faktorer i Ingeniørkunsten og det daglige Liv.

Kraft har længe været taget fra Møller, der enten dreves af Vinden eller af Vandet (ogsaa Ebbe og Flod i de saakaldte Tidevandsmøller). I en vis Tidsalder var Møllen det eneste Kraftmiddel, der kunde udføre visse Arbejder; men mærkelig nok har Vandmøllen været i Brug over 1000 Aar, inden Vindmøllen nævnes i Historien, og Vandmøllen er sandsynligvis den tidligste Form for Baandlæggelse af Naturkræfter til Ingeniørformaal. Vandmøllen blev benyttet af Oldtidens Grækere, medens en anden meget gammel Type (»Norske Mølle«) kan træffes endnu hist og her den Dag i Dag. Den gamle Vandmølle blev efterfulgt af Møller, hvortil Slaver eller Kreaturer leverede Kraften, som f. Eks. i en Trædemølle. Vandmøllen synes at være opfundet for ca. 2000 Aar siden, men findes ikke omtalt før 400 Aar senere, hvor vi finder den nævnt hos saa bekendte Historikere som Plinius og Antipater fra Thessalonica.

Efter Vandmøllen fulgte Vindmøllen, som forblev i almindelig Brug, indtil Dampkraften indførtes, og selv endnu eksisterer den i flere Lande. Vindmøller finder f. Eks. herhjemme udstrakt Anvendelse paa Bøndergaarde, navnlig i Jylland, takket være Professor la Cours energiske Arbejde i denne Sag. I mange Tilfælde bruges moderne Vindmøller af

Staal bl. a. til Dræningsformaal, men alle disse Møller har jo den Mangel, at de kun kan arbejde, naar Vinden blæser. Endvidere er den opnaaede Kraft forholdsvis ringe og til en vis Grad periodisk, da Vindstyrken aldrig er helt jævn.

Disse Mangler kan imidlertid overvindes ved at lade Vindmøllen arbejde saaledes, at noget af Energien opbevares og er tilgængelig, naar Vindmøllen ikke arbejder paa Grund af Vindstille. Dette kan gøres ved at koble Møllen til en Dynamo og opmagasinere den elektriske Energi i Batterier, eller lade Møllen pumpe Vand op i en Tank paa Toppen af en Bakke eller op i et Taarn, hvorfra Vandet kan udslippes og ved sit Fald drive en Vandturbine. Kendte Videnskabsmænd har for nylig fremsat Forslag om langs Kysterne at bygge en Serie af disse Vindmøller, som skulde pumpe Søvandet op i umaadelig store Beholdere paa Havskrænterne, og derefter lade det udføre et Arbejde, naar det atter blev sluppet ud og løb ned til Strandkanten.

II

Før vi nærmere gaar ind paa Emnet Kraft, maa vi lære, at der anvendes visse Enheder og Maal. Her i Danmark som i de fleste europæiske Lande anvendes m. (Meter) og kg. (Kilogram), medens man i engelsktalende Lande stadig fastholder de gamle Maal Alen og Pund. Højde, Længde og Bredde maales i m., Vægt i kg., Hastighed i m. pr. sec. (Sekund), Rumfang i m^3 (Kubikmeter), Areal i m^2 (Kvadratmeter) o. s. fr.

»Kraft« udtrykkes i kg, og naar en Bevægelse overvinder en Modstand, udføres et »Arbejde«, der maales i Kraften $\times$ Vejen, f. Eks. 1 m.kg., hvilket er det Arbejde, der maa udføres for at løfte 1 kg til en Højde af 1 m. Var den løftede Vægt 10 kg og Højden 20 kg, vilde det udførte Arbejde være 200 mkg. Er der Tale om meget store Arbejder, angives disse ofte i mts (1 Ton = 1000 kg). Den Energi, der f. Eks.

udvikles ved Affyring af meget svært Skyts, kan stige op til 25000 mts.

Nøjagtig det samme Arbejde udføres, hvadenten der løftes 1 Ton 1 m eller 1 kg 1000 m eller 10 kg 100 m, men Ud-

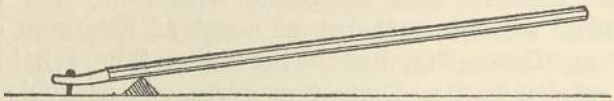


Fig. 1. Den almindelige Vægtstang eller Løftestang.

førelsen bliver dog ikke ens. Saaledes kan en Mand umuligt løfte 1 Ton 1 m, medens det ikke vilde være uoverkommeligt for ham at bære 10 kg op i Raadhustaarnet til en Højde af 100 m og saaledes udføre det samme Arbejde som at løfte 1 Ton 1 m. Sagen er jo, at Arbejdet som nævnt er et Produkt af Kraften og Vejen, og ved at tage passende Hensyn

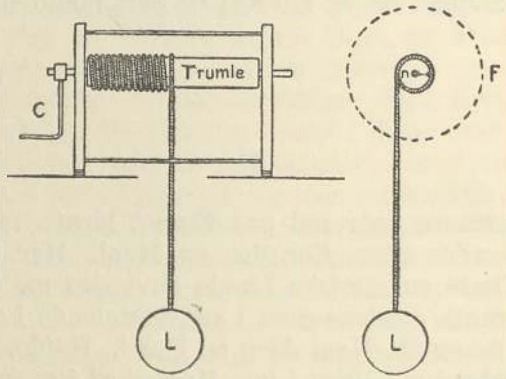


Fig. 2. Vinden. C Haandsvinget. L Byrden. Den punkterede Linie F angiver den Vej, Haandsvinget skal gennemløbe for at hæve Byrden en Tromleomgang.

til Forholdet mellem disse to Faktorer er man i Stand til at udføre Arbejdet paa den Maade, der kræves. Ved at forandre de to nævnte Faktorer kan en Mand i Virkeligheden godt løfte 1 Ton til en Højde af 1 m, og den simpleste Maade er her at anvende en Vægtstang (se Fig. 1), hvor et svagt Tryk helt ude paa Enden af den lange Stang virker med

stor Kraft paa Sømmet, fordi Afstanden fra Sømmet til den trekantede Understøtning kun er ganske kort.

Der findes forskellige Former for Vægt- eller Løftestænger: den simpleste i sin Form er vel nok Kobenet eller Brækjærnet, der bl. a. bruges af Murere til at flytte Blokke eller store Sten. Et saadant Koben kaldes en almindelig Vægtstang og kan være nyttig til at overvinde Modstande over en kortere Vejstrækning. En anden Type er Vinden (Spillet), hvor Løftestangen er formet som et Haandsving, der drejes i en Cirkelbevægelse. Undertiden anvendes 2 Haandsving, men selv i saa Tilfælde kan Vinden kun benyttes til at løfte lettere Vægte, da den Cirkel, en Mands Arme kan følge, aldrig kan blive ret stor. I en Vinde med Tandhjulsomsætning (ɔ: gearet) drejes Haandsvinget hurtigere rundt end Tromlen, og man opnaar større Løftekraft, men paa den anden Side bliver Tiden for Arbejdet større. Hvis Gearhjulet paa Haandsvingsakslen har 15 Tænder og er i Indgreb med et Tromlehjul med 60 Tænder, maa Haandsvinget drejes 4 Gange rundt for hver Omdrejning Tromlen gør.

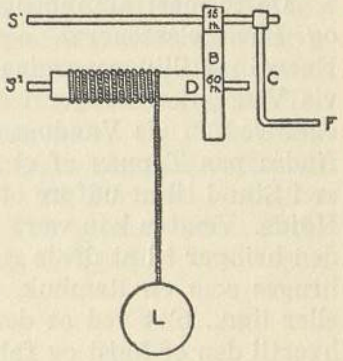


Fig. 3. Gearet Vinde. 15-tandet Hjul i Indgriben med et 60-tandet.

En anden Form for Løftemekanisme er Trissen eller Blokken, der navnlig anvendes paa Skibe og Kraner til at hejse tunge Baade eller andre svære Byrder.

III

Energi er Kraften til at arbejde og Evnen til at handle. En Dreng eller Mand kaldes energisk, fordi han har en Kraft i sig til at udrette noget. Maaske ligger Energien i Hjærnen, maaske i Musklerne, og ligesom der er forskellige

Former for menneskelig Energi, er der forskellige Energiformer i Naturen, saasom mekanisk Energi, Straaleenergi (Lys og Varme), elektrisk og kemisk Energi o. s. fr.

De to mest almindelige Former for Energi er Stillings- og Bevægelsesenergi, ogsaa kaldet potentiel og kinetisk Energi. Stillingsenergien er f. Eks. repræsenteret ved en vis Vægt, der hænger i en eller anden Højde over Jorden, eller ved en vis Vandmængde, der i en Tank eller Beholder findes paa Toppen af et Bjærg. Baade Vægten og Vandet er i Stand til at udføre et Arbejde ved at falde til en lavere Højde. Vægten kan være sat i Forbindelse med et Hjul, som den bringer til at dreje rundt, idet den falder, eller den kan bruges som en Rambuk, der driver Pæle ned i et Flodleje eller lign., blot ved at den pludselig slippes fra den Højde, hvortil den er hejst og falder ned paa Pælehovedet (a. Tavle I). Vand kan man lade falde fra Bjærgtanke til en lavere Højde og derigennem drive Vandturbiner (b. Tavle I). En anden Benævnelse for potentiel Energi er »opsparet Energi«, der skyldes et i selve Legemet allerede udført Arbejde, som f. Eks. ved en spændt Fjeder eller sammentrykket Luft.

Naar potentiel Energi tages i Brug, gaar den straks over til at blive kinetisk Energi, der findes i ethvert Legeme i Bevægelse som f. Eks. et Svinghjul eller en flydende Strøm, der paa Grund af deres Bevægelse er i Besiddelse af Arbejdskraft.

Energi kan ikke skabes og ikke tilintetgøres, og derfor maa den Energimængde, der een Gang eksisterer i Universet, uforandret blive den samme. Energien kan derimod overføres fra den ene Form til den anden, som maaske er mere formaalstjenlig til det paakrævede Arbejde, og paa denne Kendsgerning hviler al vor Udnyttelse af Kraft.

Kuls Varmeenergi kan forvandles til mekanisk Energi i en Dampmaskine og dèr omsættes til potentiel Energi ved at pumpe Vand op til en vis Højde, eller til elektrisk Energi ved at drive en Generator. Denne elektriske Energi kan igen føres tilbage til mekanisk Energi gennem en Elektromotor eller tilbage til Varme eller Lysenergi gennem et Varmeapparat (Radiator) eller elektriske Lamper.

Ved enhver Omdannelse af Energi forspildes en vis Del, der forsvinder uden at dette Tab altid nøje kan kontrolleres. I saa Henseende kan man sammenligne Naturen med en Vekselerer, som modtager Guldpenge for at omsætte dem i andre Værdier. Omsætter man saaledes som ovenfor nævnt Varmeenergi til Lys, gaar allerede en ikke ringe Del tabt i Dampmaskinens Fyrsted, og maaske kun 70 % naar Kedlen. Spildedamp og Friktion tager yderligere en Del, Dynamoen »spiser« ogsaa en lille Del, og Lampen udstraaler foruden Lys ogsaa Varme. Over disse Tab har der været opstillet mange Beregninger, og saa mange Tab optræder der, at der ved Omsætning af Kuls Varmeenergi til Lys paa Vejen tabes ikke mindre end 99½ %!

IV

Effekt, Arbejde eller Virkekraft maales i Hestekraft, der betegnes H. K., medens Energi og Arbejde som tidligere omtalt maales i mkg. Arbejdshastigheden omfatter ogsaa Tiden og betegner den Mængde Arbejde, der er udført i en vis Tid.

Før Dampmaskinen blev opfundet, blev Pumper og Møller ofte trukket af Heste. Da Dampmaskinen traadte i Stedet for Heste, sagdes den at have saa og saa mange H. K. i Forhold til det Antal Heste, den kunde erstatte. Opfinderen James Watt fandt ud af, at en H. K. i Størrelse var 550 engelske Pundfod = *75 mkg pr. sec.*

I Elektrotekniken anvendes ofte Udtrykket Kilowatt (K. W.) for en Kraftstations Ydeevne, og 1 Kilowatt (= 1000 Watt) er paa det nærmeste lig 1⅓ H. K., saaledes at 1⅓ Hestekrafttime (H. K. T.) svarer til 1 Kilowatt-Time (K. W. T.).

Dampmaskiner, Turbiner, Elektromotorer og andre Former for Kraftgeneratorer betegnes ved den gennem deres Aksel ydede Hestekraft, ogsaa kaldet den »effektive« H. K.

Den effektive H. K. (eller som den undertiden kaldes Bremsehestekraften) kan maales ved et Bremsedynamometer, opfundet af Prony i det 17. Aarhundrede. Det bestaar af en lang Vægtstang eller Arm med Vægtskaale og Lodder i den ene Ende og spændt med Klodser i den anden Ende om en Skive paa Omdrejningsakslen. Akslens Magt (naar den løber rundt) til at løfte eller balancere mod Vægten vil

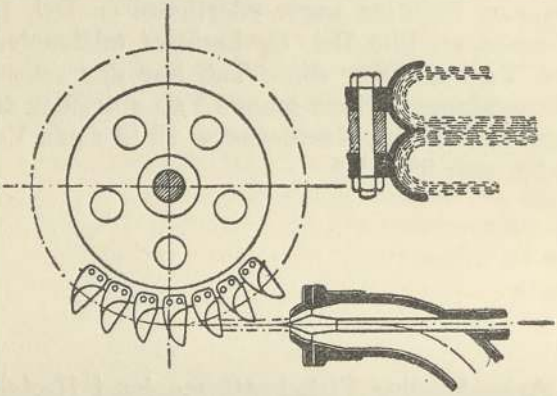


Fig. 4. Diagram, der viser Udstraalingsrøret og Reguleringsspydet og nogle af Skaalene i et Peltonhjul; oppe til højre ses en Skaal i Tværsnit, der viser hvorledes den tykke Vandstraale i Midten spaltes i to og drejes helt tilbage i den modsatte Retning.
(Med Tilladelse af Boving and Co., Ltd.)

da afgive et Maal for Bremsehestekraften. En anden Metode er at fastgøre en tobladet Vifteskrue, omtrent som en lille Flyvemaskines Propeller, til Enden af Akslen. Lader man nu Maskinen rotere, og kender man forud Propellernes Luftmodstand, vil Bremsehastigheden let kunne findes. I Vand kan samme Fremgangsmaade benyttes for langsomtgaaende Maskiner.

Vandets kinetiske Energi kan ogsaa omskabes til mekanisk Energi eller Arbejde ved Hjælp af en saa sindrig Opfindelse som Peltonhjulet. Dette Hjul har Skovle langs Randen, og hver Skovl er delt i to Skaale adskilt ved en skarp Kant i Midten. Naar en Vandstraale træffer en Skaal, sprædes den til højre og venstre og gaar omtrent tilbage i samme Retning, den kom fra, hvorved Hjulet bringes til at rotere.

Konstruktionen af Peltonhjulet har voldt mange Vanskeligheder i Praksis, men dets Virkningsgrad er ret høj.

Som Eksempel kan nævnes, at en Peltonturbine ved Glomsfjord i Norge, hvor Vandets Faldhøjde er 440 m, og hvor Halvdelen af Vandstraalen er 20 cm tyk, kan udvikle ikke mindre end 25000 H. K., hvilket er ganske forbavsende, da Peltonhjulet jo strengt taget ikke er andet end et moderniseret Underfaldshjul.

En Dynamo eller elektrisk Generator bør som Regel drives rundt med samme Hastighed eller have et konstant Omløbstal, hvad enten Belastningen er stor eller lille. Derfor maa Vandturbinerne, naar de trækker Generatorer til Lys, stadig have samme Omløbsfart, hvilket maa reguleres gennem Tilstrømningen af Vandet. Denne Regulering kan foretages paa mange forskellige Maader f. Eks. ved at aabne en Sluseport mere eller mindre eller ved at anvende en almindelig Centrifugalregulator (se Fig. 19). I større og mere moderne Vandturbiner anvendes dog nu som Regel drejelige Ledeskovle for Vandstrømmen eller som i Peltonturbinen en Reguleringsnaal i Straalerørets Mundstykke. Da der fordres stor Kraft til disse sidste Reguleringer, benyttes som Hjælp Trykolie fra en særlig Beholder. Løber Generatoren for hurtigt, aabnes der automatisk lidt for Olien, der trykker Reguleringsnaalen frem og derved hindrer en for rigelig Vandtilførsel.

V

Blandt de vigtigste Stoffer, der anvendes som Kraftkilder, maa nævnes Olien, der af Fagmænd menes at rumme store Muligheder.

Der er to Maader at udnytte Olien paa 1) enten ved at lede den ind paa Fyrstedet i en Dampkedel i forstøvet Form ved Hjælp af en Spreder 2) eller føre Olien direkte til Cylindrenes Indre i en Forbrændingsmotor af f. Eks. Diesel Typen.

Oliebrændsel som Erstatning for Kul vil sandsynligvis i Fremtiden komme til at spille en stor Rolle i Ingeniørkunsten og vil maaske i Tidens Løb helt fortrænge Kul, ligesom Kul fortrængte Træ. Allerede nu er Olie som Brændsel en alvorlig Konkurrent til Kul, idet den har trængt sig langt frem paa en ganske forbavsende kort Tid. Olien har som Brændstof mange Fordele frem for Kul; saaledes har den 1) højere Virkningsgrad, idet den giver 85 % i Forhold til Kullenes 65 % i en Kedel 2) større Ensartethed (Kuls Brændværdi varierer meget stærkt, idet der er stort Tab paa Grund af Støv etc.) 3) mindre Rumfang, hvorved man sparer Plads 4) udvikler den ikke Aske og Røg, takket være den fuldstændige Forbrænding 5) er den let at behandle, sparer Arbejde ved Fyring, Renholdelse af Fyrsteder o. s. v., og endelig kan den hurtig pumpes ned i Brændselstankene, uden at Kulfyldningens Snavs og store Arbejde behøver at ærgre.

Den første, der brugte Olie som Brændsel, var rimeligvis en Mekaniker Werner, som i 1861 brændte Affaldsolie paa et aabent Ildsted i Rusland. Den amerikanske Flaade lod i 1902 Sagen nøje gennemprøve, og Resultatet blev, at Olien som Brændsel vandt betydelig frem. Mange Olie-Forbrændere har siden da været konstrueret og patenteret, men ikke alle er lige gode, selv om der er sket store Fremskridt. Alt afhænger af Forbrænderens Effektivitet, idet det er af største Betydning, at Olien bliver fuldstændig splittet eller forstøvet, saaledes at hver Oliepartikel faar den tilstrækkelige Tilførsel af Ilt for at kunne forbrænde fuldstændigt (Forholdet 1 : 14). Dette kan udføres ved Hjælp af følgende 3 Midler 1) Damp, 2) Trykluft og 3) ved at udøve Tryk paa Olietilførslen.

Til Søs er Fordelene ved Oliefyringen særdeles mange. Den sætter Skibene i Stand til at udløbe større Distancer og giver forøget Fart, idet Sod og Støv paa Fyrstedets Plader i et Skib med Kulfyring foraarsager et Tab paa mindst 12½ % af Kedlernes Virkningsgrad efter 22 Dages Rejse. Dette har naturligvis en tilsvarende Indflydelse paa Skibets

Fart, medens man ved Oliefyring fuldstændig undgaar denne Aflejring af Sod.

Den tætte Røgmængde fra et Krigsskib, der fyrer med Kul, røber ikke alene dets Position for Fjenden, men kan ogsaa faa alvorlig Indflydelse paa Ildvirkningen af dets eget Skyts. Olie derimod giver paa Grund af sin fuldstændige Forbrænding praktisk talt ingen Røg. Olien giver ogsaa forbedrede Fartforhold, idet man allerede faa Minutter efter Ordre til fuld Opfyring er givet, kan løbe fuld Fart. Fyrbødernes Antal kan i et Skib med Oliefyring reduceres til det halve, ligesom ogsaa Arbejdsforholdene paa Fyrpladserne bliver forbedrede. Olien letter ogsaa Skibskonstruktøren Arbejdet paa Grund af den Lethed, hvormed den »stuves«, og Rumfordringen for en Ton Kul i Forhold til en Ton Olie er som 5 : 4.

Oliefyringen var Genstand for mange Forsøg i den engelske Flaade indtil 1913, da det blev besluttet at forøge Antallet af Kedler med Olieindfyring. Den nedsatte Kommission udtaler i sin Rapport følgende:

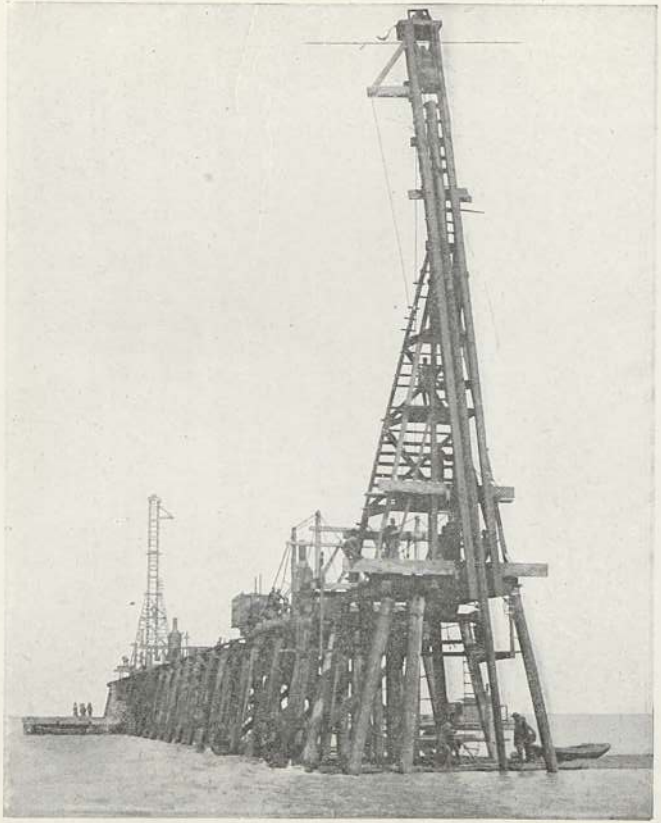
»Der er ingen Tvivl om, at af to iøvrigt ens Krigsskibe har det, der har Oliefyring, et stort Fartoverskud sammenlignet med det, der brænder Kul. Ved Oliefyring i Stedet for Kulfyring — alt under Forudsætning af samme Vægt af Beholdninger — forøges Aktionsradius mindst 40 % ved Brug af Olie, der desuden tillader Fyldning i aaben Sø med stor Lethed, medens Kulfyldning under samme Forhold fordrer meget gunstigt Vejr. Den særlige Fordel, der opnaas ved, at den engelske Flaade ikke er nødt til at forlade sit Operationsfelt for at fylde Brændstof, behøver ikke yderligere at fremhæves. Den engelske Flaades Styrke forøges derved 25 %, idet en saa stor Del af kulbrændende Skibe som Regel er fraværende for Kulfyldning. Dette at gaa frem og tilbage, til og fra Kulstationerne, forøger desuden Udgifterne til Brændstof og slider tilmed paa Maskineriet. Oliefyldning faar ikke Indflydelse paa Skibets Kampværdi og fordrer desuden faa Mænd ved det lette Arbejde, medens Kulfyldningen fordrer næsten hele Besætningen, der som Regel er udmattede efter Arbejdet.«

Endvidere omtaler Kommissionen den hurtige Dampopsætning, og der nævnes, at en engelsk Jager med Olieindfyring i Løbet af 2 Minutter uden Varsel har forøget Farten fra 5 til 25 Knob.

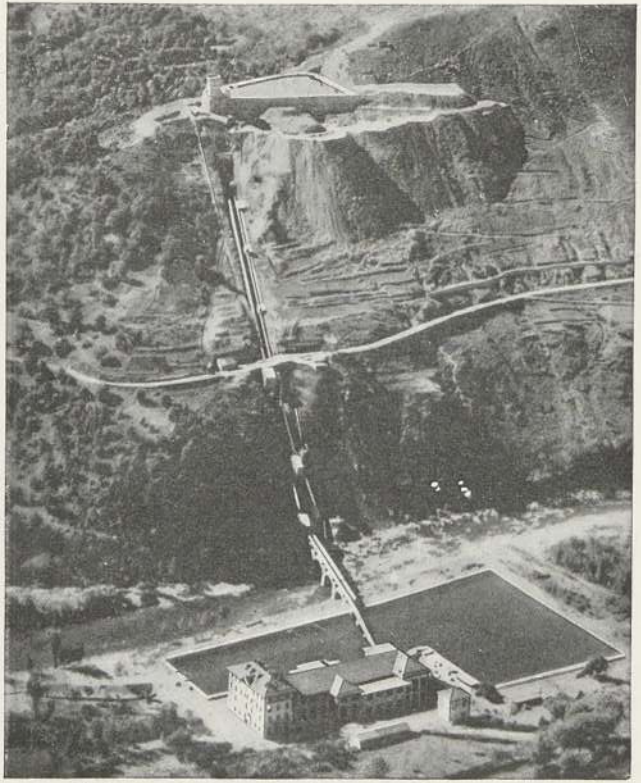
Det omfattende Forbrug af Olie i Skibe har ført til Konstruktion af en ny Slags Tankskibe, der skal forsyne de søgaaende Flaader. De nye Skibe skal være bygget efter lige saa fine Linier som nogen Yacht, og de drives enten frem ved Forbrændingsmotorer eller Dampkedler med Olieindfyring. Disse hurtige Tankfartøjer skal følge Kampskibene i Søen, og Fyldning kan foretages under Gang, saaledes at enhver Forsinkelse undgaas. Oliefyldning fra Tankdamperen „Petroleum« er saaledes foretaget til et Krigsskib, medens begge Skibe holdt en Fart af 12 Knob. Krigsskibet slæber Tankskibet i en Trosse, til hvilken Olieslangen er fastgjort med ligelig fordelte Hængere. Om Bord i „Petroleum« findes en 300 m lang, bøjelig Slange (skønt Afstanden mellem de to som Regel kun er 200 m), og gennem Slangen pumpes nu Olien fra Tankskibet over til Krigsskibet med en Fart af 100 Tons i Timen. I Virkeligheden tages der saaledes mere Brændstof om Bord fra Tankskibet i Løbet af een Time, end et Skibs hele Besætning kunde fylde paa 12 Timer, hvis det var Kul, der var Tale om. Om Natten kan Oliefyldning, men ikke Kulfyldning, foregaa i fuldstændig Mørke, saaledes at man ikke er særlig udsat for Torpedobaadsangreb.

VI

Oliefyringens mange Fordele for Krigsskibe kan delvis ogsaa overføres paa Handelsskibe. De vigtigste er, at Brug af Oliebrændsel sparer megen Plads, der kan anvendes til Passagerer eller Last, Farten øges, og Omkostningerne formindskes. Den hurtige og lette Fyldning, de rene Dæk og Befrielsen for Røg, Aske og Sod forøger betydelig Passagerernes Komfort.

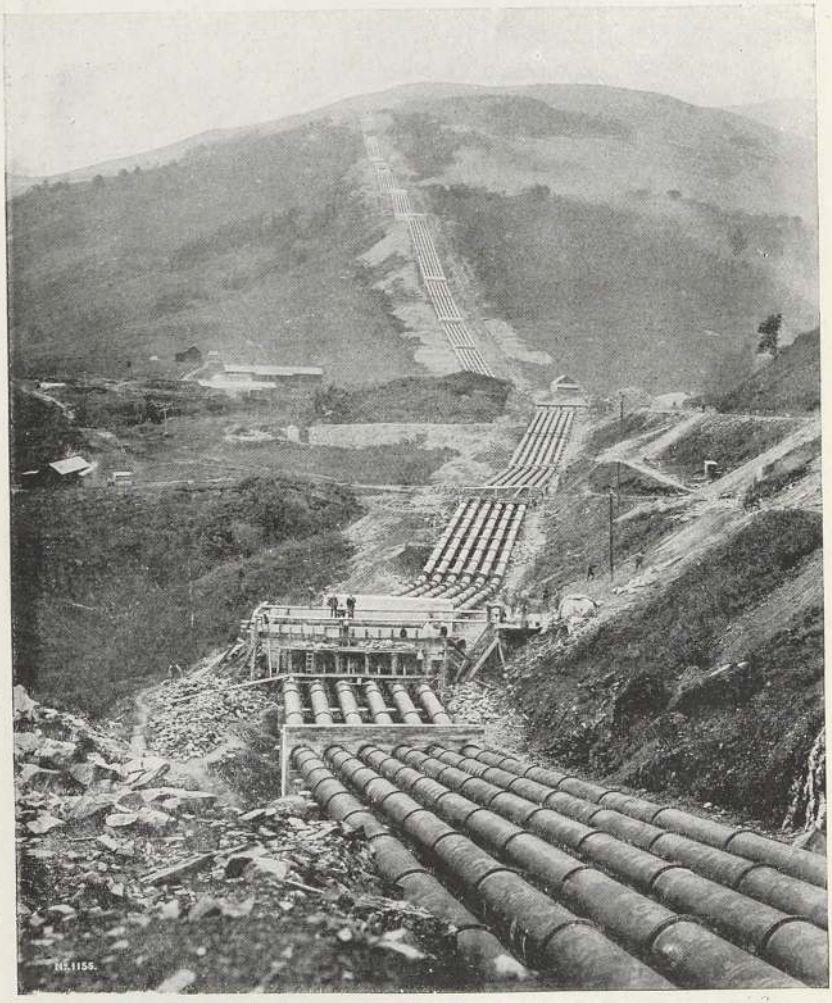


(a) Kinetisk Energi. Kæmperambuk benyttet ved et Pæleværk paa Sydsiden af Bugten ved San Francisco.



(b) Kraftsamlestation. Fra det øverste Vandreservoir ses Ledninger, der fører til Kraftstationen.
(Foto. Messrs. Sulzer Brothers.)

TAVLE II



En stor Ingeniørbedrift. Dette kæmpemæssige Trykledningsanlæg leder Vandkraften fra Loch Leven i Skotland til Kraftstationen, hvortil det kommer under et Tryk af 27 kg pr. □ cm. *(Fot. Messrs. Glenfield and Kennedy, Ltd.)*

Alle disse Fordele er iøjnefaldende for Handelsskibe. Mere Plads vil sige større Last og flere Passagerer, saaledes at hver Rejse giver større Udbytte, ligesom den forøgede Fart giver flere Rejser indenfor et bestemt Tidsrum. Som Eksempel herpaa skal anføres en Sammenligning mellem to Søsterskibe »San Dunstano« og »San Eduardo«, begge tilhørende »Eagle Oil Transport Company«. »San Dunstano« havde Kulfyring, »San Eduardo« Oliefyring. For »San Eduardo« var den indicerede Hestekraft 1840 højere end for »San Dunstano«, og det viste sig da ogsaa, at Rejsen England—Meksiko og tilbage igen kunde gøres 8 Dage hurtigere for det oliefyrende Skibs end for det kulfyrendes Vedkommende.

I den sidste Tid er mange Dampskibe fra Kulfyring gaaet over til Oliefyring, og navnlig har de kæmpemæssige »Oceanflyvere« fulgt denne Vej. Den engelske Oceandamper »Aquitania« foretog saaledes med Oliefyring en Rejse Cherbourg —New York med en Gennemsnitsfart af 23,28 Knob, hvilket er den største Fart, der er opnaaet siden Krigen. Ejendommeligt for Turen var den regelmæssige vedvarende Fart, der bevirkede, at man næsten hvert Døgn gennemløb den samme Distance. Oliefyldningen foretoges i New York paa mindre end 20 Timer, og til Overførelse af 7000 Tons Olie anvendtes kun en Arbejdskraft af 6 Mand. Olien blev pumpet fra Tankdamperen over i »Aquitania«, uden at Støjen eller Snavs kunde genere, og selve Oliefyldningen vilde ikke have været mærkbar for eventuelle Tilskuere, hvis de ikke kunde opdage den lille Tankdamper paa Siden af Oceanflyveren. Paa Vejen til Amerika brugte »Aquitania« ca. 3900 Tons Olie, og en enkelt Dag holdt den i 10 Timer en Gennemsnitsfart af 24½ Knob. Da dens Olieforsyning fuldt lastet var 7800 Tons, vilde den eventuelt have kunnet gennemføre Rejsen frem og tilbage uden Fyldning i Amerika.

Saa hurtigt har Olien vundet Terræn som Brændselsstof, at de forskellige Oliekompagnier stadig maa forøge deres Flaade af Tankskibe og forøge enkelte Skibes Tonnage op til 20,000 Tons. En interessant Beretning er afgivet af en Ingeniør, der var til Stede paa Fyrpladsen paa en af disse

store Tankdampere under en Prøvetur: »Kedelrummet,« skriver han, »var næsten ikke til at kende igen fra gamle Tider. De syv Fyrbødere stod i uplettede »Overalls« med Armene over Kors, som om de kunde være Køkkenchefer paa et stort Hotel. I Virkeligheden befandt de sig dog sikkert bedre, thi der var køligt, Luften frisk og ingen Røg. Den eneste Støj var Olieflammernes dæmpede Lyd inde fra Fyrstedet. Nu og da aflæste en Fyrbøder Termometret for at undersøge den indsprøjtede Olies Temperatur, eller en anden saa med Røgbriller gennem et Kighul, om Indsprøjtningen (Spredningen) var normal. En tredje Fyrbøder aflæste Oliepumpernes Trykmaalere. Dampen havde under Kompasundersøgelserne, der foretages før Skibet gaar til Søs, staaet paa et Tryk af 14 kg pr. cm^2. Pludselig ringes der fra Kommandobroen gennem Maskintelegrafen, at der skal gøres klar til »Fuld Kraft«. Med et lille Smil drejer Maskinisten paa nogle smaa Ventilhaandtag og forstærker Indblæsningen af Luft og Olie, og Trykket stiger paa ganske kort Tid til $15^1/_2$ kg pr. cm^2. Skibet løber nu nogle Gange (med og mod Strømmen) over en opmaalt Distance og naar med Lethed sine 12 Knob. Dog ryger Skorstenen næsten ikke, og i Maskinrummet mærkes ingen ubehagelig Lugt!«

VII

Ligesom Olien som Brændsel har store Muligheder, har den sikkert ogsaa en stor Fremtid som Drivkraft for Forbrændingsmotorer (f. Eks. Diesel). I Motorerne bliver Olien sprøjtet ind i Cylindren i det Øjeblik, hvor Luften i Cylinderrummet er saa stærkt sammentrykket, at Temperaturen er tilstrækkelig høj til at tænde Brændstoffet. Motorer med »indvendig Forbrænding« virker paa ovennævnte Maade og ligner meget Automobil- og Flyvemotorer; kun behøver de ikke en særlig Tændanordning, saaledes som disse, der bruger »lettere« Olier (f. Eks. Benzin).

Oliemaskiner blev første Gang i 1794 foreslaaet af Street, men det første praktiske Eksemplar, der benyttede Petroleum som Drivkraft, blev fuldført i 1870. Fortsatte Forsøg med højere Kompression og større Ekspansion satte den tyske Købmand Otto fra Køln i Stand til i 1876 at konstruere en brugelig Maskine. I 1883 opfandt Daimler den lette Eksplosionsmotor, hvilket Navn hidrører fra, at Antændingen af Olieblandingen i Cylindren sker med et »Knald«. Daimlers Motor, der gik med ikke mindre end 1000 Omdrejninger pr. Minut, blev først prøvet paa en Cykle, dernæst paa en Vogn og gav saaledes Stødet til Motorcyklens og Automobilets Udvikling.

Dieselmotoren — der er Fremtidens Oliemaskine — adskiller sig fra Ottos og Daimlers Maskine derved, at Antændingsforholdene er forskellige. Luften sammentrykkes meget stærkt i Cylindrene, indtil 5½ Atmosfæres Tryk pr. cm^2, og ved Slutningen af Stempelslaget indsprøjtes Olien ved Hjælp af en særlig Pumpe. Olien forbrænder øjeblikkeligt paa Grund af den komprimerede Lufts høje Temperatur. I Dieselmotorer er der saaledes ikke — som f. Eks. i Flyvemotorer — nogen Eksplosion, thi Olien forbrænder efterhaanden som den pumpes ind i Cylindrene.

Det første søgaaende Dieselmotorskib var »Vulcanus«, bygget i 1910. »Vulcanus« var et Tankskib paa 1845 Tons, og Motoren var 6-cylindret med 650 H. K. Det virkelige Gennembrud for søgaaende Motorskibe fandt dog først Sted i 1912, da den danske »Selandia« paa 7400 Tons foretog en Rejse paa 20,000 Sømil med en Gennemsnitsfart af 10 Knob. Denne Fart opnaaedes ved Hjælp af to 8-cylindret Dieselmotorer, der hver for sig ydede 1250 H. K.

»Selandia«, der hos Burmeister & Wain var bestilt af Det Østasiatiske Kompagni, virkede baade hos Teknikere og Sømænd som en Overraskelse. Skibet havde den almindelige Form, hvad selve Skroget angaar, men der fandtes ingen Skorstene, da Forbrændingsprodukterne blev ledet til Vejrs gennem den agterste Mast, der var hul. Paa selve Maskinpladsen fandtes Omskiftningsapparater fra »Bak« til »Frem« og »Stop«, og disse var saa sindrigt konstruerede,

at Burmeister & Wain herved skaffede sig stor Berømmelse i alle tekniske Kredse Verden over. Et stort Spørgsmaal var imidlertid, hvorledes Hjælpemaskiner til Spil, Pumper m. m. skulde drives. Ogsaa dette Spørgsmaal løste Burmeister & Wain ved at anbringe to mindre Dieselmotorer, hver paa 250 H. K., som drev alle nødvendige Apparater udenfor selve Maskinen.

»Selandia«s Olieforbrug var ca. 10 Tons pr. Døgn — hvilket er en Fjerdedel af, hvad et Dampskib vilde bruge af Kul —, og da Skibets Beholdning var 1000 Tons, vilde det saaledes kunne sejle i 100 Dage uafbrudt og tilbagelægge en Distance, der var større end Jordens Omkreds.

Da »Selandia« i 1912 gik ud paa sit Togt, havde »Ø. K.« allerede to andre Dieselmotorskibe under Bygning, nemlig »Fionia« og »Jutlandia«.

I Nürnberg havde man ogsaa i 1912 forsøgt at bygge en Dieselmotor paa ikke mindre end 12,000 H. K., men Maskinen eksploderede, og 12 Mand blev dræbt. Imidlertid fortsatte de danske Dieselmotorskibe deres Sejrstogter, og inden Udgangen af 1912 var der rundt i Verden ikke mindre end 45 Motorskibe under Bygning.

Foruden i Skibe anvendes Dieselmotoren paa Land og driver Generatorerne paa mange af Verdens største Radiostationer.

VIII

En anden Kilde for Kraft er Petroleum og de den nærliggende Produkter. Vi har allerede omtalt den almindelige Brændselsolie, men desuden maa nævnes de lettere Olier, saasom Benzin, Benzol o. lign., der bruges i Automobiler og Flyvemaskiner samt de tungere Olier (Parafin- og Kerosinolie), der i udstrakt Grad anvendes i »indvendige« Forbrændingsmotorer.

Petroleum har været kendt længe, idet vi allerede finder den nævnt hos saa gamle Historikere som Herodot og

Plinius. Opdageren Marco Polo, der naaede frem til det kaspiske Hav, skriver ogsaa: »Der er her en meget rig Kilde, for saa vidt som man kan tømme den for 100 Skibsladninger paa een Gang. Olien duer ikke til at blandes med Fødemidler, men den brænder godt og bruges desuden til at indsmøre Kameler, som har Skab. Folk kommer langvejs fra for at hente denne Olie, thi dens Mage findes ikke i noget Land!«

Siden Marco Polos Tid er Petroleum fundet viden om foruden i Baku ved det kaspiske Hav. Saaledes findes der rige Petroleumskilder i Nordamerika, i Meksiko og i Lilleasien. Boringen af disse Kilder samt Petroleum'ens Fordeling Verden over har i høj Grad paakaldt Ingeniørernes Opfindsomhed.

I 1859 blev den første Brønd boret i Pennsylvanien, og et rigeligt Forraad af Raaolie forefandtes. Efter Borgerkrigen søgtes nye Kilder, og snart gik der Spekulation i Fremstillingen af Olie, der voksede sig større og større, hvorved store Formuer er blevet tabt og vundet.

Boring efter Olie er en lang og besværlig Fremgangsmaade, idet der først maa bores smaa Huller af omkring 100 m Dybde eller mere, f. Eks. i Baku omtrent 300 m ned. Undertiden er Trykket ved Enden af Borehullet saa stærkt, at der direkte kan »blæses« eller presses en rigelig Mængde Olie til Vejrs. En saadan Kilde kaldes en »Sprøjter«, og Straalen kan naa op i over 100 m Højde*), og i bedste Tilfælde har en saadan Kilde kunnet sprøjte 1,800,000 Liter Olie op i 24 Timer. Efterhaanden som Trykket falder, formindskes Straalen, ophører derefter helt, saa at Olien til sidst maa pumpes op. En saadan Kilde kan udnyttes i indtil 5 Aar.

Hvert Aar bores der dybere og dybere, og der udklækkes utallige Planer blandt Ingeniørerne for i rette Tid at kunne fange en frembrydende Kilde.

Petroleum direkte fra Kilden er i en meget uren Tilstand og kan ikke bruges, før den er blevet renset. Denne Proces

*) Raadhustaarnet er 105 m.

foregaar ved Hjælp af meget store lodrette Cylindre eller »Destillerkar«, som de kaldes, af hvilke hver kan rumme op til 180,000 Liter. Dernæst opvarmes Olien og afkøles senere ved at føres gennem Rør, der er neddykkede i koldt Vand. Under denne Proces uddrives og opsamles de flygtige Gasarter og fortættes til Nafta. Endelig udvindes Brændselsolien, og til Slut bliver den tykke Smøreolie, Fedt og Tjære tilbage.

Petroleums Egenskaber varierer stærkt, alt efter de Kilder, hvorfra den udvindes. Den amerikanske Petroleum egner sig særlig godt til Belysning, medens den russiske er mere »liquid«. I Amerika ligger Kilderne som Regel tæt ved Havet, medens andre Kilder ligger langt inde i Landet, hvor Transporten er meget vanskelig, hvilket nødvendiggør meget lange Røranlæg, igennem hvilke Olien skal føres til Raffinaderierne. En af de længste Rørledninger i Amerika bestaar af 3 tynde Smedejærnsrør, der under Jorden ligger i en Strækning af 640 km, inden de naar New Yorks Havn, hvor de udmunder. Tolv Pumpestationer i en indbyrdes Afstand af ca. 53 km trykker Olien gennem Rørene.

Indtil 1886 blev Olie som Regel transporteret over Havet i Tønder, men senere transporteres den i Tankskibe delt i 6—10 Afdelinger, der hver kan rumme op til 1,000,000 Liter. Fra Skibene pumpes Olien ind i store gastanklignende Beholdere, der som Regel findes ved Kajerne i Storbyer, og derfra transporteres den saa videre pr. Jærnbanevogne med vandrette cylindriske Beholdere ud til mindre Beholdere i Byerne.

I 1860 var Udvindingen af Petroleum ca. 500,000 Tønder, medens Verdensproduktionen i 1920 har naaet den umaadelige Højde af 652,000,000 Tønder. Denne enorme Forhøjelse skyldes sikkert Petroleums Anvendelse til Drivkraft og Opvarmning. Som Kraftkilde er Petroleum af den allerstørste Betydning, hvilket man alene kan se af Stormagternes Kamp om at faa Koncessioner eller komme i Besiddelse af nye Oliekilder. Det er sikkert ikke uden Grund, der paastaas, at en Nations Fremtid hviler paa Besiddelsen af tilstrækkelige Oliekilder.

IX

Ligegyldig i hvad Form vi møder Kraft — enten i et Damp- eller Elektrisk Lokomotiv, en stor stationær Maskine, en Turbine eller i forskellig Form af Muskel- og Hjærneenergi — det er et Faktum, at den skylder Solen sin Oprindelse. George Stephenson forstod dette, som følgende Fortælling viser:

En Søndag stod en Del Venner af den berømte Ingeniør paa Terrassen ved hans Hus og betragtede et Jærnbanetog, som rullede forbi i nogen Afstand og efterlod en lang Stribe af hvid Røg.

»Hør engang, Buckland,« sagde Stephenson, »jeg har et Spørgsmaal at stille Dem. Kan De sige mig, hvilken Kraft, der driver dette Tog?«

»Ja,« sagde Dr. Buckland, »jeg tænker, det er en af Deres store Maskiner.«

»Men hvad faar da Maskinen til at gaa?«

»Antagelig en brav Newcastle-Lokomotivfører.«

»Hvad mener De, om jeg sagde, det var Solskinnet?«

»Hvorledes kan det ske?« spurgte Doktoren.

»Andet kan det ikke være,« sagde Ingeniøren. »Det er Lyset, der er opsamlet af Jorden gennem Titusinder af Aar, Lyset, der er opsuget af Planter og Vækster — og som nu efter at have været begravet i Jordens Kullag i lang Tid, giver den bundne Varme igen, der omsættes til Arbejde i Menneskets Tjeneste, saaledes som i dette store Lokomotiv.«

Kul, Tørv, Olie og andre store Naturforraad er simpelthen store Magasiner for Solenergien. Som enhver véd, var Forholdene her paa Jorden tidligere ganske anderledes, end de er nu. I disse fjærne Tider var Atmosfæren mættet med Damp. Det regnede ustandseligt, og Jordens Overflade lignede en stor Sump. Luften indeholdt store Mængder af Kulsyredampe, og som Følge heraf fremkom en overdaadig og rig Vegetation. Da den døde bort, blev den overdækket af Sandlag o. lign., hvis Vægt trykkede den sammen. Jordvarmen bagte efterhaanden Lagene sammen, saa de blev omdannet til Kul. Kul er derfor »Solskin« paa Flasker, og dets

Forbrænding frigør det Kulstof, det indeholder. Kulstof i Forbindelse med Luftens Ilt giver Varme, der ved at paavirke Vand udvikler Damp. Gennem denne simple og dog nøjagtige Proces er de forbigangne Aars Solskin saaledes sat i Stand til at drive vore Lokomotiver, Oceandampernes Skruer og mange andre Ting.

Paa lignende Maade kan alle andre Naturkræfter føres tilbage til Solen. Vinden opstaar saaledes til Dels ved, at Solstraalerne opvarmer Jordens Overflade forskelligt, og derved fremkaldes forskellige Luftstrømme rundt paa Kloden. Vandkraft afhænger udelukkende af Solens Virkning, der forvandler Vand til Damp, faar denne til at gaa til Vejrs, hvor den fortættes for atter at falde ned som Regn. Ved Vandets Tilbagevenden til Havet bliver det udnyttet gennem Fald over en eller anden Klippeafsats og bringes derved i Stand til at udvikle store Mængder af elektrisk Energi. Saaledes kan man blive ved at nævne utallige Eksempler og spore, at Kraften direkte eller indirekte altid skyldes Solen.

Det er Skade, at Naturens Magasiner bliver rovudnyttet i meget stor Maalestok. Det, som i Naturen skabes gennem Timillioner af Aar, forbruges nu saa stærkt, at Videnskabsmænd adskillige Gange har advaret mod denne intensive Plyndring. Den Skat, som Naturen har nedgravet i Jordens Skød i Form af Kul, Tørv og Olie, er ikke uudtømmelig, og den Dag kan komme, hvor disse Kraftsamlingssteder er udtømte, og da maa Kraften, hvis den overhovedet kan faas, tages direkte fra Solen. Engang i Fremtiden vil Videnskabsmænd og Ingeniører være stillet Ansigt til Ansigt med dette Problem, hvis Løsning maaske kan betyde Liv eller Død for Jordklodens Beboere.

Der er ingen Tvivl om, at Ingeniører i saa Henseende vil faa en afgørende Indflydelse, og den Kraft eller Energi, som nu udnyttes paa ødsel Maade, vil af Ingeniører blive tøjlet indenfor faste Rammer. Vindens og Vandets Kraft, Bølgeslagets og Tidevandets Magt — alle disse Naturkræfter vil »faa Seletøj paa« og komme til at arbejde i Menneskets Tjeneste, og der vil blive krævet Udførelse af Ingeniør-

arbejder, som vi for Tiden slet ikke kan tænke os. Allerede nu har denne Sag vakt Opmærksomhed, og Vandfaldskraften udnyttes til elektriske Kraftstationer, f. Eks. ved Niagara og Vandfaldene i Norge (Tavle I).

I solrige Lande kan man tænke sig at samle Solstraalernes Energi (f. Eks. ved Spejle), og det er ikke umuligt, at Egnene i Øvre Ægypten og Nordafrikas Ørkener, der er udsat for en næsten ubegrænset Solbestraaling, vil blive Basis for saadanne Eksperimenter engang i Fremtiden.

Her er et udmærket Felt for opfindsomme Hjærner, hvor der gennem næsten ukendte Veje kan aabnes nye Muligheder for Jordens Kraftkilder. Den berømte amerikanske »Flyve-Professor«, Dr. Langley har udtalt: »D e n Ingeniør, som kan finde en Metode, hvorved den ødslede Solkraft kan anvendes til industrielle Formaal, vil blandt Mennesker faa et større Navn end nogen af Historiens Erobrere, for han vil endnu en Gang forskaffe de nu saa øde Steder det mylrende Liv, som de havde i Kartagos og det gamle Ægyptens bedste Dage, men under en anden Civilisation, hvor man ikke mere skal tilbede Solen som en Gud, men har gjort den til sin Tjener.«

KAPITEL II

DAMPMASKINENS OPFINDELSE

I

INDFØRELSEN af Dampmaskinen, der med Rette kaldes »Maskinernes Konge«, bragte meget store Forandringer med sig i de daglige Livsforhold i alle civiliserede Lande. Ikke alene muliggjorde den en hurtigere Rejsemaade og aabnede derved nye Veje for Handel og Samkvem, men den førte ogsaa med sig forøget Fremstilling og Fordeling af mange Varer, særlig paa Fødemidlernes og Beklædningens Omraade.

Undertiden hævdes det, at Dampmaskinens mere eller mindre pludselige Tilblivelse i det 19de Aarhundrede skyldes Opfindere som George Stephenson og James Watt. Dette er imidlertid en fuldstændig Fejltagelse, thi den naaede som saa mange andre Opfindelser først sin endelige Skikkelse gennem mange Forsøg af talrige Foregangsmænd. I Virkeligheden kunde den ikke tages i praktisk Brug, før den Skridt for Skridt havde passeret langsommelige Begyndelsestrin. Robert Stephenson sagde selv i Newcastle: »Lokomotivet er ikke en Opfindelse, der skyldes en enkelt Mand, men en Nation af Ingeniører.« Enhver Forsøgsanstiller efterlod Resultaterne til sine Eftermænd, og skønt hans Arbejde paa det givne Tidspunkt kan synes at have været af ringe eller ingen Betydning, saa var det dog gennem Fortsættelse af Forsøgene — maaske paabegyndt Aarhundreder forud — at den fuldt færdige Maskine udvikledes. Da mange af de tidligere Forsøgsanstilleres Ideer havde et ret teoretisk Tilsnit, kan det ikke undre os, at der intet kom ud af dem, før den praktiske Ingeniør tog Sagen i sin Haand.

At andre Opfindelser lige saa lidt som Dampmaskinens skyldes enkelte Mænd, holder ogsaa Stik i vore Dage, hvor vi kan nævne et Par Opfindelser som Flyvemaskinen og den traadløse Telefon, der begge skylder en hel Række Eksperimentatorer deres Tilblivelse. Det er ogsaa interessant at se, at Turbinen og Forbrændingsmotoren har gennemgaaet en ganske lignende Udvikling, som deres Forgænger, Dampmaskinen.

Til Opfindelsen og Fuldstændiggørelsen af Dampmaskinen er knyttet følgende Navne: Militæringeniør Savery, Dorthmouth-Grovsmeden Newcomen, Glarmesteren Cawley, Maskinlærlingen Potter og Civilingeniøren Smeaton, der byggede det berømte Eddystone Fyrtaarn. I ganske særlig Grad huskes dog Navnet James Watt, en matematisk uddannet Instrumentmager. Før disse Mænd kom frem, var imidlertid en vis Del af de forberedende Arbejder udført af andre.

II

Dampens Egenskaber har været kendt i lange Tider, og selv i Oldtiden var man ikke helt uvidende om dem. Den store Kraft, som udvikles, naar Vand paavirkedes af Varme, maa have været indlysende omtrent fra det Tidspunkt, hvor Ilden blev kendt. Forsøg paa at faa dette iltre og tilsyneladende utæmmelige Virkemiddel lagt i Tømme har sandsynligvis været gjort, men atter opgivet, da de ikke førte til noget Resultat.

Saa vidt vi véd, var den første Person, der forsøgte at omplante Varme til Bevægelse, den græske Matematiker Hero fra Alexandria, som levede i det første eller andet Aarhundrede. Han var en bekendt Forfatter af fysiske Skrifter og opfandt en Del sindrigt mekanisk Legetøj og Maskiner. Hero anvendte Varme til Springvand og forsøgte at aabne ægyptiske Tempeldøre ved Hjælp af Varme. Han fortæller os, at Dampen var velkendt af Oldtidens Folk og blev

anvendt til at vække de lettroendes Forundring. I sin Afhandling om Luft (»Pneumatik«) beskriver han forskellige Fremgangsmaader i saa Henseende ved Anvendelse af varm Luft eller Damp. Hero opfandt den drejelige »Dampkugle«, ogsaa kaldet »Æoluskuglen«, der, skønt den kun var et Slags Legetøj, dog var baseret paa samme Princip som den virkelige Dampmaskine (b. Tavle IX). Dampen ledes gennem en hul Aksel ind i en Kugle og blæses ud gennem to Rør, hvis Mundinger er drejede under en ret Vinkel. Ved Dampens Udstrømning opstaar der en vis Reaktion ved, at den »støder mod« Luften, og dette foraarsager, at Kuglen drejer rundt om sin egen Akse, »som om den blev paavirket af et levende Væsen i dens Indre.«

Dampkuglen er i Virkeligheden den første Reaktions Dampturbine, og i den allersidste Tid er et lignende Princip blevet anvendt i en lille Torpedobaadsmodel, der er velkendt af Ungdommen. Den lille Baad, der uden Skrue, Hjul eller andet Maskineri, farer henad Vandet, rummer indvendig en lille Spritlampe, der udvikler Damp i en lille Kedel. Denne Damp føres gennem et Rør hen til Modellens Agterende, og ved Dampstraalens Reaktion mod Vandet farer Baaden fremover.

I Forbindelse med den tidligt kendte Anvendelse af Damp fortælles en Historie om en Arkitekt Anthemius, der var paa Kant med sin Nabo Zeno, og derfor bestemte sig til at spille ham et Puds. Fra Dampkedler i sit eget Hus førte Anthemius nogle Rør ind under Gulvet i Zenos Dagligstue, hvilket skete, uden at Zeno opdagede det; maaske har han haft Sommerferie eller været til Gladiotorkamp paa den lokale Arena. Da alt var klart, tændte Anthemius op under Kedlerne, Dampen »susede« gennem Rørene og gennemrystede det ulykkelige Offers Værelse. Det hele maa have virket som et pludseligt Jordskælv, og Zeno har sikkert faaet sig en ordentlig Forskrækkelse.

Dampkraft har sandsynligvis været kendt af de gamle ægyptiske Præster, som bragte den i Anvendelse ved deres saakaldte Mirakler. Det synes ogsaa, som om lignende Fremgangsmaader har været benyttet af de hedenske Præ-

ster og Middelalderens Munke. Der fortælles saaledes, at der ved Wesers Bred stod et Tempel viet til den berømte tyske Gud, Busterich, der var højt æret for den Maade, hvorpaa han var i Stand til at behandle de Tilbedere, der havde vakt hans Mishag. Naar saadanne Tilbedere betraadte Templet, forfærdedes de ved at høre en Lyd, som en høj og drønende Torden og umiddelbart efter blev de indhyllet i en tyk Sky, som fuldstændig skjulte Guden for dem. Rædselsslagne over Tilfældet, som de slet ikke kunde fatte Grunden til, var Tilbederne kun alt for villige til at slutte Fred paa hvilkesomhelst Vilkaar. Dette var i Almindelighed meget fordelagtigt for Templets Præster, som fra de angrende Tilbedere modtog Gaver i Overflod for derved at faa Guden formildet. Lidet anede Gudsdyrkerne, at de blev bragt til at bøje deres stolte Nakke ved Præsternes Anvendelse af en Smule kogt Vand. Gudeskikkelsen var af Metal, Øjnene lukkede med Propper, og Hovedet hult og fyldt med Vand. Vandet kunde opvarmes, og da Præsterne kendte den hertil nødvendige Tid, arrangerede de det saaledes, at Tilbederne blev samlede, naar den i Gudens Hoved sammentrykkede Damp var klar til at eksplodere. Naar det indvendige Tryk havde naaet en vis Størrelse, sprang Propperne ud af Gudens Øjne, og Dampen »hvi[illegible]e« ud under voldsom Støj, indhyllende Templet i en Sky af Damp, som forfærdede og forbavsede den samlede Mængde.

III

Fraset ovennævnte Anvendelser forblev Dampkraften uopdaget gennem Hundreder af Aar, og kun faa isolerede Forsøg blev foretaget. Fra ca. 250 f. Kr. indtil det syttende Aarhundrede skete intet paa Dampens Omraade, men der tales nu om Forsøg med »Luftmaskiner« og Vandets Kraft ved Ildpaavirkning.

Disse forøvrigt ubetydelige Forsøg var sikkert Resultater af Galileis og Torricellis Opdagelse af Atmosfærens Tryk.

I 1574 blev en af Heros Bøger oversat og offentliggjort i Bologna og vakte i det mindste eet Sted paany Interessen for Dampkraften. Den italienske Læge Branca læste om Heros Maskine og opfandt mange mekaniske Indretninger, hvor Damp blev anvendt som Drivkraft. En af disse bestod af et Hoved, ud af hvis Mund Dampen strømmede, naar det blev anbragt over Ild. Denne Dampstraale kunde dreje et Hjul, ligesom Vand drejer et Vandhjul (a. Tavle IX).

I 1615 hørte Franskmanden Salomon de Caus, der rejste i Italien, om Heros Bog, og da han kom tilbage til Frankrig, konstruerede han et Apparat, ved hvilken Vand kunde løftes til en vis Højde. Det havde Form af en Kugle, der var forsynet med to Rør, hvoraf det ene omtrent naaede ned til Kuglens Bund, naar det gik lodret til Vejrs. Begge Rør var forsynet med Haner, og disse lukkedes, naar Kuglen var omtrent fyldt med Vand. Naar Kuglen derefter anbragtes over Ild, blev Vandet presset gennem det lange Rør til Vejrs i en lodret Straale, hvis Højde afhang af, hvor stort det indvendige Tryk var, hvilket kunde reguleres ved at aabne eller lukke Hanerne. De Caus fortæller, at naar begge Rør var lukkede, vilde Varmen »i Løbet af ganske kort Tid fremkalde et indvendigt Tryk, der var saa stærkt, at Kuglen vilde splintres med et Brag.«

Karl I tilstod David Ramsey Patent paa forskellige Maskiner, der var bestemte til at »pumpe Vand paa en ny Maade.« Omtrent samtidigt foretog Markien af Worcester, Eduard Sommerset, som med Urette har faaet tillagt Æren for Dampmaskinens Opfindelse, nogle Forsøg med et »Ild-Vandværk« ɔ: et Slags Vandløfteapparat. Beskrivelsen af Sommersets Opfindelse er imidlertid saa uklar, at det er ganske umuligt bestemt at angive, efter hvilke Principer hans Maskine har arbejdet.

I 1680 opfandt Hollænderen Huyghens en »Krudtmaskine«, i hvilken et Vakuum*), frembragt ved Krudts Eksplosion i en Cylinder, omsattes til Bevægelse. Sir Samuel Morland foretog i 1683 i sit Hus nær Vauxhall en Række Eks-

*) Vakuum er det samme som Undertryk ɔ: mindre Tryk end den omgivende Atmosfære.

perimenter, og han havde blandt andet fundet ud af, at Damp var saa kraftig, at Vand, »der fordampedes ved Ild, kunde sprænge svært Skyts«. Han forsøgte sig ogsaa med en Maskine, der skulde pumpe Vand fra Themsen op paa Toppen af Windsor Castle.

Den første, der har haft virkelig Kendskab til Dampens Kraft, var Denis Papin, der i 1675 kom til England fra Frankrig. Han eksperimenterede med Vakuum og fandt ud af, at Vand, naar det stod i Forbindelse med fri Luft, ikke kunde opvarmes over en vis Temperatur, mens man ved at indeslutte Dampen kunde naa op til en meget høj Temperatur. Han opdagede ogsaa Dampens Udvidelseskraft, hvorved han kom ind paa Brugen af Sikkerhedsventil, men om han i Virkeligheden har opfundet denne, er et andet Spørgsmaal. Papin eksperimenterede ogsaa med Vandløftemaskiner, men da han ikke havde Held med sig, vendte han tilbage til sit Fædreland. I 1690 fremstillede han imidlertid, hvad selve Hovedidéen angaar, den første virkelige Dampmaskine, idet han brugte en Cylinder med Stempel i Forbindelse med sin Vakuummaskine.

IV

Imod Slutningen af det 17. Aarhundrede blev Kulgruberne gravet dybere og dybere ned og som Følge heraf mere udsatte for at fyldes med Vand. Nødvendigheden af at fremskaffe en kraftig Pumpe (evt. Damppumpe) blev mere og mere klar for alle, thi Vandet ligefrem truede med at »drukne« Grubearbejderne ud af Gruberne. Datidens Ingeniører havde deres Opmærksomhed henvendt paa dette Forhold.

To praktiske Mænd, der kunde binde an med Sagen, var Savery og Newcomen, hvilken sidste først begyndte Arbejdet, medens Savery tilsyneladende har erhvervet det første Patent.

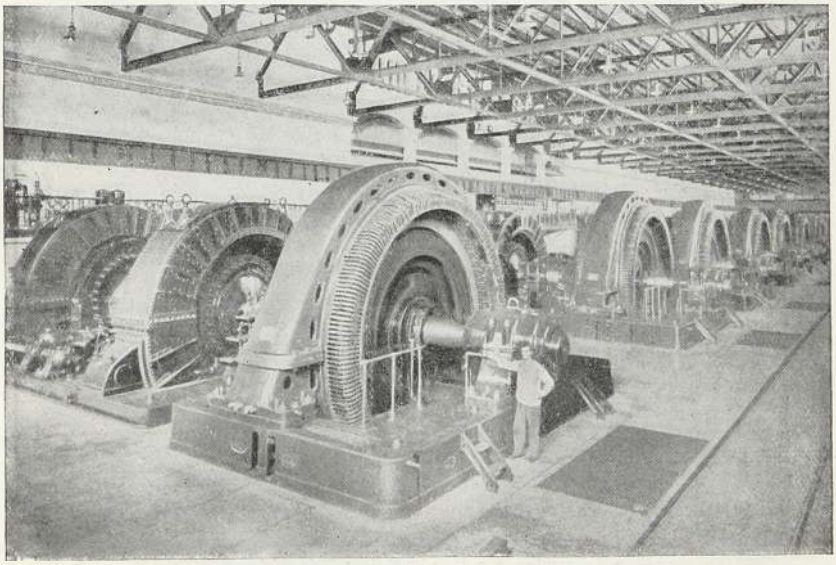
Thomas Savery, født ca. 1650 i Devonshire, var egentlig uddannet som Militæringeniør. Han var meget opfindsom og lavede ikke alene Ure, men opfandt ogsaa flere Ting, f. Eks. en Hjulbaad, der blev drevet uden Vindens Hjælp. Han blev opdraget i et Minedistrikt, og det var sandsynligvis de Vanskeligheder, det voldte Arbejderne at holde Gruberne fri for Vand, der henledte hans Opmærksomhed paa Anvendelse af Damp til dette Formaal. Under Udførelsen af sin Plan mødte han de mærkeligste, tilsyneladende uovervindelige Vanskeligheder, »men tilsidst« — fortæller han os — »besejrede jeg dem alle.« Han eksperimenterede jo med en ganske ny og ukendt Kraft, og som alle Foregangsmænd havde han store Vanskeligheder ved at faa sine Mekanikere, som var ganske uvant til den Slags Arbejde, til at gaa ind paa sine Ideer.

Saverys Maskine (Patent 1698), der fik Navn af »Bjærgmandens Ven«, bliver beskrevet paa følgende Maade: »En ny Opfindelse til at løfte Vand og foranledigende Bevægelse til al Slags Mølle-Arbejde ved Ildens drivende Kraft, og som vil være af stor Nytte ved Udpumpning (Dræning) af Gruber, Byers Forsyning med Vand og Bevægelse af alle Slags Møller«. Maskinens Kraft til Opsugning af Vand beroede paa Dampens Fortætning. Vandet bragtes over i Dampform i to Kedler, og denne Damp blev skiftevis sluppet ind i to Kobberfortættere eller Kondensatorer. Fra en Tank lod man derefter koldt Vand risle ned over disse Kondensatorer, hvis indvendige Damp derved fortættedes, og gennem det derved fremkaldte Vakuum sugedes Vandet op fra Grubebrønden. Endelig pressedes Vandet op gennem et Rør, hvis Ventiler kun aabnede opad og saaledes forhindrede Vandet i at trænge ned igen.

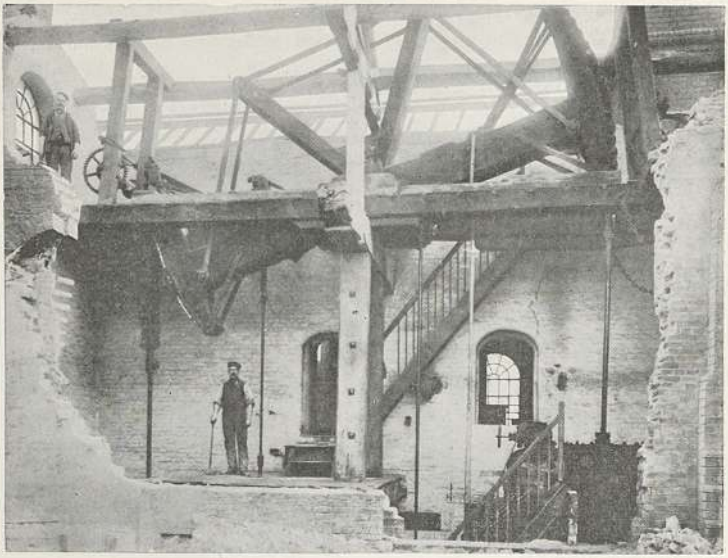
Saverys Maskine var en Forløber for Nutidens Damp-Brandsprøjte, og øjensynlig var han selv klar over denne Anvendelse af Maskinen, thi han angiver en Metode, ved hvilken den kan benyttes til Ildslukning »uden det haarde Pumpearbejde og Øsning med Spande«.

Savery foreslog at anvende Maskinen paa mange Maader, hvoriblandt: »at lade den pumpe Vand ind i en Behol-

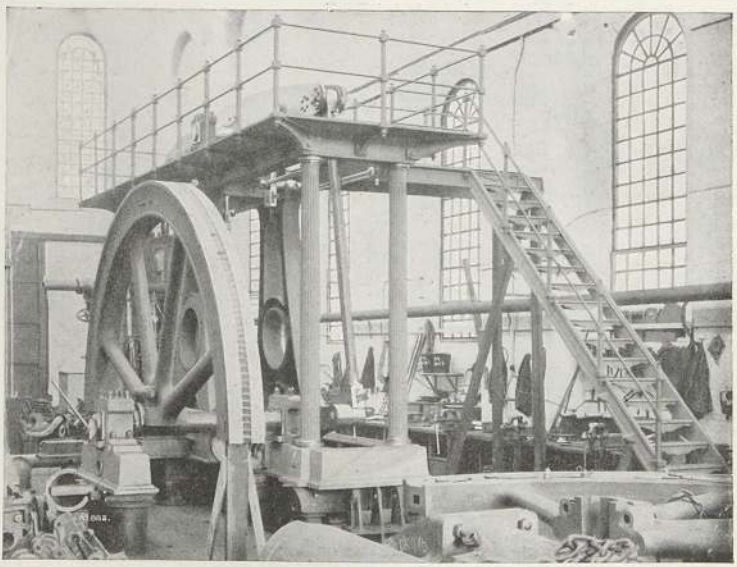
(a) Niagarafaldene. Denne mægtige Kraftkilde er nu endelig lagt i Tømme og maa lade sig omsætte i elektrisk Energi. *(Foto. Canadian Pacific Railway.)*



(b) Interiør fra Ontario Power Companys Generator Station. *(Foto. Ontario Power Co.)*



(a) Et Pust fra Fortiden. En af Watt's tidligste Maskiner (1776) bliver taget ned. *(Foto. Board of Education.)*



(b) Den moderne Erstatning for Watt's Balance-Maskine Maskinen vises her under Samling og skal bruges til Pumpearbejde, hvortil denne Type særligt egner sig. *(Foto. Ellison Hawks.)*

der, hvorfra det skulde drive et Vandhjul, pumpe Vand op i Cisterner, hvorfra Huse kunde forsynes, pumpe Vand op til en vis Højde i Tilfælde af Ildebrand, Udtørring af Moser og endelig — hvad han vistnok selv betragtede som det vigtigste — pumpe Vandet op fra oversvømmede Tin- og Kulminer«. Adskillige af hans Maskiner opstilledes i Cornwall, og deres Anvendelse satte Grubearbejderne i Stand til at arbejde i betydelig større Dybder, end det hidtil havde været muligt.

Maskinens Anvendelse i Kulminer voldte imidlertid mange Vanskeligheder. Ikke alene truede Vandet i Minen med at slukke Fyret og oversvømme hele Maskinen, men den varme, indesluttede Luft forsinkede ogsaa Cylindernes Afkøling. Fortætningen, der var en absolut Betingelse for Maskinens heldige Arbejde, var ikke tilstrækkelig effektiv, og Maskinen kunde ikke pumpe Vandet højere end godt 30 m. Vanskeligheder med Kedlerne og hyppige Eksplosioner i disse sammen med den Kendsgerning, at Brændselsforbruget var meget stort, bevirkede, at »Bjærgmandens Ven« blev erklæret for mislykket, for saa vidt Grubeanvendelsen angik, og kun fandt Anvendelse til at pumpe Vand op af Brønde eller op i Cisterner og lignende Biformaal.

Efterhaanden blev Saverys Maskine forbedret ved Anvendelse af nøjagtig tilpassede Stempler og Papins Sikkerhedsventil, og endnu saa sent som 1805 foretoges de sidste Forbedringer af Boaz fra Glasgow.

V

Det næste Fremskridt skyldtes Grovsmeden Thomas Newcomen, der boede i Dartmouth ca. 25 km fra Madbury, hvor Savery arbejdede med sin Maskine. Det forekommer besynderligt, at to Foregangsmænd, der bor saa tæt ved hinanden, netop skulde være optaget af at løse det samme Problem ad omtrent samme Vej. Da Newcomen var bekendt for sin Dyg-

tighed som Grovsmed, synes det jo ikke usandsynligt, at Savery kan have benyttet ham til at forfærdige visse Dele til sin Maskine — men herom foreligger dog intet positivt. Lad det nu være, som det vil, Newcomen assisteret af Glarmesteren Calley synes i hvert Tilfælde at have kopieret Saverys Maskine.

Efter et meget stort Arbejde og trods mange Skuffelser gik Newcomen i 1705 i Gang med at bygge sin Dampmaskine, efter først at have udført en Model, der arbejdede tilfredsstillende. Hans Maskine fungerede paa en noget lignende Maade som vore Lunger ved Aandedrættet, og skønt primitiv og ufærdig i sin Konstruktion blev den med Held brugt paa mange Steder og paa mange Maader. I vor Tid minder Balancemaskinen i ikke ringe Grad om Newcomens Konstruktion. Paa et vist Tidspunkt blev Balancemaskiner meget anvendt til Pumpning, hvortil de særlig egnede sig. Nutildags er imidlertid Balancemaskinerne blevet overfløjet af mere effektive Pumpemaskiner, og skønt Balancemaskiner endnu anvendes i enkelte Byer, tilhører de dog en forbigangen Tid (b. Tavle IV).

I Newcomens Maskine blev Kraften taget fra Atmosfærens Tryk paa Oversiden af et Stempel. Naar Stemplet var i Bund efter fuldført Nedslag, blev det trukket til Vejrs hovedsagelig ved Pumpestangens Vægt. Under Stemplets Bevægelse opad var der aabnet for Dampen, indtil Stemplet var i sin øverste Stilling (»i Top«), paa hvilket Tidspunkt Dampventilen lukkedes. Koldt Vand (ɔ: Kølevand) overrislede da Cylindrens Yderside, hvorved Dampen blev fortættet til Vand, der indtager et betydeligt mindre Rumfang end Damp. Som Følge heraf tvang Atmosfærens Tryk Stemplet nedad til Cylinderbunden, hvorved Pumpestangen løftedes op og tog Grubevand med. Gennem et særligt Spildedamprør lededes den fortættede Damp væk, Stemplet gik atter til Vejrs efter at have været i Bund o. s. fr. Da Newcomens Maskine arbejdede ved Hjælp af Atmosfærens Tryk, blev den ogsaa kaldt en »atmosfærisk Maskine«, men det maa i Forbindelse med dens Virksomhed som Pumpe her erindres,

at Atmosfæren kun kan modvirke Trykket af en Vandsøjle paa en Højde af ca. 10 m.

Newcomen og Calley fik Patent i 1705, men maatte som Følge af Saverys Paastand om, at Ideen var hans, indgaa i Kompagniskab med ham. Newcomen foretog nu forskellige

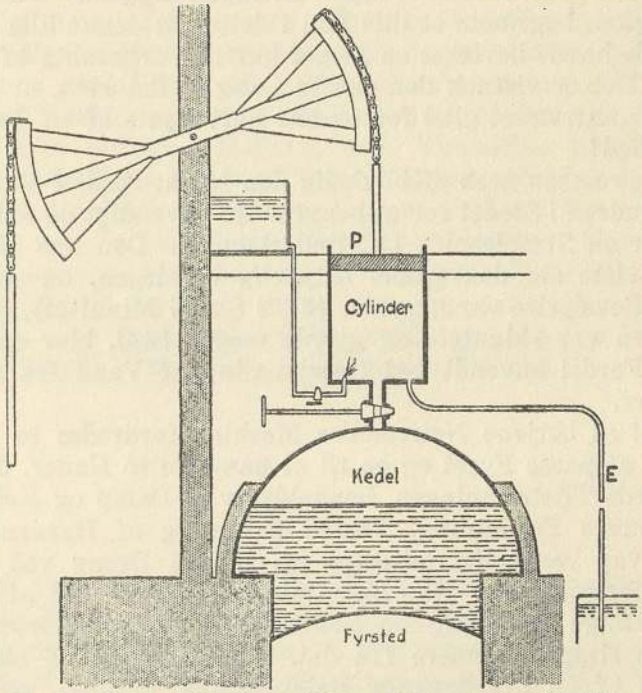


Fig. 5. Skematisk Fremstilling af Newcomens Maskine med Koldtvandsindsprøjtning i Cylinderen.

Forsøg indtil 1710, og i Slutningen af 1711 foreslog han, »at udpumpe Vandet fra en Kulgrube i Worwichshire, hvis Ejere hertil anvendte 500 Heste med en aarlig Udgift af ca. 17,000 Kr.«

Hans første Maskine blev 1712 opstillet i Wolverthampton, og snart efter anviste en Tilfældighed ham Vejen til en meget væsentlig Forbedring. Dampen var hidtil blevet fortættet ved at afkøle Cylindren med koldt Vand. Med Hen-

blik paa at holde den ydre Luft ude fra Cylinderrummet var Stemplet omhyggeligt pakket med Læder, og dets Overside var dækket af et Vandlag. Under en af de første Prøver blev Opfinderne opmærksomme paa, at Maskinen arbejdede med særlig hurtige Stempelslag. Ved nærmere Undersøgelse viste det sig, at det ovenpaa Stemplet liggende Vand var trængt ned gennem et lille Hul i dette, og denne lille Vandstraale havde bevirket en meget hurtig Fortætning af Dampen. Det er vistnok den eneste Gang i Historien, at en Ingeniør har været glad for og har haft Nytte af en Stempel-Utæthed!

Newcomen greb øjeblikkelig den Idé at sprøjte Vand *ind* i Cylindren i Stedet for at benytte det udvendigt og anbragte derfor en Straalespids i Cylinderbunden. Den nye Maskintype viste sig den gamle betydelig overlegen, og selv om dens Bevægelse var langsom (6—8 Slag i Minuttet), og selv om den var »kluntet« og gjorde megen Støj, blev den dog med Fordel anvendt ved Oppumpning af Vand fra mange Gruber.

Til at betjene Newcomens Maskine fordredes to Mand, en til at passe Fyret og en til at passe de to Haner, der regulerede Tilstrømningen, henholdsvis af Damp og Kølevand til dennes Fortætning. Denne Betjening af Hanerne, der ikke var vanskelig, udførtes af en lille Dreng ved Navn Humphrey Potter. Han blev imidlertid snart træt af denne ensformige Bestilling og spekulerede over, hvorledes han kunde slippe nemmere fra det. Pumpestængerne blev bevæget af en overliggende Balancestang (Vippe), og unge Potter blev snart klar over, at ved Anbringelse af et Snoretræk mellem denne og Hanerne lod det sig gøre skiftevis at aabne og lukke disse. Maskinen blev saaledes automatisk virkende, og da Forsøget først var lykkedes, kunde Humphrey lege næsten hele Dagen! Dog ikke alene var hans Snedighed vel anvendt, men Maskinens Virkningsgrad forøgedes ogsaa, saaledes at den nu kom op paa 16 Slag i Minuttet i Stedet for som tidligere 6 à 8. Den opfindsomme Potter blev senere en særdeles duelig Mester og rejste 1720 til Ungarn for at opstille Grubepumper dèr.

Newcomens to næste Maskiner blev opstillet i Newcastle, den fjerde nær ved Leeds. En lille Dreng ved Navn Smeaton, der boede i Nærheden, saa denne Maskine arbejde og fik derved stor Interesse for Mekanik. Denne Dreng blev senere en berømt Ingeniør, og i et senere Kapitel skal vi høre om hans Opførelse af Fyrtaarne. Smeaton forbedrede paa forskellig Maade Newcomens Maskine bl. a. ved at beskytte Cylindren mod Varmetab. Han udtænkte ogsaa en transportabel Maskine og har Fortjenesten af, at Dampmaskinen i 1777 blev indført i Holland, hvor Vindmøller hidtil i de lavtliggende Egne havde udført alt Pumpearbejde.

Mærkelig nok ved vi ikke ret meget mere om Newcomen; om han var rig eller fattig, hvor eller hvornaar han døde, ja ikke engang, hvor han ligger begravet. Hans Maskiner blev imidlertid i Brug i mange Aar, og der findes næppe den Tin- eller Kobbermine i Cornwall, som ikke paa et eller andet Tidspunkt har haft en saadan installeret.

VI

Vi vil senere erfare, at Brindley, Bridgewater Kanalens berømte Bygmester, oprindelig var Møllebygger. Det var i den Egenskab, at han rejste til Wolverhampton for at undersøge en af Newcomens Maskiner, som blev benyttet til at pumpe Vand op fra en oversvømmet Grube. Brindley blev ganske forbavset over Maskinens Kulforbrug og var af den bestemte Mening, at i Sammenligning med Vind- og Vandmaskiner — de to vigtigste hidtil anvendte Kraftkilder — vilde »Kulmaskinen« ingen praktisk Betydning faa, med mindre dens Forbrug af Brændsel blev formindsket. Han begyndte straks at forbedre Newcomens Maskine, og i 1756 opstillede han i Staffordshire en Dampmaskine, paa hvilken Jærncylindren var omgivet af en Trækasse, hvor Mellemrummet var fyldt med Aske. Ved samtidig at formindske Indsprøjtningen af Fortætningsvandet til det mindst

mulige, lykkedes det ham at bringe Brændselsforbruget ned til det halve.

Det er interessant at læse Brindleys Beskrivelse af denne Maskines Opstilling, thi derigennem faar vi lidt at vide om det Arbejde, Datidens Ingeniører maatte udføre. Han var først travlt optaget af Forfærdigelsen af Kedelplader, Rør og andre Jærndele samt Opstilling af Maskinhus og Fundament. Fem Dage gik til at fremstille Cylinderbaand, andre fem Dage var nødvendige til Anbringelse af Vippen, 39 Dage til at samle Kedlen og 13 Dage til at gøre Kulgruben klar. I hele den Tid fik han samme Løn som en Arbejdsmand (2 shilling om Dagen), og af hans private Dagbog synes det at fremgaa, at han ingen Assistance havde, men har maattet udføre hele Arbejdet alene. Han synes endog selv at have hugget sit Tømmer, thi eet Sted staar der: »Fældning af et stort Træ 3½ Dag«. Skønt han var næsten et helt Aar om Arbejdet, var Maskinen dog ikke færdig før November 1757. Omkring dette Tidspunkt siger Notitserne i Brindleys Lommebog mere end mange Bind. »Uheld i 5 Dage«, »Uheld i 3 Dage« og derefter »middelmaadigt Held i adskillige Dage«. Han bestræber sig stadig for at faa sin Maskine »i Arbejde«, og endelig skriver han den 19de Marts: »Maskinen i Arbejde i 3 Dage«. Nu kommer der 4 Dages Standsning, men derpaa Arbejde i 7 Dage, til hvilken Notits er føjet følgende Bemærkning: »Fremad!«

Skønt den første Maskine forskaffede Brindley mange Ærgrelser, gav han dog ikke op — men begyndte straks, da den var færdig, at udfinde en forbedret Type, som skulde kunne »pumpe Vand op fra Minerne, udføre Dræningsarbejder og forsyne Byer og Haver med Vand paa den mest effektive Maade!« I denne forbedrede Type indførte Brindley en særlig Fødeventil paa Kedlen, ligesom han saavel ved Vippen som i Pumpestængerne foretrak Træ for Jærn. Dette er et Særtræk hos Brindley, at han til at begynde med anvendte Træ i udstrakt Maalestok, og først langt senere lod han Sten og Træ erstatte af Jærn.

I 1763 byggede han i Newcastle en Dampmaskine helt igennem af Jærn, og der blev sagt, at denne var det »mest

fuldkomne og smukkeste Jærnarbejde«, der hidtil havde været udført. Fuldstændiggørelsen af Dampmaskinen blev imidlertid ikke udført af Brindley, da hans geniale Evner andet Steds blev taget i Brug, nemlig som nævnt ved Kanalanlæg.

VII

Hidindtil har Dampen simpelthen været benyttet til at fremkalde Vakuum, og kun Watts Iagttagelser og hans Opfindelse af en særlig Kondensator har bevirket, at den sammentrykkede Damp kom i Brug.

James Watt er født 1736 i Greenock, hvor hans Fader var Snedker og Købmand. James var et saa vanskeligt og fintfølende Barn, at man opgav at sende ham i Skole; men iøvrigt var han meget forstandig og var meget interesseret i videnskabelige Problemer. Der fortælles, at en besøgende ved en bestemt Lejlighed fandt James meget optaget af at tegne Kridtstreger paa Gulvet. Efter nogen Tids Iagttagelse bebrejdede Gæsten James' Fader, at han tillod sin Søn at lave »et sligt Roderi paa Gulvet«.

»Jeg kan ikke fatte, Hr. Watt,« sagde Gæsten, »at De kan lade Drengen spilde Tiden paa den Maade. Hvorfor sender De ham ikke i Skole?«

»Lad os se, hvad han bestiller, før vi dømmer,« svarede Hr. Watt, »James plejer ikke at spilde sin Tid!«

De gik nærmere og saa, at James var saa optaget af en geometrisk Opgave, at han ikke engang havde hørt de ældres Samtale!

Enhver Dreng kender sikkert den berømte Historie om Grydelaaget, som passerede, medens James var paa Besøg hos sin Tante, en Frøken Murihead. En Dag ved Tebordet trak James Kedlen hen til sig, tog Laaget af og lagde det paa igen, holdt en Ske hen mod Kandens Tud og talte de Vanddraaber, der fortættedes paa den. Næsten en halv Time gik paa denne Maade, indtil Tanten udbrød: »Men hvad er

det dog, du bestiller, James? Skammer du dig ikke over at spilde din Tid paa denne tossede Maade?« Der var imidlertid ikke spildt nogen Tid, thi James havde taget det første Skridt henimod sin store Opfindelse: Brugen af fortættet Damp som Drivkraft.

Som Dreng pillede Watt altid sit Legetøj i Stykker for at se, hvad der var indeni (hvilket forøvrigt enhver lille Dreng gør), men han samlede paany de enkelte Stykker, og havde han opdaget Princippet i Legetøjets Konstruktion, vilde han stadig finde paa noget nyt. Hvor vilde han og andre store Opfindere som Galilei og Newton have nydt Nutidens »Meccanoæsker«. Watt var som alle opfindsomme Drenge meget afholdt af sine Kammerater, og da han engang konstruerede en lille elektrisk Maskine, var den en Kilde til umaadelig Fornøjelse for ham selv og hans Legekammerater.

Hr. Watt var ikke velhavende, og James blev allerede i en ung Alder opfordret til at vælge sig en Livsbane. Hans Fader solgte bl. a. nautiske Instrumenter, og det blev James Skæbne at blive Instrumentmager, saaledes at han blev i Stand til at hjælpe sin Fader, men dog samtidig kunde dyrke sine videnskabelige Sysler. I 1754 rejste han til Glasgow for at lære Handelen, men tog dog ret snart den Beslutning at søge ind til London for at gaa i Lære hos en eller anden berømt Instrumentmager. Efter et Aars Læretid i London vendte han tilbage til Glasgow, hvor han var saa heldig at faa et Værksted i Universitetsbygningen. Her fabrikerede han Kort, Kvadranter og matematiske Instrumenter.

Watt er blevet beskrevet som en uhyre flittig Mand, og der er blevet sagt, at hans Liv beviser, »det ikke er den kraftigste og mest intelligente Mand, der opnaar de største Resultater, men derimod den Mand, som anvender sine Evner med den største Flid og den mest trænede Dygtighed — den Dygtighed, som opnaas gennem Arbejde, Ihærdighed og Erfaring«. Watt var ingenlunde en af Datidens lærdeste Mænd, men hvad han manglede i Lærdom, indhentede han paa andre Omraader. Han var i høj Grad flittig og vedholdende,

og al den Viden, han paa nogen Maade kunde erhverve sig, anvendte han paa praktiske Formaal. Som nautisk Instrumentmager studerede han ganske naturligt Optik og Astronomi, men han interesserede sig ogsaa for Historie og Naturhistorie. Som Bevis for hans Dygtighed tjener, at han som Instrumentmager fik Bestilling paa et Orgel, og skønt han ikke havde Øre for Musik og kun kendte lidet til Sagen, modtog han Ordren, og det lykkedes ham at bygge Instrumentet.

VIII

Watts Opmærksomhed blev henledt paa Dampmaskinen omkring Aaret 1763, da en Model af Newcomens Dampmaskine, der tilhørte Universitetet i Glasgow, kom i Uorden og blev overladt ham til Reparation. Det er besynderligt at tænke sig, at ikke alene Watts, men ogsaa Byen Glasgows Fremtid var koncentreret i denne lille Maskine, som endte med at blive saa berømt. Cylindren var ikke mere end 5 cm i Diameter med en Slaglængde af 15 cm. Først betragtede Watt selv den som blot et fint Legetøj, men den førte ham dog til Opnaaelsen af de vigtigste Resultater. Han kendte kun meget lidt til Fysiken, men med sin sædvanlige Flid satte han sig til at studere Varme, Fordampning og Fortætning, ligesom han læste al eksisterende Litteratur om Dampmaskinen og satte sig nøje ind i Saverys og Newcomens Arbejder. Han blev snart i Stand til at reparere Modellen, men syntes ikke den arbejdede tilfredsstillende, da den kun udførte nogle faa Stempelslag, før den stoppede. Ved at ty til Bøgerne kunde Watt ikke finde nogen Løsning paa Problemet, men fast besluttet paa at komme til Bunds i Vanskelighederne, begyndte han selv en Række Forsøg, hvor han benyttede Apotekerflasker som Dampbeholdere og hule Stokke som Damprør. Det var under disse Forsøg, at han opdagede Tilstedeværelsen af *bunden* Varme. Han førte Rør gennem

Kedlen for at forøge Hedefladen og »indpakkede« Cylinder og Rør. Selv efter at dette var gjort, fandt han imidlertid stadig, at den største Del af Dampen blev fortættet ved sin Indtræden i Cylindren, fordi denne var afkølet af Vandet fra forrige Fortætning.

Watt spekulerede længe over Sagen, men tilsidst i 1765 fandt han paa en Spadseretur en Søndag Eftermiddag ud af at forsøge en særlig Fortætter (Kondensator). I Beskrivelsen af sin Opdagelse fortæller han: »Jeg gik og tænkte paa Maskinen, da den Tanke pludselig slog ned i mig, at Damp var et elastisk Legeme, som vilde strømme ind i et Vakuum (Rum med fortyndet Luft), og hvis derfor et saadant Rum blev forbundet med Cylindren, vilde Dampen dèr kunne fortættes, uden at Cylindren blev afkølet.« Denne Opfindelse var Resultatet af et skarpt og vedholdende Studium og vilde næppe være sket, hvis ikke Watt omhyggeligt havde grebet Sagen an fra dens første Begyndelse.

Endskønt Watts Opfindelse var fuldkommen og gennemtænkt i Modelform, kostede det ham dog mange Aars Slid at udarbejde den i Detaillerne. Opfindelsens Fuldførelse tog ham næsten 10 Aar, i hvilket Tidsrum han skaffede Brødet til sig og sin Familie ved at sælge Kvadranter, bygge og reparere Violiner, Fløjter og andre Musikinstrumenter og ved Opmaaling. Hans Lykke skiftede imidlertid, da han mødte Matthew Boulton fra Birmingham, en dygtig, energisk og vidtskuende Mand, der interesserede sig for Opfindelsen og havde til Hensigt at skaffe Watts Dampmaskine almindelig Anvendelse.

Watts Opfindelse aabnede et helt nyt Felt for mekaniske Apparater. Et af de vigtigste Resultater var Udviklingen af Bomuldsfabrikationen, som gav Stødet til, at en af Tidens ejendommeligste Opfindere, Richard Arkwright, opfandt Spindemaskinen, der omtrent uforandret blev benyttet i et helt Aarhundrede.

Fra Watts Tid og indtil vore Dage er Dampmaskinen undergaaet store Forbedringer og har efterhaanden fundet Anvendelse paa utallige Omraader. Den er omdannet til at

drive Fabriksmaskiner og til Fremdrivningsmiddel for Havets Skibe. Den bruges til at male Korn, trykke Bøger, hamre, bore og dreje Metal o. s. v. Af største Betydning var dens Omdannelse til Lokomotiv-Maskine, der har været af umaadelig Betydning for Civilisationens Fremskridt.

KAPITEL III

DEN MODERNE DAMPMASKINE

I

MODERNE Dampmaskiner inddeles i to Grupper — de med en frem- og tilbagegaaende (eller op- og nedadgaaende) Bevægelse og de roterende. I den første Gruppe anvendes Cylindre, Krumtap og Svinghjul; den sidste Gruppe benævnes Turbiner.

Det maa antages, at enhver nu til Dags ved, hvordan en simpel Dampmaskine arbejder. Dampen slippes gennem Kanaler ind i Cylindren, først paa Bagsiden af Stemplet, dernæst paa Forsiden. Damptrykket tvinger Stemplet op eller ned — frem eller tilbage — og denne Bevægelse forplantes til Forbindelsesstængerne og dernæst til Krumtappen og Svinghjulet, der i Lokomotivet erstattes af de almindelige Kørehjul. Naar Dampen har drevet Stemplet saa langt frem det skal, lukkes Indstrømningsaabningen ad mekanisk Vej, og der aabnes for Udstrømningen af Dampen. Samtidig aabnes for Indstrømningen paa Forsiden af Stemplet, og Dampen trykker Stemplet tilbage, og Svinghjulet fortsætter den Bevægelse, det fik gennem Fremslagets Impuls. Disse Bevægelser er meget hurtige, og en saadan Maskine kaldes »dobbeltvirkende«, fordi Dampen driver Stemplet frem og tilbage (op og ned).

Cylindrens indvendige Diameter kaldes »Boringen«, Stemplets Bevægelse i Længden »Slaget«, og Afstanden fra Akslens Centrum til Krumtappindens Centrum »Vandringen«, der er det halve af Stempelslaget. Skulde Maskinen stoppe med Stempelstang, Forbindelsesstang og Krumtap-

arm i en ret Linie, siges en Maskine at være paa »Dødpunktet«, fordi Damptrykket ikke vilde kunne frembringe nogen Bevægelse. Skal Lokomotiv-, Skibs- eller andre Maskiner kunne startes i enhver Stilling, maa der benyttes to eller flere Cylindre, hvis Krumtappe danner en Vinkel, saaledes at to eller flere af dem ikke samtidig kan være paa Dødpunktet. I enkeltcylindrede Maskiner, der er i Gang, bringes Stemplet over Dødpunktet af Svinghjulet, der er i Besiddelse af en vis Bevægelsesenergi, og dog samtidig optræder som en Slags Regulator, der giver regelmæssig Gang. I Stemplets ydre Omkreds er der Riller (almindeligvis 2), i hvilke der er indlagt Ringe. Stemplets Diameter er ubetydelig mindre end Cylinderboringen, og hvis Ringene ikke var der, vilde Dampen undslippe mellem Stemplets Yderside og Cylindervæggen. Ringene har større Diameter end Stemplerne og ogsaa større end Boringen, men de er skraat gennemskaarne et Sted i Omkredsen og har her en lille Aabning, saaledes at de, naar de er paa Plads, spændes ud mod Cylindervæggene og derigennem forhindrer, at Dampen undslipper. Naar Ringenes Spændkraft slappes, maa de skiftes med nye.

I de ældre Maskintyper reguleredes Dampens Tilstrømning til Cylindrene ved Hjælp af en Glider, saaledes konstrueret, at den kunde dække over begge Tilstrømningsporte paa een Gang, og med saavel Gliderfladen som Cylinderfladen saa nøjagtigt sammenslebne, at Dampen ikke kunde undvige. Denne gamle Metode med en enkelt Glider til Regulering af Damptilførselen har nu maattet vige for mere effektive Fremgangsmaader. Ved det tidligere Arrangement var Indstrømningsportene ikke fuldt aabne, naar Maskinen skulde have en »Mundfuld« Damp for at »komme videre«, og en Del af Stempelslaget maatte forløbe forinden, hvilket betød et Virkningstab. Den samme Mangel gjorde sig gældende ved Afskæringen for Dampen og Aabningen for Udblæsningen eller Udstrømningen, der foregik lidt efter lidt.

For at raade Bod herpaa blev en ny Skaal anbragt bagpaa den oprindelige Glider(skaal), hvorved »Ekspansionsglideren« opstod. Dernæst anvendtes Rundglidere, og endelig den saakaldte »Tringlider« og Dobbeltglideren, der skæ-

rer helt af eller aabner helt for Dampen paa et bestemt Tidspunkt, saaledes at dens fulde Udvidelseskraft eller Ekspansion kan benyttes til Stempelslaget. Glideren bevæges af en ekscentrisk Skive (»Ekscentriken«), der sidder paa Akslen. Eventuelt ved flere Ekscentriker i Forbindelse med hinanden ved de mere komplicerede Glidere.

At Stemplets Frem- og Tilbagebevægelse kunde omsættes til en roterende Bevægelse ved Hjælp af en Krumtapsbevægelse, synes saa indlysende, at det forbavser En, at ikke en Mand som Watt har benyttet denne Omsætning straks, navnlig da en saadan allerede var patenteret af Matthew Wasborough; men maaske bunder hele Sagen i, at Wasborough var kommet Watt i Forkøbet. Derfor vilde Watt ikke købe Patentet, men sagde endogsaa: »Man kunde lige saa godt tage Patent paa at skære Ost med en Brødkniv!«

For een Gangs Skyld synes Watt saaledes at have mistet sit sunde Omdømme, og han maatte jo ogsaa senere gaa over til Krumtapsbevægelsen, men da var ganske vist Wasboroughs Patent bortfaldet.

I Watts Levetid ansaa man det for tilfredsstillende, naar Stempel og Cylinder passede sammen i Boring med 1 cm Nøjagtighed, men nu til Dags forlanges der en Nøjagtighed af under 0,125 cm, og i smaa Forbrændingsmaskiner fordrer man en Nøjagtighed af 0,0125 cm eller derunder!

II

Kompound (To- eller Flergangs)-Maskiner til Skibsbrug blev indført i 1853 af John Elder fra Glasgow. Naar Damp under højt Tryk har forladt en Cylinder efter at have udrettet sit Arbejde, er den stadig i Stand til at udføre et nyt Arbejde. For at udnytte denne Arbejdsevne ledes den ind i andre Cylindre, og en Maskine, sammensat af Cylindre, hvorigennem Dampen efterhaanden passerer, kaldes en Kom-

pound Maskine (Tavle V og VI). Dampen kommer først ind i Højtrykscylindren og ledes derfra ind til den næste Cylinder af større Diameter. Efter at have udført sit Arbejde dèr, føres Spildedampen videre til Lavtrykscylindren, der er af endnu større Diameter. I hver Cylinder udøver Dampen et vist Tryk paa Stemplerne, der igennem Forbindelsesstænger allesammen virker paa samme Aksel. I Højtrykscylindren virker Dampen med et Tryk af 14 kg pr. cm^2, i Mellemtrykscylindren med ca. 6 kg pr. cm^2 og i Lavtrykscylindren med ca. 2 kg pr. cm^2. Fra denne sidste gaar Spildedampen under et Tryk af ca. $^2/_3$ kg pr. cm^2 til Kondensatoren, hvor den ret pludselig fortættes til Vand. I mange Tilfælde bruger man oven i Købet Dampens resterende Varme til at opvarme Fødevandet til Kedlerne.

En Kondensator minder i Princippet om Køleren paa en Motorvogn, kun at Dampen passerer igennem en Række af Rør, der i en Beholder holdes afkølede ved forbipasserende koldt Vand, hvorved Dampen fortættes. I Automobilen er det modsatte Tilfældet, idet Motorens varme Kølevand passerer igennem Køleren (Radiatoren), der enten er i Rør- eller Bikageform, og under Farten fremover afkøles af den forbipasserende kolde Luft.

Som bekendt har et stort Antal tynde Rør en større Overflade end et mindre Antal tykke Rør. Det Forhold gør sig gældende i Kondensatorens Konstruktion, og det er derfor muligt at lade forholdsvis smaa Kondensatorer afkøle og fortætte forholdsvis store Mængder af Damp.

Det er nødvendigt at pumpe Fortætningsvandet ud af Kondensatoren, ligesom de medfølgende Luft- og Gasarter ogsaa maa fjernes gennem Luft- og Fødepumper. Sidstnævnte pumper Vandet ned i en Fødetank, hvorfra det atter pumpes paa Kedlerne for paa ny at blive omsat til Damp. Der hænger altid en Del Smøreolie ved Vandet, og da denne Olie angriber Kedlerne, maa den forinden fjernes ved, at Vandet paa sin Vej fra Kondensatoren tilbage til Kedlen passerer et Filter, der fjerner alle Olierester. Ved ovennævnte Fremgangsmaade kan Kedelvandet fordampe flere Gange og stadig bruges igen.

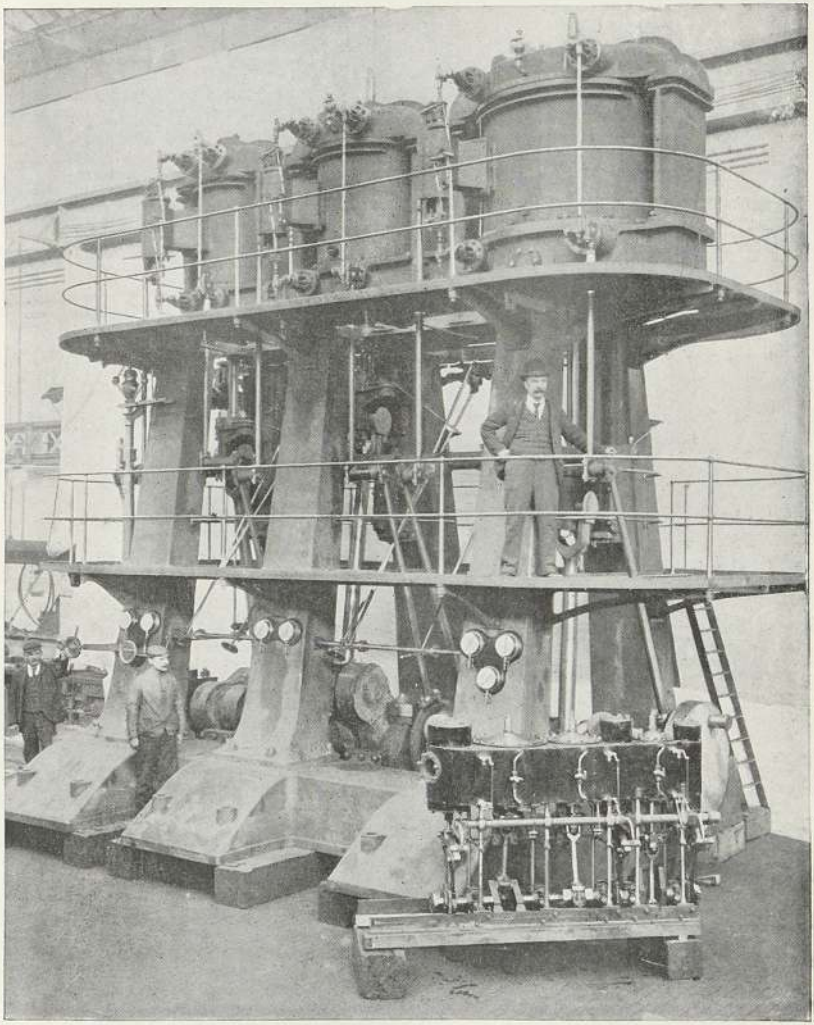
Ikke sjældent anvendes et Spædevandsapparat eller en »Fordamper«, som den ofte kaldes. Gennem denne forvandles salt Vand til Damp, som atter i et Destillationsapparat fortættes til »fersk Vand«, som kan bruges paa Kedlerne eller til andre Formaal f. Eks. Vask. For søgaaende Dampere er denne Installation af stor Betydning; thi da Ferskvandsbeholdningen af Hensyn til Pladsen er ret begrænset, kan »Fordamperen«s ferske Vand benyttes med stor Fordel. Søvand er fuldstændig uanvendeligt i Højtrykskedler, da det ved Fordampningen efterladte Salt og andre kemiske Dele meget snart dels tilstopper og dels fortærer Kedel- og Damprør, saa Maskineriet bliver ubrugeligt.

En ganske tilnærmende Beregning viser, at for hver 1000 HK Maskinen leverer i Løbet af 24 Timer omdannes ca. 125,000 Liter Vand til Damp og kun ca. 200 Liter af disse kan regnes som Tab.

Forvandlingen af Damp til Vand, efter at Lavtrykscylindren er passeret, fremkalder et Vakuum, saa at Kondensatoren udøver en sugende Virkning paa Lavtryksstemplets Udstrømningsside. Ikke alene aftager Dampens Tryk ved at passere gennem de tre Cylindre, men dens Volumen forøges samtidigt. Det er af Hensyn til disse Forandringer, at Cylindrene og saavel Ud- og Indstrømningsaabningen gøres større, efterhaanden som Dampen passerer de forskellige Cylindre. Ogsaa en Del af Dampens Varmeevne tabes ved at Dampens Fortætning til Vand forbruger Varme.

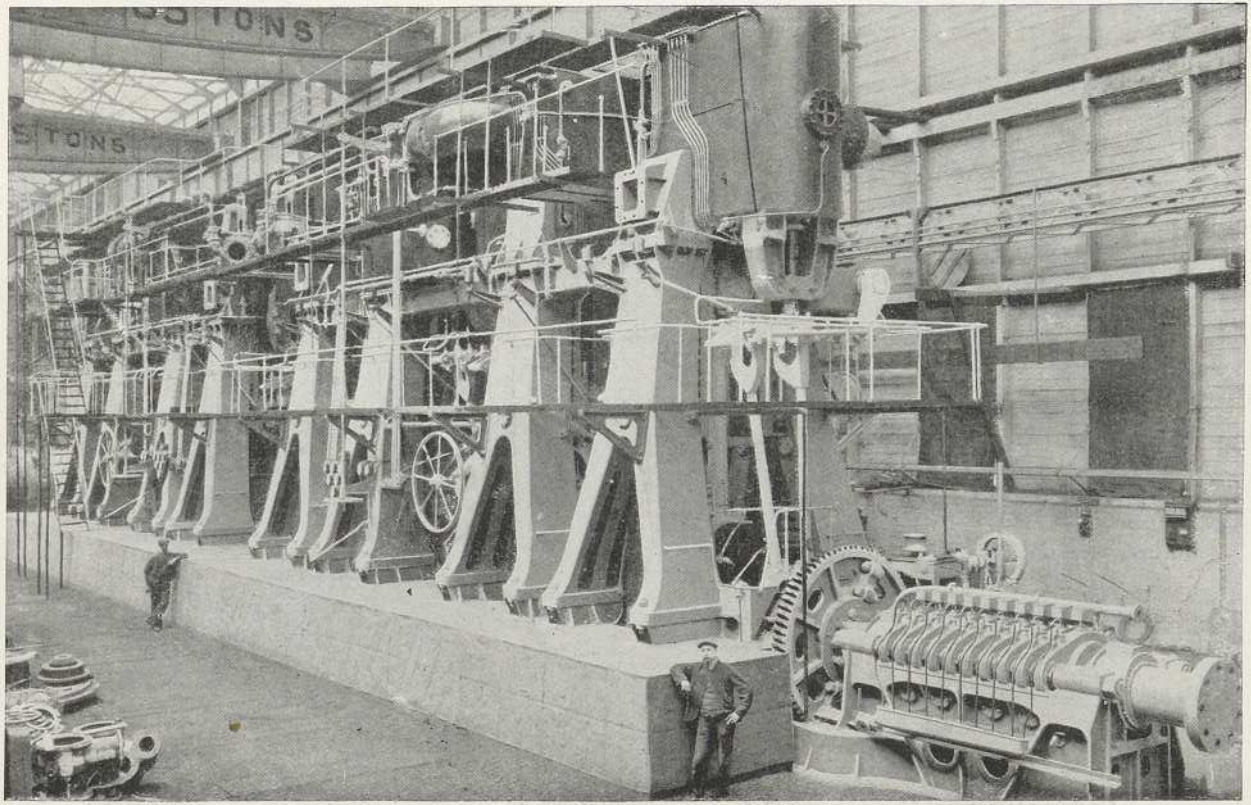
I en almindelig enkelt- eller dobbeltcylindret Dampmaskine er det nødvendigt at stille Maskinen i en bestemt Stilling for at sætte den i Gang; thi det er ikke sikkert, at Maskinen, efter at den er blevet standset, netop staar, som den skal af Hensyn til Dampens Indstrømning. Denne Drejning af Akslen kan ske ved Hjælp af Svinghjulet eller gennem en særlig Snækkemekanisme.

En Kompoundmaskine med 3 Cylindre kaldes en Tregangsmaskine (Tavle V), og er den mest anvendte, skønt man ogsaa har Firgangsmaskiner (Tavle VI) eller Maskiner med endnu flere Cylindre. I en Tregangsmaskine kan Cylinderboringen forholde sig som 4—6—9, men Slaglængden



„Værdighed og Næsvished." To Maskintyper, der begge giver den samme indicerede Heste-Kraft. Den store er bygget til et Vandværk, den lille til en Torpedobaad. Den store vejer 60 Tons og den lille kun $1^1/_2$ Ton. *(Foto. Messrs. Yarrow and Co., Ltd.)*

INDUSTRIFORENINGENS BIBLIOTEK



Firgangs-Expansions Maskine paa 14,500 HK. til Cunard Liniens Damper „Laconia".
(Foto. Messrs. Wallsend Slipway and Engineering Co., Ltd.)

er den samme. Krumtappene staar som Regel under en indbyrdes Vinkel af 120°, hvilket bevirker, at een af dem som Regel staar i en gunstig Stilling til Start og kan trække de andre med rundt.

INDUSTRIFORENINGENS BIBLIOTEK

III

Efter at have betragtet Dampmaskinens Arbejdsmetode maa vi nærmere undersøge, hvorfra den faar Kraften til Arbejdet, og høre lidt om Dampens almindelige Egenskaber. Dampen ejer ikke som Dynamit og Krudt Kraft i sig selv, men dens Udvidelsesevne, naar den er sammentrykket i et lukket Rum, benyttes som Kraft til at drive Maskiner.

Uden Ild kan Vandet ikke koge, Kedelen kan ikke levere Damp, og Maskineriet kan ikke sættes i Bevægelse. Fra Fysiken kender vi alle Varmeenhederne, det absolute Nulpunkt og Varmens mekaniske Ækvivalent. Vi véd endvidere, at Vand koger ved 100°, og at jo mindre Trykket er paa Vandets Overflade, desto lavere Temperatur vil bringe det til at koge, medens der fordres højere Temperatur, hvis Trykket paa Overfladen forøges, hvilket jo som Regel er Tilfældet i den almindelige Dampkedel. I en moderne Kedel vil Overfladetrykket som Regel ligger omkring 17 kg pr. cm^2, hvilket fordrer en Temperatur af 204° for at faa Vandet til at koge.

Der kan af en forholdsvis ringe Mængde Vand udvikles en ret betydelig Dampmængde (f. Eks. ca. 3000 l Damp af 1 l Vand) under normal Atmosfære-Tryk. Damp kan sammentrykkes, indtil det indtager et forholdsvis lille Rumfang, og jo mindre Rumfanget er for en bestemt Del Damp, jo større er selvfølgelig Trykket. Det er ganske det samme som naar vi skal pakke vor Feriekuffert. Vi opdager, naar vi har samlet alle de Ting, vi skal bruge, at Kufferten maaske kan rumme lidt mere endnu, vi stopper den godt ved Familiens Hjælp, og tilsidst kan den til vor store Forbav-

selse lukkes. Ganske vist, naar den lukkes op igen, viser det sig, at Indholdet er blevet ordentlig presset sammen paa Rejsen.

Det er ganske paa samme Maade med Damp, for naar den »pakkes godt«, er det utroligt at se, hvor stor Mængde Lavtryksdamp, der kan indespærres paa en beskeden Plads. En Liter Vand bliver under Normaltryk til ca. 3000 l tør Damp, men ved 22 kg Tryk bliver den kun til 175 l.

Det er paa Grund af denne Egenskab, at Dampen bruges til Ingeniørformaal, thi slipper man den »fangne« Damp løs, »bruser« den fremad og overvinder alle Hindringer, indtil den naar Atmosfærens Tryk, hvor den ikke længere er under Tvang. Paa den Maade kan Dampen »dreje Hjul rundt« eller for at udtrykke os mere videnskabelig: Varmeenergien omsættes til mekanisk Arbejde.

Naturen giver os undertiden en Lære om Dampens Kraft, f. Eks. naar store Vandmængder gennem opstaaede Utætheder paa Jordens Overflade udsættes for Jordens indre Varme. Resultatet bliver et forfærdeligt vulkansk Udbrud, ved hvilket ubændige Kræfter fra den indespærrede Damps Energi finder Jordoverfladens svageste Punkt og maaske sprænger en hel Ø til Himmels eller river Siden op paa et mægtigt Bjærg. (Det sidste fandt Sted i Maj 1902, da Vulkanen Mont Pelée paa Martinique en skønne Dag slugte en lille Sø, der laa paa dens Top, og derpaa pludselig splintredes med en stor Revne, hvoraf giftige eller uhyre varme Luftarter strømmede ud. Ved denne Lejlighed dræbtes paa faa Sekunder ca. 30,000 Mennesker, og kun ved den danske Krydser »Valkyrien«s Fremtrængen lykkedes det at redde ca. 700 Mennesker. Overs. Anm.)

IV

Kedlerne kan deles i to Klasser, 1) Tankkedler (cylindriske Kedler), der rummer store Vandmængder og 2) Vandrørskedler, hvor Størstedelen af Vandet er indesluttet i

mange tynde Rør. Tidligere anvendtes Cylinderkedler, men da det opdagedes, at Rørkedler gav betydelig bedre Virkning, gik Cylinderkedlerne af Brug, men bruges dog nu og da til specielle Formaal, undertiden i Forbindelse med Rørkedler.

Rørkedlerne eksisterer i to Typer, 1) Ildrørskedler (Røgrørskedler), i hvilke den varme Luft (Røg) passerer gennem de med Vand omgivne Rør og 2) Vandrørskedler, i hvilke det modsatte finder Sted, idet Vandet her cirkulerer gennem Rørene. Den første Type er kendt som almindelige Lokomotivkedler, medens den anden Type er repræsenteret ved Yarrow Typen og Babcock & Wilcox Typen (i Gruber og paa Kraftstationer) samt Yarrow og Thornycroft Typen (til Skibsbrug).

Rørkedlernes Overlegenhed beror paa den Omstændighed, at hvis man deler et fast Legeme i mange Dele, vil Overfladens Areal vokse, skønt Rumindholdet jo bliver det samme. Lad os f. Eks. tage en Tærning paa 1 cm^2 og dele den i to lige store Halvdele gennem Centrum. Disse Halvdele deles i Fjerdedele o. s. fr. (Fig. 6), og ved hver Deling bliver Overfladen i Forhold til Rumfanget større og større. Paa samme Maade vil Kedlerne indenfor en vis Grænse kunne blive meget mere virksomme ved, at Varmearealet forøges. Dette gøres ved at anvende en Mængde tynde Rør i Stedet for færre tykke Rør. Fire Rør hver med en Diameter af 2 cm fordrer kun samme Plads som eet Rør, der er 4 cm i Diameter, men set fra et Ingeniørstandpunkt er de imidlertid at foretrække, da deres samlede Overflade er to Gange saa stor. Den firdobbelte Overflade opnaas ved at bruge 16 Rør, hver 1 cm i Gennemsnit, hvilke frembyder denne større Overflade for Fyret i Kedlen, saaledes at Dampen hurtigt kan sættes op og vedligeholdes paa en mere besparende Maade. Brugen af Rør gør det ogsaa muligt at udnytte Varmen fra de glødende Luftarter, der ellers vilde forsvinde sammen med Røgen.

I en Automobil er der ikke Tale om at opnaa en hurtig Opvarmning af Vand, men netop om det modsatte. Vandet i Kølekappen er bleven ophedet ved Eksplosionen i Cylindrene, og det gælder om at faa denne Temperaturstigning modarbejdet, saa snart som muligt. Derfor er Vognen for-

synet med en Køler (Radiator) opbygget af en Mængde ganske tynde Rør. Nogle Kølere er maaske endda for effektive, da en vis Varme er ønskelig for en i Gang værende Motor,

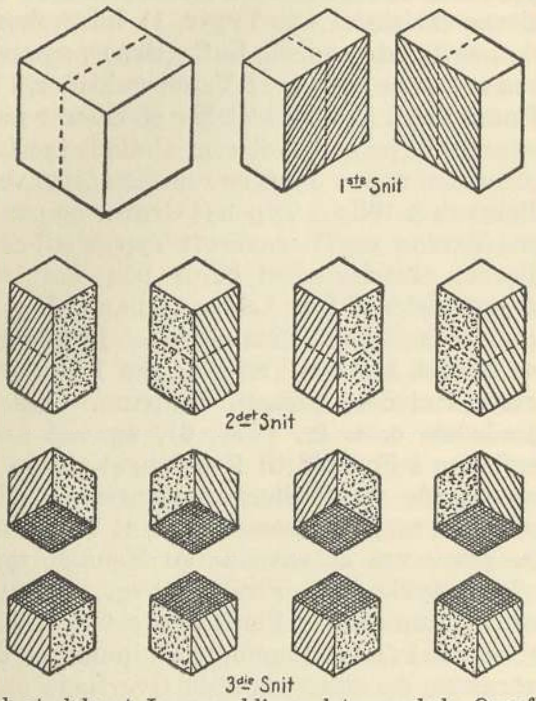


Fig. 6. Ved at dele et Legeme bliver dets samlede Overflade større. De otte smaa Tærninger har tilsammen fire Gange saa stor en Overflade som den store Tærning.

og derfor tildækkes de ogsaa helt eller delvis i koldt Vejr, for at Afkølingen ikke skal blive for voldsom.

Der er mange Fordele ved at anvende tynde Rør i Kedlerne, men visse Grænser bør ikke overskrides. Hverken Luftarter eller Vand passerer særlig let gennem meget snævre Rør, og Grænsen for de almindelig anvendte Rør ligger da ogsaa omkring 5 cm i udvendig Diameter. Ved videnskabelig Udnyttelse af Rørene er man naaet til en Hedeflade af over 6000 □ Fod i de største Lokomotiver, og en Flade

af 12000 □ Fod er nu til Dags ikke ualmindelig i Kedler, der anvendes paa Land.

Hvis vi betragter kogende Vand i et Kar, vil vi se, at

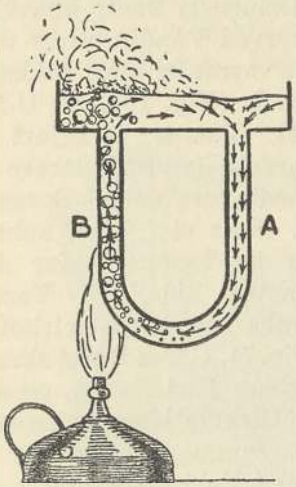


Fig. 7.

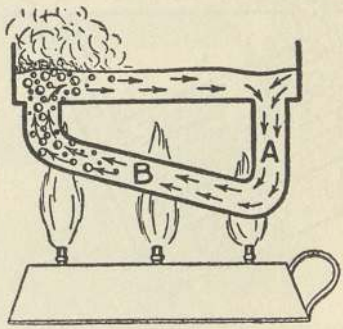


Fig. 8.

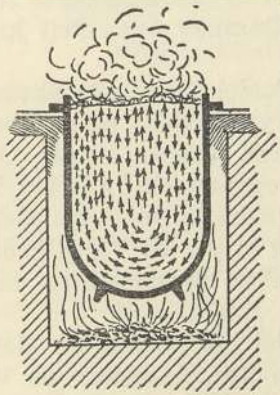


Fig. 9.

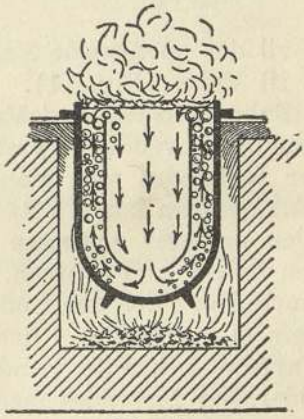


Fig. 10.

det er i stadig Bevægelse, stiger boblende til Vejrs rundt Ydersiden og »dykker« nedad i Midten (Fig. 10). Denne Bevægelse skyldes, at Vandet ved Karrets Sider ophedes

mest og som Følge heraf bliver lettere end Vandet i den øvrige Del af Karret, og desuden bæres det opad af de ved Varmen opstaaede Bobler. Disse brister, naar de kommer op til Overfladen, og den i dem indesluttede Damp undviger, hvorved Vandet bliver mindre varmt og atter falder til Bunds (Fig. 10). Et U-formet Glasrør fastgjort til Karrets Bund vil klarere anskueliggøre denne Bevægelse. Hvis vi f. Eks. anbringer en Lampe under dets venstre Side, vil Vandet straks begynde at cirkulere (Fig. 7). Gøres Røret skraat, forøges Hedefladen, og selv om Cirkulationsretningen er den samme, vil den dog tiltage i Voldsomhed (Fig. 8). Ved at forøge Antallet af Rør og samtidig deres Hældning vil det opvarmede Vand og Dampen mere frit kunne stige til Vejrs (Fig. 11).

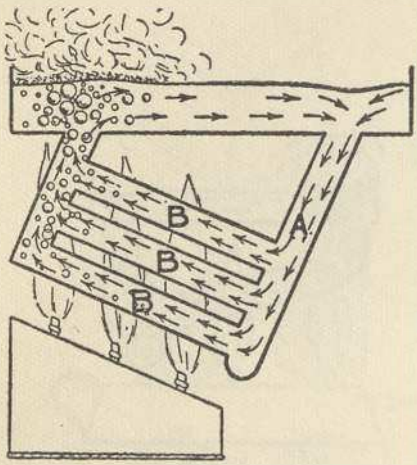


Fig. 11.

I Babcock & Wilcox' Vandrørskedel (Fig. 12) skraaner Rørene opad ovenover Fyrstedet (Fyrkanalen) og er i begge Ender forbundet med Vandcylindren (ogsaa kaldet Overkedlen) gennem kortere Rør. Den opvarmede Luft fra Fyrkanalen passerer gentagne Gange Rørene, idet den »ledes« ved en Deling af Fyrbroen. Vandet stiger til Vejrs gennem det korte Rør i den ene Ende af Kedlen og søger atter nedad gennem et større Rør i den anden Ende.

Yarrows bekendte Vandrørskedel har øverst en Hovedbeholder, der forbindes med talrige Rør, dannende en Væg, med to mindre Beholdere hver paa sin Side (Tavle VII). Et Hylster omgiver hele Rørsystemet, og Varmen fra Ildstedet virker direkte paa Hovedbeholderen og den indvendige Side af Rørsystemet. Vandet cirkulerer opad gennem de indre Rør og nedad gennem de ydre. Fordelen ved denne Kedel-

type er, at Dampen meget hurtigt kan sættes op, hvorfor den har fundet udstrakt Anvendelse i Krigsskibe. Den benyttes ogsaa paa elektriske Kraftstationer, hvor Maksimumsbelastning pludselig og uventet kan paakræves, f. Eks. hvis tæt Taage tildækker et Industricentrum, saa Lys maa anvendes om Dagen. Desuden er denne Kedel meget effek-

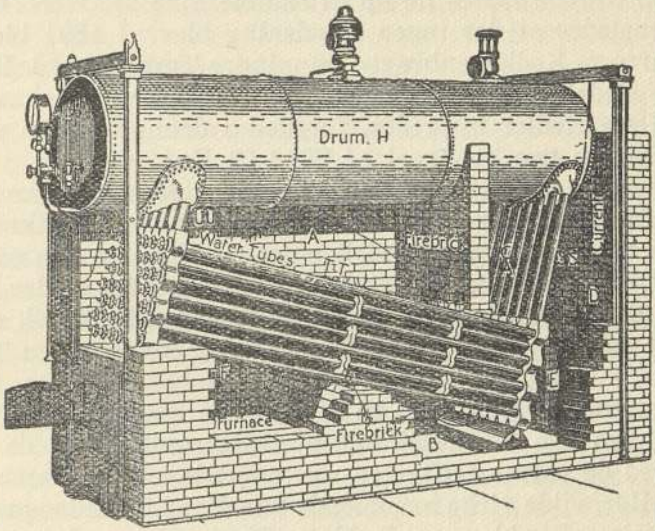


Fig. 12. Babcock & Wilcox' Vandrørskedel. Den ene Side er afdækket for at vise Vandrørene og Fyrstedet.

tiv, da en stor og samlet Hedeflade udsættes for direkte Bestraaling fra Fyrkanalen.

Indførelsen af Yarrows Kedeltype har sin egen interessante Historie. Firmaet byggede til at begynde med smaa Dampbarkasser først af Træ, senere af Jærn og til Slut af Staal. I disse Dampbarkasser anvendtes hovedsagelig Lokomotivkedler, og ved Torpedobaadens Fremkomst var det den eneste Kedeltype, som havde funktioneret tilfredsstillende. Paa mange af Fuldkraftsprøverne skete det imidlertid, at hele Rørsystemet pludseligt blev læk, hvilket voldte ikke ringe Ængstelse hos dem, der havde Ansvaret, og man var snart klar over, at Lokomotivkedlen ikke egnede sig til Brug

i Torpedobaade. Firmaet Yarrow afholdt derefter en Række Forsøg med Vandrørskedler, og i 1891 var den første færdig. Den bestod af en stor Overbeholder og to mindre Underbeholdere, og Rørene fra Underbeholderne gik til den modsatte Side af Overbeholderen, saaledes at der dannedes et Kryds; men under Prøverne blev dette Arrangement opgivet, og Rørene førtes nu op til samme Side af Overbeholderen, saaledes at der ingen Krydsning blev. I 1891 blev en af Yarrows Kedler anbragt i en mindre Torpedobaad. Denne første Kedel havde 407 □ Fod Hedeflade, men efterhaanden som flere Kedler byggedes, forøgedes denne og kom efterhaanden op paa et Areal af 2000 □ Fod.

Yarrows Kedler vandt snart stor Udbredelse, særlig i Krigsfartøjer, og mange Firmaer tilkøbte sig Fabrikationsretten. Ganske morsomt virker det, at Firmaet paa samme Dag fik 2 Telegrammer, et fra et engelsk Firma, der meddelte, at det havde bygget den hidtil mindste Kedel, og et fra et udenlandsk Firma, at det havde bygget den hidtil største.

Yarrows Princip blev til at begynde med meget kritiseret ud fra den Forudsætning, at Opvarmningen af de ydre Rør ved de varme Luftarter, der allerede havde passeret de indre Rør, vilde virke hæmmende paa Vandets nedadgaaende Bevægelse. Der blev nu afholdt en Række Forsøg for at modgaa den rejste Kritik, og det viste sig, at netop denne Opvarmning af de ydre Rør fremmede Cirkulationen, thi naar denne først var indtraadt, havde Boblerne i de ydre Rør ikke Kraft nok til at modstaa Strømbevægelsen og blev derfor revet med rundt til de indre Rør, hvor de forøgede Cirkulationshastigheden ved det, at de allerede var dannede, naar de kom saa vidt. Der blev ogsaa afholdt Forsøg med andre Kedler, hvor Rørene var krummet i de mest umulige Former, men det viste sig stadigvæk, at den bedste Kedeltype var den, hvor Boblerne hurtigst muligt (altsaa i ret Linie) naaede til Overfladen. Som Eksempel paa bureaukratisk Stædighed kan nævnes, at det engelske Admiralitet i Anledning af den rejste Kritik forlangte to særlig tykke Nedløbsrør fra Overbeholderen til Underbeholderne, og trods alle Beviser for at

de var overflødige, blev de dog bibeholdt i Aarevis, og Systemet efterabedes i andre Mariner.

Der blev ogsaa rejst den Indvending, at de lige Rør vilde blive uens opvarmet, hvilket kunde foraarsage Utætheder. Der blev derfor afholdt en Række yderst indgaaende Forsøg, og det viste sig, at selv under de haardeste Betingelser, f. Eks. naar de opvarmende Luftstrømme pludselig erstattedes af kolde, oversteg Variationen i de forskellige Rørs Længde ikke Tykkelsen af et Stykke Papir.

Yarrows Kedel-Type kan meget vanskeligt eksplodere, hvilket viste sig, da en søsyg Maskinmester i et Krigsskib, der i Storm passerede Biscayabugten, lod Vandstanden falde til et rent Minimum, saa at Rørene blev rødgloende, uden at der fandt nogen Eksplosion Sted. Et særlig grelt Tilfælde var det, da en uøvet Fyrbøder en Gang troede, at Vandstandsrøret var fuldt, skønt det i Virkeligheden var tomt. Da en øvet Kedelpasser kom til Stede og aabnede Fyrdøren, saa han, at alle Rørene var væk. Kedlen var helt tømt for Vand, og i den stærke Ild var Rørene simpelthen smeltede væk, og dog skete der ingen Eksplosion, da Ventilen, der skabte Forbindelse med de andre Kedler, havde lukket sig og saaledes forhindret Indtrængen af Damp fra disse.

Undertiden kan selvfølgelig et eller flere Rør revne, lække eller paa anden Maade havarere. I saa Tilfælde er det ikke nødvendigt at kassere hele Kedlen, thi det eller de ubrugelige Rør kan erstattes, tages helt væk eller »proppes«. En saadan Propning, der sker ved at drive en Støbejærnsprop ind i hver Ende af Røret, er ikke nogen særlig vanskelig Sag, og da Røret nu ikke mere indeholder Vand, vil det simpelthen smelte væk ved Varmen fra Fyrkanalen. Undertiden kan Rørene fjernes ved Hjælp af en »Udtrækker«, hvilket sparer megen Tid. I Stedet for at lade Kedlen staa ubenyttet hen i flere Timer og lade 4 à 5 Mænd arbejde i timevis paa at fjerne det ubrugelige Rør, kan dette med en Udtrækker, der betjenes af een Mand, rives ud i Løbet af en lille Time.

Da for nylig »Cunard Linien«s store Oceandamper »Berengaria« skulde ombygges til Oliefyring, blev det nødven-

digt at skifte Rørene i 45 Kedler, ɔ: over 45000 Rør skulde fjernes og erstattes med det samme Antal nye Rør. Ikke blot er Rørlængden forskellig i de forskellige Rækker, men der er ogsaa Forskel paa Længden af Rørene i samme Række. Følgen var, at hvert nyt Rør maatte afskæres til en ganske bestemt Længde og mærkes paa en særlig Maade, saa at det passede paa det Sted, hvor det skulde sættes ind. Med særligt Værktøj lykkedes det at faa 6500 Rør tilpasset om Ugen, hvilket svarer til Rørskiftning i 6 à 7 Kedler pr. Uge, eller med den nuværende Arbejdstid Anbringelse af et nyt Rør i hvert Minut. Denne Kedelreparation, der er den største, som hidtil er foretaget, tilendebragtes paa mindre end 4 Maaneder. Arbejdets Størrelse fremgaar deraf, at der blev benyttet 136 km Rørstaal, de gamle og nye Rørs Vægt var over 800 Tons, og der anvendtes ikke mindre end 60000 ildfaste Sten.

I en Kedel maa Vandoverfladen altid ligge over Hedefladens øverste Linie. Tilførslen af Fødevand reguleres enten ved Haanden eller automatisk gennem en Flydermekanisme, og Vandstanden kan aflæses paa et Vandstandsglas. Fødningen sker ved en Pumpe drevet af Hovedmaskinen, ved en særlig Pumpemaskine eller ved Injektor. I Kedlens Yderskal findes der ovale Aabninger (Mandehuller), saaledes at en Mand kan slippe ind i Kedlen for at reparere eller rense den indvendig. Rengøring indvendig af saavel Hoved- som Hjælpekedel kan gøres nødvendig ved at Fødevandet afsætter Urenheder.

V

Hvad angaar Varmeenergiens Omdannelse til mekanisk Arbejde, har vi allerede set nok til at forstaa, at jo mere Dampen opvarmes, jo mere Arbejde kan den udføre, og at der opnaas mere Kraft, naar Damptrykket forøges. Naar Dampen er meget hed og tør, vil den ikke fortættes i Cylindrene, hvorved den vilde tabe noget af sin Kraft. Op-

hedningen af Kedeldampen finder Sted gennem en særlig Overheder, der nu anvendes i alle Dampmaskine-Anlæg.

En Maskines Ydeevne afhænger i høj Grad af Temperaturforskellen mellem Dampen, naar den strømmer ind i Maskinen, og Spildedampen i Kondensatoren. Jo større denne Temperaturforskel er, desto større er vedkommende Maskines Virkekraft. En Stigning af Trykket (ikke Temperaturen) indenfor en vis Grænse betyder Forøgelse af Materialdimensionerne til Kedler og Maskiner, hvilket igen vil bringe Omkostningerne og Vægten til Vejrs. Forøgelse af den indstrømmende Damps Temperatur giver imidlertid en Besparelse i Dampforbrug paa op til 25 %, og samtidig undgaas den voldsomme Fortætning, som vilde finde Sted, hvis Trykket steg.

Mættet Damp har ved et givet Tryk en ganske bestemt Temperatur, og Tilførsel af Varme, medens Dampen er i Kontakt med Vand, kan ikke bringe Temperaturen til at stige, uden at Trykket stiger samtidigt. Hvis imidlertid den mættede Damp mister Varme enten ved Afkøling eller ved Udførelse af Arbejde under Ekspansion, vil en Del af den fortættes til Vand. Mættet Damp fremstilles i Virkeligheden aldrig i helt tør Tilstand, men indeholder altid nogen Fugtighed, hvilket medfører Fortætning og Tab af Kraft.

Opvarmning af mættet Damp giver overhedet Damp, d: Damp, der under et bestemt Tryk har en eller anden Temperatur, som ligger over Mætningstemperaturen. Overhedet Damp optager den tilførte Varme, og selv om der igen udskilles en Del deraf ved Afkøling eller Ekspansion, vil intet af den fortættes til Vand, og der bliver saaledes ikke Tale om Energitab, saaledes som ved mættet Damp.

Overhedet Damp, der anvendes i en Dampmaskine, optræder, indtil et senere Trin af Ekspansionen er naaet, som en ren Gasart. Den har endvidere den Fordel, da den er en forholdsvis daarlig Varmeleder, at der er mindre Fare for Varmeudveksling mellem Dampen og Cylindrens Inderside, hvad der bringer Tab af Kraft ved Maskiner, der arbejder med mættet Damp.

Anvendelsen af overhedet Damp har haft stor Betyd-

ning for Ingeniørvidenskaben, og »Overhedere« er nu installerede paa alle moderne Kraftstationer og nyere Lokomotiver, ligesom de ogsaa benyttes i mange Dampskibe.

Overhedning finder simpelthen Sted ved at lade Dampen passere gennem Rør, omkring hvilke varme Gasarter fra Kedlen cirkulerer. Om Bord i Skibe betyder det, at mindre Dampmængder skal fremstilles, Besparelse af Brændsel, ligesom Kedlerne kan reduceres i Størrelse, eller Kedler af samme Størrelse kan udvikle større Kraft. Besparing i Brændsel bevirker, at Beholdning heraf kan gøres mindre, eller med andre Ord Lasteevnen forøges.

VI

Et vigtigt Spørgsmaal ved Konstruktion af en Kedel er den Hurtighed, hvormed Dampen kan fremstilles (»sættes op«). Naturligvis afhænger denne Tid af Kedlens Type og Størrelse, af Fyrkanalen, Fødevandets Temperatur og ogsaa af den Maade, hvorpaa Forbrændingen af Brændstoffet foregaar, hvilket maaske endda er den vigtigste Faktor. Jo mere Brændstof, der forbrændes indenfor en vis Tid, jo større Dampmængde kan der præsteres. Hvormeget Brændstof, der kan forbrændes, afhænger igen af, hvor store Iltmængder, der er til Stede; thi det er akkurat lige saa nødvendigt at tilføre en Fyrkanal Luft, som det er at fylde Olie eller Kul i den. Derfor er Fyrkanalerne beregnede til at kunne taale meget stærk Træk, og hvis det er nødvendigt, anvendes forceret eller kunstig Træk. (Fig. 13.) Kedlerne er anbragte i et lukket Rum, som Luften trykkes ind i ved Hjælp af Centrifugal-Luftpumper eller Vifter, indtil det indvendige Tryk er betydeligt højere end Atmosfærens. Luften, der kun kan undslippe gennem Fyrkanalen, Kedelrørene og Skorstenen, bringer, idet den stryger gennem og hen over Fyret, dette til at hvidgløde. I Lokomotiver behøves ingen kunstig Træk, for under Gangen fremkaldes

der i Skorstenen en saadan Træk, at der bliver suget Luft ind paa Fyrstedet.

Af mekaniske Apparater, der sætter Luften i Bevægelse, saa man faar kunstig Træk, findes der de almindelige aabne Vifter og de indkapslede Centrifugalblæsere.

De første bestaar af en Række Blade, der er fastgjort

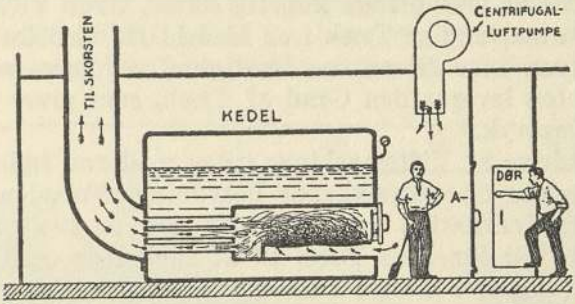


Fig. 13. Kunstig Træk ved Hjælp af en Centrifugalblæser. For at holde et jævnt Lufttryk maa man anvende Dobbeltdørssystemet for Adgang til Kedelrummet.

til et Støbejærns- eller Staalnav, der som Regel er monteret direkte paa en Elektromotors Aksel. Denne Type anvendes overalt til almindelig Ventilation, hvor der ikke er Tale om at overvinde større Modstande, og den kan med et forholdsvis ringe Forbrug af Kraft sætte store Rumfang Luft i Bevægelse.

Hvis Luften skal presses eller suges gennem større Rørlængder — som f. Eks. i Maskinrummet paa et Skib — er den almindelige Vifte til ringe Nytte. Den Modstand, der skyldes Luftens Friktion i Rørsystemet, kan let reducere det leverede Rumfang Luft til det halve og kræver desuden, at Viften skal yde dobbelt saa stort et Arbejde som i fri Luft. Til den Slags Arbejde kan kun Centrifugalblæseren benyttes. Den bestaar af et Staalhus, inden i hvilket et Viftehjul roterer. Luften suges ind i Hjulets Centrum gennem et cirkulært Hul i Siden af Huset og slynges ud gennem en rektangulær Aabning i Periferien.

Den bedste Maade at drive en Viftemaskine paa afhænger ganske af, under hvilke Omstændigheder den skal be-

nyttes. Den mest tilfredsstillende Driftsmaade er som Regel at lade en lille Dampmaskine eller Motor koble direkte til Blæseren. Med passende Kontrolapparater maa Viftens Omdrejningstal reguleres saaledes, at dens Arbejde passer til de foreliggende Omstændigheder. Dette er maaske ikke saa strengt nødvendigt ved almindelig Ventilation, som naar der er Tale om at frembringe kunstig Træk, hvor Viften skal levere den nødvendige Træk i en Kedel. Da Kedelbelastningen varierer, maa Blæserens Hastighed reguleres saaledes, at den netop leverer den Grad af Træk, som giver et konstant Damptryk.

Anvendelse af Viftemaskiner i den moderne Industri vil kunne faa stor og vidtrækkende Betydning. Foruden til Opvarmning, Ventilation og Kedeltræk kan de benyttes som Ildpustere ved Smedens Esse, til at suge Røg og Dunster, der fremkommer i mange Fabrikslokaler, som Tørremiddel, og endelig til at samle og borttransportere Savsmuld, Høvlspaaner, Uld og andre lette Materialer.

Ved Anvendelse af kunstig Træk kan Forbrændingshastigheden forøges fra 1½ til 6 Gange. Den nyttige Dampmængde vokser imidlertid ikke i samme Forhold, da de hede Gasarter bevæger sig saa hurtigt gennem Kedelrørene, at der ikke bliver Tid til at afgive samme Varmemængde, som hvis Bevægelsen var mere langsom.

Røggassen benyttes til at opvarme den indstrømmede Luft til Ildstedet og Vandet til Kedlerne. Vandets Temperatur er dog allerede som tidligere omtalt forøget noget ved Hjælp af Spildedampen fra Maskinen. Røggassen er i Besiddelse af betydelige Varmemængder, som den afgiver til det forcerede Varmluftstræk, der er mere nyttigt end Koldluftstræk, som ikke alene nedsætter Forbrændingshastigheden, men ogsaa afkøler Kedlen. En lignende Fremgangsmaade benyttes nu i Morsovne, og Røggasarterne, som i sin Tid gik helt til Spilde, udnyttes nu til at levere varm Trykluft til Træk, hvorved der hvert Aar spares enorme Mængder Kul. Endvidere er Røgkanalens Gasarter ogsaa betydelig varmere end Fødevandet til Kedlerne og benyttes til at opvarme dette, hvorved det lettere kan omdannes til Damp.

VII

Dampkedler er forsynede med forskellige nødvendige Apparater, saasom Sikkerhedsventil, Vandstandsrør, Damptrykmaaler og Injektor.

Sikkerhedsventilen er nødvendig af Hensyn til Dampens umaadelige Kraft — en Kendsgerning, som illustreres udmærket ved en Udtalelse af den bekendte Dampmaskine-Ekspert Professor Thurston, der hævder, at en Dampmaskine,

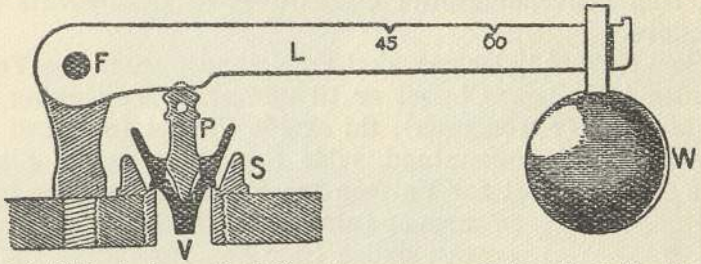


Fig. 14. Sikkerhedsventil af Vægtstangstypen. V Ventil; L Vægtstang; W Vægtlod. Loddet kan flyttes frem og tilbage paa Vægtstangen ved forskellige Damptryk.

der har et indvendigt Tryk af 7 kg pr. cm², rummer tilstrækkelig opsparet Energi til, at den kan ryge til Vejrs op til en Højde af 56 km, ɔ: som fra København til Frederiksværk.

Vi kan deraf forstaa, hvor nødvendigt det er, at Kedler og Damprør ikke maa belastes med større Tryk, end de er beregnet til, og Vigtigheden af at sikre sig herimod førte til Indførelse af Sikkerhedsventilen. Denne Anordning bestaar af en nøjagtig tilpasset Ventilprop, som presses imod sit Sæde af en nøje afvejet Fjeder eller ved en Vægtstang med Vægt. Naar Dampens Tryk mod Ventilproppen overstiger den tilladte Kraft, løftes Proppen og lader Dampen undvige, indtil Trykket atter bliver normalt. Paa Vægtstangstypen af Sikkerhedsventiler, der almindelig anvendes paa stationære Maskiner, kan Vægten bevæges langs en Arm, og Trykket saaledes reguleres efter Behag (Fig. 14). Fjedertypen anvendes mere paa Lokomotiver og i Skibe,

hvor Stød eller Bevægelse kunde bringe Vægten ud af Stilling. Fabrikslovene i civiliserede Lande forlanger som Regel Sikkerhedsventiler anbragt paa alle Kedler i vedkommende Lande, ligesom regelmæssige Eftersyn skal foretages. I tidligere Tid kunde samvittighedsløse Maskinister finde paa at overbelaste Vægtstangen eller sammenspænde Ventilfjederen paa deres Ventiler for at opnaa større Damptryk uden Hensyn til, om Kedlen kunde taale det eller ikke. Denne Fremgangsmaade resulterede i mange ulykkelige Eksplosioner, som nødvendiggjorde Udstedelsen af ovennævnte Fabrikslove.

Som Navnet tyder paa, skal Vandstandsglasset vise Vandstanden i Kedlen. Glasset er til udmærket Vejledning for Maskinisten (Fyrbøderen), thi skulde Vandet falde ned under en vis Minimumsstand, vilde Rørene og andre Flader blive direkte udsat for Varmen fra Fyrstedet, brænde igennem og foraarsage Ulykkestilfælde. Paa den anden Side kan for meget Vand i Kedlen foraarsage slet Fordampning. Vandstandsglasset bestaar af et Glasrør, trykprøvet til 220 kg eller mere pr. cm² og med begge Ender fastgjort til Kedlen. Glasset er forsynet med Pakninger for at gøre Forbindelserne damptætte. Ved to særlige Haner kan der lukkes af saavel for Damp som for Vand, og ved Hjælp af en tredje Hane kan der blæses Damp eller Vand gennem Røret, hvis dette skulde være nødvendigt. Ved Højtrykskedler er Vandstandsglasset ofte dækket af en tyk Glasskærm, saaledes at den skoldende hede Damp og det varme Vand ikke direkte kan oversprøjte de vagthavende Fyrbødere, hvis Glasrøret skulde springe. Nogle Vandstandsglas har automatisk virkende Kugleventiler, som lukker for Afgang, hvis en pludselig Strøm af Damp og Vand vilde trænge igennem det sprængte Rør. Denne Metode til-

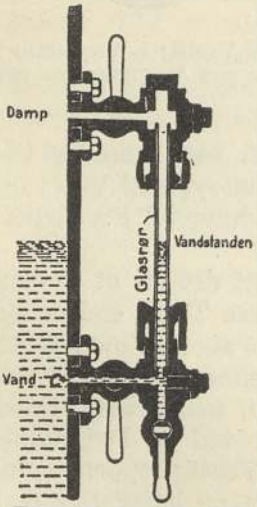
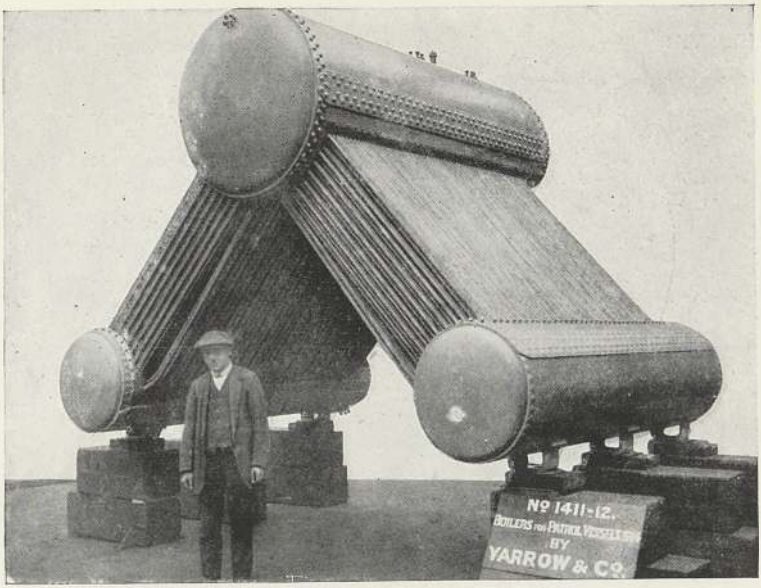
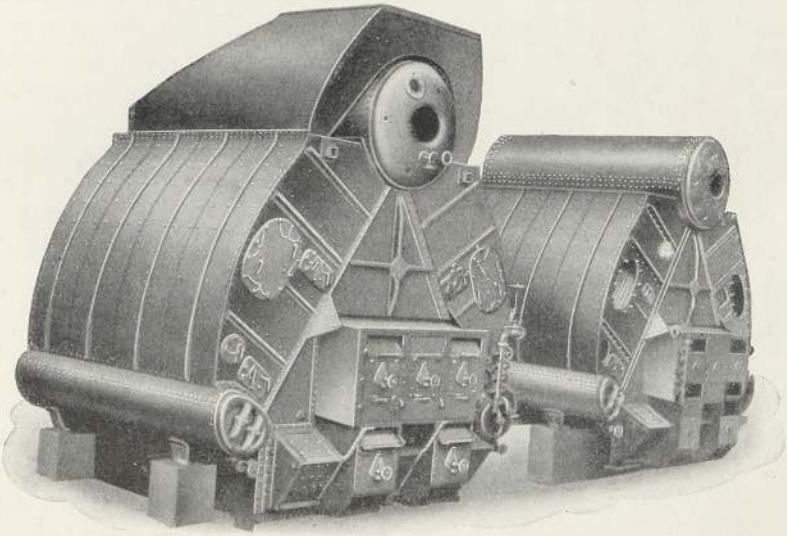


Fig. 15. Vandstandsglas.

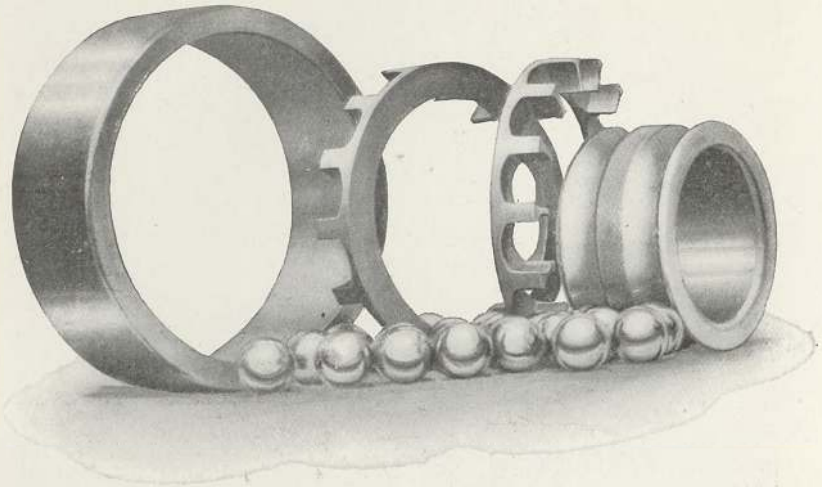


(a) Rørkedel af Yarrow-Typen afdækket saa man ser Rørene og Kedlerne.
(Foto. Messrs. Yarrow and Co., Ltd.)

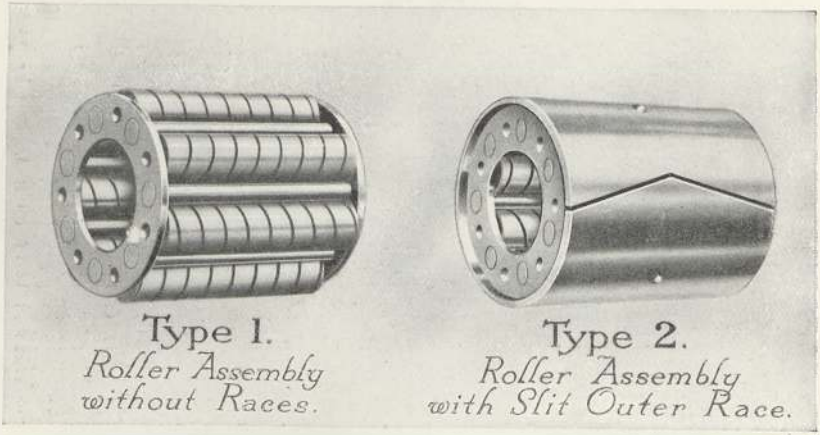


(b) To Eksemplarer af ovenstaaende Kedeltype med fuldt Udstyr
(Foto. North-Eastern Marine Engineering Co., Ltd.)

TAVLE VIII



(a) Et SKF-Kuglelejes enkelte Dele.
(Foto. Skefko Ball Bearing Co., Ltd.)



(b) To af de almindeligst brugte Rulleleje-Typer.
(Foto. Messrs. Hyatt Roller Bearings.)

lader Anbringelse af et nyt Glas, hvorefter Ventilen aabnes, og Kedlen funktionerer som før.

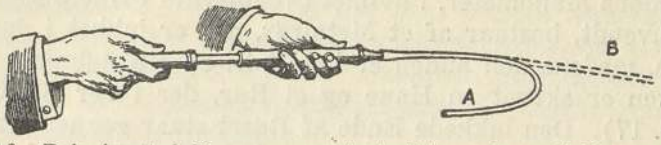


Fig. 16. Princippet i Dampmanometret vist med en Cyklepumpe og et Stykke Gummislange.

Det er meget nødvendigt for Maskinisten at kende det indvendige Damptryk i Kedlen, hvilket kan aflæses paa en Damptrykmaaler (Manometer), fastgjort udvendigt paa Kedlen. Det almindelig anvendte Manometer er Bourdons, hvis Princip kan vises ved at sætte et Stykke Gummislange (lukket i den ene Ende) til Fylderøret i en Fodbold eller paa en Cyklepumpe. Hvis Slangen er bøjet i en Kurve (A, Fig. 16), og der pumpes Luft ind, vil den søge at rette sig ud, som vist punkteret i Stillingen B. Grunden hertil er, at Slangens Tværsnit (Rørets Snit) danner en Oval. Naar Luften nu pumpes ind, vil Røret søge at antage et cirkulært Tværsnit, fordi denne Form har et større Areal end en Oval af samme Omkreds og giver Adgang for et større Rumfang Luft. Det samme Princip kan ogsaa demonstreres ved at hænge en Cykleslange over et

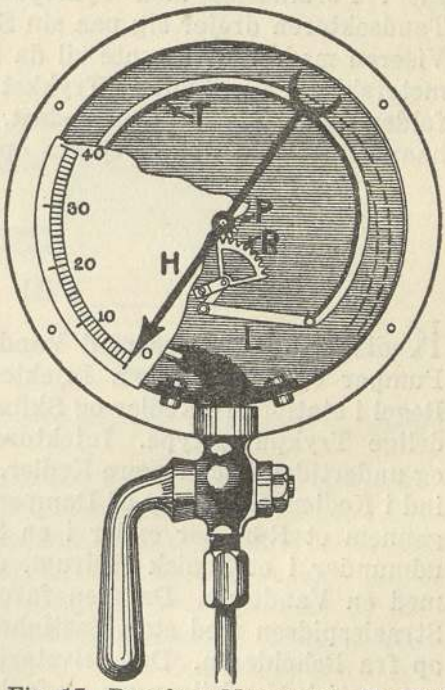


Fig. 17. Bourdons Manometer. En Del af Viserskiven er fjærnet for at vise Mekanismen.

Søm og derpaa pumpe den op. Den vil da, fra at danne en spids Oval, spænde sig ud til den danner en Cirkel. Bourdons Manometer, i hvilket ovennævnte Princip som sagt er anvendt, bestaar af et Metalrør, der er lukket i den ene Ende, medens den anden er loddet til en Hulstøbning, ind i hvilken er skruet en Hane og et Rør, der fører til Kedlen (Fig. 17). Den lukkede Ende af Røret staar gennem et Mellemled, der driver en Tandsektor, i Forbindelse med et lille Drev, til hvilket en Viser er befæstet. Naar Damptrykket stiger, vil den frie, lukkede Ende af Røret søge at rette sig ud ganske paa samme Maade som Gummislangen, der var sat i Forbindelse med Cyklepumpen. Dette bevirker, at Tandsektoren drejer sig paa sin Spindel og tager Drevet og Viseren med. Sidstnævnte vil da bevæge sig henover Manometerskiven, paa hvilken Trykket er anført. Naar Trykket falder, sker Bevægelsen modsat, og Metalrøret vil efterhaanden komme tilbage til sin oprindelige Stilling.

VIII

Kedlen kan forsynes med Vand ad to Veje, dels gennem Pumper og dels gennem Injektorer. Pumper bruges som Regel i stationære Kedler og Skibskedler og er af den almindelige Trykpumpstype. Injektorer anvendes i Lokomotiv- og undertiden i stationære Kedler. Injektoren blæser Vandet ind i Kedlen ved Hjælp af Dampens Tryk, idet Dampen ledes gennem et Rør, der ender i en Straalespids. Denne Spids udmunder i et konisk Hulrum, der staar i Rørforbindelse med en Vandtank. Dampen farer gennem Røret og ud af Straalespidsen med stor Hastighed og suger derved Vandet op fra Beholderen. Den selvstartende Injektor kontrollerer automatisk Vandtilgangen og forlanger ikke samme Pasning som den almindelige Type. I Lokomotivkedler kan man spare ved at lade Spildedampen fra Cylindrene drive Injektoren. Da Spildedampen muligvis ikke har tilstrækkelig Kraft til at overvinde Modtrykket i Kedlen, lader man den ofte kun

udføre en Del af Arbejdet, idet man lader Vandet gaa videre til en Højtryks-Injektor, der faar Damp direkte fra Kedlen.

Hastigheds-Regulatorer er der praktisk talt anbragt paa alle Maskiner, naar undtages Lokomotiver og smaa Hjælpemaskiner. Regulatorerne holder Maskinen gaaende med jævn Hastighed eller indenfor forud bestemte Grænser, hvis forskellig Hastighed forlanges.

Den almindelige Regulatortype blev opfundet af James Watt, og dens Virkemaade er baseret paa Centrifugalkraf-

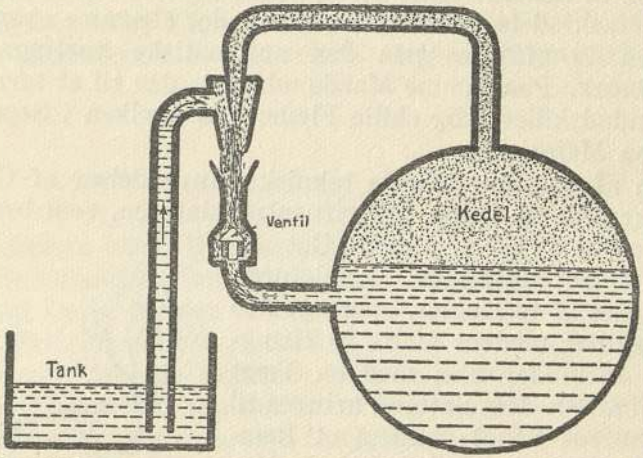


Fig. 18. Injektor-Systemet til Oppumpning af Fødevandet til Kedlen.

ten eller den »midtpunktflyende« Kraft, som den ogsaa kaldes. Det er den samme Kraft, som kaster Folk af det »Muntre Hjul« i Tivoli, og den samme, som en vaad Hund benytter for at blive tør, idet den befrier sig for Vandet ved en særlig Rystebevægelse. Det er ogsaa for at modarbejde Centrifugalkraften, at Motor-Væddeløbsbanerne hælder i Kurverne ind mod Banens Midte, for hvis denne Hældning ikke var der, vilde Motorkøretøjer med deres kolossale Fart af Centrifugalkraften blive slynget ud til Siden. Det samme Forhold kender enhver Cyklist, der ved en skarp Drejning om et Hjørne halv ubevidst hælder indad for ikke at vælte udad.

Centrifugalkraften har imidlertid sine Ulemper, og dem maa Ingeniøren stadig søge at bekæmpe. Et roterende Svinghjuls enkelte Dele er altid underkastet dens Indflydelse, og de forhindres kun i at flyve af og lave Ulykker ved nøje gennemtænkt Konstruktion og en meget omhyggelig Støbning. Sprængning af et Svinghjul er meget farlig, thi de enkelte Stykker kan fare igennem de tykkeste Mure og Vægge, som om de var lavede af Papir.

Centrifugalkraften udnyttes meget i det daglige Liv f. Eks. til at adskille faste og flydende Stoffer og til at befri smaa Maskindele for den Olie, man lader strømme over dem, medens de afdrejes paa den automatiske hurtiggaaende Drejebænk. Paa samme Maade udnyttes den til at tørre Tøj i »Vandudskillere« og skille Fløden fra Mælken i Separatorer paa Mejerierne.

En af de almindeligste tekniske Anvendelser af Centrifugalkraften er netop Centrifugalregulatoren, som bruges i næsten alle Typer af Damp-, Gas- og hydrauliske Maskiner. Regulatoren er dannet af to Kugler, ophængt i to Hængselled, medens andre to Hængselled forbinder dem med en Vægt (w. Fig. 19). Regulatoren bringes til at »snurre« rundt gennem et Remtræk fra Krumtapakslen, og naar Maskinen gaar rundt, slynges Kuglerne udad. Efterhaanden som Omdrejningstallet stiger, slynges de længere og længere ud, saaledes at den firkantede Figur, der dannes af de fire Hængselled, bliver mere og mere fladtrykt. Vægten, til hvilken de to underste Hængselled er fastgjort, vil blive løftet og samtidig selv løfte den ene Ende af en toarmet Vægtstang. Ved denne Bevægelse lukkes Spjældet eller Ventilen (v. Fig. 19), der er anbragt i det Rør, gennem hvilket Dampen passerer paa sin Vej til Maskinen. Saaledes vil der efterhaanden som Maskinens Hastighed vokser, blive knebet mere og mere paa Dampen, Maskinen vil atter gaa langsommere, og Kuglerne vil søge

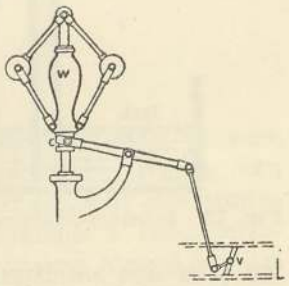


Fig. 19.

ind mod deres Omdrejningsakse. Omvendt vil der, hvis Farten sagtner, blive aabnet mere for Spjældet, indtil Normalhastigheden er naaet.

Hastigheds-Regulatorer har stor Betydning for Maskiner, hvis Belastning er forskellig som f. Eks. i Savmøller. En god Regulator skal kunne holde Hastighedsforandringerne indenfor 2 %, saaledes at en Maskine, hvis den er bestemt til at gaa med 100 Omdrejninger i Minuttet, ikke maa gaa mere end 101 og ikke mindre end 99. En særlig Betydning har Regulatoren for Skibsmaskineriet, thi hvis den ikke fandtes her, vilde Skruen, naar den paa Grund af Skibets Bevægelser i høj Søgang, pludselig flyver ud af Vandet, udsætte Maskineriet for unormalt store Kraftpaavirkninger.

IX

Friktionen eller Gnidningen er en af de Ting, der volder Maskiningeniøren flest Bryderier. Den er imidlertid et nødvendigt Onde, thi den findes overalt, hvor Bevægelse finder Sted. Friktionen opstaar derved, at de uendelig smaa Ujævnheder paa det ene Legemes Overflade griber ind i tilsvarende Ujævnheder paa det andet Legeme, som det under Arbejdet hviler paa eller er i Berøring med. Vi finder Resultatet af Friktion i mange daglige Smaating og særlig dèr, hvor den ikke kan skaffes af Vejen. Føler vi f. Eks. paa en Væddeløbsbils Dæk efter et Hastighedsløb paa Banen, vil vi snart opdage, at de er helt varme af Gnidningen mod Jorden, ja selv Dækkene paa en almindelig Automobil kan føles varme efter en jævn Kørsel paa Landevejen. Saa vidt muligt fjernes Mulighederne for Friktion overalt, hvor det kan lade sig gøre, eller man prøver paa at drage Nytte af den. I saa Henseende er det mest kendte Apparat sikkert Bremsen, ved hvis Hjælp Farten standses eller formindskes. Enhver Friktion ledsages af Varme, stærkere eller svagere, alt efter Omstændighederne. Enhver véd, at en Cyklebremse hurtig bliver varm, hvis den bruges i længere Tid, og vi har alle set

den Række af Gnister, der springer frem, naar Bremserne paa et Tog eller en Sporvogn pludselig sættes i Virksomhed. For at faa Bremsevarmen til at forsvinde saa snart som muligt, gives der Bremserne den størst mulige Overflade.

Et andet Eksempel paa, hvorledes Friktion kan benyttes til at standse en Bevægelse, har vi i en Kanons Tilbageløb eller Rekylering. Tilbageslaget overføres paa et Stempel i en Cylinder fyldt med Olie eller en anden Vædske, som kun kan passere gennem en lille Aabning eller Rille i Stemplet, og gennem den derved opstaaede Friktion hæmmes Rekylen. Friktionskoblingen mellem Motoren og Transmissionen i en Bil gør det muligt, at Kraften gradvis og jævnt overføres til Vognhjulene. Ved Overførelse af Kraft gennem Trisser og Remme spiller Friktionen ligeledes en meget stor Rolle.

Formindskelsen eller Fjernelsen af Friktionen er et Problem, som Ingeniører har ofret mange Tanker og Forsøg. Uden Tvivl har de første ubevidste Studier i den Retning fundet Sted lang Tid tilbage, f. Eks. da man anbragte runde Stokke eller Ruller mellem store Byrder og Jorden, hvorved Friktionen blev formindsket. Derefter maatte de løse Ruller vige Pladsen for store, faste Ruller, og ad denne Vej naaede man til den vigtige Opfindelse af Hjulet. Til at begynde med har Hjulet sandsynligvis kun været et kort Stykke af en tyk Træstamme, men lidt efter lidt er man naaet frem til Nutidens Hjultype, i hvilken den mindste Vægt forenes med den største Styrke.

Ikke blot foraarsager Friktionen Tab af Kraft, men hvis den ikke bliver modvirket, vil den kunne foraarsage alvorlige Vanskeligheder. Vi er imidlertid saa heldige i Fedt og Olie af Dyr og Planter at have fundet et vidunderligt Middel til at formindske Friktionen, idet Olien danner en Hinde paa de Overflader, der indvirker paa hinanden, og saaledes paa en Maade skiller dem ad. Selv om Trykket bliver flere Hundrede kg pr. cm^2, vil Olien trænge sig ind mellem de to Overflader og kan ikke presses ud igen.

De Midler, hvormed det hele Maskineri skal tilføres rigeligt Smørestof, er af stor Betydning for Konstruktionen, navnlig naar de arbejdende Dele er meget tunge, eller hvor

meget stor Kraft skal overføres. I Motorcyklers Krumtaphus roterer to Svinghjul i lidt Olie, hvoraf de som fint Støv sprøjter Olie ud til alle Maskindelene, bl. a. gennem Huller i Krumtaphusets ene Side til Magnetkæden. Ny Olie føres direkte til Krumtaphuset fra Olietanken ved Hjælp af en automatisk Dryppepumpe. I Motorvogne er Princippet praktisk talt det samme, men Olien tvinges meget ofte til at cirkulere ved Hjælp af en særlig lille Pumpe, der suger Olien op fra Bunden af Krumtaphuset, hvor Aksel og Krumtap smøres, og pumper den ud til Cylindre og Lejer, hvorfra den atter vender tilbage til Krumtaphuset. I nogle Maskiner bruges Smørekopper, hvorfra Olien tilføres de underliggende Steder draabevis ved Tyngdekraften alene. I andre Tilfælde udnyttes Haarrørsvirkningen, idet man fører Olien til et Leje gennem en Væge, der er stukket ned i en Oliekop.

I nogle Motorcykler — f. Eks. ved Totaktsmotorer — blandes Smøreolien med Benzinen, føres ind i Motoren sammen med denne, og da den ikke antændes ved Eksplosionen, forstøves den ud paa Cylindervæggen, hvorved Stemplet smøres. Et lignende System er anvendt i enkelte Dampmaskiner, hvor man lader »Oliebobler« rive med af Vandet, senere af Dampen, der fører det med ind i Cylindrene til Smøring af Stemplerne. Ved Hjælp af smaa Reguleringsskiver kan Tilførslen af Smøreolie som Regel varieres.

X

I mange Maskiner er Friktionen blevet betydelig formindsket ved Indførslen af Antifriktionslejer. Disse forringer Arealet af Berøringsfladerne, og da de er meget blankslebne og overordentlig stærkt hærdede, frembyder de Minimum af Smaaujævnheder imellem Berøringsfladerne. I disse Lejer er desuden »rullende« Friktion traadt i Stedet for »glidende« Friktion, hvilket har bevirket en betydelig Nedgang i Friktionsmodstanden.

Der er to Slags Antifriktionslejer, nemlig Kuglelejet og

Rullelejet. I Kuglelejet optages Trykket mellem Berøringsfladerne af en Række Punkter, i Rullelejet af en Række Linier (Tavle VIII).

Et Kugleleje bestaar af Kugler, enten løse eller indesluttede i Skaale, udarbejdet i det bedste Materiale og forfærdiget med den største Nøjagtighed. Rullelejet, der har Trykket fordelt over et langt større Areal, fordrer ikke samme Nøjagtighed i Forarbejdelsen, hvilket gør Lejet mindre ømfindtligt og bedre skikket til groft Brug.

Enhver Reduktion af Friktionen frigør disponibel Kraft og formindsker Slid og Rivning i Lejerne. Den bevirker ogsaa en betydelig Oliebesparelse, Pasningen bliver nemmere, og man undgaar de kostbare Standsninger, der indtræffer paa Grund af varme Lejer. Friktion kan aldrig fuldstændig undgaas, men i et godt konstrueret og velforarbejdet Leje kan den næsten helt bringes ud af Verden. Der paastaas, at der ved Brug af Antifriktionslejer spares ca. 50 % af Totalkraften, som fordres, naar der benyttes almindelige Lejer, som f. Eks. kendes fra tunge langsomtgaaende Maskiner i Kraner, Dræsiner og Blokvogne.

Rullelejer indføres nu ogsaa efterhaanden ved Jærnbanerne, hvor de vil faa stor teknisk Betydning, ligesom de ogsaa anvendes i Automobiler, Værktøjsfabriker, Tekstil- og Papirfabriker, Dynamoer, Pumper, Gearkasser etc. etc. Særlig i Lande som Japan, Australien, Italien og Frankrig har Rullelejer vundet Indpas.

Ved en Prøve paa »Great Eastern Railway« viste det sig, at der maatte ni Mand til at bevæge en Vogn med almindelige Lejer, medens een Mand kunde bevæge en Vogn af samme Størrelse, men med Rullelejer. I Bomuldsspinderier og andre Værksteder vilde der sikkert kunne spares en stor Del af den anvendte Hestekraft ved at indføre Antifriktionslejer. Det har vist sig, at der i Silkespinderier alene til at dreje Remakslen fordres 1 HK. I et Silkespinderi i Salford, der var udstyret med Rullelejer, blev en lignende Aksel, der var forbundet til Maskinen ved Trisser og blev drevet af en Elektromotor, sat i Bevægelse ved at een Mand trak i Rem-

men med to Fingre, hvilket vil sige, at der næsten ingen Friktion var.

I de sidste Aar er man ogsaa begyndt at eksperimentere med Kuglelejer i de danske Jærnbanevogne, for at undersøge deres Holdbarhed i Forhold til Rullelejet og maaske spare endnu lidt Kraft.

XI

Emnet Kraftoverførsel er af stor Interesse for Ingeniøren, da det her drejer sig om, hvorledes man kan overføre Energi fra den oprindelige Kraftkilde til de bestemte Maskiner, man ønsker at anvende. Der er fire almindelig anvendte Metoder for Overførsel af Kraft, nemlig 1) mekanisk, 2) pneumatisk (ved Luft), 3) hydraulisk (ved Vand) og 4) elektrisk.

Mekanisk Transmission sker ved Hjælp af Reb, Remme, Trisser, Aksler og Tandhjulsudveksling (Gear) — enten gennem en enkelt af disse eller flere i Forbindelse. Hvor Reb benyttes, gaar det igennem Skiver (Udskæringer) i Trissens Kant og føres derfra hen til andre Trisser paa en Fordelingsaksel. Der kan være eet Reb til hver Skive, men der kan ogsaa benyttes et gennemgaaende Tov, som driver flere Aksler fra en fælles Trisse. Sædvanligvis anvendes Manilareb, men almindelig snoet Reb er mere holdbart, men naturligvis ogsaa dyrere. Staaltraadstov kan ogsaa benyttes, særlig hvor der er Tale om at overføre Kraften ad længere Veje, og man har opnaaet Transmission gennem Staaltraad paa Distancer over 1 km. Den elektriske Transmissions større Ydeevne og mindre besværlige Opstilling har imidlertid standset videre Udvikling i den Retning. Remtræk benyttes i udstrakt Grad, da Remme er mere bøjelige end Reb. Remme fabrikeres som Regel af Læder eller særlig tilberedt Dug. I Stedet for Remme kan anvendes Kæder som i Cykler og Motorcykler. Kædetræk er kommet meget i Brug det sidste Par Aar og bruges ogsaa skiftevis sammen med Remtræk.

Tandhjulstransmission anvendes, naar en betydelig Kraft

skal overføres fra den ene Aksel til den anden, eller naar en Hastighed skal omdannes til Kraft gennem Aksler, Mellemaksler og Tandhjul. Ligger Akslerne parallelt med hverandre, er Gearhjulene cylindriske, men koniske, hvis Akslerne danner en vis Vinkel med hinanden.

Overførsel af Kraft ved Hjælp af Tandhjul er et af Mekanikens interessanteste Omraader, thi sjældent har vist Teori og Praksis arbejdet saa godt i Haand som netop her. Den korrekte Tandhjulskurve har Ingeniører i lange Tider beregnet og diskuteret, men det vilde imidlertid ikke have nyttet meget, hvis ikke samtidig den dygtige Haandværker havde kunnet holde Skridt med Teorien. Lige indtil fornylig har saaledes dygtige Møllebyggere forarbejdet udmærkede Tandhjul med Hænderne. Nu fabrikeres Tandhjul meget let paa moderne Støberier og Maskinværksteder i særlige Fræsemaskiner.

Tandhjulet er ligesom andre Maskindele i Tidens Løb blevet betydelig forbedret, hvad Formen angaar. Til at be-

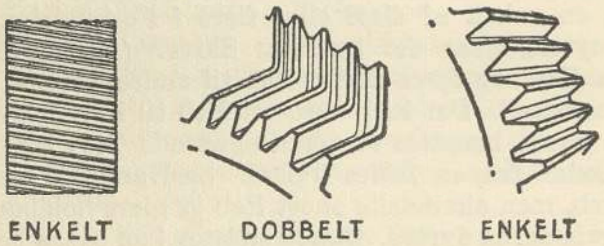


Fig. 20.

gynde med anvendtes almindelige lige Tænder vinkelrette paa Hjulkransen, men senere anvendtes skraatstillede Tænder, ogsaa kaldet Spiraltænder, fordi hver enkelt danner en Del af en Spiral eller Skruelinie. Spiraltænderne kan sidde i en enkelt eller ogsaa i to Rækker, der danner en stump Vinkel med hinanden (Fig. 20). Spiraltænderne giver større Virkningsgrad og glattere Bevægelse, fordi de gradvis slipper og griber hverandre, hvilket ogsaa gør betydelig mindre Støj.

Den fineste nuværende Hjuludveksling findes vel nok i Forbindelse med Turbiner, der bliver behandlet i det følgende Kapitel.

Naar Gearing anvendes til Kraftoverførsel, gaar der en Mængde Energi tabt, hvis Hjulene ikke passer nøjagtigt ind i hverandre, og Tabene kan i visse Tilfælde godt naa op til 50 % og er sikkert sjældent under 10 à 15 %. Enhver Automobilist eller Motorcyklist véd ogsaa meget vel, at ikke nær hele Motorkraften er disponibel, naar han »gearer« sin Maskine.

Snække- og Hjulgear benyttes til paa een Gang at kunne formindske store Hastigheder i Stedet for at gaa nedad i forskellige Trin gennem flere Sæt Tandhjul. Denne Gearing benyttes meget i Automobiler, Elevatorer, Styremekanisme i Skibe og Lokomobiler. Maskin- eller Styreakslen bærer en Snække, og denne Snække er i Forbindelse med et Snækkehjul, hvis Tænder har samme Stigning eller indbyrdes Afstand som Gængerne paa Snækken. Snækken maa derfor drejes en hel Omgang for at bevæge Snækkehjulet een Tand frem.

Ved pneumatisk Kraftoverførsel presses Luften sammen og trykkes gennem Rør ud til Luftmaskiner paa Arbejdsstedet. Saaledes anvendtes pneumatisk Transmission ved Udgravningen af Mont Cenis Tunnelen, hvor Luften, der blev sammenpresset af en Række hydrauliske Stempler, gennem Rør blev ført ind til Arbejdspladsen for at drive de derværende Boremaskiner. Pneumatisk Transmission har med Held været benyttet til Transport i Miner, til Jærnarbejder og Bygning af Staalbroer etc. Der har ogsaa været gjort Forsøg med pneumatisk Drift af Sporvogne ved at anbringe Luftbeholdere i Vognene, men disse Vogne kunde ikke tage Kampen op mod de snart gammelkendte elektriske Vogne.

Hydraulisk Kraft bruges til lignende Arbejder som pneumatisk Kraft (f. Eks. Boring og Nitning), men den kan ogsaa anvendes, hvor der fordres større Tryk, f. Eks. i Kraner og Spil og til Lukning af vandtætte Skodder i Skibe. En interessant Anvendelse af enorm hydraulisk Kraft har

man ved Bevægelsen af Verdens højeste Kanalsluse i Peterborough i Canada. Den hydrauliske Presses ydre Diameter er ca. 2½ m, Stemplets 2 m og Slaglængden 20 m. Trykket i Pressen er under Løftningen 43 kg pr. cm². Porten og Spillene, der drives ved hydraulisk Kraft, kan faa Slusen til at løfte et Skib med Besætning og Last til en Højde af godt 20 m i 6½ Minut.

Elektrisk Transmission har vundet almindelig Udbredelse paa Grund af dens store Ydeevne, Økonomi og lette Behandlingsmaade. Dynamostrømmene føres fra en Centralstation gennem Ledninger til Elektromotorer, anbragte næsten overalt uanset Afstanden til Centralstationen. Jævn- og Vekselstrøm bruges begge over korte Afstande, men til længere Afstande bruges næsten udelukkende Vekselstrøm. Grunden hertil er, at for at elektrisk Kraft skal kunne overføres økonomisk, maa Spændingen være høj, thi ellers vilde Kobberet til Kablerne blive altfor kostbart, da disses Tværsnit maatte forøges. Jævnstrøm kan nu til Dags vanskeligt bringes op paa højere Spænding end 3000 Volt, selv om man ganske vist ved at koble flere Dynamoer sammen i Serie har opnaaet en Spænding paa 25000 Volt og derover. Med Vekselstrøm kan derimod nok faas Spændinger paa 50000 Volt eller mere, og denne Spænding kan senere igen nedsættes til en passende Brugsspænding.

Den sædvanlige Fremgangsmaade er at frembringe Vekselstrøm af høj Spænding, overføre den gennem Kabler til Bistationer, og dèr nedsætte den til en passende Arbejdsspænding ved Hjælp af Transformatorer, og paa samme Tid omforme den til Jævnstrøm ved Hjælp af Motorgeneratorer. Den sædvanlige Lysspænding er 220 Volt, for Sporvogne 4 à 500 Volt.

Elektrisk Overførsel benyttes overalt til Sporvejsdrift og har i Jærnbaner vist sig Dampen overlegen. Elektriciteten finder stadig større og større Anvendelse, og det kan jo ikke nægtes, at elektrisk Overførsel har mange Fordele, saasom høj Virkningsgrad, optager ringe Plads, er let at behandle og betjene og er ganske fri for Snavs, Varme, Støj og Rystelser.

KAPITEL IV

TURBINER

I

ORDET »epokegørende« bør som Regel anvendes med et vist Maadehold, og dog er det fuldstændig berettiget at anvende det i Forbindelse med Dampturbinens Opfindelse; thi denne Opfindelse markerer et af Ingeniørkunstens største Fremskridt, et Fremskridt af vidtrækkende Betydning. Ikke alene er Turbinen en mere effektiv og bedre egnet Generator (Kraftudvikler) end Dampmaskinen, men den er ogsaa mere økonomisk i Brændselsforbrug og har den yderligere Fordel at være forholdsvis let, samtidig med at den ikke er vanskelig at betjene.

Dampturbinen er en roterende Maskine, i hvilken Dampen rettes mod en Del Blade eller Skovle anbragte i Periferien af en Tromle eller et Hjul, hvis Aksel ved Dampens Tryk paa Skovlene bringes til at dreje rundt sammen med Hjulet. Turbiner kan ogsaa bringes til at rotere under Paavirkning af en Vandstrøm, rettet imod Hjulets Blade. I saa Tilfælde kaldes de Vandturbiner, og Bladene har hos disse mere Form af Spande, saaledes at de kun lidt ligner Dampturbinens Skovle.

Mange Opfindere, særlig efter James Watts Tid, bestræbte sig for at konstruere en Omdrejningsmaskine for at undgaa Stempel-Dampmaskinens ret vanskelige frem- og tilbagegaaende Bevægelse. Der var imidlertid gennem lange Tider ingen, der fandt paa at bygge videre paa det Princip, der var anvendt i Heros roterende Dampkugle, skønt denne

til en vis Grad repræsenterede Dampturbinens Reaktions-Princip om end paa en ganske primitiv Maade.

Aabenbart har Heros »Dampkugle« imidlertid haft større Betydning, end man egentlig havde tillagt den. Turbinens første Mand, Charles Parsons, har saaledes for et Aars Tid siden offentliggjort, at han i 1893 lod fremstille en Model af Heros Turbinekugle. Ved Forsøg med denne opnaaede han ved Anvendelse af rigeligt Vakuum i Forbindelse med et passende Damptryk lige saa gode Resultater, som med en enkeltvirkende Dampmaskine.

Omkring 1629 opfandt Italieneren Giovanni Branca en »Aktions«-Turbine, som paa mange Maader mindede om et af Vand drevet Vandhjul. Turbinehjulet var udstyret med Blade eller Skovle, som blev paavirkede af en Dampstraale, efterhaanden som de passerede Straalerøret, saaledes at Hjulet og dets Aksel drejede rundt (a. Tavle IX).

I de følgende Aar foretoges mange Forsøg baade med Vand- og Dampturbiner, men først saa sent som i 1827 opfandt Fourneyron den moderne Vandturbine. Amerikaneren Francis opfandt i 1849 en meget effektiv Vandturbine, der senere blev forbedret af Jouval og Girard og stadig benyttes i moderne Vandturbineanlæg.

Efter Brancas Tid forblev Dampturbineproblemet ganske upaaagtet liggende hen i omtrent tre Aarhundreder, og selve den geniale James Watt synes ikke at have været opmærksom paa Dampturbinens store Muligheder i Sammenligning med den frem- og tilbagegaaende Maskines.

Opfindelsen af Dampturbinen har været tilskrevet Newcomen nogle faa Aar efter at James Watt i 1760 havde opfundet Kondensatoren; men man kender meget lidt til hele denne Sag, og nogen praktisk Betydning har den sikkert ikke haft.

II

Den moderne Dampturbines Historie kan i Virkeligheden først skrives fra Aaret 1837, da Gileman opfandt en Turbine, i hvilken Dampen efterhaanden kunde opnaa Ekspan-

sion paa Grund af Turbinens voksende Diameter. Omkring 1890 opfandt Svenskeren de Laval en ret anvendelig Dampturbine, til Dels baseret paa samme Princip som Heros gamle Reaktionsturbine.

Dampturbinens største Fremskridt skyldes Englænderen Charles A. Parsons, som i 1884 fremkom med en lille Turbine, der med 4800 Omdrejninger pr. Minut gav 6 H. K. Den var koblet direkte til en elektrisk Generator (a. Tavle X) og indtager nu sammen med andre berømte Opfindelser en Hædersplads i Videnskabernes Museum i South Kensington, en Plads, som med Rette tilkommer den, da denne Turbine-Generator, der forøvrigt blev bygget i Gateshead-on-Tyne, uden Tvivl betegner en ny »Æra« i Maskinens Historie.

I Løbet af de næste 5 Aar blev der bygget en Del af disse Smaaturbiner, af hvilke den største var paa 75 kw. De blev saa godt som alle benyttet i direkte Forbindelse med elektriske Generatorer, der anvendtes til Belysning om Bord i Skibe og i Værksteder; men allerede paa dette Tidspunkt kunde Turbinen taale Sammenligning med den da almindelig anvendte frem- og tilbagegaaende Maskine (Stempelmaskinen). Der blev foretaget enkelte Forbedringer, idet f. Eks. Omdrejningstallet, der var steget til 10,000, blev reduceret til omtrent det halve; men det største Fremskridt skete dog i 1894, da Turbinens Blade eller Skovle fik en anden Form, og fra det Tidspunkt udvikles den lille, ubetydelige Turbine ret hurtigt til Nutidens Kæmpeturbiner.

Dampturbinerne deles i to Hovedtyper, 1) Aktions- og 2) Reaktionsturbiner. De første, der ogsaa undertiden kaldes Impulsturbiner, er ret enkle i deres Konstruktion, idet der gennem Damptude kastes en Dampstraale ind paa en Række Blade eller Skovle paa et stort Hjul, som derigennem bringes til at rotere. Dampens fuldstændige Ekspansion finder Sted før Bladene naas, og dens Energi optræder derfor i kinetisk Form. Vi har allerede omtalt, at ethvert Legeme i Bevægelse, f. Eks. et Svinghjul i Fart eller strømmende Vædsker og Gasarter, repræsenterer en saadan kinetisk Energi. Ethvert Fluidum med kinetisk Energi har ogsaa

en vis Arbejdsevne gennem sin Bevægelse, der angives ved m. pr. sec. Damp, der slippes ind gennem en Turbinedampspids under et Tryk af f. Eks. 18 kg pr. cm², kan opnaa en Hastighed af 460 m. pr. sec., og det er denne Hastighed eller kinetiske Energi, som rettes mod Turbinehjulets Blade og faar det til at dreje rundt.

De Lavals Type er et godt Eksempel paa en Aktionsturbine (c. Tavle IX). Den bestaar af et Hjul eller »Løber«, der i Omkredsen er forsynet med en Række buede Blade med lige stor indbyrdes Afstand. I en 300 HK Turbine er det enkelte Blad ca. 38 mm langt og 31 mm bredt. Dannende

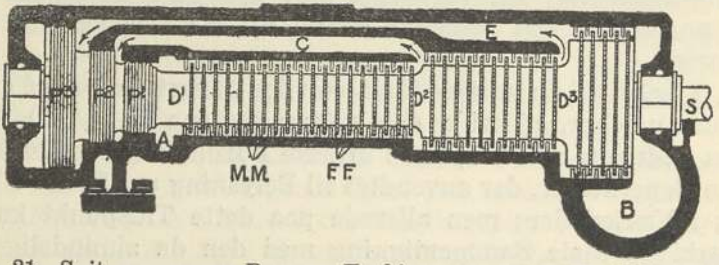
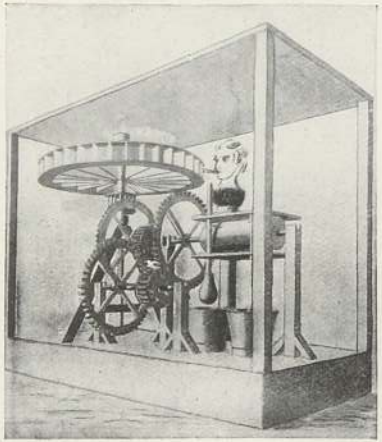


Fig. 21. Snit gennem en Parsons Turbine. P^1, P^2 og P^3 er Tryklejer. Dampen kommer ind ved A og undslipper gennem B.

en Vinkel af 20° med Hjulets Plan fører Damptude Dampen direkte mod Bladene med stor Hastighed, hvorved Omdrejning finder Sted. Hjulet bevæger sig med omtrent 1/3 af den udstrømmende Damps Hastighed, hvilken ligger imellem 150—425 m. pr. sec. eller mellem 10,000 til 30,000 Omdrejninger pr. Minut.

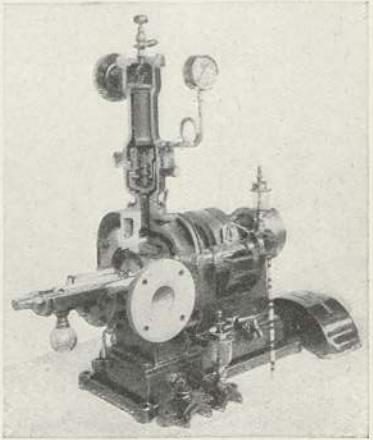
Reaktionsturbinen bestaar af en Skive, der i Omkredsen bærer Damptudene enten anbragte tangentielt eller under en vis Vinkel, og Reaktionen ved Dampens Udstrømning foraarsager Skivens eller Armenes Omdrejning, altsaa i Virkeligheden det samme Princip, som kendes fra en Fyrværkeri-»Sol«.

I det praktiske Liv benyttes en Kombination af Aktions- og Reaktionsturbiner. Parsons Kompound Dampturbine bestaar saaledes af et stort Hylster, der rummer en »Løber« eller Tromle, anbragt paa en lang Aksel (Tavle XI). Paa

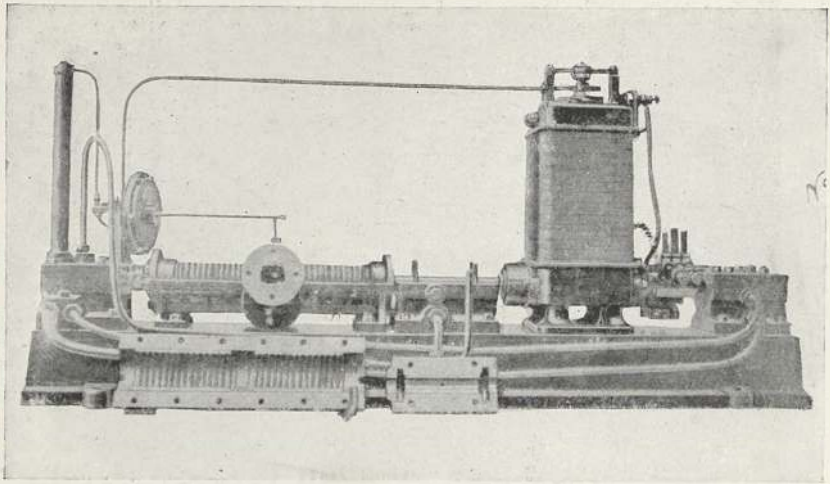


(a) Giovanni Branca's Turbine (1629).

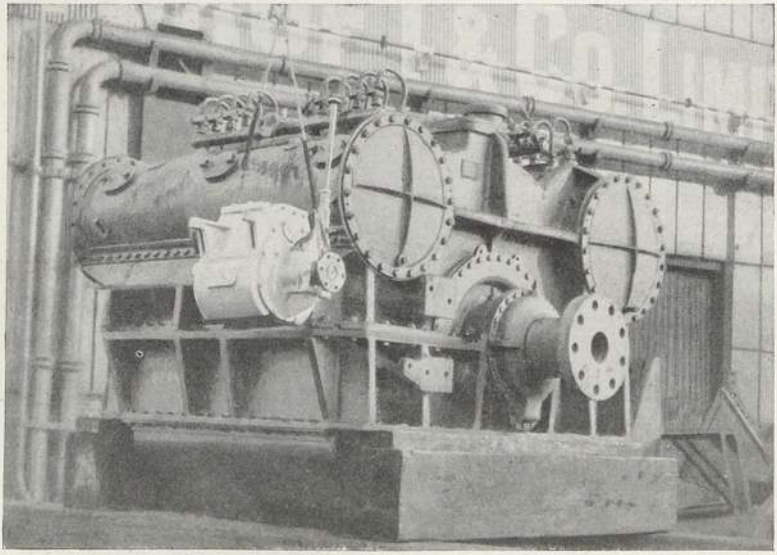
(b) Heros Turbine.
Den første Dampmaskine.
(Foto. Board of Education.)



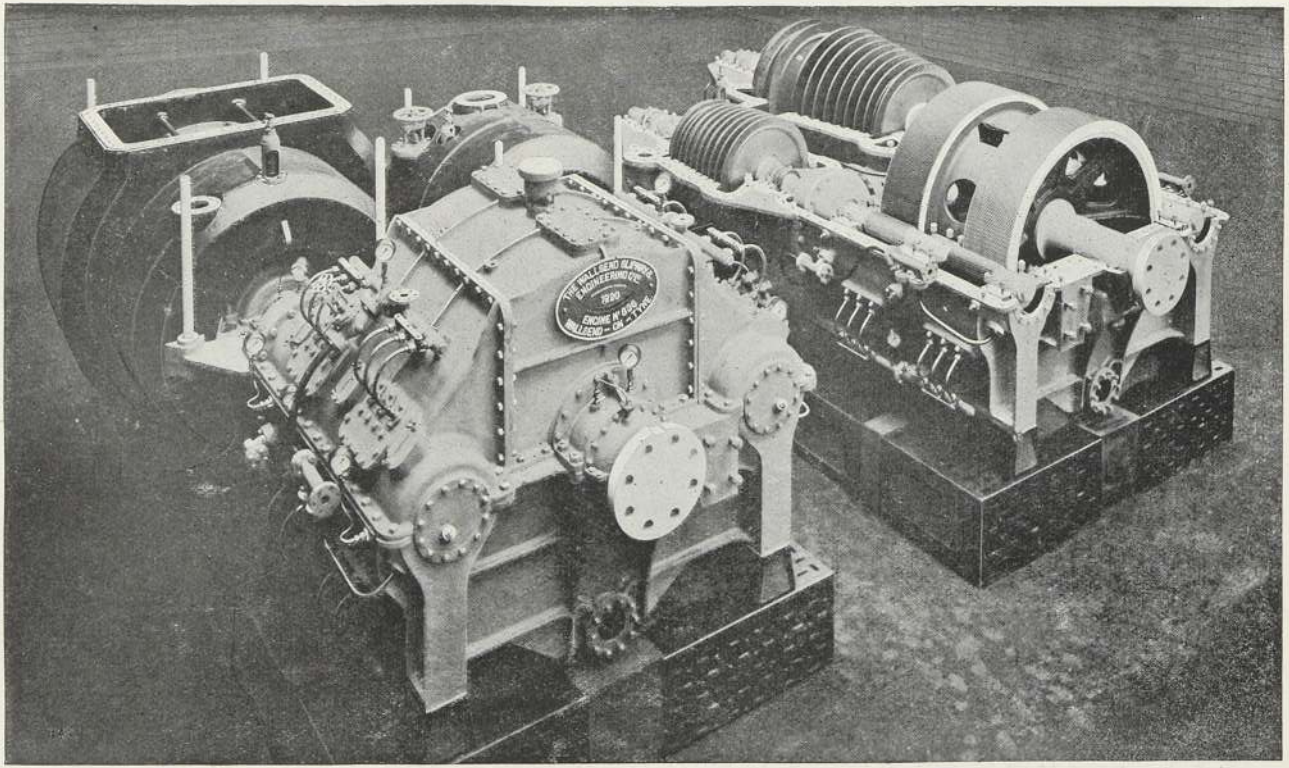
(c) Gustav de Laval's Dampturbine (1896).



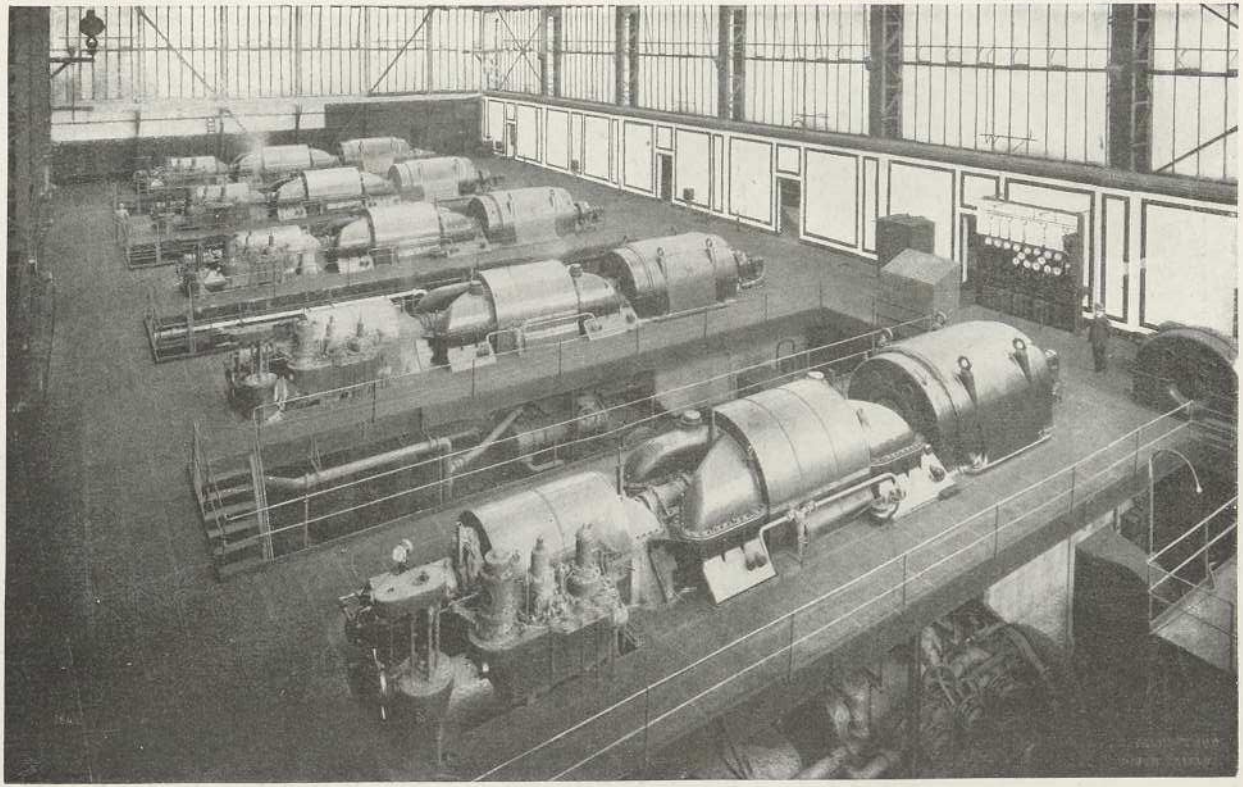
(a) Den første Parsons Turbine, nu udstillet i South Kensington Museum. *(Foto. Messrs. C. A. Parsons and Sons, Ltd.)*



(b) Sammenligning mellem to Reduktionsgear. Det lille hvide er beregnet til en 30 HK. Petroleumsmotor, medens det store, der vejer 25 Tons, er bygget til en Turbine med 45,000 HK. *(Foto. Messrs. J. I. Thornycroft and Co., Ltd.)*



Dampturbiner, med og uden Dæksel. Turbinen ligger bagtil og Reduktionsgearet forrest paa Billedet.
(Foto. Messrs. Wallsend Slipway and Engineering Co., Ltd.)



En moderne Kraftstation med fem Dampturbine-Generatorer paa 10,000 KW hver, indstallerede i et stort engelsk Elektricitetsværk.
(Foto. Messrs. C. A. Parsons and Sons, Ltd.)

Tromlens Yderside er Rækker af smaa Blade eller Skovle anbragte tæt ved hverandre i parallelle Ringe eller Kranse (Fig. 21). De enkelte Skovle er svagt buede og naar næsten helt ud til Turbinehylstrets Inderside. Til Hylstrets Inder-

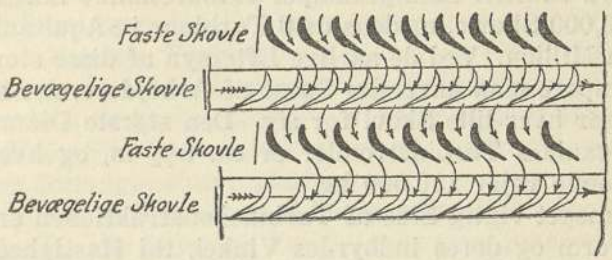


Fig. 22. Anbringelsen af Skovlene i en Parsons Turbine.

side er befæstet lignende Kranse af Skovle, som passer ned imellem Tromlens Skovlekranse. Løbeskovlene paa Tromlen er venstrebøjede, »Ledeskovlene« paa Hylstret modsat (Fig. 23). Dampen kommer under højt Tryk ind i Turbinehylstret

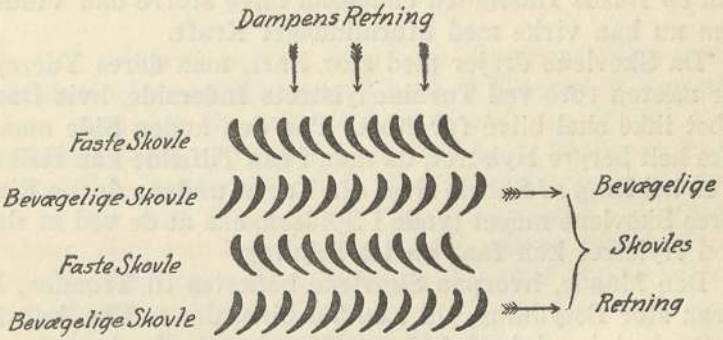


Fig. 23.

og farer hen imod Udblæsningsaabningen. Den møder her først en Række Ledeskovle, som forandrer dens Retning, saaledes at den rammer Løbeskovlenes første Række under den mest effektive Vinkel. Herved bringes Tromlen til at dreje rundt. Dampen er nu naaet til anden Række af Ledeskovlene, skifter atter Retning for at træffe anden Række af

Løbeskovlene saa effektivt som muligt. Saaledes fortsætter Dampen videre, indtil den har passeret alle Lede- og Løbeskovlsrækkerne.

Skovlantallet er meget stort, saaledes har de 6 Turbiner i Cunard Liniens Kæmpedamper »Mauretania« ikke mindre end 750,000 Skovle, medens de 8 Turbiner i »Aquitania« har over en Million. Ved de aarlige Eftersyn af disse store Turbinedampere maa anvendes Snese af Arbejdere, der skraber og rengør hver lille Skovl for sig. Den største Diameter af »Mauretania«s Turbinetromler er ca. 3½ m, og hver Lavtrykstromle vejer 130,000 kg.

En meget vigtig Side af Turbinekonstruktionen er Skovlenes Form og deres indbyrdes Vinkel, thi Hastigheden afhænger i høj Grad af Skovlformen og den Vinkel, hvorunder Dampen rammer en Skovlrække. Indfaldsvinklens Betydning kender man fra Sejlbaade, der, selv om de har Vinden agterind, aldrig kan opnaa samme Fart som Vinden selv. Men forandres Kursen, f. Eks. saaledes at Vinden bliver tværsind, ɔ: træffer Sejlfladen under en næsten ret Vinkel, kan en Baads Hastighed endogsaa blive større end Vindens, som nu kan virke med uformindsket Kraft.

Da Skovlene drejer med stor Fart, maa deres Yderspidser næsten røre ved Turbinehylstrets Inderside, hvis Damptabet ikke skal blive for stort. Paa den anden Side maa de ikke helt berøre Hylstret, da man i saa Tilfælde kan risikere, at en hel Ring af Skovle rives af. For at undgaa denne Risiko gøres Skovlene meget tynde i Spidsen, saa at de ved at slæbe mod Hylstret kun faar en let Bøjning.

Den Maade, hvorpaa Skovlene befæstes til Tromlen, har ogsaa stor Betydning, thi i en Turbine, der f. Eks. kun har et Omdrejningstal af 750 pr. Minut, vil Skovlene faa en Hastighed af 420 m pr. sec., og ved slige høje Hastigheder er Centrifugalkraften enorm stor. Hvis f. Eks. en enkelt Skovl vejer 15 gr, er den udsat for et Stræk af 750 kg ved normal Omdrejning, hvilket gør dens Tilbøjelighed til at rive sig løs ret forstaaelig.

Naar en enkelt Skovl er udsat for en saa svær Paavirkning, saa gælder dette i endnu højere Grad for selve Trom-

len, der foruden sin egen Vægt maa bære alle sine Skovle. Turbinetromler og andre Dele forarbejdes paa Grund af disse store Spændinger af Specialstaal.

Da det viste sig, at Støbejærn havde Tilbøjelighed til at slaa sig, naar det udsattes for overhedet Damp, anvendes der nu Staal overalt i Turbiner, hvor overhedet Damp passerer. I Parsons Turbine er desuden de første faa Skovlrækker, der jo møder Dampens højeste Temperatur, af Kobber, medens de øvrige Rækker er af en speciel Kobberlegering. Naar Skovlene er blevet valsede og krummede, til de har den forlangte Form, glattes og poleres de meget omhyggeligt, for at Friktionen mod Dampen kan blive saa lille som muligt. Til alle Lejer og Tryklejer bruges Smøreolie under Tryk fra en lille Oliepumpe, der i mindre Turbineanlæg drives af en Snække fra Hovedakslen, i større Anlæg ved en særlig Elektromotor.

III

Det er tidligere nævnt, hvorledes Dampens Ekspansion, der følger efter en Nedgang i Tryk, i Kompound-Dampmaskinen anvendes til Arbejde i mere end een Cylinder. Et lignende Princip anvendes nu i Turbiner. Tidligere Turbiner var ikke konstruerede til at udnytte Dampens Ekspansion og var som Følge heraf ikke økonomiske i deres Anvendelse. Det var Parsons, der fandt paa at fordele Faldet i Damptrykket over flere Turbiner, hvorved Dampens fulde Kraftudnyttelse kunde sikres, uden at det blev nødvendigt at arbejde med de enormt store Hastigheder.

I disse Lavtrykturbiner er Tromlens Diameter gjort større, ligesom Damppassagerne er udvidede, hvilket bl. a. er opnaaet ved at gøre Skovlene større og stille dem længere fra hverandre.

Naar tre Turbiner paa denne Maade sammenkobles, danner de et tredobbelt Ekspansionsanlæg bestaaende af Høj-, Mellem- og Lavtrykturbine, hvor saavel Tromlediameteren

som Skovlstørrelsen tiltager, efterhaanden som Dampen passerer fremad.

Dampen kommer først ind i Højtrykturbinen, hvor den oprindelige Temperatur og Begyndelsestrykket falder f. Eks. fra 163° Celcius og 16 kg pr. cm^2 til henholdsvis 122° Celcius og 4 kg pr. cm^2. Fra Mellemtrykturbinen gaar Dampen videre til Lavtrykturbinen, hvor Temperaturen maaske er 100° Celcius og Trykket Atmosfærens.

En Turbines Omdrejningsretning kan ikke skiftes. Dette vil heller ikke være nødvendigt under almindelige Omstændigheder, f. Eks. ved Drift af Dynamoer og de sædvanlige Fabriksmaskiner, men denne Fordring kan slet ikke omgaas, naar der er Tale om Skibsmaskiner. Her forsynes i Almindelighed Hovedakslen med en mindre Tromle, hvis Skovle er anbragt lige modsat af Hovedturbinens, af hvilken denne Tromle (indesluttet i Hylster og kaldet Bakturbinen) kan arbejde fuldstændig uafhængig. Naar Bakturbinen ikke benyttes, er den i direkte Forbindelse med Kondensatorens Vakuum, hvilket foraarsager, at den gør meget ringe Modstand, naar den drejer »tom«.

Indtil 1894 var den største Turbine-Generators Kapacitet kun 75 kw, men allerede samme Aar blev den fordoblet, og i Aarenes Løb har Stigningen været enorm (25,000 kw i 1912).

IV

I den første Tid Turbinerne anvendtes til Skibsbrug, var de koblet direkte til Skrueakslen. Da Skruen imidlertid var større i Diameter end selve Turbinen, blev Skruens Blade i Virkeligheden bevægede gennem Vandet med større Fart end Turbineskovlene. Der blev gjort forskellige Forsøg paa at finde en bedre Løsning, men da man under disse Forhold kun kunde naa hertil ved at gøre Turbinerne større og forøge Dampforbruget, maatte man gaa andre Veje.

For at opnaa størst Virkningsgrad maa Turbinen arbejde med høj Fart, Skibsskruen derimod med forholdsvis

ringe Fart. Muligheden for at overvinde disse tilsyneladende Modsætningsforhold er skabt ved Indførelse af det moderne Reduktionsgear (a. Tavle XIII), der har fremmet Turbinens Indførelse i mange moderne Industrigrene. I Virkeligheden hviler Reduktionsgearet paa det samme Princip, som vi har omtalt under Tandhjulsoverførsel mellem Spiltromle og Haandsving ved de gamle Vinder. Haandsvinget bevægedes her med stor Hastighed, medens Tromlen, der løftede Byrden, gik betydelig langsommere. Turbineskovlene har ved Reduktionsgearingen indtaget Haandsvingets Plads, idet de nu kan arbejde med fuld Fart, medens Skibsskruen kan opnaa sin største Virkning ved den langsommere Omdrejning.

Til Skibsbrug anvendes for at reducere Omdrejningshastigheden enten enkelt eller dobbelt Reduktion. Ved den første er Reduktionen sjældent større end 10 til 1 med et Skrueomdrejningstal af 200—250 pr. Min. Gennem dobbelt Reduktion kan opnaas Forholdet 20 til 1 indtil 50 til 1, ja endog helt op til 100 til 1. Enkel Reduktion passer bedst for Krigsskibe, f. Eks. Jagere, der skal gaa med høj Fart (30—40 Knob), medens dobbelt Reduktion anvendes for almindelige Handelsskibe, hvis Fart som Regel er 10—13 Knob.

Nøjagtighed er uomgængelig nødvendig ved alle mekaniske Gearinger under høj Fart, og mange og vanskelige er de dermed forbundne Problemer. Før Krigen foretoges talrige Forsøg for at opnaa den mest virkningsfulde Form for Gearing, og i den seneste Tid har man opnaaet betydelige Forbedringer ved Tildannelse og Tilpasning af selve Gearhjulene og deres Tænder. Ved Siden af Nøjagtigheden spiller ogsaa Smøringen en stor Rolle, ja maaske endda den største. Det er nu lykkes gennem god Smøring og ved Hjælp af et godt Reduktionsgear at opnaa en Virkningsgrad paa 98½ %. Dette vil sige, at kun 1½ % Kraft gaar tabt til at overvinde alle Friktionsmodstande ved Gearing, og Gearenes Konstruktion skal være saa fuldkommen, at af de 1½ % Tab skyldes en stor Del — hvis ikke det hele — Smøreoliens vedhængende Klæbrighed.

Turbinen skyldes som nævnt i ikke ringe Grad Reduktionsgearingen sin nyeste og store Anvendelse i langsomt-

gaaende Maskiner, Dynamoer, Centrifugalpumper, Møller etc. Som Eksempel paa stor Reduktion kan nævnes en Parsons Turbine, der benyttes siden 1910 i et af Glasgows store Valseværker, og hvis 2000 Omdrejninger pr. Min. gennem dobbelt Reduktionsgear er omsat til ikke mere end 70 Omdrejninger pr. Min.

V

Turbinen har efterhaanden ganske erstattet Stempelmaskinen paa elektriske Kraftstationer, fordi 1) den er billig at fremstille, anbringe, reparere og smøre, 2) den er besparende, hvad den optagne Plads angaar, samt i Damp- og Olieforbrug, 3) den roterer jævnt uden Rystelser, 4) den er let at behandle, da een Mand kan føre Tilsyn med flere store Turbiner og 5) da Gnidningsfladerne er forholdsvis smaa, fordres kun et ringe Antal Reparationer. Turbinen har mange andre Fordele, ikke alene rent tekniske; der behøves bl. a. ingen Cylindersmøring, saaledes at Spildedampen er ganske ren og direkte kan bruges til mange Opvarmningsformaal. I Stedet for straks at bruge Dampen fra Kedlerne vil det i mange Tilfælde være mere besparende at frembringe Damp under Højtryk, udnytte dennes Kraft til at drive en Turbine og dernæst benytte Dampens reducerede Tryk til rene Fabriksformaal.

I Skibe har Turbinen mange Fordele frem for Stempelmaskinen; den er saaledes kun halv saa tung, optager mindre Plads og bruger betydelig mindre Damp. Der opnaas derfor større Kraft ved Anvendelse af samme Plads, uden at Maskinen gøres større, og der er vist ingen Steder, hvor Plads spiller saa stor Rolle som om Bord i et Skib. Desuden er Turbinen med sine faa bevægelige eller arbejdende Dele og lette vibrationsløse Gang en stor Gevinst for et Passagerskib i Sammenligning med Stempelmaskinen, hvis Rystelser undertiden gennembæver hele Skibet. Turbinens Fremkomst har i Virkeligheden paa mange Maader forandret vort Syn paa Skibsmaskiner. Turbineskibe sejler med en Hastighed

af 40 Knob i Timen, kan præstere en indiceret Hestekraft paa 150,000, ja de nyeste Turbinemaskiner bygges endogsaa til at udvikle 180,000 HK.

Skibsturbinens Fremstød har været hurtigt, men sikkert. Underligt at tænke sig, at for kun 30 Aar siden vakte den lille »Turbinia« paa 45 Tons almindelig Opmærksomhed blandt Fagmænd paa Grund af sin høje Fart. Sit endelige Ry opnaaede »Turbinia«, da den under den engelske Flaaderevy i 1897 fo'r rundt blandt Krigsskibene, uden at Støj eller Rystelser kunde mærkes fra dens lille 2000 HK Maskine. Herved vaktes den engelske Marines Interesse for Turbinemaskinen. Først byggedes en Krydser med denne Maskintype installeret (»Amethyst« 1905), og den fulgtes umiddelbart af det berømmelige Storslagskib »Dreadnought«, der ogsaa udstyredes med Turbinemaskiner. Og fra dette Øjeblik steg Antallet af Turbineskibe forbavsende hurtigt, ikke alene i Krigsflaaden, men ogsaa i Handelsmarinen.

Mange af de største Oceandampere har nu 6 Turbiner, 4 til Fremdrivning og 2 til Bakformaal. Den bekendte »Mauretania« har saaledes 4 Skruer, to paa hver Side. De yderste drives af 2 Højtryksturbiner, de inderste af 2 Lavtryksturbiner, hvilke sidste rummer særlige Bakturbiner. Naar Skibet bakker eller gaar agterover, drejer de to yderste Turbiner »tomt«, ɔ: uden Damptryk. Dampen kan direkte slippes ind i de 6 Turbiner hver for sig, men under regelmæssig Sejlads slippes den først ind i Højtryksturbinerne, derefter i Lavtryksturbinerne, hvorefter den gaar til Kondensatorerne. Torpedojageren »Tartar« paa 870 Tons er det Turbinefartøj, der hidtil har opnaaet den største Fart, nemlig 40 Knob under Udvikling af 14,000 HK.

Antallet af Skrueaksler og dertil hørende Propeller er noget forskellig i de forskellige Turbineskibe. Først anvendtes Treskrueskibe, senere enkelt Skrue til almindelige Handelsdampere, medens saavel Krigs- som Handelsfartøjer af nyeste Type med høj Fart er Firskrueskibe.

KAPITEL V

JÆRNBANER

I

MÆRKELIGT nok synes de store Opfindelser indenfor Tekniken og Ingeniørvidenskaben at skyldes Mænd med ret ringe eller slet ingen forudgaaende Uddannelse. Dette lærer i hvert Tilfælde Historien os om disse Mænd; i Vejbygning den blinde Metcalfe, paa Kanalbygningens Omraade Møllerlærlingen Brindley. Instrumentmagersønnen James Watt konstruerer den praktisk anvendelige Dampmaskine, assisteret af Mineingeniøren Savery, Grovsmeden Newcomen og sin Kompagnon Glarmesteren Calley.

Dampmaskinens Tilblivelse skyldes saaledes ikke Filosofer eller Videnskabsmænd, men Arbejdere, Mekanikere og Maskinfolk, Folk, som i Følge deres Arbejde maatte komme i nær Berøring med den praktiske Udvikling af Dampmaskinen.

Lokomotivets og Jærnbanens Historie danner ingen Undtagelse fra Reglen, thi George Stephenson, Manden, der her kom udefra, begyndte sin Løbebane som Kvægvogter langs Grøftekanterne. Naar Stephenson ikke desto mindre blev en af Verdens Ingeniører, kan man ikke andet end beundre hans Udholdenhed og uforfærdede Mod.

Lokomotivets Opfindelse — Anvendelse af Dampmaskinen til Vej- eller Skinnerejser — skyldes dog ikke Stephenson alene. Som hans Forgængere maa her med Rette nævnes James Watt og William Murdock. George Stephenson opfandt imidlertid den Dampmaskintype, fra hvilken vor nuværende Lokomotivtype stammer, og »the Rocket« (»Ra-

ketten«), Nutidens Lokomotivers Forløber, kan endnu ses i South Kensington Museum (Tavle XV). Samme Sted findes »Puffing Billy«, der i 1813 byggedes til Anvendelse i Newcastles Kulgruber (Fig. 24).

Den Tanke, at anvende Damp i Samfærdslens Tjeneste, var ingenlunde ny. Da den berømte Markis af Worcester i

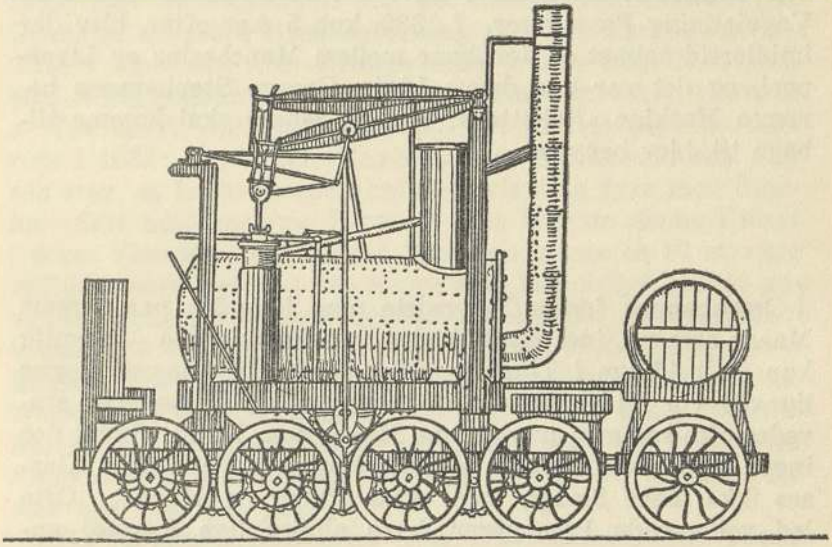


Fig. 24. Hedleys Maskine „Puffing Billy" (ca. 1813).

1641 var i Paris, aflagde han Besøg i Galeanstalten Bicêtre. Han blev under dette Besøg opmærksom paa en Patient, der stadig raabte: »Jeg er ikke gal! Jeg er ikke gal. Jeg har gjort en saa stor Opfindelse, at kunde jeg blot faa Lov at prøve den, vilde jeg blive kaldt for Menneskehedens største Velgører. Hvis man blot vilde følge mit Raad, vilde Folk blive i Stand til at rejse hurtigere med Damp, end de hurtigste Heste nogen Sinde har kunnet trække dem.« Opsynsmanden fortalte Markien, at Manden bildte sig ind, at han havde gjort en stor Opfindelse og havde i den Grad plaget Regeringen for Understøttelse hertil, at den til sidst havde puttet ham ind i Galehuset. Om denne Mand har været eller

ikke været i Besiddelse af sin fulde Fornuft, kan ikke afgøres nu, men man maa vel gaa ud fra, at den franske Regering har haft god Grund til at handle, som den gjorde!

Saa langt tilbage som i Begyndelsen af det 19. Aarhundrede blev Dampmaskiner af meget primitiv Type anvendt til at transportere Kulvogne, men det var først i 1825, der blev bygget et Lokomotiv, der var i Stand til at trække en Vognladning Passagerer. I 1830, kun 5 Aar efter, blev der imidlertid aabnet en Jernbane mellem Manchester og Liverpool, og det var paa denne Linie, George Stephensons berømte Maskine »Raketten«, som vi senere skal komme tilbage til, blev benyttet.

II

I Jærnbanens første Tid rejste man langtfra paa samme Maade som nu, idet Hastigheden var meget ringe — nemlig kun godt 12 km i Timen. Anden og tredje Klasses Vogne lignede vor Tids aabne Kreaturvogne, og Passagerer stuvedes ofte sammen paa samme Maade som Kvæg. Skønt der ingen Sæder var i tredje Klasses Vogne, havde første Klasses ikke alene Sæder, men ogsaa Puder og Hynder. Ofte lod velhavende Passagerer deres almindelige Køretøj anbringe oven paa en aaben Jærnbanevogn, da de fandt, at de sad bekvemmere og mere paa egen Grund paa denne Maade. Perroner kendtes næsten ikke, og Jærnbanestationerne var nærmest en Slags Skure. Efterhaanden sattes Lokomotivernes Hastighed op, og der blev taget mere og mere Hensyn til Passagerernes Bekvemmeligheder. Nutidens Eksprestog naar med Lethed 100 km i Timen, og man kan baade spise og sove ret bekvemt paa en længere Jærnbanetur.

Det er ganske interessant, at Jærnbaner og Lokomotiver først fandt Anvendelse i det nordlige England, hvor der var opdaget rige Kullejer i Nærheden af Newcastle. Indtil for nogle faa Aarhundreder siden benyttedes kun Træ som Brændsel enten i naturlig Tilstand eller omdannet til Trækul. Brugen af det saakaldte »Søkul« (en Slags Stenkul),

som havde faaet sit Navn derigennem, at det transporteredes ad Søvejen fra Newcastle til London, var i lange Tider strengt forbudt. Edward I udstedte en Forordning herom, og en Mand blev virkelig hængt, fordi han havde brændt Stenkul indenfor Londons Bygrænser.

Selv om England i disse Tider havde rigeligt Træforraad, blev Skovarealerne dog ret hurtigt formindsket paa Grund af det store Hjemmeforbrug og den voksende Anvendelse i Smelteovnene. Efterhaanden kunde man ikke undgaa at lægge Mærke til, at det forhaandenværende Forraad af Træ snart vilde være udtømt. Der skrives saaledes allerede i 1632: »Over hele Kongeriget er Knapheden paa Træ saa stor, at Indbyggerne almindeligvis maa fyre med Stenkul. Selv højfornemme Personer maa benytte denne Kulart i deres Værelser. Og af Nød, som kan tvinge os til at være opfindsomme, har vi i den allersidste Tid prøvet paa at anvende Stenkul til Glas- og Jernfabrikation og Murstensbrænding.« Ifølge samme Skribent var Fordommen mod Stenkul saa stor, »at Londons smukke Damer ikke vilde træde ind i noget Hus eller Værelse, hvor der blev brændt Stenkul, og ejheller vilde de spise Kød, som var ristet over Stenkulsild«. Damerne i Nutidens London er sikkert ikke nær saa fine paa det!

Da Efterspørgslen efter Træ ikke blev mindre, kunde Syd-Englands Skove ikke mere levere det nødvendige Træ til Brændsel, og Kul kom mere og mere i Brug som Erstatning for Træ. Denne Omstændighed bevirkede, at Newcastle paa Grund af sin centrale Beliggenhed i Minedistrikterne fik større og større Handelsomsætning, og efterhaanden skiftede denne By ganske Karakter og Udseende. Newcastle har faaet Navn efter en ny Borg (»new castle« paa engelsk), som i sin Tid blev anlagt af Normannerne, og i lange Tider gjorde den Tjeneste som Grænsefæstning. I gamle Dokumenter betegnes Newcastle som »værende et Skjold til Forsvar mod Skotternes Indfald og stadige Forhaanelser«, og i Middelalderen var den et befæstet Tilflugtssted for Munke og Købmænd. Da Kulindustrien kom op, skiftede Byen Karakter, dens gamle Præg forsvandt, og

Newcastle blev et livligt Handelscenter. Med Kullene saa nær ved Haanden maatte Newcastle meget hurtigt udvikle sig til en Fabriksby, hvor Kul ved Varefremstillingen spillede den væsentligste Rolle.

Det er ikke vanskeligt at forstaa, hvorfor Lokomotivet netop maatte komme til Verden i denne travle By. Datidens brændende Spørgsmaal var at opnaa en tilstrækkelig effektiv Transport fra Kulgruberne til Værfter og Kajer, hvor Kullene skulde fyldes i Skibe for at bringes videre til London eller andre Havne. I Begyndelsen blev Kullene baaret til Skibene paa Hesteryg i Kurve eller Sække. Senere blev Kærrer anvendt, og da Vejene var i en skrækkelig Tilstand, blev der gjort Forsøg paa at belægge Hjulsporene med Fliser, saa Kærrerne lettere kunde komme frem. Inden ret længe afløstes de tohjulede Kærrer af firhjulede Arbejdsvogne, og undertiden anvendtes i Stedet for Fliser Træskinner eller Planker, befæstede til Træsveller. Disse Træskinner, der saaledes repræsenterer den første Banevej, skal allerede have været benyttet i 1630. Fliserne og Træskinnerne formindskede i den Grad Hjulenes Gnidning, at en enkelt Hest kunde trække et stort Vognlæs Kul. I 1676 omgav disse Spor Newcastle i indtil 15 km Afstand, og lignende Skinneveje anlagdes i Skotland og Wales.

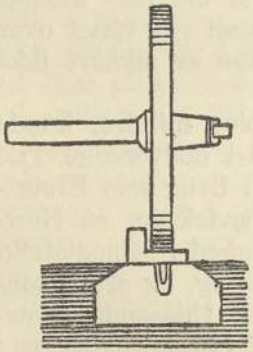


Fig. 25.

Disse raat tilvirkede Træskinner, der er Forløbere for de senere Jærnbaneskinner, blev efterhaanden betydeligt forbedrede. Først blev tynde Jærnplader nittede til Oversiden af Skinnerne for at undgaa for stærkt Slid. Da Træet viste sig tilbøjeligt til at raadne, blev der forsøgt med Støbejærnsskinner. Det første Jærnbanespor, som man formoder blev anlagt ved Whitehaven allerede 1738, kaldtes en »Pladevej«, fordi Skinnerne var støbt i Pladeform med en smal Kant til at styre Vognhjulene (Fig. 25). Senere er man gennem utallige Smaaforbedringer naaet til den nuværende Form for Skinner.

III

Stockton—Darlington Linien, der blev aabnet 1825, var den første Jærnbane, hvor Lokomotivmaskinen toges i Brug. Jærnbanen var konstrueret af Stephenson, og den gav ham Starten her i Livet —, han mødte den første Gang en gunstig Lejlighed, som han længe havde søgt, og det skal være sagt til hans Ros, han tøvede ikke med at gribe den.

George Stephenson er født den 9. Juni 1781 i Wylam nær ved Newcastle. Hans Hjem var et lille toetages Hus, og foran det gik en Skinnevej, paa hvilken Kulvogne blev trukket af Heste. Hans Fader gjorde Tjeneste som Fyrbøder ved en gammel Pumpestation i Wylam-Gruberne, og for den usle Ugeløn af en halv Snes Kroner levede han ikke alene selv, men underholdt ogsaa 6 Børn. I sin Barndom maatte George passe sine yngre Søskende og fik senere Plads i Dewley, hvor han skulde holde Køerne væk fra Skinnevejen og lukke Laagerne om Aftenen, naar den sidste Vogn var passeret. I denne nye Bestilling, hvor Lønnen var godt 10 Øre om Dagen, havde han rigelig Tid for sig selv og tilbragte den med at plyndre Fuglereder og lave Fløjter af Straa. Hans Yndlingsbeskæftigelse var imidlertid at opstille Modeller af Møller eller modellere Maskiner i Ler med Skarntydestilke, som forestillede Skorstene. Da Stephenson blev ældre, blev han sat til haardere Landarbejde (pløje, hyppe Roer o. s. v.), hvorved hans Løn steg til 25 Øre pr. Dag. Endelig naaede han sin Ærgerrigheds første Maal, nemlig at blive »Kulplukker«, hvis Bestilling det var at skille Sten og andre fremmede Genstande ud fra Kullene. Senere kørte han en af Fabrikshestene og blev, da han var 14 Aar, Hjælpefyrbøder hos sin Fader med den smukke Løn af 90 Øre om Dagen.

I de to Aar Stephenson var Fyrbøder tabte han ikke sit Maal, at blive Maskinist, af Syne, og han lærte saa meget han kunde ved sit Arbejde med Pumpen. I sit syttende Aar blev han Maskinist i en ny Grube nær ved Wylam, og han satte sig her nøje ind i sin Maskines Konstruktion og Arbejdsmaade. Maskinen var hans Kæphest, og han blev aldrig

træt af at vaage over og efterse den, og i sin Fritid skilte han den ad for at lære dens enkelte Dele at kende.

Der blev gjort mange Forsøg paa at finde en eller anden mekanisk Bevægkraft til Kulvognene, der blev trukket paa Skinnerne. Saaledes fandt man i Slutningen af det 17. Aarhundrede paa at hejse Sejl paa dem ligesom paa en Baad. Disse saakaldte »Sejlmaskiner« fandt ikke ringe Anvendelse i visse Dele af England, hvor Vindforholdene var gunstige, men nogen almindelig Anvendelighed kunde der selvfølgelig ikke være Tale om.

Savery synes at være den første, der har foreslaaet Damp, som Drivkraft for Køretøjer. Det blev imidlertid en Fransk-

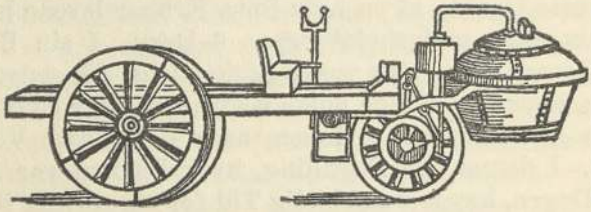


Fig. 26. Cugnots Maskine (1770).

mand, Ingeniør Cugnot, der 1763 i Paris byggede det første Damplokomotiv, som vistnok skulde være anvendt som Forspænding til Kanoner (Fig. 26). Kedlen var imidlertid for lille, og skønt Maskinen kunde transportere 4 Personer med en Fart af 4 km i Timen, var den altfor lidt anvendelig i Praksis, da den maatte standses hvert Kvarter, for at Dampen paany kunde sættes op. I 1770 konstruerede Cugnat en forbedret Type, men under Prøveturen paa Paris' Gader fik den Overbalance ved at dreje om et Hjørne og væltede, hvilket havde til Følge, at den blev laaset inde paa Tøjhuset, som »livsfarlig for sine Omgivelser«.

Andre Opfindere, saasom Amerikaneren Oliver Evans (1772), Englænderne William Symington (1784) og James Watts Ven og Medarbejder, William Murdock, forsøgte sig ogsaa paa Opgaven (Fig. 27). Da Skinner efterhaanden kom i Brug over hele England, dog navnlig i de nordlige Kuldistrik-

ter, opstod den Tanke at anlægge Skinneveje langs de vigtigste Chausséer. Imidlertid havde Murdocks Elev, Richard Trevithick, der var ansat ved en kornisk Tinmine, i 1802 taget Patent paa en Dampvogn, der skulde kunne anvendes saavel paa almindelig Vej som paa Skinneveje. Apparatet saa ud som en almindelig Deligence eller Dagvogn med Kedel og Maskine anbragt bagtil. Selve Dampmaskinen var en af de første, hvor Stemplet blev bevæget ved Dampens Tryk, idet Stemplet ikke alene løftedes, men ogsaa pressedes ned ved Hjælp af Trykket paa en ret original Maade. Maskinen blev bygget paa den fjerne »Lands End« Halvø, hvorfra den pr. Skib blev ført til London for at udstilles dèr. Hvor mange af Datidens Tilskuere har mon egentlig tænkt paa, at denne Opfindelse var den begyndende Kim til Nutidens store Jærnbaneorganisation, og at selve den Grund ved Euston, hvor den blev udstillet, skulde blive Endestation for en af Englands største Jærnbanelinier (»North-Western«).

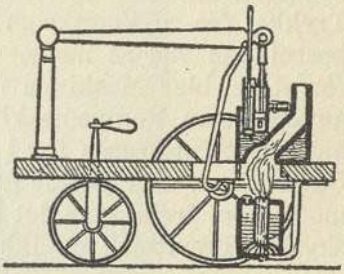


Fig. 27. Murdocks Dampvogn (1786).

Trevithick satte nu Lokomotiv Nr. 2 i Arbejde og havde det allerede færdigt 1803. Kedlen var af Jærn og cylinderformet og rummede en vandret Enkeltcylinder (Diameter 20 cm, Slaglængde 136 cm). Stempelbevægelsen overførtes til Hjulene gennem Tandhjul; men desuden benyttedes et Svinghjul for at bringe Krumtappen over de vanskelige Punkter ved Enden af Cylinderen, hvor Stempelbevægelsen skifter. Spildedampen blev ledet til Skorstenen, ikke for som senere hos Stephenson at fremkalde Træk, men for at undgaa Ubehageligheden og Støjen ved at slippe den direkte ud i Luften. Uden at vide noget nærmere herom var Trevithick saaledes lige ved at gøre en Opdagelse, som havde sat ham i Stand til at undvære de Blæsebælge, han brugte for at forøge Trækken, og som i højeste Grad vilde have forøget hans Maskines Kraft og Ydeevne. Under Prøverne lykkedes det at faa

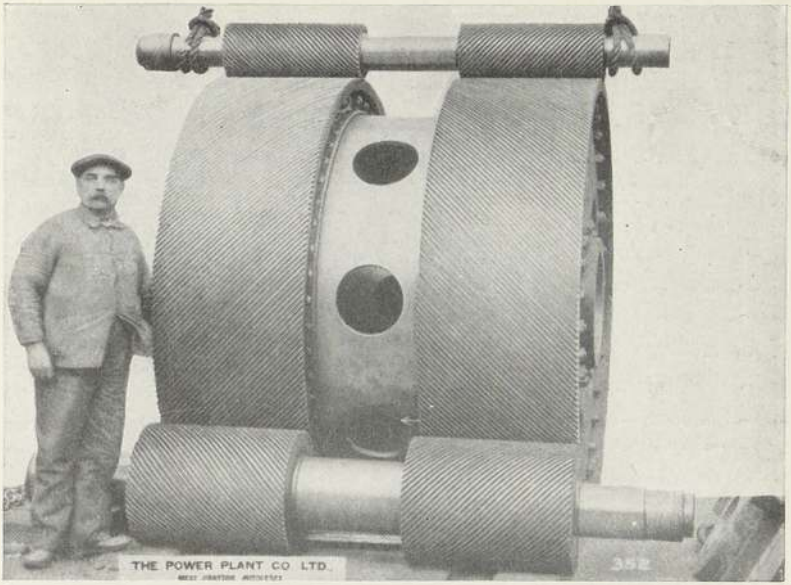
Maskinen til at trække flere Vogne, hver lastet med 10 Tons Jærn, med en Gennemsnitsfart af 8 km i Timen. Den store Vægt bevirkede imidlertid, at flere af Vejens Skinner eller Plader knækkede, da de kun var beregnede til at modstaa Trykket fra en Vogn, som kunde trækkes af Heste. Da Omkostningen ved at nedlægge nye Skinner viste sig at være for store, blev Maskinen fjernet fra Skinnevejen og senere anvendt som Pumpemaskine. Samtidig synes Trevithick at have tabt Interessen for Lokomotiver, thi han tog nu andre Opgaver op. Der skulde gaa mange Aar, inden et nyt Lokomotiv kom frem, men det kan dog ikke nægtes, at det første skylder Trevithick og ikke Stephenson sin Tilblivelse.

IV

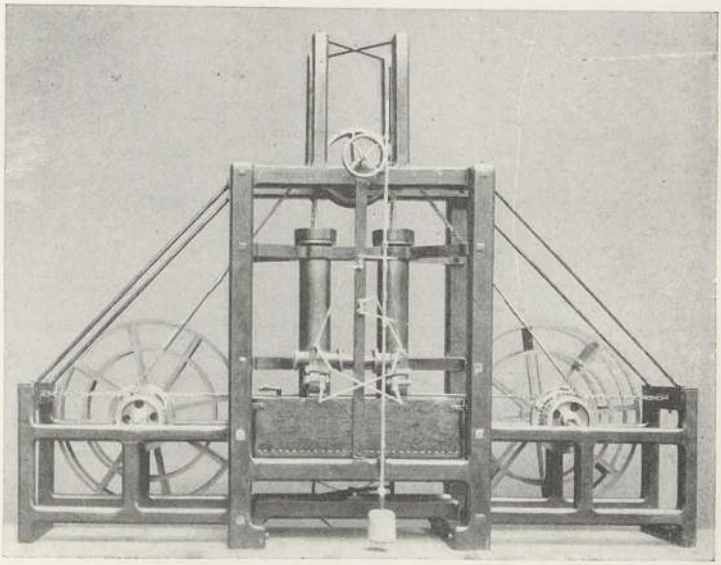
I 1812 blev Lokomotivkraft for første Gang anvendt til kommercielle Formaal, idet Blenkinsop i dette Aar brugte en Maskine til at trække Kulvogne fra Gruberne i Middleton til Leeds, en Vejlængde paa 5 à 6 km. Denne Maskine, der kunde trække 30 Vogne med en Gennemsnitsfart af ca. 5 km i Timen, blev inspiceret af mange højtstaaende Personer, bl. a. i 1816 af den senere russiske Kejser Nikolai.

Den første Vanskelighed, man mente at ville møde ved Udviklingen af Lokomotivet, var mærkelig nok indbildt, idet man tænkte, at Hjulene vilde »smutte« eller glide paa de glatte Skinner, naar større Vægte skulde slæbes. I saa Tilfælde vilde Hjulene ganske vist løbe rundt, men Maskinen og Vognene vilde forblive paa Stedet. Ingen Mennesker har tilsyneladende tænkt paa at anstille praktiske Forsøg, idet alle ansaa den anførte Teori for rigtig, hvorfor der ogsaa blev opfundet forskellige Metoder, hvorved denne Ulempe kunde undgaas. Man vilde bl. a. forsyne saavel Hjul som Skinner med Tænder, og i Blenkinsops Maskine anbragte man et særligt Tandhjul, der var i Indgreb med en Tandstang ved Siden af Skinnerne (b. Tavle XIV).

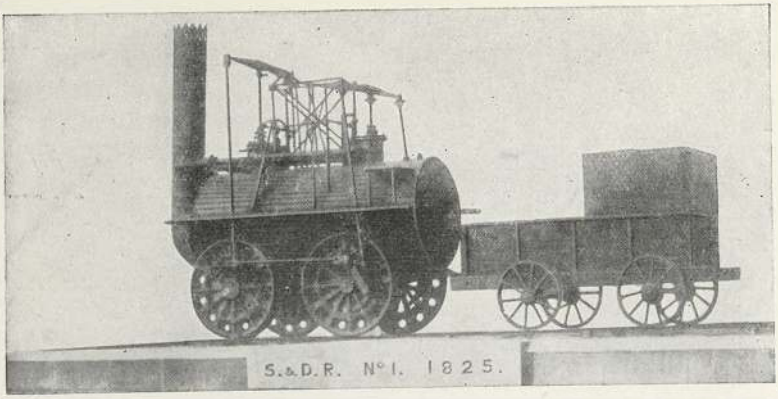
I 1813 beviste William Hedley ved et praktisk Forsøg, at



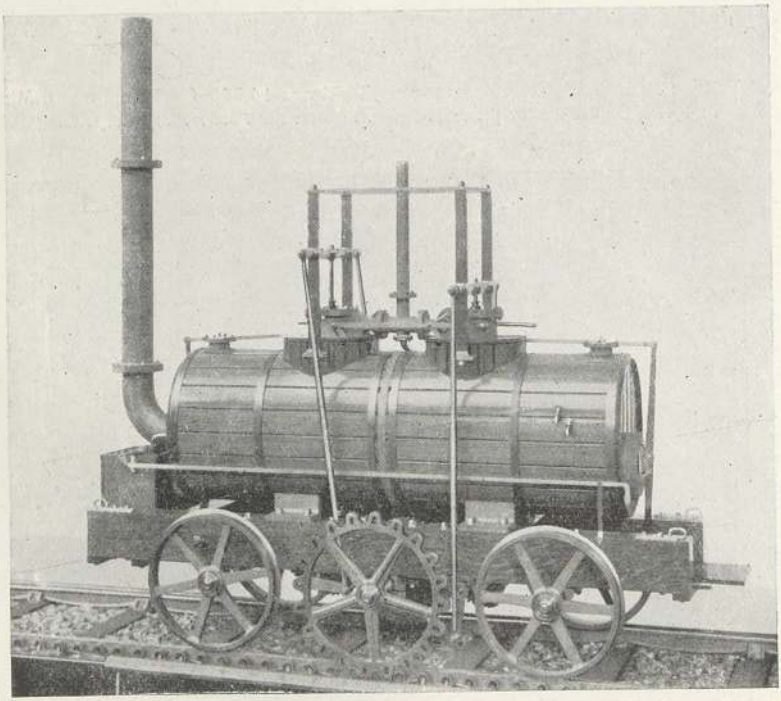
(a) Turbine Reduktions Gear, der omsætter Turbinens 14,500 Omdrejninger pr. Min. til 1,420 Omdrejninger pr. Min. *(Foto. Messrs. the Power Plant Co., Ltd.)*



(b) Den første Skibsdampmaskine (1788).
(Foto. Board of Education.)



(a) „Locomotive Nr 1". Den første Passagermaskine. Den løb paa Stockton-Darlington Jærnbanen og er nu udstillet paa en Platform ved Darlington Station. *(Foto. Ellison Hawks.)*



(b) Blenkinsop's Lokomotiv. Læg Mærke til Tandhjulsoverføringen til Skinnen, som de første Konstruktører mente var uundgaaelig. *(Foto. Board of Education.)*

glatte Hjul og glatte Skinner ikke »smuttede« eller gled, og han byggede forskellige Maskiner, som desværre ikke opfyldte de til dem stillede Forventninger. Til sidst konstruerede han en hel ny Maskintype med 8 Hjul, drevet af 7 Gearhjul. Maskinens Kedel var af Smedejærn, havde stor Hedeflade med dobbelt Røgkanal, og det viste sig, at denne Maskine kunde trække 14 Vognladninger (ialt ca. 22 Tons) med en Fart af 9 km i Timen. Maskinen gjorde ved Spildedampens Udblæsning et saa mægtigt Spektakel, at Ejeren af den, Hr. Blackett, gav Ordre til at standse, hver Gang den mødte en Hest paa den langs Skinnerne løbende Landevej. Først naar Hesten var ude af Syne, blev Maskinen igen sat i Gang. Disse stadige Afbrydelser vanskeliggjorde Maskinens Arbejde og forøgede i høj Grad Rejsetiden, hvorfor der bagved Skorstenen blev anbragt en Lyddæmper, hvorigennem Spildedampen kunde undslippe uden alt for stor Støj.

Det er mærkelig at se, hvorledes Ingeniørerne her igen var lige paa Nippet til at gøre en betydningsfuld Opfindelse, hvis blot de havde ført Spildedamprøret ind i Skorstenen og ikke bagved denne. Først George Stephenson gennemførte dette Arrangement og forøgede derved Forbrændingshastigheden i meget høj Grad.

V

Paa denne Tid studerede Stephenson ivrig Lokomotivspørgsmaalet med det Formaal for Øje at fremskaffe en lettere og mere økonomisk Maskine, der kunde transportere Kullene fra Minerne ned til Udskibningsstederne. Han foretog en Undersøgelse af Trevithicks Maskine og rejste ogsaa til Leeds, hvor han saa en af Blenkinsops Maskiner trække 16 Vogne (70 Tons) med en Fart af 5 km i Timen. Resultatet af Stephensons Arbejde blev, at han fuldførte Lokomotivet som James Watt fuldførte Dampmaskinen, idet han samlede de tidligere betydende Opfindelser under Eet og hertil føjede sine egne Opfindelser og praktiske Erfaringer. Hans Værk blev selvfølgelig ikke skabt uden mange Vanske-

ligheder, thi Datidens Værktøj var primitivt og klodset, og dygtige Haandværkere var sjældne. Dog Stephenson brugte det Værktøj og de Folk, han kunde faa fat paa og naaede endda sit Maal.

Stephensons første Lokomotiv blev bygget i Killingworth i 1814. Kedlen var af Smedejærn, og Maskinen bestod af 2 lodrette Cylindre (Diameter 20 cm, Slaglængde 610 cm). Krumtappens Bevægelse overførtes til Hjulene gennem Tandhjulsudveksling (Fig. 28). Hjulene var glatte, da Stephenson ikke nærede nogen Frygt for, at de skulde glide paa Skinnerne. Det tog 10 Maaneder at bygge dette Lokomotiv, der fik Navnet »Blücher«, og da det blev prøvet den 25. Juli 1814, viste det sig at være alle tidligere Lokomotiver overlegent, skønt det var meget tungt og uhaandterligt. Absolut heldig var Prøven imidlertid ikke, og maaske var Maskinen blevet erklæret for ubrugelig, hvis ikke Stephenson havde ført Spildedampsrøret op gennem Skorstenen, hvorved helt nye Muligheder opstod. Det viste sig nemlig, at Kedlen ved denne Metode fik en saadan Forøgelse af Dampudviklingsevnen, at Maskinkraften næsten blev fordoblet. I en ny og forbedret Type af 1815 var Stemplerne direkte forbundet med Vognhjulene ved Hjælp af Krydshoveder og Forbindelsesstænger (Fig. 29). I de følgende 6 Aar drev Stephenson stadig mekaniske Studier og opfandt i denne Periode Bjærgmandens Sikkerhedslampe.

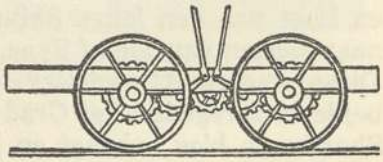


Fig. 28.

I 1821 blev der projekteret en Jærnbane mellem Stockton og Darlington for at transportere Kullene fra Durham-Minerne ned til Søen. Ifølge den første Plan skulde Jærnbanen være en Skinnevej med Heste som Drivkraft for Vognene undtagen ved stejle Skraaninger, hvor Togene ved Hjælp af Reb skulde trækkes op af stationære Maskiner. Stephenson tilraadede imidlertid det interesserede Selskab at anvende Damplokomotiver, idet han pegede paa, at disse ikke alene var kraftigere, men ogsaa billigere i Drift end

Heste, og efter nogen Tøven gik Selskabet ind paa hans Forslag. Dog anvendtes Lokomotiver hovedsagelig kun ved de tunge Godstog, og flere af Passagervognene blev trukket af Heste.

Arbejdet kunde først ventes paabegyndt 1823, og Stephenson udnævntes til Selskabets Ingeniør med en aarlig Gage af ca. 6000 Kr. Samme Aar oprettede han et Lokomotivværksted i Newcastle og byggede her 3 Lokomotiver til Sel-

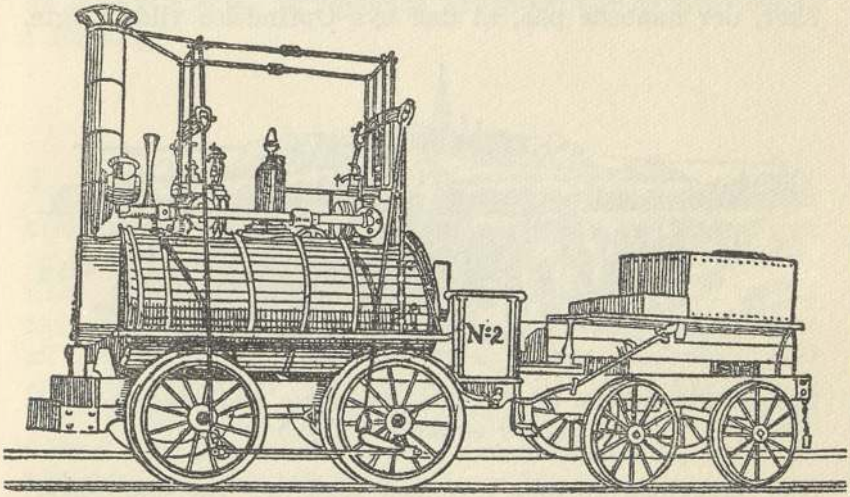


Fig. 29. Stephensons gamle Killingworth Lokomotiv.

skabet. Hver Maskine vejede ca. 8 Tons og kunde opnaa en Hastighed paa 20—26 km i Timen.

Den første af disse 3 berømte Maskiner (»Locomotion«) kan endnu ses paa Darlington Jærnbanestation (a. Tavle XIV). I denne Maskine laa paa langs i Kedlen et Rør (Røgkanalen), igennem hvilket den varme Luft gik direkte fra Ildstedet til Skorstenen. Spildedampen lededes til Skorstenen og fremskyndede i den Grad Forbrændingen, at Varmen kunde gøre Skorstenen rødglødende. De 3 Maskiner var ret tunge og nærmest beregnede til Transport af tunge Varer med forholdsvis ringe Hastighed.

VI

Stockton—Darlington Linien blev aabnet den 27de September 1825, og en umaadelig Menneskemængde fra alle Englands Egne var kommet til Stede for at overvære Indvielsen. Der havde været en betydelig Opposition mod Jærnbanen, og der var flere, som erklærede, at de vilde forhindre dens Benyttelse. Folks Nysgerrighed var paa sit højeste, og blandt de tilstedeværende var der sikkert lige saa mange Mennesker, der naabede paa, at den nye Opfindelse vilde svigte,

Fig. 30. Processionen ved Stockton—Darlington Jærnbanens Indvielse. (Efter et gammelt Tryk.)

eller Maskinen springe i Luften, som der var Mennesker, der var rede til at raabe Hurra. De første blev imidlertid skuffede, thi Maskinen, der førtes af Stephenson selv, trak nok saa pænt af med Toget, som var sammensat af 6 Godsvogne, 22 Passagervogne og til sidst yderligere 6 Godsvogne, saaledes at Stammen ialt bestod af 34 Vogne (Fig. 30).

Den første Passagervogn, af Stephenson døbt »Experiment«, lignede nærmest en forskønnet Badevogn, naar den paa sine flangede Hjul af en Hest blev trukket henad Skinnerne. Senere blev Passagervognene bekvemmere og blev koblede til Godstogene. Tog udelukkende medbringende Passagerer anvendtes første Gang paa Liverpool—Manchester Linien.

De ældste Lokomotivers Hastighed anser vi naturligvis

for meget ringe, men Datiden fandt den vidunderlig. Der blev afholdt regulært Kapløb mellem »Locomotion« og en Diligence, der kørte ad Landevejen mellem Darlington og Stockton, og det blev betragtet som en stor Triumf for mekanisk Snille, naar Lokomotivet naaede Stockton først og slog Diligencen med et Hundrede Meter eller saa! Mange Byer skylder Jærnbanetrafiken deres Opkomst eller maaske hele Eksistens. Saaledes bestod den store engelske By Middlesbrough, da Darlington Jærnbanen blev aabnet, kun af et enkelt Hus. Et lignende Eksempel har vi herhjemme i Herning.

VII

Intet kan bedre illustrere de Egenskaber, en Ingeniør bør besidde, end den Rolle Stephenson spillede ved Bygningen og Konstruktionen af Liverpool—Manchester Banen. Politiske, finansielle og naturlige Vanskeligheder, alle og alt sammensvor sig mod ham for at hindre ham i at gennemføre sit Projekt. Men George Stephenson lod sig ikke rokke; med sit Motto »Hold ud« (»Persevere«) for Øje afslog han at vige bort fra den Linie, han havde afstukket frem mod sit Maal. I Stedet for overvandt han alle Vanskelighederne, og kunde han ikke, praktisk talt, overvinde en Hindring, gravede han en Tunnel igennem den, saaledes som han gjorde ved Olive Mount Cutting nær ved Liverpool (Tavle XVI).

Enhver, der har set denne store Klippegennemskæring, kan ikke undgaa at tænke over, hvilken umaadelig Opgave dette Arbejde har været for Stephenson. Selv nu til Dags vilde denne Gennemskæring være en uhyre Opgave, som Stephenson imidlertid løste med sine udygtige Arbejdere og uden Nutidens moderne Værktøj, og det paa en Maade saa Gennemskæringen fortjener at betegnes som et af Verdens vidunderligste Ingeniørarbejder. Gennemskæringen, der paa Steder naar en Dybde af 35 m, er gravet gennem solid rød Sandsten i en Længde af over 3 km, og ikke mindre end 385,000 m^3 Klippesten maatte bortryddes.

Olive Mount var imidlertid kun een af de mange Vanskeligheder Stephenson mødte ved Konstruktionen af Liverpool—Manchester Banen. Lige fra Begyndelsen, saa snart Opmaalingen var færdig, begyndte Vanskelighederne. Selv nu til Dags er det ikke noget let Arbejde at anlægge en Jærnbane — hverken ved Fastsættelsen af Linien, der skal følges, eller ved de senere Forberedelser, eftersom Arbejdet skrider frem. Hvor meget mere vanskeligt maa det ikke have været for Pionererne.

Før en Jærnbane anlægges, maa Opmaalingshold ude i Distriktet undersøge, »hvordan Landet ligger«. De noterer alle vigtige Detailler, saasom Højdedrag, Jordbund og Hindringer, der nødvendiggør Tunneler. Ved Anlæget af Manchester—Liverpool Linien blev disse Opmaalingsarbejder kun gennemført med allerstørste Vanskelighed, idet Opmaalerne mødte betydelig Modstand hos Beboerne af de Distrikter, hvorigennem Jærnbanen skulde føres. Ofte mødte Opmaalerne Hobe af Mænd, Kvinder og Børn, som løb efter dem, raabte efter dem og bombarderede dem med Sten. Godsejerne gav deres Folk Ordre til at holde vaagent Øje med Opmaalingsholdene og vise dem tilbage, saa snart de kom til Syne. Der fortælles, at Bønder og Arbejdere kun var altfor villige til at følge disse Instruktioner. Vagter opstilledes i Portene bevæbnede med Høtyve, ja endog med Kanoner, for at holde Opmaalerne udenfor. Der fortælles om mange Ulykker, der skete ved Kampe og Sammenstød mellem de to Partier. Ved St. Helens fik en Hob Kulgravere fat i en af Opmaalerne og truede med at kaste ham ned i en af Kulskakterne. En anden Gang blev en Opmaaler, der klattrede over en Laage, angrebet af en med Høtyv bevæbnet Arbejder, men det lykkedes ham at undslippe ved at løbe sin Vej.

Særlig Teodoliten opvakte de indfødtes Raseri, og deres Angreb rettedes altid mod den, medens Manden, der bar den, blev tituleret med de forfærdeligste Øgenavne. Ved en bestemt Lejlighed lejede Opmaalerne en bekendt Slagsbroder til at bære Instrumentet; men en skønne Dag angreb en lige saa kraftig Slagsbroder blandt Kularbejderne Teodolitmanden. Der opstod et regulært Slagsmaal, som endte med, at

Kularbejderen blev dygtig gennempryglet af Teodolitmanden. Tilskuerne stenede derefter Opmaalerne saa kraftigt, at saavel Teodoliten som de øvrige Instrumenter blev fuldstændig ødelagte. Saaledes var Oppositionens Fremgangsmaade ved tidligere Dages Jærnbane-Opmaaling!

En Kamp af en helt anden Støbning fandt Sted, da Loven om Liverpool—Manchester Banen blev forelagt i Parlamentet. Oppositionen var ret udpræget og vel organiseret af Godsejere, Diligenceejere, Kanalselskaber og andre interesserede, som mente, at Udvikling af Jærnbanenettet for dem nødvendigvis maatte medføre store pekuniære Tab. Det var ved den Lejlighed, Stephenson meddelte Jærnbaneselskabets Styrelse, at han var overbevist om, at hans Lokomotiv kunde løbe 32 km i Timen. Han fik i Anledning af denne Meddelelse en alvorlig Advarsel om at begrænse sine Planer og faa Farten bragt indenfor rimelige Grænser, da han ellers uundgaaeligt ikke alene vilde vælte hele Loven, men selv vilde blive betragtet som en gal, skikket til at indespærres i et Galehus!

Der blev skrevet Smædeskrifter, og Aviserne blev bestukne for at rive ned paa Jærnbanen. Der blev erklæret, at dens Anlæggelse vilde forhindre Køerne i at græsse og Hønsene i at lægge Æg. Den giftige Luft fra Skorstenen vilde dræbe Fuglene, naar de fløj hen over Lokomotivet, og Fredning af Fasaner og Ræve vilde blive umulig. Der blev bildt Husejerne ind, at Husene vilde blive antændte af Skorstensilden, og at Luften i flere Miles Omkreds vilde blive forurenet af Røgskyer. Da der ikke mere blev Brug for Heste, vilde disse uddø, og Hø og Havre vilde blive usælgelige Varer. Jærnbanerne vilde være meget farlige at rejse med, og alle Ejere af Landsbykroer vilde blive ruinerede. Kedlerne vilde eksplodere og splitte Passagererne i Smaastumper, og — sidst, men ikke mindst — Lokomotiverne var saa tunge, at de ikke kunde køre fremover, selv om Jærnbanen blev anlagt!

Endnu 10 Aar efter at Liverpool—Manchester Banen var vedtaget, og Great Western Jærnbaneprojekt kom for, fremførte Oppositionen følgende Argumenter derimod: Themsen

vilde blive tilstoppet af Mangel paa Trafik, Dræningen paa Landet ødelagt, og Windsor Castle komme til at lide af Vandmangel. Men med den berømte Eton Skole vilde det gaa rent galt! »Londons Indbyggere vilde strømme ud til Skolen og forgifte de unges Sind, og de unge selv vilde drage Fordel af Jærnbanens hurtige Befordring til at rejse ind til London, deltage i Byens vilde Liv og atter vende tilbage til Skolen, før deres Fraværelse var opdaget«.

Selv om slige Argumenter maa forekomme os at være rent hen i det blaa eller maaske endda latterligere, maa vi alligevel i dem se nogle af de mange Vanskeligheder, Ingeniøren har at kæmpe imod. Dette gælder ikke alene Jærnbaneanlæg, men overhovedet enhver Form for Ingeniørvidenskabens hurtige Udvikling maa være forberedt paa det bestaaendes Opposition. Saaledes kan man i vor moderne Tid finde Dampskibsselskaber, der bekæmper Flyveruters Oprettelse.

Liverpool—Manchester Forslaget kom ikke gennem Parlamentet første Gang. En ny Opmaaling blev foretaget, og et andet Projekt blev forelagt. Denne Gang gik Forslaget igennem saavel i Under- som Overhus, og Stephenson, der var udpeget til ledende Ingeniør, afrejste straks efter Afstemningen til Liverpool for at føre Tilsyn med Arbejdet.

VIII

Mellem Manchester og Liverpool laa paa Bifloden Irwells højre Bred en stor Tørvemose, kaldet *Chat Moss*. Denne Mose frembød en frygtelig Hindring for Linjebygningen mellem de to Byer og truede i Virkeligheden med at slaa hele Projektet i Stykker. Mosens Areal var ca. 30 □ km, Dybden over 10 m, og i fugtigt Vejr saa Chat Moss ud som en uhyre stor Svamp, dannet som den var af tidligere Tiders forraadnede Vegetation. Om Sommeren, naar Vandet fordampede, havde Mosebunden Form som en Underkop. Man kan forestille sig, hvilken Hindring denne Mose var for Stephenson,

naar man hører, at en Mand umuligt kunde gaa tværs over den, ja endda ikke faa Fodfæste i den. I Virkeligheden faldt da ogsaa den derboende Ingeniør, Dixon, en Dag, da han inspicerede Mosen, fra de udlagte Planker ned i den og sank straks i til Knæene. Kampen for at komme op trak ham blot dybere og dybere ned, og han vilde være fuldstændig forsvundet i Dybet, hvis ikke Arbejderne havde skyndt sig til Hjælp ved at udlægge Planker. Det er ikke saa underligt, at Dixon tabte noget af Modet ved denne Lejlighed, og han har sikkert gerne villet vide, hvorledes det kunde være muligt at opbygge en Skinnevej for tunge Lokomotiver med en Række Gods- og Passagervogne over denne Mose, som ikke engang kunde bære ham selv oppe.

En Raadgiver, som var engageret af de interesserede Parter, var da heller ikke længe om at benytte Chat Moss som et Argument mod Jærnbaneanlæget. »At bygge en Dæmning over denne bløde og fugtige Mose vil ikke være nogen let Opgave,« erklærede han. »Hvem andre end Stephenson kunde tænke sig at give sig i Lag med at tømme Chat Moss? Det røber en næsten ufattelig Uvidenhed. Det er fuldstændig Galskab at forfølge en saadan Plan!« En fremtrædende Civilingeniør, der af Oppositionen var tilkaldt som Vidne, udtalte: »Efter min Mening kan intet Jærnbanetog føres tværs over Mosen uden at gaa til Bunds, med mindre en fast Dæmning bygges op fra dens faste Undergrund!« Omkostningerne ved en saadan Dæmning anslog Vidnet til ca. 5 Millioner Kroner. En anden af Datidens særlig kendte Ingeniører erklærede: at anlægge en Jærnbanelinie tværs over Chat Moss var en »Umulighed, som intet Menneske efter hans Mening kunde paatage sig at udføre.«

Stephenson lod sig imidlertid ikke standse af slige Paastande, men holdt fast ved den Mening, at ligesom Snesko fordeler en Mands Vægt over et langt større Areal, end hans Fødder indtager, og derved forhindrer ham i at synke ned i Sneen, paa samme Maade vilde ogsaa en Platform, bygget tilstrækkelig bred, saa at den kom til at ligne en uhyre stor Madras, kunne bære Jærnbanen over Mosen. Han fremhævede, at det ingenlunde var hans Mening at bygge den fore-

slaaede Dæmning, da hans Tanke var at lade Jærnbanen »flyde« paa Mosens Overflade. Han opdagede desuden, at Heste med store Træplader, kaldet »Træsko«, under Hovene kunde passere Mosen, og at lignende Træsko blev benyttet af Mosearbejderne. Ved disse Træsko udvidedes det bærende Areal, og det vilde Stephenson benytte sig af til at konstruere et Banelegeme af Tværsveller, baaret af et Underlag af Lyng og Grene, saaledes at Sporet i Virkeligheden var en »flydende« Vej eller en meget langstrakt Tømmerflaade tværs over Mosen.

Stephenson aabnede den haarde Kampagne mod Chat Moss ved foreløbig at anlægge en Lyngsti, ad hvilken Arbejderne kunde naa ud til deres Arbejdssted. Denne Fodsti blev efterhaanden sikrere underbygget, indtil den var i Stand til at bære en smalsporet Bane, med hvilken Materialer til den endelige Vejkonstruktion blev bragt ud til det Sted, hvor de skulde anvendes.

Moseoverskæringen voldte imidlertid store Vanskeligheder, særlig paa Manchestersiden. Til sidst blev Situationen paa dette Sted ligefrem foruroligende. Tusinder af Læs indeholdende Lyng, Græs, Risfletninger, Grene og Tørv blev væltet ud i Mosen paa begge Sider af Fodstien, men Dæmningen havde næppe naaet en Højde af knap et Par Meter, før den til Ingeniørernes Skuffelse atter forsvandt, netop som de troede, at Udfyldningen var lykkedes. Gang paa Gang blev Udfyldningen foretaget, men Arbejdets Fremadskriden var næsten ikke til at opdage, og havde det ikke været for det voksende Daglønsregnskabs Skyld, kunde man næsten tro, at Arbejdet slet ikke var paabegyndt.

Om denne spændende Tid fortæller Stephenson senere hen følgende: »Vi arbejdede Uge efter Uge paa at køre Materiale ud til Vejens Opfyldning, men hidtil havde det ikke været os muligt tilsyneladende at hæve Dæmningen en eneste Tomme. Kort sagt, vi fyldte og fyldte uden nogetsomhelst synligt Resultat. Selv mine Medhjælpere begyndte at blive usikre og var lige ved at tvivle om Planens Gennemførelse. Ogsaa Direktørerne talte om Arbejdet som et haabløst Foretagende, og til sidst blev de i den Grad opskræmte,

at der blev afholdt et Bestyrelsesmøde alene om Chat Moss, hvor det skulde afgøres, om Arbejdet skulde fortsættes eller ikke. Der var imidlertid ingen Vej uden om — fortsættes maatte der. Der var allerede foretaget uhyre store Udlæg, og Opgivelsen af den valgte Linie og Overflytning til en ny vilde give Anledning til store Tab. Direktørerne var derfor tvungne til at lade mig gaa videre i det angivne Spor, og jeg selv var intet Øjeblik i Tvivl om det endelige, gode Resultat.«

Direktørernes Ængstelse kan ikke forbavse os, men man studser uvilkaarligt over Stephensons store Selvtillid, stillet som han var overfor den Kendsgerning, at Arbejdere, der havde levet hele deres Liv paa Stedet, og som antagelig maatte kende Forholdene, spaaede, at Planen aldrig kunde gennemføres, og at fastholde den betød kun Bortødsling af Penge. Tilmed havde Fagfolk erklæret Arbejdets Fuldførelse for umuligt, og fremtrædende Ingeniørers Mening var stik imod Stephensons. Videnskaben og Erfaringen sagde: »Hvis De vidste saa meget om Chat Moss, som vi gør, vilde De aldrig have begyndt paa et saa overilet Foretagende, og vær sikker paa, at alt, hvad De har gjort og nu gør, vil være forfejlet. De maa helt opgive Tanken om en »flydende« Jærnbane og enten fylde Mosen op fra Bunden med haarde Materialer eller ogsaa forandre Baneretningen og gaa helt udenom Mosen.«

Til Trods for alle disse Advarsler tabte Stephenson ikke Modet, men forblev tro mod sit Motto: »Hold ud«. Han paapegede, at skønt Udfyldningen endnu ikke kunde ses, maatte den have gjort sin Virkning, og Resultatet vilde sikkert snart blive synligt. Arbejdet fortsattes, og den ene Ladning af Fyld efter den anden blev kørt ud i Mosen, hvor de forsvandt, lige saa hurtigt som de væltedes ud.

Imidlertid blev Stephensons vidunderlige Optimisme belønnet, og hans Forudsigelser gik i Opfyldelse; thi Fyldematerialet havde, som han sagde, gjort sit usynlige Arbejde. Efterhaanden som Fyldet sank og lejrede sig paa Mosens faste Underbund, voksede paa dette enkelte Sted en Dæmning langsomt opad mod Overfladen, indtil den til sidst naaede op til den »flydende« Vej, der allerede var fuldført.

Chat Moss var besejret, og Nytaarsdag 1830, efter at over en halv Million m³ Tørvefyld var anvendt, førte den berømte »Raket« det første Tog over Mosen, som et praktisk Bevis paa Stephensons Genialitet.

De Principper, som Stephenson havde anvendt for at komme over denne store Tørvemose, blev efterhaanden benyttet hele Verden over ved Jærnbaneanlæg over Moser og Sumpe.

IX

Under Udførelsen af Arbejdet i Chat Moss viste Stephenson sin store Organisationsevne baade ved den Maade, hvorpaa han ledede den store Mængde Arbejdere, og ogsaa paa tekniske Omraader. Planer for Udgravningerne var saaledes ikke udarbejdede i Detaljer, men maatte lægges, efterhaanden som Arbejderne blev trænede. Moseanlæget blev i lange Tider betragtet som noget ganske usædvanligt, men der er naturligvis senere udført endnu vanskeligere Arbejder i andre Verdensegne. Det største og mest bekostelige Arbejde foraarsagede den Opposition, der rejstes af Lorderne Derby og Shefton, hvis Modstand mod, at Banen førtes nær forbi deres Ejendomme, tvang den mod Syd, hvilket gav Anledning til Tunnelanlæg og omfattende Stensprængninger. Denne Forskydning af Linien nødvendiggjorde desuden et Viaduktanlæg paa 9 Buer, hver med en Spændvidde af 15 m.

En Del af Liverpool By er anlagt paa en Højderyg af røde Sandsten, og gennem denne maatte der graves en Tunnel paa over 2 km Længde. Udgravningsarbejdet foretoges Dag som Nat, og ved disse Sprængninger og Boringer kom Stephensons Erfaringer fra Kulgruberne ham i høj Grad til Nytte. Vand trængte ind i Tunnelen, og det vaade løse Sand styrtede ned fra Oversiden af Tunnelen. Alt dette kendte Stephenson fra Kulgruberne, og naar Arbejderne af Frygt nægtede at fortsætte, delte han Farerne med dem; i saadanne Tilfælde kastede han Jakken, tog selv Hakken, og Arbejderne fulgte ham.

X

I vore Dage vilde man straks forbinde Anlæg af Jærnbaner med Benyttelse af Lokomotiver, men da Liverpool—Manchester Banen blev anlagt, vilde en saadan Tanke have været meget forhastet. I den Tid betød Anlæget af en Jærnbane ikke nødvendigvis, at Togets Vogne skulde trækkes af et Lokomotiv. Som før nævnt fandtes der i mange Kuldistrikter Jærnbaner eller Spor, hvor Vognene blev trukket af Heste, og selv om Stephenson blev ansat som ledende Ingeniør ved Manchester—Liverpool Banen, var det ingenlunde Forudsætningen, at kun Lokomotivet skulde benyttes som Trækkraft paa denne Linie. I det oprindelige Projekt gik man ud fra, at kun et Mindretal af Passagerer eller maaske slet ingen vilde benytte Banen, da det egentlige Formaal med Banen var Transport af Raamaterialer og Varer mellem de to Byer. Hvis Banetrafiken derimod straks havde været anlagt udelukkende med Passagerbefordring for Øje, er der ingen Tvivl om, at Vejen frem havde været lettere.

Os forekommer det mærkligt, at Direktørerne for et Anlæg som Liverpool—Manchester Banen lod afholde Bestyrelsesmøder for at bestemme, hvilken Drivkraft der skulde benyttes paa Banen. Men ikke desto mindre fandt et saadant Møde Sted. Nogle Medlemmer holdt paa, at Vogntogene skulde trækkes med Reb ved Hjælp af stationære Dampmaskiner opstillet langs Linien med et passende Mellemrum. Andre ansaa det for rigtigst at lade Heste trække Vognene, og kun ganske faa stemte for Lokomotiver som Bevægkraft. Da der rettedes en Forespørgsel til de mest kendte Ingeniører, svarede disse, at de ikke havde Tiltro til det nyopfundne Lokomotiv, og at de ikke gad have den Ulejlighed nærmere at undersøge Sagen. Den sande Grund til disse Ingeniørers Stilling var rimeligvis, at de var misundelige paa Stephenson, fordi de ikke kunde taale, at denne forhenværende Maskinist ved Behandling af en Jærnbanelov i Parlamentet skulde optræde som Talsmand for en saadan. En sagkyndig Komité bestaaende af Ingeniører blev nedsat, men i dens Beretning var Meningerne saa forskellige, at Direktørerne

for Jærnbanen derigennem ikke kunde komme til noget endeligt Standpunkt. To af Datidens mest kendte Ingeniører, som fandt Anvendelsen af stationære Maskiner med Tovtræk mest praktisk, foreslog at inddele Linien i 19 Skifter med en indbyrdes Afstand af 2¼ km, og at installere 21 Maskiner paa de forskellige Stationer til at hale Toget fremad.

Stephenson selv var naturligvis intet Øjeblik i Tvivl om, hvilken Drivkraft han betragtede som den mest tilfredsstillende. Skønt han maaske ikke havde en eneste Tilhænger, og skønt saavel Ingeniørstanden som den offentlige Mening var imod ham, var han dog saa klartseende og sikker paa det gode Resultat med den nye Opfindelse, at han intet Øjeblik tænkte paa at give efter for den offentlige Mening. Ved en bestemt Lejlighed udtalte han, at han troede, den Dag vilde komme, »da Jærnbaner vil fortrænge næsten alle andre Trafikmidler, da Postbesørgelsen vil ske ad Jærnbanen, og da den bliver den store Landevej for Kongen saavel som for hans Undersaatter.«

Hans aldrig svigtende Alvor og hans Argumenter virkede til sidst paa Direktionen, der endelig besluttede at prøve Lokomotiver som Drivkraft. I den Anledning udsattes til Opmuntring for Konstruktører en Præmie paa ca. 10,000 Kroner. Præmien skulde tilfalde den bedste Lokomotiv-Maskine, naar den kunde opfylde visse Betingelser, f. Eks. holde en Fart af 16 km i Timen.

XI

Stephensons Søn Robert, der i nogen Tid havde været i Sydamerika for at lede Arbejdet i columbiske Sølv- og Guldminer, kom netop tilbage til England, da ovennævnte Konkurrence blev udskrevet. Fader og Søn besluttede i Fællesskab at bygge et Lokomotiv, der kunde deltage i Konkurrencen. De indførte i deres Udkast mange Forbedringer, til Dels kendt fra tidligere Maskiner, og navnlig bibeholdt de Spildedampens Udblæsning gennem Skorstenen, en Op-

findelse, som jo allerede for længst havde vist sin store Værdi. Desuden indbyggedes i Kedlen et System af tynde Ild- eller Røgrør, en Idé, som Stephenson synes at have faaet gennem Samtaler med Henry Booth, der en Tid lang var Sekretær i Liverpool—Manchester-Selskabet.

Stephensons Maskine fik det snart historiske Navn »Raketten«. Den knap 2 m lange Kedel var cylindrisk, og igennem den førtes, omgivet af Kedelvandet, 25 Kobberrør, hver 7½ cm i Diameter. Gennem disse Røgrør passerede den varme Luft fra Fyrstedet op til Skorstenen. Fyrstedet selv, der laa bagved Kedlen, var ogsaa omgivet af Vand. Cylindrene var skraat anbragte, en paa hver Side af Kedlen — med Toppen i samme Højde som Kedlens Overside —, og Stempelstængerne var direkte forbundet med Forhjulenes Krumtap. Paa Tenderen var anbragt en Vandbeholder og Brændselsforsyning, og dog vejede Maskinen, Tenderen og Vandbeholdningen ikke mere end godt 4 Tons. Da »Raketten« var færdig, blev den prøvet paa Sporet i Killingworth ved Newcastle, og da Prøven forløb tilfredsstillende, blev den over Carlisle indskibet til Liverpool.

I Liverpool havde man stor Interesse for den forestaaende Konkurrence, som skulde afholdes ude ved Rainhill. Ingeniører, Videnskabsmænd og Mekanikere strømmede til fra hele England for at overvære denne Fremvisning, hvoraf saa meget afhang. Der fortælles, at Startpladsen paa den for Konkurrencen fastsatte Dag den 1. Oktober 1889, lignede en Væddeløbsbane med Tusinder af ophidsede Tilskuere. Følgende Maskiner var anmeldte til Konkurrencen:

1. Braithwaite og Ericssons »Novelty«.
2. Hackworths »Sanspareil«.
3. Stephensons »Raket«.
4. Burstalls »Perseverance«.
5. Brandreths »Cycloped«.

Rundt om i Landet var bygget en Del andre Maskiner, men de naaede ikke at blive færdige og kom følgelig ikke til at deltage. Hver Maskine skulde foretage 20 Ture paa Smaastrækninger, hver af 3,2 km Længde, og opnaa en Hastig-

hed af 16 km i Timen. Bortelemineringen af disse Maskiner, den ene efter den anden, minder om Visen om »Ti smaa Negerdrenge«, thi en efter en trak de sig ud af Løbet og lod »Raketten« blive tilbage som Sejrherre. Før Konkurrencen begyndte, blev »Cycloped« diskvalificeret, da det viste sig, at dens Drivkraft bestod af en indelukket Hest i en Slags Trædemølle. Der blev nu gjort Forberedelser til at faa Dampen sat op i de fire resterende Maskiner, og det overraskede ingen, at Stephenson, der var vel forberedt,

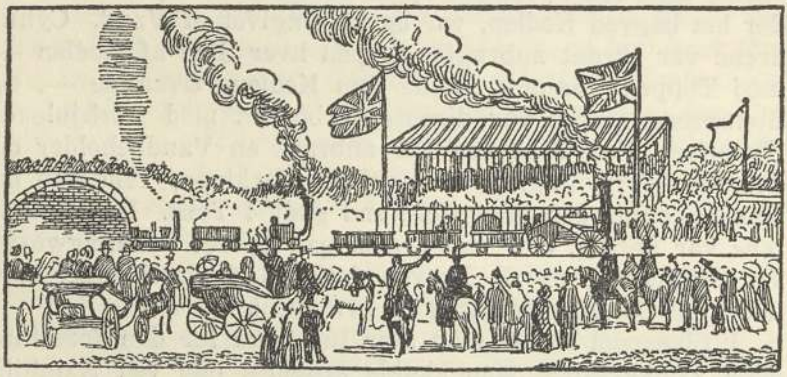
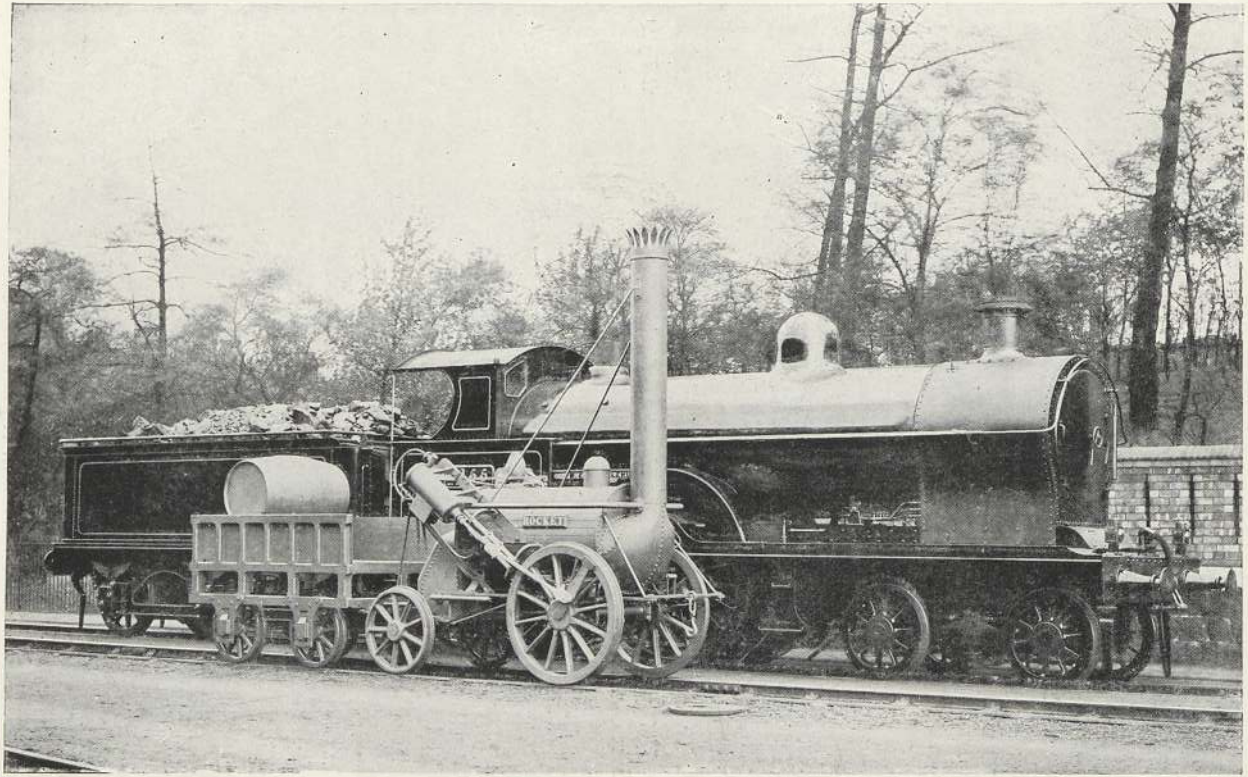
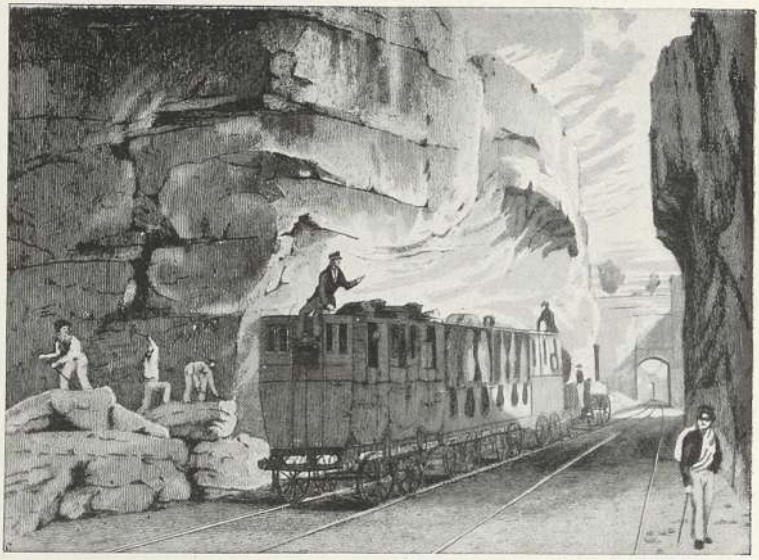


Fig. 31. Konkurrencen ved Rainhill. Efter et gammelt Stik.

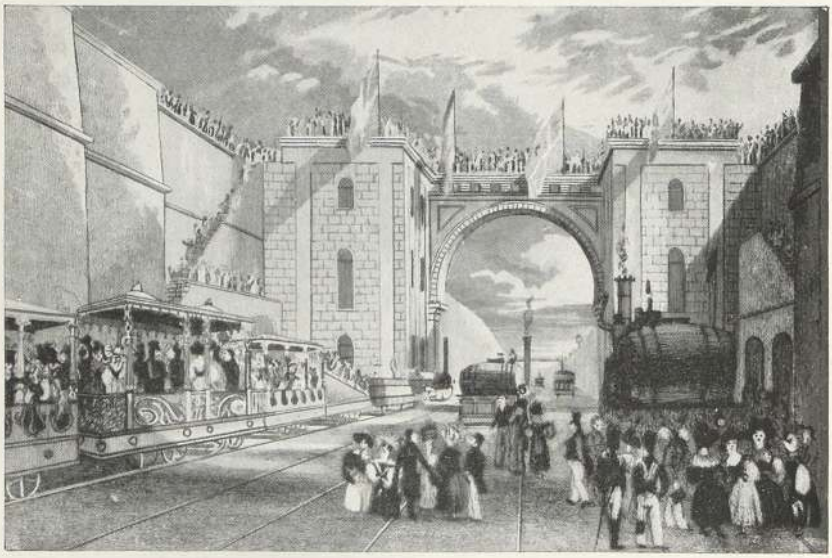
først fik Dampen op i »Raketten«. Denne Maskine var ingenlunde Favorit, men da den nu var først færdig, blev den sendt ud paa en Prøvetur, som den udførte tilfredsstillende. »Novelty« og »Sanspareil« var de næste, der blev sendt ud, men da Tiden var for fremskreden til yderligere Prøver, blev disse udsat til næste Dag. I »Novelty« blev Luften presset gennem Ildstedet ved Hjælp af Blæsere, og da disse umiddelbart før Starten næste Dag svigtede, maatte denne farlige Konkurrent gaa ud af Løbet. »Sanspareil« var den næste, der maatte gaa ud, da dens Kedel kom i Uorden —, hvilket i ikke ringe Grad ærgrede Tilskuerne. Stephenson startede imidlertid atter med »Raketten« og løb langs Linien, trækkende en Vogn med 30 Passagerer, hvor-



Et Aarhundredes Udvikling. „Raketten" og et Ekspreslokomotiv med Overheder af 4—4—0 Type.
(Foto. London and North-Western Railway Co.)



(a) Gennemskæringen af Olive Mount udenfor Liverpool. *(Efter et gammelt Tryk.)*



(b) Aabningsfesten for Liverpool—Manchester Jærnbanen (15. Sept. 1830).
(Efter et gammelt Tryk.)

hos han til almindelig Forbavselse opnaaede en Fart af omtrent 48 km i Timen.

Den tredje Dag blev »Raketten« igen prøvet, og fra kold Kedel bragtes Damptrykket i Løbet af en lille Time op til 4 kg pr. cm^2. Maskinen trak derefter en Vogn lastet med 13 Tons frem og tilbage over en Totaldistance af 56 km, hvortil medgik lidt over $1^3/_4$ Time, heri indbefattet Standsninger. Der blev opnaaet en Hastighed af 46 km i Timen, eller 3 Gange mere end en af Dommerne havde erklæret for muligt. Gennemsnitshastigheden 16 km i Timen blev med Lethed overholdt.

»Novelty« og »Sanspareil«, der var blevet flikket sammen, foretog et nyt Forsøg den 10. Den første fik et Brud paa Rørene, og ved nærmere Eftersyn viste det sig, at den sidste overskred den tilladte Vægt. Dommerne tillod ikke desto mindre »Sanspareil« at starte, men da den havde foretaget 8 Ture, kom Koldtvandspumpen i Uorden, og Maskinen gik i Staa. Samtidig viste det sig, at »Perseverance« kun kunde komme op paa en halv Snes Kilometer i Timen, hvorfor dens Ejere trak den tilbage fra videre Deltagelse i Konkurrencen.

Den næste Dag ønskede Ejerne af »Novelty« en ny Prøve afholdt, hvilket blev dem tilstaaet. Men ogsaa denne Gang var Lykken den dygtige Ericsson imod, thi »Novelty« havarerede paany. Saaledes var af Konkurrenterne efterhaanden kun Stephensons »Raket« tilbage, og følgelig maatte den tilkendes Prisen. Det var ikke saa mærkværdigt, at Stephenson triumferede.

Konkurrencen betød imidlertid langt mere end Stephensons Triumf. Ikke alene viste dens Afholdelse Lokomotivernes Betydning for fremtidige Jærnbaner, men den viste os ogsaa, at en ny Kraft — Dampen — fuld af Styrke, Ydeevne og Arbejdsværdi var traadt ud i det praktiske Liv.

Den gamle »Raket« hævdede senere, takket være dens Kedel med de mange Rør og Spildedampstrækket gennem Skorstenen, sit Ry, da den paa Carlisle Jærnbanen gennemløb en kort Strækning med en Gennemsnitsfart nær de Hundrede Kilometer i Timen.

XII

Indvielsen af Manchester—Liverpool Banen den 15de September 1830 blev betragtet som en national Begivenhed i England. En hel Rækkefølge af Tog fulgte hverandre. I Spidsen var George Stephenson selv, staaende paa sit sidste Lokomotiv, der var døbt »Northumbrian«. Efter ham fulgte

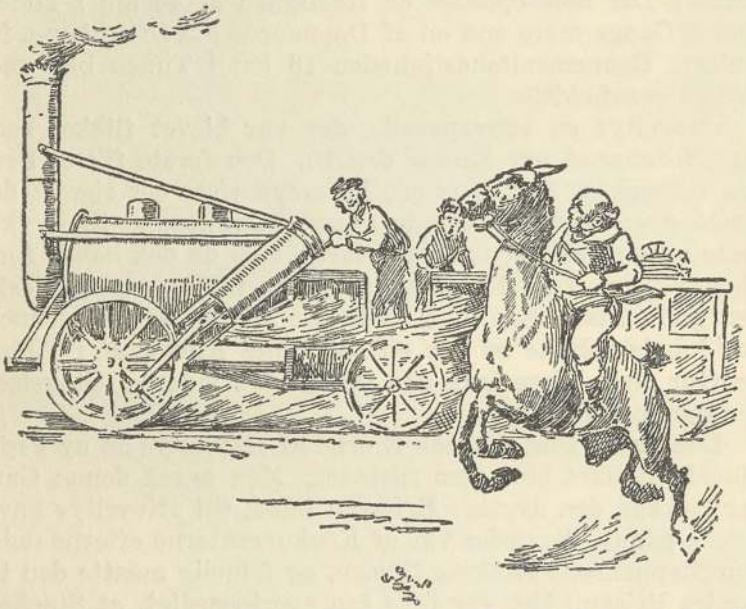


Fig. 32. Stephensons „Raket" var langt fra populær blandt Landbefolkningen, og saadanne Scener som denne, der ofte fandt Sted, skulde ikke gøre Venskabet bedre.

hans Søn Robert paa »Phoenix« og hans Onkel, der ogsaa hed Robert, paa »Nordstjærnen«, og endelig, lidt bagved, den gamle »Raket« sammen med yngre Brødre saasom »Komet« og »Meteor«. Tusinder af Tilskuere hilste de forbipasserende 600 Passagerer, da den lange Togrække drog forbi med en jævn Hastighed af næsten 40 km i Timen.

Stephenson havde ved Konstruktionen af »Northumbrian« fulgt det samme Princip, som han med saa stort Held

havde anvendt i »Raketten«. Cylindrene laa imidlertid noget lavere og var næsten vandrette, ligesom Fyrstedet, i Stedet for at ligge helt bag ved Kedlen som i »Raketten«, nu var blevet sammenbygget med denne.

Interessant er det, at »Northumbrian«, fraset nogle mindre Afvigelser, har været det Forbillede, hvorefter alle Lokomotivkedler indtil vor Tid har været byggede. Mere fuldkommen var dog »Planet«, bygget noget efter »Northumbrian«; Rørsystemet i Kedlen var her saa godt som gennemført, og Cylindrene var anbragt dækkede. »Planet« havde til at begynde med et Par enkelte Hjul, men Typen udstyredes senere med 4 sammenkoblede Hjul, hvilken Bygningsmaade straks blev optaget saavel i Europa som i Amerika.

Efter Indvielsen af Liverpool—Manchester Jærnbanelinien blev der aabnet en regulær Trafik mellem disse to Byer, og Omegnens Beboere strømmede til for nærmere at betragte dette Udslag af mekanisk Snille. Folk, der havde Raad hertil, tog en Tur med Toget og vendte tilbage til deres Hjem med den Overbevisning, at Lokomotivet var Verdens vidunderligste Opfindelse.

Lokomotivets Gennembrud var ikke til at komme udenom, og der blev anlagt Baner mellem de vigtigste Fabriksbyer i England, men næsten overalt maatte der kæmpes mod Oppositionen. Stephenson maatte mange Gange give gode Raad om Muligheden for Anlæg af nye Linier, ligesom i det hele taget hans store Viden og hans kolossale Erfaring blev udnyttet ved Anlæg af saa godt som alle de Jærnbanelinier, der efterhaanden knyttede de engelske Industricentrer sammen.

XIII

Uhyre interessant er det at studere de forskellige Lokomotivtyper og Detaillerne i deres Konstruktion. Mange Mennesker finder en Rejse mere interessant paa lange Strækninger, hvis de ved, at Toget trækkes af en særlig god Lokomotivtype. Selv unge Mennesker kender Forskellen paa de

forskellige Typer, og de gemmer ikke deres Viden overfor dem, de rejser sammen med.

Det maa jo ogsaa indrømmes, at sjældent har et Ingeniørarbejde udviklet sig saa hurtigt, som netop Fremstillingen af Lokomotiver. Dette belyses maaske bedst ved en Sammenligning mellem den berømte »Raket«, der jo knapt er Hundrede Aar gammel, og et af Nutidens Lokomotiver (Tavle XV). Ingeniørerne har da ogsaa sejgt kæmpet sig frem »Skridt for Skridt«, og den ene forbedrede Type har fulgt den foregaaende i Hælene. Det kan undertiden falde ret vanskeligt at udlede Forbindelsen mellem de første Lokomotiver og Nutidens, thi Ligheden er unægtelig ikke slaaende, hvilket en Sammenligning mellem Tavle XIV og Tavle XVIII tydeligt viser.

Til at begynde med blev næsten alle Lokomotiver drevet frem af eet Sæt Drivhjul, medens de andre Hjul løb frit paa Akslen. Moderne Lokomotiver maa imidlertid trække tungere Ladninger, af hvilken Grund der ogsaa anvendes sammenkoblede Hjul for at faa det nødvendige »Greb« i Skinnerne. Efter Antallet af Hjulene klassificerer man Lokomotiverne. Hjulene deles i tre Slags: Ledehjul, Trækhjul og Slæbehjul. Lede- og Slæbehjulene kan bestaa af eet eller to Par, men undertiden mangler de helt, eller kun een af Typerne benyttes. Trækhjulenes Antal beløber sig fra 2 til 6.

Et Lokomotiv kan saaledes klassificeres ved Tallene 4—6—2, idet man regner fra Skorstensenden eller den forreste Ende af Lokomotivet. I dette Tilfælde betyder Tallene: To Par smaa Ledehjul (ialt 4) foran, 3 Par (ialt 6) sammenkoblede Driv- eller Trækhjul og et Par (2) smaa Slæbehjul bagest under Fyrstedet. De amerikanske »Pacific« Lokomotiver hører til denne Type, medens »Atlantic« Typen betegnes ved Tallene 4—4—2, da de kun har 4 Træk- eller Drivhjul.

Findes der ingen Slæbehjul, bliver det sidste Tal 0; saaledes at hvis disse Hjul f. Eks. fjernedes i et 4—6—2 Lokomotiv, vilde dettes Betegnelse blive 4—6—0. Hvis det var Lede- eller Bærehjulene, der var fjernede, vilde Betegnelsen blive 0—6—2. Lokomotiver, der kun har 3 Par Drivhjul og

ingen Lede- og Slæbehjul, hvilken Type bruges i Godstrafik, betegnes ved 0—6—0.

England og Amerika benytter ovenstaaende Klassificationsbetegnelser, medens man paa selve Europas Kontinent benytter Akslernes Antal i Stedet for Hjulenes. Den engelske Betegnelse 4—6—2 bliver saaledes i Danmark til 2—3—1, dog bruger Statsbanerne at betegne Drivakslerne med Bogstaver, saaledes at den almindeligt anvendte store P-Maskine, der er af »Atlantic«-Typen, klassificeres 2—B—1, hvilket svarer til den engelske Klasse 4—4—2.

Det vilde her føre for vidt at komme ind paa en nærmere Beskrivelse af alle de eksisterende Lokomotivtyper, og vi skal derfor nøjes med nærmere at omtale et Par enkelte af de mest betydende. Den bekendte »Atlantic« Type, der anvendes paa »Great Northern«, England, hører til Klassen 4—4—2, hvor de to Slæbehjul er anbragt under Fyrstedet. De fleste af Lokomotiverne har kun 2 Cylindre — paa enkelte Ruter anbragt udvendig, paa andre indvendigt. Ret sjældent benyttes Kompoundmaskiner med 3 à 4 Cylindre. »Atlantic« blev indført i England 1898, da denne Type kunde bære lange og svære Kedler, og disses Diameter, der da ogsaa stadig er tiltaget, har nu naaet den ret anselige Størrelse af ca. $1^3/_4$ m.

Indførelsen i 1908 af overhedet Damp fremkaldte en hel Revolution paa Lokomotivkedlernes Omraade. Som tidligere omtalt bestaar Overhedning i, at den Damp, som ellers vilde gaa til Spilde, udnyttes til Overhedning. Tanken med Overhedning er saavidt muligt at undgaa det betydelige Krafttab, der finder Sted ved at noget af Dampen fortættes, medens den endnu befinder sig i Cylindrene. Systemet med overhedet Damp fik sit bedste Vidnesbyrd ved en Prøve i 1909, der nærmest blev afholdt som en Konkurrence mellem et London—Brighton Tanklokomotiv forsynet med en Schmidt Overheder, og et almindeligt Titan-Lokomotiv. Tankmaskinen med en Vandbeholder af ca. 9000 Liter vakte Forbavselse ved at gennemløbe en Strækning paa 125 km uden Standsning og uden Vandfyldning. Samtidig trak denne Maskine

en Jærnbanestamme paa 250 Tons med en Gennemsnitshastighed af 85 km i Timen, hvilket den Gang var en uhørt Præstation. Da der desuden af Tankmaskinen opnaaedes en ret stor Besparelse baade af Brændsel og Smøreolie, talte alt til Gunst for overhedet Damp.

Omkring 1906 benyttedes hovedsagelig endnu i England »Atlantic«-Typen, forandret til Klassen 4—6—0, men efterhaanden synes det, at »Pacific«-Typen 4—6—2, hvor Maskinen er trecylindret, er kommet mere i Brug. Maaske har Krigen ogsaa her gjort sin Indflydelse gældende, idet »Atlantic«-Typens Udvikling delvis blev standset af denne.

Af »Pacific«-Typen er de mest kendte »Great Bear« og »Greath Northern«, der i England og Skotland trækker den saakaldte »Flying Scotsman«.

Det sidste Lokomotiv, der vel nok betegner en af Europas mest fuldendte Jærnbanekonstruktioner, er forsynet med Overheder og automatisk Oliesmøring. »Great Northern«s Tender rummer ikke mindre end 22,500 Liter Vand og har desuden et særligt Vandopsamlingsapparat. Der findes 3 Cylindre, to udvendige, der driver de midterste Trækhjul, medens den 3die Cylinder er anbragt indvendig og driver Baghjulene. Cylindrenes Krumtappinde danner en Vinkel paa 120 °, saaledes at ikke alle Stemplerne, som tidligere omtalt, kan befinde sig paa »Dødpunktet« samtidigt.

Endelig skal her anføres et Par enkelte omtrentlige Data fra »Great Northern«:

Cylindre		3
Cylinder-Diameter		50 cm
Stempelslag		65 cm
Arbejdstryk		13 kg pr. cm²
Trækhjulenes Diameter		2 m
Slæbe- og Ledehjuls Diameter	ca.	1 m
Fyrkanalens Hedeflade	ca.	20 m²
Rørenes —	ca.	250 m²
Overhederens —	ca.	50 m²
Total Hedeflade	ca.	320 m²

XIV

Indførelsen af indvendige Cylindre til Afløsning af de udvendige gav Lokomotiverne en mere regelmæssig Gang og højere Virkningsgrad. Herigennem og ved Hjælp af andre Forbedringer gik Rejsehastigheden hurtigt op fra 50 km til 80 km i Timen, medens enkelte Eksprestog naaede betydelig større Fart. Saaledes paastaas der i engelske Blade, at en Gennemsnitshastighed paa 160 km i Timen særdeles vel kan præsteres, og der er vel næppe Tvivl om, at vi nu, hvor vi igen begynder at nærme os Hastighederne fra før Krigen, kan naa endog betydelig højere. I hvert Tilfælde opnaaede allerede i Maj 1904 under særlige gunstige Forhold et Great-Western Tog for nedadgaaende Hældning en Fart af 164 km i Timen, men dette Tog, som medbragte oversøiske Meddelelser af stor Betydning, havde ogsaa særlig gunstige Forhold. Imidlertid vil man sikkert forbavses over at høre, at endnu saa langt tilbage som i 1848 holdt et Jærnbanetog fra London til Didcot i ca. 3 Kvarter en Gennemsnitsfart af næsten 110 km i Timen.

Det hurtigste, regelmæssige Tog løber efter sigende mellem Camden og Atlantic City paa Philadelphia-Banen, hvor der tilbagelægges ca. 90 km paa mindre end 50 Minutter. I mange Lande, f. Eks. i England, vil der altid være en vis Hindring for disse store Hastigheder paa Grund af de korte Sporskiftestrækninger og de mange Formindskelser af Farten ved Overkørsler, Krydsninger etc.

»Den største Fart, jeg husker at have foretaget med min Maskine, er godt 130 km i Timen,« fortæller en erfaren engelsk Lokomotivfører. »Ved Slutningen af Turen kom den Mand, der havde kontrolleret Hastigheden og meddelte, at ved Ampthill var vi netop oppe paa 133,4 km i Timen over den fra Luton mod Ampthill nedadgaaende Strækning. For at opnaa en saadan Hastighed maa Betingelserne være særdeles gunstige. Der maa være en Sænkning nedad, Vejret maa være klart, saa at Signalerne let kan skelnes i stor Afstand, og Skinnerne skal helst være lidt fugtige. I modsat

Fald bliver Friktionen altfor stor. Endvidere er det af stor Betydning at have Medvind.«

Den eneste helt nøjagtige Maade, hvorpaa man kan kontrollere et Togs Fart, er selvfølgelig ved at maale Tiden for Gennemløbningen af en i Forvejen punktligt opmaalt Distance. Hastighedsmaalere, der staar i Forbindelse med Lokomotivets Drivhjul, er ikke paalidelige, da der ved store Hastigheder let opstaar »Slip«. Hvis man har Lyst til nogenlunde at kontrollere et Togs Hastighed, skal man sætte sig med Ansigtet i Køreretningen med et Stoppeur i Haanden. Naar en Kilometersten passeres, skal man sætte Stoppeuret i Gang og atter standse det, naar en anden Kilometersten i passende Afstand (f. Eks. 2—3 km efter) passeres. Har man et skarpt Øje og aflæser Stoppeuret nøjagtigt, vil det ikke være vanskeligt at finde Kørehastigheden.

En anden Metode er at lægge Mærke til »Hoppene« ved hver enkelt Skinneforbindelse indenfor en bestemt Tid f. Eks. 2 Minutter, og da Skinnelængderne næsten altid er ens paa samme Jærnbanelinie, kan man ogsaa ad denne Vej udregne Hastigheden. Denne Fremgangsmaade er dog næppe helt paalidelig.

»Vi kan ikke kontrollere vor Køretid uden gennem Ur og Timetabel,« erklærede fornylig en engelsk Togfører. »Lad os f. Eks. tage Carlisle-Linien fra Leeds til Shipley. Vi ved forud, at vi har f. Eks. 16 Minutter fra Leeds til Shipley. Naar vi passerer denne Station, vil et Blik paa Uret fortælle os, hvorledes vi staar i det f. Eks. 2 Minutter forsinket. Timeplanen viser os, at vi har Lov til at benytte saa og saa mange Minutter fra Shipley til Keighley. Vi maa derfor søge at indhente det ene af Minutterne, vi før tabte, mens vi maa indtjene det andet paa Strækningen Keighley—Skipton, saaledes at vi kan naa denne sidste Station i rette Tid.«

Eksprestogene gaar som Regel med en Fart af 95—112 km i Timen over kortere Strækninger. Men over længere Strækninger giver Togplanen bedre Tid, og nærmer man sig ved Slutningen af Rejsen en stor Bys Hovedstation, saa beregnes der rigelig Tid til at køre den sidste Strækning, da

man maa være forberedt paa mindre Standsninger paa Grund af den uhyre Trafik, der her ofte finder Sted paa forholdsvis faa Spor.

XV

Fordelen ved at bruge Olien som Brændsel i Dampskibe har tidligere været omtalt. Olie har ogsaa været anvendt til Fyring i mange europæiske og amerikanske Lokomotiver; saaledes anvendtes Olie i 1889 paa ikke mindre end 143 russiske Lokomotiver. I andre Lande, f. Eks. England, har Olie kun forsøgsvis været benyttet, og dog forbruges der i dette Land enorme Kulmængder aarlig til Jærnbanetrafik. Som overbevisende Eksempel herpaa skal nævnes, at Overingeniøren ved Great Eastern Railway fornylig udsendte Meddelelse til alle Lokomotivførere og Fyrbødere om at gøre deres yderste i Retning af Kulbesparing, idet han ganske betegnende gjorde opmærksom paa, at blot ved at der sparedes en Skovlfuld Kul (ca. 6½ kg) pr. kørt engelsk Mil (= 1,6 km), vilde Selskabet opnaa en aarlig Besparelse af ¾ Million Kr.

Olie er fordelagtigst at benytte i de Lande, hvor Kul vanskeligt kan faas, navnlig i Betragtning af de høje Kulpriser, der maa betales nu til Dags. Besparelse af Transportomkostninger og Opmagasinering spiller ogsaa en Rolle, hvortil kommer, at Olie har større Varmeevne, og at Lokomotiverne kan medtage forholdsvis større Mængder af Brændstof i Form af Olie. Der kan spændes over større Distancer, og Kraften vokser (der paastaas ca. 15 %) i Forhold til Kullenes Ydeevne.

En Del Forsøg med Olie som Lokomotivbrændsel har da ogsaa været foretaget i selve det kulproducerende England, saaledes i 1920, hvor det viste sig, at Olieforbruget pr. 1,6 km var ca. 14 kg, medens Kulforbruget var godt det dobbelte. I 1921 fortsattes Forsøgene paa næsten alle engelske Jærnbanelinier, hvorved navnlig en »Unoloco« Forbrænder, opfundet af Ingeniør Robinson, gav særlig gode Resultater. Den bestaar af 3 Straalespidser, indesluttede i samme Ven-

tilhus og saaledes indrettede, at man ved Regulering gennem Haner enten kan lade Centralspidsen eller de to yderste Straalespidser eller alle 3 Spidser paa een Gang »forstøve« den flydende Brændsel. Olien bliver trykket gennem Straalespidserne ved Hjælp af overhedet Damp.

Desuden gælder det jo for Lokomotivet, som for Dampskibet, at den sorte generende Røg undgaas, og kun Spildedamptrækket gennem Skorstenen minder om Dampens Tilstedeværelse.

KAPITEL VI

BØLGEBRYDERE, HAVNE OG DOKKER

I

At tage Kampen op med Havet er sikkert et af Ingeniørernes vanskeligste Hverv. Til denne Kamp hører saadanne Arbejder som Opførelse af Diger og Moler, Bølgebrydere, Havne og Fyrtaarne.

Paa visse Steder angriber Havet (eller Søen) vore Kyster med uhyre Kraft, underminerer og omstyrter Klinter og Skær og trænger ind i selve det faste Land, og hvis det blev overladt til at gaa frem efter sit eget Forgodtbefindende, vilde det efterhaanden gøre betydelige Indhug. I Fortiden — ja selv i vore Dage — er der imidlertid ikke gjort meget for at modarbejde denne Søens ødelæggende Virkning, og der er tabt og tabes stadig hvert Aar ikke ringe Landstrækninger. Det ustandselige Bølgeslag kan sammenlignes med en uhyre stor, horizontal Sav, der gnaver væk af Kysten.

Her i Danmark kender vi Vesterhavets ødelæggende Virkninger paa Jyllands Vestkyst, Østersøens Angreb paa Møens og Stevns smukke Klinter og saa fremdeles. I Marsklandet i Sønderjylland og langs Hollands Vestkyst maa Havet bekæmpes med Diger, for at ikke alt Landet skal oversvømmes. Ved Spurn Point i Yorkshire maa Kysten hvert Aar aflevere 3—4 m til Havet, og den gamle Kirke ved Hornsea i England er ligesom Stevns Kirke hos os spadseret nærmere og nærmere Stranden, saaledes at den nu kun staar godt 1 km fra denne, medens den i sin Tid blev bygget 10 km inde i Landet. Ligeledes kan der rundt om ved lave Kyster findes gamle Veje og Landingssteder begravede under Havets Overflade.

Der kan nævnes utallige andre Eksemplarer, men foranstaaende maa være tilstrækkelig til at vise, at Havet vil gnave mere og mere af Kysterne væk, hvis Ingeniørerne ikke i Tide faar bygget beskyttende Diger, Moler og Bølgebrydere.

Af lige saa stor Betydning er Bygning af Havne for de Lande, der har udstrakte Kyststrækninger, og hvis hele Tilværelse i ikke ringe Grad er knyttet til Skibsfarten og dens Fremme. »Havets Herskerinde« kaldes England i vore Dage, og dog er dette Lands Herredømme til Søs af forholdsvis ny Dato. I tidligere Tider beherskede Spanien og Holland og til Dels Frankrig Søhandelen, og England maatte til Transport af sine Varer ofte benytte fremmede Skibe — ja de kunde ikke engang bygge Skibe selv, men maatte ty til Venedig og Danmark. I 1540 fandtes paa Themsen kun 4 Skibe paa tilsammen 120 Tons, og paa Dronning Elisabeths Tid var Liverpools hele Flaade 223 Tons, med det største Skib kun paa 40 Tons. Trods Skibenes ringe Størrelse blev de dog saavel af Skandinaver som Englændere benyttet i oversøisk Fart f. Eks. til Rejser paa Island, Grønland og Amerika. Da den berømte engelske Opdager Francis Drake gik ud paa sin Verdensomsejling, var det største af hans 5 Skibe saaledes ikke over 100 Tons.

Da den berømte spanske Armada blev sendt ud mod England, bestod dette Lands Flaade kun af 23 Smaaskibe paa et Tidspunkt, hvor Republiken Venedig ejede en Flaade paa 3000 Skibe med en samlet Besætning af 36,000 Mand.

I disse Tider var Søen næsten lige saa utryg en Færdselsvej som Landevejen. Sørøveriet blomstrede, og de smaa Sejlskibe blev næsten lige saa ofte plyndrede af Sørøvere, som Postvognene af Landevejsrøvere. Et Angreb paa rigtladede, spanske Galejer eller en rask Landgang paa en fremmed Kyst var Foretagender, som ofte lykkedes, og som det ikke var vanskeligt at skaffe frivillige til. Til sidst udrustede engelske Forretningsmænd hele Kaperflaader til Opsnapning af spanske Galejer paa deres Vej hjem fra Kolonierne til Moderlandet.

II

I disse Tider var Havne for engelske Skibe saaledes ingen tvingende Nødvendighed, idet man foreløbig kunde nøjes med Læsteder i naturlige Fjorde og Bugter. I enkelte Tilfælde blev der bygget ganske primitive Bølgebrydere for at forøge Tilflugtsstedernes Sikkerhed, eller der forsøgtes fremskaffet en Slags Mole eller Pier ved at styrte store Sten ud i Vandet. Disse Sten toges paa Kysterne og blev paa en Slags Fade (Pramme) flaadede ud til det Sted, hvor de skulde benyttes, og dèr styrtet ned mellem svære Egepæle, der holdt fast paa dem (Fig. 33). En saadan Pier ved Lyme Regis var saa godt bygget, at Dronning Mary ganske rolig forlangte Arbejderne sendt til Dover, hvor de maatte bygge en lignende Bølgebryder. Senere byggede de en Pier ved Hastings, sammensat af store opretstaaende Klippeblokke, og da denne blev skyllet væk, blev en ny paa 10 m Højde bygget i 1597. Den var forstøttet med Tværkramper og Træbomme og blev beskrevet som »smuk at skue, kæmpemæssig, uforanderlig og urokkelig«. Saaledes dømte i det mindste de, der havde set den, men deres Dom maa have været noget forhastet, for den urokkelige Pier blev ret snart skyllet væk, og Hastings laa nu igen uden Værn mod Havet.

Fig. 33. Byggemaaden af de tidligste Bølgebrydere.

Blandt Sydenglands naturlige Havne maa nævnes Portsmouth, Plymouth, Weymouth, Falmouth og Dortmouth. Dover var derimod mindre egnet til at knytte en Havn til, paa Grund af dens løse Underlag (Sand og Rullesten). Den truedes stadig med Tilintetgørelse paa samme Maade som de tidligere Havne Romney og Hythe. (Naar vi i det følgende hovedsagelig holder os til de engelske Havne m. m., er det for saa vidt velbegrundet, som netop dette Land, foruden at eje Nutidens største Flaade, ogsaa har maattet beskytte sine Kyster i usædvanlig høj Grad paa Grund af den stærke Ebbe

og Flod, de mange helt ubeskyttede Strandstrækninger og de særdeles vanskelige Strømforhold. Overs. Anm.)

III

For rigtig at forstaa de Opgaver, en Ingeniør kommer til at staa overfor ved Anlæg af Havneværker, maa vi vide noget nærmere om Søens uhyre Kraft. Naar vi bader, lægger vi Mærke til, at Bølgerne, naar de ruller ind, kan slaa smaa Sten imod os med ikke helt ringe Kraft. Bølgerne kan imidlertid ikke alene løfte smaa Rullesten, men de kan ogsaa løfte store Kampesten og hvirvle dem ind mod Skrænterne paa Stranden. I svær Søgang er Bølgeslaget endogsaa i Stand til at bevæge Stenblokke, der vejer mange Tons. Søen kan løfte store Klippemasser 10—12 m til Vejrs og slynge dem ind mod Strandklipperne, som om det var en mægtig Rambuk i Arbejde.

William Mathews, den berømte Havneingeniør, beretter, at Havet i 1898 flyttede en Blok paa over 40 Tons i Peterheads Bølgebryder over 10 m bort. Han fortæller ligeledes, at et Afsnit af Bølgebryderen, der vejede 3300 Tons, blev drejet 5 cm uden dog at splintres af Slaget, da Forbindelserne ellers holdt.

Et andet Bevis paa, hvilke uhyre Kræfter, en Ingeniør maa regne med, fik vi at se, da Søen væltede den øverste Del af Havnemolen ved Wick i Skotland. Denne Havn var bygget i 1871 og bestod af enkelte haarde Blokke, hver paa 100 Tons, hvilende paa Stenbrokker. Ovenpaa disse laa der to Lag 80 Tons Blokke og endelig var hele Oversiden dækket med 800 Tons Cementsten. Man skulde tro, at et saa tungt Bygningsmateriale vilde kunne holde sig og med Held kunne spotte Bølgernes Bestræbelser for stedse. Dette blev imidlertid ikke Tilfældet, thi Søen væltede de mange Hundreder af Tons helt rundt og kastede dem i Havnen — og ikke nok hermed — de 80 Tons Blokke splittedes i alle Retninger, som kunde de være Mursten. Skaden blev repareret, og Inge-

niørerne anbragte yderligere nogle Hundrede Tons, men Anlæget havde næppe været færdigt i to Aar, før Havet paa ny brød det ned.

IV

En Bølge er i Bevægelse saa vel i vandret som i lodret Retning. Paa Bølgetoppen bevæger de Partikler, hvoraf den bestaar, sig i samme Retning som Bølgen selv. I Bølgedalen bevæger Partiklerne sig i modsat Retning og med mindre Fart. Da Bevægelsen er størst paa Bølgekammen, følger heraf, at Bølgeslagets ødelæggende Kraft tiltager med Bølgehøjden. En Bølge paa 10 m Højde kan udøve et Tryk af 1 kg pr. cm^2 eller mere. Over 3 kg pr. cm^2 har været rapporteret fra Skerryvore Fyrtaarn og ca. 4 kg pr. cm^2 fra Dunbar. Bølgekraften aftager med Dybden, og under Bølgedalen er den forholdsvis ringe. Man forstaar, at det er til ingen Nytte at bygge en Bølgebryder af Stenbrokker og Smaasten over Lavvands Vandstanden, men under denne Vandstand kan det godt gøres, da Stenbrokkerne saa langt nede ikke er udsat for Bølgekraften. Den ovennævnte Form for Stendæmninger anvendes derfor hovedsagelig kun paa Steder, hvor Høj- og Lavvandsforskellen er ringe, og hvor Søen ikke har stor Magt. Som Eksempel paa den Slags Havnearbejder kan nævnes Havnene i Portland og Kapstaden.

I det store Hele kan man dele Bølgerne i to Klasser, 1) Oscillerende Bølger (frem- og tilbagegaaende Bevægelse) og 2) Translatoriske Bølger (fremadskridende Bevægelse). Den første Klasse har vi omtalt ovenfor. I den anden bevæger Vandmassen sig bogstavelig talt i Bølgens Retning paa samme Maade som en Bølge, der brydes mod Stranden. En oscillerende Bølge bliver en translatorisk Bølge, naar den kommer ind paa grundet Vand, idet den snubler og derved kaster sig selv fremad, indtil den brydes mod Klipperne eller paa Strandkanten.

Ingeniørerne anvender to Metoder til at standse Bølgerne paa eller berøve dem deres fremadskridende Bevægelse. Den

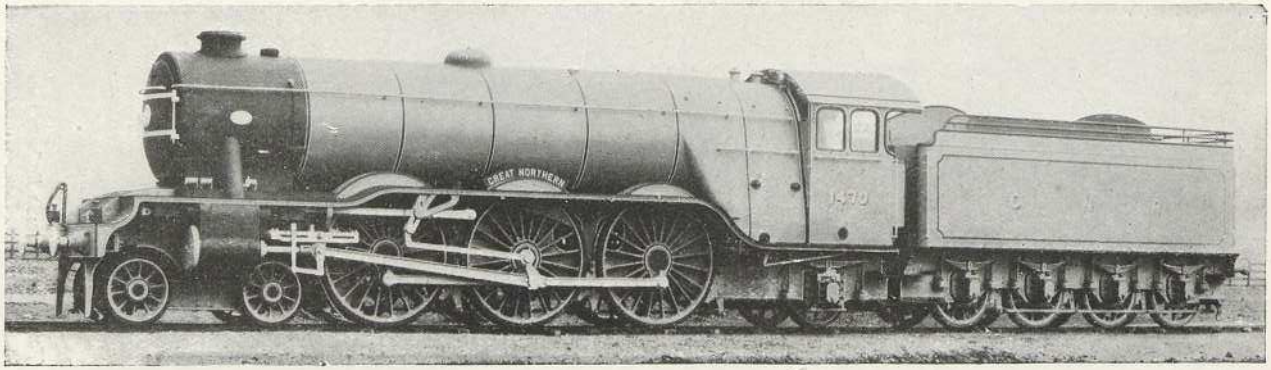
første Metode bestaar i at bygge et Skraaplan eller en »Hældning«, som Bølgen rutsjer opad, udtømmer sin Energi ved at klatre op og falder magtesløs tilbage igen. Ved Tilbagefaldet møder den den næste Bølge og hjælper med til at modvirke dennes Bevægelse op ad Skraaplanet. Ved den anden Metode bygges Hindringen som en lodret Mur med det Formaal, at omsætte den vandrette Bevægelse til lodret Bevægelse. Bølgen vil, naar den møder Væggen, slikke opad denne, hvorved den mister sin Energi og atter falder tilbage.

En Havneingeniør maa, foruden at studere Bølgebevægelsen, have sin Opmærksomhed henvendt paa mange andre Ting, som angaar Havnebygning. Han kan saaledes ikke lægge sine Planer for Arbejdet, før han meget nøje har undersøgt de lokale Forhold af forskellig Art. Disse Undersøgelser bestaar blandt andet i: at faa nøje Kendskab til Strømforholdene, Strømmens Retning og Fart, de lokale geologiske Forhold og Tidevandets Indflydelse. Endelig maa han skaffe sig Kendskab til de lokale Vejrforhold (f. Eks. Stormes Hyppighed), hvilke stedlige Materialer og hvilken stedlig Arbejdskraft, han kan gøre Regning paa. Naar han har faaet indhentet disse Oplysninger og maaske mange flere, der vil være nødvendige, kan Ingeniøren begynde at udarbejde sine Planer og Tegninger.

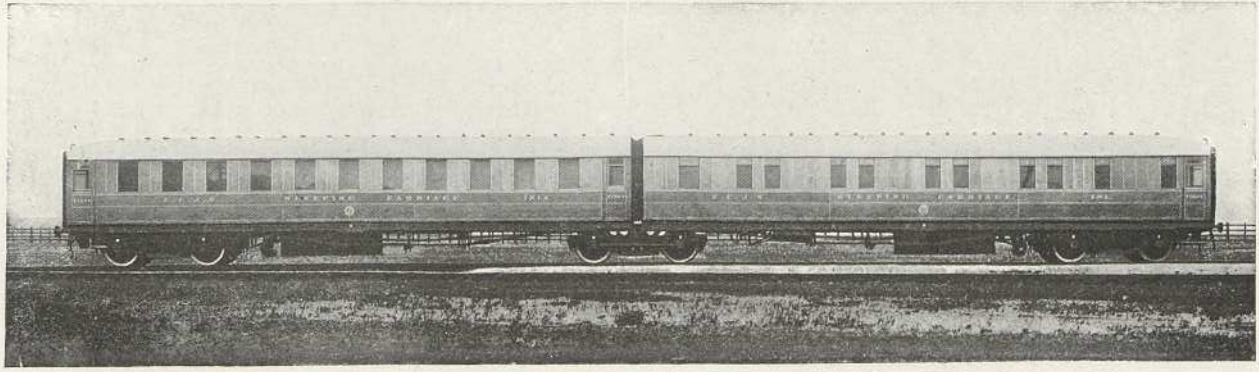
V

Der er i den nyeste Tid sket store Fremskridt i Konstruktionen af saavel Havne som Dokker, to lige nødvendige Betingelser for en maritim Station. Havne er ikke alene nødvendige for at yde Skibe Læ og Losseplads, men i Krigstid skal de ogsaa afgive Ly for Kampskibe og beskytte dem imod en uvelkommen fjendtlig Indtrængen. Paa den anden Side er Dokker paa de Steder, hvor der er større Forskel paa Høj- og Lavvande, af stor Vigtighed for Handelsskibes hurtige Losning og Lastning.

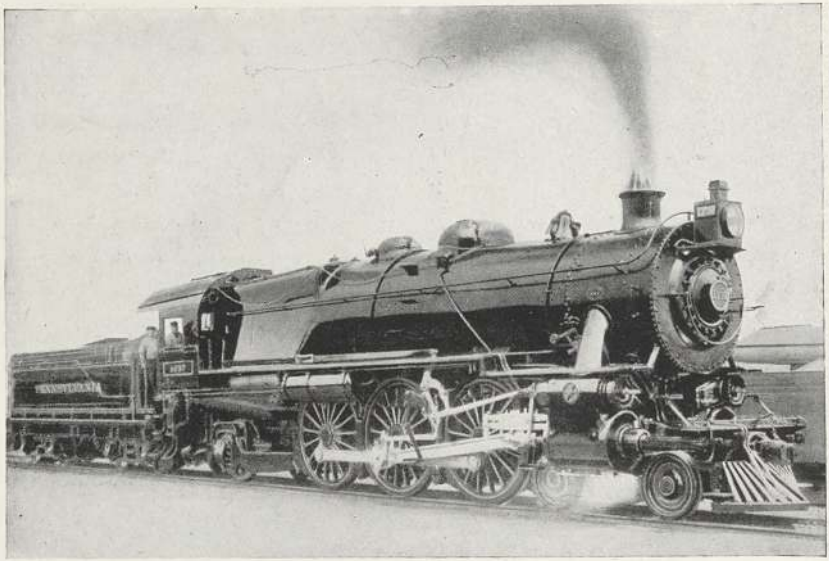
I næsten alle Lande findes der naturlige Havne af alle mulige Størrelser, nogle af dem endda saa store, at de kan



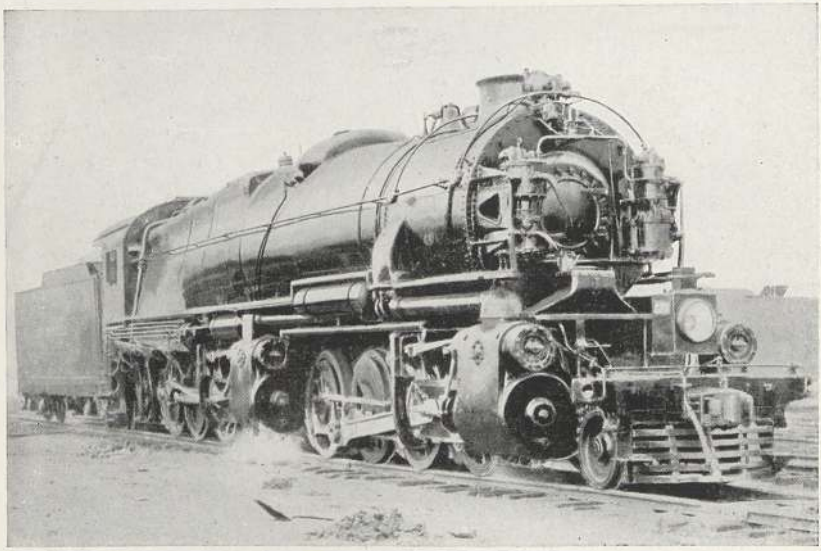
(a) Kæmpelokomotivet „Great Northern" af Pacifik-Typen (4—6—2). *(Foto. Great Northern Railway Co.)*



(b) Det sidste Nye inden for det rullende Materiel. En leddelt Sovevogn. *(Foto. Great Northern Railway Co.)*



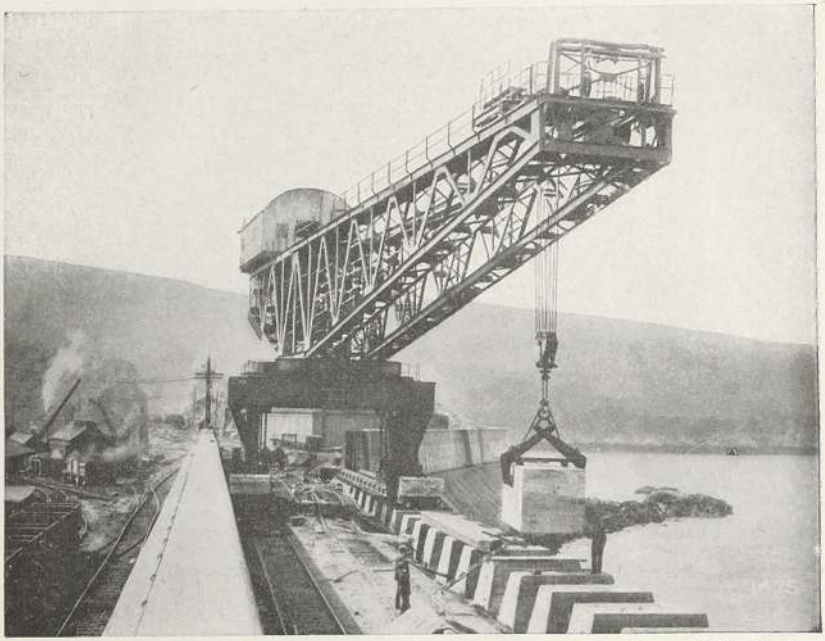
(a) Amerikansk Passagerlokomotiv. *(Foto. Pennsylvania Railway.)*



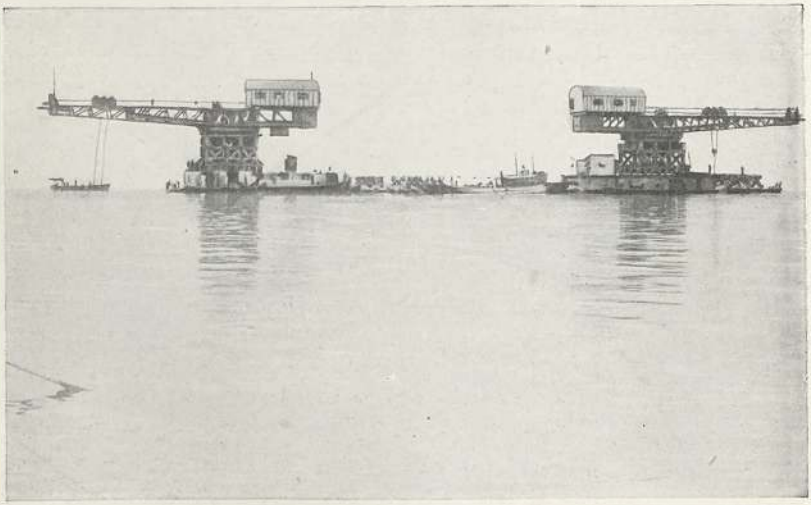
(b) Amerikansk Kæmpe-Fragtlokomotiv. *(Foto. Pennsylvania Railway.)*

(a) Anlæggelse af Jærnbanelinjer. Funderingsarbejder for en Bro ved den nye canadiske Jærnbanelinje. *(Fot. Canadian Nat. G. T. Railways.)*

(b) Skinneudlægning paa de kanadiske Statsbaner. *(Fot. Canadian Nat. G. T. Railways.)*



(a) En Kran til Anbringelse af Cementblokke. *(Foto. Messrs. Stothert and Pitt, Ltd.)*



(b) Titan-Kraner i Arbejde med Konstruktionen af Molen ved Gibraltar Havn. Hver er i Stand til at løfte Blokke paa 36 Tons ca. 25 m i Vejret. *(Foto. Messrs. Stothert and Pitt, Ltd.)*

rumme en hel Flaade. I mange Tilfælde er disse Havne blevet udbedrede og mere beskyttede, for at yde godt Værn mod Storm for indgaaende Skibe.

Efter hvad vi allerede har hørt om Bølgekraften, kan vi indse, at det ikke er nogen let Opgave for en Ingeniør at give Tegninger til Bølgebrydere og Havnearbejder, som kan modstaa Elementernes Rasen. Den uhyre Mængde af Materialer, der skal bruges, og Vanskelighederne ved at bringe dem paa Plads gør Havnebygning særlig interessant. Det siges da ogsaa ofte, at det er i Kampen mod Havet, man helst skal se den moderne Ingeniør.

Der findes vist ikke to nøjagtig ens Bølgebrydere eller Moler, da de lokale Forhold er saa vidt forskellige, at næsten hver Havn forlanger sin særlige Behandling. Undertiden kan Maalet naas ved en Dæmning eller Vold af større eller mindre Sten, som spredt udkastes fra Pramme, indtil Højvandsmærket er overskredet af Dæmningens Top. Til denne Klasse hører Algiers Bølgedæmper, der bestaar af 25 Tons Blokke, der er kastet ned paa Havbunden. En saadan Bølgebryder forlanger kun lidet Arbejde med Hensyn til Blokkenes nøjagtige Anbringelse, ligesom der kan benyttes færre Materialer, da Mellemrummene mellem Blokkene faktisk udgør en Trediedel af hele Ophobningens Volumen. Portland Bølgebryderen er en Modifikation af denne Type, idet de nedkastede Sten er dækket af massive Blokke, anbragte efter en bestemt Plan (se Fig. 34). Portlands Bølgebryder har en Længde af godt 5 km.

Man kan ogsaa anvende det saakaldte »Sækkeblok«-System, hvortil benyttes en Pram med Hængselbund. Det indre af Prammen er foret med Sækkelærred, hvis øverste Kanter føres ud over Pramsiderne. Der fyldes nu Beton i Prammen, indtil den ønskede Højde (f. Eks. en lille Meter) er naaet. Derpaa samles Sækkelærredets frie Kanter over Betonen og syes sammen for at holde sammen paa den, saaledes at det hele danner en firkantet Blok. Prammen fortøjes paa den angivne Plads ved Bølgebryderen, og dens Bund aabnes, saa at Ladningen kan falde derigennem. Betonen størkner hurtigt ved Vandets Paavirkning og er inden ret længe fuld-

stændig haard. Denne Bygningsmaade er brugt ved Anlæget af Havnene i New Haven og La Guaiga, ved Bygningen af hvilken sidste der uden Uheld nedlagdes »Sække« paa 70, 130 og 180 Tons. Den samme Metode blev desuden anvendt, da Underlaget blev bygget til Aberdeens sydlige Bølgebryder. Det er jo ikke altid sikkert, at Bølgebrydere som ovennævnte kan modstaa Bølgeslagets Kraft, og man maa da følge en bedre Fremgangsmaade. Maaske vil der ikke være anden Udvej end at bygge en Mur eller Dæmning af Stenblokke, den ene »nedsvalet« i den anden for at kunne yde størst mulig Bølgemodstand, saaledes som det er gjort i Admiralitetshavnen ved Dover.

VI

Det største kunstige Havneanlæg findes ved Portland, idet det ved Lavvande strækker sig over et Bassin paa 810 ha med ca. 2 m Dybde og et Bassin paa 600 ha med ca. 10 m

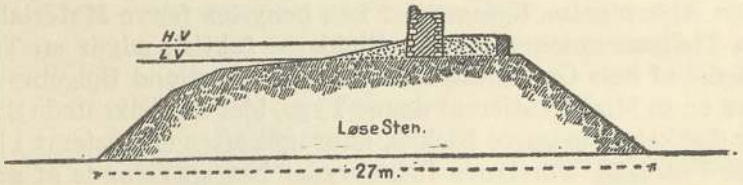


Fig. 34. Snit gennem en Bølgebryder i Portland Havn.

Dybde. Bølgebryderen blev paabegyndt i 1849, og Arbejdet blev udført af Fanger fra det nærliggende Fængsel. Arbejdet blev fuldført i 1872, men to store Bølgebrydere er senere føjet til for at gøre Havnen brugelig til Krigsformaal og til Beskyttelseshavn for Krigsskibe mod Torpedobaadsangreb.

Gibraltars Krigshavn, der dækker over et Areal paa knapt 200 ha, er ogsaa af en ganske ejendommelig Konstruktion. Den er beskyttet af to Moler eller Arme, som skyder sig ud fra Kysten med en fritliggende Centralmole mellem de to Kystarme. Centralmolen er en vertikal Dæmning af store

Betonblokke, der hviler paa et Stenunderlag. Dybden ved Molen ligger imellem 15 og 20 m. For at skaffe Underlag til de store Titankraner, der skulde udlægge Stenblokkene, benyttede man sig af en ejendommelig Fremgangsmaade. I England byggedes der en Sænkekiste (»Caisson«) af Staal med følgende Dimensioner: Længde ca. 35 m, Bredde ca. 12 m og Højde ca. 17 m. Sænkekisten blev derpaa adskilt og i enkelte Stykker ført til Gibraltar, hvor den blev sat sammen og slæbtes ud til Centralmolens Plads. Fremgangsmaaden ved Benyttelsen af saadan en Sænkekiste er følgende: Sænkekisten, der ligner en stor, fladbundet, rektangulær Pram, fortøjes over det Sted, hvor man ønsker Blokken eller Pillen liggende. Derpaa fyldes den op med Beton, og efterhaanden som den synker dybere og dybere, bygger man Siderne højere op paa den, saa den stadig holder sig flydende, indtil den tilsidst staar fast og solidt paa Bunden, og Forskalningen kan tages af. Her ved Gibraltarhavnen fyldtes den enorme Sænkekiste med 9000 Tons Beton og var fortøjet saaledes, at den efter Opfyldningen dannede en kunstig Ø, paa hvilken Kranerne kunde anbringes (b. Tavle XX).

En af de største kunstige Havne i Amerika findes ved Vera-Cruz i Meksiko; den omfatter et Areal af 225 ha med en Gennemsnitsdybde af 10 m. Før denne Havn blev anlagt, var Sejladsen paa den derværende Kyst meget vanskelig, da der ofte raser voldsomme Storme. I 1882 foreslog en bekendt amerikask Ingeniør, James Eads, at anlægge en stor Havn ved Vera Cruz. Hans Plan var at benytte de udfor Kysten liggende Koralrev som Grundlag for de nødvendige Bølgebrydere. Hans Forslag blev antaget, og i de følgende 13 Aar skred Arbejdet langsomt fremad. Imidlertid blev det kendte Entreprenørfirma i London, Pearson & Son, i 1895 opfordret til at fuldføre Arbejdet, hvilket ogsaa lykkedes dem i Løbet af 7 Aar. Det viste sig nødvendigt at bygge tre adskilte Bølgebrydere. Den nordvestlige bestod af en Stendæmning, paa hvis Overside var anbragt en Betonvæg af 35 Tons Blokke med en Række tilfældigt anbragte Betonblokke paa den Side, der vendte mod Søen. Den nordøstlige Bølgebryder bestod af en 8 m høj Stendæmning, dannet af Sten ud-

kastede fra Pramme, og var omhyggelig jævnet paa de forskellige Flader af Dykkere. Da dette Arbejde var udført, kastedes fra Kraner paa Maa og Faa et Bælte af 35 Tons Betonblokke paa Langsiden ud mod Søen. Tilsidst havde Bølgebryderen en Bredde af ca. 35 m og en Længde af godt 800 m, og ovenpaa Stendæmningen lagdes nu Rækker af Betonblokke. Før Entreprenørerne havde fuldført Arbejdet maatte der ialt flyttes 6,500,000 m³ Sand og 50,000 m³ Klippesten ved Hjælp af forskellige Maskiner og Pramme. Over 2,000,000 Tons Sten og Beton blev benyttet til det tilsammen 5½ km lange Bølgebryder- og Kajanlæg, og Omkostningerne beløb sig til ca. 75 Millioner Kroner. Ogsaa under

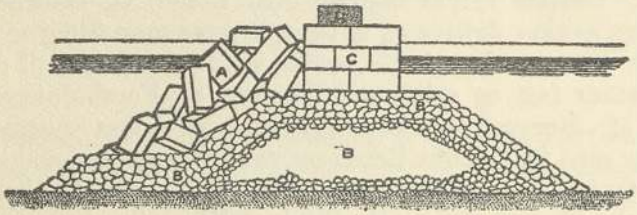


Fig. 35. Nord-østlig Bølgebryder, Vera Cruz. A tilfældigt anbragte Blokke; B løse Sten; C sammenbygget Række Betonblokke.

disse Arbejder fik Havet Lejlighed til at vise sin Kraft, idet en af de store Kraner, der dog vejede 360 Tons, blev »grebet« under en Storm og bogstavelig talt kastet paa Hovedet i Vandet! Den blev dog taget op og sat i Arbejde igen.

En af de længste Bølgebrydere i Verden findes ved Cherbourg. Bygningen blev allerede paabegyndt i Ludvig XIV's Tid, og efter flere Gange at have lidt ret stor Skade og atter være blevet repareret, blev den endelig fuldført i 1832. Anlægget bestaar af 2 lange Arme, der danner en Vinkel af 170° med hinanden. En mindre Bølgebryder forbinder de to lange Arme med Kysten, idet det oprindelig var Meningen at anlægge store Forter, eet paa hver Ende af de lange Bølgebrydere og eet, hvor de støder sammen med den mindre. Hele Anlægget omspænder et Areal af ca. 800 ha og bestaar af Stendæmninger med et tykt Lag Beton, ovenpaa hvilket igen er bygget en Vold af Granitmurværk.

Under Verdenskrigen nævnes Angrebet paa Zeebrügge som en af dens største Bedrifter, og selve Kampen fandt Sted ved Byens berømte Mole, der har en Længde af ca. 1700 m og egentlig var bygget til Beskyttelse af Brügge-Kanalen. Den yderste Del er bygget af mægtige Betonblokke, der hver vejer ca. 4400 Tons, Længde 28 m, Bredde 10 m og Højde 10 m. De danner en Række af de største Betonblokke, der nogen Sinde er fabrikeret. Deres enorme Størrelse gjorde det upraktisk at transportere dem i færdig Tilstand hen i deres endelige Stilling. Blokkene blev da fremstillede af Sænkekasser af samme Dimensioner som Blokkene, og disse blev da, fortøjet i den endelige Stilling, fyldte med Beton og sænket paa Stedet.

Ved Indsejlingen til Plymouth Sund møder vi ligeledes

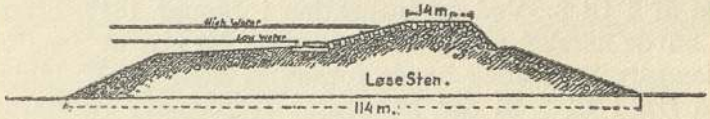


Fig. 36. Snit gennem Plymouths Bølgebryder.

en mægtig Bølgebryder, der staar som et smukt Minde om den berømte Ingeniør John Rennies store Dygtighed. I 1811 paabegyndte John Rennie den kæmpemæssige Opgave at bygge en Bølgebryder 1,6 km lang, 50 m bred ved Bunden og 10 m bred foroven. Den midterste 900 m lange Del af Bølgebryderen skulde være lige, medens de to Stykker ved Enderne af den lige Del skulde danne en stump Vinkel med denne. Rennie sænkede Mængder af Sten ned langs den Linie, Bølgebryderen skulde følge, og var opfindsom nok til at lade Havet selv bringe Materialet paa Plads. Stenene blev kastede fra Pramme med Faldlemme. Skønt disse Pramme i Løbet af to Aar bragte utallige Ladninger ud fra Stenbrudene langs Kysten, var der kun ringe eller ingen Virkning at spore, og Folk begyndte allerede at knurre, da det forekom dem, at det hele var Spild af Arbejde og Penge. I 1813 begyndte Stenene at vise sig over Vandfladen, og to Aar senere, efter at der var anbragt henved 650,000 Tons

Sten, var ca. 1 km af Bølgebryderen synlig. Det kan her nævnes, at Napoleon, da han som Fange passerede Plymouth Sund, udtrykte sin Beundring for den Dristighed og det Storsyn, hvorpaa dette Foretagende var grundet. Det følgende Aar (1816) blev over 1000 Tons Sten daglig bragt paa Plads, en Arbejdets Bedrift, som vi vel vanskeligt kunde slaa den Dag i Dag. I Slutningen af Aaret stod en Længde af ca. 300 m i en Højde af 7 m over Lavvande.

Rennie havde lagt Mærke til, at Sten, der var udsat for svær Sø, indtog en naturlig Hældning af 1 til 5, og han besluttede at benytte samme Hældningsgrad ved Bølgebryderens Bygning. Hans Principaler kritiserede dette Forslag, vel navnlig fordi det krævede en endnu større Mængde Sten — og deres Kritik var saa paagaaende, at han mod sin Overbevisning lod sig overtale til at anvende en Hældning mod Søen af 1 til 3. Ved en Inspektion i Januar 1817, efter at der havde hersket svære Storme, viste det sig, at Søen over en længere Strækning havde forandret Stenenes Hældningsgrad fra 1 til 3 til den af Rennie foreslaaede Hældning 1 til 5. Men selv overfor denne Kendsgerning vilde Principalerne ikke bøje sig, og det var først efter en skrækkelig Novemberstorm i 1824, hvor ikke mindre end 750 m af Bølgebryderen igen havde dannet Hældningen 1 til 5, at de høje Herrer gik ind paa Rennies oprindelige Forslag om den naturlige Hældning.

Rennie skulde ikke opleve at se Fuldførelsen af sit Værk (i 1848) og heller ikke de Forandringer, der havde fundet Sted i de af ham udtænkte Dimensioner, thi han døde allerede i November 1824. Den færdige Bølgebryder maalte nemlig ikke mindre end 120 m i Bredden ved Bunden, og foroven var den paa Skraaningen forsynet med store tilhuggede Stenblokke, cementerede og indhuggede den ene i den anden. Bølgebryderen rummer ialt 3,670,000 Tons Sten, 20,000 m^3 Murværk og kostede ca. 35 Millioner Kroner.

VII

Den store Flaadebasis under Verdenskrigen, Havnestaden Dover, er et af Englands interessanteste Havnearbejder. Dovers Betydning som Havn har længe været anerkendt, og gennem Tidernes Løb har der været gjort mange Forsøg paa at bevare Byen som saadan. En af de vigtigste Forbedringer blev allerede udført under Henrik den Ottende, da et lille Bassin blev omgivet af en Kajmur. Kajen byggedes ved at drive to Rækker Pæle ned i Havbunden og opfylde Mellemrummet med Sten og Kridt. Der blev anvendt saadan noget som en Million Kroner, men ikke til større Nytte, thi Søen brød snart Brescher i Muren. Fremmede Ingeniører blev da spurgt til Raads, og der foretoges forskellige Udbedringsarbejder under Dronning Elisabeth og Kong Jacob. Senere indgav berømte Ingeniører som Perry, Smeaton, Rennie og Telford Beretning om Arbejderne, og store Summer blev anvendt paa disse.

Problemet om Havnens Bevarelse er imidlertid først løst for nylig, da Indførelsen af Cement gjorde en Løsning praktisk mulig. I Tiden mellem 1898 og 1909 lykkedes det Pearson & Son, det samme Firma, som byggede Havnen i Vera Cruz, at fuldføre Admiralitetshavnen ved Dover (a. Tavle XXI). Havnen omfatter ca. 275 ha og er et af de største Søvandsbassiner i Verden. Før dette sidste store Arbejde var Havnen af forholdsvis ringe Størrelse, som vist paa Fig. 37. Ingeniørarbejderne omfattede 1) Forlængelse af Admiralitetspieren med ca. 650 m, 2) Opbygning og Udgravning paa Strandbredden af et Areal af ca. 1200 m Længde og 80 m Bredde, 3) Bygning af en ca. 1000 m lang Bølgebryder mod Øst og endelig 4) Bygning af en fritliggende Bølgebryder paa Sydsiden for at indeslutte Rummet mellem de to Arme. Bølgebryderne var ved Bunden 15—20 m brede, tilspidsende opefter til en Højde af 25—30 m. Der blev benyttet Betonblokke paa 42½ Tons, og den Side, der vendte mod Søen, blev dækket med et Granitstenlag (a. Tavle XXII). Dette Arbejde nødvendiggjorde Oprettelsen af Fabrikspladser og Magasiner til Blokke. Kæmpekraner paa 100 Tons blev an-

vendt med deres Gribere og Knusere for at udjævne Havbunden. Enorme, jærnbeslaaede Pæle, 30 m lange, blev dre-

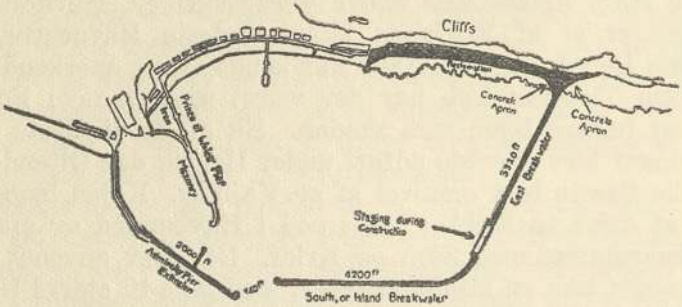


Fig. 37. Admiralitetshavnen i Dover. De helt sorte Partier er de senest konstruerede.

vet ned i Havbunden i Grupper paa 6, 3 paa hver Side, saaledes at de dannede to Trefødder eller Bukke (Gantry-Sy-

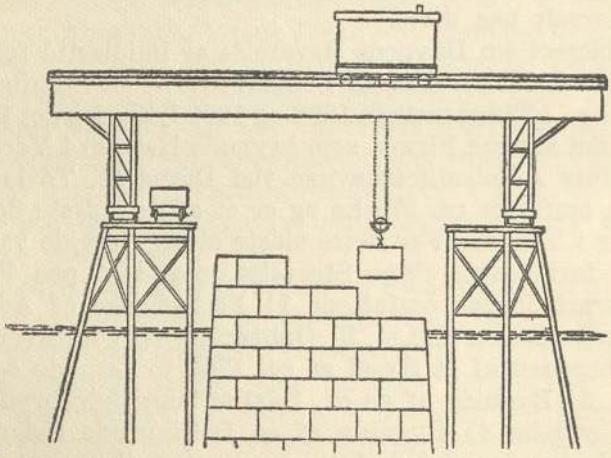


Fig. 38. Gantry-Systemet til Anbringelse af Cementblokke. Overliggeren med Kranen kan paa sine to Ben køre ind til Bredden og hente en Blok, som Kranen igen, ved at løbe frem eller tilbage paa Overliggeren, kan bringe paa rette Plads.

stem). Ovenpaa Bukkene anbragtes horizontale Dragere af Jærn og Træ, og paa Træet lagdes igen Skinner, langs hvilke Kranen kunde køre (Fig. 38). Andre Kraner nedsænkede

Dykkerklokker i saadanne Stillinger, at Dykkerne kunde udføre Udjævningsarbejder eller tilrettelægge Blokke under Vandet, idet de kunde sende telefoniske Instrukser op til Kranførerne. Med en slig Udrustning og en saa gennemført Organisation er det ikke underligt, at Arbejdet skred hurtigt frem, og ikke een Del af det blev forsinket blot et Sekund. Faktisk gik da Arbejdet ogsaa 6 Gange hurtigere end ved Bygningen af den gamle Pier, idet der blev bygget 180 m om Aaret i Stedet for 30 m. Der blev gjort Forsøg paa at bygge den fritliggende Bølgebryder samtidig med de andre, men dette Forsøg maatte opgives, da det var umuligt at fremskaffe Arbejdsunderlag i den aabne Sø. I Stedet for blev Stilladserne fra den østlige Bølgebryder forlænget midlertidig, og ad denne Vej blev da Kraner og Materialer bragt over. Til Arbejdet brugtes over 64,000 Blokke med en samlet Vægt af 1,920,000 Tons.

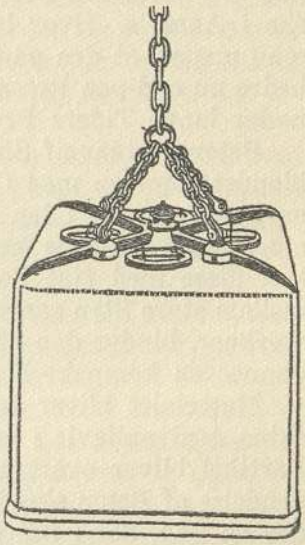


Fig. 39. En Dykkerklokke.

Der fortælles en morsom Historie fra Bygningen af Dover Havn. Der blev lagt Mærke til, at en af Dykkerklokkerne en Gang forblev mærkværdigt længe nede. Man frygtede en Ulykke, men det viste sig senere, at Folkene i Klokken blot havde fundet paa en ny Adspredelse, idet de fangede Krabber, malede Nummer paa dem, og lod dem løbe om Kap fra den ene Ende af Klokken til den anden, hvilket naturligvis gav Anledning til ivrige Væddemaal.

VIII

Portland-Cementens Opfindelse var af den allerstørste Betydning for alle Havneingeniører, og uden den vilde det have

været umuligt at udføre Havnearbejder i den Maalestok, som vi er vant til nu til Dags.

Cementens vigtigste Egenskab er den, at naar den i Pulverform oprøres med Vand, undergaar den en kemisk Proces, under hvilken de enkelte Korn løber sammen eller forener sig og størkner, og kort Tid efter danner Cementen en kompakt, haard Masse. Forandringen sker dog ikke helt paa den korte Tid eller nogle faa Dage, men vedvarer maaske i Aarevis. Hvor længe kan vi ikke bestemt sige, men man mener, at den gamle Cement, som Romerne brugte, er bedre nu end paa Romertiden, da den er tiltaget i Haardhed under lange Tiders Proces.

Beton bestaar af Sten og Sand eller lignende Materialer, blandet sammen med Cement, saaledes at der fremkommer en haard Masse uden Huller. Mellemrummene mellem de større Sten udfyldes med Smaasten, og Mellemrummene mellem disse med fint Sand. Cementen trænger ind overalt, mellem store Sten saavel som mellem Sandkorn, og naar den størkner, binder den alle Partikler sammen, saaledes at der dannes en kompakt Masse.

Materialet bliver fuldstændig sammenblandet i en Maskine, sædvanligvis i en Drejetromle, som sikrer at enhver Partikel bliver overtrukket med vaad Cement. Skønt Anvendelse af Beton skulde synes ligetil, er det ikke desto mindre en Sag, der i høj Grad har rejst tekniske Spørgsmaal, som kun kan løses gennem fint udarbejdede og komplicerede Beregninger. Før hver enkelt Levering af Cement kan tages i Brug, undersøges den ved sindrige Instrumenter, for at dens Modstandskraft kan udfindes.

En af Cementens store Fordele er, at den muliggør en hurtig Konstruktion af en solid Betonmur. Konstruktionen kan udføres enten paa selve Stedet og i den forlangte Position, eller hvis dette ikke lader sig gøre, da ved at lade støbe store Betonblokke paa Stranden nær Arbejdsstedet. Et andet Forhold er, at en enkelt Blok paa 40 Tons er af langt større Værdi ved Havnearbejder end 4 mindre Blokke hver paa 10 Tons. Enhver Sammenføjning i et Bloksystem skaber Svaghed, selv om Blokkene er sammenføjede med den allerstørste

Dygtighed; thi Havneingeniøren maa stole paa Masserne og ikke paa Vedhængningen, naar han skal tage Kampen op mod det hensynsløse Havs frygtelige Kraft.

Beton er i og for sig ingen ny Opfindelse, thi i Forbindelse med Kalk var den kendt af de romerske Ingeniører. Kupler og Hvælvinger i Caracallas og Diakletians Bade, der hører til Roms største Seværdigheder, er af Beton. Den store Kuppel paa Pantheon i Rom, en af Verdens største Bygninger, er ligeledes udført i Beton. Trods den lange Tid, der er forløbet, siden disse Bygninger blev rejste, er de dog stadig fuldstændig brugbare — ja maaske endog stærkere, end da de blev opførte.

Skønt den romerske Beton er meget holdbar, antager man dog ikke, at den er saa stærk eller saa brugbar som Portland Cementbeton. Da den romerske Beton har trodset mange Aarhundreder, skulde man næsten tro, at Portland Beton var uforgængelig og uopslidelig.

Portland Cement, der var ukendt for mindre end eet Aarhundrede siden, er nu til Dags et af vore vigtigste Bygningsmaterialer. Det er ingen Overdrivelse at sige, at Feltet for dets Anvendelse i den seneste Tid i den Grad er tiltaget, at det næsten har virket revolutionerende paa Ingeniørvæsenet eller i hvert Tilfælde paa mange af dets Grene, og uden Cement eller Beton vilde mange af den nyeste Tids store Ingeniørarbejder slet ikke have kunnet udføres. Beton bruges nu i Stedet for Sten, Mursten, Tømmer, ja selv Jærn og Staal, og det i en saadan Udstrækning, at man næsten kan sige, at vi i de senere Aar gennem Staalalderen er gaaet ind i Betonalderen. Indtil for hundrede Aar siden var Ingeniørernes bedste Byggematerialer Kalk og en Slags romersk Cement, tildannet ved at brænde og knuse visse Stenarter. Denne Cements Anvendelighed var ret begrænset, og dens Styrke var ringe. Nu bruger vi Portland Cement, sandsynligvis det stærkeste og mest brugbare Konstruktionsmateriale, der hidtil har været kendt, og det var ikke underligt, at Ingeniørerne med Glæde hilste dette nye Materiale og med dyb Interesse fulgte dets Udvikling. Materialet angav ikke alene nye Rammer for Ingeniørernes Planer, men forøgede

ogsaa Styrken i Strukturen — to Faktorer af den allerstørste Betydning.

IX

Portland Cement er en engelsk Opfindelse, der i 1824 blev patenteret af en Murer, Joseph Aspdin; mange mener dog, at Aspdin allerede havde gjort Opfindelsen i 1811. Der paastaas, at Materialet fik sit Navn derigennem, at det i størknet Tilstand i høj Grad lignede den kendte Byggesten fra Stenbrudene i Portland. Ved Bygningen af Tunnelen under Themsen i 1828 blev det første Gang brugt i større Maalestok. Leveringen skete fra Aspdins Fabrik i Wakefield. En af de første Fabriker til Fremstilling af Cement laa i Swanscombe i Kent, hvor der i Dag er store moderne Værker og Anlæg, der foretager Fremstillingen efter en gigantisk Maalestok for at kunne tilfredsstille Nutidens enorme Efterspørgsel.

Portland Cementens Historie siden dens Opdagelse er typisk for det Fremskridt, der er sket i videnskabelig og mekanisk Kundskab og paa Opfindelsernes Omraade i Løbet af det nittende Aarhundrede. Da Aspdin for 100 Aar siden fandt ud af, at han ved at blande Kalksten og Ler kunde fremstille en Cement, der overgik andre lignende dakendte Materialer, opdagede han Hovedhemmeligheden, som forskaffede Verden et saa glimrende Byggemateriale. Enkelthederne i Aspdins Originalpatent viser os, hvori hans Opfindelse bestod, nemlig 1) Blanding af Kridt eller Kalk med Ler eller Lerjord, 2) Brænding af Blandingen og derpaa 3) Knusning af den. Det er nøjagtig efter den samme Metode, at Portland Cement i vore Dage fremstilles i en moderne Fabrik. Den eneste Forandring er de forbedrede Maskiner, idet selve Processen nærmest er uforandret.

Nutidens Cementfabriker ligger i Almindelighed nær ved righoldige Kridt- eller Kalkbrud. At den første Cementfabrik blev anlagt i Greenhithe i Kent nær righoldige Lejer, kan jo næppe heller have været nogen ren Tilfældighed. Kalken udgrøves ved Hjælp af »Dampgravere«; idet en saa-

dan rask farer op langs Kridtklinten, tager den en lille Bid paa en Tons eller mere og lader den falde ned i de ventende Tipvogne, der trækkes direkte til Fabriken. Det klæge Ler bringes til Fabrikerne i Pramme, men kan ogsaa sammen med Vand pumpes direkte op fra Lejerne, hvis Beliggenheden er gunstig herfor. Kalken og Leret væltes i deres naturlige Tilstand ned i mægtige Vadskemøller, hvor de røres op til en mudret Blanding, som derpaa passerer igennem fine Harpeapparater. Blandingen kaldes i denne Tilstand Mørtel (»slurry«). Behandlingen af Mørtlen, efter den er passeret Harpen, er i den moderne Proces helt forandret, og i Stedet for at puttes i Aspdins »Tørrepander« ledes Mørtlen nu ned til store Blandingstanke, hvor mekaniske Omrørere holder den i stadig Bevægelse for at forhindre den i at stivne. Fra Tankene pumpes den hen i roterende Tørreovne. Disse Ovne, der bestaar af meget store roterende Staalcylindre, er den vigtigste Forbedring, der i de senere Aar er indført i Cementfabrikationen. Den flydende Blanding pumpes ind i den øverste Ende af Tørreovnen, idet Tilstrømningen reguleres af en vagthavende Arbejder. Ved at passere igennem Cylinderen, tørres Materialet, indtil det naar ned til den nederste Ende, hvor Temperaturen er meget høj (over 1500 ° Celsius). I denne stærke Varme forkalker Blandingen helt. Til Slut knuses Materialet i særlige Møller, hvorefter det endelig som Pulver i Sække kan føres til Oplagsstederne, klar til Brug.*)

Denne korte Oversigt viser, hvor stort Fremskridtet i Cementfabrikationen har været, særlig hvad Behandlingen af Materialerne angaar. Skønt Aspdins Opfindelse forbliver Hjørnestenen for al Cementfabrikation, vilde man dog næppe nu antage Datidens Fabrikat som rigtig Portland Cement. Ved Benævnelsen Portland Cement mener man ikke, at den stammer fra Portland, men derimod at den opfylder visse internationalt vedtagne Krav til Styrke, Renhed og Størkningshurtighed.

*) En stor Del af Verdensforbruget af Portland Cement leveres af danske Fabriker eller af Fabriker bygget i Udlandet af det danske Ingeniørfirma F. L. Smidth & Co.

Cement bruges ved særlig store Ingeniørarbejder, saasom Anlæg af Havne, Dokker, Jærnbaner, Vandværker, Overrislingsstationer, Bølgebrydere, Broer og deslige. Cement har ogsaa den kemiske Egenskab at beskytte Staal og Jærn mod Fortæring og Rustdannelse, en yderligere værdifuld Egenskab, naar Metalrør skal nedlægges i Jorden eller udsættes for uheldige Indvirkninger af en eller anden Slags.

Forstærket Beton er Beton, hvori er indlagt Metalbjælker for at give større Styrke. Det anvendte Metal er som Regel Jærn, og efterhaanden har denne Form for Beton faaet Navn af Jærnbeton. Forstærkningen kan bestaa af en ganske enkelt Stang, men undertiden indlægges ogsaa Dragere eller Gitterdragere. Grunden til den forstærkede Betons Fremkomst er, at medens Staal er meget stærkt overfor Spænding eller Strækning, er Beton stærkt overfor Sammentrykning, men forholdsvis svagt overfor Strækning. Dette vil sige, at Beton vil kunne modstaa en enorm Trykbelastning, men er meget skør og vil brække over, hvis den udsættes for Trækpaavirkninger som en Bjælke, hvorimod Jærn kan taale betydelige Trækpaavirkninger. Staal og Jærn har været benyttet i mange Aar i Forbindelse med Beton, men som Regel kun naar det drejede sig om store Tværsnitsformer, og ved Strækningsberegningerne tog Ingeniørerne meget lidt Hensyn til Betonen. Nu er Forholdet imidlertid bedre kendt, og Staalet bliver benyttet ved alle Strækninger (Spændinger) og Betonens Fasthed ved alle Sammentrykninger i næsten alle Tværsnitsformer. Selv de gamle Træpæle, som vi kender saa godt fra Flodsenge eller i Kysthavnene, erstattes nu af Pæle af Jærnbeton, som skulde synes at være næsten uopslidelige!

X

Man kan vel nok med Rette kalde en Dok for et Skibshospital, thi i den behandles de forskellige Havarier eller Skibsulykker, og Skibet plejes ved at Bunden renses for Langhalse og Søgræs, som forøger Friktionen mod Vandet og formind-

sker Skibets Hastighed. Moderne »Skibspleje« staar for Tiden meget højt, hvilket i ikke ringe Grad skyldes den store Mængde Erfaringer og det praktiske Kendskab, der er opnaaet ved Reparation af de Ravager, som Miner og Undervandsbaade anrettede under Verdenskrigen. At reparere Baade og Smaaskibe er ikke nogen vanskelig Sag. Vi har jo næsten alle set vore Fiskere hale deres Baade op paa Stranden og sømme en Plade paa over en Læk eller et svagt Sted i Bunden. Vi har ogsaa set Fiskeren tjære og mønje sin Baad, efter at den var renset for Skæl, og set ham tætte en mindre Revne i Dækket med Værk. Større Skibe, som Slagskibe og Oceandampere, kan ikke behandles paa en saa nem og bekvem Maade; for deres Skyld er det nødvendigt at have en Tørdok (en »gravet« Dok, som den ogsaa kaldes), og en saadan Dok findes da ogsaa i de fleste større Havne og paa de fleste Skibsværfter. Naar Skibet tages ind i en saadan Dok, staar Portene aabne, og Dokken er fyldt med Vand. Saa snart Skibet er vel fortøjet inde i Dokken, lukkes Portene, og Vandet pumpes ud, hvorved Skibet kommer til at hvile paa Kølblokke og samtidig støttes paa Siderne af Stivere.

Tørdokkerne er efterhaanden tiltaget i Størrelse, for at kunne følge med i den stadige og hurtige Stigning af Skibenes Dimensioner. Liverpool har en Tørdok paa 305 m Længde, Glasgow og Tilbury hver sin paa 260 m, og endelig er Belfast Tørdok 250 m lang. Breden er gennemgaaende 30 m, Højden 15—18 m.

En Ingeniør, der skal bygge en Tørdok, har mange Vanskeligheder at overvinde. Ikke blot skal en stor Jordmængde udgraves, men der skal bygges stærke og vandtætte Mure for at holde det Grundvand ude, der altid findes i Jorden i Nærheden af Søen. Jordens Tryk vil søge at vælte Murene indad, og Murværket maa gøres meget massivt for at hindre, at Dokken flyder op — thi en tom Tørdok er jo i Virkeligheden ikke andet end en uhyre stor Tank. Bunden maa have Form af en omvendt Bue for at modstaa Trykket ovenfra og modarbejde den omliggende Jords Tryk paa Væggene. Flere Tørdokker har i Tidens Løb lidt Havari, og Omkost-

ningerne ved deres Reparation er meget store. Efter at have været i Brug i 11 Aar styrtede i 1896 en Aberdeen Tørdok af Beton og Granit delvis sammen, hvilket medførte Reparationsomkostninger til et Beløb af 1½ Million Kroner. For kort Tid siden led en Tørdok ved Tynen Skade i Bunden, hvoraf Reparation alene kostede næsten ¾ Million Kroner, som man ser meget betydelige Beløb.

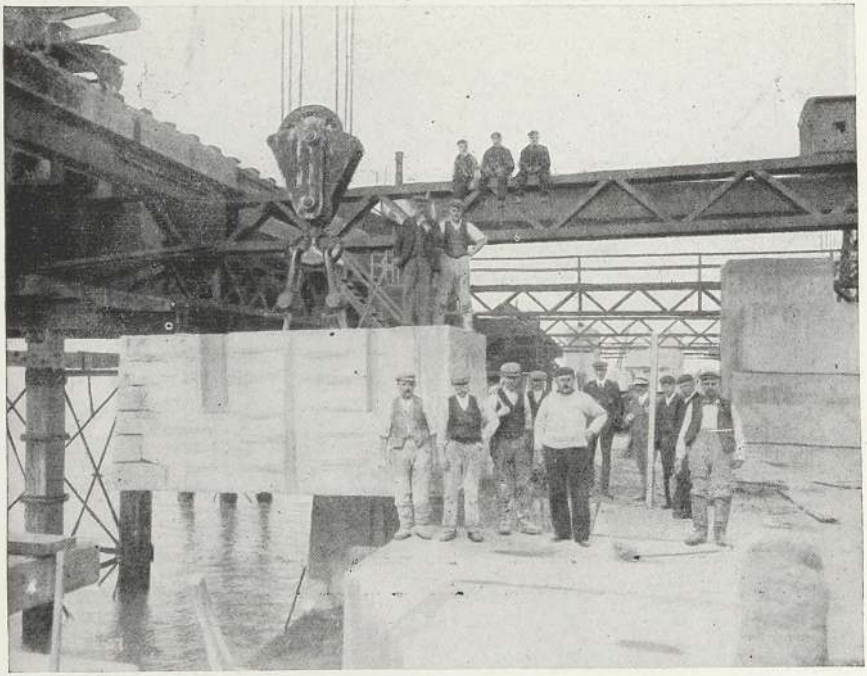
XI

For at komme ud over de mange Vanskeligheder og Mangler ved Tørdokskonstruktionen, er man mange Steder gaaet over til Flydedokken, der nu har mange Tilhængere. Allerede i 1795 udtog en Hr. Watson Patent paa en Flydedok, og skønt Udførelsen var ret primitiv, lykkedes det dog med den i Aaret 1800 i Rotherhithe at løfte Briggen »Mercury«. Den tidligst kendte Form for en Flydedok bestod kun i et gammelt Skibsskrog, i hvilket Agterenden, Dækkene og Dæksbjælkerne var bortskaarne. Skibet, der skulde dokkes, blev gennem Agterenden, hvor der var anbragt en Port, trukket ind i Skroget, Porten lukket og Vandet pumpet ud. Selv om denne Doktype kun kunde hæve Smaaskibe og var af en meget primitiv Beskaffenhed, var den dog Forløberen for de store Flydedokker, der bruges nu til Dags. Der blev gjort meget lidt den første Tid for at forbedre denne meget ufærdige Dokform, thi det var egentlig først i den sidste Halvdel af det nittende Aarhundrede, at Fordelene ved Flydedokker traadte tydeligere frem. Det første store Fremskridt skete i 1859, da den berømte Ingeniør Rennie byggede en stor Flydedok til Cartagena. Denne Dok, der forøvrigt mærkeligt nok er i Brug endnu, var bygget af Jærn, hvilket var et stort Fremskridt fra de gamle af Træ.

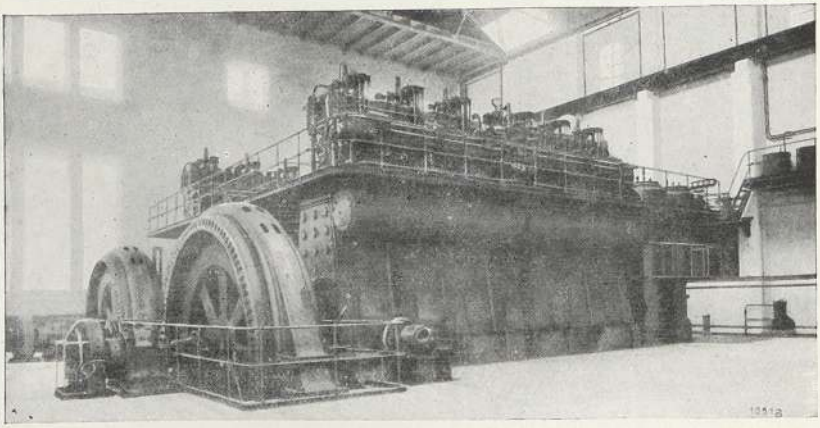
Emnet Flydedok er efterhaanden fuldt uddiskuteret baade fra den teoretiske og den praktiske Side, baade af kendte Ingeniører og af Marinekonstruktører. Enhver Skygge af Tvivl om Flydedokkens praktiske Anvendelighed er nu fuld-

(a) Bølgebrydere ved Dover Havn. Dette Billede er taget, da Arbejdet, efter at have varet 12 Aar, næsten var fuldendt. *(Foto. Messrs. S. Pearson and Sons.)*

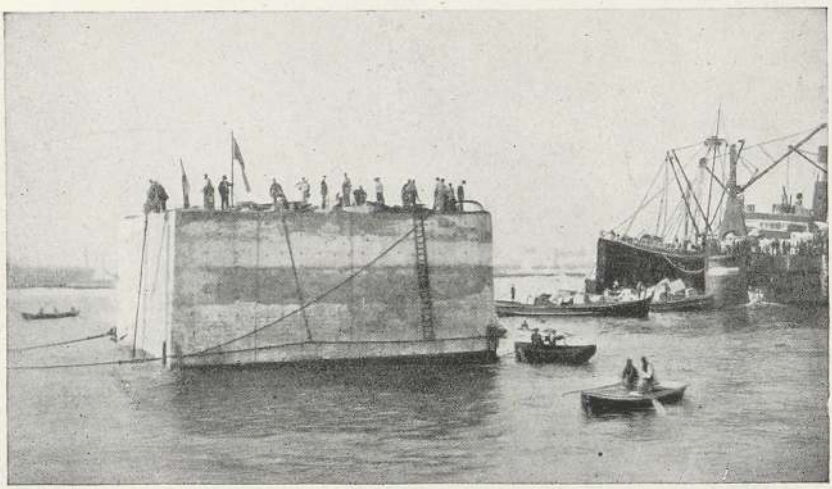
(b) Bygning af en Kajmur ved Para, Sydamerika. Pladsen mellem Kajmuren og Kysten fyldes med Sand fra Muddermaskinerne. *(Foto. Messrs. S. Pearson and Sons.)*



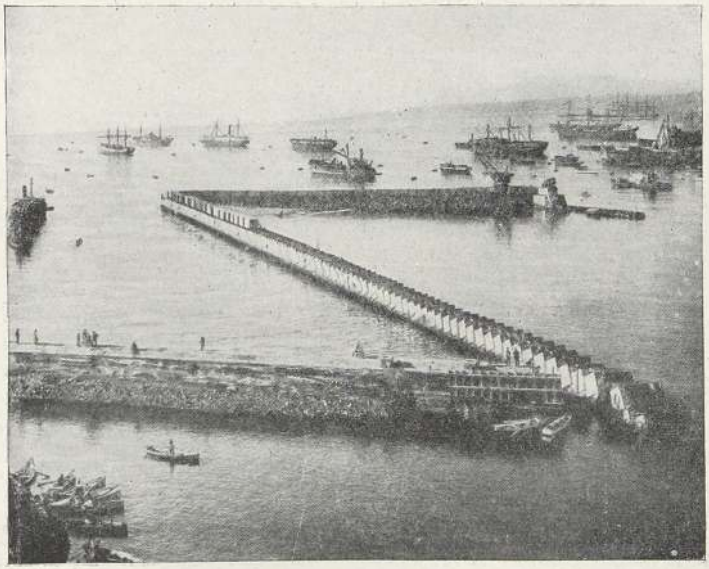
(a) Den sidste Blok sættes paa Plads i Dover Havns Bølgebryder.
(Foto. Messrs. S. Pearson and Sons.)



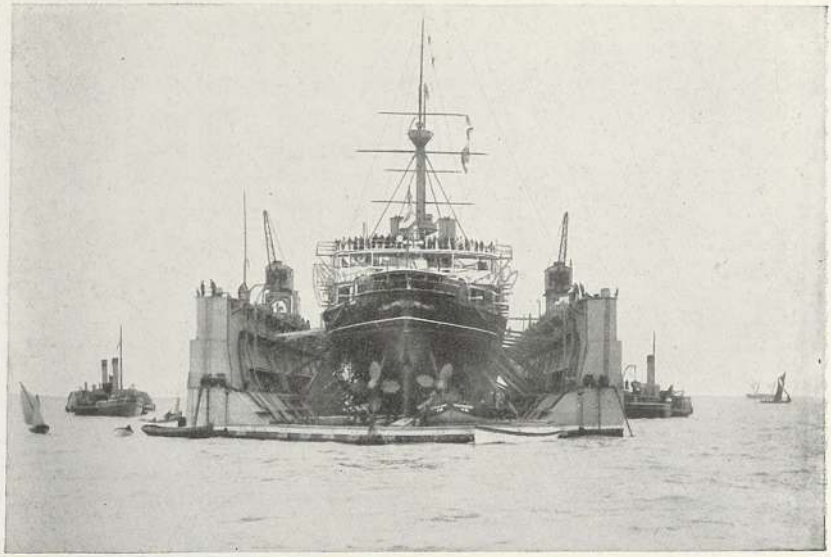
(b) En Diesel-Maskine. *(Foto. Messrs. Sulzer Brothers.)*



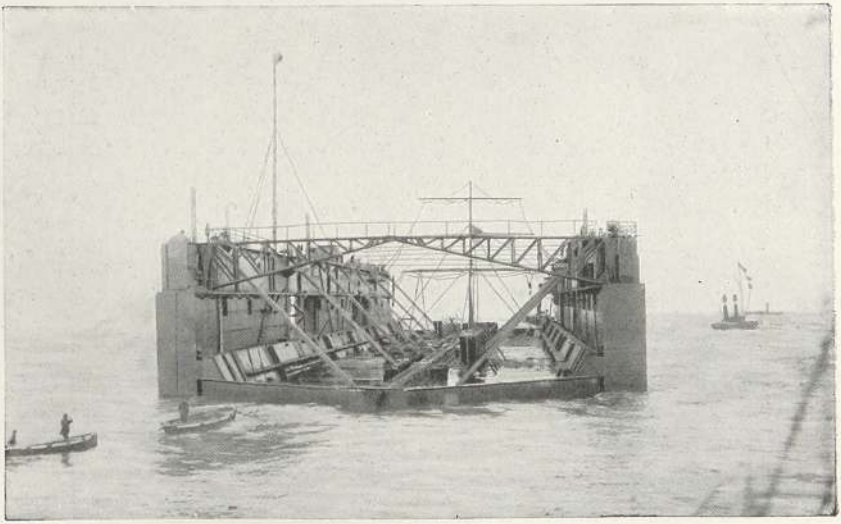
(a) En af de mægtige Stenblokke (12,000 Tons Vægt) i Valparaiso Havns Bølgebryder. *(Foto. Messrs. S. Pearson and Sons.)*



(b) En Mole under Bygning med sammenpassede Betonblokke i Valparaiso Havn. *(Foto. Messrs. S. Pearson and Sons.)*



(a) Flydedokken i Bermuda under Prøvedokningen af „Sans Pareil".
(Foto. Messrs. Swan Hunter and Wigham Richardson.)



(b) Havannas Flydedok under Bugsering.
(Foto. Messrs. Swan Hunter and Wigham Richardson.)

stændig fjernet, og Efterspørgslen er i stadig Tiltagende. Nutidens Flydedokker er bygget af Staalpontoner, som fyldes med Vand og sænkes ned under det Skib, der skal hæves. Vandet bliver derefter pumpet ud, og Opdriften vender paany tilbage. De er af et meget stort Deplacement*), men deres Løfteevne afhænger af Forskellen mellem Deplacementet og Egenvægten.

Der er praktisk talt ingen Grænse for Flydedokkers Løfteevne, og Firmaet Svan Hunter og Wigham Richardson,

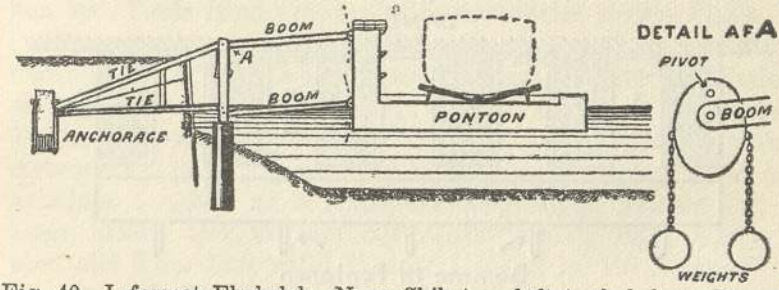


Fig. 40. L-formet Flydedok. Naar Skibet er løftet, skal de to Bomme kun holde Dokken paa Plads, men den skal selv holde sig i Ligevægt, saa den ikke vælter rundt, hvis man tager Bommene væk. Det lille Billede viser en Anordning, hvorved man kan se, at der intet Træk bliver i Bommene. Forankringsbjælken fra Land og Bommen er befæstede over hinanden til den ovale Skive med de to Vægte hængende ned. Et Træk i Bommen vil bevirke, at Ovalen svinger ud til højre, og det ene Lod gaar ned, mens det andet gaar op. Dokken maa saa bringes i Ligevægt, indtil Lodderne hænger lige igen.

Wallsend, der har gjort Bygning af Flydedokker til deres Specialitet, har bygget Dokker, der kan løfte Krigsskibe og andre svære Fartøjer. Der findes allerede rundt om i Verden over en halv Snes Flydedokker med en Løfteevne af over 20,000 Tons, den største kan oven i Købet tage Skibe paa op til 46,000 Tons. (Amerikabaaden »Frederik VIII« er ca. 12,000 Tons.)

Flydedokker kan deles i to Klasser, nemlig de L-formede og de U-formede, som dog begge funktionerer paa samme Maade, selv om de sidstnævnte kan klare sig uden Hjælp fra Land. Den førstnævnte Dokform har kun een høj Side-

*) Deplacement o: den Mængde Vand, et Skib eller lign. fortrænger, naar det flyder.

væg, og den maa forbindes med Land, naar en Byrde (Skibe, Pram el. lign.) skal løftes, da den ellers vilde krænge over. Af den sidste Klasse findes to Typer, nemlig 1) de ikke selv-dokkende og 2) de selv-dokkende.

Ved de ikke selv-dokkende Flydedokker er de to Sidevægge og Bundpontonen samlede i eet Stykke. For at komme til at reparere og male en saadan Dok i Bunden maa hele Dokken sættes i Tørdok eller op paa en anden Flydedok, thi selv om Dokken ganske vist kan krænges betydelig over, fri-

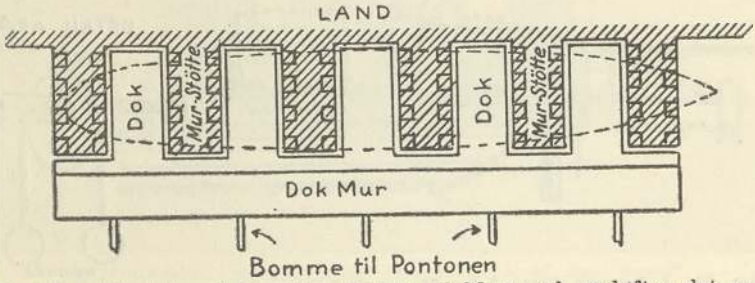


Fig. 41. Afsætningsdok. Selve Dokken dykker ned og løfter det paagældende Skib i Havnebassinet. Derpaa færges den ind til Afsætningsmurene (de skraverede Felter), der passer ind i Dokkens »Tænder«. Ved atter at sænkes, afsætter Dokken Skibet paa Støttemuren.

gøres derved dog ikke hele Bundpontonen, saaledes at man kan komme til at male og efterse den over det hele. Den største af disse Dokker er stationeret paa Medwayfloden og kan løfte Krigsskibe paa op til 33,000 Tons.

De selv-dokkende Flydedokker er delt i flere Dele, af hvilke enhver kan blive løftet op til Eftersyn paa den resterende Del af Dokken. Af disse Dokker findes forskellige Typer, saasom: Sektionsdokker, Fristrandsdokker og Afsætningsdokker (Fig. 41).

XII

Skønt en nøjagtig Sammenligning ikke kan anstilles mellem Tør- og Flydedokker, fordi de arbejder paa saa vidt forskellig Maade, kan man dog nævne følgende Fordele ved Flydedokken: 1) den kortere Bygningstid, 2) den forander-

lige Beliggenhed, 3) Bevægeligheden, 4) Begyndelsesomkostningerne er mindre og 5) Drifts- og Vedligeholdelsesomkostningerne er ligeledes mindre.

Naar en Dok bestilles, er Bygningstiden en af de første Ting, man tager i Betragtning. Ved Konstruktionen af en Tørdok maa en ret lang Tid anvendes til forberedende Arbejder paa Stedet, før Udgravningen kan begynde. Bestilles derimod en Flydedok, kan Arbejderne paa Stedet, hvor den skal anvendes, foretages samtidig med, at Bygningen af Dokken kan finde Sted paa en hvilkensomhelst anden Plads.

Bygningen af en Flydedok er let og ligetil og kan fuldendes meget hurtigt, som følgende Eksempel viser. Et Rederi skulde nødvendigvis med kort Varsel bruge en Flydedok, 160 m lang og i Stand til at løfte Skibe paa 11,000 Tons. Arbejdstegninger og en fuldstændig Arbejdsplan blev udarbejdet i Løbet af 8 Dage, og Bygningen paabegyndt 7 Dage efter. Dokken med alt Maskineri og fuldt udstyret med alle Ting blev sat i Vandet i Løbet af 7½ Maaned, og 8½ Maaned efter Projektet var fremlagt, var den slæbt over Nordsøen og fortøjet paa sin Plads i Stettin, klar til at tage imod det første Skib. En Dok til den spanske Regering, som kunde løfte 12,000 Tons, blev bygget og slæbt til Havanna, en Distance paa over 10,000 km, og bragt paa Plads dèr, indenfor et Tidsrum af 11 Maaneder. To Flydedokker, der var bestilt til Forcados og Lagos, blev bygget og afleveret paa deres respektive Bestemmelsessteder, beliggende ca. 7000 km fra Bygningsstedet, 5½ Maaned efter at Kontrakten var undertegnet. Alle disse Eksempler viser os en meget betydelig Tidsbesparelse, thi skulde der have været anlagt Tørdokker de nævnte Steder, vilde et Tidsrum af adskillige Aar have været paakrævet.

En anden Fordel ved Flydedokkerne er, at de kan konstrueres saaledes, at de, hvis Forholdene forlanger det, kan forlænges og derved faa større Løfteevne. Flydedokken kan naturligvis benyttes uafbrudt, indtil Forlængelses-Sektionen er klar til at tilføjes, medens man derimod ved Forlængelse af en Tørdok enten helt maa ophøre at bruge den, mens For-

længelsen fuldbyrdes, eller ogsaa maa bygge en meget kostbar Dæmning tværs over den gamle Dok.

Flydedokker kan godt ligge paa en Red, saaledes som det f. Eks. er Tilfældet i Valparaiso i Chile. De generes heller ikke af unormal Høj- eller Lavvande, hvilket meget let kan hindre Skibe i at benytte en Tørdok. Indgangen til en Tørdok gøres som Regel saa snæver som muligt, for at Dokporten ikke skal blive for stor og uhaandterlig. Denne Vanskelighed møder man ikke ved en Flydedok, hvor Indgangen er lige saa bred som hele Dokken. Desuden kan Flydedokke tage Skibe, der er længere end de selv, medens en Tørdok ikke kan tage noget Skib, der er nok saa ubetydeligt længere end den selv. En Flydedok har saaledes engang taget et Skib, der ikke gik mindre end godt 30 m ud over Dokkens Bund i begge Ender.

Skulde en Flydedok ikke være i Stand til at løfte et Skib helt, kan man undertiden lade Dokken løfte den Del af Skibet, hvor Reparationen er nødvendig. Vi har her et ganske bemærkelsesværdigt Tilfælde, da et Skib paa 4500 Tons skulde skifte Skrue. Den eneste tilgængelige Dok var en Flydedok, hvis Løfteevne kun var 3200 Tons. Det lykkedes ved Hjælp af Flydedokken at løfte Skibets Agterende saa højt op, at Skruen kom fri af Vandet, og Skiftningen kunde foretages.

XIII

Ikke alene kan Flydedokker bygges meget hurtigt og billigt, men de kan ogsaa slæbes hen til hvilken Del af Verden, man ønsker. Dette er ret vigtigt, thi en Tørdok er bundet til den Havn, hvor den er bygget, og den kan ikke flyttes, hvis Havnen mister sin Handel. Derimod kan en Flydedok i saa Tilfælde flyttes og slæbes hen til en mere søgt Havn. Flydedokkens Bevægelighed har ogsaa Betydning for Krigsflaader, idet den kan knyttes til en saadan Flaade, og skulde et af Skibene lide Havari og ikke være i Stand til at naa tilbage til sin Basis, kan det altid møde Flydedokken i en nær-

mere liggende Havn. Den engelske Admiralitetsdok ved Bermuda, der er en af de bedste eksisterende Flydedokker, med en Løfteevne af 17,000 Tons, blev over en Distance af mere end 6000 km slæbt til sit Bestemmelsessted (a. Tavle XXIV). En 7000 Tons Flydedok blev i god Stand afleveret i Callao, Peru, efter at være slæbt en Distance af 17,600 km og deriblandt gennem det meget farlige Magelhans Stræde. En Dok, der skulde afleveres til den natalske Regering, blev slæbt fra Wallsend til Durban, en Distance af 12,800 km. Hvis det er umuligt eller utilraadeligt at slæbe en Dok til dens Bestemmelsessted, maa den adskilles og transporteres i mindre Stykker for atter at blive sat sammen paa Bestemmelsesstedet. Det tidligere nævnte Wallsend Firma byggede den første Bermuda Flydedok til den engelske Marine. Det var af stor Betydning for den engelske Regering at have Doklejlighed i Vestindien, da der ikke indenfor en Afstand af 16,000 km fra Bermuda fandtes nogen Dok, hvor engelske Skibe kunde tages op og i Tilfælde af Havari blive reparerede. I 1869 slæbtes Bermuda-Dokken bort fra England. Den kunde løfte Skibe paa 10,000 Tons og havde en Længde af 115 m og en Bredde af ca. 25 m, og man ansaa den for at være saa stor, at den kunde tage selv de største af Fremtidens Skibe. Slagskibenes Størrelse voksede imidlertid i den Grad og saa hurtigt, at denne Dok snart maatte erstattes med en anden af større Dimensioner. Derfor blev der sendt en ny Dok ud, der var ca. 170 m lang og ca. 35 m bred. Dokken vejede 5600 Tons, kunde løfte ca. 17,000 Tons og kostede mellem 5 og 6 Millioner Kroner. Under Anvendelse sænkes Dokken saa dybt ned, at kun $^3/_4$ m kan ses over Vandfladen. Naar det Skib, der skal dokkes, er bragt i Stilling, tager otte 40 cm Centrifugalpumper fat paa at pumpe Vandet ud, og det med saa stor Hastighed, at i Løbet af $3^1/_2$ Time ligger et Panserskib paa 15,000 Tons fuldt hævet og tørt i Dokken. Dokkens Krængninger ophæves paa en sindrig Maade, idet Vandet i eet af dens 56 forskellige vandtætte Rum kan slippes ud paa den ene eller den anden Side og saaledes ophæve Krængningen. Hvert af de 56 Rum kan sættes i Forbindelse med en Pumpe, og ved at pumpe Vand ind i for-

skellige Rum kan Dokken med Vilje bringes til at krænge, saaledes at Reparation og Rengøring derved lettes.

Bermuda Dokken bestaar af 3 Pontoner, den midterste 90 m lang og de to yderste hver ca. 40 m lange. Den er selvdokkende, saaledes at hver af de tre Dele kan repareres og renses ved Hjælp af de andre. Dokken er forsynet med to 5 Tons Kraner (en paa hver Side), Hejsemaskiner og elektrisk Lys, og den har været beskrevet som »den største Genstand, der har flydt paa Vandet siden Noahs Ark«.

Før Dokken slæbtes til Bermuda, blev den prøvet paa Medwayfloden, hvor den skulde løfte Slagskibet »Sanspareil«. Dette Skib havde Admiralitetet med Vilje valgt, da en særlig Fordeling af Vægtene ombord gjorde, at det var et ret uhaandterligt Fartøj. Slagskibet laa fortøjet tæt ved Sheerness og blev ved Højvande, ca. 11½ Formiddag, overtaget af 3 Slæbebaade, der bragte det hen til Flydedokken. Imidlertid blæste det meget stærkt, ligesom der var stærk Strøm, men dette syntes dog ikke i mindste Maade at genere Flydedokken. Den blev sænket, indtil kun Overkanten af de to Sidevægge ragede op over Vandet, Skibet blev halet paa Plads og forstøttet, hvorpaa Udpumpningen af Vandet kunde paabegyndes, lidt over Kl. 2 Eftermiddag. I Løbet af knap en Time var Skibet hævet ca. 5 m, men da det nu blev nødvendigt at føre en ny Trosse i Land, forhaledes Arbejdet, og først sent om Aftenen var »Sanspareil« helt løftet (a. Tavle XXIV).

XIV

I Fjor paabegyndtes Bygningen af Verdens største Flydedok. Denne Dok, der har en Løfteevne paa 60,000 Tons og en Længde af 300 m, vil være i Stand til at tage de største af de hidtil byggede Skibe. Dens Station skal være Southampton.

Nogle Detaljer vil give os Begreb om, hvilken kæmpemæssig Ingeniørbedrift Konstruktionen og Placeringen af denne Dok vil være. Stedet, hvor Dokken skal ligge, maa

først og fremmest bringes i Orden. Muddermaskiner har ved at grave ned til en Dybde af ca. 23 m fjernet flere Hundrede Tusinde Kubikmeter Sand og Mudder, thi Dokken skal i sænket Tilstand saa dybt ned, at der mindst er 10 m Vand over Kølblokkene. Fire mægtige »Pullerter« af forstærket Beton, hver med 94 »Ben« er under Konstruktion i Southampton. Disse 376 Ben, der hver vejer 8 Tons og har en Længde af 18—20 m, vil paa Flydedokkens Plads blive drevet ca. 6 m ned i Havbunden. Til disse fire store Fortøjningspæle eller »Pullerter« skal Dokken fortøjes. At deres Størrelse gøres saa enorm, vil let forstaas, da de skal kunne taale Trækket af den 70,000 Tons lastede Dok i al Slags Vejr. Dokkens Fortøjninger bliver 21 m lange Gitterdragere, der af Hensyn til Bevægelserne i hver Ende er forsynet med et Universalled.

Selve Dokken bygges i Newcastle-on-Tyne i to Halvdele, der hver for sig vil blive slæbt til Southampton. Prisen vil blive ca. 25 Millioner Kroner, og af Materialer skal der bl. a. anvendes 16,000 Tons Staal og 4,000,000 Nagler.

Dokken vil blive forsynet med de nyeste elektriske Kraner, der hver kan løfte 5 Tons, og en stor Flydekran til sværere Vægte vil blive knyttet til Dokken.

KAPITEL VII

FYRTAARNE

I

KONSTRUKTIONEN af Fyrtaarne hører til samme Gren af Ingeniørkunsten som Havnebygningen — begges Formaal er at tage Kampen op mod Havet. Dog er disse to Konstruktioner af vidt forskellig Natur, thi hvor Havneingeniøren maa bruge Masser af Materialer for gennem ren og skær Vægt at bekæmpe Bølgerne, har Fyringeniøren en hel anden Vej at følge. Han maa lægge en Plan, hvorved han faar størst mulig Styrke indenfor ganske bestemte Grænser, thi Fyrtaarnene maa bygges saa høje, at Lyset (Fyret) ikke kommer til at ligge indenfor selv de højeste Søers Rækkevidde. Ingeniørens Opgave angives nærmere ved Fyrtaarnets Beliggenhed og de Omstændigheder, hvorunder det skal bygges. Grundlaget for et Fyr kan saaledes være en lille Klippeblok, nogle faa Meter bred, og Vejr og Sø kan være saa urolige, at der kun kan arbejdes nogle faa Maaneder af Aaret. Modsat en saadan Oprettelse af et Fyrtaarn og meget forskellig derfra er Bygningen af et Fyrtaarn, hvor udstrakte og vidt forskellige Bygningspladser og Fundamenter staar til Raadighed, maaske langt over Bølgernes højeste Rækkevidde, hvor Arbejdet kan holdes i Gang hele Aaret rundt, og hvor Arbejderne ikke er udsatte for Vind og Vove. Uheldigvis er de sidste Bygningsvilkaar meget sjældne, thi det er oftere Tilfældet, at de heldigste Beliggenheder er udsatte for Søen og svære Storme, saaledes at Fundamentet undertiden er overskyllet mange Timer ad Gangen, hvilket gør Arbejdet baade farligt og langvarigt.

Sikkert er det, at de Fordringer, der stilles til en Ingeniør med Hensyn til Dygtighed, Erfaring og Mod, ikke kan være større, end naar der er Tale om Fyrbygning.

II

Fra Historien kender vi alle det berømte Alexandriafyr (»Pharos«), et af Verdens syv Vidundere. Dette Fyrtaarn var opført paa en Ø ved Indløbet til den ægyptiske Havn Alexandria, og der berettes om det, at det har været et firkantet Taarn i 8 Etager, der naaede op til en Højde af ca. 180 m, altsaa mere end 1¾ Gange højere end Københavns Raadhustaarn. Efter to store Jordskælv i det fjortende Aarhundrede stod endnu Dele af Taarnet tilbage, men denne sidste Rest blev snart efter bortskyllet af Søerne, efter at Taarnet havde trodset Elementerne i ca. 2000 Aar. Paa Toppen af Taarnet var anbragt en Fyrpande, hvorfra der kom Lys om Natten og Røgskyer om Dagen, hvilke allerede kunde ses ude til Søs i 160 km Afstand. Vi ved ikke, hvorledes dette mægtige Taarn var bygget, og heller ikke hvem der havde beordret det opført. Der nævnes Navne som Alexander den Store, Cleopatra og Ptolemæus den Anden, men det er den almindelige Mening, at Fyrtaarnet skylder Ptolemæus sin Tilblivelse, og at det blev bygget af en vis Sostratos, som ikke uden Snildhed har søgt at bevare sit Navn for Efterverdenen. Med det for Øje indhuggede han i en Grundsten følgende Inskription: »Sostratos fra Gnidos, Søn af Dixiphanus, til Guderne som beskytter Søens Folk!« Sostratos, der vidste, at denne Inskription ikke vilde behage Ptolemæus, overtrak den med et tyndt Lag Cement eller Kalk. Paa dette Lag indskrev han Navnet »Ptolemæus«, vel vidende, at Vand og Vejr snart vilde udslette dette Navn. Dækningslaget blev da ogsaa slidt af i Løbet af nogle faa Aar, men hans eget Navn blev staaende!

Romerne opførte en Del Taarne, der skulde tjene som Fyr eller Baaker, og senere hen tændte Munke i de forskel-

lige Lande Fyr, som skulde advare de søfarende mod farlige Steder paa Kysten. Romerne indførte Fyr i England; et Fyrtaarn ved Dover skulde saaledes vejlede Skibe fra Frankrig ind til deres Station ved Portus Rutupiæ (nu Richborough) eller til Regulbium (nu Reculver) ved Themsen. Englænderne fulgte Romernes Eksempel ved at benytte sig af Baaker eller Varselsfyr, omtrent samme Slags som Baunerne, der skulde alarmere Landet, naar en Fare nærmede sig.

I England indførte Henrik den Ottende ganske vist i 1515 det saakaldte »Trinity House«, der skulde beskytte Handel og Sejlads ved at oprette Baaker, Fyr og udlægge Bøjer langs Kysten, men ellers blev der næsten intet foretaget i denne Retning. Som vi allerede har omtalt i forrige Kapitel, blev der gjort meget lidt for at bygge Havne og Bølgebrydere paa denne Tid, da Skibsfarten var ringe i England, og endnu mindre blev gjort for at afmærke Kysterne og deres farlige Punkter. Da imidlertid baade Handels- og Krigsflaaden voksede meget stærkt, blev det en bydende Nødvendighed at forsyne Kysterne baade med Ledefyr og Farefyr, hvorfor Fyrtaarne da ogsaa snart kom mere og mere i Brug.

Den første Form for Fyr i nyere Tider var Glimt fra et aabent Træbaal, anbragt paa et Taarn eller en Baake. Fyret ved South Foreland, der blev bygget i 1634, var simpelthen en Baake med Kulild lige indtil 1790. Olielampen med Skærme blev første Gang anvendt i 1763 ved Mersey Fyrene ind til Liverpool. Skønt der stadig skete store Fremskridt i selve Konstruktionen af Fyrtaarne, baade hvad Styrke og Betydning angik, kunde selve Belysningen paa dem ikke holde Skridt, og indtil for ret kort Tid siden var der sket ringe Forandring paa dette Omraade.

Det første Fyrtaarn i Europa, der blev bygget af Sten, rejstes i Begyndelsen af det syttende Aarhundrede paa en flad Klippe udfor Garonne i Biskayabugten. Dette Fyrtaarn (Højde ca. 60 m) afløste et ældre Fyr, der var bygget af »den sorte Prins« i 1762, da han var Guvernør i Guienne. I

Fyret, der kaldtes Gordouan-Taarnet, blev for første Gang brugt drejeligt Lys (Blink).

III

Paa Eddystone Klippen, nær ved Plymouth, er der i Tidens Løb opført en Række Fyrtaarne, hvis Historie særlig godt illustrerer de Vanskeligheder, denne Gren af Ingeniørkunsten har at kæmpe imod. Det første Taarns Bygmester var Henry Winstanley, et mekanisk Geni, hvis Hus gemte alle Slags fornøjelige og forbavsende Indretninger. Paa Gulvet

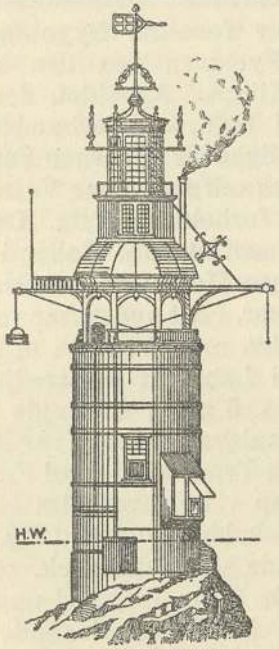


Fig. 42. Eddystone Fyrtaarn. (Winstanley, 1698.)

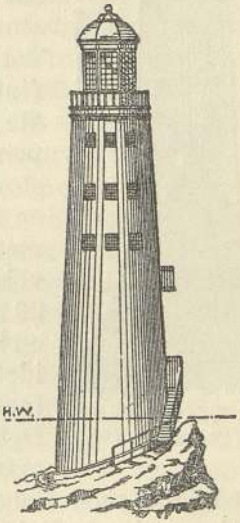


Fig. 43. Eddystone Fyrtaarn. (Rudyerd, 1704.)

i et af hans Værelser stod der f. Eks. en gammel Tøffel, som, hvis den blev sparket til, straks foraarsagede, at et

»Spøgelse« sprang til Vejrs! Eller hvis en Besøgende satte sig i en bestemt Stol, slog dens Arme saa kraftigt sammen om ham, at han ikke kunde slippe fri uden Hjælp. Ligeledes hvis den Besøgende satte sig til Hvile i et indbydende Lysthus i Haven, kunde han pludseligt finde sig selv flydende midt i en Kanal, hvor han pænt maatte blive, indtil Opfinderen kom og trak ham paa Land igen.

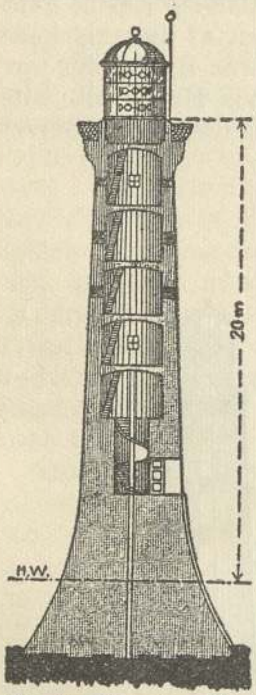


Fig. 44. Eddystone Fyrtaarn. (Smeaton, 1759.)

Hvor unyttige end saadanne Indretninger var, undtagen som Tidsfordriv, tjente de dog til at udsprede Rygtet om Opfinderens Genialitet, og ledte ham uden Tvivl til Studier i det Fag, hvor han senere opnaaede Berømmelse.

Winstanley forestod Bygningen af det første Fyrtaarn paa den kendte Eddystone Klippe. Arbejdet, der blev sat i Gang i 1696, var forbundet med store Vanskeligheder og megen Fare, thi det kunde kun udføres, naar Vejret var fint og Søen forholdsvis rolig. Det første Aar gik med at bore Huller i Klippen og i disse Huller at befæste tolv store Jærnkløer. I det andet Aar voksede en Søjle op $3^{3}/_{4}$ m høj og $4^{1}/_{4}$ m i Diameter, som i Løbet af det tredje Aar voksede til ca. 5 m og en Højde af ca. 20 m. Winstanleys Fyrtaarn var af Træ og bygget paa Trods af al sund Fornuft, idet det netop viste, hvorledes et Fyrtaarn *ikke* skulde bygges (Fig. 42). Dets Udseende var fantastisk, og den mangekantede Form frembød unødvendig Modstand mod Bølgekraften. De fremspringende Vinduer i den nederste Del og i Toppen gjorde, at det hele mere lignede en kinesisk Pagode end et Fyrtaarn!

Til sidst var det færdigt, og Lyset i Lanternen blev tændt første Gang den 12. November 1698. Taarnet viste sig imidlertid at være for lavt, da Søen undertiden overskyllede hele

Lanternen, saa Lyset slet ikke kunde ses. Næste Aar blev Taarnets Tykkelse forøget til 7½ m og Højden bragt op til 38 m, ligesom hele Taarnet blev forstærket ved en ydre Ring af Murværk. I November 1703 fremkom Winstanley med den Bemærkning, at han havde saa stor Tillid til den nye Bygnings Styrke, at han kunde ønske at være i Fyrtaarnet, naar Jordens værste Storm rasede, for at se hvilken Indflydelse en saadan kunde have paa Taarnets Struktur (Bygningsmaade). Kort Tid efter gik hans Ønske paa en tragisk Maade i Opfyldelse; thi han var ude i Taarnet den 26. November, da en forfærdelig Storm fejede Fyrtaarnet med alle dets Beboere helt væk. Ejendommeligt nok blev samme Aften en Model af Fyrtaarnet, der fandtes i hans Hus 320 km derfra, ved et Uheld slaaet i Stykker.

Uden at lade sig afskrække af denne Katastrofe byggede Rudyerd næste Aar et nyt Fyrtaarn med Træskelet, som dog brændte ned i 1755. Dette Taarn betød dog en betydelig Forbedring af det tidligere, glat og cirkulært som det var og uden Prydelser og fremspringende Vinduer. Taarnet var bygget af Eg og maalte ved Foden godt 7 m, ved Toppen 4½ m i Diameter med en Højde af 22 m op til Lanternen (Fig. 43). Lyset frembragtes af 24 store Tællelys.

Det næste Fyrtaarn, der opførtes paa Eddystone Klippen, blev bygget af Smeaton og havde Form som Stammen af et Egetræ. Det var ikke alene bygget af Sten, men yderligere Styrke frembragtes ved at nedsvale Grundstenene i Klippen og i hverandre indbyrdes (Fig. 45). For ikke at svække Revet kunde der ikke foretages Sprængninger til Fundamentet i Klippen, og følgelig maatte Arbejdet udføres med Haanden. Granitblokke, der gennemsnitlig vejede omkring 1 Tons, blev brugt til den underste Del af Taarnet, som i det hele taget blev bygget meget solidt. Det havde en buet Profil, og under Lanternen eller Lampen fandtes en overhængende Murkrans, som skulde kaste Kammen paa de høje Bølger tilbage.

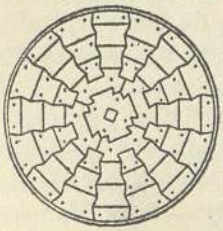


Fig. 45. Grundstenene nedsvalede i hinanden og Klippen ved Smeatons Fyrtaarn.

Selve Arbejdet voldte betydelige Vanskeligheder, men den 16. Oktober 1759 blev Fyret endelig tændt. Taarnets Højde op til Murkransen var imidlertid kun ca. 20 m, og Bølgerne, der brødes mod Taarnet lige nedenunder, kastede deres Sprøjt helt op over Fyrlampen. I haardt Vejr var Stødene saa voldsomme, at Stenene i Murkransen løftedes fra deres Leje, og Taarnet selv vibrerede saa stærkt, at det maatte vække alvorlig Ængstelse for dets Soliditet. Tilmed viste det sig, at Fundamentet var delvis undermineret, og i 1878 blev det besluttet at bygge et nyt Fyrtaarn ca. 35 m fra den gamle Klippe. Den øverste Del af Smeatons Fyrtaarn blev flyttet ind til Plymouth Hoe, hvor det endnu findes bevaret.

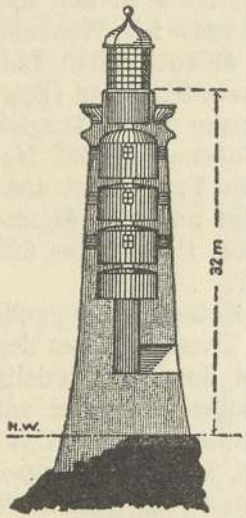


Fig. 46. Bell Rock Fyrtaarnet. (R. Stevenson, 1806.)

Ganske vist siges der, at der var visse Mangler i Smeatons Konstruktion, men i Hovedsagen var den korrekt, og den har tjent som Model for mange større og bedre byggede Fyrtaarne. En af Manglerne var, at Murene ikke var tykke nok, saa de ikke kunde forhindre, at Taarnet svingede, naar Stormen piskede Bølgerne imod det. Et andet svagt Punkt var, at »Gulvene« i de forskellige Etager buede opad og derfor udøvede et vist Tryk paa Ydervæggene, som vilde de søge at vælte dem udad. For at modarbejde denne Mangel og forøge Murenes Styrke blev der nedlagt Kæder i Murværket.

Det nuværende Eddystone Fyrtaarn, der blev fuldført i 1882, er godt 40 m højt, men trods Anvendelse af de sidste tekniske Metoder og Redskaber — Fang-Dæmninger, Hjælpe-Dampskibe og moderne Luftboreværktøj — var Vanskelighederne meget betydelige, og Arbejderne saavel som deres Værk forsvandt ofte under Vandet.

IV

Paa Bell Rock, der ligger ved Indsejlingen til Firth-of-Forth, byggede Robert Stevenson, der ikke er i Familie med »Raket«s berømte Konstruktør, et Fyrtaarn, der i mangt og meget mindede om Smeatons Eddystone Taarn. Tre Baaker var efterhaanden blevet fejede væk fra Klippen af de høje Søer, og saavel Ingeniøren som hans Folk reddede sig med Nød og Næppe fra Undergang. Taarnet var færdigt i 1806, dog først efter 8 Aars Arbejde, thi den daglige Arbejdstid var paa Grund af de herskende Vind- og Vejrforhold indskrænket til 2 Timer om Dagen.

Stevensons Fyrtaarn var 32 m højt, og i den Højde kunde Lampen ikke rammes selv af de højeste Bølger (Fig. 46). Smeatons Byggemaade var fulgt, saa vel hvad Profilen angaar som med Hensyn til »Nedsvalingen« i Fundament og Stene, men Væggene var sværere, og Vibrationer følte s ikke. En anden Forbedring var, at de stærkt buede Etageadskillelser var bortfaldet.

Det er ganske mærkeligt at se, at i Virkeligheden behøver et opmuret Fyrtaarn ingen særlig Fastgørelse til Klippen, hvorpaa det er bygget. En saadan Bygnings enorme Vægt, der er koncentreret paa et forholdsvis lille Areal, er fuldstændig tilstrækkelig til at forhindre enhver Tilbøjelighed til Forskubning. Det er imidlertid ret vigtigt, at Taarnet kommer til at hvile paa en horizontal Flade enten i Form af Trin (Fig. 50) eller helt plan (Fig. 48), saa at hele Taarnets Vægt virker paa Klippen i horizontal Retning. Det er ogsaa nødvendigt at have god Forbindelse mellem Stenene indbyrdes og Grundstenene og Klippen under selve Bygningen, for at det paabegyndte Arbejdsresultat ikke skal blive skyllet væk, medens det hele System endnu ikke er fuldført og underkastet Trykket af hele Taarnets Vægt. I Tilknytning hertil skal anføres et Tilfælde under Bygningen af Bell Fyrtaarnet.

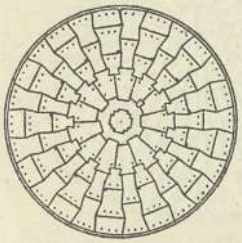
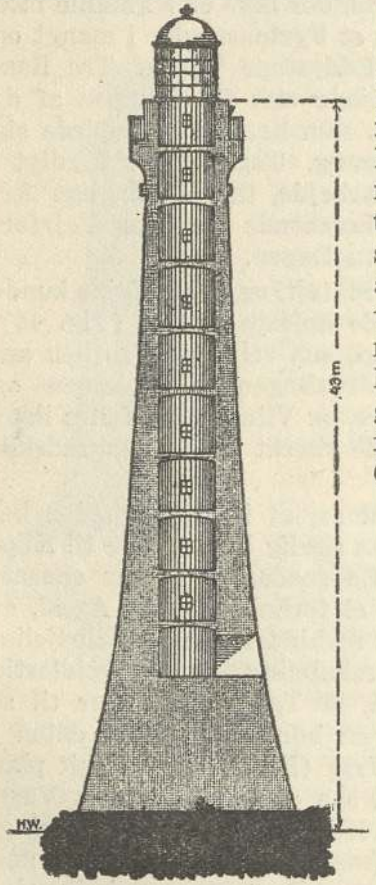


Fig. 47. Nedsvaling af Grundstenene i Bell Rock Fyrtaarnet.

Store Sten, der vejede over to Tons, blev gentagne Gange revet ud af deres Stilling og »fejet« ned i det dybe Vand, skønt de var baade nedsvalede i og cementerede til andre Blokke.



V

Skerryvore Klipperne, 19 km fra Tiree paa Skotlands Vestkyst, er Scenen for Ingeniørernes næste Triumf over det mægtige Ocean. Klipperne paa dette stormomblæste Rev ude i det aabne Atlanterhav var saa glatte, at det var farligt at lande der, med mindre Vejret var helt stille. Ikke alene løb Strømmen meget stærkt forbi Revet, men der fandtes ogsaa en undersøisk Grotte, som sendte Sprøjtet op

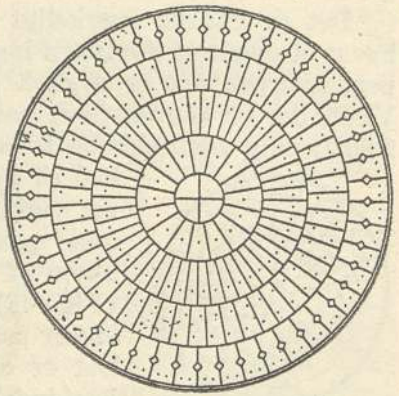
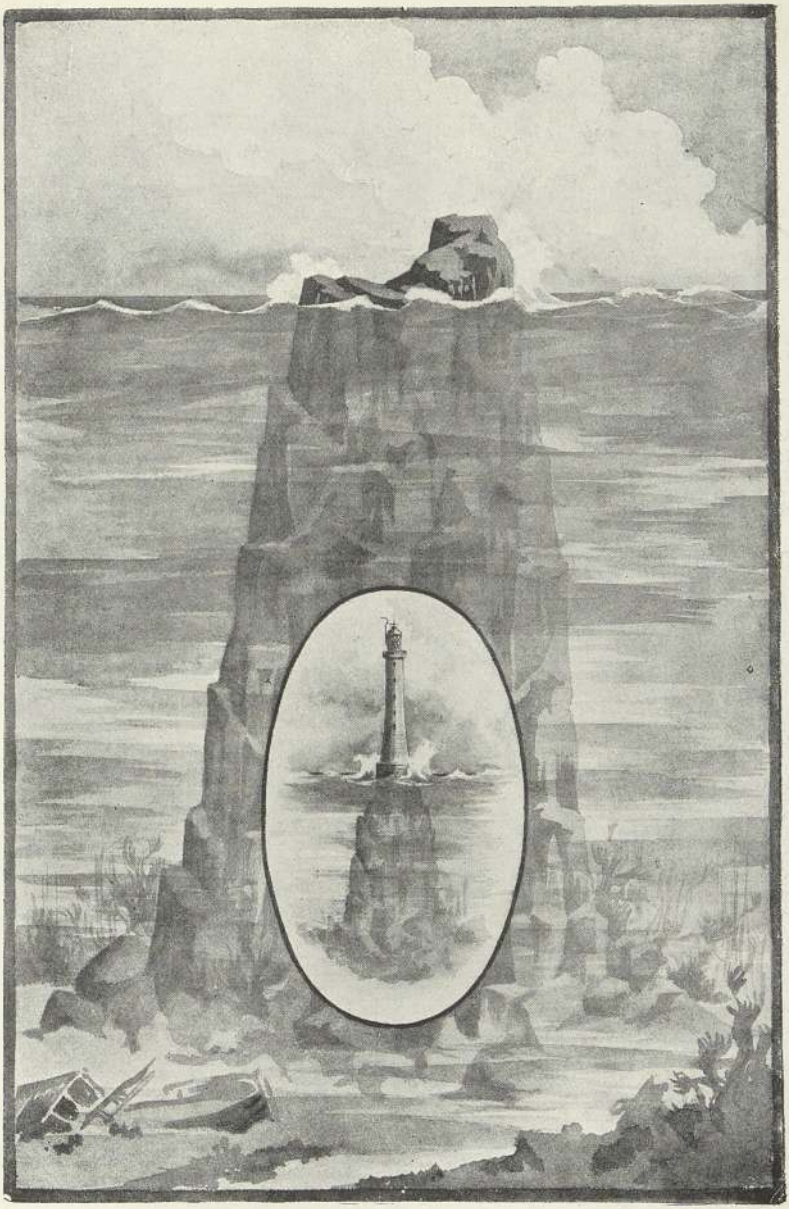
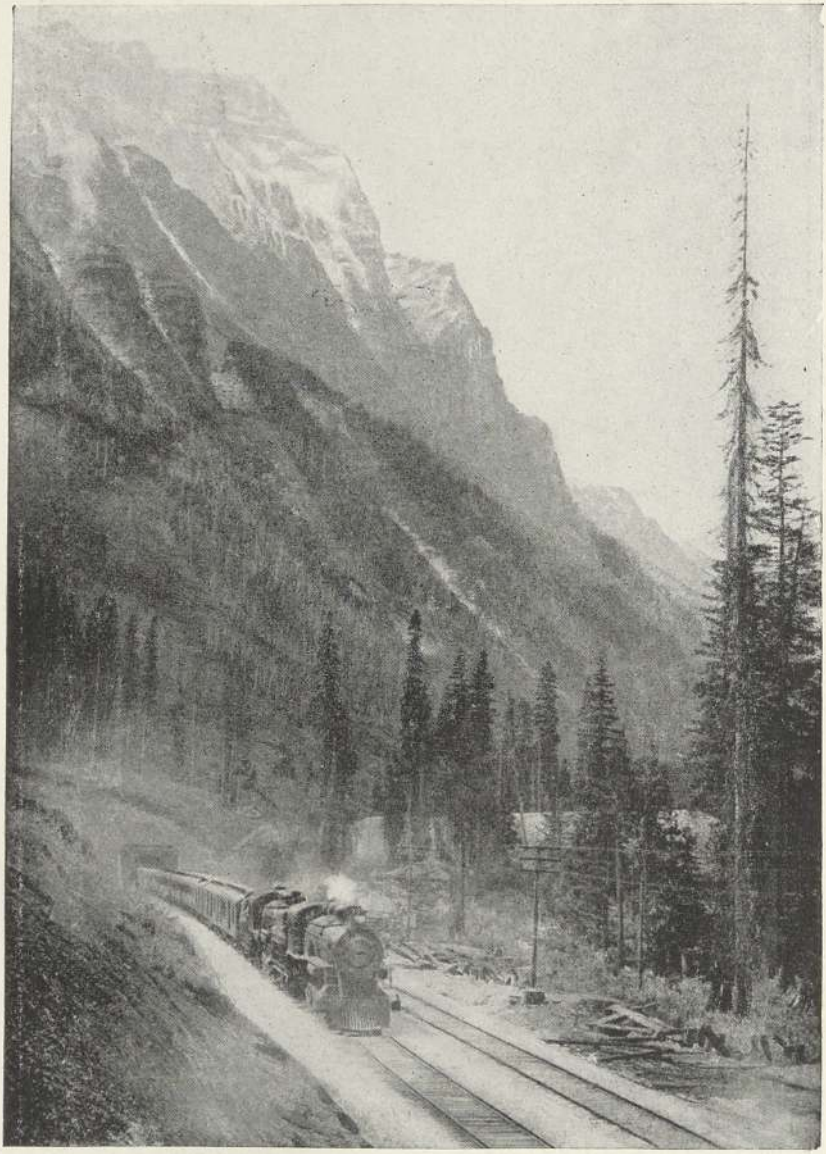


Fig. 48. Snit igennem Skerryvore Fyrtaarnet og Plan over Nedsvalingen af Grundstenene. (A. Stevenson, 1843.)

til en Højde af 7 m, og denne Grotte maatte først fyldes med Stenbrokker. Disse Vanskeligheder i Forbindelse med mange andre bevirkede, at hele Arbejdet fordrede ikke mindre end 20 Aar, før det blev fuldført. De Barakker, der var oprettet



Den omtrentlige Form af Bishop Klippen. (Indsat ser man Anbringelsen af Fyrtaarnet.)



Gennem de højeste Bjærge. Den østlige Portal af Connaught Tunnelen.
(Foto. Canadian Pacific Railway.)

for Arbejderne, blev fejet væk af Søerne allerede det første Aar (1838), men blev rejst paany. I haardt Vejr maatte Folkene blive i deres Hytter og kunde kun holde Varmen ved at blive liggende i Sengen! Adskillige Gange senere truede Søen med at vaske Hytterne bort, og ved slige Lejligheder maatte Arbejderne søge Ly under det kun til Dels opførte Fyrtaarn. Tilsidst blev imidlertid Taarnet færdigt og kunde for første Gang vise sit Lys den 1ste Februar 1844. Fyret blev bygget af Alan Stevenson og rager endnu som et prægtigt Taarn op til en Højde af 43 m over Havfladen (Fig. 48).

VI

Nu til et andet talende Eksempel paa den Handlekraft og det uforfærdede Mod, som engelske Ingeniører har udvist, nemlig Bygningen af Fyrtaarnet paa Bishop Rock. Denne Klippe, som næppe kan skelnes over Havfladen, ligger 11 km sydvest for Scilly Øerne og har i Aarhundreder været en farlig Hindring for Sejladsen og derfor været frygtet af Sømænd fra alle Lande. Klippen er i sig selv konisk, er omgivet af dybt Vand og ligger udsat for hele Atlanterhavets Dønninger (b. Tavle XXV). Indtil 1790 markeredes Scilly Øerne ved Hjælp af en aaben Kulild paa Toppen af St. Agnes Taarn, adskillige Kilometer indenfor de farlige Rev. I 1790 blev et Blinkfyr med Reflektionsspejle installeret, men heller ikke dette kunde virke som tilstrækkelig Advarsel for Skibe paa den anden Side af det yderste Rev. I 1846 blev det bestemt at erstatte dette Fyr med et Fyrtaarn, hvis Lysstyrke var paa 6500 Normallys og med en Synsvidde af 27 km. Klippen, der er dannet af meget haard Granit, gaar næsten stejlt ned til en Dybde af ca. 50 m, og hvis den under Havfladen liggende Del af Klippen kunde ses, vilde den vise sig at være formet i sig selv som et Taarn. Toppen af den er dannet som en Platform 47 m lang og 16 m bred.

Da Bygningen af et Fyrtaarn paa Bishop Rock blev bragt i Forslag, saa det ikke ud til, at en Klippe af saa ringe Bredde

kunde tilbyde en tilstrækkelig sikker Plads for et Stentaarn, der var udsat for saa svære Rystelser, som en Bølge paa over 15 m Højde kunde fremkalde. Det blev derfor bestemt at bygge Taarnet af Jærn (Fig. 49), og Arbejdet blev paabegyndt i 1847 under Ledelse af N. Douglass, øverste Ingeniør

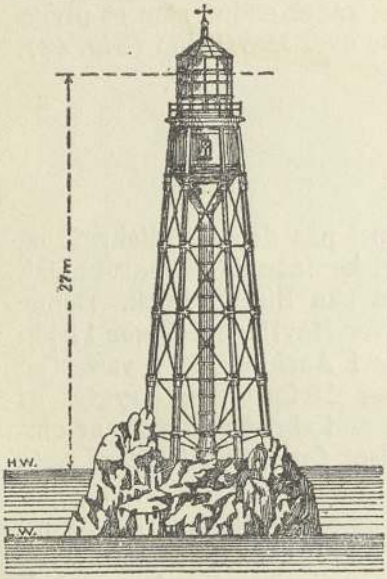


Fig. 49. Bishop Rock Jærnfyrtaarn. (Douglass, 1847.)

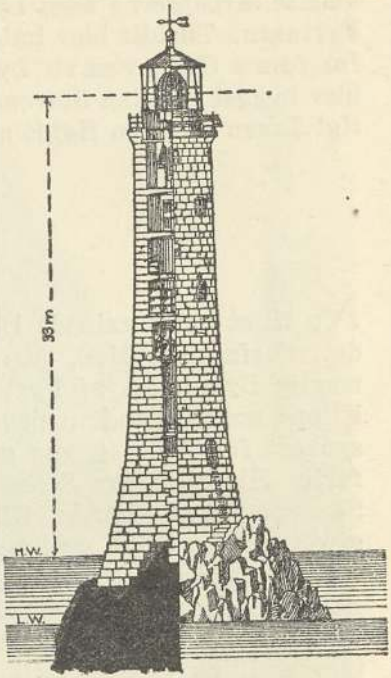


Fig. 50. Bishop Rock Fyrtaarn. (Douglass, 1858.)

ved Trinity House. Støbejærns Søjler, fastkilede til den egentlige Klippe, blev forstærkede med Smedejærnsbaand, alt paa en saadan Maade, at det hele vilde yde den mindst mulige Modstand mod Bølgerne. Ogsaa her var der store Konstruktionsvanskeligheder, thi Søens Kraft var saa mægtig, at ved en bestemt Lejlighed blev en Jærnsøjle paa 3 Tons, der for Sikkerheds Skyld var forbundet med en svær Kæde fastgjort til Øjebolte i den faste Granit, revet væk og kastet 6 m til Vejrs op paa Toppen af Klippen. Ved en anden

Lejlighed blev en stor Ambolt, der for Sikkerheds Skyld var gravet ned i et dybt Hul, slaaet helt væk af Søen.

Efter at Ingeniørerne hæderligt i 4 Aar havde kæmpet mod Havet, og netop som Arbejdet praktisk talt var færdigt, indtraf der en Nat i Februar 1850 en fuldstændig Katastrofe, idet hele Bygningsværket blev fejet væk af Søen. Da nu det hele alligevel skulde gøres om igen, blev det besluttet at genopbygge Fyrtaarnet af Granit op til Lampens Højde (33 m).

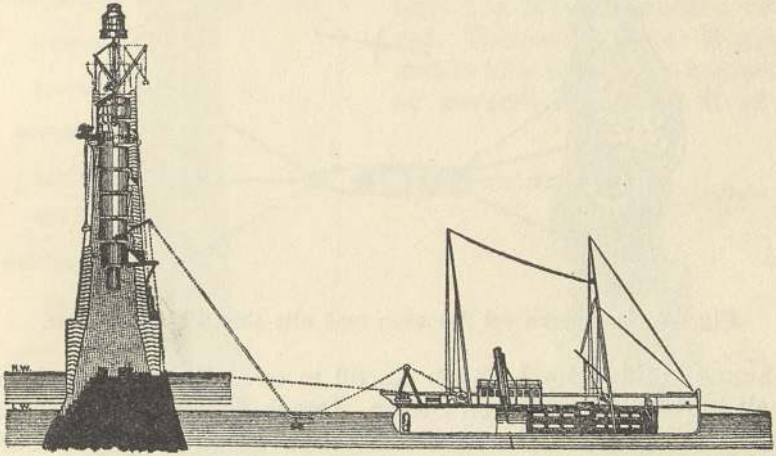


Fig. 51. Bygning af Bishop Rock Fyrtaarn. Hvorledes Stenene blev bragt paa Plads fra den lille Damper ved Hjælp af Takkel.

I Overensstemmelse hermed toges atter fat paa Arbejdet i 1851, men Taarnet stod ikke færdigt før i 1858 (Fig. 50), thi Arbejdet med at bringe Stenene i Land var baade langvarigt og farligt paa Grund af den svære Sø. Stenene blev hentede paa Øen St. Mary af en lille Dobbeltskruedamper, der var bygget med Fyrkonstruktion for Øje og forsynet med særlige Apparater til Stentransport. Skibet blev fortøjet paa Sydsiden af Klippen ved Hjælp af Jærnopstandere paa Klippen, og Stenene toges i Land ved Hjælp af Takkel (Fig. 51 og 52). Skønt denne Metode teoretisk set skulde synes let nok, var den i Praksis særdeles vanskelig paa Grund af de stadigt rullende Atlanterhavsdønninger, som vedblivende holdt Skibet i stærk Bevægelse. Ofte blev Stenene,

naar de hejstes op, ramt af Bølgerne og herved bragt i saa stærke Svingninger, at de atter maatte sænkes ned i Vandet, indtil Svingningerne ophørte. Hyppigt sprængtes Fortøjningerne som Traade paa Grund af det Stræk, de var udsat for ved Dønningernes Tilbageløb fra Klippen.

Ganske mærkeligt er det, at en stor Klokke paa flere Hundrede Kilogram, der anvendtes til Taagesignaler og sad i

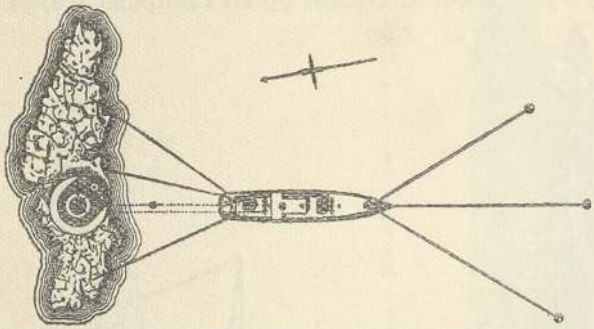


Fig. 52. Damperen set fra oven med alle sine 6 Fortøjninger.

samme Højde som Lampen ca. 30 m over Vandfladen, blev helt bortskyllet under en Storm. Denne Kendsgerning giver os et Bevis paa Bølgernes mærkelige Magt, som ikke blot strakte sig 30 m til Vejrs, men ogsaa var tilstrækkelig stor til at feje denne meget tunge Masse væk. I Storm vibrerede Taarnet saa stærkt, at Granitblokkene revnede ved de svære Paavirkninger. I 1881 blev det bestemt at omgive Taarnet med nedsvalet Murværk og at tilføje fire nye Etager, saaledes at Lanternehøjden blev 45 m over Vandfladen og Synsviden forøget til ca. 35 km. Hele Fundamentets Bredde blev udnyttet, og de enkelte Granitblokke vejede mellem 2 og 3¼ Tons.

VII

En Afdeling for sig danner de saakaldte Skruepælefyr (Fig. 54), en ganske ejendommelig Type, der er opfundet

af Alexander Mitchell, og benyttes til at afmærke undersøiske Sandbanker. Principet i denne Byggemaade er, at de Pæle, der bærer Fyret, paa sin nederste Ende har en udvidet Skrueform, hvilket gør dem mere egnet til at trænge ned i Havbunden. Det første Fyr af denne Type blev installeret paa Maplin Sandene nær ved Themsen. Dets Byggemaade blev ikke alene kopieret og anvendt i udstrakt Grad i

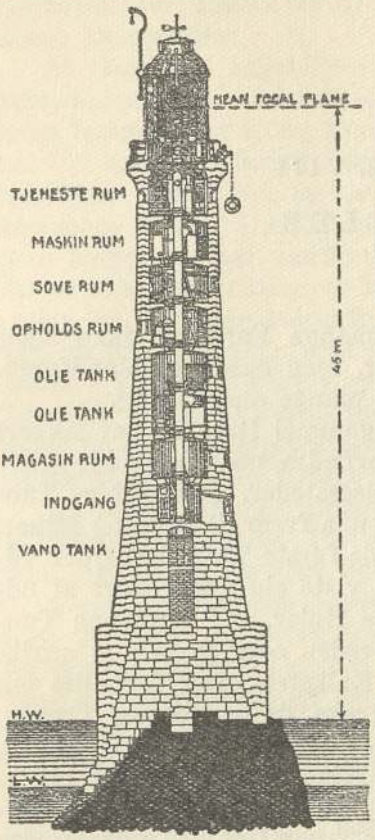


Fig. 53. Det forstærkede Bishop Rock Fyrtaarn. (Douglass, 1887.)

Fig. 58. Et Skruepælefyr i Themsen.

Themsmundingen, men ogsaa i mange andre Lande særlig i Amerika.

KAPITEL VIII

TUNNELER

I

DER kræves Tunneler til mange Formaal; ikke alene til Jærnbaner og Kanaler, men ogsaa til Vandforsyning, Lysledninger, Kloaker og mange andre Ting.

Tunnelvæsenet er af meget gammel Dato og har sikkert været kendt i Urtiden af vore Forfædre, naar de skulde grave ud til deres Boliger og Begravelsessteder. Senere blev Tunneler anvendt, naar man skulde naa frem til Brud og Miner. Der er vel næppe Tvivl om, at de første Tunnelarbejder udførtes af Forfædrene, naar det viste sig nødvendigt at udvide deres Bopæl i de naturlige Huler. Af saadanne Tunneler findes der mange hele Verden over, men dog særlig dèr, hvor Grunden bestaar af Kalksten. Der fortælles om en Konge fra Theben, at han straks, da han besteg Tronen, omhyggelig begyndte at udgrave en Tunnel til sit Gravsted. Et af disse Gravsteder, kaldet »Mineptah«, er gravet 110 m ind i en Bjærgside; derefter sænkes Skakten noget, og Tunnelen fortsætter endnu ca. 90 m, hvorefter den udvides for at danne selve Begravelseskammeret. Ganske nylig har vi læst om Kong Tut-ank-amens vidunderlige Gravkammer, der er over 3000 Aar gammelt og mejslet ind i en Klippe. Skønt der maaske ikke i dette Tilfælde har været Tale om noget rent Tunnelarbejde, er Arbejdet dog udført omtrent paa samme Maade. Ret mærkelige Tunneler er ogsaa fundet i Klippetempler baade i Indien og Nubien.

De gamle Ægyptere var Eksperter i at udgrave Tunneler, særlig med Grubebrug for Øje. Selv i disse ældgamle

Tider benyttede Ingeniørerne et Værktøj, som ligner et, vi endnu bruger ved moderne Boring af Tunneler. Det var Rørboret, der næsten er af samme Udseende som det moderne Diamantbor.

At Oldtidens Ingeniører har været dygtige til Tunnelarbejde fremgaar af forskellige historiske Beretninger. Saaledes fortælles, at Kong Hezekiah, der regerede i Jerusalem ca. 700 Aar før Christi Fødsel, »befæstede sit Land ved at lede Vand ind til det, og han borede gennem Klipper og opdæmmede Vandet i en Dam«. Den her omtalte Boring gennem Klipperne har sandsynligvis været Shilvah Tunnelen, der er over 500 m lang, og som bærer en Indskrift, der fortæller, at Boringen begyndtes fra begge Ender paa samme Tid, en Kendsgerning, som bekræftes ved, at Værktøjsmærkerne i Væggene løber i modsat Retning i de to Halvdele. Tunnelen er ca. 1 m bred, mellem 2 og 3 m høj. Det mærkeligste er dog, at Bygmestrene under hele Arbejdet har forstaaet at holde den rigtige Retning.

En anden gammel Tunnel blev bygget i Aaret 625 f. Chr. af Grækeren Eupalus. Den var ca. $^3/_4$ m² i Tværsnit, 1600 m lang, og benyttedes som Vandledning til Athen.

Romerne var meget dygtige Tunnelingeniører, der gravede Tunneler baade til Veje, Dræning og Vandforsyning. Et særligt smukt Bevis for deres Arbejders Godhed er en Tunnel til Udtørring af Fucino Søen, der blev anlagt efter Ordre af Kejser Claudius. Denne Tunnel — der af Plinius beskrives som Datidens største offentlige Arbejde — var ca. $5^1/_2$ km lang og 2—3 m i Tværsnit. Den blev gravet ind under Monte Salvino og havde 40 Skakter, der hver gik ca. 35 m i Dybden. Op gennem disse Skakter hejstes det udgravede Fyld i Kobberspande ved Hjælp af Spil. Det er konstateret, at Konstruktionen af Tunnelen med en Arbejdskraft af 30,000 Mand varede 11 Aar, og det antages, at moderne Ingeniører kunde have udført Arbejdet med langt mindre Arbejdsstyrke i 11 Maaneder, forudsat at Udgravningen var blevet begyndt fra begge Ender samtidigt. — Naar vi tænker paa, at Romerne sandsynligvis ikke havde andet Værktøj end Hakke og Skovl og ikke havde nogen gen-

nemført Ventilation, maa vi beundre deres glimrende Arbejde, særlig naar man ser, at ca. 300 m af Tunnelen gik igennem haardt Karneol, der kun kunde gennemtrænges ved Udmejsling med en almindelig Mejsel.

En gammel romersk Vejtunnel nær ved Neapel er en 700 m lang, 7 m bred og 27 m høj.

II

Gravning gennem et Bjærg eller under en Flodseng kan bringe mange Slags Overraskelser. Et saa vanskeligt Arbejde maa nødvendigvis drive Ingeniørens Anvendelse af Hjælpemidler og Taalmodighed til det yderste. Tunnelboring er en Gren af Ingeniørkunsten, som har særlig Interesse derved, at den, om man saa kan sige, foregaar i det skjulte. Store Arbejder udføres under Jorden i al Stilhed; der er ingen Publikum og ingen Dekorationer, kun de optrædende medvirker. En stor Bro, en Dæmning, eller en Bølgebryder, kan paa en mere »aabenlys« Maade vidne om Konstruktørens Genialitet. — Ved Tunnelarbejder er Forholdet noget anderledes, og vi maa for en stor Del her ty til vor Indbildningskraft. Ganske vist ser vi et Jærnbanetog fare ned midt i et Bjærg eller styrte sig ned under en Flod, men det gør intet Indtryk paa os, for mange — ja vel de fleste — Mennesker er en Tunnel kun et Hul i Jorden.

Vandet er alle Tunnelarbejders store Fjende, og mod det maa Tunnelingeniøren altid være paa Vagt. Støder man under Arbejdet paa en underjordisk Kilde, maa Arbejdsstederne pumpes tørre, og der maa øjeblikkelig træffes Foranstaltninger til at standse det nedtrængende Vand. De andre Vanskeligheder ved Tunnelarbejder er meget nær de samme, som man møder i en Kulmine, hovedsagelig bestaaende i Muligheder for Sammenskridning og de ubehagelige Arbejdsforhold i et begrænset og indesluttet Rum med daarlig Ventilation.

Krudtets Opfindelse var til stor Gavn for alle Tunnel-

arbejder, men først Indførelsen af Trykluftbor o. l. samt Udviklingen af kraftige Eksplosionsstoffer aabnede helt nye Muligheder for Tunnelboring.

III

Tunneler kan deles i 3 Klasser: 1) Tunneler gennem Høje og Bjærge, hvor det indvendige Murværk bygges, efterhaanden som Udgravningen skrider frem, 2) Gennemskæringen under Veje og Jærnbanelinier og 3) Tunneler under Vand, hvor Brunel's Beskytter bruges til at grave en Gang gennem Jordlagene, og denne Gang fores med Jærnbeton.

Til den første Klasse hører saa bekendte Tunneler som Mont Ceenis, St. Gotthard og Simplon, til den anden Klasse Tunnelerne i New York og Boston og de underjordiske Baner i London, Berlin og Paris. Til den tredje Klasse hører Flodtunnelerne ved Rotherhithe og under Severn og Mersey og flere lignende.

Før en Tunnel skal anlægges gennem et Bjærg, er det af den største Vigtighed for Ingeniøren at raadspørge en Geolog, der kender de lokale Forhold, for gennem ham at faa nøje Underretning om Jordlagenes Natur i det Bjærg, hvorigennem Tunnelen skal føres. Prøvehuller bores ned gennem Bjærget for at undersøge de forskellige Lag. Dette foretages ved Hjælp af et Diamantbor, der hurtigt borer sig ned selv gennem de haardeste Klipper og efterhaanden tager Prøver af de forskellige Lag, saaledes at Ingeniøren faar et Begreb om Lagenes Beliggenhed og Karakter.

Den Methode, der anvendes for at faa Tunnelen til at gaa i lige Linie, er ret interessant. Hvis Bjærget, hvorigennem Tunnelen skal gaa, er tilgængeligt paa Overfladen i hele Tunnelens Udstrækning, er det en forholdsvis let Sag at holde Tunnelen indenfor de afstukne Grænser ved Hjælp af Teodolit og Observationspunkter liggende nøjagtig over Tunnelens Retning. I det Tilfælde, at Tunnelen skal føres gennem Bjærge, som ikke er tilgængelige over hele Linien, er en

anden Fremgangsmaade nødvendig. I Sammenligning med den forrige Metode er denne sidste ret vanskelig og kompliceret og forlanger den højeste Grad af Nøjagtighed. Den udføres ved Hjælp af en Teodolit, der er anbragt paa den længst bortliggende af to Søjler, der er opstillede ved Udgangsstedet for den planlagte Tunnel. Paa den anden Søjle (nærmest ved Klippevæggen) er der en Plade med en Spalte. Med Teodoliten sigtes gennem Spalten mod det Punkt paa Klippen, fra hvilket Tunnelen skal udgaa, og her paabegyndes Arbejdet. Efterhaanden som Tunnelen skrider frem, tages Teodoliten med ind i denne, og der sigtes gennem Spalten tilbage til dens første Opstilling. Naar dette Sigte er nøjagtigt indstillet, drejes Teodoliten 180° og peger altsaa nu aldeles korrekt i den Retningslinie, hvori Udgravningen kan fortsættes. Teodoliten tages med gennem Tunnelen, efterhaanden som en ny Længde udgraves, og Maalinger foretages paany o. s. fr. Samtidig foregaar en lignende Opmaaling fra den anden Ende af Tunnelen, da man selvfølgelig for at spare Tid arbejder fra to Sider henimod Midtpunktet.

Denne Fremgangsmaade har vist sig at være forbløffende nøjagtig, hvilket navnlig viste sig ved Udgravningen af Musconetcong Tunnelen. Skønt Tunnelen er 1525 m lang, afveg de vandrette Retningslinier, da de to Gennemgange mødtes, kun 12 mm, og i lodret Retning var Afvigelsen kun 4 mm. Ved Bygningen af Hoosac Kanalen, der dog er over $7^1/_2$ km lang, var Afvigelserne endnu mindre.

Hvor det kan gøres, borer man Skakter gennem den overliggende Høj (Bjærg), men kun fra Punkter, der ligger nøjagtigt i Tunnellinien. Fra en saadan Skakt kan der da bores og udgraves i begge Retninger, hvilket i høj Grad letter og fremskynder Konstruktionen. Det er selvfølgelig upraktisk at bore eller udgrave saadanne Skakter, hvis det Bjærg, hvorigennem Tunnelen skal føres, er meget højt. I saa Tilfælde gennemføres Arbejdet, som omtalt ovenfor, ved at begynde Arbejdet fra begge Sider for at mødes paa Midten eller der omkring.

Hvis Klippeformationer mødes paa Vejen, maa disse

sprænges bort, men ellers bruges Hakke og Skovl til at fjerne alle andre Emner. Efterhaanden som Arbejdet skri-

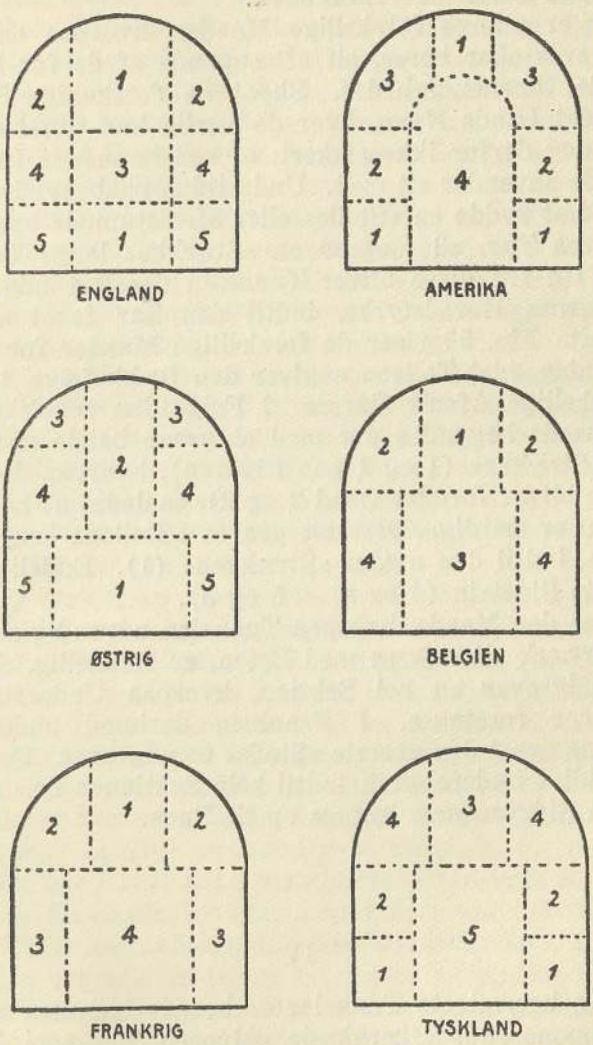


Fig. 55. Diagrammer, der viser de forskellige Metoder til Udgravning af Tunneler. Tallene angiver Rækkefølgen for Udgravningen af de paagældende Afsnit.

der frem, fjernes de udgravede Masser, og Buen over den gravede Gang understøttes ved Trækonstruktioner eller udfores med Beton eller Murværk.

Der er mange forskellige Maader, hvorpaa en Tunnel kan graves eller bores, alt afhængende af de for Haanden værende Omstændigheder. Skønt de forskellige Systemer bærer det Lands Navn, hvor de særlig har været anvendt, er det dog derfor ikke sikkert, at vedkommende Land udelukkende anvender sit eget. Undertiden paabegyndes Arbejdet med at rydde en »Stolle« eller »Lodstunnel« oppe under Tunnelens Tag, eller ogsaa en »Strække« langs Tunnelens Bund. Ud fra disse bliver Tunnelen derefter udgravet af Arbejdernes Hovedstyrke, indtil den har faaet sit fulde Tværsnit. Fig. 55 viser de forskellige Maader for Tunneludgravning, idet Tallene angiver den Rækkefølge, i hvilken de forskellige Afsnit fjernes. I Følge den engelske Fremgangsmaade begyndes der med at grave baade en »Stolle« og en »Strække« (1 og 1 paa Figuren), hvorpaa den første af disse bliver forøget (med 2 og 2), saaledes at hele Overbuen nu er færdig. Dernæst graves »Stollen« længere ned (ved 3), indtil den møder »Strækken« (1). Endelig udgraves de to Sidetrin (4 og 4 — 5 og 5).

Ogsaa den Maade, hvorpaa Tunnelen udvendig støttes af Tømmerværk eller fores med Beton, er forskellig. Englænderne udgraver en hel Sektion, hvorpaa Understøtningsarbejderne foretages. I Frankrig derimod underbygges Buen, saa snart den øverste »Stolle« er udgravet. Den bliver midlertidigt understøttet, indtil hele Sektionen er udgravet, hvorpaa Sidevæggene bygges op til Buen.

IV

Verdens berømteste Tunneler er borede igennem Europas mest imponerende Bjærgkæde, Alperne, der som bekendt danner en stærk Barrière mellem Frankrig og Italien og mellem Svejts og Østrig — en Slags Skillelinie mellem Euro-

pas Nationer. Paa Alperne dannes ogsaa Kilderne til Central- og Vesteuropas største Floder. Vi kender alle den Rolle, Alperne har spillet i Europas Historie. Romere, Longobarder, Gother, Hunner, Franskmænd, Tyskere og Østrigere — alle har de benyttet dem til Krigsoperationer — ganske vist med mere eller mindre Held. Fra Hannibal til Napoleon har man ladet haant om deres Styrke, men deres Svaghed — Brecherne i Barrièren — har givet Genlyd af Hærenes Fodslag gennem Tiderne.

De romerske Ingeniører kan tilskrive sig Æren for de første Veje over Alperne — og prægtige Veje var de — men Napoleons Arbejde i saa Henseende var maaske større endnu. En Tid lang gik Diligencen i regelmæssig Fart gennem Passene, undtagen i særlig daarligt Vejr. Saa kom Jærnbanen og begyndte at krybe op ad Alpernes Sider, indtil der til Slut ved Hjælp af Broer, Bortskæringer og Udfyldninger blev lagt en Linie over den frygtelige Hindring. Semmering Jærnbanen blev aabnet i 1854, og der blev etableret direkte Forbindelse mellem Wien og Triest, paa hvilken Strækning der var gravet en kilometerlang Tunnel gennem haarde Klippemasser.

Da nu først Isen var brudt, blev Planerne straks mere højtflyvende — om man kan sige saaledes om Tunneler. Det næste Arbejde blev Mont Cenis Tunnelen, der ved Hjælp af et Dobbeltspor paa 13 km Længde skulde bringe Jærnbaneforbindelsen Paris—Turin ned til en Køretid af 18 Timer. Et saa kæmpemæssigt Foretagende havde hidtil ikke været forsøgt noget Steds i Verden. Luftkanaler fra Oversiden kan sjældent bores ved slige Arbejder i høje Bjærge, hvorfor der maa skaffes en kunstig Ventilation, og paa dette Tidspunkt var Krudt det eneste kendte Sprængmiddel, da de kraftigere Eksplosionsstoffer endnu ikke var opfundet. Tiden for Udførelsen af Arbejdet blev sat til 25 Aar, og Italien tilbød den franske Regering en Slags Flidspræmie — om man saa kan sige — paa ½ Million Kr. for hvert Aar under de fem og tyve, der var tilstaaet, og 600,000 Kr. for hvert Aar under femten Aars Bygningstid. Til at begynde med gik Arbejdet kun langsomt fremad, og efter 5½ Aars For-

løb var kun en Femtedel af Tunnelen gennemført. Paa dette Tidspunkt fremkom imidlertid Sommeillers Trykluftbor, og 7½ Aar efter var det store Foretagende gennemført. Juledag 1870 gennemborede italienske Ingeniører de resterende 4 m af Klippen. Hvor nøjagtigt Opmaalingen har været

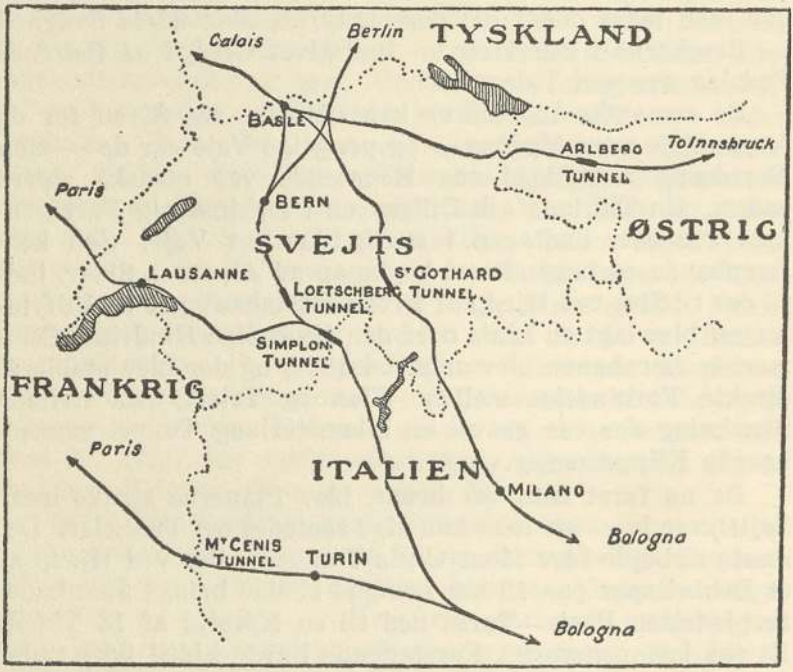


Fig. 56. Kortskitse, der viser de vigtigste Tunneler i Alperne.

foretaget, viste sig derved, at Afvigelsen i den horizontale Retning var lig 0, saaledes at begge Gennemboringer straks faldt i lige Linie. I Højden var der en Fejl paa 30 cm, og Tunnelens samlede Længde var ca. 5 m mere end beregnet. Mont Cenis Tunnelen er ca. 8 m bred og ca. 7½ m høj. I den franske Del var Heldningen 1 til 45, i den italienske 1 til 2000. Tunnelen ligger 1250 m over Vandfladen og har kostet ialt ca. 75 Millioner Kr. eller 500 Kr. pr. m. For Forbindelsen mellem Østen og Lande som Frankrig og Eng-

land blev Anlæggelsen af denne Tunnel fuldstændig revolutionerende, idet Post og Varer til Østen nu kunde befordres over Paris og Marseille til de store Havne Brindisi og Genua.

V

Opildnet ved Franskmændenes Held med Mont Cenis Tunnelen besluttede Svejtserne at bore en Tunnel gennem St. Gotthard (ca. 210 km Nordost for Mont Cenis), og Italien og Tyskland, der ogsaa var interesserede i et saadant Foretagende, betalte hver deres Del af Omkostningerne. Arbejdet blev paabegyndt 1871 og varede i 11 Aar. Ingeniørerne havde under dette Arbejde adskillige Fordele frem for de Ingeniører, der havde bygget Mont Cenis; navnlig ydede det nye og kraftige Bor, opfundet af Faroux, god Tjeneste, men maaske vigtigere endnu var det, at Dynamit blev anvendt som Sprængstof i Stedet for Krudt. Ved Hjælp af disse Forbedringer og ved Hjælp af de fra Mont Cenis Tunnelen indvundne Erfaringer blev der gjort hurtige Fremskridt, ca. 6 m pr. Dag med en Bekostning af ca. 3500 Kr. pr. m, hvilket betegner en betydelig Besparelse i Forhold til Omkostningerne pr. m ved Mont Cenis Tunnelen.

St. Gotthard Tunnelen er knap 15 km lang, men der maatte foruden Hovedtunnelen bores over 30 Hjælpekanaler under Fremstødet, hvilket voldte Ingeniørerne adskillige Vanskeligheder og Skuffelser, navnlig naar de mødte snævre og stejle Dale med store Hældningsvinkler.

Tunnelen var færdig Nytaarsdag 1882 og blev aabnet den paafølgende 1. Juni. Hele Arbejdet havde varet 88 Maaneder —, et gunstigt Resultat i Sammenligning med de ved Boringen af Mont Cenis anvendte 157 Maaneder —, særlig naar der tages Hensyn til, at St. Gotthard Tunnelen var 1½ km længere end Mont Cenis Tunnelen. Omkostningen var ca. 50 Millioner Kroner.

VI

For ikke at blive slaaet helt af Marken tog Østrigerne fat paa Anlægget af Arlberg Tunnelen. Konstruktionen af denne Tunnel tog sin Begyndelse i 1880, og der blev udsat en Belønning af ca. 2000 Kr. pr. Dag, der kunde indvindes indenfor et Tidsrum af 5 Aar. Brandts Bor, en ganske ny Opfindelse, gjorde det imidlertid muligt, at Arbejdet allerede i Løbet af tre Aar var færdigt, og paa Treaarsdagen den 13.

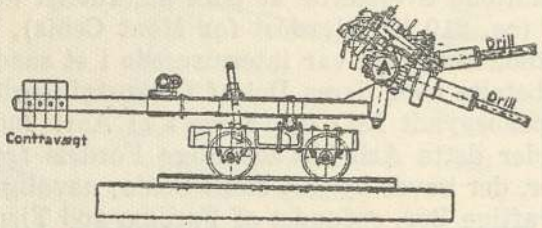
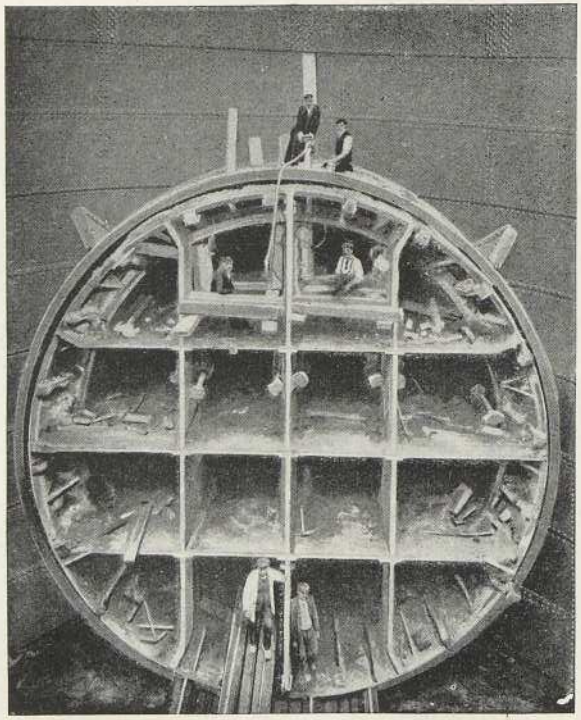


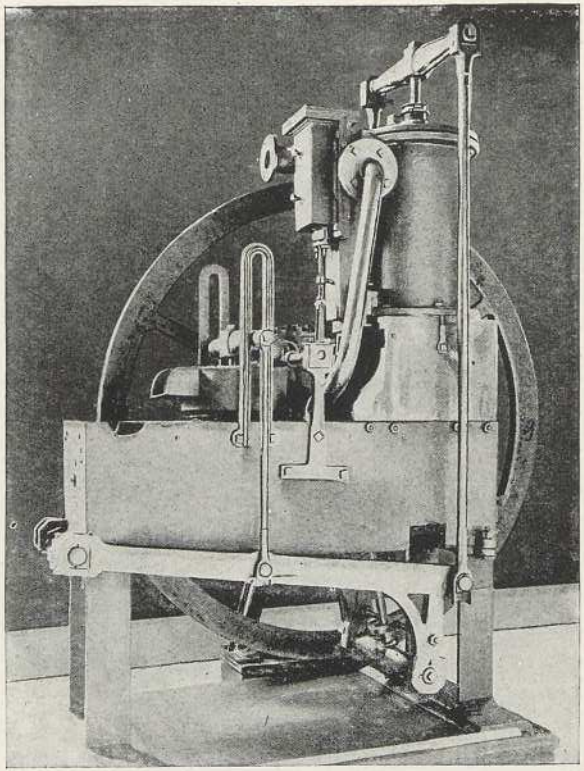
Fig. 57. Brandts Klippebor.

November 1883 kunde Tunnelen afleveres. Ti Maaneder senere var Tunnelen i Brug, og Ingeniørerne kunde med Rette fordre adskillige Hundrede Tusinder i Præmie. Tunnelen er ca. 10½ km lang og danner Forbindelseslinien for Jærnbanefarten mellem Wien og Paris over Svejts.

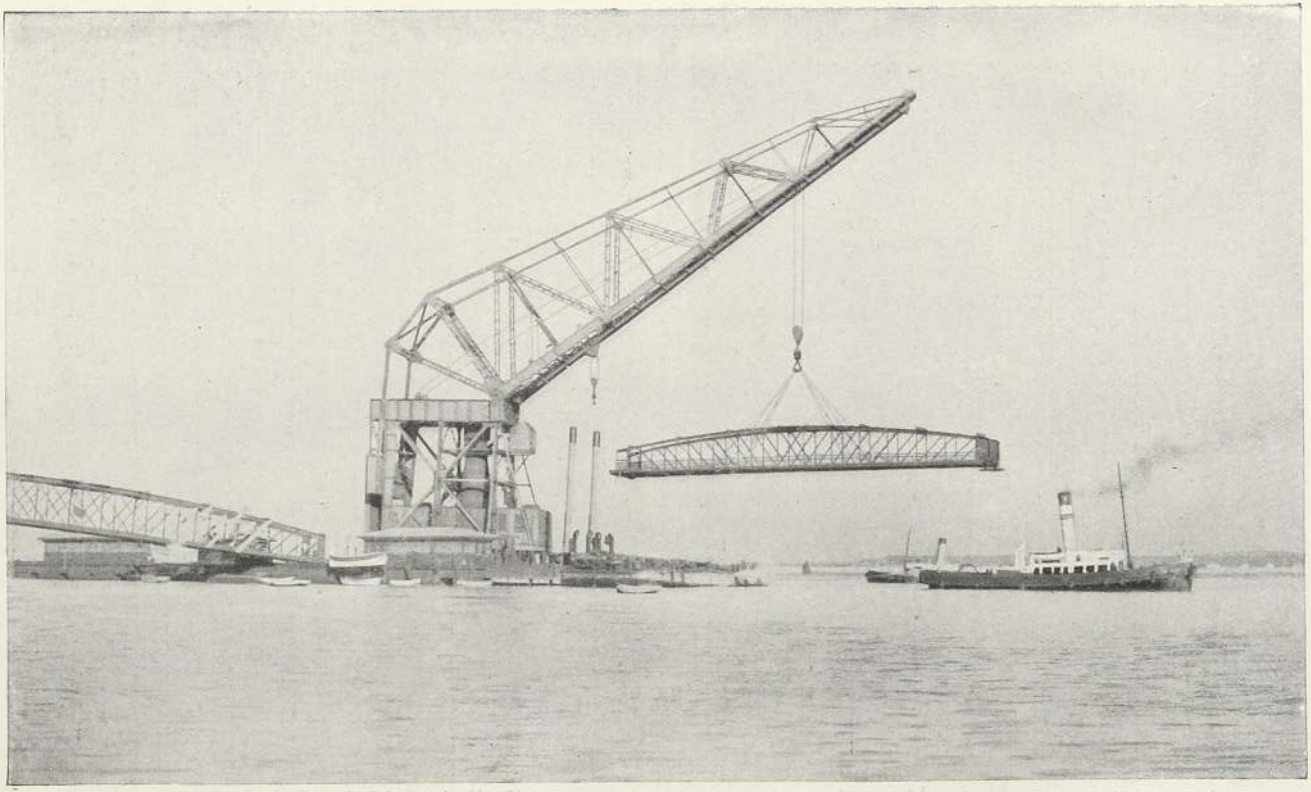
Brandts Bor (Fig. 57) drives ved Vandkraft (hydraulisk) og ikke som tidligere Bor ved Hjælp af Trykluft (pneumatisk). Medens Sommeillers Maskine angreb Stenene ved Slag eller Stød, ligesom det sker ved Haandboring, skærer Brandts Bor sig ind i Stenen, idet det trykkes meget stærkt ind mod Stenlaget og samtidig drejes rundt. Skæringen udføres af meget haarde og skarpe Tænder, der sidder i den yderste Ende af et Rør, hvorigennem der sendes en Strøm af Vand, som køler Boret og fører Borestøv og Boresplinter væk. Borerøret kan holdes mod Klippen med et Tryk paa flere Tusinde Kilogram, idet det tvinges frem af et hydraulisk Apparat, der understøttes fra Stollens Sidevægge. Boret drejes af to smaa hydrauliske Cylindre. Med et hydraulisk Tryk paa 10 Tons kan Boret gennem fast Klippegrund »æde« sig ca. 1 m frem i 15 Minutter.



(a) Tunnelbygning under Themsen. Illustrationen viser et Brunels Skjold i Skakt No. 4 ved Rotherhithe Tunnelen.



(b) Maskinen i Bells „Comet" (1811).
(Foto. Board of Education.)



En flydende „Mammut"-Kran, der sætter et Brostykke paa 150 Tons paa Plads i New Brighton Ferry nær ved Liverpool.
(Foto. Mersey Docks and Harbour Board).

VII

Verdens længste Tunnel — Simplon Tunnelen — forbinder Italien og Svejts. Dens Længde er ca. 20½ km. Den bestaar af to parallele Tunneler med en indbyrdes Afstand af ca. 17 m, blev paabegyndt i 1898 og var først færdig i Januar 1906 med en Bekostning af ca. 75 Millioner Kroner eller ca. 3750 Kr. pr. m.

Brandts Klippebor blev ogsaa anvendt ved Udboringen af Simplon Tunnelen. Efter at et Dusin Huller var boret, nedlagdes Eksplosionsladningen i Hullerne, og Eksplosionen fremkaldtes ved Hjælp af Brandrør. Efter Sprængningen styrtede Arbejderne ind og fjernede de sprængte Rester, medens andre Folk understøttede Væggene og Overbuen rent foreløbigt. Sprængdyngen rummede ca. 5 m^3, og paa denne Maade naaede man smaa 6 m frem pr. Dag.

Under St. Gotthard Tunnelens Bygning mistede ca. 800 Arbejdere Livet. Med dette skrækkelige Offer i frisk Minde og for at modarbejde den stigende Varme fra Borestøvet og Mangel paa tilstrækkelig Ventilation, blev der indført et særligt Ventilationssystem. Temperaturen var omkring 50° Celcius, thi Tunnelen laa jo ca. 2100 m under Bjærgets Top, og der maatte indblæses 25 Gange mere frisk Luft end ved St. Gotthard. Støvet blev kvalt ved Hjælp af Vandbrusere, der overstraalede Vægge og Bueloft. Saa tilfredsstillende virkede hele Ventilationssystemet, at der under de otte Aars Arbejde kun døde 60 Mand af forskellige Aarsager.

Ingeniørerne saavel fra svejtsisk som fra italiensk Side mødte mange Vanskeligheder. I 1901 mødte Italienerne saaledes et meget blødt Jordlag, og det viste sig umuligt at underbygge det. Laget knuste Underbygningen, som var det Tændstikker, og selv Staaldragere og Tværbjælker paa 50 cm kunde ikke modstaa Spændingen. Til Slut anvendtes hurtigt tørrende Beton for at understøtte de løse Jordlag, og Tunnelen blev under store Vanskeligheder foret med Murværk. Imidlertid havde Svejtserne fuldført deres Del af Arbejdet og var naaet frem til Midtpunktet. Tunnelen skulde efter Planen dræne sig selv i Følge Tyngdeloven, hvorfor

der paa svejtsisk Side arbejdedes under en Hældning af 1 til 500, medens Italienerne fik tilstaaet en Hældning af 1 til 143. Da Svejtserne havde naaet det højeste Punkt, begyndte de at grave nedad mod den italienske Side. De mødte imidlertid snart varme Kilder, der tvang dem til at forlade Arbejdet, ja endog til at fabrikere store Jærndøre, som kunde holde det fremstrømmende Vand i Skak. Italienerne arbejdede sig imidlertid langsomt frem, indtil en skønne Dag Svejtserne kunde høre deres Bor arbejde, skønt Afstanden mellem de to Arbejdshold dog mindst var $^3/_4$ km. Til sidst mødte da ogsaa Italienerne de varme Kilder, hvis høje Temperatur havde hindret Svejtserne i at fortsætte Arbejdet. Italienerne lod sig imidlertid ikke afskrække, men gik uden-

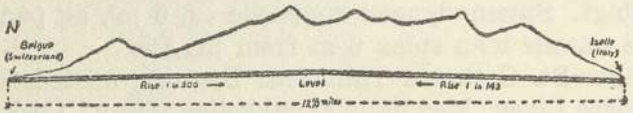


Fig. 58. Snit langs med Simplon Tunnelen, som ligger højest paa Midten af Hensyn til Afløbet af nedsivende Vand.

om Kilderne ved Hjælp af Sidegallerier og Tværgange, og den 24de Februar 1905 gennemboredes den sidste Hindring.

Den Nøjagtighed, hvormed Simplon Tunnelen blev bygget, bevises bedst derved, at over denne store Distance var Afvigelserne i Siden kun 20 cm og i Højden kun 9 cm, da Gangene mødtes. Afvigelsen imellem den beregnede og den virkelige Længde var kun 78,5 cm. I Sandhed et forbavsende Resultat.

Togene trækkes gennem Simplon Tunnelen af svære elektriske Lokomotiver paa 62 Tons med 2300 HK. Dobbeltledninger fører op til Tunnelens højeste Punkt, og gennem dem leveres den nødvendige Trækkraft. De elektriske Lokomotiver trækker et 300-Tons Tog gennem Tunnelen i Løbet af 18 Minutter med en Gennemsnitsfart af ca. 70 km i Timen!

VIII

Undersøiske Tunneler er en Type for sig. De benyttes særlig i Storbyer som London og New York, hvor hurtige Forbindelser mellem de forskellige Bykvarterer er nødvendig. Under Themsen er der saaledes en halv Snes undersøiske Tunneler, og i New York et Dusin af samme Slags mellem Manhattan Island, Long Island og New Yersey.

Ved Konstruktionen af disse Tunneler er den største Fare det indstrømmende Vand fra det overliggende Flodleje, samt de upaalidelige Jordlagsdannelser, der i Almindelighed bestaar af Mudder, Ler og Grus, Jordlag, som alle let kan skride. Der maa derfor tages saadanne Forholdsregler, at det stadig tilstrømmende Vand let og hurtigt kan udpumpes.

Fig. 59. Severn Tunnelen, skematisk fremstillet.

To særlig godt kendte undersøiske Tunneler er Severn Tunnelen og Mersey Tunnelen. Den første, hvorpaa der begyndtes i 1873, blev færdig i 1885 og er 6½ km lang. Den gaar ned under Severn Floden, rummer et Dobbeltspor og er en af de bedst udførte undersøiske Tunneler. Ingeniørerne blev under Bygningen meget generede af det indstrømmende Vand, skønt Tunnelen var ført et godt Stykke ned under Floden. Mersey Tunnelen, der forbinder Birkenhead og Liverpool, blev gravet udelukkende ved Haand og Magt, og ikke mindre end ¼ Million Kubikmeter Fyld maatte fjernes. Afstanden mellem Tunnelens Top og Mersey Flodbund er ikke mere end ca. 10 m.

IX

Det undersøiske Tunnelarbejde har stor Fordel af det allerede tidligere nævnte Brunels »Skjold«. Metoden blev første Gang anvendt ved Udgravningen af Themsen Tunnelen mel-

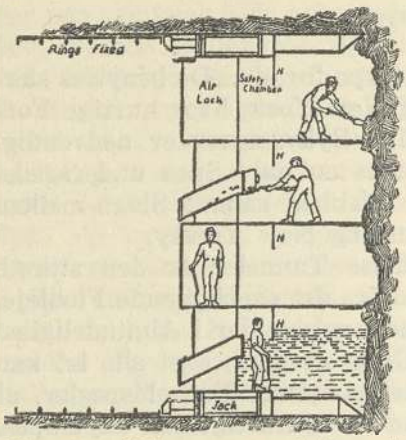


Fig. 60. Snit gennem et Brunels Skjold. Den næstnederste Arbejder befinder sig i det med vandtætte Døre forsynede Trykluftrum, hvorfra han enten kan gaa ud af Skjoldet til venstre eller ind i Arbejdsrummet til højre. Den nederste Arbejder har søgt ind i det lille Luftrum, der opstaar bag Skillevæggen H i Tilfælde af indtrængende Vand.

lem Rotherhithe og Napping. Denne Tunnels Udgravning var et udmærket Ingeniørarbejde, da en Del af Gravningen maatte foretages gennem helt opblødt Mudder. Arbejdet varede 18 Aar, nemlig fra 1825 til 1843 og kostede ca. 30,000 Kr. pr. løbende Meter.

Efterhaanden blev Brunels Opfindelse forbedret, særlig af Greathead, og dette muliggjorde Bygningen af Londons underjordiske Baner. Brunels Skærm eller Skjold bestaar i Hovedsagen af en umaadelig stor Cylinder, bygget af Staalplader (Fig. 60). Cylindren føres og trykkes frem gennem Jordlagene og har paa Forsiden Kamre og Pladser for Arbejdere, der foretager Udgravningen (a. Tavle XXVII). Under et svært hydraulisk Pres trykkes Skjoldet frem, efterhaanden som Arbejderne med Hakke og Skovl graver sig ind i Jordvæggen, og Cylindrens Vægge er saa skarpe, at de som en Kniv skærer sig ind i Jorden. »Skjoldet« kan drejes i hvilken Retning det forlanges ved at gøre det hydrauliske Tryk paa den ene Side stærkere end paa den anden Side, og dets Arbejdsretning er selvfølgelig forudbestemt ved Teodolitopmaaling. Det viste sig da ogsaa ved Ud-

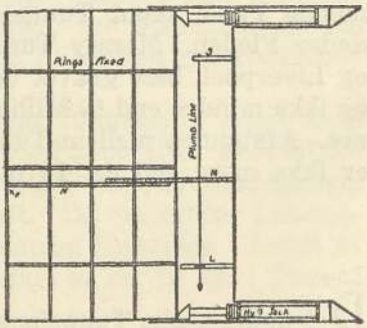


Fig. 61. Her ses Skjoldet alene med to af de hydrauliske Presser og Lodline til at holde Retningen ved.

gravningen af Tunneler under London, at af 6 Tunneler mødtes de 5 med en Nøjagtighed af ca. 1 cm.

Skulde Vandet trænge ind i Skjoldet, findes der for Arbejderne et særligt Tilflugtskammer med vandtætte Døre, hvorfra Vandet ved Hjælp af Lufttryk kan holdes ude. Endvidere er der i hver Arbejdsetage i Loftet dannet et lille Rum i Mandshøjde af Staalskillerum; ved Indtrængen af Vand

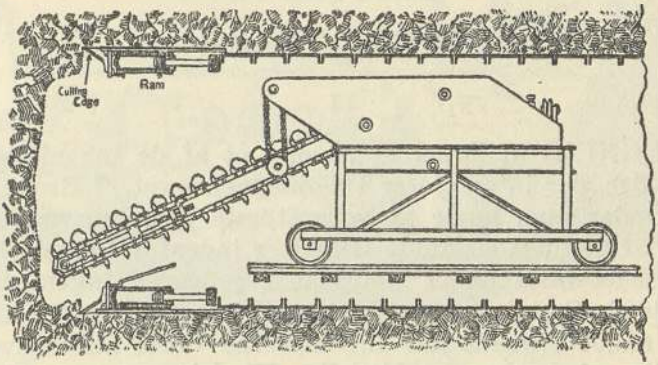


Fig. 62. Thompsons elektriske »Graver«, hvis Graveredskab kan flyttes i alle mulige Retninger for at kunne grave hele Vejen rundt.

vil Luften presses sammen i disse smaa Rum og holde Vandet ude, saa at Arbejderne ved at holde Hovedet herind kan trække Vejret til Hjælpen kommer. Undertiden anvendes til Assistance en særlig Gravemaskine, der borttager en Del af Jorden. En af de mest kendte af disse er Thompsons elektriske »Graver« (Fig. 62), der har en bevægelig Arm, hvormed den kan naa overalt indenfor den gravede Gang. Efterhaanden som Gravningen skrider fremad, understøttes Lagene og beklædes med Beton.

KAPITEL IX

BROBYGNING

I

BYGNING af Broer er absolut et af de Ingeniørarbejder, der interesserer Ungdommen mest. I Brobygningen finder man nogle af vore største Bygningsværker og nogle af de mest ærefulde Bedrifter indenfor Ingeniørhistorien. Paa intet andet Omraade fremhæves Ingeniørernes blændende Smidighed og Dygtighed mere end netop her. I intet andet Tilfælde har Ingeniørerne været stillet overfor saa tilsyneladende uovervindelige Hindringer som ved Bygning af Broer, og overalt har de set Vanskelighederne i Øjnene og trodset dem. Dette sætter vor Fantasi i Bevægelse og gør det til en Nydelse for os at læse om Brobyggernes

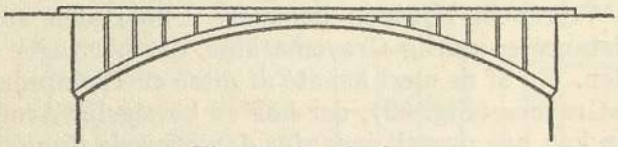


Fig. 63. En Buebro.

Prøvelser og Triumfer. Broingeniørerne har aldrig svigtet, hvor dristigt end Foretagendet, man stillede dem overfor, var. De har været beredt til at tage enhver Opgave op og har end ikke været bange for at ville anlægge en Bro mellem Calais og Dover tværs over den engelske Kanal, et af Verdens værste Strømfarvande.

Der er mange Brotyper, og hver af dem har sit særlige

Præg og sine Ejendommeligheder, som bevirker at netop den er anvendt paa det Sted, hvor den er benyttet.

Der findes følgende Typer: 1) Buebroer af Sten (b. Tavle XXIX), Støbe- eller Smedejærn, 2) Bjælkebroer, 3) Udliggerbroer (Tavle XXX) og Hængebroer (Tavle XXXII), 4) bevægelige Broer (Vindebroer) (Tavle XL), Sving- og

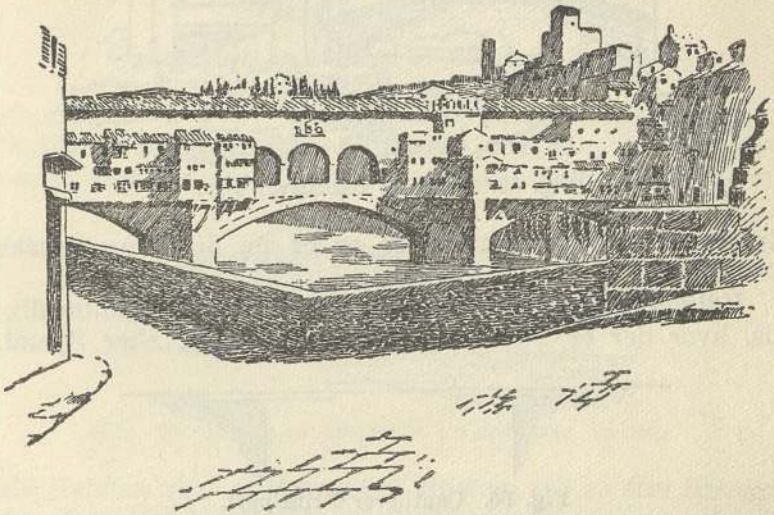


Fig. 64. Ponte Vecchio i Florents, en af de berømteste Broer i Verden. Som ved saa mange andre gamle Broer, er der Bebyggelse paa selve Broen, da Grundene indenfor de daværende Bymure maatte udnyttes til det yderste.

Klapbroer (Tavle XXXIX), 5) Transport-, Overskærings- eller teleskopiske Broer.

Bueprincipet i Brobygning skylder vi Romerne, og allerede herigennem markeres et betydeligt Fremskridt. Bueprincipet for Broer blev vel nok først anvendt ved Ponte de Rotto, bygget af Cajus Florius Aar 127 f. Chr. Trojan byggede en udmærket Bro over Donau, ca. 1400 m lang og 19 m bred. Den blev baaret af 20 Buer, der hver havde en Spændvidde af 52 m, og naaede op til en Højde af 45 m. Broen var bygget af kvadrerede Sten. Senere blev den ødelagt af Adrian. I England findes der en meget smuk Stenbue, nem-

lig Grosvenor Bridge i Chester. Denne Bro har af alle eksisterende Stenbroer den næststørste Spændvidde. Den største Spændvidde har Cabin John Creek Broen i Washington.

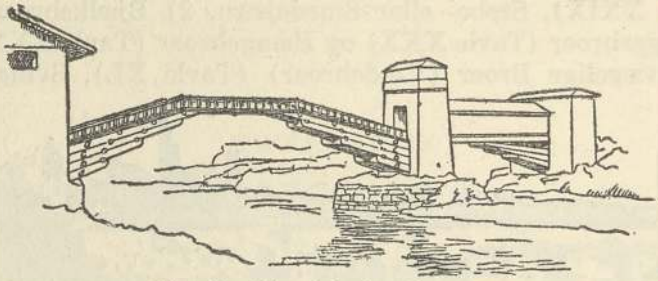


Fig. 65. Kinesisk Cantilever Bro.

Grosvenor Broens Spændvidde er 61 m, den amerikanske Bros 68 m.

Udligger- eller Cantilever Principet anvendes almindeligvis, hvor der er Tale om store Spændvidder eller Spand.

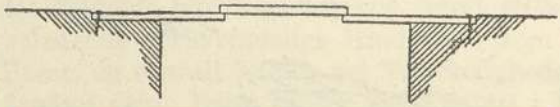


Fig. 66. Cantilever Princippet.

Dette System har i Aarhundreder været kendt og brugt af Kineserne, som gik over en Strøm ved at indlægge eller indbygge en Bjælke hver paa sin Flodbred, og da forene dem

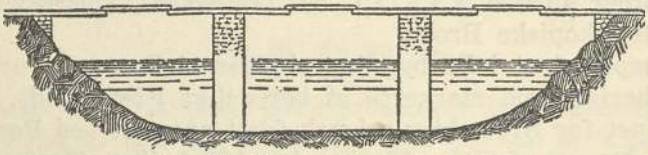


Fig. 67. Cantilever Bro med 3 Spand.

gennem en tredje Bjælke. Et lignende Princip har været anvendt i Indien ved en Bro over Floden Sutley. Her var Bjælker paa 30 m Længde halvvejs indbygget i Murværk, og en tredje Bjælke paa 60 m Længde forbandt dem (Fig. 66).

Cantilever Typen er baseret paa det Princip, at en Vægt paa den ene Side afbalancerer en Vægt paa den anden Side, saaledes at Vægten af Broen og Trafiken, der gaar over den,

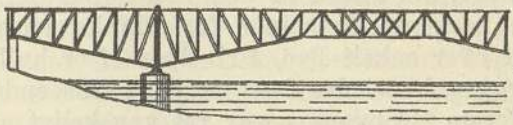


Fig. 68. Brobanen baaret af Cantilever Værket.

kommer til at hvile paa Understøttelserne (Bropillerne). Cantilever Broen er i Virkeligheden baseret paa Konsolsystemet, idet der udgaar en Arm til hver Side i Form af en

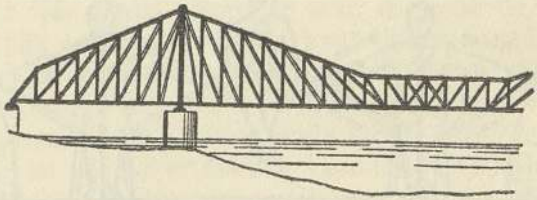


Fig. 69. Brobanen hængende i Cantilever Værket.

stiv Halvbue eller et Halvspand, ligesom ved en stiv Hængebro. De bedst kendte blandt Centilever Broerne er vel nok Quebec Broen og Forthbroen, som begge vil blive nærmere beskrevet senere hen.

II

En Brobyggers Opgaver er mange, og som Regel vil de altid være af forskellig Natur, alt afhængig af det enkelte Tilfældes Art. Hver enkelt Bro har saa at sige sine Ejendommeligheder, og det kan uden Overdrivelse siges, at der findes næppe to Broer, der er ens. Ved nærmere at betragte en Bros Bygning vil man da ogsaa hurtigt lægge Mærke til, at hver Bro har ikke alene i de rent overfladiske Konturer, men ogsaa i Detaljerne sine Ejendommeligheder. Tower Broen og Forth Broen, Menai Hængebro og Højbroen over

Tyne er alle Broer over Floder, men stærkt afvigende alligevel i Konstruktionen, da enhver af disse Broer er bygget for netop at svare til de lokale Forhold og deraf følgende særlige Fordringer, der stilles til den. Til Trods herfor er der dog ganske bestemte Principer for Planlæggelse og Konstruktion af hver enkelt Bro, Principer efter hvilke enhver Bro maa bygges, hvorledes dens endelige Udseende end maa blive. De første Brobyggere var ret vanskeligt stillede, da

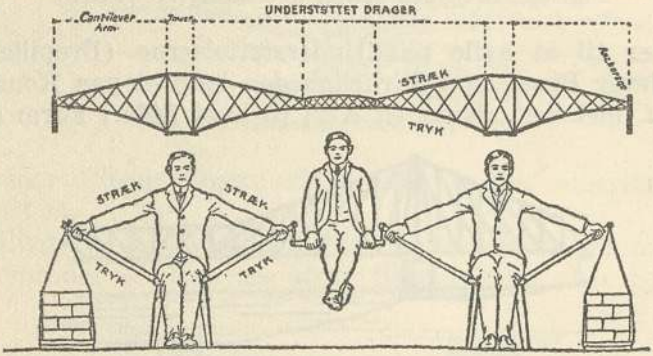


Fig. 70. Cantilever Princippet demonstreret.

de Materialer, der stod til deres Raadighed, var ret begrænsede. Indførelsen af Jærn og Staal — for ikke at nævne Ingeniørernes tiltagende Kundskabsfylde — gjorde det muligt at opnaa Resultater, som vilde have været utænkelige i de Tider, hvor man kun havde Sten og Tømmer til Raadighed. At Oldtidens Folk har været fortrolige med og har benyttet Bue- og Bjælkeprincipet ved deres Byggeforetagender, viser Pyramiderne og andre gamle Bygningsværker. Endnu den Dag i Dag benyttes Bueprincipet ved Brobygning, og Staaldrageren er i Virkeligheden kun en forbedret gammel Bjælke eller Bom. De Naturkræfter, gamle Broer kunde blive udsat for, vil ogsaa paavirke Nutidens Broer, hvilket har gjort, at Studiet af ældre Broer er af stor Betydning for Nutidens Ingeniører, da de Kræfter, der skal overvindes og modarbejdes, er de samme nu som den Gang.

III

Ved Brobygning maa man straks søge at blive klar over Naturen af den Byrde eller Belastning, Broen skal kunne bære og de deraf flydende Paavirkninger paa dens enkelte Dele. En Jærnbanebro, der skal passeres af Tog, hvor Ladningen er mere eller mindre koncentreret, skal bygges ganske anderledes end en Bro, der passeres af almindelige Vogne, Cyklister og Fodgængere, hvor Ladningen ikke er nær saa stor og mere jævnt fordelt. Selv Jærnbaneladninger kan være yderst forskelligt fordelt. Hvis der f. Eks. til Lokomotivet kun var koblet en enkelt stor Vogn med en Last af 100 Tons Bly, vilde denne Vægts Tryk være fordelt paa et forholdsvis lille Areal. Spreder man derimod de Hundrede Tons Bly paa 40 mindre Vogne, hver belastet med 2½ Tons, vil Trykket blive fordelt over et langt større Areal (længere Distance), og den resulterende Spænding eller Paavirkning vil blive formindsket i tilsvarende Grad. Bøjningspaavirkningen paa en Bjælke er faktisk i saa Tilfælde halv saa stor.

Naar en Træbjælke, der med hver Ende hviler paa en fast Understøttelse, bliver belastet med en Vægt, vil den naturligvis blive bøjet, og jo tungere Vægten er, desto større bliver Bøjningsmomentet. Denne Bøjning har to ganske bestemte, men vidt forskellige, Virkninger paa Bjælkens Fibre. De øverste Lags Fibre vil blive udsat for Sammentrykning, de nederste Lag for Strækning. Imellem disse to Lag findes den saakaldte »neutrale Akse«, der hverken udsættes for Sammentrykning eller Strækning (Fig. 71). Vi ser heraf, at jo længere Lagene (Fibrene) ligger fra den neutrale Akse, jo større bliver Paavirkningerne paa disse Lag. I meget store Bjælker eller Dragere, hvori der findes tilstrækkeligt Gods (Materiale) kan dette i og for sig være ret ligegyldigt, men unyttig Vægt er i saa Tilfælde anvendt. Skønt det ofte

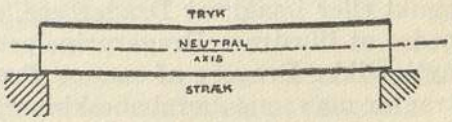


Fig. 71. Paavirkningerne i en Bjælke under Belastning.

kan være praktisk at benytte en massiv Drager af rektangulært Tværsnit, er det dog ikke sikkert, at man ad denne Vej faar den største Styrke i Forhold til den anvendte Vægt. Det er bedre at bruge Dragere, hvis Tykkelse paa Midten er forringet til Gunst for de Steder, hvor Sammentrykningen og Strækningen er størst, hvilket kan gøres enten ved at udhule Drageren eller forøge dens Gennemsnit i Bøjningsretningen eller Dybden. I Fig. 72 er vist en rektangulær Drager eller Bjælke, af hvilken en Del (A A) paa hver Side er fjernet og flyttet til Oversiden og Undersiden af Drageren.

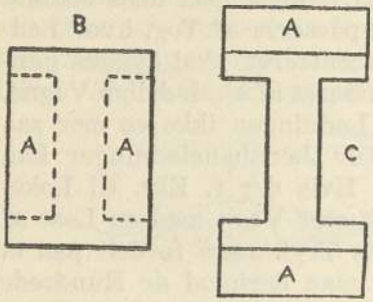


Fig. 72.

Skønt de to Dragere har nøjagtigt samme Tværsnitsareal, er dog Drageren til højre langt den stærkeste ovenfor Bøjning, da dens Materiale er mere effektivt fordelt. De to Stykker (A A) paa Over- og Undersiden i Figuren til højre kaldes »Flangerne«, medens det lodrette Forbindelsesstykke (C) kaldes »Kroppen« (Figuren viser i Virkeligheden en tænkt eller imaginær Dragertype, der kun er anført her for bedre at illustrere Dragerprincipet. I det praktiske Liv benyttes ikke Dragere af samme Tværsnit som vist her). Betragter man nøje Jærnbaneskinner, vil man se, at de i Tværsnit minder en Del om Brodragere. Meget store Dragere bygges op af Plader, og Styrken i Sideretningen forøges da ved at dele Kroppen i to Dele, der løber parallelle med hinanden nær ved Flangerne. Dragere af denne Type kaldes »Rør- eller »Kanaldragere«.

IV

En Bjælkes Styrke bestemmes mere af dens Dybde eller Højde end af dens Bredde. Hvis to Planker anbringes tværs over en Grøft, vil de, naar de stilles paa Højkant, kunne

bære større Belastning, end hvis de lægges fladt — ligegyldigt om de er af Træ eller Metal (Jærn og Staal) (Fig. 73—74). Det er netop af den Grund, at moderne Dragere i Praksis forsynes med Flanger i Top og Bund. I disse Flan-

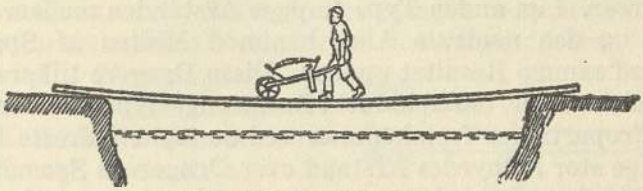


Fig. 73. En Plankebro.

ger koncentreres Metallet i Tværsnittet saa vidt muligt, saaledes at man uddrager den Fordel i Styrke og Modstandskraft, som disse Lag yder, fordi deres Afstand fra den neutrale Akse, kan gøres størst mulig. En Dragers farligste

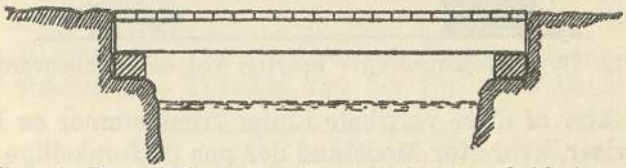


Fig. 74. Bro af Planker lagt paa Højkant og beklædt med Tværbrædder.

Punkt er Midten, hvis den ikke paa en eller anden Maade er understøttet i dette Punkt, men kun i Endepunkterne.

I Stedet for at gøre en Drager eller Bjælke lige stærk over dens hele Længde, kan man opnaa en Besparelse og

Fig. 75. Drager bygget af Jærnplader.

samme Virkning, hvis Bjælken er saaledes dannet, at Styrken vokser i samme Forhold som det Bøjningsmoment, den underkastes. Paa denne Maade bliver Bjælkens Modstandsevne konstant over hele dens Længde. En Drager kan bygges af sammennittede Metalplader, saaledes indlagt, at

dens Modstandskraft tiltager hen mod Midten af Spandet, ved dèr at anvende et større Antal Plader. To saadanne Dragere med mellemliggende Plader eller Barduner, understøttet af Bropiller eller Brostøtter, anvendes ofte til Jærnbanebroer. I en anden Type forøges Afstanden mellem Flangerne og den neutrale Akse henimod Midten af Spandet, hvorved samme Resultat opnaas. Disse Dragere tilhører den parabolske Type, ogsaa kaldet »Buestrengs«typen. De nødvendige Proportioner fremkommer ved at tegne lodrette Linier med lige stor indbyrdes Afstand over Dragerens Spændvidde. Disse Liniers Længder gøres proportionale med det Bøjnings- eller Spændingsmoment, som Bjælken paa det Punkt, hvorfra Linien udgaar, er udsat for. Ved at forene de øver-

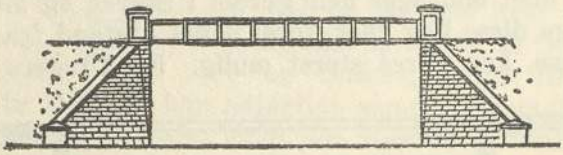


Fig. 76. Pladejærnsdrager benyttet ved en Jærnbanebro.

ste Punkter af disse vertikale Linier fremkommer en Kurve, der udviser, hvor stor Modstand der paa de forskellige Punkter skal fremskaffes for at modvirke Bøjningsmomentet. En Ingeniør kan saaledes næsten ved blot et Øjekast se, om en Bro er godt eller daarligt konstrueret, og af dens Konturer bedømme, hvilke Midler man har anvendt, for at den kan udholde de Spændinger, den er bestemt til at kunne taale (Fig. 84—87).

Af stor Betydning er ligeledes Spandet (Spændvidden eller Afstanden) mellem Bjælkens Støttepunkter; thi Bæreevnen varierer direkte med dette Maal. I denne Forbindelse skal man altid erindre, at Bæreevnen af en Bjælke eller Drager er omvendt proportional med dens Spændvidde. Dette vil simpelthen sige, at Bæreevnen formindskes til det halve, hvis Spændvidden bliver dobbelt saa stor, hvis Spændvidden forøges med en Tredjedel, bliver Bæreevnen to Tredjedele og saa fremdeles.

V

Ved en Bjælkes Bøjning er der ikke alene Tale om den Paavirkning, som Byrden udøver. Ved Støttepunkterne kommer der ogsaa en Strækning (eller maaske nærmere en Slags Forskydningsmoment), og denne maa Ingeniørerne ogsaa tage med i Beregningen. En Bjælkes Bæreevne afhænger til en vis Grad af den Maade, hvorpaa den er understøttet. En Bjælke, der kun er understøttet i den ene Ende, er underkastet fire Gange saa stor en Paavirkning som en Bjælke af samme Længde, der er understøttet i begge Ender. Vægten, der i det første Tilfælde hviler paa eet Støttepunkt, bliver i det andet Tilfælde fordelt paa to Punkter, og den Arm, hvorpaa den virker, nedsættes til den halve Længde.

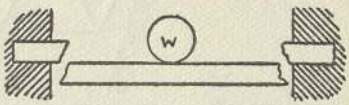


Fig. 77. Forskydningsmomentet ved Understøttelserne.

Af andre Spændinger, man maa tage Hensyn til, kan nævnes Vindens Tryk og om Vinteren Vægten af den faldne Sne. I sidstnævnte Tilfælde kan der for store Broer efter

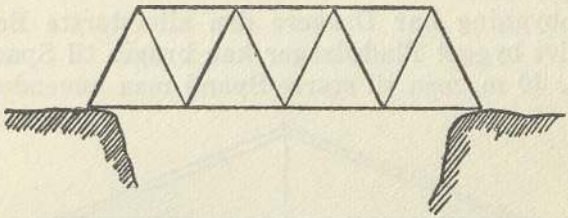


Fig. 78. Sammensat Trekantsdrager. De for Tryk udsatte Elementer er trukket federe op.

voldsomme Snefald meget let blive Tale om et forøget Tryk paa flere Hundrede Tons.

Hvis vi forener tre Meccano-Stykker til en Trekant, fremkommer den eneste Figur, som ikke kan bringes ud af sin oprindelige Skikkelse, uden at Længden eller Stillingen af en af dens Sider forandres. Det Areal, som Stykkerne indeslutter, kan kun forandres ved at brække dem over eller skille dem ud fra hverandre. Denne Figur — som man undertiden

giver Benævnelsen »stabil«, — besidder stor Styrke i de Bygningsværker, hvor den anvendes paa passende Maade. Dette kan bevises paa en nem Maade ved at forbinde fire Stykker

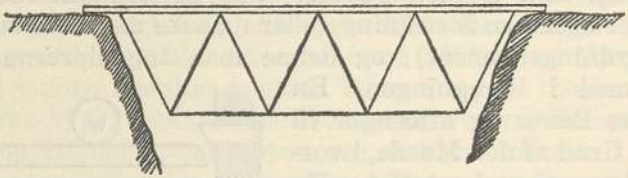


Fig. 79. Sammensat Trekantsdrager med Gitteret under Bjælken.

til en Firkant. Denne kan meget let gøres fladere paa den ene eller den anden Led eller gøres rektangulær uden at gaa i Stykker. Forbindes nu Hjørnerne med Diagonaltraade, vil Firkanten være i Stand til at modstaa enhver Paavirkning, som ikke strækker eller bryder Diagonaltraadene eller river Sidestykkerne itu.

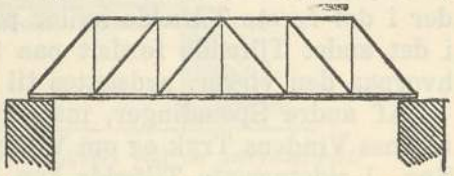


Fig. 80. Howe Drager.

I Brobygning har Dragere den allerstørste Betydning. En massivt bygget Pladedrager kan bruges til Spændvidder under ca. 40 m, men til større Spand maa anvendes Gitter-

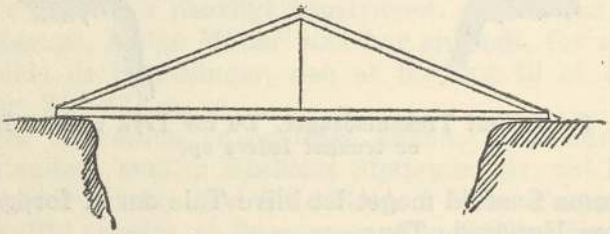
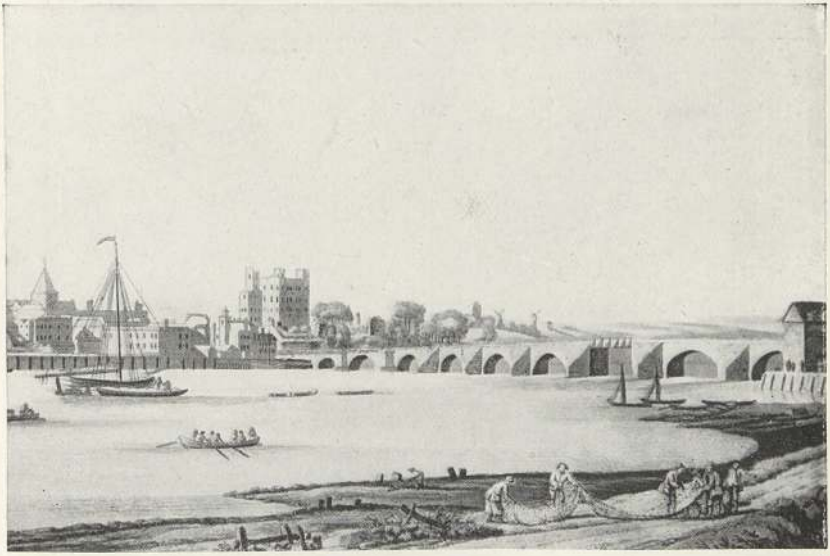


Fig. 81. Trekantet Spærværksform.

dragere eller aabne, sammenbyggede Dragere (Hængværk), som giver betydelig større Styke i Forhold til Vægten. I Gitterdragere anvendes det ovennævnte Trekantprincip, som giver større Stivhed og forøger Modstandsevnen. Den øverste og underste Del af Hængværket kaldes »Strenge«,

(a) En af de ældste Broer, der findes. Gammel Stenbro over Dartfloden i Devon.
(Foto. Ellison Hawks.)



(b) En Bro fra Middelalderen i Rochester (1795).
(Efter et gammelt Stik.)

Forth Broen. Et pragtfuldt Eksempel paa Anvendelse af Cantilever-Princippet.

de opretstaaende Bjælker »Støtter«, de skraatliggende Bjælker, som skal tage imod Sammentrykningen, »Strøbere«, og Bjælkerne, der udsættes for Strækning, »Baandene«. De enkelte Dele af en Drager skal kunne modstaa eller modarbejde Bøjningen af den samlede Drager, idet Spændingen mellem Flangerne optages af Strøbere og Baand, som repræsenterer den mere eller mindre massive »Krop«. Den samlede Dragers Struktur skulde derfor nærmest forblive uforandret under alle normale Paavirkninger. Under Belastning er Strøberne almindeligvis under Sammentrykning, og Baandene under Strækning. Gitterdragere kan ogsaa anvendes i omvendt Form (»Gitteret« under Bjælken), og i saa Tilfælde skifter Paavirkningerne naturligvis Karakter (Fig. 79).

Den simpleste Form for Bjælkekonstruktion eller Gitterdrager er den trekantede Spærværksform, der anvendes i saa godt som alle Tagkonstruktioner. Den nedadvendte Trekantsform anvendes ved mindre Broer og som Underbygning ved Jærnbanevogne.

Trekantsformen anvendes i næsten alle Gitterkonstruktioner, ganske vist paa noget forskellig Maade, men dog altid følgende samme Princip. Saaledes er det i Amerika saa ofte anvendte Dragersystem »Fink« (Fig. 82) ikke andet end et videre udviklet Trekantssystem. I Warren Drageren er Gitteret delt i ligesidede Trekanter, idet Siderne indtræder som Strøbere og Baand, medens Bjælken paa Oversiden altid er under Sammentrykning og paa Undersiden under Strækning. Warrens Drager er den typiske Gitterdrager. En Sammensætning af to Warrens Dragere kaldes en »Dobbelt« Gitterdrager (Fig. 83).

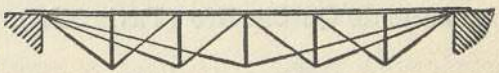


Fig. 82. En Fink Drager.

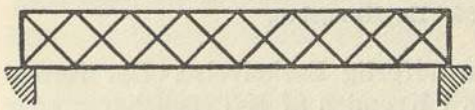


Fig. 83. En Dobbelt-Gitter Drager.

En Buestrengs-Drager (Fig. 84) er i Virkeligheden kun en Bue, hvor den underliggende lige Bjælke forhindrer

Buens Endepunkter i at spredes. En Hængebro adskiller sig fra en Buebro derved, at Trykket paa de enkelte Dele og i Støttepunkterne ved Enden vil søge at bøje Buen sammen,

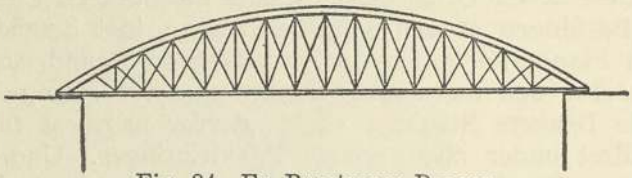


Fig. 84. En Buestrengs-Drager.

medens det modsatte er Tilfældet ved Hængebroen. En Hængebro er jo i Virkeligheden kun en omvendt Buebro, hvor Buen er underkastet Strækning, medens den ved Buebroen er underkastet Sammentrykning.

VI

En anden ret vigtig Form for Dragere er den saakaldte K-Drager, der har faaet Navn af sin Lighed med Bogstavet K. Denne Form blev brugt første Gang ved Konstruktionen af den berømte Quebec Bro (Tavle XLI), af hvilken der i næste

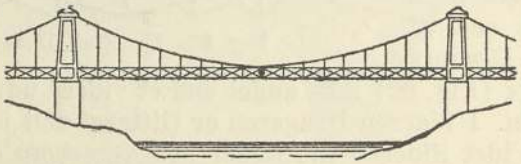


Fig. 85. En Hængebro.

Kapitel vil blive givet en udførlig Beskrivelse. Der formenes, at Bjælkefordelingen i Kroppen af K-Typen har mange Fordele fremfor Warren Drageren og den almindelige Gitterdrager. Disse mange Fordele er hovedsagelig af ren praktisk Art, men paa den anden Side kan det ikke nægtes, at Paavirkningerne paa de enkelte Dele af Kroppen for den samme Byrde er mindst ved K.-Dragerne. Hovedfaget eller Hovedfeltet er ret kort og begrænset, og Bunddrageren i

hvert Felt faar hermed en solid Understøttelse. Ingen enkelt Del eller Bjælke behøver at bøjes eller støbes i særlig Form for bedst at kunne modstaa Paavirkningen, og Forbindelserne mellem de enkelte Dele er yderst simple og nemme at etablere. Den første Fordel med K-Dragerne er

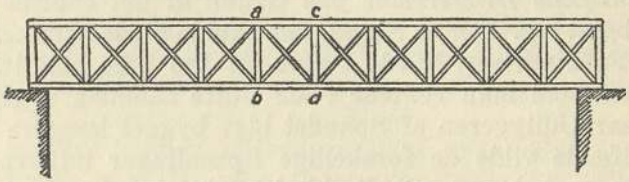


Fig. 86. Dobbelt-Gitter Drager.

vel nok imidlertid, at K'et samles ved Hjælp af ganske enkle og usammensatte Trekantkonstruktioner, hvorfor det under selve Bygningen er unødvendigt at bruge midlertidige eller »blinde« Understøttelser af de enkelte Dele, indtil selve Hoveddelene kan anbringes, hvilket ofte kan være nødvendigt

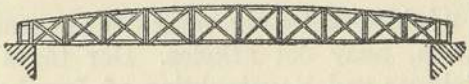


Fig. 87. Kombineret Dobbelt-Gitter- og Buestrengsdrager.

ved andre Dragere. Netop af denne Grund blev K-Drageren foretrukket ved Bygningen af Quebec Broen, da det her mere end mange andre Steder gjaldt om, at Arbejdet kunde fremmes mest muligt.

Af ret stor Vigtighed var det ogsaa, at man nærede den Anskuelse, at det ikke vilde være nødvendigt ved K-Bjælkerne at lade de sammenstødende Led ved Enden af Trykbjælkerne staa aabne og unittede, indtil der blev tilføjet en Dødvægt efterhaanden som Konstruktionen skred fremad, hvilket undertiden havde vist sig nødvendig ved andre Dragerkonstruktioner. Ved Bygningen af Quebec Broen viste denne Anskuelse sig da ogsaa at være rigtig, idet alle de til hverandre stødende Dele af de sammentrykkede Bjælker meget let blev bragt sammen og nittede paa Plads, uden at det var nødvendig at tilføje nogen Dødvægt.

Som vi inden længe skal se, skete der et alvorligt Uheld med Quebec Broen, inden den var færdigbygget. Uden nærmere at komme ind paa dette Uheld her, skal vi bemærke, at Ingeniørerne fik den Opfattelse, at den begyndende Aarsag til Uheldet ved den første Bro hidrørte fra, at en Stang i Landarmens Dragerflade paa Grund af det enorme Tryk havde bøjet sig. Denne Stang, der skulde støde sammen med andre Forbindelser, havde endnu en Del ikke helt lukkede Led, men som man ventede vilde slutte sammen efterhaanden, naar Udliggeren af Spandet blev bygget længere ud. I saa Tilfælde vilde de forskellige Spændinger udjævne Afvigelsen, saaledes at alle Forbindelsesled kunde nittes sammen. Før end dette skete, og alle Sammenføjninger var helt »lukkede«, har Trykket imidlertid været for voldsomt paa den Del af Pladeafsnittet, der allerede bar, og Følgen var, at Broen styrtede sammen.

VII

Som vi ved, udvider Metal sig, naar det opvarmes, og trækker sig sammen, naar det afkøles. Der tages Hensyn til disse Forandringer ved Konstruktion af Jærnbanespor, idet der lades et lille Rum aabent mellem Enderne af Skinnerne paa de Steder, hvor de boltes sammen. Saafremt denne Forsigtighedsregel ikke blev taget, vilde hele Skinnelængder blive trykket ud af Form, og Togulykker med Tab af Menneskeliv vilde blive Følgen. Forandringer i Temperaturen paavirker i høj Grad Bromaterialet, og hvis der f. Eks. ikke blev taget Hensyn til en Bros Længdeforøgelse i varmt Vejr, vilde den blive »bukket« eller bøjet og en Katastrofe vilde blive Følgen. I Drager- og Bjælkebroer kan de fire Ender glide frem og tilbage paa Bropillerne. I Bue- og Hængebroer, hvis Spand er uforanderlige, er der anbragt en Slags Hængsel i Midten, som tillader Broen en opadgaaende Bevægelse*). Denne Temperaturpaavirkning paa Broer fik vi

*) Som bekendt udvidede Langebro i København sig i den meget varme Sommer 1924 med 2 cm, hvorfor der maatte files af Enderne, for at den kunde svinge helt ind paa Plads.

Overs. Anm.

et slaaende Eksempel paa, da Broen over Zambesi-Faldene ved Victoria River (a. Tavle XXXV) nærmede sig sin Fuldendelse, og der kun manglede Befæstelsen af Centraldrageren. Da den ved Middagstid var hejst i Stilling, viste den sig at være 1¼ cm for lang. Da Natten indtraf, og Temperaturen faldt, følte Ingeniørerne en betydelig Lettelse ved at opdage, at saavel Broen som Drageren havde trukket sig sammen, saaledes at det nu ikke frembød nogen Vanskelighed at faa Drageren rettet paa Plads.

Et mindre heldigt Tilfælde indtraf under Bygningen af Hængebroen over Niagara Gorge (b. Tavle XXXV). Her skulde Temperatursvingningernes Virkninger optages af en Glidemekanisme; men der indtraf det Uheld, at denne blev tilstoppet med Cement. Følgen var, at Udvidelsen blev saa stor, at de massive Taarne eller Bropiller blev bragt ud af Stilling, saaledes at det var nødvendigt at bygge nye Taarne. Ganske tilfældigt gav dette Uheld Anledning til, at Ingeniørerne præsterede et særdeles smukt Arbejde, idet de nemlig løftede hele Broen ved Hjælp af hydrauliske Presser.

KAPITEL X

BEKENDTE BROER

I

FØR Broer med bevægelige Sektioner (f. Eks. Sving- og Klapbroer) kom frem, blev der bygget mange vidunderlige Broer af den faste eller stive Type hele Verden over. De fleste af disse Broer er byggede som Jærnbanebroer, og da mange af dem betegner vigtige og store Fremskridt i Ingeniørkunsten, kan det have sin Interesse at give nogle af de vigtigste og bedst kendte en nærmere Omtale. To af de mest kendte Broer fører over Menai Strædet, den ene bygget for Hundrede Aar, den anden for over halvfjers Aar siden. Disse Broer, der blev planlagt og bygget af to store Ingeniører, henholdsvis Telford og Stephenson, er i Brug den Dag i Dag, og det ser ud, som de med det Formaal for Øje, hvortil de er bygget, kan gøre god Fyldest mange Aar endnu. Før disse Broers Tid var en Rejse fra England til Irland en meget omstændelig Sag. Vejene i Wales var i den Grad elendige, at de omtalte Rejsende foretrak at sejle fra Bristol eller Liverpool i Stedet for fra Holyhead, skønt sidstnævnte Havn ligger betydelig nærmere ved Irland end de førstnævnte. Da Skibene i forrige Aarhundredes Begyndelse var alt andet end rummelige og bekvemme, havde den Rejsende Valget mellem to Onder — enten den længere Sørejse fra Liverpool eller Bristol eller at skrumple paa Wales' usle Veje og tage den derefter følgende kortere Sørejse fra Holyhead.

I 1810 blev den berømte Ingeniør Thomas Telford engageret til at omlægge Vejene mellem Shrewsbury og Holyhead, og saa heldigt løste han denne Opgave ved Klippesprængnin-

ger, Udgravninger og andre Fremgangsmaader, at han forvandlede denne vilde Klippestrækning til brede og prægtige Veje, som endnu den Dag i Dag hører til de bedste i England. Skønt Vejene saaledes nu var i god Orden, maatte Rejsende til Holyhead dog stadig over Menai Strædet til Anglesea, og i daarligt Vejr eller ved Højvandstider kunde det være et ret besværligt Foretagende. Tilbage stod endda yderligere Passagen paa Angleseas Veje, der om muligt var endnu slettere end Vejene i Wales.

Telford, der under sit Ophold i Wales blev fuldt fortrolig med dette uheldige Forhold, besluttede at bygge en Bro tværs over Strædet. Hans oprindelige Plan var at bygge en Smedejærns Buebro med en Spændvidde af 152 m, men dette maatte opgives af Hensyn til den store Trafik i Strædet. Til Slut blev det da bestemt at »spænde« over Strædet ved Hjælp af en Hængebro, som laa mindst 30 m over Vandfladen, saaledes at Skibe af alle Typer uhindret kunde passere under den. Paa det til Broslagningen valgte Sted var Strædet 244 m bredt, medens Afstanden mellem de to Broender var godt 500 m.

Telfords Bro skulde have et Hovedspand i Hængebroform paa 167½ m og syv Buer hver paa 16 m. Skønt et Spand af Udstrækning som Hovedspandet hidtil ikke havde været kendt indenfor Brobygningens Historie, var Telford dog ikke i Tvivl om, at det med Held kunde udføres. Arbejdet blev paabegyndt i 1819 med Fundamentering af de to Hovedtaarne, hvert 45½ m højt. Taarnene var bygget af Sten, der sammenholdtes med Jærnbaand for at kunne modstaa Sidepaavirkninger. Broen skulde hænge i mægtige, svære Kæder, som førtes over fire Støbejærnssadler paa Toppen af Taarnene. Sadlerne var anbragt paa Ruller, for at Kæderne frit kunde bevæge sig af Hensyn til Temperatursvingningerne. Fra Taarnene førtes Kæderne ned til Kysten, hvor deres Ender forankredes særligt solidt, hvilket er af meget væsentlig Betydning.

Telford borede i dette Øjemed 4 parallele Tunneler ca. 20 m skraat ned i Klippegrunden og udborede tillige et Tunnelkammer tværs gennem Enderne af de 4 Tunneler. I dette

Kammer indførtes svære Forankringer, der støttede sig mod Klippevæggen mellem Tunnelrørene, saa at Kæderne efter at være befæstede til Forankringerne ikke kunde rive disse løs uden at trække et stort Stykke af Klippen med.

De 16 Hængekæder, der var lavet af 1¼ cm Jærnled, indeholdt ialt ca. 33,000 forskellige Stykker Jærn og vejede tilsammen 2200 Tons. Længden fra den ene Forankringsplads tværs over til den anden var 520 m, Kørevejens Længde ca. 300 m og Bredden 9 m, saaledes at der blev Plads til to Kørebaner og en Fodsti. Broen, der kostede ca. 2½ Million Kroner, blev endelig helt færdig og kunde aabnes den 30te Januar 1826, ved hvilken Lejlighed der samledes en stor Menneskemængde for at se en Diligence køre over som første Vogn.

I Forbigaaende skal her nævnes, at Telford samtidig byggede en Hængebro tværs over Cornway River. Denne Bro havde et Midterspand paa 100 m, en Bredde af knapt 10 m, blev aabnet 1826 og er stadig i Brug.

II

Som vi nu har set, gjorde Telfords Hængebro over Menai Strædet det muligt, at Vogntrafik fra Fastlandet kunde føres over til Øen Anglesea. I de nærmeste Aar efter hans Værks Fuldførelse var Dampmaskinen imidlertid i hurtig Udvikling. Stockton—Darlington Jærnbanelinien, der var blevet aabnet i 1825, efterfulgtes snart (1830) af en Liverpool—Manchester Linie. Otte Aar senere foreslog George Stephenson at anlægge en Jærnbane langs Kysten af North Wales til Holyhead. Skønt det var hans Hensigt at benytte begge Telfords Broer (over Menai og Cornway), gav han dog Ordre til for Menai-Broens Vedkommende at frakoble Lokomotivet og lade Heste trække Vognstammen over Broen. Ved Ankomsten til Angleseas Kyst blev Vognene koblede til en anden Maskine, hvorpaa Rejsen til Holyhead kunde fortsættes. Grunden til dette Arrangement var, at Stephenson fryg-

tede for at Lokomotivet skulde sætte Broen i for voldsomme Svingninger.

Stephensons Søn, Robert, der efter Faderen havde overtaget Jærnbanens Konstruktion, besluttede ikke at følge sin Faders Ide, hvad Benyttelsen af de allerede eksisterende Broer angik, men bestemte sig til at bygge særlige Jærnbanebroer over Cornway og Menai. Med dette Formaal for Øje udvalgte han til den ny Menai Bro en Plads ca. 1,5 Kilometer syd for Telfords Bro. Skønt Strædet her var 275 m bredt, valgte han uden Tvivl denne Beliggenhed under Paavirkning af, at der paa dette Sted midt i Strømmen laa en enlig Klippe — Britannia Rock —, som han mente kunde blive nyttig som en Slags Fundament for et Midtertaarn. Hans første Udkast til en Buebro med to 137 m lange Hovedspand blev afvist af Admiralitetet, og han blev saaledes tvunget til at falde tilbage paa en eller anden Form af stift Materiale eller Gods. Dette førte til, at han undfangede den glimrende Idé, at Jærnrør, der blev bygget tilstrækkeligt svære, vilde egne sig som Gennemkørsel for Tog. Han tog straks fat paa en Række udtømmende Forsøg i den Hensigt at finde den mest passende Form for et saadant Rør, og den Maade, hvorpaa Materialet (Metallet) skulde fordeles. Der blev lavet en Række Modeller i $^1/_6$ Størrelse, og efter at disse var prøvede, kom han tilsidst til det Resultat, at et Rør af rektangulær Tværsnit egnede sig betydelig bedre end Rør af elleptisk eller cirkulært Tværsnit.

Som Resultat af Forsøgene byggedes der to store Rør til Hovedspand, hvert enkelt 140 m langt, ɔ: hvis et af Rørene blev stillet paa Enden, vilde det rage lige saa højt op, som hvis Rundetaarn blev sat ovenpaa Københavns Raadhustaarn. Bredden var 4,5 m og Højden 9 m. Fire Rør, hver paa 70 m Længde, blev benyttet til de to Kystspand. Rørene blev bygget af 18—22 mm tykke Kedelplader, der nittedes sammen og indvendig afstivedes med Ribber og Vinkeljærn samt Trekantplader i Hjørnerne for at Tværsnitsformen ikke skulde blive forrykket. Kystrørene blev bygget paa deres fremtidige Plads, understøttet af midlertidige Stilladser, medens Hovedspandene blev bygget paa Platforme inde paa

Stranden, hvorfra de efter Bestemmelsen skulde flaades ud mellem Bropillerne og derefter ved hydraulisk Kraft løftes i Stilling.

Ikke mindre end 1500 Arbejdere var medvirkende ved Broens Bygning, og Strædets Bredder har sikkert ydet et livligt, støjende og myretravlt Skue. Murerne arbejdede paa at nedlægge Fundamenter til de tre Bropiller, to paa Stranden og en paa Britannia Rock, Tømrerne forfærdigede Værksteder og Huse, Spænd af Heste slæbte Læs efter Læs af Materialer paa Plads for Arbejderne, der byggede Dæmninger etc. etc. Strædet selv vidnede ogsaa om Travlheden, og Skib efter Skib bragte den ene Ladning efter den anden af Tømmer og Sten. Til det 70 m høje Britannia Taarn blev der alene anvendt 4500 m³ »Anglesea Marmor« og et lignende Rumfang Kalksten, og de to Landtaarne forlangte endda større Kvanta.

III

Imidlertid skred Forfærdigelsen af Rørene frem med stor Hast. Arbejdets Storslaaethed faar vi et Begreb om ved at høre, at der anvendtes 2,000,000 Nitnagler — hver 10 cm lang og med en Totalvægt af 900 Tons — til at samle Rørenes Plader. Som allerede nævnt byggedes de to Hovedspand inde paa Stranden, og da det første var færdigt, sprængtes der ved begge dets Ender Lejer ind i Klippen, saaledes at fire uhyre store Pontoner kunde flyde ind underneden. Disse Pontoner kunde bære en samlet Vægt paa 3200 Tons, eller 1400 Tons mere end Rørene vejede. Der fandtes vertikale Render eller Skruer i Taarnenes eller Bropillernes Murværk, saaledes at Rørene kunde faa Plads til at blive hejst op. Højt oppe paa Pillerne, ca. 10 m over den Højde, Spændene skulde anbringes i, fandtes kraftige Vandtrykspressere, understøttet af Jærndragere. Hver af disse Pressere, der var i Stand til at løfte 2620 Tons, havde to Cylindre og vejede 16 Tons. Cylindrene var 2,7 m lange, 1,5 m i Diameter og havde en Slaglængde af 1,8 m i vertikal Retning. Løftningen foreto-

ges ved Hjælp af Kæder med særlige Griberedskaber, der hindrede Byrden i at glide tilbage igen. Kædernes Længde var 44 m, og de vejede 25 Tons.

Den 19de Juni 1849 skulde Rør Nr. 1 bringes paa Plads, hvilket i høj Grad vanskeliggjordes af den stærke, forbiløbende Strøm. For at lette Arbejdet blev svære Tove ført fra Pontonerne ind til Spil paa Kysten, og i Overværelse af en talrig Menneskemængde begyndte nu Pontonerne paa Grund af det indstrømmende Tidevand at løfte Røret, og hele Systemet svingede derefter ud i Strømmen for af denne langsomt at blive ført ned mellem Pillerne. Strømmen var imidlertid saa stærk, at Ledetovene strammedes meget stærkt, hvorved et af Spillene blev fuldstændig revet løs fra sit Fundament. Situationen var et Øjeblik kritisk. Manden ved det løsrevne Spil raabte imidlertid til Publikum, at de skulde tage fat i Tovet fra Spillet, og snart deltog Tusinder i den spændende Kamp. Folkets Næver vandt, og Røret gled til Slut ind i den det tiltænkte Position. Som Bevis paa, med hvilken Nøjagtighed saavel Beregningerne som selve Arbejdet var udført, tjener, at Røret, skønt det som nævnt havde en Længde af 140 m, passede med 2 cm Nøjagtighed i Længden ind i de før omtalte Render i Murværket.

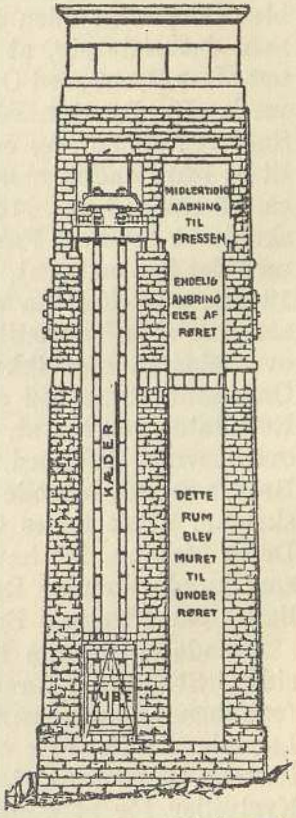


Fig. 88. Et af Britannia Broens Taarne, med de to Render til Ophejsning af Rørene. Til venstre ses Pressen, Kæderne og nederst Røret.

Den næste Opgave var at løfte Røret op til dets endelige Stilling i 30 m Højde. Løftekæderne fra Vandtryks-presserne blev fastgjort til Røret, og Vand af uhyre højt Tryk blev af Dampmaskiner pumpet ind i Presserne. Langsomt

totnede Kæderne, Trækket blev større og større, og tilsidst begyndte det store Rør at løfte sig. Efterhaanden som det ved hvert Stempelslag kom højere og højere op, blev Murværket i Skurerne eller Renderne ført tæt op under det. Denne Fremgangsmaade, som Stephenson strengt holdt paa, blev ikke fulgt uden en Del Indvendinger fra andre Sider; men det viste sig, at Stephenson havde Ret i at følge saa tæt efter Røret med Opbygningen af det underliggende Murværk. Da Røret nemlig havde naaet en Højde af en halv Snes Meter, sprang en af Presserne, der dog var beregnet til at bære endnu større Vægte. Følgen var, at Røret faldt ca. 18 cm ned paa Murstensunderlaget. Ved første Øjekast skulde et saadant Fald synes at være af ringe Betydning, men det Stødmoment, der opstod ved, at 900 Tons faldt kun 18 cm, var dog saa enormt, at solide Støbninger krøllede sammen som Tændstikæsker. Røret selv blev ogsaa en Del overbelastet, men ikke alvorligt, og dog forhøjede Uheldet Omkostningerne ved Arbejdet med over 100,000 Kr. Hvad Resultatet var blevet, hvis Stephenson ikke havde forudset ovennævnte Mulighed, kan vi bedst tænke os ved at læse et Brev, som den ledende Ingeniør, Clark, skrev til ham. Clark skriver: »Tak Deres Gud, at De har været saa bestemt i Deres Mening, for havde der ikke været en Understøttelse, som kunde standse Røret, da det faldt, vilde det nu have ligget paa Strædets Bund.«

Baade det første Hovedrør og de tre følgende kom til sidst i Stilling og forenedes nu saaledes, at der dannedes to fortløbende, hule, parallelle Dragere, der hver havde en Længde af 458 m og vejede 5000 Tons. Rørene var fast befæstede til Britanniataarnet, men løb paa Ruller paa de to Kystpiller for at kunne udvide sig og trække sig sammen ved Temperaturforandringer. Den 5. Marts 1850 blev Broen underkastet en streng Belastningsprøve ved Passage af 3 sammenkoblede Lokomotiver og 24 Vogne fyldte med Kul. Til Slut konstateredes det, at Broen, da den passeredes med en Fart af 56 km i Timen af et meget tungt Tog belastet med adskillige Hundrede Tons, kun gav sig 1¼ cm, hvilket

kun er $^1/_{25}$ af den Svingning, der kan tillades, uden at der opstaar Fare.

Stephensons store Bygværk er stadig i Brug, trods den store Stigning i Vægt baade hvad moderne Lokomotiver og det rullende Materiel angaar. »Britanniabroen«, skriver Dr. Samuel Smiles, »er et af Aarhundredets mest bemærkelsesværdige Monumenter for Foretagsomhed og Dygtighed. Robert Stephenson var den ledende Aand i Foretagendet. Ham tilkommer Æren for at have valgt den bedste Form for Materialer, der svarede til Formaalet, og for at have valgt de rette Mænd til at føre hans Idéer ud i Livet. Stephenson selv førte Tilsyn, kontrollerede og prøvede nøje hver enkelt Ting. Men uden det forbedrede Værktøj, Arbejdernes og Mekanikernes Dygtighed til at bruge det med størst mulig Fordel, uden Dampmaskinens stigende Kraft, uden de sidste Forbedringer i Jærnkonstruktion, som gjorde det muligt at valse og smede Plader og Stænger af hidtil uanet Størrelse — uden alt dette var Britanniabroen ikke blevet bygget. Denne er saaledes ikke et Produkt af Geni og Lokomotiver alene, men et samlet Produkt af den høje Standard, som mekaniske Arbejder var naaet til i den engelske Nation.«

IV

Robert Stephenson medvirkede ogsaa ved Bygningen af den bekendte Great Victoria Jubilee Bro, der fører over St. Lawrence Floden i Canada. Paa det Tidspunkt, da den oprindelige Bro blev bygget (1860), blev den betragtet som Verdens ottende Vidunder, og den er stadig en af Jordens længste Broer. De store Vanskeligheder, der blev overvundet under dens Bygning, er et nyt Bevis paa, hvad Resoluthed og Udholdenhed betyder under Udførelse af Ingeniørarbejder.

Indtil Midten af forrige Aarhundrede var den største Del af Canada isoleret fra de østlige Provinser og de forenede Stater ved St. Lawrence Floden, over hvilken ingen Broer fandtes fra Niagara til Atlanterhavskysten, en Strækning

paa 1440 km. Forholdene vilde have været endnu mere utaalelige, hvis ikke Floden havde været tillagt ca. 6 Maaneder af Aaret og saaledes været nogenlunde farbar indenfor dette Tidsrum. Efterhaanden som Befolkningen tiltog, voksede imidlertid ogsaa Kravet om en mere stadig og brugbar Forbindelse over Floden, saaledes at Grand Trunk Jærnbanelinien, der hidtil ikke havde kunnet forlænges mod Nord paa Grund af Floden, kunde blive ført videre. Ingeniør Serrell fra New York foretog de nødvendige Opmaalinger og forberedte Anlægget af en Jærnbanebro efter Hængebrosystemet. Broen skulde føres over Floden nær det Sted, hvor den nuværende Quebec Bro, som senere vil blive omtalt, ligger. Hvad enten nu det var de store Omkostninger (ca. 15 Mill. Kr.), der blev betragtet som værende uoverkommelige, eller det var Mangel paa Mod fra Ingeniørens Side, er uvist, men i hvert Tilfælde blev Sagen standset, og den første Bro over St. Lawrence blev bygget ved Montreal.

I 1852 anmodede den canadiske Regering et engelsk Entreprenørfirma om at afgive Skøn om Mulighederne for at bygge Broer tværs over Floden. N. A. Ross rejste til Canada og anbefalede Bygningen af en Bro lige ovenfor Montreal. Hans Plan var, at Broen skulde konstrueres i Lighed med Stephensons Britanniabro, og af den Grund blev Stephenson taget med paa Raad, hvorfor han aflagde Besøg i Canada i 1853 for om muligt at billige det udsete Sted. Floden var paa det valgte Punkt 2,8 km bred, og Meningen var at benytte ikke mindre end 24 Spand, hver med en Spændvidde af 74 m Længde, idet Hovedspandet dog skulde være ca. 100 m langt. Højden over Vandfladen skulde ved Flodbredden være ca. 11 m for derefter at vokse under en Stigning af 1 til 30, indtil den under Hovedspandet havde naaet 18 m, hvilket blev anset for tilstrækkelig til Skibenes fri Passage.

Skønt Bygningen af saa stor en Bro i sig selv var et Foretagende værdigt nok for de deltagende Ingeniører, var dog Vanskelighederne under Konstruktionen saa store, at dette Arbejde i Rang kan kappes med flere af de største, Ingeniører hidtil har udført. For det første løber Strømmen

i St. Lawrence meget stærkt, ved Højvande 11—15 km i Timen, og for det andet lægger Fjorden til om Vinteren, hvorfor Isen ved Tøbrud bliver presset nedad Floden under stærke Skruninger. Den »pløjer« sig Vej langs Flodbredderne og hober sig op til Højder af 9—10 m, naar den møder midtfarvands Hindringer. Heller ikke Sommeren er uden visse Besværligheder, thi ved Quebec findes der mange travlt

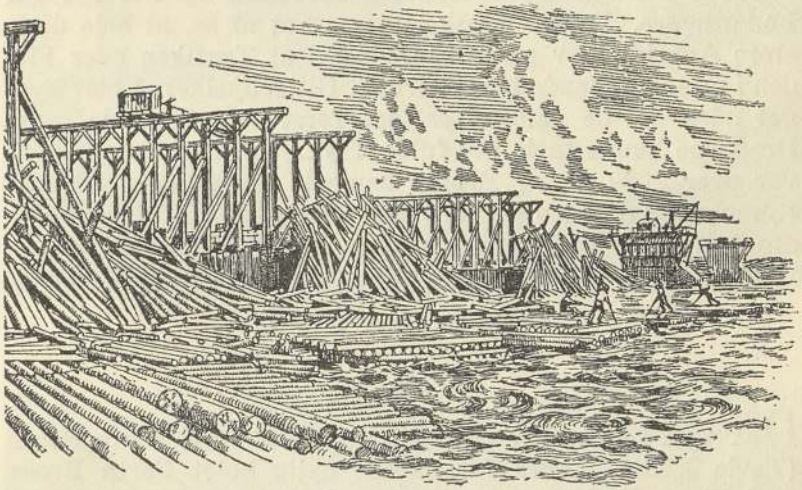


Fig. 89. Tømmer, der kolliderer med de mere eller mindre fuldførte Bropiller.

beskæftigede Savmøller, og til disse Møller bliver Træstammerne »flaadede« ned ad Floden, sammenkoblede til umaadelig store Flaader. — Selv Bygningen af Bropillerne i den stærke Strøm var et besværligt Arbejde. Disse Isskruninger og de store Tømmerflaader gav Anledning til ustandselige Kollisioner, og hele Arbejdet var i den Grad vanskeligt, at det kun kunde udføres af en Ingeniør, der ejede en usvigelig Udholdenhed og en ubøjelig Beslutsomhed, saaledes som netop Stephenson gjorde. Trods alle Besværligheder — saa som Uro blandt Arbejderne, Isskader og finansielle Vanskeligheder foraarsaget ved Krimkrigens Udbrud — fortsatte Stephenson med sejg Udholdenhed, indtil Bygningen ende-

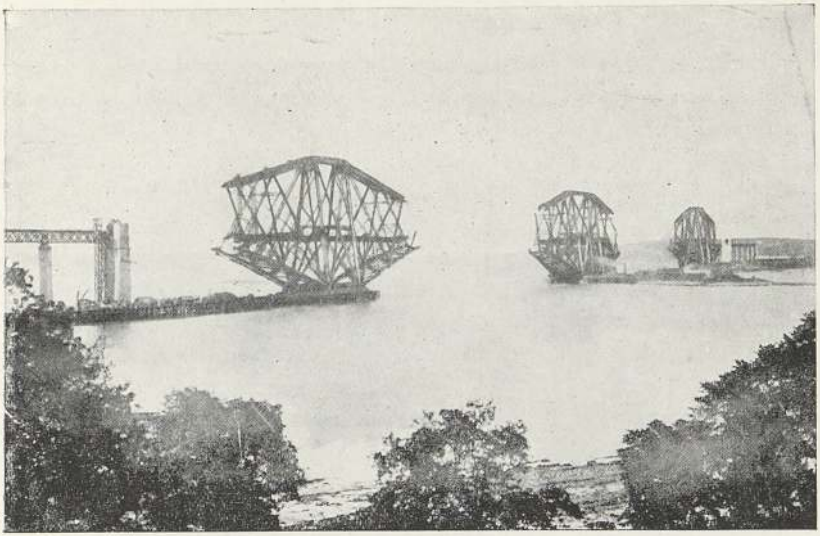
lig var fuldført, og Broen officielt kunde indvies den 25. August 1860 af Prinsen af Wales.

I 1897—98 blev Broen ombygget, da et Enkeltspor ikke længere kunde tilfredsstille den stadig voksende Trafik. Bropillerne forlængedes, og Stephensons store Jærnrør blev erstattet af Staaldragere. Den nye Bro, der fik Navnet Victoria Jubilee Bro, blev paabegyndt i Oktober 1897 og havde dobbelte Jærnbanespor foruden Kørebane og Fortove for Fodgængere. Det er ganske interessant at se, at hele dette store Arbejde blev gennemført, uden at Trafiken over Floden i mindste Maade blev afbrudt. Gitterbjælkerne blev bygget uden om de gamle Rør, der først blev fjernede, naar Dragerne kunde taale det fulde Tryk. Rørenes Totallængde var over 2000 m, og Broens samlede Længde ca. $2^{3}/_{4}$ km. Rørenes Vægt var over 9000 Tons, og 1,500,000 Nagler blev anvendt til deres Sammennitning. Til Hjælpearbejder anvendtes alene 30,000 m^3 Murværk og ca. 70,000 m^3 Tømmer.

V

Den mest kendte Bro i England er uden Tvivl Forth Broen (Tavle XXX). Indtil for ganske nylig holdt Forth Broen med Glans Pladsen, som den Bro i Verden, der havde det længste Spand, men den har i saa Henseende i 1917 maattet vige Pladsen for Quebec Broen, som senere skal blive udførligt omtalt.

En Jærnbanerejse mellem Edinburgh og Burntisland — en direkte Afstand af ca. 11 km — foregik, før Forth Broen blev bygget, over en Strækning af ca. 110 km. Før Forth Broen kunde konstrueres, maatte Ingeniørerne vel erindre, at de maatte give fri Passage for den betydelige Flodtrafik, heriblandt Krigsskibenes Passage til og fra Rosyth, der under Verdenskrigen var en af de største engelske Flaadestationer — ja vel nærmest Hovedbasis for Storflaaden (the Grand Fleet). Cantilever — eller Udliggerbroen — var derfor den eneste anvendelige Type, da kun denne tillod Anven-



(a) Forth Broen under Bygning.

(b) Williamsburgh Broen med de midlertidige Arbejdsbroer.

Den berømte Brooklyn Hængebro fotograferet fra Brooklyn Siden med Skyskraberne i Baggrunden.
(Foto. Messrs. John A. Roebling Sons.)

delse af saa store Spændvidder, som der i dette Tilfælde forlangtes.

Først var det nødvendigt midt i Floden at fremskaffe et Fundament eller en Basis for de tre store Udliggere (a. Tavle XXXI). Under de forhaandenværende Omstændigheder maatte nogle af Fundamenterne lægges ved Hjælp af »Cofferdams« (Fangedæmninger). Ingeniørerne drev en Cirkel af svære Pæle ned i Grunden, fyldte Rummet mellem dem op med Ler og byggede indvendigt et Rammeværk af Tømmer for at afstive Palissaderne og for at modstaa Vandets Tryk. Det indvendigt staaende Vand blev derefter pum-

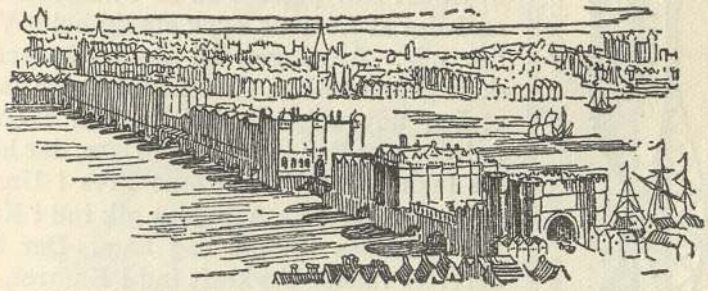


Fig. 90. Den gamle historiske London Bridge. En Beskrivelse af denne alene og dens historiske og kulturhistoriske Betydning vilde fylde en Bog for sig.

pet ud, og Udgravningerne til Fundamentet kunde paabegyndes. Disse førtes helt ned til 11 m under Højvande og var beklædt med metertykke Betonlag i Bunden. Paa disse opførtes nu svære Murstenstaarne eller Bropiller, hvilket Arbejde voldte betydelige Vanskeligheder. Hvert Taarn var ved Grundfladen ca. 21 m i Diameter, men tilspidsedes op ad mod Toppen, hvor Diameteren kun var 15 m. Ved Konstruktionen af Fundamenterne paa dybere Vand anvendtes nogle paa Stranden forfærdigede Sænkekister (»Caissons«) af Smedejærn.

Disse Caissons havde forneden en skærende Kant af Staal, og den underste Del var gjort lufttæt ved Hjælp af en Tværvæg. Ved Forth Broens Bygning var Caissonerne naturligvis af samme Diameter (21 m) som Basis for Bropil-

lerne. Naar de var færdigbyggede paa Stranden, blev de sænkede i Flodlejet, som tidligere beskrevet og saaledes, at deres Top stadig ragede op over Vandfladen. Ved Opfyldningen blev dog stadig holdt en Adgangsvej fri ned til det lufttætte Arbejdsrum helt nede i Bunden; deres oprindelige Vægt (400 Tons) blev forøget indtil den havde naaet 15,000 Tons. Denne Vægt bragte Caissonen til at synke, indtil den havde naaet Bunden af Flodlejet, hvor Vandet derpaa ved Hjælp af Trykluft blev presset ud af Underrummet, saaledes at Luftens Tryk stadig holdt Vandet ude. Adgangen til dette Underrum skete gennem smaa »Luftkamre«, der havde et Par udvendige Jærndøre, som aabnede indad, og et Par indvendige Døre, der holdtes lukkede af Trykluftens Pres i Underrummet. Naar en Arbejder gik ind i Kamret, lukkedes Dørene bag ham. Der blev derefter lukket Trykluft ind i Kamret, saa at Luftens Tryk dèr blev det samme som i Underrummet, hvorefter han let kunde lukke Døren op til det underste Rum. Et Luftkammer virker altsaa paa en noget lignende Maade som en Kanalsluse. Det er ganske mærkeligt at opholde sig i et Trykluftsrum; saaledes vil det være ganske umuligt at fløjte, og slukkes en brændende Tændstik, vil den flamme op igen af sig selv.

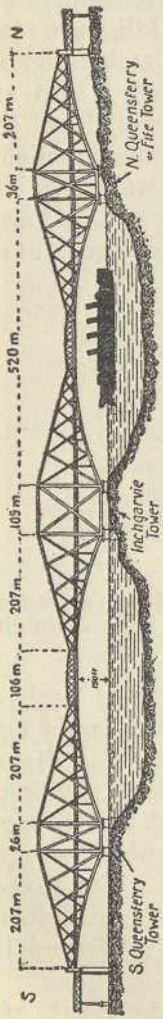


Fig. 91. Forth Broen med dens kolossale Spand. Maalene angiver de væsentligste Dimensioner, og Skibssilhouetten viser Kæmpedamperen »Mauretania« i samme Maalestok.

I Underrummet, der oplystes ved en meget kraftig Loftsbelysning, gravede en Skare Arbejdere sig ned i Flodsengen ved Hjælp af mekaniske Graveapparater, og det udgravede Fyld fjernedes ved Hjælp af »Spande« paa en Kæde uden Ende. Klippeborene pressedes ind i Klippestenene, og Caissonens Vægt fik den til at synke dybere og

dybere ned i Flodbunden. Hvis den ene Side af Caissonen traf særlig haardt Materiale, belastedes denne Side yderligere for bedre at kunne skære sig ned og overvinde Modstanden. Til sidst, da den tilstrækkelige Dybde var naaet, muredes først Arbejdsrummet og senere Adgangskanalen til, saa at Bropillerne blev massive helt igennem.

Forth Broens samlede Længde er ca. 2500 m. De 6 Cantileverarme hviler paa deres tolv Murpiller eller Betonfun-

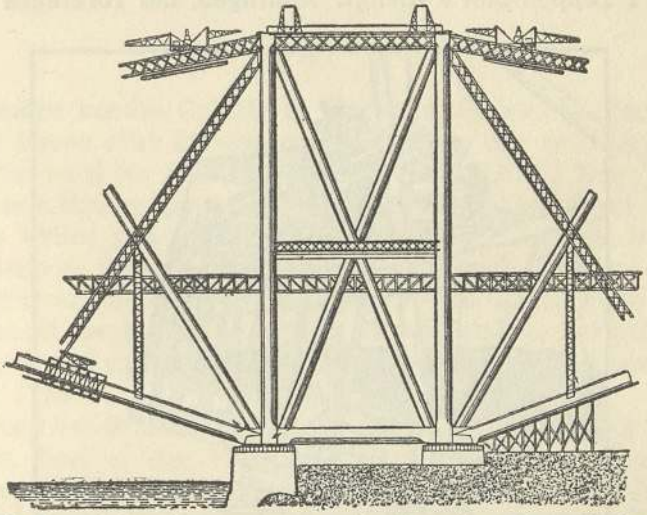


Fig. 92. En af Cantileverarmene under Bygning. Bemærk de smaa Arbejdskraner, der angiver Størrelsesforholdet.

damenter, der er delt i 3 Grupper, hver à 4 med deres Top ca. 5 m over Vandfladen. De 6 Udliggerarme naar hver ca. 207 m ud i Luften, og til dem er yderligere benyttet 2 Hængespand, hver paa 106 m Længde, saaledes at den samlede Længde fra Kysttaarn til Kysttaarn bliver 520 m. Taarnene, der er 104 m høje, bestaar af 4 Staalsøjler (Diameter 3,5 m), der er sammennittede af Plader. Disse Søjler hælder mod hverandre, idet Afstanden mellem dem ved Grundfladen er 36 m, i Toppen derimod kun 11 m. Der blev benyttet over 6,500,000 Nagler, og der blev boret ikke mindre end 13 Mill. Naglehuller. Nitningen udførtes ved Hjælp af hydraulisk

Værktøj. Alt i alt indeholder Broen over 50,900 Tons Staal, og ved Arbejdet var mellem 4000 og 5000 Mand beskæftiget. De store Rør, der bragtes paa Plads ved Hjælp af store Kraner, støttes af tyndere Diagonalrør, der skal optage Tryk og Gitterdragere, der skal optage Træk.

Benjamin Baker, der har bygget Broen, hævdede, at den var saa stærk, at et Panserskib kunde hænges op i hver Ende af Udliggerne, uden at dette vilde bevirke, at Forbindelserne i Toppen blev sprængt. Malingen, der foretages hvert

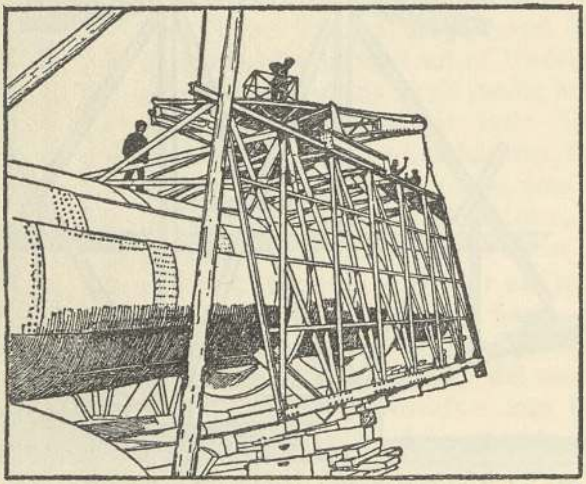


Fig. 93. En af de underste Søjler under Bygning.

tredje Aar, er ikke noget helt ringe Arbejde, da den samlede Overflade, der skal dækkes, beløber sig til 60 Hektarer (eller 110 Tdr. Land. Kongens Nytorv er 6 Tdr. Land).

Der er beregnet en Bevægelsesfrihed paa ca. 2 m til Sammentrækning og Udvidelse paa Grund af Temperatursvingninger.

Bygningen af Broen blev paabegyndt i 1883 og varede uafbrudt i 7 Aar. Den 8de Marts 1890 aabnede Prinsen af Wales Broen i en meget stærk Storm, hvis Piben og Fløjten gennem Broens Staalværk gjorde en ret betydelig Støj, der dog selvfølgelig intet betød.

Enhver, der i Tog har passeret Forth Broen, er ikke i Tvivl om, det er berettiget, at denne Bro beskrives som et af Verdens allerstørste Ingeniørarbejder. De mægtige Centilever »Taarne« rager op over det hele, og langs den lige Bro farer Togene med en hul, drønende Lyd, medens Rækker af Krigsskibe og Handelsfartøjer et Halvthundrede Meter nedenunder krydser frem og tilbage.

VI

Af andre kendte Cantilever Broer skal nævnes Blackwell Island Broen eller Queensborough Broen, der er beliggende ca. 7 km nord for den bekendte Manhattan Bro i New York.

Denne Bro er ogsaa bygget efter et rent Cantilever Princip og hviler paa to Taarne opførte paa Blackwell Island. Spandene er ikke lige lange, idet det længste af dem — det vestligste er 360 m og det østligste 300 m langt. Forbindelsesspandet over Øen er 192 m, Kystspandene henholdsvis 143 m og 140 m lange, saaledes at den samlede Spandlængde bliver 1135 m.

Broen har to Etager, der hver har en Bredde af godt 25 m, og paa disse er der Plads til fire Jærnbanespor, fire Sæt Sporvognsskinner, et Fortov for Fodgængere og en Kørevej. For at kunne bære en saa betydelig Belastning er alle Broens Enheder af særlig stor Styrke og svære Dimensioner. Den sværeste Stræber eller Sammentrykningsled kan i Modstandskraft regnes lig med en massiv, rektangulær Bjælke 0,6 m tyk og 1,2 m bred.

Ved Blackwell Island Broen er Cantilever- eller Udliggerarmene udført paa en ganske særlig Maade, idet de er byggede helt ud, indtil de direkte mødte hinanden. Mange Ingeniører er ikke Tilhængere af denne Fremgangsmaade, som afviger fra den i almindelig Praksis anvendte, hvor man forener to Cantilever Arme ved et mellemliggende Hængespand, saaledes som det f. Eks. er Tilfældet ved Forth- og Quebec Broerne. Til Blackwell Island Broen er anvendt 50,000 Tons Nikkelstaal, et Materiale, som vistnok for før-

ste Gang her er benyttet til Brobygning. Nikkelstaal, der indeholder 3 % Nikkel, er næsten dobbelt saa stærkt og modstandsdygtigt som det almindelige Staal, der hidtil har været anvendt til Brobygning.

At bygge en Udliggerbro nu til Dags betragtes ikke som noget særligt vanskeligt Ingeniørarbejde, saa meget mere som man er kommet væk fra Hjælpe- eller Indskudsarbejde. Er Armene først paa deres Plads og sammennittede, da vil Broens Hele stadig tiltage i Styrke, naturligvis under Forudsætning af, at der ingen Fejl er begaaet. At kunne undvære Hjælpekonstruktioner er meget besparende, thi saadanne Konstruktioner, f. Eks. Opførelse af ekstra Bropiller i et vanskeligt Strømfarvand, er ikke alene bekosteligt, men kan ogsaa være ret vanskeligt.

VII

Anbringelsen af den store Staalbuebro tværs over Zambesi-Gorge, nedenunder Victoria Faldet, var et glimrende Ingeniørarbejde (a. Tavle XXXV). Broen, som muliggjorde Jærnbanelinien Kairo—Kapstaden, er en af de højstsvævende Broer i Verden, og dens Omgivelser er maaske tillige de smukkeste, der findes. Den store Katarakt (Vandfald), der ligger 2625 km fra Kapstaden, kaldes af de indfødte for »Mosivatunga« (ɔ: »den larmende Røg«), hvilket Navn hidrører fra den Larm, Faldet frembringer, og det fine Vandsprøjt, som kan stige op som »Røgsøjler« til ca. 100 m Højde. Denne mægtige Vandlavine blev i 1855 fundet af den berømte Opdagelsesrejsende Livingstone, som kaldte den »Victoria Faldet«. Zambesi Floden, der her er over 1½ km bred, falder fra en Højde af ca. 120 m ned i en snæver Kløft eller Flodseng og strømmer derpaa videre mod Syd i en højst mærkværdig Zigzagform.

Togene passerer saa nær forbi Faldene, at de ofte forsinkes af Vandsprøjtet. Kløften er foroven 230 m bred, men indsnævres til 120 m nede ved Flodlejet, hvor Klipperne danner en næsten fuldstændig lodret Væg.

Broen er en kombineret Cantilever- og Bue Type, idet den øverste Bærebro sammen med Buen optager Træk og Tryk. Hovedbuen har en Længde af 152 m. Der er to korte Endespand paa henholdsvis 19 m og 27 m Længde. Selve Brolegemet har to Jærnbanespor og har en Bredde af ca. 9 m mellem Rækværkerne.

Ved Bygning af en Bro maa ikke alene Broens Egenvægt tages i Betragtning ved Styrkeberegningerne, men der maa ogsaa tages Hensyn til Belastning (Jærnbaner etc.), Strækning, der skyldes horizontale Paavirkninger, Temperaturforandringer og Vindtryk. Som Følge heraf maa de fire Fundamenter, der bærer Victoria Broen, ikke alene være i Stand til at modstaa et kolossalt Tryk, men de skal ogsaa i visse Tilfælde tillade en nogenlunde fri Bevæ-

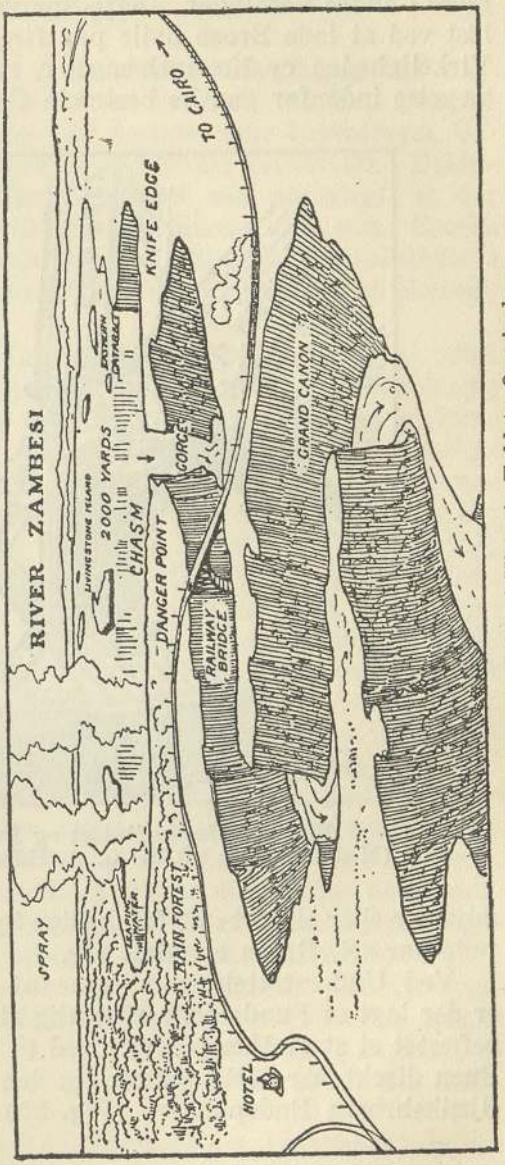


Fig. 94. Fugleperspektiv af Victoria Faldets Omgivelser.

gelse i andre Retninger. Dette Spørgsmaal har Ingeniørerne løst ved at lade Broen hvile paa fire Understøttelser, der i Virkeligheden er Kæmpehængsler, som tillader en vis Bevægelse indenfor ganske bestemte Grænser og saaledes kan

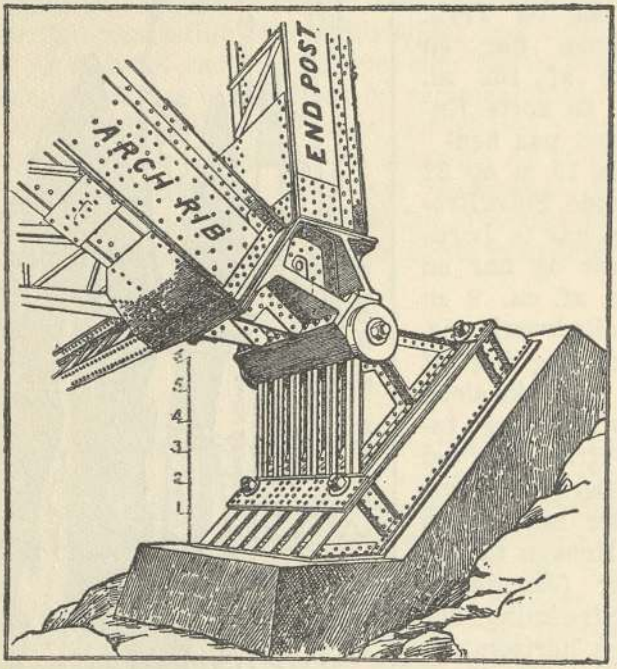


Fig. 95. Hængselleddet og Fundamentet.
(Med Tilladelse af Mr. G. A. Hobson, M. I. C. E.)

udjævne eller »lindre« de forskellige Spændinger, som vi allerede har set, Broen er udsat for.

Ved Understøttelsespunkterne af disse Kæmpehængsler er der lagt et Fundament af særlig stærkt Beton, hvortil er befæstet et stort Hængselled. Ned til dette Hængselled gaar Buen direkte og hertil slutter sig den vertikale Stræber fra Bjælkebroens Endepunkter (Fig. 95).

VIII

Opførelsen af en Bro i et saa uroligt Distrikt og saa langt fjernet fra Forsyningssteder var vanskelig at føre igennem og kunde kun muliggøres ved beslutsomme Ingeniørers Udholdenhed og Mod. Entreprenørfirmaet (»Cleveland Bridge Company«) skulde udføre Arbejdet saa nøjagtigt, at der enkelte Steder kun var tilladt et Spillerum af $^3/_4$ mm. Broens enkelte Dele blev forarbejdet paa Clevelands Værksteder i Darlington i England, hvorfra de blev ført til deres Bestemmelsessted.

Jærnbanen naaede ikke frem til Faldene før Maj 1904. Den medbragte først og fremmest Materialer til Etablering af en Kabelbane tværs over Kløften, for at der med denne kunde føres Halvdelen af Spanteværket over paa den østlige Side. Ligeledes medbragtes Jærnbanematerialer for at kunne føre Linien videre mod nord til Broken Hill. Man begyndte med at skyde en Raket med Line, hvortil var fastgjort et tyndt Staaltraadstov, tværs over Kløften. Med dette toges en sværere »wire« eller Bærekabel over, og snart efter fulgte en midlertidig Hjulvogn eller Hængevogn til Luftbanen, der laa ca. 120 m over Strømmen (Tavle XXXVI). Nu blev der sendt Staalmaterialer over til Bygning af det østlige Taarn til den endelige Kabel- eller Lufttovbane, der kunde taale et Træk paa 275 Tons. Den ene Ende af Bærekablet blev forankret over dette Taarn, medens den anden blev fastgjort til svære Bukke paa den vestlige Bred. Hængevognen selv vejede 5 Tons og kunde taale en Belastning paa 10 Tons. Den blev drevet af en elektrisk Motor, der fik den dertil nødvendige Kraft fra en overliggende Ledning ganske paa samme Maade som vore Sporvogne. Selve Bærekablet var 265 m langt og strakte sig ved sin egen Vægt 20 cm. Hængevognsføreren stod paa en indhegnet Platform, hvorfra han ledede Vognens Bevægelser. Vognen var til stor Nytte, da der med denne overførtes 100,000 Tons, inden Kablet viste Tegn paa Slid.

Afsatser blev bygget ca. 33 m under Luftbanen, og her blev lagt tykke Betonlag, som det imidlertid tog flere Uger

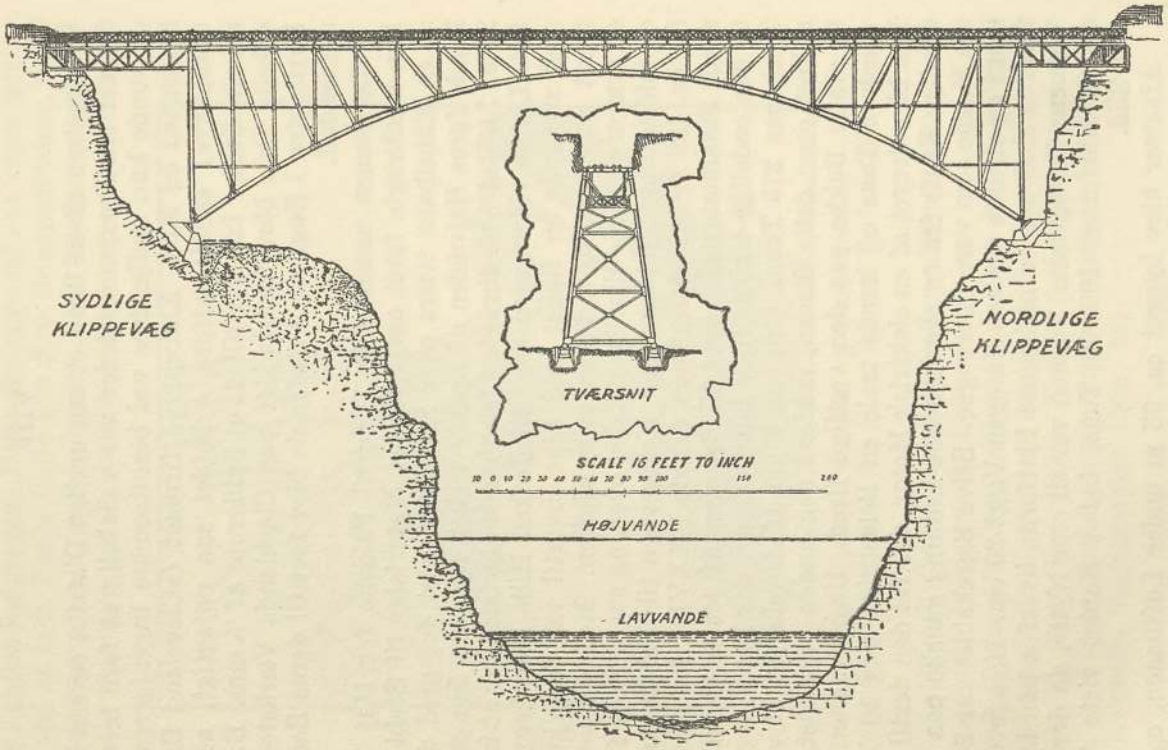


Fig. 96. Hovedsnit gennem Zambesi Broen.
(Med Tilladelse af Broens Konstruktør, Ing. G. A. Hobson, M. I. C. E.)

at faa til at stivne. Da det var umuligt at skaffe Understøttelse nedefra for selve Brobygningen, blev Hovedspandet bygget efter Udligger- eller Cantileversystemet ud fra begge Sider, indtil Halvdelene som et Par Konsoller mødtes paa Midten og kunde forenes der.

Først blev de to Kystspand bygget, idet Hovedbjælkerne understøttedes ved Hjælp af Tømmerbukke, og Udlæggerkraner sænkede Materialer ned til Buens Fundamenter. Da dette Arbejde var udført tilfredsstillende, tog man fat paa Bygningen af Hovedspandet. Det blev under Udlægningen eller Opførelsen understøttet paa en lige saa sikker som genial Maade.

Der blev boret to Skakter ned i en Dybde af ca. 9 m noget tilbage for Klippekanten og i Linie med Broens Slutsøjler. Disse Skakters Bund blev forbundne med en Tunnel, og fra den ene Slut- eller Endesøjle toges et Staaltraadstov ned gennem den ene Skakt gennem Tunnelen og op gennem den anden Skakt, hvorefter det blev gjort fast til den anden Endesøjle. Udliggerne trak saaledes i en stor Klippemasse, og som yderligere Sikkerhed blev der mellem de to Skakter opstablet 400 Tons Skinner. Arbejdet skred hurtigt fremad, og efterhaanden som Udliggerne voksede, kørte Kraner frem og afleverede Bjælkerne til Samlerne, der stak Naglerne gennem Naglehullerne, saaledes at alt var parat for Nitterne, som fulgte lige bagefter. For at undgaa Ulykkestilfælde ved Nedstyrtning var der under Broen ophængt et stort Net (a. Tavle XXXV). Denne Forsigtighedsregel viste sig dog at være unødvendig, og Nettet blev senere fjernet, da Arbejderne beklagede sig over, at det nærmest gjorde dem nervøse at have dette Net hængende nedenunder. Omkring første April 1905 blev de svære Buebjælker (ca. $^1/_3$ m^2 i Gennemsnit) forenede, Ankertovene slækkedes op, og den store Bro svævede frit paa sine fire massive Fundamenter. Nu stod der kun tilbage at lægge Skinnerne, saa var Arbejdet fuldført.

Indfødte Arbejdere malede Broen graa, saaledes at enhver Rustdannelse straks vilde skinne igennem. Det er ganske interessant at lægge Mærke til, at de indfødte var meget overtroiske, naar de nærmede sig Arbejdsstedet, og de lod

sig ikke formaa til at gøre det, før de havde kastet en Haandfuld Græs op i Luften for at formilde Faldets onde Aander. De viste imidlertid deres gode Villie ved at følge den hvide Mand, hvor som helst han vilde føre an, og da de fandt ud af, at Kløften var ret harmløs — og at de tilmed fik god Betaling for ydede Tjenester, strømmede de til i Hundredevis, ja nogle kom endog helt inde fra Centralafrikas fjerne Distrikter. En gammel Barotse Høvding, som havde fulgt Broens Bygning med stor Interesse, forudsagde, at det hele var altfor spinkelt til blot at kunne bære een Mand. Efterhaanden som nu de forskellige Tog passerede over Broen, erklærede han ganske betegnende, at det var Guds Finger, der bar Broen oppe, og ikke dens egen Kraft. Broen prøvedes ved at sende et Tog, der lastede 612 Tons, over den med en Hastighed af 24 km i Timen, og det viste sig, at hele Konstruktionen kun gav $2^1/_2$ cm efter. Holdt Toget stille paa Broen, var Udslaget kun det halve. Dette maa siges at være et smukt Resultat, naar Hensyn tages til Broens store Højde.

KAPITEL XI

HÆNGEBROER OG TRANSPORTBROER

I

FØR vi kommer ind paa en nærmere Omtale af de store Hængebroer, der særlig anvendes i Amerika, skal det nævnes, at Grundprincipperne for disse Broer første Gang blev anvendt i Amerika i 1844 som Afstivningsmiddel for Vandledninger — og blev indført af I. A. Roebling, en af Staaltraadstovenes Pionerer. Hængebroerne fik mere og mere rationel Broform og blev i Stedet for at anvendes til Vandledninger nu indlemmet i Broernes Række, navnlig ved Overgange over Floder, hvor Sejladsen skulde foregaa uforstyrret. Floden Ohio var den første Flod over hvilken der ved Cincinnati blev ført en Hængebro i en Længde af 320 m i en Højde af 31 m over Floden. Broens Anlæg tog sin Begyndelse i 1856, men Arbejdet blev standset under den amerikanske Borgerkrig, og som Følge heraf kunde Broen ikke tages i Brug før 1867. I Mellemtiden havde Roebling, Ohio Broens Fader, anlagt Hængebroer med Staaltraadstove over Niagara Vandfaldene og over Alleghany Floden ved Pittsburg. Den første af disse var særdeles dekorativ, af en vis spinkel Skønhed, som den hang der i Luften og dannede en mærkelig Kontrast til de underliggende mægtige Fald. Den Tanke at føre en Jærnbane over dette oprørte Vand paa en saadan Spindelvævsophængning fremkaldte en Storm af Protester fra Datidens ledende Ingeniører. Dette afskrækkede imidlertid ikke Roebling; thi han vidste, hvad Klipper og Staaltraad kunde præstere, naar det skulde være, og han byggede sin Bro ved at føre sin første Staaltraads-

line over med en Drage. Den 16de Marts 1855 passerede det første Tog Niagara, og skønt den Trafik, som Broen blev belastet med, blev betydelig større, end hvad der oprindelig

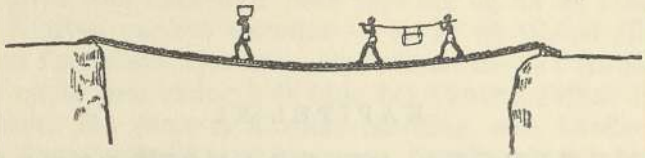


Fig. 97. Primitiv Hængebro.

var planlagt, gjorde Broen dog god Tjeneste i næsten et halvt Aarhundrede (ganske vist med en Ombygning), inden den maatte vige Pladsen for den nuværende langt større Bro (b. Tavle XXXV), hvis Bygning blev nødvendig paa

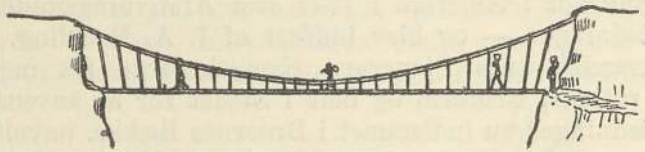


Fig. 98. Forbedret Hængebro.

Grund af den tiltagende Belastning som Følge af den voksende Trafik.

Roeblings Erfaringer paa Kabelbroernes Omraade kan med Rette sammenlignes med de Erfaringer, Stephenson

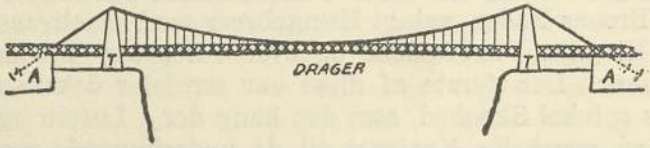


Fig. 99. Hængebro af Staal. A er Forankringerne, T Understøttelserne eller Taarnene.

gjorde paa Lokomotivernes Omraade. I Begyndelsen var alle og enhver imod ham, og hans Planer og Fremgangsmaader blev enstemmigt fordømt af de førende Ingeniører, som kun spaaede Uheld og Ulykker. Roebling, der egentlig

var af tysk Oprindelse, var imidlertid ligesom Stephenson en praktisk og standhaftig Mand og i Besiddelse af en ikke ringe Selvsikkerhed. Selv om han ikke officielt havde antaget Stephensons Motto »Persevere«, kunde han med Rette have valgt det som sit eget. Roebling viste gennem sit Forehavende, at det ikke alene var muligt at konstruere store Staaltraads- eller Kabelbroer, men tillige at en saadan Konstruktion ingenlunde var noget vanskeligt eller indviklet Arbejde. Saaledes gaar det som Regel. Selv store Opgaver viser sig at være ganske ligetil — vel at mærke, naar de først een Gang er løst!

II

Roebling fejrede sin største Triumf, da hans Forslag om den store Bro ved Brooklyn blev godkendt. Ganske paa samme Maade som Stephenson kendte sine Jærnbaner, kendte Roebling sine Kabelbroer, og han var overbevist om deres praktiske Betydning. Han havde udstaaet Kampen, hans Planer havde ved Prøver vist deres Berettigelse, hans Tiltro til Sagen havde med Held gjort sig gældende, og den Teori, for hvis Gennemførelse han havde kæmpet saa haardt, blev nu støttet fra anerkendte Ingeniørkredse og havde vundet Offentlighedens Bifald. Derfor blev hans Død, som netop indtraf paa dette Tidspunkt, saa uhyre tragisk, fordi den traf ham, netop da han skulde realisere sin store Livsopgave.

Under Forarbejderne til Broen — som nu ogsaa blev kaldt »Verdens ottende Vidunder« — overværede Roebling en Dag Arbejdet. Et ganske ringe Uheld — noget Kludder ved Fortøjningen af en Færgebaad — foraarsagede, at Roeblings ene Fod blev knust, hvilket senere medførte en skæbnesvanger Stivkrampe, der endte med Døden. Skønt han saaledes ikke oplevede at se sit vidunderlige Værk fuldført, hængende som et kæmpemæssigt Edderkoppespind over New Yorks stadig myldrende Vandveje, kan det dog med fuld Sandhed siges, at hans Navn er indvævet i selve Kablernes Staaltraade.

Brooklyn Broen (Tavle XXXII) forbinder New York og Long Island og blev bygget for at hjælpe paa den stadig voksende Trafik mellem Manhattan, det vigtigste Forretningskvarter, og New York og Brooklyn, de almindelige Beboelseskvarterer. Indtil i Begyndelsen af Firserne var de eneste Forbindelsesmidler Færger, som absolut ikke kunde optage hele den store, stærkt voksende Trafik. Mange Projekter til Bygning af Broer fremstod i Tidens Løb, men kun for atter at blive slaaet ned. I Virkeligheden syntes det da ogsaa paa daværende Tidspunkt et urimeligt Forlangende, at Ingeniørerne skulde kunne slaa en Bro over East River. Floden var ikke alene dyb og bred,

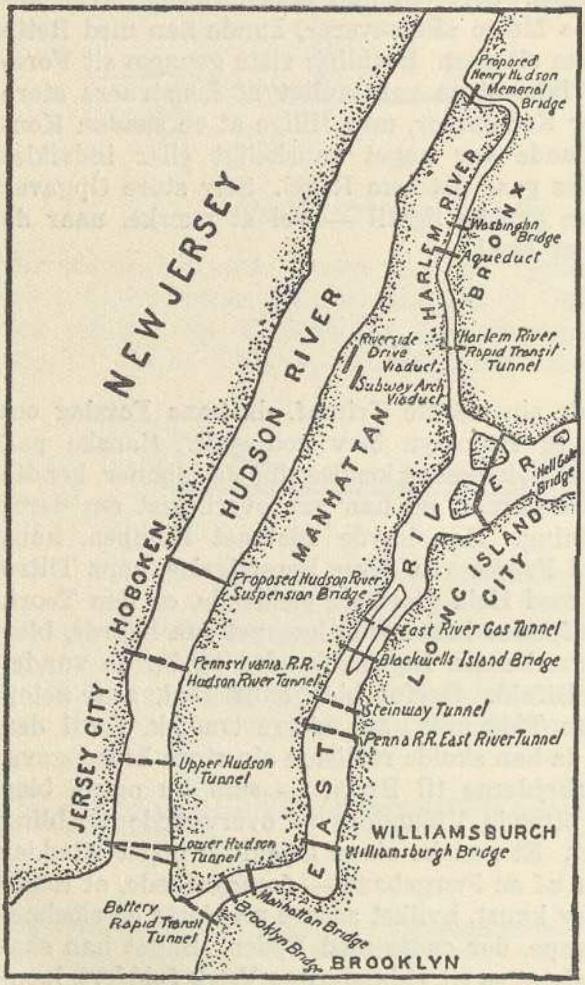
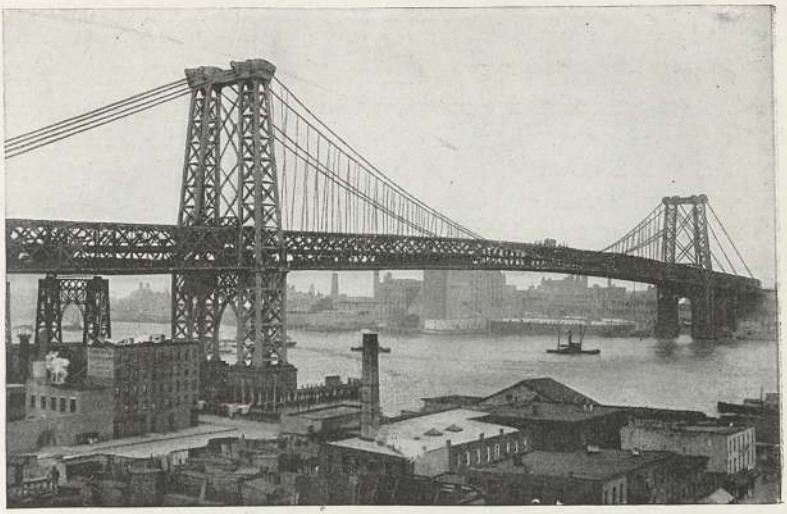
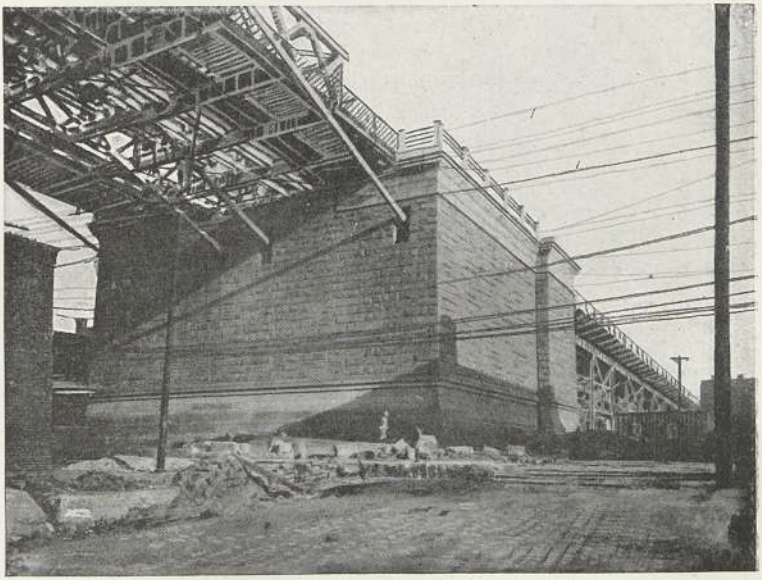


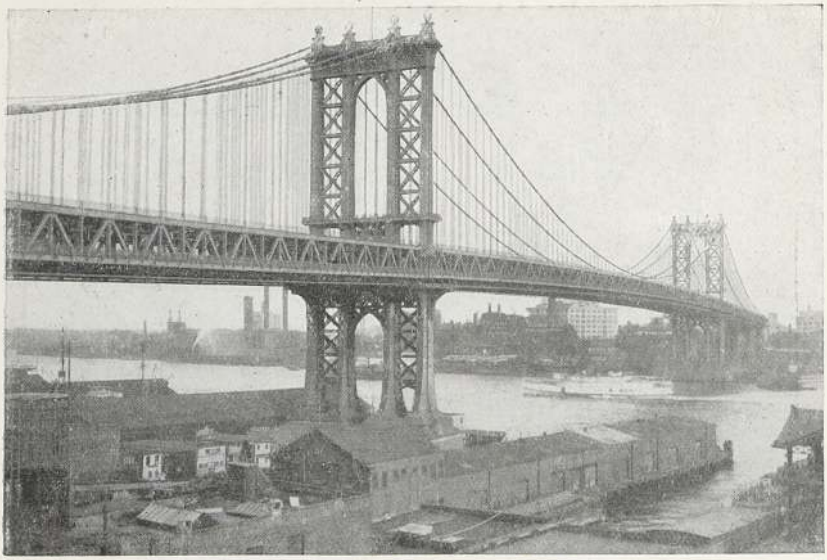
Fig. 100. Kort over New York, visende Broerne (sorte Linjer) og Tunneler (brudte Linjer).



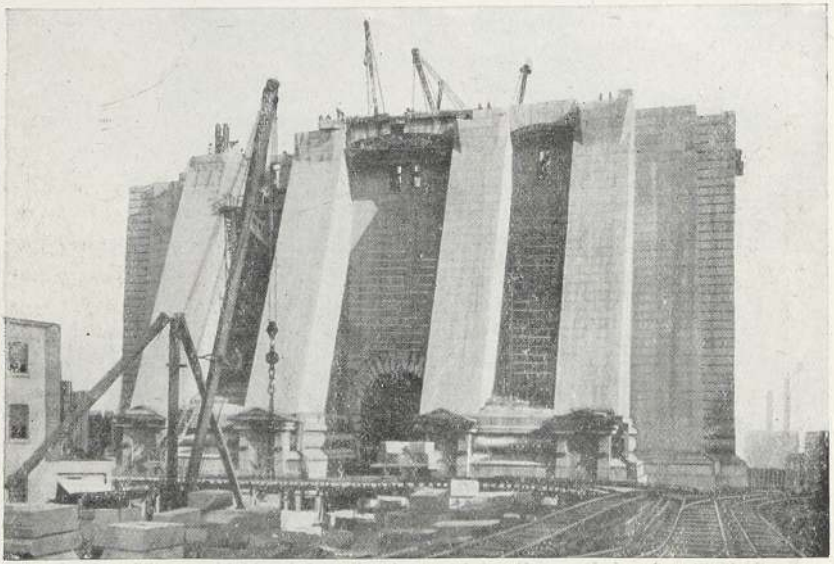
(a) Den færdige Williamsburgh Bro. *(Foto. Messrs. John A. Roebling Sons.)*



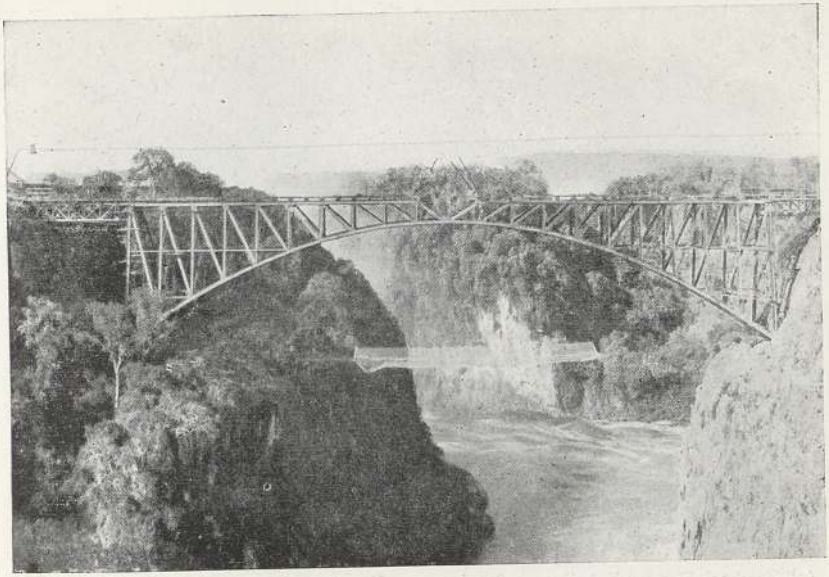
(b) Williamsburgh Broen. En af de mægtige Forankringsblokke, ca. 55 m bred, 50 m lang og 40 m høj.



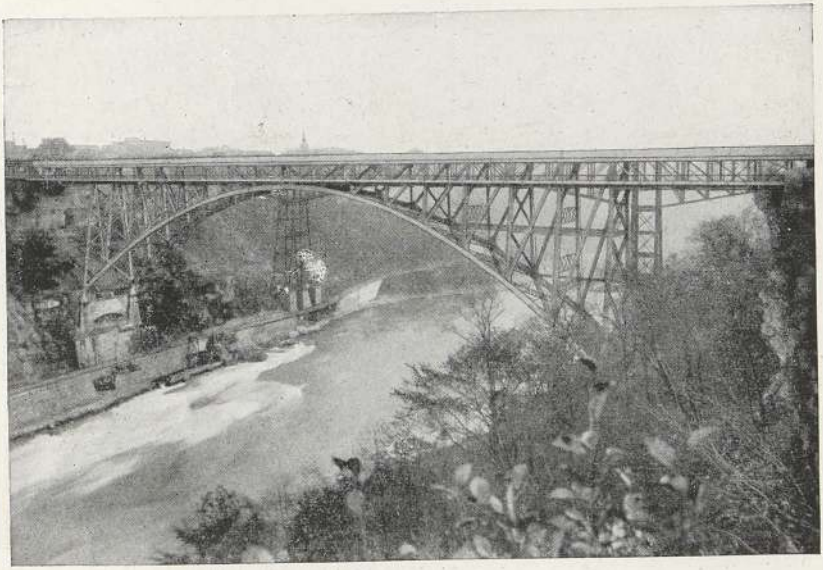
(a) Manhattan Broen. *(Foto. Messrs. John A. Roebling Sons.)*



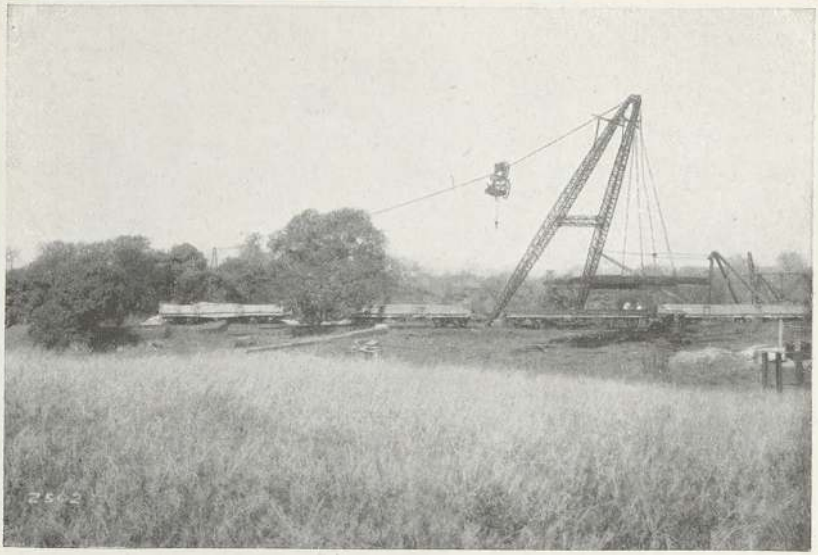
(b) En af Forankringerne ved Manhattan Broen.



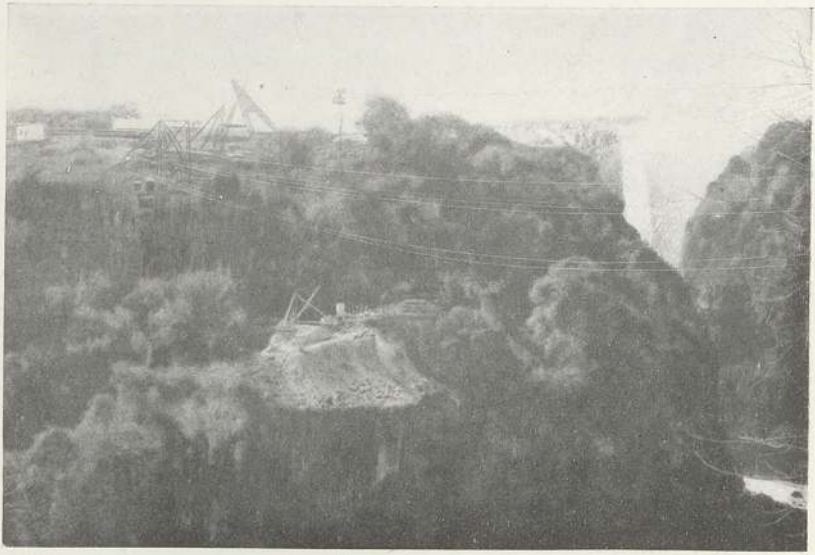
(a) Zambesi Broen næsten fuldført. Bemærk Kabelbanen oven over Broen og Sikkerhedsnettet neden under. *(Foto. Messrs. Cleveland Bridge Co., Ltd.)*



(b) Niagara Broen. *(Foto. Canadian Nat. G.T. Railways.)*



(a) Zambesi Broen. Kabelbanen fra den ene Kyst til den anden. Man kan skimte den anden Forankring mellem Træerne. *(Foto. Messrs. Cleveland Bridge Co., Ltd.)*



(b) Arbejdspladsen ved Zambesi Floden. Vandfaldet ses yderst til højre. Endvidere ses Kabelbanen og Funderingsarbejdet nede paa Klippevæggen.
(Foto. Messrs. Cleveland Bridge Co., Ltd.)

men Skibsfarten var saa livlig, at det vilde være umuligt at bygge Bropiller til Brodragerne ude i Floden. At et enkelt Spand vilde være at foretrække, var man klar over, men den Gang vilde et Brospand af saa stor Længde være en uhørt Ting, hvilket havde til Følge, at man i flere Aar nok tænkte paa en Bro, medens noget virkeligt alvorligt og praktisk Forslag ikke fremkom. Til sidst blev Spørgsmaalet imidlertid for brændende og aktuelt. I Maj 1867 blev Bevillingen tilstaaet, og Roebling blev ansat som ledende Ingeniør.

Som ovenfor nævnt døde Roebling, før Broen var færdigbygget, idet der under Opmaalingen paa Brooklyn-Siden indtraf det Uheld, der foraarsagede hans Død. Bygningen af Broen kunde imidlertid ikke standses, og Roeblings Søn og Medarbejder, Oberst Roebling, paatog sig at føre sin Faders paabegyndte Arbejde videre. I Begyndelsen af Januar 1870 begyndte endelig det rent praktiske Arbejde. Fundamenteringen af de mægtige Brotaarne blev forberedt, og fra nu af, indtil Broen var færdig, blev der ingen Hvile. Oberst Roebling levede og døde paa Broen, og selv om hans Faders Opgave havde været vanskelig, kan man nok tænke sig, at heller ikke Sønnens Vej var bestrøet med lutter Roser. Det massive Murværk ved Broens Ender trængte gamle, historiske Huse væk, men en Trøst var det jo, at de maaske afløstes af et Ingeniørarbejde, som engang selv vil danne et Led i Historien. Høje, slanke Taarne rejstes paa hver Bred og hamredes fast til Flodlejets skjulte Klipper. Kørevejen skulde ligge 36 m over Floden og være forbeholdt Vogntrafiken og Fodgængerne. Tilskuere betragtede med en vis Frygt og Bæven de spinkle Bropiller og spurgte sig selv, om de virkelig kunde modstaa de Paavirkninger, de vilde blive udsat for. Det er jo imidlertid ikke Bropillerne, der skal bære Vægten, da de sammen med de store Stengrundlag, hvorpaa de hviler, har til Opgave at støtte og styrke Forankringen af Kablerne, som er Hovedstrukturen i denne Hængebrotype. I og for sig kan Bropillerne eller Taarnene jo kun udsættes for den Spænding, der frembringes ved selve Kablets Vægt.

Disse Kabler bestaar hver for sig af nitten Staaltraads-

kordeler, med hver Traad fortløbende indenfor sin Kordel, ligesom Garnene i en Dukke Uld. Hvert Tov gaar fra New York til Brooklyn over Toppen af det ene Taarn, derpaa ned i en lang symetrisk Kurve over Floden op til Toppen af Taarnet eller Bropillen paa den modsatte Flodbred og derpaa ned til Forankringen. Hver af Kordelerne har en samlet Traadlængde paa omtrent 320,000 m. Tovene er ikke snoede sammen som i et almindeligt Kabel, men de ligger strakt Side om Side og er bundne sammen, saaledes at de danner et cylindrisk Tværsnit.

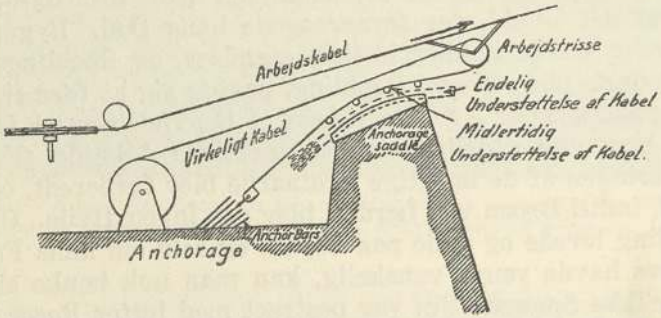


Fig. 101. Skematisk Fremstilling af hvordan Kablet bliver ført over. Trissen til venstre trækker Arbejdskablet med den derpaa fastgjorte Trisse frem og tilbage mellem Kysterne. Det virkelige Kabel, der ses vundet op paa en Tromle, gaar over Arbejdstrissen og ned til Forankringen. Ved at Arbejdskablet med Trissen hales over til den anden Bred, følger det virkelige Kabel med i to Længder. Den samme Metode bruges derefter fra den anden Breds Forankringsplads, saa at der trækkes 4 Kabler, hver Gang Arbejdskablet gaar 1 Gang frem og tilbage.

Da Taarnene var færdige og stod som to kraftige Skildvagter, hvert paa sin Side af Floden, gættede Publikum paa, hvilken indviklet Fremgangsmaade, der nu skulde anvendes for at knytte Forbindelsen over dette tilsyneladende mægtige Gab. Begyndelsen var imidlertid meget simpel, idet den bestod i, at en lille Baad tog en 2 cm Staaltrosse fra Brooklyn Siden over til New York Kanten af Floden, hvor den blev vundet op paa en meget stor Tromle, indtil den laa strakt højt over Vandet. En anden Trosse eller Tov blev ført over paa samme Maade og forenet (sammensplejset)

med det første Tov. Der var saaledes nu en Dobbeltforbindelse, der paa begge Sidr gik igennem en Blok eller Trisse og derved dannede et Bælte, som bevægedes ved Dampkraft og forbandt de to Bydele. Seks Aar var imidlertid forløbet, inden man var naaet saa vidt, og der skulde gaa syv Aar endnu, inden alle Kablerne var overført og alle de mange Vanskeligheder, som efterhaanden viste sig, var overvundne.

Mærkelig nok var en af de største Vanskeligheder den Sammentrækning og Udvidelse, som foraarsagedes ved Temperaturforandringer; derfor var det ogsaa meget vigtigt, at Kablerne blev strakt og befæstet under de samme Vejrforhold. Betydningen heraf vil bedre forstaas, naar man hører, at een Grads Forandring i Temperaturen (her er endda Tale om Fahrenheit), foraarsagede en tilsvarende

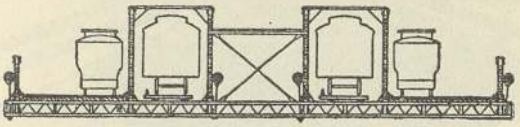


Fig. 102. Snit gennem Brooklyn Broen, der viser de to Kørebaner yderst, to Sporvognslinier, to Højbanespor og Fodgængerfortovet i Midten.

Forandring i den udspændte Bue paa ikke mindre end en lille Centimeter. Hvis Kablerne var fastgjort paa et Punkt, hvor Solen skinnede, medens en anden Del af Broen laa i Skygge, vilde hele Ophængningen maaske blive revet ud af Form. Sol og Vind om Sommeren, Sne og Regn om Vinteren huserede slemt under Arbejdet og satte Ingeniørernes Taalmodighed og Humør paa en haard Prøve. Løbetrossen frøs f. Eks. ofte fast, saa enhver Transport over Floden blev umuliggjort.

Trods alt nærmede Værket sig dog mere og mere sin Fuldendelse. De store Kabler kom til sidst paa Plads, Hængebaandene og Ophængningen til Brobanen blev strakt og anbragt, og til sidst kom Brobanen selv paa sin Plads. I 1883 kom den store Dag, da Præsident og Guvernør og mange andre officielle Personligheder kunde overvære Aabningshøjtidelighederne, og det Arbejde, der var begyndt for 13

Aar siden, stod nu færdigt som Verdens hidtil største Brobyggerdaad.

Broen har en Spændvidde paa 486 m, bærer to Jærnbanespor, to Køreveje med Skinner til elektriske Sporvogne og et Fortov for Fodgængere i Midten. Der findes fire lange »Afstivningsbaand«, to paa hver Side af Jærnbaneskinnerne og 2 lavere »Baand« ved Broens Yderkanter. Disse »Baand« skal til en vis Grad forhindre, at Broen giver for meget efter, og bevirker, at Belastningen ikke paavirker Kablerne paa eet enkelt Punkt, men fordeles over en større Længde. De fire Hovedkabler ligger direkte over disse 4 Baand (2 midt inde i, 1 i hver Yderside), og Ophængningsleddene er for-

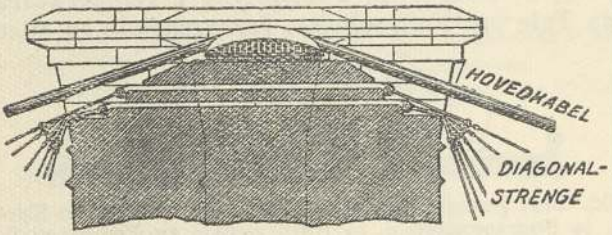


Fig. 103. Toppen af et af Brooklyn Broens Taarne med Sadlen, hvorover Hovedkablerne er ført.

delt med et Mellemrum af 2,3 m over hele Kablet. Hoved-Kablerne er ca. 40 cm i Diameter, og der er benyttet ikke mindre end 22,400 Kilometer Staaltraad til deres Fremstilling. Disse Kabler understøttes af massive Stenpiller og gaar over Sadler, der hviler paa Ruller, som sikrer en let Bevægelighed ved Sammentrækning og Udvidelse under Temperaturforandringer saavel som ved forskellige Belastninger. Fra Bropillernes eller Taarnenes Top straaler der en Række Diagonaltov ud til alle Sider, hvilket giver Broen et ganske karakteristisk Udseende.

Da Broen blev bygget, havde man ikke ventet, at den skulde komme til at bære Nutidens tunge Jærnbaner og den moderne Sporvognstrafik, og følgelig var den ikke beregnet til at kunne modstaa de Paavirkninger, som Nutidens Trafik vilde paalægge den. Broens Hoveddele — Kablerne og

Bropillerne — var bygget til at kunne taale endog meget betydelige Spændinger; men ligesom en brugt Frakke først viser sine Skrøbeligheder i Knaphullerne, saaledes viste ogsaa Brooklyn Broen sine Svagheder i Detailjerne paa enkelte svage Steder. I 1901 viste det sig, at en Del af de korte Forbindelsesled mellem Kablerne og »Baandene« paa Broens Kørebane var sprængte, endskønt hvert enkelt af dem havde en Bærekraft paa 80 Tons. Der var derfor Fare for, at hele Kørevejen kunde knække sammen, da de resterende Bæreled jo nu var udsat for forøget Træk. Der blev straks fabrikeret og anbragt nye Forbindelsesstænger, men imidlertid viste det sig, at saa godt som alle Broens Dele maatte forstærkes, for at den i Fremtiden skulde kunne staa imod alle de Spændinger, som frembragtes ved vekslende Sammentrækning og Udvidelse.

IV

En Storbys Broer kan sammenlignes med Aarerne i det menneskelige Legeme. De er en Del af Byens indviklede Transport- og Forbindelsessystem. I Stedet for at Tusinder af Blodlegemer pulserer frem og tilbage, farer Tusinder af levende Væsener frem og tilbage over Broerne og sikrer Byens Liv, ligesom Blodets Løb i vore Aarer opretholder vort Liv.

I tretten Aar var Brooklyn Broen den eneste Bro over East River, men efterhaanden som Tiden gik, tiltog New Yorks Befolkning stærkt, og der krævedes Bygning af nye Broer. Af den Grund paabegyndtes i 1897 en ny Bro, Williamsburgh Broen (Tavle XXXIII). Brobygningskunsten havde i de forløbne Aar gjort store Fremskridt, thi medens der forlangtes 14 Aar til at faa Brooklyn Broen færdig, blev Williamsburgh Broen bygget paa godt 6 Aar, endskønt den var baade længere og stærkere end Brooklyn Broen og dertil kunde bære den dobbelte Belastning. Williamsburgh Broen havde en Spændvidde paa 487 m — det næststørste Spand nogen Bro hidtil har haft.

Det blev besluttet, at Broen skulde være af Staalkabel-Typen, da Staaltraad som bekendt har 4 Gange saa stor Styrke, som en massiv Staalstang med samme Tværsnitsareal. Netop denne Staalkablets Styrke og dets store Bøjelighed gør det muligt at bygge lange Hængebroer. Williamsburghs Broens Taarne eller Bropiller blev bygget af Staal, da Taarne af Murværk fordrede dobbelt saa store Fundamenter, vilde have kostet 5 Gange saa meget og taget 3 Gange saa lang Tid at bygge. Kablerne adskiller sig fra Brooklyn Broens derved, at de sidstnævnte inde ved Taarnene gaar

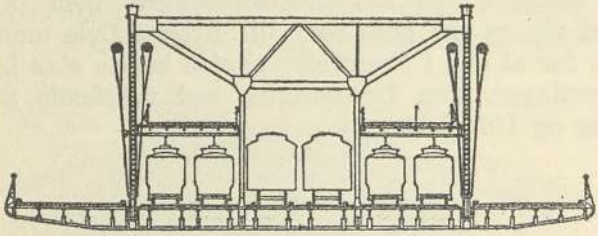


Fig. 104. Snit igennem Williamsburgh Broen. Yderst Kørebanerne, dernæst 4 Sporvognslinier og 2 Jærnbanespor og oven over Sporvognene Cyklesti og Fortov. De fire Kabler med Ophængningsbaand ses oppe over Fortovene.

ned i en stor flad Bue, medens de ved Williamsburgh Broen gaar ned i en kort stejl Linie. Af denne Grund kan Kystspandene gøres kortere, men paa den anden Side maa de i saa Tilfælde bæres oppe af særlige Baand. Hovedbanen har kun to Baand i Modsætning til Brooklyn Broens seks. Ligeledes har man ved Williamsburgh Broen udeladt Diagonalbaandene, da de ingen større Betydning havde.

V

Mellem Brooklyn og Williamsburgh Broen ligger Manhattan Broen, der ogsaa er en Hængebro (Tavle XXXIV). Dens Spændvidde er 447 m og Kystspandene er paa 219 m med fire Kabler, hver indeholdende 9472 Traade og 50 cm i Diameter. Der er anvendt 4 Afstivningsbaand eller Dragere.

Broen er i to Etager og rummer fire Spor til elektriske Sporvogne, en bred Kørevej og to Fortove for Fodgængere. Kablerne, der er ført op over smukke Staalbropiller ved Broens Ender, blev taget over Floden paa samme Maade som ved Brooklyn Broen, hvor Fremgangsmaaden jo allerede er beskrevet. Dette Arbejde blev mærkværdigt hurtigt udført, idet de fire Kabler med ialt 37,888 Traade blev ført over i Løbet af fire Maaneder og var paa Plads i December 1908.

Sammenføjningen af Kablernes enkelte Traade kan ikke paabegyndes, før de saakaldte Løbebroer eller Fodbroer er anbragt, hvilket igen først kan gøres, naar Taarnene er opførte. Disse Løbebroer, fra hvilke Arbejderne kan binde Kablerne sammen, bestaar af lette Staaltove, trukket fra Taarn til Taarn og saaledes, at de hænger et lille Stykke under den Højde, hvori Hovedkablerne skal anbringes. Ovenpaa disse Staaltove, der ligger parvis tæt sammen, anbringes et Trægulv, der fastklampes til Tovene og sammenholdes af spigrede Tværbræder. Der er anbragt Støtterækværk paa Løbebroerne, som holdes op mod eventuelle stærke Vindtryk ved Hjælp af Staaltraadsstag (b. Tavle XXXI).

Til de fire Kabler er brugt ikke mindre end 38,400 km Staaltraad, hvilken Længde omtrent svarer til Jordens Omkreds ved Ækvator. En særlig »Klædemaskine« snoede Staaltraad rundt om Kablerne, saaledes at de var fuldstændig »klædte« over det hele i Modsætning til Williamsburgh Broens Kabler, der ikke var beskyttet paa en saadan Maade. Derimod havde Brooklyn Broens Kabler været klædte, og da det viste sig, at de var mere holdbare end Williamsburgh Broens, anvendtes nu den samme Fremgangsmaade ved Manhattan Broen. Ved gentagne Undersøgelser var man kommet til dette Resultat, og navnlig var det iøjnefaldende, at Williamsburgh Broens Kabler flere Steder var angrebet af Rust, medens Brooklyn Broens Kabler var ganske uberørte i saa Henseende.

I Manhattan Broen er Kabelsadlerne fastboltede til Toppen af Bropillerne eller Taarnene, saaledes at disse bøjes eller bues i Tilfælde af Temperaturforandringer eller Forandringer i Belastningen af Broen. Under den største og

daarligst fordelte Belastning og under de daarligste Temperaturbetingelser kan Toppen af Taarnene blive bukket saa meget som 0,6 m ind mod Floden, hvilket imidlertid ikke overanstrenger dem.

VI

Skal der anlægges en Bro over en Flod, maa de lokale Forhold tages i Betragtning, før Typen kan bestemmes. Hvis Floden er meget besejlet, maa Broen anbringes saa højt, at den ikke danner nogen Hindring for Sejladsen, og den maa tillige være saa høj, at selv Skibe med høje Master kan passere under den. Hvis Flodbredderne er høje og gaar stejlt op paa det Sted, hvor Broen skal anlægges, kan en saadan Broslagning som Regel ikke volde store Vanskeligheder. Ved Forth Broens Anlæg var de naturlige Forhold f. Eks. saaledes, at Broen fra Strand til Strand kunde føres over i en Højde paa næsten 50 m over Vandfladen, hvorfor ogsaa Skibe selv med meget høje Master med Lethed kunde passere under den. I Tilfælde, hvor Flodbredderne ligger i omtrent samme Plan som Vandets Overflade, er Konstruktionen af en Højbro ikke tilraadelig, da Bygningen af Skraaplanerne, der fra Jorden skal føre op til Broens Højde, vil fordre altfor megen Plads og vil blive altfor bekostelig. I visse Tilfælde er man kommet over Vanskelighederne ved Anvendelse af Svingbroer (f. Eks. Tynebroen i England og Langebro i København) eller ved Hjælp af Vinde- eller Klapbroer (f. Eks. Tower Bridge i London og Knippelsbro i København); men disse Broers Anvendelse er indskrænket til forholdsvis snævre Sejlløb. Desuden stiller Gennemsejlingen af det snævre Løb i Sving- og Klapbroer ikke ringe Fordringer til Manøvredygtighed og godt Sømandsskab, og er der stærk Strøm, kan det være ret farligt for et Skib at komme uklar af Broen.

Vanskelighederne er i flere Tilfælde heldigt blevet overvundne ved Hjælp af Transportbroer (Hængebaner og Hængefærger), der bestaar af en saa højt anbragt Drager eller

Bjælke, at selv Skibe med høje Master uden Hindring kan passere nedenunder (a. Tavle XXXVII). Til Dragerne befæstes Skinner, og paa disse løber en Hængevogn eller Trolje, i hvilken en Platform (Færge) er fastgjort med lodrette Staaltraadshængere. Platformen bevæges frem og tilbage over Floden ved Hjælp af Damp eller Elektricitet. Platformen hænger i Plan med Udskibningspladserne, hvorfra Trafiken udgaar (Tavle XXXVIII).

Fig. 105.
En Transportbro.

Den første Transportbro blev planlagt i 1872 og skulde gaa over Floden Tee ved Middlesborough, men paa Grund af finansielle Vanskeligheder blev Broen aldrig bygget. I mange Aar laa nu Spørgsmaalet om Transportbroer urørt hen, indtil Palacio, en Arkitekt fra Bilbao, og Arnodin, en fransk Ingeniør, udtog Patent paa et særligt System. Ved Udnyttelse af dette Patent blev der i 1893 bygget en Transportbro, 40 m høj, ved Portugaleti i Nærheden af Bilbao. Denne Bro adskilte sig fra den over Lee foreslaaede derved, at Kablerne efter Hængebrosystemet var erstattet af stive Dragere, hvis Spand var 160 m. Til de to Staalpiller ved Endepunkterne var fastgjort Staalkabler, der førtes ud i forskellig Retning, dels som Forankringstove, der stod i fast Forbindelse med selve Dragerne, dels som Stag, der skulde støtte Broen mod Vindens Tryk under Storm.

I 1897 blev der opført en Transportbro over Seinen ved Rouen, ca. 1 km fra Port Boieldieu. Den har et Spand paa 144 m, og Platformen føres frem og tilbage ved Hjælp af elektriske Motorer. Broen er bygget af Arnodin og bæres af 85 m høje Brotaarne.

VII

Den betydeligste Transportbro er vel nok den, der fører over Floden Usk ved Newport i Monmouthshire. Den blev paabegyndt i 1903, og Arbejdet lededes af Ingeniør Robert H. Haynes og F. Arnodin, der, som vi har set ovenfor, allerede havde deltaget i Bygningen af Transportbroerne ved Portugaleti og Rouen. Spændvidden mellem Taarnene er 197 m, og mellem Brodragerne og Vandoverfladen er der en Afstand af 53 m. Platformen eller Færgen er 10 m lang og 12 m bred og drives af to elektriske Motorer, hver paa 35 HK. Pillerne hviler paa Hængselled, og over hver af de stive Dragere gaar til at bære dem 16 Kabler, 8 paa hver Side af Drageren. Hvert Kabel indeholder 127 Staaltraade og vejer 4 Tons. Der findes ogsaa et lignende Antal Bagstag til Opankring, og disse Stag er underkastet større Spænding end Ophængningskablerne. Opankringen er knyttet til meget store og svære Murværksblokke. De to Bropiller hviler paa svære Fundamenter, der er firdelte. Omkostningerne ved Broens Bygning har været 1½ Million Kr.

Over Tee gaar en anden Transportbro, der forbinder Middlesborough med Port Clarence (a. Tavle XXXVII). Broen, der blev indviet af Prins Arthur af Connaught den 17. Oktober 1911, blev ført over Floden mellem de to Byer, fordi den gensidige Trafik var steget betydelig paa ganske faa Aar, og hidtil havde den været besørget udelukkende af Smaafærger, hvilket var ganske utilstrækkeligt. For at raade Bod paa dette Forhold blev der foreslaaet at oprette forskellige Forbindelsesveje, saasom Tunnel under Floden, Sving- eller Klapbro. Til sidst faldt dog Valget, som den mest praktiske Løsning, paa Transportbroen, der havde den store Fordel, at Skibsfarten kunde foregaa ganske uhindret. Broen var planlagt af det tidligere omtalte Entreprenørfirma Cleveland Bridge Company, men blev bygget og fuldført af Ingeniørfirmaet William Arrol & Company.

Selve Brokonstruktionen blev understøttet af to dobbelte Staaltaarne, der var fundamenteret paa Betonunderlag og bar to Brodragere i en Højde af 48 m over Højvands Vand-

standen. Broens Spændvidde var 172 m, og Brodragernes anden Ende gik et Stykke udover Taarnene, idet deres Endepunkter ved Staalkabler forankredes til svært Murværk.

Afstanden mellem de to Brodragere er ca. 10½ m, og paa deres underste Flange hviler Bærevognene, der i lodrette Kabler bærer Platformen eller Færgen. Paa Platformen er indrettet en Passagerkahyt samt Stoppekøreveje for almindelige Vogne og Sporvogne. Færgen kan bære 600 Passagerer og en Sporvogn samtidig. Færgen trækkes fra den ene til den anden Side ved Hjælp af Staaltove, som drives af en elektrisk Motor paa Sydsiden af Floden. Broens Bevægelser ledes som Regel fra en Førerplads paa Færgen, men kan ogsaa i Nødstilfælde dirigeres fra et Kabelhus inde paa Land.

VIII

Fraset Transport-Brotypen, der ikke kan anvendes, hvor der er Tale om en meget stor Jærnbane- og Vogntrafik, kan der være Tale om at benytte andre Metoder til at passere over eller under Kanaler og stærkt trafikerede Vandveje. Der kan vælges mellem følgende fire Passagemidler: Tunnel, Højbro, Klapbro og Svingbro. Af disse maa Tunnelen som Regel opgives af pekuniære Grunde og noget lignende gælder for Højbroen, hvis Bygning desuden ofte vil være umulig paa Grund af lokale Forhold. Tilbage bliver der Klapbroen og Svingbroen.

Svingbroen bestaar af et Spand, der i Midten hviler paa et Leje af Fosforbronce-Plader, koniske Ruller eller ganske smaa Hjul. Dette Leje, der er i Cirkelform, hviler igen paa en underliggende cirkulær Bane af Staalplader, saaledes at Broen paa denne Pivot kan svinges 90° ud (b. og c. Tavle XXXVII). Som Eksempler paa denne Brotype kan nævnes Tyne-Broen mellem Newcastle og Gateshead og Langebro mellem Sjælland og Amager. Langebros bevægelige Spand, der drejes og styres fra et overliggende Udkigshus, har en Spændvidde af 67 m, men der findes f. Eks. i Amerika Broer, hvor det drejelige Spand naar op til en Længde af 150 m.

Saadanne Broer, hvor praktiske de end kan være, danner ikke desto mindre en Hindring for den frie Sejlads, da Midterpillen deler Sejlløbet i to adskilte Dele og stopper al Midtfarvandssejlads samtidig med, at en saadan Bro i flere Minutter afbryder enhver Passage mellem de forbundne Strandkanter. Endelig forlanger en Svingbro ret stor Plads i Vandløbets Retning, saaledes at to Broer til gensidig Hjælp for at aflaste Trafiken ikke kan bygges ved Siden af hinanden. Desuden vilde to tætliggende Broer af denne Type altid besværliggøre Sejladsen.

Den Brotype, der i Grunden svarer bedst til de Fordringer, der maa stilles til en Bro over et befærdet Sejlløb, er den moderne og sindrigt konstruerede Løftebro (a. Tavle XXXIX), der har fundet udstrakt Anvendelse i Amerika. Denne Brotype har et Midterspand, der kan hejses op og ned. Man sparer herved Plads, da det ikke som ved Svingbroer er nødvendigt at anbringe en Midterpille, hvilket i snævre Sejlløb har stor Betydning. Desuden er det ikke altid nødvendigt at hejse Brospandet op i den øverste Stilling. Som Regel løftes det kun saa højt op, at vedkommende Skib kan passere, og derved spares ikke ringe Tid.

IX

Klap- eller Vindebroer danner en Type for sig og kan indenfor deres Række notere den berømte gamle Tower Bridge i moderne Form. Den nye Tower Bridge blev færdigbygget i Juni 1894. Den har to store Klapper, hver ca. 50 m lange og svarende til en Vægt af 1200 Tons, naar Kontravægtene af Jærn og Bly medregnes. Denne store Vægt bæres af en massiv Staalaksel, der hviler i Kuglelejer af Staal. Staalakslen er 54 cm i Diameter og 15 m i Længden. Desuden anvendes ved Tower Bridge en hydraulisk Akkumulator — en af Nutidens sindrigste Opfindelser —, der bruges til at løfte og sænke Klapperne. En saadan Klapbro er paa det nærmeste af ganske samme Type, som Middelalderens Vindebroer, der anvendtes over Gravene ved Datidens Ridder-

borge; selvfølgelig kan Nutidens Broklapper dog ikke bevæges ved Haand og Magt, men fordrer tværtimod meget stor Kraftudfoldelse.

Medens Tower Bridge blev bygget, forberedte Ingeniørerne ved Metropolitan West Side Railway i Chicago Anlæget af en Bro med fire Jærnbanespor over Chicago Floden. Det var nødvendigt at føre Broen over mellem to allerede begyndte Svingbroer, der imidlertid laa saa tæt, at det var umuligt at bygge en tredje imellem dem. Ingeniørerne, der skulde forestaa Arbejdet, foreslog da en Klapbro af samme Type som Tower Bridge, men deres Forslag blev kasseret. Endelig opfandt en amerikansk Ingeniør, William Scherzer, en ny Type af Klapbroer. I denne Brotype var Klapakslerne erstattet af Staalsegmenter, der ganske lignede Gængerne under en Gyngestol, og hvis Bevægelse giver Minimum af Friktion. I den mod Land vendende Ende af Spandet findes en Kontravægt, der netop afbalancerer Broen, naar den hviler under en Vinkel af 45°.

Broen lukkes eller aabnes ved Hjælp af Kraftpaavirkninger paa et Punkt, der er Centrum i den Cirkel, hvoraf Segmentet er en Buedel, hvilket Punkt ogsaa ligger nærved Systemets Tyngdepunkt. Bevægelsen kan frembringes enten ved en frem- og tilbagegaaende Stempelstang eller ved Hjælp af Tandstang og Tandhjul, der virker i Segmentets Centrum. Denne Brotype er ogsaa forholdsvis let at bygge, da Sejlløbet ikke blokeres af Arbejdere og Materialer. Spandet kan bygges paa Land i oprejst Stilling og først sænkes, naar det er færdigt til Brug.

En saadan Klapbro kan bære Enkelt- eller Dobbeltspor, og flere Broer af denne Type kan anbringes Side om Side og manøvreres hver for sig eller samlede. Tower Bridge Spændvidde er 61 m, medens Scherzers To-Klapsbro over Chicago River spænder over 83 m. En Bro af Scherzer-Typen, der kun har Enkeltspand paa 70 m, er med stor Fordel benyttet over Cuyahoga River ved Cleveland i Ohio. Naar en saadan Bro er oppe, rager den højere op end to Rundetaarne, det ene anbragt oven paa det andet. Mange Ingeniører hævder, at det vil være muligt at bygge en Scherzer Bro

med samme Spændvidde som Forth Broen, fordi Bevægelsen er friktionsløs, og fordi Afbalanceringen kan gøres fuldkommen ved Hjælp af Segmentet og Kontravægtene.

Ralls Klapbro ligner meget Scherzer-Typen, men paa den ene Ende af Klapperne anvendes Hjul. Aabningen af Broen minder om en Tipvognsbevægelse. Af samme Type som Ralls og Scherzers Broerne er Straus' Klapbro, der dog afviger ved, at Klappernes Drejning foregaar om en Slags Tromle.

Den bedst kendte Klapbro i Danmark er sikkert Knippelsbro, der tværs over Københavns Havn forbinder Slotsholmen med Kristianshavn. Knippelsbro, der blev aabnet 1908, har 33 m Spændvidde og er den næststørste Klapbro i Europa. For at Kontravægtene ikke ved Klappernes Aabning skulde komme ned i Vandet, hvilket jo bl. a. vilde bevirke, at Opdriften formindskede deres Virkning, er de anbragte højt oppe tværs over Kørebanen. Kontravægtene betjenes ved Elektromotorer, og gennem en Slags nedadgaaende Ben paavirker de den ene Ende af Klapperne (»Klaphalen«), hvorved Broen aabnes og lukkes. Knippelsbro tilhører Straus' Klapbrotype.

X

Broen over Towy Floden ved Carmarthen (b. Tavle XXXIX) blev bygget i Aarene 1908—11 og traadte i Stedet for en gammel Træviadukt, der førte over Towy Flodens Munding. Denne gamle Viadukt bestod af tretten faste Spand af Træ (hver 6 m lange), og da der paa Floden er stor Forskel paa Høj- og Lavvande (over 4 m), var der i Midten af Broen anbragt et bevægeligt Spand paa 15 m Vidde, saaledes at der derved kunde aabnes et snævert Sejlløb, som muliggjorde Passage af smaa Dampere og andre Flodfartøjer. Broen, hvis samlede Længde var 117 m, blev bygget i Aarene 1852—54 af den berømte Ingeniør I. K. Brunel. Den gamle Bro var nærmest en Slags Skydebro, idet det bevægelige Spand blev løftet i den ene Ende og dernæst paa Ruller trukket til Side.

Lokomotivernes og det rullende Materiels stadige Vægtforøgelse gjorde det imidlertid absolut nødvendigt at erstatte Træbroen med en moderne Staalbro. Dette Arbejde blev udført af Entreprenørfirmaet »Cleveland Bridge Engineering Company« fra Darlington, der byggede den nye Bro lige ved Siden af den gamle. Den bestod af fem faste Spand, hvert paa 18 m, og et bevægeligt Spand, der kunde aabne for et 15 m bredt Sejlløb. Spandene hvilede paa cylindriske Piller, og de to Kystspand udvidedes ind mod Land for bedre at forene Sidetrafiken med Hovedlinien. Arbejdet paa de østlige Bropiller blev paabegyndt i December 1908 og voldte ikke faa Vanskeligheder paa Grund af Jordbundens uheldige Beskaffenhed. Fundamenterne maatte her nedsænkes til Dybder mellem 18 og 28 m, medens man paa den vestlige Side endog maatte ned til en Dybde af 33 m under Jordoverfladen.

Det bevægelige Spand eller Klappen er absolut den interessanteste Del af Broen. Klappen bestaar simpelthen af en afbalanceret Cantileverarm, bygget af Staalpladedragere og hvilende paa to Sæt Cylindre. Naar Klappen er nede, hviler dens ene Ende paa en af Bropillerne til det ligeoverfor liggende faste Spand. Klappen bevæges gennem en Tandhjulsforbindelse (Dobbeltgear), anbragt paa Bukke eller Søjler. Paa Ydersiden af de to Hoveddragere i Klappen er anbragt en Tandbue, og disse Buer bliver drevet af Tanddrev paa Tappen af Søjlerne. Disse Drev bliver igen sat i Bevægelse gennem et Hjulsystem, der drives samtidigt ved Hjælp af en fælles Tværaksel, som er ført ind under Brodækket. Denne Tværaksel er direkte koblet til en Elektromotor paa 42 H. K., der faar sin Strøm fra Land gennem et særligt lille Betjeningshus paa Siden af Broen. Naar Klappen aabnes, gaar Kontravægtene ikke ned i Vandet, men ned i vandtætte Brønde paa Siden af Broen. Under rolige Vindforhold kan Broen aabnes paa 2 à 3 Minutter og hertil anvendes kun 11 H. K., men i stærk Vind fordres Motorens fulde Kraft.

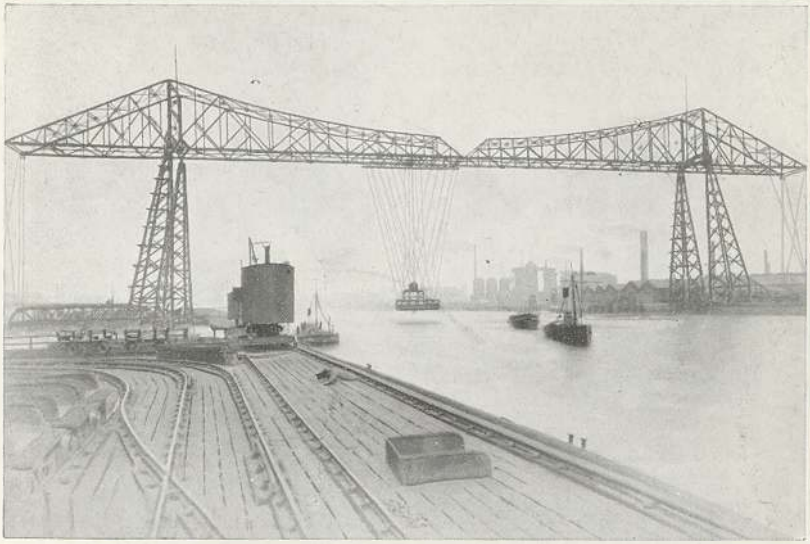
Til Broens Bygning benyttedes 557 Tons Smedejærn, 750 Tons Staal og 296 Tons Støbejærn.

XI

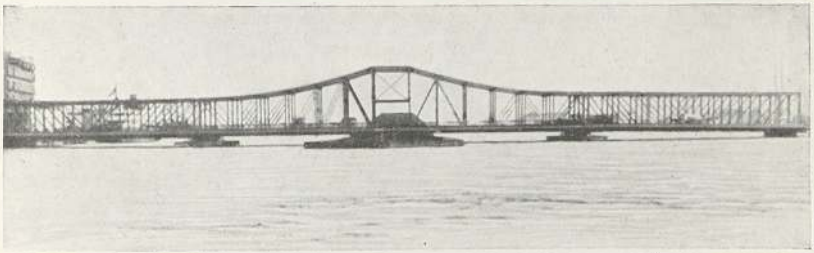
Et af Verdens største Brobygningsarbejder er netop paabegyndt. Det drejer sig om en Bro over Detroit Floden, der skal forbinde Byen Detroit — de forenede Staters store Industricentrum ved den kanadiske Grænse — med den gamle men nu i stærk Vækst værende By Windsor paa Canadasiden.

I Følge de forskellige Planer skal Broens Totallængde være 1128 m. Der vil blive anvendt to Etager med et Hovedspand paa 550 m Længde. Den øverste Bro, som vil blive bygget først og taget i Brug, medens den underste fuldføres, skal være 30 m bred og rumme to Køreveje, hver paa 2 m Bredde, samt et dobbelt Spor til Sporvognsdrift. Den underste Bro skal, naar den er færdig, have Plads til fire Jærnbanespor. Hele Systemet skal bæres af otte i Land forankrede Kabler, 53 cm i Diameter, der vil blive ført op over Strandtaarne paa ca. 100 m Højde. Kablerne vil komme til at bestaa af ca. 10,000 enkelte Traade, der vil blive strakt hver for sig.

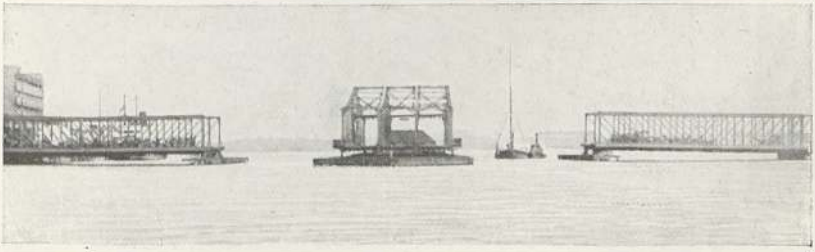
Til Slut bør nævnes Pontonbroer, der understøttes af en Række flydende Pontoner. En saadan Bro fører over Limfjorden ved Aalborg. Her aabnes Sejlløbet ved, at et Brostykke svinges ud til Siden. Pontonbroer bruges ogsaa ret ofte som faste Broer, da de er meget lidt vanskelige at bygge. Af andre danske Broer skal, foruden de allerede omtalte Knippels- og Langebro, nævnes Masnedsundbroen, der er en Bjælkebro, og Broen over Østerbros Stationsterræn, Langeliniebroen, der er bygget efter Cantileverprincipet.



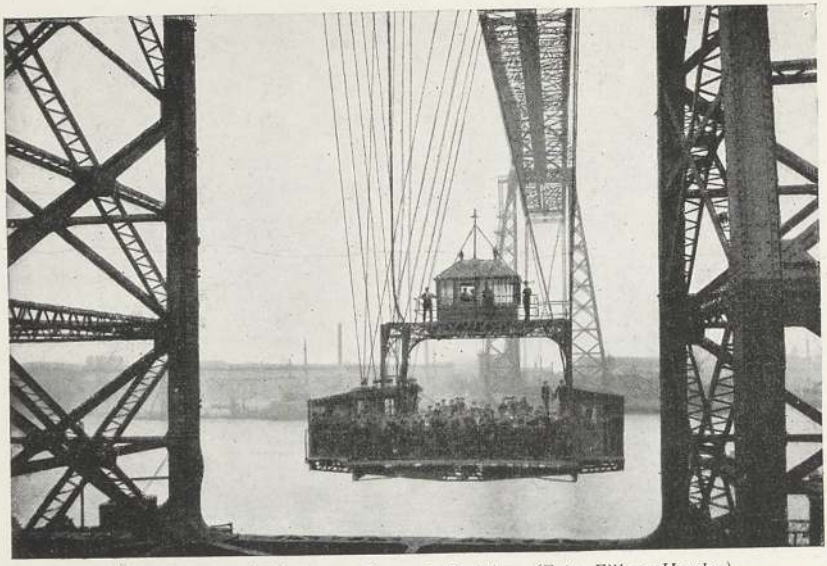
(a) En Transport Bro ved Middlesbrough. *(Foto. Ellison Hawks.)*



(b) Typisk Svingbro. Lukket. *(Foto. General Electric Co.)*



(c) Svingbroen aaben. *(Foto. General Electric Co.)*



(a) Middlesbrough Transport Broen i Funktion. *(Foto. Ellison Hawks.)*

(b) Transportvognen i Middlesbrough Broen.
(Foto. Ellison Hawks.)

KAPITEL XII

QUEBEC BROEN

I

HVILKET Ingeniørarbejde, der paa et givet Tidspunkt maa betragtes som Verdens største, lader sig meget vanskeligt afgøre; thi hvad er størst? — en Bro, et Skib, et Taarn eller hvilketsomhelst andet Bygningsværk? Alt afhænger her af det enkelte Individs Opfattelse af Storhed. For nogle Mennesker er Mikroskopets Aabenbarelse af en vidunderlig Verdens mindste Enkeltheder vor Tids største Opfindelse, medens andre holder paa Teleskopet, der viser os det uhyre store Verdensrum — det uendeligt Æterrum, hvis Distancer maales i »Lysaar«. Der eksisterer dog næppe mange Ingeniører, der for Tiden tør benægte, at Quebec Broen (Tavle XLI) uden for al Tvivl stiller alle andre Ingeniørarbejder i Skygge med sin mægtige Spændvidde og sine Dimensioner i det hele taget. Desuden henledes Opmærksomheden uvilkaarligt paa denne Bro ved den Maade, hvorpaa den blev bygget under to store Fortidsskygger, nemlig Katastrofen med den første Bro og Uheldet med den nye Bro, da den stod lige overfor sin Fuldførelse.

Quebec Broen forbinder de canadiske Statsbanelinier syd for St. Lawrence med Jærnbanelinierne paa den nordlige Side. Broen sparer paa Forbindelseslinien Halifax-Winnipeg ca. 325 km og danner desuden et Forbindelsesled mellem de to store transcontinentale Ruter og Forbindelserne med Atlanterhavskysten.

II

I et tidligere Kapitel har vi allerede omtalt Quebec Broen og dens Forhistorie. Allerede i 1853 paatænkte man Anlæget af en saadan Bro, men den isolerede Beliggenhed og St. Lawrence Flodens store Bredde bevirkede imidlertid, at Arbejdet stadig maatte udsættes og først saa sent som i 1882 opnaaede M. W. Baby Privilegium paa at opføre Broen. Han indgik i Kompagniskab med den kendte Ingeniør A. L. Light, som fik en Del af de Ingeniører, der havde deltaget i Forth Broens Bygning, interesseret i Foretagendet. Planen var at bygge en Bro efter Cantileverprincipet, som efter Forth Broens Succes blev anset for at være Storbrobygningens »sidste Skrig«. Imidlertid var Planerne næppe fuldførte, før den canadiske Regering tog sig af »Quebec Bridge Company«, og som Følge heraf voksede Kompagniets Anseelse og Magtmidler. De forenede Staters Rigmænd blev interesserede i Vovestykket, og en Ingeniør fra New York udarbejdede de nærmere Detailjer. Broens Beliggenhed blev bestemt, og Arbejdet paa Underlaget blev paabegyndt i August 1900 og fuldført i Slutningen af 1902. Fra det Øjeblik gik Opstillingen af Staalværket frem med Stormskridt uafbrudt indtil den 29. August 1907, da en skrækkelig Katastrofe indtraf. Paa den Dag brød den sydlige Cantileverarm, Forankringsarmen, og næsten det halve af Hængespandet pludselig sammen under dens egen Vægt og tog ca. 100 Arbejdere med sig i Døden (a. Tavle XLII).

Den forfærdelige Ulykke gjorde et dybt Indtryk ikke alene paa alle Ingeniørerne, men ogsaa paa det store Publikum. Det saa ud som om Mennesket i sin hidtil haardeste Kamp mod Naturen havde tabt og var blevet narret og overvundet.

Stilstanden skulde imidlertid ikke vare ret længe, thi der opstod en heftig Diskussion, der i Forbindelse med en rationel Undersøgelse snart klarlagde den virkelige Aarsag til Ulykken. En Kommissionsundersøgelse førte endelig til, at den canadiske Regering som saadan paatog sig at gennemføre Brobygningen som et Statsforetagende. I 1908 ud-

nævnte Regeringen et Raad paa tre Ingeniører til at udarbejde Planerne. Raadet foretog særdeles grundige Undersøgelser af de forskellige Brotyper, særlig af Cantilever- og Hængebroer. Dernæst blev der udskrevet en Konkurrence om Bygning af Broen efter Cantileverprincipet, idet Regeringen forbeholdt sig Ret til at vælge mellem de indsendte Tilbud. Et tysk, et engelsk og et amerikansk Selskab afgav Tilbud. Valget faldt paa »Lawrence Bridge Company«, det amerikanske Firma, der byggede sit Projekt paa Anvendelse af K-Dragere.

Op over den gamle Bros Rester steg da efterhaanden, som en Fugl Fønix, det smukkeste Brobygningsarbejde, der hidtil havde været præsteret. De mange Fejl, der aabenbaredes ved det første Forsøgs Sammenbrud, stod som en Advarsel for de senere Ingeniører og tjente til at indprente dem de skrækkelige Følger af Fejltagelser og Fejlberegninger.

III

Spændingerne i en Cantilever Struktur af denne Størrelse afviger ikke i særlig høj Grad fra Spændingerne i lignende Strukturer over betydelig kortere Spand, naar man ser bort fra deres Størrelser; Forholdet mellem dem vil være det samme. Paa Grund af Broens usædvanlige Størrelse var Ingeniørerne tvunget til stadig at regne med de Vanskeligheder, som Tilvirkningen og Transporten af slige mægtige Enkeltdele vilde medføre.

Af større Betydning endnu var dog selve Fremgangsmaaden ved Opførelsen og den Effekt, som de enkelte Deles Vægt vilde faa paa Konstruktionen, efterhaanden som Arbejdet skred fremad. Saasnart Bygningen var givet i Entreprise, gik det kontrollerende Selskab i Gang med at fremskaffe de Hjælpemidler, der var nødvendige, for paa Stedet at kunne fremstille disse store Enkeltdele, thi der fandtes ingen Værksteder eller Fabriker i Canada, hvor der kunde fabrikeres saa store Dele, som der efter Tegningerne skulde anvendes her. Der blev derfor opført Værksteder i Rock-

field nær ved Montreal, og der blev etableret direkte Jærnbaneforbindelse ad korteste Vej mellem disse og Broens Udgangspunkt paa begge Sider af Floden. Anlæget af Værkstederne og deres Udstyrelse kostede ikke mindre end 6 Mill. Kr. Til Ingeniørerne og de fleste af Arbejderne blev der anlagt en særlig Lejr med alle moderne Bekvemmeligheder.

I Specifikationerne for Broen var Fordringerne baade hvad Materialets Beskaffenhed og Fabrikationsmetoden angik meget strenge, thi man var klar over, at der maatte udvises den yderste Præcision med Længden, Tilpasning og Forbindelser, saafremt Foretagendet med Held skulde føres igennem. Af denne Grund maatte der anskaffes en Del Specielværktøj og særlige Maskiner. Alle vigtigere Huller blev boret i Stedet for at lokkes*), og der blev udvist stor Omhyggelighed ved Materialernes Samling og Nitning samt ved Spandenes Afslutning, ligesom det paasaas, at Bolthullerne blev boret aldeles lige.

I Quebec kan udendørs Arbejde, naar det skal udføres med Omhu, kun drives forholdsvis kort Tid, ca. 7 Maaneder om Aaret, og det var derfor nødvendigt at oprette Værfter, hvor Arbejdet kunde foregaa trygt og godt, saa godt som hele Aaret, da Tidsafbrydelserne ellers vilde blive altfor lange. Saadanne Værfter blev oprettet paa begge Sider af Floden og forsynet med Kranspor og Skinneanlæg. Der anvendtes store Kraner med 25 m Udliggere og en Løfteevne paa 70 Tons, medens mindre 30 Tons Lokomotiv-Kraner blev brugt til alt lettere Arbejde.

IV

Bygningen af en moderne Cantileverbro er allerede omtalt under Beskrivelsen af Forth Broen. Ved Anlæget af Quebec Broen maatte mægtige Kraner tages i Brug. Disse Kra-

*) lokkede, ɔ: pressede ud paa samme Maade, som man presser Huller i Regninger og Breve, der skal opbevares i en Brevordner. Ved denne Behandling svækkes Materialet i Hullets Kanter, hvilket ikke sker ved Udboring.

ner var anbragt paa Skinneveje, kunde bære store Byrder paa op til 60 Tons, og Udliggerarmene var meget lange. Desuden anvendtes Hjælpekraner til mindre Byrder, og man regner, at der alene til disse forberedende Arbejder blev brugt ca. 8000 Tons Staal.

Konstruktørernes Arbejde skred hurtigt fremad baade for Cantilevernes Under- og Overstaalværk, og i al Almindelighed ventede man, at Arbejdet vilde være tilendebragt i Slutningen af 1916, betydelig tidligere end man oprindelig havde beregnet.

Planen for Bygningen gik ud paa først at opbygge de to Cantilevers mod Nord og Syd og dernæst, naar de var fuldført, at flaade Midterspandet ud paa Floden, hvorfra det skulde hejses op paa Plads. Der blev overhovedet ingen Dispositioner truffet for Hjælpedragere eller for Reservematerialer i Tilfælde af, at Broen ikke kunde bygges efter den lagte Plan, men eventuelt skulde bygges ved at lade hver Cantileverarm forlænge med Halvdelen af Midterspandet og saaledes opnaa en Forening paa Midten af de to Brohalvdele.

V

Den interessanteste Del af dette store Brobygningsarbejde var vel nok Anbringelsen af Centralspandet. Der var saa stor Risiko forbundet med at flaade det ud i den Højde, hvor det skulde anbringes, at en saadan Fremgangsmaade aldrig blev taget alvorlig i Betragtning. Den anerkendte Plan gik ud paa at bygge Midterspandet i det mest praktiske Niveau, flaade det ud i Stilling og hejse det paa Plads. Det bedste Byggested for Spandet fandtes at være Sillery Cove, der ganske vist laa 4½ km fra Broens Plads, men som paa den anden Side frembød særlig gunstige Forhold. Fra dette Sted kunde Jærnbanelinien til Materialanlægene og Værfterne let føres igennem, der fandtes en god plan Klippebund, som tillod en hurtig Opbygning af Spandet. Stedet var ligeledes godt beskyttet af udenfor liggende Grunde, men der fandtes dog

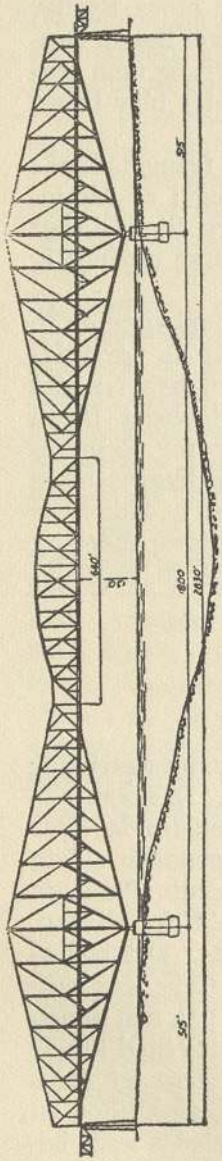


Fig. 106. Quebec Broen.

tilstrækkelig Vand ved Højvandstider til at løfte Pontonerne, som skulde bære Midterspandet.

Bygningen foregik i en saadan Højde, at Pontonerne kunde flaades ind under Spandet ved Højvande og ved Ebbe bringes til Hvile paa de til dem særligt byggede Fundamenter. Der var ialt seks Pontoner, hver 50 m lang, 10 m bred og næsten $3^1/_2$ m i Dybden. De var bygget af meget svære Staalspanter og Staalpladedragere, der skulde tjene til Understøttelse for den tunge koncentrerede Byrde, de var bestemt til at bære. I Bunden af hver fandtes seks Ventiler, der kunde betjenes fra Dækket og som tillod Tidevandet at strømme ind og ud, naar Pontonerne hvilede paa deres Fundamenter ved Sillery.

Gunstige Vandstandsforhold til Flaadning af Spandet kunde kun ventes nogle faa Dage i Springtidsperioden. Paa et gunstigt Tidspunkt blev Spandet flaadet klar af sine Underbygninger ved Sillery og slæbt opad Floden mod Strømmen ved Hjælp af fem Slæbebaade (en paa 1000 H. K. og fire hver paa 500 H. K.). To mindre Slæbebaade blev holdt i Reserve i Tilfælde af Vindforandringer, eller hvis de fem Slæbebaade ikke magtede at holde Spandet op mod Strømmen, der her løber med en Hastighed af godt 10 km i Timen. Det viste sig imidlertid, at de fem Slæbebaade klarede sig udmærket, og at Reservebaadene var ganske unødvendige.

Ved selve Broen blev der gjort alle mulige Forberedelser til at tage mod Spandet. Svære Fortøjningsbjælker, der foroven var hængslet til Cantileverens Yderender, blev

trukket til Side for at undgaa Risikoen ved et Sammenstød med Spandet, medens dette blev manøvreret ind paa Plads. Da Spandet paa det nærmeste laa i den rigtige Stilling, blev det i begge Ender ved Hjælp af svære Staaltraadstove forbundet med Fortøjnings- eller Ledebjælkerne, der atter var firet ned i lodret Stilling. Paa denne Maade opnaaede man at faa Spandet anbragt nøjagtigt under det Sted, hvor det skulde indtræde som Led i Broen (b. Tavle XLII). Løftekæderne, der havde været trukket til Side, medens Spandet blev flaadet paa Plads, blev derefter firet ned i lodret Stilling og fastgjorte, efter at Spandet var fortøjet til Ledebjælkerne. Under Hejsningen hvilede Spandet paa to Gitterbjælker, der hver vejede ca. 30 Tons. Disse Bjælker var allerede anbragt i begge Ender af Spandet, medens det blev bygget i Sillery, og forblev paasat under Transporten. I hvert af Hjørnerne var, tværs over Enden af Cantileverarmene, anbragt en svær Tværdrager, der hvilede paa et Vuggeleje for at fordele Vægten ligelig paa Hejsekæderne.

Midterspandet vejede, da det var klar til Ophejsning, ca. 5100 Tons, til hvilken Vægt maatte føjes Løftebjælker og Løftekæder (ialt ca. 440 Tons), saaledes at den samlede Vægt, der skulde bæres under Hejsningen, blev 5540 Tons. Til dette Arbejde anvendtes hydrauliske Maskiner med Stempler paa 55 cm i Diameter og et Arbejdstryk af ca. 280 kg pr. cm^2. Maskinerne og Kæderne var prøvede under et samlet Tryk af 420 kg pr. cm^2 ved at bolte Maskinplatformen til Løftebjælkerne. To Pumper, en paa Enden af hver Cantileverarm, drev de hydrauliske Trykmaskiner. Pumperne, der blev holdt i Gang ved Hjælp af komprimeret Luft, fik denne leveret gennem Trykrør fra Land. Gennem Telefoner paa hver Cantileverende sørgedes for, at Spandet blev løftet lige meget paa begge Sider. Fire svære Skruedunkrafte, der betjentes ved Haandkraft, var anbragt under hver hydraulisk Presse for at kunne understøtte denne, hvis der skulde ske en Ventilsprængning eller et lignende Uheld i det hydrauliske System, og man vilde saaledes være i Stand til at foretage de nødvendige Reparationer, medens Vægten hvilede paa disse Skruer.

Selve Hejsningen var ganske enkel og ligetil. Naar de hydrauliske Presser var i deres nederste Stilling, blev Hejsekæderne boltet til Løftebjælkerne, der ved Bolte gennem Ledebjælkerne bar Spandet. Ved det hydrauliske Tryk løftedes Spandet nu ganske langsomt, indtil Boltene i Ledebjælkerne ikke bar mere. Disse Bolte blev da taget ud, og Spandet løftet videre en god halv Meter, indtil Boltehullerne i Løftebjælkerne var ud for de næste Boltehuller i Ledebjælkerne. Igennem de korresponderende Huller blev der derefter stukket Bolte, hvorefter Kæderne afkortedes, saa en ny Hejsning kunde finde Sted.

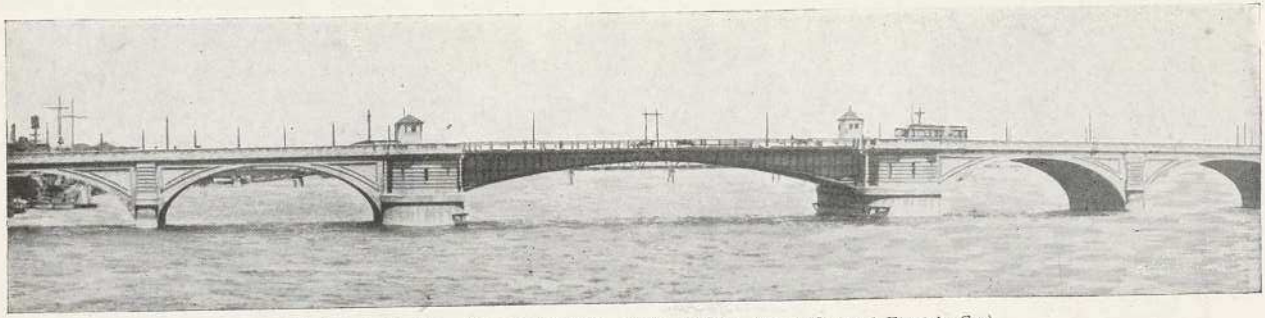
VI

Efter at alle Forberedelser var endt, blev Midterspandet heldigt bragt i Stilling den 11te September. Spandet blev forbundet med Hejsekæderne og ved de hydrauliske Maskiner løftet, indtil Pontonerne var frigjort for Spandets Vægt, hvorpaa disse med Strømmen blev flaadet bort, saa at Spandet nu hang i Hejsekæderne. I tidligere Tider var mangt et Midterspand blevet anbragt ved Hjælp af Pramme og Kraner, men Quebec Broens Spand var saa enormt stort, at der maatte træffes ganske andre Forberedelser. Desuden var det første Gang, at der blev gjort Forsøg paa at ophejse et Spand af den Størrelse og den uhyre store Vægt ved Hjælp af hydraulisk Kraft.

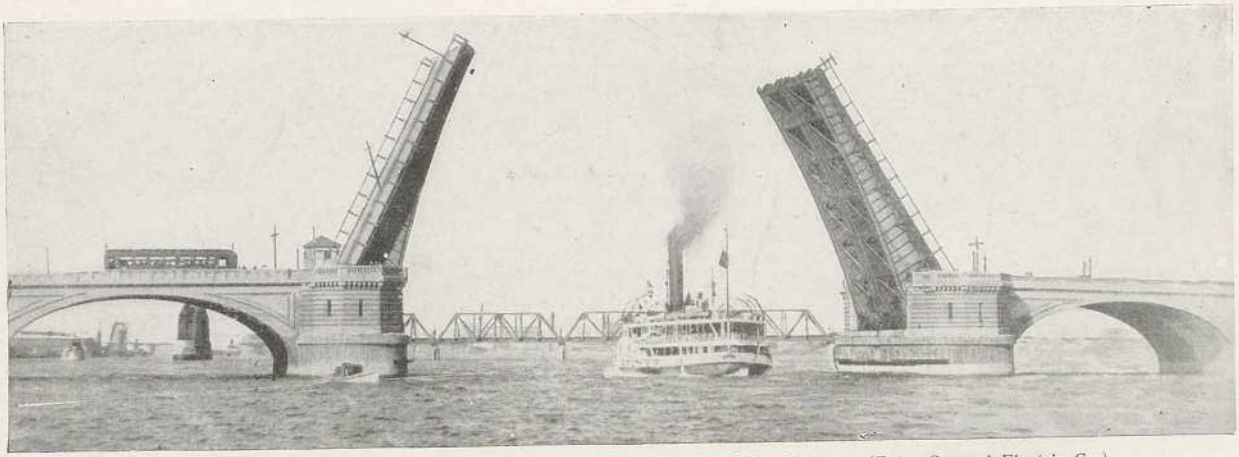
Hidtil var alt forløbet planmæssig, og det gjaldt nu kun om at faa Spandet hævet op i den endelige Stilling. Efter at Spandet havde været udsat for fire Løftninger paa Nordsiden og fem Løftninger paa Sydsiden af Broen og nu svævede i en Højde af knap ti Meter over Vandfladen, svigtede en eller anden Forbindelse pludselig i det sydvestlige Hjørne. Med et uhyggeligt Brag styrtede denne Broende ned i Vandet og vred Spandet og Broen i den Grad, at de vandrette Dele næsten indtog en lodret Stilling. Snart efter sprængtes Sideforstøtningerne, og da Dragerne ikke længere holdt, blev Broens sydøstlige Dragere ogsaa revet ud af deres Leje.

(a) En Løftebro. *(Foto. General Electric Co.)*

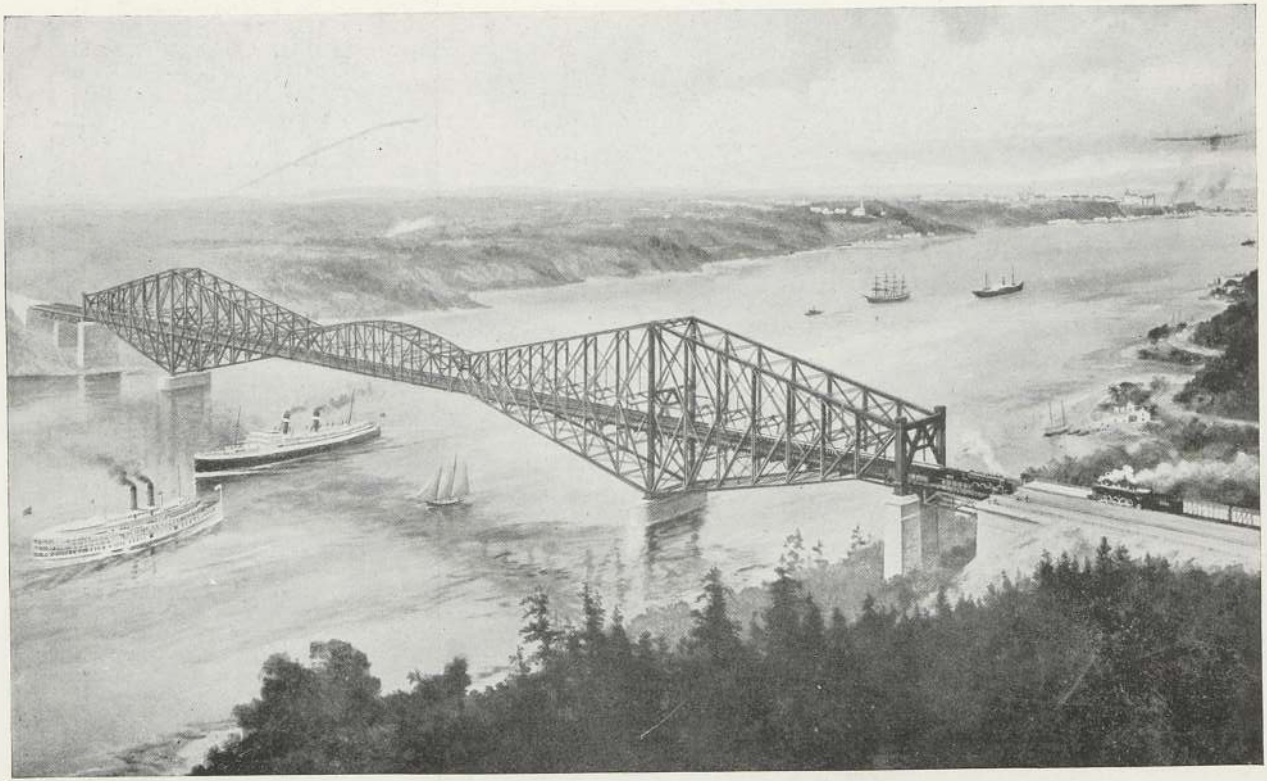
(b) Klapbroen ved Carmarthen. *(Foto. Messrs. Cleveland Bridge Co., Ltd.)*



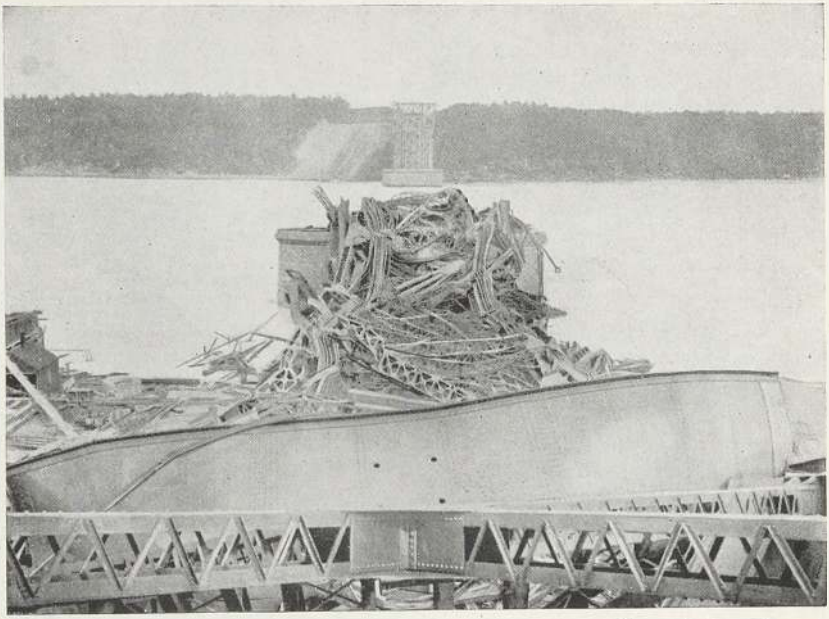
(a) En stor Toklaps Bro ved Toledo, Ohio, U.S.A. *(Foto. General Electric Co.)*



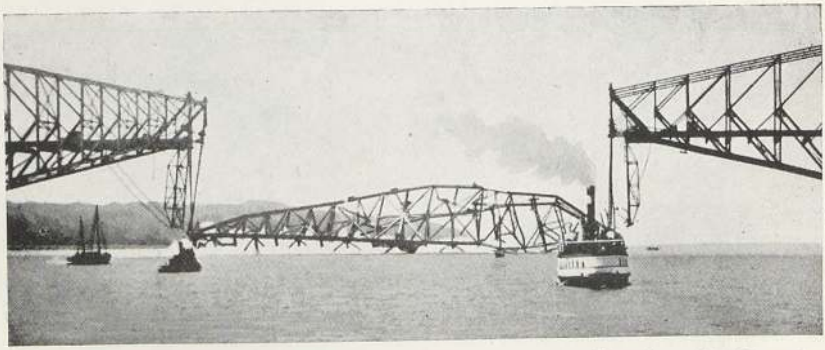
(b) Samme Bro aabnet. Klapperne bevæges af fire 75 HK. elektriske Motorer. *(Foto. General Electric Co.)*



Quebec Broen. „Dette Aarhundredes vidunderligste Ingeniørarbejde".



(a) Quebec Broen. Første Ulykke. Denne Samling „Gammelt Jærn" var alt hvad der var tilbage af det sydlige Kystspand efter Sammenbruddet. *(Foto. Dominion Bridge Co.)*



(b) Quebec Broen. Anden Ulykke. Dette brilliante Fotografi viser det forvredne Centralspand forsvinde i Bølgerne. *(Foto. Dominion Bridge Co.)*

Da den sydlige Ende sank, blev samtidig begge de nordlige Hjørner trukket med, og hele Midterspandet forsvandt snart under Vandets Overflade. Efterhaanden som de forskellige Hjørner af de to Hovedcantilevere frigjordes for deres Belastning, opstod stærke Svingninger i Hejsekæderne og Cantileverarmene.

Der var mange forskellige Meninger blandt de tilstedeværende om, hvad der i Virkeligheden var sket. Imidlertid har man fra Sammenbruddet et Fotografi, der tydeligt viser, hvad der er sket (b. Tavle XLII). Efter Katastrofen var Ledebjælkerne og Hejsekæderne ganske uberørte og stadigvæk i deres oprindelige Position. Ved en nærmere Undersøgelse af Aarsagerne til Ulykken viste det sig, at denne var foraarsaget ved et Brud paa et korsformet Støbestaalsled, som dannede en Del af det ovenfor omtalte Vuggeleje. Støbningen var sprængt lige over den øverste Bolt.

Paa Grund af Uheldet blev der foretaget en indgaaende Undersøgelse, hvorigennem det skulde konstateres, hvorvidt nogen Del af de allerede byggede Cantilevere havde været udsat for Overanstrengelse i deres daværende Struktur. Det blev konstateret, at Cantileverarmene havde været underkastet meget alvorlige Paavirkninger, først ved den pludselige Slipning af det faldende Spand og derpaa af den følgende opadgaaende Bevægelse, som foraarsagede stærke Vibrationer, da Midterspandet gik til Bunds. En senere minutiøs Undersøgelse viste imidlertid, at hverken Cantileverne eller deres enkelte Led havde været overanstrengte eller havde skiftet Form som Følge af Ulykken.

Saa snart Ingeniørerne var vidende om dette Forhold, blev der til Konstruktion af et nyt Midterspand beordret netop de samme Dele, som til det første Spand, der nu var tabt. Fejlen var fundet, og Støbestaals-Korsledet blev forstærket, saaledes at der ved dette ikke mere var nogen Fare at frygte. Et nyt Spand blev bygget, og ved første passende Højvande blev det gjort klar til Flaadning den 15de September 1917. Ugunstige Vejrforhold og stærk Blæst foraarsagede imidlertid, at Flaadningen blev udsat et Par Dage; men derefter gik alting glat, naar undtages en lille Forsinkelse

ved Anbringelse af Boltene i Hejsekæderne. Tolv Hejsninger fandt Sted den første Dag, toogtyve den anden, seksogtredive den tredje, paa hvilket Tidspunkt Spandet allerede var løftet saa højt, at der kun manglede ca. 8 m i den endelige Højde. Endelig den 20de September 1917 var Midterspandet paa Plads, og dets Forbindelse knyttet i alle Retninger.

Brobanen paa Spandet blev lagt ved Hjælp af Lokomotivkraner. Det første Enkeltspor blev anlagt for sig selv, saaledes at Lokomotiver allerede kunde passere Broen den 17de Oktober 1917. Broen blev aabnet for regelmæssig Trafik den 3die December 1917. De eneste Ting, der manglede i Fuldførelsen, var Beton-Fortovene for Fodgængere og Malingen af Broen, hvilke Arbejder begge blev fuldført kort Tid efter, at Broen var taget i Brug.

VII

At Quebec Broen omtales som Verdens største Ingeniørarbejde, skyldes to Aarsager. Ikke alene er ved denne Bro anvendt det sværeste og længste Spand, der hidtil er konstrueret, men her blev ogsaa for første Gang anvendt de nu saa bekendte K-Dragere. Det samlede Hovedspands Totallængde er 549 m eller betydeligt længere end Hovedspandet i den berømte Forth Bro.

Efterfølgende Tal vil give et udmærket Begreb om de enorme Spand og de enkelte Deles Dimensioner.

Broens Totallængde	979 m
Hovedspandets Længde	549 -
Midterspandets Længde	195 -
Cantileverarmenes Længde	337 -
Anker- eller Kystarmenes Længde	314 -
Cantilevernes Højde ved Hovedtaarnene	94 -
Cantilevernes Højde ved Yderenderne	21 -
Midterspandets Højde i Centrum	33 -
Broens Bredde	26 -

Staalværkets Højde over Højvande ..... 46 -
Hovedtaarnenes Dybde under Højvande .. 31 -
Staalbroens samlede Vægt ..... 66,480 Tons

Quebec Broens Jærnbaneskinner ligger 5 m højere over Lavvands-Vandstanden end Niagara Faldene. Broen bærer to Jærnbaner, hvis Midterafstand er 10 m, en Kørevej og to asfalterede Fortove for Fodgængere. Som en Kuriositet kan anføres, at der ved Broens Bygning blev anvendt større Stenmængder end ved Grundlæggelsen af hele Quebec By.

Omkostningerne ved Anlæget af Quebec Broen anslaas til ca. 100 Millioner Kroner.

KAPITEL XIII

DAMPSKIBE

I

FORTÆLLINGERNE om Skibenes Udvikling gennem Tiderne er baade interessante og spændende. Hvem der var den første Sømand, véd vi ikke, men det er sandsynligt, at en eller anden Form for et Skib har været i Brug i den allertidligste Periode. Selv Oldtidens Folk var meget dygtige Navigatører, og naar vi erindrer, at der dengang hverken eksisterede Kompas eller Kort, træder deres Dygtighed endnu skarpere frem. Uden at frygte det ukendte, gik de ofte ud paa lange og eventyrlige Rejser og Opdagelsesfarter.

I denne Bog er der ikke Plads til nærmere at komme ind paa Raleighs og Drakes dumdristige Togter, ej heller paa den store spanske Armada. Vi maa ogsaa overspringe Udviklingen og Fuldstændiggørelsen af de bekendte amerikanske og engelske Klipperskibe og de spændende Fortællinger om disse Skibes Rejser paa fjerne Lande. Klipperne hastede hjemad med Australiens og Kaliforniens Guld og Kinas Te, og under Pres af Sejl søgte de at sætte Rekorder, ligesom Nutidens Oceanflyvere. Undertiden gik det godt, som f. Eks. ved »Thermopylæ«s 60 Dages Rekordrejse fra England til Melbourne, men undertiden endte Kapløbet med en Katastrofe som f. Eks. for »Ariel« og »Taeping« under deres Racerfart fra Foochow til London med Sæsonens Tehøst. Disse slanke, elegante Sejlere hører med til Havets Poesi, og deres Besætninger var Ungdommens Helte; men Tiden er ubarmhjertig, og nu gennempiles Havets Strømme af Turbinedampere og Motorskibe, Ingeniørers og Teknikeres Værk.

I tidligere Kapitler har vi set, hvilken Omvæltning Lokomotivets Fremkomst foraarsagede i Trafikforholdene paa Land. Omtrent paa samme Tid, for godt Hundrede Aar siden, fremstod de første Dampskibe og foraarsagede en lignende Omvæltning paa Søfartens Omraade. Før Dampskibstiden kunde Skibene ganske vist befare saa godt som alle Verdenshave, men det eneste Fremdrivningsmiddel var Vinden.

Denne Afhængighed af Vinden bevirkede, selv om Sejlskibene trængte frem overalt paa Kloden, at deres Rejsetid var lang og usikker. Nutildags anser vi en Uge for at være en lang Tid over Atlanten, medens man med Sejlskibene regnede med adskillige Uger og ansaa det for en ren Begivenhed, naar et stort Sejlskib skulde afgaa til Amerika. Sejltiderne og med dem Ankomst- og Afgangstiderne varierede stærkt, medens Oceanflyverne nu krydser frem og tilbage med næsten samme Hyppighed og samme Nøjagtighed som Eksprestog paa Land. Dette skylder vi udelukkende Dampmaskinen, som ikke alene har lettet Rejsen til Lands, men ogsaa har sammenknyttet Lande og Verdensdele ved at muliggøre Anvendelsen af Dampskibe. Det kan uden Overdrivelse siges, at Dampkraften har været det vigtigste Middel til at udvikle Verdenshandlen og fremme Civilisationen.

Skønt ingen kunde være blind for de store Fordele ved Dampens Indførelse til Skibsbrug, fandt den dog ikke Sted uden en Del Opposition. Mærkelig nok kom denne Opposition fra Matroser og Sømænd, som mente, at Dampen vilde foraarsage mange Ulykker, saasom Kedelsprængninger og Brand om Bord.

II

Naar man betragter en moderne Oceanflyver, er det næsten umuligt at tænke sig, at det kun er Hundrede Aar siden, at Damp første Gang blev brugt ved Fremdrivning af Skibe. Man vægrer sig ved at tro, at endnu saa sent som 1836 blev det ganske aabenlyst hævdet, at det paa Grund af »fysiske«

Omstændigheder vilde være umuligt at bygge et Skib, som kunde krydse Atlanterhavet for Damp alene. Naar man imidlertid tænker paa, hvor ufuldstændige Datidens Maskiner maatte synes i Sammenligning med de stolte, gennemprøvede Sejlskibe, saa er der dog maaske noget, der tjener til Undskyldning for ovennævnte Paastand. Klipperskibene blev ført af Verdens dristigste Kaptajner, og deres store Hastighed udmaledes i mangen spændende Skipperhistorie, og det var overfor slige Konkurrenter, at Datidens Maskinister skulde hævde Dampens Overlegenhed. Intet Under at Fremskridtet til at begynde med var langsomt.

Allerede i Aaret 1543 byggede Spanieren Blasco de Garay et saakaldt primitivt Dampskib, der i Virkeligheden dog kun var et Hjulskib, drevet af Menneskekraft. Indtil 1800 udtoges der nu forskellige Patenter paa saakaldte Dampbaade, men først efter at Watt havde forbedret Dampmaskinen, fik Dampen rigtig Indpas i Skibe.

De første Dampskibe blev alle drevet frem af Skovlhjul, som dog ingenlunde var nogen ny Opfindelse. Kinesiske, ægyptiske og græske Skibe blev drevet frem ved Hjælp af Menneskekraft og Skovlhjul. I 1742 blev anvendt Skovlhjul, der bestod af Trærammeværk, overtrukket med beget Sejldug. Hjulene blev bevæget ved Hjælp af Haandsving. I 1736 beskrives en Opfindelse, der var patenteret af Jonathan Hull, saaledes: »En nylig opfunden Maskine til at bringe Fartøjer og Skibe ud af og ind i Havne og ud fra og ind til Kysten mod Vinden og Strømmen eller i stille Vejr«. Hjulene var anbragt i Baadens Agterstavn og blev drevet af en Maskine, muligvis af samme Type som den af Newcomen opfundne, af hvilken der findes en Beskrivelse i de foregaaende Kapitler.

III

Dampskibets virkelige Pionerer var Miller fra Dalswinton og hans Lærer James Taylor. Millers første Skib, der blev bygget i 1786, fik Navnet »Edinburgh« og blev drevet frem ved Haand og Magt gennem Anvendelse af Skovlhjul. James

Taylor vilde imidlertid anvende Damp, og det blev overdraget en Mekaniker ved Navn William Symington at indgive Forslag til en passende Maskine. Denne blev bygget af James Watt i 1788, havde to Cylindre med 23 cm Slaglængde og var forfærdiget af en Slags Messing (b. Tavle XIII). Paa Dalswinton Sø opnaaede Baaden en Fart af 8 km i Timen.

Miller og Taylor opgav efterhaanden Arbejdet, der imidlertid fortsattes af Symington, som i 1801 byggede en Dampbaad (»Charlotte Dundas«) forsynet med Hjul. Den blev

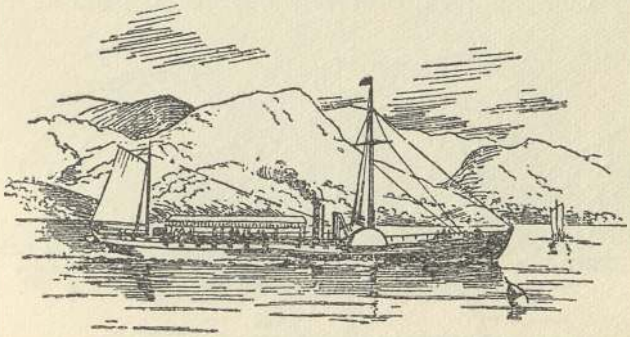


Fig. 107. „Clermont". Bygget af Robert Fulton, 1807.

benyttet som Slæbebaad i Forth og Clyde Kanalen, men da Kanalstyrelsen hævdede, at Skvalpet fra Skovlhjulene ødelagde Kanalens Sider, blev den hugget op.

Imidlertid havde Fulton i Amerika (1807) med Held prøvet sin berømte »Clermont« (Fig. 107), og ham tilkommer uden Tvivl den største Del af Æren for Dampfartøjernes Fremkomst. Fem Aar senere løb den kendte engelske Dampbaad »Comet«, der var konstrueret af Henry Bell af Stabelen paa Clyde (Fig. 108). »Comet« var den første Dampbaad, der blev anvendt til Trafik her i Europa, idet den gik i Passagerfart mellem Glasgow, Greenock og Helenaburgh (»Comet«s Maskine, Tavle XXVII). I 1818 sejlede »Rob Roy« fra Glasgow til Belfast og var saaledes den første Dampbaad, der gik i oversøisk Fart. Aaret efter præsterede den amerikanske Damper »Savannah« det Vove-

stykke at gaa tværs over Atlanterhavet og kom da ogsaa heldig til Liverpool efter 27 Dages Rejse. Der hengik nu hele fjorten Aar, inden det næste Skib gik over Atlanten. Ogsaa denne Gang var det et amerikansk Skib, der benyttede 24 Dage til Overfarten. Denne Overfartstid blev ikke slaaet før i 1838, da den engelske Damper »Sirius« gjorde en Rejse fra London til New York paa 17 Dage.

Denne ringe Begyndelse blev fulgt af Bygningen af det langt større Skib »Great Western«, hvortil Planen var udkastet af Brunel. Ved et Direktionsmøde i Great Western Railway Compagniet diskuteredes et Forslag om at anlægge

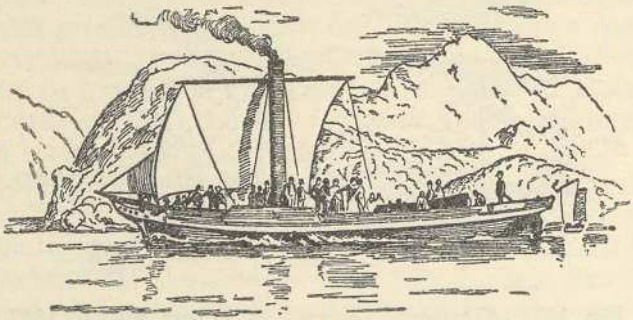
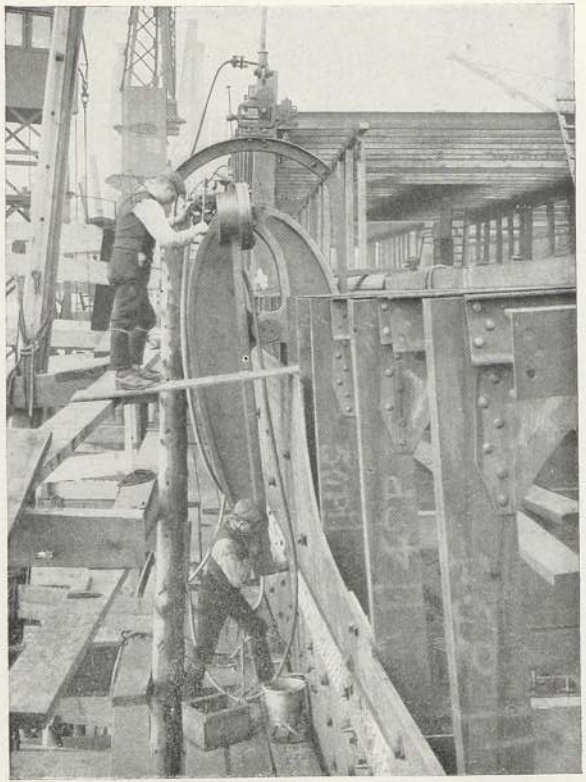


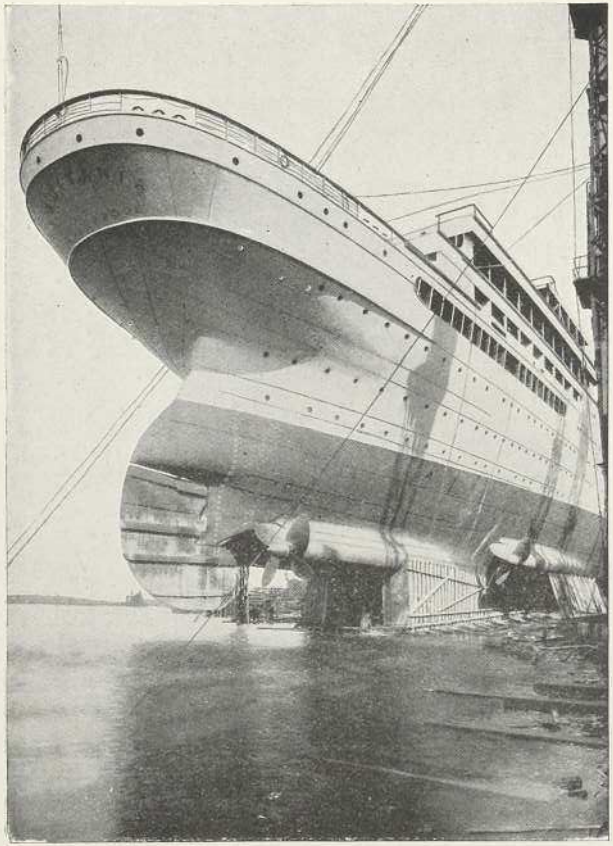
Fig. 108. „Comet". Bygget af Henry Bell, 1812. Fart 11 km i Timen.

en Jærnbane fra London til Bristol. En af Direktørerne talte bekymret om denne Linies store Længde, hvortil Ingeniøren, Brunel, svarede: »Hvorfor ikke gøre den længere endnu og lade et Dampskib fortsætte fra Bristol til New York og give Skibet det passende Navn »Great Western«?« De fleste af Direktørerne opfattede Forslaget som en behagelig Spøg, men fra Brunels Side var det Alvor, og der blev nu nedsat en Kommission til at føre Forslaget ud i Livet. Resultatet blev, at »Great Western« kunde sættes i Vandet i Aaret 1837. Paa Vejen til Bristol udbrød der Ild om Bord, og det lykkedes kun med største Besvær at faa den slukket. Brunel, der var ilet til Hjælp, styrtede ned gennem en Luge og tabte Bevidstheden. »Great Western« afgik paa sin før-

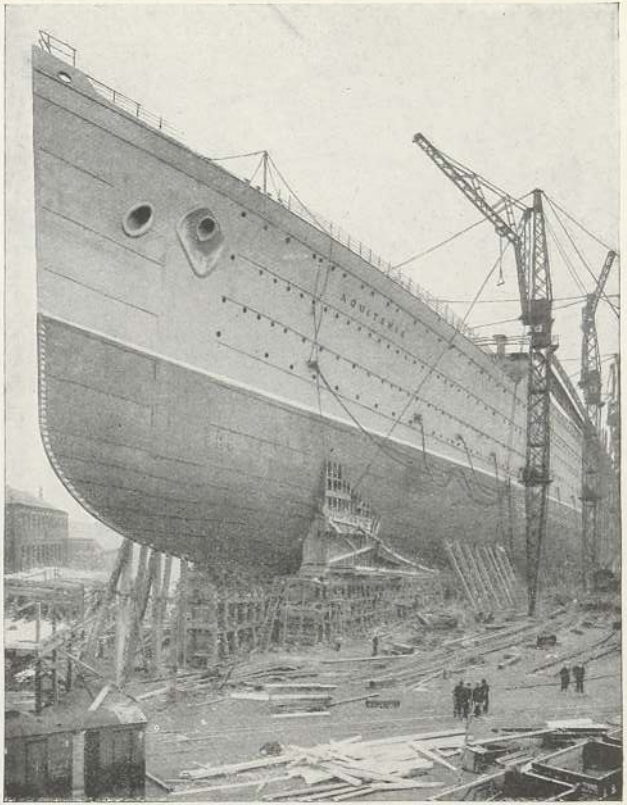


(a) Hydraulisk Nitning ved Bygningen af „Aquitania“.
(Foto. Messrs. John Brown and Co., Ltd.)

(b) Pneumatisk Værktøj skærer igennem „Aquitania“s Skibsside.
(Foto. Messrs. John Brown and Co., Ltd.)



(a) „Aquitania“ set bagfra. Bemærk de to Skruers Anbringelse. *(Foto. Messrs. John Brown and Co., Ltd.)*



(b) „Aquitania“ under Bygning. Sammenlign Størrelsen af Skibet med Mændene i Forgrunden. *(Foto. Messrs. John Brown and Co., Ltd.)*

ste Rejse den 8. April 1838 og ankom til New York efter en heldig Overfart den 23. April.

Senere byggedes »Great Britain«, der var større end »Great Western«, der desuden var af Træ, medens »Great Britain« var et Jærnskib. Uheldet fulgte dog ogsaa denne Damper, thi paa den tredje Rejse gik den i Land paa Irlands Nordkyst. Der blev den staaende i 11 Maaneder, holdt flydende paa Pumperne, indtil den endelig blev slæbt ind til Liverpool. Ved Undersøgelsen viste det sig, at den ingen Skade havde lidt, et Bevis paa Brunels udmærkede Konstruktion og paa Jærns Værdi som Skibsbygningsmateriale.

Danmark fik i 1819 sin første Damper »Caledonia«, der gik som Postdamper mellem København og Kiel. Først i 1827 fik Norge et Par Dampskibe »Constitution« og »Prins Carl«.

IV

Den 1. Maj 1854 foretog Brunel ved at nedlægge Kølen til »Great Eastern« det første Skridt til denne Kæmpekonstruktion. Den blev bygget paa Themsen, af Hensyn til den store Længde parallelt med Floden, og ikke mindre end 3,000,000 Nagler blev brugt til Nitningen af de 30,000 Jærnplader. Skibet var ikke klart til Stabelafløbningen før i Slutningen af 1857, men kom endda først i Vandet i Slutningen af Januar næste Aar, da Skibets store Deplacement (11,000 Tons) gjorde Afløbningen meget vanskelig. Uheldet syntes at følge alle de af Brunel byggede Skibe, og det udeblev heller ikke denne Gang. Foruden financielle Vanskeligheder, fulgte efter den mislykkede Stabelafløbning en Række Uheld: Taklerne strakte sig ved det andet Forsøg pa at sætte Skibet i Vandet, og efterhaanden slæbtes Forankringerne med, de hydrauliske Pressere revnede, Kablerne sprængtes, og det ene Skovlhjul stødte paa en Bro. Aldrig saa snart var disse Havarier bragt i Orden, før det andet Skovlhjul stødte paa en af Prammene, som man blev nødt til at sænke.

»Great Eastern« havde et Deplacement paa næsten 19,000

Tons, var 207 m lang og 25 m bred (over Skovlhjulene var Bredden dog 36 m). Skibssiderne var 18 m høje, medens Toppen af de fem store Skorstene naaede helt op til 30 m. Der fandtes en Sejlrigning med 6 høje Master. Den havde to Skrog, en Yderhud og en Inderhud med en indbyrdes Afstand af ca. 0,8 m, og Rummet imellem dem var inddelt i vandtætte Celler eller Rum. Hovedsalonen, 30 m lang, 11 m bred og 4 m høj, var pragtfuldt udstyret og meget luksuøst indrettet. Den kunde medføre 800 Passagerer paa første Klasse, 2000 paa anden og 1200 paa tredje Klasse, og indrettet til Troppetransport kunde den tage 10,000 Mand. Besætningen bestod af 400 Mand, Kulkasserne rummede 12,000 Tons Kul, og Ladningsrummene kunde tage 6000 Tons Last. Den var forsynet baade med Skrue og Hjul, Dampen udvikledes i 10 Kedler, hver paa 50 Tons, og dens Fart var 14 Knob eller 26 km i Timen. Skruens Diameter var ca. 7½ m, medens Skovlhjulene, der hver vejede 185 Tons, havde en Diameter paa ikke mindre end 17 m.

Brunels sædvanlige Uheld fulgte ogsaa. »Great Eastern«, thi ikke saa snart havde den forladt Themsen paa Vej til Weymouth, før der skete en mægtig Røreksplosion, hvorved en af Skorstenene blev slynget 15 m til Vejrs. Fyrpladsen blev oversvømmet af kogende Vand og fyldt med skoldende hed Damp, hvorved mange Fyrbødere blev alvorligt forbrændte. Den 1. Maj 1861 afgik den til New York og holdt paa Rejsen en Gennemsnitsfart af knap 14 Knob (ca. 25 km i Timen). Den følgende September blev den overfaldet af en Storm, hvorved begge Skovlhjulene blev revet af og Roret knækket, saa den maatte vende tilbage til Milford Haven for at reparere.

Dette store Skib — Forløberen for Nutidens store Oceanflyvere — var en fuldstændig Fejltagelse som commercielt Produkt, thi det var forud for sin Tid. Ved Anvendelse af »Great Eastern« ruineredes det ene store Selskab efter det andet, hvorfor den i 1864 blev taget ud af Passagerfarten og solgt til Telegrafkompagniet, for at finde Anvendelse ved Udlægning af Kabler mellem England og Amerika. Til sidst

blev den udlejet som Udstillingsfartøj i Liverpool for endelig i 1887, da den endnu var i helt god Stand, at blive solgt til Ophugning som gammelt Jærn.

V

Trods Uheldet med »Great Eastern« blev Bygningen af Dampskibe mere og mere almindelig, og der dannedes en Række Dampskibsselskaber, hvis Baade snart gik i regelmæssig Fart paa Ruter mellem de forskellige Lande og de forskellige Verdensdele.

Fra Hjulskibene af »Great Western« og »Great Eastern«s Type til Nutidens Turbinekæmper er et stort Skridt, og dog er det forbavsende kort Spand af Tid, der ligger mellem disse to Yderpunkter. Skønt Turbinen nu snart har fortrængt den gamle Skibsmaskinetype, maa Brunel dog stadig mindes, som den Pioner, der saa klart paa Skibsfartens Fremtid, ligesom Stephenson paa Jærnbanernes. Newcomens Maskine blev brugt i mange af de allerførste Dampfartøjer, men de blev hurtigt erstattet af bedre Typer. I 1804 fuldførte Woolf Kompound-Ekspansions-Maskinen, der hurtigt kom i almindelig Brug. Derefter fulgte den oscillerende Maskine, opfundet af Murdock i 1785 og senere forbedret af Maudslay i 1827.

Under Omtalen af »Great Eastern« blev Skruen allerede nævnt i Forbindelse med Hjul. Skønt denne Kombination havde virket tilfredsstillende, blev Skovlhjul dog stadig foretrukket af mange Selskaber. Det var først i 1846, da alle dens gode Egenskaber havde vist sig, at Skruen blev populær og almindelig anvendt. Brugen af Skibsskruen bevirker, at Skibene kan gøres smallere, Maskinens Beliggenhed er heldigere, og endelig kommer man af med de klodsede og besværlige Skovlhjul.

Skønt Principet i Skibsmaskinen har holdt sig ret uforandret, er der dog stadig indført Forbedringer. Omkring 1870 indførtes Tre- og Firgangsmaskiner (Ekspansionsmaskiner), hvor Damp under højt Tryk først virker paa et lille

Stempel i en lille Cylinder, derefter som Lavtryksdamp paa et større Stempel. Arbejdsdamptrykket steg efterhaanden fra 6,3 kg pr. cm² til 10,5 kg pr. cm². Kunstig Træk blev anvendt, Fyrpladserne tillukkedes og blev fyldt med Trykluft, som farer ud gennem Ildkanalen, den eneste Vej, der er at komme, hvorved Forbrændingen bliver langt livligere. Den Kraftforøgelse, man opnaar ved Anvendelse af kunstig Træk, blev i sin Tid anslaaet til at ligge omkring 70 %. I Torpedobaade, hvor Arbejdet paa Fyrpladserne blev meget anstrengende paa Grund af den høje Temperatur, indførtes et System af Kølevifter, cylindriske Kedler, og det højere Damptryk medførte Anvendelsen af Overflade-Kondensator. Ved at bruge Damp under særligt højt Tryk sparedes paa Brændselet, hvilket Forbrug menes at være gaaet ned med 30 %.

VI

»Great Eastern« havde en Besætning paa 400 Mand og var udstyret med 10 Kedler, hver med en Vægt af 50 Tons. Disse Kedler var fordelt imellem de forskellige Maskinsæt, idet nogle drev Skruen rundt, medens andre drejede de gigantiske Skovlhjul. Hjulmaskinernes indicerede Hestekraft var 5000 under fuld Kraft, Skruemaskinernes større endnu, nemlig 6500, og dog kunde Skibet ikke komme op paa mere end 14 Knob.

Storskibenes Dag var endnu ikke kommet, og »Great Eastern«s Mangler til Handelsbrug foraarsagede, at mange Opfindere og Spekulanter holdt sig noget i Baggrunden. Følgen var, at Oceantrafiken blev udført af Skibe paa op til 8000 Tons indtil 1889, da det paany blev foreslaaet at bygge større Passagerskibe. I 1889 byggedes saaledes »City of Paris« paa 10,670 Tons. Dette Skib blev to Aar efterfulgt af »Oceanic«, der var baade større og længere end »Great Eastern«.

Fremskridtet i Skibsbygningen holdt naturligvis Skridt med de Fordringer, der efterhaanden stilledes. Haandværktøj blev afløst af sindrige og kraftige Maskiner drevet ved

Damp eller Elektricitet, ligesom Indførelsen af hydraulisk og pneumatisk Kraft betød stor Forbedring paa mange Omraader (Tavle XLIII). Ved sværere Arbejder bruges nu almindeligvis hydraulisk Kraft, der særlig egner sig til Lokning af Huller, Flanging (Kantbøjning), Ophejsning og Nitning af Staalplader. En tung hydraulisk Presse lokker i et Slag Mandehuller paa 45 til 53 cm gennem Plader paa ca. 2 cm Tykkelse. Andre Maskiner bøjer Kanal- eller T-Jærn eller skærer igennem Vinkeljærn 15 cm × 15 cm × 2 cm, bøjer Jærnstænger (fra 15 cm til 30 cm tykke) og udstempler i eet Slag Huller i 2½ cm tykke Staalplader; Høvlemaskiner afhøvler en Plade paa 7 m i eet Stræk o. s. fr., alt for at hjælpe Skibsbyggeren til at udføre Arbejdet hurtigt og efter en stor Maalestok. Mindre og lettere Værktøj, saaledes som hydrauliske Nittemaskiner, der bruges ved Anbringelsen og Befæstelsen af Nitnagler, ikke alene virker 30—40 % hurtigere, end hvis Haandkraft anvendes, men udfører ogsaa Arbejdet bedre (a. Tavle XLIII).

VII

Skibenes voksende Tonnage har ogsaa foraarsaget en betydelig Udvikling paa andre Omraader, ikke alene i Havnene, ved Fortøjningsstederne og ved Losse- og Lastespil, men ogsaa paa mange andre mindre men dog betydningsfulde Detailjer. En af disse Detailjer er saaledes Indførelsen af Kæder (Ankerkæder). Før 1803 maatte alle Skibstyper tit betro deres Sikkerhed til Hampereb (Tove), der ganske vist ikke var særlig vanskelige at haandtere, men kun havde en meget kort Levetid. I dette Aar fik Marinekaptajn Samuel Brown af Firmaet Brown, Lennox and Company Tilladelse til paa egen Bekostning i Orlogsskibet »Penelope« at installere til Prøve en af ham selv konstrueret Ankerkætting. Resultatet af Prøverne var saa tilfredsstillende, at Marinen overalt lod Hampetovene afløse af de mere holdbare og stærkere Kæder. Nu til Dags anvendes Kæder saa godt som alle Vegne til Fortøjning af større Skibe, og det

er ganske interessant at se, hvor lille Forandring der er sket med Kæden, saavel i Fremstillingsmaaden som i Udseendet af de enkelte Led, siden dens Fremkomst. Der har været udtaget mange Patenter, og der har været gjort mange Forsøg paa at fremstille Kæder ved Hjælp af Maskiner, men de 120 Aar gamle Metoder og Dimensioner holder sig endnu den Dag i Dag.

De første sværere Kæder, hvor hvert Led maalte ca. 7 cm i Diameter, blev fabrikeret i 1856 til »Great Eastern«. Kædernes samlede Længde var 1600 m, deres Vægt 153 Tons, og de var saaledes de største hidtil fabrikerede Kæder. Brunel, »Great Eastern«s Konstruktør, var saa begejstret for disse Kæder, at han lod sig fotografere inde i deres Bugter, eller som han spøgefuldt udtrykte sig, »hængt i Kæder«.

I 1905 blev en af Verdens sværeste Kæder forfærdiget til Damperen »Mauretania«, den Gang det største Skib, der flød paa Havet. Kæden var 9½ cm i Diameter, hvert Led var 55 cm langt og vejede ca. 72 kg. Da Cunard Steamship Company forlangte, at et mindre Antal Led skulde strækprøves, blev tre Led taget ud af Kæden og sendt til Prøve paa en af Landets kraftigste Strækkemaskiner. Der blev gjort Forsøg paa at rive Prøvestykket over, men selv ved Maskinens fulde Træk paa 350 Tons opnaaedes intet Resultat. Heller ikke ved et Træk paa 370 Tons sprængtes Kæden, men en nærmere Undersøgelse viste endogsaa, at der intet som helst Brud var at finde. Damperen »Lusitania«s Ankerkæder er endnu sværere, nemlig 14½ cm i Diameter, Ankrene vejer hver 12 Tons, og den samlede Vægt af Ankergrejerne naar op over 200 Tons.

VIII

Af de hidtil byggede store Skibe hører de to berømte White Stars Toskrueskibe »Titanic« og »Olympic« til de mere interessante. »Titanic« sank paa sin første Rejse efter et Sammenstød med et Isbjerg og drog saa mange Mennesker med sig i Dybet, at Katastrofen kan betegnes som Historiens

største Skibbrud. »Olympic« blev under Krigen benyttet som Troppetransportskib mellem Amerika og Canada og Europa.

Regeringerne i de fleste Lande, hvor der eksisterer store Oceanflyvere, har som Regel truffet Aftaler med de forskellige Selskaber om Anvendelse af disse Dampere som hurtige

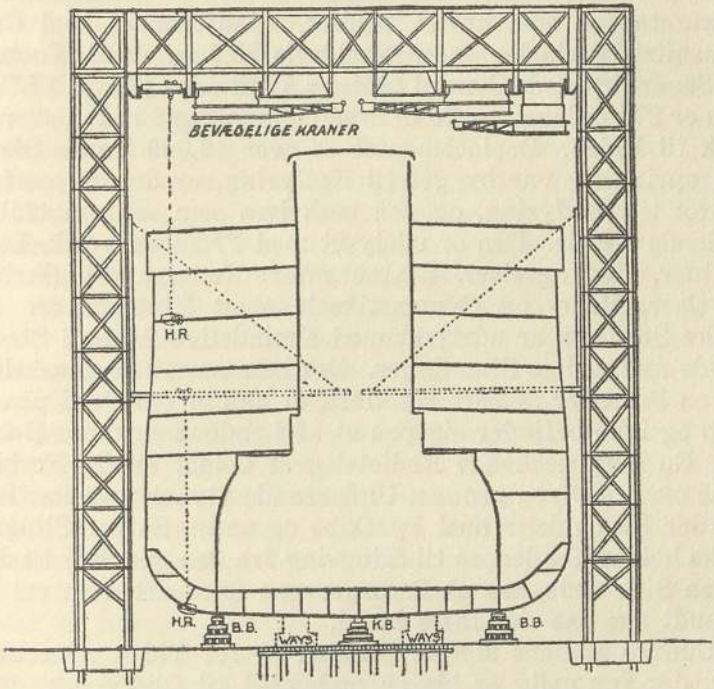


Fig. 109. Skematisk Snit gennem den Dok, hvori „Mauretania" blev bygget. H. R. = Hydraulisk Nittemaskine, K. B. = Kølblokke, B. B. = Slagbedding. (Med Tilladelse af „The Shipbuilder").

Krydsere og Troppetransportskibe i Tilfælde af Krig. Disse Skibe er da ogsaa udstyret med dobbelt Bund, en Inddeling i vandtætte Rum og har en Spantebygning, der er lige saa kraftig som noget Krigsskibs. Nikkelstaal anvendes nu, hvor Jærn tidligere blev benyttet, og Dækkene er gjort saa stærke, at de kan taale Paavirkninger under Skydning med svært Skyts.

To andre berømte Oceanflyvere er »Lusitania« og »Mauretania«, der begge tilhører Cunard Linien. Den første af disse blev som bekendt sænket af en tysk Undervandsbaad ud for Irlands Kyst, hvilket var en af Aarsagerne til, at Amerika indtraadte i Krigen paa de allieredes Side.

Indtil 1913 holdtes Hastighedsrekorden af »Lusitania« og »Mauretania«, som havde krydset Atlanterhavet med Gennemsnitshastigheder paa henholdsvis 25,5 og 26,01 Knob.

Senere byggede Cunard Linien »Aquitania« (Tavle XLIV). Den er 275 m lang, ca. 30 m bred og maaler 28 m fra øverste Dæk til Kølen. Deplacementet er over 46,000 Tons. Skønt den oprindelig var bygget til Kulfyring, er den nu omforandret til Oliefyring, og den beskrives som »et pragtfuldt, flydende Hotel«. Den er udstyret med Promenadedæk, Dagligstuer, Rygeværelser, Restauranter, Kunstgalleri, Skriveværelser, Bade- og Gymnastiksale samt Vinterhaver. De finere Soverum er udstyret med almindelige Senge i Stedet for de sædvanlige Standkøjer. Det kan være helt vanskeligt for en Passager at gøre sig klart, at han er om Bord paa et Skib og ikke befinder sig paa et af Londons elegante Hoteller. En langtrækkende Radiotelegraf holder stadig Forbindelse med Land, og gennem Undervands-Signalapparater holdes der Forbindelse med Fyrskibe og andre Skibe. Slingretanke holder Tendensen til Slingring fra den ene Side til den anden Side nede, saa at Passagererne føler det, som om de befandt sig paa det faste Land.

Cunard Liniens største Damper er for Tiden »Berengaria«, der for nylig er bleven ombygget til Oliefyring. Den gjorde sin første Rejse den 20de Maj 1922 fra Southampton til New York via Cherbourg. Den er 278 m lang, 30 m bred, og dens Deplacement er omkring 51,000 Tons. »Berengaria« har 46 Vandrørskedler, og ved Ombygningen blev hver Kedel forsynet med 5 Brændere, hvilket altsaa udgør 230 Brændere ialt. Samtidig fjernedes alle til Kulfyring hørende Apparater, saasom Aske-Ejektorer, Kulophejsningsspil etc., og i Stedet for anbragtes 12,800 m Rør af forskellig Størrelse. Kulkasserne forandredes til Olietanke, hvilket alene slugte ikke mindre end 1000 Tons Staal. Der findes ialt 32 Olie-

tanke, som tilsammen kan rumme 6200 Tons. En af Restauranterne paa Dæk »B« blev bygget om til Balsal med Parketgulv og Plads til 250 Deltagere.

IX

Den nyeste og sidste af de eksisterende Oceanflyvere er »Majestic« (Tavle XLVI), og det er næppe sandsynligt, at der vil blive bygget noget større Handelsskib i den nuværende Generation. Dybden af Havne, Floder og Dokker, Losnings- og Lastningsindretningernes Ydeevne vil næppe kunne tillade en yderligere Forøgelse af Tonnagen. Det kan i Forbindelse hermed anføres, at White Star Linien betragter et Skib som »Homeric« paa 35,000 Tons som Grænsen, hvorover det ikke er tilraadeligt at gaa. Et Skib af denne Størrelse er tilstrækkeligt for alle praktiske Formaal, og desuden er et saadant Skib mere økonomisk at have i Drift, giver som Følge heraf større Overskud og større Dividender til Aktionærerne, end hvis de store Kæmpedampere anvendes. Nægtes kan det imidlertid ikke, at set fra et Reklame-Standpunkt vil et eller andet Rederi maaske staa sig ved at bygge et Skib, der er større end de hidtil eksisterende, blot for at kunne reklamere med »det største Skib i Verden«. Store Skibe er desuden meget vanskelige at slæbe op og ned ad Floder og fortøje i Havne og Dokker, hvor Dybden ikke er ualmindelig stor, ligesom disse Skibe i ballastet Tilstand frembyder en mægtig Flade for Vinden, hvilket gør det meget vanskeligt at manøvrere med dem.

Før Krigens Udbrud var der mellem de forskellige store Nationers Dampskibsselskaber opstaaet en ret skarp Konkurrence paa Atlanterhavstrafikens Omraade, baade hvad Skibenes Størrelse, Fart og luksuriøse Indretninger angik. Den Tids længste Skib var Hamburg—Amerika Liniens Gigant »Imperator« (senere forlænget og omdøbt til »Berengaria«). I 1914 slog »Aquitania« med sine 275 m Længde Rekorden. Hvad Deplacement angaar, havde »Imperator« Rekorden indtil 1913 med sine 52,000 Tons, men denne Re-

kord blev dette Aar slaaet af det tyske »Vaterland« (nu »Leviathan«), der kom op paa 54,000 Tons. Dette Skib, der netop er klargjort efter store Reparationer, tilhører nu den amerikanske Regering.

»Berengaria« blev bygget paa Stettinværftet i Hamborg, og allerede under dets Bygning blev Kølene lagt til dets to Søsterskibe »Vaterland« og »Bismarck«. »Vaterland« gjorde sin første Tur over Atlanten i Sommeren 1914 og befandt sig i New York, da Krigen blev erklæret. »Bismarck«, hvis Længde var 290 m, var kun delvis færdig, da Krigen brød ud, og Arbejdet paa den laa næsten stille hen under selve Krigen. Efter Krigen blev den færdigbygget af Værftet og som Erstatning for en Del af det Skibsmateriel, der under Krigen var sænket af tyske Undervandsbaade, udleveret til den engelske Regering, der omdøbte den til »Majestic«.

»Majestic«s Skrog blev bygget efter Resultatet af forskellige Modelprøver, der blev foretaget i store Vandtanke. Disse Prøver viste, at ved at bygge efter den sidst prøvede Model, hovedsagelig fordi dens Agterskib var bygget i den saakaldte »Krydserform«, vilde der i Forhold til den første Model kunne spares ca. 18,000 H. K. I Planen for Skibet regnede man, at hver af de fire Skrueaksler skulde paavirkes af 15 til 16,000 H. K., og det var beregnet, at den samlede Maskinkraft paa 63,000 H. K. skulde give en Fart paa $23^1/_2$ Knob. I Virkeligheden kom Skibet paa Prøveturen op paa $24^1/_2$ Knob.

»Majestic«s Maskineri bestaar af Turbiner af Kompound-Typen, nemlig een Højtryks-, een Mellemtryks- og to Lavtrykturbiner samt fire særlige Bakturbiner. Da Skibet blev sat paa Stabelen i 1912 var de Reduktionsgear, der nu almindeligvis anvendes, endnu ikke helt brugelige. Dette er Grunden til, at »Majestic«s Propeller drives direkte af Turbinerne, men det formenes, at denne Ordning i Forbindelse med den tredobbelte Ekspansion giver den bedst mulige Økonomi uden Omsætning til Propellerne. Lavtrykturbinen vejer 375 Tons, og Bladene eller Skovlene, hvoraf der findes 9000, har en Længde af 61 cm. Der findes 48 Kedler af Yarrow-Typen med en samlet Hedeflade paa ca. 20,500 m^2

og et Arbejdstryk af 18 kg pr. cm². En Assistent har Tilsyn med tre Kedler ad Gangen; der findes ialt 16 Assistenter og 36 Rensere, hvilket giver en Fyrpladsbesætning paa ialt 52 Mand. Havde Skibet været indrettet til Kulfyring, vilde en Besætning paa 387 Mand have været nødvendig, nemlig 12 Assistenter, 197 Fyrbødere og 178 Kullempere. Maskinernes og Kedlernes samlede Vægt er 8500 Tons, og paa hver Atlanterhavsrejse bruges gennemsnitlig 7500 Tons Olie. For at holde Skibet paa samme Vandlinie, erstattes den forbrændte Oliemængde af en tilsvarende Vægt af Vandballast, der tages direkte fra Søen.

Opvarmningen i Skibet sker som Regel ved Damp, men Kahytterne kan ogsaa opvarmes ved Elektricitet. Det elektriske Anlæg svarer i Størrelse til en mindre Bys og bestaar af fem Damp-Generatorer, der hver udvikler 288 kw; Spænding 150 Volt og Omdrejningstal 200 pr. Minut. I Forbindelse med Hovedstationen staar en særlig Generator, som leverer Lys til 800 Nødlamper, anbragt rundt om i Skibet. Denne Nød-Generator er ogsaa sat i Forbindelse med Apparater til Baadenes Udsætning, Nød-Radiotelegrafen og andre Nødapparater. Denne Installation, der drives af en 80 H.K. Diesel Motor, er anbragt 6 m over det vandtætte Dæk.

»Majestic«, der ialt har 9 Dæk, er ca. 30 m bred og 30 m dyb. Alle Dækkene er af Staal, og fem af dem ligger i den nederste Del af Skroget og strækker sig i dettes fulde Længde. Over det femte Dæk findes der fire Overdæk, og syv af de ni Dæk er til Benyttelse for Passagererne. De er delt i vandtætte Afdelinger eller Rum, forbundne med vandtætte Døre, hvis Mekanisme betjenes fra Kommandobroen. Under Passagerdækkene deles Skorstenene i flere Dele, der ude i Siderne (i Borde) fører op over Dækkene, hvor de forenes. Ved dette Arrangement undgaar man at føre Skorstenene op midt igennem Skibet, hvilket kunde virke generende for Passagererne, og derved muliggøres ogsaa Indretningen af store Saloner og Sale midtskibs. En Tur gennem alle Gange og Saloner i hele Skibet vilde betyde en net lille Spadseretur paa smaa 15 Kilometer. I første Klasses Spisesal er der Plads til 652 Passagerer og i Restauranten yderligere til 200. Spisesalen

og Palmehaven er udstyret med forskellige Dele fra et tidligere London-Hotel. Det pompejanske Baderum og Svømmebassinet er udført i Marmor og smukt farvet Mosaik, med

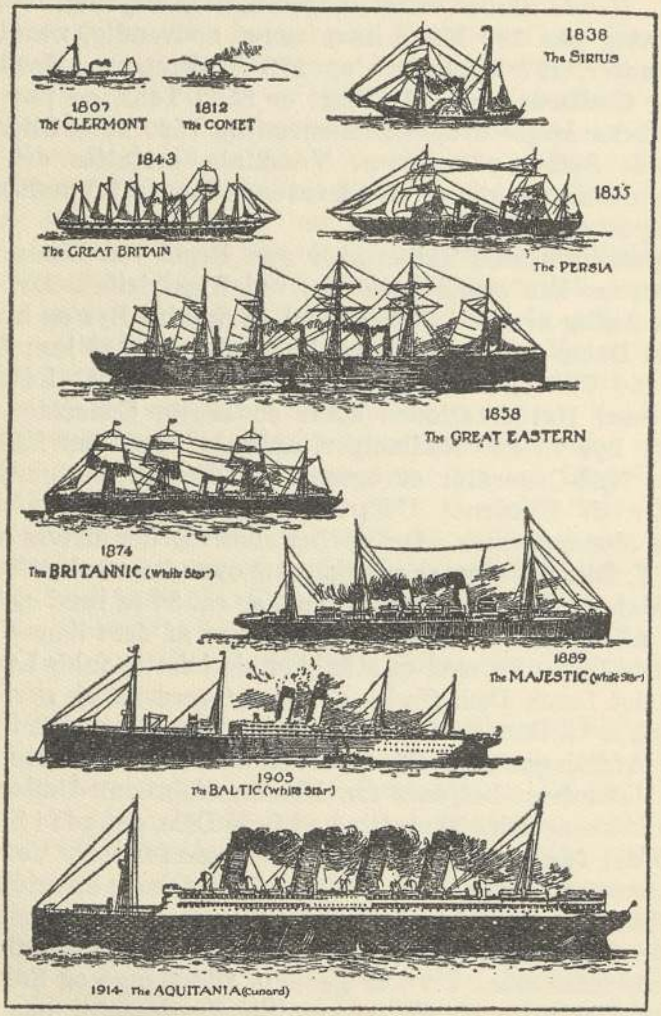


Fig. 110. Dampskibets Udvikling gennem 100 Aar. Alle Skibene er tegnet efter samme Maalestok for at vise det virkelige Forhold mellem Størrelserne.

omliggende tyrkiske og elektriske Bade. Skibet kan rumme 4100 Passagerer og har 1245 Kahytter foruden særlige Luksuskahytter og Suiter af Værelser. Som det vil forstaas af ovenstaaende Beskrivelse, bærer Skibet sit Navn »Majestic« med Rette.

X

Den 3die Maj 1922 saa man i Southampton Dokkerne den Mærkelighed, at Verdens fire største Skibe alle var fortøjede dèr, ragende højt op over alle de mindre Fartøjer. Disse fire store Skibe var »Majestic« (56,000 Tons), »Berengaria« (52,000 Tons), »Olympic« (46,439 Tons) og »Mauretania« (32,500 Tons). Et lignende Skue har aldrig nogen engelsk Havn kunnet præstere. Disse Giganter er jo i Virkeligheden mere end Hoteller, og kan kun beskrives som flydende Byer med hele en Bys Liv, Rastløshed og Underholdninger. De fire Skibe rummer tilsammen 20,000 Mennesker, ɔ: lige saa mange som Esbjerg har Indbyggere, men med betydelig flere Bekvemmeligheder og Fornøjelser lige ved Haanden. Skibene var lige meldt tjenstdygtige, og var hvert især klar til at starte paa den regelmæssige Rutetjeneste mellem Southampton og New York. Ingeniørerne havde her en glimrende Lejlighed til at demonstrere deres Dygtighed, som ikke alene havde faaet hele Byer til at flyde paa Havet, men som ogsaa havde sat disse Kæmpeskibe i Stand til at trodse Atlantens Storme og fuldføre en sikker og regelmæssig Rutetjeneste mellem den gamle og den nye Verden.

KAPITEL XIV

HVORLEDES BLIVER MAN INGENIØR?

(Omarbejdet efter danske Forhold.)

I

MANGE unge Mennesker vil sikkert, efter at have læst denne Bogs tidligere Kapitler, tage den raske Beslutning »at blive Ingeniør«. Det er mit inderlige Haab, at de, der tager denne Beslutning, vil lytte til de Raad, som nu følger, og at disse Raad maa være dem til Nytte og Gavn, saaledes at de kan blive ikke alene dygtige Forretningsmænd, men ogsaa gode Borgere.

Vi maa straks gøre os klart, at en Ingeniør ikke tilbringer sin Tid med Æventyrbedrifter og Fornøjelser. Tværtimod fordrer Ingeniørvidenskaben et intensivt og haardt Arbejde og et fortsat Studium. Under sin Uddannelse bliver den vordende Ingeniør ofte sat til Arbejder, som ikke netop synes at have meget med Ingeniørfaget at gøre. Det er jo langtfra sikkert, at han straks faar Ansættelse ved et Brobygningsfirma, og selv om han faar det, er det jo næppe sandsynligt, at han bliver sendt ud som Medhjælper i et eller andet tropisk Land, hvor han udenfor Arbejdstiden kan gaa paa Opdagelsesrejser, Storjagt og lignende Adspredelser. Heller ikke vil der, under denne første Del af hans Løbebane, blive betroet ham en ansvarsfuld Post i Maskinrummet paa en Oceanflyver, der gør Forsøg paa at faa »det blaa Baand«, ɔ: slaa Atlanterhavsrekorden.

I Stedet for at kunne nyde slige spændende Oplevelser vil saadanne unge Mænd, der har besluttet at blive Ingeniø-

rer, i høj Grad blive tvunget til boglige Studier. Disse Studier omfatter Matematik, Geometri, Mekanik og lignende Fag, som Drenge i Almindelighed nærer en vis Rædsel for.

For at kunne blive en dygtig Ingeniør, maa man have Anlæg og Interesse for Matematik, Mekanik og til en vis Grad for Konstruktionsbygning. Paa et eller andet Tidspunkt i deres Ungdom, mener næsten alle Drenge at have mekaniske Anlæg. Mange drømmer om at storme frem med Iltogene, Oceanflyverne eller Luftens Fartøjer. Andre drømmer mindre, men gør Forsøg paa at adskille et gammelt Ur eller en veltjent Cykle og passer omhyggelig paa at intet ødelægges. Senere anskaffer en af disse unge Mænd sig maaske en Motorcykle, og med en vis Sikkerhed skiller han den ad og gør den atter klar til Fart hver »Weekend«. Den Slags Drenge er i Besiddelse af den virkelige Ingeniørbegejstring, og er aldrig saa lykkelige, som naar Snavs og Olie er lige ved at naa dem op til Haartoppen.

II

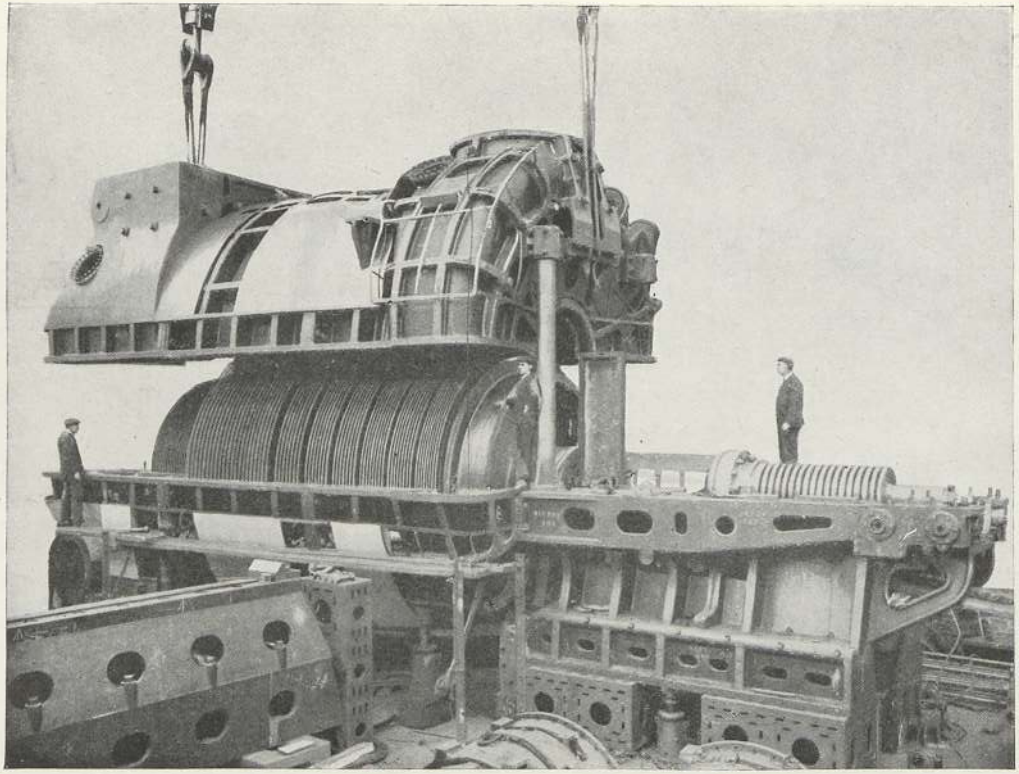
Ingeniørvidenskaben er engang blevet defineret som den Videnskab, der kunde udnytte Naturens Kraftkilder til Brug for Menneskeheden og dens Bekvemmelighed. Men at der ogsaa ligger Opgaver for vor Tids Ingeniører paa mange andre Felter end de, der falder indenfor denne Ramme, ser man let ved at gennemblade denne Bog, der for en stor Del handler om Ingeniørkunsten taget i Brug i Kampen *mod* Naturens vældige Kræfter. Saa godt som hvert Aar opstaar der nye Grene indenfor Ingeniørvidenskaben; alene for de seneste Aars Vedkommende kan vi blot nævne Radiotelegrafien, de giftige Gasarter, Flyveruternes Fastlæggelse o. s. v. Det er derfor ikke noget Under, at Uddannelsen af Ingeniører efterhaanden deler sig i flere og flere Specialgrupper. I England skelner man imellem 3 Hovedgrupper: Civilingeniører, der nærmest svarer til vore Bygningsingeniører, der har med alt Trafikvæsen (Jærnbaner, Veje, Havne og Dokker) at gøre, Maskiningeniører, der svarer til vor Retning

af samme Navn samt for en stor Del vore saakaldte Fabriksingeniører, samt Elektroingeniører, hvis Felt ligger i Benævnelsen. Men Uddannelsen indenfor hver af disse Grupper er yderligere specialiseret, idet der er særlige Eksaminer for Skibsingeniører, Mineingeniører, Flyveingeniører o. m. a.

III

Her i Danmark foregaar Uddannelsen af Ingeniører paa den polytekniske Læreanstalt i København, hvis Undervisningsplan, som vi senere skal komme ind paa, er anerkendt overalt i Udlandet som fortrinlig, idet den er grundigt teoretisk underbygget. Uddannelsen er ogsaa her delt i Specialgrupper, nemlig 4, hvoraf dog de 3, nemlig Bygnings-, Maskin- og Elektroingeniørernes Undervisning i de første 2 Aar af den 4½ Aar lange Studietid, falder sammen. Et meget godt Indtryk faar man af Uddannelsens Grundighed ved at se i hvilke Fag der undervises.

Matematik, rationel Mekanik, deskriptiv Geometri, Fysik, Kemi, fysisk Kemi, Mineralogi og Geologi, Projektionstegning, Frihaandstegning og Tegning efter Opmaaling, teknisk Kemi og kemisk Teknologi, bioteknisk Kemi, mekanisk Teknologi, Maskinlære, Bygningsstatik og Jærnkonstruktioner, Skibsbygning, Vejbygningsfagene, Vandbygningsfagene, Landmaaling og Nivellering, Elektroteknik, Materiallære, Jærnbeton, Husbygning (Bygningstegning), Opvarmning og Ventilation, kommunal-hygiejnisk Ingeniørvæsen, Meteorologi, Økonomi og Lovgivning. Til Undervisningen slutter sig Laboratorieøvelser i følgende Fag: Kemi, fysisk Kemi, Fysik, Mikroskopi og Rendyrkning af Gæringsorganismer, teknisk Kemi, bioteknisk Kemi, Maskinprøvning, Elektroteknik og Materialprøvning samt Øvelser i Udkast til Fabriksanlæg, Maskinanlæg, Vej- og Vandbygningsanlæg, Opvarmnings- og Ventilationsanlæg, elektrotekniske Anlæg, i Bygningsstatik og Jærnkonstruktioner, Skibsbygning, Husbygning (Bygningstegning), Landmaaling, Nivellering og Korttegning, kommunal-hygiejnisk Ingeniørvæsen samt Jærnbeton.



En af „Aquitania"s Lavtryks-Turbiner med det øverste Dæksel hævet. *(Foto. Messrs. John Brown and Co., Ltd.)*

En typisk Ingeniør-„Butik". I Midten ses en Turbine med Reduktionsgear og en mægtig Plejlstang.
(Foto. North-Eastern Marine Engineering Co., Ltd.)

IV

For at faa Adgang til gennem den polytekniske Læreanstalts Undervisning og Eksaminer at blive cand. polyt. kræves en af nedennævnte Eksaminer:

a) Adgangseksamen til polyteknisk Læreanstalt.
b) Studentereksamen paa den matematisk-naturvidenskabelige Linie.
c) Adgangsprøven til Officerskolens næstældste Klasse.
d) Overgangsprøven ved Kadetskolen.
e) Overgangsprøven ved Søøværnets Maskinskole.

Ret til at indstille sig til Adgangseksamen har enhver, der har bestaaet en af følgende Prøver:

a) En Eksamen, der giver Adgang til at indskrives ved Universitetet.
b) Den almindelige Forberedelseseksamen (Mellemskoleeksamen) med 3 fremmede Sprog, en Middelkarakter af ikke under »godt« og ikke under »godt« i dansk Stil.
c) Realeksamen eller Pigeskoleeksamen.

Undervisningen begynder hvert Aar den 1. September, og den normerede Studietid er $4^1/_2$ Aar, heri dog ikke iberegnet den for Maskin- og Elektroingeniører obligatoriske etaarige Værkstedsuddannelse. Den er delt i 4 Retninger, nemlig: Fabriksingeniører, Maskiningeniører, Bygningsingeniører og Elektroingeniører. I de første 2 Aar omfatter Undervisningen væsentlig Grundvidenskaberne, og den afsluttes med en Eksamen — Første Del — hvorimod der de sidste $2^1/_2$ Aar undervises i de praktiske og tekniske Fag og afsluttes med den endelige Eksamen — Anden Del.

Er man kommet saa langt, saa man er cand. polyt., M. I. F. (ɔ: Medlem af Ingeniørforeningen), saa gælder det først rigtigt at skaffe sig en Stilling eller en Levevej — og vi skal nu ganske kort se paa, hvilke Udveje, der aabner sig hertil.

V

Fabriksingeniørernes Hovedfag er Kemi. Derfor staar ogsaa alle de overordnede Pladser ved al Slags kemisk Industri aabne for dem. F. Eks. Oliefabriker, Margarine — Farvestof — Svovlsyre — Sæbe — Øl og Spritfabriker o. m. a. Men desuden er der en meget stor Del af andre Industrigrene, som nyder godt af de kemisk uddannede Ingeniørers Dygtighed, thi mange store Virksomheder spænder over saa mægtige Felter, at alle Slags Ingeniører kan mødes der indenfor. En stor Virksomhed, f. Eks. med Fremstillingen af Cementmøller til Speciale, har Brug for Fabriksingeniører til at undersøge Cementens Egenskaber ved forskellige Sammensætninger og Sammensætningernes Egenskaber ved forskellige Fremstillingsmaader o. s. v. o. s. v. Maskiningeniørerne konstruerer og forbedrer Cementmøllerne, Elektroingeniørerne opstiller de elektriske Kraftanlæg, der skal drive dem, og Bygningsingeniørerne bygger Fabrikerne, Løbebroer for Tipvogne og Kajpladser for Skibene, der skal bringe Cementen rundt over hele Verden.

At Maskiningeniørerne har med Konstruktionen af Maskiner at gøre, siger sig selv — men ogsaa indenfor dette Felt er der utallige Nuancer. Store Dampmaskinanlæg kræver stadig Ingeniørhjælp. De forskellige Forhold, der altid gør sig gældende, idet saa godt som ikke to Anlæg er ganske ens, nødvendiggør Ingeniørens Hjælp til ad videnskabelig Vej at naa det bedste og billigste Resultat. Konstruktionen af Værktøjsmaskiner er et Felt, hvor alle en Ingeniørs Kræfter og hele hans Fantasi og Erfaring kan tages i Brug. Under en Maskiningeniørs Uddannelse hører ogsaa det udstrakte Arbejdsfelt, der hedder Skibsbygning, der ikke mindst i Lande som Danmark har en stor Betydning. Alene Burmeister & Wain beskæftiger mange Maskiningeniører og vil stadig have Brug for nye. Endelig hører Opvarmnings- og Ventilationsanlæg ind under Maskiningeniørernes Gebet, og da man jo ved alle Nybygninger gaar over til Centralvarme, og da man ved alle større Bygningskomplekser med store Rum fordrer en rationel Ventilation, vil denne Del af

Ingeniørkunsten kunde beskæftige mange vordende Ingeniører gennem Tiderne. Dernæst findes der ikke saa faa Stillinger i Statens og Kommunens Tjeneste for Maskiningeniører; vi behøver blot at nævne Statsbanerne.

Statsbanerne bruger for Resten ogsaa en Del Bygningsingeniører til Anlæget af deres Broer, Dæmninger, Gennemskæringer og Stationer. Bygningsingeniørernes Arbejdsfelt strækker sig i det hele taget meget vidt, thi selv om man kan sige, at Jærnbeton og Jærnkonstruktioner er Hovedfaget for enhver Bygningsingeniør — selv om han er Vandbygningsmand — saa finder der nu til Dags en saa uhyre Anvendelse Sted af netop disse to Ingeniørarbejder. I alle store Bygningsforetagender indgaar Jærnbetonen som en uundværlig Faktor, ligegyldig om det drejer sig om Teatre (f. Eks. Det nye Teater, hvis Etager, der ikke er understøttet af Piller, er et smukt Jærnbetonarbejde), Fabriksbygninger, Fabriksskorstene, store Forretnings- eller Bankbygninger, Vandtaarne, Benzinreservoirer, Kajmure, Havneanlæg af enhver Art, Fyrtaarne og sidst men ikke mindst Broer, Viadukter og Tunneler. Om det saa er Skibe, er der, bl. a. her i Danmark, gjort Forsøg paa at fremstille dem i Jærnbeton.

Ved Siden heraf findes der endda store Opgaver for Bygningsingeniører paa Omraader som Vejvæsenet, Jærnbaneliniers Udførelse samt kommunal-hygiejniske Ingeniørarbejder. Disse sidste spænder over Vandforsyning, Kloakering, Byplanslægning o. s. v.

Man forstaar godt, at med saa mægtig et Arbejdsomraade har i mange Aar Tilgangen til Undervisningen for Bygningsingeniører overvejet den til de andre Retninger paa den polytekniske Læreanstalt. Man maa derfor se paa det, som et Tegn paa, hvor den kommende Tids største Udvikling vil finde Sted, naar den polytekniske Læreanstalt oplyser, at ved Indtegningen af de nye Studerende i Sommeren 1924 ønskede over Halvdelen at gaa ad den elektrotekniske Linie.

Som ved Maskiningeniørerne ligger det i selve Navnet, paa hvilket Felt Elektroingeniørernes Arbejde kommer til

at ligge. Den Dag for Dag tiltagende Brug af Elektriciteten, og den enorme Anvendelse af Telegraf, Telefon, Radio, Sporvogne, elektrisk Lys og Kraft, der finder Sted alene i vore Dage, fordrer en Mængde Ingeniører til Elektricitetsværkerne, Linieføringen og Konstruktionen af de mægtige Generatorer, der leverer os dette gaadefulde »Stof«, Elektricitet.

VI

En Ingeniørs Arbejdsplads kan variere meget. En kommer ud i Marken og følger de forskellige Arbejder paa nært Hold, bliver maaske sendt over hele Jordkloden og maa dele Farer og Glæder med Arbejderne i det daglige Slid. En anden sidder maaske hele sit Liv paa en Tegnestue, altsaa nærmest Kontorarbejde, og kæmper med Tallene og Beregningerne, mens den førstnævnte organiserer de Indfødtes Arbejde i en fjern Egn. Begge er de lige uundværlige for det Heles Fremkomst, og hvem er egentlig mest misundelsesværdig, f. Eks. ham, der hjemme i England paa Papiret konstruerede Broen over Zambesifloden, eller ham, der førte Konstruktionen ud i Virkelighed i den daglige Kamp mod Vanskelighederne og alle de smaa Sejre over uberegnelige Hændelser. Det er som ens eget Temperament er og som ens Evner ligger. Det gælder blot at komme paa den rette Plads. Naturligvis har han paa Kontoret ogsaa engang været ude i Marken, saa han kender Forholdene, han ved, hvad det vil sige, at udføre i Praksis, hvad han skaber teoretisk. Og det er en Viden, som enhver Ingeniør bør tilegne sig i rigt Maal.

Det er for en stor Del ogsaa af denne Grund, at den polytekniske Læreanstalt ved Undervisningen af Maskin- og Elektroingeniører forlanger 1 Aars praktisk Uddannelse paa nogle af Læreanstalten dertil autoriserede Fabriker. (Maskiningeniører kan ogsaa faa denne Uddannelse om Bord i en Damper.) Og det var maaske ikke noget daarligt Raad at give de unge Mennesker, der tænker sig at blive

Ingeniører, at begynde med denne praktiske Uddannelse. Saa vil de faa Lejlighed til at prøve sig selv og deres Lyst til denne Livsvej — og først og fremmest, de vilde faa Kræfter og lære at arbejde — og er der noget, man maa som Polytekniker, saa er det at arbejde. Man kommer ikke sovende til den Kundskabsfylde, som gør den danske Ingeniør anerkendt i Udlandet.

VII

I ganske korte Træk er nu fortalt, hvorledes man bliver Ingeniør. Alene det at være Ingeniør er dog ikke nok til at bryde sig en god Livsbane, de personlige Egenskaber er jo her altbestemmende. Men paa den anden Side giver vist ikke mange Livsstillinger saa rig Lejlighed til at udfolde alle mulige forskellige Evner og Anlæg.

Vil man imidlertid naa frem i første Række, altsaa høre til den Række store Mænd, der er blevet omtalt paa denne Bogs Blade, da maa man holde sig det store, ideale Maal for Øje: »Fremme Samkvemmet mellem Nationer og Lande, udbrede Civilisationen og være til Gavn for Menneskeheden.« Fremad mod dette Maal naar en Ingeniør kun ved strengt aandeligt og legemligt Arbejde og ved stadig at have indskrevet i sin Bevidsthed George Stephensons Motto:

»Hold ud!«

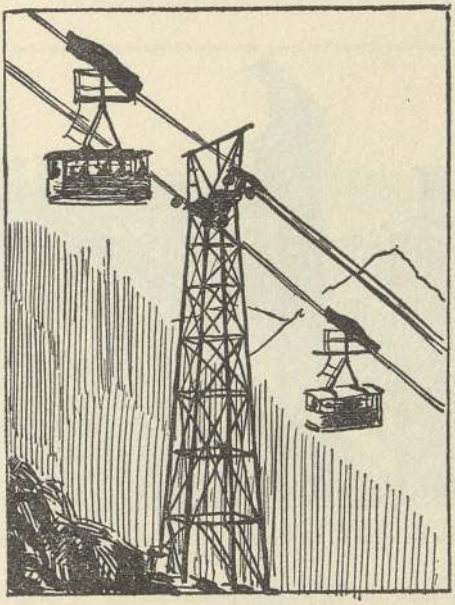
INDHOLDSFORTEGNELSE

		Side
Kapitel I:	Kraft og Arbejde	5
— II:	Dampmaskinens Opfindelse	26
— III:	Den moderne Dampmaskine	44
— IV:	Turbiner	77
— V:	Jærnbaner	88
— VI:	Bølgebrydere, Havne og Dokker	123
— VII:	Fyrtaarne	152
— VIII:	Tunneler	166
— IX:	Brobygning	182
— X:	Bekendte Broer	198
— XI:	Hængebroer og Transportbroer	221
— XII:	Quebec Broen	241
— XIII:	Dampskibe	252
— XIV:	Hvorledes bliver man Ingeniør?	270

GYLDENDALSKE BOGHANDEL

OPFINDELSERNES BOG

Fjerde forøgede og omarbejdede Udgave



Brooklyn Broen i New York set fra en „Skyskraber" under Opførsel.

Ved

HELGE HOLST

Under Medvirkning af mange Fagmænd.

GYLDENDALSKE BOGHANDEL

Enhver ung Mand, der vil kende sin Tid, bør eje dette Værk. Den bedste Bog for Ungdommen og en uundværlig Haandbog for Fagmænd.

For at give et Indtryk af, hvilken overvældende Sukces den nye Udgave af „Opfindelsernes Bog" har været, skal vi oplyse, at Oplaget oprindelig var fastsat til 15.000 Eks-

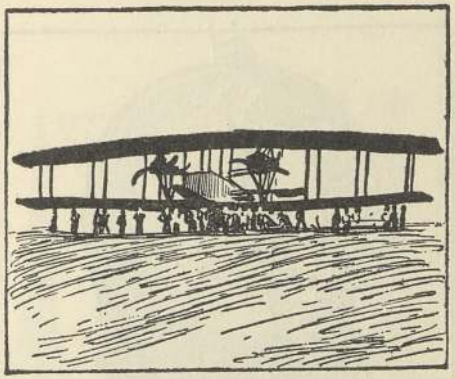
En Kabelbane til Transport af Personer og Gods.

emplarer, men da Efterspørgslen stadig er steget, er Oplaget Gang paa Gang blevet forøget, og Værket trykkes nu ialt i *25.000 Eksemplarer*.

Teksten i den nye Udgave af „Opfindelsernes Bog", der er udarbejdet af Helge Holst under Medvirkning af mange Fagmænd, er stærkt udvidet og omarbejdet, og alle Oplysninger er ført op til Dato, saaledes at de allernyeste Opfindelser er omtalt.

Værket ledsages af *et usædvanlig interessant og omfattende Billedstof*, det vil ialt komme til at indeholde:

Ca. 2000 Illustrationer i Teksten foruden et stort Antal Bilagsbilleder af forskellig Art, hvoraf 5 oplukkelige Modelbilleder i Farver (Automobil, Lokomotiv, Dieselmotor o. a.) samt nogle Indbliksbilleder (Gennemsnit af en Gade, en Passagerdamper etc.) tegnede af Professor J. Gunner.



En Kæmpeflyvemaskine.

De fire Bind, Værket vil omfatte, vil ialt rumme mindst 170 Ark eller ca. 2700 Sider.

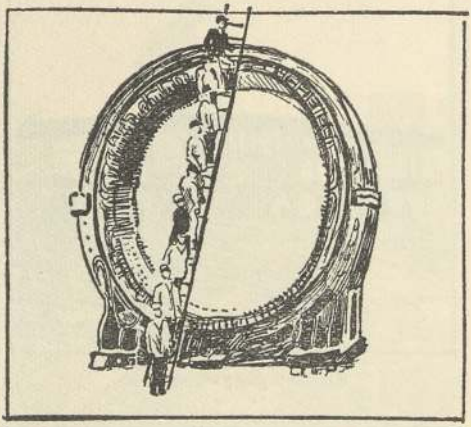
Intet andet Værk er saa udviklende og træffer netop Ungdommens Interesse som „Opfindelsernes Bog".

Det skildrer hele den moderne Teknik og dens Vidundere og giver samtidig en let læselig Oversigt over Teknikens Udvikling fra de ældste Tider til vore Dage. Af efterfølgende Hovedtræk af Indholdet faar man et Indtryk af dets Alsidighed og Grundighed.

GYLDENDALSKE BOGHANDEL

1. Bind:

1. Del. *Kraftmaskiner og Kraftoverføring:* Arbejdskraften eller Energien — Vandkraftsmaskiner — Vindmøller — Dampmaskiner — Forbrændingsmotorer — Elektriske Maskiner og elektrisk Kraftoverføring — Fremtidsmuligheder etc. etc. 2. Del. *Den kemiske Industri, Landbrug og Bjærgværksdrift:* Kemien — Bjærgværksdrift — Jærnet — Guldet — Andre Metaller — Kul — Tørv — Petroleum — Jordens Dyrkning — Korn — Sukker — Mælk — Smør — Fedtstofferne — De gærede Drikke etc.



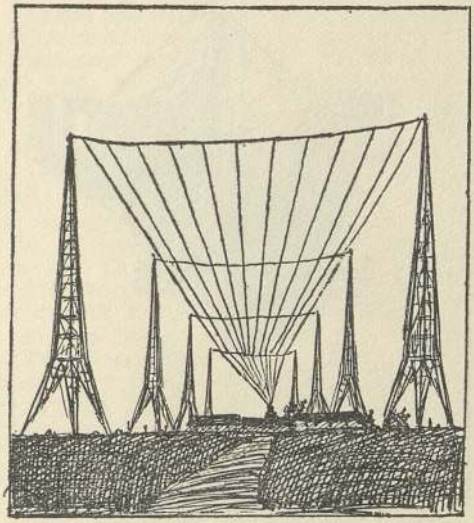
Den ydre Ring til en stor elektrisk Generator.

2. Bind:

3. Del. *Samfærdsel paa Landjorden:* Landeveje — Jærnbaner — Elektriske Baner — Cykler — Motorvogne. 4. Del. *Søfarten:* Sejlskibe — Dampskibe — Motorskibe — Skibsbygning — Vejfinding paa Havet — Fyr og Signaler — Havne og Kanaler etc. 5. Del. *Luftsejlads:* Luftballoner — Luftskibe — Flyvemaskiner. 6. Del. *Postvæsen, Telegraf og Telefon:* Postvæsen — Lys- og Lydtelegraf — Elektrisk Telegraf — Telefon — Radiotelegrafi og -telefoni etc.

3. Bind:

7. Del. *Mekanisk Industri:* Værktøj og Værktøjsmaskiner — Smedning — Støbning — Metalvarer — Urmagerkunsten — Træindustri — Glas — Lervarer — Traad og Tov — Vævning og Syning — Papir — Læder — Horn og Celluloid etc. 8. Del. *Skrivning, Trykning og Billedfremstilling:* Skrivekunsten — Skrive-, Regne- og Talemaskiner — Bogtrykkerkunsten — Indbinding — Optiske Instrumenter — Fotografi — Billedtryk — Lysbilleder og levende Billeder etc.



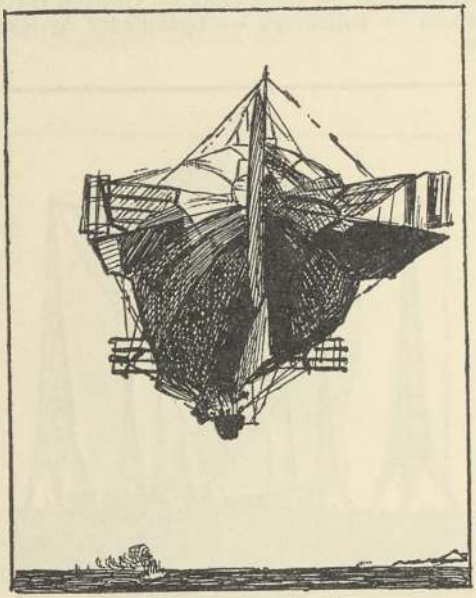
Poulsen-Stationen for Radiotelegrafi ved Bordeaux.

4. Bind:

9. Del. *Byggeteknik, Boliger og Byer:* Byggestoffer — Husbygning — Jord- og Vandbygning — Brobygning — Jærnkonstruktioner — Byanlæg — Samfærdselsmidler i Byer — Vandforsyning — Belysning — Opvarmning — Ventilation og Afkøling etc. 10. Del. *Angrebs- og Beskyttelsesmidler:* Jagt og Fiskeri — Krigsvaaben — Sprængstoffer og Giftgas — Miner og Torpedoer — Krigsskibe — Tekniske Hjælpemidler i Lægekunsten — Beskyttelsesmidler mod Ild, Tyveri m. m.

GYLDENDALSKE BOGHANDEL

„Opfindelsernes Bog“ udsendes i 24 Storhefter paa 7 à 8 Ark. Det første Bind foreligger allerede komplet og kan faas indbunden i Vælskbind; andet Bind vil foreligge færdigt i Løbet af Efteraaret. Hele Værket vil være afsluttet i Løbet af 1 à 2 Aar.



Luftskibet „Zeppelin II“.

Prisen er 2 Kr. 75 pr. Hefte og 28 Kr. pr. Bind indbunden i et smukt Vælskbind. Subskription er bindende for hele Værket. Efter Aftale med en Boghandler kan det leveres paa Ratebetaling. De udkomne Hefter eller Bind leveres Dem da straks mod en maanedlig Ratebetaling af 4 à 5 Kr. Et rigt illustreret Prospekt over Værket udleveres gratis i enhver Boghandel, hvor iøvrig de udkomne Hefter og Bind paa Forlangende forevises.

GYLDENDALSKE BOGHANDEL

Percy F. Westerman

Radiotelegrafisten

Pris kart. 2 Kr. 75 Øre.

Peter Mostyn, den raske Radiotelegrafist, som Læserne af „Anden Styrmand" stifter Bekendtskab med, er Helten i Percy Westermans Bog „Radiotelegrafisten". Man finder ham her om Bord paa S/S „West Barbican" paa dens sidste Rejse til Østafrika. Efter flere mystiske og spændende Eventyr — hvor bl. a. Radiotelegrafisten viser sin Snarraadighed ved at redde Besætningen paa en brændende Olie-Tankdamper — naar de Cap Staden, hvor de fleste Passagerer gaar fra Borde. Men Læserne følger Resten gennem alle deres spændende Oplevelser til den romantiske Slutning. Et i forbryderisk Hensigt afsendt Telegram lader Skibet møde sin Undergang midt i det indiske Ocean, men ved en Misforstaaelse af Telegrammet først efter at den kostbare Last er bragt i en lille portugisisk Havn — og den egentlige Hensigt med Forbrydelsen opnaas saaledes ikke.

Radiotelegrafisten gaar ned med Skibet, men bliver optaget i en af Redningsbaadene, som han efter mange Eventyr fører frelst i Land paa Afrikas Østkyst, ved hvilken Lejlighed han hjælper sin Faders Firma ud af en slem Knibe, faar en god Stilling og en henrivende Livsledsagerinde.

Bogen er ligesom „Anden Styrmand" forsynet med ypperlige Illustrationer.

GYLDENDALSKE BOGHANDEL

Percy F. Westerman

Dødsstraalen

Pris kart. 2 Kr. 75 Øre.

„Dødsstraalen" er radioelektrisk Energi af en saadan Styrke, at den bringer alt eksplosivt i Brand, selv paa meget lang Afstand. I Percy F. Westermanns spændende Fremtidsroman fortælles om, hvorledes England har sine egne hemmelige Straaler, hvormed det behersker Havene, men en Dag bliver Hemmeligheden stjaalet ved et snedigt tilrettelagt Kup, og snart mærkes Følgerne over hele Europa. Med nye Straaler af hidtil ukendt Styrke sættes alle elektriske Funktioner ud af Virksomhed, Sporvogne og Automobiler — med deres elektriske Tænding — standser, og den nye radioaktive Magts Behersker tilstiller Stormagterne et Ultimatum. Helten i Bogen, Reginald Trefusis, kommer som Militærattaché i Grækenland med paa et græsk Krydstogt imod den mægtige Fjende, men Hæren blæses i Stykker af dens egne Granaters Eksplosioner, og han tages til Fange. Det lykkes ham dog at flygte efter meget Besvær og mange spændende Oplevelser en Dag, hvor det er Uvejr med Lyn og Torden, og hvor de hemmelige Straaler er sat ud af Spillet af endnu højere Magter. Man følger derefter, hvorledes der paa Grundlag af Trefusis' Erfaringer udrustes en engelsk Straffe- og Ødelæggelsesekspedition og dennes mærkværdige Forløb. — „Dødsstraalen" er en Bog, fyldt af Fart og Spænding og skrevet med en mægtig Fantasi. Den fremtræder med en Række Illustrationer.