

HAARLEMMERMEE CRUQUIU



AP.

POLDERSTOOMGEMAAL DE CRUQUIUS

STEAM DRAINAGE PUMPING STATION CRUQUIUS

1849-1932

DIT IS EEN VAN DE DRIE VRIJWEL GELIJKE
GEMALEN DIE DE HAARLEMMERMEER DROOG-
MAAKTEN (1849-1852) EN DAARNA DROOGHIELDEN.
DE ACHT ZUIGPOMPEN WERDEN AANGEDREVEN
DOOR EEN ENKELE RING-COMPOUND STOOM-
MACHINE MET ZUIGERS VAN 2,15 M (HD) EN
3,66 M (LD) EN 3 M SLAG, WERKEND VOLGENS DE
CORNWALL-CYCLUS BIJ 5 SLAGEN PER MINUUT.
DE POMPEN VOERDEN PER MINUUT 250 M³ WATER
4,5 MOP.

DE CRUQUIUS WERD IN 1932 GESLOTEN EN ALS
TECHNISCH MONUMENT BEHOUDEN MET DE
OORSPRONKELIJKE MACHINE EN POMPEN.

ONTWERPERS: JOSEPH GIBBS EN ARTHUR DEAN.
ARCHITECT: JAN ANNE BEIJERINCK.

MACHINE GEBOUWD DOOR HARVEY & CO, HAYLE,
CORNWALL; BALANSEN EN KETELS DOOR VAN
VLISSINGEN & DUDOKVAN HEEL, AMSTERDAM;
POMPEN DOOR FOX & CO, FALMOUTH, CORNWALL.

THIS ONE OF THREE NEARLY IDENTICAL
PUMPING STATIONS THAT DRAINED THE HAAR-
LEMMERMEER, 1849-1852, THEN CONTINUED TO
MAINTAIN THE POLDER'S WATER TABLE. THE
EIGHT LIFT PUMPS WERE DRIVEN BY A SINGLE
ANNULAR-COMPOUND STEAM ENGINE WITH
PISTONS OF 7 FT (HP) AND 12 FT (LP) AND 10 FT
STROKE, WORKING ON THE CORNISH CYCLE AT
5 STROKES PER MINUTE. THE PUMPS LIFTED 55000
GALLONS PER MINUTE 15FT.

CRUQUIUS WAS RETIRED IN 1932 WITH ITS ORIGINAL
ENGINE AND PUMPS, AND PRESERVED AS A TECH-
NICAL MONUMENT.

DESIGNERS: JOSEPH GIBBS AND ARTHUR DEAN.
ARCHITECT: JAN ANNE BEIJERINCK.

ENGINE BUILT BY HARVEY & CO, HAYLE,
CORNWALL; BEAMS AND BOILERS BY VAN
VLISSINGEN & DUDOK VAN HEEL. AMSTERDAM;
PUMPS BY FOX & CO, FALMOUTH, CORNWALL.

Deze brochure is opgedragen aan K. van der Pols en G.J. de Borst

zonder hun onvermoeibare inspanningen zou het monument de **Cruquius** niet zijn wat het nu is

This brochure is dedicated to K. van der Pols and G.J. de Borst

without their indefatigable efforts the **Cruquius** monument would not be what it is today



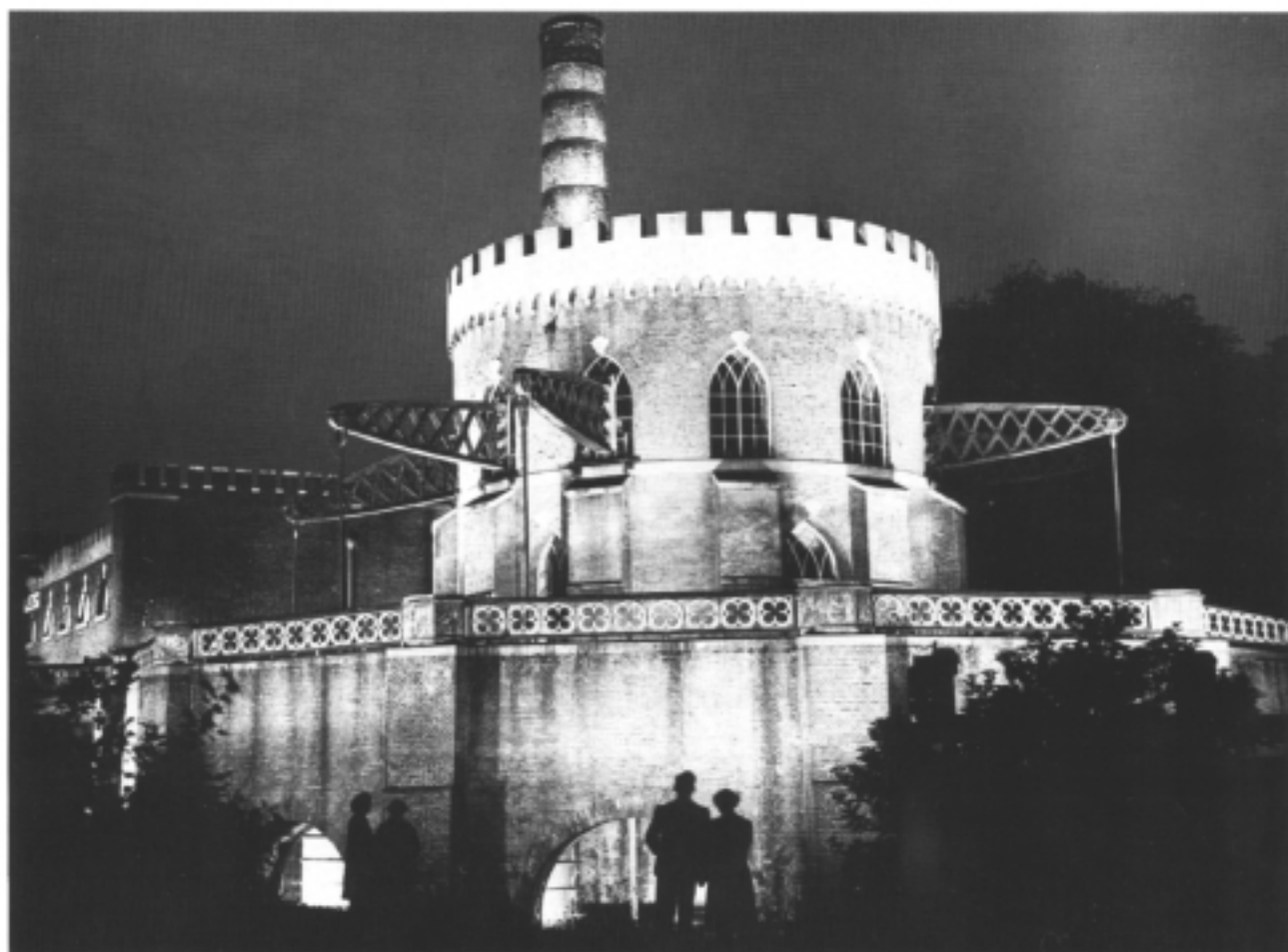
**Koninklijk Instituut
van Ingenieurs**



**The American Society
of Mechanical Engineers**



**The Institution of
Mechanical Engineers**



1849-1852

De drooglegging van de Haarlemmermeer was een immens werk. Drie jaar lang braakten de schoorstenen van de drie stoomgemalen die voor dit karwei waren gebouwd: de **Leegwater**, de **Lynden** en de **Cruquius**, hun rookwolken uit.

Vele jaren geleden keerde bij de **Cruquius** de rust weer. De bemaling werd overgenomen door modernere pompen. Het stoomgemaal werd een technisch monument, één van de eerste in Nederland.

Er zit een heel verhaal achter dit imposante monument.

Draining the Haarlemmermeer was an immense undertaking. For three years great clouds of smoke hung from the chimneys of the three steam pumping stations built for this gigantic task: **Leegwater**, **Lynden** and **Cruquius**.

Many years ago **Cruquius** was finally retired. The work was taken over by more modern pumps. The steam pumping station became an industrial monument, one of the first in the Netherlands.

A fascinating story lies hidden in this imposing monument.

Inleiding

Zonder dijken en bemaling zou meer dan de helft van het huidige Nederland overstroomd worden, hier met elke vloed, daar alleen in het natte seizoen, elders altijd. De strijd om het behoud van het land bepaalt het aanzien ervan. Hij liet overal merktekens na.

In de driehoek tussen Amsterdam, Haarlem en Leiden ligt de 18 000 hectare grote Haarlemmermeerpolder. Deze polder markeert een buitengewone stap in de omvang van droogleggingen. Na eeuwen voorbereiding werd hier een waterplas van ongekende afmetingen in drie jaar (1849-1852) drooggelegd en in landbouwgrond veranderd. Dat karwei werd uitgevoerd door drie reusachtige stoomgemalen. Stoom was al eerder voor bemaling gebruikt, maar alleen op veel kleinere schaal.

Haarlemmermeer

In de middeleeuwen lagen in de veenlanden tussen Amsterdam, Haarlem en Leiden vele meren. Door afkalving van hun oevers en door ontvening vloeiden een aantal meren samen. Zo ontstond de Haarlemmermeer. Op 't eind van de 16e eeuw werd deze steeds groeiende binnensee een bedreiging. Maar de Haarlemmermeer was ook nuttig voor de naburige steden. Er was scheepvaart en visserij, en men kon er afval lozen. In de 17e en 18e eeuw werden ruim tweehonderd plannen voor gedeeltelijke of volledige droogmaking geopperd. Door belangentegenstellingen, verbrokkeld bestuur en hoge kosten kwam er niets van. In de loop der jaren moest echter steeds meer geld besteed worden aan het maken en onderhouden van oeverversterkingen. Die boden echter geen afdoende oplossing voor de beheersing van zo'n enorme watervlakte.

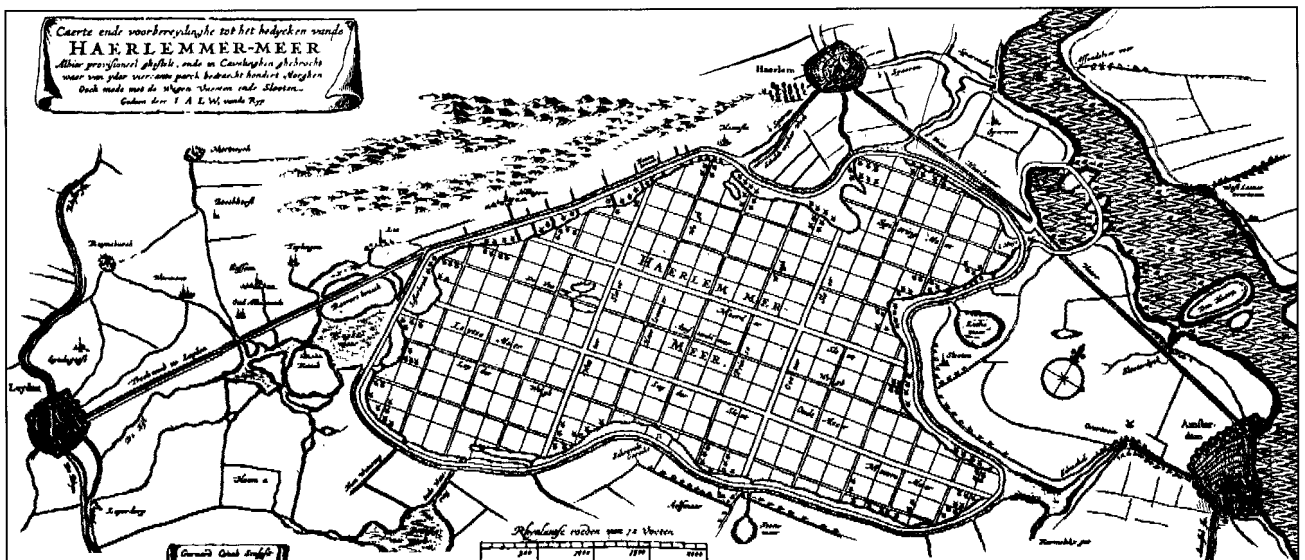
Introduction

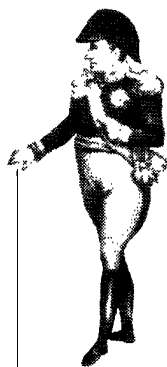
Without enclosure and drainage, more than half of the area of the present-day Netherlands would be flooded with every high tide, every wet season, or permanently. The struggle for the country's survival has largely determined its appearance and left numerous marks on it.

In the triangle between the cities of Amsterdam, Haarlem and Leiden the 45 000 acre Haarlemmermeer polder demonstrates an extraordinary step in the scale of land drainage. After centuries of preliminaries, a lake of unprecedented size was drained in three years (1849-1852) and transformed into valuable agricultural land. The work was done by three huge steam pumping stations. Steam power had been used for drainage in Holland before, but only on a smaller scale.

Haarlemmermeer

In medieval times there were numerous lakes in the peaty land between Amsterdam, Haarlem and Leiden. As a result of erosion and peat digging, several of these lakes merged to form the Haarlemmermeer (Haarlem Lake). In the late 16th century, this growing inland sea became a threat. But, it was also useful to the nearby towns for shipping and fishing, and for draining sewage. Over the next two centuries more than 200 schemes for partial or complete drainage of the lake were proposed. Due to conflicting interests, jealous local administrations, and high cost none of these schemes came to anything. However over the years increasing amounts had to be spent on building and maintaining structures to reinforce the banks. In the long run these were not satisfactory solutions for control of such a vast expanse of water.





Stoombemaling

In de 19e eeuw kreeg ons land een centraal bestuur met feitelijke macht en de mogelijkheid tot ondernemingen op nationale schaal. Twee zware stormen in 1836 benadrukten nogeens de voortdurende dreiging van de “waterwolf”. Koning Willem I benoemde een commissie die voorstellen voor inpoldering der Haarlemmermeer moest doen. Het rapport wilde de bemaling laten uitvoeren door 79 windmolens met vijzels en schepdraden, aangevuld door drie kleine vijzelstoomgemalen.

De koning was niet tevreden, en deed nader onderzoek instellen naar de mogelijkheden van stoombemaling. Er kwam een tweede commissie, maar onenigheid over de rol van wind en stoom leidde tot een impasse. In 1840 greep de regering opnieuw in. Het uiteindelijk rapport bevatte duidelijke aanbevelingen. Spoedig kwam nu de beslissing af om alleen stoomkracht te gebruiken. Dat was een stoutmoedige stap: stoom was nooit eerder op deze schaal toegepast, en de vroegere, kleinschalige toepassingen hadden maar matig succes gehad. Men was eigenlijk niet bereid tot experimenteren met een zo belangrijke voorziening als polderbemaling. Ook zouden dure kolen ingevoerd moeten worden, tenzij men turf kon stoken (maar proeven daarmee mislukten).

Een bezoek aan Cornwall overtuigde de commissie ervan, dat de Cornwall'se stoom-pompmachine betrouwbaar en zuinig was. Daarmee werden relatief kleine hoeveelheden water uit diepe mijnen opgepompt. Om ze geschikt te maken voor polderbemaling, d.w.z. voor het verpompen van veel méér water bij veel kleinere opvoerhoogte, diende het ontwerp nogal aangepast te worden. Verder waren de drie stoomgemalen groter dan ooit eerder gebouwd. Een van de drie, de **Leeghwater**, werd daarom eerst gebouwd en beproefd om de risico's te beperken. Dat gaf wel wat vertraging, maar zo konden het ontwerp van de andere twee, de **Lynden** en de **Cruquius**, nog aanpassen.

Drainage by steam

In the 19th century government became centralized, gained real power and became capable of enterprises on a national scale. Two heavy storms in 1836 drove home the continuing menace of the “water wolf”. King Willem I appointed a committee to draw up proposals for draining the Haarlemmermeer at very short notice. The report called for drainage by 79 large windmills with Archimedean screws and scoop wheels, supplemented by three small steam-powered Archimedean screws.

The King was not satisfied, and he ordered a closer look at the feasibility of steam-powered drainage. A second committee was formed, but internal disagreement on drainage by wind or steam resulted in deadlock. In 1840 renewed government intervention finally resulted in a report with clear recommendations, and soon the decision to use steam power alone was taken. This was a bold step: steam power had never been used on this scale before, and earlier applications on a smaller scale had met with mixed success. There was also reluctance to experiment with such an important provision as polder drainage. In addition, expensive coal would have to be imported, unless peat could be used (but experiments with that failed).

A visit to Cornwall had convinced the committee of the reliability and efficiency of the Cornish pumping engine. This type of engine was used for pumping relatively small quantities of water out of deep mines. To make them suitable for land drainage, i.e. large quantities at relatively low lift, considerable adaptation of the standard design would be required. In addition, the proposed scale of the three pumping stations exceeded anything previously built. One of the three stations, **Leeghwater**, was built and tested first to make the risks more manageable. This caused some delay, but it permitted design adjustments for the remaining two: **Lynden** and **Cruquius**.



Ontwerp en bouw

Het ontwerp van de machines werd opgedragen aan de adviseurs Joseph Gibbs en Arthur Dean uit Londen. Twee commissieleden, Antoine Lipkens en Gerrit Simons, hadden een technische achtergrond en zij speelden een actieve rol. Spoedig werd contact gezocht met Harvey & C^o in Hayle, de grootste machinefabriek in Cornwall. De gebouwen werden ontworpen door Jan Anne Beijerinck. De bijdragen van elk dezer mannen aan het uiteindelijke ontwerp zijn nu niet meer met zekerheid vast te stellen. Harvey bouwde de machines voor de **Leeghwater** en de **Cruquius**. Fox uit Falmouth maakte de machine van de **Lynden** en alle pompen. Van Vlissingen & Dudok van Heel uit Amsterdam maakte alle balansen en ketels.

De Cornwall-mijnpompe wordt gekenmerkt door een balans, die gelagerd is op een zware stenen muur. Onder het ene eind van de balans staat de verticale stoomcilinder, aan het andere eind hangt de pompstang. In de Haarlemmermeer moest één machine tegelijkertijd meerdere pompen bewegen (elf voor **Leeghwater**, acht voor de andere twee). Daarom werd de balansmuur cirkelvormig gemaakt. Hij vormt de karakteristieke toren met kantelen en rondom uitstekende balansen.

De machine heeft twee cilinders, één in 't midden met één zuigerstang, en daaromheen een ringcilinder met een zuiger met vier stangen. De vijf zuigerstangen zijn bevestigd aan één kruishoofd, waaraan de einden van alle balansen met koppelstangen zijn verbonden.

Design and construction

For the design of the engines, the committee engaged the services of the London consulting engineers, Joseph Gibbs and Arthur Dean. Two of the commissioners, Antoine Lipkens and Gerrit Simons, had an engineering background and they played an active role. Contact was soon established with Harvey & C^o of Hayle, the largest manufacturer of engines in Cornwall. The buildings were designed by Jan Anne Beijerinck. It is now impossible to distinguish the contributions of each of these men to the final design. Eventually, Harvey made the **Leeghwater** and **Cruquius** engines. Fox of Falmouth made the **Lynden** engine plus the pumps for all three. Van Vlissingen & Dudok van Heel of Amsterdam made all the beams and the boilers.

The Cornish mine-pumping engine is characterized by a beam, or bob, pivoted on a massive wall, with the vertical steam cylinder under one end of the beam and the pump rod suspended from the other. For the Haarlemmermeer engines, a number of pumps (eleven for **Leeghwater**, eight for the other two) were to be operated in parallel by a single engine, and so the building was made circular, forming the characteristic castellated tower with radially protruding beams.

The engine has two cylinders. The central one, with a single piston rod, is built inside an annular one, with a piston with four rods. All five piston rods are connected to a single crosshead, to which the beam ends are linked by rods.

Het kruishoofd en de zuigers zijn hol, er kan ca. 25 ton variabel gewicht in. Samen met de zuigerstangen vormen zij de voor een Cornwall-machine vereiste ballast. Bij de **Cruquius** was het totale overwicht aan de binnenkant ca. 85 ton.

Hoe werkt de Cruquius

Het water wordt opgebracht door acht pompen die om het ronde machinegebouw staan. Dit zijn gewone zuigpompen met cilindermiddellijn 1,85 m. De kleppen in de zuiger en aan de voet bestaan elk uit twee halfcirkelvormige welijzeren platen in een gietijzeren raam. De pompen zijn van boven open. Zij voeren water op van polderpeil naar het 4,5 - 5 m hogere peil van de Ringvaart. Het water stroomt uit op de eiken "stortvloer" die om het machinegebouw loopt. Van beide einden daarvan loopt het via keersluisjes naar de Ringvaart.

De pompzuigers hangen met kettingen aan de einden van de balansen. De balans-lagers staan op de zware buitenmuur van het gemaal-gebouw, die onderaan meer dan 2 m dik is.

Als het kruishoofd omhoog beweegt, zakken alle pompzuigers door hun eigen gewicht, en hun kleppen gaan open. Als het kruishoofd daalt, trekt het gewicht de pompzuigers op. De zuigerkleppen sluiten, de zuiger voert het water op, en de voetkleppen gaan open, waardoor de pompcilinders voor de volgende slag vollopen.

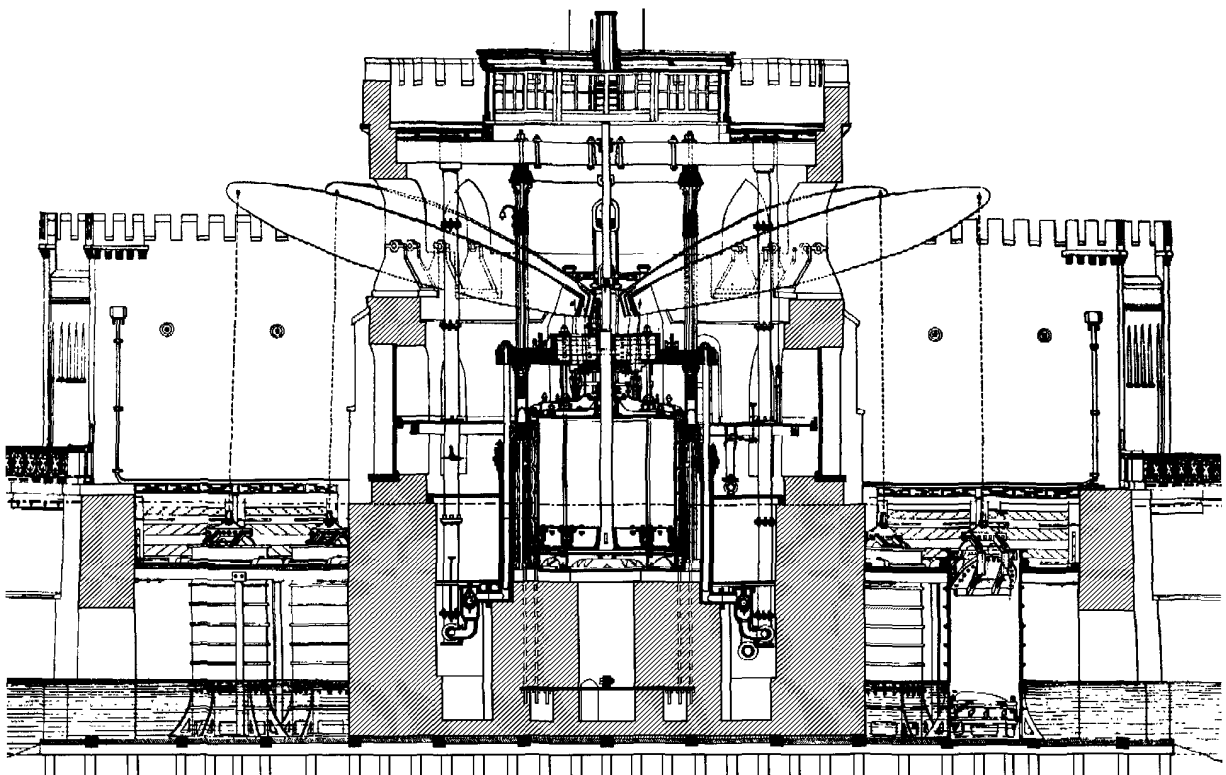
The crosshead and pistons are hollow to contain about 25 tons of variable weight. Together with the piston rods, they form the ballast essential to a Cornish engine. For **Cruquius** the total indoor weight surplus amounted to about 85 tons.

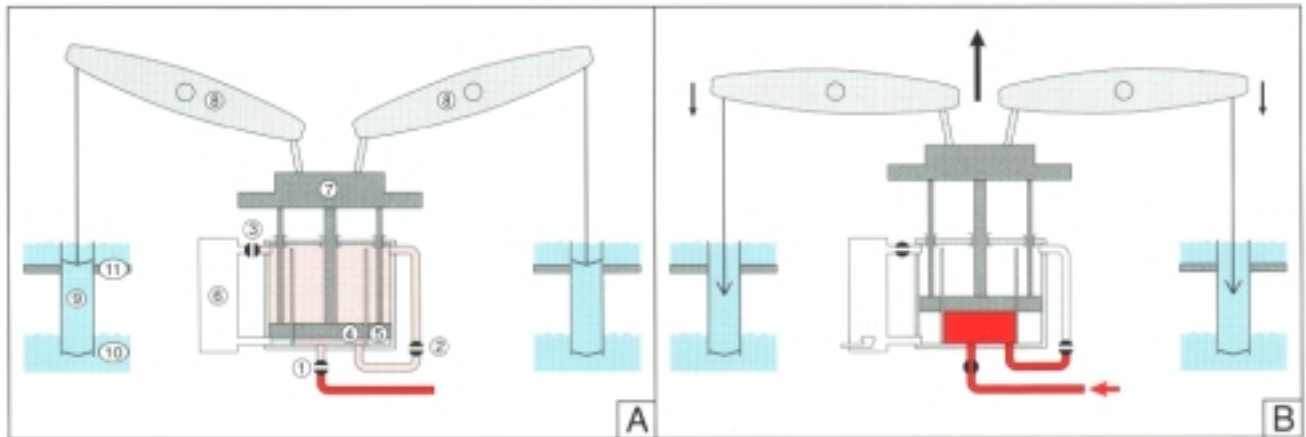
How Cruquius works

The actual pumping is performed by eight pumps arranged around the circular engine building. The pumps are of the plain bucket type with 73" barrels. The bucket and foot valves each consist of two semicircular wrought iron clacks in a cast iron frame. The open-top pumps lift the water from the polder level to the drainage canal which encircles the polder, 15 - 17 ft higher. They discharge onto the oak floor of the "collar launder" running around the building. Both ends of this launder discharge into the canal via automatic sluice gates.

The pump buckets are suspended by chains from the ends of the beams. The beam trunnion bearings rest on the massive circular wall of the main building which is nearly 7 ft thick at the base.

When the crosshead moves up, all pump buckets descend due to their own weight, and their clacks open. When the crosshead descends, the weight pulls the pump buckets up. The bucket valves close, the bucket lifts the water, and the foot valves open to fill the pump barrels for the next stroke.





Legenda

- 1 stoomklep
- 2 evenwichtsklep
- 3 uitlaatklep
- 4 middenzuiger (hogedruk of HD)
- 5 ringzuiger (lagedruk of LD)

De stoomcyclus

De cyclus van de **Cruquius**-machine komt vrijwel overeen met die van een gewone Cornwall-machine. In bijna alle varianten van deze cyclus wordt stoom gebruikt om een gewicht te heffen, waarna dat gewicht tijdens het zakken de pomp beweegt. Bij de **Cruquius** is het gewicht binnen geplaatst, het drukt op de stoomzuigers.

Aan het begin van een slag zijn de zuigers in hun laagste stand en in rust (Fig. A, zie *boven*). De ruimte erboven is gevuld met afgewerkte stoom van de vorige slag. Alle kleppen zijn dicht, en in de condensor en onder de ringzuiger heerst vacuum.

Nu gaan de uitlaat- en stoomkleppen open. De stoom boven de zuigers verdwijnt meteen naar de condensor, waar hij door ingespoten water wordt gecondenseerd. Boven de zuigers ontstaat vacuum. Onder de HD zuiger wordt verse stoom van 3 bar druk toegelaten, en het drukverschil duwt deze zuiger naar boven. Het kruis hoofd en de LD zuiger gaan mee omhoog (Fig. B). De pompzuigers zakken, en hun kleppen gaan vanzelfopen. De LD zuiger heeft boven en onder vacuum, is dus in evenwicht en draagt niet bij aan de opwaartse kracht. Ongeveer halverwege omhoog wordt de stoomklep gesloten, maar de uitlaatklep blijft open. De zuigers gaan verder omhoog waarbij de stoom onder de HD zuiger expandeert. De druk vermindert, en de opwaartse kracht dus ook. De machine vertraagt en komt, als hij goed is ingesteld, tot stilstand in de bovenste stand, waar de uitlaatklep sluit (Fig. C).

Legend

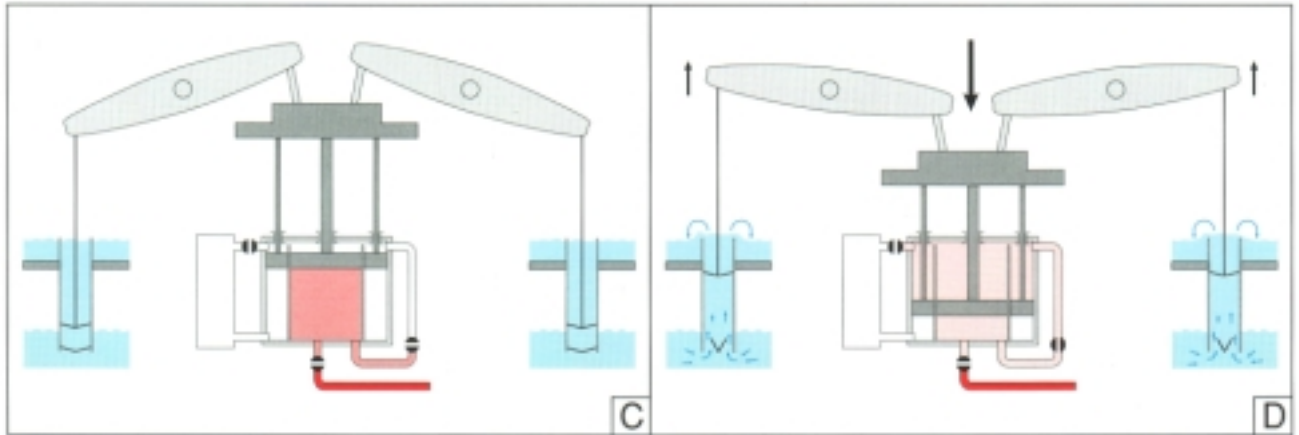
- 1 steam valve
- 2 equilibrium valve
- 3 exhaust valve
- 4 central piston (high pressure or HP)
- 5 annular piston (low pressure or LP)

Steam cycle

The cycle of the **Cruquius** engine is virtually the same as that of a regular Cornish engine. In nearly all forms of this cycle, steam is used to lift a weight, and then this weight is allowed to descend and operate the pump. For **Cruquius**, as described previously, the weight is indoors, pushing down on the steam pistons.

At the start of a stroke, the pistons are at rest in their lowest positions (Fig. A, see *above*). The space above is filled with used steam from the previous stroke. All valves are closed, and there is a vacuum in the condenser and under the annular piston.

When the exhaust valve and steam valve are opened, the steam above the pistons rushes into the condenser where it is condensed by a spray of water: a vacuum is established above the pistons. Fresh boiler steam is admitted under the HP piston at a pressure of 45 psi, and the pressure differential pushes this piston up, raising the weight and the LP piston, too (Fig. B). The pump buckets descend, and their clack valves open automatically. The LP piston has vacuum above and below; it is in equilibrium and does not add to the upward push. About halfway up, the steam valve is closed, but the exhaust valve remains open. As the pistons continue to move upwards, the steam under the HP piston expands, so its pressure decreases and so does the upward push. The engine slows down and, if properly adjusted, comes to a stop at the top of the stroke, when the exhaust valve is closed (Fig. C).



- 6 *condensor*
- 7 *kruishoofd/gewichthak*
- 8 *balansen*
- 9 *pomp*
- 10 *water in polder*
- 11 *stortvloer*

Na een korte pauze, waarin de pompzuiger-kleppen dicht kunnen vallen, gaat de evenwichtsklep open. De gedeeltelijk geëxpandeerde stoom stroomt nu van onder de HD zuiger naar de gezamenlijke ruimte boven beide zuigers. Zuigers en kruishoofd dalen door de zwaartekracht, geholpen door het drukverschil over de LD zuiger (Fig. D). De stoom zet verder uit. De pompzuigers voeren water op, nieuw polderwater stroomt toe via de voetkleppen. Aan het eind van de pompslag wordt de evenwichtsklep gesloten, en de machine komt tot stilstand in de startpositie. Na een instelbare pauze begint de volgende slag.

Kleppen en hun bediening

Een grote machine heeft grote kleppen, en voor geringe verliezen moeten die snelopenen en sluiten. In Cornwall werd een dubbelzitting-klep ontwikkeld, met kleine hefhoogte en grote doorlaat, vrijwel gebalanceerd. De kracht om deze klep te openen is dus relatief klein. De uitlaatklep van de **Cruquius** is 660 mm rond!

Elke klep wordt op dezelfde manier bediend: een hefboom sluit hem, tegen een gewicht in; en hij wordt gesloten gehouden door een pal met een hefboom, die op het juiste moment wordt gelicht door een “katarakt”. Een open klep wordt gesloten door een scheen op de “klossenstang”, die met de machine op en neer gaat. Zowel openen als sluiten kan ook met de hand gebeuren, bijv. tijdens starten. Verschillende vergrendelingen voorkomen ongewenste combinaties van klepstanden.

De twee bovengenoemde pauzes worden verkregen door tijdvertragers, “katarakten” genaamd. Die naam is een overblijfsel van de oudste vorm van tijdvertraging.

- 6 *condenser*
- 7 *crosshead/weight*
- 8 *beams*
- 9 *pump*
- 10 *water in polder*
- 11 *collar launder*

After a brief pause to allow the bucket clacks to close, the equilibrium valve is opened. The partially expanded steam now flows from below the HP piston to the combined space above both pistons. The pistons and the crosshead start to descend by gravity, assisted by the pressure differential over the LP piston (Fig. D). During this stroke, the steam expands further. The pump buckets lift water, while fresh water from the polder enters the pump barrels via the foot valves. At the end of the pump stroke, the equilibrium valve is closed, and the engine comes to a stop in the starting position. After an adjustable pause, the next stroke begins.

Valves and valve gear

A large engine needs large valves, which must open and close quickly to minimize losses. The Cornish engineers developed a double-beat valve which requires only a small lift to open a large passage, and which is almost balanced. So only limited force is needed to open it. The exhaust valve of **Cruquius** has a diameter of 26”!

Each of the valves is controlled in a similar manner: a lever closes it against the opening force of a weight; and it is held in the closed position by a pawl or “scoggan” which is released at the right moment by a “cataract”. An open valve is closed by a clamp on the “plug rod”, which moves with the engine. Both the opening and the closing of valves may also be controlled manually, for instance when starting. Various interlocks prevent incorrect combinations of valve positions.

The two pauses mentioned earlier are governed by timing devices named “cataracts”. The name is a relic from the earliest form of timer.

Hierin vult een dun straaltje water (Engels “cataract”) geleidelijk een bak die, eenmaal vol, omkiept. Latere katarakten hebben een gewicht-belaste plunjer, die water uit een cilinder perst via een instelbare opening, tot een pal gelicht wordt.

Opstarten

Vanuit stilstand kan de beschreven cyclus niet meteen gestart worden. De cilinder is koud, en er is geen vacuum in de condensor. Het starten van een grote machine van dit type kan wel vijftien of twintig minuten duren. De cilinder wordt met stoom doorgespoeld om hem langzaam te verwarmen. Dan wordt een aantal slagen met handbediening gemaakt om de lucht uit de condensor te drijven en het vacuum op te bouwen. Pas dan worden de katarakten ingeschakeld voor automatisch bedrijf. De waakzaamheid van de machinist van een Cornwall-machine mag nooit verslappen. Hij moet voortdurend op de slaglengte letten, die kan veranderen door kleine belastingvariaties, of zelfs door de smering. Voortdurend zijn kleine bijstellingen nodig.

De “hydrauliek”

De grote pompzuiger-kleppen sluiten nogal traag, en dat veroorzaakt een probleem in de hoogste stand. De grote massa van zuigers en kruishoofd wordt opgedrukt door een veerkrachtig stoomkussen, en als hij vertraagt kan hij een paar maal “deinen” alvorens tot stilstand te komen. De pompzuigers deinen natuurlijk mee, en als ze omhoog gaan met de kleppen nog open, dan kan de waterstroom de kleppen met kracht dichtslaan. Dat zou schade kunnen veroorzaken.

De oplossing: gebruik een waterkolom om het gewicht vast te ondersteunen tot de pompzuiger-kleppen dicht zijn. Aan oren aan het kruishoofd zijn twee plunjers bevestigd, die bij het omhoog gaan water aanzuigen via kleine terugslagkleppen. Dit water draagt dan het gewicht tot het, na de vereiste pauze, door een klep kan wegstromen. De plunjers, kleppen, pijpen en standpijpen worden samen de “hydrauliek” genoemd; deze is uniek voor de Haarlemmermeer-machines.

Ketels

De **Cruquius** had aanvankelijk zes Cornwall-ketels met een werkdruk van 3 bar. Hun vuurgang was ongebruikelijk: de stookbuis eindigde vlak achter de vuurbrug, en van daar liepen vier vlampijpen (in een ruitpatroon) naar het achterfront. Zo werd een groot verwarmd oppervlak verkregen. De verbinding tussen vlampijpen en stookbuis gaf echter zóveel problemen dat na enkele jaren een gewone enkele vuurgang werd aangebracht.

These used an adjustable trickle of water to gradually fill a vessel which trips when full. The later form of cataract uses a weight-loaded plunger which forces water from a cylinder through an adjustable orifice until a scoggan-catch is tripped.

Starting up

After an idle period, the engine cycle described above cannot be started right away. The cylinder is cold, and there is no vacuum in the condenser. The start-up procedure of a large engine like this may take fifteen or twenty minutes. The cylinder is flushed with steam to heat it slowly, and then a number of manually-controlled strokes are made to expel air from the condenser and establish the vacuum. Automatic operation is established only then by activating the cataracts.

The driver of a Cornish engine must always remain vigilant. The stroke length of his engine has to be watched constantly, as it may vary due to small load fluctuations or even the state of lubrication. Frequent small adjustments are required.

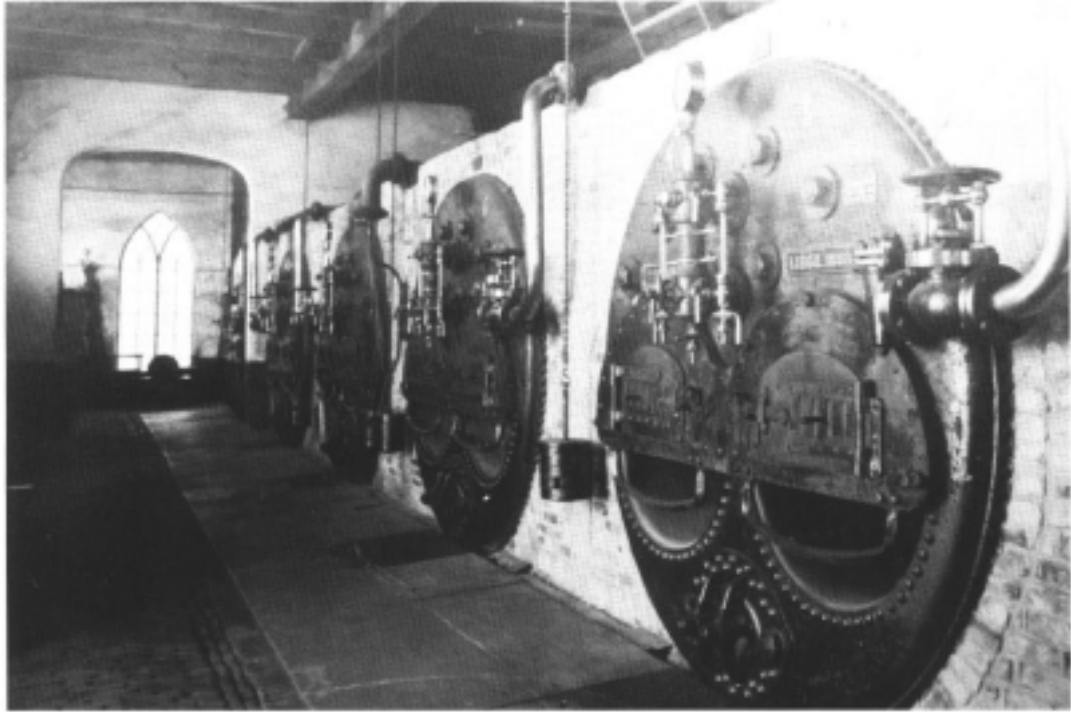
The “hydraulic”

The large bucket clacks of the pumps are quite slow in closing, and that causes a problem at the top of the stroke. The large mass of the pistons and weight of the engine is pushed up by an elastic cushion of steam, and when it is slowed down, it may oscillate or “nod” a few times before coming to a stop. Such “nodding” of course is transmitted to the pumps. If these move up with the clacks still open, the water flow may cause them to slam shut violently, possibly causing damage.

The solution is to use a column of water to provide a rigid support for the weight until the clacks have closed. Two rams are attached to ears on the weight, and during the upward stroke, these draw water via small non-return valves. This water then supports the weight until, after the required pause, it is released by a valve. The rams, valves, pipes and standpipes together form what is known as the “hydraulic”, the use of which in the Haarlemmermeer engines is unique.

Boilers

Cruquius originally had six Cornish boilers working at 45 psi. The fire tube was somewhat unusual. The furnace tube terminated a short distance behind the bridge, and four large smoke tubes in a diamond pattern extended from there to the rear of the boiler. This provided a large heated surface, but the connection of the smoke tubes to the furnace tube caused so much trouble that after a few years, a regular single fire tube was fitted.



In 1860 werden vier soortgelijke ketels bijgeplaatst. In 1888 werden de tien oude ketels vervangen door zes tweevuurs Lancashire ketels van 45 bar werkdruk.

Om het effect van de sterk fluctuerende stoomvraag te verminderen, werd een grote stoomdom (middellijn 1,37 m) over alle ketels gelegd. Deze was 22,6 m lang.

En later?

De droogmaking duurde van 1849 tot 1852. Alle drie de gemalen werkten voortdurend op volle capaciteit, echter met enkele onderbrekingen. Daarna hielden ze de polder droog, en waren er lange perioden van stilstand. Met de veranderende eisen van de landbouw werd betere peilbeheersing nodig. Dat leidde tot kortere periodes van intensiever bemalen. De **Cruquius** kon, zelfs met meer ketels, bij volle opvoerhoogte niet meer dan zeven pompen aan, dus één pomp bleef afgekoppeld.

De andere gemalen (de **Leeghwuter** en de **Lynden**) werden in de loop der jaren gemoderniseerd, en zij bemalen de polder nog steeds. Na een periode als reserve-gemaal werd de **Cruquius** in 1932 overbodig. Het Koninklijk Instituut van Ingenieurs nam het initiatief tot behoud. Zo werd de **Cruquius** in 1933 een van de eerste monumenten van bedrijf en techniek in Nederland, en zelfs een van de eerste ter wereld. De machine en pompen van de **Cruquius** zijn nooit veranderd; en het machinegebouw en het ketelhuis evenmin. Na 1932 werden de ketels gesloopt. Overigens staat het gemaal er precies zoals het in 1846-1849 werd gebouwd.

In 1860 four similar boilers were added. In 1888 the ten old boilers were replaced by six two-fire Lancashire boilers, working at 68 psi.

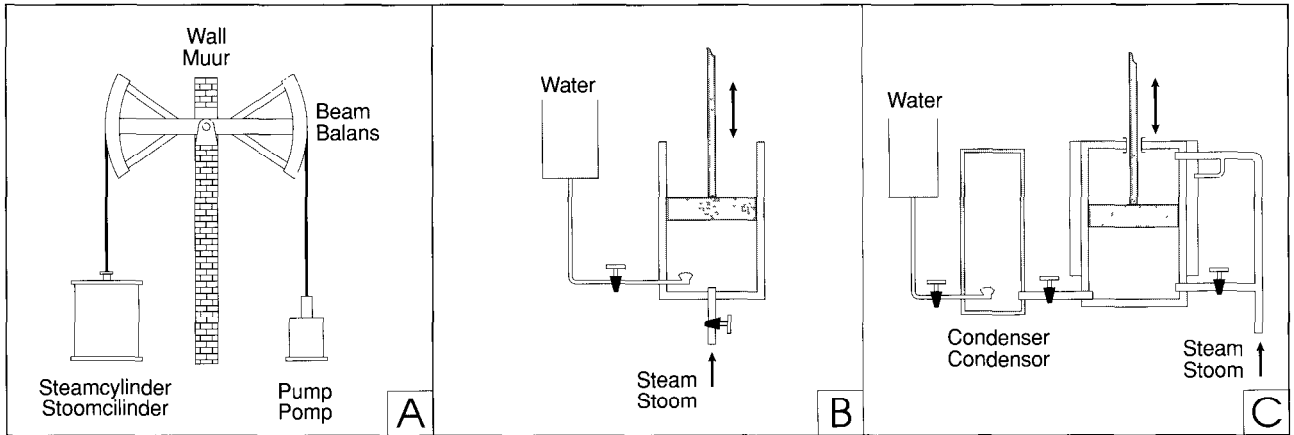
To reduce the effect of the steam surge at the start of each stroke, a large (54" diameter) buffer vessel was placed across all boilers. This was over 74 ft long.

And later?

The initial drainage took from 1849 to 1852. All three pumping stations worked continually at maximum capacity, with a few interruptions. Later they kept the polder dry, and were idle during long periods.

As agricultural needs changed, the water-table had to be kept within stricter limits, with shorter, intenser pumping periods. It turned out that **Cruquius**, even with more boilers, could power only seven pumps at full lift, so one pump remained permanently disconnected.

The other pumping stations, **Leeghwuter** and **Lynden**, were modernized over the years, and have provided the polder's drainage to this day. After a period on stand-by **Cruquius** finally became redundant in 1932. An initiative was taken by the Koninklijk Instituut van Ingenieurs to preserve it. In 1933 **Cruquius** became one of the first industrial monuments in the Netherlands, and even of the world. The engine and pumps of **Cruquius** were never modernized or modified, nor was the building, after early extensions to the boilerhouse. After 1932 the boilers were removed and scrapped. Otherwise the drainage station is just as it was built in 1846-1849.



De voorouders van de Haarlemmermeer machines

De Cornwall stoom-pompmachine stamt rechtstreeks af van de Newcomen-machine via de vroegste machines van James Watt. Dat zijn alle drie niet-draaiende machines: de rechtlijnige beweging van een stoomzuiger wordt zonder kruk of vliegwiel overgebracht op de rechtlijnig bewegende pompzuiger. Vaak staan stoom- en pompcilinder vertikaal, en wordt de beweging overgebracht met een horizontale balans (Fig. A).

De Newcomen-machine (Fig. B) dateert uit ca. 1715. De zuiger werd opgetrokken door het gewicht van de pompzuiger en stoom van vrijwel atmosferische druk (niet veel hoger dan in een fluitketel) werd in de cilinder gelaten. De stoom werd vervolgens gecondenseerd door water in de cilinder te spuiten. Daardoor ontstond een vacuum, en dat trok de zuiger omlaag in de open cilinder (of liever: de druk van de lucht duwde de zuiger omlaag). Het steeds weer afkoelen en verwarmen van de cilinder maakte deze machine tot een echte energieverlinder. Het totale rendement was niet meer dan ½ procent.

In 1769 voegde James Watt een apart vat toe om de stoom in te condenseren (Fig. C). Deze *condensor* kon koud blijven, terwijl de cilinder heet bleef. Tussen cilinder en condensor kwam een klep, die open ging als het vacuum in de cilinder nodig was. Om het warmteverlies te beperken sloot Watt de bovenkant van de cilinder af. Hij liet de zuiger omlaag drukken door stoom. Deze was nog steeds van lage druk. Watt hield voorts de cilinder warm door een stoommantel. Het rendement steeg indrukwekkend tot ruim 2 procent.

Na het aflopen van Watts patent ging men in Cornwall over op hogere stoomdruk. Samen met de toegevoegde stoomklep maakte dit expansief gebruik van de stoom mogelijk (Fig. D). Cornwall-machines met extreme expansie bereikten rendementen tot elf procent.

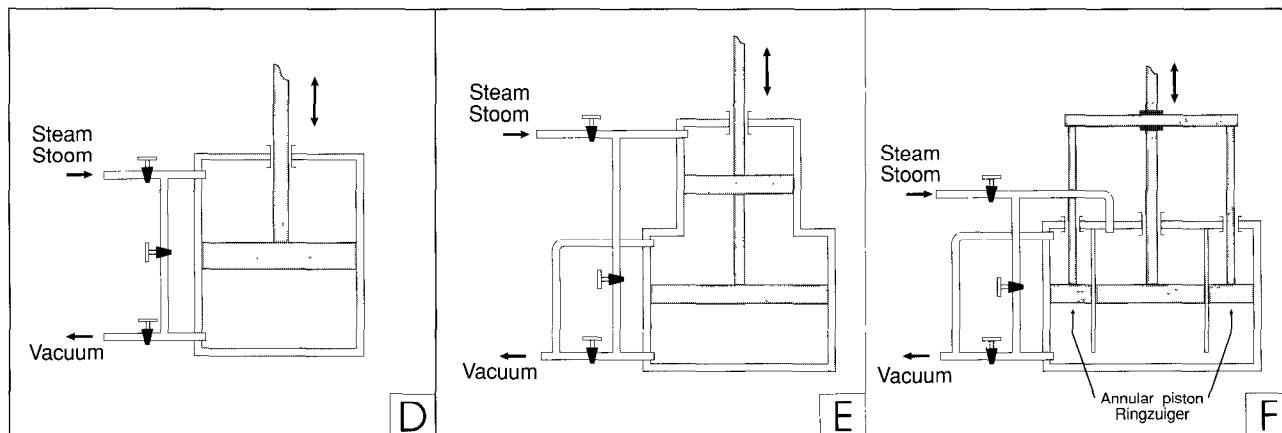
The precursors of the Haarlemmermeer engines

The Cornish pumping engine is the direct descendant of the Newcomen engine, via the earliest engines of James Watt. All are non-rotative engines, *i.e.*, the straight-line motion of a power piston is transmitted to the straight-line motion of a pump piston, without a crank or flywheel. Often the power and pump cylinders are vertical, and power is transmitted from one to the other via a horizontal lever, the beam (Fig. A).

The Newcomen engine (Fig. B) dates from about 1715. The piston was pulled up by the weight of the pump piston and steam of virtually atmospheric pressure (barely more than the pressure in a kettle) entered the cylinder. The steam was then condensed by injecting water directly into the cylinder. This created a vacuum, which pulled the piston down in the open-top cylinder (or, rather, the pressure of the atmosphere pushed it down). The repeated cooling and heating of the cylinder made this engine extremely wasteful of fuel. The overall efficiency was not more than ½ per cent.

In 1769 James Watt added a separate vessel for condensing the steam (Fig. C). This *condenser* could remain cold, while the cylinder remained hot. A valve between the cylinder and the condenser was opened during the part of the stroke when a vacuum was needed. To conserve heat, Watt closed the top of the cylinder and let steam push the piston down. This steam was still low pressure. Watt also enclosed the cylinder in a steam jacket to keep it hot. Efficiency increased dramatically, to over 2 per cent.

After Watt's patent expired, Cornish engineers introduced higher steam pressures. This and the addition of a steam valve allowed expansive working (Fig. D). Cornish engines with extremely high expansion could reach efficiencies of up to 11 per cent.



Door de zeer korte toelaat van de stoom kreegde zuiger (en alles wat daaraan vast zat) echter als het ware bij elke slag een harde “schop”.

James Sims ontwierp een machine die veel rustiger liep, terwijl hij toch een vergelijkbaar rendement had. Deze machine had twee cilinders met ongelijke middellijn boven elkaar (Fig. E). Verse stoom werd toegelaten tot de kleine cilinder en expandeerde hierin ten dele. Dan ging de stoom via een omloopleiding van de kleine naar de grote cilinder en expandeerde daar verder. Elk der expansietrappen veroorzaakte minder schokken. Zo'n machine met dubbele expansie noemt men *compound-machine*.

De ruimte tussen de beide zuigers werd op constante druk gehouden. In principe deed het er niet toe, welke druk. Verbond men echter die ruimte met de buitenlucht, dan ontstond het gevaar van lucht-lekkage langs de grote zuiger naar de condensor, en afname van het vacuum. Dit werd voorkomen door de tussenruimte met de condensor te verbinden.

De compound-machine van Sims werkte vrij goed, maar hij was erg hoog. Bij de zeer krachtige machines die men zich voor de Haarlemmermeer-gemalen voorstelde, vreesde men dat zulk een hoogte de machines instabiel zou maken. De ontwerpers besloten daarom uiteindelijk, de kleine cilinder in de grote te schuiven. Die werd nu ringvormig (Fig. F). Van de ruimte tussen de zuigers in de gewone Sims-machine resteerde nog slechts een vrij kleine ruimte boven de ringzuiger.

Voor het werken met zuigpompen moest het overwicht verhuizen naar het machine-eind van de balansen en het bevond zich dus binnen het gebouw, dat is precies omgekeerd aan een gewone Cornwall machine. Bijgevolg moest de hele machine op z'n kop gezet worden. De afbeeldingen op de pagina's 6 en 7 tonen hoe de machine er in dat geval uitzag.

The very brief period during which steam was admitted produced the effect of a violent “kick” on the piston (and all connected parts).

James Sims designed an engine which ran much more smoothly and still had a comparable efficiency. This he achieved by cascading two cylinders of unequal diameter (Fig. E). Boiler steam was admitted to the smaller cylinder and expanded here to some extent. The steam then was led from the small cylinder to the larger one using a bypass pipe and further expanded there. Each of the expansion stages caused less of a kick. An engine with two-stage expansion is called a *compound engine*.

The space between the two pistons was kept at a constant pressure. Any pressure would do in principle, but connecting this space to the atmosphere would increase the risk of air leaking in via the packing of the large piston, spoiling the condenser vacuum. This was avoided by permanently connecting the space between the pistons to the condenser.

The Sims compound engine performed reasonably well, but it was very tall. For the great engines proposed for the Haarlemmermeer drainage stations, the sheer height of the engines was expected to make them unstable. The designers therefore eventually decided to telescope the small cylinder into the large one, which then became annular (Fig. F). The space between the pistons in the regular Sims engine was reduced to just a small space above the annular piston.

For bucket pump operation, the weight surplus would have to be placed at the engine ends of the beams. *i.e.*, inside the building. This is just the opposite of regular Cornish engine practice. In consequence, the engine had to be turned upside down. The illustrations on the pages 6 and 7 show what the engine would look like in that case.

De vroege geschiedenis van de polderbemaling

De oudste polders werden gevormd door het opwerpen van een dijk om een stuk buitendijkse grond, met een sluisje om bij eb het water te lozen. Bij het inklinken van de polderbodem werd kunstmatige bemaling nodig. Hiermee bleek ook betere peilbeheersing te verkrijgen. Met het voorschrijden der techniek werd het droogmaken van meren mogelijk. Een uitgebreid stelsel voor peilbeheersing kwam tot stand. Polders loosden op rivieren of de zee via een of meer tussenstappen, de boezems. Een grote bergboezem betekende, dat men langer de tijd had om op lozingsmogelijkheden te wachten, en polderbesturen hadden dus graag een grote verhouding tussen boezem- en polder-oppervlak.

Een man met een hoosvat kon per dag een 45 m³ water een meter opvoeren, dat is een vermogen van ongeveer 0,02 pk. Dieren om molens aan te drijven waren er niet genoeg, en in de lage landen was geen waterkracht beschikbaar. Er waren dus weinig mogelijkheden voor kunst-bemaling, totdat in het begin van de 15e eeuw de windmolen met scheprad opkwam. De grootste opvoerhoogte van een scheprad is 1-2 m. Aan het begin van de 17e eeuw ontstond de molengang met meer schep-raderen in een rij en grotere opvoerhoogte. Kort daarna verscheen de vijzelmolen met 4-5 m in één stap.

In 1787 werd bij Rotterdam een eerste stoompomp van Boulton & Watt gebouwd voor polderbemaling. Die werkte, maar in het algemeen sloeg stoombemaling niet erg aan in Nederland. Bemaling vroeg om maximale veiligheid, de nadruk lag op bedrijfszekerheid, en men gaf dus lange tijd de voorkeur aan de vertrouwde windmolen. Men vond stoomkracht minder betrouwbaar, en duurder in investering, brandstof en personeel.

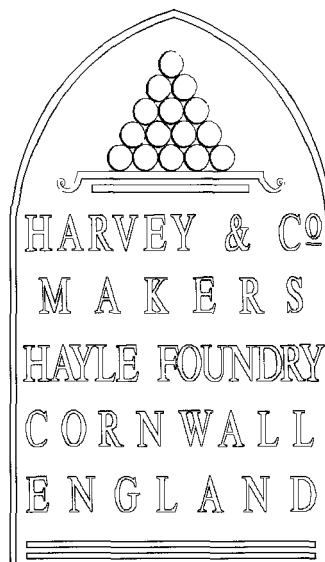
The early history of polder drainage

The earliest polders were formed by enclosing a piece of foreshore by a dike with a sluice gate, which was opened at low tide. Subsidence upon drying of the polder floor made power drainage inevitable. This also allowed stricter control of the water level.

As technology developed, draining lakes to create polders became feasible. A system for controlling the water-table developed, with polders discharging into rivers or the sea via one or more intermediate collecting basins called "boezems" in Holland. Large boezem-capacity — buffer storage — meant less dependency on immediate discharge, and so the polder authorities favored a large boezem/polder area ratio.

A man with a bucket could lift about 33000 gallons of water one foot high in a day, developing an average power of about 0.02 hp. There were not enough animals to power pumps, and water power was not available in these low lands. Power drainage was severely limited until the advent of the windmill-driven scoop wheel in the early 15th century. The lift of a reasonably-sized scoop wheel is 3-6 ft. In the early 17th century higher lifts were achieved by cascading two or more scoop wheels. Not long afterwards the Archimedean screw appeared, allowing lifts of 12-15 ft in a single stage.

In 1787 a first Boulton & Watt steam pump was built for drainage purposes near Rotterdam. This met with success, but acceptance of steam power was slow in Holland. Land drainage required maximum security, with emphasis on reliability, and so the established technology of wind power remained long in favor. Steam power was considered less reliable, and more costly in terms of capital outlay, fuel, and skilled personnel.



Acknowledgements

The **American Society of Mechanical Engineers** is most grateful to the officers and staff of Stichting “de Cruquius”, the Institution of Mechanical Engineers and the Koninklijk Instituut van Ingenieurs for their assistance with this International Historic Mechanical Engineering Landmark designation.

This brochure was prepared by Robert Gisolf, Jean Kramer-Updike, Alexden Ouden and Jan Verbruggen.

The Landmarks Program of the ASME

The ASME Landmarks Program recognizes our technological heritage and serves to encourage the preservation of the physical remains of historically important works. It provides a roster for engineers, students, educators, historians and travelers, and helps establish reminders of our past, present and possible future paths of discovery.

Designation

The Cruquius steam drainage pumping station is the 33rd International Historic Mechanical Engineering Landmark to be designated since the program began in 1973. In addition 98 National Landmarks, 12 Regional Landmarks, 5 Mechanical Engineering Heritage Sites and 2 Collections have been designated throughout the United States and in 7 other countries.

Dankwoord

De **American Society of Mechanical Engineers** dankt de bestuursleden en medewerkers van de Stichting “de Cruquius”, de Institution of Mechanical Engineers en het Koninklijk Instituut van Ingenieurs voor hun medewerking bij het benoemen van dit International Historic Mechanical Engineering Landmark.

Deze brochure is gemaakt door Robert Gisolf, Jean Kramer-Updike, Alex den Ouden en Jan Verbruggen.

The American Society of Mechanical Engineers

Nathan H. Hurt, President

Arthur E. Bergles, Past President

Thomas D. Pestorius, Chairman, Council Public Affairs

Gunther P. Eschenbrenner, Vice President, International Affairs

Lorraine A. Kincaid, Vice President, Public Information

History and Heritage Committee

Euan EC. Somerscales, Chairman

Robert M. Vogel, Secretary

Robert B. Gaither

Richard S. Hartenberg

J. Paul Hartman

J.L. Lee

John H. Lienhard

Joseph P. Van Overveen

R. Carson Dalzell, Chairman Emeritus

Carron Garvin-Donohue, Staff Liaison

Koninklijk Instituut van Ingenieurs

J.M. Ossewaarde, President

H.P.S. van Lohuizen, Vice-president

J.N.P. Haarsma, Secretaris

Afdeling Werktuig- en Scheepshouw

G. Calis, Voorzitter

Afdeling Geschiedenis der Techniek

E. Warners, Voorzitter

The Institution of Mechanical Engineers

Tom Patten, President

Ronald W. Mellor, Secretary

The Trevithick Society

Viscount Falmouth, President

Rodney J. Law, Chairman

The Newcomen Society

Robert W. Rennison, President

Alan Smith, Secretary

Stichting “de Cruquius”

A.J.G. Klomp, Voorzitter

K. van der Molen, le Secretaris

J. Dekker, 2e Secretaris

B.M. Mohrmann, Penningmeester

A.J. Engel

P. van Koppen

E. Haandrikman

Vereniging “Vrienden van de Cruquius”

B. van Tongeren, Voorzitter

CRUQUIUS

museum

ASME HH 9103

