

# Het waterbouwkundig laboratorium van de Technische Hoogeschool te Delft.

Aan het eind van de negentiende en in het begin van de twintigste eeuw zijn in verschillende Europeesche landen waterbouwkundige laboratoria opgericht.

Het heeft tot 1927 geduurd, voordat ook in ons land met de oprichting van een waterbouwkundig laboratorium werd begonnen.

Hoewel dit laboratorium nog steeds in de toestand van oprichting verkeert, mag nu binnenkort een definitieve installatie in een nieuw, eigen gebouw, verwacht worden.

Voorloopig is het laboratorium ondergebracht in de kelderruimte van het gebouw voor Weg- en Waterbouwkunde van de Technische Hoogeschool te Delft.

Deze ruimte is gebleken om verschillende redenen niet ideaal te zijn. Zoowel de breedte als de hoogte zijn slechts voldoende om aan zeer beperkte eischen van bruikbaarheid te voldoen, terwijl de diepe ligging ten opzichte van de grondwaterstand eigenaardige bezwaren met zich brengt.

Bij het opzetten van het plan voor het nieuwe gebouw is rekening gehouden met de ervaringen in de tegenwoordige ruimte opgedaan.

Achteraf gezien, is de bijna vijfjarige proefperiode onder deze ongunstige omstandigheden zeer nuttig gebleken, daar dit zonder twijfel de efficiency van het definitieve gebouw ten goede zal komen.

Een waterbouwkundig laboratorium dient om door proefondervindelijk onderzoek de gunstigste vorm te bepalen van waterbouwkundige werken, voor zoover deze vorm betrekking heeft op de beweging van het water.

Uiteraard is het niet wel mogelijk deze proeven op ware grootte uit te voeren; de benodigde plaatsruimte en de kosten vormen daartegen onoverkomelijk hinderpalen.

In het laboratorium worden modellen op soms sterk verkleinde schaal vervaardigd van de te onderzoeken waterbouwkundige objecten. Door het model wordt dan een in overeenstemming met de schaal verkleinde hoeveelheid water per seconde doorgevoerd.

Het gedrag van de waterbeweging en van wat daarmee samenhangt wordt nauwkeurig waargenomen en zoo mogelijk in meetcijfers

nica in de weg staan, niet overwonnen zijn, moet de techniek genoeg nemen met het middel, dat het modelonderzoek biedt.

Door namelijk tot in kleine bijzonderheden in het model de werkelijkheid op verkleinde schaal na te bootsen, wordt het heele complex van verschijnselen gedurende de strooming tevens geïmiteerd, waardoor de moeilijkheden van het analytisch onderzoek en de bezwaarlijke synthese vermeden worden.

Ondertusschen draagt de nauwkeurige observatie van de verschijnselen en het ook in het waterbouwkundig laboratorium verrichte systematische onderzoek bij tot het opsporingwerk naar de nog onbekende wetten.

Voorloopig echter zal het noodzakelijk zijn, vóór tot de bouw van een waterbouwkundig werk kan worden overgegaan, zich eerst door modelonderzoek ervan te overtuigen, dat het plan later voldoen zal aan de waterloopkundige eischen, die eraan gesteld zullen worden.

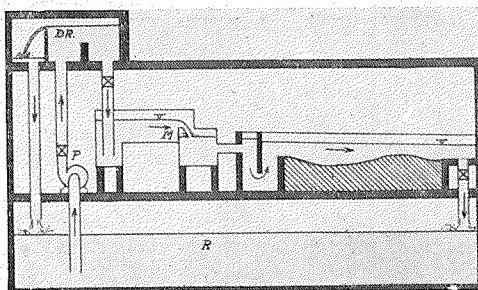


Fig. 1.

De reeds bestaande laboratoria hebben zelf medegewerkt tot verbreiding van het inzicht van die noodzakelijkheid en het is een verblijvend verschijnsel, dat met name het Delftsche laboratorium door het groote aantal opdrachten tot modelonderzoek bewijst, dat het in een behoefte voorziet.

Gedurende het nog niet ten volle vijfjarige bestaan van dit laboratorium zijn reeds ongeveer vijftig opdrachten verwerkt, deels van de Rijkswaterstaat en de Zuiderzeewerken, deels van gemeenten, waterschappen en particulieren afkomstig.

In vele gevallen leidde het onderzoek tot be-

- c. de waarneming;
- d. het verwerken van de metingen;
- e. contrôle-metingen.

a. In figuur 1 is de normale inrichting van een waterbouwkundig laboratorium schematisch aangegeven.

Uit een reservoir R, dat zich onder de eigenlijke laboratoriumruimte bevindt, wordt door middel van een pompinstallatie P het water gevoerd naar een hoog gelegen reservoir DR, drukregelaar genaamd.

De hoeveelheid toegevoerd water is grooter, dan de hoeveelheid noodig voor de modellen. Het teveel stort over de lange stuwrand van de drukregelaar en verder door een buis weer terug naar het reservoir R. Door de overstortrand voldoende lang te maken, wordt bereikt dat de waterstand in de drukregelaar slechts enkele millimeters varieert, afhankelijk van toevallige veranderingen in het debiet van de pomp en van de voor de modellen benodigde hoeveelheid water.

Van de drukregelaar wordt het water naar een meetinrichting M gevoerd. De hoeveelheid wordt ingesteld met behulp van een in de aanvoerleiding aangebrachte afsluiter. Het constante niveau in de drukregelaar waarborgt een eveneens constante toevoer naar de meetinrichting. In deze meetgoot stroomt het water over een scherprandige stuw. De hoogte van de waterspiegel in de meetgoot boven de stuwkruin is een maat voor de doorvoer. Deze hoogte wordt nauwkeurig gemeten met behulp van een staaf met spitse punt, die het wateroppervlak juist aanraakt. Op een schaalverdeling met nonius wordt de waterhoogte tot in tienden van millimeters afgelezen. Op een vooraf door ijking verkregen grafiek kan de hoeveelheid liters per seconde worden afgelezen.

Van de meetgoot M stroomt nu het water naar het model.

Teneinde een rustige instrooming te krijgen en het toegevoerde water op de juiste wijze over de dwarsdoorsnede van het model te verdeelen is een inloopconstructie aangebracht, die voor verschillende modellen anders is uitgevoerd, afhankelijk van de aard van de gewenschte strooming.

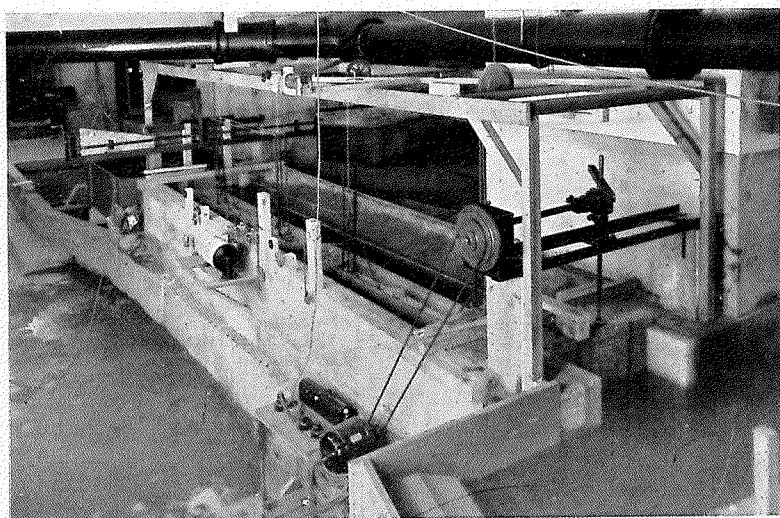


Fig. 2.

vastgelegd. Daarna volgt een meestal eenvoudige omrekening, met behulp van modelregels, die het mogelijk maakt, de in het model waargenomen grootheden tot ware grootte te herleiden.

In afwijking van de werkwijze van vele wetenschappelijke laboratoria, waar het onderzoek zich richt op het ontdekken van de wetten, die aan de beschouwde verschijnselen ten grondslag liggen, moet in het waterbouwkundig laboratorium nog veelal genoeg genomen worden met het waarnemen van de verschijnselen zelve.

Zoolang echter de moeilijkheden, die een exact mathematische behandeling van de problemen op het gebied van de vloeistofmecha-

langrijke geldelijke besparingen; in andere gevallen werden nuttige verbeteringen aan voorloopige plannen geadviseerd. Slechts in één geval was het resultaat van een onderzoek, door de bijzondere beperkingen vooraf opgelegd, negatief.

De indruk, dat vooral vele particuliere bedrijven met vrucht gebruik zouden kunnen maken van de diensten van het waterbouwkundig laboratorium, motiveert voldoende een uitvoeriger beschrijving van de werkwijze en de resultaten van deze instelling.

In een waterbouwkundig laboratorium zijn de volgende functies van belang:

- a. de watercirculatie;
- b. de modelbouw;

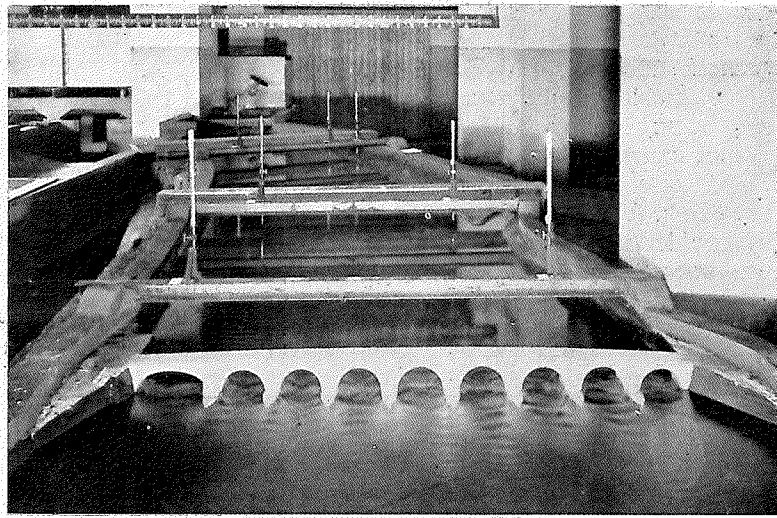


Fig. 3.

Gedurende de strooming worden in het model waarnemingen gedaan, waarop later zal worden teruggekomen.

Een uitloopconstructie aan het einde van het model stelt den waarnemer in staat een bepaalde waterhoogte in te stellen. Na het model verlaten te hebben stroomt het water weer terug in het eerstgenoemde reservoir R, zoodat het water dus in voortdurende circulatie blijft.

Het bestaande laboratorium wijkt in zoverre af van het besproken schema, dat noodgedwongen het reservoir niet onder maar naast de modelruimte is aangebracht.

Ook bevindt zich de drukregelaar niet boven de pompen maar leiden lange buisleidin-

gen naar de uiteinden van de laboratoriumruimte, waar 2 drukregelaars zijn opgesteld.

In het nieuwe laboratorium zal de opstelling van de verschillende aggregaten in overeenstemming zijn met die van het besproken schema.

b. Zoals reeds werd opgemerkt, wordt van de te onderzoeken waterbouwkundige werken een nauwkeurig model op verkleinde schaal vervaardigd.

In de eerste plaats moet de schaal  $k$  vastgesteld worden. Voor de verschillende modellen varieert  $k$  van 4 tot 1000, afhankelijk van de beschikbare ruimte en de hoeveelheid benodigd water per seconde: Echter kan  $k$  niet willekeurig worden opgevoerd, daar voor groote waarden van  $k$  de nauwkeurigheid van de waarnemingen niet meer voldoende zou zijn. En tweede zeer belangrijke reden tot beperking van  $k$  is gelegen in de omstandigheid, dat het karakter van de strooming in het model geheel verschillend kan worden met dat in de werkelijkheid, indien de snelheid van het stroomende water en de afmetingen te klein werden gekozen.

De zogenaamde turbulente stroomingstoestand, waarbij in het water kleinere en grotere dwarrelingen voorkomen, welke toestand practisch altijd in de werkelijkheid optreedt, zou in het model niet gehandhaafd blijven, maar overgaan in de laminaire stroomingstoestand, waarbij de waterdeeltjes zich bewegen

c. In het model wordt een hoeveelheid water per seconde toegelaten, overeenstemmende met de hoeveelheid in werkelijkheid en met behulp van de uitlaatklep wordt de waterstand op de gewenste hoogte gebracht.

Wil het modelonderzoek zin hebben, dan moeten het stroomingsbeeld en de groottheden die daarmee samenhangen (vervallen, opstuwingen, aanzandingen, enz.) met in acht name van de modelregels, in overeenstemming zijn met de toestand die bij de werkelijke afmeting zou optreden.

Daar verrassingen dienaangaande zeker niet uitgesloten mogen worden geacht, moeten controlemetingen in de werkelijkheid worden verricht, waarover later meer.

Allerlei groottheden kunnen nu waargenomen worden.

Allereerst de waterstanden. Deze worden op dezelfde wijze afgelezen als reeds is vermeld bij de beschrijving van de meetgoot. In figuur 3 zijn verschillende van deze peilnaalden te zien.

Verder worden snelheden gemeten. Meestal geschieden deze metingen fotografisch, door witte drijvertjes intermitterend op de plaat te laten inwerken. Zodoende ontstaan streepjes, waaruit de snelheden naar richting en grootte kunnen worden bepaald.

Ook aanslibbing, aanzanding en ontgroning vormen objecten van waarneming.

Bij het onderzoek van schutsluizen zijn van

In zoo'n geval moet opnieuw worden gezocht naar een bevredigende toestand.

Wanneer eindelijk het onderzoek is afgelopen, wordt een verslag samengesteld, waarin het geheele onderzoek is verwerkt.

e. Wanneer een waterbouwkundig werk volgens het advies van het waterbouwkundig laboratorium wordt uitgevoerd of gewijzigd, worden zoo mogelijk controleproeven genomen.

Nagegaan wordt dan, of de verschijnselen in de werkelijkheid overeenstemmen met de metingen in het model uitgevoerd.

In het algemeen is gebleken, dat de waarnemingen in model en werkelijkheid binnen de grenzen van de bereikbare nauwkeurigheid zeer voldoende kloppen.

Hierbij dient te worden opgemerkt, dat bij waterbouwkundige werken tot voor kort door een totaal gemis van betrouwbare werkformules, zulke hoge veiligheidsfactoren in rekening moesten worden gebracht, dat men onwillekeurig geneigd is de tamelijk goed kloppende modelproeven als volkomen exact te beschouwen: Dit is echter niet het geval. Afwijkingen van de controles tot 5 procent komen herhaaldelijk voor en zelfs voor grotere afwijkingen is niet altijd voldoende verklaring te vinden.

Ondertusschen voldoen vele, volgens de adviezen van waterbouwkundige laboratoria uitgevoerde kunstwerken op waterbouwkundig

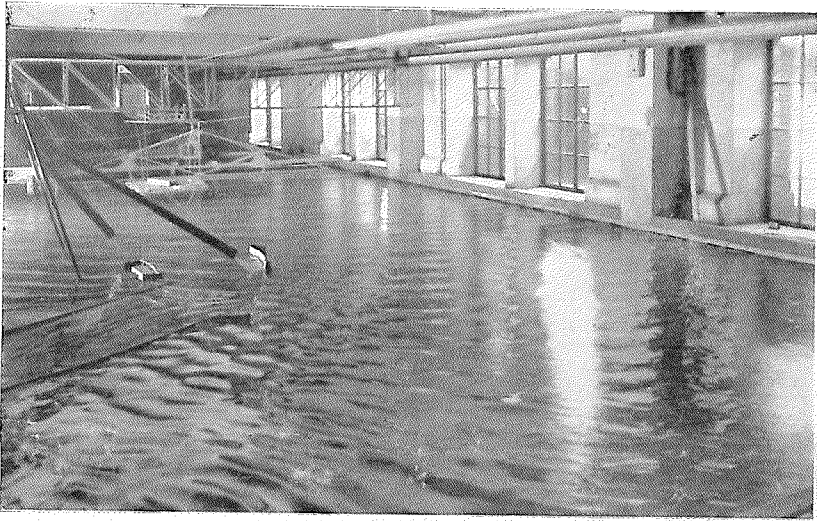


Fig. 4.

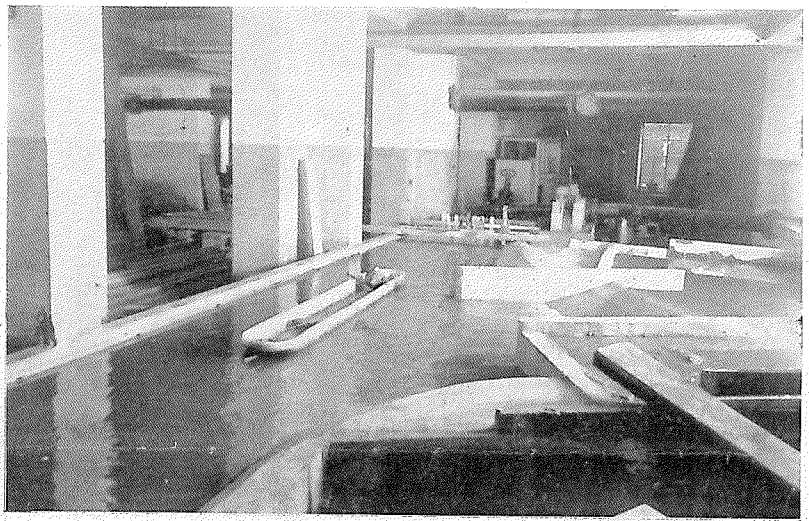


Fig. 5.

als door nauwe buisjes, die elkaar niet snijden.

Het getal van Reynolds stelt ons in staat vooraf te beoordeelen of een strooming turbulent dan wel laminair zal zijn.

Deze grootheid is een functie van de snelheid, de afmeting van het model en de kinetische viscositeit (taaiheid van de vloeistof).

Nadat de schaal is bepaald, kan tot de bouw van het model worden overgegaan. Naar de aard van het model wordt een keuze gedaan tusschen verschillende bouwmaterialen: metaal, beton, hout, paraffine, metaal.

Voor het nauwkeurig nabootsen van rivieren zeebodem leent zich een betonlaagje op puin het best. Voor zeer nauwkeurig werk, als sluishoofden, riolen en dergelijke is paraffine een uiterst geschikt materiaal gebleken, beter dan hout, dat ondanks de voorzorgen altijd trekt en moeilijk lekdicht te houden is.

Voor groote modellen wordt het uitzetten vergemakkelijkt door de aanwezigheid van een coördinatenverdeling in de laboratoriumruimte: een wagen met dwarsverdeling loopt langs een langsverdeling, zoodat de hoofdpunten op eenvoudige wijze met een schietlood kunnen worden uitgezet (zie figuur 3 en 4).

Aan het begin van het model wordt, zooals reeds is opgemerkt een inloopconstructie aangebracht. Aan het benedenstreamsche einde wordt het model van een beweegbare klep voorzien, om de waterstand in het model te kunnen regelen.

Voor de beproeving van scheepvaartkanalen en schutsluizen is het soms noodig de invloed van de strooming op de scheepvaart waar te nemen. In dit geval worden tevens nauwkeurige paraffine modellen van schepen vervaardigd (figuur 2 en 5).

Ten slotte worden nog zoo noodig hulp-aggregaten opgesteld, zooals golfmachines, motoren voor schuifbeweging en meetinstrumenten (figuur 2, 3 en 4).

belang de vultijden en de krachten, die door de strooming van het vulwater op de schepen worden uitgeoefend.

De metingen worden zooveel malen herhaald, als voor de nauwkeurigheid wenselijk is.

d. Het verwerken van de metingen heeft een tweeledig doel.

In de eerste plaats wordt, door de methode van de kleinste vierkanten toe te passen op de herhaalde metingen, vastgesteld, in hoeverre de metingen nauwkeurig zijn.

Daarna wordt nagegaan of de gedane waarnemingen voldoen aan de eischen, die aan het plan gesteld werden.

De ervaring heeft geleerd, dat zelden de ontwerpen onmiddellijk voldoen aan de verwachtingen die men ervan had.

Anderzijds bleek het meestal mogelijk door eenvoudige veranderingen aan te brengen, het plan te doen aan passen, aan de gestelde eischen.

De metingen worden aan de soms vele malen veranderde modellen herhaald, totdat een bevredigende toestand is verkregen. Deze opvolgende metingen wijzen dikwijls zelf de weg naar verbetering, zoodat eenig inzicht wordt verkregen in de problemen, die zich voordoen.

Soms ook treden de meest onverwachte verrassingen op en leidt de systematische bewerking van de metingen tot niets.

Is tenslotte een bevredigende oplossing gevonden, dan wordt deze vastgelegd en aan het oordeel van de opdrachtgevers onderworpen. Het is namelijk niet zonder meer zeker, dat een uit hydraulisch oogpunt gunstig ontwerp, constructief en economisch eveneens geschikt is.

Daar plaatselijke, financiële en soms zelfs politieke omstandigheden mede een rol kunnen spelen, is het niet altijd mogelijk de gevonden oplossing inderdaad toe te passen.

gebied, aan zeer hoge eischen en bewijzen daarmee duidelijk het nut van het onderzoek.

Een afzonderlijke bespreking van alle in Delft onderzochte objecten zou hier zeker niet op zijn plaats wezen; in het kort volge hier echter nog een opsomming van de meest voorkomende en belangrijkste opdrachten.

Van de Rijkswaterstaat en de Zuiderzeewerken werd opdracht gegeven tot het onderzoek van in totaal niet minder dan tien schutsluizen. Het doel van het onderzoek is gedurende de vulling van de kolk een watertoevoer vast te stellen, die de voor het vullen benodigde tijd binnen zekere grenzen houdt, terwijl tevens de krachten op de in de kolk gelegen schepen (troskrachten), die ontstaan door de instrooming van het water, een bepaald gedeelte van het scheepsgewicht niet mogen overschrijden. Overeenkomstige eischen worden gesteld aan de lediging. Wanneer gevaar bestaat, dat de ledigingsstroom bodemaantasting zou kunnen veroorzaken, wordt ook gezocht naar middelen om deze ontgronding tegen te gaan. Het is mogelijk gebleken, in vergelijking met niet van te voren onderzochte sluizen zeer korte vultijden met kleine troskrachten te combineren, terwijl ook de vervallen voor ons land ongekende waarden bereiken. Als voorbeeld diene, dat het onderzoek van de toekomstige schutsluis te Born heeft geleid tot een constructie, waarbij de vultijd ongeveer 9 minuten bedraagt en de troskrachten tot één per mille van het scheepsgewicht beperkt blijven. Tusschen boven- en benedenpand staat een verval van ongeveer 11,5 m.

Figuur 2 geeft een overzicht van het model van de nieuwe schutsluis te St. Andries. Op de registratietrommel worden o.a. het kolkpeil en de troskrachten als functies van de tijd afgeteekend. De motor dient om de hefdeur te bewegen. De vulling geschiedt hier namelijk onmiddellijk door de deur.



Figuur 3 geeft een beeld van het model van de Maas bij Maastricht. Doel van het onderzoek was zoo mogelijk de opstuwung door de oude brug te verminderen. Ook de scheepvaartopening en de nieuwe brug werden onderzocht.

Figuur 4 stelt voor het model van de uitmondung van de Nieuwe Waterweg in de Noordzee. De golven worden veroorzaakt door de golfmachine op den achtergrond. Hoewel de invaart in de Nieuwe Waterweg niet slecht kan genoemd worden, zijn de stroomingen, vooral wanneer de vloedstroom de Nieuwe Waterweg intrekt, nog niet ideaal. Ook ontstaan nog hinderlijke banken. Het onderzoek heeft ten doel aan deze bezwaren tegemoet te komen.

Figuur 5 geeft een overzicht van het model van de uitwatering van de Bolksbeek op het Twenthe-Rijnkanaal. Tusschen de beek en het

kanaal is een stuw geprojecteerd. Het doel van het onderzoek is door een geschikte plaatsing en een juiste constructie van het kunstwerk de instrooming in het kanaal zóó te doen geschieden, dat geen hinder voor de scheepvaart in het kanaal ontstaat. Uiteraard moeten ook voorzieningen tegen ontgronding van de stuw worden onderzocht.

Van de overige opdrachten kunnen nog vermeld worden:

Twee aanslibbingsvraagstukken, n.l. het onderzoek van de Koningin Wilhelminahaven te Vlaardingen en van de dokhaven van de Rotterdamse Droogdok Maatschappij.

Eenige capaciteitsmetingen van stuwen en uitwateringssluizen, o.a. de toekomstige uitwateringssluis ten Noorden van de Noordersluis te Zutphen.

Eenige ontgrondingsvraagstukken, o.a. bij de volgende kunstwerken: de uitwateringsslui-

zen in de afsluitdijk van de Zuiderzeewerken, de spuissluis te Oostoever, en verscheidene kunstwerken waar het geheele plan onderzocht werd.

Een proef over het meesleepen van steenen over de beteugelingsdammen in de afsluitdijk van de Zuiderzeewerken, waaraan een controleproef op ware grootte in de Maasstuw bij Roermond is gekoppeld.

Tenslotte werden nog eenige proeven gedaan over de voortplanting en demping van golven in havens en kanalen.

De verslagen van de meeste modelproeven zullen te zijner tijd gepubliceerd worden in Rapporten en Mededeelingen van den Rijkswaterstaat en van de Zuiderzeewerken.

Uiteraard bedoelt dit artikel slechts een overzicht in vogelvlucht te geven van doel en werkwijze van het Waterbouwkundig Laboratorium.  
Ir. N. A. v. d. HEUVEL.

## De nieuwe brug te Maastricht.

### Vervaardiging, vervoer en montage van een ijzeren bovenbouw.

Sinds meerdere eeuwen wordt de verbinding over de Maas tusschen Maastricht en haar voorstad Wijk gevormd door de bekende steenen brug met negen bogen.

Het was in het tijdvak 1280—1298, dat een Dominikaner monnik haar bouwde, naar men wil op fundamenten, dateerende uit den tijd, waarin de Romeinen hun Trajectum ad Mosam als een van hunne meest belangrijke nederzettingen in deze gewesten hadden gesticht.

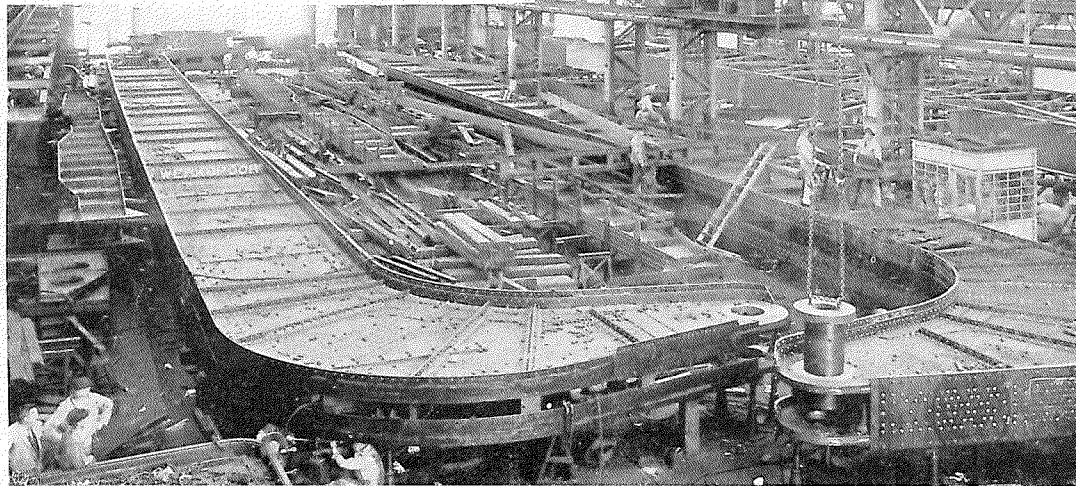


Fig. 2. De in de werkplaats uitgelegde hoofdliggers. Foto „Werkspoor”.

Al deze eeuwen door had zij met hare totale breedte van 8,40 M. (rijvlak = 5,60 M., 2 looppaden ieder 1,40 M.), de noodige ruimte geboden aan het verkeer, dat van den eenen oever naar den anderen plaats vond; de laatste tientallen jaren echter was zij niet meer in staat het moderne verkeer te verwerken.

Dit was een der redenen, waarom in 1930 door den Rijkswaterstaat een nieuwe brug over de Maas is ontworpen, 270 M. Noordwaarts van de bestaande steenen boogbrug gelegen.

Deze nieuwe brug, welke dezer dagen is gereed gekomen, verbindt de Wilhelmina-singel, gelegen in Wijk, met een doorbraak, Zuidelijk van de Kleine Grachtstraat, toegang gevende tot de Markt van Maastricht. Zij bestaat uit 7 overspanningen; vijf hebben een spanwijdte van ongeveer 20 M. en zijn evenals de landhoofden van beton gebouwd, en 2 andere worden gevormd door ijzeren bruggen.

De Oostelijke ijzeren brug (zijde Wijk) heeft een lengte van 54 M. (h.o.h. opleggingen) en overspant een 50 M. breede doorvaartopening van de Maas; de Westelijke ijzeren brug (zijde Maastricht) heeft een lengte van 28 M. (h.o.h. opleggingen) en overspant het Kanaal van Luik, welk kanaal — als bekend — onmiddellijk naast en evenwijdig aan de Maas loopt in de richting Noord-Zuid. Fig. 1 (op de volgende pagina) geeft een afbeelding van de Nieuwe brug, gezien van uit het Zuiden.

Bij de evengenoemde 2 overspanningen heeft

men voor constructiemateriaal zijn toevlucht moeten nemen tot ijzer, omdat hunne spanwijdten in 't algemeen te groot waren voor het gebruik van beton. De 2 ijzeren bruggen zijn door Werkspoor geleverd; zij zijn in hare



Fig. 3. De opgestelde eindstukken. Foto „Werkspoor”.

waartusschen 10 dwarsdragers, vormende 9 velden à 6 M., met secundaire langsliggers; voorts is zij voorzien van 2 aangebouwde voetpaden, ieder breed 2,645 Meter. Het rijvlak heeft een breedte van 11 Meter, de totale breedte van de brug is ruim 21 M.

De brug is vervaardigd van staal met een breukvastheid van 52 tot 62 K.G. per  $\text{mm}^2$ , kortweg aangeduid als St. 52, uitgezonderd de windverbanden, leuning, langsliggers voor de voetpaden, onderstoelen van de opleggingen en enkele andere minder belangrijke onderdeelen, welke vervaardigd zijn van vloeijzer.

Voor klinknagelmateriaal is z.g. St. 44 (breukvastheid 44 tot 52 K.G. per  $\text{mm}^2$ ) gekozen; hier werd met voordracht geen St. 52 toegepast, omdat de ervaring heeft geleerd, dat nagels van laatstgenoemd materiaal in 't algemeen onvoldoende stukken en bij het klinken dikwijls aanleiding geven tot scheuren van den geklonken kop.

In de afgeklonken brug is later buiten bemoeiing van Werkspoor een rijdek en afdekking voor de voetpaden aangebracht, gemaakt van beton.

Wat den vorm van den hoofdligger betreft, deze verdient in 't bijzonder bespreking.

De eisch was n.l. gesteld, dat de ijzeren brug zich architectonisch en aesthetisch aan de betonoverspanningen zoude aanpassen, geen onderdeelen mochten boven het betonwerk uitsteken en het uitzicht op de stad mocht in geen enkel opzicht worden onderbroken.

Deze voorwaarden hebben aanleiding gegeven tot het toepassen van een z.g. tweescharnierboog, waarvan beide opleggingen vast zijn. Oogenschijnlijk verschilt dit brugtype niet veel van het normale type, maar als statisch probleem neemt zij ongetwijfeld een