ENKELE BELANGRIJKE EPISODEN UIT DE ONTWIKKELINGSGESCHIEDENIS VAN HET BOUWVAK

OPENBARE LES

GEHOUDEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET AMBT VAN LECTOR AAN DE LANDBOUW-HOGESCHOOL OP 10 NOVEMBER 1960

DOOR

IR. G. HEKKET

H. VEENMAN & ZONEN N.V. - WAGENINGEN

Mijnheer de voorzitter en mijne heren leden van het bestuur van de Landbouwhogeschool,
Dames en heren hoogleraren, lectoren, docenten en wetenschappelijke medewerkers,
Dames en heren studenten,
Dames en heren,

Zeer geachte toehoorders,

Bij de opleiding tot een beroep in een technisch vakgebied begint men in de regel met het aankweken van vaardigheid in het bewerken en vormgeven van de te bezigen materialen. Tezelfder tijd wordt aangevangen met het vertrouwd maken met wis- en natuurkundige problemen. Uitgaande van deze beide grondslagen volgt dan de eigenlijke verdere technische opleiding. In deze volgorde is in zekere zin de historische ontwikkeling van het betreffende vakgebied terug te vinden.

Details in deze ontwikkeling zullen veelal verloren zijn gegaan doordat in de loop der tijden het accent op bepaalde gebeurtelijkheden is verlegd, of omdat om didaktische redenen een afwijkende volgorde is gecreëerd. Problemen die in een achter ons liggende periode de gemoederen soms tientallen jaren hebben bezig gehouden zijn tot algemeen aanvaarde begrippen geworden, en vraagstukken naar de oplossing waarvan meerdere generaties van specialisten vergeefs zochten, worden thans in een enkele les verklaard.

Zo hebben zich ook in het bouwvak enkele merkwaardige gebeurtenissen in de ontwikkelingsgeschiedenis voorgedaan waarvan in het huidige onderricht geen spoor meer is terug te vinden. Met een kort historisch overzicht als achtergrond heb ik mij voorgesteld U in deze les enkele belangrijke episoden uit de ontwikkelingsgeschiedenis van dat vakgebied in herinnering te brengen.

Uit afbeeldingen en eigen aanschouwing zijn ons een groot aantal kunstwerken uit de oudheid bekend. Vele daarvan treffen ons door hun grote afmetingen en nauwgezette afwerking. Opvallend is het ontbreken van elk streven naar een economisch gebruik van materiaal en arbeidskrachten. Macht en kracht der oude Egyptische cultuur werden nog op een zeer primitieve wijze tot uiting gebracht, en ook in later tijden zijn hun bouwmeesters kwistig met zwaar materiaal omgesprongen bij het vaststellen der afmetingen van zuilen en architraven van hun tempels. De ruimte tussen de zuilen is vaak niet meer dan anderhalf maal hun dikte en de afdekking hierover van zware steenblokken is nog ver van gedurfd. Eerst tij-

dens de Grieken is met betrekking tot het gebezigde bouwmateriaal de juiste verhouding gevonden tussen de afmetingen van de verschillende bouwdelen.

Men heeft reeds vroeg werken aangelegd waarbij vooraf berekeningen dienden te worden gemaakt, zij het dan van meetkundige aard. Vijf duizend jaar geleden werden dammen, inlaten, sluizen en kanalen aangelegd voor bevloeiingen van een zodanige uitgestrektheid dat reeds een aanmerkelijke bekwaamheid in de landmeetkunde moet worden verondersteld, en het beschikken over middelen waarmede hoogten, hoeken en lengten over grote afstanden konden worden gemeten en afgepast. Ook in later tijden, doch nog ver voor onze jaartelling werden door de Etrusken en later door de Romeinen grote werken voor hun watervoorzieningen gebouwd. Daar zij over goed gesteente als bouwmateriaal beschikten zijn vele van deze werken tot op heden bewaard gebleven. Een prestatie uit de 2de eeuw voor onze jaartelling was bijvoorbeeld de Marcia waterleiding, welke twaalfhonderd liter per seconde over een afstand van 91 km aanvoerde. Tien km van deze leiding bestond uit door bogen gedragen aquaducten.

Het toepassen van bogen en gewelven heeft altijd bizonder tot onze verbeelding gesproken. Hoewel de Egyptenaren en Grieken geen gewelven in hun monumenten toepasten, was deze constructie mede met de koepelbouw reeds lang aan hen bekend en werd ze aangewend in ondergeschikte bouwwerken. De Etrusken en later vooral de Romeinen hebben echter begrepen dat door de boogwerking veel grotere overspanningen konden worden gemaakt dan ooit met op buiging belaste bouwdelen zou zijn te bereiken. Onder het bewind van keizer Augustus durfde men het reeds aan een stenen brug te bouwen, waarvan de grootste boog een overspanning had van 31 m. Een bizonder staaltje van technisch kunnen was de bouw van het Pantheon te Rome. Met een spanwijdte van 43,5 m werd deze koepelbouw pas 1500 jaar later in dimensies geëvenaard door die van de St. Pieter te Rome.

Wat de Romeinse bouwmeesters in onze ogen tot ware ingenieurs stempelt is de rationele wijze waarop zij hun technische problemen aanpakken. Bijvoorbeeld reduceerde men bij het Pantheon het gewicht van de koepel door tussen de draagribben lichte cassettenvormige panelen te gieten. Ook op het gebied van wegenaanleg en havenbouw voerden ze werken uit die honderden jaren later nog als voorbeelden zouden dienen.

Deze hoge trap van technische bekwaamheid was een gevolg van de grote bouwactiviteit, die in het leven werd geroepen door de meerdere eeuwen durende economische bloeiperiode van het Romeinse rijk. Met de val daarvan en de daarop volgende onrustige tijden van de volksverhuizingen ontbrak het de samenlevingen en hun overheden aan middelen en daadkracht om grote werken te on-

dernemen. Het zou tot een volgende bloeiperiode duren eer men deze kracht weer terug vond.

Zoals reeds opgemerkt was vroegtijdig door de vakman een meettechniek ontwikkeld die hem in staat stelde door meten en berekenen de gewenste hoogteligging en plaatsbepaling van zijn werken op de bouwterreinen vast te stellen. Opmerkenswaardig is, dat het nog eeuwen lang het enige meet- en rekenwerk zou blijven dat hij bij al zijn ontwerpen en uitvoeringen bezigde. Voor een deel is dit te verklaren uit zijn vermogen vorm en afmetingen met betrekking tot de eisen van sterkte en stabiliteit louter te bepalen aan de hand van ervaringsregels, technisch gevoel en oog voor verhoudingen. Anderdeels is het een gevolg van het feit dat een aanmerkelijk ontwikkeld fysisch inzicht en kennis der mathematica nodig zijn om genoemde vormgevende voorwaarden op statistische wijze te kunnen bepalen. We zullen eens zien hoe het met deze kennis was gesteld.

In de zesde eeuw voor onze jaartelling werd door de Ionische natuurfilosofen de impuls gegeven tot het beoefenen van de exacte wetenschappen. In de plaats van mystieke en bovennatuurlijke wereldbeschouwingen trachtten zij een verklaring te vinden gegrond op waarneming en logika. De grondlegger van de wetenschappen die later zo belangrijk zouden zijn voor de ontwikkeling van de techniek was ARISTOTELES en zijn school, waartoe EUKLIDES en later ARCHIMEDES gerekend moeten worden. Men leerde de oppervlakten van geometrische figuren te berekenen en van samengestelde bewegingen de resultante te bepalen met een parallelogram. Daar men van het begrip kracht nog geen klare voorstelling had, werd de werking van gelijkarmige hefbomen, katrollen en windassen met bewegingsvergelijkingen verklaard. De studies hierover moet men niet opvatten als een poging van de zijde dezer wetenschapsbeoefenaren om de bouwmeester te hulp te komen. Zoals dit zich in een latere periode nog eens zou herhalen, hadden zij in de techniek slechts gerede onderwerpen gevonden om als oefenstof te dienen.

De Romeinen zijn op wetenschappelijk gebied minder creatief geweest dan de Grieken. Echter hebben wij het aan hun geschiedschrijvers en samenstellers van encyclopedische werken te danken dat veel wetenswaardigheden voor latere generaties bewaard zijn gebleven.

Omstreeks het begin van het tweede millennium ontwikkelde zich een nieuwe culturele opbloei, die zich manifesteerde in een behoefte aan meer en betere verbindingen en monumentale werken. Ze ontstond in het Bourgondische land en breidde zich daarna uit naar Duitsland en Noord-Italië. De techniek kwam tot een nieuwe en hogere trap van ontwikkeling en beleefde vooral in de bouw van kerken een toppunt van durf en prestatie. Wij zullen deze vlucht even volgen.

De vroegste uitingen waren in technisch opzicht nog een voort-

zetting van de Romeinse gewelfbouw. Als afdekking van de middenbeuk van de kerken bezigde men een tongewelf. De hierin optredende horizontaal gerichte componenten der oplegkrachten werden grotendeels opgevangen door steunberen en door de tongewelven die over de zijbeuken werden gelegd. Behoefte aan meer licht in de middenbeuk bracht de bouwmeesters op het idee, instede van het tongewelf hier kruisgewelven toe te passen. Daardoor ontstaat n.l. de mogelijkheid in de zijwanden ramen te plaatsen. Deze bouwwijze werd het eerst toegepast bij de dom van Speijer. In 1110 werd besloten de 32 m hoge en 13 m brede middenbeuk aldus in te dekken. Een waarlijk grote prestatie zowel uit een oogpunt van technisch kunnen van de ambachtslieden als van durf en daadkracht van de ontwerper.

De verdere uitgroei van deze bouwwijze verplaatste zich nadien naar Frankrijk, waar men besloot de evengenoemde hoog aangrijpende spatkrachten van de gewelven behalve door steunberen ook door luchtbogen naar de fundaties over te brengen. Tussen 1150 en 1250 werden vooral in het Isle de France een groot aantal kerken gebouwd met gewelfconstructies die op deze wijze van buiten af werden ondersteund. In 1137 werd ten Noorden van Parijs (St. Denis) een abdijkerk gebouwd waarbij voor het eerst spitsbogen instede van halfcirkels werden toegepast. Een bouwwijze, die spoedig algemene navolging vond en naderhand als de Gothische bouwstijl is bekend geworden. In technisch opzicht moet men hierin een streven zien om met een minimum aan materiaal een maximum aan ruimte te omspannen. Dit streven leidt tot het verdelen van de muren in dragende pijlers en ruimte afsluitende vullingen, en bij de gewelven tot het ontleden in dragende ribben met daartussen gespannen gewelfschalen. Deze laatsten bezitten vaak geen grotere dikte dan 15 cm. De pijlers, ribben, beren en bogen hebben een zodanige vorm dat in hun geledingen slechts drukkrachten optreden. Aldus zijn deze hoge, ranke bouwsels samengesteld uit louter door het eigen gewicht vastgespannen steenstukken. De bouwmeesters hiervan beschikten slechts over recepten waarin vroegere ervaringen waren vastgelegd, en regels betrekking hebbende op stijl en compositie. Het werd aan het inzicht en de moed van hen overgelaten hoe deze in een bepaald concept te realiseren. De zucht het steeds beter te doen dan de voorganger maakte dat ieder volgend werk hoger, ranker en nog wijder werd. Uiteraard leidde dit tenslotte tot een overschrijding van de grenzen van het mogelijke. Dit gebeurde bij het koor van de Cathedraal te Beauvais. Tot tweemaal toe stortte het gewelf hiervan in, waarna verdere pogingen in deze richting werden gestaakt.

Zoals reeds gezegd, ontwikkelde zich in deze periode ook een grote activiteit op het gebied van de aanleg van wegen, en de bouw van bruggen en andere utiliteitswerken. Over een groot aantal ri-

vierovergangen werden stenen bruggen geslagen waarbij eveneens een verbetering in de halfronde tongewelven van de Romeinen werd uitgedacht. In tegenstelling tot de spitsbogen zien we hier vlak gespannen bogen toepassen, teneinde aldus met een zo gering mogelijk aantal pijlers toch een overbrugging tot stand te brengen die voor het verkeer op redelijke hoogte ten opzichte van de oevers kwam te liggen.

Met de nieuwe opbloei keerde tevens de belangstelling voor de wetenschappen terug. Het probleem van de krachtsverdeling in de ongelijkarmige hefboom werd opgelost, waarbij tevens de kiem werd gelegd voor de theorie der virtuele verplaatsingen. Het begrip moment was nog niet bekend, zodat voor het geval de drie punten waar de krachten op de hefboom aangrijpen niet op een rechte lagen, geen oplossing werd gevonden. Daar de vakman intussen gereedschappen als katrollen, vijzels en hefbomen met een van zeer ontwikkeld statisch gevoel getuigende vaardigheid wist te gebruiken, kan men slechts konstateren dat het peil van de theoretische kennis nog veel ten achter stond bij die van de techniek.

Met de Renaissance is in Italië een nieuwe cultuur- en geestesbeweging ontstaan die ten opzichte van de voorgaande gezien kan worden als een vrijmaking van nieuwe energieën op ieder domein van de menselijke activiteit. Tendeerde de scholastiek tot een steeds verdergaande en tenslotte onvruchtbaar wordende specialisatie, zo zien we bij de representanten van deze nieuwe tijd juist een deelname in, en een zich ontplooien op een grote verscheidenheid van kunsten en wetenschappen. Het lijkt er aanvankelijk zelfs op of een samengaan van techniek en wetenschap tot stand zal komen. Van grote invloed op deze ontwikkeling is BRUNELLESKI (1377-1446) geweest. Een groot kunstenaar en ingenieur, die tevens een grote belangstelling had voor de mathematica. Hij en zijn opvolgers BRAMANTE, SANGALLO, GIOCONDO en RAFFAEL verdiepten zich in de koepelbouw, en hoewel er nog geen sprake is van sterkteberekeningen, dringen ze toch dieper in op de theoretische problemen van hun constructies, dan de meesters van de Gothiek dit deden.

De vele oorlogen onderling en tegen de naburen van de Italiaanse staten in een periode waarin de toepassing van vuurwapens tot ontwikkeling was gekomen, stelde bizondere eisen aan de bouw en inrichting van vestingen. Daar de architecten en bouwmeesters van deze tijd door hun universele belangstelling het meest vertrouwd waren met de mathematische wetenschappen, viel ze aanvankelijk de taak toe hun opdrachtgevers en beschermheren ook op dit gebied met raad en daad bij te staan. En typisch voorbeeld van zo'n veelzijdig renaissance bouwmeester was FRANCESCO DI GIOGIO MARTINI, die leefde van 1439 tot 1502. Schilder, beeldhouwer, architect en tevens specialist op het gebied van militaire toestellen en verdedigingswerken. Ook SANGALLO en LEONARDO DA VINCI waren wel thuis

in deze materie. Zij worden hierin echter opgevolgd door een uit het militaire beroep voortgekomen specialist, FRANCISCO DI MARCHI (1500–1577). Zijn werken en vooral zijn geschriften over geodesie, architectuur, waterbouwkunde en militaire techniek stimuleerden het ontstaan van een kring van vakgenoten die een goede mathematische scholing ontvingen. Wij zullen nog zien welk een invloed zij op de ontwikkeling van het bouwvak zouden uitoefenen.

Hoewel men nog te weinig inzicht in fysisch-mechanische problemen had verworven om in staat te zijn sterkteberekeningen uit te voeren, was het speuren van de renaissancemeesters vruchtbaar geweest. Het samenstellen van bewegingen met behulp van een parallelogram had men zich reeds lang geleden kunnen voorstellen. Dat deze figuur ook gebruikt kon worden om krachten samen te stellen en te ontbinden zag men niet in wegens het ontbreken van een duidelijke voorstelling van het begrip kracht. Hoewel ook LEONARDO DA VINCI (1452–1519) nog niet het verband tussen kracht, massa en versnelling kende, slaagde hij er in, experimenterende met een aan twee draden opgehangen gewicht, een oplossing te vinden voor het probleem van het samenstellen van twee krachten tot een resultante. Hiermede werd een der bouwstenen van het fundament van de sterkteleer gelegd.

In deze periode namen ook geleerden uit andere landen deel aan deze studies. Hiertoe behoort onze landgenoot SIMON STEVIN (1548–1620). Met zijn mechanisch ingesteld voorstellingsvermogen slaagde hij er in duidelijke verklaringen te geven van de statische problemen van die tijd. Hij is de eerste die een kracht voorstelt door een lijnlengte. Tezelfder tijd is een van de meest eminente onderzoekers naar voren gekomen: GALILEO GALILEÏ (1564–1642). Deze durfde de autoriteit der antieken in twijfel te trekken en maakte daarmede een einde aan een aantal onjuiste voorstellingen die reeds lang een verdere ontwikkeling van het natuuronderzoek in de weg hadden gestaan. Mij bepalende tot zijn verdiensten voor het bouwvak dient vermeld te worden, dat GALILEÏ de eerste onderzoeker is die het vraagstuk van de buigvastheid bestudeert. Hij komt nog tot een foutieve conclusie, wegens een onjuiste voorstelling van de vervormingen die bij buiging optreden, en de invloed daarvan op de spanningsverdeling in de doorsnede van het gebogen objekt.

Een volgende onderzoeker, die voor het besproken vakgebied zeer vruchtbaar werk leverde, was DESCARTES (1596–1650). Van de vervormingen van lichamen of bepaalde systemen stelde hij, met gebruikmaking van het principe van de virtuele verplaatsing, arbeidsvergelijkingen op. Daarbij wees hij op het belang slechts oneindig kleine bewegingen in beschouwing te nemen.

Voor diegenen onder U, die thuis zijn in deze materie zullen dit vertrouwde klanken zijn. Men kan het echter vreemd vinden deze onderwerpen reeds ter sprake te zien komen op een tijdstip toen

zo veel eenvoudiger problemen nog onopgelost waren. De kwalificatie „eenvoudiger" is echter aanvechtbaar. Ons ontwikkeld mechanisch voorstellingsvermogen heeft tussen de verschillende onderwerpen van de sterkteleer een causaal verband gelegd en wij hebben deze materie dienovereenkomstig gerangschikt. De ontwikkeling van enkele problemen, en in het bizonder dat van de buiging, heeft zich echter niet in deze volgorde voltrokken.

Voor de niet technici onder U moet ik nu met een enkel woord iets over het sterkteonderzoek ten aanzien van buiging vertellen. Belast men een balk dan zal deze doorbuigen en bij een bepaalde overbelasting bezwijken. Afhankelijk van de vorm van de balk doen zich twee mogelijkheden voor: hij buigt slechts weinig door en breekt, of hij buigt zoveel door, dat dit voor de constructie ontoelaatbaar moet worden geacht. Een onderzoek naar de sterkte tegen buigen is daarom tweeledig: namelijk een onderzoek naar de sterkte tegen breken, en een onderzoek naar de vormhoudendheid onder een bepaalde belasting. De doorbuiging kan worden gemeten aan de vorm die bijvoorbeeld één van de vezels, waarin men het lichaam van de balk verdeeld kan denken, onder de last aanneemt. Bij een doorgebogen balk zal het bovenvlak korter en het ondervlak langer geworden zijn. Tussen beide is een laag vezels gelegen die niet in lengte zijn veranderd. Men noemt deze de neutrale laag. De kennis van de ligging van deze laag is essentieel voor het bepalen van een factor die wordt gebruikt in beide evengenoemde onderzoeken. Volgen we thans de oplossing van het buigingsprobleem stap voor stap. In 1670 werden door HOOKE proeven genomen met veren uit verschillende materialen vervaardigd, hetgeen leidt tot het vaststellen van de proportionaliteit tussen kracht en de mate van vervorming. Ondanks dat deze gevonden wetmatigheid in het gedrag van de onderzochte materialen in zich de aanwijzing bevat waar de neutrale laag van een balkdoorsnede moet zijn gelegen, vonden de onderzoekers SAINT VENANT, BERNOUILLI, LEIBNITZ en anderen, die het door GALILEI gestelde probleem in studie namen, niet de juiste oplossing van het gedeelte van het buigingsonderzoek naar de breuksterkte. Verwonderingwekkend is het mistasten van deze bizonder begaafde mathematici in een thans zo voor de hand liggende kwestie. Pas in 1713 komt Parent tot de overtuiging, dat deze neutrale laag voor een balk met rechthoekige doorsnede in het midden daarvan moet zijn gelegen. Dit inzicht leidt enige tientallen jaren later tot de juiste opstelling van de formules voor de sterkteberekeningen.

Intussen hadden in dezelfde periode van het onderzoekingswerk van HOOKE, NEWTON en LEIBNITZ onafhankelijk van elkaar de differentiaal- en integraalrekening ontwikkeld. Nadat de vergelijkingen van DESCARTES in 1717 door BERNOUILLI op ruimere wijze werden geïnterpreteerd, lukte het JACOB BERNOUILLI en EULER met deze rekenwijze, nog voordat evengenoemde buigingsformule was opge-

steld, de vorm van de elastische lijn vast te stellen. Het merkwaardige hiervan is wel, dat mathematici betrekkingen opstellen die pas veel later voor het bouwvak van betekenis zullen worden. Dit is slechts als volgt te verklaren. Men had een elegant en tevens krachtig werktuig gevonden in de nieuwe rekenwijze, en om deze te kunnen toetsen werd het gehele terrein van de fysika afgezocht op problemen die hiervoor toegankelijk waren. Aldus werd ook het zo veel meer gecompliceerde probleem van de knikvastheid in deze periode door EULER grotendeels uitgewerkt. En het buigingsvraagstuk? Ook hier ervaart de ingewijde van thans met stijgende spanning hoe de toegang tot het probleem, nu van de elastische vervorming uit, wordt ontsloten. De oplossing ligt voor het grijpen, doch dan ziet hij met verbijstering hoe deze onaangeroerd blijft liggen. De man die beide betrekkingen van het buigingsprobleem in hun juiste vorm in verband met elkaar wist te brengen was de genie-officier COULOMB. We noteren dan reeds het jaar 1773, zodat kan worden vastgesteld dat het oplossen van het buigingsvraagstuk meer dan twee honderd jaren heeft moeten duren. Een hoofdstuk uit de sterkteleer, dat zich thans in een enkele les laat verklaren.

Keren we terug naar de techniek. Naarmate de groeiende samenleving behoefte had aan een grotere verscheidenheid van werken en deze aan hoger gestelde eisen dienden te voldoen, werd er meer gevorderd van het constructief denkvermogen van de bouwmeesters. Traditie en bouwregels werden ontoereikend, en in vele gevallen bracht de ervaring geen uitkomst meer. Mede gestimuleerd door het moderne denken door de renaissance in het leven geroepen, richtte de rationeel en creatief denkende meester zich op het zoeken naar mogelijkheden de dimensionering van de werken op meer wetenschappelijke basis te plaatsen. Dit uitte zich aanvankelijk in onderzoekingen aan bouwmaterialen. In 1627 begon MERSENNE trek- en buigproeven uit te voeren aan staven van hout, metaal en glas teneinde naast hun uiterlijke kwaliteiten ook hun sterkte in verschillende opzichten te leren kennen. Ongeveer tezelfder tijd voerde HOOKE zijn reeds eerder genoemd onderzoek uit betreffende de elasticiteit van deze bouwmaterialen. Genoemd moet ook worden de Leidse natuurkundige MUSSENBROEK, die een groot aantal gegevens verzamelde uit trek-, buig- en knikproeven. Dit onderzoek leidde tenslotte tot de beproeving van bouwdelen, voornamelijk balken, zodat constructeurs met behulp van deze empirisch verkregen gegevens in staat werden gesteld een oordeel te vellen omtrent de gewenste afmetingen der balken in hun constructies.

Wordt de balans opgemaakt van de stand van zaken omstreeks het midden van de 18de eeuw dan vinden we, dat de grondslagen van de sterkteleer waren gelegd, en dat men beschikte over een rekenmethode waarmede vele technische problemen, beschreven in arbeidsvergelijkingen of de mechaniek der virtuele plaatsingen kon-

den worden opgelost. Voorts waren van veel bouwstoffen vastheidscijfers bekend en in tabellen gepubliceerd. In vele opzichten was de tijd rijp voor het samenkomen van de praktijk en de theorie.

De stoot daartoe werd in 1743 gegeven. In de pijlers en bogen die de koepel droegen van de toen reeds meer dan 100 jaar oude St. Pieter te Rome waren vervaarlijke scheuren ontstaan. In opdracht van Paus BENEDIKT XIV werd aan drie mathematici verzocht een statisch onderzoek in te stellen naar de oorzaken hiervan. Hun bevindingen dienden ze tot een voorstel uit te werken, waarin de te treffen maatregelen ter voorkoming van verder scheuren werden aangegeven. Na een uitvoerige beschrijving van de geconstateerde schade komen zij tot de conclusie dat de tamboer waarop de koepel rust, door de daarop uitgeoefende buitenwaarts gerichte krachten was uiteengedrukt. Het belangrijke evenement is nu dat zij de grootte van deze spatkracht berekenden, daarna aantoonden dat de reeds aanwezige ijzeren ringen om de tamboer niet voldoende doorsnede bezaten om weerstand te kunnen bieden aan deze krachten, en daarna aangaven hoeveel ringen er bij aangebracht moesten worden om wel een voldoende sterk geheel te krijgen.

Hoewel door de praktici gegronde kritiek werd geleverd op enkele berekeningen en zij terecht aanvoerden dat volgens de daaruit te trekken consekwenties de koepel reeds lang geleden moest zijn ingestort, heeft men vertrouwen getoond in de door deze mathematici aanbevolen wijze van versterken. Instede van de lantaarn op de koepel af te breken teneinde zodoende het gewicht op de tamboer te verminderen, of het advies te volgen dat het aanbrengen van grote steunbogen aanbeval, heeft men met vijf extra trekbanden om de tamboer het monument onverminkt tot op deze dag weten te behouden.

Dit vertrouwen in een berekening als steun bij te nemen beslissingen in steeds moeilijker wordende problemen was voor vele vaklieden een aansporing zich in vraagstukken uit de sterkteleer te bekwamen. Deze wetenschap werd daarmede het gebied van bepaaldelijk op de bouwtechniek gerichte interessen. De bundeling hiervan werd in de hand gewerkt door het ontstaan van studiecentra waar grote groepen van technici werden opgeleid.

Van grote invloed op deze ontwikkeling is geweest LE PRESTRE DE VAUBAN, een beroemd genie-officier ten tijde van LODEWIJK XIV (1633–1707). Met de naam FRANCESCO DE MARCHI zult U zich nog herinneren dat eerder reeds genie-officieren een belangrijk aandeel hadden bij het tot stand komen van civiele werken. Voornamelijk doordat zij, in tegenstelling tot hun niet militaire vakgenoten — merendeels voortgekomen uit de kringen van kunstenaars en ambachtslieden, — een meer theoretisch gerichte scholing hadden genoten. Ook DE VAUBAN bouwde, naast een groot aantal werken van militaire aard, kanalen, havens, bruggen enz. Ter onderscheiding van

militaire werken vatte men deze samen onder de naam genie civil. Teneinde het lot van zijn collega's te verbeteren werden deze op zijn voorslag in een eigen corps verenigd. Naderhand werden ook corpsen ingesteld van civiel-technici. Voor de opleiding van deze specialisten werden scholen opgericht, die voorzagen in een scholing zoals in het Europa van die dagen geen tweede was aan te wijzen. Uiteraard werd ook thans de ontwikkeling der bouwtechniek zeer gestimuleerd door een omvangrijke bouwactiviteit als uitvloeisel van de bloeiperiode van het mercantilisme.

Vele namen van bouwmeesters uit het Corps des Ingénieurs van die tijd zijn in het besproken vakgebied bewaard gebleven. PERRONET, (1708—1754) bekend om zijn stenen bruggen met zeer vlak gewelfde bogen en smalle pijlers. CHEZY (1718—1798), bekend als de grondlegger der theorie van gelijkmatige stroming door waterlopen. COULOMB (1736—1806), die boven zijn tijdgenoten uitstak als bizonder bekwaam ingenieur en tevens begaafd mathematicus. Zoals reeds vermeld lukte het deze het vraagstuk van de buiging af te ronden. Vermeld moet nog worden zijn onderzoek naar de schuifkrachten die bij buiging optreden, en het bepalen van gronddrukken tegen keermuren.

Als afsluiting van deze periode waarin praktijk en theorie tot een wetenschap zijn tezamengegroeid, moet nog melding worden gemaakt van NAVIER (1785—1836). Zijn betekenis moet vooral worden gezien in het ontwerpen van handige rekenmethodes voor buiging, knik en samengestelde knik, statisch onbepaalde constructies, enz. en het samenvatten hiervan tot een nieuwe tak der wetenschap, die der sterkteleer.

De besproken fase in de ontwikkeling van het bouwvak is niet zonder vertragingen en menselijke conflikten verlopen. Uit de bewoording van het rapport der specialisten die de St. Pieter onderzochten is op te maken dat zij verwachtten met hun werk aanstoot te zullen geven. Uiteraard zijn het merendeel van de reacties van hun tijdgenoten op dit evenement in onze ogen volkomen onzakelijk.

In Frankrijk en ook in Engeland verliep de ommekeer meer geleidelijk, hoewel ze eveneens bij tijd en wijle op weerstand stuitte van de zijde der in de praktijk geschoolde technici. Nog in 1822 ontlokte de voortschrijdende scholing van de ingenieur in de theoretische vakken aan de in Engeland algemeen geprezen bouwmeester TREDGOLD de opmerking, dat de standzekerheid van een gebouw omgekeerd evenredig geacht kon worden met de geleerdheid van zijn bouwmeester. Uiteraard moet een dergelijke ontboezeming meer worden gezien als een waarschuwing aan hen die, mathematisch meer begaafd zijnde, menen dit te kunnen stellen tegenover een manco aan technisch gevoel.

Dit waren dan enkele merkwaardige gebeurtenissen uit de ont-

wikkeling van het bouwvak. In enkele trekken liet ik U zien hoe van de oudste tijden af een toenemende bekwaamheid en durf ontstond om uit hout, steen en metselwerk constructies samen te stellen zonder van deze bouwmaterialen numerieke of statistische kennis te bezitten ten aanzien van hun sterkte. Hoe tezelfder tijd de inzichten ontstonden en zich verdiepten van de fysika, en de mathematica zich ontwikkelde. En tenslotte het samenkomen van techniek en wetenschap, hetwelk leidde tot een nieuwe benadering van de problemen die zich in dit vakgebied voordeden. De hierna ingeslagen weg is tot op heden gevolgd. Hetgeen aan kundigheden en kennis werd verworven ontwikkelde zich verder en nieuwe technieken en hulpwetenschappen werden aan de bestaande toegevoegd. Denken we slechts aan de nog geen 50 jaar oude grondmechanika, of onze moderne onderzoekingsmethoden aan modellen: de nieuwe rekenmethodes met mechanische- en electrische analogons. Staal en gewapend beton werden gevoegd aan de lijst der bouw- en constructiematerialen en de immer krachtiger wordende werktuigen en gereedschappen maken het mogelijk in korte tijd steeds omvangrijker werken te bouwen met als doel de bodem en de omgeving geschikt te maken voor het leven en werken van de mens.

Zeer geachte toehoorders,

Aan het einde van mijn les gekomen zij het mij vergund mijn eerbiedige dank te betuigen aan Hare Majesteit de Koningin voor mijn benoeming tot lector aan de Landbouwhogeschool.

Mijne heren voorzitter en leden van het bestuur van de Landbouwhogeschool,

Ik ben U zeer erkentelijk voor het vertrouwen dat U in mij stelde toen U mij voor deze functie voordroeg. Ik zal trachten naar beste vermogen mij van de opgedragen taak te kwijten.

Dames en heren hoogleraren, lectoren, docenten en wetenschappelijke medewerkers,

Nu ik in Uw gemeenschap ben opgenomen hoop ik in het belang van een nuttig onderwijs de contacten met de landbouwkundige collega's die ik in de achterliggende periode van werkzaamheden op het gebied van irrigatie en landaanwinning reeds maakte te mogen vermeerderen en verdiepen.

Hooggeleerden Eijsvoogel en Berkhout,

Met vele collega's civiel technici zullen voor mij de jaren gedurende welke U en ik bij de waterstaatsdienst in het voormalig Nederlands Indië werkzaam waren in aangename herinnering blijven

voortleven. De dienst bood een unieke gelegenheid om interessant, mooi en bovenal dankbaar werk te verrichten.

Deze gelukkige omstandigheden hebben zeker bijgedragen tot het smeden van de band van saamhorigheid die de leden van het corps van waterstaatsingenieurs bijeenhield. Hiervoor was echter nog een andere oorzaak aan te wijzen: de collegiale opvattingen welke vooral bij de oudere leden van dit corps zowel binnen als buiten de dienst in hun daden tot uiting kwamen. Van deze groep wil ik speciaal U beiden memoreren.

Met mij zullen vele jaargenoten kunnen getuigen dat ondanks een leeftijdsverschil van een halve generatie, ondanks de lotgevallen die dit corps troffen, en ondanks de vele jaren die sinds weer zijn verlopen, tot op deze dag van U een persoonlijke belangstelling voor ons is blijven uitgaan. Hiervoor moge ik U beiden van mijn dankbaarheid blijk geven.

Dames en heren studenten,

Van deze plaats is reeds meerdere malen gewezen op de noodzakelijkheid dat zij die de technisch georiënteerde richtingen in de landbouwkunde volgen, ook kennis maken met enkele civieltechnische problemen. Ten dele met het oogmerk de toekomstige cultuurtechnici in staat te stellen het hoe en waarom der projecten, die in samenwerking met de civieltechnici worden tot stand gebracht, te kunnen begrijpen. Ten dele ook met de bedoeling hen in staat te stellen zelfstandig beslissingen te nemen ten aanzien van vormgeving en uitvoering van eenvoudige werken in geval zij onder bepaalde omstandigheden van civieltechnische steun zijn verstoken. Dit laatste houdt tevens in, dat niet zelfstandig wordt opgetreden ingeval deze steun *wel* is te vinden.

Voor mij leidt dit tot een taak die elkaar strijdige elementen bevat. Namelijk, U in de mij toegemeten tijd zo goed mogelijk op weg te helpen in de weg- en waterbouwkunde: zo goed, dat U zelf tot het inzicht zult komen waarom over evengenoemde beperking niet licht mag worden gedacht.

Ik heb gezegd.