



de Jan Fokke Agema - filosofie



Foto: Familiearchief familie Agema

Uitgave ter gelegenheid van het
Jan Agema jaar

Inhoud

Inhoud

Voorwoord.....	3
Integratie van ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud	4
Keuzeprincipes	7
Voorspellen en besluiten.	8
Leren en controleren	10
Flexibel, aanpasbaar bouwen.....	11
Het totaal-plan.....	12
Uitbouw van de zanddam.....	12
Dimensionering van de zuidwal	13
Latere jaren	13
De natuur als fysisch model.....	13
Bouwen tegen minimale kosten.....	15
Simulatie van de uitvoering.....	17
Technisch-wetenschappelijke begeleiding van de uitvoering.....	17
Aandacht voor kwaliteit	18
Voorbeeld kwaliteitsborging bij filteropbouw	18
Voorbeeld van het plaatsen van de betonblokken van de blokkendam.....	18
Risicoanalyse en probabilisme	19
Sluitgat Veerhaven	20
Sluiting Oostgat	21
Sluiting op Rijksweg.....	21
Lessen uit de case Zuid-Beveland.....	21
Probabilisme.....	21
Samenvatting van de Agema-filosofie.....	23
Jan Fokke Agema – levenschets	25
door Aad Wagenaar.....	25
Referenties	37

Voorwoord

Dit boekje wordt uitgebracht door de Stichting Blauwe Lijn naar aanleiding van het Jan Agema jaar. Twee jaar geleden hadden we het Johan van Veen jaar. Beide zijn eminente waterbouwers, van groot belang voor de ontwikkeling van de Nederlandse waterbouwkunde. Maar tegelijkertijd kunnen er geen meer tegengestelde persoonlijkheden zijn. Johan van Veen was de zoon van een (welgestelde) herenboer uit noord Groningen. Omdat hij niet van plan was om de boerderij over te nemen, ging hij natuurlijk naar de HBS en stroomde daarna gelijk door naar de Technische Hogeschool in Delft. Financieel was dat geen beletsel. Jan Agema was de zoon van een fabrieksarbeider uit Opmeer in Noord Holland. Ondanks het feit dat de vader van Jan chef was in de zuivelfabriek ging Jan natuurlijk naar de ambachtsschool. Iemand in het schoolbestuur (die was toevallig van Rijkswaterstaat) zag zijn potentieel en hij kreeg dan ook een baan bij Rijkswaterstaat. Verder leren wilde Jan wel, maar daar waren geen financiële middelen voor; het moest dus in de avonduren. Op deze langzame weg heeft hij eindelijk de ingenieurstitel behaald. Voor details wordt verwezen naar de hierna volgende levensschets.

Hij heeft altijd goed met iedereen kunnen samenwerken. Dit in tegenstelling met Johan van Veen, die nogal tegendraads was en vaak ruzie zocht. Het was moeilijk om met Jan Agema ruzie te zoeken. Mede daardoor is het Jan Agema wel gelukt om uiteindelijk hoogleraar te worden, en Johan van Veen niet; die had te veel vijanden gemaakt.

Johan van Veen was een onderzoeker die zijn resultaten in een groot aantal rapporten vastlegde; Jan Agema was meer van het realiseren van werken. Er staan dan ook maar heel weinig publicaties op zijn naam, en zeker niet in internationale tijdschriften. Eén van de zeer weinige geschriften waarin hij zijn gedachten op papier heeft gezet is zijn inaugurale rede "[Wegen in de Waterbouw](#)" uit 1980. Maar dat maakt niet dat Agema geen internationale bekendheid had. Hij is vaak gevraagd als deskundige bij menig groot internationaal waterbouwkundig werk.

Belangrijk in het levenswerk van Agema is de door Han Wiggerts in de publicatie "Het totaal overziende" van 1984 genoemde, maar nooit gepubliceerde "Agema filosofie" voor de aanpak van grote werken. Jan Agema heeft die filosofie toegepast bij een aantal grote werken waar hij bij betrokken was, en deze filosofie ook aan zijn leerlingen overgedragen, maar nooit expliciet opgeschreven. De filosofie is wel terug te vinden in publicaties van anderen over dit onderwerp. De kernwoorden van deze filosofie zijn:

- Integratie van ontwerp, uitvoering, beheer- en onderhoud, alsmede milieu en landschap
- Flexibel, aanpasbaar bouwen
- De natuur als fysisch model
- Bouwen tegen minimale kosten
- Simulatie van de uitvoering
- Technisch-wetenschappelijke begeleiding van de uitvoering
- Aandacht voor kwaliteit
- Risicoanalyse en probabilistisch rekenen

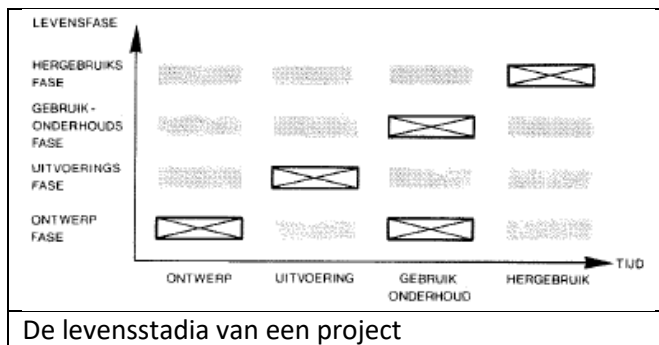
In dit boekje is een korte uitwerking gegeven van deze acht kernbegrippen, vooral aan de hand van voorbeelden, grotendeels uit de ingenieurspraktijk van Jan Agema. Een deel van de tekst is ontleend aan een symposiumverslag, verschenen bij de pensionering van Jan Agema in 1984 (Het totaal overziende).

Tot slot van dit boekje is in de bijlage een (wat geüpdatete) biografie van Jan Agema opgenomen, geschreven door Aad Wagenaar en gepubliceerd door Practische Studie ter gelegenheid van de 80^e verjaardag van Jan Agema.

Henk Jan Verhagen, maart 2022

Integratie van ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud

Om te kunnen integreren moet een bouwproject in alle levensfasen gezien worden. Deze stadia zijn onderstaande figuur weergegeven.



Traditioneel wordt in de ontwerpfase heel veel aandacht besteed aan de gebruiksfase; deze wordt vaak als “eindfase” aangeduid. Maar hierdoor krijgt de bouwphase en de hergebruiksfase of ontmantelingsfase ten onrechte te weinig aandacht. In de vorige eeuw was het gebruikelijk dat een ontwerpbureau (bijv. een ingenieursbureau of een ontwerpdienst van de Rijkswaterstaat) het ontwerp maakte. Dit ontwerp werd dan aanbesteed en de aannemer die dit ontwerp het goed-

koopste kon uitvoeren kreeg de opdracht. De uitvoeringsexpertise van de aannemer werd dus niet gebruikt, en het kwam dus regelmatig voor dat hetzelfde resultaat op een goedkopere manier gerealiseerd had kunnen worden met een ander ontwerp. Tevens werd er zelden aandacht besteed aan wat te doen met de constructie na afloop van de technische of de economische levensduur.

Natuurlijk begint een goed ontwerp met een diepgaande analyse van de functies die het kunstwerk moet vervullen. De resultaten van de functie-analyse worden vastgelegd en dienen later als toetsingscriteria. Ook is het vastleggen van de randvoorwaarden van het te bebouwen gebied nodig. Dit zijn natuurlijk de hydraulische randvoorwaarden (golven, waterstanden, morfologie), maar ook geotechnische situatie en het natuurlijk milieu.

Hoewel men tijdens de ontwerpfase steeds nadenkt over de gebruiksfase van het kunstwerk en streeft naar een zo goed mogelijke functionering van het eindproduct, blijven vaak een tweetal belangrijke facetten van het gebruik nl. onderhoud en aanpassing onderbelicht.

Vooraf het onderhoud is gedurende de levensduur van de constructie een steeds terugkerende taak. De omvang van de taak wordt in feite vastgelegd in de ontwerpfase. In de Agema-filosofie moet hier daarom expliciet aandacht aan besteed worden bij het ontwerp.

Dat een toekomstige aanpassing of verbouwing (i.v.m. hergebruik) van het nog te realiseren kunstwerk geen aandacht krijgt is weliswaar goed te begrijpen. Het nadenken over de eerste gebruiksfase is al complex genoeg. Maar een visie op het hergebruik kan echter goede aanknopingspunten bieden bij de keuze tussen ontwerpvarianten en dient daarom reeds in de ontwerpfase ontwikkeld te worden.



Sloop van een dam (gebouwd voor opwekking van waterkracht; bij de bouw is hier niet over nagedacht
oplazen Marmot Dam in de Sandy River in Oregon, 2007 (Wikipedia)

In de verlengde daarvan ligt sloop van de constructie. Als een constructie niet meer nodig is, of aan het eind van zijn technische of economische levensduur is, moet de constructie verwijderd worden. Voor de tijd van Agema werd hier zelden aandacht aan besteed. Maar door enerzijds het grote afvalprobleem (bijv. wat te doen met een verouderde kerncentrale) en anderzijds de algemene maatschappelijke behoefte naar een circulaire maatschappij is het steeds belangrijker geworden om ook al in het ontwerp stadium na te denken over het ontmantelen van de constructie. Het integrale ontwerpaspect zoals door Agema gepropageerd is steeds meer relevant gebleken.

Nadat de gegevens zijn verzameld kan het ontwerpproces beginnen. Er worden alternatieve oplossingen gegenereerd. De oplossingen worden getoetst en verworpen of verder uitgewerkt. Meer informatie is nodig om de voorlopig gekozen alternatieven verder uit te werken. Volgens een iteratief proces komt zo voor het meest veelbelovende alternatief het ontwerp tot stand, dat kan worden getoetst aan uitgangspunten en criteria. Tot slot wordt het ontwerp vastgelegd in een bestek.

Deze gang van het ontwerpproces is uitstekend en verdient te worden nagevolgd. Toch bestaat de kans, dat de breedte van de overwegingen beperkt is. Echter, vaak in het algemeen slechts het functioneren van het kunstwerk in de eindfase aan de orde, samen met de vraag of het in die situatie de uitwendige belastingen kan weerstaan. Bij een goed ontwerp dienen echter ook de andere levensfasen van de constructie aan de orde te komen.

Hier wordt gesproken over een “bestek”, maar niet noodzakelijkerwijs een traditioneel bestek waarbij de opdrachtgever alle details uitwerkt waarna de aannemer niets anders doet dan dit ontwerp precies bouwen. Ook andere contractvormen zijn mogelijk, de Agema-filosofie staat die niet in de weg.

De uitvoeringsfase moet men om een aantal redenen in het ontwerp opnemen. Het kan dus wenselijk zijn om uitvoeringservaring in het ontwerpteam op te nemen, met andere woorden de aannemer ook al een rol te laten spelen bij het ontwerp.

- Ten eerste ondervindt ook de constructie in aanbouw uitwendige belastingen. Het feit, dat vrij veel bezwijkgevallen in de bouwfase optreden, zou kunnen wijzen op een te geringe aandacht voor dit aspect.
- Ten tweede vereist een waterbouwkundig werk vaak grote hoeveelheden bouwmaterialen. Door in het ontwerp uit te gaan van lokaal beschikbare materialen zijn soms grote besparingen te bereiken. Zo zou de Afsluitdijk veel duurder geworden zijn, indien men buitenlandse stortsteen had toegepast bij de sluitingen in plaats van de lokaal aanwezige keileem.

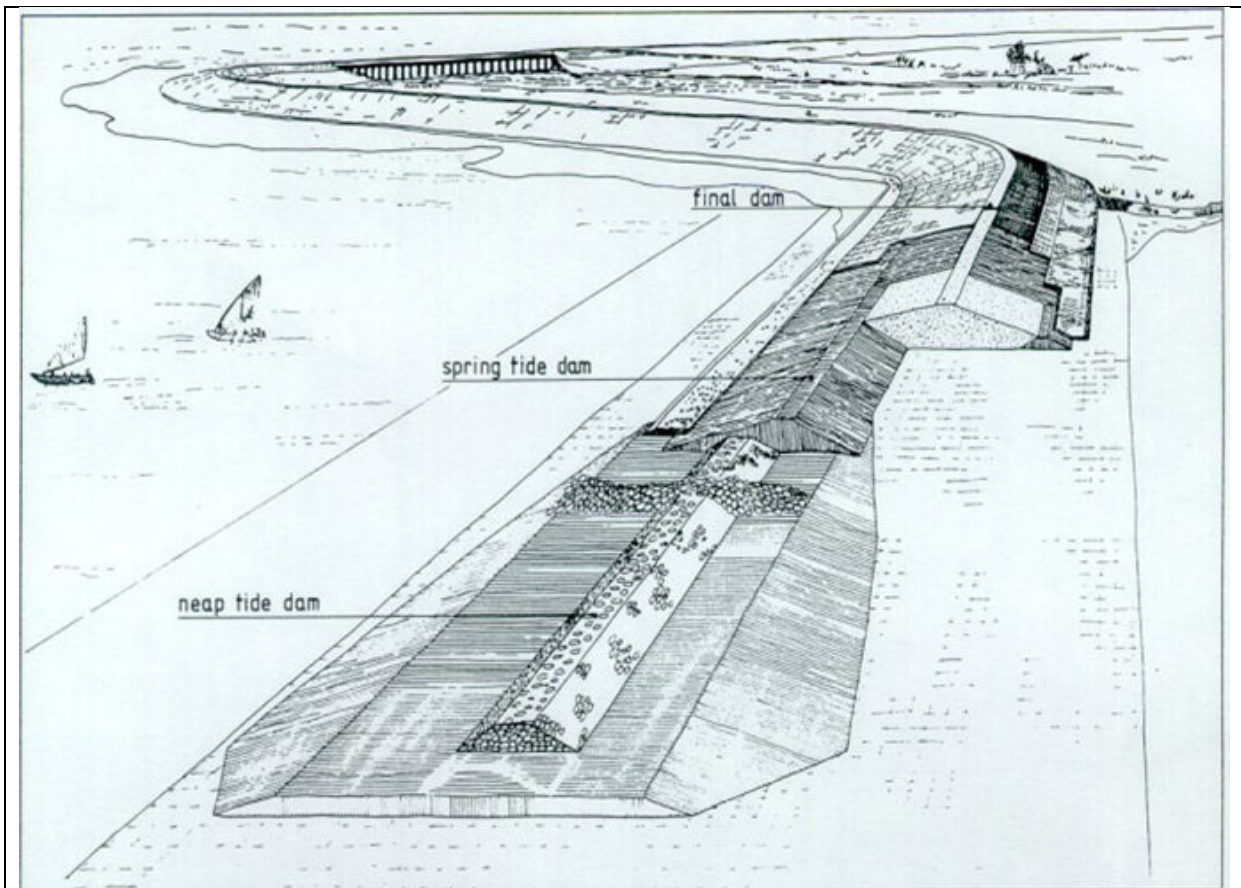
- Ten derde dient gestreefd te worden naar een optimale aansluiting tussen het constructief ontwerp en de uitvoeringsmethode.

Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan gekozen worden voor een arbeidsintensieve of een kapitaalintensieve uitvoeringsmethode. Elk van beide uitersten zal zijn eigen constructieve oplossingen eisen. In het eerste geval speelt de beperking van de menselijke maat. Bij een kapitaalintensieve uitvoering verdient het aanbeveling de keuze van het materieel, het ontwerp van uitvoering, methode en constructie, gelijktijdig aan te pakken.



Het gebruik van keileem bij de Afsluitdijk

1932, foto Beeldbank RWS



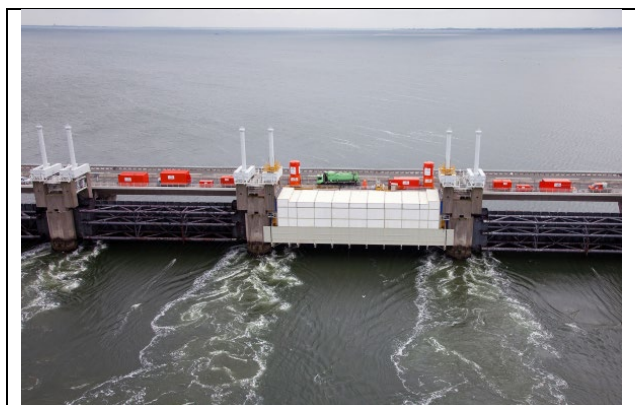
Afsluiting van de Feni-Dam in Bangladesh met zandzakken en mankracht; een voorbeeld van een arbeidsintensieve oplossing, die destijds in Bangladesh het meest optimaal was

Wikipedia

Een gebrek aan breedte in de ontwerpbeschouwing neemt men ook waar bij het verblind kijken naar de "eind"-fase. De ontwerper ziet de nieuwe constructie staan te midden van golven, stroom, gebruiksverkeer etc. Doch een nieuwe constructie blijft niet nieuw en onderhoud is onvermijdelijk. De mate van onderhoud en het gemak waarmee het kan worden uitgevoerd zijn vastgelegd door het ontwerp veelal zonder dat het een punt van overweging vormde.

Het onderhoud kan dan een uiterst kostbare verrassing zijn voor de gebruiker. Bij elk goed alternatief ontwerp behoort daarom een onderhoudsfilosofie te worden opgesteld. Vooral omdat alternatieven vaak een keuze zijn tussen investeren nu en onderhouden straks.

Het economisch optimum zou bij onderhouden kunnen liggen, doch de som van onderhouds- en investeringskosten van goedkope constructies kan ook te hoog zijn.



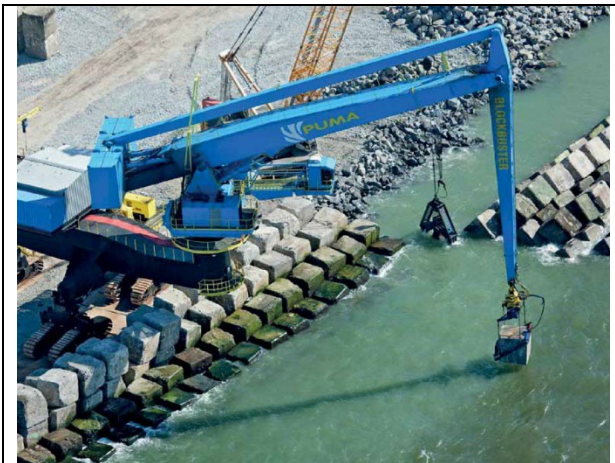
Voor onderhoud aan de Oosterscheldeschuiven moest een ingewikkelde hulpconstructie gemaakt worden

Foto Jeras Middelburg

Het spreekt vanzelf dat bij een goed ontworpen kunstwerk een onderhoudsplan dient te worden geleverd. Dit was in de tijd van Agema in de waterbouwkunde een revolutionair idee, maar het was in de industrie is het reeds jaren een goed gebruik.

Ook de laatste fase in het (eerste) leven van de constructie, de hergebruiks- of aanpassingsfase, behoort een plaats te hebben in een breed opgezette ontwerpbeschuwing. Het leven van elk kunstwerk is eindig, vaak niet zozeer door technische slijtage als wel gezien vanuit maatschappelijk economisch oogpunt. De techniek gaat vooruit, de maatschappelijke eisen van het kunstwerk wijzigen en beide beïnvloeden de economische levensduur.

De mate en de richting van de wijzigingen is in de ontwerpfase vaak moeilijk te voorzien. Doch indien de technische levensduur de economische voorspelbaar overtreft zijn argumenten aanwezig voor flexibele oplossingen.



Herplaatsen van 40 tons betonblokken bij de Maasvlakte

Foto: PUMA (Boskalis – Van Oord)

Daarbij wordt gedacht aan de keuze voor constructies in grond boven constructies in beton of staal, omdat grond eenvoudig kan worden verwijderd indien een aanpassing nodig is. Bovendien lijdt grond niet aan veroudering.

Een voorbeeld van een dergelijke oplossing is de als grindstrand uitgevoerde Zuidwal in Hoek van Holland. De havenmond is daardoor eenvoudig aan te passen, indien de eisen wijzigen. Gebleken is dat dit ook zo werkte. Bij de aanleg van de Tweede Maasvlakte kon de kustverdediging van de Eerste Maasvlakte (wat een ontwerp van Agema was) opgenomen worden en voor het overgrote deel hergebruikt worden.

Een ander idee is de "oprijfbare sluis". Indien de sluis niet langer aan de eisen voldoet kan hij als dok worden opgedreven. Dezelfde sluis is dan elders opnieuw te gebruiken. Dit zou wellicht voor de Hartel-sluizen een goede oplossing zijn geweest.

Keuzeprincipes

Om tot een keuze te komen uit diverse alternatieve ontwerpen zou een kosten-baten analyse moeten worden uitgevoerd voor elk der varianten. De variant met het grootste batige saldo verdient de voorkeur.

Het vaststellen van de baten van waterbouwkundige kunstwerken is meestal een moeilijke en min of meer arbitraire zaak. Zeker als het gaat om het vaststellen van verschillen tussen min of meer gelijkwaardige alternatieven. Een benadering kan zijn de varianten te toetsen aan de functie-eisen. Bij een goed opgesteld eisenpakket is de uitslag van de toetsing een graadmeter voor de maatschappelijke baten.

Aan de kosten-zijde van de afweging is het probleem iets eenvoudiger, ook al bestaan de maatschappelijke kosten uit een weegbaar en een onweegbaar deel. Onweegbare kosten zijn o.a. milieueffecten en mogelijke calamiteiten, die mensenlevens waarbij mensenlevens gemoeid zijn. De weegbare kosten zijn de som van de investeringskosten van het kunstwerk, de gekapitaliseerde onderhoudskosten en het gekapitaliseerde risico. Deze zijn over het algemeen eenvoudig uit te rekenen.

Eventueel kan aan het bedrag de contante waarde van de kosten van aanpassing van de constructie voor hergebruik worden toegevoegd. Met behulp van deze totale kostenopstelling kan per variant een economisch optimum worden bereikt door kostenminimalisatie, onder de veronderstelling dat deze kleine wijzigingen de functievervulling (d.w.z. de baten-zijde) vrijwel niet beïnvloeden. De eerste maal dat dit op

grote schaal in de waterbouw is toegepast was bij het vaststellen van de optimale dijkhoogte in het Delta-rapport door prof. Van Danzig.

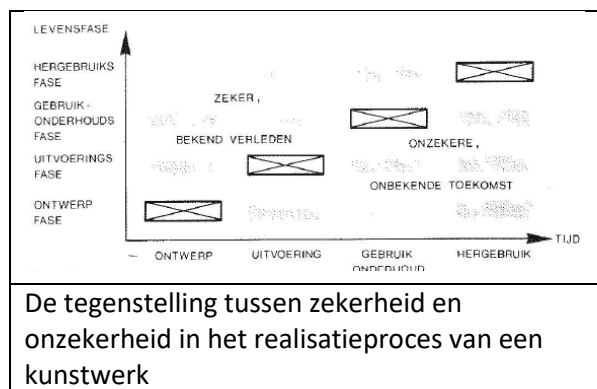
Voor de definitieve keuze tussen varianten is het beschouwen van de kosten onvoldoende. Hiervoor dient de totale kosten-baten opstelling inclusief de onweegbare elementen in ogenschouw te worden genomen. Multicriteria methoden zijn hierbij een goed hulpmiddel.

Bij de beoordeling van alternatieven voor de koelwaterinlaat van de elektriciteitscentrale van Madras is op aanraden van Agema van een dergelijke methode gebruik gemaakt.

Voorspellen en besluiten.

Een aspect van de ontwerpactiviteit is besluitvorming onder onzekerheid omtrent de functieervulling, de kosten en baten en de neveneffecten.

Men ontwerpt een kunstwerk voor een gebruik dat strikt genomen nog niet bestaat. Het toekomstig gedrag van de constructie moet voorspeld worden. De uitvoering van het werk ligt in het verschiet. De precieze omstandigheden, de financiële toestand van aannemer en opdrachtgever, de beschikbaarheid van materiaal en materieel, zijn onzeker en onbekend.



De tegenstelling tussen een zeker verleden en een onzekere toekomst is aan te geven in het systeem van nevenstaande figuur.

In de ontwerpfase is de onzekerheid het grootst en fundamenteel. Het voorspellen van het verwachte gedrag van de toekomstige bouw- en eindfase moet met de grootste zorg geschieden. Daartoe is allereerst een goede analyse vereist van de verschijnselen die het verwachte gedrag bepalen. Vervolgens moet het probleem met technisch wetenschappelijke methoden worden opgelost.

Het instrumentarium, dat de ontwerper daarbij sinds de tijd van Agema ter beschikking staat is omvangrijk. Het gedrag kan voorspeld worden met mathematische modellen waarbij de omvang van het model dankzij de moderne computers geen belemmering meer vormt. De tweedimensionale getijmodellen zijn een indrukwekkend voorbeeld.

Indien de vergelijkingen te complex zijn maar de fysische principes van het gedrag wel bekend kan een fysisch schaalmodel een goed hulpmiddel zijn.

Doch men dient zich er steeds van bewust te zijn, dat de modelvoorspellingen niet beter zijn dan de diepgang van de probleemanalyse en de daaruit voortvloeiende modelschematisatie. Doordat de resultaten van rekenmodellen steeds fraaier gepresenteerd worden, ontstaat de neiging om ze voor honderd procent te vertrouwen. Maar een rekenmodel blijft een benadering van de werkelijke fysica. Net zoals een schaalmodel ook een benadering blijft van de fysica van het prototype. De schaalfactoren voor verschillende processen zijn niet gelijk.



Bouw van de golfbreker van Sines met grote Dolosse

Foto: Baird *et al.* Report on the Damages to the Sines Breakwater, Portugal, 1980

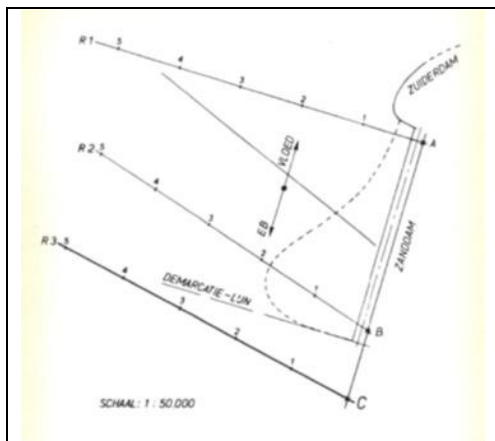
In de jaren '80 van de vorige eeuw zijn hier vervelende ervaringen met grote golfbrekers opgedaan. Goede ervaringen met modelproeven in het verleden leidden ertoe dat de gigantische golfbrekers van Sines en Bilbao in golfgoten werden beproefd. De verschaling vond plaats volgens met schaling volgens Froude omdat de stabiliteit van de deklaag moest worden aangetoond. Dat werkt inderdaad goed, In werkelijkheid bezweken de grote golfbrekers echter niet omdat de elementen los raakten uit de toplaag, maar omdat de elementen

(in Sines werden dolosse gebruikt) van de deklaag braken onder invloed van de golfaanval. In de golfgoot was de sterkte van de elementen niet op schaal evenmin als de grondmechanische eigenschappen van de kern. Uit dit voorbeeld blijkt dat voorspellen met een model (zowel een rekenmodel al een fysiek model) alleen succesvol is als alle mechanismen bekend zijn.

Een meer omstreden model is het prototype zelf. Het prototype heeft het voordeel, dat, afgezien van de beperkingen van meetmethoden, van schematisatie geen sprake is. Voor het vastleggen en begrijpen van de beginsituatie en de natuurlijke veranderingen daarin, zijn natuurmetingen onontbeerlijk. In heel bijzondere gevallen kan men een model op schaal 1:1 bouwen en beproeven. Dit is onder meer gedaan bij de doorbraakproef van een zanddijk bij het Zwin in 1994 [Visser *et al.*, 1996] en bij de IJkdijk-experimenten [Koelewijn *et al.*, 2011].

Doch als voorspellend model heeft het prototype een aantal ernstige nadelen.

- Ten eerste heeft men de natuurrandvoorwaarden als stroom, wind en golven niet in de hand zodat het herhalen van experimenten onder dezelfde condities niet mogelijk is.
- Een tweede nadeel is, dat toekomstige bouwfasen niet bestudeerd kunnen worden omdat zij nog gerealiseerd moeten worden.
- Ten derde hebben schaalproeven vaak een destructief karakter. Het belasten van het prototype tot bezwijken zou de kosten ontoelaatbaar doen stijgen.



Metingen bij de zanddam Hoek van Holland

WL rapport M1092

Afgezien van de toetsing van de voorspellingen van schaal- en wiskundige modellen waarop nog wordt teruggekomen kan het prototype toch goede diensten bewijzen. Met name in gevallen waar verschaling moeilijk is (b.v. morfologie) en daar waar een terugkoppeling tussen het bereikte resultaat en de uitvoeringswijze (of zelfs ontwerp) mogelijk is. De uitbouw van de zanddam in Hoek van Holland is een voorbeeld. In werkelijkheid bleek men de dam veel verder in zand te kunnen uitbouwen dan de berekeningen deden vermoeden.

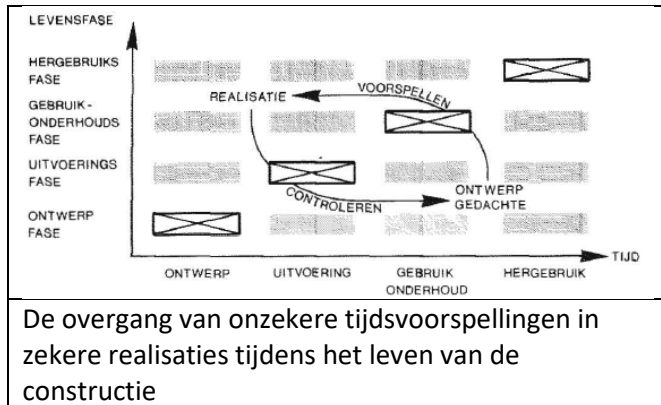
Bij het nadenken over ontwerpproblemen en de bijbehorende wetenschappelijke oplosmethoden is men licht geneigd de toepassing te beperken tot de "eind"-fase van het kunstwerk. Doch de kracht van de technisch wetenschappelijke denkmethoden dient ook te worden aangewend bij het ontwerpen van de uitvoering.

Doch ook beïnvloeding van het gedrag van de toekomstige gebruiker door hem een technisch economisch optimale handelwijze voor te houden is mogelijk. Zo is het vaargeuldiepte probleem van Rotterdam ten dele opgelost.

De havenontwerper toonde d.m.v. scheepsbouwkundig onderzoek aan, dat restricted draught tankers een economische oplossing voor scheepseigenaren waren. Toen dit advies werd opgevolgd was de geuldiepte, die op hetzelfde onderzoek was gebaseerd, voldoende.

Leren en controleren.

Gedurende het realisatieproces van een kunstwerk gaan de onzekere voorspellingen over in zekere resultaten.



Tijdens de bouw blijkt of het uitvoeringsproces volgens verwachtingen verloopt en of aan de ontwerpspecificaties kan worden voldaan. De mate, waarin het kunstwerk zijn geplande functie vervult, kan in de gebruiksfase worden vastgesteld. Dan blijkt ook in hoeverre het voorspelde onderhoud noodzakelijk is.

De ideeën, die het ontwerp flexibel maakten worden pas in de hergebruiksfase getest.

De vraag of aan de ontwerpspecificaties wordt

voldaan moet geïnstitutionaliseerd zijn in een goede kwaliteitscontrole. De voordelen zijn drieërlei.

De kwaliteitscontrole stelt d.m.v. metingen aan proces en/of eindproduct vast in hoeverre voldaan wordt aan de ontwerpgedachten overgang van onzekere tijdsvoorspellingen in zekere realisaties tijdens het leven van de constructie.

Een interessant voorbeeld van kwaliteitscontrole via metingen aan het proces is het strooien van het grindfilter als fundering voor de havendam van Hoek van Holland.



De Cardium
Beeldbank RWS

Ook bij het mattenleggen met de Cardium lag het zwaartepunt bij de procesbewaking. De ligging van de mat kwam pas exact boven water nadat de pijler was geplaatst.

Indien onverhoopt bij de kwaliteitscontrole blijkt dat de ontwerpspecificaties niet worden gehaald kan op grond van de oorspronkelijke ontwerpoverwegingen worden nagegaan of er zinvolle aanpassingen in de ontwerp-eisen of de uitvoeringsmethoden mogelijk zijn. Ongecontroleerde improvisaties worden daardoor zoveel mogelijk voorkomen.

Tot slot vindt er d.m.v. de kwaliteitscontrole een leerproces plaats, omdat de ontwerpvoorspellingen systematisch worden getoetst aan de realisaties.

Voor een goede afronding van het leerproces is het nodig dat de opgedane ervaring tezamen met een evaluatie van de ontwerpgedachten schriftelijk

wordt vastgelegd. Dit laatste gebeurt echter vrijwel niet. Het praktische probleem daarbij is dat de kosten van een dergelijke evaluatie meestal niet opgenomen zijn in de oorspronkelijke raming van de kosten van het project.

Het leerproces wordt verder bijzonder gediend, indien men d.m.v. een meetcampagne aan de voltooide constructie en haar omgeving, het gedrag van beiden vaststelt. Een vergelijking van de meetresultaten met

de in de ontwerpfase gedane modelmatige voorspellingen, leidt tot een vergroting van de wetenschappelijke kennis.

Deze kennis kan onmiddellijk benut worden bij de sturing van de noodzakelijke onderhoudsinspanning. Alhoewel soms voor een goede sturing van het onderhoud een meer permanente meting in de vorm van een conditiebewaking wenselijk is. Bij de Stormvloedkering in de Oosterschelde is deze laatste vorm voor een aantal zwaar belaste pijlers gekozen.

Daarnaast vormt de in prototype verworven wetenschappelijke kennis de basis voor nieuwe technische vooruitgang. Daarom werd bij de afsluiting van de Zuiderzee en bij het Deltaplan een werkwijze voorgesteld, waarbij men begon met de kleine sluitgaten om te eindigen met de grote.

Doch deze stelregel, dat men eerst op kleine schaal ervaring moet opdoen (Amsteldiep) om vervolgens op grote schaal (Vlieter) te kunnen bouwen, geldt alleen als men zijn ervaring zorgvuldig vastlegt en analyseert in het licht van de gebruikte ontwerpoverwegingen en de geldende fysische wetten. Zoals professor Thijssse destijds al zei: "Alleen begrepen ervaring is nuttig". De huidige tendens van meer "design & build" contracten bevordert dit niet. De ontwerpende/uitvoerende partij zal die ervaring niet willen delen met partijen die bij een volgend project de concurrent zijn. Het investeren in zo'n evaluatie loont dan ook niet als je als aannemer/ontwerper de zekerheid niet hebt dat de investering hierin bij een volgend project terug te verdienen is.

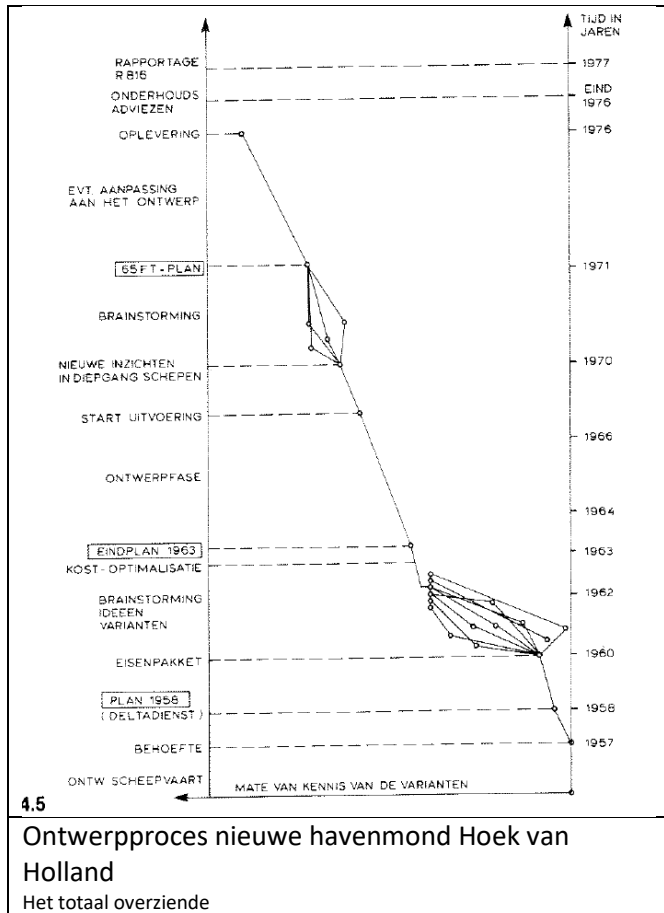
Het beschikbaar zijn van opgedane ervaring kan ook een gevaar in zich houden: de "ontwerpgeest" is geblokkeerd, de ontwerper maakt geen goede functie-analyse, ontwikkelt geen alternatieven op het unieke probleem (hetgeen waterbouwkundige problemen doorgaans zijn), hij begint te ver in de ontwerpcyclus met een te snel gekozen oplossing.

Uiteraard werpt het monitoren van de voltooide constructie ook zijn vruchten af, als aanpassingen in het gebruik van de constructie nodig of wenselijk zijn.

Flexibel, aanpasbaar bouwen

Een ontwerp dient zodanig "flexibel", in de zin van aanpasbaar, te zijn, dat tijdens en evt. na de uitvoering veranderingen erin aangebracht kunnen worden die in het eindresultaat een technische dan wel economische verbetering opleveren. Drie voorbeelden hiervan worden beschreven uit de praktijk van Agema (aanleg haventoeegang Europoort).

Het totaal-plan



Omdat in de ontwerpfase van de haventoeegang voor Europoort (jaren '60) nog niet geheel bekend was wat precies de diepgang en breedte van de grootste schepen die de haven in de toekomst moesten kunnen bereiken zou zijn, moest een ontwerp gemaakt worden waarbij de mogelijkheid open bleef de diepte van de geul te vergroten. Dat dit uiteindelijk gebeurd is, is te zien op de figuur hiernaast; het 57 ft-plan werd hier vervangen door het 65 ft-plan. Een modelonderzoek naar schaalvergroting in de scheepvaart toonde aan dat grotere schepen met een beperkte diepgang (restricted draught-72 ft.) technisch een goede oplossing vormden. Hierdoor kon de uiteindelijke geuldiepte van de haven beperkt blijven. Dit model-onderzoek trachtte zodoende verandering te brengen in de uitspraak "Havens passen zich aan aan schepen".

Uitbouw van de zanddam

De uitbouw lengte van de zanddam, dat wil zeggen de afstand tot aan het stenen gedeelte van de zuiderdam, werd o.a. door het volgende bepaald: "De zanddam diende niet verder te worden uitgebouwd dan het punt waar de aanlegkosten per strekkende meter dam van de

zanddam die van een stenen dam zouden overtreffen". Noodzakelijk voor deze eis is natuurlijk dat onderdelen van het ontwerp zodanig flexibel zijn dat bij een nog onbekende lengte van de zanddam de aansluiting zanddam-stenendam te realiseren is.

Teneinde de zandverliezen zoveel mogelijk te beperken verdiende een snelle uitbouw, dus grote capaciteit, de voorkeur. Om deze reden stelde men voor, het werk uit te voeren met twee grote bodemzuigers, ieder met een uurcapaciteit van 1000 m³. Er werd gewerkt in twee ploegen. Indien de verliezen groot bleken te zijn kon alsnog worden overwogen om in continuïdient te gaan werken.

Bij de bouw van de zanddam werd aanvankelijk uitgegaan van een uitbouw lengte van ca. 3000 m. De uitbouw in de jaren 1968-'69 verliep zo voorspoedig dat men in de loop van 1969 besloot de zanddam tot een lengte van 4500 m uit te bouwen: flexibiliteit in het ontwerp met als gevolg kostenbesparing in de uitvoering.

Dimensionering van de zuidwal



Schade aan de Basaltonglooiing bij de Zuidwal in 1988

Foto: Hans Johanson – Beeldbank Rijkswaterstaat

De zuidwal diende te voldoen aan de eisen voor stroomgeleiding, visuele geleiding en golfdemping in voor de Maasvlakte. In het najaar van 1970 is over 1200 m in zand en 500 m in zeegrond de zuidwal opgebouwd. Na een periode van een jaar van blootstelling aan de natuurrandvoorwaarden zou, afhankelijk van de ervaringen, verdere uitbouw in zeegrond dan wel in zwaarder materiaal plaats hebben. De verdediging met zeegrond en zand heeft geen problemen opgeleverd. Wel is er in 1988 schade opgetreden aan een basaltonglooiing aan de zuidwal. Bij analyse bleek later dat de golfperiode ter plekke groter was dan in het ontwerp voorzien. Ten tijde van het oorspronkelijke ontwerp waren berekeningen om dit precies te bepalen nog niet goed mogelijk. Dit laat ook zien dat een technisch-wetenschappelijke begeleiding noodzakelijk is.

Latere jaren

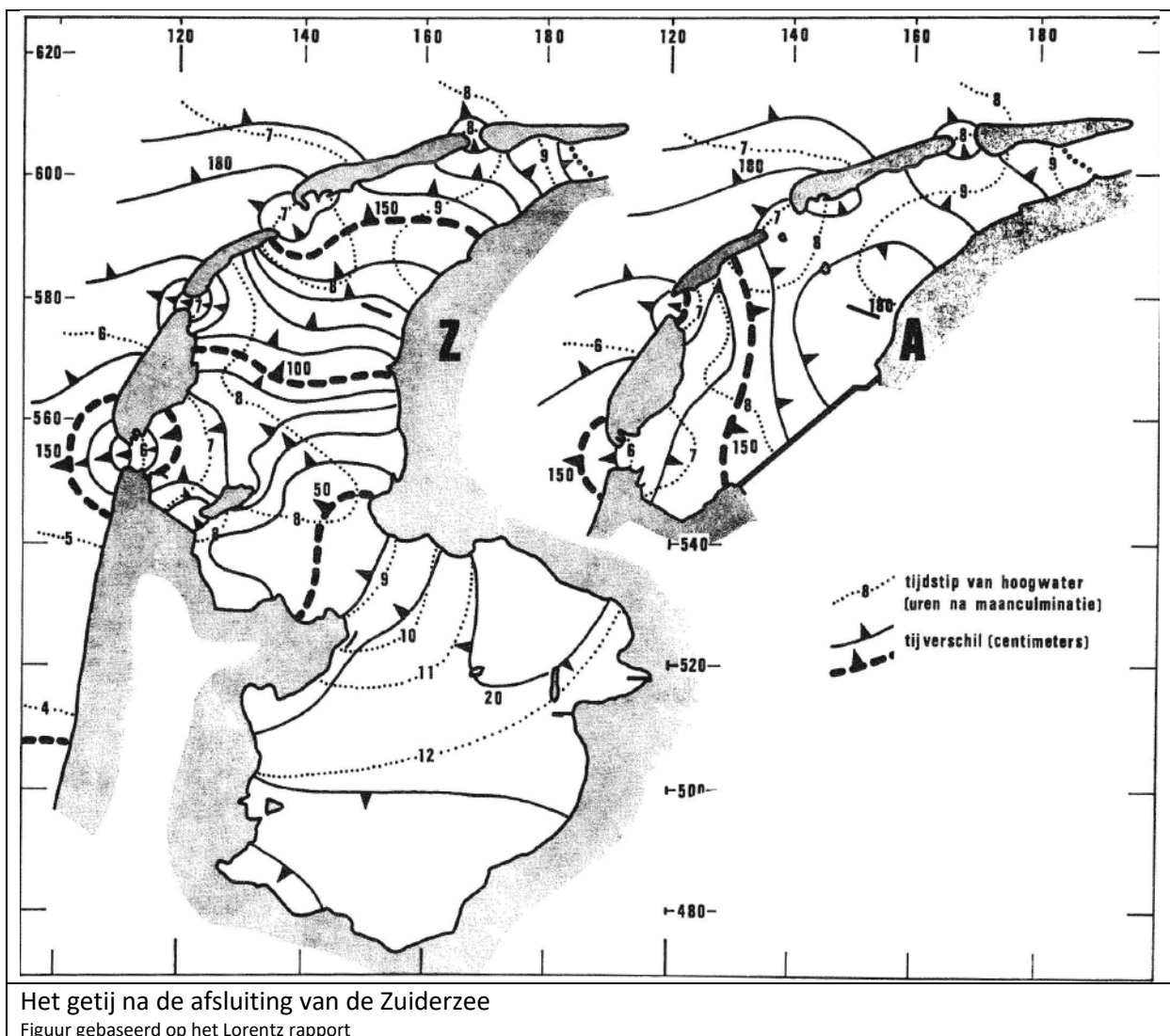
De aanpak van Agema met een flexibel ontwerp blijkt erg goed gewerkt te hebben. Toen er rond 2000 behoefte kwam aan uitbreiding van de Maasvlakte, bleek dit goed inpasbaar is de bestaande lay-out. Veel materiaal kon worden hergebruikt voor de nieuwe zeewering, waaronder de betonblokken van 40 ton.

De natuur als fysisch model

Bij grote waterbouwkundige werken komt het regelmatig voor dat iets ontworpen moet worden wat nog nooit ontworpen is. In Nederland hadden wij deze situatie bijv. bij de Zuiderzeewerken en de Deltawerken, in iets mindere mate bij de aanleg van de Maasvlakte. In zo'n situatie zal toch een voorspelling van het effect van de werken gemaakt moeten worden. Extrapolatie van ervaringsgegevens is dan niet mogelijk, zeker niet als de processen niet volledig begrepen zijn.

Een wetenschappelijke aanpak is dan nodig, men moet de processen begrijpen (alleen begrepen ervaring is bruikbaar). De eerste keer dat dit zo aangepakt is was bij de Zuiderzeewerken. Door Lely en zijn mensen was veel informatie verzameld over de ligging en de samenstelling van de bodem van de Zuiderzee. Getijgegevens waren ook bekend, maar alleen langs de randen van de Zuiderzee. Het was ook duidelijk dat de afsluiting het getij zou veranderen, en mogelijk zouden dan de dijken van Noord-Holland en Friesland te laag zijn, Enerzijds door een verhoging van het getij, anderzijds door een verandering van de golfoploop.

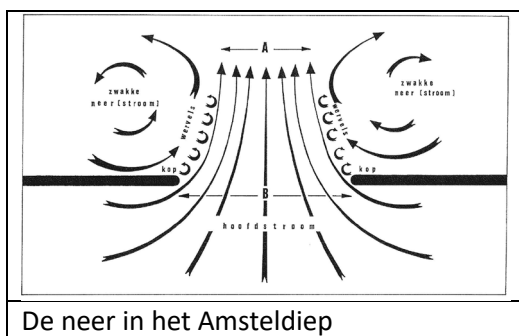
Om dit probleem op te lossen werd een wetenschappelijke commissie ingesteld onder voorzitterschap van Professor Hendrik Lorentz, in die tijd de grootste Nederlandse wetenschapper en leermeester van Einstein. De Staatscommissie Lorentz luidde een nieuw tijdperk in. Ze heeft als eerste de waterbouwkundige problematiek wetenschappelijk aangepakt. Lorentz begon met de methode voor normale getijden welke door Kelvin (1885) voor diepe wateren door middel van de harmonische methode benaderd was. Hij leidde hieruit een methode af om de getijden in de ondiepe Zuiderzee met zijn geulen te berekenen. Hij deed dit onder andere door als eerste in de bewegingsvergelijking de wrijvingsterm te lineariseren. Bij controle van de waterstanden die optraden na afsluiting van het Amsteldiep bleek dat deze methode goed voldeed. Uit de getijberekeningen werden stormvloedstanden berekend. Het bleek dat men zou moeten rekenen op stormvloedverhogingen van meer dan een meter langs de Afsluitdijk, veel hoger dan eerder was aangenomen. Ook langs de Noord-Hollandse en Friese kust zouden stormvloedverhogingen optreden. Uit de getijberekeningen bleek verder dat de stroming in de zeegaten 25% zou toenemen



Ook ten aanzien van de golfoploop heeft de Commissie Lorentz een afdoende antwoord kunnen geven. Men is golfoploop gaan meten. Hiervoor zijn twee wegen bewandeld: men is golfoploop gaan meten in een (eenvoudige houten) golfgoet en men is na stormen de hoogte van het veek op de dijk gaan meten. Men vond dat de golfoploop een vrij eenvoudige functie van de waterdiepte was (bijna lineair). En aangezien de verhoging van de waterstand door de eerste berekeningen nu bekend was, was ook de benodigde extra hoogte voor extra golfoploop bekend.

Lorentz schrijft in zijn rapport: “Voor het doel waarmee de Staatscommissie is ingesteld zal het intusschen voldoende zijn, te bepalen welke vermeerdering de hoogste golfoploop zal kunnen ondergaan in verband met de vergroting der waterdiepte die voor de betrokken dijken is te verwachten tengevolge van de verhoging der stormvloed na de afsluiting der Zuiderzee.” De conclusie van Lorentz is dus dat dit voor dit specifieke doel goed genoeg is, maar niet afdoende voor algemeen gebruik. Dat bleek in later jaren ook. Golfoploop is een vrijwel lineaire functie van de golfhoogte, en niet van de waterdiepte. Echter, in ondiep water (Waddenzee, etc.) is de maximale significante golfhoogte ongeveer gelijk aan de helft van de waterdiepte, en dat leidt dus weer tot de formule van Lorentz.

Verder heeft men bij de Zuiderzeewerken besloten van klein naar groot te werken. Dus eerst de Amsteldijk, en daarna de Afsluitdijk. Bij de Deltawerken heeft men hetzelfde gedaan. Eerst het drie-eilandenplan, beginnend met de afsluiting van de Zandkreek, daarna compartimenteringdammen en tot slot de grote dammen. Zo kan ervaring opgebouwd worden en kan er geleerd worden van deze ervaringen. Essentieel daarbij is dat de ervaringen vastgelegd worden (zowel de positieve als de negatieve), en dat die ervaringen gedeeld worden met het gehele ontwerpteam.



Bij het sluiten van het Amsteldiep maakte men voor de eerste keer kennis met het zogenaamde "koeffect", een verschijnsel dat optreedt waar de stroom om de kop van het reeds gemaakte werk heen trekt. Er ontstaan snel ronddraaiende verticale werveltjes op de grens van de hoofdstroom en de langzaam ronddraaiende neer. Deze werveltjes kunnen de bodem opwoelen, grote stenen verplaatsen en kuilen vormen. De beste verdediging bleek een snelle voortgang van het werk, zodat dit effect niet al te lang op dezelfde plaats zijn invloed blijft uitoefenen. Door inzet van voldoende materieel

kan dit gerealiseerd worden. Met name het vastleggen van zaken die fout gingen blijkt heel belangrijk. Daarom is dit ook een belangrijk aspect van de Agema filosofie.

Bouwen tegen minimale kosten

Bouwen tegen minimale kosten is iets anders als zo goedkoop mogelijk bouwen. Een standaard ontwerp maken en dan bij aanbesteding de laagste inschrijver zoeken leidt vaak niet tot het meest efficiënte project. Soms kan door het geïntegreerd ontwerp van uitvoeringsmaterieel en constructie een kostenvoordeel worden behaald ondanks het feit dat het materieel volledig op het werk moet worden afgeschreven. Zo konden bij de bouw van de havendam van Hoek van Holland de kosten van de speciale blokkenvaartuigen ruim worden gecompenseerd door materiaalbesparing, die met deze bouwwijze werd behaald.

Ook zijn de omstandigheden vaak doorslaggevend. Vaak wordt gesteld dat voor ontwikkelingslanden “low cost solutions” noodzakelijk zijn. Dat is natuurlijk onzin, ook voor ontwikkelde landen is het van belang om de kosten zo laag mogelijk te houden. In de Agema-filosofie wordt daarom niet naar de goedkoopste oplossing gezocht, maar naar de meest efficiënte.

In Nederland is arbeid duur, en kapitaal goedkoop. In Bangladesh juist andersom. Dus zullen in Nederland vaak de kapitaalintensieve oplossingen te prefereren zijn, terwijl in Bangladesh de arbeidsintensieve oplossingen het beste zijn. Een extreem voorbeeld hiervan is de sluiting van de Feni-rivier in Bangladesh door 12000 arbeiders en kleizakken. Afgezien dat dit goedkoop was, werd het zelfs als voorwaarde gesteld door de Bengaalse overheid om op deze wijze ook werkgelegenheid te creëren.

In onderstaand voorbeeld is een overzicht gegeven van de kosten van een strandhoofd. Links zijn de kosten van een klassiek Nederlands ontwerp, rechts zijn de kosten van een aangepast ontwerp voor de Indonesische omstandigheden. Steeds is de linker kolom de kosten in Europa, de rechter kolom de kosten in Indonesië (prijzen in guldens van 1992).

Strandhoofd volgens Nederlands ontwerp

element	aantal	eenheden	eenheid	industrieel land		ontwikkelings land	
Bedragen in guldens van 1992				eenheids		eenheids	
				prijs	kosten	prijs	kosten
Bouwkosten							
houten palen 3,5 m	193	stuks		40	7720	20	3860
houten palen 5 m	252	stuks		70	17640	35	8820
houten palen 6 m	12	stuks		85	1020	42	504
houten palen 7 m	24	stuks		100	2400	50	1200
houten palen 8 m	4	stuks		120	480	60	240
houten damwand 2,5m	608	m		170	103360	85	51680
houten damwand 3 m	206	m		200	41200	100	20600
geotextiel	6390	m2		2	12780	10	63900
plaatsen geotextiel	500	uur		40	20000	4	2000
betonblokken	3483	m2		40	139320	30	104490
plaatsen blokken	2200	uur		40	88000	4	8800
waterbouwasfalt	194	ton		190	36860	150	29100
breuksteen 25/80 kg	820	ton		60	49200	40	32800
breuksteen 280/200 kg	310	ton		35	10850	60	18600
fosforslakken 40/250 kg	310	ton		35	10850	60	18600
gietasfalt	460	ton		250	115000	250	115000
extra arbeid	50	uur		40	2000	4	200
gebruik shovel	25	uur		60	1500	10	250
gebruik trilblok	20	uur		70	1400	12	240
overhead					5000		5000
totaal					666580		485884
onvoorzien, risico, etc	3%	%			19997		14577
totaal					686577		500461

Onderhoud

manuren	50	uur	40	2000	4	200
gebruik shovel	10	uur	60	600	10	100
extra sten en geotextiel				<u>1000</u>		<u>1000</u>
				3600		1300
Rentevoet, 4%, 30 jaar, vermenigvuldigingsfactor			17,2	9		
Gekapitaliseerde onderhoudskosten				62244		22477
Totale projectkosten				748821		522938

Strandhoofd volgens alternatief ontwerp

element	aantal	eenheden	eenheid	industrieel land		ontwikkelings land	
				eenheids prijs	kosten	eenheids prijs	kosten
Bouwkosten							
Houten palen, 3,5 m	193	stuks	40	7720	20	3860	
Houten palen, 5 m	292	stuks	70	20440	35	10220	
Hout, damwand 2,5 m	608	m	170	103360	85	51680	
Hout, damwand, 3 m	206	m	200	41200	100	20600	
Jute filterdoek	6390	m2	3	19170	1	6390	
plaatsen jutedoek	500	uur	40	20000	4	2000	
zetsteen	3483	m2	60	208980	25	87075	
plaatsen zetsteen	5000	uur	55	275000	6	30000	
mager asfalt	250	ton	150	37500	75	18750	
steen 25/80 kg	2500	ton	60	150000	40	100000	
extra arbeid	200	uur	40	8000	4	800	
gebruik shovel	25	uur	60	1500	10	250	
overhead				5000		5000	
totaal				897870		336625	
onvoorzien, risico, etc		3%	%	22447		8416	
totaal				920317		345041	
Onderhoud							
manuren	200	uur	40	8000	4	800	
gebruik shovel	20	uur	60	1200	10	200	
vervangen palen	50	stuks	85	4250	42	2100	
extra jute en steen				1000		1000	
totaal				14450		4100	
Rentevoet, 4%, 30 jaar, vermenigvuldigingsfactor			17,2	9			
Gekapitaliseerde onderhoudskosten				249841		70889	
Totale projectkosten				1170157	415930		

Uit de begroting volgt dat een strandhoofd volgens Nederlands ontwerp in Nederland 750 kf en in Indonesië 523 kf. Echter het aangepaste ontwerp kost in Nederland 1170 kf en in Indonesië 416 kf. Hieruit blijkt dus dat er geen sprake is van een low-cost solution, maar een aan de omstandigheden aangepaste oplossing [Yap en Verhagen, 1992].

Samenvattend is een essentieel onderdeel van de Agema filosofie dat niet zozeer gezocht moet worden naar de oplossing met de laagste bouwkosten, maar in ieder geval de oplossing met de laagste integrale kosten (bouw, onderhoud en afbraak of recirculatie) maar dat ook kritisch gekeken wordt naar wat in de gegeven omstandigheden het aantrekkelijkst is.

Simulatie van de uitvoering

Bij projecten die nog nooit eerder uitgevoerd zijn is er altijd een risico ten aanzien van de uitvoering. Het is nooit met zekerheid te zeggen dat de gekozen uitvoeringsmethode ook echt te realiseren is. Het is daarom van belang om dit risico te minimaliseren. Dit gebeurt voor een deel door de toepassing van moderne planningsmethoden, maar er is meer mogelijk. Simulatie van de beoogde uitvoeringmethode is daarom een van de stappen in de Agema-filosofie. Ter voorbereiding van de sluiting in Kruiningen in 1953 werd de hele operatie met uitvoerders geoefend in een droog schaalmodel. En bij de bouw van de Stormvloedkering in de Oosterschelde werd het leggen van elke funderingsmat eerst een aantal malen geoefend op een computersimulator. Pas daarna vond de echte operatie met de Cardium plaats.



Voorbeeld van een moderne simulator voor het oefenen van offshore operaties

Kongsberg simulator

Een ander voorbeeld is de bouw van de havendam van Zeebrugge. Door het uitbouwen van die dam veranderde het stroombeeld wekelijks. Door een simulator in het loodsenkantoor te plaatsten konden de loodsen iedere invaart voor de dan geldende stroomsituatie eerst oefenen.

Bovenstaande opmerkingen gelden ook voor het gedrag van de gebruikers van de constructie in de eindfase. Vaak loont het de moeite het gedrag te simuleren en de constructie eraan te toetsen. De bepaling van de breedte van een vaargeul met een

vaarsimulator is een sprekend voorbeeld.

Technisch-wetenschappelijke begeleiding van de uitvoering

De commissie Lorentz had betrouwbare waarden van de nieuwe getijsituatie geleverd, maar had niet (conform de Agema filosofie) naar de bouwfasen gekeken. De methode van Lorentz kon wel worden toegepast voor deze bouwfasen berekeningen en die zijn tijdens de uitvoering van de bouw van de Afsluitdijk dan ook uitgebreid toegepast (o.a. door Thijsse). Er was ook behoefte aan informatie over het stroombeeld en de stroomsnelheden in de sluitgaten. De methode van Lorentz was niet nauwkeurig genoeg om die te kunnen leveren (feitelijk was de methode wel te gebruiken, maar het was niet mogelijk om de hoeveelheid rekenwerk met handrekenmachines en rekenlinialen in een redelijke termijn af te ronden; momenteel wordt dit routinematig door computermodellen gedaan, die nog steeds op basis van het rekenmodel van Lorentz werken).

Daarom waren ter aanvulling modelproeven nodig. Deze werden gedaan in het waterloopkundig laboratorium te Karlsruhe. Gezien de grote snelheden die over de beteugelingsdam in de sluitgaten en daarachter zouden optreden ontwikkelde men zinkstukken met zogenaamde "dikke wiepen" welke de stortsteen beter op het stuk houden. Deze wiepen hebben een grotere doorsnede dan de normale en worden samengebonden door middel van galvaniseerd draad.

Door het in 1929 gestichte Delftse Waterloopkundig Laboratorium werd een controleproef op ware grootte uitgevoerd in de stortkom van de Maasstuw te Roermond. Door berekeningen en modelproeven kwam men tot de conclusie dat met een sluitgatbreedte van 4 à 4,5 km goed te overwinteren was. Men had in eerste instantie 6 km nodig geacht. Langs wetenschappelijke weg werd dus een besparing op zinkwerken verkregen van ettelijke miljoenen guldens.

Aandacht voor kwaliteit

De kwaliteit van onderdelen van een ontwerp kan op verschillende manieren gegarandeerd worden. Allereerst door controle achteraf; bijvoorbeeld het aanbrengen van een proefbelasting op een ligger van beton of het loden van een bodembescherming. Tijdens de uitvoering dient vaak ook controle plaats te vinden omdat ná voltooiing van het werk de verschillende onderdelen (zoals de fundering) moeilijk te onderzoeken zijn.

Een minder gebruikelijke manier van controleren is de controle alvorens de uitvoering te starten. Dit kan d.m.v. b.v. fysisch modelonderzoek waarmee simulaties gemaakt kunnen worden. Deze manier van controleren kan veel voordelen bieden zoals:

- noodzakelijk doordat achteraf controleren onmogelijk is.
- economisch aantrekkelijk.
- verkrijgen van inzicht in uitvoeringsproblemen.
- evt. kan controle achteraf hierdoor overbodig blijken (tijdwinst).

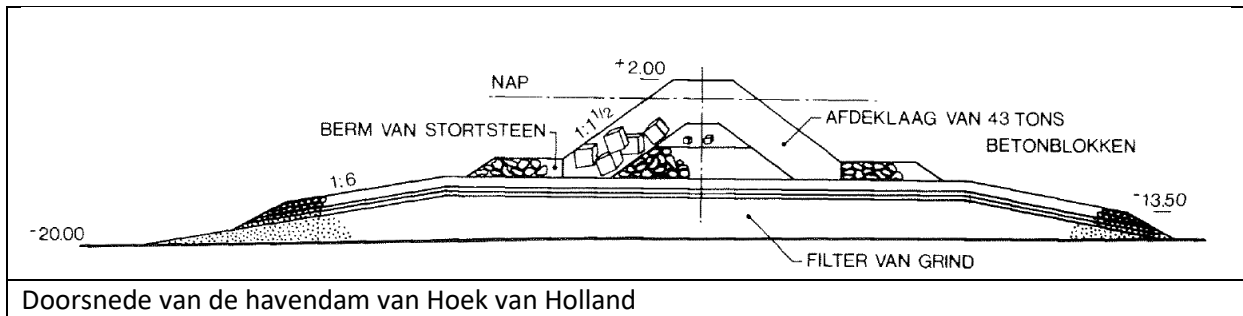
Op deze wijze wordt door procescontrole controle op het product verkregen. Bij het ontwerp Hoek van Holland heeft deze laatste vorm van kwaliteitscontrole een belangrijke rol gespeeld. Hoe deze kwaliteitscontrole bij de filteropbouw en het blokkenplaatsen is gerealiseerd wordt in het volgende uiteengezet.

Voorbeeld kwaliteitsborging bij filteropbouw

Een onderdeel van de fundering van de dammen wordt gevormd door een filter bestaande uit grind. Om een goed functioneren van de fundering te waarborgen is het noodzaak dat dit filter overal met een minimale dikte aanwezig is. Met andere woorden, de minimale dikte van het filter dient gewaarborgd te worden. Door een speciale uitvoeringsmethodiek toe te passen is dit te bereiken zonder dat controle achteraf nodig is. Deze uitvoeringsmethodiek gaat van de gedachte uit dat bij het herhaaldelijk storten van kleine "elementaire" laagjes grind de kans dat ergens de minimale dikte niet aanwezig is aanvaardbaar klein is. Met een mathematisch model is de grootte van deze kans onderzocht. Indien speciaal gekozen vaarpatroon van het stortschip gevolgd wordt dan is de totale dikte van het filter een stochastische variabele met een zekere spreiding. Deze spreiding is afhankelijk van o.a. het aantal elementaire laagjes. Het blijkt dat indien totale laagdikte groter wordt de spreiding kleiner wordt, dus de optimale dikte van het filter met een grotere mate van waarschijnlijkheid benaderd wordt. Bij deze beschouwing wordt uiteraard een zekere nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van het schip vereist; een nauwkeurig plaatsbepalingssysteem is dan noodzaak geworden.

Voorbeeld van het plaatsen van de betonblokken van de blokkendam

Om de kwaliteit van het te bouwen profiel van betonblokken (zie figuur hieronder) te garanderen is in een waterloopkundig model onderzocht bij welke methode van blokkenplaatsen het profiel het best opgebouwd kon worden. Dit onderzoek heeft geresulteerd in een plaatsingssysteem voor grote kubussen.

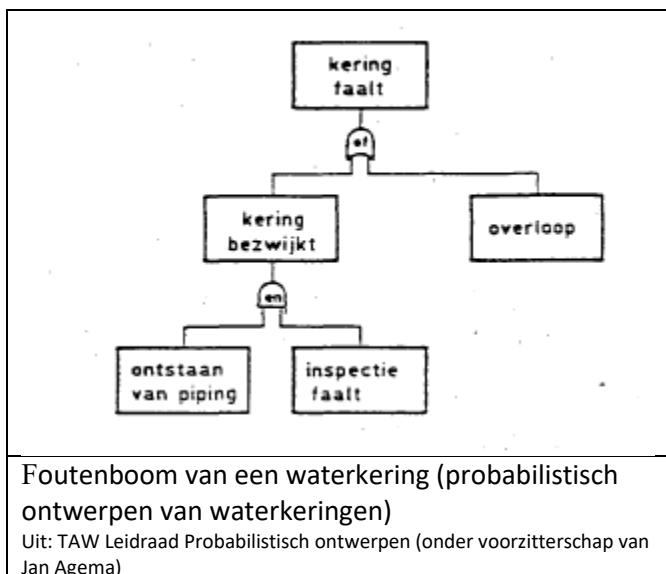


Door nu tijdens de uitvoering volgens het stortstelsel te werken wordt met een grote mate van waarschijnlijkheid het ontwerpprofiel gerealiseerd. Het stortstelsel moest voldoen aan de eis dat een stabiele opbouw van de afdeklaag verkregen werd en dat op ieder gewenst moment de uitvoering moest kunnen worden onderbroken zonder schade op te lopen. Als variabelen in het fysisch model van het stortstelsel zijn onderzocht het dampprofiel, de stortafstand en de stortrichting van de blokken en de opbouwvolgorde van de berm resp. de afdeklaag.

Het stortstelsel geeft de plaatsingsvolgorde weer van kubussen in de onderlaag en in de bovenlaag. Tijdens de uitvoering is dit systeem aangepast aan de opgedane praktische ervaringen nadat dit weer in het fysisch model beproefd was. Dit betrof de volgorde in opbouw van berm en afdekblokken. Bij het begin van de uitvoering werd eerst de berm gestort, daarna werden de afdekblokken geplaatst. Uiteindelijk werden eerst de afdekblokken, daarna de berm gestort. Zoals bij de filteropbouw een mathematisch model gebruikt werd, zo is een fysisch model bij het blokkenplaatsen gebruikt om de kwaliteit van het product te bewaken.

Risicoanalyse en probabilisme

Zoals al eerder aangegeven kan een foutenboom goed gebruikt worden om de constructie te analyseren en de zwakke punten te vinden. Op deze wijze kan een robuust ontwerp gemaakt worden. Maar risicoanalyses kunnen ook (en moeten ook) voor de uitvoering gebruikt worden. Een belangrijk onderdeel van de Agema filosofie is dan ook zowel voor het ontwerp van de constructie en van het plannen van de uitvoering een risicoanalyse gemaakt wordt. De eerste stap van een risicoanalyse is het maken van een foutenboom.



Door Agema zelf is voor het eerst dit toegepast bij de sluiting van de bressen in de dijken van Zuid-Beveland na de ramp van 1953.

Door het vereiste hoge tempo van de uitvoering was de voorbereiding ervan, met name de ontwerptijd, zeer kort. Zo kon slechts in beperkte mate hydraulisch modelonderzoek plaatsvinden dat zich concentreerde rond de definitieve sluiting in de Veerhaven.

Waterbeweging door de sluitgaten, met name bij de verschillende bouw fasen, werd door berekeningen bepaald en geverifieerd met metingen in de natuur. Het werd gekenmerkt door een relatief groot getijverschil (3,75 m bij springtij) en hoge snelheden; in de Veerhaven tot rond 5 m/sec.

De bodemsamenstelling en grondeigenschappen werden in hoofdzaak ontleend aan een beperkt aantal bestaande gegevens. In het algemeen bestond deze uit fijn zand, afgedekt met een laag zavelachtige grond.

Het geheel was zeer erosiegevoelig. Voor het welslagen van de afsluitingswerken was het vereist elke potentiële ongewenste gebeurtenis te voorkomen. Op grond van risicoanalyses werden deze bepaald. Dit heeft ertoe geleid, dat:

- a. directe preventieve maatregelen zijn genomen en
- b. voor de meest bedreigde onderdelen bij begin van bezwijken de methodiek en het daarvoor nodige materieel en materialen gereed lag (calamiteitenvoorraad). De zeggenschap over deze laatste was voorbehouden aan enkele daartoe aangewezen personen van de werkleiding.

Zo lagen in de haven van Hansweert: onderlossers met Boomse klei, bakken met stortsteen en een rijshouten zinkstuk.

Sluitgat Veerhaven

Een van de meest bedreigde onderdelen was de bodemverdediging, bestaande uit rijshouten zinkstukken met natuursteen ballast. Eén van de meest essentiële zaken hierbij is de detectie van het begin van bezwijken. Indien dit niet gebeurt, ontstaat veelal grote schade en sterke vertraging in de uitvoering. Dit betekent, dat frequent moet worden gepeild. Met het oog op de hoge stroomsnelheden kon dit slechts rond de kentering van het getij plaats vinden. De procedure was zodanig, dat bij constatering van verdiepingen op de analoge registratie van het echolood dit onmiddellijk moest worden doorgegeven.

Bij de bodemverdediging van de Veerhaven is zo 'n begin van bezwijken geconstateerd. In de buurt van de naad van twee zinkstukken vond men een verdieping tot 6 m over relatief grote lengte. Deze ontwikkeling kon met succes op zeer korte termijn worden bestreden met Boomse klei en steen dat alléén bestemd was voor dit soort gebeurtenissen.

Een ander zeer kritisch onderdeel is de naad tussen de stenen drempel en de daarop afgezonken sluit-caisson. Hierbij moet bedacht worden dat de plaatsing geschiedt bij de LW-kentering, zodat bij het eerstvolgende HW een aanzienlijk verval gekeerd moet worden (ongeveer 3m). De afdichting geschiedt in eerste instantie met het storten van Boomse klei met kantelbakken en het storten van steen van zijlossers aan de zeezijde van de caissonwand.

Voor geval de naad (plaatselijk) te grote afmetingen voor deze materialen zou hebben, werden getwiste stalen netten en rijshouten zinkstukken achter de hand gehouden, welke als drager dienden voor steen en klei.

Niet onvermeld mag blijven dat op het kritieke moment van de voorzieningen m.b.t. de naad de bemanning van de genoemde kantelbakken gingen staken en (opnieuw) een hogere gevarenpremie eisten. Deze ongewenste gebeurtenis is opgevangen door deze bakken te bemannen met leidinggevende medewerkers van directie en aannemer.



Sluiting Kruiningen

Foto privé archief Agema

Sluiting Oostgat



Sluiting met de bodemloze caissons

Privé archief Agema

Bij de maaiveldsluiting in het Oostgat met behulp van betonnen manchetten (caissons zonder bodem), gevuld met Boomse klei, direct op zavel/klei-achtige polderbodem, werd de erosie rond de manchetten bestreden met Boomse klei, aangebracht met grijperkranen. Deze erosie was soms zo ernstig dat manchetten met kleivulling verzakten. De hiervoor nodige extra hoeveelheden klei moesten soms ontleend worden aan de calamiteitenvoorraad.

Sluiting op Rijksweg

Een andere ongewenste gebeurtenis werd veroorzaakt door onverschilligheid op zondag. Om de arbeidscapaciteit op peil te houden bleken overdag 2 x zoveel mensen uit de arbeidsreserve nodig te zijn dan vast aannemerspersoneel en 's nachts moest een factor 3 worden gehanteerd.

De binnendijk (dit was de rijksweg Goes-Middelburg) moest ook opnieuw waterkerend gemaakt wor-

den. Deze was ontworpen als een sluitkade op te bouwen met zandzakken. Hiertoe werden deze in depots op de rijksweg opgebouwd. Rond deze depots en langs het tracé van de sluitkade werden houten steigers gebouwd tot boven HW. In de depots was de sluitkade reeds ingebouwd. De openingen tussen deze depots zouden dan door mankracht worden afgesloten door het aanvankelijk storten en later stapelen van zandzakken uit de depots.

De rijksweg was mede gekozen omdat het wegdek als een betrouwbare bodemverdediging kon fungeren. Daarnaast leverden de bomen nog een bijdrage tot de stabiliteit van de steiger. Het gevaar dat de zandzakken, welke op het door algen glad geworden wegdek werden gestort, zouden wegglijden (door de stroom), werd voorkomen door een kering in de vorm van een rol van staaldraadgaas, welke aan het wegdek was verankerd. De stroom kon nagenoeg ongehinderd deze rol passeren.

De opbouw van de kade door rond 3000 man, verdeeld over twee ploegen per opening, vond probleemloos plaats. Mits goed georganiseerd kan met mankracht flexibel en een hoge capaciteit worden bereikt. Het ten aanzien van de risicobeheersing is dat niet geblokkeerd wordt met één (groot) afsluitmiddel (caisson), maar met vele vorm aanpasbare (kleine) elementen (zandzakken). De kade-afsluiting wordt in zodanig tempo opgebouwd, dat de kruin de getijrijzing voorblijft.

Lessen uit de case Zuid-Beveland

Het toepassen van een consequente risicoanalyse heeft geleid tot het beter onderkennen van potentiële bezwijkmechanismen. Hierdoor konden preventieve maatregelen worden genomen. Voor de meest bedreigende ongewenste gebeurtenissen werden materialen en materieel vastgelegd. Hiervan is in een aantal gevallen gebruikgemaakt.

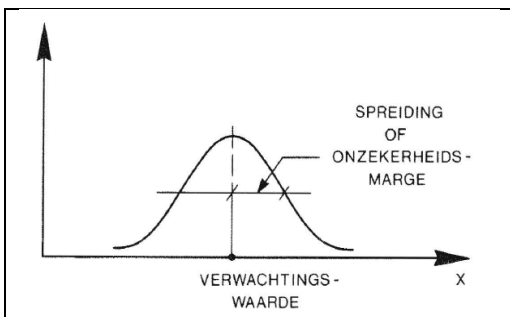
Probabilisme

Uit het bovenstaande blijkt dat voor een goede risicoanalyse er inzicht moet zijn in kansen. Da geldt zowel voor het basisontwerp als voor de uitvoering. De voorspellingen, die gedaan worden omtrent het toekomstig gedrag van constructie en omgeving, hebben geen absolute juistheid. Het resultaat kan hoogstens gekarakteriseerd worden als de meest waarschijnlijke waarde of een verwacht verloop. Rond deze waarde of dit verloop is een spreiding, een onzekerheidsmarge aanwezig. Het probleem is dat noch de belasting exact bekend is, noch de sterkte van de constructie. Maar ook is het faalmechanisme ook niet exact bekend. In alle drie deze componenten die maken dat een exacte bepaling van het faalmoment onmogelijk is. Maar

wel kan de faalkans berekend worden. Een heel belangrijk punt van de Agema-filosofie is dan ook dat voor alle drie van deze componenten de kansverdeling in het ontwerp meegenomen wordt. Dit is probabilistisch ontwerpen, en Agema was een sterke promotor van deze manier van werken.

Deze onzekerheid behoort bij het ontwerpprobleem en dient als een volwaardig aspect te worden meegenomen. Vroeger geschiedde het aftasten van de invloed van onzekerheidsmarges op het eindresultaat door gevoeligheidsstudies. Probabilistisch rekenen is in principe vrij simpel, zolang de sterkte en de belasting beide omschreven kunnen worden met een enkele parameter die een simpele kansverdeling heeft, en het sterktemodel ook een simpel model is met een enkele parameter met een eenduidige kansverdeling. Het standaardvoorbeeld hierbij is een last aan een kabel. Het gewicht is bekend en heeft een bekende standaardafwijking, de diameter van de kabel is bekend en heeft ook een bekende standaardafwijking, en het sterktemodel is ook simpel en heeft een materiaalconstante als parameter met een bekende kansverdeling.

Echter, als er meer parameters zijn en de verdelingen geen simpele normale verdelingen, dan wordt het mathematisch een lastig probleem. In sommige gevallen kan men een niveau I benadering toepassen, dat wil zeggen dat zowel van de sterkte als de belasting een karakteristieke waarde genomen wordt (bijv. de waarde die in 5% van de gevallen overschreden wordt) en daarmee wordt dan de berekening gemaakt. Die karakteristieke waarden worden gegeven in normvoorschriften en zijn bepaald op basis van veel proeven. Op deze wijze kan een ontwerper op simpele wijze een betrouwbaar ontwerp maken. Deze methode werd in de tijd van Agema ingebouwd in veel voorschriften (bijv. in de betonvoorschriften). Maar voor veel ontwerpen die niet standaard zijn bestaan geen karakteristieke waarden. De volledige berekening (met integratie van de kansberg) blijkt vaak analytisch niet mogelijk. Een numerieke benadering is wel mogelijk (met de zgn. Monte Carlo methode), maar vereist per geval enkele duizenden berekeningen.



De onzekerheidsmarge rond een met behulp van modellen voorspeld verloop

Vaak blijkt een niveau-II benadering (linearisatie van de kansverdeling) dan wel mogelijk, en deze berekeningen zijn bij uitstek geschikt om zowel de verwachtingswaarde van de uitkomst als de onzekerheid ervan in de berekening te betrekken. De niveau-II berekeningen kunnen worden opgevat als een gewogen gevoeligheidsanalyse. Op instigatie van Agema zijn deze berekeningen o.a. bij het ontwerp van de stormvloedkering in de Oosterschelde intensief toegepast.

De gevoeligheid van de eindwaarde voor kleine variaties in de ontwerpvariabele vindt plaats door partiële differentiatie daarna volgt een weging met de spreiding van elke variabele.

De bijdrage van elke variabele aan de totale onzekerheidsmarge van het ontwerpprobleem staat daardoor vast.

Het bleek echter dat het uitvoeren van de partiële differentiatie toch voor veel ontwerpproblemen te gecompliceerd was. Door de rekensnelheid van de huidige computers is de Monte Carlo methode op een standaard laptop computer geen probleem meer. De regelgeving loopt hier echter nog achter aan.

Bijvoorbeeld voor het ontwerpen van golfbrekers heeft PIANC een leidraad uitgegeven voor het bepalen van de blokgewichten met partiële veiligheidscoëfficiënten. Door het karakter van met name de belasting en het faalmechanisme zijn deze coëfficiënten niet als enkelvoudige getallen uit een tabel af te leiden, maar moeten met formules berekend worden. Het blijkt dat voor deze ontwerpen op dit moment een probabilistische niveau-III berekening sneller gaat dan een "simpele" niveau-I berekening met partiële veiligheidsfactoren.

Daarnaast kunnen de gevolgen van het falen van onderdelen en het verband ertussen systematisch worden geanalyseerd met de fouten-boom techniek. Het spreekt vanzelf, dat deze beoordeling van de onzekerheden niet beperkt moet blijven tot de constructie in de eindfase.

De probabilistische methoden zijn ook geschikt om de onzekerheden tijdens de uitvoering zowel constructief als plannings-technisch te behandelen.

Zo zijn er simulatieprogramma's beschikbaar waarmee het verloop van de uitvoering statistisch kan worden berekend. Het eindresultaat is een verwachtingswaarde en een spreiding van de einddatum.

De planning van de sluitingen van de compartimenteringsdammen in de Oosterschelde zijn op deze wijze uitgevoerd, en dit laat zien hoe constructieve en plannings-technische aspecten te verenigen zijn in één risicobeschouwing. Met bovenstaande beschouwingen over spreidingen en verwachtingswaarden die het resultaat zijn van de modernste ontwerpberekeningen, is duidelijk gemaakt dat ontwerpen voor een belangrijk deel uit "besluitvorming onder onzekerheid" bestaat.

De ontwerper moet immers ondanks alle onzekerheidsmarges een keuze maken. Hier is de toepassing van de mathematische beslissingstheorie de aangewezen weg. De afweging tussen een investering in een grotere veiligheid of de acceptatie van een hoger risico wordt dan rationeel gemaakt.

Bij de afsluiting van Kruiningen in 1953 leidde de risicoanalyse tot het besluit noodplannen en voorraden gereed te houden. De praktijk bewees dat dit een goede investering was.

Er is echter ook een geval bekend van een kunstmatig eiland, waarbij een risicoanalyse uitwees, dat bepaalde onderdelen een verhoogd risico met zich brachten. Het advies om een noodvoorraad damwandplanken en zwaar weefsel aan te leggen sloeg men evenwel in de wind. Tijdens de bouw van het eiland werd het risico operationeel en het eiland kon slechts tegen hoge kosten behouden worden.

Samenvatting van de Agema-filosofie

Samengevat beat de Agema-filosofie naast de traditionele punten voor een goed ontwerp (zoals vastleggen van het programma van eisen en vastleggen van de randvoorwaarden) de volgende punten:

- **Integratie van ontwerp, uitvoering, beheer- en onderhoud, alsmede milieu en landschap**
Kijk niet alleen naar het project zelf, maar pas het in. Denk ook aan of het ontwerp te bouwen is, te onderhouden is en weer af te breken is. Ga na wat de kosten daarvan zijn.
- **Flexibel, aanpasbaar bouwen**
Civieltechnische projecten hebben een lange uitvoeringstijd, en een nog veel langere levensduur. In de lange tijd veranderd de maatschappij en de inzichten; ontwerpen moeten daarom makkelijk aanpasbaar zijn.
- **De natuur als fysisch model**
Omdat veel projecten uniek zijn, is het effect van het project moeilijk de voorspellen. Kijk dus van het begin af aan naar wat het effect is; probeer van klein naar groot te werken.
- **Bouwen tegen minimale kosten**
Hou de kosten laag, maar neem wel de kosten van onderhoud mee. Kijk naar de lokale situatie en de lokale mogelijkheden
- **Simulatie van de uitvoering**
De bouw kan vaak tot onverwachte situaties leiden. Het is daarom belangrijk om daarop vooruit te lopen. Dus ga eerst droogzwemmen door bouwprocedures te simuleren
- **Technisch-wetenschappelijke begeleiding van de uitvoering**
Bouwen moet niet alleen afgaan op ervaring, maar ook steunen op een wetenschappelijke basis.
- **Aandacht voor kwaliteit**
Het product (dus het gerealiseerde project) moet aan de vooraf gestelde eisen voldoen. Dat kan door kwaliteitscontrole achteraf, maar beter is om door kwaliteitsborging afkeuring achteraf te voorkomen
- **Risicoanalyse en probabilistisch rekenen**
Er is altijd een kans dat er zaken mis gaan. Hou daar rekening mee door de risico's te analyseren en

vooraf maatregelen te nemen. Bij alle stappen van het ontwerp je er rekenschap van geven dat alle variabelen nooit precies bekend zijn. Hou rekening hiermee door probabilistisch te rekenen

Jan Fokke Agema – levensschets

door Aad Wagenaar¹

... een leven lang bouwen en hongeren naar kennis ...

Jan Fokke Agema was al enkele uren oud eer zijn vader Sibbele Agema het juiste tijdstip gekomen achtte om hem geboren te laten worden. Het was toen middernacht en daarmee brak de dag van 12 september 1919 aan, de verjaardag van Sibbele's jong gestorven broer Jan Fokke. Naar hem wilden Sibbele Agema en zijn vrouw Johanna Catharina van Dolder hun eerstgeborene vernoemen. Daarom heeft Sibbele Agema toen hij zijn zoon bij de burgerlijke stand kwam aangeven, de geboortedatum van 11 naar 12 september verschoven en zodoende de eerste uren van Jan Fokke Agema's leven verdonkeremaand. De geboorteplaats van Jan Fokke Agema is Opmeer. Zijn vader en moeder waren begin 1919 in dit tussen Hoorn en Schagen gelegen dorpje komen wonen, als ware deze streek in West-Friesland het juiste neutrale terrein waar de twee met hun verschillende afkomst zouden kunnen aarden. Sibbele Agema kwam uit Wirdum, een dorpje ten zuiden van Leeuwarden, Johanna Catharina van Dolder was van Alphen aan de Rijn. Beiden waren in 1892 geboren. Ze hadden elkaar leren kennen toen Sibbele Agema tijdens de mobilisatie van 1914-1918 ingekwartierd was in de bij Gouwesluis gelegen boerderij van de familie Van Dolder. Jan Fokke Agema was de eerste van hun drie zonen.

In 1922 werd Andries geboren en in 1926 Abe. Opmeer was in 1919 een door veehouderijen omgeven nederzetting van zo'n 500 mensen en telde maar enkele straten. Daarvan waren Koninginneweg, Breestraat en de Pade de voornaamste. Het dorp lag aan een ringvaart; de plaats waar dat water werd overbrugd gold als het centrum van Opmeer. Niet ver ervandaan bevond zich de voor haar tijd zeer moderne zuivelfabriek Aurora, bestaande uit enkele gebouwen van hardgebakken bruinrode steen. In een ervan stond de stoommachine die de tractie leverde aan de werktuigen voor de behandeling van de melk het roeren, centrifugeren, karnen en zo meer - en de bereiding van de zuivelproducten als boter, kaas, pap en melkpoeder. De melk werd zowel over de ringvaart als de weg van de boerderijen in de omgeving aangevoerd. Behalve de zuivelfabriek, waar zo'n vijftig personen werkten, zorgden in het kleine dorp een elektrische maalderij en een paar leveranciers van veevoer voor de bedrijvigheid. Opmeer had een hervormd kerkje en een openbare school en het kleine gemeentehuis werd gedeeld met het buurdorp Spanbroek, dat dezelfde burgemeester had als Opmeer.

Het echtpaar Agema was in het dorp komen wonen toen Sibbele er na zijn demobilisatie een betrekking had gevonden in de zuivelfabriek. Hij was er weldra chef van het pakhuis waar de kazen lagen te rijpen of werden gereedgemaakt voor aflevering. Zijn vrouw werkte ook in de zuivelfabriek; ze maakte het kantoor schoon. Thuis vulde ze het gezinsinkomen aan door als coupeuse naaiwerk te doen voor mensen in het dorp.

Sibbele Agema was door zijn maatschappelijke instelling een druk man. In het dorp leidde hij als voorzitter een toneelvereniging, de floraliacub, het schoolbestuur; hij was secretaris van de kerkvoogdij en leidde de plaatselijke afdeling van de vakbond van zuivelpersoneel. Zijn zoontje Jan zou zijn vader later vaak helpen bij het netjes tekenen en vermenigvuldigen van blaadjes met vakbondsnieuws en bracht ze ook rond in en buiten het dorp.

De kleine openbare school van Opmeer had twee onderwijzers: juffrouw Zandstra en meester Band. De juf had in haar lokaal de kinderen van de eerste tot en met derde klas onder haar hoede en de meester Band zorgde voor de leerlingen van de vierde tot en met zevende klas. Hun leerling Jan Agema was over juffrouw Zandstra zeer tevreden: een geweldige onderwijzeres. Met Band had de leergierige jongen echter wat problemen; de meester was hem niet serieus genoeg. Jan Agema vond dat meester Band zich meer aan kunst en sport wijdde dan hij met het echte onderwijzen bezig was. Taal en rekenen leden nogal onder de hobby's van de meester, zoals tekenen en linoleum snijden. Jan Agema vond dat wel heel leuke vakken en had er ook aanleg voor- de meester drong er zelfs op aan dat hij later in door zou gaan - maar zijn

¹ Tekst van Aad Wagenaar, gemaakt in september 1999 in opdracht van het Waterbouwdispuut ter gelegenheid van de tachtigste verjaardag van Jan Agema; voor de huidige publicatie is de tekst iets geactualiseerd.

belangstelling strekte veel verder. Jan Agema hongerde naar kennis en had, zo Jong als hij was, zijn beroep al gekozen. Hij wilde bouwer worden.

Dat stond al sinds zijn derde jaar vast. Op die kleuterleeftijd nestelde de liefde voor het construeren zich in het hart van Jan Agema. Het kwam omdat in de ruime dienstwoning van het gezin Agema vaak de man over de vloer kwam, die in de zuivelfabriek Aurora het toezicht had op de verbouwingen. Die volgden elkaar door de voorspoedige groei van de onderneming snel op en de opzichter, Boersma genaamd, gebruikte een van de kamers van huize Agema als zijn kantoor. Daar bestudeerde hij de blauwdrukken van de architect uit Alkmaar, maakte berekeningen en schreef hij zijn rapporten. En geduldig antwoordde de opzichter op de vragen die het jongetje hem steeds maar stelde, soms met de kin op Boersma's werktafel. Zo liet Jan Agema zich allerlei dingen van de bouwerij uitleggen en ging hij kijken op de plaatsen waar getimmerd en gemetseld werd. In een hoekje probeerde de kleine jongen de constructies dan na te tekenen. Het kind begon ook al heel jong zelf dingen te bouwen. Het was een jaarlijks hoogtepunt in een klein dorp als Opmeer wanneer de kermis er voor een paar dagen neerstreek. Jan Agema stond vooraan als de attracties werden opgebouwd. Die constructies waren een grote inspiratie voor hem. Hij bekeek hoe alles werkte, waar het draaipunt van een zweefmolen lag en hoe zo'n ding bleef staan- en weer thuis tekende hij het bouwsel en trachtte het na te maken.

Jan Agema was zevenjaar oud toen hij zijn vriendjes wist te vergasten op een zelfgetimmerde schommel en draaimolen, de laatste een gevaarte met een geschoorde driebeugels as en een zweefarm van een meter of drie, waaraan een zitbankje hing. Zijn linkerpink zou voor het leven een klein litteken hebben van de wond, die hij opliep toen de stalen draad van het bankje brak en tegen zijn hand sloeg.

In de terrein rond de fabriek hield Jan Agema zich ook met kleinschalige weg- en waterbouw bezig. Zo groef hij waterlopen, legde brugjes, bouwde viaductjes en beproefde dijkjes. Thuis had zijn vader een groot stuk van de zolder vrijgemaakt, zodat zijn oudste kind er de constructies kwijt kon van het Märklin-bouwsysteem (een Duitse variant van het Engelse Meccano), waarvan hij Jan alle dozen had geschenkt. Er lag een netwerk van wegen en spoorbanen, met gebouwen, kranen en andere modellen van technische installaties, met licht uit batterijtjes en beweging door een klein stoommachientje. De handleidingen die bij het meccano hoorden liet Jan Agema echter links liggen; hij dacht alles liever zelf uit. Als voorbeelden en inspiratie voor zijn constructies diende hetgeen hij in de kranten en blaadjes zag, die in zijn ouderlijk huis over de vloer kwamen.

Eén klein periodiek was hem bijzonder geliefd. Dat was het stripboekje 'De Automaat', dat de petroleumleverancier als reclame uitdeelde. Het beschreef de avonturen van een schrander ventje, Pijpje Drop genaamd. Elke aflevering eindigde met de zin: '... en hoe het Pijpje Drop verder vergaat, leest u in de volgende Automaat ...' Jan Agema kon bijna niet wachten tot er weer nieuwe petroleum moest worden gekocht. Want in de Amerikaanse striptekeningen maakte hij kennis met allerlei mooie en moderne bouwwerken, als wolkenkrabbers en onmogelijk grote bruggen. Zo voedde de jongen zijn bouwkundige belangstelling en verbeidde de dag dat hij de lagere school van Opmeer verlaten kon en dagelijks naar het stadje Hoorn mocht gaan, waar de ambachtsschool stond.

Maar met die ambitie en zijn dagelijks bezig zijn met bouwen was Jan Agema toch geen in zichzelf gekeerd kind, een wereldvreemde studiebol. Integendeel, als hij niet zat te knutselen deed hij intensief aan alle bij zijn leeftijd horende spelletjes mee. Hij werd al jong lid van de Opmeerse gymnastiekvereniging en op zijn zeventiende jaar hielp hij de voetbalclub HOSV (Hoogwoud-Opmeerder Sport Vereniging) oprichten. Het was vanzelfsprekend dat het waterpas maken en draineren van het stuk weiland dat HOSV zich als voetbalveld had uitgezocht, een taak voor het jonge bestuurslid Agema was.

In de zesde klas van de lagere school greep Jan Agema de dankzij een relatie van Zijn vader geboden kans om in het naburige dorp Hoogwoud alvast technisch avondonderwijs te gaan volgen. Het lesprogramma bestond uit taal, wiskunde, construerend tekenen en drie-dimensioneel schetsen en het van karton plakken van kleine constructies, wat bij de leerlingen tot de vorming van ruimtelijk inzicht moest leiden. Het onderwijs werd gegeven voor werkende jongeren en volwassenen en met zijn elf en later twaalf jaar zat Jan Agema er als een buitenbeentje bij.

In 1932 was hij eindelijk oud genoeg om te worden toegelaten tot de ambachtsschool in het stadje Hoorn, elf kilometer fietsen van Opmeer. Jan Agema koos voor de timmermansopleiding. Behalve het vaardig hanteren van hamer, zaag, schaaf en boor, leerde hij er interessante dingen als vaktekenen, statica, projectieer, wiskunde en materialenkennis. Het was een driejarige opleiding met vijfeneenhalve

schooldag per week en elke dag een berg huiswerk mee. Jan Agema ging moeiteloos en met plezier door het zware lesrooster heen.

Terugblikkend heeft hij de ambachtsschool van Hoorn vaak geprezen als de plaats, die hem het inzicht en alle basisvaardigheden verschaften voor zijn latere werk als waterbouwkundige.

'Het is jammer, ja stom, dat men dat nuttige instituut ambachtsschool bij de onderwijshervormingen heeft opgeheven; het was zó 'n goede school, er werd je zó efficiënt een technisch vak geleerd. Voor mij is het de broedkamer geweest voor het constructieve denken. Zo'n uitstekende technische opleiding voor technische vakmensen ontberen we vandaag de dag. Ik heb als ambachtsschooljongetje nog de spanten gemaakt voor een mansardedak van een kruisvormig woon- en winkelhuis. Dat moet je eens aan een jong iemand vragen, die van het huidige lagere technisch onderwijs komt. Daar is er momenteel geen een toe in staat.'

De voorzitter van de ambachtsschoolbestuur, ir. Johan van der Burgt, was tevens hoofd van het arrondissement Hoorn van Rijkswaterstaat. Deze belangrijke man had de gewoonte om, wanneer er behoefte aan was, een of twee van de geslaagde leerlingen van de ambachtsschool voor zijn in hoog aanzien staande rijksdienst aan te werven. In het voorjaar van 1935 was het de vijftienjarige Jan Agema, die aldus werd gevraagd om leerling-tekenaar te worden bij Rijkswaterstaat. Hij was toen net weliswaar juist als volontair in dienst gekomen bij de Spanbroekse aannemer Appel, maar deze liet Agema ruimhartig gaan voor de perspectiefrijke functie die de jongen op het Rijkswaterstaatkantoor in Hoorn geboden werd bij de studiedienst Waddenzee. Het loon dat leerling-tekenaar Jan Agema van de overheid kreeg was tien gulden per maand.

Hij kreeg al snel te maken met de hydraulische en morfologische studie van de Waddenzee en de kust van de Waddeneilanden, waarover in de jaren dertig nog weinig bekend was. Rijkswaterstaat verrichtte onderzoek in alle zeegaten, van Texel tot aan Borkum en in de buitendelta's aan de Noordzeekant. Daar werden op bepaalde punten stroomsnelheden en -richtingen gemeten, waterstanden, zandgehalten, zandtransport, de chemische samenstelling van het water en ook deed men waarnemingen van wat er aan leven op het Wad en in het omringende water voorkwam al had men in die tijd van 'het milieu' nog nooit gehoord.

Voor de zomerse meetcampagnes werd ook Jan Agema van achter zijn tekentafel in Hoorn gehaald en meegestuurd met het meetschip van Rijkswaterstaat. Het vaartuig bleef soms drie weken op zee. Foto's die in die tijd zijn gemaakt, tonen de zeventienjarige Jan Agema als een goedlachse Hollandse polderjongen met een kuif en een linkse scheiding in het weerbarstige blonde haar. Hij hangt over de railing van het meetschip 'Vlieland', een omgebouwde veerboot van rederij Doeksen.

Het meten begon 's morgens om vijf uur en duurde tot zes uur 's avonds. Dan ging het schip bij het volgende meetpunt voor anker en brak de lange avond aan, die Jan Agema, zijn twee collega's van Rijkswaterstaat en de vierkoppige Terschellingse bemanning vulden met kaarten en vissen in de geulen. Een van de eilanders was de potige Iemke Bloem, die prins Hendrik vaak bijstond wanneer deze gemaal van koningin Wilhelmina op de Waddenzee op robbenjacht ging. Jan Agema was er regelmatig getuige van dat Bloem een rob te grazen nam en vond het vreselijk om te zien hoe hij zo'n dier doodknuppelde. Maar Agema billikte de slachting met de wetenschap dat de Terschellinger zo iets voor zijn brood deed: de robben bedreigden de visstand van de Waddenzee en voor elke robbenhuid kreeg Bloem een rijksdaalder van de overheid.

Hoewel het meten niets te maken had met het constructiewerk waarvoor Jan Agema op school was opgeleid, voelde hij zich zeer wel op de Waddenzee. Hij was van kind af aan zeer onderzoeksgericht en al dit gemeet op zee ervoer hij als onderzoek in optima forma. Terug op kantoor in Hoorn moest hij aan zijn tekentafel alle onderzoeksgegevens uitwerken en verbanden zien te leggen, waardoor hem geleidelijk aan de hele fysica duidelijk werd van het zeegebied waar hij weken had vertoefd. Jan Agema stelde in die tijd voor de eerste keer vast dat de waterbouwkunde, waartoe hij zich meer en meer aangetrokken voelde, een merkwaardig maar hoogst interessant vak was - met variabele belastingen door de steeds wisselende stroomsnelheden, waterstanden, golven, wind en die loskorrelige materialen als zand, slib, klei, grind en stenen. De interactie van dat alles vond hij fascinerend. Daarmee om weten te gaan was heel wat anders dan construeren in hout, beton en staal.

'Ik heb als jong mens steeds het geluk gehad dat ik bij bazen werkte, die me adviseerden wat ik moest gaan doen. Dat begon al met aannemer Appel, die het beter voor me vond dat ik leerling-tekenaar bij Rijkswaterstaat werd. En ook bij de waterstaat vertelden mijn superieuren mij steeds welke studies ik moest gaan volgen. En ze begeleidde me daar ook in, dat zal ik nooit vergeten. Ik kreeg de weg gewezen; zo regelde mijn toenmalige baas in Hoorn, ir. G.D.C. André de la Porte, op een gegeven moment dat ik naar Den Haag werd verplaatst - daar zou Rijkswaterstaat mij veel meer mogelijkheden te bieden hebben en had ik betere studiefaciliteiten.'

Op 1 maart 1938 begeleidde Sibbele Agema zijn zoon Jan in de trein naar Den Haag en leverde hem af bij het kostadres dat in Scheveningen voor hem was gevonden. De vader gaf Jan nog wat goede raad betreffende het leven in de grote stad en vertrok weer naar Opmeer. De volgende dag meldde Jan Agema zich in het gebouw in de Van Speykstraat, waar de studiedienst voor de Noordzee en de getijdenwateren in het Deltagebied van de directie Benedenrivieren van Rijkswaterstaat was gevestigd. Agema werd er, nog steeds in de rang van leerling-tekenaar, aan het werk gezet bij studies naar de hydraulische situatie van de Noordzee, met eraan gekoppeld de sedimentbeweging, invloed op de kuststrook en andere fenomenen. Agema schetste ook mee aan technische oplossingen voor bedreigde kustgebieden.

's Avonds verbleef de jonge tekenaar in zijn Scheveningse pension en soms maakte hij een wandelingetje over de boulevard. Uitgaan in het voor een West-Friese dorpsjongen zo mondaine centrum van Den Haag was er in die tijd wegens geldgebrek niet bij. De paar centen die Jan Agema na betaling van zijn kostgeld aan zijn karige traktament overhield, besteedde hij aan bij lessen in wiskunde, waterbouwkunde en andere vakken die hij goed moest beheersen wilde hij zich te zijner tijd met kans op succes voor het vergelijkend examen voor technisch ambtenaar van Rijkswaterstaat kunnen aanmelden.

Chef van de Studiedienst was dr. ir. Johan van Veen, een stille Groningse wetenschapper die, achteraf bezien, zijn tijd ver vooruit was en daarom met zijn opvattingen en bevindingen vaak botste met de vele conservatieve krachten binnen Rijkswaterstaat. Jan Agema had al snel kennis van het plan dat Van Veen met vooruitziende blik had gemaakt voor een Rotterdams havengebied aan zee, dat later in de vorm van Europoort werkelijkheid is geworden. Ook werden bij de studiedienst beschermingsplannen voor het Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilandengebied ontworpen en oplossingen bedacht voor het geregeld bedreigde eiland van Dordrecht.

Alle ontwerpen die, samengevoegd en verder uitgewerkt, in de jaren vijftig als het Deltaplan bekend werden, waren eindjaren dertig in principe al gereed - dankzij de over Nederlands veiligheid zo bezorgde Johan van Veen. Op diens studiedienst werden overzichten gemaakt van potentiële stormrampen bij verschillende frequenties van voorkomen. Men deed dat op grond van de wetmatigheid van stormvloed - in 1939 door ir. Wemelsfelder ontdekt - en vloedmerk-waarnemingen in Zeeland. Van Veen vertaalde zijn studies in tekorten aan dijkhoogten in het geval van buitengewoon zware stormen. Hij deed er ook aanbevelingen bij: de zeearmen zo veel mogelijk dicht en elders de dijken drastisch omhoog.

Jan Agema was zich, zijn jeugdige leeftijd ten spijt, zeer bewust van de ernst van alle studieresultaten die ter tafel kwamen op het kantoor waar hij werkte. Met zijn collega's maakte hij zich kwaad over de manier waarop de rapportage van zijn baas Van Veen in de hoogste regionen van Rijkswaterstaat ontvangen werd. Het praatje ging dat alles daar in de prullenmanden belandde en men Van Veen tot querulant had verklaard. Jan Agema vond zulke reacties ongelooflijk - vijftienjaar later, in februari 1953, was hij er eens te meer verontwaardigd over. Toen voltrok zich de ramp die Johan van Veen al tot in details als waarschijnlijk had geschetst.

Het was eindjaren dertig inmiddels zeer ernstig aan het rommelen in Europa; ook in Nederland was de verre donder van oorlog hoorbaar. Jan Agema las in de kranten en hoorde op de radio van de spanningen die agressieve uitlatingen en vrijpostige daden van Duitsland teweegbrachten in andere landen en ook in Nederland tot zorg leiden.

Maar collega's zeiden dat hij niet echt bang hoefde te zijn; als er een oorlog zou uitbreken, duurde de strijd hooguit drie of vier maanden - en dan zou de olie op zijn. Jan Agema lag er niet wakker van: hij hield zich niet echt bezig met binnen- en buitenlandse politiek. Wel wist hij dat de ideologie van de Nationaal Socialistische Beweging hem en zijn collega's op het werk bepaald niet aanstond.

In september 1939 mobiliseerde Nederland zijn strijdkrachten. Op 3 februari 1940 werd ook Jan Agema voor de eerste oefening onder de wapenen geroepen. Hij moest zich melden bij de Genietroepen in Schoonhoven, kreeg een uniform aan en leerde exerceren. Vrij snel werd hij ingezet bij de pontonniërs en moest hij oefenen in het bouwen van noodbruggen.

Jan Agema zag het gedoe een tijdje aan en vond dat de inspanningen maar tot rare constructies leidden. Hij ging naar zijn sergeant en wees hem erop dat de pontonniërs met een instructieboekje uit 1887 werkten. Maar de sergeant snoerde hem de mond, dreigde met zijn bajonet en beval de eigenwijze soldaat zich te onderwerpen aan de routine van de krijgsmacht. 'U doet gewoon wat er gezegd wordt!' Jan Agema haalde zijn schouders op, deed zijn plicht en spoedde zich voortaan meteen na de diensturen naar het kamertje dat hij in Schoonhoven had gehuurd en begroef zich daar in zijn uit Den Haag meegenomen studieboeken. In april werd zijn compagnie overgeplaatst naar Grave om van daaruit met hout en aarde stellingen te gaan bouwen in de Peel. Daarmee bezig werden Jan Agema en zijn tienduizenden medesoldaten in de stellingen langs de grenzen en in het achterland in de vroege ochtend van 10 mei 1940 overvallen door Duitse troepen. Op veel plaatsen brak paniek uit bij de onervaren Nederlandse soldaten. Jan Agema maakte mee hoe zijn kapitein en de sergeant, ofschoon zich nog geen vijand nabij hun stellingen had vertoond, niet wisten wat ze moesten doen. Ze zagen vrijwel apathisch toe hoe de leiding van de troep werd overgenomen door een daadkrachtige soldaat die in het burgerleven matroos op de kustvaart was. Spoedig kwam echter het bevel om de positie bij Grave te verlaten. Agema en zijn strijdmakkers moesten zich met hun voertuigen terugtrekken op Rotterdam. Toen zij de Maasstad bereikten hadden Duitse Heinkels hun zware bombardement op het centrum al uitgevoerd en was de Nederlandse capitulatie een feit. In de loop van de jaren die volgden is Jan Agema vergeten of hij op 14 mei 1940, de dag van het bombardement, in Rotterdam aankwam of een dag later.

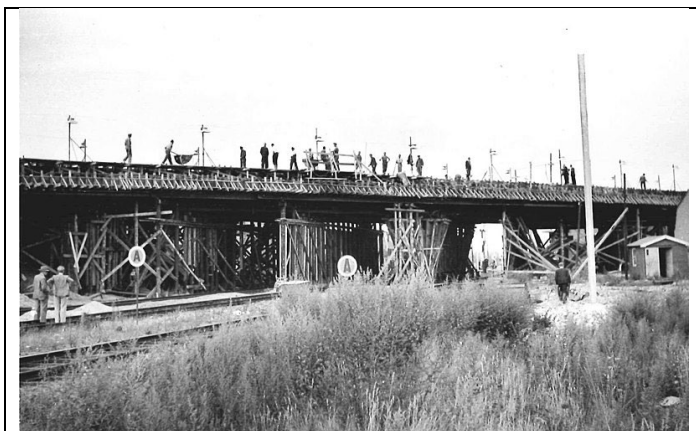
'Ik moet de stad hebben zien roken na dat vreselijke bombardement, maar daar staat mij geen enkel beeld meer van voor ogen. Misschien heeft die verwoeste stad Rotterdam zo'n verpletterende indruk op me gemaakt, dat ik alles heb weggesloten. Ik weet alleen dat wij onze wapens moesten neerleggen en krijgsgevangenen werden en terug naar onze basis in Schoonhoven gingen. Daar zijn we begin juni weer vrijgelaten en werden we gedemobiliseerd.'

Jan Agema hervatte op 8 juni 1940 zijn werk bij de Studiedienst in Den Haag. Ondanks de nodige beperkingen door de Duitse bezetting gingen de zaken daar als vanouds. Begin 1941 haalde hij zijn eerste waterbouwkundig diploma, het bekende "Waterbouwkundig opzichter Zeeland". Op 1 april 1941 werd Agema overgeplaatst naar Bergen op Zoom, waar hij bij het bureau Havenwerken van de directie Benedenrivieren kwam en bevorderd werd tot opzichter 3de klasse. In september 1942 werd hij uit Brabant naar Hoorn gestuurd en kwam hij weer terecht bij de studiedienst Waddenzee, waar hij in 1935 zijn entree bij Rijkswaterstaat had gemaakt. Uitvaren met het meetschip was er toen echter niet meer bij; de Waddenzee was evenals de Noordzee door de Duitsers tot verboden gebied verklaard voor de waterstaatsambtenaren. Eind april 1943 kondigde de Wehrmachtsbevelhebber in Nederland af dat alle leden van het voormalige Nederlandse leger zich moesten melden om opnieuw in krijgsgevangenschap te worden gevoerd. Jan Agema hoorde tot de duizenden ex-soldaten die dit bevel negeerden; hij dook onder. Op een boerderij in de omgeving van zijn ouderlijk huis in Opmeer kreeg hij onderdak en voeding in ruil voor het verrichten van allerlei karweitjes. Met zijn chef in Hoorn was echter geregeld dat hem per koerier van tijd tot tijd ook documenten van Rijkswaterstaat bereikten, zodat hij zijn vertrouwde rekenwerk kon blijven voortzetten.

De bevrijding kwam op 5 mei 1945. Jan Agema spoedde zich die dag naar Hoorn om zijn chef Beckering Vinckers te bedanken voor de vindingrijkheid, waarmee deze hem twee onderduikjaren lang in dienst van Rijkswaterstaat had weten te houden. De chef had er zelfs aan meegewerkt dat Agema op 1 oktober 1944 vanuit zijn onderduik naar Den Haag was gereisd om daar in de Ridderzaal, min of meer onder het oog van de op het Binnenhof zetelende Gestapo, het vergelijkend examen voor technisch ambtenaar van Rijkswaterstaat te doen. Hij slaagde met glans en verwierf zo de basis om eind 1946 tot technisch ambtenaar in vaste dienst te worden bevorderd.

Ongeveer elke anderhalf tot twee jaar klom Jan Agema vervolgens een stapje hoger op de ambtelijke ladder- maar eigenlijk zonder dat er een stevige carrièrezucht achter zat. Hij had altijd wel ambities, echter niet zozeer om in rang hoger op te komen, dan wel om op hoger niveau te werken. Jan Agema hoefde geen

generaal te worden om een leger mensen te kunnen commanderen, maar hij wilde wel voortdurend het peil van zijn kennis verhogen.



Wegenbouw in Limburg

Foto uit privé archief Agema

Op 1 februari 1947 begon een interessant hoofdstuk in Jan Agema's leven. Hij werd van Hoorn verplaatst naar de directie Limburg van Rijkswaterstaat in Roermond en daar toegevoegd aan de arrondissementsingenieur Spruit. Deze gaf zijn nieuwe medewerker de leiding van de herbouw van de door oorlogshandelingen vernielde kunstwerken in de rijkswegen in Midden- en Noord-Limburg. Agema kreeg te horen dat hij maar één doel voor ogen moest houden: de rijkswegen moesten zo snel mogelijk weer normaal bereden kunnen worden.

Het werk in Limburg was van een totaal andere aard dan Agema tot dusver bij

Rijkswaterstaat had verricht; hier geen waterbouwkundige metingen doen en oplossingen bedenken, maar kunstwerken – het ontwerpen en de supervisie van de bouw van bruggen, viaducten en duikers. Hij stelde vast dat dit werk weer helemaal aansloot op wat hij op de Hoorns ambachtsschool had geleerd, zij het dat hij in 1941 in Bergen op Zoom die basiskennis al had uitgebreid met een schriftelijke PBNA-cursus beton-technicus. Nu in Limburg beleefde hij veel plezier van dat gestudeer in de avonduren -hij kon en moest alle werken zélf dimensioneren met zijn rekenliniaal.

Na ruim anderhalf jaar herbouw in Limburg wilde Jan Agema zich juist aan het tracéontwerp voor een nieuwe rijksweg in Limburg zetten, toen er een enveloppe met lakzegel van Rijkswaterstaat werd bezorgd met daarin de aanwijzing om terstond naar Vlissingen te gaan. Hij moest zich op 1 november 1948 melden bij de studiedienst Zeeuwse Stroom.

Als chef kreeg hij daar ir. Herman Ferguson, toen reeds een autoriteit op het gebied van de waterbouwkunde. Agema kende Ferguson uit Den Haag, waar hij bij de studiedienst Noordzee en Deltagebied onder hem had gewerkt. In Vlissingen zette Ferguson hem vooral aan de studie van de onderzeese oeververdedigingen en de morfologische ontwikkelingen van de Westerschelde en Oosterschelde.

'Ik wist al van voor de oorlog dat het met de veiligheid in Zeeland precair gesteld was. Het ploegje mensen om Ferguson heen, waartoe ook ik behoorde, was tot in de details op de hoogte van de toestand. We waarschuwden ook bij herhaling. Maar Ferguson leerde mij dat de overheid een grote plumpudding was: als je er in stak trilde hij even na en dan -was de pudding meteen weer stil en bewegingsloos. We werden erg laconiek door zulke reacties. Men geloofde ons niet in Den Haag- nou vooruit dan maar. De kans dat er een ramp zou komen was toch maar eens in de vijfhonderd jaar.'

Op zaterdag 31 januari 1953 logeerde Jan Agema in het huis van zijn ouders in Opmeer. Het woei flink die avond maar de 33-jarige technisch ambtenaar 1^{ste} klasse legde zich zonder zorgen te ruste op het bed in zijn oude Jongenskamer. Toen hij zondagmorgen 1 februari de radio aanzette hoorde hij een ernstig gestemde omroeper vertellen over zware stormschade op allerlei plaatsen in Zuid-West-Nederland: er waren tal van dijken doorgebroken, polders overstroomd en ook zouden er mensen verdronken zijn. Langs een weg die hij later niet meer heeft kunnen reconstrueren, waarschijnlijk via Antwerpen en Breskens reisde Agema die zondag overhaast terug naar Vlissingen. Op het kantoor van Rijkswaterstaat heerste verontwaardiging. Nu was het dan tóch gebeurd waarvoor men al Jaren had gewaarschuwd. Maar Agema en zijn collega's hadden nog geen idee van de werkelijke omvang van de ramp.

Er had in de nacht van 31 januari op 1 februari langs de Nederlandse kust een noordwesterstorm gewoed met orkaankracht. De storm bereikte juist op het moment van springtij zijn hoogtepunt. Tegen deze

combinatie van natuurkrachten bleken veel van de dijken in Zeeland en Zuid-Holland niet bestand. Grote delen van Zuid-West-Nederland liepen onder water en in de woeste stroom werden duizenden mensen en complete woningen meegesleurd. Het uiteindelijke dodental van de watersnoodramp was 1835. De materiële schade liep in de honderden miljoenen guldens. Er was meer dan 500 kilometer dijk beschadigd. Het dichten van alle, soms gigantische stroomgaten duurde echter slechts negen maanden. Op 5 november 1953 werd in aanwezigheid van koningin Juliana in Ouwkerk op Schouwen-Duiveland het laatste gat gedicht.

Jan Agema was daar niet bij; hij hield zich alweer met andere dingen bezig. Maar in de eerdere maanden had hij dag en nacht meegewerkt aan het dijkherstel in Zeeland. Al in de eerste week van februari had hij vanuit Vlissingen de moeilijke reis naar Zierikzee gemaakt. Daar kreeg hij een helikopter toegewezen, waarmee hij zich twee dagen boven alle Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden liet rondvliegen. Steeds vroeg hij de helikopterpiloot te landen, waarna hij uitstapte om van nabij de stroomgaten te bekijken en er aantekeningen van te maken. Jan Agema had als schade-inspecteur het voordeel dat hij het gebied van de ramp al jaren kende als zijn broekzak en dus meteen kon vaststellen wat er op welke plaats mis was. Op kantoor in Vlissingen werkte hij de aantekeningen uit en met behulp van zijn collega's gaf hij vaak meteen al potentiële oplossingen aan. Het ging erom dat er zo snel mogelijk een apparaat in het rampgebied kon worden neergezet, dat het herstel kon aanpakken. In die eerste dagen na de watersnoodramp werden op Agema's kantoor vakken van het hele getroffen eilandengebied getekend, met de naam van een baas van Rijkswaterstaat erin en meteen ook een aangewezen aannemer voor het herstelwerk. Dat plan werd naar het kantoor van de directeur-generaal van Rijkswaterstaat in Den Haag getelegrafeerd, waar binnen de kortste keren instructies uitgingen om het voorgestelde te realiseren. Architect van deze operatie was ir. Ferguson, die hoofd was geworden van de inmiddels ingestelde dienst Dijkherstel Zeeland.

Na de eerste hectische weken werd Jan Agema op 1 maart zelf naar Hansweert gestuurd. Daar kreeg hij de leiding bij het sluiten van de 17 stroomgaten in de dijken van de waterschappen Kruiningen en Waarde. Zelden in zijn loopbaan heeft Agema zulk interessant en voldoening gevend werk verricht. Zijn kantoor en slaapplek waren op een terp. Hij liet er ook een legertent neerzetten, waarin hij, beschermd tegen het winterweer, op schaal de bodemconfiguratie van de grote stroomgaten nabouwde, die onder handen genomen moesten worden. Voorts liet hij modellen maken van caissons, sleepboten, baggermolens en kranen. Op die manier ontwierp hij alternatieven voor sluitingen en oefende ze met het personeel van de aannemer en Rijkswaterstaat, waarna de keuze werd gemaakt welk alternatief in het echt zou worden toegepast.



Caissonsluiting bij Kruiningen o.l.v. Jan Agema

Foto uit privé archief Agema

'Computersimulatie, dat bestond nog lang niet, dus moesten we voor alle medewerkers het karwei zo visueel mogelijk neerzetten. Dat was machtig interessant. En als dan later zo'n stroomgat ook echt gesloten was, beleefde je een schitterend moment. Ik herinner me de finale nog goed, de sluiting van het laatste gat in de veerhaven Kruiningen met dat grote caisson, de Phoenix AX. Dat was juni 1953, ongelooflijk eigenlijk hoe snel we het allemaal hebben gefikst. Feitelijk ben ik daar met het vak risicoanalyse begonnen, dat later op de TH in Delft is ingevoerd kijken welke kans er is dat er iets misgaat en wát er mis kan gaan. En als dat gebeurt, wat doen we dan? Ik denk daarbij overigens met groot respect terug aan mijn toenmalige directe chef en vriend DJ. Blom.'

In heel Nederland heerste na het herstel van de dijken het gevoel dat een watersnoodramp als van 1 februari 1953 nooit meer mocht gebeuren. Het verbeteren van de veiligheid in het Nederlandse kustgebied kreeg

eindelijk de politieke aandacht die in al de jaren van herhaalde waarschuwingen was uitgebleven. Al in februari 1953 werd een Deltacommissie geïnstalleerd, die aanbevelingen moest doen ter voorkoming van nieuwe watersnoodrampen. Na een jaar kwam de commissie met het advies alle de zeearmen tussen Westerschelde en de Nieuwe Waterweg af te sluiten. Dit plan vormde de basis voor de Deltawet, die eind 1955 werd ingediend en in 1958 van kracht werd. In de drie jaar van politiek getalm ging echter het dijkherstel gewoon door en werden reeds onderdelen van het Deltaplan uitgevoerd. Men werkte volgens het principe van klein naar groot: eerst eenvoudige afsluitingen, dan de ingewikkelde. Zo werd ervaring opgedaan voor het moeilijkste onderdeel van het Deltaplan: de beveiliging van het land tegen het water van de ontzagwekkend brede Oosterschelde.

Op 1 juli 1957 werd Jan Agema, inmiddels waterstaatkundig hoofdbambtenaar, naar Den Haag verplaatst, waar hij zich bij de Centrale Studiedienst met kustproblematiek ging bezighouden. Tot 1960 beleefde hij voor zijn doen drie rustige jaren. In die tijd nam hij ook het besluit om alsnog aan de Technische Hogeschool van Delft te gaan studeren voor het ingenieursdiploma. In 1959, veertig jaar oud, liet Agema zich als student inschrijven bij de faculteit der civiele techniek. Twee overwegingen brachten hem tot die opmerkelijke stap. Allereerst wilde hij proberen om zijn wetenschappelijke niveau op te krikken en zo een breder zicht te krijgen op de civiele techniek. Maar wat ook meespeelde was zijn ervaring dat men bij Rijkswaterstaat als hts-er toch enigszins met de nek werd aangekeken. Hij nam een behoorlijke afstand waar tussen de academici en de afgestudeerden van het hoger beroepsonderwijs. En Jan Agema was dan zelf nog een geval apart- die paste met zijn ambachtsschool en de vele diploma's van zijn verschillende studies eigenlijk nergens in de traditionele stratificatie van de wetenschappelijke vorming.

Agema had in Delft geen moeite om zich tussen zijn vaak twintig jaar jongere medestudenten te bewegen. Hij had grote vrijheid gekregen om zijn studie naar eigen wens in te richten. Student Agema was geen trouw collegebezoeker maar bestudeerde wel de meeste dictaten. Zijn academische studie heeft hem tien jaar gekost, hetgeen de werkstudent zelf als nog betrekkelijk vlot ervoer, vergeleken bij de gemiddeld 7,5 jaar die de reguliere student er destijds in Delft over deed. Bij de diploma-uitreiking in 1970 was Jan Agema vijftigjaar en daarmee ouder dan zijn afstudeerhoogleraar prof. dr. ir. E.W. Bijker, die hem bij zijn studie een uitstekende begeleiding had gegeven. Kort nadat Agema de titel van ingenieur kreeg werd hij bij Rijkswaterstaat van hoofdwaterbouwkundige bevorderd tot hoofdingenieur. Dat was dezelfde functie, maar met een deftiger naam. Er zijn in die tienjaar van zijn studie flinke periodes geweest, dat 'Delft' naar de achtergrond werd geschoven. Want sinds 1 februari 1960 werkte Jan Agema bij het arrondissement Rotterdamsche Waterweg van de directie Benedenrivieren en daar had men hem belast met het ontwerp van een nieuwe havenmond te Hoek van Holland. De bedrijvigheid van de Rotterdamse haven was zich toen door capaciteitsgebrek in de oude havenbekkens in de stad en het groter worden van de schepen, al geruime tijd aan het verplaatsen in de richting van zee. In de jaren vijftig waren eerst havens in het gebied van de Botlek aangelegd en in 1958 werd het plan Europoort vastgesteld, een havengebied dat ten koste van flinke delen van Voorne-Putten, Rozenburg en het vogeleiland De Beer zou worden aangelegd. Zijn vroegere chef Ferguson had ervoor gezorgd dat Agema van Den Haag naar het Rijkswaterstaatskantoor in de Jamin-villa aan de Parklaan in Rotterdam was overgeplaatst. Ferguson gaf hem daar de opdracht tot het ontwerpen van de havenmond en de nog later aan te leggen Maasvlakte. Uitgangspunt was de opdrachtbrief van de directeur-generaal om een afzonderlijke toegang voor Europoort te ontwerpen voor schepen van 60.000 ton met een enkele van 80.000 ton. Jan Agema vond die opdracht van veel te beperkte visie op de toekomst getuigen. Hij rekende zijn baas Ferguson voor wat er straks qua scheepsgrootte mogelijk zou zijn via het Kanaal en om de Noord. Hij maakte duidelijk dat Rotterdam met zijn beoogde havenmond voor schepen van maximaal 80.000 ton letterlijk de boot zou missen: de haven zou niet toegankelijk zijn voor de supertankers van de toekomst. Hij stelde drie nieuwe alternatieven voor, niet met afzonderlijke mond maar in combinatie met de Nieuwe Waterweg. Op die manier, zo maakte Agema duidelijk, kon de nieuwe Rotterdamse havenmond straks toegang bieden aan elk schip, hoe groot ook, dat over de Noordzee kwam aanvaren. Agema's pleidooi leidde ertoe dat hij alle modellenonderzoek voor een afzonderlijke haventoeegang naar Europoort mocht stilzetten. Vervolgens heeft hij zijn team geleid in het ontwerp van een gecombineerde mond met de ontsluiting van de latere Maasvlakte, waar ook schepen van 500.000 ton naar binnen konden.

'In die tijd ontstegen de grootste olietankers de 40.000-tons-klasse nog niet. Maar de groei van olieschepen tot 500.000 ton werd al wel onderkend. Die zijn later ook inderdaad gebouwd, al zijn er uiteindelijk maar een paar naar Rotterdam gekomen. Inmiddels is de tankervvaart weer terug bij groottes van 250.000 tot 275.000 ton. Maar de superertstankers en de latere generaties super-containerschepen, ook van indrukwekkend tonnage, kunnen momenteel allemaal Europoort binnen. Daar hebben wij in de jaren zestig al voor gezorgd.'



Blokkenplaatsschip Libra

In februari 1966 ging Jan Agema van Rotterdam naar Hoek van Holland, waar Rijkswaterstaat in een oude pastorie aan de Strandweg haar bouw bureau voor de havenmond aan de overkant van de Nieuwe Strandweg had gevestigd. Van hieruit werd het ontwerp afgerond en de uitvoering verzorgd. Dat gebeurde onder leiding van ir. J. van Dixhoom de latere directeur-generaal van Rijkswaterstaat.

Na enige tijd betrok Agema in Hoek van Holland ook een woning. Hij was sinds 1960 getrouwd met Lien Koot, een Rotterdamse die hij in 1955 leren kennen in het Oostenrijks-Tirolse plaatsje St. Jodok.

Jan Agema was al sinds 1954 een toegewijd bergsportliefhebber. Na het drukke jaar 1953 had zijn chef Ferguson hem de tip gegeven dat een verblijf in de bergen een uitstekende manier was om van het dichten van de Kruiningse stroomgaten bij te komen. Agema schreef in voor een groepsreis naar Oostenrijk en had al na een paar dagen zijn hart verloren aan het wandelen en klimmen in de bergen en het traverseren van gletsjers. Studieus en ondernemend als altijd verdiepte hij zich weldra in boeken over de geologie en meteorologie van berggebieden, het werken met hoogtemeter en kompas en ook was hij actief in een bergsportvereniging.

Het echtpaar Agema - er zouden drie kinderen geboren worden, waarvan later de zoon jurist is, een dochter bedrijfskundige en de andere dochter werkzaam is in public relations - woonde tot 1979 in Hoek van Holland. Toen verhuisden ze naar het mooie, in veel groen gevatte, split-level-huis dat ze in het stille kustdorp 's-Gravenzande hadden laten bouwen. Hun liefde voor de bergen leidde begin jaren tachtig tot de aanschaf van een bekoorlijk chalet in het Zwitserse kanton Wallis; de laatste jaren verblijven Jan en Lien Agema daar doorgaans een maand of twee.

Op 15 april 1973 ging Jan Agema naar de Deltadienst van Rijkswaterstaat in Den Haag. Hij werd bevorderd tot hoofdingenieur A en belast met de leiding van de Waterloopkundige Afdeling. Na twintig jaar naderde de uitvoering van het Deltaplan haar climax met de aanpak van de Oosterschelde. Deze brede zee-arm zou worden afgesloten met een dichte dam, waarachter een zoetwatermeer zou ontstaan. Al vanaf 1967 waren werkhavens en -eilanden bij en in de Oosterschelde aangelegd. Maar begin jaren zeventig begon men hier en daar in de maatschappij te morren: een afsluiting van de Oosterschelde zou grote nadelige gevolgen voor het milieu hebben. Eerst waren het natuurliefhebbers en wetenschappers die protesteerden, later voegden zich vissers en schelpdierkwekers in hun koor. Zij pleitten voor een open Oosterschelde en verhoging en versterking van de dijken. Ook de politiek mengde zich in de discussie en nadat het kabinet Den Uyl in 1974 tot afsluiting van de Oosterschelde met een zogenaamde 'stormstuw-caissondam' had besloten, werd in mei 1976 toch nog een andere oplossing voor de Oosterschelde gevonden: een afsluitbare stormvloedkering in de vorm van een pijlerdam. Voor de realisering van deze bijzondere constructie werd een Projectgroep Oosterschelde ingesteld, waarvan Jan Agema lid werd. Zo bouwde hij met de studies van zijn Waterloopkundige Afdeling vele jaren mee aan het grootste waterbouwkundige werk uit de Nederlandse geschiedenis, dat in oktober 1986 in gebruik zou worden genomen.

'Er moest voor de Oosterscheldekering ontzaglijk veel research –worden gedaan, want een heleboel dingen wisten we gewoon niet. Daar hadden we een uniek, echt éénmalig team voor gevormd. Ik heb later op de wereld met tal van topbureaus kennisgemaakt, maar het toenmalige niveau en het elan van de Deltadienst heb ik nergens meer ontmoet. Het trok ook vanzelf de beste mensen aan. Uit de Deltadienst zijn verscheidene hoogleraren voortgekomen en behoorlijk wat doctors in de wetenschap. Bij het aannemen van medewerkers ging het bij ons als in het topvoetbal: als je een goede midvoor nodig hebt, zet je geen advertentie in de krant maar dan doe je dat via scouting: je speurde in de Nederlandse ingenieurswereld en op de universiteit in Delft rond en daar haalden we de keien vandaan.'

Op 1 september 1979 is Jan Agema benoemd tot gewoon hoogleraar algemene waterbouwkunde aan de afdeling Civiele Techniek van de Technische Hogeschool in Delft. Prof. Harold Schoemaker, destijds directeur van het Waterloopkundig Laboratorium, was degene die Agema polste voor het hoogleraarschap. Toen hij Agema in zijn huis in 's-Gravenzande opbelde en het professoraat voorstelde, luidde diens antwoord dat hij er even over moest nadenken. Jan Agema had echter meteen besloten om het hoogleraarschap te aanvaarden. Onderwijs had altijd al zijn grote belangstelling en sinds enkele jaren beleefde hij veel genoeg aan zijn deeltijdbaan als wetenschappelijk hoofdmedewerker kustwaterbouwkunde in Delft.

Van ambachtsschoolleerling tot Delftse professor - Jan Agema vond zo'n levenscurve zelf ook niet bepaald gering. Maar zijn reactie op de uitnodiging hoogleraar te worden was bijna onderkoeld. In de herinnering van mevrouw Agema ging het zo: 'Mijn moeder was op visite, we zaten te borrelen. De telefoon ging en ik nam hem aan. Het was professor Schoemaker. "Mag ik uw man even?" Jan praatte een poosje met de professor en kwam weer bij ons zitten, gewoon mee babbelen. Na drie kwartier vroeg ik: "Jan, wat had Schoemaker eigenlijk, die man belt tenslotte niet elke dag." "Nou", zei Jan, "hij vroeg of ik hoogleraar wilde worden." Ik bijna boos: "En dat zeg je nou pas?!" Nou, Jan was dan misschien wel rustig, maar wij helemaal niet! Onze zoon begon door de kamer te dansen met de hond en riep steeds tegen hem: "Hoi, hoi, je baasje wordt professor! En verstrooid worden hoeft niet, want dat is-ie al!"'

Prof. Jan Agema was hoogleraar in de tijd van de zogenaamde democratisering van het universitair onderwijs. *'Dat was de waanzin ten top. Daar ben ik veel tijd aan kwijtgeraakt. De studenten hadden zoveel macht en invloed dat je soms als hoogleraar geen poot kon verzetten. Maar ik was blij dat ik in de Afdelingsraad kwam, anders was ik helemaal nergens geweest. Je had daar drie fracties: de ene superlinks, de andere hooglinks en de derde middelmatig links. Ik hoorde bij de minst linkse. Bovendien was ik voorzitter van de vakgroep en ik zat in de onderzoekcommissie. Zo kon ik toch nog zaken regelen buiten de raad om. Op die manier heb ik ook het vak probabilistisch ontwerpen en risicoanalyse kunnen voorbereiden en gezorgd dat de raad akkoord ging. Al met al was het toch een lollige periode, ik zie er bepaald niet met wrok op terug.'*

Probabilistisch ontwerpen - aan die wetenschap zal altijd de naam van Jan Agema gekoppeld blijven. In januari 1992 heeft de Technische Universiteit Delft hem voor de ontwikkeling ervan zelfs een eredoctoraat verleend. Probabilistisch ontwerpen - het uitgaan van de principes dat sterkte en belasting stochasten zijn - was al gangbaar in de ruimtevaart en nucleaire wetenschap voordat de ontwerpers van de stormvloedkering in de Oosterschelde de methode gingen toepassen. Maar Jan Agema was al in 1953 met de principes bezig, toen hij in Kruiningen zijn simulaties deed voor het sluiten van de stroomgaten. Bij het ontwerp van de havenmond van Hoek van Holland werd de eerste aanzet van het probabilistisch ontwerpen gegeven. Bij het Oosterscheldewerk is het tot volle ontwikkeling gekomen. Als hoogleraar in Delft heeft Agema het als leervak vormgegeven met behulp van zijn collega-professoren Dicke en Bouma. Midden jaren tachtig zijn jonge wetenschappers als Han Vrijling en Ton Vrouwenvelder, beiden later hoogleraar geworden, probabilistisch ontwerpen aan de faculteit civiele techniek gaan doceren.

'De methodiek van het probabilistisch ontwerpen heeft het grote voordeel datje wordt gedwongen de risico's te bepalen. Bij het project Oosterschelde zaten we met drie ontwerpgroepen, de staalpoot, de betonpoot en de waterbouwers. Op een van de eerste bijeenkomsten van de groep heb ik een inleiding

gehouden over de toepassing van probabilistisch ontwerpen. Maar toen ik vroeg wat ze ervan vonden kreeg ik een eenstemmig njét! Maar dat had ik al verwacht, want civiele technici zijn de meest conservatieve wezens op aarde - vandaar dat ze ook zo laat affiniteit met het milieu hebben gekregen. Na die afwijzing heb ik rustig voorgesteld om twee of drie maanden later op de zaak terug te komen. Dat was akkoord, iedereen kon dan een beetje wennen. Toen de tijd om was, heb ik het probabilistisch ontwerpen opnieuw voorgesteld. Deze keer aanvaardde men het en toen is aan elk van de ontwerpgroepen een ter zake deskundige toegevoegd. Daarna is het geweldig gegaan. Het probabilistisch ontwerpen bij de stormvloedkering heeft een reusachtige impact gehad - nu wordt het bij tal van projecten gedaan. '

Op 1 oktober 1985 ging professor Agema met emeritaat. Hoewel 65 jaar oud had hij nog lang geen zin om rustig achterover te gaan zitten in zijn 's-Gravenzandse huis of op het balkon van het chalet in de Zwitserse bergen. Hij liet zich zonder reserve werven door Ballast Nedam, die voor de ervaring en wetenschap van de gepensioneerde professor wel enkele toepassingen wist. Agema adviseerde het grote, internationaal opererende aannemingsbedrijf vooral bij studies voor waterbouwkundige werken, waaronder een alternatief voor een stormvloedkering in de hem inmiddels zo vertrouwde Nieuwe Waterweg.



Saemangeum afsluitdam in Korea

In 1990 stopte Jan Agema met zijn werk voor Ballast Nedam en werd hij zelfstandig consultant. Net als hij in zijn Rijkswaterstaatjaren en als hoogleraar vaak had gedaan, bereisde hij nog tal van landen in Europa, de Verenigde Staten en Canada, Zuid-Amerika, Afrika, Zuid-Korea, India en Bangladesh, waar men zijn kennis gebruikte voor waterbouwkundige projecten van uiteenlopende aard.

Jan Agema beschouwt 'Venetië' en 'Jamuna' als zijn lievelingsprojecten van de afgelopen decennia. Beginjaren zeventig werd hij op een conferentie in Santander in Noord-Spanje opgebeld door iemand van het Italiaanse

ministerie van openbare werken: of professor Agema de andere dag even naar Rome wilde komen. Hij ging en werd door de directeur-generaal ontvangen, die hem dringend verzocht zitting te nemen in een team van Italiaanse hoogleraren, dat de studie, planning en ontwerp moest gaan doen voor de bescherming van de lagune en de stad Venetië. Men wilde van het panel van geleerden een eenduidige visie, geen alternatieven. Agema heeft er jaren aan gewerkt en zijn inspanningen ten behoeve van de historische binnenstad van Venetië als hele leuke job ervaren. De door hem en zijn collega's voorgestelde oplossing van een kering onderwater is later uitgewerkt maar nog steeds niet uitgevoerd.



Jamunabrug in Bangladesh

Agema's tweede favoriete project is de brug over de Jamuna, een deel van de benedenloop van de rivier Brahmaputra in Bangladesh. De Jamuna deelt Bangladesh in tweeën en is altijd een grote barrière geweest voor de economische ontwikkeling van het land. De rivier is van ontzagwekkende dimensies: op haar laagwaterbed is ze vier kilometer breed en bij hoog water reikt ze zelfs twaalf kilometer en meer van oever tot oever. Daarnaast heeft de Jamuna zeer wild water en gevaarlijke zandbanken, hetgeen de overtocht met veerboten vaak doet stagneren of tot een gevaarlijk avontuur maakt. In 1985 is Agema door de Wereldbank gevraagd om in het panel

voor een oeververbinding voor de Jamuna zitting te nemen. Omdat het om de bouw van een brug ging,

zaten er drie brugingenieurs in het panel, een openbare-werkenspecialist - en Agema als deskundige voor het natte deel, de waterbouwkunde.

'Maar al snel bleek dat bij deze bijzondere rivier juist de waterbouw het belangrijkste was. En ik was maar alleen. De brug bouwen, dat viel wel mee - het échte probleem was om de rivier onder de brug te houden. Maar ik heb goed kunnen samenwerken met mijn collega's en zo hebben we alle onderzoeken en studies kunnen doen, die we nodig achtten, ook qua budget.'

Meer dan tien jaar reisde Jan Agema met regelmaat naar Bangladesh, San Francisco en Bangkok of andere plaatsen waar de drukbezette panelleden elkaar ontmoeten konden. In zijn werkkamer in 's-Gravenzande groeide het dossier-Jamuna in de loop der jaren naar een breedte van 3,5 meter. De mappen staan er nog steeds. Jan Agema heeft prachtige herinneringen aan zijn werk voor Bangladesh. In juni 1998 is de brug in gebruik genomen. Medeschepper of niet, Jan Agema werd er niet voor uitgenodigd. Pas twee dagen voor de openingsplechtigheid kreeg hij per fax de mededeling dat hij natuurlijk welkom was. Mits hij zelf zijn vliegticket betaalde, want Bangladesh had geen geld voor buitenlandse gasten. 'Ik ben niet gegaan.'

Zondag 12 september 1999 is Jan Fokke Agema tachtig jaar geworden - ja, dat is toch wel een mijlpaal, vindt hij zelf ook.

'Ik heb een heel goed leven gehad, in alle opzichten. Ook wat betreft mijn jeugd en ouderlijk huis, wat toch de basis is voor je verdere leven. Wat mijn werk aangaat mag ik niet klagen, net zo min als over de vrouw en kinderen, die het leven me heeft gebracht. Maar ik denk bij al dat goede toch ook wel dat je er zelf veel van kunt uitlokken.'

In 1998 heeft Jan Agema besloten om het toch maar eens wat rustiger aan te doen. Hij wil niet zo veel meer reizen en hoopt steeds vaker met zijn vrouw in hun Zwitserse chalet te zijn. In 1999 heeft hij daar bij elkaar al bijna drie maanden doorgebracht. Ook in de bergen echter is bijna alles wat hij leest wetenschappelijke literatuur en gaat het in zijn aantekeningen om observaties, overdenkingen en aanbevelingen voor de projecten waarbij hij nog steeds betrokken is. Het lijkt of heel bouwend Nederland professor Agema weet te vinden. Hij is op zijn tachtigste verjaardag lid van het panel van experts voor de Maasvlakte 2, de Maaswerken in Limburg, de vijfde baan van Schiphol, de luchthaven in zee en ook houdt hij zich met de ITM bezig, de industriële tunnelmethode.

'Ik zit nooit duimen te draaien, men houdt mij full time bezig,' zegt Jan Agema zonder spijt.

In 2010 zijn Jan en Lien naar Zeist verhuisd waar Jan Agema op 23 april 2011 is overleden.

Referenties

- Agema, J.F. [1980] [Wegen in de waterbouw](#) (inaugurale rede, 1980)
[Het totaal overziende](#) (TU Delft, afscheidssymposium TU Delft, 1984)
- Koelewijn, A.R., Pals, N., Sas, M.J., Zomer, W.S. [2011] [IJkdijk pipingexperiment: Validatie van sensor- en meettechnologie voor detectie van optreden van piping in waterkeringen](#), Stowa rapport
- [Van de grond af opgebouwd](#) (symposium tgv 80^e verjaardag van prof Agema, Waterbouwdispuut, 1999)
- Visser, P.J., Smit, M.J., Snip, D.W. [1996] [Zwin '94 experiment: Meetopstelling en overzicht van alle meetresultaten](#), rapport TU Delft
- Werkgroep TAW10 (voorz. Jan Agema) (1985) - [Probabilistisch ontwerpen van waterkeringen](#) Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
- Yap, J., Verhagen, H.J. [1992] [Coastal zone management with relation to low investment solutions](#).
PIANC-PCDC seminar on ports and inland waterways, Surabaya