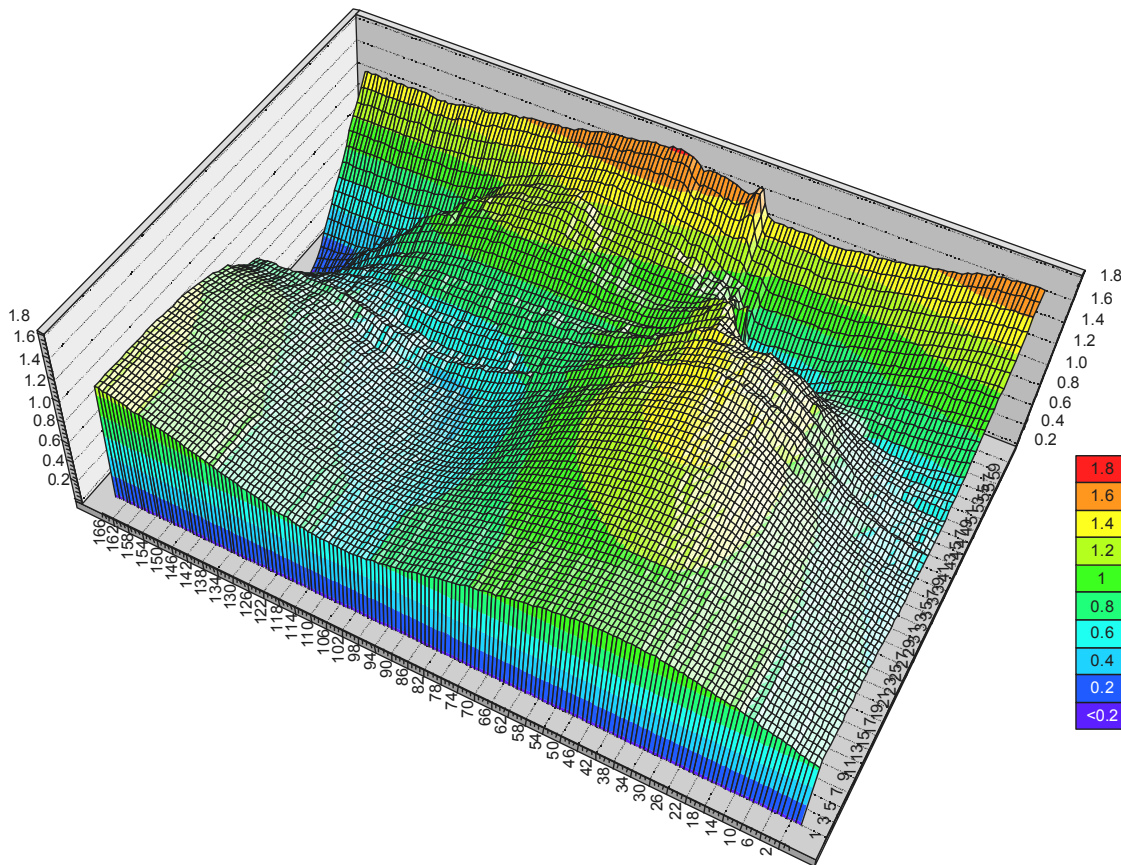


Figuur 7-4 Resultaat als Figuur 7-3, maar nu in de juiste lengte- en breedte verhouding.

7.2 Berekeningen voor T32 (70 graden scheef invallend)

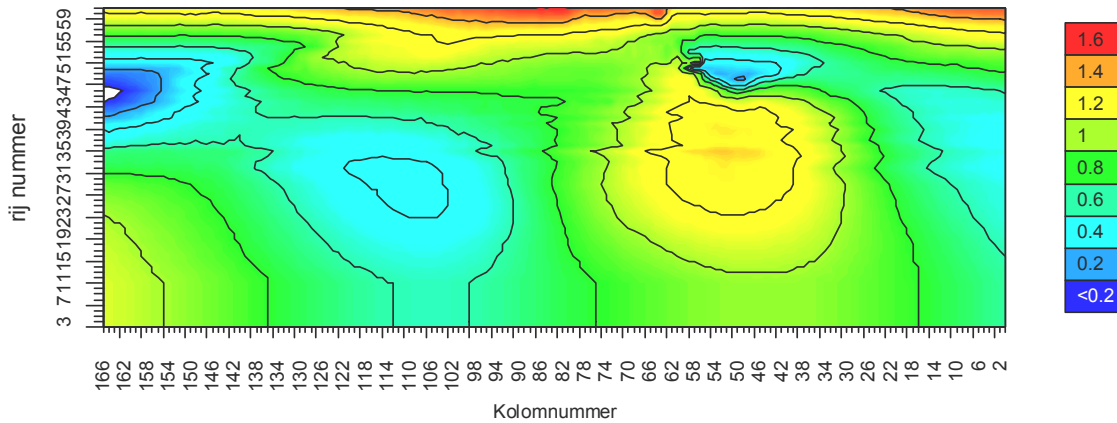
Eenzelfde som is gemaakt voor een zeer scheef invallende golf (T32 die onder 70 graden, t.o.v loodrechte inval, invalt). De gebruikte golfrandvoorwaarde is weergegeven in Figuur 7-5 en Figuur 7-6 en het resultaat van de berekening in Figuur 7-7.



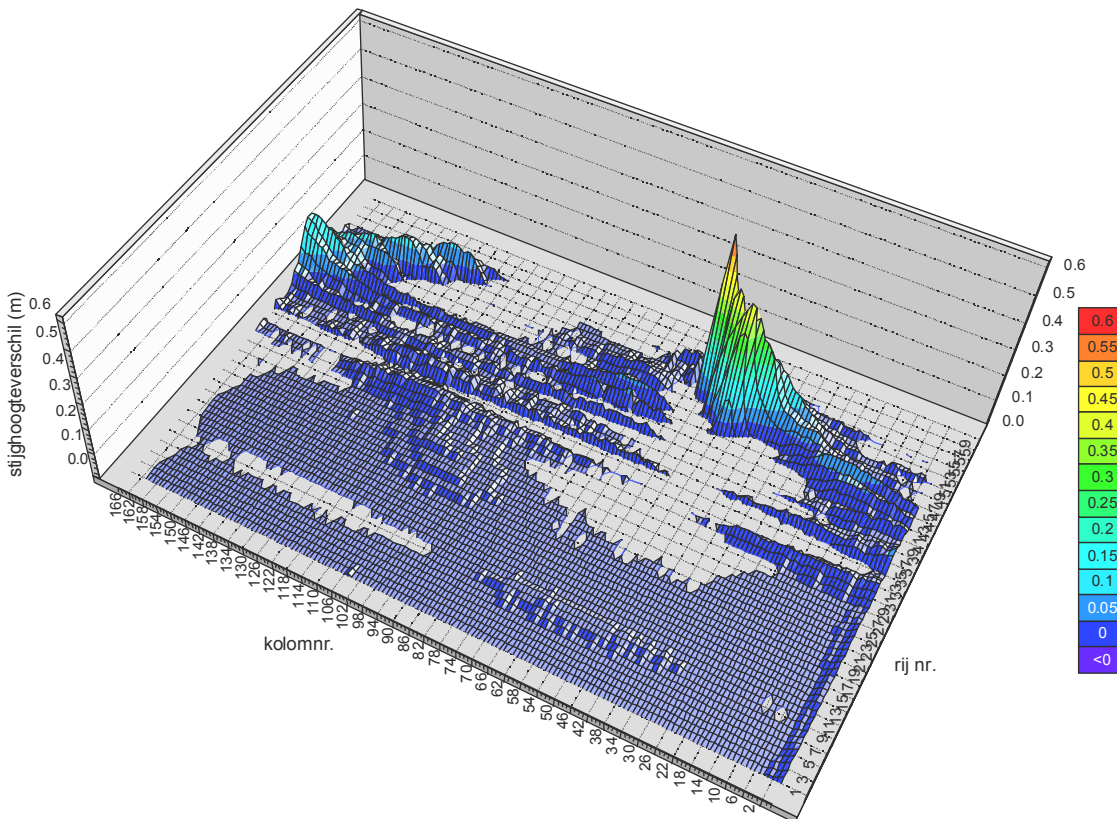
Figuur 7-5 Golfrandvoorwaarde bij proef D32 na ongeveer 7.5 s golven (schaalfactor 20).

Bij deze berekeningen bleek dat de gevolgde procedure toch enige tekortkomingen heeft. De hoogste verschilddruk ontstaat bij deze berekeningen doordat er een heel scherp horizontaal golffront uit de golfrandvoorwaarden wordt berekend. Hier is gebruik gemaakt van de relatief lage voortplantingssnelheid voor deze golf: 1,74 m/s. Echter, de golf juist vóór deze

golf heeft een voortplantingssnelheid van 6.6 m/s. Dit levert een duidelijk meer uitgevlakte golfrandvoorwaarde en zou dus lagere golfdrukken leveren. De grote variatie in voortplantingssnelheid tussen 2 golven wekt de indruk dat het misschien ook niet redelijk is om voor één golf met één voortplantingssnelheid te nemen. Bij de berekeningen met golven met slechts een beperkte hoek van inval, zoals de berekening van een golfklap in T12, is dit van minder belang omdat dan toch de golfbeweging loodrecht op het talud dominant is. Voor een zeer scheef invallende golf, zoals deze gemeten in test T32, kan dit een probleem zijn.



Figuur 7-6 Contourplot van Figuur 7-5 met juiste lengte- en breedte verhouding.



Figuur 7-7 Verloop verschildruk voor golfrandvoorwaarde van Figuur 7-5.

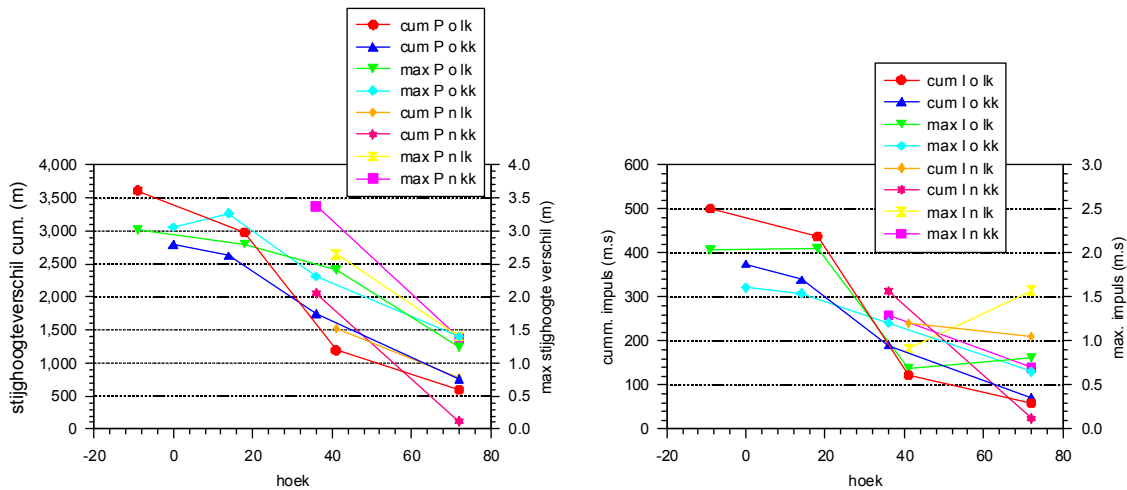
8 Invloed hoek van inval

8.1 Belasting als functie van de hoek van inval

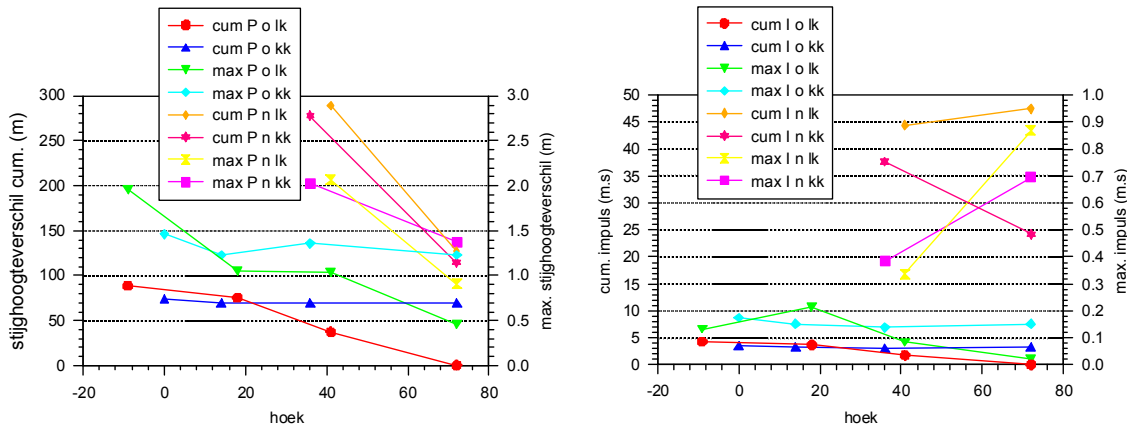
Er zijn berekeningen uitgevoerd op een blokkenveld met 54 rijen en 21 kolommen voor de berekening met een leklengte van 1,0 m en 51 rijen en 20 kolommen voor de berekening met een leklengte van 0.3 m. Bij de korte leklengte is het aantal blokken minder, omdat de spleten tussen de blokken breder zijn. Uit de resultaten zijn de tijdstippen geselecteerd waar het maximale stijghoogteverschil over de blokken meer dan 0.4 m was en naar buiten gericht. Als aan deze voorwaarde was voldaan is het maximale stijghoogteverschil opgeslagen. Na afloop van een berekening zijn alle stijghoogteverschillen opgeteld. Deze som is een maat voor de totale belasting op de zetting. Dezelfde procedure is ook uitgevoerd voor de 'impuls' (het stijghoogteverschil boven de 0.4 m maal de tijd). In Figuur 8-1 en Figuur 8-2 zijn deze cumulatieve gegevens en de maximale waarden van het stijghoogteverschil en de impuls uitgezet. Nu is bij het maken van deze grafieken een complicatie opgetreden. Tijdens het uitvoeren van de berekeningen bleek dat er een onnauwkeurigheid zat in de oplosroutine van ZSTEEN, ook bleken in de eerste serie berekeningen niet alle schaalfactoren goed verwerkt te zijn. Alle sommen waren gemaakt met een schaalfactor 20 in plaats van de in de tabel genoemde schaalfactoren. Gezien de zeer lange duur van de berekeningen (meer dan 24 uur per som) was het geen realistische optie om alle sommen op nieuw te draaien. Er is voor gekozen om die sommen waar de schaalfactor niet klopte over te doen (T21, T22, T31 en T32).

De nieuwe oplosroutine leidt tot wat hogere verschildrukken, zie Figuur 8-1 en Figuur 8-2 en Figuur 8-3 waar dit voor golf T13 in een histogram is uitgezet.

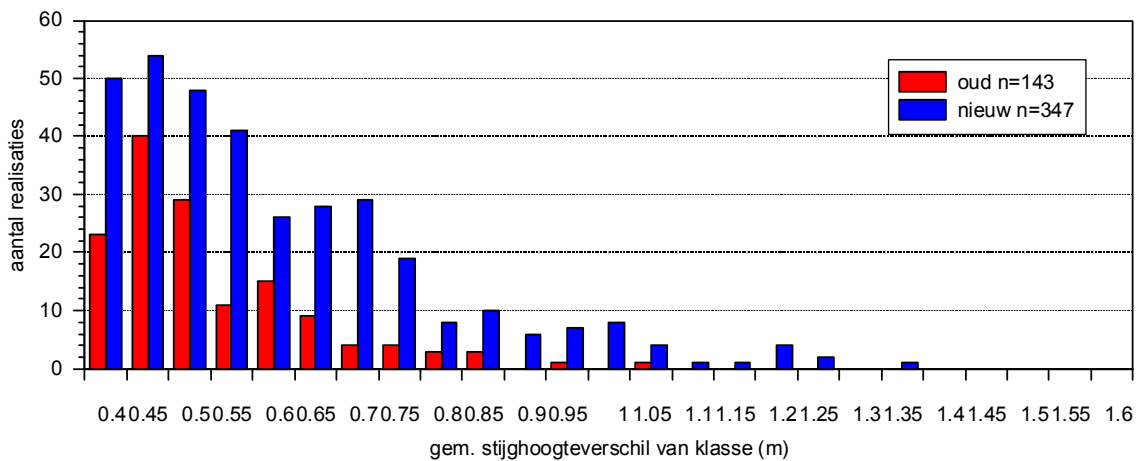
In Figuur 8-1 en Figuur 8-2 zijn de resultaten van de oude berekeningen gezet en die van de vier golven die opnieuw zijn berekend. Door deze 2 situaties en doordat er onderscheid is gemaakt tussen langkammige en kortkammige golven zijn de plots wat gecompliceerd geworden. De overall conclusie is echter in één oogopslag duidelijk. Bij grotere hoeken (dus een inval die meer afwijkt van loodrechte inval) wordt de belasting kleiner. Het maakt daarbij niet uit of er gekeken wordt naar lang- of kortkammige golven, de cumulatieve of de maximale stijghoogte en impuls, of een grote of kleine leklengte. Helemaal eenduidig zijn de resultaten niet. De maximale impuls is bij proef T31 en T32 groter dan bij T21 en T22. Hetzelfde geldt voor de cumulatieve impuls bij een leklengte van 0.3 m. Bij de leklengte van 1 m is de maximale impuls nog steeds significant lager dan de waarden gevonden bij loodrechte inval. Bij de leklengte van 0.3 m is dit niet het geval maar daar is de invloed van de nieuwe oplosroutine veel groter. Als alleen gebruik gemaakt wordt van de oude oplosroutine dan is er altijd een afname in de belasting bij toenemende hoek van inval.



Figuur 8-1 Resultaten als functie van de hoek van inval, leklengte 1 m, zie ook tekst (lk = langkammig; kk = kortkammig; o = oorspronkelijke berekening; n = verbeterde berekening)



Figuur 8-2 Resultaten als functie van de hoek van inval, leklengte 0.3 m, zie ook tekst (lk = langkammig; kk = kortkammig; o = oorspronkelijke berekening; n = verbeterde berekening)

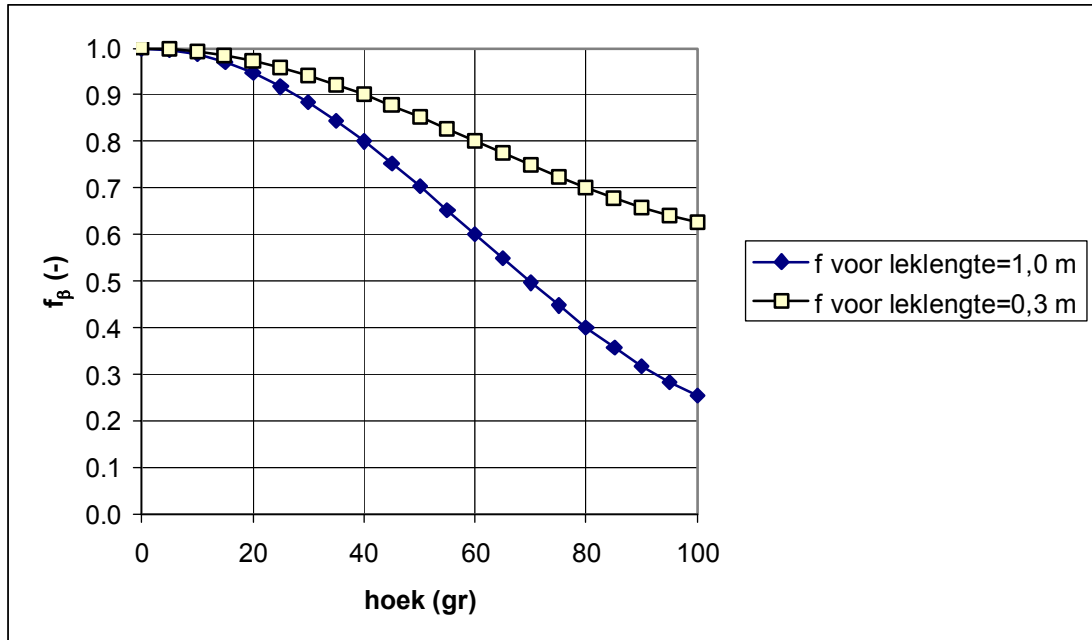


Figuur 8-3 Test T13, vergelijking tussen berekende stijghoogteverschillen met de oude en de verbeterde versie van ZSTEEN. Leklengte is 0.3 m.

Op basis van de figuren waarin het maximale stijghoogteverschil en het cumulatieve stijghoogteverschil is uitgezet als functie van de hoek van inval kan een invloedsfactor f_{β}

worden afgeleid. Deze invloedsfactor geeft de invloed van de hoek van golfaanval weer op de belasting en kan ook als invloedsfactor op de benodigde blokdikte worden gebruikt. De benodigde blokdikte is immers recht evenredig met de grootte van het stijghoogteverschil, of wellicht iets kleiner, aannemende dat de belastingduur bij scheef invallende golven niet groter is dan bij loodrechte golfaanval.

Het verloop van de invloedsfactor is getekend in figuur 8-4.



Figuur, voorlopige invloedsfactor en het ten aanzien van scheve golfaanval

In de praktijk kan als volgt met deze invloedsfactor f_β gewerkt worden:

- Voer de toetsing uit met een rekenwaarde voor de toplaagdikte $D_r = D/f_\beta$
- Maak een ontwerp met blokdikte gelijk aan $D_r = D_L \cdot f_\beta$, met D_L = benodigde dikte bij loodrechte golfaanval.

Het functievoorschrift van de invloedsfactor is als volgt:

- als $\Lambda = 1,0$ m: $f_\beta = 1 + 0,4 \cdot (\cos(1,5\beta) - 1)$
- als $\Lambda = 0,3$ m: $f_\beta = 1 + 0,2 \cdot (\cos(1,5\beta) - 1)$
- tussenliggende leklengtes: interpoleren

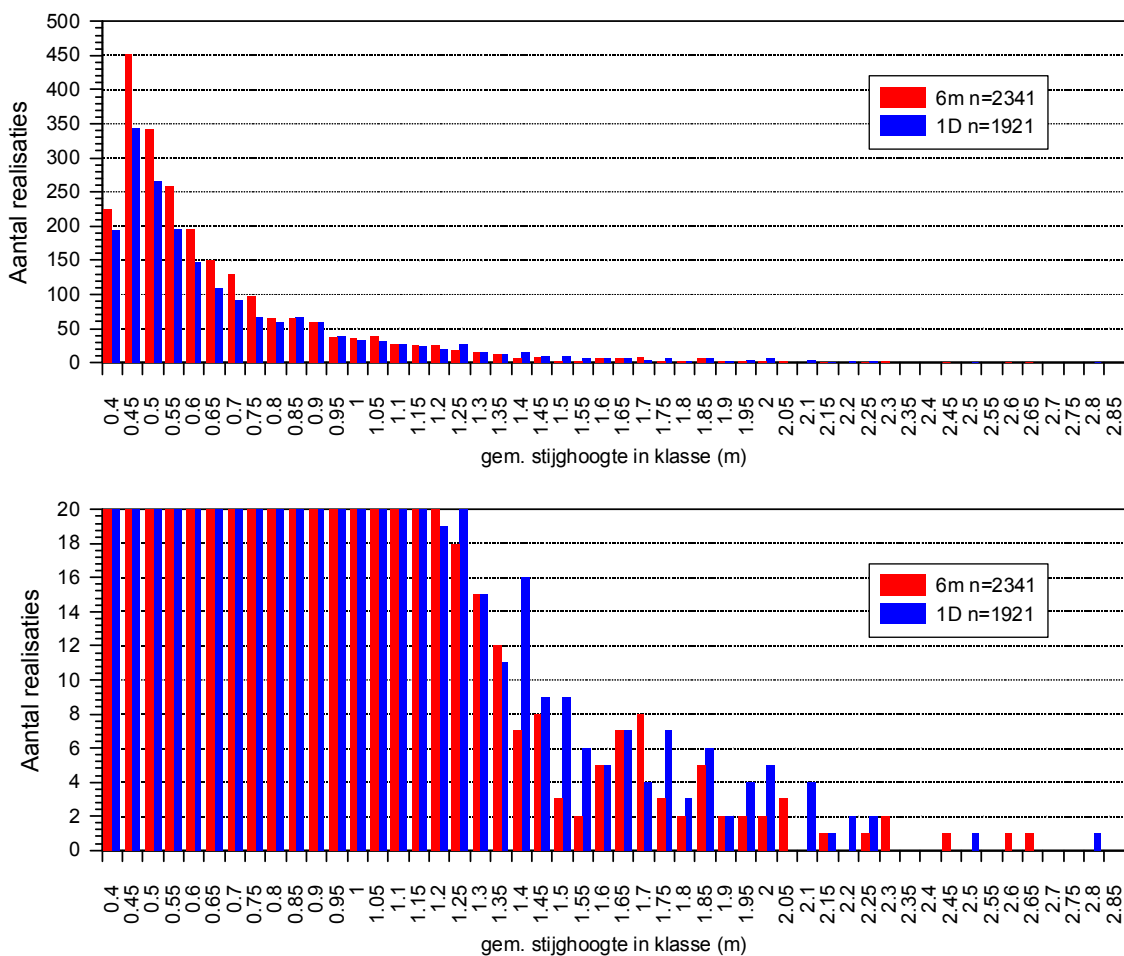
8.2 Vergelijking met ééndimensionale berekening

Voor de golfrandvoorwaarde T21 is het resultaat met een 6 meter breed blokkenveld vergeleken met de 1-dimensionale berekening waarin slechts één kolom blokken is meegenomen. In beide gevallen is gebruik gemaakt van een 'ingedikt' golfbestand. Het blijkt dat de resultaten zeer vergelijkbaar zijn voor die stijghoogteverschillen die relatief vaak voorkomen. Voor de extremen worden de verschillen groter, zie Figuur 8-4. In deze figuur is in 2 grafieken hetzelfde resultaat weergegeven, alleen is voor de onderste grafiek de as veranderd om ook bij de zeer hoge stijghoogteverschillen de aantallen nog te kunnen zien. Het blijkt dat bij de hoge stijghoogteverschillen er afwijkingen gevonden worden tussen beide berekeningen.

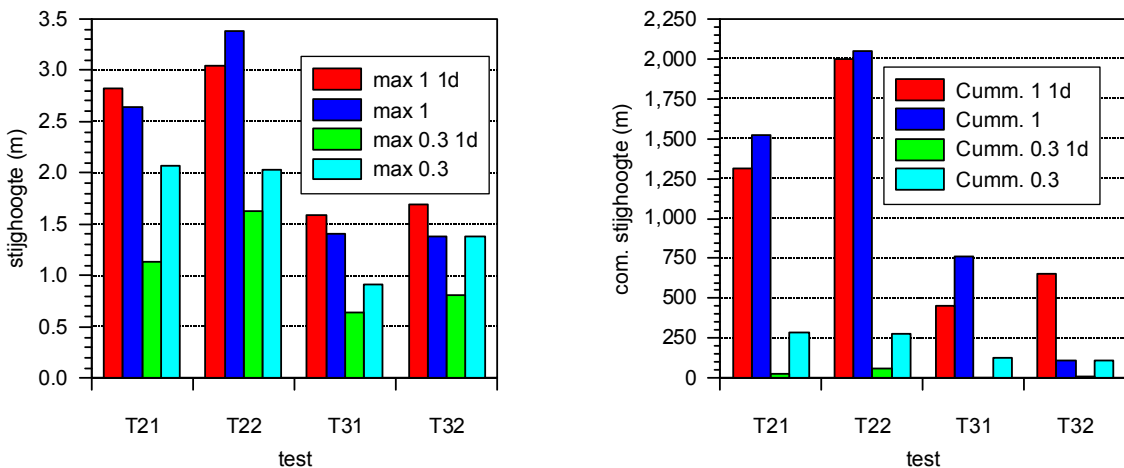
De conclusie ligt dus voor de hand dat ook met een 1-dimensionale berekening en scheef invallende golven een goede inschatting te maken is van het stijghoogteverschil over de zetting. Wel blijkt uit Figuur 8-4 dat er op sommige punten afwijkingen zijn tussen de resultaten van de 1-D som en de som met het hele blokkenveld. Zo is het aantal keer dat een stijghoogteverschil tussen de 0,425 en 0,475 m (klasse 0,45 m) werd gevonden behoorlijk groter voor de berekening met het 6 m brede blokkenveld. Hier was blijkbaar ook de horizontale stroming van belang.

De met de vernieuwde oplosroutine doorgerekende golven zijn daarom nog verder vergeleken, zie Figuur 8-5 en Figuur 8-6. Voor de golven T21, T22, T31 en T31 is een berekening gemaakt met de ingedikte golfbestanden en weer een lek lengte van 1,0 en 0,3 m. Zoals in de vorige paragraaf, is ook nu weer gekeken naar het maximale stijghoogteverschil en naar het cumulatieve stijghoogteverschil van stijghoogtes boven de 0.4. Hetzelfde is gedaan voor de impuls. Op deze manier worden dus verschillen in de berekening van de situatie met maximale verschildruk zichtbaar. Dit is vaak een extreme situatie, zoals al bleek uit Figuur 8-4. Door vergelijking van de cumulatieve stijghoogte en impuls worden alle verschillen opgeteld.

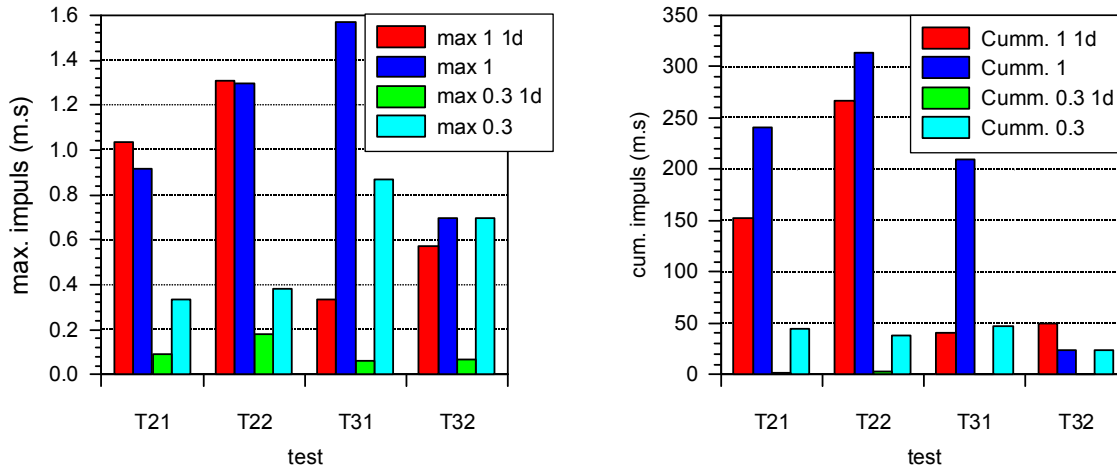
Hoewel genoemde figuren dus extremen weergeven, blijken de verschillen tussen een 1-D berekening en de 6 m berekening bij een lek lengte van 1,0 m nog wel mee te vallen, zeker bij de golfdrukregistraties T21 en T22. Bij de onder 70 graden scheef invallende golven worden de verschillen wat groter, zoals ook te verwachten was (zie ook Figuur 7-6 en Figuur 7-7, met significante horizontale verhangen in de stijghoogte op het talud). Voor de korte lek lengte worden de verschillen groter.



Figuur 8-4 Test T21, histogram met verdeling van maximale stijghoogte voor een 1-D berekening en een berekening voor een blokkenveld van 6 m. lengte, leklengte is 1m.



Figuur 8-5 Maximaal stijghoogteverschil (max) berekend voor verschillende golfdrukregistraties en cumulatieve stijghoogteverschillen (cumm.) voor deze golven over de gehele registratie. Leklengte 1 (max 1 of cumm. 1) en 0.3 m (max 0.3 of cumm. 0.3).



Figuur 8-6 Maximale impuls berekend voor verschillende golfdrukregistraties en cumulatieve impuls voor deze golven over de gehele registratie. Leklengte 1 en 0.3 m.

9 Conclusies

De studie naar de invloed van scheef invallende golven op een talud heeft geleid tot de volgende conclusies:

1. De routine die wordt gebruikt om golven met een zware belasting te selecteren, vindt niet alle golven met een zware belasting. Het verschil tussen een berekening met een geselecteerde golf en een volledige golf is aanzienlijk. Relatief geven beide soorten registraties wel een vergelijkbare uitkomst (de verhouding tussen het aantal tijdstippen met een maximaal stijghoogteverschil van bijvoorbeeld 1,0 en 0.5 m is ongeveer gelijk).
2. De resultaten worden beïnvloed door de voortplantingsnelheid van de golven. Deze blijkt tussen 2 golven sterk te variëren. Ook blijkt de voortplantingssnelheid langs het talud, zoals die is gevonden uit de drukregistraties, af te wijken van de voortplantingsnelheid langs het talud berekend vanuit de gemiddelde waarden voor de golfhoogte, de periode en de hoek van inval.
3. De horizontale golfdrukverdeling is ondergeschikt aan de verticale golfdrukverdeling voor de berekening van de stijghoogteverschillen op het talud voor golven met een invalshoek tot 40 graden ten opzichte van de verticaal en een leklengte van 1,0 m. Een ZSTEEN berekening met één kolom blokken in die gevallen redelijk dezelfde antwoorden als een berekening met een 6 m breed blokkenveld. Uit ervaringen met STEEN3D is overigens bekend dat het wel belangrijk wordt om met een blokkenveld te rekenen in de buurt van een overgangsconstructie die in de kolomrichting is aangebracht. Voor een situatie met een korte leklengte (0.3 m) en zeer scheef invallende golven (70 graden) wijken de resultaten van de 1-D sommen significant af van de berekeningen met een 6 m breed blokkenveld.
4. Berekeningen met de voor dit onderzoek geleverd golfdrukregistraties geven in een enkel geval zeer hoge stijghoogteverschillen, zeker bij berekeningen met een leklengte van 1,0 m. Vaak betreft het hier kortdurende pieken die ontstaan rondom golfklappen. Deze pieken zijn mogelijk te kortdurend om direct schade te veroorzaken, maar kunnen wel tot gevolg hebben dat blokken een beetje bewegen.
5. Scheef invallende golven lijken geen hogere, maar een lagere belasting te geven op het talud. Opmerkelijk is echter dat er een significant verschil is tussen de verschillende proeven. Een reden hiervoor is niet gevonden. De invloed van de hoek van inval op de belasting is afhankelijk van de leklengte. Bij $\Lambda = 1$ m is de invloed veel groter dan bij $\Lambda = 0,3$ m.
6. Op basis van de berekende stijghoogteverschillen wordt voorlopig het volgende voor de praktijk geadviseerd:
 - Voer de toetsing uit met een rekenwaarde voor de toplaagdikte $D_r = D/f_\beta$
 - Maak een ontwerp met blokdikte gelijk aan $D_r = D_L \cdot f_\beta$, met $D_L =$ benodigde dikte bij loodrechte golfaanval.De invloedsfactor f_β kan als volgt bepaald worden:
 - als $\Lambda = 1,0$ m: $f_\beta = 1 + 0,4 \cdot (\cos(1,5\beta) - 1)$
 - als $\Lambda = 0,3$ m: $f_\beta = 1 + 0,2 \cdot (\cos(1,5\beta) - 1)$
 - tussenliggende leklengtes: interpoleren

Referenties

Bezuijen A, Klein Breteler M., 1992

Oblique wave attack on block revetments

Proc. ICCE 1992, Venice

Bezuijen A., 2000

Invloed scheve golfaanval, GeoDelft rapport versie 2004.3

23-08-2004

Coeveld, 2003. *Software ontwikkeling en toepassing voor kwantificering van golfklappen.*

WL | Delft Hydraulics rapport H4328, december 2003

Gadd, 1990

Gadd P.E. Leidersdorf G.B. 1990. Recent performance of linked mat armor under wave and ice impact.

Proc. 22th Int. Conf. Coastal Engineering, Delft

Hijum, 2004

Memo i765-07: Mail Robert dd 40625+ Achtergrond Deelplan 3 + Meetrapport WL-H4330 + WL-H4420

eerste deel analyse proeven met scheve golfaanval, augustus 2004

Kuiper, C. (2003)

Meten van drukrandvoorwaarden bij scheve golfaanval, onderzoeksprogramma kennisleemtes

steenbekledingen, WL | Delft Hydraulics, Meetrapport H 4330, december 2003

Klein Breteler, M. (1990)

Taludbekleding van gezette steen, waterbeweging en golfbelasting op een glad talud

WL | Delft Hydraulics rapport M1795, deel XVII band 2, maart 1990

Kuiper, C. (2000)

Databestand Zsteen

WL | Delft Hydraulics rapport H3753, november 2000,

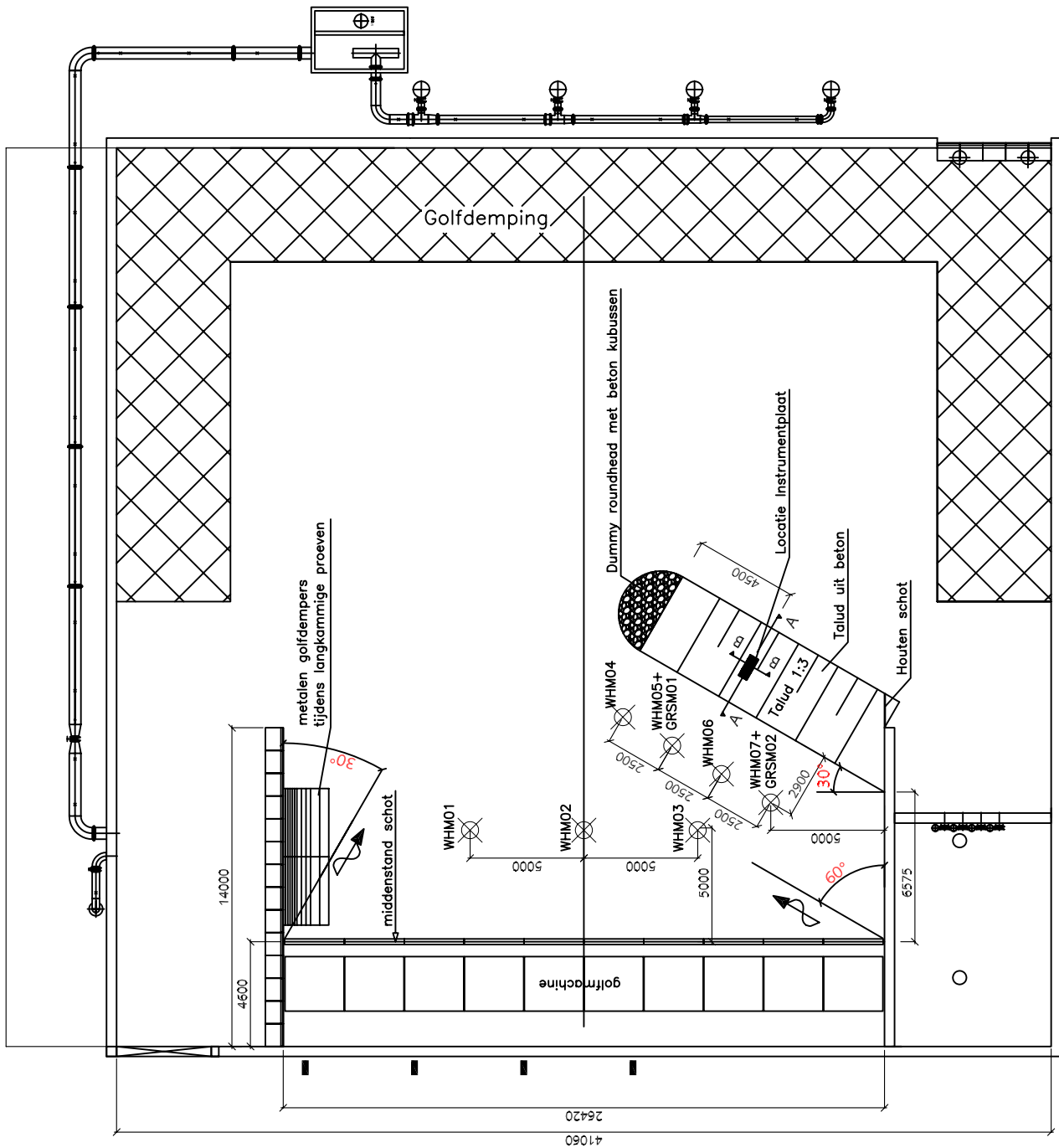
Van der Meer, 2003

Mondelinge toelichting tijdens vergadering

A Overzicht van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

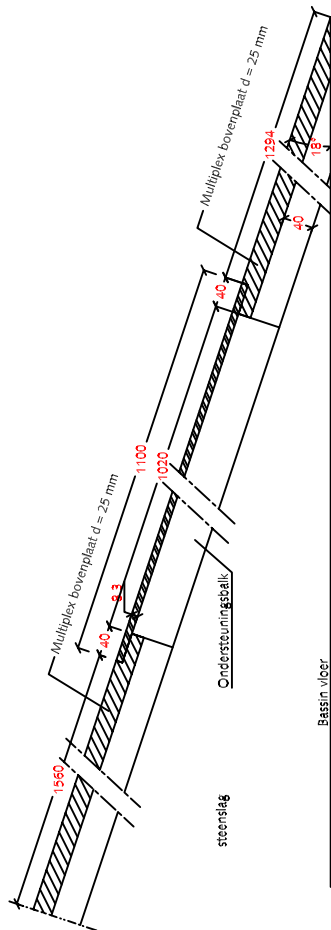
B Modelopstelling

Vinje bassin
 tot. opp. = 1620 m²
 muurhoogte vanaf modelvloer = 1,2 m
 modelvloer = ZZhalvloer + 130 mm

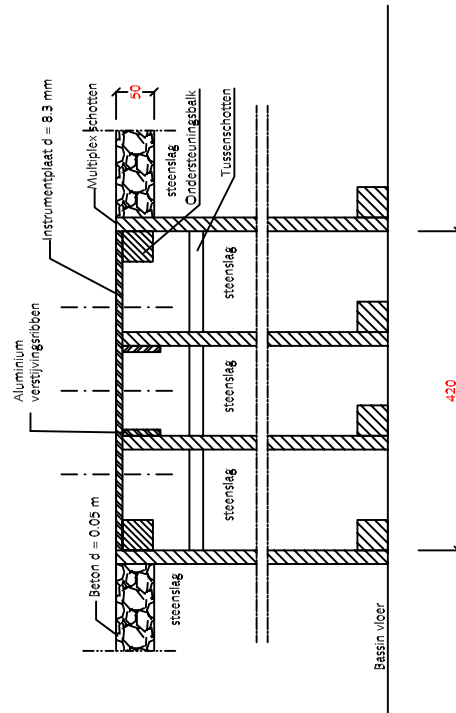


Modelopstelling in het Vinjé-bassin
 Locatie van de constructie en golfhoogtemeters

BY: ck
 Date: 20-11-03



DOORSNEDE A-A



DOORSNEDE B-B

Doorsnede A-A en Doorsnede B-B

maten in mm

BY: ck

Date: 01-12-03

WL| Delft Hydraulics

H 4329

FIG. 2

