

**MEMO**

Date 3 mei 2019  
 Contact [REDACTED]  
 Phone [REDACTED]  
 E-mail [REDACTED]  
 Subject

Review van tweede versie “Onderbouwing golfklappen spuimiddelen – theoretische onderbouwing”

**Inleiding**

Op 20 maart is door Rijkswaterstaat aan ons gevraagd om Levvel te adviseren over het bepalen van de golfbelasting door golfklappen op de stormdeuren in de kunstwerken in de Afsluitdijk. We hebben eerder geadviseerd over de literatuur die beschikbaar is over dit soort belastingen en een eerste review gedaan. Op 23 april hebben we van Rijkswaterstaat een document van Levvel (referentie ASD-NOT-0443, datum 19 april 2019) ontvangen waarin de berekening van de klapbelasting wordt beschreven. Dit Levvel memo van 22 maart 2019 heeft als onderwerp “Onderbouwing golfklappen spuimiddelen – theoretische onderbouwing” en is een update van het eerder gereviewde document met dezelfde referentie. De onderhavige memo is een review van dit Levvel memo. Het is niet bedoeld om apart te lezen, dus voor literatuur en notatie wordt verwezen naar de Levvel memo. Dit advies is deel van onderzoeksproject Dynamica van kunstwerken (RWS zaaknummer 31120028, TUD projectcode C71H06).

**Scope**

In de Levvel memo worden drie modellen gepresenteerd. Het Wood en Peregrine, 1996 (W&P96), is het meest generiek bruikbaar is en wordt voornamelijk gebruikt. Deze review gaat over dit model. Dit model is door ons ge(her)formuleerd, en hoewel het onderzoek nog gaande is, lijkt het bruikbaar voor de toepassing. Ook is de invloed van een spleet in een koker met klappen bij de ingang toegevoegd. Hier is al veel over gediscussieerd, en de methode lijkt correct geïmplementeerd (als is de doelstelling van deze review niet om de implementatie in het rekensheet uit te pluizen).

Omdat er een aantal (empirische) factoren in de aanpak zitten wordt in onderhavige document vooral gekeken of het totaal aan aannamen volgens ons tot een redelijke schatting van de verwachtingswaarde van de maximale klapbelasting. De review richt zich vooral op de gekozen aanpak van het “TUD-klapmodel” en de gebruikte factoren, en minder op de gebruikte randvoorwaarden. Zo is de vermoeiingsberekening, die nog summier was beschreven, derhalve niet in detail bekeken, ook aangezien ik begreep dat hier nog aan gewerkt wordt. De review gaat voornamelijk over de klapbelasting, en niet over de constructie (effecten als natrillen en dynamische amplificatie).

**Review**

Nieuw aan het model ten opzichte van het vorige document is dat een model voor de aanwezigheid van een spleet in een lange koker meegenomen is. Nu is de stootvermindering door de spleet afhankelijk van de spleetgrootte ten opzichte van de schuifhoogte. Deze spleet is gunstig voor de belasting door klappen aan de ingang van de koker.

De kracht door een golfklap wordt uitgerekend volgens:

$$F = 2/dt \beta C_i C_s \rho \lambda V W_i^2$$

dt = klapduur

$\beta$  = bounceback-factor (1 voor klap zonder lucht, tot maximaal twee voor totale reflectie van het

wateroppervlak tijdens klap.

$C_i$  = impact-factor, is functie van  $H/W$ , volgens Wood & Peregrine (1996)

$C_s$  = spleetfactor

$\lambda V$  = opwaartse snelheid van oppervlak tijdens klap

$V$  = opwaartse snelheid volgens lineaire golftheorie

$\lambda$  = verhogingsfactor snelheid door net-lineaire effecten

$W_i$  = klaplengte, gelijk aan overhanglengte  $W$  voor kleine overhanglengtes, gelijk aan  $\alpha L$  voor grote overhang- / kokerlengtes

$L$  = lokale golflengte

$H$  = schuifhoogte

$W$  = overhang- / kokerlengte

Hieronder staat een lijst van factoren die de uitkomst van deze som bepalen, en wordt de aangenomen waarde kort staat bediscussieerd. Als mogelijk wordt een grove inschatting gedaan van de onder- (negatief percentage) of overschatting (positief percentage).

- Rechte golfval is aangenomen, dit lijkt me een conservatieve aanname. Een waarde is hier moeilijk voor in te schatten. (+)
- Deze klapbelasting komt bovenop de 'normale' golfdruk, dit aspect mist nog geheel in de memo. Maar aangezien dit als normale belasting kan worden gezien, kan ook gekozen zijn deze niet hier te rapporteren. Er is wel gezien in simulaties en metingen dat ten tijde van de klap de 'normale', pulsating, golfbelasting (zoals uitgerekend met de Goda formule) al voor 1/3 tot 1/2 aanwezig is tijdens de klap.
- Reflectiecoëfficiënten van 0,7 (IJsselmeer) en 0,8 (Waddenzee) zijn aangenomen. De waarde van 0,7 is gemeten voor een situatie met overhang. Voor de NSM aan de Waddenzeezijde, waar de schuiven zich ook in een koker bevinden, lijkt de 0,8 dus een conservatieve waarde.
- De gekozen waarde voor de factor voor de drukstootvergroting door lucht ( $\beta$ ) staat niet gegeven, daarom neem ik aan dat deze 1 is aangenomen. Omdat de klappen het kortst duren voor situaties zonder lucht (waarvoor  $\beta=1$ ), lijkt het redelijk deze waarde te gebruiken. In de vorige review is dit besproken en werd veiligheidshalve nog een waarde van 1,2 aanbevolen, maar dit lijkt een redelijke aanname. (0%)
- Klapduur (100 ms genomen). Lijkt ietwat conservatief omdat een range van 80-180 ms gemeten is, en schaaffecten de klapduur langer zullen maken (+10% tot +20%).
- De volgende factoren in de hierboven genoemde formule worden in samenhang besproken, omdat de resulterende stoot met de OpenFOAM berekeningen vergeleken is.
  - De standaard W&P96 oplossing wordt toegepast om de stoot te bepalen bij een klap aan het uiteinde van een (dichte) koker, met de aanname dat  $W=W_i$ . Dit kan een beperkte onderschatting van de stoot geven.
  - Er wordt aangenomen dat de opwaartse snelheid van het wateroppervlak met lineaire golftheorie berekend kan worden ( $\lambda=1$ ).
  - Zoals besproken bij Level gaf de OpenFoam berekening voor een iets lagere waterstand (hbbb - 0,5 m), met aannames voor andere factoren van  $\lambda=1$ ,  $\beta=1$ ,  $W_i/W=1$ , een klaplengte van  $W_i = 0,15L$  (dus  $\alpha = 0,15$ ). Dus lijkt de gebruikte waarde van  $\alpha = 0,125$  (of  $W_i=1/8L$ ) niet-conservatief, ook gezien de beperkte hoeveelheid berekeningen die gedaan is. (-20%)
- We hebben verschillende waarden voor  $C_s$  gegeven. Voor lange overhangen (kokers) zijn er twee formules gegeven, afhankelijk van de plek van de spleet. Van deze twee lijkt de meest

conservatieve (vergelijking 5 uit ons advies van 12 april) gebruikt te zijn in de berekeningsheet (dit kon ik niet in de memo terugvinden). (+0% tot +20% bij kokers)

- In de bepaling van de snelheid en lengte van de extreme golf wordt de golfperiode  $T_p$  toegepast. Goda (2000) beveelt  $T_s$  hiervoor aan. Aangezien de snelheid bij kortere periode toeneemt, maar de golflengte (en daarmee klaplengte) af, kan dit zowel positief als negatief werken (hogere  $V$ , kleinere  $W_i$  bij koker, dus bij een koker: +10% en bij een korte overhang -10%)
- Battjes&Jansen wordt gebruikt voor het bepalen van de extreme golven binnen een onregelmatig golfveld. Dit maakt dat de extreme golven wat lager zijn dan volgens de Rayleigh verdeling. Het lijkt echter dat bij totaal vlakke bodems de verdeling weer meer richting een Rayleighverdeling tendeeert. Dit geeft een onderschatting voor een geheel horizontale bodem (-5% a -10%)

Als een spleet wordt toegepast kunnen andere belastingen normatief worden. Kleinere golven kunnen zich bij lagere waterstanden eventueel door de koker heen bewegen komen, waardoor ook klappen op het plafond voor de deur, maar achter de schuif optreden. Deze golven zullen in hoogte beperkt door de overhang. Het staat niet in de memo hoe deze worden meegenomen.

Het is niet onderbouwd waarom wordt  $H_{0,15\%}$  gebruikt. De waarde lijkt van de goede orde van grootte, de vaak aangenomen 1000 golven zou leiden tot het gebruik van  $H_{0,1\%}$ .

Bij golven vanuit het IJsselmeer zal er ook een extra belasting kunnen optreden op balken die naar achteren uitsteken vanuit de schuiven. Dit kunnen zowel drag-krachten alsook golfklap-krachten zijn.

Bij een steile helling voor de kunstwerken kunnen de golven gaan breken waardoor de belasting wordt verhoogd (dit verklaart waarschijnlijk de grotere krachten in de metingen bij Deltares). Voor deze situatie is het huidige model dus niet strikt geldig, daarvoor zouden de Deltares resultaten vergeleken kunnen worden met het golfklap model waarbij de spleet tussen defensiebalk en schuif wel meegenomen is.

## Conclusie

De gevolgde aanpak door Level voor het bepalen van de golfklapbelasting lijkt realistisch. Het geheel van aangenomen factoren lijkt te leiden tot realistische gevallen volgens de huidige kennis, al lijkt voor het klapmodel voor een koker het gebruik van  $W_i = 0,15L$  (dus  $\alpha = 0,15$ ) realistischer dan de waarde  $1/8$ . Of de bijdrage van de 'pulsating' belasting ten tijde van de klap (dus ook in UGT) wel is meegenomen is niet duidelijk. Ook de klappen door de golven in de kokers achter een mogelijke spleet dienen meegenomen te worden, zodra de klappen bij de ingang van een koker dermate door een spleet gedempt worden dat ze niet meer normatief zijn.

Gezien de hoeveelheid aannamen, wordt het gebruik van een goede veiligheidsfactor op deze berekeningen wel aanbevolen.