Deltares

Enabling Delta Life

Afstemming Leidraad Kunstwerken en Eurocode

activiteit 2: belastingfactor dagelijkse omstandigheden

Deltares

Afstemming Leidraad Kunstwerken en Eurocode

activiteit 2: belastingfactor dagelijkse omstandigheden

Ton Vrouwenvelder (TNO)
Ed Calle

1204875-002

© Deltares, 2012

Deltares

Titel
Afstemming Leidraad Kunstwerken en Eurocode

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Waterdienst	1204875-002	1204875-002-GEO-0011	14

Trefwoorden
Kunstwerken natte waterbouw/ waterkeringen/ veiligheid/ belastingfactoren

Samenvatting
Het van kracht worden van de Eurocode heeft invloed op ontwerpberekeningen bij waterkerende kunstwerken die deel uitmaken van primaire waterkeringen. De huidige Leidraad Kunstwerken (LK, 2003) is afgestemd op de oude regelgeving (NEN 6700). RWS heeft Deltares gevraagd na te gaan in hoeverre veiligheidsfactoren in de Leidraad Kunstwerken moeten worden aangepast om een goede afstemming met de Eurocode te krijgen.

Twee situaties worden onderscheiden, namelijk vervalbelastingen bij extreme hoogwaterstanden en vervalbelastingen in dagelijkse beheerssituaties en incidentele onderhoudssituaties.

In dit rapport wordt ingegaan op de dagelijkse beheers- en incidentele onderhoudssituaties. De vraag hierbij was de mogelijkheden te onderzoeken om toepassing van de door de Eurocode voorgeschreven hoge belastingfactor op tijdelijke belastingen te vervangen door een minder strenge werkwijze. Door te werken met ontwerpwaarden van waterstanden die de vervalbelastingen veroorzaken kan de belastingfactor sterk gereduceerd worden. Dit wordt aan de hand van een (fictief en eenvoudig) voorbeeld toegelicht.

Dit rapport is het tweede van een drietal rapporten over dit onderwerp. Het eerste en derde rapport hebben betrekking op vervalbelastingen bij extreme hoogwaterstanden van het buitenwater.

Referenties
Referenties zijn gegeven als voetnoot

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	Mrt 2012	Ton Vrouwenvelder (TNO) Ed Calle	EC	Harry Schelfhout Martin van der Meer (Fugro)		Jos Maccabiani	

Status
concept
Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1 Inleiding **1**
1.1 Probleemstelling 1
1.2 Vragen aan Deltares 1
1.2.1 Vraag 1 2
1.2.2 Vraag 2 2
1.3 De opdracht en dit rapport 3
1.4 Leeswijzer 3

2 Ontwerpwaarden voor waterstanden **5**
2.1 Nadere omschrijving van het probleem 5
2.2 Achtergrond van de belastingfactor van 1,5 in de Eurocode + Nationale Annex 5
2.3 Belastingen op kunstwerken 7

3 Conclusies **13**

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Het van kracht worden van de Eurocode NEN-EN 1990 (Eurocode) en de Nationale Annex (NA) in 2010 heeft consequenties voor het ontwerpen van kunstwerken in de Natte Waterbouw die (tevens) de functie van primaire waterkering hebben.

Kunstwerken werden vóór die tijd ontworpen met behulp van de Leidraad Kunstwerken (2003). In deze Leidraad wordt uitgegaan van eisen ten aanzien van constructieve betrouwbaarheid, die gerelateerd zijn aan beveiligingsnormen voor primaire waterkeringen in de Waterwet (voorheen de Wet op de Waterkering). De betrouwbaarheidseisen (in termen van vereiste betrouwbaarheidsindices) zijn vertaald in aan te houden belastingfactoren op door waterstandsverschillen geïnduceerde vervalbelastingen op constructies en constructieonderdelen. In combinatie met materiaalfactoren conform de algemene regelgeving (NEN 6700) leveren deze belastingfactoren ontwerpen met de vereiste betrouwbaarheid conform de Waterwet.

Naast de betrouwbaarheid als waterkering gelden eisen met betrekking tot de constructieveiligheid, die in de algemene regelgeving zijn vastgelegd. Voor zover de eisen conform de Waterwet en de algemene regelgeving verschillen, is de strengste van de twee maatgevend voor het ontwerp. Bij de vroegere algemene regelgeving (NEN 6700) was de eis met betrekking tot constructieve veiligheid minder streng dan de eisen die voortkwamen uit de Waterwet. Het gevolg hiervan was dat waterkerende kunstwerken, die ontworpen werden conform de Leidraad Kunstwerken, automatisch ook voldeden aan de eisen ten aanzien van constructieve betrouwbaarheid in de NEN 6700.

Met de Eurocode en NA zijn veranderingen in de vereiste constructieve betrouwbaarheid ingevoerd. Voor, met name, constructies in de hoogste veiligheidsklasse (RC[1] 3, Reliability Class 3) is de vereiste betrouwbaarheidsindex verhoogd van 3,6 tot 4,3 (betrekking hebbende op een referentieperiode van 50 jaar). Voor waterkeringen die in deze klasse vallen is dit een strengere eis dan conform de Waterwet. Het voldoen aan de eisen in de Leidraad Kunstwerken impliceert niet langer dat ook voldaan wordt aan de algemene regelgeving.

1.2 Vragen aan Deltares

De Leidraad Kunstwerken (LK) is (en blijft) de vigerende leidraad voor het ontwerpen van waterkerende kunstwerken die deel uitmaken van primaire waterkeringen. De hierin geformuleerde eisen ten aanzien van constructieveiligheid, die voortkomen uit de beveiligingsnormen in de Waterwet, blijven vooralsnog van kracht. Maar, door het van kracht worden van de nieuwe Eurocode is de afstemming van de LK met de algemene regelgeving voor bouwconstructies in het geding. De huidige in de LK opgenomen belasting- en materiaalfactoren, die samen de gewenste veiligheid conform de Waterwet, van ontwerpen van waterkerende kunstwerken realiseren, sluiten (mogelijk) niet aan op de voorschriften voor belasting- en materiaalfactoren in de Eurocode.

---

1. *De veiligheidsklassen worden in de Eurocode aangeduid met CC, 'Consequence Class' '(Gevolgklasse). In de Nederlandse publicaties (met name op het gebied van de geotechniek) wordt de veiligheidsklasse aangeduid met RC, 'Reliability Class'. De indeling en vereiste betrouwbaarheid is identiek, dus RC1, RC2 en RC3 komen overeen met respectievelijk CC1, CC2 en CC3.*

1.2.1 Vraag 1

Gevraagd wordt hoe, met gebruikmaking van de huidige methodiek in de LK, wel een goede aansluiting aan de Eurocode kan worden verkregen.

Hierbij gaat het om situaties met extreme belastingen (maatgevende belastingen door waterstanden en golven), conform de beveiligingnormen in de Waterwet.

Een bijkomende vraag is hoe omgegaan moet worden met ‘dagelijks’ voorkomende vervalbelastingen, zoals vervalbelastingen bij schutten, maar ook vervalbelastingen in onderhoudssituaties, waarbij bijvoorbeeld een sluiskolk wordt drooggelegd. Conform de Eurocode zou op deze tijdelijke belastingen een belastingfactor van 1,5 moeten worden toegepast. Echter, bij het vaststellen van die vervalbelastingen wordt doorgaans al uitgegaan van nauwkeurig te bepalen extremen in de verschillende situaties. De hoge belastingfactor is daarom wellicht onnodig conservatief. De specifieke vraag is om een minder conservatieve belastingfactor af te leiden.

Gevraagd wordt voorgestelde aanpassingen van het gebruik van de methodiek in de LK toe te passen op een drietal demonstratie cases met verschillende beveiligingsnormen conform de Waterwet, namelijk de 1/10.000, 1/4000 en 1/1250 normen. Voorgesteld is deze cases te baseren op een drietal momenteel onderhanden zijnde ontwerpprojecten, namelijk Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk, (ESA, 1/10.000), Volkeraksluis (1/4000) en Heumen of Meppelerdiepsluis (1/1250). Met deze toepassingen worden consequenties van de nieuwe regels volgens de Eurocode, ten opzichte van het vroeger vigerende NEN voorschrift, zichtbaar gemaakt.

1.2.2 Vraag 2

Een tweede vraag betreft het volgende. In de aanpak volgens de LK worden vereiste beveiligingsniveaus bij het ontwerpen gerealiseerd middels belastingfactoren op vervalbelastingen op constructies (of constructieonderdelen), bij volgens de beveiligingsnormen in de Waterwet behorende maatgevende waterstanden en golfbelastingen. Er wordt als het ware gerekend met ‘zwaar water’, waarbij aangrijpingspunten van de krachten op constructieonderdelen niet veranderen door de belastingfactor.

Gevraagd wordt om na te gaan of (en hoe) deze aanpak met belastingfactoren vervangen kan worden door een werkwijze waarmee ontwerpwaarden voor de aan waterstand en golven gerelateerde belastingen worden bepaald, waarmee aan de veiligheidseisen wordt voldaan. Net als bij belastingfactoren in de LK zouden hierin mogelijk ook de additionele veiligheidsfactoren op materiaalfactoren, nodig bij constructie betrouwbaarheidseisen die strenger zijn dan de algemene regelgeving, verdisconteerd kunnen worden.

Ook hierbij wordt gevraagd de voorgestelde werkwijzen toe te passen op de eerder genoemde ontwerpcases, om de effecten ten opzichte van de LK methode na te gaan.

Onder hydraulische belastingen worden bij bovenstaande vragen verstaan:

- belastingen door waterstand;
- belastingen door golven;
- belastingen door translatiegolven (aan Deltares wordt gevraagd hoe omgegaan kan worden/zou moeten worden met deze belastingen).

1.3 De opdracht en dit rapport

De opdracht betreft het onderzoeken van de in paragraaf 2.2 geformuleerde vragen. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de volgende onderdelen:

1. Belastingfactoren op vervalbelastingen bij maatgevende hydraulische belastingen.
2. Belastingfactor op vervalbelastingen onder dagelijkse omstandigheden.
3. Vervangen belastingfactoren door ontwerpwaarden voor waterstanden en golfbelastingen.
4. Consequentieanalyse van gewijzigde belastingfactoren of van de werkwijze met ontwerpwaarden ten opzichte van de huidige werkwijze, aan de hand van het doorrekenen van cases.

De consequentieanalyse behoort niet tot de huidige opdracht. Om praktische redenen zal die later via een separate opdracht worden uitgevoerd, nadat nieuwe belastingfactoren, c.q. (procedures voor het bepalen van) vervangende ontwerpwaarden, zijn afgeleid.

De huidige opdracht omvat dus alleen de onderdelen 1, 2 en 3. Conform de opdracht wordt over deze onderdelen gerapporteerd in separate rapporten.

Dit rapport betreft onderdeel 2. De specifieke vraag is of op 'dagelijkse' vervalbelastingen de grote belastingfactor(en) voor tijdelijke belastingen in de Eurocode strikt van toepassing zijn en of er mogelijkheden zijn om onderbouwd die belastingfactoren te reduceren.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de achtergrond van de hoge belastingfactor in de Eurocode belicht en wordt aan de hand van een voorbeeld aangegeven hoe het gebruik van deze factor kan worden vervangen door het werken met ontwerpwaarden van belastingen. In hoofdstuk 3 volgen conclusies.

2 Ontwerpwaarden voor waterstanden

2.1 Nadere omschrijving van het probleem

Onder 'dagelijkse vervalbelastingen' bij waterkerende kunstwerken wordt hier verstaan vaak voorkomende belastingsituaties door waterstandsverschillen, bijvoorbeeld bij schutten, maar ook meer incidenteel voorkomende belastingsituaties door waterstandsverschillen, die ontstaan bij onderhoudswerkzaamheden, inspecties enzovoorts. Bij dit soort situaties worden waterniveaus betrekkelijk strikt geregeld en het gebruik was om de hieruit (bij onzekerheid veilig geschatte) voortkomende vervalbelastingen als rekenwaarden op te vatten bij het ontwerpen van kunstwerken.

Sinds de invoering van de Eurocode signaleert Rijkswaterstaat de tendens dat deze belastingen worden opgevat als variabele belastingen, waarop de belastingfactoren in de Eurocode van toepassing zijn.

De Eurocode adviseert een belastingfactor van 1,5 op variabele belastingen (althans voor gevolgklasse CC2[2]. Voor CC1 is die factor 1,35 en voor CC3 1,65). Daarbij worden belastingsituaties beoogd, zoals wind-, sneeuw- en temperatuurbelasting, die stellig veel minder beheersbaar zijn. De vraag is dan ook terecht of voor de hier bedoelde vervalbelastingen belastingen deze belastingfactoren niet veel te conservatief zijn.

In dit hoofdstuk wordt gedemonstreerd dat toepassen van de grote belastingfactoren voor variabele belastingen omzeild kan worden, door in de ontwerpberekeningen uit te gaan van ontwerpwaarden van belastingparameters, die gerelateerd zijn aan de vereiste betrouwbaarheidsindex.

2.2 Achtergrond van de belastingfactor van 1,5 in de Eurocode + Nationale Annex

Volgens de theorie in de Eurocode (EN 1990, Bijlage C) moeten ontwerpwaarden van een dominante veranderlijke belasting, die hier weergegeven wordt met belastingparameter *Q*, worden berekend met behulp van:

$$F_Q(Q_d) = \Phi(-\alpha_E \ \beta_{req}) \qquad \rightarrow \qquad Q_d = F_Q^{-1}(\Phi(-\alpha_E \ \beta_{req})) \qquad (1)$$

Hierin is:

$F_Q(\,)$ de kansfunctie van de belastingparameter *Q,* dat wil zeggen $F_Q(\xi) = Pr(Q \leq \xi)$
$F_Q^{-1}(\,)$ de inverse van de kansfunctie
Q_d de ontwerpwaarde van *Q*
$\Phi(\,)$ de standaard normale kansfunctie
α_E de probabilistische invloedscoëfficiënt voor belasting(effect)parameter *Q*
β_{req} de vereiste betrouwbaarheidsindex

NB: In de Eurocode wordt α_E gebruikt als notatie voor de invloedscoëfficiënt van belastingeffect. Onzeker belastingeffect is een ruimer begrip dan onzekere belasting. Naast

2. *De gevolgklassen CC1…CC3 komen overeen met de in het eerdere rapport [1] genoemde betrouwbaarheidsklassen RC1…RC3.*
[1] Afstemming Leidraad Kunstwerken en Eurocode; Belastingfactoren bij maatgevende waterstanden. Deltares rapport 1204875-002-GEO-0008, januari 2012

de feitelijke intrinsieke onzekerheid van de belasting speelt hierbij ook de onzekerheid in mee van rekenmodellen om belastingen of effecten van belastingen te bepalen. In de eerdere rapportage is de notatie α_S gebruikt, waarbij overigens alleen hydraulische belastingen zijn beschouwd.

Uitgaande van de ISO gestandaardiseerde waarde van de invloedscoëfficiënt voor een dominante belasting $\alpha_E = -0,7$ en een betrouwbaarheidsindex $\beta_{req} = 3,8$ (gevolgklasse CC2) komt dit neer op een overschrijdingskans van de ontwerpwaarde Q_d in de levensduur van:

$$1 - F_Q(Q_d) = \Phi(\alpha_E \ \beta_{req}) = \Phi(-2,66) = 0,004 \qquad (2)$$

Bij een karakteristieke of representatieve belasting, Q_{kar} , gelijk aan de verwachtingswaarde $Q_{0,5}$, van de maximale belasting in de levensduur (van, zeg, 50 jaar) komen we, uitgaande van een normale verdeling voor Q, uit op een belastingfactor:

$$\gamma_Q = \frac{Q_d}{Q_{kar}} = \frac{Q_{0,004}}{Q_{0,5}} = \frac{Q_{0,5} + 2,66\ \sigma_Q}{Q_{0,5}} = 1 + 2,66\ V_Q \qquad (3)$$

waarin σ_Q de standaardafwijking van Q is en V_Q de variatiecoëfficiënt van Q.

Voor $V_Q = 0,2$ volgt een waarde in de orde van γ_Q = 1,5, overeenkomend met de aanbevolen waarde in de Eurocode voor vloerbelasting, wind, sneeuw en temperatuur.

In werkelijkheid is de keuze van de belastingfactor 1,5 voor gebouwbelastingen in de Eurocode + NA veel pragmatischer tot stand gekomen en is veeleer aansluiting gezocht bij oudere niet probabilistisch onderbouwde ontwerpcodes, met name voor gebouwen.

De uitdrukking voor belastingfactor in vergelijking (3) is gebaseerd op de aanname van een normale kansverdeling van de maximale belasting gedurende de levensduur. In werkelijkheid zal de maximale belasting gedurende de levensduur, ook bij dagelijks (of anderszins frequent) voorkomende variabele belastingen volgens een extreme waarde verdeling verdeeld zijn. De eenvoudige uitdrukking in het rechterlid van vergelijking (3) geeft dus slechts een benadering.
Bij de bepaling van de belastingfactor moet ook impliciet of expliciet de <u>modelonzekerheid</u> in het belastingmodel en het globale constructieve rekenmodel te worden meegenomen. Als dit expliciet gebeurt gaat dit via de zogenaamde modelonzekerheidsfactor γ_{Sd}

De belastingfactor van 1,5 in de Eurocode + NA wordt overigens niet aanbevolen voor alle variabele belastingen. Voor verkeersbelasting op bruggen geldt bijvoorbeeld 1,35 (voor spoorbruggen 1,45). Dit maakt al duidelijk dat de 1,5 geen rigide getal is.

Van belang is dat de Eurocode zelf op het gebied van veiligheidsfactoren feitelijk niets voorschrijft. De huidige Europese verdragen voorzien in autonomie van de lidstaten in zaken van veiligheid. Strikt genomen kan elk land voor elke partiële factor een volkomen willekeurige waarde kiezen. Uiteraard valt dat niet aan te bevelen. Beter is om de gedachtegang van Bijlage C van EN 1990 als uitgangpunt te nemen en op basis van te verwachten onzekerheden en gewenst veiligheidsniveau een adequate belastingfactor te bepalen.

Van belang is verder dat in Nederland in de Nationale Annex de bepaling is opgenomen dat voor een belasting door vloeistoffen met een fysisch maximum geen hogere waarde dan 1,2 maal de fysisch maximaal mogelijke waarde in rekening hoeft te worden gebracht.

2.3 Belastingen op kunstwerken

De gedachte achter de vraagstelling van RWS is dat in tal van dagelijkse omstandigheden de belasting ofwel fysiek begrensd is ofwel beheerst wordt via van menselijke acties, zoals het op tijd open en sluiten van schuiven, het stoppen met schutten en dergelijke. We nemen als voorbeeld de schutsluis die in figuur 1 schematisch is weergegeven.

De numerieke gegevens van dit voorbeeld zijn in tabel 1 samengevat.

Bodemhoogte:	**NAP – 3,50 m**
Kanaalpeil:	varieert tussen *NAP + 3,70m* en *NAP+4,30 m*
Buitenwater jaarmaximum:	$\mu_{h,\,max}$ = *NAP+5,00 m* B_{max} = *0,50 m*
Buitenwater jaarminimum:	$\mu_{h,\,min}$ = *NAP-0,30 m* B_{min} = *0,20 m*

Het jaarmaximum wordt beschreven m.b.v. de Gumbel kansverdeling voor extreme maxima:

$$F_{h;max}(x) = exp(-exp(-\frac{2,3(x-u_{max})}{B_{max}})$$

met liggingparameter u_{max} en decimeringhoogte B_{max}. Het verband tussen gemiddelde en liggingparameter is:

$$u_{max} = \mu_{h,max} - \frac{\gamma B_{max}}{2,3} = \mu_{h,max} - 0,25B_{max} = NAP + 4,875m$$

Hierin is γ de constante van Euler (*≈0,577).*

Het jaarminimum wordt beschreven met de Gumbel kansverdeling voor extreme minima.

$$F_{h;min}(x) = 1 - exp(-exp(\frac{2,3(x-u_{min})}{B_{min}})$$

met liggingparameter u_{min} en decimeringhoogte B_{min} , waarbij:

$$u_{min} = \mu_{h,min} + \frac{\gamma B_{min}}{2,3} = \mu_{h,min} + 0,25B_{min} = NAP - 0,25m$$

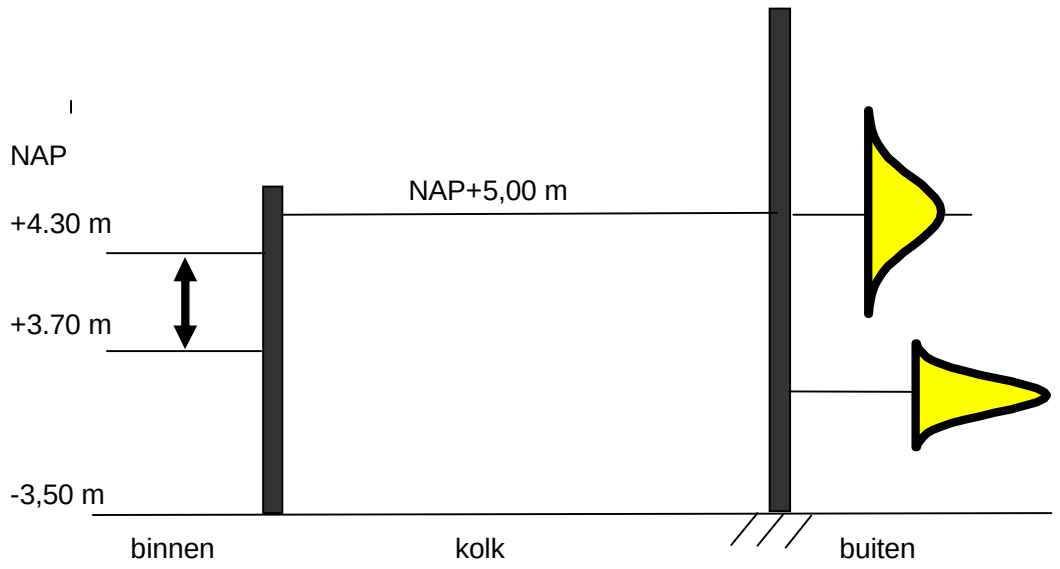
Tabel 1: gegevens schutsluis in figuur 1

Er wordt geschut tot een buitenwaterstand van 5 m.
Voor onderhoud wordt de sluis van tijd tot tijd droog gezet gedurende 1 maand.

Gevraagd wordt wat de ontwerpbelastingen op de deuren zijn die gehanteerd moeten worden bij een gegeven eis ten aanzien van de constructieve veiligheid.

Uitgangspunt is dat de grenswaarden in de praktijk goed kunnen worden waargemaakt, eventueel door in instructies een adequate marge aan te houden in verband met vertragingseffecten, translatiegolven en dergelijke. Het is van belang dat via interviews en logboeken daar een voldoende mate van vertrouwen in bestaat.

Voor constructies met een gevolgklasse CC3 gaat de Eurocode er feitelijk van uit dat ontstaan en waarschijnlijkheid van afwijkingen via een kwantitatieve risico-analyse (QRA) worden onderzocht en als 'accidental design situations' worden meegenomen. Het gaat dan om het onderzoeken van gebeurtenissen als langdurige stroomuitval, hevige regenval en dergelijke. Van groot belang daarbij is of er enige mate van correlatie kan bestaan tussen het beheersen van het kanaalpeil en de buitenwaterstand. Met name als er negatieve correlatie tussen het kanaalpeil en de buitenwaterstand is, moet hiermee terdege rekening gehouden worden in de risico-analyse. Zo'n negatieve correlatie ligt overigens meestal niet erg voor de hand.



Figuur 1: Schematische weergave van schutsluis

We hanteren in dit voorbeeld de Eurocode (EN 1990) gevolgklasse CC2 met vereiste betrouwbaarheidsindex $\beta=3,8$. En daarbij de invloedscoëfficiënt voor de belasting $\alpha_E=-0,7$; mogelijk dient voor de buitenwaterstand in sommige gevallen $\alpha_E=-1,0$ worden gebruikt omdat de verhouding tussen de spreiding in de belasting en de spreiding in de sterkte, σ_S/σ_R , groter kan zijn dan de aangegeven grens van *7,6* (zie.Bijlage C7 bij EN 1990).

Met $\beta=3,8$ en $\alpha_E=-0,7$ volgt een overschrijdingskans (P_{ov}) voor de belasting van *0,004* per levensduur ofwel *0,00008* (*1/12500*) per jaar (zie vergelijkingen (1) en (2)). Voor de buitenwaterstand geldt daarmee:
Ontwerpwaarde voor de hoogste buitenwaterstand:

$$h^*_{max} \approx u_{max} - B_{max}\, log(\, P_{ov}\,)$$

$$=NAP + 4,875\ m - 0,50\ m \times log(1/12500) = NAP+6,93\ m \qquad (4)$$

Voor het bepalen van de ontwerpwaarde van de laagste buitenwaterstand moet met een kleine onderschrijdingskans, $P_{on}=1/12500$ gerekend worden. De ontwerpwaarde wordt:

$$h^*_{min} = u_{min} + B_{min}\, log(\, P_{on}\,)$$

$$=NAP - 0{,}25\ m + 0{,}20\ m \times log(1/12500) = NAP-1{,}07\ m \qquad (5)$$

In de vergelijkingen (4) en (5) is *log( )* de logaritme met grondtal 10.

Analyse Buitendeur (dagelijkse omstandigheden)
Voor de belasting op de buitendeur is naast de buitenwaterstand het kolkpeil van belang. Een veilige benadering is om deze gelijk te kiezen aan de minimum respectievelijk maximum kanaalpeilen, zijnde *NAP+3,70 m* en *NAP+4,30 m*. We komen dan op met deze waterstanden corresponderende belastinggevallen:

1. Hoge buitenwaterstand *NAP+6,93 m* in combinatie met laag kolkpeil *NAP+3,70 m* (verval *3,23 m*) en
2. hoog kolkpeil *NAP+4,30 m* in combinatie met lage buitenwaterstand *NAP-1,07 m* (verval *5,37 m*).

De waterstanden zijn ontwerpwaarden, d.w.z. bepaald bij de waarschijnlijkheid die voor een ULS (uiterste grenstoestand) wordt geëist. Partiële factoren op de hieruit resulterende belastingen, om <u>onzekerheden over de waterstanden</u> te verdisconteren, zijn dan ook niet meer nodig.

De kolkpeilen in bovenstaande kunnen zelfs nog iets gunstiger worden gekozen, omdat daar voor een gereduceerde invloedscoëfficiënt ($\alpha_E = -0{,}7x0{,}4 = -0{,}28$) voor de niet dominante belasting mag worden toegepast en bovendien rekening mag worden gehouden met niet gelijktijdigheid van de optredende extremen. Bij een begrensde verdeling is dat laatste echter van geringe invloed.

De resulterende belasting moet zoals eerder aangegeven nog wel worden vergroot om de rekenmodelonzekerheid te verdisconteren. Hiervoor geldt standaard een invloedscoëfficiënt gelijk aan *0,4*-0,7=-0,28.* Uitgaande van een variatiecoëfficiënt voor rekenmodelonzekerheid *V=0,1* voor rekenmodelonzekerheid komen we op:

$$\gamma_{Sd} = 1 - \alpha_E\, \beta V = 1 + 0{,}28x3{,}8x0{,}10 = 1{,}12 \qquad (6)$$

Omdat de spreiding bij een (fysiek) begrensde belasting nul is geworden kan het zijn dat de modelonzekerheid de dominante belastingparameter wordt en eigenlijk

$$\gamma_{Sd} = 1+ 0{,}7x3{,}8x0{,}10 = 1{,}26 \qquad (7)$$

moet worden toegepast. Dit pleit voor de waarde van *1,2* die nu ook in de NEN6700 wordt genoemd.

Merk op dat bij sterk natuurlijk fluctuerende belastingen de rol van de modelonzekerheid vrijwel wegvalt. Men kan deze daarom in die gevallen ook zonder grote fouten achterwege laten of de lage waarde van *1,12* kiezen.

Analyse Binnendeur (dagelijkse omstandigheden)
We kijken nu naar de lagere binnendeur. Voor de hand ligt hier om het kolkpeil gelijk te nemen aan de hoogste waterstand waarbij nog geschut wordt, zijnde *NAP+5* m en het kanaalpeil gelijk aan de lage stand van *NAP +3,7m* (belastinggeval 1, verval *1,30 m*).

Omgekeerd kan het kolkpeil gelijk zijn aan de lage buitenwaterstand *NAP – 1,07* m en de kanaalstand gelijk aan *NAP + 4,3 m* (belastinggeval 2, verval *5,37 m*).

Hiermee zijn weer direct ontwerpwaarden bepaald en zijn daarom geen andere partiële factoren nodig dan de modelonzekerheidsfactor. Wegens het ontbreken van een dominante stochastische belasting is de modelonzekerheid dominant. De modelonzekerheidsfactor moet daarom zeker niet kleiner dan 1,20 worden gekozen.

Belastinggeval droogstand sluiskolk
Indien de kolk gedurende de levensduur een aantal malen wordt droog gezet in verband met inspectie en onderhoud, dienen ook hiervoor de ontwerpbelastingen te worden bepaald.

Voor de binnendeur komen we dan in eerste instantie uit op een ontwerppeil in het kanaal van *NAP+4,30 m* kanaalpeil. Indien het mogelijk is gedurende de droogstand met voldoende betrouwbaarheid een lager kanaalpeil te garanderen, dan kan dat uiteraard in rekening worden gebracht. In dat geval zal zeker een QRA moeten worden overlegd.

Voor de buitenwaterstand kan men uitgaan van een statistiek die hoort bij het seizoen en de duur van de werkzaamheden.

Als we, vooralsnog even, veronderstellen dat er geen seizoensinvloed is en de werkzaamheden om de 5 jaar met de duur van 1 maand worden uitgevoerd, dan hebben we globaal te maken met het maximum in een ongeveer een jaar (10 maanden). De ontwerpwaarde (met overschrijdingskans van *0,004*) voor de buitenwaterstand wordt daarmee:

$$NAP + 4{,}875\ m - 0{,}5\ m \times \log(1/250) = NAP + 6{,}07\ m \qquad (8)$$

Uiteraard kan met kleinere belastingen worden gerekend als voor onderhoud van het zomerseizoen gebruik wordt gemaakt; in dat geval moet uiteraard wel de waterstandstatistiek voor het zomerseizoen beschikbaar zijn.

In dit theoretische geval (geen seizoensinvloed op de waterstandstatistiek) moeten we ook bedenken dat gedurende de perioden met droog gezette sluiskolk de buitendeur als primaire waterkering voor het keren van extreme waterstanden moet functioneren. Dat betekent dat nagegaan moet worden of de bijdrage van de droogzetting perioden aan de toelaatbare faalkans voldoende klein is.

Conform de opvatting van ENW-V, is de toelaatbare faalkans in een periode van 10 jaar gelijk aan 10 keer de faalkans per jaar die aan de normfrequentie wordt gerelateerd (dus *10x0,01xnorm)*. Dit wordt als uitgangspunt genomen om ontwerpwaarden voor de (extreme) buitenwaterstand (of belastingfactoren op vervalbelastingen) te bepalen. De droogstand situaties geven extra bijdragen aan de faalkans (in 10 jaar), waarvan het totaal klein moet zijn ten opzichte die toelaatbare faalkans. Gaan we ervan uit dat de totale extra bijdrage niet groter mag zijn dan de 10% van de toelaatbare faalkans(in 10 jaar), dan is hiervoor *0,01xnorm* beschikbaar in 10 jaar. Dit wordt geleverd in twee perioden van 1 maand. Dat wil zeggen dat het faaltempo omgerekend 60 keer zo groot mag zijn: *60x0,01xnorm = 0,6 norm.* De ontwerpwaarde van waterstand, op basis van een periode van 10 jaar, die hierbij hoort, wordt berekend als:

$$h_{max,d} \approx u_{max} - B_{max} \log(\Phi(\alpha_E \beta_{eis}) / N) \qquad (9)$$

waarin α_E*=-0,7,* β_{eis}*=-*Φ^{-1}*(0,6xnorm)* en *N=10*. De ontwerpwaarden van de buitenwaterstand voor de normfrequenties van 1/1250, 1/2000, 1/4000 en 1/10000 zijn dan respectievelijk *NAP+6,37m, NAP+6,54m, NAP+6,62m* en *NAP+6,72m.*

Ook voor deze belastingsituaties moet rekening gehouden worden met modelonzekerheid.

Belastingcombinatie met golven
Indien ook belasting door golven van belang is moeten ook daar nog ontwerpwaarden voor worden bepaald. Voor de buitenwaterstand zal vaak gelden dat een ontwerp of illustratiepunt beschikbaar is. Indien op de juiste wijze bepaald kan dat worden gebruikt zonder verdere belastingfactoren, behalve de factor voor (nog niet meegenomen) rekenmodelonzekerheden in het belastingmodel en bij de berekening van het belastingeffect.

De vraag is natuurlijk of men het juiste illustratiepunt heeft gekozen. In feite kan dit alleen als bij de bepaling van het illustratiepunt de juiste mechanismevergelijking (grenstoestand functie) gebruikt is. Binnen de Eurocode worden die zaken meestal opgelost door beide belastingen een keer als dominant te beschouwen en de andere als niet dominant. Dat levert dan twee belastinggevallen op, vergelijkbaar met de vroegere ‘M en W’-methode bij het IJsselmeer. Uiteraard moet men wel op de juiste wijze rekening houden met de mogelijke correlatie tussen de beide belastingen en de duren van de topwaarden.

3 Conclusies

Toepassen van de in de Eurocode voorgeschreven grote belastingfactor van 1,5 (bij gevolgklasse CC2) en van 1,65 (bij gevolgklasse CC3) op variabele 'dagelijkse' vervalbelastingen bij waterkerende kunstwerken kan omzeild worden door te rekenen met ontwerpwaarden van waterstanden. De Eurocode geeft hiervoor aanwijzingen in bijlage C van de EN 1990.

Ontwerpwaarden voor waterstanden kunnen bepaald worden aan de hand van:

1) harde fysische maxima of minima, of maxima dan wel minima die beheersmatig worden begrensd
2) de statistiek van waterstanden. In dat geval gaat het om waterstanden die met bepaalde toelaatbare (kleine) kans worden overschreden (of onderschreden)

In geval het gaat om beheersmatig begrensde maxima of minima zal via een risico-analyse de betrouwbaarheid van de beheersmaatregelen moeten worden onderbouwd en het risico van het falen ervan geïnventariseerd.

In geval 2) worden de toelaatbare kansen op overschrijden of onderschrijden afgeleid aan de hand van een vereiste betrouwbaarheidsindex en gestandaardiseerde invloedscoëfficiënten. Met behulp van de toelaatbare kansen en de kansverdeling worden ontwerpwaarden berekend.

De vereiste betrouwbaarheidsindex wordt ontleend aan de gevolgklasse van de Eurocode waar aan voldaan moet worden. Voor gevolgklasse 3 is de vereiste betrouwbaarheidsindex minimaal $\beta=4,3$, voor de gevolgklasse 2 is de vereiste betrouwbaarheidsindex minimaal $\beta=3,8$.

Mogelijk moeten deze waarden groter zijn, wanneer aan onderdelen van de constructie hogere veiligheidseisen worden gesteld. Dat kan het geval zijn wanneer de constructie bestaat uit een seriesysteem van onafhankelijke (hoofd)onderdelen waarbij het bezwijken van één onderdeel het bezwijken van de constructie als geheel tot gevolg heeft. Uit een foutenboom analyse moet dan blijken wat de vereiste betrouwbaarheidsindices voor de onderdelen zijn.

In het rekenvoorbeeld is voor een eenvoudige schematisering van een schutsluis gedemonstreerd hoe ontwerpwaarden van hoge en lage waterstanden worden bepaald. In de volgende rapportage (met betrekking tot activiteit 3) gaan we nader in op een algemene procedure. Activiteit 3 gaat immers over het werken met ontwerpwaarden voor extreme waterstanden, in plaats van belastingfactoren.

Op de berekende belastingeffecten met de ontwerpwaarden van waterstanden dient nog wel een belastingfactor te worden toegepast, die rekenmodelonzekerheden (zowel bij het bepalen van de waterstanden als bij het bepalen van belastingeffecten) verdisconteert. Hiervoor wordt een factor van *1,20* aanbevolen. Deze waarde is gelijk aan de factor die in de Nationale Annex bij de Eurocode wordt geadviseerd voor een belasting door vloeistoffen, waarbij sprake is van een fysisch maximum.

Wanneer twee verschillende typen belastingen (bijvoorbeeld waterstand en golven) moeten worden gecombineerd, dan moeten voor beide ontwerpwaarden worden bepaald. Er kan dan onderscheid gemaakt worden tussen de dominante en niet dominante belastingen. Dit onderscheid komt tot uiting in de gehanteerde invloedscoëfficiënt bij het bepalen van toelaatbare kans op overschrijden, dan wel onderschrijden, van de ontwerpwaarde van de belasting. Voor dominante component in de belastingen is de (ISO gestandaardiseerde) invloedscoëfficiënt $\alpha_S=-0,7$, voor de niet dominante component mag de gereduceerde invloedscoëfficiënt $\alpha_S=-0,7x0,4=-0,28$ worden gebruikt. Wanneer a priori niet duidelijk is welke van de twee componenten dominant moet de maatgevende combinatie gezocht worden. Dit kan door eerst de waterstand als dominant te beschouwen (en dus de golven als subdominant) en vervolgens de golven als dominant (en de waterstand als subdominant).

Bij incidentele belastingen, zoals drooglegging van een sluiskolk ten behoeve van onderhoud, waarbij de belasting voortvloeit uit een in de tijd stochastisch fluctuerende waterstand, mag voor de berekening van de ontwerpwaarde de korte duur van de incidentele belasting worden verdisconteerd.