

## Summary (in Dutch)

De standaardisatie van de container heeft een revolutie in de transportwereld veroorzaakt: gespecialiseerde schepen, kranen en andere machines werden ontwikkeld om de tijd die nodig is voor het laden en lossen van een schip te minimaliseren. Als deel van een compleet portfolio container manipulatie machines ontwikkelt Kalmar Industries containerkranen voor het laden en lossen van containerschepen. Berekeningen aan kranen zijn gebaseerd op normen om veiligheid te kunnen garanderen en om fabrikanten de mogelijkheid te bieden aan wettelijke eisen te voldoen. EN13001 is een nieuwe Europese norm voor algemeen kraanontwerp die alle huidige nationale normen in Europa zal vervangen. De onderzoeksvraag van dit rapport is wat de consequenties van de introductie van deze nieuwe norm zijn voor het ontwerpproces bij Kalmar.

Door de introductie van de nieuwe norm EN13001 zal een aantal bekende concepten en rekenmethoden veranderen of vervallen:

- In tegenstelling tot voorgaande normen bevat het classificatiesysteem in EN13001 geen classificatie voor losse componenten en worden gemiddelde verplaatsingen en een gemiddeld aantal versnellingen gebruikt om mechanismen te classificeren.
- In plaats van de 'allowable stress method' is de 'limit state method' geïntroduceerd als de nieuwe methode om belastingen te combineren en te toetsen. Het doel hiervan is de nauwkeurigheid te verhogen: individuele belastingen worden opgehoogd door vermenigvuldigingsfactoren en partiële veiligheidsfactoren en daarna gecombineerd tot belastingscombinaties. De spanningen die ontstaan ten gevolge van deze belastingscombinaties worden vergeleken met de 0,2% rekgrens gedeeld door een (kleine) algemene veiligheidsfactor.
- Om rekening te houden met onnauwkeurigheden in de massa van componenten zijn de zgn. Massa Distributie Klassen geïntroduceerd (MDC's). De keuze van MDC heeft invloed op de vermenigvuldigingsfactor en partiële veiligheidsfactor die op het eigen gewicht moeten worden toegepast. Containerkranen vallen in MDC2 omdat er in de kraan massa's aanwezig zijn die de spanningen in een punt van de kraan verlagen.
- Het laatste belangrijke verandering in EN13001 is de manier om vermoeiingsberekeningen uit te voeren. Tests of simulaties zijn noodzakelijk om de zgn. 'stress history parameter' vast te stellen. Invoer in deze simulatie is het verwachte gebruik van de kraan en de te verwachten container massa verdeling. Uitkomst van deze simulatie is een vector van de spanning in de tijd voor een bepaald punt in de kraan. Deze vector wordt geanalyseerd met de 'rainflow telmethode' om de limiet spanningswisseling te bepalen.

Het gebruik van de 'limit state method' vereist dat belastingen verhoogd worden met vermenigvuldigingsfactoren en partiële veiligheidsfactoren. De volgende vermenigvuldigingsfactoren zijn van belang voor Kalmar:

- $\Phi_1$  voor hijs en zwaartekrachteffecten. Omdat een containerkraan ingedeeld is in MDC2 varieert deze factor tussen de 0,9 (gunstige massa's) en 1,1 (voor ongunstige massa's).

- $\Phi_2$  voor het dynamisch effect bij hijsen van lasten vanaf de grond. Deze factor wordt bepaald door de 'Hoist Drive class', de 'Hoist Class' en de hijsnelheid. De juiste 'hoist class' kan bepaald worden met de resultaten van een massaveersysteem van de kabels en hijslast.
- $\Phi_5$  voor belastingen door acceleraties. Afhankelijk van de stijfheid van de kraan en de manier waarop de motor aangestuurd wordt, ligt deze factor tussen 1,25 en 1,6. Hiermee is deze factor lager dan de nu veelgebruikte factor 2,0.

De introductie van de Massa Distributie Klassen veroorzaakt een kleine toename van de spanningen, vooral in de onderbouw van de kraan. Ook de reactiekrachten op de hoeken van de kraan nemen toe met maximaal 8%. Een model met 3 massagroepen is nauwkeurig genoeg en in de praktijk ook snel en eenvoudig toepasbaar.

De nieuwe manier waarop belastingen gecombineerd worden, resulteert in hogere statische spanningen, maar een vergelijking met de (hogere) limietwaarde pakt gunstiger uit. De belangrijkste oorzaak hiervan is het feit dat er geen groepsfactor wordt toegepast in EN13001. Het verschil tussen de twee methoden wordt kleiner als er in de NEN/FEM berekeningen met een lagere groepsfactor gerekend wordt.

Het hoofddoel van de introductie van een nieuwe methode om vermoeiingsberekeningen uit te voeren, is het verkrijgen van een grotere nauwkeurigheid door het 'echte gebruik' van de kraan in de berekeningen mee te nemen. Dit 'echte gebruik' wordt gedefinieerd door een positie-spectrum en een containermassa-spectrum. Als gevolg van deze twee variabelen fluctueert de spanning in ieder punt van de kraan, wat vermoeiing veroorzaakt. Om de limiet spanningswisseling vast te stellen voor een zeker punt in de kraan, moet een spannings-tijd vector worden gegenereerd met behulp van een simulatie. Uit deze spannings-tijd vector wordt het aantal spanningswisselingen en de grootte van de wisseling gevonden door de rainflow telmethode toe te passen met bv. het programma J-Rain. Vervolgens kan de 'stress history parameter' worden bepaald. Deze parameter kan rechtstreeks gebruikt worden om de limiet spanningswisseling te vinden, of worden opgerond tot een 'S-Klasse' waarmee deze limiet ook vastgesteld kan worden.

De instructies over knik- en plooi-berekeningen in EN13001 zijn gelimiteerd tot enkele zeer specifieke basisgevallen. Voor meer complexe vraagstukken wordt verwezen naar literatuur. Naast de limiet drukspanning wordt er een tweede criterium toegevoegd: de toelaatbare boogimperfectie. Plooi-berekeningen kunnen worden uitgevoerd met een herschreven Excel sheet die nu nog gebaseerd is op DIN4114 of met het programma FE-Beul. Dit programma maakt gebruik van de eindige elementen methode en is gebaseerd op DIN18800.

De belangrijkste gevolgen van de introductie van EN13001 voor Kalmar zijn:

- De nieuwe rekenmethoden vereisen meer input van de klant om het 'echte gebruik' van de kraan te specificeren.
- Bijna alle beschikbare Excel rekensheets moeten worden aangepast of herschreven om ze geschikt te maken voor gebruik volgens EN13001.

- Met behulp van een model van een massa-veer systeem kan de lastfactor  $\phi_2$  berekend worden met een afwijking van minder dan 1% ten opzichte van metingen aan kranen.
- Het gebruik van MDC's leidt tot een kleine verhoging van de spanningen, vooral in het portaal.
- De nieuwe methoden om statische berekeningen uit te voeren resulteren in hogere statische spanningen, maar een vergelijking met de (hogere) limietwaarde pakt gunstiger uit.
- Het uitvoeren van vermoeiingsberekeningen is gecompliceerder dan in de NEN/FEM en vereist nieuwe methoden zoals een simulatie en de rainflow telmethode. Dit laatste kan worden gedaan met het programma J-Rain.
- Knik-en plooi berekeningen in EN13001 zijn slechts geldig voor aantal specifieke situaties. Meer complexe vraagstukken vereisen aanwijzingen uit DIN18800 of het gebruik van een eindig elementen programma zoals FE-Beul.