

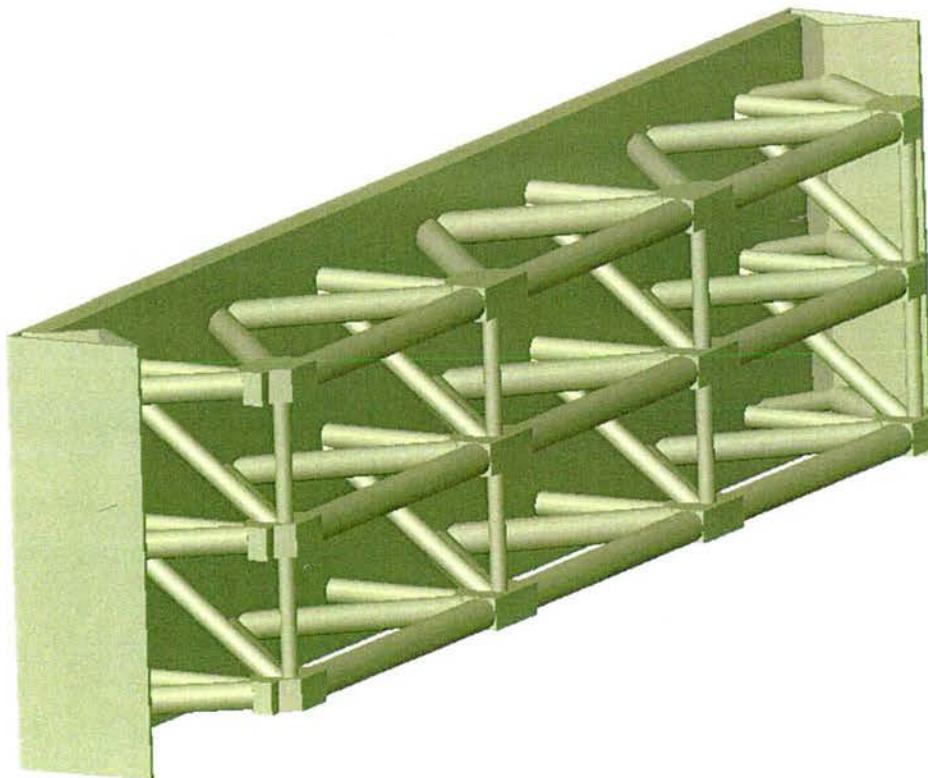
C6833

DI 55578

B200-Betonnen schuiven voor de Stormvloedkering Oosterschelde

H. Tol

Afstudeerverslag



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat
NIO

 **TU Delft**
Technische Universiteit Delft

Faculteit Civiele Techniek en
Geowetenschappen
Sectie Betonconstructies

BIBLIOTHEEK

Bouwdienst Rijkswaterstaat

Postbus 20.000

3502 LA Utrecht

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

NR. C6833.BD4

B200-Betonnen schuiven voor de Stormvloedkering Oosterschelde

*Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Betonconstructies*

Delft, oktober 2000

Afstudeerder: Huib Tol

Afstudeercommissie: Prof. dr. ir. J.C. Walraven

Dr. ir. C. van der Veen

dhr. D. Ros (Bouwdienst Rijkswaterstaat NIO)

Ing. N. Kaptijn (Bouwdienst Rijkswaterstaat DIO)

Ir. J.M.J. Spijkers

Voorwoord

In dit afstudeerrapport wordt de technische en economische haalbaarheid onderzocht van een B200-betonnen schuif voor de Stormvloedkering Oosterschelde. Het project is gedaan in opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat en uitgevoerd op de afdeling Natte Infrastructuur, Ontwikkeling Technieken te Zoetermeer.

Rijkswaterstaat heeft er als beheerder van veel civiele kunstwerken belang bij om de integrale kostprijs van deze objecten zo laag mogelijk te houden. Binnen de Bouwdienst Rijkswaterstaat is hier dan ook al veel onderzoek naar gedaan. De onderhoudskosten spelen bij deze totale kosten vaak een belangrijke rol. Voor de schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde zijn inmiddels ontwerpen gemaakt in de onderhoudsarme materialen hogesterkte lichtbeton en kunststof. Het in dit afstudeeronderzoek gemaakte ontwerp kan hierdoor op kostprijs vergeleken worden met andere materialen en constructievormen.

Mijn dank gaat uit naar mijn afstudeercommissie, en in het bijzonder naar mijn dagelijks begeleider bij de Bouwdienst Rijkswasterstaat, dhr. D. Ros. Al zijn hulp, tips en adviezen zijn een waardevolle ondersteuning bij het tot stand komen van dit project geweest. Verder was hulp van John Pover bij het gebruik van ANSYS onmisbaar.

Tot slot wil ik mijn vader en moeder bedanken voor hun onvoorwaardelijke steun tijdens mijn studie.

Huib Tol
Delft, februari 2001



Aan

Verzendlijst
Zie blad 2.

Bibliotheek Utrecht

Contactpersoon

D. Ros

Datum

6 februari 2001

Doorkiesnummer

079 3292407

Bijlage(n)

Afstudeerverslag B200-Betonnen schuiven
voor de Stormvloedkering Oosterschelde
van H. Tol

Ons kenmerk

NIO-A-N-200121

Onderwerp

Uw kenmerk

-

file: B200-schuif SVKO afstudeerverslag Tol
verzendbrief.

Afstudeerverslag B200 Betonnen schuiven voor de Stormvloedkering Oosterschelde

Geachte belanghebbende,

Hierbij heb ik het genoegen u het bovengenoemde afstudeerrapport aan te bieden. Dit afstudeerwerk werd uitgevoerd in het kader van het verlagen van de integrale kosten van constructies in een maritiem milieu.

Uit dit afstudeerwerk blijkt dat de schuiven van de Stormvloedkering Oosterschelde als vakwerkliggerschuif in principe uitvoerbaar zijn in beton B200, met handhaving van de huidige bewegingswerken. Ook blijkt dat de gekapitaliseerde integrale kosten daarbij aanzienlijk kunnen dalen ten opzichte van de huidige situatie.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Met vriendelijke groet,

D. Ros, Bouwdienst Rijkswaterstaat afdeling Ontwikkeling Technieken.



VERZENDLIJST

Bibliotheek Utrecht
F. M. Bockhoudt (NIC) Utrecht
A. de Boer (BST) Utrecht
P.D. Boersma (NIO)
F. van Dooren (NIS)
J.J. Geleijnse (RWS Dir. Zeeland) J.W. Tops-huis PB 19 4328 ZG Burgh-Haamstede
Hogeschool R'dam S. Baarda / A. Rolloos
Hurks Beton (Theo Buijtsels) (2x)
J. Jongedijk / Bibliotheek (BST) Utrecht
N. Kaptijn (DIO)
J.S. Leendertz (NIS)
C.W. Meijerink (NIC)
J. Pover (NIO)
F.J. Remery (NIW)
C. de Romph (NIB)
H. Tol (4x)
C. van der Veen (TUD) (4x)
S. Vereeke (RWS Dir. Zeeland) PB 5014 4330 KA Middelburg
J.T. de Vries (NIC)
H. van der Weijde (NIS)

Samenvatting

De Stormvloedkering Oosterschelde is een open stormvloedkering. Dat wil zeggen dat de kering alleen tijdens extreem hoogwater gesloten wordt. De rest van de tijd kan het water vrij de Oosterschelde in- en uitstromen.

De stalen schuiven waarmee de kering gesloten kan worden zijn voorzien van een verfcoating. Deze conserverende verflaag moet ongeveer om de 15 jaar vervangen worden. Omdat werkzaamheden alleen in de zomermaanden uitgevoerd mogen worden, de schuiven moeilijk bereikbaar zijn en veel milieumaatregelen moeten worden getroffen zijn de schuiven erg duur in onderhoud.

In dit afstudeeronderzoek is onderzocht of het mogelijk is de stalen schuiven te vervangen door schuiven van Zeer Hoge Sterkte Beton (B200). Door de gunstige sterkte-eigenschappen van deze nieuwe betonsoort is het mogelijk relatief lichte betonconstructies te maken. Hierdoor kunnen de betonnen schuiven door dezelfde bewegingswerken worden bewogen als de stalen schuiven. Door de zeer dichte structuur van het beton kunnen chloriden uit het zeewater de betonconstructie niet binnendringen. De betonnen schuif behoeft daarom geen of weinig onderhoud.

Zeer Hoge Sterkte Beton

ZHSB is een beton samengesteld met gemiddelde korrelafmetingen van één millimeter tot minder dan een halve micrometer en 3% staalvezels. Hierdoor ontstaat een zeer dicht mengsel met een minimum aan holle ruimtes, en dus een hoge sterkte. Druksterktes van 200 Mpa tot 800 Mpa zijn aldus haalbaar. Sterkteklassen hoger dan B200 zijn waarschijnlijk te kostbaar voor een economisch ontwerp van een schuif in de stormvloedkering Oosterschelde. Daarom is alleen een ontwerp in B200 gemaakt.

Ontwerp nieuwe schuifconstructie

Bij vergelijking van verschillende mogelijke constructievormen blijkt een vakwerkliggerschuif zoals de huidige stalen schuiven de beste schuifvorm te zijn.

De betonnen vakwerkschuif is opgebouwd uit verschillende geprefabriceerde betononderdelen die door voorspankabels aan elkaar worden gespannen. De waterkerende wand bestaat uit 8 delen. De beplating wordt ondersteund door ribben en kokers. Het vakwerk wordt gevormd door de betonnen buizen, de holle kokers in de waterkerende wand en de knooppunten. De voorspanankers worden in de knooppunten van het vakwerk geplaatst. De eindharren zorgen ervoor dat de schuif zijn krachten kan overdragen aan de sponning in de pijlers en dienen tevens als aangrijppunt van de hydraulische cilinders.

Berekening

Na een afschattende handberekening is met behulp van ANSYS is een rekenmodel van de schuif gemaakt. De knooppunten en aansluitdetails zijn hierbij niet meegemodelleerd.

De beplating is als schaalelement berekend. De buizen, balken en kokers zijn als balkelement geschematiseerd.

Kostenvergelijking

Er is een integrale gekapitaliseerde kostprijsvergelijking gemaakt voor de volgende varianten:

- Een betonnen B200-vakwerkschuif.
- Een kunststof kokerschuif.
- Stalen vakwerkschuiven, verven om de 15 jaar.
- Stalen vakwerkschuiven, voorzien van een thermische gespoten aluminiumdeklaag om de 50 jaar.

In de huidige situatie blijkt de goedkoopste oplossing het voorzien van de stalen schuiven van een aluminium-deklaag te zijn. Bij nieuwbouw is de betonnen B200-schuif de voordeligste variant.

Conclusie

Een B200-schuif voor de Stormvloedkering Oosterschelde is constructief en financieel haalbaar. Het totale schuifgewicht bedraagt 624 ton, waardoor de schuif door de huidige bewegingswerken bewogen kan worden. De detaillering van de constructie moet nog verder uitgewerkt worden. Ook zal er nog onderzoek naar de vermoeiings-, krimp- en kruipeigenschappen van B200 gedaan moeten worden.

- Bij nieuwbouw van een schuif is een B200-schuif goedkoper dan schuiven van andere constructiematerialen.
- In de huidige situatie is conservering van de stalen schuif met een aluminium-deklaag het goedkoopst, direct gevolgd door het vervangen van de schuif door een B200-schuif.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	3
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Probleemstelling	11
1.2.1 Conserveringsproblematiek	11
1.2.2 Ontwikkelingen	12
1.3 Doelstelling	12
1.4 Relatie met andere onderzoeken	13
2. HOGESTERKTEBETON	15
2.1 Inleiding	16
2.2 Hogesterktebeton (HSB)	16
2.2.1 Samenstelling hogesterktebeton	16
2.2.2 Materiaaleigenschappen hogesterktebeton	16
2.3 Lichtbeton	16
2.3.1 Samenstelling lichtbeton	17
2.3.2 Materiaaleigenschappen lichtbeton	17
2.4 Hoge sterkte lichtbeton (HSLB)	18
2.5 Zeer hogesterktebeton (ZHSB)	19
2.5.1 Inleiding	19
2.5.2 Basisprincipes ZHSB	19
2.5.3 Materiaaleigenschappen zeer hogesterktebeton	20
2.6 Conclusie	20
3. BESCHRIJVING STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE	23
3.1 Het Deltaplan	23
3.2 De Pijlerdam	23
3.2.1 Ontwerp pijlers	23
3.2.2 Ontwerp schuiven	23
3.2.2.1 Beschrijving van de staalconstructie	24
3.2.2.2 Beplating	25
3.2.2.3 Hoofddraagsysteem	26
3.2.2.4 Verticaal Verband	26

3.2.2.5	Schuifgeleiding	26
3.2.3	Ontwerp van de bewegingswerken	26
3.2.3.1	Samenstelling bewegingswerk	27
4.	HISTORISCH SCHUIFONTWERPEN	29
4.1	Inleiding	29
4.2	De huidige stalen schuiven.	30
4.3	Glasvezel versterkte kunststofschuiven	30
4.4	Hoge sterke betonnen schuiven	30
4.5	Ontwerp in vezelversterkte kunststof	31
4.6	Conclusies	32
5.	BELASTINGEN OP DE SCHUIVEN	35
5.1	Horizontale belastingen	35
5.2	Verticale belastingen op de schuif	37
5.3	Dynamische belastingen (trillingen en golfklappen)	38
5.4	Capaciteit bewegingswerk	39
6.	EISEN EN RANDVOORWAARDEN	43
6.1	Eisen	43
6.2	Randvoorwaarden	43
6.3	Uitgangspunten	44
7.	VOORONTWERP	45
7.1	Inleiding	45
7.2	Ontwerpkeuzen	45
7.2.1	Keuze constructievorm voorkeursvariant	45
7.2.2	Betonsoort B200	45
7.3	Voorontwerp eindhar	46
7.4	Voorontwerp vakwerkliggers	47
7.4.1	Vakwerkelementen	47
7.4.2	Vakwerktypen	47
7.4.2.1	Parameterstudie vakwerktype I	48
7.4.2.2	Parameterstudie vakwerktype II, 3 liggers	50
7.4.2.3	Parameterstudie vakwerktype II, 2 liggers	51
7.4.2.4	Afweging vakwerktypen	53
7.5	Waterkerende beplating	53

7.5.1	Vorm beplating	53
7.5.2	Optimalisatie dikte beplating	54
7.5.3	Aantal horizontale verstijvingskokers	56
7.5.3.1	Plaatvariant I.....	56
7.5.3.2	Plaatvariant II.....	57
7.5.3.3	Plaatvariant III.....	63
7.5.3.4	Plaatvariant IV	66
7.5.3.5	Plaatvariant V	70
7.5.3.6	Plaatvariant VI	74
7.5.3.7	Plaatvariant VII	78
7.6	Afweging varianten	80
8. EINDONTWERP		81
8.1	Beschrijving eindontwerp	81
8.1.1	Overzicht eindontwerp	81
8.1.2	Waterkerende plaat	82
8.1.3	Vakwerkbuizen	83
8.1.4	Knooppunten	84
8.1.5	Eindhar	85
8.1.6	Totaal eigen gewicht	86
8.2	FEM-berekening	86
8.2.1	Modelbeschrijving	87
8.2.2	Belasting en randvoorwaarden	91
8.2.3	Vervorming	92
8.2.4	Plaatsspanningen	93
8.2.5	Krachten in vakwerkbuizen	96
8.2.6	Krachten in balken	98
8.3	Eigenfrequentie van de schuif	100
8.3.1	Handberekening eigenfrequentie	100
8.3.2	Eigenfrequentie schuif volgens ANSYS	102
8.4	Vermoeiing	108
8.4.1	Inleiding	108
8.4.2	Vermoeiingsberekening huidige stalen schuiven	108
8.4.3	Spanningswisselingen in vakwerkstaven betonnen schuif	110
8.4.4	Vermoeiingseigenschappen B200	112
8.4.5	Controle vermoeiing vakwerkstaven	113
8.4.6	Spanningswisselingen plaat tussen verstijvingsribben	114
8.4.7	Controle vermoeiing plaat	115
9. KOSTEN		117
9.1	Inleiding	117
9.2	Kostprijs diverse schuifvarianten	117
9.2.1	Prijs B200-schuif	117
9.2.2	Kostprijs nieuwe stalen schuif	117
9.2.3	Kostprijs kunststof schuif	119
9.2.4	Verfkosten stalen schuif	120
9.2.5	Kosten stalen schuif voorzien van aluminium-deklaag	120
9.3	Varianten vergelijking	121
9.3.1	Inleiding	122
9.3.2	Integrale kostenvergelijking in huidige situatie (één schuif)	122

9.3.3	Integrale kostenvergelijking in huidige situatie (meerdere schuiven)	124
9.3.4	Integrale kostenvergelijking bij nieuwbouw (één schuif)	125
9.3.5	Integrale kostenvergelijking bij nieuwbouw (meerdere schuiven)	125
9.4	Conclusies	126
10. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN		127
10.1	Conclusies	127
10.2	Aanbevelingen	127
Bijlage A	Berekeningswijze vakwerkstaven.....	129
Bijlage B	Berekeningswijze plaat	135
Bijlage C	Berekeningswijze plaat	149
Bijlage D	Invoerfile ANSYS.....	157
Bijlage E	Offerte Richtprijs prefabonderdelen Hurks Beton.....	199
Bijlage F	Afstudeeropdracht.....	201

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Na de stormvloedramp van 1953 waarbij 1800 mensenlevens te betreuren waren en 150.000 hectaren land werden overstroomd, is een plan ontwikkeld om een dergelijke ramp in de toekomst te voorkomen. Het Deltaplan voorzag in de afsluiting van de zeearmen uit het zuidwesten van ons land door middel van dammen. In de oorspronkelijke plannen werd ervan uitgegaan dat alleen de Westerschelde en de Nieuwe Waterweg open dienden te blijven vanwege de achterliggende zeehavens. [1.1]

De Oosterschelde bleek echter een estuarium te zijn met een grote planktonproductie en één van de kraamkamers voor de fauna in de Noordzee. Een herbezinning op afsluiting van de Oosterschelde was noodzakelijk. In juni 1976 nam de toenmalige regering de beslissing om een open stormvloedkering te bouwen in de monding van de Oosterschelde. De kering kan worden gesloten als een stormvloed wordt voorspeld. In normale omstandigheden is de kering geopend, zodat de Oosterschelde meestal onder invloed van eb en vloed staat.

De Stormvloedkering Oosterschelde is gebouwd tussen 1980 en 1986 in de 3 stroomgeulen van de Oosterschelde, te weten Hammen, Schaar en Roompot. De kering bestaat uit betonnen peilers, waartussen een betonnen drempel- en bovenbalkconstructie geplaatst is. Het resterende doorstroomprofiel kan worden afgesloten met stalen schuiven. De stalen schuiven zijn vanwege het zeer agressieve milieu voorzien van een beschermende coating. Het aanbrengen van deze coating bleek destijds een tijdrovende zaak te zijn. Met name de lange droogtijd van de afzonderlijke lagen vertraagde het coaten zozeer zelfs dat men de officiële opening dreigde te missen. De schuiven in de geulen Hammen en Schaar zouden op tijd klaar zijn, maar voor de 32 schuiven van Roodpot moest een andere oplossing worden gezocht. In overleg met de aannemer is toen gekozen voor een minder goede, maar sneller drogende coating en is de opening volgens schema verlopen. Inspectie in de jaren 90 leerde echter dat deze laatste serie schuiven op een groot aantal plaatsen door (put)corrosie was aangetast. Vervroegd vervangen van de coating leek de enige remedie. De kosten hiervoor zijn echter aanzienlijk evenals de hiervoor benodigde tijd, met als mogelijk gevolg dat de betrouwbaarheid van de kering in het geding komt. [1.2]

1.2 Probleemstelling

De betonnen onderdelen van de stormvloedkering functioneren zoals vooraf ingeschat, en leveren dus geen problemen op. De stalen schuiven vergen echter veel en kostbaar onderhoud.

1.2.1 Conserveringsproblematiek

Vanwege het zeer agressieve milieu dienden de stalen schuiven te worden voorzien van een beschermende coating. Aanvankelijk leefde daarbij de gedachte hiervoor een drielaags epoxy-koolteersysteem, het Betep BY-systeem, toe te passen. Problemen met het materiaal van de schuiven en met name de lange droogtijd leidden ertoe dat in 1985 32 van de totaal 62 schuiven aldus waren behandeld, maar dat gevreesd moet worden of de gestelde opleverdatum zou kunnen worden gehaald. Om deze achterstand in te halen werd voor de resterende 30 schuiven in overleg met de aannemer besloten een tweelaags epoxy-systeem, het Acraton HS-systeem, aan te brengen op de beplating en de vakwerkliggers. De eindkokers van deze schuiven waren reeds met het oorspronkelijke 3-laags epoxy-systeem geconserveerd.

Inspecties in 1991 toonden echter aan dat schade in de vorm van craquelé bij het 2-laagssysteem was opgetreden. Aanvankelijk manifesteerde de craquelé zich uitsluitend in de bovenlaag van het conserveringssysteem, doch nauwelijks een jaar later reikte deze craquelé tot in de onderste laag van de

conservering. Zoals naderhand bleek, heeft dit geleid tot zowel oppervlakte als putvormige corrosie. De geconstateerde schade heeft de Directie Zeeland als beheerder van de kering doen besluiten het Acraton HS-systeem vervangen door een ander conserveringssysteem. De uitvoering ervan neemt een aantal jaren in beslag, aangezien slechts een beperkt aantal schuiven gelijktijdig buiten gebruik kan worden gesteld om vervolgens in behandeling te worden genomen en dit bovendien alleen tussen 1 mei en 1 oktober mag plaatsvinden. Voor een aantal schuiven betekent dit dus dat het corrosieproces verder zal voortschrijden. Tussen 1994 en 1997 is bij 9 schuiven het conserveringssysteem geheel vervangen. Het alsnog toepassen van het Btep BY-systeem behoort, vanwege verscherpte milieueisen, echter niet meer tot de mogelijkheden.

De schuiven in de stroomgeulen Hammen en Schaar zijn voorzien van de Btep BY-coating. Deze coating heeft inmiddels bewezen voldoende bescherming te bieden. Tussen 1993 en 1995 zijn zwakke plekken in deze coating bijgeplekt. Omdat deze schuiven verder nog in goede staat verkeren is de verwachting dat deze coating de verwachte beschermduur zal halen.

Door de coatingsproblematiek op de schuiven van de Roompot wordt Rijkswaterstaat vervroegd geconfronteerd met de enorme kosten die het coaten van de schuiven met zich mee brengt. Met name door verscherpte milieueisen vallen deze kosten aanzienlijk hoger uit dan destijds tijdens het ontwerp van de kering werd ingeschat. Door milieuvriendelijker, maar tevens minder duurzame coatingssystemen, wordt het onderhoudsinterval korter. Ook het uitvoeren van de werkzaamheden is door verscherpte milieuregelgeving complexer, en dus kostbaarder geworden. [1.3]

1.2.2 Ontwikkelingen

Op grond van bovenstaande bevindingen is het zeker de moeite waard om te onderzoeken of een schuif ontworpen met een ander constructiemateriaal een reëel alternatief voor de huidige schuiven zou kunnen zijn. Verschillende (afstudeer)onderzoeken zijn hier inmiddels al naar gedaan. Er is ondermeer een haalbaarheidsstudie gedaan naar een schuif in hoge sterkte beton en er zijn twee ontwerpen gemaakt voor een schuif in vezelversterkte kunststof.

Uit een globale kostenbepaling volgt dat de betonnen schuiven ongeveer een factor twee goedkoper zouden zijn dan een nieuw te bouwen stalen schuif. De kostprijs van een betonnen schuif is met 4 miljoen gulden ongeveer gelijk aan het repareren en aanbrengen van een nieuwe coating op een huidige stalen schuif. Waarbij nog opgemerkt moet worden dat het in de lijn der verwachting ligt dat een betonnen schuif zeer weinig tot geen onderhoud vergt.

1.3 Doelstelling

Een haalbaarheidsstudie [1.4] heeft aangetoond dat een betonnen ontwerp een goed concurrerende optie is voor de stalen schuiven. De haalbaarheidsstudie beveelt aan een gedetailleerd productieontwerp te maken voor een schuif in hoge sterkte beton. Het maken van dit ontwerp en het bepalen van de integrale kosten vormt de hoofdopdracht van dit afstudeerproject.

Het doel van dit afstudeerproject kan dan ook worden omschreven als het generen van een constructief uitgewerkt ontwerp voor een schuif in de Stormvloedkering Oosterschelde in zeer hoge sterkte beton (B200).

Hiertoe zal na afweging van verschillende mogelijke varianten, voor de beste variant een constructief ontwerp gemaakt worden

Het ontwerp moet constructief zover uitgewerkt worden dat met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid gesteld kan worden dat het ontwerp produceerbaar is.

Aan de hand van de kostenraming moeten conclusies getrokken kunnen worden omtrent de financiële haalbaarheid van een schuif in (Z)HSB.

1.4 Relatie met andere onderzoeken

Dit project kan worden gezien als aanvulling op en vergelijking van eerdere (her)ontwerpen van de schuiven. Deze zijn achtereenvolgens:

- Het ontwerp van de huidige schuiven in staal. [1.5] [1.6]
- Herontwerp in beton (afstudeerproject van A. J. M Keuzenkamp). [1.4]
- Herontwerp in vezelversterkte kunststof (afstudeerproject van (J.J.W.M. Veraart). [1.7]
- Herontwerp in vezelversterkte kunststof (afstudeerproject van S.L. van der Laken). [1.8]

Verder bestaat er een relatie met ander ontwerpen in hoge sterkte beton zoals het ontwerp van een ophaalbrug in (zeer) hoge sterkte beton voor verkeersklasse 600 (afstudeerproject van R.P.H. Vergoossen) en Verbreding van viaducten in Beton van Reactief Poeder (afstudeerproject van G. van Blokland).

Ook bestaat er een relatie tussen dit afstudeerwerk en het binnen de Bouwdienst Rijkswaterstaat lopende project Betonnen hefschuiven SVKO (projectcode:PBMS 3594).

LITERATUUR:

- [1.1] Rijkswaterstaat; Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 1: Totaalontwerp en ontwerpfilosofie; zonder datum
- [1.2] Bouwdienst Rijkswaterstaat; Aanbieding Haalbaarheidsonderzoek project Betonnen schuif Oosterscheldekering; Documentnummer 3594-P-99.001; ir. F. Bockhoudt/ir. C.W. Meijering
- [1.3] Bouwdienst Rijkswaterstaat; Beleidsanalyse onderhoud 21 schuiven Oosterschelde, Documentnummer 3037-NI-97.022; november 1997
- [1.4] Keuzenkamp, A.J.M.; Hoge sterkte betonnen schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde; Haalbaarheidsonderzoek, Afstudeerrapport TU Delft, Faculteit Civiele Techniek; januari 1998
- [1.5] Rijkswaterstaat; Concept Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 4: Sluitingsmiddelen, Deelnota 2: Hydraulisch onderzoek; d.d. 24-02-2000
- [1.6] Rijkswaterstaat; Concept Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 4: Sluitingsmiddelen, Deelnota 3: Schuiven; d.d. 06-07-1998
- [1.7] Veraart, J.J.W.M.; Glasvezelversterkte kunststof schuiven als alternatief voor de schuiven in de Oosterscheldekering; Afstudeerrapport TU Delft, Faculteit Civiele Techniek; 1997
- [1.8] Laken, S.L. van der; Ontwerp van schuiven van de Oosterscheldekering in vezelversterkte kunststoffen; Afstudeerrapport TU Delft, Faculteit Ontwerp, Constructie en Productie, Subfaculteit Industrieel Ontwerpen; Oktober 1999

2. Hogesterktebeton

2.1 Inleiding

Naast de algemeen gangbare betonsoorten, is sinds een aantal jaar ook hogesterktebeton (HSB), hoge sterke lichtbeton (HSLB) en zeer hoge sterke beton (ZHSB), of Reactive Powder Concrete (RPC) beschikbaar. HSB heeft een karakteristieke druksterkte van 65 MPa tot 125 MPa, terwijl met zeer hoge sterke beton treksterktes vanaf 150 MPa tot 810 MPa haalbaar zijn.

Voor zowel hogesterktebeton als zeer hoge sterke beton bestaan er geen Nederlandse Normen (NEN) voor de berekening van constructies. Voor hogesterktebeton is in 1994 de CUR-aanbeveling nr. 37 verschenen [2.1]. Deze aanbeveling voorziet in de technische regelgeving voor het ontwerpen en uitvoeren van betonconstructies tot en met sterkteklasse B105.

2.2 Hogesterktebeton (HSB)

2.2.1 Samenstelling hogesterktebeton

Hogesterktebeton is een mengsel van bindmiddelen, toeslagmaterialen, silica fume en hulpstoffen.

Bindmiddelen

Als bindmiddel in HSB wordt cement gebruikt. De sterkeontwikkeling en eindsterkte van het beton worden dan ook voor een groot deel bepaald door de keuze van het cement. Zowel de chemische als de fysische eigenschappen zoals fijnheid en korrelstructuur hebben hun invloed op de sterke.

Op basis van hoogovencement lijkt vooralsnog een sterkeniveau van 60-80 N/mm² haalbaar. Voor HSB met een hogere sterke lijkt portlandcement in combinatie met silica fume noodzakelijk.

Toeslagmaterialen

groot toeslagmateriaal

Toeslagmateriaal, geschikt voor HSB, heeft een hoge korrelsterkte en elasticiteitsmodulus. Ook moet de vorm, en oppervlaktestructuur zorg dragen voor een goede hechting met de cementsteen. In het algemeen leveren gebroken toeslagmaterialen een hogere sterke dan ongebroken materiaal. Het toepassen van toeslagmateriaal met een kleine maximale korrelgrootte levert ook een hogere eindsterkte op. Het totale oppervlak van het toeslagmateriaal is hierbij groter, waardoor de gemiddelde hechtspanning tussen de cementmatrix en het toeslagmateriaal kleiner is en verstoorende spanningsconcentraties in mindere mate optreden. Om de waterbehoefte niet te ongunstig te beïnvloeden, mag de korrelgrootte ook niet te klein zijn [2.2].

Om hoge sterke lichtbeton te maken met een volumieke massa van ongeveer 1800 kg/m³, moet het grind vervangen worden door lichte toeslagmaterialen zoals Lytag of Liapor.

fijn toeslagmateriaal

De zandfractie hoeft niet bij te dragen aan het fijnaandeel in de mengselopbouw omdat dit al zeer hoog is door het hoge cementgehalte en toepassing van silica fume. De zandfractie kan dus vrij grof zijn.

Silica fume

Silica fume is een bijproduct dat ontstaat bij de fabricage van ferrosilicium-legeringen en bestaat voornamelijk uit siliciumdioxide (SiO₂). De siliciumdeeltjes hebben een gemiddelde deeltjesgrootte van 0,1 tot 0,2 µm, en zijn dus ongeveer 100 maal zo klein als de cementdeeltjes. Het specifiek oppervlak is circa 20000 m²/kg. Het specifiek oppervlak van cement is, ter vergelijking, 300 - 450 m²/kg. De siliciumdeeltjes fungeren als kernen van waaruit kristallen met een zeer fijne structuur groeien. Hierdoor blijven er nauwelijks poriën tussen de cementsteen over, zodat een zeer dicht beton verkregen wordt.

De positieve bijdrage van silica fume komt vooral bij het produceren van hogesterktebeton (B105 of hoger) tot uiting. Lagere sterkteniveaus zijn ook zonder silica fume te vervaardigen. Naast de sterktebijdrage blijkt silica fume een sterke vermindering van permeabiliteit op te leveren, waardoor de duurzaamheid van de betonconstructie toeneemt. [2.3] [2.4]

De wereldproductie van silica fume is beperkt, zodat de toepassing selectief zal moeten plaatshebben.

Hulpstoffen

Bij hogesterktebeton wordt een lagere water-cementfactor toegepast dan bij normaal beton. Voor de verwerkbaarheid is het noodzakelijk gebruik te maken van superplastificeerders. Een plastificeerdeerder is een hulpstof die bij gelijkblijvende water-cementfactor de verwerkbaarheid van betonmortel verhoogt, dan wel het mogelijk maakt met behoud van dezelfde verwerkbaarheid betonmortel te maken met een lagere water-cementfactor. In de jaren 70 werd vooral met lignosulfonaten gewerkt. Tegenwoordig worden deze gecombineerd met producten op naftaleen- en melaminebasis. Superplastificeerders op basis van lignosulfonaten hebben meestal een langere werkingsduur dan andere typen, maar kunnen vooral bij hoge dosering een vertragende bijwerking hebben en soms ook een verhoogd luchtgehalte in de specie veroorzaken. Zij zijn goedkoop en zeer effectief. De melamine- en naftaleensulfonaten vertonen ook bij hoge dosering geen bijwerkingen.

Heel recent is op dit moment de toepassing van een geheel nieuwe generatie superplastificeerders: op basis van polycarboxylic-ethers. Deze hulpstoffen kunnen voor beton in hoge sterkteklassen nieuwe mogelijkheden bieden omdat ze uitstekende prestaties kunnen combineren met relatief lage dosering en daarbij nauwelijks bijwerkingen zoals vertraging of luchtinbreng vertonen. Wel stellen deze hulpstoffen hoge eisen aan de stabiliteit van de specie.

2.2.2 Materiaaleigenschappen hogesterktebeton

De materiaaleigenschappen zijn ontleend aan CUR-aanbeveling 37. Deze aanbeveling is geldig tot B105. Hogere sterkten zijn inmiddels haalbaar. Voor de aanname van de materiaaleigenschappen van deze sterkteklassen wordt ook uitgegaan van CUR-aanbeveling 37.

Sterkteklaasse	f'_{ck} ¹ (N/mm ²)	f'_b ² (N/mm ²)	f_b ³ (N/mm ²)	f_{bm} ⁴ (N/mm ²)	E'_b ⁵ (N/mm ²)	ϵ'_{bu} ⁶ (10 ⁻³)	ϵ'_{bpl} ⁷ (10 ⁻³)
B65	65	39	2,15	4,3	38500	3,5	1,75
B75	75	45	2,25	4,5	38900	3,25	1,75
B85	85	50	2,35	4,7	39300	3,00	1,80
B95	95	55	2,45	4,9	39700	2,75	1,85
B105	105	60	2,55	5,1	40100	2,50	1,90
B115	115	64	2,65	5,3	40500	2,25	1,95
B125	125	69	2,75	5,5	40900	2	2
B135	135	73	2,85	5,7	41300	1,75	2,25

Tabel 1; Materiaaleigenschappen HSB

2.3 Lichtbeton

Door gebruik te maken van lichte (poreuze) toeslagmaterialen kan een betonmengsel worden verkregen dat afhankelijk van de sterkte ongeveer 20-30% lichter is dan het traditionele grindbeton, het lichtbeton. Lichtbeton heeft een volumieke massa tot 2100 kg/m³. Aangezien het eigen gewicht bij

¹ f'_{ck} : karakteristieke kubusdruksterkte

² f'_b : rekenwaarde betondruksterkte

³ f_b : rekenwaarde betontreksterkte

⁴ f_{bm} : gemiddelde betontreksterkte

⁵ E'_b : elasticiteitsmodulus van beton

⁶ ϵ'_{bu} : grenswaarde van de betonstuik

⁷ ϵ'_{bpl} : betonstuik bij het begin van de plastische vervorming

betonnen constructies vaak een groot deel van de belasting veroorzaakt, kunnen er besparingen worden bereikt door een constructie in lichtbeton in combinatie met hogesterktebeton uit te voeren. [2.5]

2.3.1 Samenstelling lichtbeton

Lichtbeton is lichter dan grindbeton doordat materiaal vervangen is door lucht. Deze lucht bevindt zich voornamelijk in het toeslagmateriaal. Door de poreuze structuur zuigen deze toeslagkorrels water op. Er bestaan veel typen licht toeslagmateriaal; de bekendste en meest toegepaste zijn Lytag (gesinterde vliegas) en Liapor (geëxpandeerde klei). [2.6]

Lytag

De basisgrondstof voor Lytag is vliegas, een reststof die vrijkomt bij de verbranding van poederkool in een op kolen gestookte elektriciteitscentrale. Lytagkorrels absorberen in zeer korte tijd bijna al het opneembare water. Wanneer de Lytagkorrels in het betonmengsel worden verwerkt, wordt binnen enkele minuten al ongeveer 80% van het door de korrel opneembare water geabsorbeerd. Bij een mengselontwerp met Lytag kan worden uitgegaan van een waterabsorptie van 12%.

In betonspecie is veel meer water aanwezig dan er voor de chemische reactie tussen cement en water nodig is. Dit overschat is nodig om de betonspecie te kunnen verwerken. Na het verdichten en afwerken kan dit water verdampen. Bij betonconstructies met een groot oppervlak kan de verdamping te snel gaan, waardoor er in het beton te weinig water overblijft voor een reactie met het cement. Door een goede nabehandeling kan dit voorkomen worden. Een bijkomend voordeel van het in de korrel aanwezige water is de interne nabehandeling.

Tevens houden Lytagkorrels tijdens de verharding vrijkomende warmte langer vast, waardoor de temperatuur in het verhardende beton minder snel daalt en het verhardingsproces iets sneller verloopt. Eenmaal verwerkt ligt de volumieke massa van Lytagbeton tussen 1900 en 2100 kg/m³, afhankelijk van de mengselsamenstelling.

Liapor

De basisstof voor Liapor is een zwarte klei uit het lias-tijdperk afkomstig uit de Jura-zee. De fabrikant van Liapor brengt verschillende toeslagkorrels op de markt, waardoor de volumieke massa van Liaporbeton verschillende waarden kan hebben. Verkrijgbaar zijn Liapor 3 tot en met Liapor 10, waarvan Liapor 10 de zwaarste is met een droge volumieke massa van ongeveer 1000 kg/m³. Het absorberen van water gaat bij Liapor geleidelijker dan bij Lytag. Deze toeslagmaterialen hebben ook het voordeel van de interne nabehandeling van het beton.

Een nadeel is vooralsnog de hoge prijs van beton met als toeslagmateriaal Liapor. De Liaporkorrels zijn duurder dan de Lytagkorrels en zeker veel duurder dan grind. Aangezien de fabrikant van Liapor dagprijzen hanteert voor zijn product kan bij een lagere prijsstelling Liapor wellicht wel concurreren met Lytag- of grindbeton.

2.3.2 Materiaaleigenschappen lichtbeton

Het grootste verschil tussen lichtbeton en grindbeton is het toeslagmateriaal en het is dus logisch dat de meeste eigenschappen daarmee samenhangen. Doordat bij lichtbeton de toeslagkorrels een aanzienlijk lagere sterkte hebben dan de cementmatrix, werkt de krachtsoverdracht daar tegengesteld als bij grindbeton. Als grindbeton op druk wordt belast, zullen de toeslagkorrels een grotere weerstand bieden dan de cementmatrix. Hierdoor verloopt de krachtsoverdracht bij grindbeton voornamelijk via de grote toeslagkorrels. De matrix tussen de toeslagkorrels, die gemakkelijk vervormbaar is, wordt daarbij op druk belast.

In lichtbeton met een gesloten structuur biedt de matrix een grotere weerstand tegen vervorming dan de toeslagkorrels, zodat het overbrengen van de krachten grotendeels via de matrix gaat. De matrix vormt daarbij een ruimtelijk vakwerk.

Een grotere normsterkte van het cement en een lagere water-cementfactor maken de matrix, en daarmee het lichtbeton, sterker. Bij toeslagmaterialen voor lichtbeton zijn de grootste korrels meestal het minst sterk. Hierdoor zal de sterkte van lichtbeton bij een grotere maximum-korrel afnemen. Dit verklaart waarom bij grindbeton de sterkte voornamelijk afhangt van de normsterkte van het cement en de water-cementfactor, terwijl bij lichtbeton bovenbied vergroting van het cementgehalte en verkleining van de maximum-korrel de sterkte gunstig beïnvloeden.

Met Liapor is een kwaliteit B85 gehaald, met Lytag moet B65 mogelijk zijn. Bij lichtbeton veranderen enkele basiseigenschappen van het beton. De CUR heeft in 1994 Aanbeveling 39 uitgegeven, waarin rekenregels voor beton met lichte toeslagmaterialen worden voorgesteld. Dit gebeurt vooral door middel van een aantal correctiefactoren, die na vele proefnemingen zijn afgeleid en als belangrijkste parameter de volumieke massa van het lichtbeton hebben.

2.4 Hoge sterkte lichtbeton (HSLB)

Voor hoge sterkte lichtbeton zijn nog geen Nederlandse rekenregels opgesteld. Wel heeft het Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR) zoals hierboven vermeld een tweetal aanbevelingen gepubliceerd. In Aanbeveling 37 worden rekenregels gegeven voor hogesterktebeton, en in Aanbeveling 39 voor lichtbeton. Voor hoge sterkte lichtbeton ligt het voor de hand deze twee aanbevelingen te combineren.

Vergeleken met de Noorse normen en laboratoriumproeven blijkt dat combinatie van deze twee aanbevelingen tot reële materiaaleigenschappen leidt.

f'_b (N/mm ²)							
B15	B25	B35	B45	B55	B65	B75	B85
9	15	21	27	33	39	53	60

Tabel 2; druksterkte (hoge sterkte) lichtbeton

r kg/m ³	f_b (N/mm ²)							
	B15	B25	B35	B45	B55	B65	B75	B85
1500	0,71	0,91	1,11	1,3	1,5	1,7	1,78	1,86
1700	0,76	0,97	1,18	1,39	1,6	1,81	1,90	1,98
1900	0,81	1,04	1,26	1,49	1,71	1,94	2,02	2,10
2100	0,85	1,09	1,33	1,57	1,81	2,04	2,13	2,23
2300	0,9	1,15	1,4	1,65	1,9	2,15	2,25	2,35

Tabel 3; treksterkte (hoge sterkte) lichtbeton

r kg/m ³	E'_b (N/mm ²)							
	B15	B25	B35	B45	B55	B65	B75	B85
1500	13694	15010	16327	17644	18960	20277	20488	20698
1700	16522	18110	19699	21288	22876	24465	24719	24973
1900	19521	21399	23276	25153	27030	28907	29207	29507
2100	22684	24865	27046	29227	31408	33589	33938	34287
2300	26000	28500	31000	33500	36000	38500	38900	39300

Tabel 4; Elasticiteitsmodulus (hoge sterkte) lichtbeton

2.5 Zeer hogesterktebeton (ZHSB)

2.5.1 Inleiding

Naar zeer hogesterktebeton is een literatuurstudie gedaan door G. van Blokland. [2.7] (Verbreding van viaducten in Beton van Reactief Poeder) In dit hoofdstuk zal hiervan een samenvatting gegeven worden.

Het materiaal zeer hogesterktebeton is nog erg nieuw, en kan door slechts enkele fabrikanten geleverd worden. Er is dan ook nog geen regelgeving beschikbaar voor het ontwerpen en uitvoeren van betonconstructies in dit materiaal.

Voor zeer hogesterktebeton zijn verschillende namen in gebruik, afhankelijk van land, en fabrikant. De meest gebruikte namen zijn:

- Reactive Powder Concrete (RPC) of Béton de Poudres Réactives (BRP) of Beton van Reactief Poeder (BRP)
- Béton Spécial Industriel (BSI)
- Compact Reinforced Composite (CRC)
- Ultra High Performance Concrete (UHPC)
- Zeer Hogesterktebeton (ZHSB)

2.5.2 Basisprincipes ZHSB

Zeer hogesterktebeton is een beton samengesteld met gemiddelde korrelafmetingen van één millimeter tot minder dan een halve micrometer. Hierdoor ontstaat een zeer dicht mengsel met een minimum aan holle ruimtes, en dus een hoge sterkte.

Bij de ontwikkeling van ZHSB zijn de volgende basisprincipes toegepast:

- Het verbeteren van de homogeniteit door het weglaten van grove toeslag-materialen (zoals grind).
- Het verbeteren van de pakkingsdichtheid door optimalisatie van het toeslagmateriaalmengsel en het onder druk verharden van beton.
- Het verbeteren van de microstructuur door een warmte behandeling
- Het verbeteren van de taaïheid door de toevoeging van staalvezels.

Verbeteren van de homogeniteit

- Normaal beton is een heterogeen materiaal waarin de toeslagmaterialen zand en grind een korrelskelet vormen. Door een aantal aanpassingen kan beton als een homogeen materiaal worden gezien:
- Bij verkleining van de korrelafmetingen van het toeslagmateriaal nemen de gemiddelde schuif- en trekspanningen in het grensvlak tussen het toeslagmateriaal en het bindmiddel af. Door de vervanging van grind en grof zand door fijn zand met een korreldiameter van maximaal 0,6 mm kan de totale sterkte van het beton vergroot worden.
- Door verbetering van de mechanische eigenschappen van de cementpasta kan de E-modulus hiervan in de orde van grootte van het toeslagmateriaal komen. Bij gelijke elasticiteit zullen beiden evenveel kracht opnemen, en zullen er geen inwendige piekspanningen meer optreden.
- Bij verbetering van de korrelgrootteverdeling en toevoeging van een grote hoeveelheid silica fume wordt het grensvlak zodanig versterkt dat het grensvlak een gelijke sterkte heeft als de cementpasta en de toeslagkorrel.
- Tot slot kan door verkleining van het volume-aandeel van het toeslagmateriaal voorkomen worden dat het toeslagmateriaal een korrelskelet vormt. De korrels "zweven" hierdoor in de cementpasta. Hierdoor zal door krimp van de cementpasta alleen lokaal rond een toeslagkorrel worden tegengehouden. Het aantal en de grootte van de scheuren in het beton zullen hierdoor verminderen.

Verbeteren van de pakkingsdichtheid

De pakkingsdichtheid van een mengsel heeft een grote invloed op mechanische parameters als de druk- en treksterkte en de permeabiliteit.

- De pakkingsdichtheid kan worden vergroot door optimalisatie van het toeslagmateriaal-mengsel door optimalisatie van de korrelgrootte verdeling, water-bindmiddelfactor en de soort toeslagmaterialen.
- Door verharden onder druk kan met name de druksterkte verhoogd worden. De ingesloten lucht, 20 tot 25 % van het toegevoegde water, en de holle ruimtes ontstaan door chemische krimp kunnen op deze manier verwijderd worden.

Verbeteren microstructuur

Door het beton bij een temperatuur van 90° C of hoger te laten verharden kan een hogere eindsterkte bereikt worden. Bij deze temperaturen wordt naast de cement-reactie ook de reactie van silica fume versneld.

Bij nog hogere temperaturen (250° C tot 400° C) kunnen in combinatie met het verharden onder hoge druk druksterktes van 490 MPa tot 680 MPa bereikt worden. Als het toeslagmateriaal zand door metaal wordt vervangen is een druksterkte van 800 MPa haalbaar.

Verbeteren van de taaïheid

Om de taaïheid van zeer hogesterktebeton te vergroten, moeten staalvezels toegevoegd worden. De hoeveelheid staalvezels ligt ongeveer op 2 volumeprocent, wat neerkomt op ongeveer 155 kg/m³.

Conclusies

Met zeer hogesterktebeton zijn druksterktes van 200 MPa tot 800 MPa haalbaar, waarvan alleen de sterkteklaasse B200 onder normale temperatuur en druk realiseerbaar is. Hierdoor zijn de sterkteklassen hoger dan B200 waarschijnlijk te kostbaar voor een economisch ontwerp van een schuif in de stormvloedkering Oosterschelde. Daarom wordt alleen B200 verder meegenomen in dit rapport.

2.5.3 Materiaaleigenschappen zeer hogesterktebeton

De eigenschappen van de verschillende mengsels van zeer hogesterktebeton zijn niet helemaal gelijk. In dit afstudeerrapport wordt uitgegaan van de volgende eigenschappen voor ZHSB200:

Sterkteklaasse	f'_{ck}	f'_b	f_b	f_{bm}	E'_b
B200	200	133	8,3	32	53000

Tabel 5; Materiaaleigenschappen in N/mm²

De dichtheid van zeer hogesterktebeton is hoger dan van normaal beton en varieert tussen de 2600 kg/m³ en de 3600 kg/m³. Deze is sterk afhankelijk van het percentage staalvezels wat toegepast wordt en van de productietechniek. Volgens fabrikant Hurks Beton is de dichtheid 2640 kg/m³, bij 3% staalvezels. Bij de berekening wordt deze dichtheid aangehouden.

De kosten van het materiaal zijn sterk afhankelijk van het mengsel dat nodig is. Met name het percentage staalvezels bepaalt de prijs sterk. De invloed van de bekistingskosten op de totale kosten is ook erg groot. Voor een snelle conservatieve berekening is een fabricageprijs van ongeveer fl 7000,-/ m³ voor een B200 beton reëel. Dit is dus inclusief o.a. bekistingskosten.

2.6 Conclusie

Naar aanleiding van in dit hoofdstuk beschreven betonsoorten zijn in relatie tot een ontwerp voor de schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde de volgende opmerkingen te plaatsen. [2.8]

Hogesterktebeton

- Het is gebleken dat betonconstructies in de kwaliteiten B85 tot B105 goed realiseerbaar zijn. Met B85 is in de bouwpraktijk inmiddels zo veel ervaring, dat het maken van een schuif in dit materiaal probleemloos kan. Voor prefabdelen zijn nog hogere sterktes mogelijk.
- HSB is een zeer dicht materiaal. Het beschermt de wapening tegen carbonatatie en indringing van chloriden. Een eerste schatting leert dat het waarschijnlijk niet noodzakelijk is om voor alle onderdelen van de schuif B85 toe te passen. Wellicht kunnen sommige delen in B65 worden uitgevoerd. Om toch een voldoende dichte beton te verkrijgen zal in dit geval alleen van CEMIII cement gebruik gemaakt moeten worden.

Hoge sterkte lichtbeton

- B75 is haalbaar in de praktijk met Liapor als toeslagmateriaal
- Hoge sterkte lichtbeton is duurder dan HSB
- HSLB is duurzamer dan HSB van gelijke sterkteklaasse. Het materiaal is dichter en beter bestand tegen vermoeiing. In Noorwegen wordt HSLB veel toegepast in offshore- en maritieme constructies.
- De treksterkte is ongeveer 35% lager van HSLB dan van hogesterktebeton. Hierdoor is de dwarskrachtcapaciteit van dit materiaal ook lager. Opgemerkt kan worden dat de rekenvoorschriften voor HSB en HSLB belast op dwarskracht aan de zeer voorzichtige kant gekozen lijken te zijn.
- De E-modulus van HSLB is ook ongeveer 35% lager dan van HSB

Zeer hogesterktebeton

- Betonsterken van B150 tot B200 zijn haalbaar.
- Met dit materiaal is in Nederland nog geen, en wereldwijd slechts weinig ervaring. Aanvullend materiaalonderzoek is nodig.
- In verband met de dure mallen dient zoveel mogelijk in gelijkvormige prefabdelen geconstrueerd te worden.

Afweging

Zoals onder andere uit het afstudeeronderzoek: "Ontwerp van het val van een ophaalbrug in (zeer) hoge sterkte beton, voor verkeersklasse 600" [2.9] is gebleken is het met B200 mogelijk om lichte constructies in beton te maken. Deze eigenschap komt bij het ontwerpen van schuiven voor de Stormvloedkering Oosterschelde zeer goed van pas om het eigen gewicht van de schuiven te beperken. Hierdoor kunnen de huidige bewegingswerken van de stalen schuiven ook voor de betonnen schuiven worden gebruikt.

Literatuur:

- [2.1] Mans, D.G.; Hoge sterkte beton, CUR-aanbeveling 37; CUR, Gouda; 1994
- [2.2] Walraven, J.C.; Wat is nu interessant aan Hogesterktebeton; Technische Universiteit Delft
- [2.3] Walraven, J.C.; Hoge sterkte beton: technologie en eigenschappen - deel I; CUR-rapport 90-9; CUR, Gouda; 1991
- [2.4] Mans, D.G.; Hoge sterkte beton, Interimrapport onderzoek en aanzet tot regelgeving, CUR-rapport 93-7; CUR, Gouda; 1994
- [2.5] Manhoudt J.H.J.; Beton met grove lichte toeslagmaterialen, CUR-aanbeveling 39; CUR, Gouda
- [2.6] Souwerbren, C.; Betontechnologie; Cement en Beton, 1; Nederlandse cementindustrie, Amsterdam; 1974
- [2.7] Blokland, G. van; Verbreding van viaducten in Beton van reactief Poeder, afstudeerverslag; TU Delft 1997
- [2.8] Kaptijn; Notitie 3594: Betonnen schuif voor de Oosterscheldekering, Sterkte- en duurzaamheidsaspecten; 28-02-2000

- [2.9] Vergoossen; Deelrapport 2: Ontwerp van het val van een ophaalbrug in (zeer) hoge sterkte beton, voor verkeersklasse 600; december 1999.

3. Beschrijving Stormvloedkering Oosterschelde

3.1 Het Deltaplan

Na de stormramp van 1953 voorzag het Deltaplan in de afsluiting van de zeearmen in Zuidwest Nederland via een stelsel van dammen. Alleen de Westerschelde en de Rotterdamse Waterweg dienden, vanwege de achterliggende havenbelangen, open te blijven. Ook de Oosterschelde zou aanvankelijk een dichte dam krijgen, doch onder invloed van en groeiend milieubesef is dit omgebogen naar een open kering. [3.1]

3.2 De Pijlerdam

De beoogde open kering is gerealiseerd via de aanleg van een pijlerdam in de Oosterschelde, bestaande uit 66 pijlers uitgevoerd in voorgespannen beton met een onderlinge afstand van 45 m. Daartussen bevinden zich beweegbare stalen hefschuiven die onder normale omstandigheden opgetrokken zijn om zo een ongehinderde getijbeweging in de Oosterschelde te bewerkstelligen. De opbouw van de pijlerdam is als volgt:

- **Fundatiemat**

Deze heeft enerzijds tot doel het tegengaan van erosie en anderzijds het behoud van een vlak fundatiebed, om zo funderen op staal mogelijk te maken.

- **Pijlers**

De pijlers hebben tot taak het dragen van de bovenbouw, bestaande uit de stalen schuiven en betonnen balken, terwijl zij vanzelfsprekend ook de bij een storm optredende krachten naar de fundering over moeten brengen.

- **Schuiven**

De beweegbare stalen schuiven vormen in feite het daadwerkelijke keringsmiddel.

- **Bewegingswerk**

Voor het heffen van de schuiven zijn per schuif 2 onafhankelijk werkende bewegingswerken aangebracht.

- **Verkeerskokers**

De pijlerdam vormt een verkeersverbinding tussen Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland, die gerealiseerd is door over de pijlers een verkeerskoker aan te leggen.

Op 4 oktober 1986 is de Stormvloedkering Oosterschelde door Koningin Beatrix officieel in werking gesteld.

3.2.1 Ontwerp pijlers

De als "prefabconstructie" uitgevoerd pijlers zijn in serie gebouwd, aangezien de afmetingen van alle pijlers in grote lijnen aan elkaar gelijk waren (25*50 m. aan de voet en hoog 30 à 40 m., afhankelijk van de uiteindelijke plaats in de stroomgeul). Het gewicht bedroeg ongeveer 17.000 ton, voornamelijk veroorzaakt door circa 7000 m³ beton per pijler (voor alle 66 pijlers samen zo'n 450.000 m³). Het onderstuk van de pijler is hol om zo het gewicht tijdens het transport te kunnen verminderen. Men spreekt derhalve van het caisson-gedeelte, waarin ten behoeve van de stabiliteit tussenwanden zijn aangebracht. Na installatie is de holle ruimte opgevuld met zand. Het bovenstuk is massief met uitzondering van de 2 verticale kokers die toegang geven toe het caisson-gedeelte. [3.2]

De pijlers zijn uitgevoerd in voorgespannen beton, waarbij er op basis van kosten en technische overwegingen voor is gekozen zowel voorspanstaven als voorspanstrengen toe te passen. Daarnaast is nog een hoeveelheid zachtstaalwapening gebruikt. Om de vereiste betonkwaliteit B37,5 te verkrijgen is

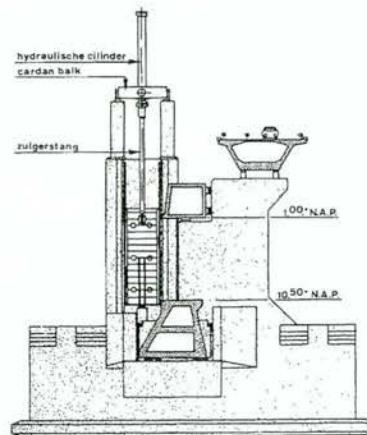
350 kg (hoogoven)cement per m³ beton toegepast, met een watercementfactor van 0,45. Het betonstorten heeft in een zevental fasen plaatsgevonden, waarbij scheurvorming is tegengegaan door het pas gestorte beton te koelen met water via speciaal daarvoor ingestorte leidingen.

3.2.2 Ontwerp schuiven

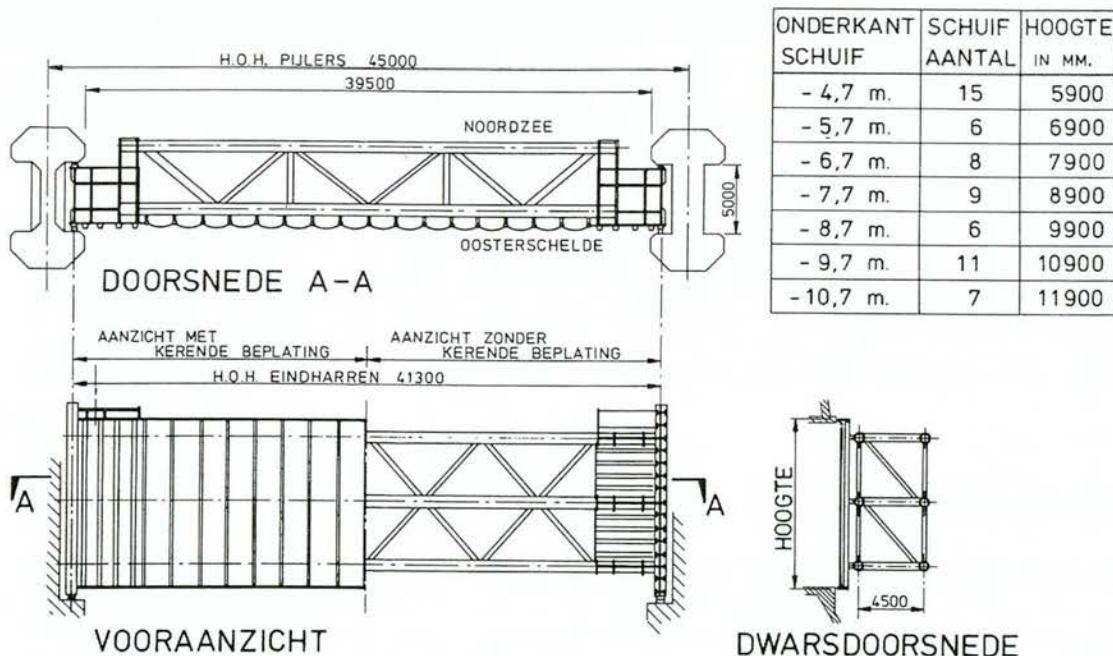
3.2.2.1 Beschrijving van de staalconstructie

De openingen in de kering worden gevormd door de pijlers, de drempel en de bovenbalk en beslaan in totaal een oppervlakte van 14000 m². Deze openingen kunnen worden gesloten door middel van de beweegbare stalen schuiven.

In totaal komen in de stormvloedkering 62 schuiven voor, variërend in hoogte van 5,9 m tot 11,9 m. De variatie in hoogte is uitgevoerd in sprongen van een meter, en volgt globaal de oorspronkelijke bodemlijn van de Oosterschelde. De hoge vakwerkschuiven zijn uitgevoerd als een 3-regelige vakwerkschuf, en de lage schuiven als tweeregelig. [3.3]



Figuur 1, dwarsdoorsnede kering



Figuur 2; Constructie van de schuif

De maatgevende schuiven zijn de schuiven R10 tot en met R16 midden in de Roompot. Deze schuiven, uitgevoerd met 3 regels, hebben een hoogte van 11,9 m. en een overspanning van 41,5 m.

De schuiven zijn als torsieslappe constructies uitgevoerd, omdat tussen twee opeenvolgende pijlers een rotatiehoek, om de as van de kering, van 1 cm op 1 m aanwezig kan zijn. Om het effect van een draaiing van de pijlers om zijn lange as te compenseren, zijn de breedten van de aanslagen op de pijlers afgestemd op deze draaiingstoleranties.

In het totaalontwerp van de kering is een betonnen bovenbalk opgenomen om een reductie van het doorstroomprofiel te realiseren. Deze balk met een hoogte van 4,8 m. is met de onderkant gelegen op N.A.P. +1,0 m., zodat de reducerende werking zich pas laat gelden wanneer deze waterstand wordt overschreden.

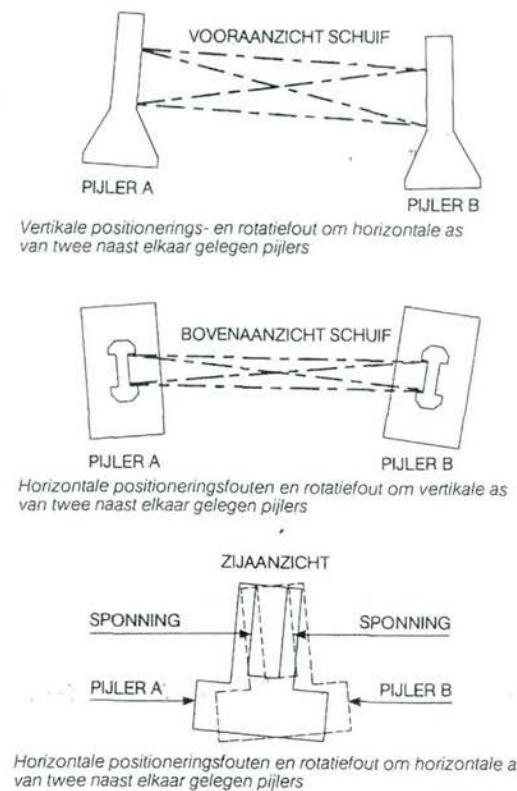
Het staalgewicht van een schuif varieert tussen 300 en 450 ton. De schuiven zijn samengesteld uit de volgende delen:

- Een verticale beplating.
- Een horizontaal hoofddraagsysteem.
- Een verticaal verbandsysteem.

3.2.2.2 Beplating

Voor de beplating zijn cilindrische segmenten gekozen, die gelegen zijn aan de Oosterscheldezijde van de schuiven. In de segmenten treden voornamelijk trekspanningen op. Alleen in het geval dat de waterstand in de Oosterschelde hoger is dan de waterstand in de Noordzee, zullen drukspanningen ontstaan. De cilindrische segmenten hebben ten opzichte van een rechte beplating het voordeel dat er geen verstijvingen op de beplating noodzakelijk zijn. Ook is door de aanwezigheid van grote openingen tussen de segmenten en het hoofddraagsysteem de weerstand die het water ondervindt indien het in de verticale richting door de schuif stroomt minder.

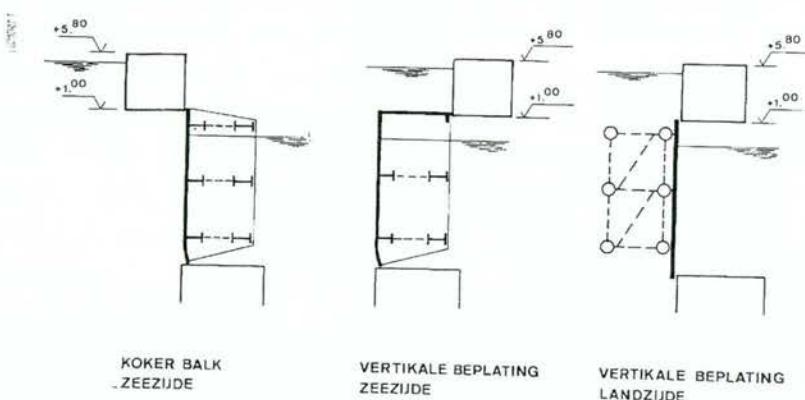
Door het opnemen van een betonnen bovenbalk in de kering, kan het totale oppervlak van de beweegbare schuiven kleiner zijn dan zonder bovenbalk. Een ligging van deze kokerbalk aan de zeezijde van de schuiven, zoals aangegeven in Figuur 1, heeft het nadeel van grote golfklappen tegen de onderkant van de balk. Deze golfklappen kunnen zo groot zijn, dat het eigen gewicht van de balk onvoldoende groot is om het oplichten ervan tegen te gaan. Ook steken de pijlers bij deze oplossing aan de zeezijde aanzienlijk buiten de beplating van de schuiven. Hierdoor kunnen zware golfklappen in de hoeken tussen de schuif en de pijler optreden. Om deze redenen is er gekozen voor ligging van de kokerbalk aan de Oosterscheldezijde van de schuif.



Figuur 3; scheefstand pijler

Met betrekking tot de ligging van de verticale beplating aan de zeezijde gelden de volgende opmerkingen:

- De krachten benodigd voor het heffen van de schuiven worden vergroot door het gewicht van het watervolume boven de schuif.
- Ongunstige krachten worden uitgeoefend op de lijfplaat van de bovenste regel ten gevolge van golfklappen.
- Tijdens het bewegen van de schuiven zullen trillingsproblemen ontstaan in de onderste hoofdlijger en de totale schuifconstructie.



Figuur 4; Positie van de verticale beplating
trillingsproblemen ontstaan in
de onderste hoofdlijger en de totale schuifconstructie.

Hierom is voor een ligging van de verticale beplating aan de Oosterscheldezijde gekozen.

3.2.2.3 Hoofddraagsysteem

Het hoofddraagsysteem is samengesteld uit twee of drie horizontale vakwerkliggers. Het aantal is afhankelijk van de schuifhoogte. De vakwerklijger is opgebouwd uit buizen, waardoor een geringer gevoeligheid ten aanzien van golfklappen wordt bereikt. De horizontale belastingen die worden uitgeoefend op de schuiven, worden naar de pijlers overgebracht via de eindharren, in de sponningen van de pijlers.

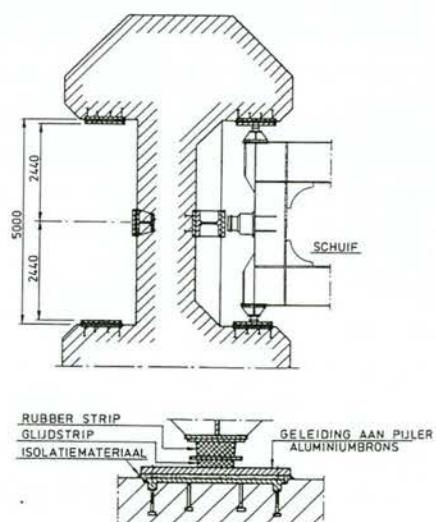
3.2.2.4 Verticaal Verband

Het verticale verband in de schuiven is zodanig gekozen en gepositioneerd, dat de torsiestijfheid van de schuiven niet groter is dan noodzakelijk voor de stabiliteit.

3.2.2.5 Schuifgeleiding

De schuiven zijn als glijschuiven uitgevoerd. Hierdoor is het noodzakelijk voor de aanslagen materialen toe te passen met een geringe wrijvingsweerstand, om de krachten, benodigd voor het openen en sluiten, zo laag mogelijk te houden. Gekozen is voor aluminium-brons en polyethyleen glijvlakken.

De schuiven zijn zo in de sponningen van de pijlers geplaatst, dat de horizontale beweging van de eindharren ten opzichte van de pijlers minimaal is. Dit wordt bereikt door het creëren van voldoende grote voorspankrachten in de rubber strippen van de aanslagen.



Figuur 5; Schuifgeleidingen in de pijler

3.2.3 Ontwerp van de bewegingswerken

Gezien de afmetingen van de schuiven is het nodig deze aan de twee uiteinden van onafhankelijk werkende bewegingswerken te voorzien. Totaal is de kering dus uitgerust met 124 cilinders. Er zijn daarom twee onafhankelijke bewegingswerken per schuif.

De functies van de bewegingswerken zijn:

- Het sluiten van de schuif.
- Het op de onderaanslag aangedrukt houden van de schuif.
- Het weer openen van de schuif.
- Het geheven houden van de schuif.

Meest bepalend voor het ontwerp zijn de belastingen tijdens het bewegen. Gedurende het openen en sluiten van de schuiven moeten er wrijvingskrachten tussen de schuif en de aanslagen worden overwonnen. Deze worden veroorzaakt door de horizontale verval- en golfbelasting en door de voorspanning waarmee de schuif tussen haar geleidingen is opgesloten.

Voor het bewegingswerk heeft men een keuze gemaakt tussen een hydraulisch en een mechanisch bewegingssysteem. In het ontwerpstadium zijn zij onderling vergeleken, waarbij aspecten als betrouwbaarheid, mogelijkheden voor bewaking, levensduur, onderhoud, fabricage, kosten en esthetica aan de orde kwamen. Uiteindelijk is voor het hydraulische bewegingswerk gekozen. Doorslaggevende aspecten waren daarbij de mogelijkheden voor conditiebewaking, kosten en esthetica. De waardering op de andere aspecten vertoonde geen grote onderlinge verschillen. [3.4]

3.2.3.1 Samenstelling bewegingswerk

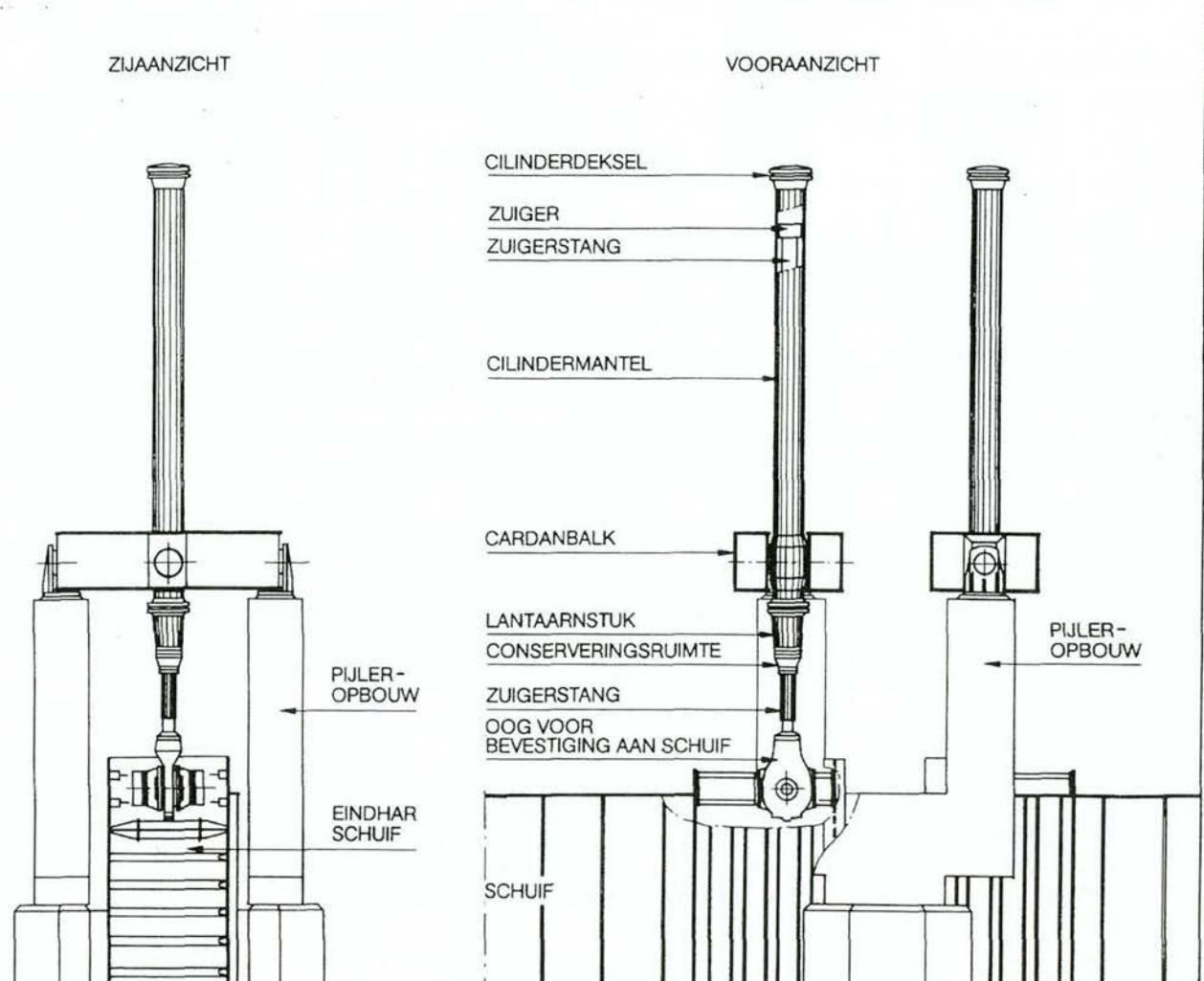
Het bewegingswerk aan elk schuifuiteinde bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een dubbelwerkende hydraulische cilinder. (De cilinder kan zowel opwaartse als neerwaartse krachten leveren). De cilinders zijn cardanische aan de pijler bevestigd, en scharnierend aan de schuif.
- Een elektrische aangedreven hydraulisch pompagegaat, geplaatst in de koker van de verkeersbrug
- Leidingwerk tussen pompagegaat en hydraulische cilinder.

De hydraulische cilinder bestaat in hoofdzaak uit:

- Een cilindermantel voorzien van een cardanstuk. Dit verzwaarde gedeelte zorgt voor een scharnierende bevestiging aan het stalen ophangjuk. De cilindermantel is van boven afgedicht met een cilinderdeksel en van onderen met een lantaarnstuk.
- Een zuigerstang met zuiger en een oog voor de scharnierend bevestiging aan de schuif.
- Een conserveringkamer, aanvankelijk bedoeld voor het aanbrengen van een corrosiewerende beschermingslaag op de zuigerstang.

De cilinders zijn ontworpen voor een hydraulische werkdruk van 220 bar.



Figuur 6; bewegingswerk

LITERATUUR

- [3.1] Ypey, E., e.a.; Cement, Jaargang XXXIV nr. 11; november 1982
- [3.2] Rijkswaterstaat, Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 1: Totaalontwerp en ontwerfilosofie; zonder datum
- [3.3] Rijkswaterstaat; Concept Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 4: Sluitingsmiddelen, Deelnota 3: Schuiven; d.d. 06-07-1998
- [3.4] Rijkswaterstaat; Concept Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 4: Sluitingsmiddelen, Deelnota 2: Hydraulisch onderzoek; d.d. 24-02-2000

4. Historisch schuifontwerpen

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de ontwerpen die tot op heden gemaakt zijn voor de schuiven in de stormvloedkering Oosterschelde. De ontwerpen worden in chronologische volgorde behandeld.

4.2 De huidige stalen schuiven.

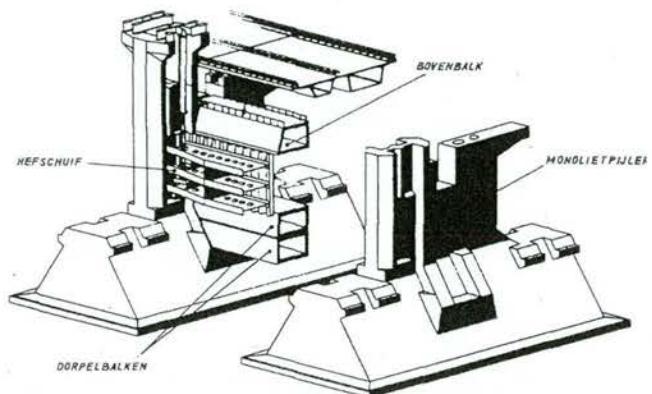
Bij het eerste ontwerp voor de schuiven is in eerste instantie een ontwerp voor de schuiven gemaakt met plaatliggers als hoofddraagconstructie. Deze plaatelementen waren voorzien van ronde gaten waar het water doorheen kon stromen.

Dit ontwerp is vrij ver uitgevoerd, totdat de hydraulische aspecten onderzocht werden. Door de dode hoeken in het schuifontwerp kon de waterdruk lokaal extreem hoog worden. Maar met name door de hoge verticale golfbelasting op de plaatliggerschuiven is het ontwerp bijgesteld. Deze hoge verticale druk betekende namelijk niet alleen een flinke belasting op de liggers van de schuif, maar resulteerde ook in hoge belastingen op de hydraulische cilinders.

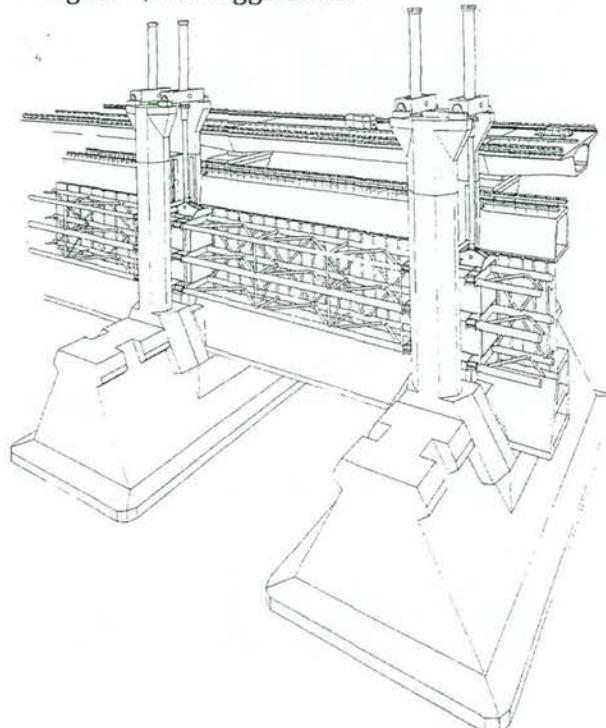
Het uiteindelijk gerealiseerde ontwerp bestaat uit een verticale beplating, ondersteund door een vakwerk opgebouwd uit buiselementen. Door toepassing van deze buiselementen is een zeer geringe gevoeligheid voor golfklappen bereikt. Tijdens het ontwerpproces is veel aandacht geschonken aan trillings- en stromingeffecten op de schuif.

De beplating van de schuif bestaat uit cilindrische plaatelementen. Hierdoor kunnen de platen zonder verticale verstijving de waterbelasting rechtstreeks op de hoofddraagconstructie afdragen. Door grote openingen te laten tussen de beplating en de vakwerkliggers ondervindt het water weinig weerstand als het water in verticale richting door de schuif stroomt.

De bouwkosten van de grootste vakwerkschuif bedragen ongeveer 8 miljoen gulden. Het gewicht is ongeveer 480 ton. [4.1] [4.2] [4.3] [4.4]



Figuur 1; Plaatliggerschuif



Figuur 2; Vakwerkschuif

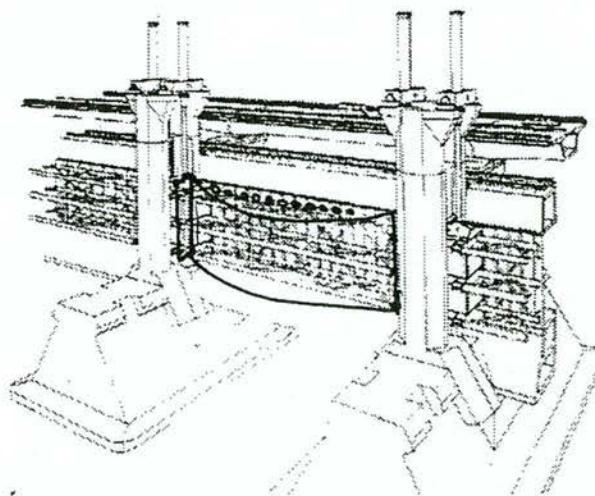
4.3 Glasvezel versterkte kunststofschuiven

J.J.W.M Veraart heeft een afstudeerstudie gedaan naar een glasvezelversterkte schuif als alternatief voor de schuiven in de Oosterscheldekering.

Nadat 4 verschillende varianten uitgewerkt zijn blijkt de afgebeelde variant in deze studie als beste naar voren te komen. De overige varianten blijken niet uitvoerbaar te zijn in kunststof.

Het grote voordeel van een kunststofschuif is het geringe eigen gewicht van 164 ton. Indien voor een gemiddelde kostprijs uitgegaan wordt van fl 50,-- per kg, bedragen de kosten per schuif ongeveer 8 miljoen gulden.

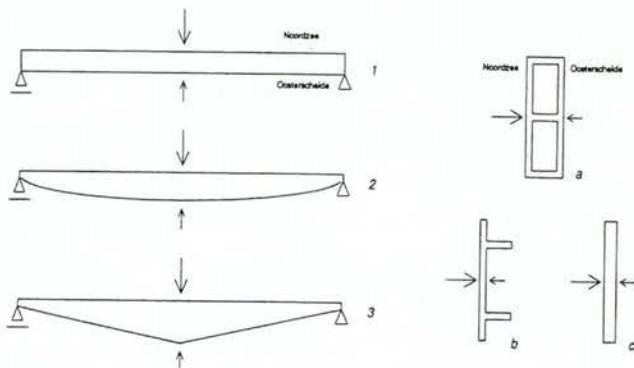
De invloed van trillingen en golflappen zijn in het ontwerp niet meegenomen en moeten nog door middel van modelproeven onderzocht worden. [4.5]



Figuur 3; Glasvezel versterkte kunststofschuif

4.4 Hoge sterkte betonnen schuiven

A.J.M. Keuzenkamp deed een studie naar schuiven in hoge sterkte lichtbeton. Het eerst gemaakte ontwerp bestond uit een T-ligger schuif. Dit ontwerp is na een eerste verkenning niet verder uitgewerkt omdat bleek dat in de drukzone (de flens) van de schuif te weinig beton aanwezig is om de drukkrachten op te nemen. Het vergroten van de flensbreedte en de flenshoogte is binnen het kader van een economisch ontwerp slechts in beperkte mate mogelijk.



Figuur 4; Varianten in hogesterktebeton

De keuze is vervolgens dan ook gevallen op een kokervormige doorsnede. Deze variant is doorgerekend met hogesterkte lichtbeton van sterkteklaasse B105. Deze sterkteklaasse is naar verwachting niet haalbaar in lichtbeton.

Bij de berekening is gebruik gemaakt van de voorschriften voor grindbeton tot sterkteklaasse B65. Van de CUR-aanbevelingen voor berekeningen met hogesterktebeton en beton met lichte grove toeslagmaterialen is geen gebruik gemaakt.

Het totale gewicht van de betonnen schuif bedraagt 1051 ton. Volgens de auteur kunnen de hydraulische cilinders deze schuiven dragen. In de berekening hiervan is niet meegenomen:

- De wrijving tussen de schuif en de sponning
- De inwendige wrijving in de cilinders
- De verticale golfsbelasting

Ook zijn andere onderdelen van de bewegingswerken, zoals de cardanas, lagers en de hamerkoppen, niet gecontroleerd of zij deze belastingen kunnen dragen.

De geraamde kostprijs bedraagt fl 2.050.00,-- [4.6]

4.5 Ontwerp in vezelversterkte kunststof

De recentste variant is gemaakt door Stefan van der Laken. Hij heeft een afstudeerstudie gedaan naar een schuif van vezelversterkte kunststof.

Na een zeer uitgebreide studie naar mogelijke oplossingen zijn er vier varianten verder uitgewerkt. Van één variant is een eindontwerp gemaakt. In dit ontwerp worden een aantal gewikkelde kunststof buizen gestapeld en tot een geheel gelijmd.

De (natte) eigenfrequentie van deze vezelversterkte kunststofschuif blijkt een stuk lager te liggen dan bij de huidige stalen schuiven. Uit eerdere modelproeven is gebleken dat het gevaar bestaat dat de schuif bij een te lage eigenfrequentie in eigentrilling geraakt.

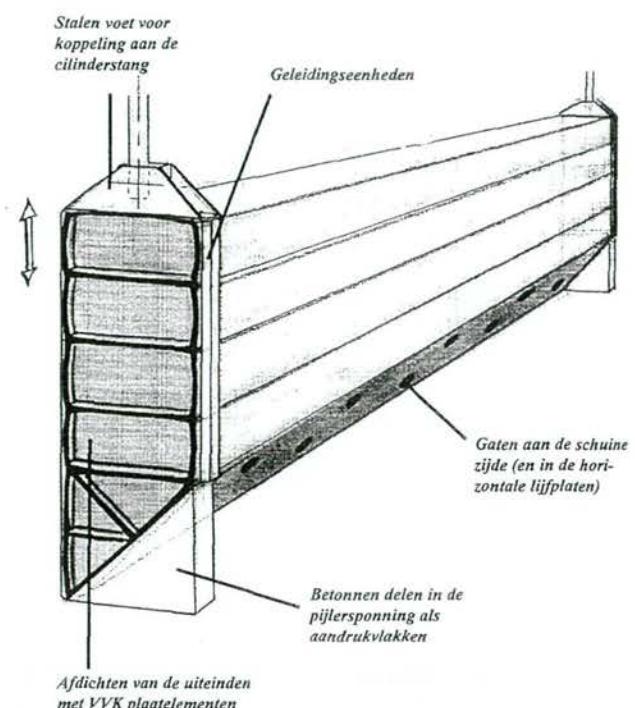
In het verslag wordt veel aandacht besteed aan de effecten van stroming en golfklappen op de schuif. Ondanks dat het zonder modelproeven voor alternatieve vormen van de schuiven in de Oosterscheldekering vrijwel ondoenlijk is om golfklapdruk- en trillingseffecten in kwantitatieve zin te bepalen, heeft de auteur wel kwalitatieve uitspraken kunnen doen.

Voorwaarden met betrekking tot stroming:

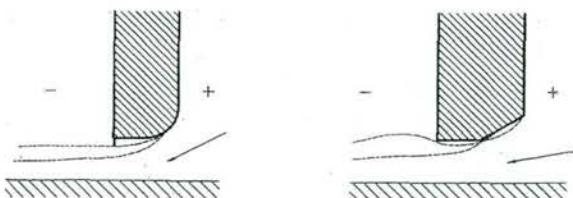
- Flexibele delen aan de onderzijde van de schuif zoals rubberen afdichtstrips die openingen niet geheel afdichten zijn ongunstig wat betreft trillingen.
- Een scherpe of dunne rand is altijd te prefereren boven een dikkere of afgeronde rand. Voorbeelden van ongunstige vormen worden in figuur 6 getoond. Een horizontaal of hellend oppervlak aan de onderzijde kan trillingen tot gevolg hebben doordat de stroming afwisselend wel of niet aanligt. Een dikkere schuif zal minimaal een hoek van 45° met de horizontale lijn moeten hebben.
- De smalste doorstroomopening ligt bij voorkeur aan de benedenstroomse zijde, in dit geval aan de Oosterscheldezijde.

Richtlijnen voor een schuif met betrekking tot de golfklappen zijn:

- Voorkom dat horizontale delen of hellende constructiedelen zich in het gebied bevinden waarbinnen de waterspiegel op en neer beweegt. Dit geldt met name voor het gebied rond de gemiddelde waterlijn, omdat de verticale snelheden van het water daar het grootst zijn.
- De constructie dient zo open mogelijk gemaakt te worden, bijvoorbeeld als een vakwerkconstructie. Perforaties in plaatvormige constructies beperken het aangeslagen oppervlak, zonder dat de klapdrukken zelf gereduceerd worden.
- Schuiven met horizontale liggers kunnen afgeschermd worden door een tweede verticale beplating
- Er dient voorkomen te worden dat er hoeken zijn waar de golven inlopen. Het water kan in dit geval niet zijdelings wegstromen met hoge golfklapdrukken als mogelijk gevolg.



Figuur 5; Eindontwerp variant in vezelversterkte kunststof



Figuur 6; Twee mindere goede vormen voor de onderkant van de schuif m.b.t. stroming

- Luchtinsluitsels tussen het wateroppervlak kunnen als een veer werken en tot een kleinere responsie van de schuif leiden. Het is echter over het algemeen niet aan te raden hier op te ontwerpen door de moeilijke voorspelling van dit effect. [4.7]

4.6 Conclusies

De voor- en nadelen van de beschreven ontwerpen kunnen als volgt samengevat worden:

Schuiftype	kosten aspecten		functionele aspecten			
	Bouw-kosten	Onderhouds-kosten	verticale golfklappen	stromings-aspecten	eigen gewicht	eigen-frequentie
Stalen Vakwerkschuif	+	--	++	+	+	+
Kunststofschuif (Veraart)	-	++	-	-	++	-
Schuif in HSB (Keuzenkamp)	++	++	-	-	--	+
Kunststof schuif (van der Laken)	-	++	+	+	++	-

Tabel 1; Vergelijking varianten.

De stalen vakwerkschuif scoort goed op alle functionele aspecten. Het enige negatieve aspect van dit schuiftype is de hoge onderhoudskosten.

De kokerschuiven (Schuif in HSB (Keuzenkamp), Kunststof schuif (van der Laken)) voldoen op de functionele aspecten minder goed dan vakwerkschuiven. De schuif in Hoge Sterkte Beton is door de brede horizontale onderzijde gevoelig voor verticale golfklappen en schoort niet goed op het aspect stromingseigenschappen tijdens het sluiten van de schuif. Ook is het eigen gewicht van de schuif hoog doordat de dubbele verticale wand veel materiaal vergt. De kunststof schuif heeft door zijn afgepunte onderzijde minder last van verticale golfklappen en nadelige stromingeffecten. De eigenfrequentie van deze schuif ligt wel in de gevarenzone.

Het materiaal beton heeft in het verleden aangetoond onderhoudsarm te zijn. De bouwkosten van een betonconstructie zijn in het algemeen laag. Een betonnen vakwerkschuif blijkt een schuifvorm te zijn die op alle aspecten positief scoort. Op basis van deze afweging is er besloten om in dit afstudeeronderzoek alleen een ontwerp te maken voor de B200-vakwerkschuif.

LITERATUUR

- [4.1] Rijkswaterstaat; Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 1: Totaalontwerp en ontwerfilosofie; zonder datum
- [4.2] Rijkswaterstaat; Concept Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 4: Sluitingsmiddelen, Deelnota 2: Hydraulisch onderzoek; d.d. 24-02-2000
- [4.3] Rijkswaterstaat, Concept Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, Boek 4: Sluitingsmiddelen, Deelnota 3: Schuiven; d.d. 06-07-1998
- [4.4] Ypey, E., e.a.; Cement, Jaargang XXXIV nr. 11; november 1982
- [4.5] Veraart, J.J.W.M.; Glasvezelversterkte kunststof schuiven als alternatief voor de schuiven in de Oosterscheldekering; Afstudeerrapport TU Delft Faculteit Civiele Techniek; 1997
- [4.6] Keuzenkamp, A.J.M.; Hoge sterkte betonnen schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde, Haalbaarheidsonderzoek; Afstudeerrapport TU Delft Faculteit Civiele Techniek; januari 1998

- [4.7] Laken, S.L. van der; Ontwerp van schuiven van de Oosterscheldekering in vezelversterkte kunststoffen; Afstudeerrapport TU Delft Faculteit Ontwerp, Constructie en Productie, Subfaculteit Industrieel Ontwerpen; Oktober 1999

5. Belastingen op de schuiven

5.1 Horizontale belastingen

De schuifconstructie dient te voldoen aan bepaalde hydraulische en constructieve randvoorwaarden. De hydraulische randvoorwaarden hebben betrekking op de belastingen ten gevolge van verval en golfslag tijdens het sluiten en openen en bij een gesloten kering. Golfbelasting op een geopende kering is verwaarloosbaar.

De maatgevende hydraulische randvoorwaarden staan in tabel 1. [5.1]

Bij sluiten, na overschrijding van het grenspeil, aan het eind van de sluiting:

Waterstand Noordzeezijde	N.A.P. +4,4 m.
Waterstand Oosterscheldezijde	N.A.P. +0,2 m.
Golfhoogte	$H_s = 3,4 \text{ m.}$
Golfperiode	$T_p = 11,5 \text{ s.}$

Bij gesloten kering tijdens de maatgevende storm- en hoogwatercondities:

Waterstand Noordzeezijde	N.A.P. +5,5 m.
Waterstand Oosterscheldezijde	N.A.P. -0,7 m.
Golfhoogte	$H_s = 3,8 \text{ m.}$
Golfperiode	$T_p = 9,6 \text{ s.}$

Waterstand aan de Oosterscheldezijde hoger dan aan Noordzeezijde:

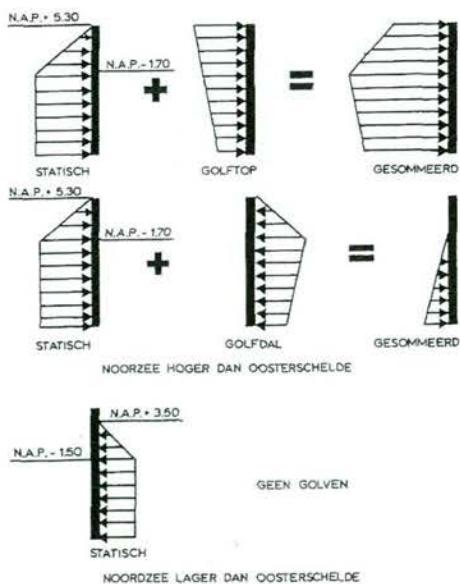
Waterstand Noordzeezijde	N.A.P. -1,0 m.
Waterstand Oosterscheldezijde	N.A.P. +2,4 m.
Golfhoogte	H_s verwaarloosbaar
Golfperiode	-

Tabel 1; hydraulische randvoorwaarden

De overschrijdingskans van de belastingen die bij bovenstaande randvoorwaarden behoren, bedraagt $2,5 \cdot 10^{-4}$ per jaar.

Met behulp van bovenstaande hydraulische randvoorwaarden is het mogelijk een berekening te maken van de te verwachten krachten op een schuif. Er zijn hierbij twee gevallen te onderscheiden. In het eerste geval is de waterstand aan de zeezijde hoger dan aan de Oosterscheldezijde. Deze belasting bestaat uit een vervalbelasting ten gevolge van het verschil in water niveau aan beide zijden van de schuif, en een golftop- of golfdal belasting. Zie hiervoor ook Figuur 1.

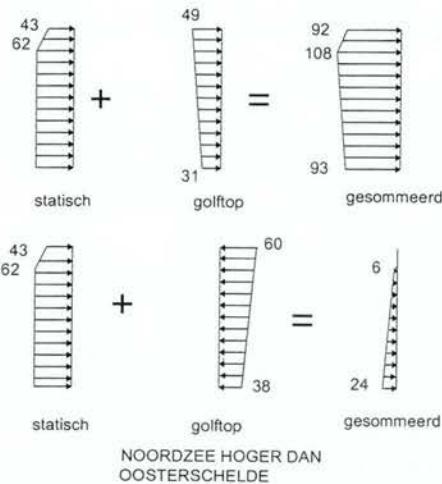
In het tweede geval is de waterstand aan de kant van de Oosterschelde hoger dan aan die kant van de Noordzee. Deze belasting wordt in het geheel gevormd door een hoogteverschil van (stilstaand) water en is dus statisch. [5.2]



Figuur 1; Belasting op de schuif in gesloten positie

Volgens dhr. J.S. Leenderz, destijds betrokken bij het ontwerp van de Stormvloedkering Oosterschelde, zijn tijdens de ontwerpfase de belastingen zoals vermeld in Figuur 2 aangehouden voor de hoogste schuif (11,9 m.).

Nadat het ontwerp van de stalen vakwerkschuiven vast lag, zijn door middel van modelproeven bij het Waterloopkundig Laboratorium de maximale belastingen nauwkeurig bepaald. In Tabel 2 en Tabel 3 staan de uitkomsten van dit onderzoek vermeld. Hierbij is ook bij elke extreme horizontale belasting aangegeven wat de bijbehorende verticale belasting is. Deze verticale belasting is niet de maximale verticale belasting, omdat de maxima van horizontale en verticale belastingen nooit gelijktijdig optreden.



Figuur 2; Waterbelasting op de schuif

Schuifhoogte m	Schuifnr.	Extreme horizontale belasting			bijbehorende verticale belasting		H_1 m	T_z s
		totaal kN	golf kN	verval kN	top kN	dal kN		
5.9	R 1,31	23.129	8.635	14.494	1.933	1.016	5.6	9.5
6.9	R 2,30	26.984	9.907	17.077	1.933	1.016	5.6	9.5
7.9	R 3,4,29	31.005	11.343	19.662	1.978	1.039	5.73	9.5
8.9	R 5,27,28	34.513	12.267	22.246	2.044	1.119	5.66	9.5
9.9	R 6,25,26	38.728	13.898	24.830	2.052	1.123	5.68	9.5
10.9	R 7 t/m 9,R17 t/m 24	42.725	15.331	27.414	2.066	1.131	5.72	9.5
11.9	R10 t/m 16	46.435	16.437	29.998	2.077	1.137	5.75	9.5

Tabel 2; Extreme horizontale belasting met bijbehorende verticale belasting Roompot

Schuifhoogte m	Schuifnr.	Extreme horizontale belasting			bijbehorende verticale belasting		H ₁ m	T _z s
		totaal kN	golf kN	verval kN	top kN	dal kN		
5.9	S1 t/m 3, 13 t/m 16 H1, 2, 12 t/m 15	20.826	6.332	14.494	1.415	744	4,10	9.5
6.9	S4, 12 H3, 11	24.373	7.296	17.077	1.415	744	4,10	9.5
7.9	S5, 10, 11 H4, 11	28.062	8.400	19.662	1.467	771	4,25	9.5
8.9	S6 t/m 9 H5, 9	31.419	9.173	22.246	1.517	831	4,20	9.5
9.9	H6 t/m 8	34.818	9.988	24.830	1.517	831	4,20	9.5

Tabel 3; Extreme horizontale belastingen met bijbehorende verticale belasting Hammen en Schaar

Als deze horizontale krachten gedeeld worden door het oppervlak van het sluitgat, dan blijkt zowel voor de hoge als voor de lage schuif dat de horizontale, gelijk verdeelde vervalbelasting 61 kN/m^2 is en de golfbelasting voor de hoogste schuif 34 kN/m^2 bedraagt. Samen zorgt dit voor een (horizontale, gelijk verdeelde) gemiddelde belasting van 95 kN/m^2 .

5.2 Verticale belastingen op de schuif

De verticale golfbelastingen zijn bij het ontwerp van de huidige stalen schuiven bepalend geweest voor het type schuif dat uiteindelijk gerealiseerd is. De verticale golfbelasting op de schuiven is afhankelijk van de oppervlakte van de horizontale delen van de schuif.

De gemeten waarden van de verticale belasting op de huidige schuiven staat vermeld in tabel 4 en tabel 5. [5.3]

Schuifhoogte m	Schuifnr	extreme verticale belasting		bijbehorende horizontale belasting			H ₁ m	T _z s
		top kN	dal kN	totaal kN	golf kN	verval kN		
5.9	R 1,31	2.543	1.950	17.011	7.435	9.576	6,18	6.10
6.9	R 2,30	2.543	1.950	19.616	8.290	11.326	6,18	6.10
7.9	R 3,4,29	2.543	1.950	22.127	9.050	13.077	6,18	6.10
8.9	R 5,27,28	2.394	1.901	25.577	10.750	14.827	5.63	7,20
9.9	R 6,25,26	2.394	1.901	28.128	11.550	16.578	5.63	7,20
10.9	R 7 t/m 9,R17 t/m 24	2.394	1.901	30.618	12.290	18.328	5.63	7,20
11.9	R10 t/m 16	2.394	1.901	33.053	12.974	20.079	5.63	7,20

Tabel 4; Extreme verticale belasting met bijbehorende horizontale belasting Roompot

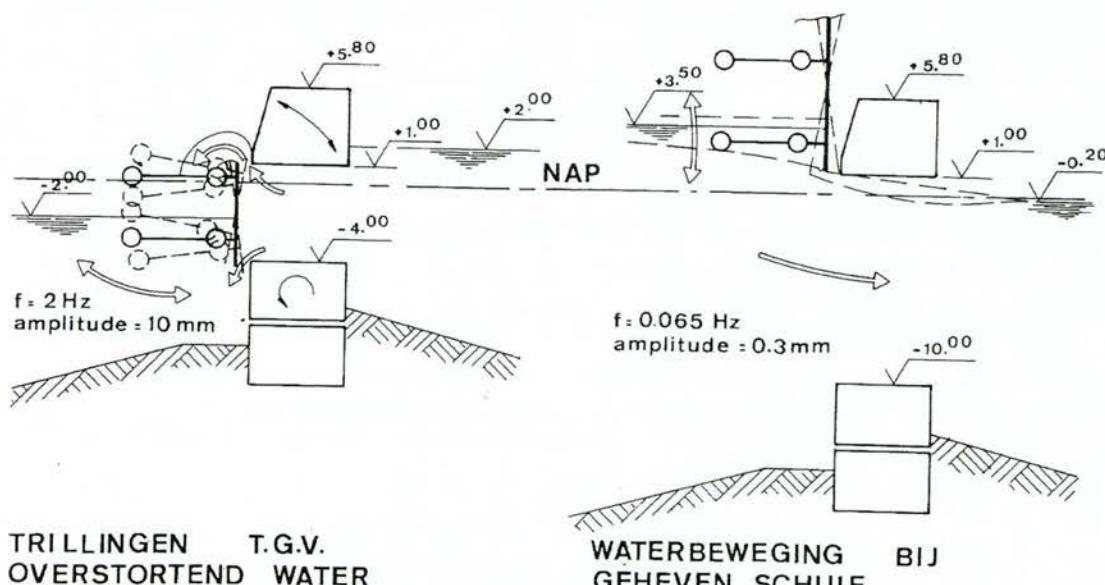
Schuifhoogte m	Schuifnr	extreme verticale belasting		bijbehorende horizontale belasting			H ₁	T _z
		top kN	dal kN	totaal kN	golf kN	verval kN	m	s
5.9	S1 t/m 3, 13 t/m 16 H1, 2, 12 t/m 15	2.478	1.900	16.821	7.245	9.576	6,02	6,10
6.9	S4, 12 H3, 11	2.478	1.900	19.401	8.075	11.326	6,02	6,10
7.9	S5, 10, 11 H4, 11	2.478	1.900	21.892	8.815	13.077	6,02	6,10
8.9	S6 t/m 9 H5, 9	2.394	1.901	25.577	10.750	14.827	5,63	7,20
9.9	H6 t/m 8	2.394	1.901	28.128	11.550	16.578	5,63	7,20

Tabel 5; Extreme verticale belasting met bijbehorende horizontale belasting Hammen en Schaar.

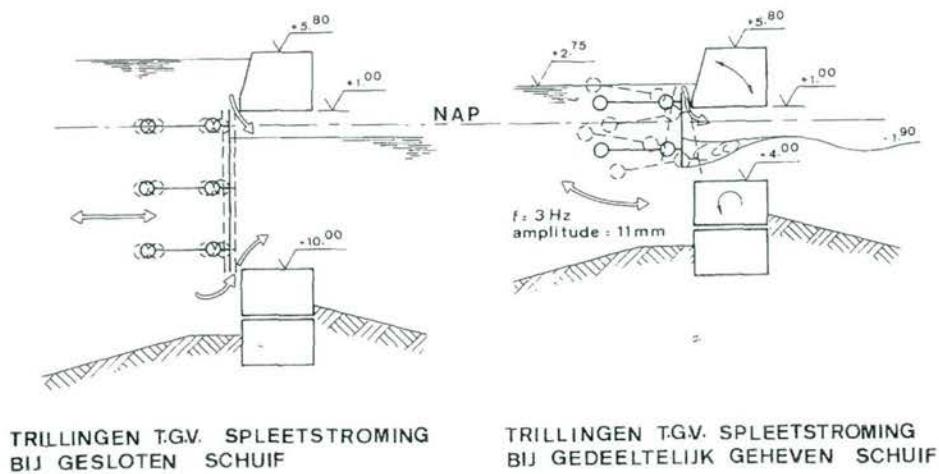
5.3 Dynamische belastingen (trillingen en golfklappen)

De stormvloedkering is niet opgebouwd uit elementen die oneindig stijf zijn, maar uit elementen die ten gevolge van de belastingen zullen vervormen. De kering bestaat dus eigenlijk uit onderdelen die zich als veren gedragen. De schuiven kunnen gaan trillen als ze gesloten zijn en het water bij boven- en dorpelbalken met grote kracht door de spleten stroomt. Ook kunnen zich trillingen voordoen bij een gedeeltelijk geheven schuif en bij overstortend water. Figuur 3 en Figuur 4 geven een overzicht van deze trillingen.

De golfbelastingen kunnen op lokale elementen hoger zijn dan op de schuif als geheel. Gebleken is dat tijdens het omlaag brengen van de schuiven de grootste golfklappen op kunnen treden wanneer de schuif zich begeeft in de positie tussen + 50 en - 50 cm. van de waterspiegel. De schuif zal tijdens het bewegen ongeveer 5 minuten in deze positie verkeren. De golfklappen kunnen (lokaal gezien) waarden bereiken van 280 kN/m² tegen de horizontale plaatelementen, tegen buisvormige elementen zijn deze waarden 85 kN/m². De maximale waarde van de tijdens modelonderzoek door het Waterloopkundig Laboratorium gemeten verticale golfklapbelastingen op de vakwerkschuiven bedraagt F_{vk}=70 kN/m.



Figuur 3; Trillingen t.g.v. Overstortend water en waterbewegingen



Figuur 4; Trillingen t.g.v. spleetstroming

5.4 Capaciteit bewegingswerk

De maximale capaciteit van de huidige bewegingswerken ter plaatse van het bevestigingspunt van de hydraulische cilinder aan de schuif (het onderoog) bedraagt:

- een maximale trekkracht op van +7640 kN totaal (+3820 kN per zijde);
- een maximale drukkracht op van -8443 kN totaal (-4222 kN per zijde).

Deze belastingen waren bepalend voor het ontwerp van de hydraulische cilinders en cardan en mogen bij alternatieve schuifontwerpen waarbij het bewegingswerk niet wordt vervangen niet worden overschreden.

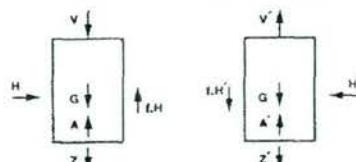
De oliedrukken waarvan bij het ontwerp van de hydraulische cilinders werd uitgegaan, zijn:

- stangzijde: 190 bar;
- dekselzijde: 75 bar.

De vereiste krachten om de schuiven te bewegen zijn afhankelijk van het eigen gewicht van de schuif, en het opdrijvend vermogen. Ook is de vormgeving van belang, omdat de golfbelasting hiervan afhangt (zie figuur 4).

Er gelden twee extreme situaties voor wat betreft de kritische druk- en hefkracht van de hydraulische cilinders. Bij het sluiten is alleen de golfbelasting (verticaal en horizontaal) van belang, aangezien er nog geen verval opgebouwd is. Bij het openen van de schuif is de vervalbelasting wel van belang. In een extreme situatie zou de schuif bij een verval van 2,5 m. geopend moeten kunnen worden.

VEREISTE KRACHTEN VOOR BEWEGEN SCHUIVEN



$$\text{SLUITEN: } V = f.H - G + A - Z$$

$$\text{OPENEN: } V' = f.H' + G - A' + Z'$$

H EN H' = HORIZONTALE WATERDRUK

G = DROOG GEWICHT SCHUIF

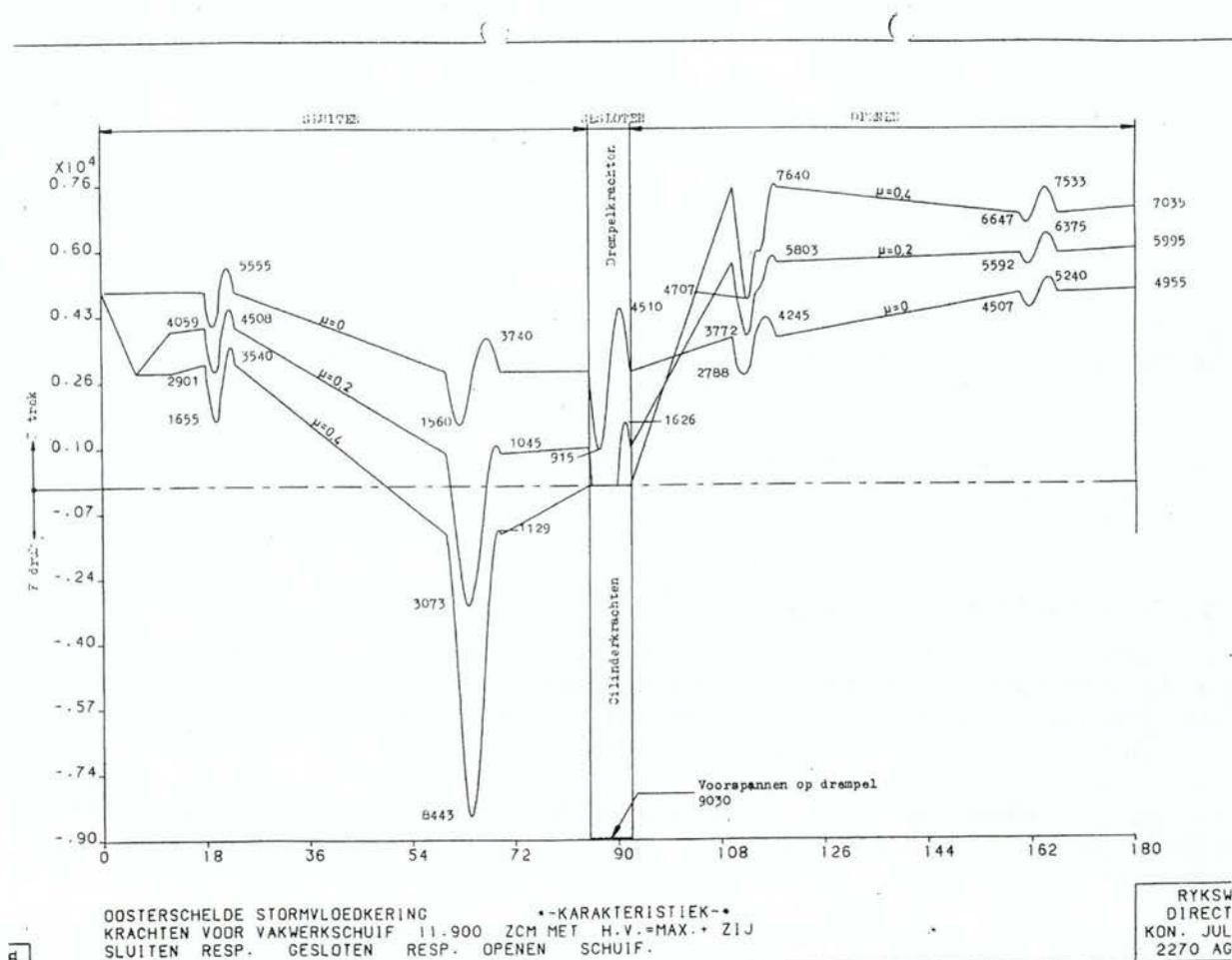
A EN A' = OPWAARTSE KRACHT T.G.V.
ONDERGEDOMPELDE DEEL

Z EN Z' = ZUIGING

f = WRIJVINGSCOEFFICIENT

Figuur 5; Vereiste krachten voor bewegen schuiven

Door het voorspannen van de schuif in de sponningen wordt getracht het "klapperen" van de schuif te voorkomen, waardoor grote stootkrachten zouden kunnen ontstaan. De voorspanning in de geleidingseenheden bedraagt 200 kN per (verticale) meter door het indrukken van enkele mm. Rubber.



Figuur 6; Druk-, en trekkrachten, benodigd om schuif te openen en te sluiten

Figuur 6 [5.4] stelt een diagram voor dat de benodigde kracht weergeeft om een stalen schuif van 11,9 m. te openen, gesloten te houden en vervolgens weer te openen bij wrijvingscoëfficiënten van 0, 0,2 en 0,4.

De bewegingswerken zijn gedimensioneerd op een wrijvingscoëfficiënt in de schuifgeleidingen van 0,4. De maximale trekkkracht die de cilinders kunnen leveren om de schuif te openen is in deze situatie 7640 kN.

Bij metingen in de praktijk aan de schuifgeleidingen tijdens openings-, en sluitingsoperaties blijkt de wrijvingscoëfficiënt echter te variëren tussen 0,09 en 0,15. [5.5] Als rekenwaarde voor de wrijvingscoëfficiënt lijkt 0,2 te voldoen. In dit geval ontstaat er extra ruimte voor het eigen gewicht van de schuif: $7640 \text{ kN} - 5803 \text{ kN} = 1837 \text{ kN}$. Het gewicht van de stalen schuif bedraagt 450 ton (4500 kN). Het maximaal schuifgewicht voor de betonnen schuif bedraagt $4500 \text{ kN} + 1837 \text{ kN} = 6337 \text{ kN}$ of 633 ton.

LITERATUUR

- [5.1] Rijkswaterstaat; DDWT-79.016 Overschrijdingskansen van vervallen en waterstanden bij de stormvloedkering in de Oosterschelde
- [5.2] Rijkswaterstaat; DDWT-80.411 Golf- en vervalbelasting op vakwerkschuiven van de Stormvloedkering Oosterschelde in gesloten situatie.
- [5.3] Waterloopkundig Laboratorium; stormvloedkering Oosterschelde, vertikale golfbelastingen op de vakwerkschuiven, loodrechte golfaanval, M1723/M1687; mei 1987
- [5.4] Bouwdienst Rijkswaterstaat, Ros, D.; Nota NIO-A-N-200017
- [5.5] Bouwdienst Rijkswaterstaat, Ros, D.; NIO-R-95025; Triboregister; Wrijvingscoëfficiënten en hiefsfactoren; juni 1995

6. Eisen en randvoorwaarden

6.1 Eisen

Belasting op schuiven

- De belasting op een schuif in gesloten toestand bedraagt 95 kN/m^2 .
- Tijdens het sluiten of openen varieert de belasting op de deuren van 30 tot 80 kN/m^2 .
- In geval van hoogwater aan de Oosterscheldezijde van de schuif bedraagt de belasting 34 kN/m^2 .
- De extreme hoogte van de golven voor de schuiven is gelegen in het diepste gedeelte van de geulen en bedraagt 16 m.
- De significante golfhoogte bedraagt $H_s = 3,4 \text{ m}$.
- De golfperiode bedraagt $T=11,5 \text{ s}$.
- Volgens statistische berekeningen zullen er in totaal 750.000 golfbelastingen op een schuif worden uitgeoefend over een periode van 200 jaar.
- Bij een horizontaal oppervlak aan de schuif kan de opwaartse belasting oplopen tot 280 kN/m^2 .
- Bij toepassing van ronde buisprofielen met een diameter van 1000 mm. Bedraagt de verticale golfklapbelasting 70 kN/m .

Uitvoering

- Tijdens het ontwerp moet er rekening meer worden gehouden dat de schuif tijdens productie, opslag en transport gedraaid en getild zal worden.

Onderhoud

- De schuif moet in principe gedurende de levensduur onderhoudsvrij zijn.
- Mocht door omstandigheden die vooraf niet voorzien waren toch onderhoud noodzakelijk zijn, dan is net als bij de huidige schuiven de mogelijkheid ingebouwd om deze 1,3 meter extra te heffen boven het normale niveau om zo de bereikbaarheid van de schuif te vergroten

Kosten

De integrale kosten van de schuiven moeten lager zijn dan van de bestaande schuiven.

6.2 Randvoorwaarden

Voorwaarden opgelegd door de huidige kering

- Omdat de schuiven tussen de huidige pijlers moeten passen bedraagt de maximale schuiflengte 43500 mm.
- De schuiflengte buiten de sponningen bedraagt maximaal 39000 mm.
- De hoogte van de schuiven varieert tussen 5.9 meter en 11.9 meter. De hoogte van de te ontwerpen schuif bedraagt 11900 mm.
- De maximale breedte van de schuif tussen de sponningen is 3980 mm.
- De breedte buiten de sponningen is aan de Noordzeezijde onbeperkt en aan de Oosterscheldezijde nul. (In verband met het omhoog en omlaag bewegen van de schuif langs de bovenbalk en onderdorpels.)
- De doorbuiging van de schuif mag niet meer bedragen dan 17 cm. in verband met de huidige ruimte tussen schuif en onderdorpelbalken en verkeerskoker.
- Het eigen gewicht van de schuif mag indien gebruik gemaakt wordt van de huidige bewegingswerken maximaal 633 ton bedragen.
- De schuiven dienen torsieslap te zijn met het oog op mogelijke scheefstand van de pijlers.
- De schuiven moeten uitgevoerd worden als glijschuiven in verband met de bestaande aanslagen in de sponningen van de pijlers.

6.3 Uitgangspunten

- In dit afstudeerwerk wordt alleen voor het hoogste schuiftype (11900 mm.) een ontwerp gemaakt.
- Er wordt naar gestreefd een ontwerp te maken dat ook uitvoerbaar is in een kleinere hoogte.
- De huidige schuiven variëren in lengte tussen 40.75 m. en 41.85 m. Er zal een ontwerp gemaakt worden voor de gemiddelde lengte van 41,3 m.
- De krachten en stromingen waarop de schuif ontworpen moet worden hebben een kans van voorkomen van $2,5 \cdot 10^{-4}$ per jaar.
- De beheerder van de stormvloedkering heeft bij sluitings- of openingsoperaties van de stormvloedkering volledige vrijheid van handelen.
- De nieuwe schuiven moeten mogelijk geheven kunnen worden met aangepaste bewegingswerken. Indien dit niet mogelijk blijkt, zullen de kosten voor vervanging van het bewegingswerk in de kostprijsberekening meegenomen worden.
- De duur van de periode waarin de Oosterscheldekering is afgesloten dient zo kort mogelijk te zijn.
- Er wordt slechts een ontwerp gemaakt in (zeer) hogesterktebeton. Voor de vergelijking van dit ontwerp in (Z)HSB met andere materialen wordt gebruik gemaakt van de eerder gemaakte ontwerpen in staal en kunststof.

7. Voorontwerp

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden verschillende mogelijke ontwerpen behandeld. Na een korte toelichting op de keuze om een vakwerkschuif in B200 te ontwerpen, worden diverse varianten voor de verschillende onderdelen van de schuif belicht.

De schuifconstructie bestaat uit verschillende onderdelen:

- Een waterkerende beplating. Functie: Het water kerend. Overbrengen van verval- en golfbelasting naar de vakwerkliggers.
- Vakwerkliggers. Functie: Overbrengen van de belasting naar de eindharren
- Eindharren: Functie:- Afdragen verval- en golfbelasting naar de opleggingen van de pijlers. De eindharren zorgen er ook voor dat de schuif in de sponning van de pijlers opgesloten zit, zodat de schuif niet bonkt. Verder wordt het eigen gewicht van de schuif, de wrijvingskrachten tijdens sluiten en openen, en de horizontale golf- en stromingsbelasting afgedragen via de eindharren naar de bewegingswerken.

Aan het eind van het hoofdstuk wordt de afweging gemaakt welke combinatie van onderdeel-ontwerpen tot een goed schuifontwerp leidt. Deze schuifvariant wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 8: Definitief Ontwerp.

7.2 Ontwerpkeuzen

Er is voor gekozen om in deze afstudeerstudie alleen een schuifontwerp te maken als vakwerkschuif in zeer hogesterktebeton (B200). De redenen waarom hiervoor gekozen is worden in deze paragraaf uiteengezet.

7.2.1 Keuze constructievorm voorkeursvariant

In hoofdstuk 4 zijn de verschillende tot nog toe gemaakte varianten voor de schuiven in de stormvloedkering Oosterschelde met elkaar vergeleken. Hierbij is naar voren gekomen dat een schuif met een open vakwerkconstructie een goede oplossingsvariant blijkt te zijn (zie tabel 1).

Deze constructievormen springen zuinig met materiaal om, zodat het gewicht en de materiaalkosten beperkt kunnen blijven. Ook de stromingseigenschappen en eigenfrequentie zijn goed. Hierom is de vakwerkschuif de voorkeursvariant.

7.2.2 Betonsoort B200

Tijdens de loop van dit afstudeerproject is binnen de Bouwdienst Rijkswaterstaat het project Betonnen hefschuiven SVKO (PBMS 3594) opgestart. Deze projectgroep heeft van directie Zeeland de opdracht gekregen om een haalbaarheidsnota betreffende het ontwerp van een betonnen schuif te leveren waarin wordt onderzocht in hoeverre een schuif-ontwerp in hogesterktebeton een haalbaar alternatief is voor de huidige schuiven. Deze projectgroep heeft in het beginstadium van het project besloten in eerste instantie uit te gaan van het materiaal HSB B65- B85.

Voor deze afstudeerstudie staat in de afstudeeropdracht het gebruik van het materiaal zeer hogesterktebeton B200 voorgeschreven. De redenen hiervan waren:

- Het voorkomen dat werkzaamheden dubbel uitgevoerd worden.
- De mogelijkheden met ZHSB worden toch onderzocht. Na afloop van beide projecten kan er met meer zekerheid gezegd worden of HSB in deze constructie al dan niet hoogwaardig genoeg is.

Omdat beide projecten (uiteindelijk) zeer veel raakvlakken hebben is er besloten om één maal per maand bijeen te komen om elkaar op de hoogte te stellen van de vorderingen en ontwikkelingen. Hierdoor profiteren beide projecten van de kennis van elkaar.

7.3 Voorontwerp eindhar

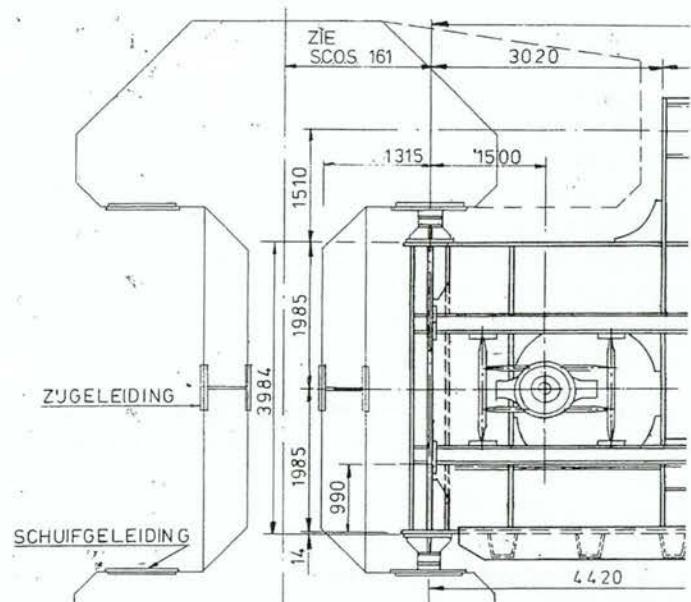
Indien ervan uitgegaan wordt dat de huidige bewegingswerken gehandhaafd blijven, dan zal de ophangconstructie van de schuif zich op dezelfde plaats moeten bevinden als bij de huidige schuif.

Het ophangpunt bevindt zich 1,5 meter vanaf de rand van de schuif, en op de helft van de dikte van de schuif in de sponning (zie Figuur 1).

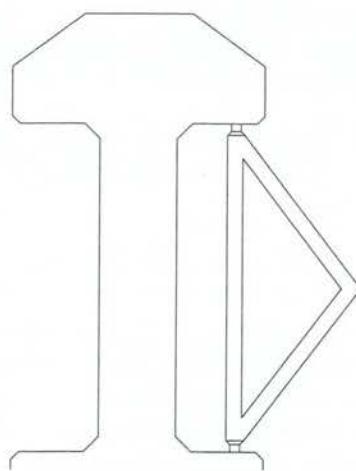
De onderbroken lijn geeft het profiel van vrije ruimte aan, benodigd voor het hamerstuk van de pijler. Deze ruimte is alleen vereist bij het inhangen en uitnemen van de schuif. Tijdens de normale beweging van de schuif is deze vrije ruimte niet nodig.

Om de verval- en golfbelasting die op de schuif wordt uitgeoefend over te kunnen dragen naar de pijler is een glijdoplegging over de hele hoogte van de schuif noodzakelijk.

De eindhar moet dus drie punten met elkaar verbinden: de oplegging aan zeezijde, de oplegging aan Oosterschelde-zijde en het ophangpunt. Een manier op dit te doen is een driehoekige koker (zie Figuur 2).



Figuur 1; Sponning en eindhar huidige situatie



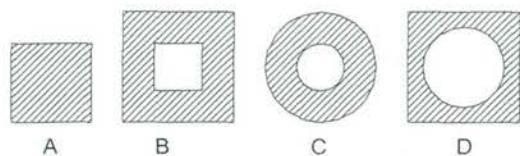
Figuur 2; driehoekige koker als betonnen eindhar.

7.4 Voorontwerp vakwerkliggers

7.4.1 Vakwerkelementen

De vakwerkliggers zijn opgebouwd uit vakwerkstaven. De staven kunnen diverse vormen hebben. In Figuur 3 staan enkele voor de hand liggende vormen vermeld.

In Tabel 1 wordt een afweging tussen de varianten gemaakt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende afwegingscriteria:



**Figuur 3; mogelijke vormen
Vakwerkstaven**

Stromingseigenschappen

Op een ronde buitenkant van een vakwerkstaaf heeft een verticale golfklap minder impact dan op een rechthoekige staaf. Ook zal een kleinere staaf tot een kleiner golfklapbelasting leiden.

Momentopnamecapaciteit

Door de relatief hoge druksterkte van het toegepaste zeer hogesterktebeton kan de normaalkracht uit het vakwerk door een staaf met een vrij kleine doorsnede opgenomen worden. Bij massieve (rechthoekige dan wel ronde) doorsneden leidt deze kleine doorsnede tevens tot een kleine waarde voor het traagheidsmoment. Hierdoor worden de staven gevoelig voor golfklappen en knikstabiliteitsproblemen.

Produceerbaarheid

Massieve staven zijn in het algemeen eenvoudiger te produceren dan holle profielen. Een ronde buis is te maken door het element te centrifugaalgietsen.

Aansluitmogelijkheden

Profielen met een rechthoekige buitenkant zijn waarschijnlijk makkelijker tot een vakwerk te koppelen dan elementen met een ronde buitenzijde.

Verder kan opgemerkt worden dat rond of vierkant weinig invloed heeft op de spanningsverdeling in de staaf bij zowel normaalkrachten als buigende momenten. Het traagheidsmoment is zowel bij een ronde als bij een vierkante doorsnede in alle richtingen gelijk. In het weerstandsmoment zit wel enig verschil. Omdat de verschillen op dit punt slechts enkele procenten bedragen is dit criterium niet meegenomen in de afweging.

Type	Stromings-eigenschappen	Momentenopname-capaciteit	Produceerbaarheid	Aansluitmogelijkheden
A	-	--	++	+
B	--	+	-	+
C	++	+	+	-
D	--	+	-	+

Tabel 1; Afweging vakwerkstaftypen

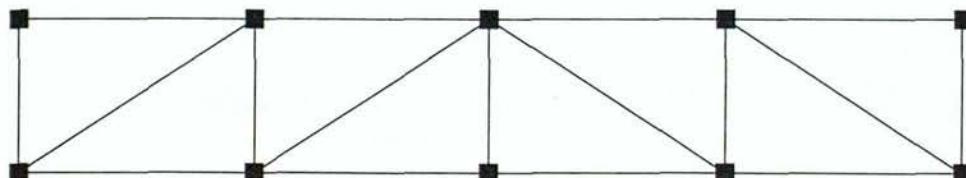
Elementtype C komt uit bovenstaande tabel als beste variant naar voren.

7.4.2 Vakwerktypen

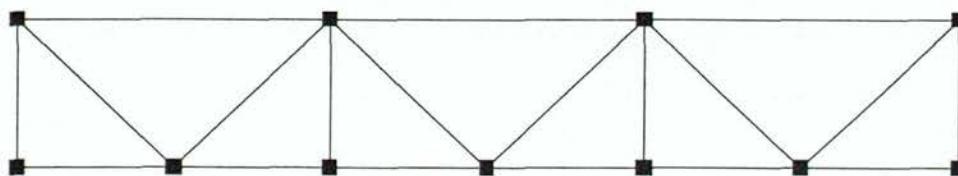
Er bestaan verschillende verschijningsvormen van vakwerken. Twee bruikbare typen staan vermeld in Figuur 4. Om de diagonalen ongeveer onder een hoek van 45 graden te laten verlopen is gekozen voor een vakwerkbreedte van 5,5 m. Door middel van een parameterstudie zal voor één type gekozen worden.

In paragraaf 7.4.2.1 wordt vakwerktype I uitgewerkt, in 7.4.2.2 zal vakwerktype II uitgewerkt worden. Er is aangenomen dat de totale belasting op de schuif via 3 vakwerkliggers naar de eindharren overgedragen wordt.

In paragraaf 7.4.2.3 wordt bekeken of er gewicht is te besparen door de schuif door 2 in plaats van 3 liggers van het vakwerktype II te ondersteunen.



vakwerktype I

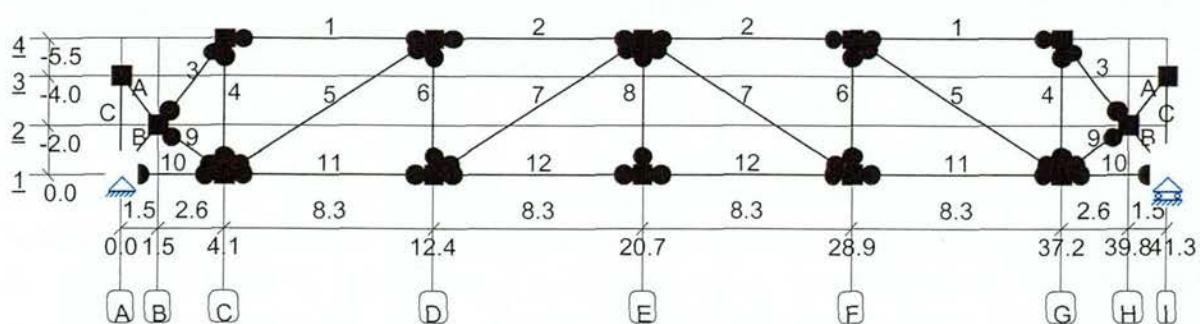


vakwerktype II

Figuur 4; Twee typen vakwerkliggers

7.4.2.1 Parameterstudie vakwerktype I

De maten van het onderzochte vakwerk staan vermeld in Figuur 5.



Figuur 5; Afmetingen vakwerk I

De staven genummerd van A t/m C zijn eigenlijk geen onderdeel van het vakwerk, maar vormen de eindhar. Met het programma Matrix Frame is de krachtsverdeling in het vakwerk bepaald. Van de staven 1 t/m 12 staan de staafkrachten in Tabel 2 vermeld.

Hierbij is er vanuit gegaan dat de schuif ondersteund wordt door 3 vakwerkliggers, net als bij de stalen schuiven het geval is.

Hierbij is een berekening gemaakt voor twee situaties:

- Hoogwater Noordzee: De belasting op de schuif bedraagt in dit geval 95 kN/m^2 en de veiligheidsfactor 1,25. In het geval dat er drie vakwerken zijn, draagt elk vakwerk ongeveer 1/3 van de schuifhoogte.
 $q = 1/3 * 11.9 \text{ m.} * 1,25 * 95 = 471 \text{ kN/m.}$
- Hoogwater Oosterschelde. De belasting op de schuif bedraagt in dit geval 34 kN/m^2 en de veiligheidsfactor 1,25.
 $Q = 1/3 * 11.9 \text{ m.} * 1,25 * 34 = -169 \text{ kN/m}$

staaf	Normaalkracht (kN):		Normaalkracht (kN): Hoogwater Oosterschelde
	Hoogwater Noordzee		
1	-6.566	+2.356	
2	-15.335	+5.502	
3	-10.943	+3.927	
4	+8.755	-3.141	
5	-10.535	+3.780	
6	+5.837	-2.095	
7	-3.511	+1.260	
8	+3.892	-1.396	
9	0	0	
10	+6.566	-2.356	
11	+15.336	-5.503	
12	+18.259	-6.551	

Tabel 2; Normaalkrachten in vakwerkstaven

Met deze waarden als uitgangspunt is het mogelijk om een schatting te maken van de benodigde staafafmetingen en hoeveelheid voorspanning (zie Tabel 3).

staaf type	D buiten	D binnen	Atot (m ²)	L (m)	aantal buizen	Inh. (m ³)	G (ton)	voorsp . kN	Nzbel (kN)	B.G. 1		B.G. 2		B.G. 3		n (euler)		
										$\sigma+$	$\sigma-$	$\sigma+$	$\sigma-$	Oosts bel (kN)	$\sigma+$	$\sigma-$		
1	700	510	0,181	8,3	2	2,997	7,913	2360	-6566	-11	-85	20	-46	2356	2	-3	9,8	
2	800	600	0,220	8,3	2	3,651	9,637	5510	-15335	-61	-117	-1	-49	5502	0	-4	6,8	
3	600	430	0,138	4,4	2	1,210	3,195	3930	-10943	-85	-116	-14	-43	3927	-2	-3	11,6	
4	600	480	0,102	5,5	2	1,120	2,956	8760	8755	7	-48	-59	-114	-3141	-108	-111	21,	
5	800	600	0,220	9,9	2	4,354	11,495	3780	-10535	-23	-102	17	-51	3780	2	-4	7,	
6	600	500	0,086	5,5	2	0,950	2,509	5840	5837	18	-45	-36	-99	-2095	-86	-88	27,2	
7	800	500	0,306	9,9	2	6,065	16,011	1260	-3511	10	-48	20	-36	1260	-1	-7	26,	
8	700	600	0,102	5,5	1	0,562	1,483	3900	3892	17	-27	-16	-60	-1396	-49	-51	67,2	
9	600	500	0,086	3,3	2	0,570	1,505	0	0	11	-11	11	-11	0	0	0		
						tot/v w	56,7	ton										
						totaal	170,1	ton										

B.G.1 Voorspanning, waterbelasting Noordzee, golflap

B.G.2 Voorspanning, golflap

B.G.3 Voorspanning, waterbelasting Oosterschelde

Tabel 3; Afmetingen vakwerkstaven

Bij deze berekening is van drie belastingsgevallen uitgegaan:

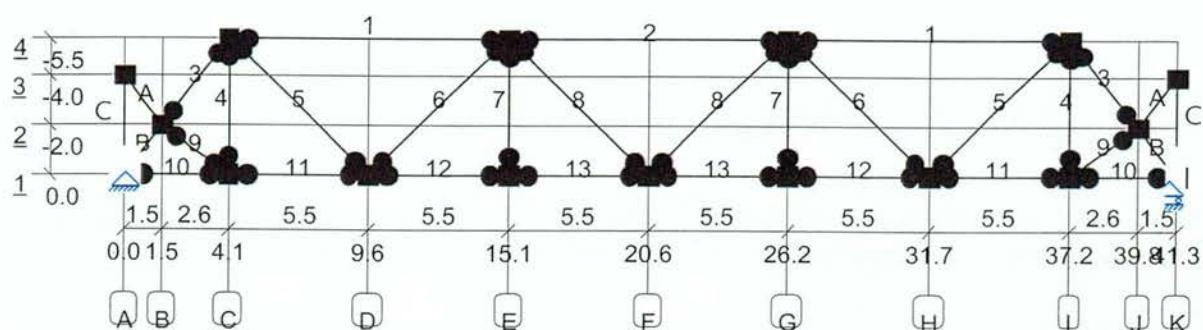
- **B.G. 1**
Voorspanbelasting, Normaalkracht in staaf ten gevolge van hoogwater aan Noordzeezijde (zie Tabel 2), eigen gewicht, buiging ten gevolge van excentriciteit, golfklap van 70 kN/m.
- **B.G. 2**
Voorspanbelasting, eigen gewicht, golfklap van 70 kN/m.
- **B.G. 3**
Voorspanbelasting, Normaalkracht in staaf ten gevolge van hoogwater aan Oosterscheldezijde (zie Tabel 2), eigen gewicht, buiging ten gevolge van excentriciteit.

De staven zijn met behulp van een spreadsheet berekend. De binnen- en de buitendiameter en de benodigde voorspanning wordt hiermee bepaald. Voor de drie genoemde belastingsgevallen wordt de minimale ($\Leftrightarrow -$) en maximale ($\Leftrightarrow +$) spanning in het midden van de buis bepaald.

De gehanteerde berekening staat voor één staaf in bijlage A vermeld.

7.4.2.2 Parameterstudie vakwerktype II, 3 liggers

De maten van het onderzochte vakwerk staan in Figuur 6.



Figuur 6; Afmetingen vakwerk II

De staven genummerd van A t/m C zijn eigenlijk geen onderdeel van het vakwerk, maar vormen de eindhar. Met het programma Matrix Frame is de krachtsverdeling in het vakwerk bepaald. Van de staven 1 t/m 13 staan de staafkrachten in Tabel 4 vermeld.

Hierbij is er vanuit gegaan dat de schuif ondersteund wordt door 3 vakwerkliggers, net als bij de stalen schuiven het geval is.

Hierbij is een berekening gemaakt voor twee situaties:

- Hoogwater Noordzee: De belasting op de schuif bedraagt in dit geval 95 kN/m^2 en de veiligheidsfactor 1,25. In het geval dat er drie vakwerken zijn, draagt elk vakwerk ongeveer 1/3 van de schuifhoogte.
 $q = 1/3 * 11.9 \text{ m.} * 1,25 * 95 = 471 \text{ kN/m.}$
- Hoogwater Oosterschelde. De belasting op de schuif bedraagt in dit geval 34 kN/m^2 en de veiligheidsfactor 1,25.
 $Q = 1/3 * 11.9 \text{ m.} * 1,25 * 34 = -169 \text{ kN/m}$

staaf	Normaalkracht (kN):	
	Hoogwater Noordzee	Hoogwater Oosterschelde
1	-13062	4687
2	-18259	6551
3	-10943	3927
4	2269	-814
5	9180	-3294
6	-5508	1976
7	2594	-931
8	1836	-659
9	0	0
10	6566	-2356
11	6566	-2356
12	16959	-6085
13	16959	-6085

Tabel 4; Normaalkrachten in vakwerkstaven

Met deze waarden als uitgangspunt is het mogelijk om een schatting te maken van de benodigde staafafmetingen en hoeveelheid voorspanning (zie Tabel 6).

staaf type	D buiten	D binnen	Atot (m ²)	L (m)	aantal buizen	Inh. (m ³)	G (ton)	voorsp. kN	Nzbel (kN)	B.G. 1		B.G. 2		B.G. 3			
										σ+	σ-	σ+	σ-	Oostsb el kN)	σ+	σ-	n (euler)
1	900	730	0,218	11	2	4,788	12,640	4690	-13062	-35	-120	14	-57	4687	1	-4	6,
2	900	670	0,284	11	1	3,120	8,236	6560	-18259	-46	-119	6	-53	6551	1	-5	5,3
3	800	690	0,129	4,4	2	1,133	2,991	3930	-10943	-97	-117	-21	-40	3927	-3	-4	22,
4	600	500	0,086	5,5	2	0,950	2,509	3000	2269	20	-43	-4	-66	-814	-42	-44	70,
5	800	700	0,118	7,8	2	1,838	4,852	9180	9180	16	-51	-45	-111	-3294	-98	-101	21,7
6	800	700	0,118	7,8	2	1,838	4,852	1980	-5508	-25	-97	17	-50	1976	0	-2	13,
7	700	600	0,102	5,5	2	1,123	2,965	2600	2594	20	-24	-3	-48	-931	-33	-345	100,
8	900	750	0,194	7,8	2	3,032	8,006	1840	1836	19	-20	10	-29	-659	-11	-14	218,
9	600	500	0,086	3,3	2	0,570	1,505	0	0	0	0	11	-11	0	0	0	
						tot/vw	48,6	ton									
						totaal	145,7	ton									

B.G.1 Voorspanning, waterbelasting Noordzee, golfklap

B.G.2 Voorspanning, golfklap

B.G.3 Voorspanning, waterbelasting Oosterschelde

tabel 5; Afmetingen vakwerkstaven

7.4.2.3 Parameterstudie vakwerktype II, 2 liggers

De maten van het onderzochte vakwerk staan in Figuur 6.

De staven genummerd van A t/m C zijn eigenlijk geen onderdeel van het vakwerk, maar vormen de eindhar. Met het programma Matrix Frame is de krachtsverdeling in het vakwerk bepaald. Van de staven 1 t/m 13 staan de staafkrachten Tabel 6 vermeld.

Hierbij is er vanuit gegaan dat de schuif ondersteund wordt door 2 vakwerkliggers.

Hierbij is een berekening gemaakt voor twee situaties:

- Hoogwater Noordzee: De belasting op de schuif bedraagt in dit geval 95 kN/m^2 en de veiligheidsfactor 1,25. In het geval dat er drie vakwerken zijn, draagt elk vakwerk ongeveer 1/3 van de schuifhoogte.
 $q = 1/2 * 11.9 \text{ m.} * 1,25 * 95 = 707 \text{ kN/m.}$
- Hoogwater Oosterschelde. De belasting op de schuif bedraagt in dit geval 34 kN/m^2 en de veiligheidsfactor 1,25.
 $Q = 1/2 * 11.9 \text{ m.} * 1,25 * 34 = 253 \text{ kN/m}$

staaf	Normaalkracht (kN): Hoogwater Noordzee	Normaalkracht (kN): Hoogwater Oosterschelde
1	-1907	7044
2	-27407	9846
3	-16427	5902
4	3405	-1223
5	13779	-4950
6	-8268	2970
7	3894	-1399
8	2756	-990
9	0	0
10	9856	-3541
11	9856	-3541
12	25457	-9146
13	25457	-9146

Tabel 6; Normaalkrachten in vakwerkstaven

Met deze waarden als uitgangspunt is het mogelijk om een schatting te maken van de benodigde staafafmetingen en hoeveelheid voorspanning (zie Tabel 7)

buis type	D buiten	D binnen	A _{tot} (m ²)	L (m)	aantal buizen	Inh. (m ³)	G (ton)	voorsp. (kN)	Nzbel (kN)	B.G. 1		B.G. 2		B.G. 3			
										σ_+	σ_-	σ_+	σ_-	Oostsb el kN)	σ_+	σ_-	n(euler)
1	900	650	0,304	11	2	6,696	17,676	7050	-19607	-47	-118	5	-51	7044	1	-5	5,2
2	1000	720	0,378	11	1	4,161	10,984	9850	-27407	-66	-118	-5	-47	9846	0	-5	5,7
3	900	760	0,183	4,4	2	1,606	4,240	5910	-16427	-120	-106	-26	-39	5902	-3	-4	26,
4	700	600	0,102	5,5	2	1,123	2,965	3410	3405	18	-26	-21	-56	-1223	-45	-43	77,
5	900	780	0,158	7,8	2	2,470	6,521	13780	13779	2	-44	-64	-110	-4950	-109	-112	24,
6	900	600	0,353	7,8	2	5,513	14,556	2970	-8268	-17	-45	5	-22	2970	1	-2	27,
7	700	600	0,102	5,5	2	1,123	2,965	3900	3894	17	-27	-16	-60	-1399	-49	-51	67,
8	900	750	0,194	7,8	2	3,032	8,006	2760	2756	19	-20	5	-33	-990	-18	-20	145,
9	600	500	0,086	3,3	2	0,570	1,505	0	0	0	0	11	-11	0	0	0	
						tot/vw	69,4	ton									
						totaal	138,8	ton									

B.G.1 Voorspanning, waterbelasting Noordzee, golfklap

B.G.2 Voorspanning, golfklap

B.G.3 Voorspanning, waterbelasting Oosterschelde

Tabel 7; Afmetingen vakwerkstaven

7.4.2.4 Afweging vakwerktypen

De verschillen in benodigd materiaal en gewicht zijn niet groot tussen vakwerktype I en II. Type I is ruim 9 ton lichter dan type II. Hier staat tegenover dat de overspanning van de waterkerende beplating bij type II 2/3 van de overspanning bij type I is.

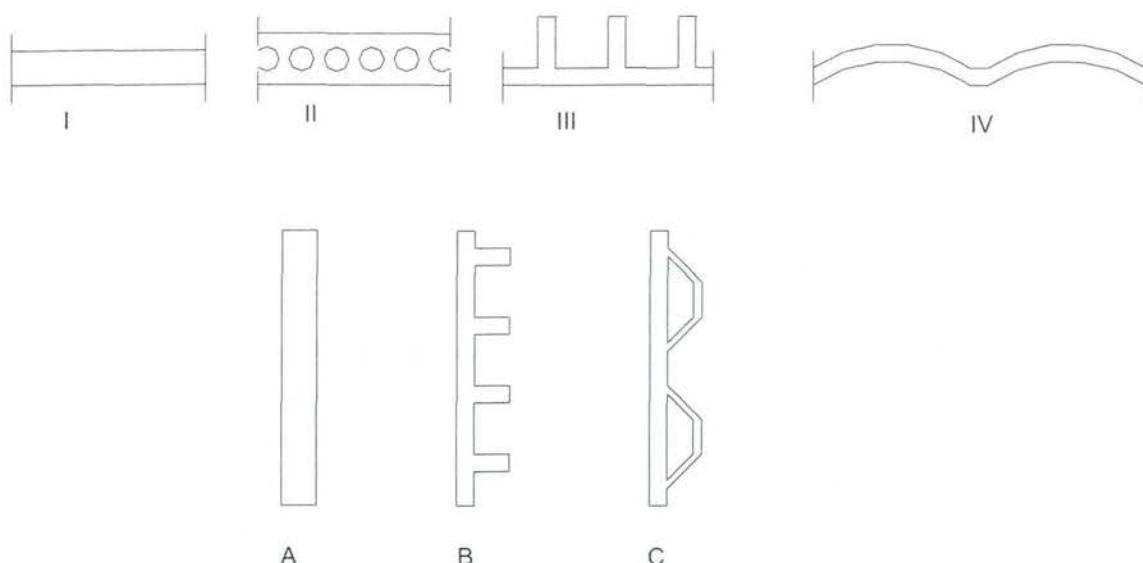
Door te kiezen voor vakwerktype II zal het vakwerk iets zwaarder worden, maar dit wordt waarschijnlijk ruim gecompenseerd door een lichtere beplating.

De keuze tussen 2 of 3 vakwerken zal in combinatie met de keuze van een plaattype gemaakt worden.

7.5 Waterkerende beplating

7.5.1 Vorm beplating

Voor de waterkerende beplating zijn verschillende vormen mogelijk. In Figuur 7 staan een aantal mogelijkheden verzameld. Doorsneden I t/m IV zijn horizontale doorsneden, en doorsneden A t/m C verticale.



Figuur 7; Mogelijke doorsneden

Niet alle combinaties van verticale- en horizontale doorsnedevormen zijn goed te combineren met elkaar. In tabel 1 is hiervoor een afweging gemaakt.

Combinaties:		A	B	C
		+	+	+
I		+	+	+
II		+	+/-	+/-
III		+	+	+
IV		+	+/-	-

Tabel 8

De plaat wordt op meerdere punten ondersteund door vakwerkliggers. Omdat de plaat en het vakwerk met elkaar verbonden moeten worden, ligt het voor de hand om de randstaven van één zijde het vakwerk te integreren met de waterkerende beplating. Van de genoemde dwarsdoorsneden is doorsnede C hiervoor het meest geschikt.

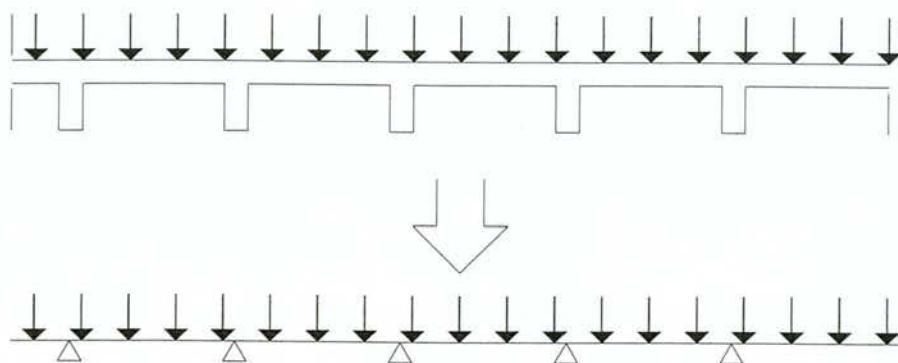
Gezien de goede integreerbaarheid van doorsnede C met de beplating en de goede combineerbaarheid van doorsnede C met doorsnede I en II, zijn de combinaties C-I en C-III verder uitgewerkt.

De stalen vakwerkschuiven hebben 2 of 3 vakwerkliggers per schuif. Voor de plaat van de betonnen schuif van 11.9 m. hoog zal zowel naar een variant met twee liggers, als naar een variant met 3 vakwerkliggers gekeken worden.

7.5.2 Optimalisatie dikte beplating

Indien de beplating ondersteund wordt door aangestorte ribben, dan kan de overspanning tussen de ribben groter worden bij een toenemende plaatdikte. Hierdoor is er meer materiaal nodig voor de beplating, maar zijn er wel minder ribben benodigd. De optimale plaatdikte wordt in deze paragraaf bepaald.

In Figuur 8 staat de ribplaat geschematiseerd naar een mechanica model.



Figuur 8; Schematisering plaat met ribben

Indien de plaat tussen de ribben beschouwd wordt als een doorlopende plaat over meerder steunpunten, is het moment in het plaatmidden $1/10 ql^2$.

$$M = \frac{1}{10} q l^2$$

$$M = \frac{1}{10} * 119 * l^2$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2$$

$$W = \frac{1}{6} * 1000 * h^2$$

$$\sigma_{max} = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$20 = \frac{11.9 l^2}{167 h^2}$$

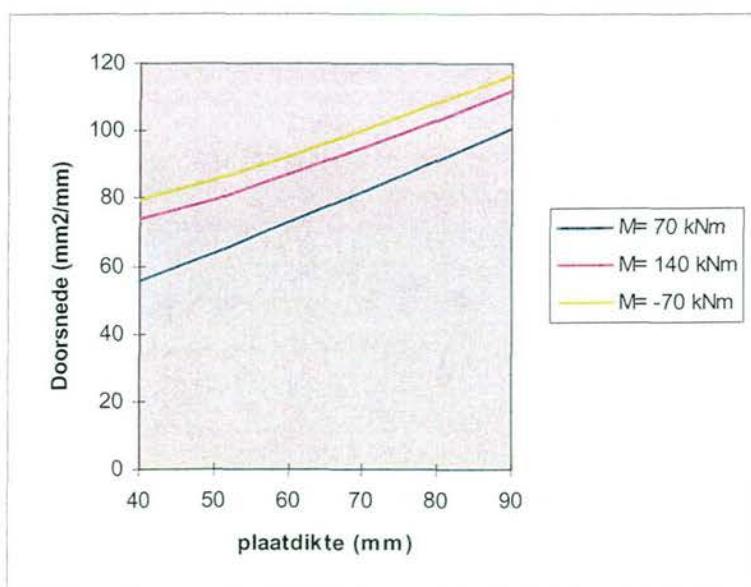
$$l = 16.7h$$

De haalbare overspanning van de plaat, of h.o.h.-afstand van de ribben is 16,7*plaatdikte.

Indien de belaste plaat loodrecht op de richting van de ribben op een aantal plaatsen ondersteund wordt ontstaan er in de plaat buigende momenten. Deze momenten moeten worden opgenomen door de plaat en de ribben.

Met behulp van een spreadsheet is uitgerekend wat bij 3 (willekeurige) momenten van 70, 140 en -70 kNm de benodigde afmetingen van de ribben zijn, bij verschillende plaatdikten.

Uit Figuur 9 is af te leiden dat bij een toenemende plaatdikte de totale benodigde doorsnede om een willekeurig moment op te kunnen nemen ook toeneemt. Als plaatdikte kan dus het best de minimaal haalbare dikte genomen worden. Voor B200 is dit een dikte van 50 mm.



Figuur 9; Benodigde totale doorsnede bij 3 momenten

De maximale h.o.h. afstand van de ribben bedraagt in dit geval: $16.7 * 50 = 835$ mm. Voorlopig wordt uitgegaan van een h.o.h. afstand van 800 mm.

7.5.3 Aantal horizontale verstijvingskokers

In 7.5.4.1 t/m 7.5.4.7 worden 7 varianten van de plaat verder toegelicht. Het aantal horizontale kokers varieert hierbij van 4 tot 7 en het aantal vakwerkliggers van 2 tot 3. De gehanteerde handberekening staat beschreven in Bijlage B en C. In bijlage B is alleen voor variant V de handberekening uitgewerkt. Varianten I, II, III en VI zijn op identieke wijze berekend. Variant VII wordt behandeld in bijlage C.

In alle gevallen is de verstijvingsrib aan de Oosterscheldezijde van de plaat geplaatst. Door de meewerkende breedte van de plaat verschuift de neutrale lijn van de plaat met verstijvingsrib. Hierdoor treden de grootste spanningen op aan de niet door de plaat ondersteunde zijde van de verstijvingsrib.

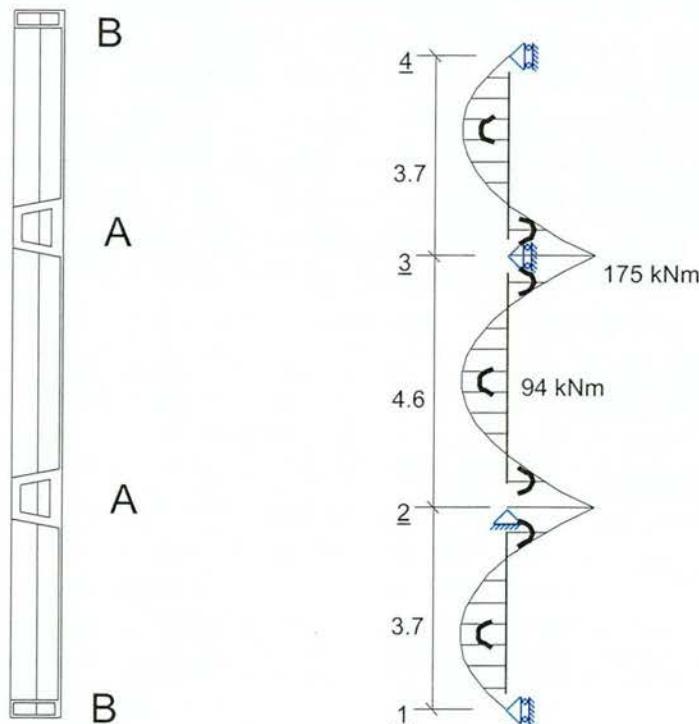
Het ligt voor de hand om deze spanningen bij de maximale belasting ter plaatse van het steunpunt drukspanningen te laten zijn. Beton is immers veel beter in staat druk dan trek op te nemen. Dit kan bereikt worden door de verstijvingsrib aan de Oosterscheldezijde van de waterkerende beplating te plaatsen.

Om de plaat inclusief verstijvingsribben en verstijvingskokers makkelijk produceerbaar te houden zijn de kokers ook aan Oosterscheldezijde geplaatst. Om een goede afdichting van de schuif te waarborgen dienen de bovenste en onderste koker van de schuif minimaal dezelfde hoogte te hebben als de overige kokers.

7.5.3.1 Plaatvariant I

Indien er 4 horizontale kokers toegepast worden ziet de dwarsdoorsnede eruit zoals weergegeven in Figuur 10. De waterkerende beplating draagt verticaal af op de kokers. De verstijvingsribben lopen dan ook verticaal.

Als de kokers gunstig over de hoogte van de plaat verdeeld worden dan zijn de steunpuntsmomenten en veldmomenten overal gelijk. De momentenverdeling in de plaat met ribben staat in Figuur 11.

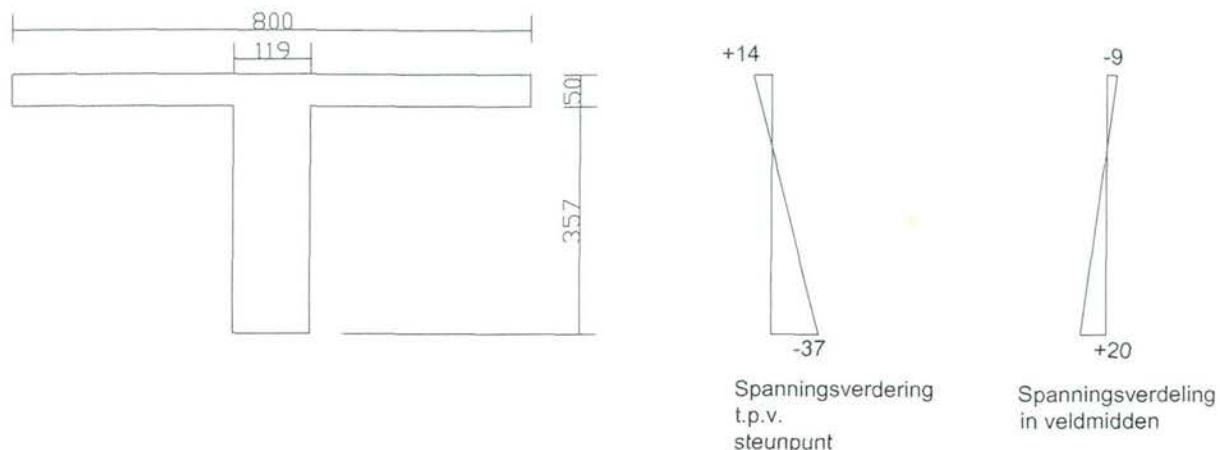


Figuur 10; Dwarsdoorsnede

Figuur 11; Momentenverdeling dwardoorsnede

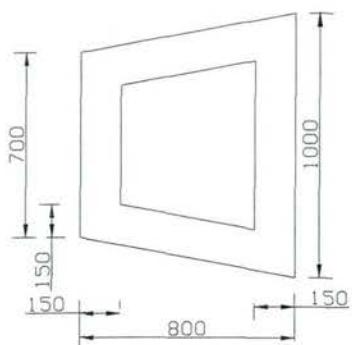
Plaat met verstijvingsribben

De doorsnede zoals in Figuur 12 getekend, kan deze momenten opnemen. Hierbij is voor de hoogte/breedte verhouding van de verstijvingsrib 1:3 aangehouden. In dezelfde figuur staan de spanningsverdeling over de hoogte van de doorsnede vermeld.



Figuur 12; Afmetingen ribplaat

koker A



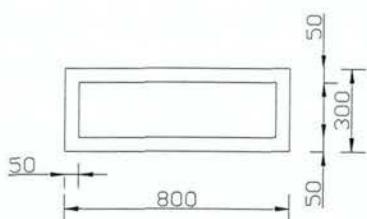
Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 25500 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 703 kNm in het veld en 1375 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

De koker zoals getekend in Figuur 13 is met een voorspanning van 80 N/mm^2 in staat de momenten en normaaltrekkkracht op te nemen.

Figuur 13; Doorsnede koker A

Koker B

De kokers B hoeven alleen een buigend moment op te nemen van maximaal 407 kN. De koker in Figuur 14 is met voorspanning van 23 N/mm^2 hiertoe in staat.

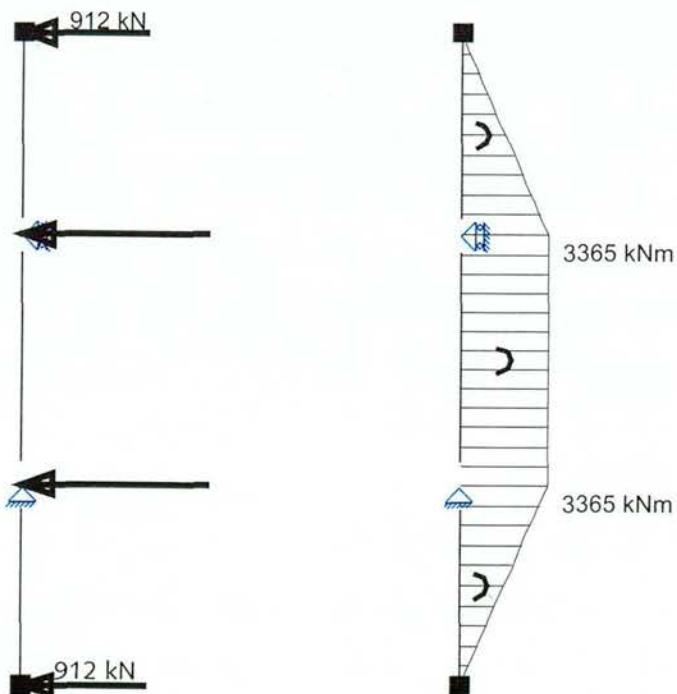


Figuur 14; Doorsnede koker B

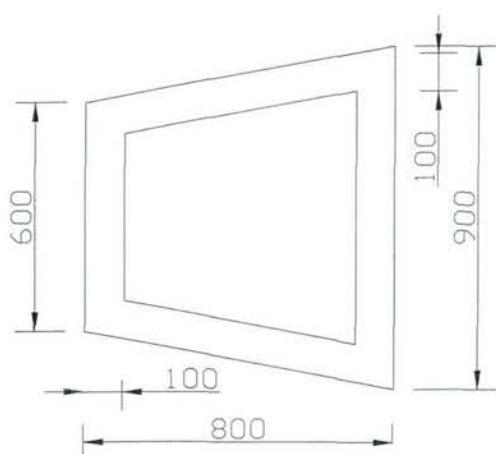
Verticale kokerligger

De kokers A zijn onderdeel van de ondersteunende vakwerken. De kokers B zijn dit niet, en moeten ter plaatse van de knooppunten van de vakwerken met de kokers A gekoppeld worden middels een verticale koker.

Het mechanicaalmodel van de belasting van deze koker staat in Figuur 15.



Figuur 15; Belasting + momentenverdeling verticale koker



De koker uit Figuur 16 is met een voorspanning van 47 N/mm^2 in staat het moment van 3365 kNm over te dragen.

Figuur 16; Doorsnede verticale koker

Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle onderdelen van dit plaattype vermeld.

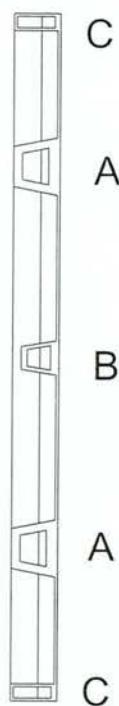
	m^3 beton	G (ton)	Voorspanning	
			N/mm ²	totaal/element (kN)
Ribplaat	50	129	-	-
Koker A	32	84	80	32400
Koker B	8	21	23	2300
Verticale koker	23	60	47	12800
totaal: 294 ton				

Tabel 9

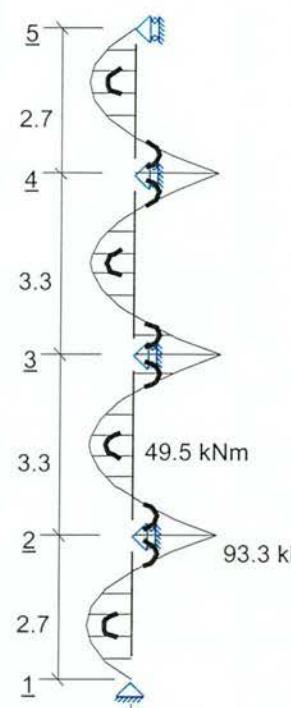
7.5.3.2 Plaatvariant II

Indien er 5 horizontale kokers toegepast worden gecombineerd met 2 vakwerkliggers ziet de dwarsdoorsnede eruit zoals weergegeven in Figuur 17. De waterkerende beplating draagt verticaal af op de kokers. De verstijvingsribben lopen dan ook verticaal.

Als de kokers gunstig over de hoogte van de plaat verdeeld worden dan zijn de steunpuntmomenten en veldmomenten overal gelijk. De momentenverdeling in de plaat met ribben staat in Figuur 18.



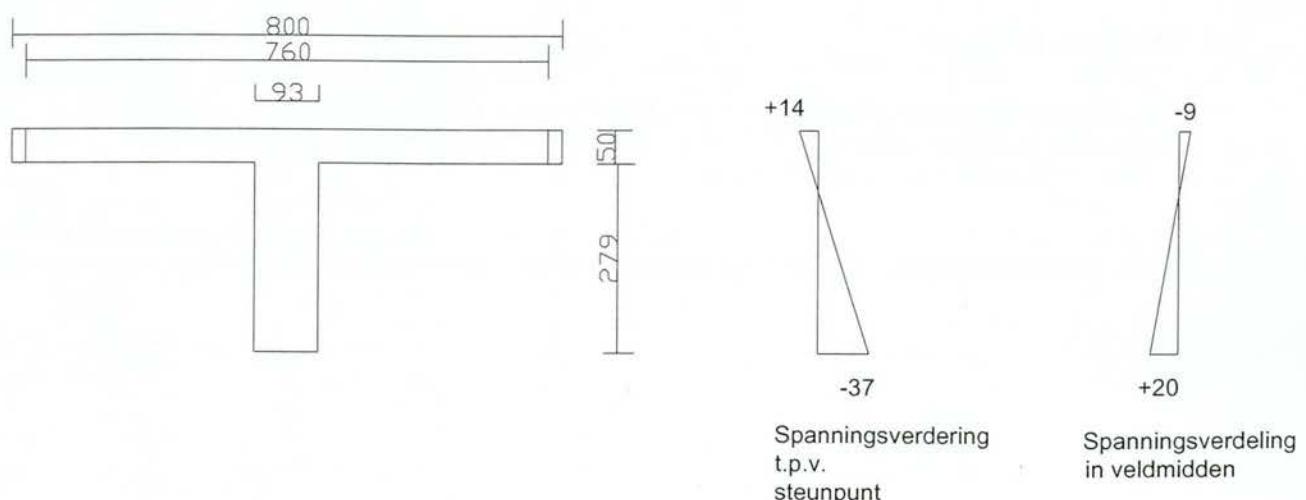
Figuur 17; Dwarsdoorsnede



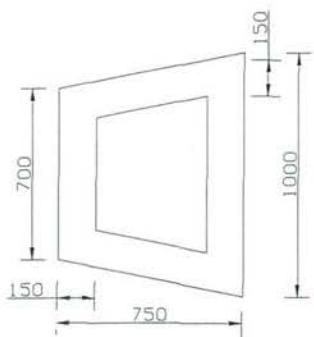
Figuur 18;
Momentenverdeling
dwarsdoorsnede

Plaat met verstijvingsribben

De doorsnede zoals in Figuur 19 getekend, kan deze momenten opnemen. Hierbij is voor de hoogte/breedte verhouding van de verstijvingsrib 1:3 aangehouden. In dezelfde figuur staan de spanningsverdeling over de hoogte van de doorsnede vermeld.



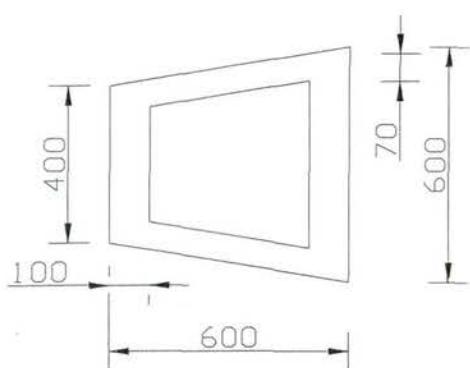
Figuur 19; Afmetingen ribplaat

koker A

Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 25500 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 505 kNm in het veld en 990 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

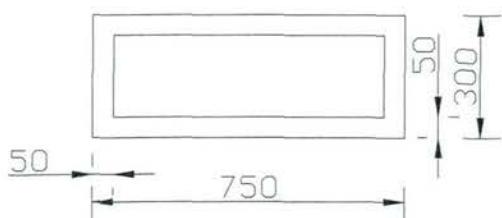
De koker zoals getekend in Figuur 20 is met een voorspanning van 80 N/mm^2 in staat de momenten en normaaltrekkkracht op te nemen.

Figuur 20; Doorsnede koker A

Koker B

De kokers B hoeven alleen een buigend moment op te nemen van 505 kNm in het veld en 990 kNm boven een steunpunt. De koker in Figuur 21 is met 23 N/mm^2 hiertoe in staat.

Figuur 21; Doorsnede koker B

Koker C

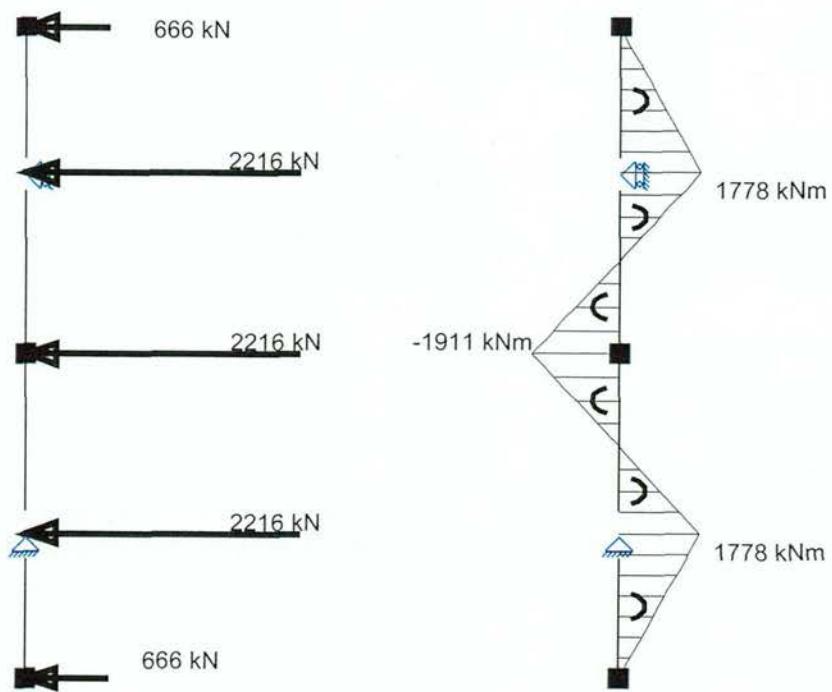
De kokers C hoeven alleen een buigend moment op te nemen van 145 kNm in het veld en 300 kNm boven een steunpunt. De koker in Figuur 21 is met 20 N/mm^2 hiertoe in staat.

Figuur 22; Doorsnede koker C

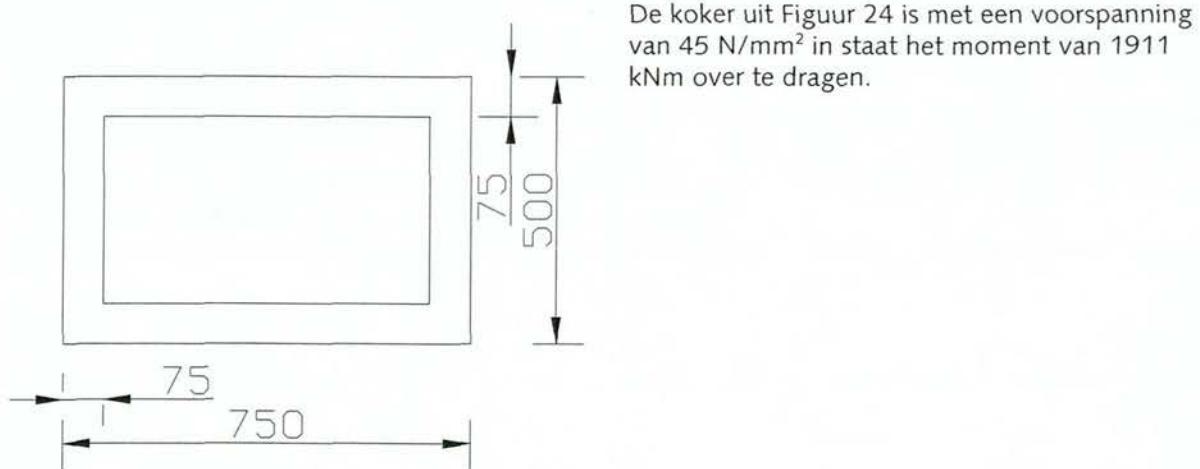
Verticale kokerligger

De kokers A zijn onderdeel van de ondersteunende vakwerken. De kokers B en C zijn dit niet, en moeten ter plaatse van de knooppunten van de vakwerken met de kokers A gekoppeld worden middels een verticale koker.

Het mechanicaalmodel van de belasting van deze koker staat in Figuur 23.



Figuur 23; Belastingen+ momentenverdeling verticale koker



Figuur 24; Afmetingen verticale koker

Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle onderdelen van dit plaattype vermeld.

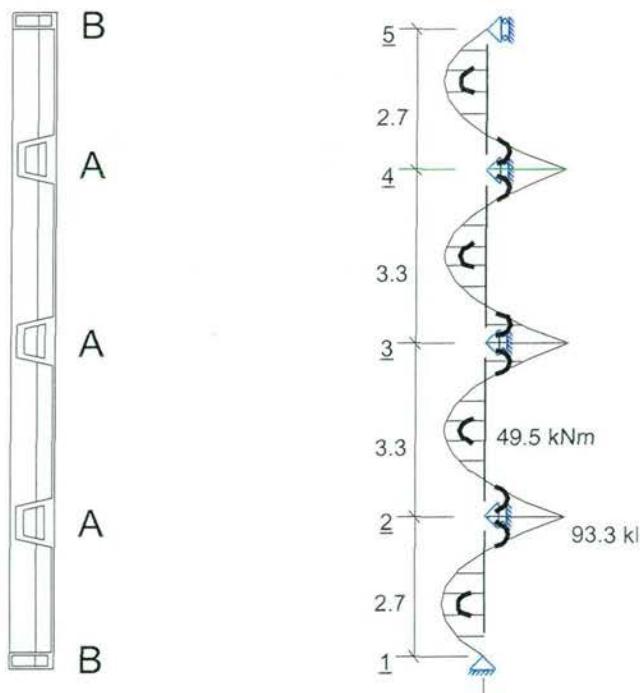
	Voorspanning			
	m ³ beton	G (ton)	N/mm ²	totaal/element (kN)
Ribplaat	38	100	-	-
Koker A	31	81	80	31200
Koker B	8	21	40	6240
Koker C	7.7	20	20	1900
Verticale koker	14	36	45	7425
totaal:		258 ton		

Tabel 10

7.5.3.3 Plaatvariant III

Indien er 5 horizontale kokers toegepast worden in combinatie met 3 vakwerkliggers, dan ziet de dwarsdoorsnede eruit zoals weergegeven in Figuur 25. Koker A is onderdeel van het vakwerk. De waterkerende beplating draagt verticaal af op de kokers. De verstijvingsribben lopen dan ook verticaal.

Als de kokers gunstig over de hoogte van de plaat verdeeld worden dan zijn de steunpuntmomenten en veldmomenten overal gelijk. De momentenverdeling in de plaat met ribben staat in Figuur 26 .

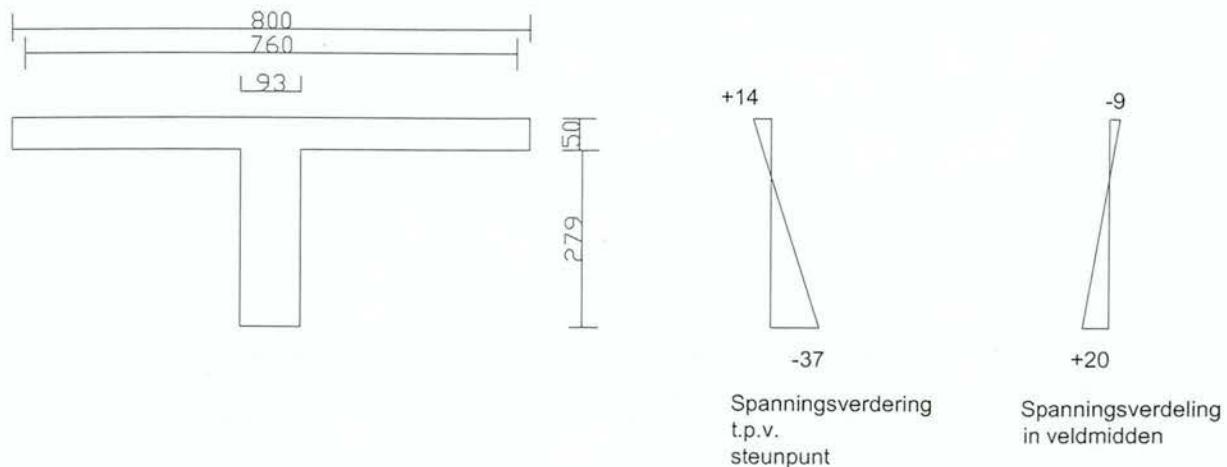


Figuur 25; Dwarsdoorsnede

Figuur 26;
Momentenverdeling
dwarsdoorsnede

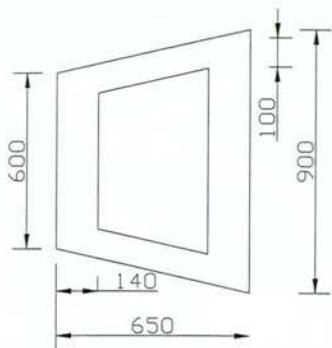
Plaat met verstijvingsribben

De doorsnede zoals Figuur 27 getekend, kan deze momenten opnemen. Hierbij is voor de hoogte/breedte verhouding van de verstijvingsrib 1:3 aangehouden. In dezelfde figuur staan de spanningsverdeling over de hoogte van de doorsnede vermeld.



Figuur 27; Afmetingen ribplaat

Koker A



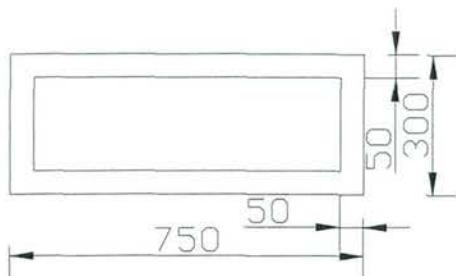
Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 17000 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 505 kNm in het veld en 990 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

De koker zoals getekend in Figuur 28 is met een voorspanning van 80 N/mm² in staat de momenten en normaltrekkkracht op te nemen.

Figuur 28; Doorsnede koker A

Koker B

De kokers B hoeven alleen een buigend moment op te nemen van maximaal 407 kN. De koker in Figuur 29 is met voorspanning van 25 N/mm² hiertoe in staat.

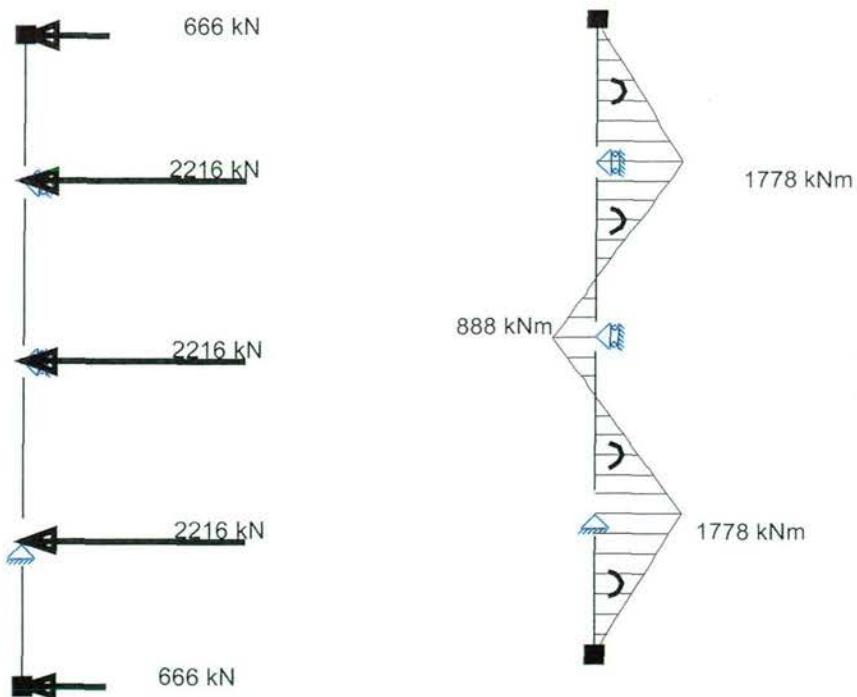


Figuur 29; Doorsnede koker B

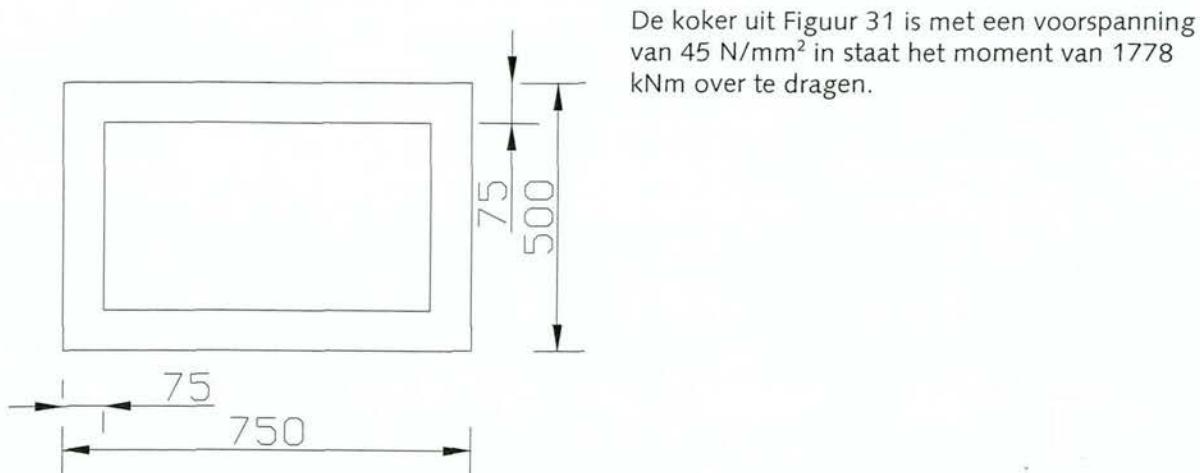
Verticale kokerligger

De kokers A zijn onderdeel van de ondersteunende vakwerken. De kokers B en zijn dit niet, en moeten ter plaatse van de knooppunten van de vakwerken met de kokers A gekoppeld worden middels een verticale koker.

Het mechanicaalmodel van de belasting van deze koker staat in Figuur 30.



Figuur 30; Belastingen + momentenverdeling verticale koker



Figuur 31; Doorsnede verticale koker

Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle onderdelen van dit plaattype vermeld.

	m ³ beton	G (ton)	Voorspanning	
			N/mm ²	totaal/element (kN)
Ribplaat	38	100	-	-
Koker A	34	89	80	22720
Koker B	6.9	18	25	2125
Verticale koker	14	36	45	7425
totaal: 242 ton				

Tabel 11

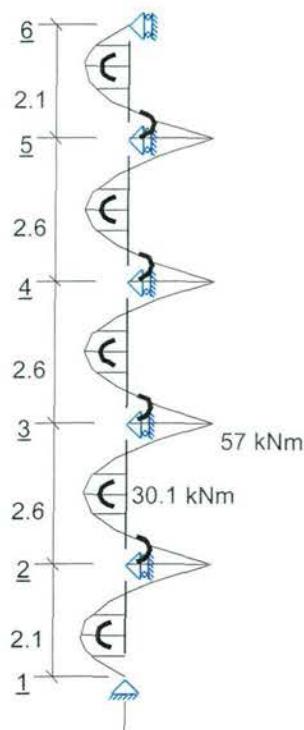
7.5.3.4 Plaatvariant IV

Indien er 6 horizontale kokers en twee vakwerkliggers toegepast worden ziet de dwarsdoorsnede eruit zoals weergegeven in Figuur 32. De kokers A zijn onderdeel van de vakwerkliggers. De kokers B en C niet. De waterkerende beplating draagt verticaal af op de kokers. De verstijvingsribben lopen dan ook verticaal.

Als de kokers gunstig over de hoogte van de plaat verdeeld worden dan zijn de steunpuntsmomenten en veldmomenten overal gelijk. De momentenverdeling in de plaat met ribben staat in Figuur 33.



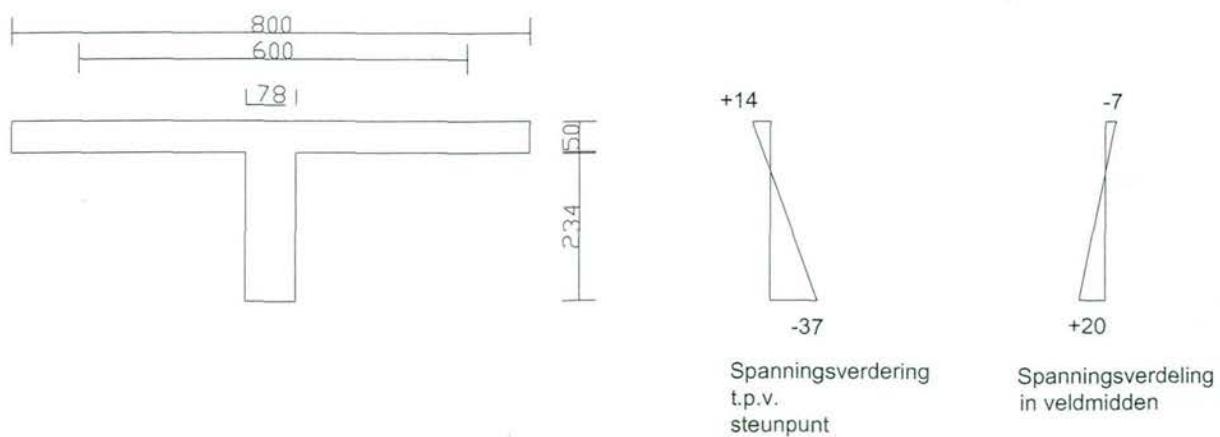
Figuur 32; Dwarsdoorsnede



Figuur 33; Momentenverdeling dwarsdoorsnede

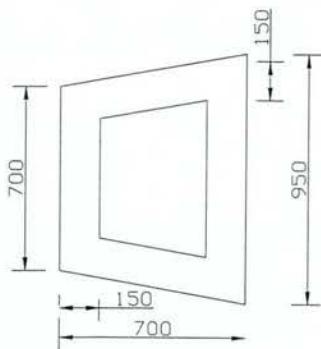
Plaat met verstijvingsribben

De doorsnede zoals in Figuur 34 getekend, kan deze momenten opnemen. Hierbij is voor de hoogte/breedte verhouding van de verstijvingsrib 1:3 aangehouden. In dezelfde figuur staan de spanningsverdeling over de hoogte van de doorsnede vermeld.



Figuur 34; Afmetingen ribplaat

koker A

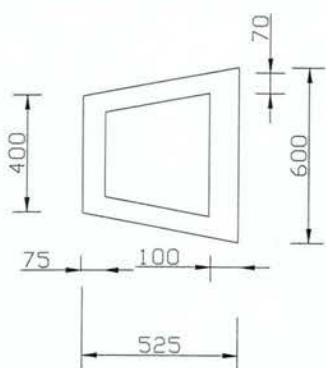


Figuur 35; Doorsnede koker A

Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 25500 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 378 kNm in het veld en 773 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

De koker zoals getekend in Figuur 35 is met een voorspanning van 80 N/mm^2 in staat de momenten en normaltrekkraft op te nemen.

Koker B

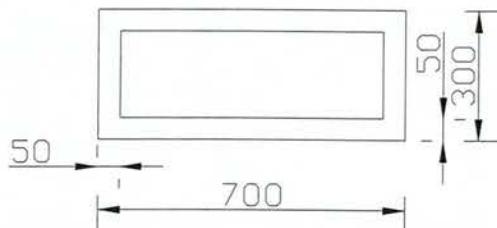


Figuur 36; Doorsnede koker B

De kokers B hoeven alleen een buigend moment op te nemen van. De koker in Figuur 36 is met 38 N/mm^2 voorspanning hiertoe in staat.

Koker C

De kokers C hoeven alleen een buigend moment op te nemen van maximaal 321 kNm. De koker in Figuur 37 is met 18 N/mm^2 hiertoe in staat.

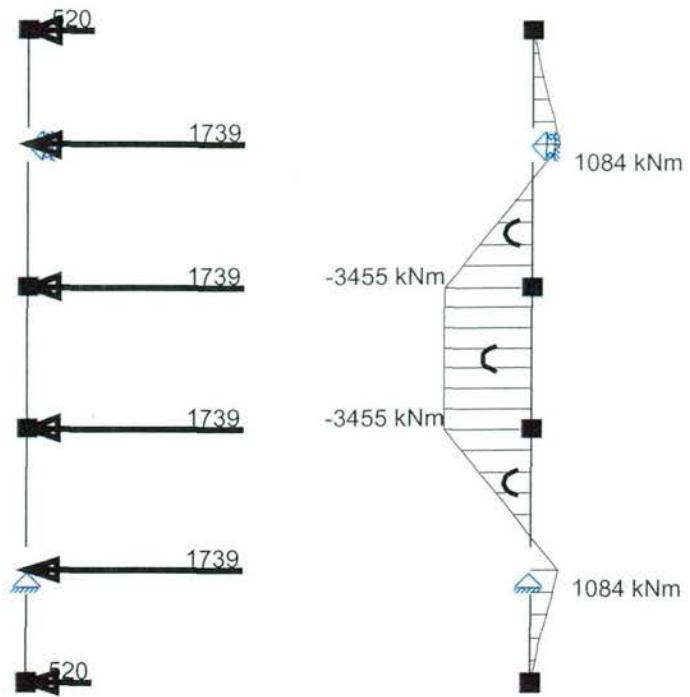


Figuur 37; Doorsnede koker C

Verticale kokerligger

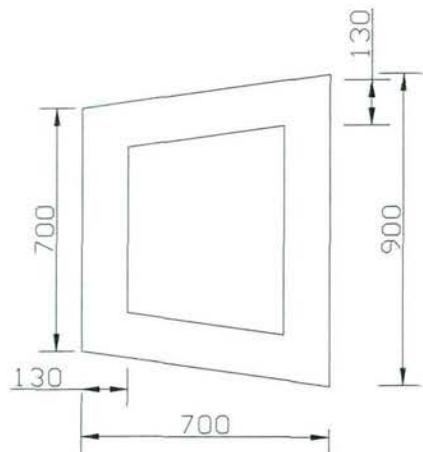
De kokers A zijn onderdeel van de ondersteunende vakwerken. De kokers B en C zijn dit niet, en moeten ter plaatse van de knooppunten van de vakwerken met de kokers A gekoppeld worden middels een verticale koker.

Het mechanicaalmodel van de belasting van deze koker staat in Figuur 38.



Figuur 38; Belasting + Momentenverdeling verticale koker

De koker uit Figuur 39 is met een voorspanning van 49 N/mm^2 in staat het moment van 3454 kNm over te dragen.



Figuur 39; Doorsnede verticale koker

Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle onderdelen van dit plaattype vermeld.

	M ³ beton	G(ton)	N/mm ²	Voorspanning totaal/element (kN)
Ribplaat	29	75	-	-
Koker A	29	76	82	30135
Koker B	11	29	38	5282
Koker C	7.3	19	18	1620
Verticale koker	27	70	49	15798
totaal:		269 ton		

Tabel 12

7.5.3.5 Plaatvariant V

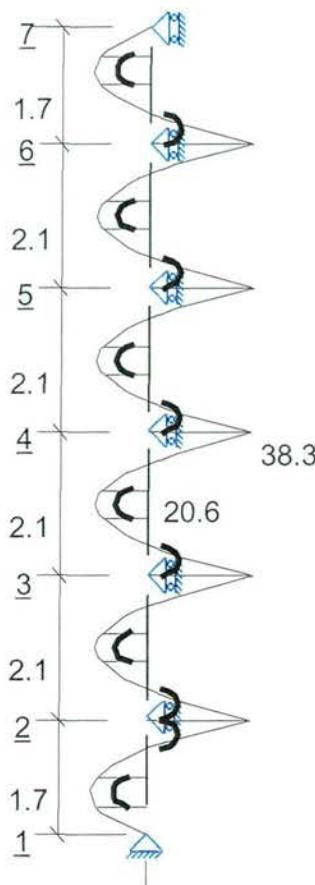
Indien er 7 horizontale kokers en drie vakwerkliggers toegepast worden ziet de dwarsdoorsnede eruit zoals weergegeven in Figuur 40. Hierbij worden de kokers A direct ondersteund door het vakwerk. De waterkerende beplating draagt verticaal af op de kokers. De verstijvingsribben lopen dan ook verticaal.

Als de kokers gunstig over de hoogte van de plaat verdeeld worden dan zijn de steunpuntsmomenten en veldmomenten overal gelijk. De momentenverdeling in de plaat met ribben staat in Figuur 41. De handberekening van plaatvariant V is uitgewerkt in Bijlage B



C
A
B
A
B
A
C

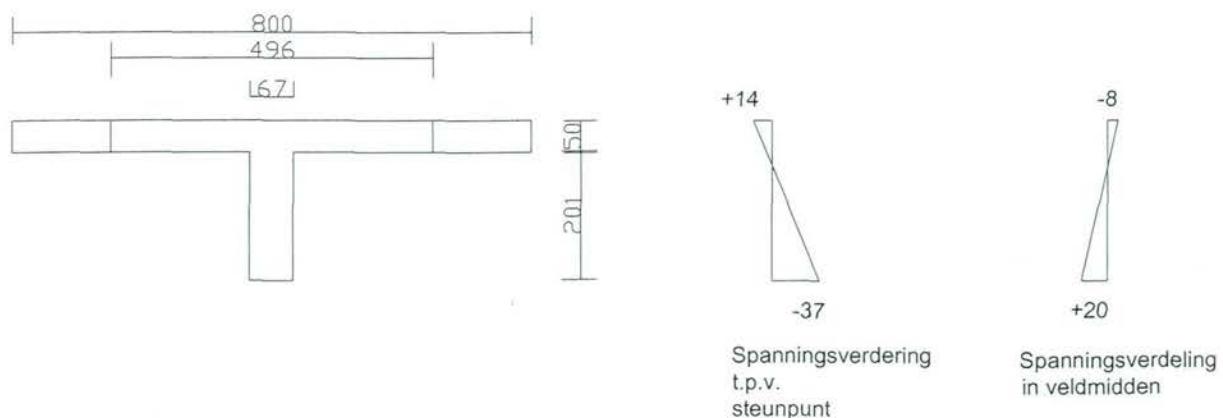
Figuur 40; Doorsnede



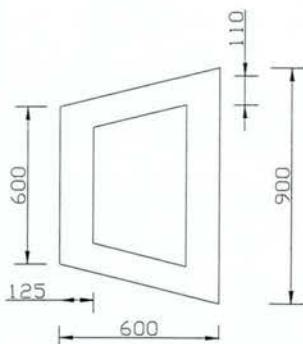
Figuur 41; Momentenverdeling doorsnede

Plaat met verstijvingsribben

De doorsnede zoals in Figuur 42 getekend, kan deze momenten opnemen. Hierbij is voor de hoogte/breedte verhouding van de verstijvingsrib 1:3 aangehouden. In dezelfde figuur staan de spanningsverdeling over de hoogte van de doorsnede vermeld.



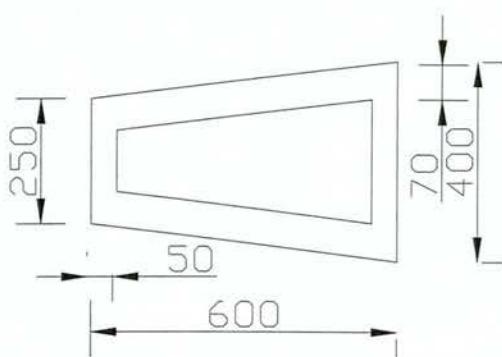
Figuur 42; Afmetingen ribplaat

koker A

Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 17000 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 332 kNm in het veld en 642 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

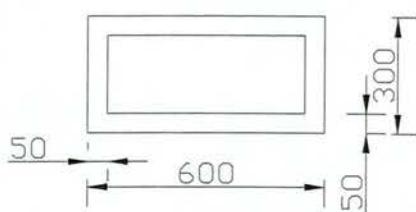
De koker zoals getekend in Figuur 43 is met een voorspanning van 80 N/mm² in staat de momenten en normaaltrekkracht op te nemen.

Figuur 43; Doorsnede koker A

Koker B

De kokers B hoeven alleen een buigend moment op te nemen van 332 kNm in het veld en 642 kNm boven een steunpunt. De koker in Figuur 44 is met 47 N/mm² hiertoe in staat.

Figuur 44; Doorsnede koker B

Koker C

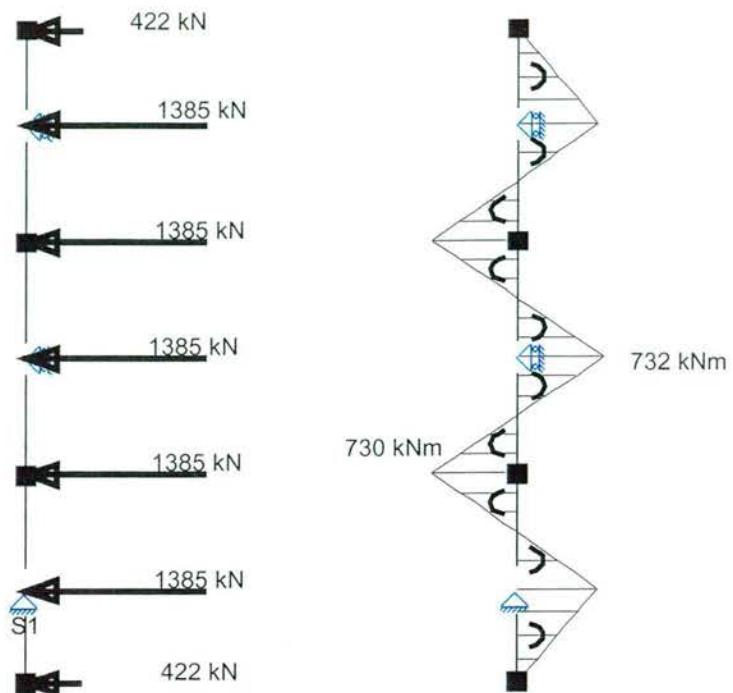
De kokers C hoeven alleen een buigend moment op te nemen van 101 kNm in het veld en 196 kNm boven een steunpunt. De koker in Figuur 45 is met 18 N/mm² hiertoe in staat.

Figuur 45; Doorsnede koker C

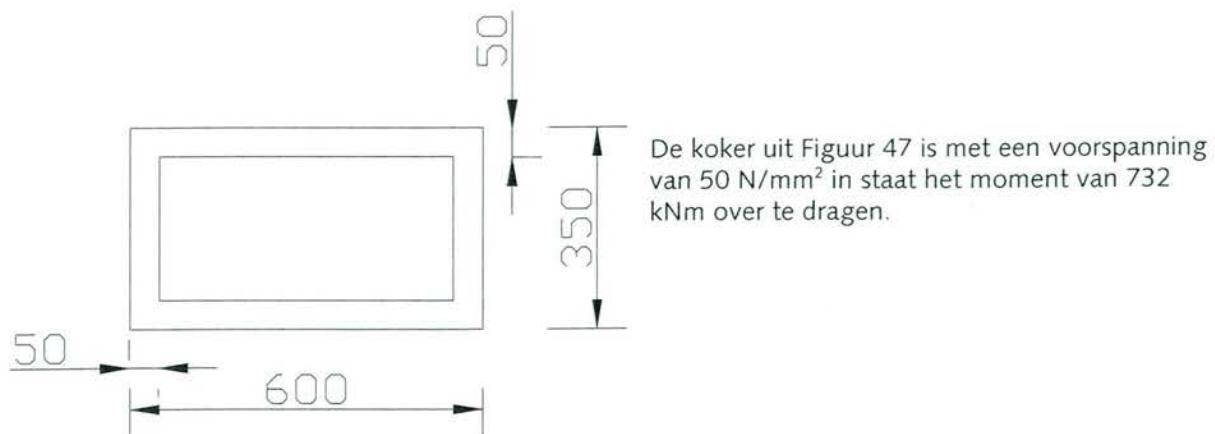
Verticale kokerligger

De kokers A zijn onderdeel van de ondersteunende vakwerken. De kokers B en C zijn dit niet, en moeten ter plaatse van de knooppunten van de vakwerken met de kokers A gekoppeld worden middels een verticale koker.

Het mechanicaalmodel van de belasting van deze koker staat in Figuur 46.



Figuur 46; Belastingen + momentenverdeling verticale koker



Figuur 47; Afmetingen verticale koker

Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle onderdelen van dit plaattype vermeld.

	m^3 beton	G (ton)	Voorspanning N/mm ²	totaal/element (kN)
Ribplaat	23	60	-	-
Koker A	32	83	80	21160
Koker B	8	21	47	4818
Koker C	6.5	17	18	2300
Verticale koker	7.3	19	50	4250
totaal: 200 ton				

Tabel 13

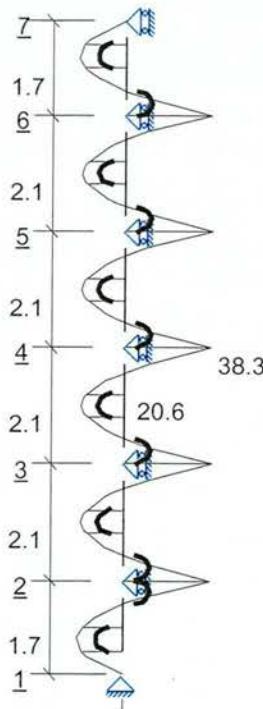
7.5.3.6 Plaatvariant VI

Indien er 7 horizontale kokers en 2 vakwerkliggers toegepast worden ziet de dwarsdoorsnede eruit zoals weergegeven in Figuur 48. De kokers A worden hierbij rechtstreeks ondersteund door het vakwerk. De kokers B en C niet. De waterkerende beplating draagt verticaal af op de kokers. De verstijvingsribben lopen dan ook verticaal.

Als de kokers gunstig over de hoogte van de plaat verdeeld worden dan zijn de steunpuntsmomenten en veldmomenten overal gelijk. De momentenverdeling in de plaat met ribben staat in Figuur 49.



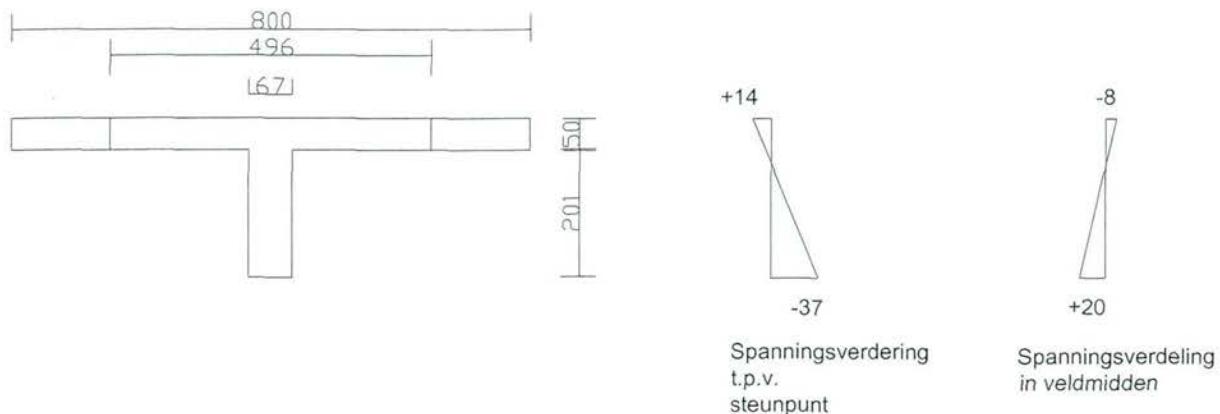
Figuur 48; Doorsnede



Figuur 49; Afmetingen doorsnede

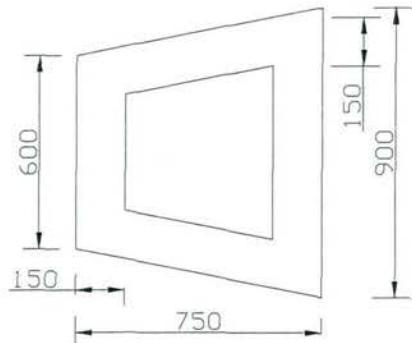
Plaat met verstijvingsribben

De doorsnede zoals in Figuur 50 getekend, kan deze momenten opnemen. Hierbij is voor de hoogte/breedte verhouding van de verstijvingsrib 1:3 aangehouden. In dezelfde figuur staan de spanningsverdeling over de hoogte van de doorsnede vermeld.



Figuur 50; Afmetingen ribplaat

koker A

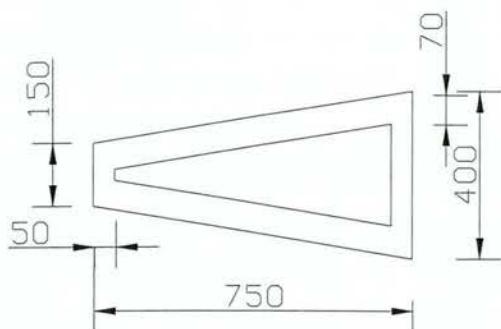


Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 25500 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 316 kNm in het veld en 647 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

De koker zoals getekend in Figuur 51 is met een voorspanning van 80 N/mm² in staat de momenten en normaal trekkracht op te nemen.

Figuur 51; Doorsnede koker A

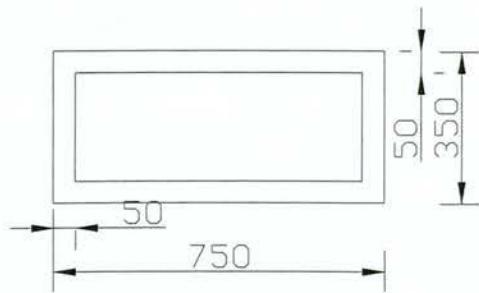
Koker B



Figuur 52; Doorsnede koker B

De kokers B hoeven alleen een buigend moment op te nemen 316 kNm in het veld en 647 kNm boven een steunpunt. De koker in Figuur 52 is met 33 N/mm² hiertoe in staat.

Koker C



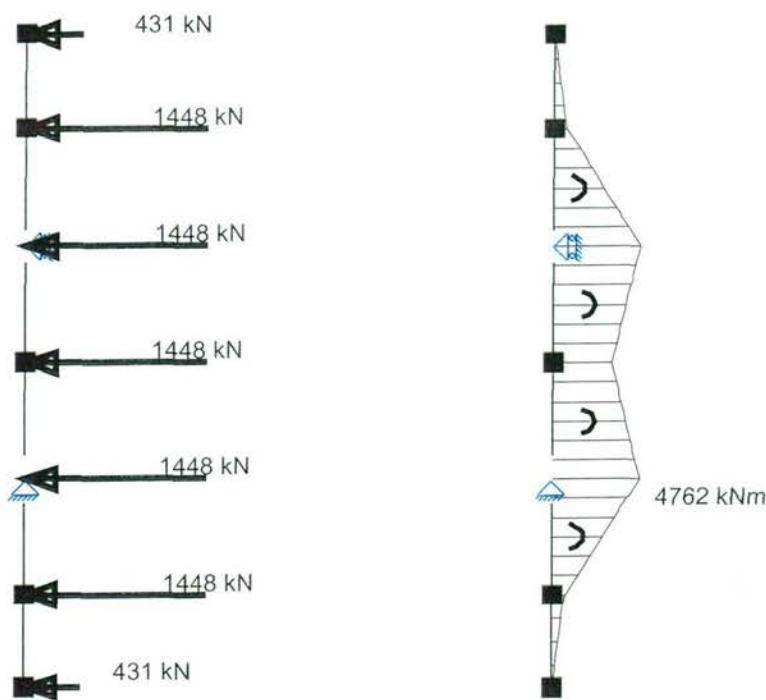
Figuur 53; Doorsnede koker C

De kokers C hoeven alleen een buigend moment op te nemen van maximaal 4762 kNm. De koker in Figuur 53 is met 11 N/mm² hiertoe in staat.

Verticale kokerligger

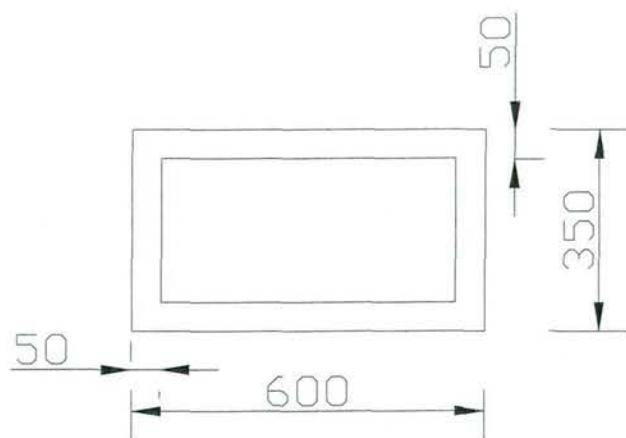
De kokers A zijn onderdeel van de ondersteunende vakwerken. De kokers B en C zijn dit niet, en moeten ter plaatse van de knooppunten van de vakwerken met de kokers A gekoppeld worden middels een verticale koker.

Het mechanicaalmodel van de belasting van deze koker staat in Figuur 54.



Figuur 54; Belasting + momentenverdeling verticale koker

De koker uit Figuur 55 is met een voorspanning van 16 N/mm^2 in staat het moment van 4762 kNm over te dragen.



Figuur 55; Doorsnede verticale koker

Samenvatting

In onderstaande tabel staan alle onderdelen van dit plaattype vermeld.

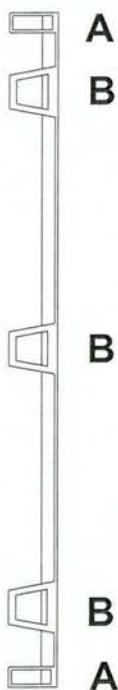
	m ³ beton	G (ton)	N/mm ²	Voorspanning totaal/element (kN)
Ribplaat	23	60	-	-
Koker A	29	75	80	28800
Koker B	15	39	33	4078
Koker C	7.8	20	11	1045
Verticale koker	23	82	16	6000
totaal: 276 ton				

Tabel 14

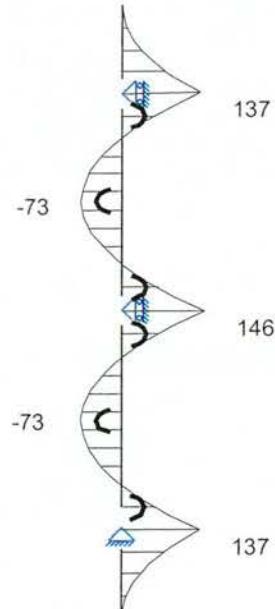
7.5.3.7 Plaatvariant VII

In de varianten, zoals behandeld in de paragrafen 7.5.3.1 tot en met 7.5.3.6, wordt de waterkerende plaat van de schuif niet voorgespannen. De beplating draagt via de ribben af op de horizontale kokers. Omdat er maar hooguit drie kokers onderdeel zijn van de hoofddraagconstructie (het vakwerk) moeten de andere kokers in verticale richting afgesteund worden op de hoofddraagconstructie met een verticale koker, voorgespannen met nagerekt staal.

Een directere lastafdracht kan bereikt worden door de waterkerende beplating wel van (verticale) voorspanning te voorzien. Hierdoor kan de ribplaat rechtstreeks op de hoofddraagconstructie afdragen. Voor de berekening van deze variant wordt verwezen naar Bijlage C.



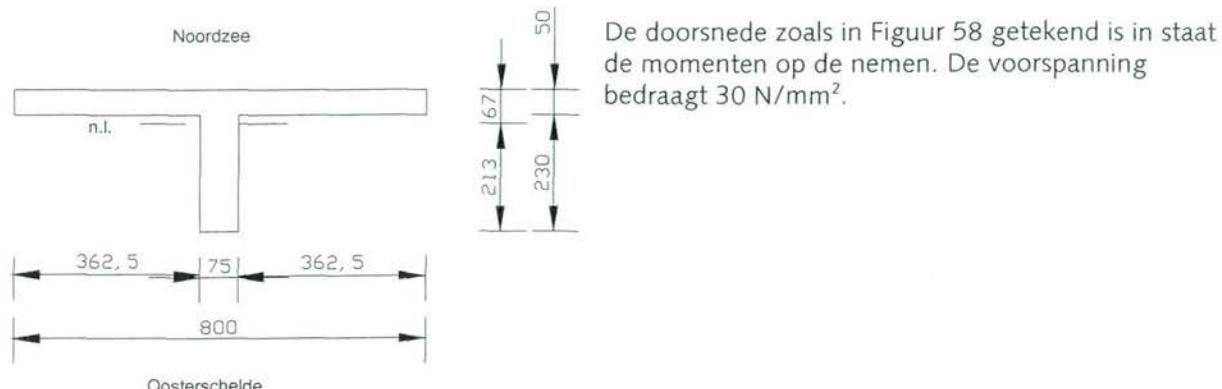
Figuur 56



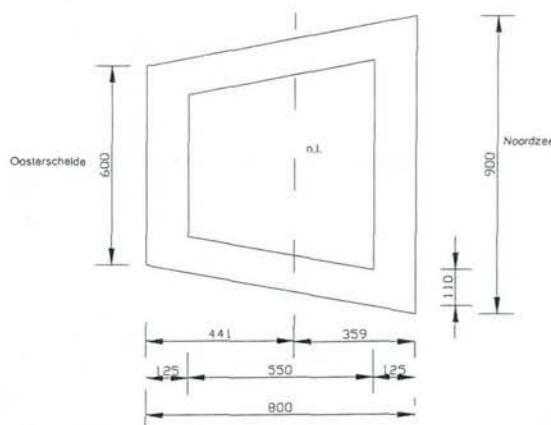
Figuur 57

De dwarsdoorsnede van de plaat met geïntegreerde kokers is weergegeven in Figuur 56 en de bijbehorende momentenlijn in Figuur 57. Alleen de middelste (3) kokers zijn hierbij geschematiseerd als oplegging. De buitenste twee kokers niet, omdat deze alleen via de plaat afgestemd worden op de vakwerkliggers. Deze kokers dienen alleen als waterafsluiting tussen de plaat en de bovenbalk en onderdrempl.

Plaat met verstijvingsribben



Figuur 58



Figuur 59

Koker A

Koker A is onderdeel van het vakwerk. Deze koker moet dan ook een trekkracht kunnen opnemen van 17000 kN. Verder draagt de beplating belasting af aan de koker. Het buigend moment hiervan bedraagt 680 kNm in het veld en 1315 kNm boven een steunpunt. De steunpunten zijn de knooppunten van het vakwerk.

De koker zoals getekend in Figuur 59 is met een voorspanning van 80 N/mm^2 in staat de momenten en normaal trekkracht op te nemen.

Koker B

Koker B heeft geen constructieve functie. Deze kokers hebben tot doel de spleet tussen de plaat en de bovenbalk tussen de plaat en de onderdrempl te dichten. De afmetingen zijn dan ook 800*300 mm., met een wanddikte van 50 mm.

Samenvatting

	m^3 beton	G (ton)	Voorspanning	
			N/mm ²	totaal/element (kN)
Ribplaat	35	92	30	
Koker A	38	100	80	24680
Koker B	8,3	22	0	
	totaal: 214 ton			

Tabel 15

7.6 Afweging varianten

In Tabel 16 worden de varianten I tot en met VII vergeleken. Hieruit volgt dat de combinatie van 7 horizontale kokers met 3 vakwerkliggers (V) met 346 ton de lichtste variant is.

Plaatvariant	Aantal horizontale kokers				Aantal vakwerken		Gewicht plaat	Gewicht Vakwerk	Gewicht totaal
	4	5	6	7	2	3			
I	x				x		294	139	433
II		x			x		258	139	397
III		x				x	242	146	388
IV			x		x		269	139	408
V				x		x	200	146	346
VI				x	x		276	139	415
VII		x				x	214	146	360

Tabel 16; Afweging plaatvarianten

Variant VII komt op een tweede plaats. Deze variant is 14 ton zwaarder dan variant V.

Variant VII kent toch enkele voordeelen: Deze variant kent geen verticale kokers. De langsdoorsnede van de schuif is hierdoor regelmatiger. (Het ribplaat-patroon wordt niet ter plaatse van de vakwerknooppunten onderbroken door een verticale koker.) Hierdoor wordt de productie van de schuif eenvoudiger. Ook is de doorvoer van de langvoorspanning in deze constructie eenvoudiger.

Ook is de krachtsafdracht van variant VII veel directer dan bij variant V. Hierdoor is de gemaakte handberekening van variant VII wellicht betrouwbaarder dan van variant V.

Variant VII met 5 horizontale kokers en 3 vakwerken wordt om deze redenen verder uitgewerkt.

8. Eindontwerp

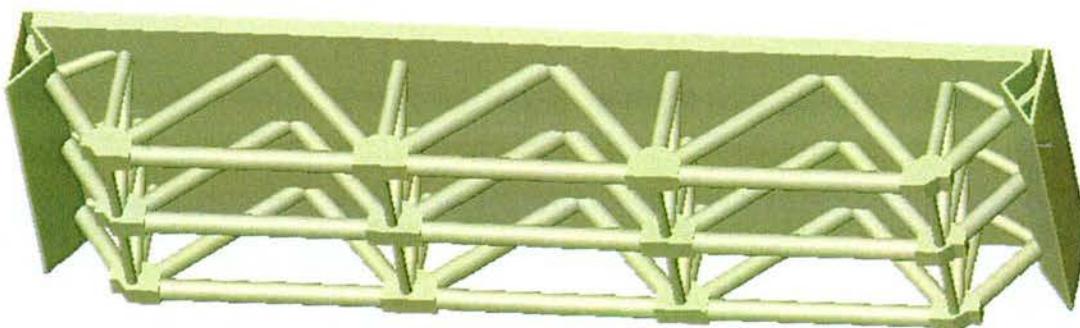
8.1 Beschrijving eindontwerp

8.1.1 Overzicht eindontwerp

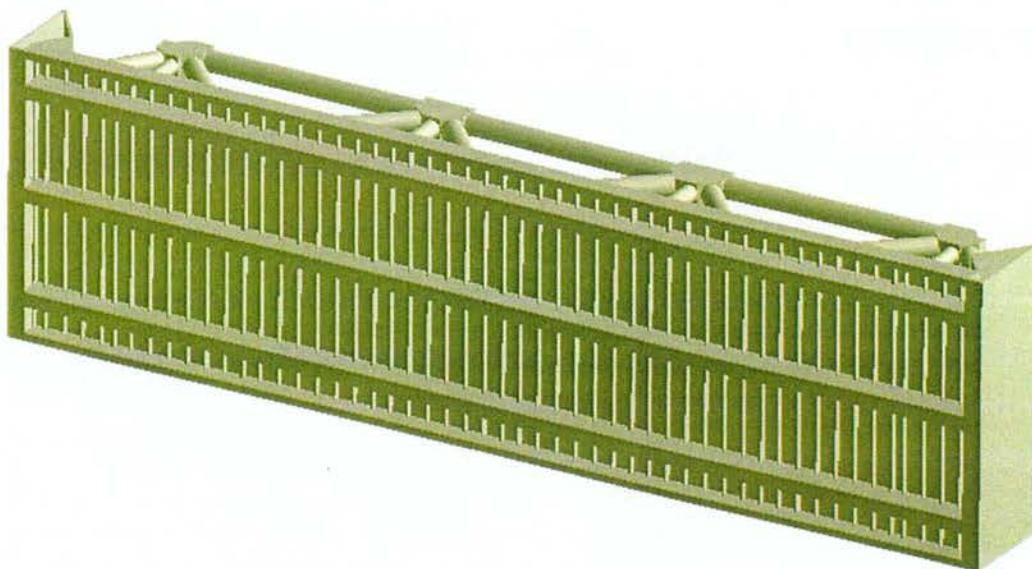
De schuif is opgebouwd uit verschillende prefab onderdelen. De onderdelen worden door middel van voorspankabels aan elkaar gespannen tot één geheel. De voorspankabels lopen door de holle ruimten in de buizen van het vakwerk, en de holle kokers in de waterkerende wand (externe voorspanning zonder aanhechting) (zie Figuur 1 en Figuur 2). De waterkerende plaat is in verticale richting voorgespannen door ingestorte voorgerekte strengen.

De volgende onderdelen zijn te onderscheiden:

- Waterkerende plaat
- Vakwerkbuizen
- Knooppunten
- Eindharren



Figuur 1; Schuifaanzicht, schuin boven aan Oosterschelde-zijde



Figuur 2; Schuifaanzicht, Oosterscheldezijde

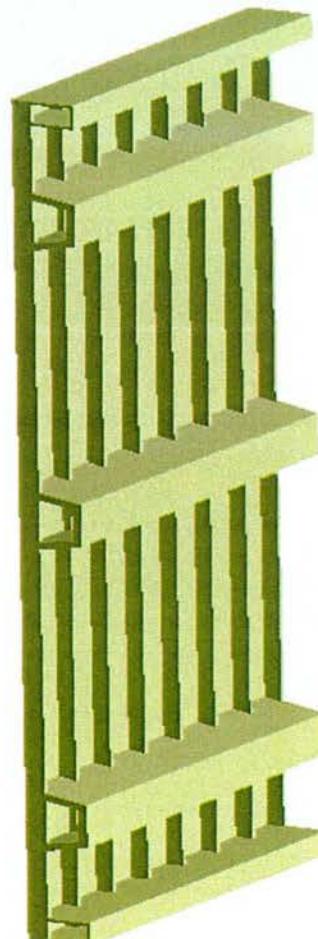
8.1.2 Waterkerende plaat

De waterkerende wand heeft tot doel het kerend van het water in een sluitingssituatie. De totale kerende wand heeft een lengte van 39800 mm, en een hoogte van 11900 mm. De wand is opgedeeld in 8 prefab platen. De breedte van de 6 middelste platen (P2) is 5500mm. De randplaten (p2) hebben een breedte van 3400 mm. De hoogte van alle platen bedraagt 11900 mm.

In Figuur 3 is een 3D-aanzicht van één van de middelste plaatvelden weergevend. Meer informatie over de afmetingen van dit element is te vinden in de bij dit rapport behorende tekeningenbundel.

De plaat heeft een dikte van 50 mm. en wordt in hoogte richting ondersteund door ribben. De ribben worden in breedte richting ondersteund door 5 geïntegreerde kokers. De kokers zijn tevens randligger in de drie ondersteunende vakwerken. De ribben en kokers zitten aan één zijde van de plaat. De andere kant is vlak. De plaatdikte en de afmetingen van de ribben en kokers zijn van alle plaatdelen gelijk.

De plaat en ribben zijn in hoogterichting voorgespannen met voorspanstrengs, zodat er in hoogterichting een centrische voorspanning aanwezig is van 30 N/mm^2 .



Figuur 3; Waterkerende plaat, middenveld

Onderdeel.	Aantal	m ³ beton/stuk	Totaal m ³ beton
P1 (middenplaat)	6	10,88	65,28
P2 (randplaat)	2	6,90	13,8
Totaal (m ³)			79.08

Tabel 1; Betonvolumes achterwand

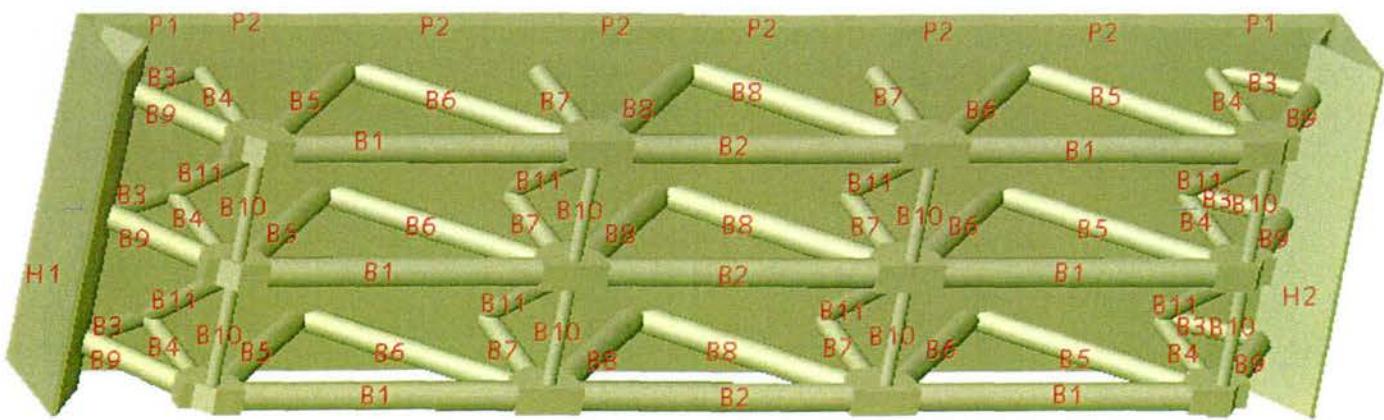
8.1.3 Vakwerkbuizen

De vakwerkbuizen vormen samen met de geïntegreerde kokers in de waterkerende wand drie vakwerkliggers.

De holle ruimte in de betonnen buizen wordt gebruikt om de externe voorspankabels te herbergen. De buizen worden tijdens assemblage van de schuif voorgespannen door de kabels af te spannen op de knooppunten.

Nr.	Aantal buizen	buiten diameter (mm.)	binnen diameter (mm.)	lengte (mm.)	m ³ beton/stuk	Totaal m ³ beton
B1	6	900	730	9000	1,96	11,76
B2	3	900	670	9000	2,56	7,67
B3	6	800	690	3900	0,50	3,02
B4	6	600	500	4000	0,34	2,06
B5	6	800	700	5800	0,68	4,11
B6	6	800	700	5800	0,68	4,11
B7	6	700	600	4000	0,40	2,45
B8	6	900	750	5800	0,68	4,11
B9	6	600	500	2800	0,24	1,44
B10	8	450	350	4350	0,27	2,19
B11	8	600	500	4950	0,43	3,41
Totaal (m ³)						46.33

Tabel 2

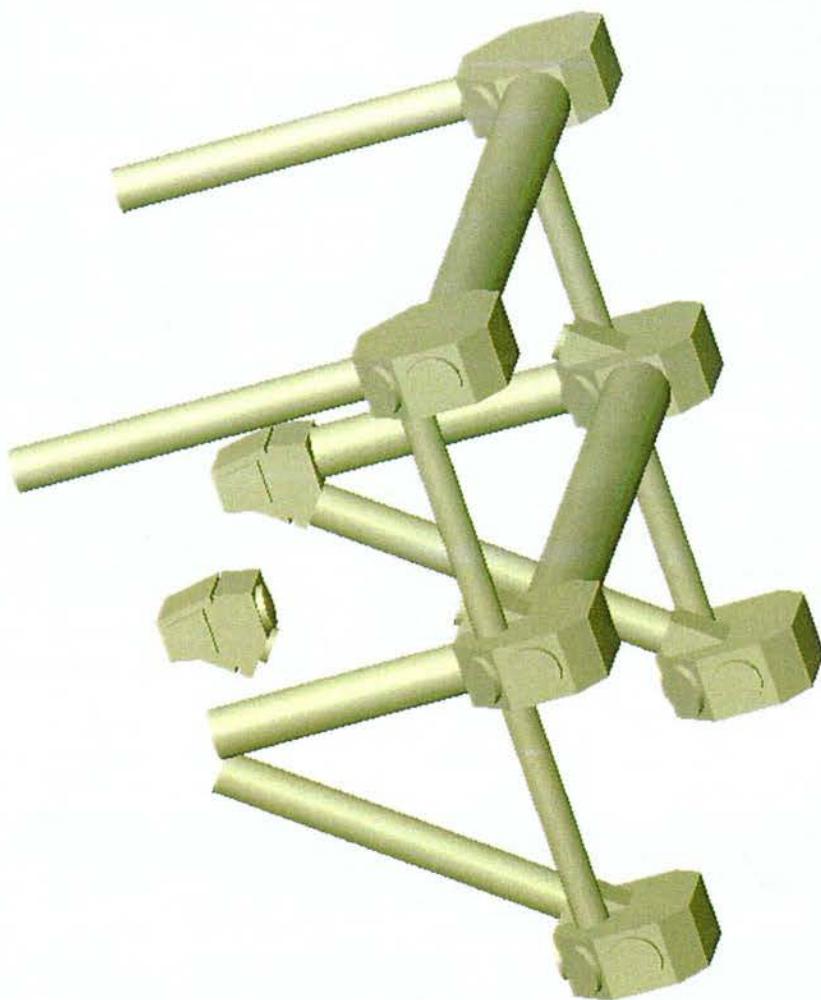


Figuur 4; Nummering betononderdelen

8.1.4 Knooppunten

De knooppunten dienen om de vakwerkbuizen aan elkaar te kunnen koppelen. De voorspankabels komen het knooppunt binnen aan de zijde waar de kopse kant van de buis tegen het knooppunt ligt. De voorspankabel gaat door het knooppunt heen, en wordt aan de andere zijde met een voorspananker verankerd. Tijdens het fabriceren van de knooppunten moet dus met de sparingen voor de voorspankabels en ankers rekening worden gehouden.

Figuur 5 geeft een indruk hoe de knooppunten de buizen verbinden.

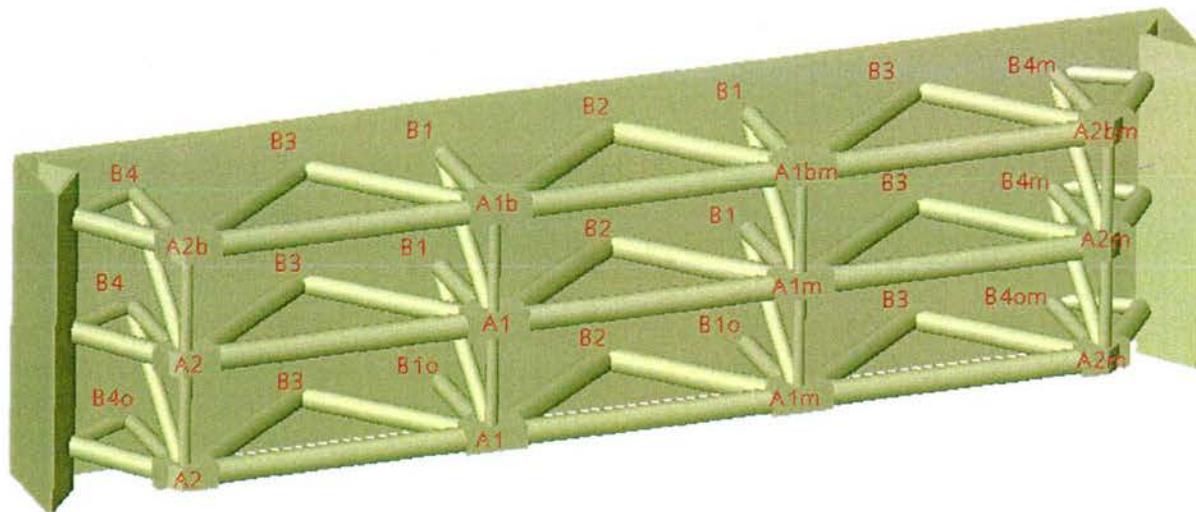


Figuur 5; Een aantal buizen en knooppunten

De knooppunten beginnend met de letter B zitten in de kokers in de waterkerende plaat. Hiervoor moeten sparingen gemaakt worden in de plaat, tijdens de productie van de plaat. Dit is nog niet getekend.

Knooppunt	Aantal	m3 beton/stuk	m3 beton totaal
A1	2	3,50	7,0
A1b	1	3,50	3,5
A1m	2	3,50	7,0
A1bm	1	3,50	3,5
A2	2	2,25	4,50
A2b	1	2,25	2,25
A2m	2	2,25	4,50
A2bm	1	2,25	2,25
B1	4	1,25	5,0
B1o	2	1,25	2,5
B2	3	1,25	3,75
B3	6	1,25	7,5
B4	2	1,25	2,5
B4o	1	1,25	1,25
B4m	2	1,25	2,50
B4mo	1	1,25	1,25
		Totaal	60,75

Tabel 3



Figuur 6; Knooppuntnummers

8.1.5 Eindhar

De eindharren aan beide uiteinden van de schuif dienen ervoor om de krachten uit de schuif over te kunnen dragen aan de opleggingen in de spanningen van de pijlers van de dam. Ook kunnen de bewegingswerken die de schuiven op en neer bewegen aan de eindharren bevestigd worden.

De eindharren hebben een driehoekige kokervorm. De wanddikte bedraagt 150 mm. In de koker zijn de eindharren ter plaatse van de vakwerken van ribben van 500* 500 mm. voorzien. De eindharren kunnen eventueel in delen gefabriceerd worden, en door middel van voorspanning aan elkaar gezet

worden. Voor de productie van elke eindhar is $18,4 \text{ m}^3$ beton nodig. Voor beide onderdelen samen dus $36,8 \text{ m}^3$

8.1.6 Totaal eigen gewicht

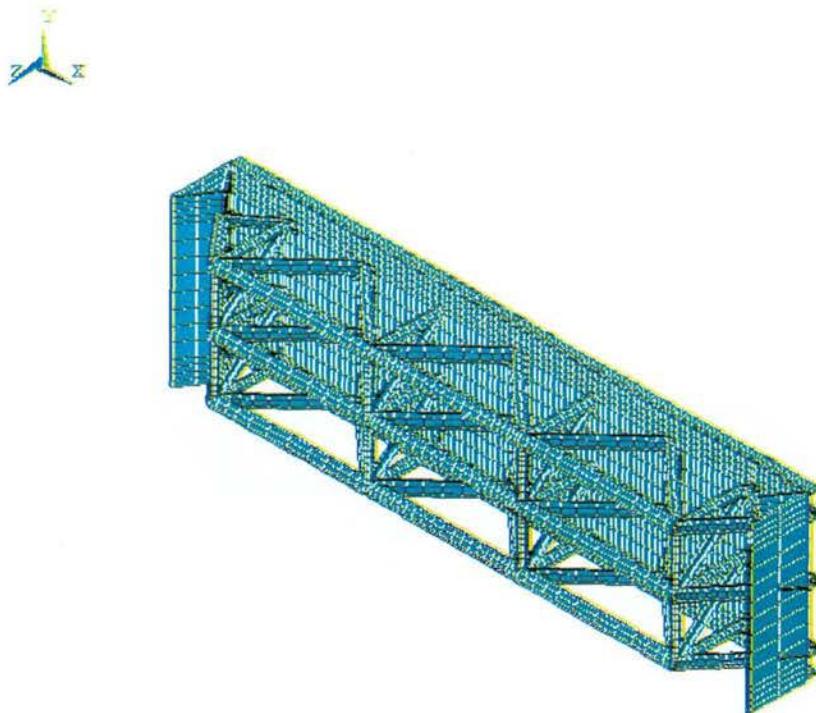
Onderdeel	m^3	ton
Waterkerende plaat	79,08	209
Vakwerkbuizen	46,33	122
Knooppunten	60,75	160
Eindharren	36,8	97
Voorspanning		36
		TOTAAL 624 ton

Het totale eigen gewicht blijft onder het in paragraaf 5.4 bepaalde maximale eigen gewicht van 633 ton. De betonnen schuif is dus met de huidige bewegingswerken te openen en sluiten.

8.2 FEM-berekening

In de handberekening zijn alle schuifonderdelen geschematiseerd tot 2-D balkelementen. Omdat de schuif opgebouwd is uit 3-D balk- en schaalelementen is een berekening met een eindige elementenpakket wenselijk. De schuif is gemodelleerd in het eindige elementenpakket ANSYS. De gemaakte handberekening fungeert hierbij als referentie.

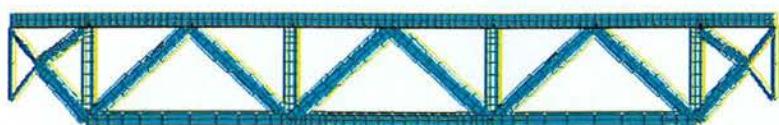
8.2.1 Modelbeschrijving



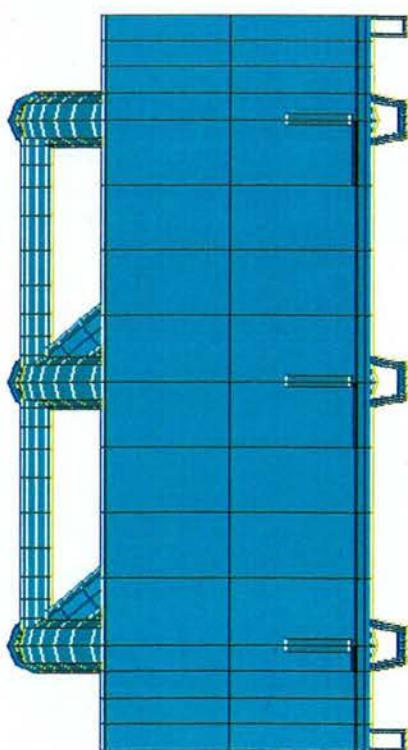
COMPLEET MODEL, ISOMETRIE.

Figuur 7; Isometrisch aanzicht ANSYS-model

Om niet direct te gedetailleerd te werk te gaan, is ervoor gekozen om de verbindingsdetails niet mee te modelleren. De knooppunten tussen de buizen onderling, de verbindingen tussen de waterkerende plaat en de vakwerkbuizen zijn niet naar werkelijkheid gemodelleerd. Aan de hand van dit model zijn dus geen conclusies te trekken op locaal (verbinding) niveau. Wel geeft de berekening inzicht in de krachtsverdeling van de schuif als geheel. De complete invoerfile is als bijlage D in dit rapport opgenomen.



Figuur 8; Bovenaanzicht ANSYS-model



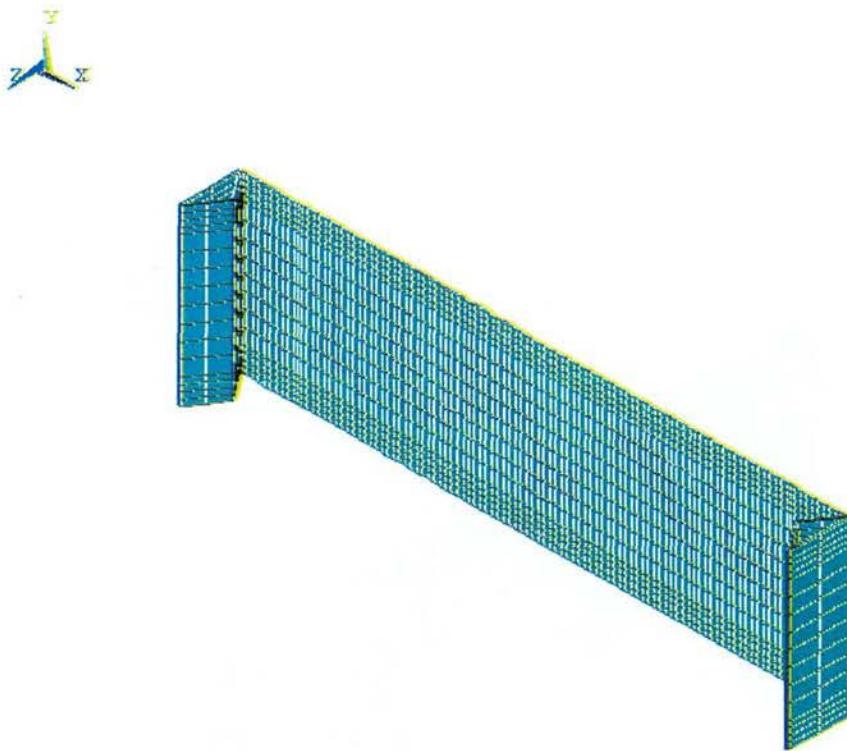
COMPLEET MODEL, ZIJAANZICHT.

Figuur 9; Zijaanzicht ANSYS-model

Bij het modelleren is gebruik gemaakt van de mogelijkheid die ANSYS biedt om gebruik te maken van parameters. Hierdoor is het mogelijk om door het wijzigen van één getal in de invoerfile, een andere variant van de constructie door te rekenen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om ook de schuif met een hoogte van 10,9 m. zeer eenvoudig uit te rekenen.

De volgende parameters zijn (onder andere) gebruikt:

- breedte van de schuif
- hoogte van de schuif
- afstand van het onderste vakwerk tot de onderzijde van de schuif
- afstand van het middelste vakwerk tot de onderzijde van de schuif
- afstand van het bovenste vakwerk tot de onderzijde van de schuif
- aantal ondersteuningsribben per plaatveld
- afstand van de randrib tot einde plaat
- veldafstand tussen de overige ribben
- plaatdikte
- loodrechte afstand tussen randstaven van het vakwerk
- afstand tussen de wandstaven van het vakwerk onderling

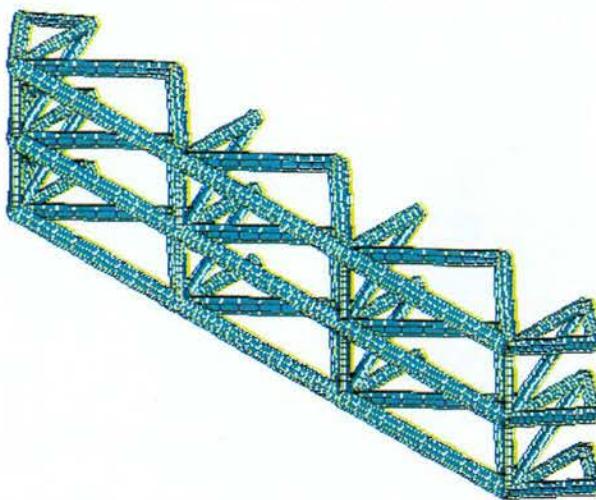


VOORMAND+EINDHARREN (SHELL63), ISOMETRIE.

Figuur 10; Schaalelementen ANSYS-model

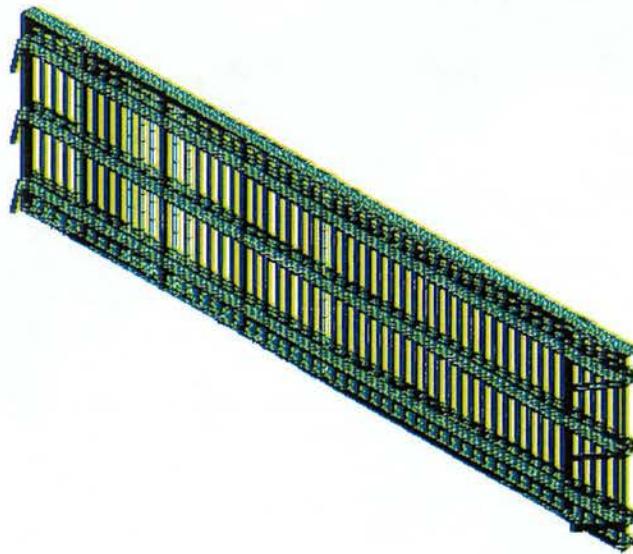
De waterkerende wand en de eindharren zijn als schalen gemodelleerd (zie Figuur 10). Hiervoor is het element SHELL63 gebruikt. SHELL63 is een schaalelement, en er kunnen dus zowel buiging als membraankrachten mee berekend worden. De belasting kan zowel loodrecht als in het vlak van de plaat aangrijpen. Het element heeft zes vrijheidsgraden op ieder knooppunt: translaties in x-, y-, en z-

richting and rotaties om de x-, y- en z-as. De juiste dikte van de wanden is als geometrische eigenschap aan de elementen meegegeven.



Figuur 11; Vakwerkbuizen ANSYS

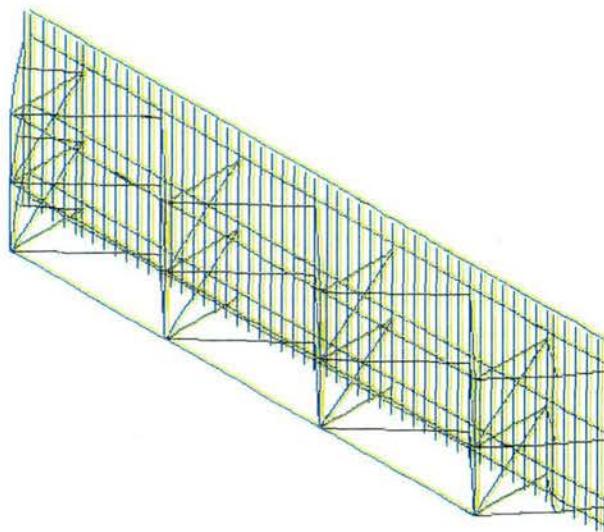
Het driedimensionale vakwerk is opgebouwd uit buizen. In ANSYS is hiervoor het element PIPE16 gebuikt. PIPE16 is een lijniformig element met mogelijkheden tot trek, druk, torsie, en buiging. Het element heeft zes vrijheidsgraden in elk knooppunt: translaties in x-, y-, en z-richting and rotaties om de x-, y- en z-as. Het element is gebaseerd op een 3D-balk element, maar is versimpeld door de symmetrie-eigenschappen van een buis. Aan de verschillende buiselementen zijn de juiste binnen-, en buitendiameter van de betonnen buizen toegekend.



Figuur 12; Balkelementen ANSYS-model

De waterkerende wand van de schuif wordt ondersteund door horizontale kokers en verticale ribben. (zie Figuur 12) Ook in de eindharren zijn een aantal verstijvingsbalken aanwezig. Deze onderdelen zijn geschematiseerd met element BEAM188. BEAM188 is een lijniformig element. Het element heeft zes vrijheidsgraden in elk knooppunt: translaties in x-, y-, en z-richting and rotaties om de x-, y- en z-as. De

afmetingen van de werkelijke dwarsdoorsneden van de diverse betonelementen zijn aan de elementen meegegeven. ANSYS bepaalt hierbij zelf de oppervlakte van de doorsnede, de I_{zz} , I_{yy} , I_{zy} , enz.



Figuur 13; Voorspanning in ANSYS-model

In Figuur 13 staan de toegepaste voorspanstrengen weergegeven. De voorspanstrengen zijn gemodelleerd als BEAM4. BEAM4 is een eenvoudig rechtlijnig 3D-balkelement met mogelijkheden tot berekening van normaalkracht, buiging en torsie. Het element heeft zes vrijheidsgraden op elk knooppunt. Om de voorspanelementen de eigenschappen van een kabel mee te geven zijn de traagheidsmomenten van de BEAM4 elementen verwaarloosbaar klein genomen. Om de voorspanning in de elementen te simuleren is gebruik gemaakt van de mogelijkheid van BEAM4 elementen tot het opgeven van een initiële rek.

Doordat de knooppunten niet in de modellering zijn meegenomen, zou het schuifmodel in ANSYS lichter worden dan de werkelijke schuif. Om dit te voorkomen zijn in de knooppunten van het vakwerk MASS21 elementen opgenomen. Deze elementen hebben hetzelfde gewicht meegekregen als de massieve betonnen knooppunten.

8.2.2 Belasting en randvoorwaarden

Op de schuif is belast door een driehoekige waterbelasting gezet.

Naast de waterbelasting is het eigen gewicht ook een belasting voor de schuif. De totale massa van de schuif per elementtype is volgens de outputfile van ANSYS:

TYPE	MASS
1	149697.
2	159557.
3	160073.
4	47912.4
5	105570.

Waarin:

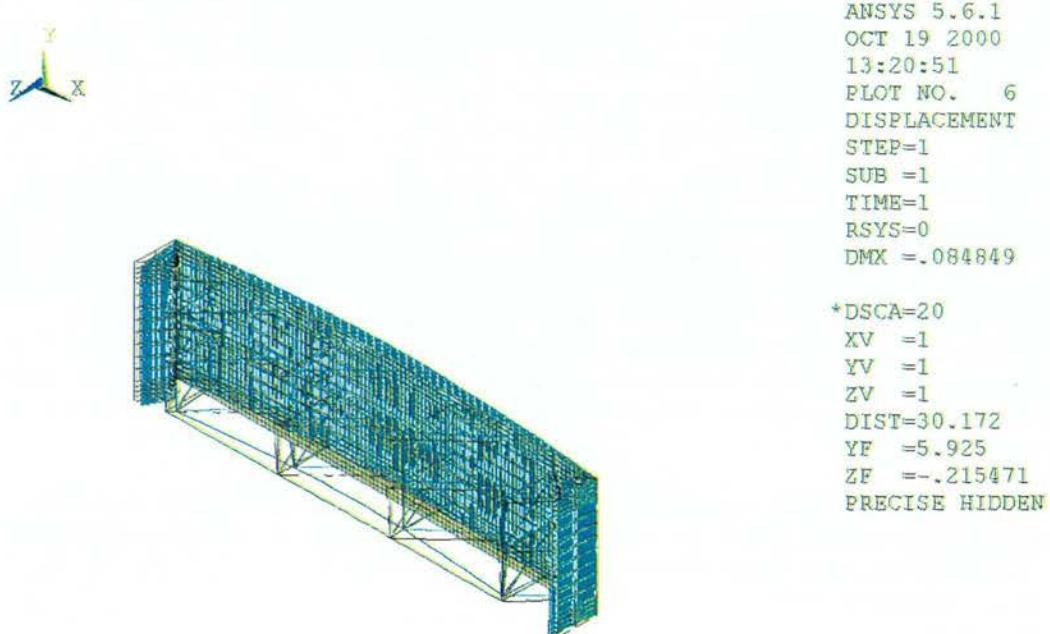
type

1	SHELL63
2	PIPE16
3	BEAM188
4	BEAM4
5	MASS21

Het totale schuifgewicht in de ANSYS-berekening is dus 623 ton. Het totale schuifgewicht bepaald met de 3D-tekeningen in SolidWorks bedraagt 624 ton.

Het schuifmodel wordt aan zowel de linker als de rechterkant aan de eindharren in z-richting vastgehouden. Dit is gedaan om de oplegging van de schuif tegen de sponning van de eindhar te schematiseren. In y-richting is de schuif op de naar binnen wijzende punt van de eindhar opgelegd. Hier grijpt de zuigerstang via een voorspankabel op de schuif aan.

8.2.3 Vervorming

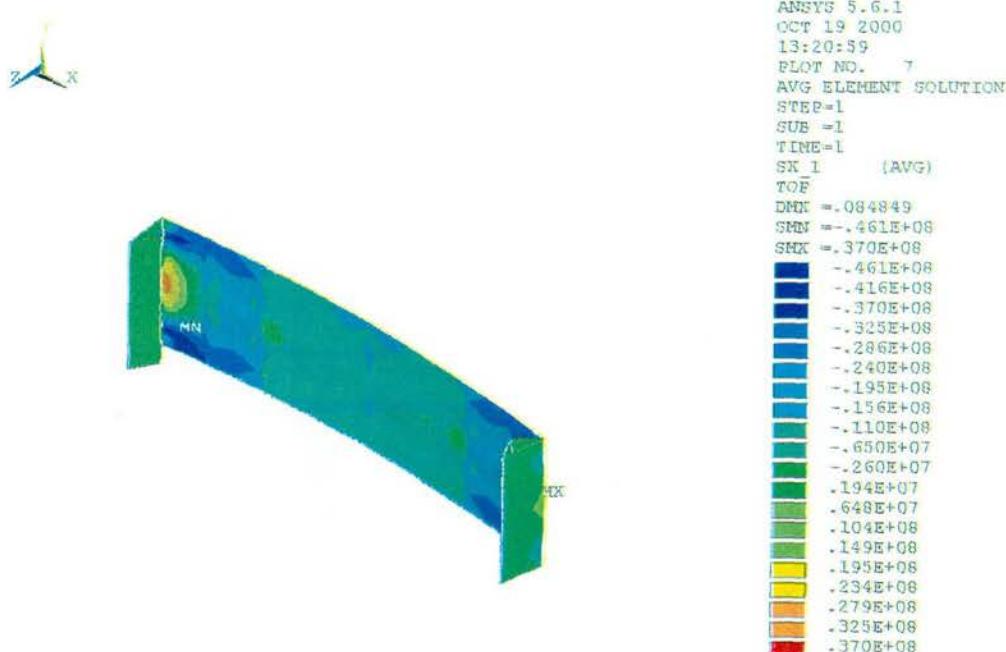


VERPLAATSINGEN ONDER WATER + EG + VOORSPANNING.

Figuur 14; Vervormde belaste constructie

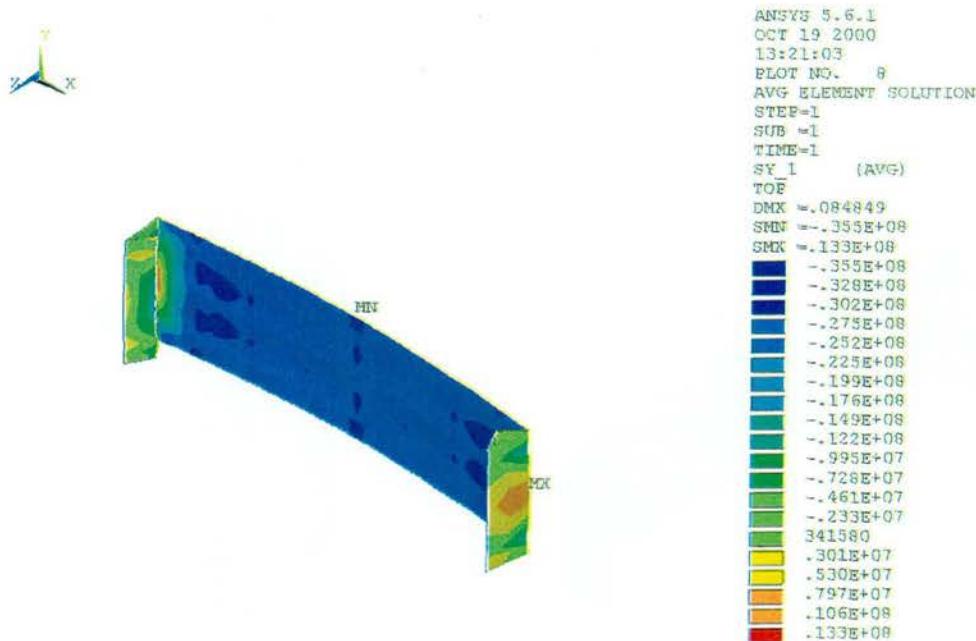
De maximale doorbuiging bedraagt 8,5 cm.

8.2.4 Plaatspanningen



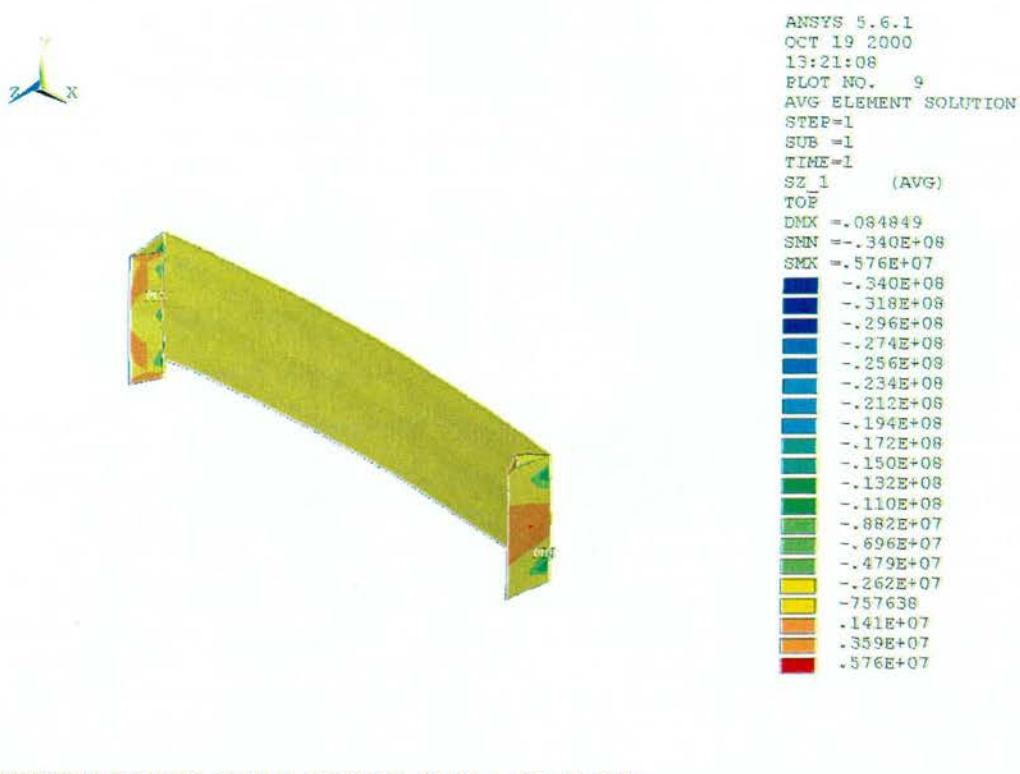
SPANNINGEN X-RICHTING SHELL'S (SHELL63) WATER + EG + VOORSE.

Figuur 15 Spanningen [N/m²] in x-richting schaalelementen

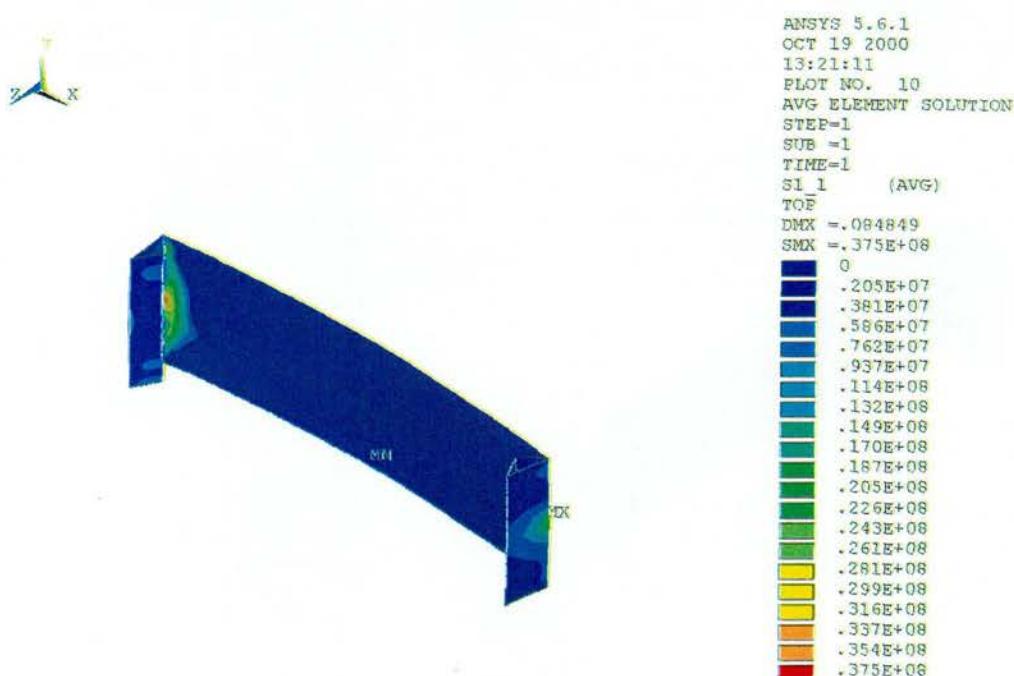


SPANNINGEN Y-RICHTING SHELL'S (SHELL63) WATER + EG + VOORSE.

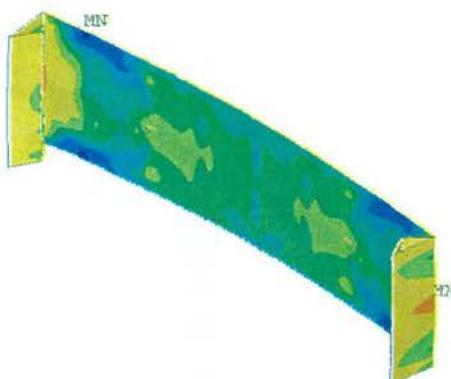
Figuur 16; Spanningen [N/m²] in y-richting schaalelementen



Figuur 17; Spanningen [N/m²] z-richting in schaalelementen



Figuur 18; Hoofdspanningen [N/m²] in richting 1 in schaalelementen



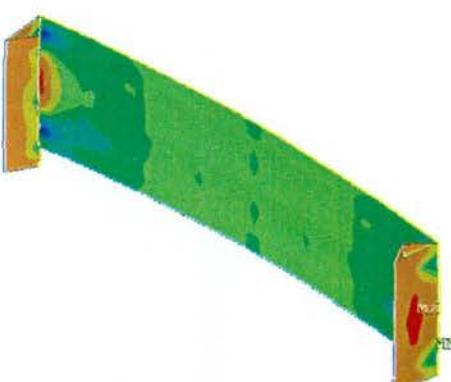
```

ANSYS 5.6.1
OCT 19 2000
13:21:15
PLOT NO. 11
AVG ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
S2_1      (AVG)
TOP
DMX =.084849
SMN =-.340E+08
SMX =.110E+08
-.340E+08
-.315E+08
-.291E+08
-.266E+08
-.245E+08
-.221E+08
-.196E+08
-.175E+08
-.150E+08
-.126E+08
-.105E+08
-.800E+07
-.554E+07
-.343E+07
-.967E+07
-.149E+07
-.360E+07
-.606E+07
-.852E+07
.110E+08

```

HOOFDSPANNINGEN SHELL'S RICHTING 2

Figuur 19; Hoofdspanningen [N/m²] in richting 2 in schaalelementen



```

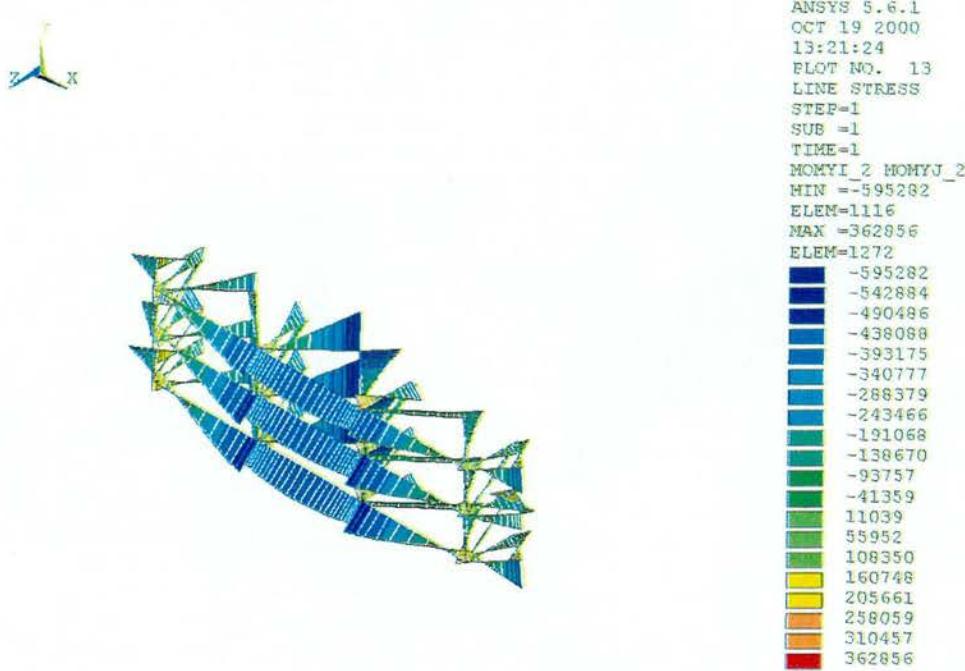
ANSYS 5.6.1
OCT 19 2000
13:21:19
PLOT NO. 12
AVG ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
S3_1      (AVG)
TOP
DMX =.084849
SMN =-.791E+08
SMX =.110E-03
-.791E+08
-.747E+08
-.704E+08
-.661E+08
-.624E+08
-.581E+08
-.537E+08
-.500E+08
-.457E+08
-.414E+08
-.377E+08
-.334E+08
-.290E+08
-.253E+08
-.210E+08
-.167E+08
-.130E+08
-.865E+07
-.432E+07
.110E-03

```

HOOFDSPANNINGEN SHELL'S RICHTING 3

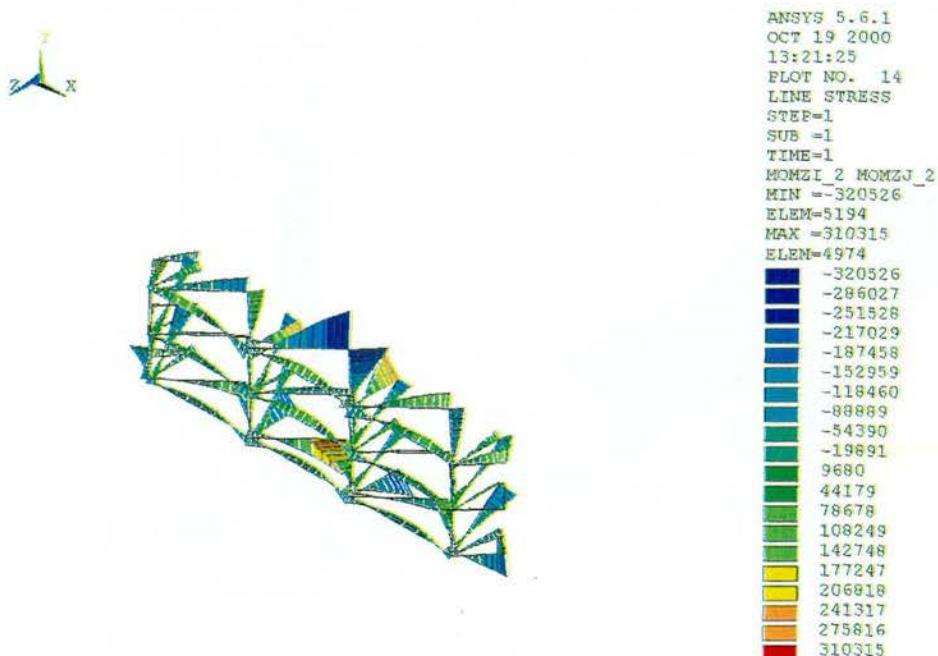
Figuur 20; Hoofdspanningen [N/m²] in richting 3 in schaalelementen

8.2.5 Krachten in vakwerkbuizen



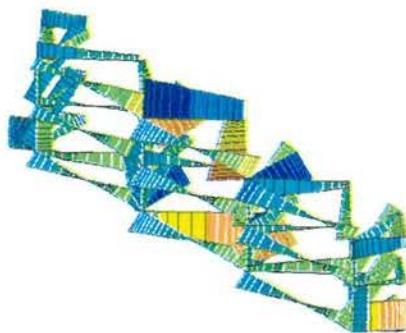
BUIGENDE MOMENTEN OM Y-AS BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.

Figuur 21; Buigende momenten [Nm] om y-as buizen



BUIGENDE MOMENTEN OM Z-AS BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.

Figuur 22; Buigende momenten [Nm] om z-as buizen



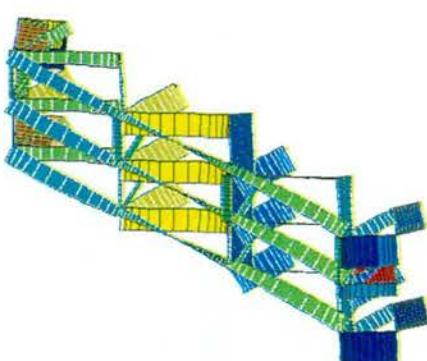
```

ANSYS 5.6.1
OCT 19 2000
13:21:27
PLOT NO. 15
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
FYL 2 FYJ_2
MIN =-75045
ELEM=5183
MAX =75045
ELEM=LL29
-75045
-66837
-58629
-50421
-43385
-35177
-26969
-19934
-11726
-3518
3518
LL726
19934
26969
35177
43385
50421
58629
66837
75045

```

DWARSKRACHTEN IN Y-RICHTING BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSE.

Figuur 23; Dwarskracht in [N] y-richting van buizen



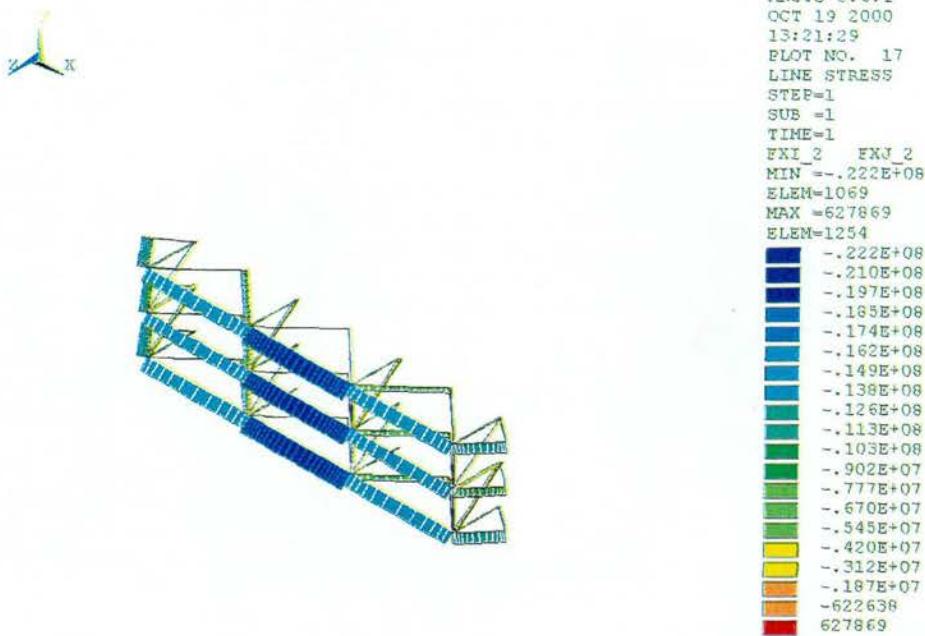
```

ANSYS 5.6.1
OCT 19 2000
13:21:28
PLOT NO. 16
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
FYL 2 FYJ_2
MIN =-170551
ELEM=5139
MAX =170551
ELEM=1267
-170551
-151897
-133243
-114589
-98600
-79946
-61292
-45303
-26649
-7995
7995
26649
45303
61292
79946
98600
114589
133243
151897
170551

```

DWARSKRACHTEN IN Z-RICHTING BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSE.

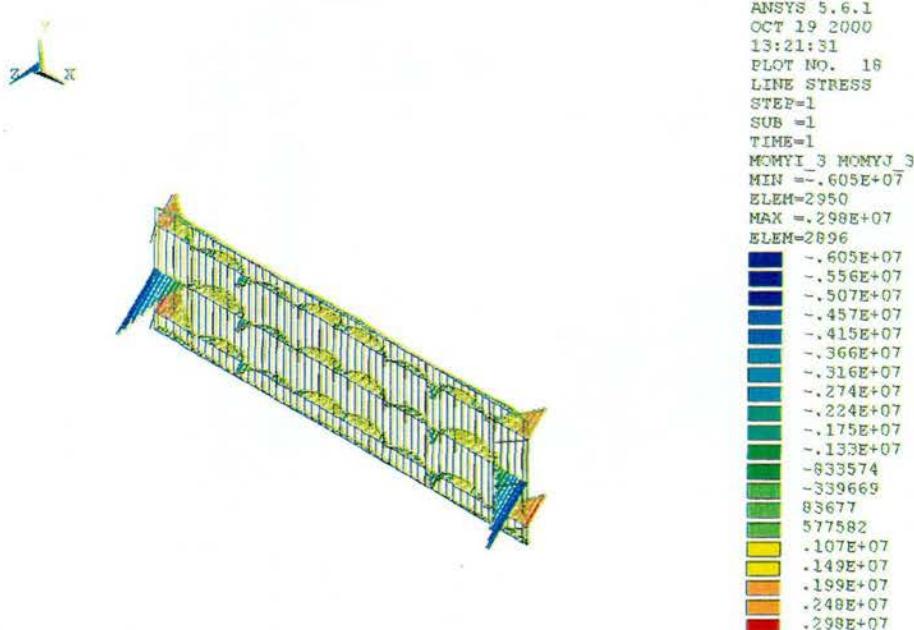
Figuur 24; Dwarskracht [N] in z-richting buizen



NORMAALKRACHTEN IN X-RICHTING BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSE.

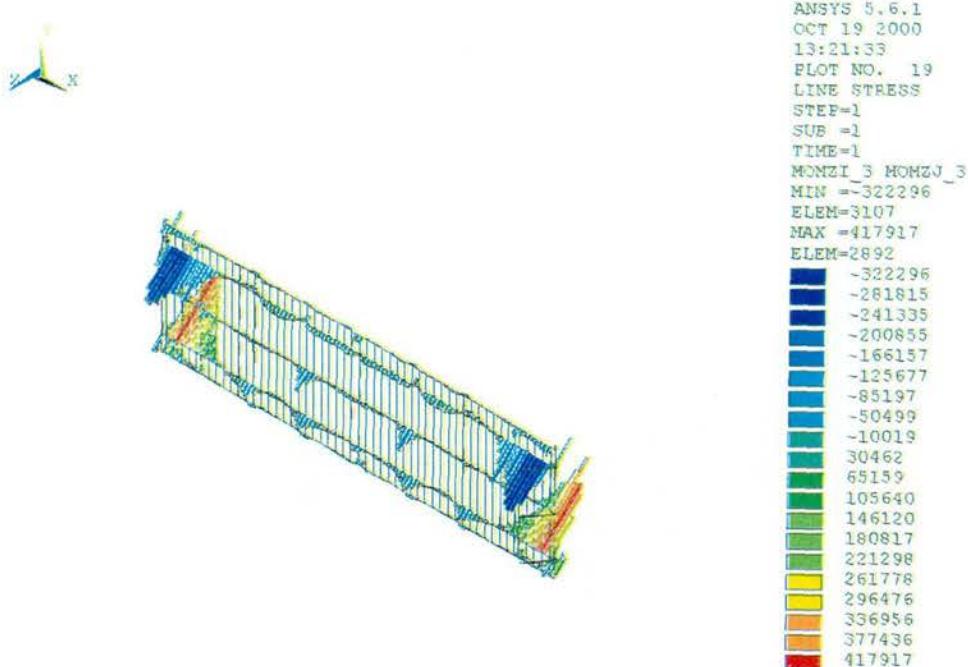
Figuur 25; Normaalkracht [N] in buizen

8.2.6 Krachten in balken



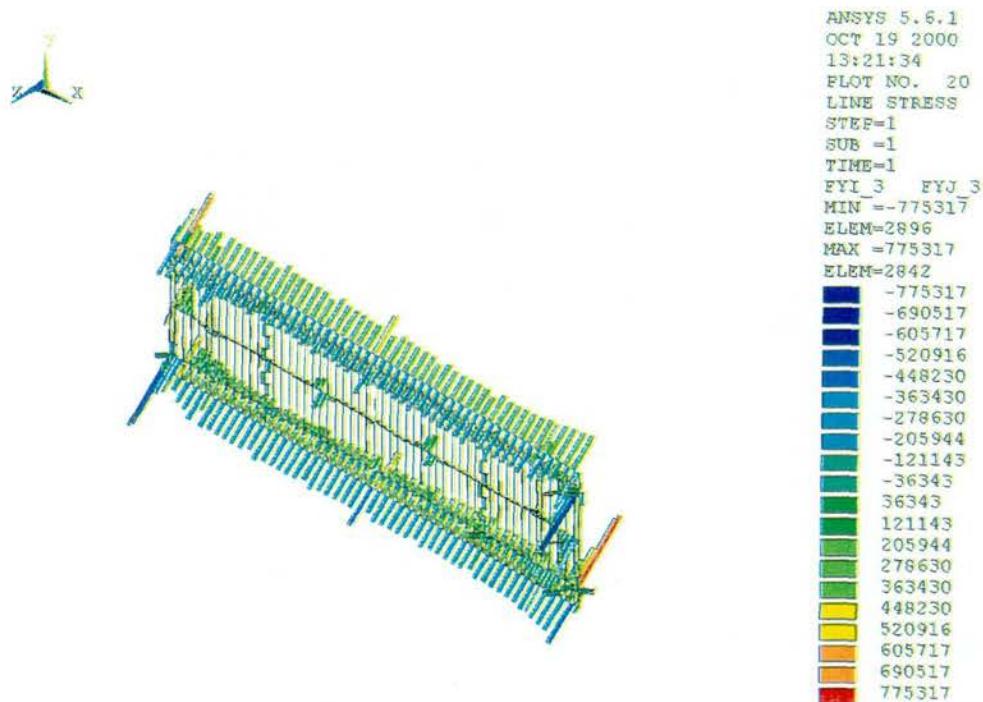
BUIGENDE MOMENTEN OM Y-AS BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSE.

Figuur 26; Buigende momenten [Nm] y-as balken



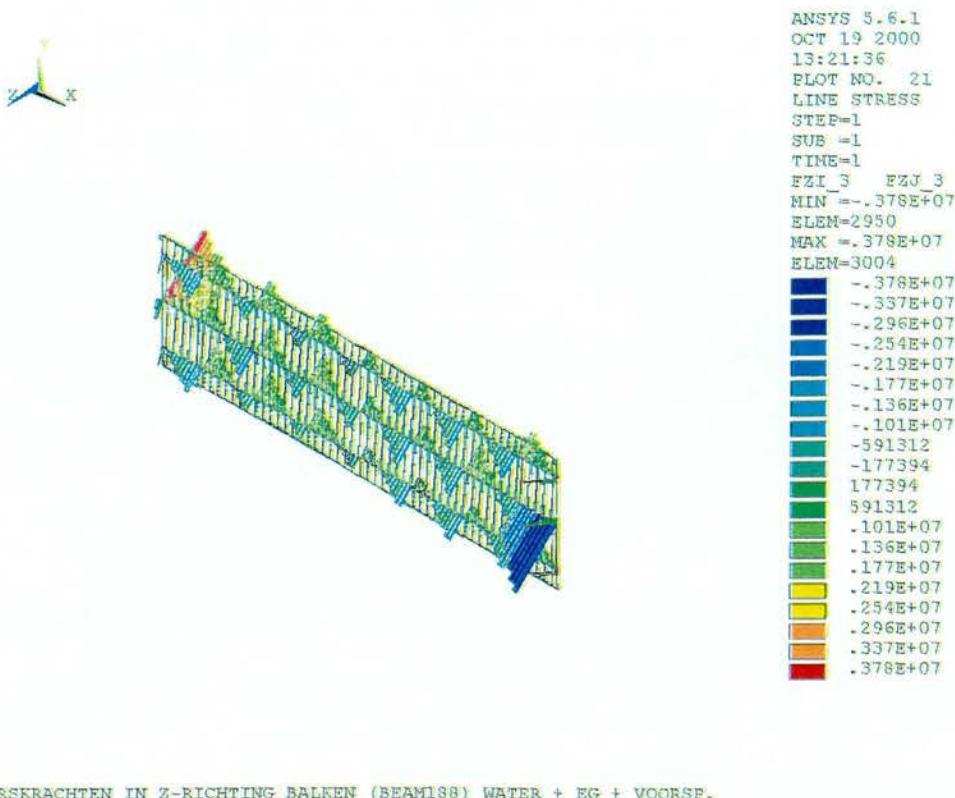
BUIGENDE MOMENTEN OM Z-AS BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.

Figuur 27; Buigende momenten [Nm] om z-as balken



DWARSKRACHTEN IN Y-RICHTING BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.

Figuur 28; Dwarskracht [N] in y-richting balken



Figuur 29: Dwarskracht in z-richting balken

8.3 Eigenfrequentie van de schuif

In verband met de dynamische belastingen op de schuif, is het van belang te weten hoe een betonnen schuif zich gedraagt bij trillingen van het water. In [8.1] is aangegeven dat eigenfrequenties van de schuif onder 3 Hz gevaarlijke (exciterende) trillingen kunnen opleveren. Dit is vastgesteld na proeven met modellen van de stalen schuif in het Waterloopkundig Laboratorium. Het gaat hier dan niet om de lagere frequentie van de golfbelasting (van golftop naar golfdal), maar om drukwisselingen van langsstromend water. De frequentie met de grootste golfenergie ligt in het gebied tussen 0,05 en 0,20 Hz, en is dus een stuk lager.

Er kan onderscheid worden gemaakt in een natte en droge eigenfrequentie, waarbij de schuif al dan niet in het water gelegen is. Bij de natte eigenfrequentie wordt het gewicht van de schuif in grote mate bepaald door de meetrillende watermassa.

Het streven is een schuif te ontwerpen met een zo hoog mogelijke eigenfrequentie (bij voorkeur boven 3 Hz), aangezien bij lager eigenfrequenties groter trillingen te verwachten zijn.

8.3.1 Handberekening eigenfrequentie

Schatting droge eigenfrequentie

Als de schuif als een opgelegde balk wordt beschouwd, dan is de eigenfrequentie vrij eenvoudig analytisch te bepalen. Dampingfactoren worden hierbij echter niet meegenomen. De laagste eigenfrequentie is volgens [8.2] gelijk aan:

$$\omega_1 = \pi^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m \cdot l^4}} \text{ (hoekfrequentie)}$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$$

waarbij:
 EI = de (buig)stijfheid van de balk
 l = de lengte van de balk
 m = de massa van de balk per lengte eenheid

De eigenfrequentie is per 1/3 deel van de schuif uitgerekend.

De buigstijfheid van de schuif wordt voor het grootste gedeelte bepaald door de vakwerkliggers.

$$I = 0,284 \cdot 2,86^2 + 0,3085 \cdot 2,64^2 = 4,47 \text{ m}^4$$

$$E = 5,3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$m = 4681 \text{ kg/m}$$

$$l = 41,3 \text{ m.}$$

$$\bar{\omega}_1 = 9,87 \cdot \sqrt{\frac{5,3 \cdot 10^{10} \cdot 4,47}{4681 \cdot 41,3^4}} = 41,2 \text{ rad/s}$$

$$f_1 = \frac{41,2}{2\pi} = 6,6 \text{ Hz}$$

In lit. 3 is de (droge, horizontale) eigenfrequentie van de stalen schuif nauwkeurig bepaald (voor schuif R16, als massa-veer model en rekening houdend met demping). Bij 3-dimensionale beschouwing is de laagste eigenfrequentie 6,6 Hz. De eigenfrequentie van de stalen schuif lijkt dus globaal gelijk te zijn aan die van de schuif van B200.

Schatting van de natte eigenfrequentie

De natte eigenfrequenties van de stalen schuiven worden ook beschreven in [8.3]. De natte eigenfrequentie is bepaald d.m.v. een 3D-computermodel bij het scheepsbouwinstituut TNO-IWECO. De natte eigenfrequentie van de hoogste stalen schuif bedraagt 3,09 Hz.

De eigenfrequentie van voorwerpen of constructies in water wordt vaak bepaald door het berekenen van de toegevoegde watermassa. Met de gegeven formule van de eigenfrequentie voor een opgelegde balk en de verhouding tussen de natte en droge eigenfrequentie is deze toegevoegde watermassa af te leiden. Er wordt in dit geval dan wel vanuit gegaan dat de stijfheid van de schuif gelijk blijft.

De massa van de stalen schuif bedraagt 500 ton. De bijbehorende droge, 2-dimensionale eigenfrequentie is 6,733 Hz. Bij de natte eigenfrequentie van 3,091 Hz blijkt de massa 2370 ton te bedragen (schuif+water). Als de toegevoegde watermassa (1870 ton) ook op de B200 schuif wordt toegepast, dan wordt er een natte eigenfrequentie verkregen van 3,19 Hz.

$$\bar{\omega}_1 = 9,87 \cdot \sqrt{\frac{5,3 \cdot 10^{10} \cdot 4,47}{19774 \cdot 41,3^4}} = 20 \text{ rad/s}$$

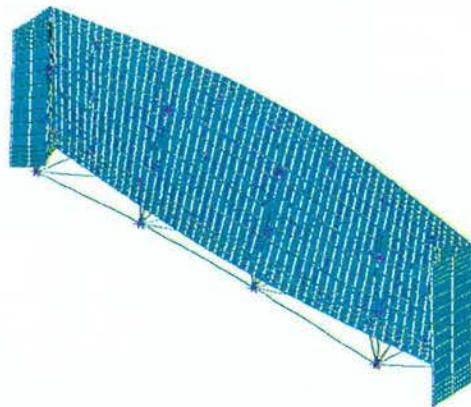
$$f_1 = \frac{202}{2\pi} = 3,19 \text{ Hz}$$

Conclusie

Zowel de natte als de droge eigenfrequentie van de betonnen schuif zijn hoger dan van de huidige stalen schuiven. Dit lijkt te betekenen dat het gevaar voor ernstige trillingen (resonantie) kleiner is dan bij de stalen variant.

8.3.2 Eigenfrequentie schuif volgens ANSYS

De eerste eigenfrequenties volgens de ANSYS-berekening zijn:

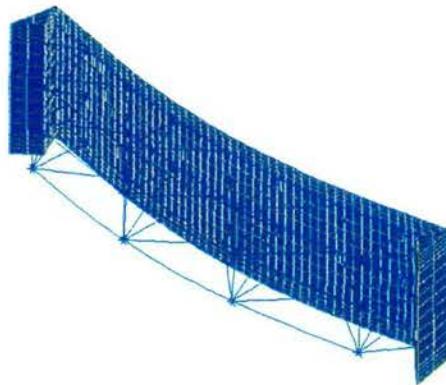


```
ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:22:22
PLOT NO. 8
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
FREQ=4.651
RSYS=0
DMX =.002985

*DSCA=959.89
XV =1
YV =1
ZV =1
*DIST=30.172
*YF =6.389
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN
```

EIGENTRILLINGSVORM #1 MET EIGENFREQUENTIE 4.65087644 Hz.

Figuur 30; Trillingsvorm eigenfrequentie 1



ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:23:26
PLOT NO. 57
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =2
FREQ=6.202
RSYS=0
DMX =.002117

DSCA=1411
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
DIST=30.172
YF =5.944
ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #2 MET EIGENFREQUENTIE 6.2020047 Hz.

Figuur 31; Trillingsvorm eigenfrequentie 2

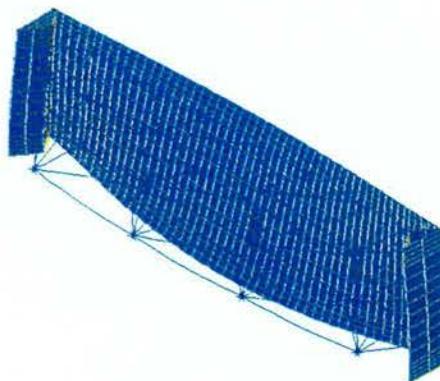


ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:24:31
PLOT NO. 108
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =3
FREQ=8.721
RSYS=0
DMX =.002909

DSCA=1027
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
DIST=30.172
YF =5.013
ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #3 MET EIGENFREQUENTIE 8.7208996 Hz.

Figuur 32; Trillingsvorm eigenfrequentie 3

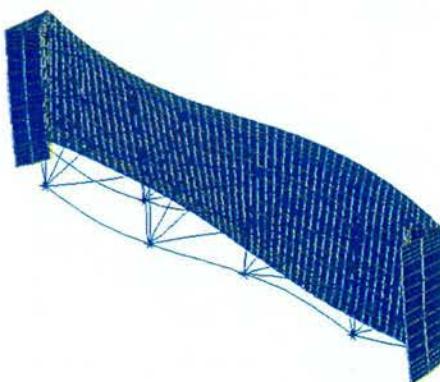


ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:24:31
PLOT NO. 108
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =3
FREQ=8.721
RSYS=0
DMX =.002909

DSCA=1027
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
DIST=30.172
YF =5.013
ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #3 MET EIGENFREQUENTIE 8.7208996 Hz.

Figuur 33; Trillingsvorm eigenfrequentie 3

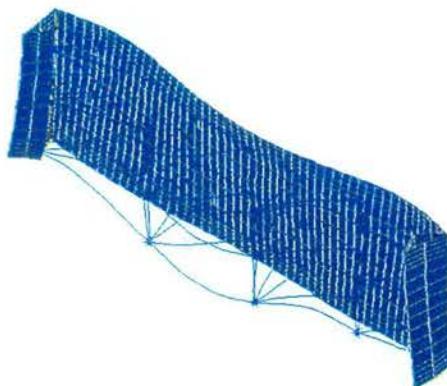


ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:25:36
PLOT NO. 159
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =4
FREQ=11.513
RSYS=0
DMX =.003522

DSCA=848.211
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
DIST=30.172
YF =6.106
ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #4 MET EIGENFREQUENTIE 11.5128717 Hz.

Figuur 34; Trillingsvorm eigenfrequentie 4

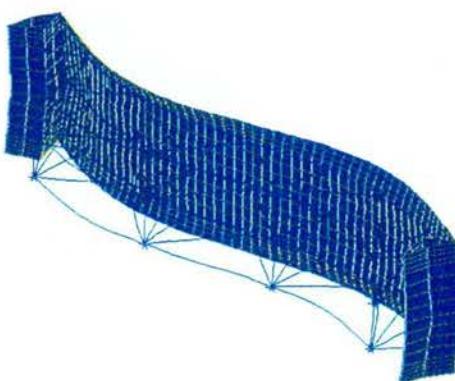


ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:26:43
PLOT NO. 211
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =5
FREQ=15.366
RSYS=0
DMX =.00359

*DSCA=832.281
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
*DIST=30.172
*YF =6.287
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #5 MET EIGENFREQUENTIE 15.3684614 Hz.

Figuur 35; Trillingsvorm eigenfrequentie 5



ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:28:49
PLOT NO. 310
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =6
FREQ=15.671
RSYS=0
DMX =.002347

*DSCA=-1221
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
*DIST=30.172
*YF =5.946
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

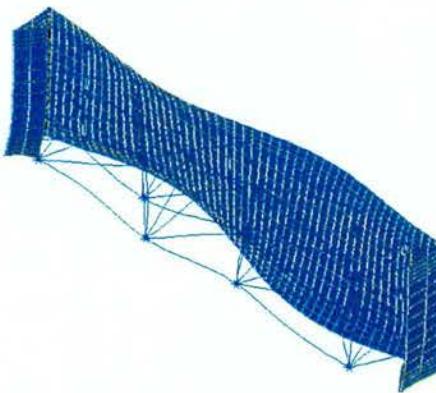
EIGENTRILLINGSVORM #6 MET EIGENFREQUENTIE 15.6709628 Hz.

Figuur 36; Trillingsvorm eigenfrequentie 6



ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:29:02
PLOT NO. 320
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =7
FREQ=17.028
RSYS=0
DMX =.003258

*DSCA=655.022
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
*DIST=30.172
*YF =5.986
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN



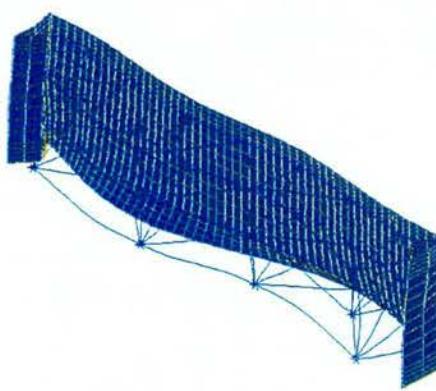
EIGENTRILLINGSVORM #7 MET EIGENFREQUENTIE 17.028404 Hz.

Figuur 37; Trillingsvorm eigenfrequentie 7



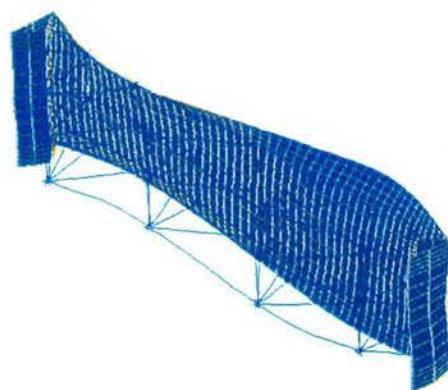
ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:30:06
PLOT NO. 370
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =8
FREQ=18.719
RSYS=0
DMX =.004091

*DSCA=551.386
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
*DIST=30.172
*YF =5.981
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN



EIGENTRILLINGSVORM #8 MET EIGENFREQUENTIE 18.7191701 Hz.

Figuur 38; Trillingsvorm eigenfrequentie 8

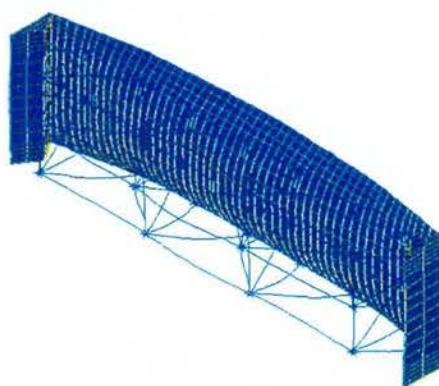


ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:31:03
PLOT NO. 415
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =9
FREQ=19.255
RSYS=0
DMX=.00447

*DSCA=668.408
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
*DIST=30.172
*YF =5.931
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #9 MET EIGENFREQUENTIE 19.255306 Hz.

Figuur 39; Trillingsvorm eigenfrequentie 9



ANSYS 5.6.1
JAN 19 2001
14:33:06
PLOT NO. 512
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =10
FREQ=19.585
RSYS=0
DMX=.005444

*DSCA=-481.56
XV =.57735
YV =.57735
ZV =.57735
*DIST=30.172
*YF =6.017
*ZF =-.215471
PRECISE HIDDEN

EIGENTRILLINGSVORM #10 MET EIGENFREQUENTIE 19.5850877 Hz.

Figuur 40; Trillingsvorm eigenfrequentie 10

8.4 Vermoeiing

8.4.1 Inleiding

Het materiaal zeer hogesterkebeton kent nog een aantal onzekerheden. Met name de krimp-, kruip- en vermoeiingseigenschappen van ZHSB moeten nog aan een nader onderzoek onderworpen worden.

Bouwdienst Rijkswaterstaat is voornemens deze laboratoriumproeven in samenwerking met de TU Delft uit te (laten) voeren. Hierbij is het met name voor de vermoeiingsproeven van belang om te weten in welk spanningsspectrum deze proeven uitgevoerd moeten worden. Voor de uitgewerkte schuifvariant zijn de spanningswisselingen in dit hoofdstuk op een rijtje gezet.

8.4.2 Vermeiingsberekening huidige stalen schuiven

Voor de huidige stalen schuiven zijn in het verleden ook vermeiingsberekeningen gemaakt. Deze berekeningen zijn per regel, ofwel vakwerklijger, gemaakt.

Als de schuiven worden gesloten dan wordt de constructie door de golven op vermeiing belast. Vermeiing van de knooppunten van de buisverbindingen is het bezwijkmechanisme dat de levensduur van de schuiven bepaalt. Uitgangspunt in de vermeiingsberekening is dat de schuiven een levensduur hebben van tenminste 50 jaar. Verder is geaccepteerd dat binnen de gewenste levensduur scheurtjes in de zwaarste belaste lassen mogen ontstaan.

De berekening van de belasting van een knooppunt is gebaseerd op de grootte en de verdeling van de golfbelastingen, het aantal golven dat optreedt en het verval. De combinaties van golf- en vervalbelasting zijn probabilistisch afgeleid met een kans van voorkomen van 1/200 jaar. Door per golfbelastingsklasse het aantal wisselingen te tellen kan het totaal aantal wisselingen in 200 jaar bepaald worden. Voor een levensduur van 50 jaar mag dit aantal recht evenredig verminderd worden. In de berekening van vermeiing wordt de invloed van de vervalbelasting verwaarloosd. Omdat de periodeduur van een vervalbelasting veel groter is dan de periodeduur van de golfbelasting is het effect van de vervalbelasting op het dynamische gedrag van een schuif te verwaarlozen. Daarbij komt ook nog dat het aantal vervalwisselingen gering is, en dat in een vermeiingsberekening alleen de spanningsrange, en niet het spanningsniveau, van belang is.

De golf- en vervalbelastingen uit de DDWT-nota's zijn afgeleid met een kans van voorkomen van $2,5 \cdot 10^{-4}$ (1/4000 jaar). Voor de berekening van de statische sterkte zijn deze maximale belastingwaarden bij deze kans van voorkomen aangehouden, vermenigvuldigd met een factor $\gamma_{extr}=1,25$. Voor de levensduurberekening wordt er gerekend met gereduceerde belastingen met een kans van voorkomen van 1/200 jaar. De karakteristieke belastingen zijn met een reductiefactor teruggerekend uit de extreme belastingen. De reductiefactor van de belastingen varieert voor de verschillende schuiven van 0,799 tot 0,899. Er wordt bij deze reductie van belastingen van uitgegaan dat het aangrijppingspunt van de belasting niet wijzigt. De vermeiingsberekeningen ter bepaling van de levensduur zijn uitgevoerd met karakteristieke belastingen zonder enige extra vermenigvuldigingsfactor; $\gamma_{vermeiing}=1,0$.

Aan de hand van de waterstanden van een schuif en de hoogte van de golftop of het golfdal is de belastingsverdeling over de regels van de schuif bepaald. Rekening houdend met de kansen van voorkomen van vervalbelasting en golfbelasting zijn de histogrammen van de belastingen per schuif en per regel bepaald. Voor schuif Roompot 16 is dit gegeven in Tabel 4. [8.4]

Golfbelasting in kN/m (per regel)	Kans van voorkomen	aantal belastingen per 200 jaar	Gereduceerd aantal belastingen per 200 jaar
20	6,03 * 10-2	41132	36
40	1,62 * 10-1	110165	1991
60	2,15 * 10-1	146403	15627
80	2,14 * 10-1	146093	54975
100	1,76 * 10-1	119856	119856
120	1,23 * 10-1	83877	186405
140	7,52 * 10-2	51113	223138
160	4,06 * 10-2	27534	215732
180	1,96 * 10-2	13296	174508
200	8,65 * 10-3	5846	121723
220	3,54 * 10-3	2383	75325
240	1,37 * 10-3	919	42525
260	5,14 * 10-4	343	22536
280	1,89 * 10-4	126	11453
300	6,90 * 10-5	46	5657
320	2,50 * 10-5	16	2610
340	8,73 * 10-6	6	1277
360	3,13 * 10-6	2	547
380	1,09 * 10-6	1	347
		749157	1276259

Tabel 4

Hierin geldt 'golfbelasting' = karakteristieke golfbelasting.

De golfbelastingen van de verschillende regels van de schuiven zijn omgerekend tot een standaardspanningswisseling met het aantal malen van voorkomen van dit spanningsinterval. Op deze wijze is de dynamische belasting voor de verschillende regels vergelijkbaar geworden, waardoor het mogelijk is bij de vaststelling van de dimensionering, naast de invloed van de meest extreme belasting, ook met de relatieve invloed van de dynamische belasting rekening te houden.

Voor de schuiven geldt als vermoeiingsreferentie de X-X lijn zoals aangegeven door de "American Welding Society". Doordat de spanningswisselingen in de knooppunten van de stormvloedkering in de Oosterschelde beperkt blijven tot 440 N/mm^2 , en doordat het maximaal aantal wisselingen per spanningsklasse altijd minder is dan $1,5 \cdot 10^5$, voldoet voor de berekening de tak van $5 \cdot 10^4$ tot $2 \cdot 10^6$ wisselingen. De logaritmische vergelijking van deze tak luidt:

$$\log(N) = 4,38 \cdot \log(S) + 11,32$$

of:

$$N = C \cdot S^{-4,38}$$

Aangezien de spanning linear afhankelijk is van de belasting B_1 , kan de formule ook geschreven worden als:

$$N_1 = C_1 \cdot B_1^{-4,38}$$

Voor een belasting B_2 is dit:

$$N_2 = C_2 \cdot B_2^{-4,38}$$

De vermoeiingsschade door n_2 wisselingen van belasting B_2 kan ook uitgedrukt worden in n_1 , wisselingen van de referentiebelasting B_1 . Hiervoor geldt:

$$n_1 = n_2 \cdot \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{-4,38}$$

Als referentiespanningswisseling is voor elke regel gekozen voor een spanningsinterval S van 100 N/mm. Teruggerekend is door welke golfbelasting dit spanningsinterval optreedt, waarna het aantal wisselingen van de andere golfbelastingen uitgedrukt wordt in wisselingen van het spanningsinterval van 100 kN/m. Deze omgerekende wisselingen zijn in Tabel 4 onder 'gereduceerd aantal wisselingen per 200 jaar' weergegeven.

8.4.3 Spanningswisselingen in vakwerkstaven betonnen schuif

De vakwerkstaven zijn in de uiterste grenstoestand gecontroleerd op sterkte in hoofdstuk 7.4.2.2. Hier worden 3 belastingsgevallen gecontroleerd. De situaties waarbij de waterstand aan de Oosterscheldezijde hoger is dan aan de Noordzeezijde en het geval waarbij de waterstand aan beide zijden even hoog is (b.g. 3 en b.g. 2) zijn niet relevant voor de vermoeiingsberekening. Het belastingsgeval dat optreedt tijdens een stormsluiting (b.g. 1) is dit wel.

De hierbij optredende spanningen zijn deels statisch (e.g. voorspanning) en deels wisselend (golfbelasting) van aard. In Tabel 5 staan de berekende spanningen naar aard uitgesplitst.

Staaf num- mer	Statisch				Golfbelasting						totaal			
	voor- spanning		eigen gewicht		vert. golfklap		exentr. Belasting		horizontale golfbelasting		statisch		statisch + golfbelasting	
	σ_-	σ_+	σ_-	σ_+	$\Delta\sigma_-$	$\Delta\sigma_+$	$\Delta\sigma_-$	$\Delta\sigma_+$	$\Delta\sigma_-$	$\Delta\sigma_+$	σ_-	σ_+	σ_-	σ_+
1	-22	-22	-3	3	-33	33	-7	7	-56	-56	-24	-19	-120	-35
2	-23	-23	-3	3	-27	27	-7	7	-60	-60	-26	-20	-119	-46
3	-31	-31	0	0	-9	9	0	0	-77	-77	-31	-30	-118	-97
4	-35	-35	-1	1	-30	30	0	0	23	23	-36	-34	-42	20
5	-78	-78	-1	1	-32	32	0	0	61	61	-79	-77	-50	17
6	-17	-17	-1	1	-32	32	-3	3	-44	-44	-18	-15	-97	-25
7	-25	-25	-1	1	-21	21	0	0	23	23	-26	-25	-24	20
8	-9	-9	-1	1	-18	18	0	0	9	9	-11	-8	-20	19
9	0	0	0	0	-11	11	0	0	0	0	0	0	-11	11

Tabel 5

De gebruikte symbolen betekenen:

σ_- laagste spanning in staaf (meest gedrukte zijde)

σ_+ hoogste spanning in staaf (meest getrokken zijde)

$\Delta\sigma_-$ grootste spanningsafname aan meest gedrukte zijde t.g.v. golftop

$\Delta\sigma_+$ grootste spanningstoename aan meest getrokken zijde t.g.v. golftop

Voor staaf 1 bestaat de statische belasting uit voorspanning en eigen gewicht. De voorspanning is een zuiver normaalkracht, en leidt tot een gelijke spanning aan boven- en onderzijde van de staaf van -22 N/mm². Het eigen gewicht resulteert in een moment in de staaf, en dus een drukspanning aan de bovenzijde en een trekspanning aan de onderzijde van 3 N/mm².

De totale statische spanning varieert dus tussen $-22-3=25$ N/mm² en $-22+3=-19$ N/mm². (De getallen in de tabel zijn voor de duidelijkheid afgerond op gehele getallen. Hierdoor ontstaan hier en daar afrondingsverschillen.) Dit totaal staat aan de rechterzijde van de tabel, onder totaal, statisch.

Tijdens een golfschuur tegen de schuif ontstaan extra spanningen in het vakwerk ten gevolge van:

- Verticale golfklap van 70 kN/m
- Door de horizontale golfaanval tegen de schuif ontstaan normaalkrachten in de staven
- Door initiële doorbuiging t.g.v. eigen gewicht en verticale golfklap op de staaf ontstaat een extra buigend moment in de staven.

De spanning ten gevolge van deze belastingen staan onder Golfbelasting in de tabel.

Tijdens een golfschuur tegen de schuif bedraagt de maximale drukspanning in het midden van de vakwerkstaaf aan de bovenzijde 120 N/mm². Aan de onderzijde is dit 35 N/mm². Tijdens een golfdal zijn de drukspanningen respectievelijk 24 en 19 N/mm².

Deze spanningen gelden in de u.g.t. De belasting per meter vakwerk is in dit geval:
 $95 \text{ kN/m}^2 * 1,25 * 1/3 * 11,90 \text{ m} = 471 \text{ kN/m}$.

In de vermoeiingsberekening van de stalen schuif is het belastingsspectrum terugverteald naar een belasting van 100 kN/m. Om de normaalkrachten in de vakwerkstaven ten gevolge van de verticale golfaanval bij een belasting van 100 kN/m te bepalen, moeten de staafkrachten vermenigvuldigd worden met de factor: $100/471=0,21$.

De omgerekende normaalkrachten staan in Tabel 6.

staaf	Normaalkracht (kN): u.g.t. q=471 kN/m	Normaalkracht (kN): vermoeiing q=100 kN/m
1	-13062	-2773
2	-18259	-3877
3	-10943	-2323
4	2269	482
5	9180	1949
6	-5508	-1169
7	2594	551
8	1836	390
9	0	0

Tabel 6

Indien aangenomen mag worden dat de verticale golfklap met dezelfde factor gereduceerd mag worden, dan bedraagt deze: $70 * 0,21 = 15 \text{ kN/m}$

Indien de schuif met deze golf wordt belast, dan zijn de spanningen in de vakwerkstaven lager. (zie Tabel 7).

Staaf num- mer	Statisch				Golfbelasting						totaal			
	Voor- spanning		eigen gewicht		vert. golfklap		exentr. Belasting		horizontale golfbelasting		statisch		statisch + golfbelasting	
	σ_-	σ_+	σ_-	σ_+	$\Delta\sigma_-$	$\Delta\sigma_+$	$\Delta\sigma_-$	$\Delta\sigma_+$	$\Delta\sigma_-$	$\Delta\sigma_+$	σ_-	σ_+	σ_-	σ_+
1	-22	-22	-2	2	-6	6	0	0	-12	-12	-24	-19	-41	-25
2	-23	-23	-2	2	-5	5	0	0	-13	-13	-25	-21	-43	-29
3	-31	-31	0	0	-2	2	0	0	-16	-16	-31	-30	-49	-45
4	-35	-35	-1	1	-5	5	0	0	5	5	-36	-34	-36	-24
5	-78	-78	-1	1	-5	5	0	0	13	13	-79	-77	-72	-58
6	-17	-17	-1	1	-5	5	0	0	-9	-9	-18	-16	-33	-19
7	-25	-25	-1	1	-4	4	0	0	5	5	-26	-25	-25	-16
8	-9	-9	-1	1	-3	3	0	0	2	2	-11	-8	-12	-3
9	0	0	0	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	-2	2

Tabel 7

8.4.4 Vermoeiingseigenschappen B200

Het is moeilijk om een goede uitspraak over de vermoeiing van B200 te doen, omdat er in de literatuur geen concrete vermoeiingseigenschappen van het materiaal te vinden zijn. Er wordt alleen vermeld dat het goed bestand is tegen een vermoeiingsbelasting. Bovendien wordt staalvezelbeton in het algemeen en met BRP vergelijkbare materialen in het bijzonder juist toegepast bij constructies waarbij de vermoeiing een grote rol speelt.

Staalvezels verbeteren de vermoeiingssterkte van beton aanzienlijk. Hoe hoger het vezelpercentage, hoe hoger de vermoeiingssterkte. Dit is verklaarbaar door de grotere breukenergie. Als het beton gescheurd is, kan de scheur nog steeds krachten overbrengen door de staalvezels. De vermoeiingssterkte (bij buiging) van staalvezelbeton met een vezelpercentage van 2 à 3 % bij $2 * 10^6$ lastwisselingen, waarbij de spanningen ten gevolge van de wisselbelasting niet van teken wisselen, gelijk is aan 90% van de statische eerste-scheursterkte. Bij 10^7 lastwisselingen daalt de vermoeiingssterkte tot 50% van de statische eerste-scheursterkte. Als de spanningen wel van teken wisselen is de vermoeiingssterkte 74% van de statische eerste-scheursterkte bij $2 * 10^6$ lastwisselingen. In BRP wordt een vezelpercentage van ongeveer 1,9% procent gehanteerd.

Ook de fijne structuur van het materiaal (kleine korreldiameter, veel cementpasta, weinig microscheuren of ander zwakke plekken) zorg ervoor dat er geen spanningspieken ontstaan en de spanning gelijkmatig wordt verdeeld over de doorsnede. Hoe meer cement, hoe beter het gedrag bij vermoeiing. De normen voor beton voor wat betreft de vermoeiing bij trek zijn slecht toepasbaar. Deze zijn namelijk gebaseerd op normaal beton dat geen plastisch gedrag vertoont na de eerste scheurvorming. De toetsing van de treksterkte van BRP bij vermoeiing is volgens het afstudeerverslag van G. van Blokland beter te vergelijken met de toetsing van betonstaal. Het vermoeiingsgedrag bij druk zou beter vergelijkbaar met normaal beton zijn.

De vermoeiing bij betonstaal is afhankelijk van het aantal lastherhalingen, het optreden spanningsinterval en het toegestane spanningsinterval

8.4.5 Controle vermoeiing vakwerkstaven

Ondanks dat nog niet alles bekend is van B200 op vermoeiing is er met enige aannames wel een schatting te maken of er problemen te verwachten zijn.

Voor de vermoeiingsberekening van de staalconstructie zijn alle golfbelastingen teruggebracht naar 1,28 miljoen wisselingen van 100 kN/m. Dit was mogelijk omdat voor staal de waarde van m bekend is ($m=4,28$). Voor B200 is de helling van de vermoeiingslijn niet bekend, maar indien aangenomen wordt dat m ergens tussen de 3 en 5 ligt, dan blijkt uit Tabel 8 dat het aantal wisselingen onder de 2 miljoen in 200 jaar blijft.

Golfbelasting in kN/m	Kans van voorkomen	aantal belasting en per 200 jaar	$m=4,38$	$m=3$	$m=4$	$m=5$
20	$6,03 \times 10^{-2}$	41132	36	329	66	13
40	$1,62 \times 10^{-1}$	110165	1991	7051	2820	1128
60	$2,15 \times 10^{-1}$	146403	15627	31623	18974	11384
80	$2,14 \times 10^{-1}$	146093	54975	74800	59840	47872
100	$1,76 \times 10^{-1}$	119856	119856	119856	119856	119856
120	$1,23 \times 10^{-1}$	83877	186405	144939	173927	208713
140	$7,52 \times 10^{-2}$	51113	223138	140254	196356	274898
160	$4,06 \times 10^{-2}$	27534	215732	112779	180447	288715
180	$1,96 \times 10^{-2}$	13296	174508	77542	139576	251237
200	$8,65 \times 10^{-3}$	5846	121723	46768	93536	187072
220	$3,54 \times 10^{-3}$	2383	75325	25374	55823	122811
240	$1,37 \times 10^{-3}$	919	42525	12704	30490	73177
260	$5,14 \times 10^{-4}$	343	22536	6029	15674	40753
280	$1,89 \times 10^{-4}$	126	11453	2766	7745	21685
300	$6,90 \times 10^{-5}$	46	5657	1242	3726	11178
320	$2,50 \times 10^{-5}$	16	2610	524	1678	5369
340	$8,73 \times 10^{-6}$	6	1277	236	802	2726
360	$3,13 \times 10^{-6}$	2	547	93	336	1209
380	$1,09 \times 10^{-6}$	1	347	55	209	792
		749157	1276259	804965	1101880	1670588

Tabel 8

Controle druk-druk belasting

De staven 1,2,3 en 6 zijn zowel bij de belasting van 471 kN/m als bij 100 kN/m belast door een druk-druk belasting.

Voor normaal beton geldt voor de maximaal toelaatbare normaaldrukspanning in de grenstoestand bij vermoeiing:

$$f'_{b,u,v} = (1 - 0,1 \cdot \beta \cdot \sqrt{1-R} \cdot \log n) \cdot f'_{bv} \geq 0,25 \cdot f'_{bv}$$

Met:

$$\beta = 1,0 \text{ (drukzone)}$$

$$R = \frac{\sigma'_{b,d,min}}{\sigma'_{b,d,max}}$$

$$f'_{bv} = f'_{b,rep,v} / \gamma_m = 89,1 \text{ MPa}$$

Controle bij 2 miljoen wisselingen:

Staaf	$f'_{b,u,v}$	σ_{max}
1	-53	-41 N/mm ²
2	-53	-43 N/mm ²
3	-55	-49 N/mm ²
6	-51	-33 N/mm ²

Tabel 9

Bij alle staven geldt: $f'_{b,u,v} > \sigma_{max}$, dus zouden deze staven moeten voldoen.

Druk/trek belasting

De overige staven zijn bij de zwaardere golfaanvallen belast door trek/druk belasting, en bij de meer voorkomende lichte golfaanvallen door een druk/druk belasting. Hierdoor is het niet zo eenvoudig om voor deze staven een inschatting te maken voor de vermoeiingsschade.

8.4.6 Spanningswisselingen plaat tussen verstijvingsribben

In de uiterste grenstoestand bedraagt zowel de maximale druk als trekspanning 18,3 N/mm²:

$$q = 119 \text{ kN/m}$$

h. o. h. afs tan d tussen ribben: 0,8 m.

dikte plaat: 50 mm.

$$M = \frac{1}{10} q l$$

$$M = \frac{1}{10} \cdot 119 \cdot 0,8^2 = 7,6 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{7,6 \cdot 10^6}{\frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot 50^2} = 18,3 \text{ N/mm}^2$$

Bij de vermoeiingscontrole bedraagt de spanning analoog aan de berekening van de vakwerkstaven: $0,21 \cdot 18,3 = 3,8 \text{ N/mm}^2$ bij hooguit 2 miljoen wisselingen.

8.4.7 Controle vermoeiing plaat

controle (buig)trekspanning

Aangenomen wordt dat het vermoeiingsgedrag van BRP vergelijkbaar is met dat van betonstaal en staalvezelbeton. De vermoeiingssterkte is dan bij $2 \cdot 10^6$ lastwisselingen 90% van de statische eerste-scheur-sterkte.

$$\Delta\sigma_{10^6,\text{rep}} = 0,9 \cdot f_{\text{BRP}}$$

$$\Delta\sigma_{10^6,\text{rep}} = 0,9 \cdot 20 = 18 \text{ N/mm}^2$$

$18 > 3,8 \Rightarrow$ voldoet

controle drukspanningen

$$f'_{b,u,v} = (1 - 0,1 \cdot \beta \cdot \sqrt{1-R} \cdot \log n) \cdot f'_{bv} \geq 0,25 \cdot f'_{bv}$$

Met:

$$\beta = 1,0 \text{ (drukzone)}$$

$$R = \frac{\sigma'_{b,d,\text{min}}}{\sigma'_{b,d,\text{max}}}$$

$$f'_{bv} = f'_{b,\text{rep},v} / \gamma_m = 89,1 \text{ MPa}$$

$$f'_{b,u,v} = (1 - 0,1 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{1 - \frac{0}{3,8}} \cdot \log 2 \cdot 10^6) \cdot 89,1 = 33 \text{ N/mm}^2$$

$33 > 3,2 \Rightarrow$ voldoet.

LITERATUUR

- [8.1] ir. Horthof, R.M.; Stormvloedkering Oosterschelde. Oriënterend onderzoek naar de golfklappen op de plaatliggerschuiven, sectie R15, loodrechte golfaanval en aanstroming. Verslag modelonderzoek (M1504)
- [8.2] Zwaan, R.J.; Trillingen van vliegtuigen, dictaat LR31; TU Delft, 1990
- [8.3] Rijkswaterstaat; CONDITS, Conditiebewaring Oosterscheldekering, Eindrapportage, CONDITS-R-96010; Middelburg, december 1996
- [8.4] Rijkswaterstaat; Concept ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde, boek 4, deelnota 3: Schuiven; d.d.: 6 juli 1998
- [8.5] Blokland, G. van; Verbreding van viaducten in Beton van Reactief Poeder, afstudeerverslag; september 1997

9. Kosten

9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de kostprijsraming gemaakt voor het fabriceren, transporteren, assembleren en inhangen van een B200-schuif voor de Stormvloedkering Oosterschelde. Deze kostprijs wordt vergeleken met de kosten van het blijven verven van de stalen schuif, de kosten van de schuif voorzien van een aluminium-deklaag en een kunststof schuif.

9.2 Kostprijs diverse schuifvarianten

9.2.1 Prijs B200-schuif

De B200-schuif wordt samengesteld uit diverse geprefabriceerde onderdelen. De onderdelen worden nadat ze getransporteerd zijn naar de Oosterschelde geassembleerd tot één geheel. De gehele schuif kan vervolgens door middel van drijvende bokken in de kering gehangen worden.

Kosten Betononderdelen

De B200-schuifconstructie is opgebouwd uit diverse prefab-betononderdelen:

- Waterkerende panelen
- Eindharren
- Knooppunten
- Buizen

Het ligt het meest voor de hand om deze onderdelen in een prefabbafiek te maken. De firma Hurks Beton te Veldhoven bleek bereid te zijn een richtprijs-offerte op te stellen voor het produceren van de onderdelen van de 11.9 m. schuif in B200.

De totaalprijs voor levering onderdelen, af fabriek van de eerste schuif bedraagt fl 2.925.000,-- (excl. BTW). Voor elke volgende schuif van dezelfde hoogte zijn de kosten fl 2.390.000,-- (excl. BTW). (zie ook bijlage E). In totaal zijn er 7 schuiven van 11.9 m. in de Stormvloedkering Oosterschelde. Bij bouw van 7 schuiven bedraagt de gemiddelde kostprijs van de onderdelen per schuif fl 2.466.429,--.

Kosten Voorspanning

De betonconstructie is voorgespannen met externe voorspankabels. Als externe voorspankabels is 36.294 kg voorspanstaal in de schuif verwerkt. De kosten voor de voorspanning in verticale richting van de waterkerende beplating is al meegenomen in de kostprijs van Hurks. Voor de kostprijs van het gebruikte voorspanstaal is uitgegaan van fl 17,50/kg. De kosten voor het leveren en aanbrengen van de voorspanning bedragen $36.294 \cdot fl\ 17,50 = fl\ 635.145,--$.

Transport

Bij het bepalen van de transportkosten is ervan uitgegaan dat de onderdelen vanaf de fabriek over water naar de kering vervoerd worden. Aangenomen is dat zowel het laden als het lossen van de onderdelen op een ponton 4 dagen in beslag neemt. Voor het vol heen varen, en leeg terug is beide 1 dag gereserveerd.

huur ponton	10 dagen	à	fl 400,--	fl 4.000
huur kraan (220 ton)	8 dagen	à	fl 4800,--	fl 38.400
huur 2 sleepboten (2*10 dagen)	20 dagen	à	fl 1400,--	fl 28.000
personeel (8 dagen, 6 man)	48 dagen	à	fl 560,--	fl 26.880 +
totaal				fl 97.280

Assemblage Schuif**Assemblage Achterwand**

extra huur kraan	1 dag	à	fl 4.800,--	fl 4.800
huur vijzels			fl 5.000,--	fl 5.000
6*40 manuur	240 uur	à	fl 80,--	fl 19.200 +
Totaal				fl 29.000 fl 29.000

Assemblage vakwerk

(per ligger)

opzetten buis 4 en 7

kraan (35 ton)	1 dag	à	fl 1.080,--	fl 1.080
3 man, 1 dag	3 mandagen	à	fl 640,--	fl 1.920
<i>Opzetten knooppunten</i>				
kraan (140 ton)	3 dagen	à	fl 3.800,--	fl 11.400
3 man, 2 dagen	6 mandagen	à	fl 640,--	fl 3.840
<i>rest buizen (15 onderdelen)</i>				
kraan (30 ton) 3 uur per buis	15 *3 uur	à	fl 160,--	fl 7.200
8 manuur per onderdeel	8*15 uur	à	fl 80,--	fl 9.600
Hulpmateriaal/materieel				fl 10.000 +
Totaal 1 ligger				fl 45.040
Totaal 3 liggers				fl 135.120

Totaal kosten assemblage fl 164.120,--

Kosten inhangen schuif

Voordat de betonnen schuif in de kering gehangen kan worden, moet eerst de stalen schuif verwijderd worden. Zowel het inhangen van de betonschuif, als het verwijderen van de stalen schuif wordt door een aantal drijvende bokken gedaan.

In het verleden is wel eens een stalen schuif uit de kering verwijderd, en aan wal gebracht. Deze schuif is vervolgens op land geconserveerd. Deze operatie is uitgevoerd om te onderzoeken wat de beste manier was om de stalen schuiven te conserveren.

Voor het uithalen en vervolgens weer inhangen van een stalen schuif bedroegen de kosten fl 1.400.000,-- in 1997. Aangezien de betonnen schuif vergelijkbaar is met de staalconstructie is de verwachting dat de kosten van het verwijderen van een stalen schuif en inhangen van de B200-schuif even kostbaar is.

Plaatsing (1997)	fl 1.400.000,--
inflatie 1997-2000 (2% per jaar)	fl 85.691,--
Totaal	fl 1.485.691,--

Totale kosten

De totale kosten bij serieproductie zijn:

Productiekosten betononderdelen	fl 2.466.429,--
Voorspanning	fl 635.139,--
transport betononderdelen	fl 97.280,--
Assemblage	fl 164.120,--
uithalen schuif+plaatsen Betonschuif	fl 1.485.691,--
Subtotaal	<hr/> fl 4.848.659,--
Bedrijfskosten (5%)	fl 242.433,--
Onvoorzien (5%)	fl 242.433,--
TOTAAL (excl. BTW)	<hr/> fl 5.333.525,--
BTW 17,5 %	fl 933.367,--
Totaal incl. BTW	<hr/> fl 6.266.891,--

De totale kosten bij productie van één schuif:

Productiekosten betononderdelen	fl 2.925.000,--
Voorspanning	fl 635.139,--
transport betononderdelen	fl 97.280,--
Assemblage	fl 164.120,--
uithalen schuif+plaatsen Betonschuif	fl 1.485.691,--
Subtotaal	<hr/> fl 5.307.230,--
Bedrijfskosten (5%)	fl 265.362,--
Onvoorzien (5%)	fl 265.362,--
TOTAAL (excl. BTW)	<hr/> fl 5.837.953,--
BTW 17,5 %	fl 1.021.642,--
Totaal incl BTW	<hr/> fl 6.859.595,--

9.2.2 Kostprijs nieuwe stalen schuif

In 1997 is een raming gemaakt voor de kosten van het maken van een nieuwe stalen schuif. [10.1]

Deze schuiven hadden een gemiddelde oppervlakte van 3270 m², de schuif van 11,9 m. heeft een oppervlakte van 3780 m². Omgerekend zou de kostprijs van een stalen 11,9 m. schuif in het jaar 2000 fl 6.478.884,-- bedragen (inclusief installatie).

Indien de schuif niet van verf, maar een aluminium-deklaag voorzien wordt de nieuwbouwprijs van de schuif hoger. Het aanbrengen van aluminium in plaat van verf is fl 60,-- per m² duurder. Inclusief BTW fl 70,50.

De bouwprijs van een stalen schuif met een aluminium-deklaag bedraagt fl 6.791.647,--.

kosten nieuwbouw stalen schuif	fl 4.311.412,-- (voor een gem. schuif van 3270 m ²)
kosten schuif 11,9 m. inflatie (2% /jr.)	fl 4.983.834,-- (schuif 3780 m ²) fl 305.051,-- inflatie 97-2000
Subtotaal	fl 5.288.884,--
bedrijfskosten (5%)	fl 264.444,--
Totaal (excl BTW)	fl 5.553.325,--
BTW (17,5 %)	fl 971.832,--
Totaal (incl. BTW)	fl 6.525.157,--
meerprijs aluminium	fl 266.490,--
Totaal (incl BTW, aluminiumdeklaag)	fl 6.791.647,--

9.2.3 Kostprijs kunststof schuif

In afstudeerverslag van Stefan van der Laken wordt een ontwerp gepresenteerd van een schuif voor de Stormvloedkering Oosterschelde in kunststof. De kostprijs van deze schuiven wordt geraamd op fl 5.590.000,-- bij serieproductie en fl 6.750.000,-- bij productie van 1 schuif. [9.2] De installatiekosten zullen naar verwachting niet veel verschillen van de betonnen schuiven.

De totale kosten bij productie van één schuif:

Productiekosten kuststofschuif	fl 6.750.000,--
uithalen schuif+plaatsen Betonschuif	fl 1.485.691,--
Totaal (excl. BTW)	fl 8.235.691,--
BTW 17,5 %	fl 1.441.246,--
Totaal incl. BTW	fl 9.676.937,--

De totale kosten bij productie van meerdere schuiven:

Productiekosten kuststofschuif	fl 5.590.000,--
uithalen schuif+plaatsen Betonschuif	fl 1.485.691,--
Totaal (excl. BTW)	fl 7.075.691,--
BTW 17,5 %	fl 1.238.246,--
Totaal incl. BTW	fl 8.313.937,--

9.2.4 Verfkosten stalen schuif

De kosten voor het vervangen van het huidige verfsysteem worden gebaseerd op de aanneemsom van fl 21.500.000,-- (excl. BTW) in 1995 voor het vervangen van het systeem bij 8 schuiven. Deze acht schuiven hebben een oppervlakte van gemiddeld 3097 m². [9.1]

Tijdens de conservering van de schuiven worden gelijk vermoeiingsscheuren in de schuiven gerepareerd.

kosten 1995, 8 schuiven:	fl 21.500.000
per schuif:	fl 2.687.500 (3445 m ²)
per m ²	fl 868
 schuif 11,9m: 3780 m ²	
kosten:	fl 3.280.191
inflatie: 2%/jaar	fl 341.405 (vanaf 1995)
Subtotaal Verven	fl 3.621.595
 uitslijpen+lassen	fl 25.000 (1995)
vermoeiingsscheuren	
inflatie	fl 2.602
subtotaal reparatie	fl 27.602
 Subtotaal	fl 3.649.197
 bedrijfskosten (5%)	fl 182.460
 TOTAAL (excl BTW)	fl 3.831.657
 BTW (17,5 %)	fl 670.540
 TOTAAL	fl 4.502.197

9.2.5 Kosten stalen schuif voorzien van aluminium-deklaag

De stalen schuiven worden tot nog toe voorzien van een beschermende verflaag. Het is ook mogelijk de schuiven te conserveren met een aluminium-deklaag. De aludeklaag wordt aangebracht door het opspuiten van gesmolten aluminiumdeeltjes op een gestraald staaloppervlak. Het smelten van het aluminium wordt gerealiseerd met een autogeen gasvlam of een elektrische vlamboog.

Door de poreuze opbouw van de aluminiumdeeltjes sluit de aludeklaag niet volledig af. Het stalen substraat komt dan ook in contact met het corrosieve milieu, maar wordt kathodisch beschermd doordat aluminium onedel is ten opzichte van het staal. Doordat de poriën verstopt raken met aluminiumoxiden, offreert het aluminium zich hierbij slechts in het beginstadium op. Ook bij scheuren in de aludeklaag vindt deze afsluiting plaats. Spleetcorrosie wordt hierdoor tot staan gebracht evenals corrosie in putten onder het staaloppervlak. Ook onbedekt staal ter plaatse van defecten zoals krasen wordt kathodisch beschermd. Doordat defecten bedekt worden door een kalklaagje, offreert de aludeklaag zich ook slechts aanvankelijk op.

De beschermduur van aludeklaag is (afhankelijk van de toegepaste laagdikte) 50 jaar of langer. Een verfcoating heeft een levensduur van ongeveer 15 jaar. Het aanbrengen van een beschermende laag aluminium is fl 60,- per m² duurder dan het aanbrengen van verf.

TOTAAL (excl BTW)	fl 3.831.657
schuif verven	
meerkosten aluminium	fl 226.800,-
TOTAAL (EXCL. BTW)	fl 4.058.457,-
BTW (17,5 %)	fl 710.230,-
TOTAAL	fl 4.768.687,-

Ook als de schuiven voorzien zijn van een aluminium-deklaag moeten de stalen schuiven regelmatig gecontroleerd worden op vermoeiingsscheuren. Deze scheurtjes moeten vervolgens gerepareerd worden. Er is vanuit gegaan dat deze inspecties om de 15 jaar gehouden moeten worden. De kosten hiervoor zijn hoger dan in het geval dat de schuif toch al in de steigers staat om geverfd te worden.

uitslijpen+lassen vermoeiingsscheuren (prijspeil 1997)	fl 250.000
inflatie	fl 15.302
subtotaal	fl 265.302
BTW (17,5 %)	fl 46.428
Totaal	fl 311.730

9.3 Varianten vergelijking

9.3.1 Inleiding

In de volgende paragrafen worden verschillende schuifvarianten op integrale kostprijs met elkaar vergeleken:

- De B200-schuif.
- De kunststof-schuif.
- De stalen schuif met verf.
- De stalen schuif met aluminium-deklaag.

Vergeleken worden de situaties in het geval waar er al stalen schuiven in de kering aanwezig zijn (huidige situatie), en de situatie bij complete nieuwbouw van een schuif. Ook wordt bekeken wat de gevolgen voor de kostprijs zijn bij productie van één schuif of het maken van de alle 7 schuiven met een hoogte van 11,9 m.

Hierbij is van de volgende uitgangspunten uitgegaan:

- De B200-schuif heeft een levensduur van 100 jaar.
- De kunststof schuif heeft een levensduur van 50 jaar.
- De stalen schuif heeft een levensduur van 100 jaar bij regelmatig repareren vermoeiingsscheuren.
- Vermoeiingsscheuren bij de stalen schuif worden om de 15 jaar gerepareerd.
- De verfcoating wordt om de 15 jaar vervangen.
- De aluminium-deklaag wordt om de 50 jaar vervangen.
- Bij gebruik van aluminium-deklaag worden de vermoeiingsscheuren om de 15 jaar gerepareerd.
- Netto rente van 4% (rentepercentage verminderd met het inflatiepercentage)

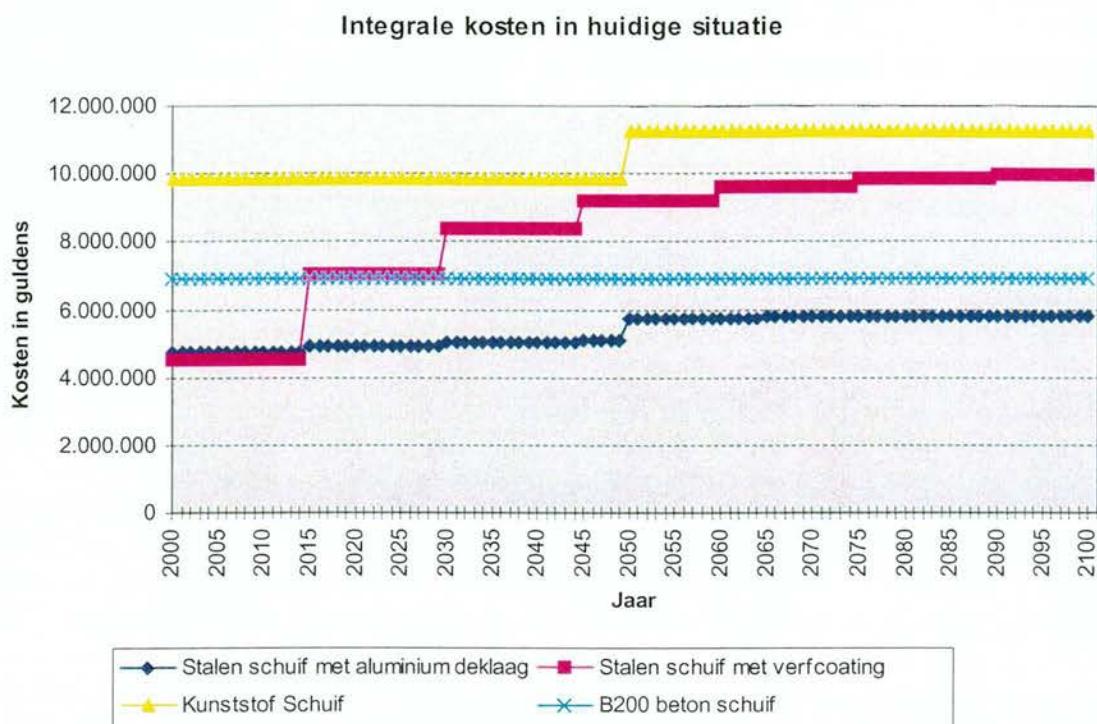
In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de kosten die gebruikt worden in de integrale kostenvergelijkingen van de volgende paragrafen.

Bouwkosten				
	staal, geverfd	staal, Al. deklaag	Kunststof	B200
Nieuwbouwkosten (1 schuif)	fl 6.478.884,--	fl 6.791.647,--	fl 9.676.937,--	fl 6.859.595,--
Nieuwbouwkosten (meerdere schuiven prijs per stuk)	fl 6.478.884,--	fl 6.791.647,--	fl 8.313.937,--	fl 6.266891,--
Levensduur	> 100 jaar	> 100 jaar	50 jaar	>100 jaar

Onderhoudskosten				
Verven/Al. Deklaag	fl 4.502.197,--	fl 4.768.687,--	n.v.t.	n.v.t.
Onderhoudsinterval	15 jaar	50 jaar	n.v.t.	n.v.t.
Uitslijpen, dichtlassen vermoeiingsscheuren	(in verfkosten opgenomen)	fl 311.730,-- (om de 15 jaar)	n.v.t.	n.v.t.

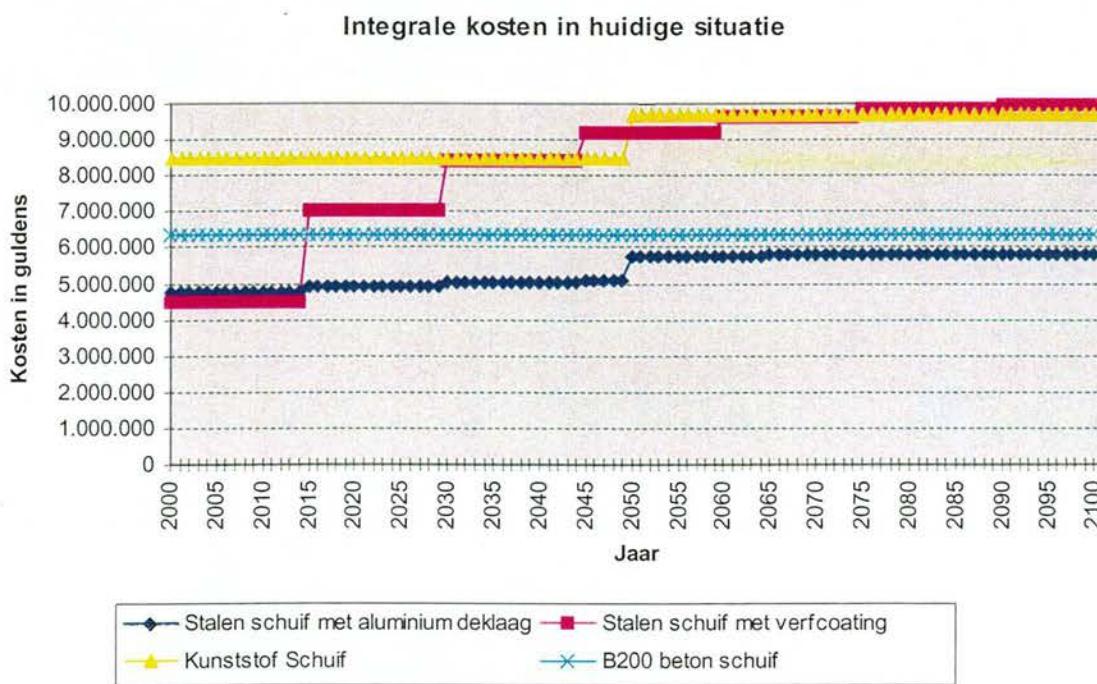
Tabel 1; Overzicht kostencomponenten schuifvarianten

9.3.2 Integrale kostenvergelijking in huidige situatie (één schuif)



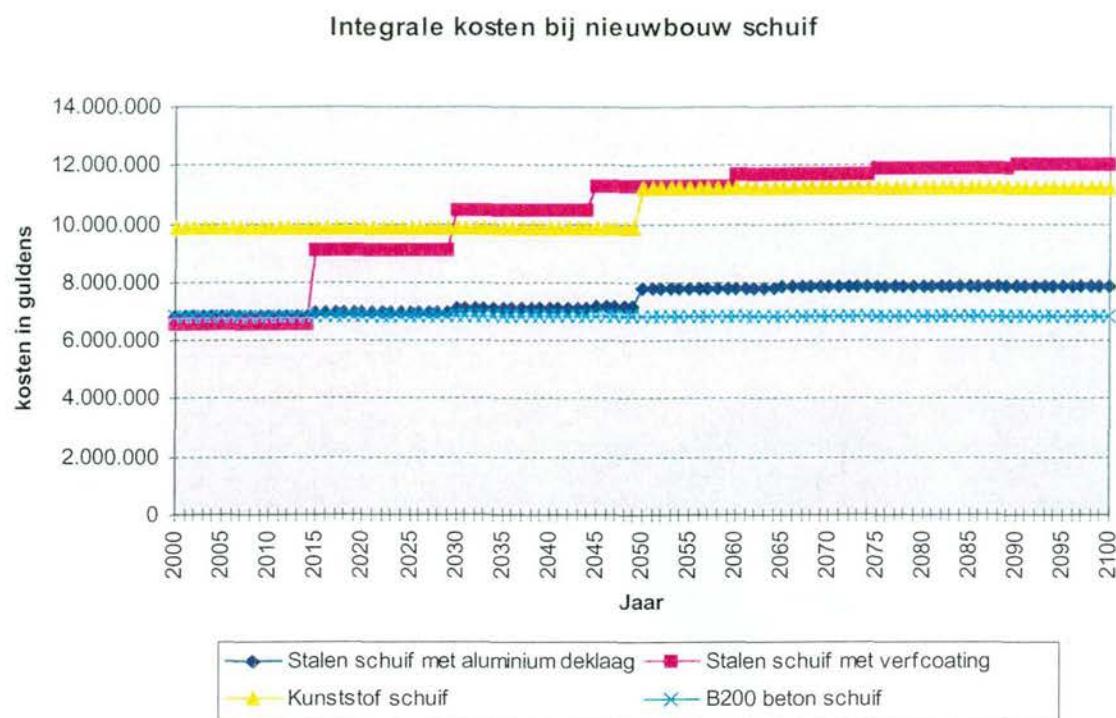
Figuur 1

9.3.3 Integrale kostenvergelijking in huidige situatie (meerdere schuiven)



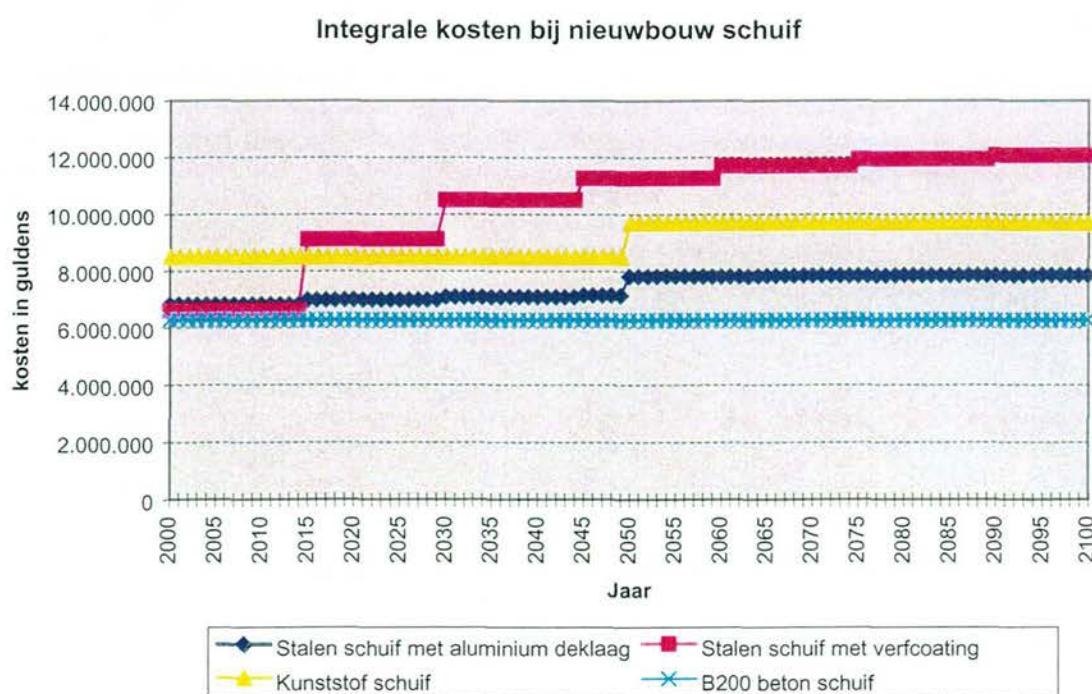
Figuur 2

9.3.4 Integrale kostenvergelijking bij nieuwbouw (één schuif)



Figuur 3

9.3.5 Integrale kostenvergelijking bij nieuwbouw (meerdere schuiven)

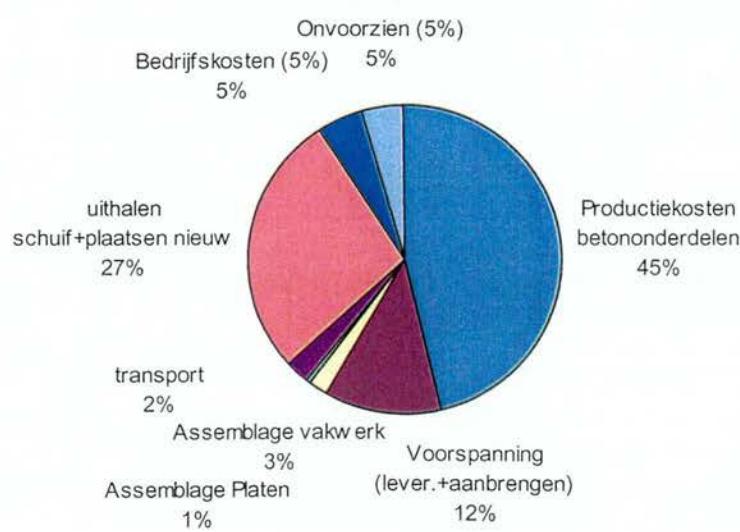


Figuur 4

9.4 Conclusies

Bij zowel serieproductie als bij het maken van één schuif is de goedkoopste oplossing in de huidige situatie het aanbrengen van een aluminium-deklaag op de stalen schuiven. Het vervangen van een stalen schuif door een betonnen B200 schuifconstructie is niet rendabel.

Bij nieuwbouw is bij zowel productie van één als bij zeven schuiven de B200 schuif het goedkoopste alternatief. De stalen schuif met verfcoating geconserveerd is ongeveer twee maal zo duur.



Figuur 5; Kostenopbouw bij serieproductie B200-schuiven

dat het inhangen van de schuif ruim een kwart van de totale kosten van deze variant vormt.

Het plaatsen door middel van drijvende bokken brengt ook onzekerheden met zich mee, die moeilijk in de kostprijs zijn mee te nemen. Er kan namelijk alleen gewerkt worden bij doodtij (eenmaal per twee weken), en zeer gunstige weersomstandigheden. De stroming rond de kering is nu groter dan tijdens plaatsing van de schuiven tijdens de bouw van de Oosterscheldekering omdat de onderbalken toen nog niet in de pijlers geplaatst waren.

De grootste kostenposten bij de B200-variant zijn de productie van de prefabonderdelen, het uithalen van de stalen schuif en het inhangen van de B200-schuif.

Op beide posten valt wellicht nog wat te bezuinigen. Door een uitgekiender ontwerp kan het maken van de betononderdelen vereenvoudigd worden. Bij een grotere maakbaarheid dalen in het algemeen de productiekosten. Ook het materiaal B200 is een relatief duur materiaal. In de toekomst zal dit materiaal wellicht nog goedkoper kunnen worden.

Het is verstandig om onderzoek te doen naar een alternatieve manier van plaatsen van de schuiven. Het plaatsen door middel van drijvende bokken heeft tot gevolg

LITERATUUR:

- [9.1] Hekeren, ing. A. van; Beleidsanalyse onderhoud 21 schuiven Oosterscheldekering, 3037NI97022; 24 november 1997
- [9.2] Laken, S.L. van der; Ontwerp van schuiven van de Oosterscheldekering in vezelversterkte kunststoffen; afstudeerrapport TU Delft, Faculteit Ontwerp, Constructie en Productie, Subfaculteit Industrieel Ontwerpen; Oktober 1999

10. Conclusies en Aanbevelingen

10.1 Conclusies

Een B200-schuif voor de Stormvloedkering Oosterschelde is constructief haalbaar. Het huidige bewegingswerk kan het eigen gewicht van de B200-schuif aan.

Bij nieuwbouw van een schuif kan een B200-schuif financieel concurreren met schuiven van andere constructiematerialen. In de huidige situatie is conservering van de stalen schuif met een aluminium-deklaag het goedkoopst, direct gevolgd door het vervangen van de schuif door een B200-schuif.

10.2 Aanbevelingen

1. Naar B200 moet nog meer onderzoek verricht worden. Met name de krimp-, kruip-, en vermoeiingseigenschappen zijn nog niet goed in kaart gebracht.
2. Het ontwerp van de B200-schuif is gebaseerd op het programma van eisen voor de stalen schuiven. Inmiddels is de beheersstrategie van de Stormvloedkering Oosterschelde gewijzigd. Alvorens het ontwerp van een betonnen schuif verder uit te werken is het van belang om de in de berekening aan te houden waterbelastingen af te stemmen op de huidige beheersstrategie van de Stormvloedkering Oosterschelde.
3. De B200-schuif kan bewogen worden door het huidige bewegingswerk. Het maximaal haalbare eigen gewicht van de schuif is nog niet bekend. Dit maximum is niet alleen afhankelijk van de cilindercapaciteit, maar ook van de cardan balk en de betonnen hamerstukken op de pijlers. Als na onderzoek blijkt dat het bewegingswerk zwaarder belast kan worden, zou een schuif van laagwaardiger beton wellicht ook voldoen.
4. Het ontwerp van de B200-schuif moet nog verder uitgewerkt worden. Met name de aansluitingen van de betonnen buizen op de knooppunten zouden door middel van een FEM-analyse doorgerekend moeten worden.
5. Het aanbrengen van een aluminium-deklaag op staalconstructies lijkt een goedkope conserveringsmethode te zijn. Bij toekomstig groot-onderhoud aan staalconstructies is het verstandig de mogelijkheid van het aanbrengen van een aluminium-deklaag in plaats van een verfcoating in overweging te nemen.
6. Het inhangen van de B200-schuif door middel van drijvende bokken vormt een aanzienlijk deel van de totale kosten van het vervangen van een stalen schuif door een betonconstructie. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar alternatieve plaatsingsmethoden. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het in gedeeltes aanvoeren van de constructie, om deze ter plekke op te bouwen.
7. Voor de schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde zijn inmiddels een aantal ontwerpvarianten uitgewerkt:
 - Betonnen kokerschuif
 - Kunststof kokerschuif
 - Stalen vakwerkschuif
 - B200-vakwerkschuif

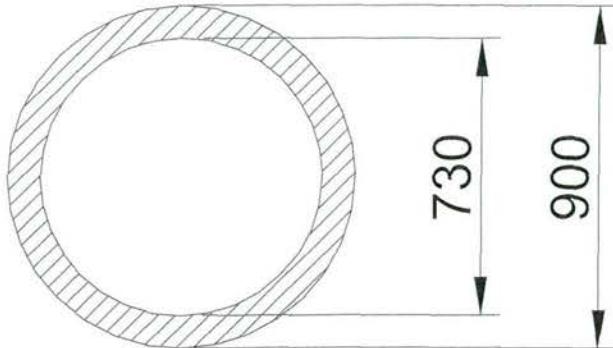
Aangezien de vakwerkschuiven tot nog toe beter aan de functionele eisen blijken te voldoen dan de kokerschuiven ligt het voor de hand om ook een ontwerp als vakwerkschuif in kunststof te maken.

8. Zeer hogesterktebeton B200 blijkt te kunnen concurreren met staal bij bewegende civiele constructies. Aanbevolen wordt bij het ontwerp van een nieuw waterbouwkundig kunstwerk waarbij tot op heden voor staal werd gekozen, ook een betonnen variant als serieus alternatief in het ontwerp mee te nemen.
9. Zwaardere schuifvarianten zijn mogelijk bij een lagere wrijving tussen de schuif en de pijlersponning. Dit is haalbaar met toepassing van hydrogeleiding ($f = 0,001 - 0,01$).

Bijlage A Berekeningswijze vakwerkstaven

In deze bijlage zal toegelicht worden hoe de vakwerkstaven met behulp van een spreadsheet berekend zijn.
Deze handberekening wordt uitgevoerd voor vakwerkstaaf 1 van het vakwerk uit hoofdstuk 7.4.2.2

Gegevens vakwerkstaaf



$$D_1 = 900 \text{ mm.}$$

$$D_2 = 730 \text{ mm.}$$

Lengte: 11 m.

$$A_b = \frac{1}{4} \pi (D_1^2 - D_2^2) = 0,22 \text{ m}^2$$

$$I_b = \frac{1}{64} \pi (D_1^4 - D_2^4) = 1,83 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

Belastingen op staaf:

$$N = -13062 \text{ kN} \text{ (hoogwater Noordzee)}$$

$$N = 4687 \text{ kN} \text{ (hoogwater Oosterschelde)}$$

$$\text{Voorspanning} = 4690 \text{ kN}$$

$$\text{Verticale golfklapbelasting} = 70 \text{ kN / m}$$

Figuur 1; buisdoorsnede

Belastinggeval 1

Bij belastinggeval 1 wordt uitgegaan van de volgende belastingen op de vakwerkstaaf:

- I. Voorspanbelasting: -4690 kN
- II. Normaalkracht in staaf ten gevolge van hoogwater aan Noordzeezijde: -13062 kN
- III. Eigen gewicht: $0,22 \cdot 26,4 = 5,8 \text{ kN/m}$
- IV. Buiging ten gevolge van excentriciteit
- V. Golfklap van 70 kN/m

De som van de normaalkrachten (I + II) is:

Inwendig evenwicht (beginsituatie):

$$N_b + N_s = 0$$

$$N_b = -N_s = -4690 \text{ kN}$$

Uitwendige druk van 13062 kN

$$N_b = A_b \cdot E_b \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

$$N_s = A_s \cdot E_s \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

$$F = N_b + N_s$$

$$N_b = \frac{1}{1 + n_e \cdot \omega_s} \cdot F = \alpha_b F$$

$$N_s = \frac{n_e \cdot \omega_s}{1 + n_e \cdot \omega_s} \cdot F = \alpha_s F$$

$$\left[n_e = \frac{E_s}{E_b}; \omega_s = \frac{A_s}{A_b} \right]$$

voorspanning: 4690 kN

$$0,8 f_{pi} = 1080 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 4690 \cdot 10^3 / 1080$$

$$A_s = 4350 \text{ mm}^2$$

$$n_e = \frac{210000}{53000} = 4,0$$

$$\omega_s = \frac{4350 \cdot 10^{-6}}{.22} = 0,0198$$

$$N_b = \frac{1}{1 + 4,0 \cdot 0,0198} \cdot -13062 = -12103 \text{ kN}$$

$$N_s = \frac{4,0 \cdot 0,0198}{1 + 4,0 \cdot 0,0198} \cdot -13062 = -959 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{voorspanning} & + & F \\ N_b & = & -4690 & + & -12103 & = & -16792 \text{ kN} \\ N_s & = & +4690 & + & -959 & = & +3731 \text{ kN} \end{array}$$

Belasting III+V:

$$q_{tot,rep} = 70 + 5,8 = 75,8 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 1,25 \cdot 75,8 = 94,8 \text{ kN/m}$$

$$M = \frac{1}{8} q l^2$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot 94,8 \cdot 11^2 = 1434 \text{ kNm}$$

doorbuiging t. g. v. q:

$$u = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{EI}$$

$$u = \frac{5}{384} \frac{94,8 \cdot 11000^4}{53000 \cdot 1,83 \cdot 10^{10}} = 18,6 \text{ mm.}$$

2^e orde doorbuiging:

$$F_k = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \text{ (euler)}$$

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot 53000 \cdot 1,83 \cdot 10^{10}}{11000^2} = 79000 \text{ kN}$$

$$n = \frac{F_k}{N} = \frac{79000}{13062} = 6,0$$

$$u_e = \frac{n}{n-1} \cdot u_0$$

$$u_e = \frac{6}{6-1} \cdot 18,6 = 22,3 \text{ mm.}$$

M ten gevolge van N en doorbuiging:

$$M = F \cdot u_e$$

$$M = 13062 \cdot 22,3 \cdot 10^{-6} = 292 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{totaal}} = M_{e,g.+golf} + M_{N+ex.}$$

$$M_{\text{totaal}} = 1434 + 292 = 1726 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{totaal}} = 16792 \text{ kN}$$

$$\sigma_b = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bb} &= \frac{-16792 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} - \frac{1726 \cdot 10^6 \cdot 450}{1,83 \cdot 10^{10}} = -119 \text{ N/mm}^2 < f'_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-16792 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} + \frac{1726 \cdot 10^6 \cdot 450}{1,83 \cdot 10^{10}} = -34 \text{ N/mm}^2 > f_{br} \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

$$f'_b = -133 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{br} = 20 \text{ N/mm}^2$$

De factor n=6 is vrij klein. De kleinste waarde van n staat in tabel 18, staaftype 2: n=5,3. De vergrotingsfactor bedraagt in dit geval $5,3/4,3=1,23$.

De waarden zijn berekend met het uitgangspunt dat alle staven vakwerkstaven zijn, en dus aan beide zijden scharnierend verbonden zijn. Uiteraard is dit in werkelijkheid niet helemaal het geval. Indien dezelfde staaf aan de ene zijde scharnierend en aan de andere zijde ingeklemd wordt gedacht, dan is de kniklengte $0,7 \cdot I$. De factor n wordt dan:

$$\begin{aligned} F_k &= \frac{\pi^2 EI}{l^2} \\ F_k &= \frac{\pi^2 \cdot 53000 \cdot 2,23 \cdot 10^{10}}{(0,7 \cdot 11000)^2} = 197000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$n = \frac{197000}{18255} = 10,8$$

Een waarde van $n>10$ wordt algemeen beschouwd als ruim veilig.

Belastinggeval 2

Bij belastinggeval 2 worden de spanningen in de staaf berekend in het geval van gelijke waterstand aan Oosterschelde- en Noordzeezijde van de schuif. In deze situatie is er geen normaalkracht in de staaf, maar wel voorspanning en golfklapbelasting.

De volgende belastingen worden dus meegenomen:

- I. voorspanning: -4690 kN
- II. golfklap: 70 kN/m
- III. e.g.: 5,8 kN/m

belasting II+III:

$$q_{\text{tot,rep}} = 70 + 5,8 = 75,8 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 1,25 \cdot 75,8 = 94,8 \text{ kN/m}$$

$$M = \frac{1}{8} q l^2$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot 94,8 \cdot 11^2 = 1433 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bo} &= \frac{-4690 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} - \frac{1433 \cdot 10^6 \cdot 450}{1,83 \cdot 10^{10}} = -57 \text{ N/mm}^2 < f'_b \\ \sigma_{bb} &= \frac{-4690 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} + \frac{1433 \cdot 10^6 \cdot 450}{1,83 \cdot 10^{10}} = +14 \text{ N/mm}^2 > f_{br} \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Belastinggeval 3

Bij belastinggeval 3 worden de spanningen in de staaf berekend in het geval van hoogwater aan Oosterscheldezijde van de schuif.

- I. voorspanning: F=-4690 kN
- II. normaalkracht in vakwerkstaaf: +4787 kN
- III. e.g. : 5,8 kN/m

De som van de normaalkrachten (I+II) is:

$$N_b = \frac{1}{1 + n_e \cdot \omega_s} \cdot F = \alpha_b F$$

$$N_s = \frac{n_e \cdot \omega_s}{1 + n_e \cdot \omega_s} \cdot F = \alpha_s F$$

$$\left[n_e = \frac{E_s}{E_b}; \omega_s = \frac{A_s}{A_b} \right]$$

$$n_e = \frac{210000}{53000} = 4,0$$

$$\omega_s = \frac{4350 \cdot 10^{-6}}{.22} = 0,0198$$

$$N_b = \frac{1}{1 + 4,0 \cdot 0,0198} \cdot 4687 = +4343 \text{ kN}$$

$$N_s = \frac{4,0 \cdot 0,0198}{1 + 4,0 \cdot 0,0198} \cdot 4687 = +344 \text{ kN}$$

voorspanning	+	F	=	eind
N _b	=	- 4690	+	4343 = - 347 kN
N _s	=	+ 4690	+	344 = 5034 kN

III:

$$M = \frac{1}{8} q l^2$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot 5,8 \cdot 11^2 = 88 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bo} &= \frac{-347 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} + \frac{88 \cdot 10^6 \cdot 450}{1,83 \cdot 10^{10}} = 1 \text{ N/mm}^2 > f_{br} \\ \sigma_{bo} &= \frac{-347 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} - \frac{88 \cdot 10^6 \cdot 450}{1,83 \cdot 10^{10}} = -4 \text{ N/mm}^2 < f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Dwarskrachtcontrole

De maximale q-last bedraagt 94,8 kN/m.

$$D_{max} = \frac{1}{2} q l$$

$$D_{max} = \frac{1}{2} \cdot 94,8 \cdot 11 = 521 \text{ kN}$$

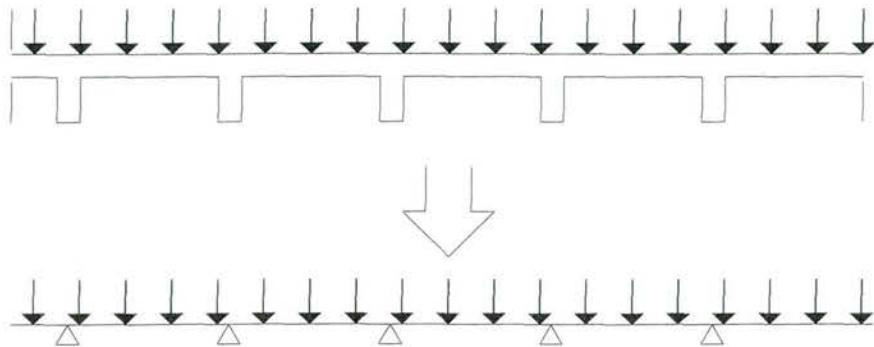
$$\left. \begin{aligned} \tau_d &= \frac{D}{A} \\ \tau_d &= \frac{521 \cdot 10^3}{0,22 \cdot 10^6} = 2,4 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_1 &= 3,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Bijlage B Berekeningswijze plaat

In deze bijlage wordt de handberekening van de plaatvarianten I t/m VI toegelicht. Voor de varianten zoals vermeld in 8.4.3.1 t/m 8.4.3.6 is deze berekeningsmethode aangehouden. Alleen voor plaatvariant V is de berekening hieronder volledig weergegeven.

Waterkerende beplating

De beplating wordt ondersteund door verticale ribben, h.o.h. 800 mm. In horizontale richting is de beplating dus te beschouwen als een in één richting dragende plaat over meerdere steunpunten (zie Figuur 1). De dikte van de plaat bedraagt 50 mm.



Figuur 1

Controle buigspanning

$$q_{rep} = 95 \text{ kN / m}^2$$

$$q_d = 1,25 \cdot 95 = 119 \text{ kN / m}^2$$

$$M = \frac{1}{10} q l^2$$

$$M = \frac{1}{10} \cdot 119 \cdot 0,8^2 = 7,6 \text{ kNm}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W}$$

$$\sigma_b = -\sigma'_b = \frac{7,6 \cdot 10^6}{\frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot 50^2} = 18 \text{ N / mm}^2$$

$$f_b = 20 \text{ N / mm}^2 \text{ (buigtreksterkte)}$$

$$f'_b = -133 \text{ N / mm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_b \leq f_b \\ \sigma'_b \geq f'_b \end{array} \right\} \text{voldoet}$$

controle dwarskracht

$$q_d = 119 \text{ kN/m}$$

$$D_{\max} = \frac{1}{2} q l$$

$$D_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 119 \cdot 0,8 = 48 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{D_{\max}}{A}$$

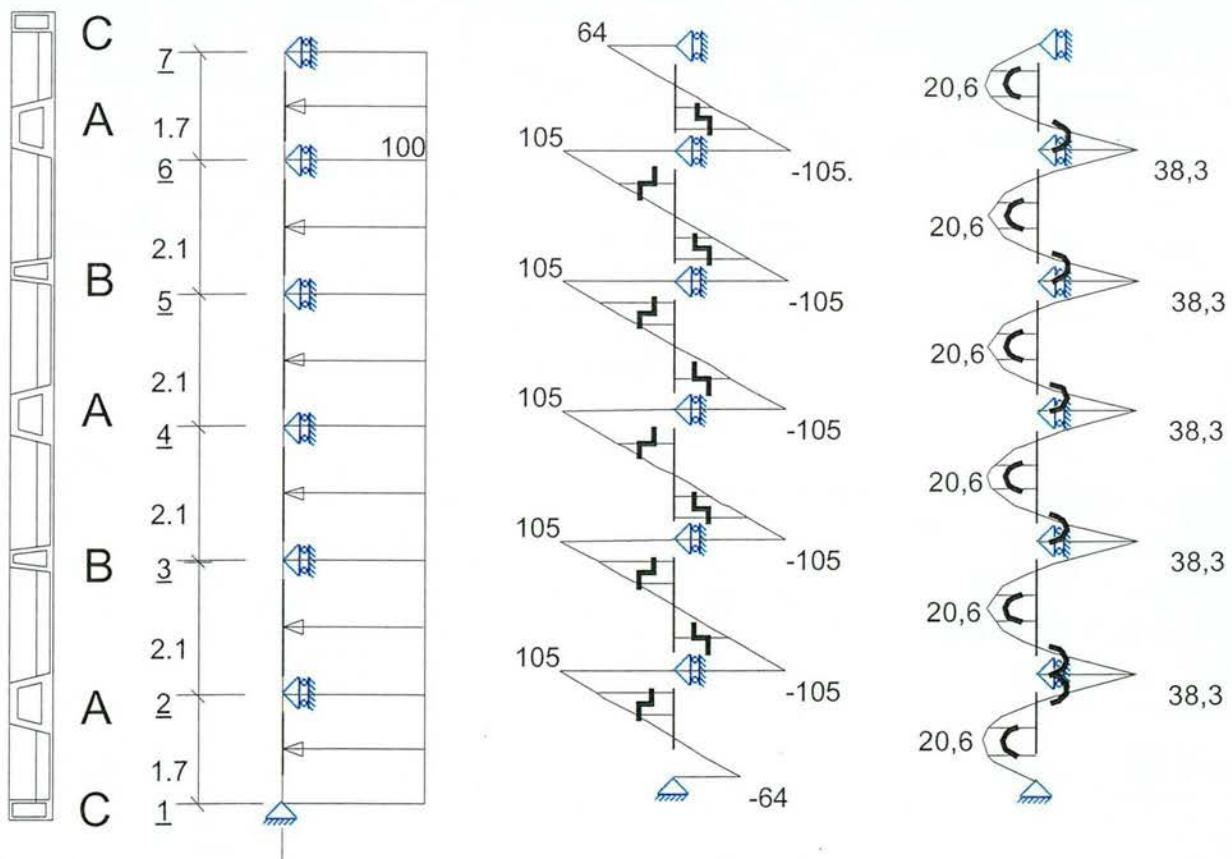
$$\tau_d = \frac{48 \cdot 10^3}{50 \cdot 1000} = 1,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 7,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (niet voorgespannen)}$$

$$\tau_d \leq \tau_1 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Bepalting + Verstijvingsribben

De verstijvingsribben dragen verticaal op de in de beplating geïntegreerde hoofdliggers af. Hierdoor is de ribplaats te schematiseren als een ligger op 7 steunpunten. (zie Figuur 2) Voor de q-last per rib (0,8 m. plaatbreedte) is $q=100 \text{ kN/m}$ aangenomen.



Figuur 2

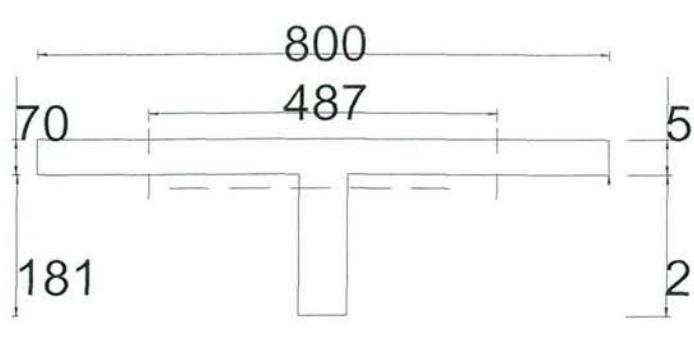
De meewerkende breedte bij een T-ligger bedraagt volgens de TGB 1990:

$$b_e = b_w + b_1 + b_2$$

b_e = ribbreedte

$$b_1 = b_2 = 0,1 \cdot l$$

$$b_e = 0,1 \cdot 2100 \cdot 2 + 67 = 487 \text{ mm.}$$



Gegevens doorsnede profiel

$$z_b = 70 \text{ mm}$$

$$z_o = 181 \text{ mm}$$

$$I = 1,87 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

(Nz = Noorzeezijde,
O = Oosterscheldezijde)

Figuur 3

Momentcontrole in geval hoogwater Noordzee

Boven steunpunt: $M=38,3 \text{ kNm}$

$$\sigma_b = \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{38,3 \cdot 10^6 \cdot 70}{1,87 \cdot 10^8} = 14,3 \text{ N/mm}^2 < f_b \\ \sigma_{bO} &= -\frac{38,3 \cdot 10^6 \cdot 181}{1,87 \cdot 10^8} = -37,0 \text{ N/mm}^2 > f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden: $M=20,6 \text{ kNm}$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= -\frac{20,6 \cdot 10^6 \cdot 70}{1,87 \cdot 10^8} = -7,7 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{20,6 \cdot 10^6 \cdot 181}{1,87 \cdot 10^8} = 20 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole in geval hoogwater Oosterschelde

Bij hoogwater aan de Oosterschelde-zijde van de schuif bedraagt de belasting geen 100 kN/m^2 , maar 34 kN/m^2 .

Boven steunpunt:

$$M = -\frac{34}{100} \cdot 38,3 = -13 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-13 \cdot 10^6 \cdot 70}{1,87 \cdot 10^8} = -4,9 \text{ N/mm}^2 \geq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-13 \cdot 10^6 \cdot 181}{1,87 \cdot 10^8} = 12,6 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$M = -\frac{34}{100} \cdot 20,6 = -7,0 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= -\frac{-7,0 \cdot 10^6 \cdot 70}{1,87 \cdot 10^8} = 2,6 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-7,0 \cdot 10^6 \cdot 181}{1,87 \cdot 10^8} = -6,7 \text{ N/mm}^2 \geq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Controle dwarskracht

De dwarskracht wordt voornamelijk door het lijf opgenomen.

$$D_{max} = \frac{1}{2} ql$$

$$D_{ma} = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 2,1 = 105 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{V}{A}$$

$$\tau_d = \frac{105 \cdot 10^3}{251 \cdot 67} = 6,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 7,5 \text{ N/mm}^2$$

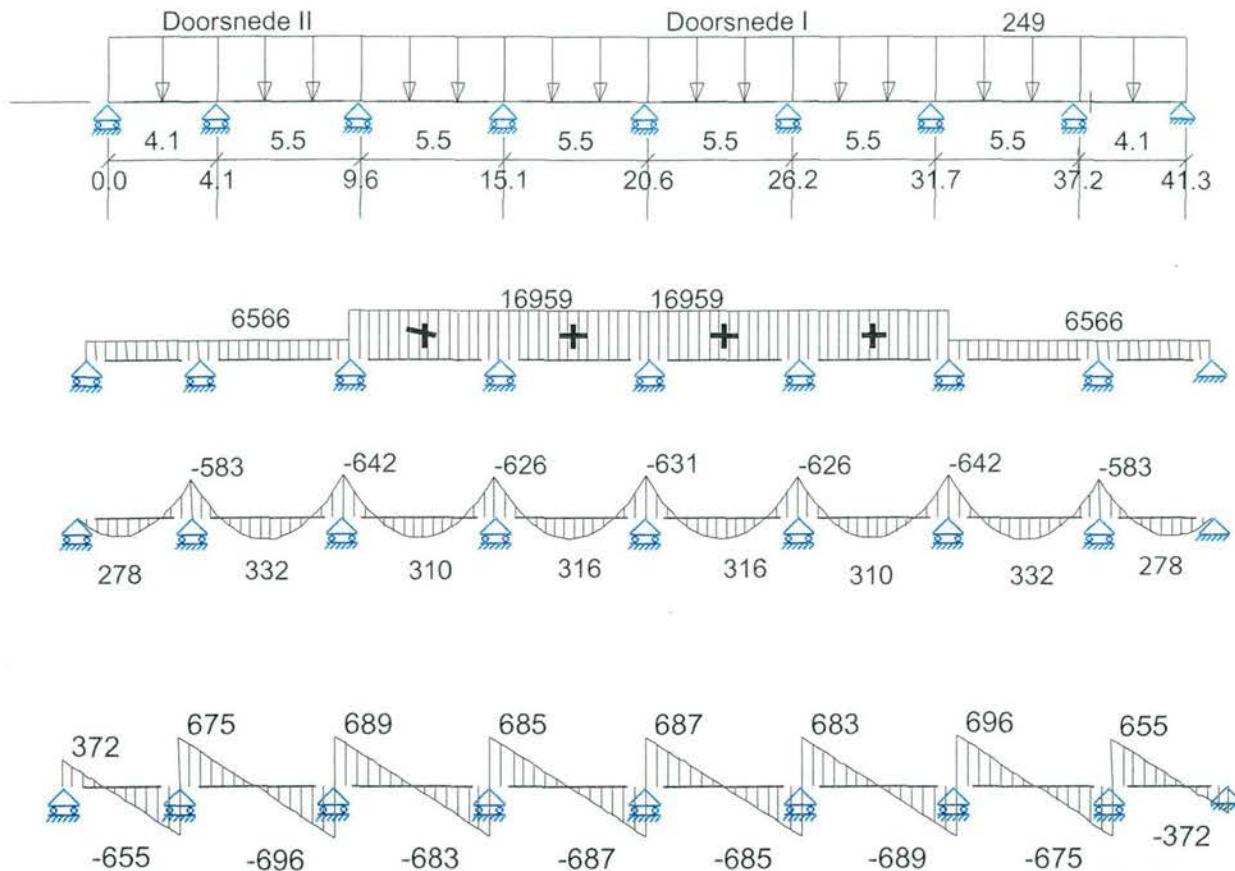
$$\tau_d \leq \tau_1 \longrightarrow \text{voldoet}$$

Koker A

Koker A is een met de beplating geïntegreerde koker. De koker is tevens onderdeel van het vakwerk (zie ook Figuur 2).

De koker is te beschouwen als een ligger op 9 steunpunten. Deze steunpunten worden gevormd door de knooppunten van het vakwerk.

De q-last op de ligger bedraagt: $q = 95 * 1,25 * 2,1 \text{ m.} = 249 \text{ kN/m}$



Figuur 4; Schematisering koker A, Normaalkrachten, Momenten en Dwarskracht

In Figuur 4 staan de Normaalkrachten, Momenten, en Dwarskrachten vermeld, zoals berekend met Matrix Frame.

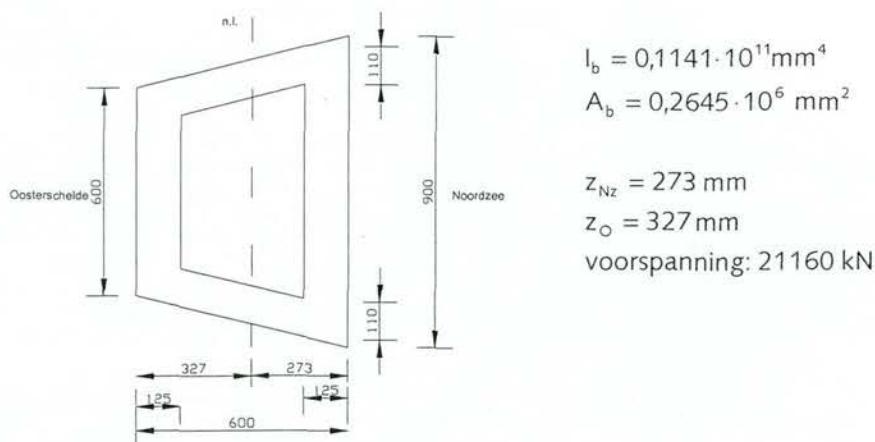
In de onderstaande berekeningen zal voor de momenten en de dwarskracht steeds van de grootste waarde uitgegaan worden:

$$M_{\text{steunpunt}}: 642 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{veld}}: 332 \text{ kNm}$$

$$D_{\max}: 696 \text{ kN}$$

De afmetingen van de te controleren doorsnede staan in Figuur 5.



Figuur 5

Momentcontrole hoogwater Noordzee, doorsnede I

vakwerkkracht $N=+17000 \text{ kN}$

voorspanning: $N= -21160 \text{ kN}$

Normaaldrukkracht in beton: $17000-21160=-4160 \text{ kN}$

Boven steunpunt:

$$N = -4160 \text{ kN}$$

$$M = 642 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4160 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{642 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -0,37 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-4160 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{642 \cdot 10^6 \cdot 327}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -34 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -4160 \text{ kN}$$

$$M = 332 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4160 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -24 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-4160 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 327}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -6,2 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

*Momentcontrole hoogwater Noordzee, doorsnede II*vakwerkkracht: $N=6566 \text{ kN}$ voorspanning: $N=-21160 \text{ kN}$ Normaaldrukkracht in beton: $N=6566-21160=-14594 \text{ kN}$

Boven steunpunt:

$$N = -14594 \text{ kN}$$

$$M = 642 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-14594 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{642 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -40 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-14594 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{642 \cdot 10^6 \cdot 327}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -74 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -14594 \text{ kN}$$

$$M = 332 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-14594 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -63 \geq f'_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-14594 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 372}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -44 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole hoogwater Oosterschelde, doorsnede I

Bij hoogwater aan de Oosterscheldezijde van de schuif zijn de normaalkrachten in de vakwerkstaven volgens tabel 17 bij doorsnede I -6085 kN en bij doorsnede II -2356 kN

De belasting op de schuif is 34 kN/m^2 in tegenstelling tot 95 kN/m^2 bij hoogwater aan Noordzeezijde. De momenten zoals weergeven in de momentenlijn van Figuur 4 moeten dus worden vermenigvuldigd met een factor $-34/95$.Vakwerkkracht: $N=-6085 \text{ kN}$ voorspanning: $N=-21160 \text{ kN}$ Normaaldrukkracht in het beton: $N= -6085-21160=-27245 \text{ kN}$

Boven steunpunt:

$$N = -27245 \text{ kN}$$

$$M = \frac{34}{95} \cdot 642 = 230 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-27245 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{230 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -109 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-27245 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{230 \cdot 10^6 \cdot 327}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -96 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In het veldmidden:

$$N = -27245 \text{ kN}$$

$$M = 332 \cdot \frac{34}{95} = 119 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-27245 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{119 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -100 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-27245 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{119 \cdot 10^6 \cdot 327}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -107 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole hoogwater Oosterschelde, doorsnede II

vakwerkkracht: $N = -2356 \text{ kN}$

voorspanning: $N = -21160 \text{ kN}$

Normaaldrukkracht in beton: $N = -2356 - 21160 = -23516 \text{ kN}$

Boven steunpunt:

$$N = -23516 \text{ kN}$$

$$M = 642 \cdot \frac{34}{95} = 230 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-23516 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{230 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -94 \geq f'_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-23516 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{230 \cdot 10^6 \cdot 327}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -82 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -23516 \text{ kN}$$

$$M = 332 \cdot \frac{34}{95} = 119 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-23516 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} + \frac{119 \cdot 10^6 \cdot 273}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -86 \leq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-23516 \cdot 10^3}{0,2645 \cdot 10^6} - \frac{119 \cdot 10^6 \cdot 372}{0,1141 \cdot 10^{11}} = -92 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Dwarskrachtcontrole

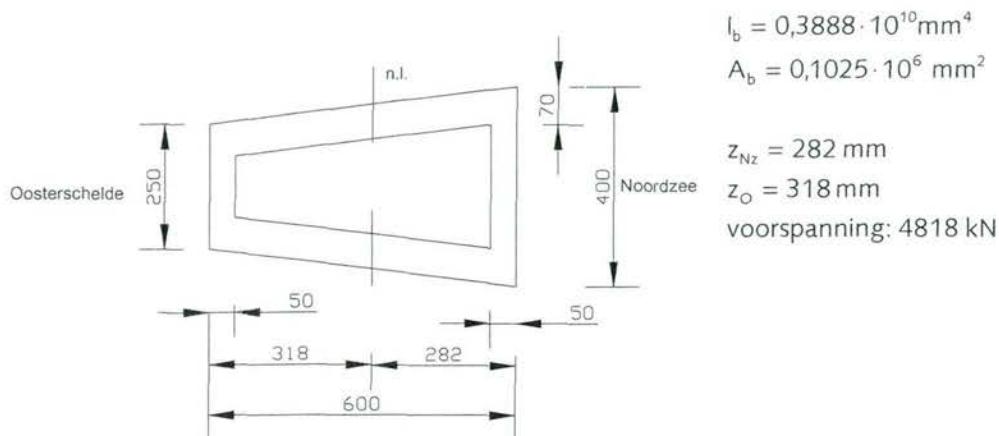
De maximale dwarskracht in de doorsnede is 696 kN. De dwarskracht wordt opgenomen door de (2) lijven van de koker. De breedte van de lijven is 110 mm., en de hoogte 600 mm.

$$\left. \begin{aligned} \tau_d &= \frac{696 \cdot 10^3}{110 \cdot 600 \cdot 2} = 5,3 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_1 &= 11,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Koker B

Koker B ondersteund een gelijk gedeelte van de beplating als koker A. De momentenlijn en dwarskrachtenlijn is dan ook gelijk aan die van A (zie Figuur 4). Omdat koker B geen onderdeel is van het vakwerk, is er alleen normaalkracht ten gevolge van voorspanning aanwezig.

De afmetingen van de te controleren doorsnede staan in Figuur 6.



Figuur 6

Momentcontrole hoogwater Noordzee,
doorsnede I

Boven steunpunt:

$$N = -4818 \text{ kN}$$

$$M = 642 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} + \frac{642 \cdot 10^6 \cdot 318}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -5,5 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} - \frac{642 \cdot 10^6 \cdot 282}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -94 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -4818 \text{ kN}$$

$$M = 332 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} - \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 318}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -74 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} + \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 282}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -23 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In tegenstelling tot koker A hoeft bij koker B doorsnede II niet gecontroleerd te worden. Omdat deze koker geen onderdeel is van het vakwerk, is er geen verloop van de normaalkracht over de lengte van de koker.

Momentcontrole hoogwater Oosterschelde, doorsnede I

Boven steunpunt:

$$N = -4818 \text{ kN}$$

$$M = 230 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} - \frac{230 \cdot 10^6 \cdot 318}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -66 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} + \frac{230 \cdot 10^6 \cdot 282}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -30 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -4818 \text{ kN}$$

$$M = 119 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} + \frac{119 \cdot 10^6 \cdot 318}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -37 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-4818 \cdot 10^3}{0,1025 \cdot 10^6} - \frac{119 \cdot 10^6 \cdot 282}{0,3888 \cdot 10^{10}} = -56 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Controle Dwarskracht

De maximale dwarskracht in de doorsnede is 696 kN. De dwarskracht wordt opgenomen door de (2) lijven van de koker. De breedte van de lijven is 70 mm., en de hoogte 600 mm.

$$\tau_d = \frac{696 \cdot 10^3}{70 \cdot 600 \cdot 2} = 8,3 \text{ N/mm}^2$$

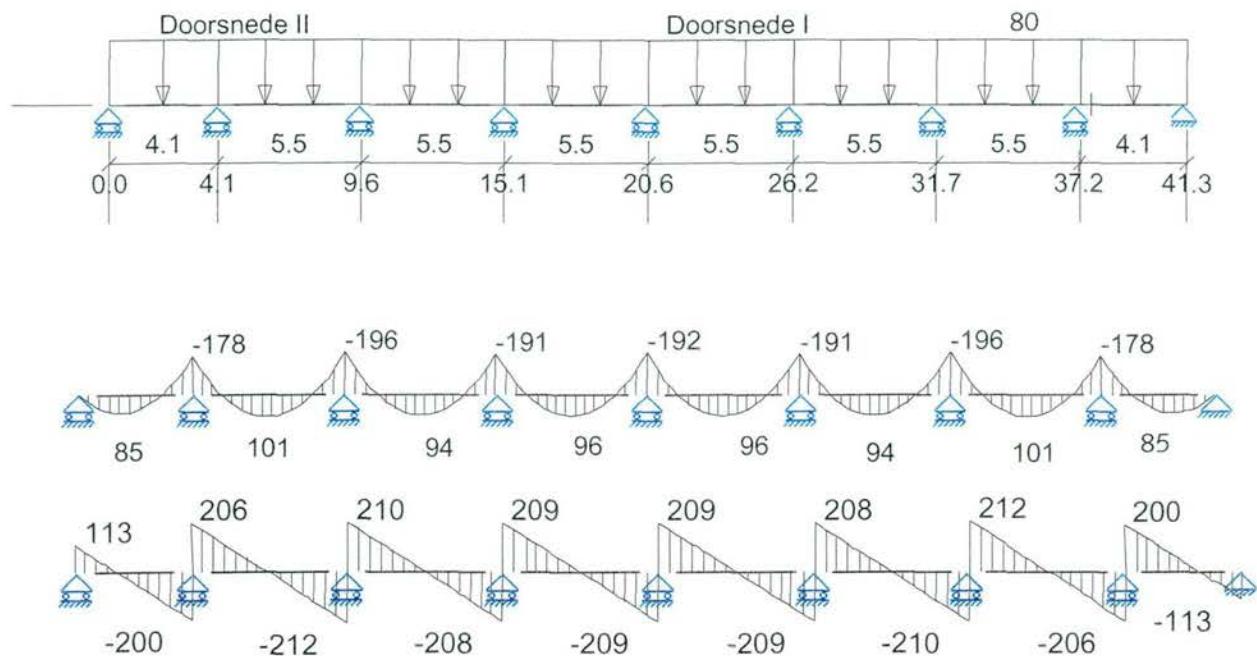
$$\tau_1 = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d \leq \tau_1 \rightarrow \text{voldoet}$$

Koker C

Koker C wordt minder belast dan de kokers A, en B. In Figuur 2 is aan de dwarskrachtenlijn te zien dat de oplegreactie van de plaat 64 kN per 0,8 m. plaatbreedte is. De q-last op koker C is dan ook $64/0,8=80 \text{ kN/m}$.

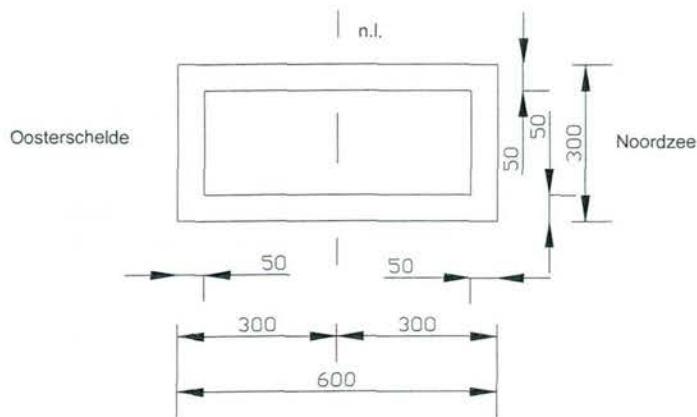
De bijbehorende M- en D-lijn staat vermeld in Figuur 7.



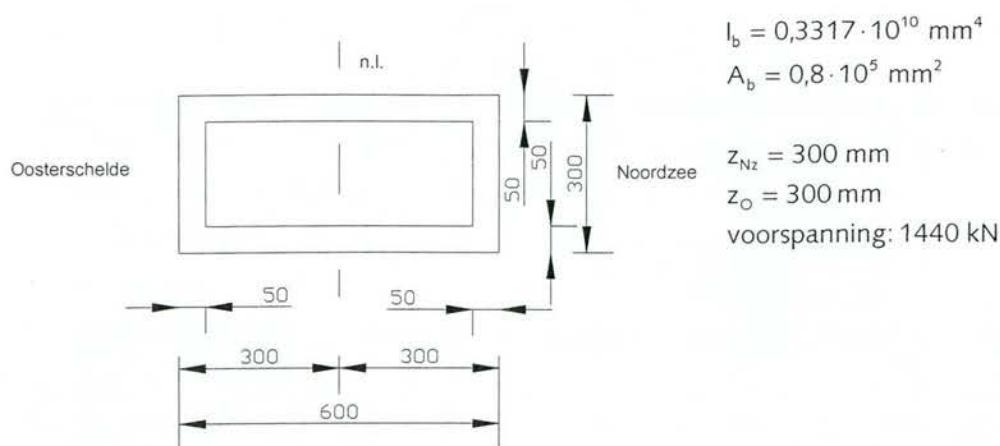
Figuur 7

Omdat koker C geen onderdeel is van het vakwerk, is er alleen normaalkracht ten gevolge van voorspanning aanwezig.

De afmetingen van de te controleren doorsnede staan in figuur



Figuur 8.

**Figuur 8***Momentcontrole hoogwater Noordzee, doorsnede I*

Boven steunpunt:

$$N = -1440 \text{ kN}$$

$$M = 196 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-1440 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^5} + \frac{196 \cdot 10^6 \cdot 300}{0,3317 \cdot 10^{10}} = 0 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-1440 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^5} - \frac{196 \cdot 10^6 \cdot 300}{0,3317 \cdot 10^{10}} = -36 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In tegenstelling tot koker A hoeft bij koker C doorsnede II niet gecontroleerd te worden. Omdat deze koker geen onderdeel is van het vakwerk, is er geen verloop van de normaalkracht over de lengte van de koker.

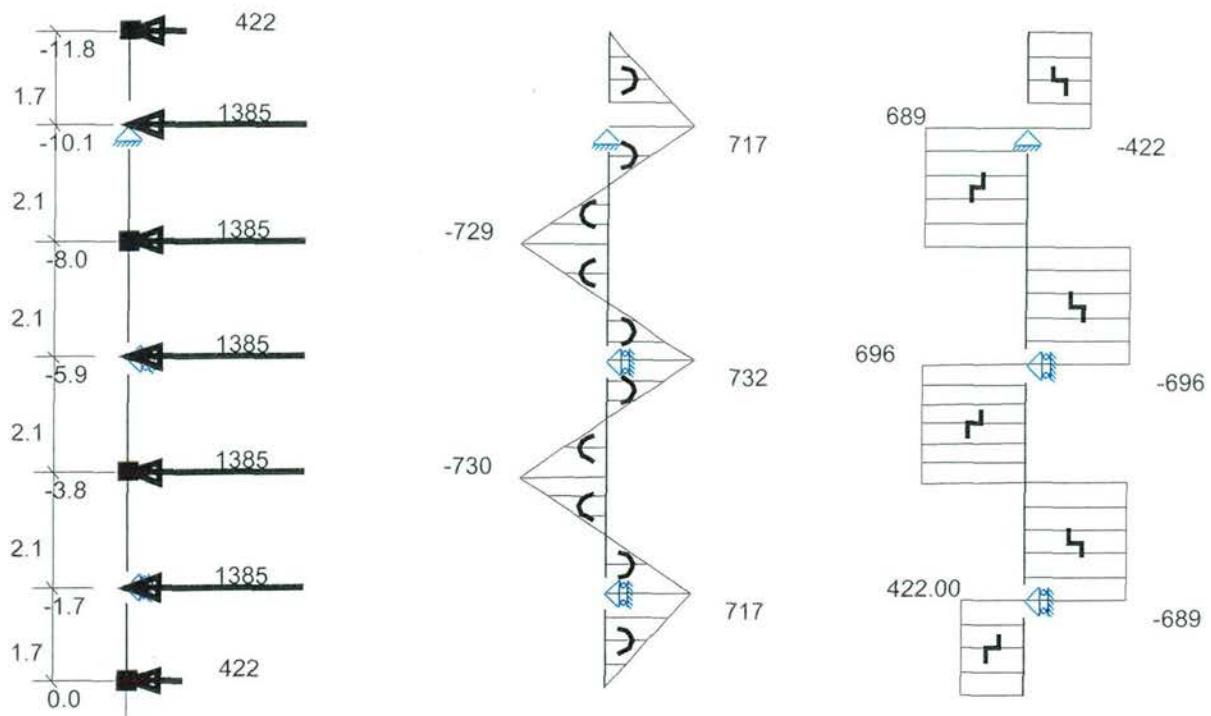
Ook is controle van de situatie hoogwater Oosterschelde niet nodig, omdat de koker symmetrisch is ten opzichte van de verticale as, en de momenten in de koker ten gevolge van belasting aan de Oosterscheldezijde van de schuif lager zijn dan de momenten ten gevolge van de Noordzeebelasting.

Controle Dwarskracht

De maximale dwarskracht in de doorsnede is 212 kN. De dwarskracht wordt opgenomen door de (2) lijven van de koker. De breedte van de lijven is 50 mm., en de hoogte 600 mm.

$$\left. \begin{aligned} \tau_d &= \frac{212 \cdot 10^3}{50 \cdot 600 \cdot 2} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_1 &= 11,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Koker in verticale richting



Figuur 9

De verticale koker dient ervoor om de koker B en C met de kokers A te verbinden ter plaatse van de ondersteuning van het vakwerk.

De oplegreacties van de koker A en B op de verticale koker bedragen $696+689=1385$ kN (zie Figuur 4, dwarskrachtenlijn, 3^e oplegging van links)

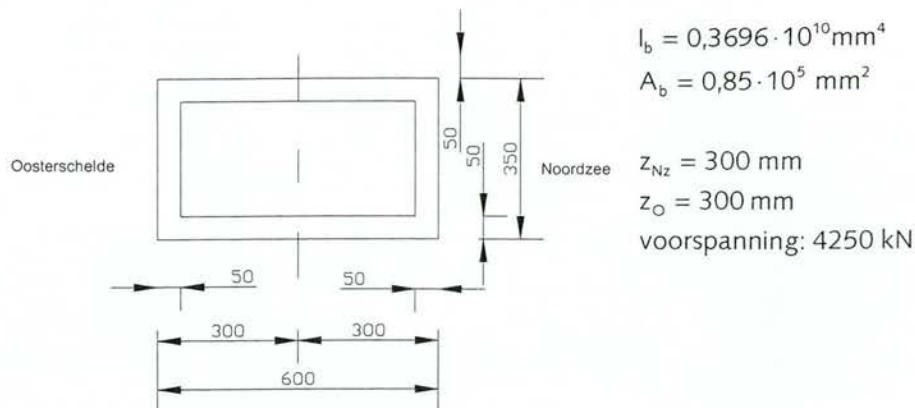
De oplegreactie van de koker C op de verticale koker bedraagt $212+210=422$ kN (zie Figuur 7, dwarskrachtenlijn, 3^e oplegging van links)

Ter controle: de totale belasting bedraagt: $5 \cdot 1385 + 2 \cdot 422 = 7809$ kN. Deze belasting is afkomstig van een oppervlakte van $11,9 \text{ m.} \cdot 5,5 \text{ m.} = 65 \text{ m}^2$. De belasting per m^2 is dan $7809/65 = 119 \text{ kN/m}^2$. Zonder veiligheidsfactor van 1,25 is dit: $119/1,25 = 95 \text{ kN/m}^2$. Deze waarde komt overeen met de getalswaarde van de belasting.

In Figuur 9 staan de Momenten, en Dwarskrachten vermeld, zoals berekend met Matrix Frame.

De maatgevende situatie voor de koker is het geval van hoogwater aan de Noordzee zijde van de schuif.

De afmetingen van de te controleren doorsnede staan in Figuur 10.



Figuur 10

Momentcontrole hoogwater Noordzee

$$N = -4250 \text{ kN}$$

$$M = 732 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-4250 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 10^5} + \frac{632 \cdot 10^6 \cdot 300}{0,3696 \cdot 10^{10}} = 1,3 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-4250 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 10^5} - \frac{732 \cdot 10^6 \cdot 300}{0,3696 \cdot 10^{10}} = -109 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Dwarskrachtcontrole

De maximale dwarskracht in de doorsnede is 689 kN. De dwarskracht wordt opgenomen door de (2) lijven van de koker. De breedte van de lijven is 50 mm., en de hoogte 600 mm.

$$\tau_d = \frac{689 \cdot 10^3}{50 \cdot 600 \cdot 2} = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 \leq \tau_d \rightarrow \text{voldoet}$$

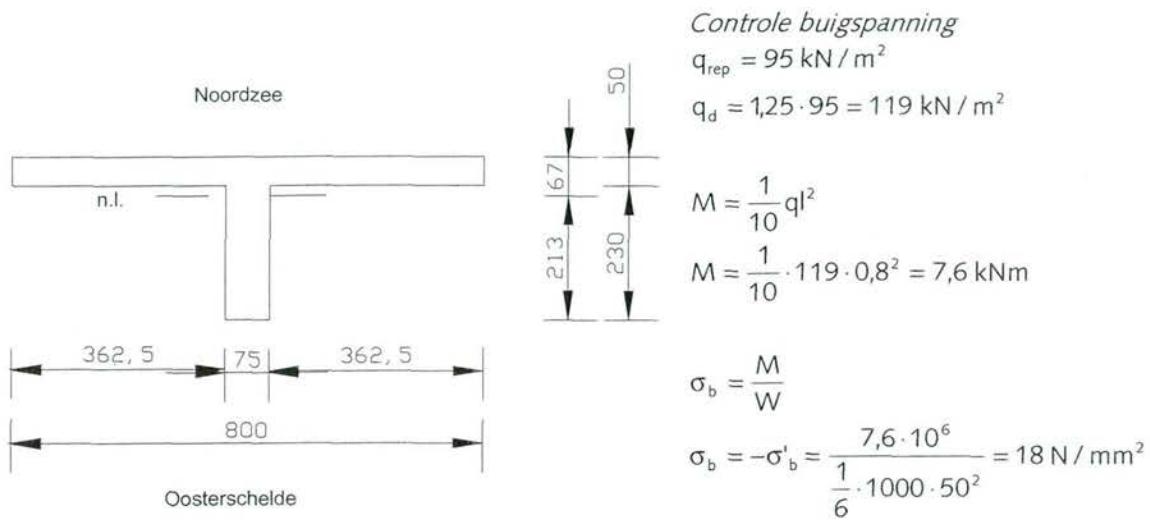
Bijlage C Berekeningswijze plaat

In deze bijlage wordt de berekening van variant VII Toegelicht met behulp van een handberekening.

Bij deze variant is de plaat in verticale richting voorgespannen, en zijn er alleen verstijvingskokers aanwezig ter plaatse van het vakwerk.

Waterkerende beplating

De beplating wordt ondersteund door verticale ribben, h.o.h. 800 mm. In horizontale richting is de beplating dus te beschouwen als een in één richting dragende plaat over meerdere steunpunten (zie Figuur 1). De dikte van de plaat bedraagt 50 mm.



Figuur 1

$$f_b = 20 \text{ N/mm}^2 \text{ (buigtreksterkte)}$$

$$f'_b = -133 \text{ N/mm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_b \leq f_b \\ \sigma'_b \geq f'_b \end{array} \right\} \text{voldoet}$$

controle dwarskracht

$$q_d = 119 \text{ kN/m}$$

$$D_{\max} = \frac{1}{2} q l$$

$$D_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 119 \cdot 0,8 = 48 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{D_{\max}}{A}$$

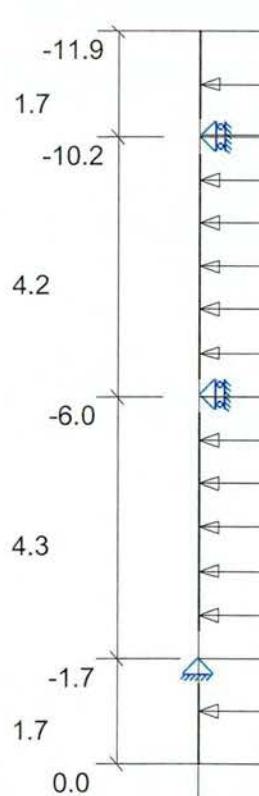
$$\tau_d = \frac{48 \cdot 10^3}{50 \cdot 1000} = 1,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 7,5 \text{ N/mm}^2$$

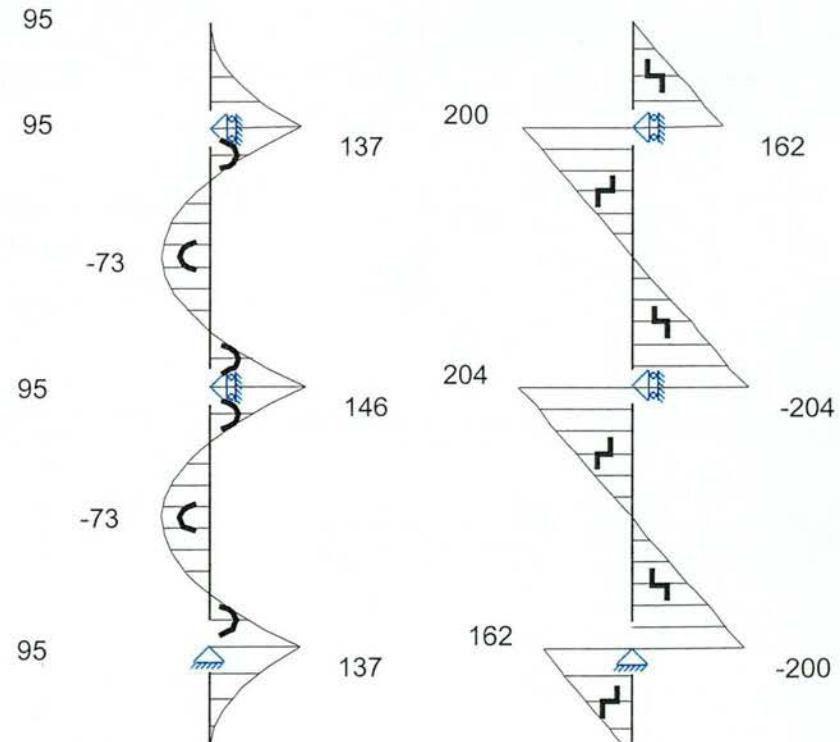
$$\tau_d \leq \tau_1 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Beplating + Verstijvingsribben

De verstijvingsribben dragen verticaal op de in de beplating geïntegreerde hoofdliggers af. Hierdoor is de ribplaats te schematiseren als een ligger op 3 steunpunten. (zie Figuur 2) De bovenste en onderste koker hebben alleen een waterkerende functie. Voor de q-last per rib (0,8 m. plaatbreedte) is $q=95 \text{ kN/m}$ aangenomen.



Figuur 3



Figuur 2

Figuur 4

De meewerkende breedte bij een T-ligger bedraagt volgens de TGB 1990:

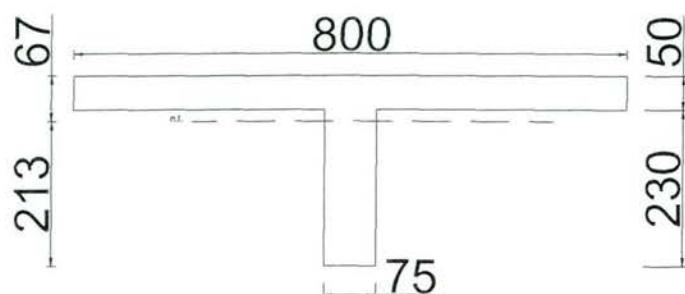
$$b_e = b_w + b_1 + b_2$$

b_e = ribbreedte

$$b_1 = b_2 = 0,1 \cdot l$$

$$b_e = 0,1 \cdot 4250 \cdot 2 + 67 \geq 800 \text{ mm} \rightarrow b_e = 800 \text{ mm}$$

Gegevens doorsnede profiel



$$z_{Nz} = 67 \text{ mm}$$

$$z_O = 213 \text{ mm}$$

$$I = 3.21 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

(Nz = Noorzeezijde,
O = Oosterscheldezijde)

Figuur 5

Momentcontrole in geval hoogwater Noordzee

Boven steunpunt: $M=146 \text{ kNm}$

Voorspanning: 30 N/mm^2 (centrisch)

$$\sigma_b = \frac{N}{A} + \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= -30 + \frac{146 \cdot 10^6 \cdot 67}{3.21 \cdot 10^8} = 0.5 \text{ N/mm}^2 < f_b \\ \sigma_{bo} &= -30 - \frac{146 \cdot 10^6 \cdot 213}{3.21 \cdot 10^8} = -127 \text{ N/mm}^2 > f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden: $M=73 \text{ kNm}$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= -30 - \frac{73 \cdot 10^6 \cdot 67}{3.21 \cdot 10^8} = -45 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bo} &= -30 + \frac{73 \cdot 10^6 \cdot 213}{3.21 \cdot 10^8} = 18 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole in geval hoogwater Oosterschelde

Boven steunpunt:

$$M = -\frac{34}{95} \cdot 146 = -52,3 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= -30 + \frac{-52,3 \cdot 10^6 \cdot 67}{3,21 \cdot 10^8} = -41 \text{ N/mm}^2 \geq f_b \\ \sigma_{bO} &= -30 - \frac{-52,3 \cdot 10^6 \cdot 213}{3,21 \cdot 10^8} = 4,7 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$M = -\frac{34}{95} \cdot 73 = 26 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= -30 - \frac{-26 \cdot 10^6 \cdot 67}{3,21 \cdot 10^8} = -25 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= -30 + \frac{-26 \cdot 10^6 \cdot 213}{3,21 \cdot 10^8} = -47 \text{ N/mm}^2 \geq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Controle dwarskracht

De dwarskracht wordt voornamelijk door het lijf opgenomen.

$$D_{max} = \frac{1}{2} q l$$

$$D_{ma} = \frac{1}{2} \cdot 95 \cdot 4,3 = 204 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \tau_d &= \frac{V}{A} \\ \tau_d &= \frac{204 \cdot 10^3}{280 \cdot 75} = 9,7 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\tau_1 = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

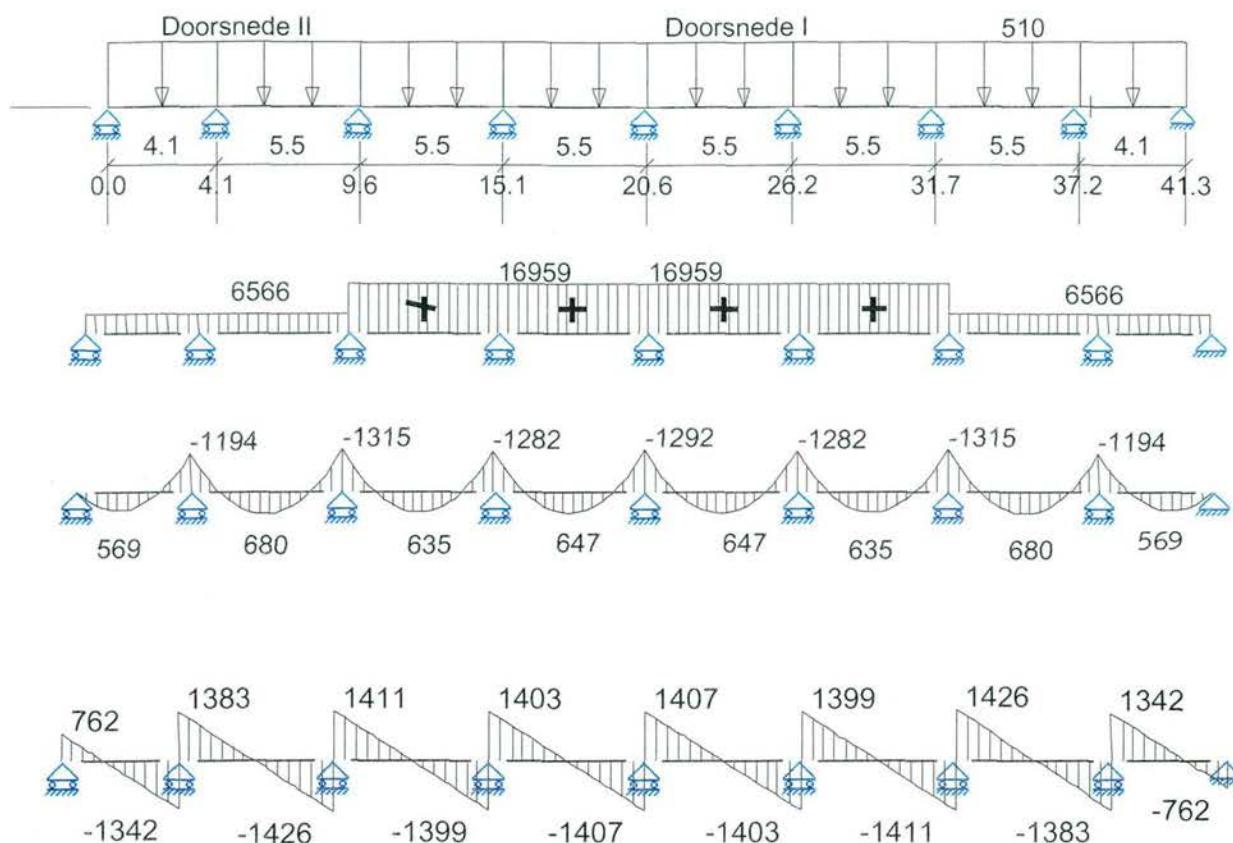
$$\tau_d \leq \tau_1 \longrightarrow \text{voldoet}$$

Koker

De koker is met de beplating geïntegreerd. De koker is tevens onderdeel van het vakwerk.

De koker is te beschouwen als een ligger op 9 steunpunten. Deze steunpunten worden gevormd door de knooppunten van het vakwerk.

Het dwarskracht wisselt ter plaatse van het middensteunpunt van 204 naar -204 kN. (zie Figuur 4) De oplegreactie is dus 408 kN/0,8 m. De q-last op de ligger bedraagt: 408/0,8=510 kN/m



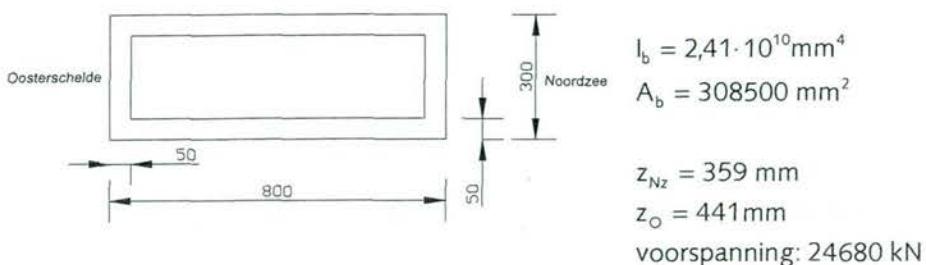
Figuur 6; Schematisering koker, Normaalkrachten, Momenten en Dwarskracht

In Figuur 6 staan de Normaalkrachten, Momenten, en Dwarskrachten vermeld, zoals berekend met Matrix Frame.

In de onderstaande berekeningen zal voor de momenten en de dwarskracht steeds van de grootste waarde uitgegaan worden:

$$\begin{aligned} M_{\text{steunpunt}} &: 1315 \text{ kNm} \\ M_{\text{veld}} &: 680 \text{ kNm} \\ D_{\max} &: 1427 \text{ kN} \end{aligned}$$

De afmetingen van de te controleren doorsnede staan in Figuur 7.



Figuur 7

Momentcontrole hoogwater Noordzee, doorsnede I

vakwerkkraft N=+17000 kN

voorspanning: N= -24680 kN

Normaaldrukkracht in beton: 17000-24680=-7680 kN

Boven steunpunt:

$$N = -7680 \text{ kN}$$

$$M = 1315 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-7680 \cdot 10^3}{308500} + \frac{1315 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -5 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-7680 \cdot 10^3}{380500} - \frac{1315 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -44 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -7680 \text{ kN}$$

$$M = 680 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-7680 \cdot 10^3}{308500} - \frac{332 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -30 \text{ N/mm}^2 \geq f'_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-7680 \cdot 10^3}{308500} + \frac{680 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -12 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole hoogwater Noordzee, doorsnede II

vakwerkkraft: N=6566 kN

voorspanning: N=-24680 kN

Normaaldrukkracht in beton: N=6566-24680=-18114 kN

Boven steunpunt:

$$N = -18114 \text{ kN}$$

$$M = 1315 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-18114 \cdot 10^3}{308500} + \frac{1315 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -39 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-18114 \cdot 10^3}{308500} - \frac{1315 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -83 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -18114 \text{ kN}$$

$$M = 680 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-18114 \cdot 10^3}{308500} - \frac{680 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -68 \geq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-18114 \cdot 10^3}{308500} + \frac{680 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -46 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole hoogwater Oosterschelde, doorsnede I

Bij hoogwater aan de Oosterscheldezijde van de schuif zijn de normaalkrachten in de vakwerkstaven volgens tabel 17 bij doorsnede I -6085 kN en bij doorsnede II -2356 kN

De belasting op de schuif is 34 kN/m^2 in tegenstelling tot 95 kN/m^2 bij hoogwater aan Noordzeesezijde. De momenten zoals weergeven in de momentenlijn van Figuur 6 moeten dus worden vermenigvuldigd met een factor -34/95.

Vakwerkkraft: $N = -6085 \text{ kN}$

voorspanning: $N = -24680 \text{ kN}$

Normaaldrukkracht in het beton: $N = -6085 - 24680 = -30765 \text{ kN}$

Boven steunpunt:

$$N = -30765 \text{ kN}$$

$$M = \frac{34}{95} \cdot 1315 = 471 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-30765 \cdot 10^3}{308500} - \frac{471 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -107 \text{ N/mm}^2 \geq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-30765 \cdot 10^3}{308500} + \frac{471 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -91 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In het veldmidden:

$$N = -30765 \text{ kN}$$

$$M = 680 \cdot \frac{34}{95} = 243 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-30765 \cdot 10^3}{308500} + \frac{243 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -96 \text{ N/mm}^2 \leq f_b \\ \sigma_{bo} &= \frac{-30765 \cdot 10^3}{308500} - \frac{243 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -104 \text{ N/mm}^2 \geq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Momentcontrole hoogwater Oosterschelde, doorsnede II

vakwerkkraft: $N = -2350 \text{ kN}$

voorspanning: $N = -24680 \text{ kN}$

Normaaldrukkracht in beton: $N = -2350 - 24680 = -27030 \text{ kN}$

Boven steunpunt:

$$N = -27030 \text{ kN}$$

$$M = 1315 \cdot \frac{34}{95} = 471 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-27030 \cdot 10^3}{308500} - \frac{471 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -95 \geq f'_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-27030 \cdot 10^3}{308500} + \frac{471 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -80 \leq f_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

In veldmidden:

$$N = -27030 \text{ kN}$$

$$M = 680 \cdot \frac{34}{95} = 243 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bNz} &= \frac{-27030 \cdot 10^3}{308500} + \frac{243 \cdot 10^6 \cdot 359}{2,41 \cdot 10^{10}} = -84 \leq f_b \\ \sigma_{bO} &= \frac{-27030 \cdot 10^3}{308500} - \frac{243 \cdot 10^6 \cdot 441}{2,41 \cdot 10^{10}} = -92 \geq f'_b \end{aligned} \right\} \text{voldoet}$$

Dwarskrachtcontrole

De maximale dwarskracht in de doorsnede is 1427 kN. De dwarskracht wordt opgenomen door de (2) lijven van de koker. De breedte van de lijven is 110 mm., en de hoogte 800 mm.

$$\tau_d = \frac{1427 \cdot 10^3}{110 \cdot 800 \cdot 2} = 8,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 11,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d \leq \tau_1 \rightarrow \text{voldoet}$$

Bijlage D Invoerfile ANSYS

/BATCH

```
! /SYS,rm SVKO_BET_SCH.*      ! OPSCHONEN/VERWIJDEREN FILES VORIGE RUN.
/FILNAM,SVKO_BET_SCH_PREP,1    ! BEWAAR DATABASE ONDER JOBNAAM :
"SVKO_BET_SCH_PREP.DB"
/SHOW,SVKO_BET_SCH_PREP,PIC,0,8 ! RASTER-PLOT, SLA GRAFIEKEN OP IN BESTAND
"SVKO_BET_SCH_PREP.PIC".
/OUTPUT,SVKO_BET_SCH_PREP,OUT  ! SLA GEGEVENS MBT UITVOER OP IN BESTAND
"SVKO_BET_SCH_PREP.OUT".
/NERR,200,1E6-1,-1            ! MAX AANTAL FOUTMELDINGEN PER SESSIE (999999) IN BATCH
MODE, -1 : DOORGAAN INDIEN BEREIKT.
```

/PREP7

```
!-----!
! GRAFISCHE INSTELLINGEN          !
!-----+
!GRAPHICS,FULL      ! COMPLEET OBJECT, GELDT OOK VOOR RESULTATEN.
/VIEW,1,0,0,1        ! KIES AANZICHT OP DOORSNEDE.
/SHADE,1,PHON        ! GEBRUIK PHONG-SHADING.
IMMED,0             ! ALLEEN GRAPHIC'S OP "AANVRAAG".
/LIGHT,1,,,1,1,1
/NUMBER,1
/PNUM,KP,1
/PNUM,LINE,1
/PNUM,AREA,1
/PNUM,NODE,0
/PNUM,ELEM,0
/PNUM,MAT,1
/PNUM,TYPE,0
/PSYMB,CS,0
/HEADER,OFF,OFF ! BLADKOP EN SUBTITEL IN UITVOER UITZETTEN.
/ESHAPE,1           ! GEEF ELEMENTEN WEER MET WERKELIJKE DIKTE.
/PLOPTS,FRAME,0     ! FRAME OM GRAFIEK UIT.
/PLOPTS,VERS,0      ! ANSYS-LOGO MET REVISIENUMMER IN RECHTERBOVENHOEK
UITZETTEN.
/PLOPTS,MINM,1      ! AANDUIDING MINIMUM/MAXIMUM AAN- (1) UITZETTEN (0).
/TYPE,1,HIDP        ! HIDDEN PRECISE, IN GEVAL VAN "/NOERASE"-PLOTS.
/TRIAD,LTOP         ! SYMBOOL ASSENKRUIS IN LINKERBOVENHOEK GRAFIEK.
WPSTYL,,,,,,OFF
/GFILE,1024          ! GEBRUIK DE HOOGSTE RESOLUTIE.
/GSAVE,PLOT,OPT     ! SLA GRAFISCHE INSTELLINGEN OP IN BESTAND "PLOT.OPT"
```

```
!-----!
! PARAMETERS GEOMETRIE (ISO-EENHEDEN).          !
!-----+
!TOLR=0.0001      ! ( ) TOLERANTIE MBT SELECTIE LOCATIE [M].
BSCHUIF=20.65     ! BREEDTE TOTALE MODEL=HALVE SCHUIF [M].
HSCHUIF=11.90      ! HOOGTE SCHUIF [M].
HVAKWOND=1.70      ! LIGGING VAKWERK ONDER T.O.V. ONDERRAND [M].
HVAKWMID=5.95      ! LIGGING VAKWERK MIDDEN T.O.V. ONDERRAND [M].
HVAKWBOV=10.2       ! LIGGING VAKWERK BOVEN T.O.V. ONDERRAND [M].
BVELD1=5.5          ! AFSTAND MIDDEN SCHUIF TOT KNOOP 1 [M].
BVELD2=11           ! AFSTAND MIDDEN SCHUIF TOT KNOOP 2 [M].
BVELD3=16.5          ! AFSTAND MIDDEN SCHUIF TOT KNOOP 3 [M].
BVELD4=19.15         ! AFSTAND MIDDEN SCHUIF TOT EINDHAR [M].
```

AFSTVAKW=5.1 ! AFSTAND RANDLIGGERS VAKWERK TOT PLAAT [M].
 AANTVE1=7 ! (7) AANTAL (MIDDEN)VELDEN TUSSEN RIBBEN IN PLAAT 1 [-].
 RRIB1=0 ! (0) H.O.H AFS. EERSTE RIB TOT RAND [M]. (0 VOOR GEEN RANDVELD)
 AANTVE2=7 ! (7) AANTAL (MIDDEN)VELDEN TUSSEN RIBBEN IN PLAAT 2 [-].
 RRIB2=0 ! (0) H.O.H AFS. EERSTE RIB TOT RAND [M]. (0 VOOR GEEN RANDVELD)
 AANTVE3=7 ! (7) AANTAL (MIDDEN)VELDEN TUSSEN RIBBEN IN PLAAT 3 [-].
 RRIB3=0 ! (0) H.O.H AFS. EERSTE RIB TOT RAND [M]. (0 VOOR GEEN RANDVELD)
 AANTVE4=4 ! (4) AANTAL (MIDDEN)VELDEN TUSSEN RIBBEN IN PLAAT 4 [-].
 RRIB4=.475 ! (.475) H.O.H AFS. EERSTE RIB TOT RAND [M]. (0 VOOR GEEN RANDVELD)
 TOTRIB=51 ! TOTAAL AANTAL RIBBEN PER HELE SCHUIF
 HRIB=.23 ! HOOGTE VAN VERSTIJVINGSRIBBEN
 BRIB=.075 ! BREEDTE VAN VERSTIJVINGSRIBBEN
 VSPLVER=30000000 ! VOORSPANNING IN PLAAT IN VERTICALE RICHTEN [N/M^2]
 PLDIKTE=.05 ! DIKTE VAN WATERKERENDE WAND
 OVSPKAZ=-.425 ! OFFSET VOORSPANNING IN KOKER A IN Z-RICHTING T.O.V.
 PLAATMIDDEN
 OVSPKROZ=-.425 ! OFFSET VOORSPANNING IN KOKER RAND ONDER IN Z-RICHTING
 T.O.V. PLAATMIDDEN
 OVSPKRHZ=-.425 ! OFFSET VOORSPANNING IN KOKER RAND BOVEN IN Z-RICHTING
 T.O.V. PLAATMIDDEN
 OVSPKROY=.175 ! OFFSET VOORSPANNING IN KOKER RAND ONDER IN Y-RICHTING
 T.O.V. PLAATMIDDEN
 OVSPKRBY=-.175 ! OFFSET VOORSPANNING IN KOKER RAND BOVEN IN Y-RICHTING
 T.O.V. PLAATMIDDEN

!-----!
 ! LOKALE ASSENSTELSELS !
 !----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+!
 LOCAL,11,0,BSCHUIF,0,0,0,-126.8698977
 CSYS,0
 WPCSYS,-1,0

!-----!
 ! PARAMETERS VERDELINGEN. !
 !----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+!
 HDIV=4 ! (12) VERDELING HOOGTERICHTING FACETTEN BETONVLAK [-].
 BDIV=2 ! (12) VERDELING BREEDTERICHTING FACETTEN BETONVLAK [-].
 H_SPR=1 ! (3) SPACING RATIO HOOGTERICHTING [-].
 B_SPR=1 ! (3) SPACING RATIO BREEDTERICHTING [-].
 VW_DIV=12 ! (12) VERDELING VAKWERKSTAVEN [-].
 VW_SPR=-3 ! (-3) SPACING RATIO VAKWERKSTAVEN [-].
 !-----!
 ! PARAMETERS MODALE ANALYSE. !
 !----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+!

N_FREQ=10 ! (10) AANTAL TE BEREKENEN EIGENFREQUENTIES/EIGENVECTOREN.
 !-----!
 ! MATERIAALGROOTHEDEN (ISO-EENHEDEN). !
 !----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+!
 ! HOGE STERKTE BETON (1).
 MP,EX,1,5.300E+10 ! E-MODULUS [N/m2].
 MP,NUXY,1,2.2E-01 ! POISSON-CONSTANTE [-].
 MP,DENS,1,2.640E+03 ! SOORTELIJKE MASSA [KG/m3].
 MP,ALPX,1,3.61E-06 ! UITZETTINGSCOëFFICIËNT [-].

! STAAL MET ELASTISCH KRACHT/REK-DIAGRAM (2).
 MP,EX,2,2.00E+11 ! E-MODULUS [N/m2].
 MP,NUXY,2,2.9E-01 ! POISSON-CONSTANTE [-].
 MP,DENS,2,7.82E+03 ! SOORTELIJKE MASSA [KG/m3].
 MP,ALPX,2,3.61E-06 ! UITZETTINGSCOëFFICIËNT [-].

```

!-----!
! ELEMENTTYPEN !
!-----+
!-----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+-
! TYPE 1 (SHELL63) 4 NOD 6 DOFS (UX/Y/Z)/(ROTX/Y/Z) REAL 12 MAT 1
! TYPE 2 (PIPE16) 2 NOD 6 DOFS (UX/Y/Z)/(ROTX/Y/Z) REAL 1/11 MAT 1
! TYPE 3 (BEAM44) 2 NOD 6 DOFS (UX/Y/Z)/(ROTX/Y/Z) REAL 13 MAT 1
! TYPE 4 ((BEAM4)) 2 NOD 6 DOFS (UX/Y/Z)/(ROTX/Y/Z) REAL 40
! TYPE 5 (MASS21) 1 NOD 6 DOFS (UX/Y/Z) REAL 34/37
!-----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+-
ET,1,SHELL63 ! 4 NODE ELASTIC QUADRILATERAL SHELL; REAL 12 T/M 13.
ET,2,PIPE16 ! 2 NODE ELASTIC STRAIGHT PIPE; REAL 1 T/M 11.
ET,3,BEAM188 ! 2 NODE 3D LINEAR FINITE STRAIN BEAM; REAL 15.
ET,4,BEAM4 ! 2 NODE 3D ELASTIC BEAM; REAL 40 EN VERDER.
ET,5,MASS21 ! POINT STRUCTURAL MASS; REAL 34 T/M 37.
KEYOPT,5,3,2 ! ALLEEN 3D-DOF'S ZONDER ROTATIE-DOF'S.

!-----!
! REAL CONSTANTS !
!-----+
!-----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+-
R,1,.9,.085 ! (PIPE16)BUIS 1, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,2,.9,.115 ! (PIPE16)BUIS 2, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,3,.8,.055 ! (PIPE16)BUIS 3, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,4,.6,.050 ! (PIPE16)BUIS 4, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,5,.8,.050 ! (PIPE16)BUIS 5, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,6,.8,.050 ! (PIPE16)BUIS 6, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,7,.7,.050 ! (PIPE16)BUIS 7, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,8,.9,.075 ! (PIPE16)BUIS 8, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,9,.6,.050 ! (PIPE16)BUIS 9, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,10,.45,.050 ! (PIPE16)BUIS 10, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,11,.6,.050 ! (PIPE16)BUIS 11, BUITENDIAMETER [m], WANDDIKTE [m].
R,12,.05 ! (SHELL63) DIKTE BETON VOORVLAK [m].
R,13,.15 ! (SHELL63) DIKTE BETON WAND EINDHAR
R,14,!!!! ! (BEAM44) DUMMY REAL CONSTANT VOOR BEAM 44 MET SECTIES MET
ISTRN OP VELD 54 (ZAT OP 49!).
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!
RMORE,!!!!,(VSPLVER/5.300E+10)
R,15, ! (BEAM44) DUMMY REAL CONSTANT VOOR BEAM 44 MET SECTIES
R,16,1,1 ! (LINK10) (AREA,ISTRN)
R,17,1,1 ! (BEAM4) VERSTIJVING.
R,18,2.77E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
VOORSPANNING
RMORE,5.4E-3 ! BUIS 4
R,19,2.41E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
VOORSPANNING
RMORE,5.4E-3 ! BUIS 7
R,20,4.34E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
VOORSPANNING
RMORE,5.4E-3 ! BUIS 1
R,21,6.07E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
VOORSPANNING
RMORE,5.4E-3 ! BUIS 2
R,22, 1.7E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
VOORSPANNING
RMORE,3.5E-3 ! BUIS 8

```

R,23,1.83E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! BUIS 6
 R,24, 8.5E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! BUIS 5
 R,25,3.64E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! BUIS 3
 R,26,2.77E-4,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! BUIS 9
 R,27,8.33E-4,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! BUIS 10
 R,28,2.77E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! BUIS 11
 R,29,1.83E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! WAND AAN RAND ONDER
 R,30,4.63E-4,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! KOKER IN WAND AAN RAND BOVEN
 R,31,24.15E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! KOKER A ONDER
 R,32,22.85E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! KOKER A MIDDEN
 R,33,22.85E-3,1E-7,1E-7,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,5.4E-3 ! KOKER A BOVEN
 R,34,6280 ! (MASS21) GEWICHT KNOOPPUNT A1 [KG]
 R,35,4000 ! (MASS21) GEWICHT KNOOPPUNT A2 [KG]
 R,36,2090 ! (MASS21) GEWICHT KNOOPPUNT B [KG]
 R,37,1045 ! (MASS21) HALF GEWICHT KNOOPPUNT B [KG]
 R,38,,,1E-12 ! (SURF 22) TYPE 4, VERWIJDERT OPPERVLAKTESPANNINGEN
 R,39,2.5E-3,1E-6,1E-6,1E-3,1E-3 ! (BEAM4) (AREA,IZZ,IYY,TKZ,TKY,(THETA),ISTRN)
 VOORSPANNING
 RMORE,((HRIB*BRIB+(2*BSCHUIF*PLDIKTE/TOTRIB))*VSPPLVER/2.5E-3/2E11) !
 VOORSPANNING IN PLAAT VERTICAAL

!-----!
 ! DEFINITIE DOORSNEDEN BALK-ELEMENTEN !
 !----+---2----+---4----+---6----+---8----+---0----+---2----+!
 SECTYPE,2,BEAM,RECT ! DOORSNEDE 1, RECHTHOEKIG, (VERSTIJVINGSRIB IN VELD OP
 WATERKERENDE WAND)
 SEC DATA,.075,.230 ! BREEDTE,HOOGTE
 SECOFFSET,USER,0,-.140 ! OFFSET,Y,Z

SECTYPE,3,BEAM,RECT ! DOORSNEDE 2, RECHTHOEKIG, (VERSTIJVINGSRIB AAN RAND
 OP WATERKERENDE WAND)
 SEC DATA,.15,.23 ! BREEDTE,HOOGTE
 SECOFFSET,USER,0,-.14 ! OFFSET,Y,Z

SECTYPE,4,BEAM,RECT ! DOORSNEDE 3, RECHTHOEKIG, (VERSTIJVINGSRIB IN EINDHAR)
 SEC DATA,.2,.2 ! BREEDTE,HOOGTE
 SECOFFSET,USER,0,-.075

SECTYPE,5,BEAM,MESH ! DOORSNEDE 4, CUSTOM DOORSNEDE, (VERSTIJVINGSKOKER MIDDEN WK WAND)
SECREAD,KOKERA,,/home/ztm/nio/pover/HuibTol/,MESH ! LEES BESTAND KOKERA.SECT VOOR DOORSNEDE GEGEVENS
SECOFFSET,ORIGIN ! OFFSET,Y,Z

SECTYPE,6,BEAM,HREC ! DOORSNEDE 5, VIERKANTE KOKER BOVEN, (VERSTIJVINGSKOKER BOVEN WK WAND)
SECDATA,.35,.8,.05,.05,.05,.05 !BREEDTE, HOOGTE, WANDDIKTEN
SECOFFSET,USER,0,-.025 ! OFFSET,Y,Z

SECTYPE,7,BEAM,HREC ! DOORSNEDE 6, VIERKANTE KOKER ONDER, (VERSTIJVINGSKOKER ONDER WK WAND)
SECDATA,.35,.8,.05,.05,.05,.05 !BREEDTE, HOOGTE, WANDDIKTEN
SECOFFSET,USER,.35,-.025 ! OFFSET,Y,Z

SECNUM,1 ! DEFAULTWAARDE

!-----!
! GENERATIE GEOMETRIE. !
!-----!

/TITLE,GENERATIE KP'S VAKWERK.
K,1,0,HVAKWOND,AFSTVAKW,
K,2,BVELD1,HVAKWOND,AFSTVAKW,
K,3,BVELD3,HVAKWOND,AFSTVAKW,
K,4,BVELD4,HVAKWOND,2

/TITLE,GENERATIE KP'S EINDHAR
K,5,BVELD4,0,2
K,6,BSCHUIF,0,4
K,7,BVELD4,HSCHUIF,2
K,8,BSCHUIF,HSCHUIF,4
K,9,BSCHUIF,HVAKWOND,4
K,10,BSCHUIF,HVAKWMID,4
K,11,BSCHUIF,HVAKWBOV,4

/TITLE,GENERATIE VLAKKEN PLAAT 1
RIBAFS=((BVELD1-2*RRIB1)/AANTVE1)
REFPUNT=0
K,,0,0,0 ! GENERATIE PUNten VERTICALE LIJN MIDDEN SCHUIF
K,,0,HVAKWOND,0
K,,0,HVAKWMID,0
K,,0,HVAKWBOV,0
K,,0,HSCHUIF,0
L,KP(0,0,0),KP(0,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN SCHUIF
L,KP(0,HVAKWOND,0),KP(0,HVAKWMID,0)
L,KP(0,HVAKWMID,0),KP(0,HVAKWBOV,0)
L,KP(0,HVAKWBOV,0),KP(0,HSCHUIF,0)
*IF,RRIB1,NE,0,THEN
 REFPUNT=(REFPUNT+RRIB1) ! VERSCHUIVEN REFPUNT
 K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD1
 K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
 K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
 K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
 K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
 L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN RANDRIB VELD1
 L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)

```

L,KP(REFPUNT-RRIB1,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
L,KP(REFPUNT-RRIB1,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
L,KP(REFPUNT-RRIB1,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
L,KP(REFPUNT-RRIB1,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
L,KP(REFPUNT-RRIB1,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
AL,ALL               ! GENEREER ONDERSTE AREA
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID  ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV  ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
AL,ALL               ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDIF
*DO,TELLER,1,AANTVE1,1
  REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
  K,,REFPUNT,0,0          ! GENERATIE PUNten
  K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
  K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
  K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
  K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
  L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)    ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
  L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER ONDERSTE AREA
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND  ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID  ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV  ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDDO

```

```

*IF,RRIB1,NE,0,THEN
  REFPUNT=(REFPUNT+RRIB1)      ! VERSCHUIVEN REFPUNT
  K,,REFPUNT,0,0      ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD1
  K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
  K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
  K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
  K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
  L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)      ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
  L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB1,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB1,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB1,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB1,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB1,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  ALLSEL,ALL      ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB1-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL      ! GENEREER ONDERSTE AREA
  ALLSEL,ALL      ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB1-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL      ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
  ALLSEL,ALL      ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB1-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL      ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
  ALLSEL,ALL      ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB1-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL      ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDIF

```

```

/TITLE,GENERATIE VLAKKEN PLAAT 2
RIBAFS=((BVVELD2-BVVELD1)-2*RRIB2)/AANTVE2)
REFPUNT=BVVELD1
*IF,RRIB2,NE,0,THEN
  REFPUNT=(REFPUNT+RRIB2)      ! VERSCHUIVEN REFPUNT
  K,,REFPUNT,0,0      ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD2
  K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
  K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
  K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
  K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
  L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)      ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
  L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB2,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB2,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB2,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB2,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB2,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)

```

```

ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER ONDERSTE AREA
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDIF
*DO,TELLER,1,AANTVE2,1
  REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
  K,,REFPUNT,0,0          ! GENERATIE PUNTEN
  K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
  K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
  K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
  K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
  L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)    ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
  L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER ONDERSTE AREA
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
  ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS

```

AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
 *ENDDO

*IF,RRIB2,NE,0,THEN
 REFPUNT=(REFPUNT+RRIB2) ! VERSCHUIVEN REFPUNT
 K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD1
 K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
 K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
 K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
 K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
 L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
 RANDRIB VELD1
 L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB2,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB2,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB2,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB2,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB2,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER ONDERSTE AREA
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB2-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
 *ENDIF

/TITLE,GENERATIE VLAKKEN PLAAT 3
 RIBAFS=((BVELD3-BVELD2)-2*RRIB3)/AANTVE3)
 REFPUNT=BVELD2
 *IF,RRIB3,NE,0,THEN
 REFPUNT=(REFPUNT+RRIB3) ! VERSCHUIVEN REFPUNT
 K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD2
 K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
 K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
 K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
 K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
 L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
 RANDRIB VELD1
 L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB3,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB3,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)

```

L,KP(REFPUNT-RRIB3,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
L,KP(REFPUNT-RRIB3,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
L,KP(REFPUNT-RRIB3,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER ONDERSTE AREA
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,Y,REFPUNT-HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,Y,REFPUNT-HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL               ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDIF
*DO,TELLER,1,AANTVE3,1
    REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
    K,,REFPUNT,0,0           ! GENERATIE PUNten
    K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
    K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
    K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
    K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
    L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)      ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
    L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
    L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
    L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
    L,KP(REFPUNT-RIBAFS,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
    L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
    L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
    L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
    L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
    ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL               ! GENEREER ONDERSTE AREA
    ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
    LSEL,U,LOC,Y,REFPUNT-HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
    ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID   ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
    LSEL,U,LOC,Y,REFPUNT-HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL               ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
    ALLSEL,ALL           ! SELECTEER ALLES

```

```
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDDO

*IF,RRIB3,NE,0,THEN
    REFPUNT=(REFPUNT+RRIB3) ! VERSCHUIVEN REFPUNT
    K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD1
    K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
    K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
    K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
    K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
    L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
    L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
    L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
    L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
    L,KP(REFPUNT-RRIB3,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
    L,KP(REFPUNT-RRIB3,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
    L,KP(REFPUNT-RRIB3,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
    L,KP(REFPUNT-RRIB3,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
    L,KP(REFPUNT-RRIB3,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
    ALLSEL,ALL ! SELECTTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL ! GENEREER ONDERSTE AREA
    ALLSEL,ALL ! SELECTTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
    LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
    ALLSEL,ALL ! SELECTTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
    LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
    ALLSEL,ALL ! SELECTTEER ALLES
    LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
    LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB3-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
    LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
    AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDIF

/TITLE,GENERATIE VLAKKEN PLAAT 4
RIBAFS=((BSCHUIF-BVELD3)-2*RRIB4)/AANTVE4)
REFPUNT=BVELD3
*IF,RRIB4,NE,0,THEN
    REFPUNT=(REFPUNT+RRIB4) ! VERSCHUIVEN REFPUNT
    K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD2
    K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
    K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
    K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
    K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
    L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
    L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
    L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
```

L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB4,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB4,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB4,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB4,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT-RRIB4,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER ONDERSTE AREA
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
 AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
 *ENDIF
 *DO,TELLER,1,AANTVE4,1
 REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
 K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten
 K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
 K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
 K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
 K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
 L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
 RANDRIB VELD1
 L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 L,KP(REFPUNT-RIBAFS,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
 L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
 L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
 L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
 L,KP(REFPUNT-RIBAFS,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 AL,ALL ! GENEREER ONDERSTE AREA
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
 LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWMID ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
 LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
 LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
 AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN BOVEN
 ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES

```

LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RIBAFS-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDDO

*IF,RRIB4,NE,0,THEN
  REFPUNT=(REFPUNT+RRIB4) ! VERSCHUIVEN REFPUNT
  K,,REFPUNT,0,0 ! GENERATIE PUNten RANDVELD VELD1
  K,,REFPUNT,HVAKWOND,0
  K,,REFPUNT,HVAKWMID,0
  K,,REFPUNT,HVAKWBOV,0
  K,,REFPUNT,HSCHUIF,0
  L,KP(REFPUNT,0,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0) ! GENERATIE VERTICALE LIJNEN
RANDRIB VELD1
  L,KP(REFPUNT,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB4,0,0),KP(REFPUNT,0,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB4,HVAKWOND,0),KP(REFPUNT,HVAKWOND,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB4,HVAKWMID,0),KP(REFPUNT,HVAKWMID,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB4,HVAKWBOV,0),KP(REFPUNT,HVAKWBOV,0)
  L,KP(REFPUNT-RRIB4,HSCHUIF,0),KP(REFPUNT,HSCHUIF,0)
  ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL ! GENEREER ONDERSTE AREA
  ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWOND ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,TOLR+HSCHUIF ! UNSELECT LIJNEN TE HOOG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL ! GENEREER AREA MIDDEN ONDER
  ALLSEL,ALL ! SELECTEER ALLES
  LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,-TOLR+HVAKWBOV ! UNSELECT LIJNEN TE LAAG
  LSEL,U,LOC,X,-TOLR,REFPUNT-RRIB4-TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE LINKS
  LSEL,U,LOC,X,REFPUNT+TOLR,BSCHUIF+TOLR ! UNSELECT LIJNEN TE RECHTS
  AL,ALL ! GENEREER AREA BOVEN
*ENDIF

NUMMRG,NODE
NUMMRG,KP
NUMCNP,ALL

/TITLE,LIJNEN VAKWERK HORIZONTAAL.
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,2,KP(0,HVAKWOND,0)
L,2,KP(BVELD1,HVAKWOND,0)
L,2,KP(BVELD2,HVAKWOND,0)
L,3,KP(BVELD2,HVAKWOND,0)
L,3,KP(BVELD3,HVAKWOND,0)
L,4,KP(BVELD3,HVAKWOND,0)
L,4,KP(BSCHUIF,HVAKWOND,0)

```

```
/TITLE,GENERATIE VAKWERK HORIZONTAAL.  
LSEL,S,LOC,Y,HVAKWOND-TOLR,HVAKWOND+TOLR ! GENERATIE VERTICAAL.  
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR  
CM,BASIS,LINE ! COMPONENT LIJNEN BASISVAKWERK.  
LGEN,2,ALL,,,(HVAKWMID-HVAKWOND)  
CMSEL,S,BASIS  
LGEN,2,ALL,,,(HVAKWBOV-HVAKWOND)  
LSEL,ALL  
  
/TITLE,LIJNEN VAKWERK VERTICAAL.  
L,2,KP(BVELD1,HVAKWMID,AFSTVAKW)  
L,KP(BVELD1,HVAKWMID,AFSTVAKW),KP(BVELD1,HVAKWBOV,AFSTVAKW)  
L,2,KP(BVELD1,HVAKWMID,0)  
L,KP(BVELD1,HVAKWMID,AFSTVAKW),KP(BVELD1,HVAKWBOV,0)  
  
/TITLE,GENERATIE VAKWERK VERTICAAL.  
LSEL,S,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD1+TOLR ! GENERATIE HORIZONTAAL.  
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR  
LGEN,2,ALL,,,(BVELD3-BVELD1)  
ALLSEL,ALL  
  
NUMMRG,NODE  
NUMMRG,KP  
NUMCMP,ALL  
  
/TITLE,GENERATIE LIJNEN EINDHAR, SCHUINE WAND AAN PLAATZIJDE  
L,KP(BSCHUIF,0,0),5  
L,5,KP(BVELD4,HVAKWOND,2)  
L,KP(BVELD4,HVAKWOND,2),KP(BVELD4,HVAKWMID,2)  
L,KP(BVELD4,HVAKWMID,2),KP(BVELD4,HVAKWBOV,2)  
L,KP(BVELD4,HVAKWBOV,2),7  
L,7,KP(BSCHUIF,HSCHUIF,0)  
  
/TITLE,GENERATIE LIJNEN EINDHAR, SCHUINE WAND AAN ZEEZIJDE  
L,5,6  
L,6,9  
L,9,10  
L,10,11  
L,11,8  
L,KP(BVELD4,HVAKWOND,2),9  
L,KP(BVELD4,HVAKWMID,2),10  
L,KP(BVELD4,HVAKWBOV,2),11  
L,7,8  
  
/TITLE,GENERATIE LIJNEN EINDHAR, WAND LOODRECHT OP WKW  
L,KP(BSCHUIF,0,0),6  
L,KP(BSCHUIF,HVAKWOND,0),9  
L,KP(BSCHUIF,HVAKWMID,0),10  
L,KP(BSCHUIF,HVAKWBOV,0),11  
L,KP(BSCHUIF,HSCHUIF,0),8  
/TITLE,GENERATIE VLAKKEN EINDHAR, WAND LOODRECHT OP WKW  
LSEL,ALL !ONDERSTE BAND  
LSEL,S,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,BSCHUIF+TOLR  
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR+HVAKWOND  
AL,ALL  
  
LSEL,ALL !  
LSEL,S,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,BSCHUIF+TOLR  
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWMID  
AL,ALL
```

LSEL,ALL !
LSEL,S,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,BSCHUIF+TOLR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWBOV
AL,ALL

LSEL,ALL !BOVENSTE BAND
LSEL,S,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,BSCHUIF+TOLR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF
AL,ALL

/TITLE,GENERATIE VLAKKEN EINDHAR, WAND SCHUIN AAN ZEEZIJDE
LSEL,S,LOC,Z,2-TOLR,4+TOLR !ONDERSTE BAND
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,X,BSCHUIF-TOLR,BSCHUIF+TOLR
LSEL,A,LOC,Z,-TOLR+4,TOLR+4
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR+HVAKWOND
AL,ALL

LSEL,S,LOC,Z,2-TOLR,4+TOLR
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,X,BSCHUIF-TOLR,BSCHUIF+TOLR
LSEL,A,LOC,Z,-TOLR+4,TOLR+4
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWMID
AL,ALL

LSEL,S,LOC,Z,2-TOLR,4+TOLR
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,X,BSCHUIF-TOLR,BSCHUIF+TOLR
LSEL,A,LOC,Z,-TOLR+4,TOLR+4
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWBOV
AL,ALL

LSEL,S,LOC,Z,2-TOLR,4+TOLR !BOVENSTE BAND
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,X,BSCHUIF-TOLR,BSCHUIF+TOLR
LSEL,A,LOC,Z,-TOLR+4,TOLR+4
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF
AL,ALL

/TITLE,GENERATIE VLAKKEN EINDHAR, WAND SCHUIN AAN PLAATZIJDE
CSYS,11
WPCSYS,-1,11
LSEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR+HVAKWOND
AL,ALL

LSEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWBOV
AL,ALL

LSEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HSCHUIF
AL,ALL

CSYS,0
WPCSYS,-1,0

/TITLE,MESHEN VOORVLAK.
ASEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSLA,S
LSEL,R,TAN1,X,0
LESIZE,ALL,,,HDIV,H_SPR
LSLA,S
LSEL,R,TAN1,Y,0
LESIZE,ALL,,,BDIV,B_SPR
LSLA,S
MAT,1
TYPE,1
REAL,12
MSHKEY,0
AMESH,ALL
ALLSEL,ALL

/TITLE,MESHEN EINDHAR WAND LOODRECHT OP WATERK.WAND
ASEL,S,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
LSLA,S
LSEL,U,TAN1,Y,0
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR+4,TOLR+4
LESIZE,ALL,,,HDIV,H_SPR
LSLA,S
LSEL,R,TAN1,Y,0
LESIZE,ALL,,,BDIV,B_SPR
LSLA,S
MAT,1
TYPE,1
REAL,13
MSHKEY,0
AMESH,ALL
ALLSEL,ALL

/TITLE,MESHEN EINDHAR SCHUINE WAND, ZEEZIJDE
ASEL,S,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+4
ASEL,U,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
LSLA,S
LSEL,U,TAN1,Y,0
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR+4,TOLR+4
LESIZE,ALL,,,HDIV,H_SPR
LSLA,S
LSEL,R,TAN1,Y,0
LESIZE,ALL,,,BDIV,B_SPR
LSLA,S
MAT,1
TYPE,1
REAL,13
MSHKEY,0
AMESH,ALL
ALLSEL,ALL

/TITLE,MESHEN EINDHAR SCHUINE WAND, ZIJDE WKWAND
ASEL,S,LOC,Z,TOLR,2+TOLR
ASEL,U,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
LSLA,S
LSEL,R,TAN1,Y,0
LESIZE,ALL,,,BDIV,B_SPR
LSLA,S
MAT,1
TYPE,1

REAL,13
MSHKEY,0
AMESH,ALL
ALLSEL,ALL

/TITLE,GENERATIE VOORSPANELEMENTEN
LSEL,ALL ! SELECTEER ALLE LIJNEN
CM,ALLBETON,LINE ! ALLBETON: VERZAMELING LIJNEN GEMESHED MET
MATERIAAL BETON
LSLA,S
LSEL,INVE
LESIZE,ALL,,,VW_DIV,VW_SPR
CM,VKWBUIS,LINE ! STOP LIJNEN IN VKWBUIS
LSEL,R,LOC,Z,AFSTVAKW-TOLR,AFSTVAKW+TOLR
LSEL,R,LOC,X,0,BVELD1
LESIZE,ALL,,,VW_DIV,1/ABS(VW_SPR),4 ! CORRECTIE VERDELING, MOET BLIJKEN
WELKE GOED IS 1/ABS(VW_SPR) OF ABS(VW_SPR).
LSEL,ALL
CMSEL,U,VKWBUIS
LSEL,U,LOC,Y,TOLR,-TOLR+HVAKWOND
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWOND,-TOLR+HVAKWMID
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWMID,-TOLR+HVAKWBOV
LSEL,U,LOC,Y,TOLR+HVAKWBOV,-TOLR+HSCHUIF
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
CM,VKWKOKE,LINE ! STOP LIJNEN VAN KOKERS IN VKWKOKE
ALLSEL,ALL
ASEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSLA,S
CMSEL,U,VKWKOKE
CM,VKPPLAAT,LINE
ASEL,ALL
LSLA,S
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,U,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+4
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR,TOLR
LSEL,U,LOC,Y,-TOLR+HSCHUIF,TOLR+HSCHUIF
CM,VKWHAR,LINE
CMGRP,VKBETON,VKWBUIS,VKWKOKE
CMSEL,S,VKWBUIS
LGEN,2,ALL,,,,,,1,0
CMSEL,U,VKWBUIS
CM,SPANBUIS,LINE ! ALLE VOORSPANSTAVEN IN SPANBUIS
CMSEL,S,VKWKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWBOV
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LGEN,2,ALL,,,,,OVSPKAZ
CMSEL,S,VKWKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LGEN,2,ALL,,,OVSPKRROY,OVSPKROZ
CMSEL,S,VKWKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HSCHUIF,TOLR+HSCHUIF
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LGEN,2,ALL,,,OVSPKRBY,OVSPKRBY
LSEL,ALL
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,-10
CM,SPANKOKE,LINE
CMSEL,S,VKWHAR
LGEN,2,ALL,,,,,,1,0
CMSEL,U,VKWHAR

CM,SPANHAR,LINE
CMSEL,S,VKWPLAAT
LGEN,2,ALL,,,,,,,1,0
CMSEL,U,VKWPLAAT
CM,SPANPLAA,LINE

/TITLE,MESHEN BUIZEN.
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,TAN1,Z,1 ! PIJPEN LOODRECHT OP WAND.
CM,LOODPIJP,LINE
LSEL,R,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
KSLL,S
TYPE,2
MAT,1
REAL,4
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 4
CMSEL,S,LOODPIJP
LSEL,U,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
KSLL,S
REAL,7
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 7
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,U,TYPE,,2
LSEL,R,TAN1,Z,0
CM,HOR_PIJP,LINE
LSEL,R,LOC,X,BVELD1+TOLR,BVELD3-TOLR
KSLL,S
REAL,1
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 1
CMSEL,S,HOR_PIJP
LSEL,U,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD3+TOLR
KSLL,S
REAL,2
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 2
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,TOLR,BVELD1-TOLR
LSEL,U,TAN1,Z,0
KSLL,S
REAL,8
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 8
ALLSEL,ALL
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,BVELD1+TOLR,BVELD2-TOLR
KSLL,S
REAL,6
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 6
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,BVELD2+TOLR,BVELD3-TOLR
KSLL,S
REAL,5
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 5
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,BVELD3+TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,Z,+TOLR,2-TOLR
KSLL,S
REAL,3
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 3
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,BVELD3+TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,Z,2+TOLR,AFSTVAKW-TOLR
KSLL,S

REAL,9
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 9
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD1+TOLR
LSEL,A,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
CMSEL,U,SPANBUIS
LSEL,R,LOC,Z,AFSTVAKW-TOLR,AFSTVAKW+TOLR
KSLL,S
REAL,10
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 10
CMSEL,S,VKWBUIS
LSEL,R,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD1+TOLR
LSEL,A,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
CMSEL,U,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,U,LOC,Y,HVAKWOND-TOLR,HVAKWOND+TOLR
LSEL,U,LOC,Y,HVAKWMID-TOLR,HVAKWMID+TOLR
LSEL,U,LOC,Y,HVAKWBOV-TOLR,HVAKWBOV+TOLR
KSLL,S
REAL,11
LMESH,ALL ! MESHEN BUIS 11

/TITLE, SPIEGEL ALLE VLAKKEN
ALLSEL,ALL
ARSYM,X,ALL

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB WKW AAN RAND
REAL,15 ! DUMMY VOOR SECTIES.
CMSEL,S,VKWPLAAT ! MESHEN X=0
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR,TOLR
KSLL,S
K,,0,HSCHUIF,-10
LATT,1,,3,,KP(0,HSCHUIF,-10),,3
SECNUM,3
LMESH,ALL

ALLSEL,ALL ! MESHEN X=BVELD1
CMSEL,S,VKWPLAAT
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR+BVELD1,TOLR+BVELD1
KSLL,S
K,,BVELD1,HSCHUIF,-10
LATT,1,,3,,KP(BVELD1,HSCHUIF,-10),,3
SECNUM,3
LMESH,ALL

ALLSEL,ALL ! MESHEN X=BVELD2
CMSEL,S,VKWPLAAT
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR+BVELD2,TOLR+BVELD2
KSLL,S
K,,BVELD2,HSCHUIF,-10
LATT,1,,3,,KP(BVELD2,HSCHUIF,-10),,3
SECNUM,3
LMESH,ALL

ALLSEL,ALL ! MESHEN X=BVELD3
CMSEL,S,VKWPLAAT
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR+BVELD3,TOLR+BVELD3

```
KSLL,S
K,,BVELD3,HSCHUIF,-10
LATT,1,,3,,KP(BVELD3,HSCHUIF,-10),,3
SECNUM,3
LMESH,ALL

ALLSEL,ALL
CMSEL,S,VKWPLAAT ! MESHEN X=BSCHUIF
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
KSLL,S
K,,BSCHUIF,HSCHUIF,-10
LATT,1,,3,,KP(BSCHUIF,HSCHUIF,-10),,2
SECNUM,2
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB WKW VELD PLAAT1
RIBAFS=((BVELD1-2*RRIB1)/AANTVE1)
*IF,RRIB1,NE,0,THEN
    REFPUNT=RRIB1
    VELDNR=(AANTVE1+2)
*ELSE
    REFPUNT=RIBAFS
    VELDNR=AANTVE1
*ENDIF
*IF,VELDNR,GT,1,THEN
    *DO,TELLER,1,(VELDNR-1),1
        CMSEL,S,VKWPLAAT
        LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
        LSEL,R,LOC,X,-TOLR+REFPUNT,TOLR+REFPUNT
        KSLL,S
        K,,REFPUNT,HSCHUIF,-10
        LATT,1,,3,,KP(REFPUNT,HSCHUIF,-10),,2
        SECNUM,2
        LMESH,ALL
        REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
    *ENDDO
*ENDIF

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB WKW VELD PLAAT2
RIBAFS=(((BVELD2-BVELD1)-2*RRIB2)/AANTVE2)
*IF,RRIB2,NE,0,THEN
    REFPUNT=(RRIB2+BVELD1)
    VELDNR=(AANTVE2+2)
*ELSE
    REFPUNT=(RIBAFS+BVELD1)
    VELDNR=AANTVE2
*ENDIF
*IF,VELDNR,GT,1,THEN
    *DO,TELLER,1,(VELDNR-1),1
        CMSEL,S,VKWPLAAT
        LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
        LSEL,R,LOC,X,-TOLR+REFPUNT,TOLR+REFPUNT
        KSLL,S
        K,,REFPUNT,HSCHUIF,-10
        LATT,1,,3,,KP(REFPUNT,HSCHUIF,-10),,2
        SECNUM,2
        LMESH,ALL
        REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
    *ENDDO
*ENDIF
```

```
/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB WKW VELD PLAAT3
RIBAFS=((BVELD3-BVELD2)-2*RRIB3)/AANTVE3)
*IF,RRIB3,NE,0,THEN
    REFPUNT=(RRIB3+BVELD2)
    VELDNR=(AANTVE3+2)
*ELSE
    REFPUNT=(RIBAFS+BVELD2)
    VELDNR=AANTVE3
*ENDIF
*IF,VELDNR,GT,1,THEN
    *DO,TELLER,1,(VELDNR-1),1
        CMSEL,S,VKWPLAAT
        LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
        LSEL,R,LOC,X,-TOLR+REFPUNT,TOLR+REFPUNT
        KSLL,S
        K,,REFPUNT,HSCHUIF,-10
        LATT,1,,3,,KP(REFPUNT,HSCHUIF,-10),,2
        SECNUM,2
        LMESH,ALL
        REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
    *ENDDO
*ENDIF

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB WKW VELD PLAAT4
RIBAFS=((BSCHUIF-BVELD3)-2*RRIB4)/AANTVE4)
*IF,RRIB4,NE,0,THEN
    REFPUNT=(RRIB4+BVELD3)
    VELDNR=(AANTVE4+2)
*ELSE
    REFPUNT=(RIBAFS+BVELD3)
    VELDNR=AANTVE4
*ENDIF
*IF,VELDNR,GT,1,THEN
    *DO,TELLER,1,(VELDNR-1),1
        CMSEL,S,VKWPLAAT
        LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
        LSEL,R,LOC,X,-TOLR+REFPUNT,TOLR+REFPUNT
        KSLL,S
        K,,REFPUNT,HSCHUIF,-10
        LATT,1,,3,,KP(REFPUNT,HSCHUIF,-10),,2
        SECNUM,2
        LMESH,ALL
        REFPUNT=(REFPUNT+RIBAFS)
    *ENDDO
*ENDIF

/TITLE,MESHEN KOKER A, ONDER
LSEL,ALL
LSLA,S
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWOND
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
!KSLL,S
K,,0,HVAKWOND,-10
LATT,1,,3,,KP(0,HVAKWOND,-10),,5
SECNUM,5
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN KOKER A, MIDDEN
ALLSEL,ALL
LSLA,S
```

LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWMID
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
!KSLL,S
K,,0,HVAKWMID,-10
LATT,1,,3,,KP(0,HVAKWMID,-10),,5
SECNUM,5
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN KOKER A, BOVEN
ALLSEL,ALL
LSLA,S
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HVAKWBOV
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
!KSLL,S
K,,0,HVAKWBOV,-10
LATT,1,,3,,KP(0,HVAKWBOV,-10),,5
SECNUM,5
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN KOKER RAND, BOVEN X=POSITIEF
ALLSEL,ALL
LSLA,S
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HSCHUIF,TOLR+HSCHUIF
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR,TOLR+BSCHUIF
!KSLL,S
LATT,1,,3,,KP(0,HSCHUIF,-10),,6
SECNUM,6
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN KOKER RAND, BOVEN X=NEGATIEF
ALLSEL,ALL
LSLA,S
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HSCHUIF,TOLR+HSCHUIF
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,TOLR,-TOLR-BSCHUIF
!KSLL,S
LATT,1,,3,,KP(0,HSCHUIF,-10),,6
SECNUM,7
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN KOKER RAND, ONDER X=POSITIEF
ALLSEL,ALL
LSLA,S
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,-TOLR,TOLR+BSCHUIF
!KSLL,S
K,,0,0,-10
LATT,1,,3,,KP(0,0,-10),,7
SECNUM,7
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN KOKER RAND, ONDER X=NEGATIEF
ALLSEL,ALL
LSLA,S
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,Z,TOLR,-TOLR-BSCHUIF
!KSLL,S
K,,0,0,-10

LATT,1,,3,,KP(0,0,-10),,7
SECNUM,6
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB IN EINDKOKER, ONDER
CMSEL,S,VKWHAR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWOND
!KSLL,S
LATT,1,,3,,KP(BSCHUIF,HVAKWOND,4),,4
SECNUM,4
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB IN EINDKOKER, MIDDEN
CMSEL,S,VKWHAR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWMID
!KSLL,S
LATT,1,,3,,KP(BSCHUIF,HVAKWMID,4),,4
SECNUM,4
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN VERSTIJVINGSRIB IN EINDKOKER, BOVEN
CMSEL,S,VKWHAR
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HVAKWBOV
!KSLL,S
LATT,1,,3,,KP(BSCHUIF,HVAKWBOV,4),,4
SECNUM,4
LMESH,ALL

/TITLE,MESHEN VOORSPANELEMENTEN.
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,TAN1,Z,1 ! PIJPEN LOODRECHT OP WAND.
CM,LOODPIJP,LINE
LSEL,R,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
KSLL,S
TYPE,4
MAT,2
REAL,18
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 4
CMSEL,S,LOODPIJP
LSEL,U,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
KSLL,S
REAL,19
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 7
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,U,TYPE,,4
LSEL,R,TAN1,Z,0
CM,HOR_PIJP,LINE
LSEL,R,LOC,X,BVELD1+TOLR,BVELD3-TOLR
KSLL,S
REAL,20
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 1
CMSEL,S,HOR_PIJP
LSEL,U,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD3+TOLR
KSLL,S
REAL,21
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 2
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,TOLR,BVELD1-TOLR

LSEL,U,TAN1,Z,0
KSLL,S
REAL,22
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 8
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,BVELD1+TOLR,BVELD2-TOLR
KSLL,S
REAL,23
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 6
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,BVELD2+TOLR,BVELD3-TOLR
KSLL,S
REAL,24
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 5
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,BVELD3+TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,Z,+TOLR,2-TOLR
KSLL,S
REAL,25
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 3
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,BVELD3+TOLR,BVELD4-TOLR
LSEL,U,LOC,Z,2+TOLR,AFSTVAKW-TOLR
KSLL,S
REAL,26
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 9
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD1+TOLR
LSEL,A,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
LSEL,R,LOC,Z,AFSTVAKW-TOLR,AFSTVAKW+TOLR
KSLL,S
REAL,27
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 10
CMSEL,S,SPANBUIS
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,R,LOC,X,BVELD1-TOLR,BVELD1+TOLR
LSEL,A,LOC,X,BVELD3-TOLR,BVELD3+TOLR
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR,TOLR
LSEL,U,LOC,Y,HVAKWOND-TOLR,HVAKWOND+TOLR
LSEL,U,LOC,Y,HVAKWMID-TOLR,HVAKWMID+TOLR
LSEL,U,LOC,Y,HVAKWBOV-TOLR,HVAKWBOV+TOLR
KSLL,S
REAL,28
LMESH,ALL ! MESHEN VSP IN BUIS 11
CMSEL,S,SPANKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+OVSPKROY,TOLR+OVSPKROY
KSLL,S
LAT,2,29,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP RANDKOKER IN PLAAT ONDER
CMSEL,S,SPANKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HSCHUIF+OVSPKRBY,TOLR+HSCHUIF+OVSPKRBY
KSLL,S
LAT,2,30,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP RANDKOKER IN PLAAT BOVEN
CMSEL,S,SPANKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWOND

KSLL,S
LATT,2,31,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP KOKER A ONDER
CMSEL,S,SPANKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWMID
KSLL,S
LATT,2,32,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP KOKER A MIDDEN
CMSEL,S,SPANKOKE
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HVAKWBOV
KSLL,S
LATT,2,33,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP KOKER A BOVEN
CMSEL,S,SPANHAR
LSEL,U,LOC,Z,-TOLR-.4,TOLR-.4
LSEL,U,LOC,X,-TOLR,TOLR+BVELD4
LSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWBOV
KSLL,S
LATT,2,25,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP VERSTIJVINGEN IN EINDHAR
CMSEL,S,SPANPLAA
KSLL,S
LATT,2,39,4
LMESH,ALL ! MESHEN VSP PLAAT VERTICAAL

/TITLE,SPIEGELEN BUIZEN, BALKEN EN BIJBEHORENDE VOORSPANNING
CMSEL,S,SPANKOKE
CMSEL,A,SPANBUIS
CMSEL,A,SPANHAR
CMSEL,A,SPANPLAA
CMSEL,A,VKWBUIS
CMSEL,A,VKWHAR
CMSEL,A,VKWPLAAT
LSYM,X,ALL

/TITLE, NUMMRG NODES PER TYPE
ALLSEL,ALL
ESEL,S,TYPE,,1
NSLE,S
NUMMRG,NODE
ESEL,S,TYPE,,2
NSLE,S
NUMMRG,NODE
ESEL,S,TYPE,,3
NSLE,S
NUMMRG,NODE
ESEL,S,TYPE,,4
NSLE,S
NUMMRG,NODE

/TITLE,SAMENVOEGEN KOPEN VERTICALE VOORSPANSTAVEN / HORIZONTALE ONDER- EN BOVENRAND TPV VERANKERING.
NSEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
NSEL,U,LOC,Y,TOLR,HSCHUIF-TOLR
NUMMRG,NODE ! MERGEN NODES VSP MET PLATEN
ALLSEL,ALL

/TITLE,AANMAAK COMPONENTEN MBT LUMPED MASS IN KNOOPPUNTEN.
NSEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR
CM,NODZ0,NODE
NSEL,S,LOC,Z,-TOLR+AFSTVAKW,TOLR+AFSTVAKW

CM,NODZVW,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR,TOLR
CM,NODX0,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR+BVELD1,TOLR+BVELD1
CM,NODXBV1,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR+BVELD2,TOLR+BVELD2
CM,NODXBV2,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR+BVELD3,TOLR+BVELD3
CM,NODXBV3,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
CM,NODXBS,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR-BVELD1,TOLR-BVELD1
CM,NODXBN1,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR-BVELD2,TOLR-BVELD2
CM,NODXBN2,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR-BVELD3,TOLR-BVELD3
CM,NODXBN3,NODE
NSEL,S,LOC,X,-TOLR-BSCHUIF,TOLR-BSCHUIF
CM,NODXBN5,NODE
NSEL,S,LOC,Y,-TOLR+HVAKWOND,TOLR+HVAKWOND
CM,NODYO,NODE
NSEL,S,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWMID
CM,NODYM,NODE
NSEL,S,LOC,Y,-TOLR+HVAKWBOV,TOLR+HVAKWBOV
CM,NODYB,NODE

CMSEL,S,NODXBS
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZ0
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODXBS
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZ0
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODXBS
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZ0
NUMMRG,NODE

/TITLE,AANBRENGEN LUMPED MASS IN KNOOPPUNTEN
CMSEL,S,NODXBV3
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV3
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV3

CMSEL,R,NODYB

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV2

CMSEL,R,NODYO

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV2

CMSEL,R,NODYM

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV2

CMSEL,R,NODYB

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV1

CMSEL,R,NODYO

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV1

CMSEL,R,NODYM

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

```
CMSEL,S,NODXBV1
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODX0
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODX0
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODX0
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBN1
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBN1
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBN1
```

CMSEL,R,NODYB

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN2

CMSEL,R,NODYO

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN2

CMSEL,R,NODYM

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN2

CMSEL,R,NODYB

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN3

CMSEL,R,NODYO

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN3

CMSEL,R,NODYM

CMSEL,R,NODZ0

KSLN,S

NUMMRG,NODE

*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX

TYPE,5

REAL,36

KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN3

CMSEL,R,NODYB

CMSEL,R,NODZ0
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,36
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBNS
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZ0
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODXBNS
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZ0
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODXBNS
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZ0
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODXBV3
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,34
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV3
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,34
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBV3
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,34
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN3
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,34

KMESH,KMAX

```
CMSEL,S,NODXBN3
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,34
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBN3
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,34
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBV1
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,35
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBV1
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,35
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBV1
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,35
KMESH,KMAX
```

```
CMSEL,S,NODXBN1
CMSEL,R,NODYO
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,35
KMESH,KMAX
```

CMSEL,S,NODXBN1
CMSEL,R,NODYM
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,35
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODXBN1
CMSEL,R,NODYB
CMSEL,R,NODZVW
KSLN,S
NUMMRG,NODE
*GET,KMAX,KP,,NUM,MAX
TYPE,5
REAL,35
KMESH,KMAX

CMSEL,S,NODYO
NSEL,R,LOC,X,-TOLR+BVELD4,TOLR+BVELD4
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+2
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODYM
NSEL,R,LOC,X,-TOLR+BVELD4,TOLR+BVELD4
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+2
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODYB
NSEL,R,LOC,X,-TOLR+BVELD4,TOLR+BVELD4
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+2
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODYO
NSEL,R,LOC,X,-TOLR-BVELD4,TOLR-BVELD4
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+2
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODYM
NSEL,R,LOC,X,-TOLR-BVELD4,TOLR-BVELD4
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+2
NUMMRG,NODE

CMSEL,S,NODYB
NSEL,R,LOC,X,-TOLR-BVELD4,TOLR-BVELD4
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR+2,TOLR+2
NUMMRG,NODE

ALLSEL,ALL

/TITLE,AANMAAK COMPONENTEN TBV KOPPELING SPANSTAVEN/VERTICALE RANDEN.
ESEL,S,TYPE,,1,3,1
NSLE,S
CM,BETON,NODE
ESEL,S,TYPE,,4
NSLE,S
CM,SPANSTF,NODE
ESEL,S,REAL,,29

ESEL,A,REAL,,30
 ESEL,A,REAL,,31
 ESEL,A,REAL,,32
 ESEL,A,REAL,,33
 NSLE,S
 CM,VSPKOK,NODE
 ESEL,S,SEC,,5
 ESEL,A,SEC,,6
 ESEL,A,SEC,,7
 NSLE,S
 CM,BETKOK,NODE

!-----!
 ! RANDVOORWAARDEN AANBRENGEN ALVORENS TE KOPPELEN. !
 !----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+!
 CSYS,0
 WPCSYS,-1,0
 /TITLE, RANDVOORWAARDEN OPLEGGINGEN
 CMSEL,S,BETON
 NSEL,R,LOC,X,BVELD4-TOLR,BVELD4+TOLR
 NSEL,R,LOC,Y,-TOLR,+TOLR
 NSEL,R,LOC,Z,2-TOLR,2+TOLR
 D,ALL,UY,0 ! OPHANGPUNT CYLINDER
 CMSEL,S,BETON
 NSEL,R,LOC,X,-BVELD4-TOLR,-BVELD4+TOLR
 NSEL,R,LOC,Y,-TOLR,+TOLR
 NSEL,R,LOC,Z,2-TOLR,2+TOLR
 D,ALL,UY,0 ! OPHANGPUNT CYLINDER
 CMSEL,S,BETON
 NSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
 NSEL,R,LOC,X,-TOLR+BSCHUIF,TOLR+BSCHUIF
 D,ALL,UZ,0
 NSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWMID
 D,ALL,UX,0,,,ROTX,ROTY,ROTZ
 CMSEL,S,BETON
 NSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
 NSEL,R,LOC,X,-TOLR-BSCHUIF,TOLR-BSCHUIF
 D,ALL,UZ,0
 NSEL,R,LOC,Y,-TOLR+HVAKWMID,TOLR+HVAKWMID
 D,ALL,UX,0,,,ROTX,ROTY,ROTZ
 ALLSEL,ALL

/TITLE,NIEUW KOPPELINGS-ALGORITHEM.
 /TITLE,KOPPELING KOKERS MET SECTIE 5.
 *DO,TEL,1,3,1
 ESEL,S,SEC,,5
 NSLE,S
 *IF,TEL,EQ,1,THEN
 Y_LOC=HVAKWBOV
 *ELSEIF,TEL,EQ,2
 Y_LOC=HVAKWMID
 *ELSE
 Y_LOC=HVAKWOND
 *ENDIF
 NSEL,R,LOC,Y,Y_LOC-TOLR,Y_LOC+TOLR
 NSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
 *GET,NMAX,NODE,,COUNT
 CM,BALK_BOV,NODE
 ESEL,S,TYPE,,4
 NSLE,S
 Z_LOC=OVSPKAZ

```

NSEL,R,LOC,Z,Z_LOC-TOLR,Z_LOC+TOLR
NSEL,R,LOC,Y,Y_LOC-TOLR,Y_LOC+TOLR
CM,SPAN_BOV,NODE
*DO,STAP,1,NMAX,1
/GOPR
    CMSEL,S,BALK_BOV
    *GET,X_MAX,NODE,,MXLOC,X
    NSEL,R,LOC,X,X_MAX-TOLR,X_MAX+TOLR
    *GET,N_MAST,NODE,,NUM,MAX
    CMSEL,S,SPAN_BOV
        NSEL,R,NODE,,NODE(X_MAX,Y_LOC,Z_LOC)
        *GET,N_SLAV,NODE,,NUM,MAX
        NSEL,A,NODE,,N_MAST
        *GET,CPMAX,ACTIVE,,CP
    CP,CPMAX+1,UX,ALL
    CP,CPMAX+2,UY,ALL
    CP,CPMAX+3,UZ,ALL
        CMSEL,S,BALK_BOV
        NSEL,U,NODE,,N_MAST
        CM,BALK_BOV,NODE
        CMSEL,S,SPAN_BOV
        NSEL,U,NODE,,N_SLAV
        CM,SPAN_BOV,NODE
*ENDDO ! EINDE LUS MBT KOPPELEN KNOOP SPANSTAAF AAN KNOOP KOKER MET SECTIE
5.
NSEL,ALL
ESEL,ALL
*ENDDO ! EINDE LUS MBT KOPPELING ONDER/MIDDEN/BOVEN KOKER MET SECTIE 5 AAN
SPANSTAAF.

/TITLE,KOPPELING KOKERS MET SECTIE 6/7 AAN DE RECHTERKANT.
*DO,TEL,1,2,1
*IF,TEL,EQ,1,THEN
    ESEL,S,SEC,,6
*ELSE
    ESEL,S,SEC,,7
*ENDIF
NSLE,S
*IF,TEL,EQ,1,THEN
    Y_LOC=HSCHUIF
    Y_OFFSET=OVSPKRBY
    Y_LOCS=Y_LOC+Y_OFFSET
*ELSE
    Y_LOC=0
    Y_OFFSET=OVSPKROY
    Y_LOCS=Y_LOC+Y_OFFSET
*ENDIF
NSEL,R,LOC,Y,Y_LOC-TOLR,Y_LOC+TOLR
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
*GET,NMAX,NODE,,COUNT
CM,BALK_BOV,NODE
ESEL,S,TYPE,,4
NSLE,S
NSEL,R,LOC,Z,OVSPKAZ-TOLR,OVSPKAZ+TOLR
NSEL,R,LOC,Y,Y_LOCS-TOLR,Y_LOCS+TOLR
CM,SPAN_BOV,NODE
*DO,STAP,1,NMAX,1
/GOPR
    CMSEL,S,BALK_BOV
    *GET,X_MAX,NODE,,MXLOC,X
    NSEL,R,LOC,X,X_MAX-TOLR,X_MAX+TOLR

```

```

*GET,N_MAST,NODE,,NUM,MAX
CMSEL,S,SPAN_BOV
NSEL,R,NODE,,NODE(X_MAX,Y_LOCS,Z_LOC)
*GET,N_SLAV,NODE,,NUM,MAX
NSEL,A,NODE,,N_MAST
*GET,CPMAX,ACTIVE,,CP
CP,CPMAX+1,UX,ALL
CP,CPMAX+2,UY,ALL
CP,CPMAX+3,UZ,ALL
CMSEL,S,BALK_BOV
NSEL,U,NODE,,N_MAST
CM,BALK_BOV,NODE
CMSEL,S,SPAN_BOV
NSEL,U,NODE,,N_SLAV
CM,SPAN_BOV,NODE
*ENDDO ! EINDE LUS MBT KOPPELEN KNOOP SPANSTAAF AAN KNOOP KOKER MET SECTIE
6/7.
NSEL,ALL
ESEL,ALL
*ENDDO ! EINDE LUS MBT KOPPELING ONDER/BOVEN KOKER MET SECTIE 6/7 AAN
SPANSTAAF.

/TITLE,KOPPELING KOKERS MET SECTIE 6/7 AAN DE LINKERKANT.
*DO,TEL,1,2,1
*IF,TEL,EQ,1,THEN
    ESEL,S,SEC,,7
*ELSE
    ESEL,S,SEC,,6
*ENDIF
NSLE,S
*IF,TEL,EQ,1,THEN
    Y_LOC=HSCHUIF
    Y_OFFSET=OVSPKRBY
    Y_LOCS=Y_LOC+Y_OFFSET
*ELSE
    Y_LOC=0
    Y_OFFSET=OVSPKROY
    Y_LOCS=Y_LOC+Y_OFFSET
*ENDIF
NSEL,R,LOC,Y,Y_LOC-TOLR,Y_LOC+TOLR
NSEL,R,LOC,Z,-TOLR,TOLR
*GET,NMAX,NODE,,COUNT
CM,BALK_BOV,NODE
ESEL,S,TYPE,,4
NSLE,S
NSEL,R,LOC,Z,OVSPKAZ-TOLR,OVSPKAZ+TOLR
NSEL,R,LOC,Y,Y_LOCS-TOLR,Y_LOCS+TOLR
CM,SPAN_BOV,NODE
*DO,STAP,1,NMAX,1
/GOPR
    CMSEL,S,BALK_BOV
    *GET,X_MAX,NODE,,MXLOC,X
    NSEL,R,LOC,X,X_MAX-TOLR,X_MAX+TOLR
    *GET,N_MAST,NODE,,NUM,MAX
    CMSEL,S,SPAN_BOV
    NSEL,R,NODE,,NODE(X_MAX,Y_LOCS,Z_LOC)
    *GET,N_SLAV,NODE,,NUM,MAX
    NSEL,A,NODE,,N_MAST
*GET,CPMAX,ACTIVE,,CP
CP,CPMAX+1,UX,ALL
CP,CPMAX+2,UY,ALL

```

CP,CPMAX+3,UZ,ALL
CMSEL,S,BALK_BOV
NSEL,U,NODE,,N_MAST
CM,BALK_BOV,NODE
CMSEL,S,SPAN_BOV
NSEL,U,NODE,,N_SLAV
CM,SPAN_BOV,NODE
*ENDDO ! EINDE LUS MBT KOPPELEN KNOOP SPANSTAAT AAN KNOOP KOKER MET SECTIE 6/7.
NSEL,ALL
ESEL,ALL
*ENDDO ! EINDE LUS MBT KOPPELING ONDER/BOVEN KOKER MET SECTIE 6/7 AAN SPANSTAAT.

ALLSEL,ALL
NUMMRG,NODE
NUMCNP,ALL

/TITLE,ORIËNTERING ELEMENTEN GELIJKSTELLEN NA SPIEGEL-OPERATIE.
NSEL,S,LOC,X,+TOLR,-BSCHUIF-TOLR
ESLN,S,1
ESEL,R,TYPE,,2
NSLE,S
ENSYM,0,,0,ALL

NSEL,S,LOC,X,+TOLR,-BSCHUIF-TOLR
ESLN,S,1
ESEL,R,TYPE,,3
ESEL,R,SEC,,5,7,1
NSLE,S
ENSYM,0,,0,ALL

!/TITLE,PROFIELEN SECTIE 6/7 OMWIFFELEN IN GESPIEGELED GEDEELTE.
!ESEL,S,SEC,,6,7
!NSLE,S
!INSEL,R,LOC,X,TOLR,-BSCHUIF-TOLR
!ESLN,S,1
!ESEL,R,SEC,,6
!EMODIF,ALL,SECNUM,,7
!ESLN,S,1
!ESEL,R,SEC,,7
!EMODIF,ALL,SECNUM,,6
ALLSEL,ALL

!-----!
! PLOTS PREPROCESSING. !
!-----2-----4-----6-----8-----0-----2-----+!
/VIEW,1,1,1,1
/TITLE,COMPLEET MODEL, ISOMETRIE.
EPLOT
/VIEW,1,0,1,0
/TITLE,COMPLEET MODEL, BOVENAANZICHT.
EPLOT
/VIEW,1,1,0,0
/TITLE,COMPLEET MODEL, ZIJAAANZICHT.
EPLOT
/VIEW,1,0,0,1
/TITLE,COMPLEET MODEL, VOORAANZICHT.
EPLOT
/VIEW,1,1,1,1
/TITLE,VOORWAND+EINDHARREN (SHELL63), ISOMETRIE.

```

ESEL,S,TYPE,,1
EPLOT
/TITLE,BUIZEN VAKWERK (PIPE16), ISOMETRIE.
ESEL,S,TYPE,,2
EPLOT
/TITLE,KOKERS EN BALKEN IN VOORWAND (BEAM188), ISOMETRIE.
ESEL,S,TYPE,,3
EPLOT
/TITLE,VOORSPANSTAVEN (BEAM4), ISOMETRIE.
ESEL,S,TYPE,,4
EPLOT
/TITLE,PUNTMASSA TPV SAMENKOMST BUIZEN (MASS21), ISOMETRIE.
ESEL,S,TYPE,,5
EPLOT
ALLSEL,ALL

SAVE
FINISH ! VERLAAT PREPROCESSOR.

:EIND

/SHOW,TERM
/OUTPUT,TERM
/EOF

/BATCH

/FILNAM,SVKO_BET_SCH_PREP,1 ! BEWAAR DATABASE ONDER JOBNAAM :
"SVKO_BET_SCH_PREP.DB"
RESUME

/SHOW,SVKO_BET_SCH_BEL,PIC,0,8 ! RASTER-PLOT, SLA GRAFIEKEN OP IN BESTAND
"SVKO_BET_SCH_BEL.PIC".
/OUTPUT,SVKO_BET_SCH_BEL,OUT ! SLA GEGEVENS MBT UITVOER OP IN BESTAND
"SVKO_BET_SCH_BEL.OUT".
/NERR,200,1E6-1,-1 ! MAX AANTAL FOUTMELDINGEN PER SESSIE (999999) IN BATCH
MODE, -1 : DOORGaan indien bereikt.

/PREP7

!-----!
! GRAFISCHE INSTELLINGEN !
!-----+
! /GRAPHICS,FULL ! COMPLEET OBJECT, GELDT OOK VOOR RESULTATEN.
/GRAPHICS,POWER ! ALLEEN BUITENSTE SCHIL, GELDT OOK VOOR RESULTATEN.
/VIEW,1,0,0,1 ! KIES AANZICHT OP DOORSNEDE.
/SHADE,1,PHON ! GEBRUIK PHONG-SHADING.
IMMED,0 ! ALLEEN GRAPHIC'S OP "AANVRAAG".
/LIGHT,1,,,1,1,1
/NUMBER,1
/PNUM,KP,1
/PNUM,LINE,1
/PNUM,AREA,1
/PNUM,NODE,0
/PNUM,ELEM,0
/PNUM,MAT,1
/PNUM,TYPE,0
/PSYMB,CS,0
/HEADER,OFF,OFF ! BLADKOP EN SUBTITEL IN UITVOER UITZETTEN.
/ESHAPE,1 ! GEEF ELEMENTEN WEER MET WERKELIJKE DIKTE.
/PLOPTS,FRAME,0 ! FRAME OM GRAFIEK UIT.

```

```
/PLOPTS,VERS,0 ! ANSYS-LOGO MET REVISIENUMMER IN RECHTERBOVENHOEK  
UITZETTEN.  
/PLOPTS,MINM,1 ! AANDUIDING MINIMUM/MAXIMUM AAN- (1) UITZETTEN (0).  
/TYPE,1,HIDP ! HIDDEN PRECISE, IN GEVAL VAN "/NOERASE"-PLOTS.  
/TRIAD,LTOP ! SYMBOOL ASSENKRUIS IN LINKERBOVENHOEK GRAFIK.  
WPSTYL,,,,,,OFF  
/GFILE,1024 ! GEBRUIK DE HOOGSTE RESOLUTIE.  
/GSAVE,PLOT,OPT ! SLA GRAFISCHE INSTELLINGEN OP IN BESTAND "PLOT.OPT"  
  
FINISH ! VERLAAT PREPROCESSOR.  
  
/RUNSTAT  
RSPEED,,250,500  
RALL  
FINISH  
  
/SOLUTION  
ANTYPE,STATIC  
! RESCONTROL,DEFINE,NONE ! SCHRIJF GEEN .rdb EN .ldhi-BESTANDEN (BEPERK AANTAL  
WEGGESCHREVEN BESTANDEN).  
  
/TITLE,TBV SOLCONTROL MINIMAAL NODIG "NSUBST,..." OF "DELTIM" EN "NLGEOM,ON".  
SOLCONTROL,ON,ON  
! PRED,OFF  
! SSTIF,ON ! STRESS STIFFENING, NODIG VOOR LINK10-ELEMENTEN.  
! LNSRCH,ON,,,1E-06 ! AUTO IS AANBEVOLEN, UNDOCUMENTED FEATURE  
TERUGSCHALING NAAR 1E-06 IPV 5E-02.  
NSUBST,1,10,1 ! MINIMAAL 1 SUBSTEP.  
NLGEOM,ON ! ER KOMEN NIET-LINEAIRE ELEMENTEN VOOR, LET OP : "ON"  
IMPLOICEERT "/DSCALE,1,1" !!!!.  
! CNVTOL,F,VSPPLVER,0,005,2 ! (SRSS) 0.5 % VAN DE BELASTING ALS  
CONVERGENTIECRITERIUM MBT KRACHTEN.  
! CNVTOL,U,.9,0,005,2 ! (SRSS) 0.5 % VAN DE BREEDTE ALS CONVERGENTIECRITERIUM MBT  
VERPLAATSINGEN.  
! EQSLV,FRONT  
PSTRES,ON ! ACTIVEER PRESTRESS EFFECTS (TBV LATERE PRESTRESSED  
MODAAL ANALYSE).  
! KBC,0 ! RAMP CHANGE B.C.'S  
! AUTOTS,ON  
OUTRES,ALL,LAST  
  
!-----!  
! BELASTINGEN. !  
!----+---2---+---4---+---6---+---8---+---0---+---2---+!  
! RVW NAAR INVOERFILE VERHUISD IVM KOPPELING KNOPEN.  
CSYS,0  
WPCSYS,-1,0  
  
/TITLE, ZWAARTEKRACHT  
ACEL,,9.8 ! ZWAARTEKRACHT [M/S^2]  
  
/TITLE, AANBRENGEN WATERBELASTING  
BELLIJN=11.2 ! LOKATIE VAN KNIK IN BELASTINGDIAGRAM T.O.V.  
ONDERZIJDE SCHUIF  
NSEL,S,LOC,Z,-TOLR,TOLR  
NSEL,R,LOC,Y,-TOLR,TOLR+BELLIJN  
ESLN,S,1  
ESEL,R,TYPE,,1  
SFGRAD,PRES,,Y,0,982  
SFE,ALL,1,PRES,,103000  
CM,BELONDER,ELEM
```

```
ALLSEL,ALL
ESEL,S,REAL,,12
CMSEL,U,BELONDER
SFGRAD,PRES,,Y,HSCHUIF,-11429
SFE,ALL,1,PRES,,106000

TIME,1

ALLSEL,ALL
SAVE

/GOPR
/STAT,SOLU
/NOPR

SOLVE

FINISH

/POST1

/GOPR
SET,LAST

ESEL,S,TYPE,,1      ! POST-ITEMS GELDEN HIER SPECIFIEK VOOR TYPE(1)=SHELL63.
ETABLE,SX_1,S,X      ! SPANNINGEN X-RICHTING VOOR TYPE 1.
ETABLE,SY_1,S,Y      ! IDEM, Y-RICHTING.
ETABLE,SZ_1,S,Z      ! IDEM, Z-RICHTING (IVM PLATHEID SHELL ZIJN MAAR TWEE
RICHTINGEN RELEVANT !).
ETABLE,SXY_1,S,XY     ! SCHUIFSPANNINGEN XY-RICHTING VOOR TYPE 1.
ETABLE,S1_1,S,1       ! HOOFDSPANNINGEN 1-RICHTING VOOR TYPE 1.
ETABLE,S2_1,S,2       ! IDEM, 2-RICHTING.
ETABLE,S3_1,S,3       ! IDEM, 3-RICHTING (IVM PLATHEID SHELL ZIJN MAAR TWEE
HOOFDRICHTINGEN RELEVANT !).

ESEL,S,TYPE,,2      ! SMISC-ITEMS GELDEN HIER SPECIFIEK VOOR TYPE(2)=PIPE16.
ETABLE,FXI_2,SMISC,1
ETABLE,FXJ_2,SMISC,7
ETABLE,FYI_2,SMISC,2
ETABLE,FYJ_2,SMISC,8
ETABLE,FZI_2,SMISC,3
ETABLE,FZJ_2,SMISC,9
ETABLE,MOMXI_2,SMISC,4
ETABLE,MOMXJ_2,SMISC,10
ETABLE,MOMYI_2,SMISC,5
ETABLE,MOMYJ_2,SMISC,11
ETABLE,MOMZI_2,SMISC,6
ETABLE,MOMZJ_2,SMISC,12

ESEL,S,TYPE,,3      ! SMISC-ITEMS GELDEN HIER SPECIFIEK VOOR TYPE(3)=BEAM188.
ETABLE,FXI_3,SMISC,1
ETABLE,FXJ_3,SMISC,7
ETABLE,FYI_3,SMISC,2
ETABLE,FYJ_3,SMISC,8
ETABLE,FZI_3,SMISC,3
ETABLE,FZJ_3,SMISC,9
ETABLE,MOMXI_3,SMISC,4
ETABLE,MOMXJ_3,SMISC,10
ETABLE,MOMYI_3,SMISC,5
ETABLE,MOMYJ_3,SMISC,11
ETABLE,MOMZI_3,SMISC,6
```

ETABLE,MOMZJ_3,SMISC,12

ESEL,S,TYPE,,4 ! SMISC-ITEMS GELDEN HIER SPECIFIEK VOOR TYPE4=BEAM4.
ETABLE,FXI_4,SMISC,1
ETABLE,FXJ_4,SMISC,7
ETABLE,FYI_4,SMISC,2
ETABLE,FYJ_4,SMISC,8
ETABLE,FZI_4,SMISC,3
ETABLE,FZJ_4,SMISC,9
ETABLE,MOMXI_4,SMISC,4
ETABLE,MOMXJ_4,SMISC,10
ETABLE,MOMYI_4,SMISC,5
ETABLE,MOMYJ_4,SMISC,11
ETABLE,MOMZI_4,SMISC,6
ETABLE,MOMZJ_4,SMISC,12

ESEL,ALL

/AUTO,1 ! NODIG BINNEN LOOP TGV VERANDERING VIEWPOINT/DISTANCE BIJ
GRAPH'S.
/CONTOUR,1,128,AUTO
/DSCALE,1,20 ! DEFAULT GAAT DIT NAAR "/DSCALE,1,1" MET "NLGEOM,ON".
/PLOPTS,MINM,1
/VIEW,1,1,1,1
/TITLE,VERPLAATSINGEN ONDER WATER + EG + VOORSPANNING.
PLDISP,1

ESEL,U,MAT,,2

/AUTO,1 ! NODIG BINNEN LOOP TGV VERANDERING VIEWPOINT/DISTANCE BIJ
GRAPH'S.
/CONTOUR,1,128,AUTO
/DSCALE,1,20 ! DEFAULT GAAT DIT NAAR "/DSCALE,1,1" MET "NLGEOM,ON".
/PLOPTS,MINM,1
/VIEW,1,1,1,1
/TITLE,VERPLAATSINGEN ONDER WATER + EG + VOORSPANNING.
PLDISP,1

ESEL,ALL

ESEL,S,TYPE,,1

/TITLE,SPANNINGEN X-RICHTING SHELL'S (SHELL63) WATER + EG + VOORSP.
PLETAB,SX_1,AVG

/TITLE,SPANNINGEN Y-RICHTING SHELL'S (SHELL63) WATER + EG + VOORSP.
PLETAB,SY_1,AVG

/TITLE,SPANNINGEN Z-RICHTING SHELL'S (SHELL63) WATER + EG + VOORSP.
PLETAB,SZ_1,AVG

/TITLE,HOOFDSPANNINGEN SHELL'S RICHTING 1

PLETAB,S1_1,AVG

/TITLE,HOOFDSPANNINGEN SHELL'S RICHTING 2

PLETAB,S2_1,AVG

/TITLE,HOOFDSPANNINGEN SHELL'S RICHTING 3

PLETAB,S3_1,AVG

! VOOR WAPENINGSMOMENTEN BIJVOORBEELD :

"SMULT,WAPMMOMJ_2,MOMXJ_2,MOMZJ_2,1,1"

ESEL,S,TYPE,,2

/TITLE,BUIGENDE MOMENTEN OM Y-AS BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.

! SMULT,MOMYJ_2,MOMYJ_2,-1

PLLS,MOMYI_2,MOMYJ_2,.10 ! SCHALFACTOR 1/10, EVEN UITKNOBBELEN WAT NODIG IS.

/TITLE,BUIGENDE MOMENTEN OM Z-AS BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.

```
! SMULT,MOMZJ_2,MOMZJ_2,,,-1
PLLS,MOMZI_2,MOMZJ_2,,10
/TITLE,DWARKRACHTEN IN Y-RICHTING BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FYJ_2,FYJ_2,,,-1
PLLS,FYI_2,FYJ_2
/TITLE,DWARKRACHTEN IN Z-RICHTING BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FZJ_2,FZJ_2,,,-1
PLLS,FZI_2,FZJ_2
/TITLE,NORMAALKRACHTEN IN X-RICHTING BUIZEN (PIPE16) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FXJ_2,FXJ_2,,,-1
PLLS,FXI_2,FXJ_2

ESEL,S,TYPE,,3
/TITLE,BUIGENDE MOMENTEN OM Y-AS BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,MOMYJ_3,MOMYJ_3,,,-1
PLLS,MOMYI_3,MOMYJ_3
/TITLE,BUIGENDE MOMENTEN OM Z-AS BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,MOMZJ_3,MOMZJ_3,,,-1
PLLS,MOMZI_3,MOMZJ_3
/TITLE,DWARKRACHTEN IN Y-RICHTING BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FYJ_3,FYJ_3,,,-1
PLLS,FYI_3,FYJ_3
/TITLE,DWARKRACHTEN IN Z-RICHTING BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FZJ_3,FZJ_3,,,-1
PLLS,FZI_3,FZJ_3
/TITLE,NORMAALKRACHTEN IN X-RICHTING BALKEN (BEAM188) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FXJ_3,FXJ_3,,,-1
PLLS,FXI_3,FXJ_3
ESEL,ALL

ESEL,S,TYPE,,4
/TITLE,NORMAALKRACHTEN IN X-RICHTING SPANSTAVEN (BEAM4) WATER + EG + VOORSP.
! SMULT,FXJ_3,FXJ_3,,,-1
PLLS,FXI_3,FXJ_3
ESEL,ALL

:EIND

/SHOW,TERM
/OUTPUT,TERM
/EOF
```


Bijlage E Offerte Richtprijs prefabonderdelen Hurks Beton



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
T.a.v. Dhr. H. Tol
Postbus 59
2700 AB ZOETERMEER

Veldhoven: 06 september 2000
Ons kenmerk: 40517/WS/SL/13586

OFFERTE

Betreft : Richtprijs - betonnen schuiven SVKO.

Geachte heer Tol,

Onder dankzegging voor Uw aanvraag, hebben wij het genoegen U hierbij aan te bieden een indicatielprijs voor het leveren van de prefab elementen voor één betonnen schuif (B.S.I.).

POS.

- 01 Onderdelen voor het formeren van één betonnen schuif.
 8 stuks platen incl. naspansysteem
 2 stuks eind Har elementen. incl. naspansysteem
 33 stuks knooppunt elementen.
 67 stuks buizen.

Uitgangspunt.

- Uitvoering in hoge sterkte beton B200 (BSI).
- Excl. zachtstaalwapening.
- Incl. het aanbrengen van de door u toe te leveren onderdelen voor de later aan te brengen naspanning.
- De aan te brengen voorspanning door u opgegeven, verdient nog enige studie. Wij hebben gerekend op de benodigde materialen doch om deze wapening aan te brengen, zal de doorsnede moeten worden aangepast.
- Levering af fabriek, geladen op wagen.

Hurks Beton B.V. is een onderdeel van de Hurks Holding
Postbus 221, 5500 AE Veldhoven, Locht 126, 5504 RP Veldhoven
tel. (040) 294 49 49, fax (040) 294 49 00, e-mail info@hurksbeton.nl



ons kenmerk: 40517/WS/SL/13586
blad: 2

**TOTAALPRIJS LEVERING ONDERDELEN,
AF FABRIEK, VAN DE EERSTE SCHUIF,
EXCL. B.T.W.**

f. 2.925.000,-

=====

Meerprijs voor de onderdelen van een deur
extra in aansluitende productie
(uitgaande van een identieke schuif)

f. 2.390.000,-

TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN.

Voor deze offerte dienden de bij Uw aanvraag d.d. 14-08-2000 behorende gegevens als uitgangspunt.

Berekeningen volgens VBC1990/VBT1986.

TOLERANTIES.

De elementen worden geproduceerd binnen de maattoleranties zoals deze zijn vastgelegd in de NEN 2889.

UITVOERING.

De elementen worden uitgevoerd als constructieve beton. Deze onderdelen worden zonder bijzondere bewerking geleverd. De stortzijde wordt gerold en/of geschuurde.

Bij deze aanbieding zijn wij ervan uitgegaan dat de detailleringen van de elementen aan onze mallen en/of wijze van produceren kunnen worden aangepast.

WAPENING (zachtstaal).

Wij hebben gerekend op ongewapende elementen.

INSTORTINGEN/VOORZIENINGEN.

Onze prijs is exclusief voorzieningen voor bevestiging van niet door ons aan te brengen materialen. Zie hiervoor de bijgevoegde lijst met verrekenprijzen.



ons kenmerk: 40517/WS/SL/13586
blad: 3

PRODUCTIETIJD.

In nader overleg bij opdracht vast te stellen.

Wij hebben gerekend op een ononderbroken productie bij een door ons te bepalen optimale inzet van de mallen.

TEKENINGEN EN BEREKENINGEN.

De kosten van tekeningen en berekeningen van de prefab-elementen zijn niet in onze prijs inbegrepen.

De definitieve gegevens voor het teken- en rekenwerk dienen bij opdracht in ons bezit te zijn.

LEVERTIJD.

In nader overleg.

GARANTIES.

Gedurende 10 jaar geldt voor alle door Hurks Beton B.V. uitgevoerde projecten binnen de Benelux een verzekerde garantie op de door haar geproduceerde goederen en geleverde diensten. Ten behoeve van deze verzekering dient in alle overeenkomsten vermeld te worden dat de elementen vervaardigd worden onder KOMO-certificaat no. K 2132/06 en dat gewerkt wordt volgens de NEN-ISO 9001 norm onder kwaliteitssysteemcertificaat no. K20025/01.

Indien door Hurks Beton produkten en/of diensten (zoals vloerplaten, in te storten tegels e.d.) moeten worden geleverd, welke door Hurks Beton elders moeten worden betrokken, zal t.z.t. enkel de garantie verstrekt door de onderaannemer of toeleverancier van Hurks Beton integraal van toepassing kunnen zijn.

ALGEMEEN.

Op onze offertes en opdrachten zijn van toepassing de Verkoopvoorwaarden van de Bond van Fabrikanten van Betonprodukten in Nederland waarvan U ingesloten een exemplaar gelieve aan te treffen.



ons kenmerk: 40517/WS/SL/13586
blad: 4

Het loonkostenbestanddeel bedraagt 45%.

De peildatum is 01-09-2000.

Bepalingen van het bestek welke ons niet zijn toegezonden, zijn niet van toepassing op deze offerte.

De geldigheidsduur van deze offerte is 60 dagen.

Deze offerte is een geheel en ondeelbaar.

Hurks Beton zou in de gelegenheid gesteld willen worden de gehele uitvoeringsperiode een eigen reclamebord te plaatsen op een voor voorbijgangers duidelijk zichtbare plaats. Indien een gezamenlijk bord (lattenbord) wordt geplaatst, wil Hurks Beton zich via dit bord kunnen presenteren.

FACTURERING.

20% vooruitbetaling bij opdracht.

70% naar rato productie, per twee weken.

10% naar rato levering.

BETALING.

30 dagen netto na factuurdatum.

Vertrouwend U hiermede een passende aanbieding te hebben gedaan, zien wij Uw gewaardeerde opdracht, welke stipt en vakkundig zal worden uitgevoerd, gaarne tegemoet.

Hoogachtend,

HURKS BETON B.V.

Deze offerte is behandeld door Dhr. W.C. Swinkels.

Bijlagen: - de voorwaarden van de BFBN,
- KOMO-produktcertificaat,
- KOMO-kwaliteitssysteemcertificaat,
- garantiecertificaat.

Bijlage F Afstudeeropdracht

Aan
De heer H. Tol
Student bij de Faculteit Civiele Techniek
en Geowetenschappen, Sectie
Betonconstructies van de TU Delft

Contactpersoon	Doorkiesnummer
D. Ros	079 3292407
Datum	Bijlage(n)
8 november 1999	
Ons kenmerk	Uw kenmerk
NIO-A-N-99068	-
file: afstu.betonschuifsvko.doc	
Onderwerp	
Afstudeeropdracht productieontwerp betonnen schuiven voor de stormvloedkering Oosterschelde	

DOEL

Een productierijk ontwerp, een integrale kostenraming en een milieuvergelijking ten opzichte van staal en kunststof voor de schuiven van de stormvloedkering Oosterschelde (SVKO) van hogesterkebeton B200.

KADER EN AANLEIDING TOT DE AFSTUDEEROPDRACHT

De Bouwdienst Rijkswaterstaat streeft naar het verlagen van de integrale kosten van haar producten (de ontwerp- bouw- onderhouds- bedrijfs- en kringloopkosten). In dat kader worden studies uitgevoerd naar de technische en economische haalbaarheid van constructies met alternatieve materialen, ontwerp- en bouwmethoden. Door het ontwerpen en bouwen van draagconstructies in alternatieve materialen zoals kunststof en beton wordt de hiervoor benodigde kennis ontwikkeld en vastgelegd.

Er zijn reeds haalbaarheidsstudies en ontwerpen gemaakt van een schutschuif van kunststof, een ophaalbrug en een klapbrug voor verkeersbelasting van kunststof als alternatief voor de gebruikelijke stalen varianten, en een loopbrug van kunststof. De schutschuif werd geproduceerd en is sinds 1993 in bedrijf genomen. De loopbrug van kunststof werd in december 1998 geplaatst. In 1998 werd een afstudeeronderzoek uitgevoerd naar hogesterke betonnen schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde [2]. In oktober j.l. werd een afstudeeronderzoek afferond met betrekking tot de technische en economische haalbaarheid van een kunststof schuif voor de Stormvloedkering Oosterschelde [4]. Op dit moment loopt er een afstudeeronderzoek voor een ophaalbrug voor verkeersbelasting in hogesterkebeton B200 [3]. Ook wordt het gebruik van schuiven, sluisdeuren, loopbruggen en damwand in hogesterkebeton B200 voorbereid. Begin volgend jaar zal het eerste stel puntdeuren van kunststof in Nederland in gebruik worden genomen.

Door de technische mogelijkheden met hogesterkebeton B200 is er behoefte ontstaan om als vervolg op het haalbaarheidsonderzoek van Keuzenkamp [2] een productieontwerp te maken van de schuiven van de Stormvloedkering Oosterschelde in hogesterkebeton B200 in vergelijking met een schuiven die uitgevoerd zijn in staal en in kunststof. Hierbij dient een optimaal gebruik te worden gemaakt van de reeds verkregen studieresultaten [2], [3] en [4].

OMSCHRIJVING VAN DE AFSTUDEEROPDRACHT

Het afstudeerwerk zal worden gebaseerd op de randvoorwaarden en eisen zoals vastgelegd in de ontwerpnota stormvloedkering Oosterschelde [1].

Meer in detail omvat het afstudeerwerk de onderstaande punten:

- Het maken van een planning voor de afstudeerfase en kennis nemen van relevante literatuur.
- Inventarisatie van eisen en randvoorwaarden.
- Inventarisatie van materiaaleigenschappen, productietechnieken en basisconcepten.
- Uitwerken van tenminste twee basisconcepten.
- Onderbouwing van de keuze van de voorkeursvariant op basis van techniek, integrale kosten en milieubelasting (kringloopaspecten).
- Constructieve uitwerking en integrale kosten van de voorkeursvariant bij variatie van de seriegrootte (1, 10 en 50 stuks) en in vergelijking met de stalen varianten: ongeverfd, periodiek geverfd, geconserveerd met een aludeklaag en in vergelijking met de kunststof variant.
- Het berekenen van spanningen en vervormingen met een eindige elementenmodel.
- Milieubelasting van de betonnen schuiven ten opzichte van de hiervoor genoemde stalen varianten en die van kunststof.

Rekening moet worden gehouden met praktische aspecten als:

- Volledige uitwisselbaarheid van de betonnen schuif met de stalen schuiven.
- Beschouwen van trillingseffecten (in een vroeg stadium) veroorzaakt door het langsstromende water, door middel van de vormgeving van de schuif.
- De gunstige stromings- en belastingeigenschappen van de huidige stalen schuiven.
- Eigengewichts- of opdrijfeffecten in relatie tot de beweegkrachten van de bestaande bewegingswerken.
- Vermoeiing-, inspectie-, onderhouds- en monitoringaspecten.

BEGELEIDING, PLANNING EN WERKPLEK

De begeleiding van het afstudeerwerk vindt als volgt plaats: De afstudeerde is ingeschreven bij de Bouwdienst Rijkswaterstaat, afdeling Ontwikkeling Technieken van de Natte Infrastructuur (NIO). Begeleiding zal plaatsvinden door D. Ros (NIO) en in samenspraak met J.T. de Vries (NIC). Technisch-inhoudelijke begeleiding vindt in hoofdzaak plaats door C. van der Veen, TU Delft. Materiaalspecifieke kennis kan onder meer worden verkregen bij N. Kaptijn van de afdeling Ontwikkeling Technieken van de Droge Infrastructuur (DIO). Voor stromingseffecten kan A. Vrijburcht (NIC) worden geraadpleegd. Eisen en randvoorwaarden voor de schuiven kunnen worden verstrekt door G. Westerman van de afdeling Staalconstructies van de Natte Infrastructuur (NIS).

Het afstudeerwerk begon op 27 september 1999 en zal naar verwachting gereed zijn op 31 augustus 2000. De werkplek met PC is ter beschikking gesteld door afdeling NIO te Zoetermeer, kamer A126.

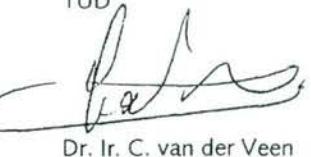
ALGEMEEN

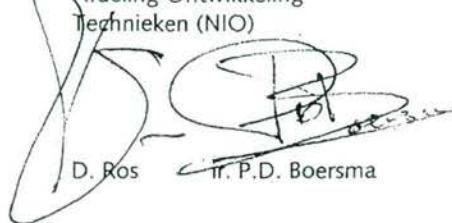
Het verslag wordt voorafgegaan door een samenvatting van de inhoud. Het manuscript is mede eigendom van de Bouwdienst Rijkswaterstaat. Eventuele publicaties vinden plaats in overleg met de Bouwdienst Rijkswaterstaat. Van het rapport wordt één losbladig exemplaar bij de afstudeerbegeleider van de Bouwdienst ingeleverd en 10 gebonden exemplaren.

VOOR AKKOORD: (handtekening en datum):

Student
Civiele Techniek
THD

H. Tol

Faculteit
Civiele Techniek
TUD

Dr. Ir. C. van der Veen

Bouwdienst Rijkswaterstaat
Afdeling Ontwikkeling
Technieken (NIO)

D. Ros Dr. P.D. Boersma

Literatuur

1. Rijkswaterstaat; Ontwerpnota stormvloedkering Oosterschelde; Bibliotheekrapportnummer C557; 1986(?)
2. A.J.M. Keuzenkamp: Hogesterktebetonnen schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde; januari 1998.
3. Vergoossen; Ontwerp van een ophaalbrug in (zeer) hoge sterktebeton, voor verkeersklasse 600; Deelrapport 1; Literatuurstudie naar de eigenschappen, toepassingen en productietechnieken van Reactive Powder Concrete en Hoge Sterkte Beton; maart 1999.
4. Van der Laken; Ontwerp van de schuiven van de Oosterscheldekering in vezelversterkte kunststoffen; oktober 1999.

C.C.
P.D. Boersma (BD-NIO)
J.C.F. Hendriks (BD-NI)
J. Jongedijk (BD-BS)
R. van Tol (BD-NIW)
N. Kaptijn (BD-DIO)
J.T. de Vries (BD-NIC)
A. Vrijburcht (BD-NIC)
H. van der Weijde (BD-NIS)
G. Westerman (BD-NIS)

* einde document *

