

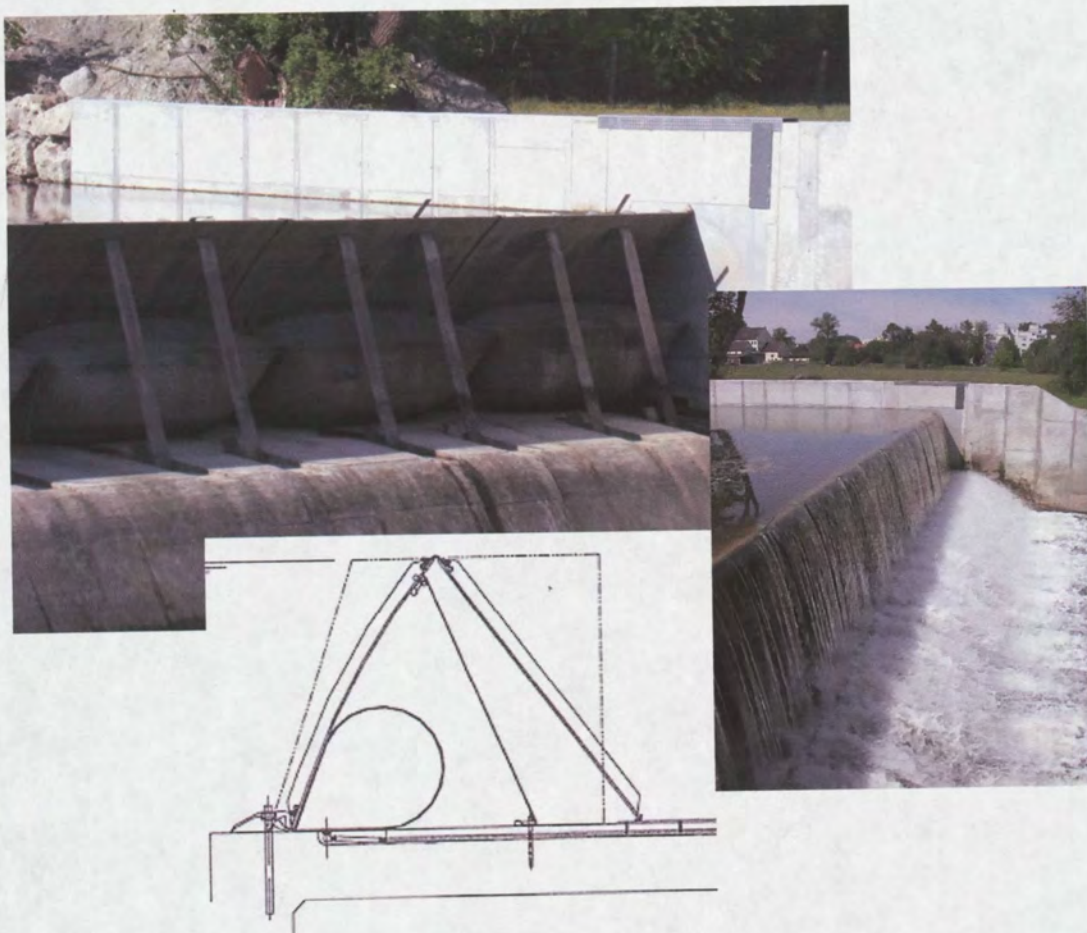
DI:323274



Afstudeeropdracht  
**Klepstuw bij Sambeek**

Deelverslag2

- Dimensionering klep  
uitgevoerd in staal en kunststof



Afstudeeropdracht

Project: Klepstuw bij Sambeek

Status: Definitief

Datum: 10 juli 2002

Auteur: M. van Helden



## Klepstuw bij Sambeek

Afstudeeropdracht 2002

Definitief Deelverslag2: Dimensionering klep uitgevoerd in staal en kunststof.

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT  
NR. 23622 BDU

Auteur:

M. van Helden  
Kantonnaleweg 10  
3542 DB Utrecht

Telefoon:  
030-2413882  
06-41374019

Studentnr.: 1070676

Begeleiding:

Hogeschool van Utrecht  
L.I. de Lijser

Bouwdienst Rijkswaterstaat te Utrecht  
J. Zuurveld

Datum:

10 juli 2002



## Samenvatting.

Het doel van dit deelverslag is een keuze maken tussen een stalen klep en een kunststof klep. Hiervoor moeten eerst de belastingen en de belastingcombinaties worden bepaald. De belastingen die meegenomen worden in de berekening zijn waterdruk en golfslag, na de bepaling van de afmetingen en profielen wordt het eigen gewicht van de constructie bepaald. Normaliter worden er meerdere belastingcombinaties doorgerekend, daarom is er vooraf ook onderzoek gedaan naar de kans op aanvaring tegen de stuw.

In het verdere onderzoek wordt één belastingcombinatie uitgewerkt in de Uiterste GrensToestand:

$$(1) \quad 1,2 * F(\text{Eigen gewicht}) + 1,2 * F(\text{Oppv. Water}) + 1,5 * (\text{Golven}).$$

Voor de Bruikbaarheids GrensToestand wordt de volgende combinatie toegepast:

$$(1) \quad 1,0 * F(\text{Eigen gewicht}) + 1,0 * F(\text{Oppv. Water}) + 1,0 * (\text{Golven}).$$

In allebei de gevallen wordt, zoals hierboven vermeld, het eigen gewicht in eerste instantie buiten beschouwing gelaten.

Vervolgens zijn er een aantal varianten opgesteld, twee varianten voor een staal ontwerp en een variant voor de kunststof klep:

Variant 1A: Een raamwerk; een klep opgebouwd uit hoofd- en dwarsdragers met daar overheen een beplating.

Variant 1B: Een stalen klep met in één richting verstijvingsribben.

Variant 2: Een kunststof klep met in één richting verstijvingselementen.

De opbouw van de verschillende varianten is globaal bepaald en de bijbehorende constructieschema's zijn ook vastgelegd.

De schematisering van de balgondersteuning levert problemen op: in werkelijkheid geeft de balg een lijnlast-ondersteuning, maar aangezien de lengte van de lijnlast en de druk in de balg onbekend zijn, wordt de balg geschematiseerd als roloplegging.

Het gevolg van deze aanname is dat de profielen en afmetingen groter worden dan dat werkelijk nodig is. Daarom wordt de roloplegging op 5m vanaf het scharnierpunt van de klep geplaatst, dit levert het kleinste profiel op.

Vervolgens zijn de varianten doorgerekend om te bepalen wat voor plaatdiktes en profielen moeten worden toegepast.

Variant 1A raakt al gauw buiten beeld als blijkt dat deze niet uitvoerbaar is, omdat het raamwerk aan twee kanten een beplating heeft en dit kan niet gerealiseerd worden.

De keuze volgt tussen een stalen plaat met verstijvingsribben of een kunststof klep met verstijvingselementen.

De keuze van de variant wordt bepaald op basis van de life-cyclekosten.

De life-cyclekosten worden bepaald aan de hand van de volgende aspecten:

- Materiaalkosten
- Onderhoudskosten
- Levensduur

De stuw moet zo onderhoudsarm mogelijk worden ontworpen, de reden hiervoor is dat de kosten dan laag zijn.

De meest gunstige variant is de kunststof variant wat betreft kosten.



Inhoudsopgave.

Samenvatting.....	1
1. Inleiding.....	4
2. De belastingen en belastingcombinaties.....	5
2.1 Bepaling van soorten belastingen.....	5
2.2 De waardes.....	5
2.2.1 Eigen gewicht.....	5
2.2.2 Oppervlakte water.....	5
2.2.3 Golfslag.....	6
2.2.4 IJs.....	7
2.3 Onderzoek aanvaring door voertuigen.....	7
2.4 De belastingfactoren.....	8
2.5 De belastingcombinaties.....	8
2.5.1 De keuze.....	8
3. Een raamwerk (Variant 1A).....	10
3.1 Opbouw.....	10
3.1.1 Materiaal.....	10
3.1.2 Plaats balgondersteuning.....	10
3.2 Constructieschematisering.....	11
3.3 Berekening profielen.....	12
3.3.1 Eigen gewicht.....	12
3.3.2 Corrosie.....	13
3.3.3 Conclusie alternatieven.....	13
3.4 Werkelijke opbouw klep.....	13
3.5 Onderhoud.....	14
3.6 Uitvoering.....	15
3.7 Niet-variantgebonden aspecten.....	15
3.7.1 Vervoer.....	16
3.7.2 Balg.....	16
3.7.3 Plegen onderhoud.....	16
4. Een stalen klep met in één richting verstijvingsribben (Variant 1B).....	17
4.1 Opbouw.....	17
4.1.1 Materiaal.....	17
4.1.2 Plaats balgondersteuning.....	17
4.2 Constructieschematisering.....	18
4.3 Berekening klep.....	18
4.3.1 Eigen gewicht.....	18
4.4 Werkelijke opbouw klep.....	19
4.5 Onderhoud.....	19
5. Een kunststof klep met in één richting verstijvingselementen (Variant 2).....	20
5.1 Opbouw.....	20
5.1.1 Materiaal.....	20
5.1.2 Plaats balgondersteuning.....	20
5.2 Constructieschematisering.....	21
5.3 Berekening klep.....	22
5.3.1 Eigen gewicht.....	22
5.4 Fabricagemethoden.....	22
5.5 Onderhoud.....	23
6. Keuze variant.....	24



6.1	De kwantiteit.....	24
6.2	De kosten.....	24
6.3	Kostenoverzicht.....	25
	Totaal constructiestaal (1B).....	25
6.4	Vergelijking varianten.....	26
7.	Conclusie.....	27
7.1	Terug blik.....	27
	Literatuurlijst.....	28
	Bijlagen.....	29



## 1. Inleiding.

De plaats Sambeek ligt aan de Maas tussen Nijmegen en Venlo. Bij Sambeek ligt een sluis-/stuwcomplex dat gebouwd is omstreeks 1930.

De bestaande stuw bij Sambeek voldoet niet meer aan de te keren waterstanden t.g.v. verandering peilopzet en om ARBO- technische redenen.

De bestaande stuw bestaat uit twee gedeelten. Een poirée-stuw voor de doorgang van de scheepvaart bij hoge afvoeren, deze bestaat uit schotten die met hulp van een kraan kunnen worden geplaatst. Daarnaast een stoney-stuw voor de waterafvoer, geregeld via een hefconstructie. Zie fig.1 voor overzicht bestaande stuw.

De Bouwdienst (BD) van Rijkswaterstaat (RWS) heeft verschillende varianten opgesteld, en één van de voorkeursvarianten is de klepstuw. Deze wordt nader bekeken.

In dit deelverslag wordt uitgezocht of er beter een stalen of kunststof klep kan worden toegepast.

'Beter' wat betreft onderhoudsarm en kosten. Er volgt een globaal ontwerp van de klep uitgevoerd in staal en kunststof, zodoende heeft men een idee van de opbouw van de klep. Zo kan er een afweging worden gemaakt tussen staal en kunststof.

De opgestelde varianten:

Variant 1: stalen klep

Variant 2: kunststof klep

De eerste variant wordt uitgewerkt omdat staal tot nu toe bij dit soort waterbouwkundige constructies nog het meest wordt toegepast.

Voor de tweede variant is gekozen omdat dit op het moment erg in ontwikkeling is.

Eerst werd gedacht aan een klep bestaande uit een raamwerk met beplating. Daarnaast is gekeken naar een klep bestaande uit een plaat met verstijvingsribben. Dus voor variant 1 worden twee subvarianten behandeld:

1A: Een raamwerk; een klep opgebouwd uit hoofd- en dwarsdraggers met daar overheen een beplating.

1B: Een stalen klep met in één richting verstijvingsribben.

Voor variant 2 wordt er uitgegaan van een kunststof klep met in één richting verstijvingelementen.

Het verslag is als volgt opgebouwd:

H2 De belastingen en belastingcombinaties.

H3 Een raamwerk (Variant 1A)

H4 Een stalen klep met in één richting verstijvingsribben (Variant 1B)

H5 Een kunststof klep met in één richting verstijvingelementen (Variant 2)

H6 Keuze variant

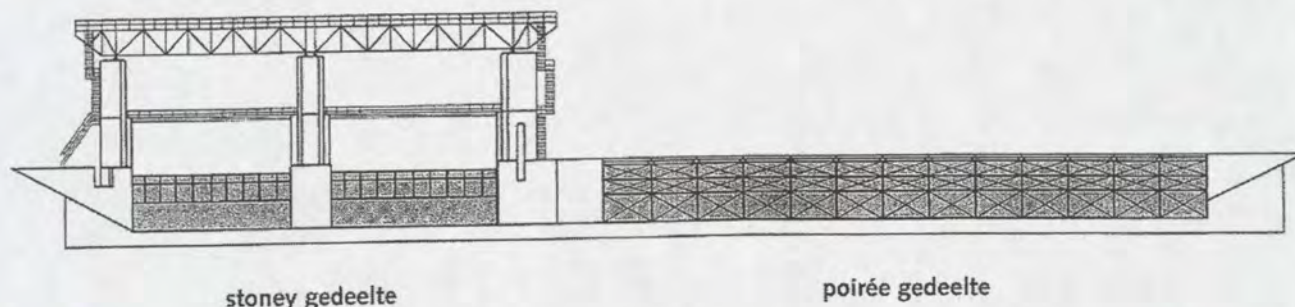


fig.1: afbeelding bestaande stuw



## 2. De belastingen en belastingcombinaties.

### 2.1 Bepaling van soorten belastingen.

Met behulp van de NEN6702 (Belastingen en vervormingen TGB 1990) zijn de belastingen bepaald die betrekking kunnen hebben op de klepstuw bij Sambeek. In de NEN deelt men de belastingen in drie groepen in, er zijn permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. De belastingen die worden bekeken:

permanent:

- Eigen gewicht.
- Oppervlakte water.

veranderlijk:

- Golfslag (t.g.v. wind)

bijzonder:

- IJs
- Aanvaring door voertuigen.

Zie bijlage 1 voor een schematische weergave van de belastingen.

Nog een aantal uitgangspunten:

- De grootste belasting op de klep is er als de klep onder een hoek van 60 graden staat, want dan is het verval over de klep het grootst.
- De veiligheidsklasse (volgens NEN6702) die wordt aangehouden is veiligheidsklasse 3, dit is de zwaarste klasse.

### 2.2 De waardes.

#### 2.2.1 Eigen gewicht.

Het eigen gewicht is afhankelijk van de constructie van de klep en het materiaal.

Er is nog niet bekend wat voor plaatdikte en profielen nodig zijn om de belastingen op te kunnen nemen. Door eerst globaal de grootte van de plaat en de profielen te bepalen die nodig zijn om de krachten ten gevolge van het waterstandsverschil en de golfslag te kunnen weerstaan. Zo kan er een inschatting worden gemaakt van het eigen gewicht van de klep.

#### 2.2.2 Oppervlakte water.

De belasting ten gevolge van het oppervlakte water is afhankelijk van de waterstanden aan weerszijden van de klepstuw. Het gaat om de druk ter plaatse van het scharnier (vandaar + 1,0m) en  $\gamma_{\text{water}}$  bedraagt  $10\text{kN/m}^3$ .

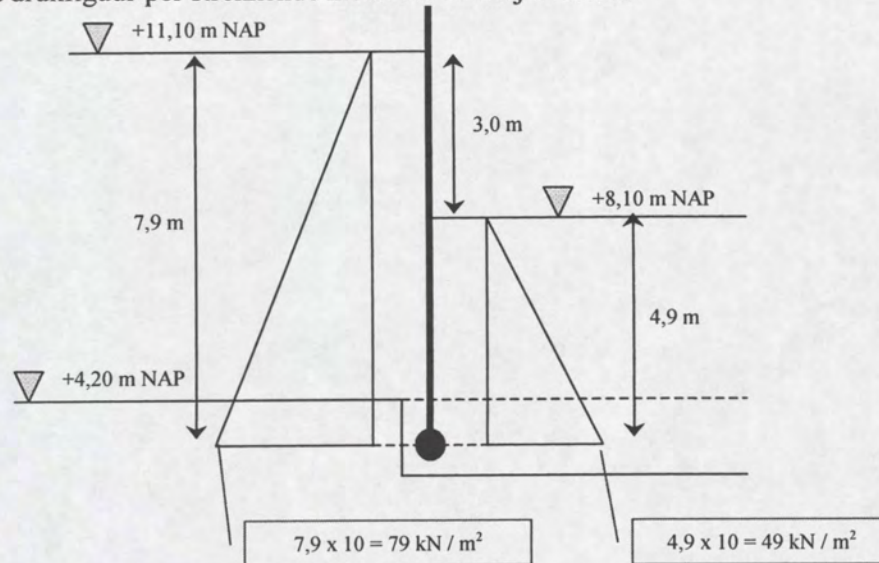
Het aantal meters waterkolom bovenstrooms is: 7,9m (+11,10mN.A.P.- +4,20mN.A.P. + 1,0m)

Het aantal meters waterkolom benedenstrooms is: 4,9m (+ 8,10mN.A.P.- +4,20mN.A.P. + 1,0m)

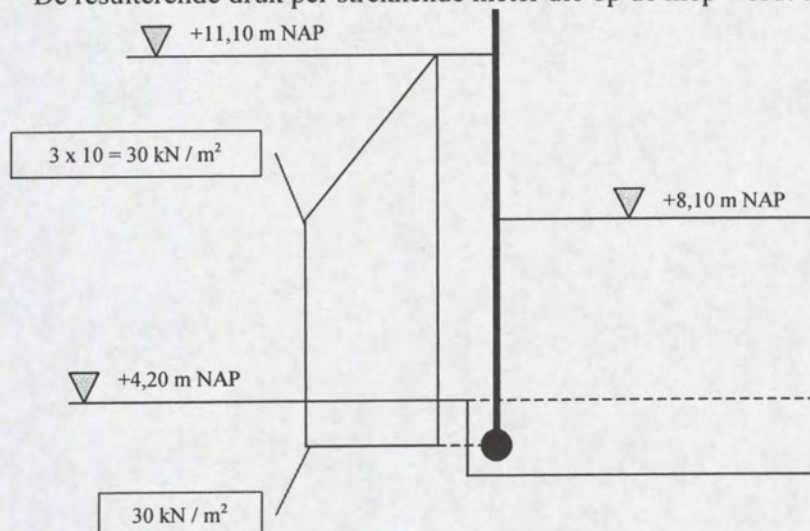
In principe wordt de klep gedimensioneerd onder een hoek van 60 graden, maar aangezien het in het resultaat niet uitmaakt of de klep onder 60 graden of loodrecht staat, wordt het drukfiguur en de belasting bepaald als de klep loodrecht staat.



Het drukfiguur per strekkende meter dat hierbij ontstaat:



De resulterende druk per strekkende meter die op de klep wordt uitgeoefend:

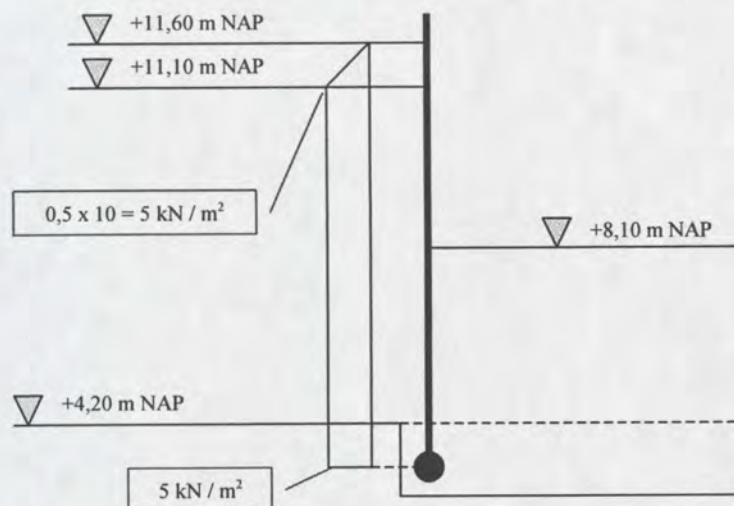


### 2.2.3 Golfslag.

De invloed van golfslag op de waterstand in het bovenpand bedraagt 0,50m, volgens uit het Programma van Eisen (PvE). De grootte van de momentane waarde is;  $\psi_{\text{mom}}=1,0$ . Ook bij bepaling van deze belasting wordt het drukfiguur loodrecht bepaald, omdat het resultaat hetzelfde blijft.



Het drukfiguur ten gevolge van golfslag (per strekkende meter) dat hierbij ontstaat:



#### 2.2.4 IJs.

De waarde van de ijsbelasting wordt bepaald volgens de CUR 166.

Er wordt gerekend met een gemiddelde horizontale lijnlast van 400kN/m (rekenwaarde) bij een waterstand van +11,10mN.A.P. (het stuwpeil).

Voor constructiedetails moet men daarbij nog rekening houden met een plaatselijk aangrijpende belasting van 1,5MN. In deze fase van de berekening worden geen constructiedetails berekend, met deze belasting hoeft dus geen rekening te worden gehouden.

### 2.3 Onderzoek aanvaring door voertuigen.

Voertuigen moeten hier gezien worden als schepen (beroepsvaart). De vraag is of er wel een kans bestaat dat er een schip tegen de stuw vaart. In principe wordt de vaarweg naar de sluis al een eind bovenstrooms gescheiden van de waterweg die richting de stuw gaat. De vraag is dus in welke situatie zich een aanvaring kan voordoen.

Schepen liggen wel eens voor anker aan het begin van de waterweg richting stuw. Het kan gebeuren dat het anker losschiet en dat het schip dan met de stroom wordt meegevoerd richting stuw. Op deze wijze zou er een schip tegen de stuw kunnen drijven.

Het is wel zo dat er alleen stroming in deze waterweg is als de klepstuw niet onder zijn maximale hoek staat, dus bijvoorbeeld als de klep onder een hoek van 40° staat. Dus dan alleen kan er een aanvaring plaatsvinden. De andere belastingen houden dezelfde waarde.

Om een idee te krijgen van hoe vaak dit kan voorkomen, is er een onderzoek gedaan.

Alle sluismeesters die bij de stuw-/sluiscomplexen zitten tussen Lith en Borgharen zijn benaderd en gevraagd of het bij hun complex ooit is voorgekomen dat er een schip tegen de stuw is gevaren.

De resultaten van dit onderzoek zitten in bijlage 2.

Uit dit onderzoek bleek dat er bij verschillende stuw-/sluiscomplexen een keer een jacht (recreatievaart) tegen de stuw is gevaren. Twee maal bij Lith en één maal bij Grave. Deze aanvaringen geven weinig schade aan de stuw, de stuwen zijn in alle drie de gevallen niet buiten bedrijf geweest. Het is één keer voorgekomen dat er een schip (beroepsvaart) tegen de stuw is gevaren, dit is gebeurd bij Borgharen. Borgharen is een geval apart omdat dit complex alleen uit een stuw bestaat en er geen sluiscomplex naast ligt. Er is hier sprake van een andere situatie en is daarom geen vergelijkbaar geval.

Conclusie: de kans op aanvaring is klein en de schade ten gevolge van een aanvaring is klein → het risico is zeer klein, dus de belasting als gevolg van aanvaring wordt niet meegenomen.



## 2.4 De belastingfactoren.

Er wordt gesproken over de Uiterste Grens Toestand (UGT) en de Bruikbaarheids Grens Toestand (BGT). De UGT gebruikt men voor sterkteberekeningen en de BGT voor stabiliteitsberekeningen. Volgend uit de aangenomen veiligheidsklasse (3) heeft men te maken met de volgende belastingfactoren (conform TGB);

In de UGT:			In de BGT:		
<i>Belasting:</i>	<i>Fundamenteel:</i>	<i>Alleen permanent:</i>	<i>Bijzonder:</i>	<i>Incidenteel:</i>	<i>Momentsaan:</i>
<u>Permanent:</u>	gunstig/normaal				
Eigen gewicht:	0,9/1,2	0,9/1,35	1,0	1,0	1,0
Oppv. water:	0,9/1,2	0,9/1,2	1,0	1,0	1,0
<u>Veranderlijk:</u>					
Golfslag:	1,25*	-	$1,0 \cdot \psi_{mom.}$	1,0	1,0
<u>Bijzonder:</u>					
IJs:	-	-	1,0	-	-

\*Abusievelijk is er met een factor 1,5 gerekend.

## 2.5 De belastingcombinaties.

Om de belastingcombinaties op te stellen, moet bovenstaande tabel als volgt worden geïnterpreteerd: men moet verticaal de factoren voor de belastingen aflezen, door deze achter elkaar te zetten, komt men tot de combinaties (zie hieronder).

De belastingcombinaties in de UGT die kunnen ontstaan, zijn als volgt:

(1) en (2) zijn fundamentele combinaties en (3) is een bijzondere combinatie.

(1) is een extreme, (2) alleen permanente combinatie en (3) een combinatie met IJs.

(1)  $1,2 \cdot F(\text{Eigen gewicht}) + 1,2 \cdot F(\text{Oppv. Water}) + 1,5 \cdot (\text{Golven})$ .

(2)  $1,35 \cdot F(\text{Eigen gewicht}) + 1,2 \cdot F(\text{Oppv. Water})$ .

(3)  $1,0 \cdot F(\text{Eigen gewicht}) + 1,0 \cdot F(\text{Oppv. Water}) + 1,0 \cdot F(\text{IJs})$ .

Deze combinaties worden gebruikt om de constructie op sterkte te toetsen.

(de factor 0,9 bij de permanente belastingen wordt alleen toegepast als de belasting ongunstig werkt ten opzichte van andere belastingen, zo krijgt men de meest ongunstige situatie).

De combinaties die in de BGT worden gevormd:

In de BGT heeft men te maken met een incidentele en een momentane combinatie, deze zijn hetzelfde:

(1)  $1,0 \cdot F(\text{Eigen gewicht}) + 1,0 \cdot F(\text{Oppv. Water}) + 1,0 \cdot (\text{Golven})$ .

Deze wordt gebruikt om de constructie op doorbuiging te toetsen.

Zie bijlage 3 voor een overzicht van de belastingcombinaties.

### 2.5.1 De keuze.

De ervaring leert dat belastingcombinatie (1) meestal maatgevend is. Dit is omdat belastingcombinatie (2) bijna nooit maatgevend is en belastingcombinatie (3) is een bijzondere combinatie. In het algemeen is een bijzondere combinatie niet maatgevend. Mede doordat er voor gezorgd wordt dat deze combinatie niet maatgevend is. Zo kan er voor ijs een luchtbellenscherm voor de stuw worden geplaatst, hierdoor zal geen ijs tegen de klep drijven. Het luchtbellenscherm zorgt er namelijk voor dat het ijs smelt.

De constructie moet ook op doorbuiging worden getoetst, dus belastingcombinatie (1) van de BGT wordt ook meegenomen.



**Elastisch/plastisch rekenen.**

Bij elastische berekeningen wordt er naar gekeken dat de constructie een maximale vloeispanning aan moet kunnen en die absoluut niet overschrijdt.

Bij plastische berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de constructie een grotere spanning kan opnemen dan de vloeispanning. Plastische berekening geeft meer de werkelijkheid weer, maar is ook ingewikkelder rekenen. Het voordeel van deze methode is dat er een kleiner profiel kan worden gekozen, de nadelen zijn dat deze methode veel tijd in beslag neemt en dat er uiteindelijk vaak toch een profiel groter wordt gekozen vanwege de optredende verplaatsingen. Dus elastisch rekenen kost minder tijd en er wordt vaak meteen het goede profiel gekozen. Er wordt hier dus elastisch gerekend en niet plastisch.

Naast bovenstaande reden is er nog een reden: het betreft een waterbouwkundige constructie.

Bij waterbouwkundige constructies zijn de waarden voor de belastingen meer onzeker, zoals voor grond- en waterbelasting, dan bij de belastingen voor gebouwen. Er wordt dus elastisch gerekend om extra veiligheid in te bouwen.



### 3. Een raamwerk (Variant 1A).

#### 3.1 Opbouw.

De klep wordt opgebouwd uit stalen I-profielen als dwars- en hoofddragers met daaroverheen stalen beplating. Zie fig.2 (onderaan).

De belastingen komen tegen de beplating, de beplating verspreid dit naar de dwarsdragere die het vervolgens weer overdragen naar de hoofddragere. De hoofddragere brengen de belasting weer over naar de scharnierpunten.

De hoofddragere staan hart op hart(h.o.h.) 5 meter van elkaar. De beplating heeft afmetingen van 40m breed en 9,55m hoog.

Wat betreft de dwarsdragere kunnen er twee alternatieven onderscheiden worden.: dwarsdragere om de 2m en dwarsdragere om de 1m, zie bijlage 4 voor een tekening van beide alternatieven. Het gaat er namelijk om dat de beplating een grote dikte krijgt als er uitgegaan wordt van een constructie met dwarsdragere om de 2m. Daarom is er een alternatief opgesteld met dwarsdragere om de 1m.

##### 3.1.1 Materiaal.

De beplating en de profielen (dwars- en hoofddragere) worden gemaakt van een constructiestaal, staaltype S235. Het getal slaat op de rekenwaarde van de vloeigrens van het staal, het staal kan een maximale spanning hebben van  $235\text{N/mm}^2$ .

De bijbehorende E-modules bedraagt  $2,1 \cdot 10^5 \text{N/mm}^2$ , dit geldt overigens voor alle staalsoorten tenzij anders vermeld.

##### 3.1.2 Plaats balgondersteuning.

Bij de berekening van de klep is de moeilijkheid; de bepaling van de plaats van de ondersteuning van de balg. Het is niet precies bekend waar de klep wordt ondersteund.

De ondersteuning van de balg wordt geschematiseerd als roloplegging.

Eigenlijk is het zo dat de balgdruk nu wordt gezien als roloplegging terwijl het in feite een lijnlast is.

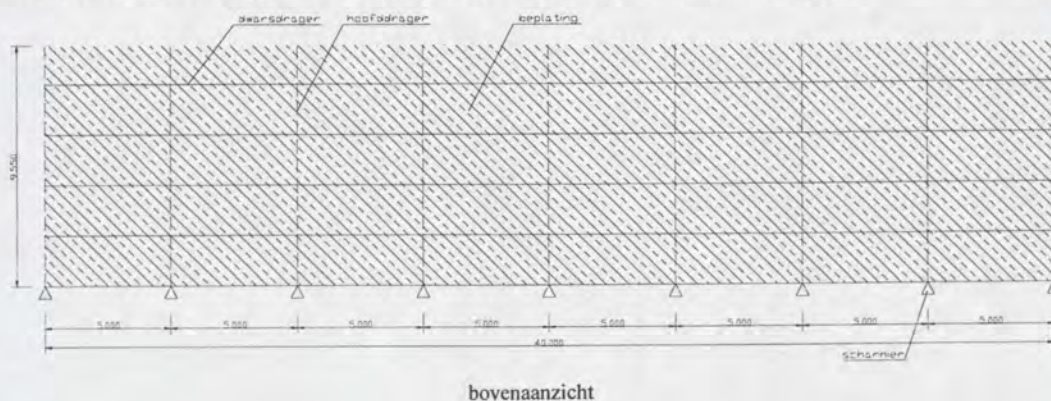
Een lijnlast maakt het weer moeilijk, omdat de lengte van de balgondersteuning en de grootte van de balgdruk onbekend is. Om deze reden wordt er uitgegaan van een roloplegging als ondersteuning.

Het gevolg van deze aanname, roloplegging als balgondersteuning, is dat er een groter profiel voor de hoofddrager volgt dan als de hoofddrager wordt gedimensioneerd op een lijnlast als balgondersteuning (dit treedt alleen op bij de hoofddrager aangezien de beplating en de dwarsdragere geen contact hebben met de roloplegging in de berekening).

Om deze reden is het volgende bedacht:

De balgondersteuning wordt op verschillende afstanden (om de 0,5m) van het scharnier geplaatst daarna wordt de hoofddrager berekend. Vervolgens wordt gekeken op welke afstand de balgondersteuning moet staan om het kleinste profiel voor de hoofddrager te krijgen. Zo ontstaat er een redelijke benadering voor het profiel dat moet worden toegepast als er wordt uitgegaan van een lijnlast als balgondersteuning.

De roloplegging kan het beste geplaatst worden op 5m vanaf het scharnier. Omdat dit het kleinste profiel voor de hoofddrager oplevert. De roloplegging zit dus op 5m vanaf het scharnier, dit geeft de gemiddelde druk van de balg weer. De balg wordt dus nog iets groter (langer).





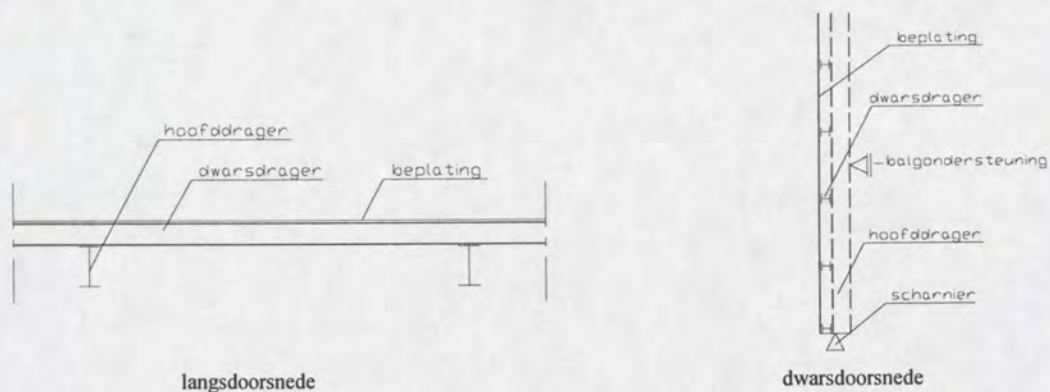


fig.2: schets raamwerk.

### 3.2 Constructieschematisering.

Voor deze variant wordt uitgegaan van een vast scharnier onderaan, verder wordt er rekening gehouden met belastingen als gevolg van oppv.water, golfslag en de ondersteuning van de balg (gezien als een roloplegging).

Voor de plaat, dwarsdragers en hoofddragers worden verschillende constructieschema's gehandhaafd.

Op de plaat komen de lijnlast-belastingen van oppv.water en golfslag per veldbreedte te staan, de veldbreedte is 5m vanwege de hart op hart-afstand hoofddragers, de plaat wordt ondersteund door de dwarsdragers. (zie figuur 3, afbeelding 1)

Op de dwarsdragers komen ook de belastingen ten gevolge van oppv.water en golfslag per veldbreedte. De veldbreedte is hier de h.o.h.-afstand van de dwarsdragers. De dwarsdragers worden vanaf de andere kant bekeken dan de plaat en de hoofddragers, zie fig.3, afbeelding 2. De grootte van de lijnlast op de dwarsdrager is afhankelijk van de veldbreedte en de lijnbelasting boven de dwarsdrager (vanaf de zijkant gezien; afbeelding 1).

De belastingen ten gevolge van oppv.water en golfslag die uiteindelijk op de hoofddragers komen, worden gezien als puntlasten ten gevolge van de dwarsdragers die op de hoofddragers liggen (zie figuur 3, afbeelding 3). De hoofddrager wordt ondersteund door de balg (roloplegging).

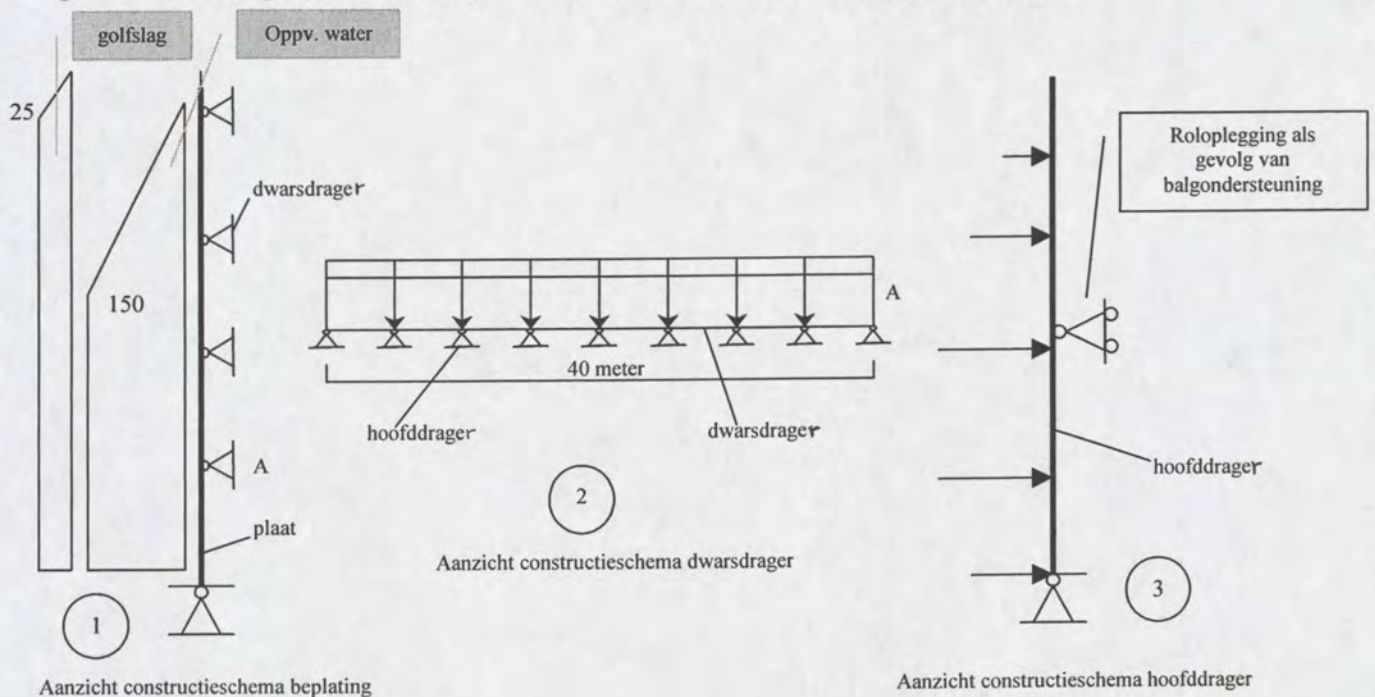


fig.3: Schematisering raamwerk.



### 3.3 Berekening profielen.

De platen, dwarsdragers en hoofddragers worden gedimensioneerd op de zwaarst belaste. De onderdelen moeten worden getoetst op momentcapaciteit, dwarskrachtcapaciteit, doorbuiging en de combinatie van moment en dwarskracht. Hieronder zijn de resultaten van de berekeningen opgesomd. Zie bijlage 5 voor de berekeningen.

Alternatief met dwarsbalken om de 2m:

Onderdeel:	Berekend profiel:	Maatgevende toetsberekening:
Plaat	29mm dik	Doorbuiging
Dwarsdrager	HE300A	Combinatie D+M
Hoofddrager	HE550A	Dwarskrachttoetsing

Alternatief met dwarsbalken om de 1m:

Onderdeel:	Berekend profiel:	Maatgevende toetsberekening:
Plaat	15 mm dik	Doorbuiging
Dwarsdrager	HE220A	Momenttoetsing
Hoofddrager	HE450A	Momenttoetsing

De plaatdikte is ongeveer de helft dunner en resulteert in een aanvaardbare dikte voor de beplating.

De plaat is voldoende stijf. Zodat de doorbuiging geen vermindering geeft van de kerende hoogte. Zie bijlage 5 (afbeelding: "verplaatsingen" bij plaatberekeningen)

#### 3.3.1 Eigen gewicht.

Alternatief met dwarsbalken om de 2m:

Plaat: het volume (V) van de plaat bedraagt:  $V=0,029*9,55*40=11,08\text{m}^3$ ,  
 de dichtheid ( $\rho$ ) van het staal is:  $\rho=7850\text{kg/m}^3$ ,  
 de massa (m) van de plaat is:  $m=11,08*7850=$  **86978kg**

Dwarsdragers: de totale lengte (l) van de profielen is:  $l=40\text{stuks van }5\text{m}=200\text{m}^1$   
 het gewicht (G) van deze profielen zijn:  $G=88,3\text{kg/m}^1$   
 de massa van alle dwarsdragers bedraagt:  $m=200*88,3=$  **17660kg**

Hoofddragers: de totale lengte (l) van de profielen is:  $l=9\text{stuks van }9,55\text{m}=85,95\text{m}^1$   
 het gewicht (G) van deze profielen zijn:  $G=155\text{kg/m}^1$   
 de massa van alle dwarsdragers bedraagt:  $m=85,95*155=$  **13322kg +**

Totaal voor dit alternatief is: 2\*plaat + 2\*dwarsdragers +hoofddragers: **222598kg**

2\*plaat volgt uit H3.4

2\*dwarsdragers volgt uit H3.4

Alternatief met dwarsbalken om de 1m:

Plaat: het volume (V) van de plaat bedraagt:  $V=0,015*9,55*40=5,73\text{m}^3$ ,  
 de dichtheid ( $\rho$ ) van het staal is:  $\rho=7850\text{kg/m}^3$ ,  
 de massa (m) van de plaat is:  $m=5,73*7850=$  **44981kg**

Dwarsdragers: de totale lengte (l) van de profielen is:  $l=80\text{stuks van }5\text{m}=400\text{m}^1$   
 het gewicht (G) van deze profielen zijn:  $G=50,5\text{kg/m}^1$   
 de massa van alle dwarsdragers bedraagt:  $m=400*50,5=$  **20200kg**

Hoofddragers: de totale lengte (l) van de profielen is:  $l=9\text{stuks van }9,55\text{m}=85,95\text{m}^1$   
 het gewicht (G) van deze profielen zijn:  $G=140\text{kg/m}^1$   
 de massa van alle dwarsdragers bedraagt:  $m=85,95*140=$  **12033kg +**

Totaal voor dit alternatief is: 2\*plaat + 2\*dwarsdragers +hoofddragers: **142395kg**



### 3.3.2 Corrosie.

Naast de bepaalde belastingen zou men eigenlijk nog rekening moeten houden met corrosie bij een staalconstructie. Door corrosie wordt de doorsnede van de constructie kleiner, omdat er stukjes materiaal afbrokkelen. Hierdoor moet dezelfde belasting door een kleiner oppervlak kunnen worden opgenomen. De vraag is of de constructie dit aan kan. Dit zal niet worden gecontroleerd, aangezien de berekeningen nog indicatief zijn. Bovendien wordt een conservering aangebracht, dit voorkomt corrosie. Overigens bij de profielen wordt geen conservering toegepast, de grootte van de profielen moet dus zo gekozen worden dat er genoeg oppervlak overblijft na het optreden van corrosie.

### 3.3.3 Conclusie alternatieven.

Uit de berekening blijkt dat het alternatief "dwarsbalken om de 1m" een plaatdikte oplevert van 15mm en dit alternatief is ook nog eens lichter van gewicht. Om deze redenen is voor de variant "dwarsbalken om de 1m" gekozen.

Wellicht is een verdere optimalisatie mogelijk; dwarsbalken om de 0,5m.

Op een bepaald moment zal het gewicht van de extra toegepaste dwarsbalken zwaarder worden dan de dikkere plaat.

### 3.4 Werkelijke opbouw klep.

Aan de onderkant van de klep zit ook een beplating in verband met de vereiste vlakheid voor de balg. De balgdruk kan ook gezien worden als een belasting op de klep. Deze belasting is dan net zo groot als de belasting ten gevolge van de waterdruk en golfslag, want het geheel van belastingen moet in evenwicht zijn. Daarom zou er aan de onderkant tussen de hoofddrager en de onderplaat nog een serie dwarsdragers moeten komen, met hetzelfde profiel.

Zo krijgt men dus een symmetrische klepopbouw; beplating, dwarsdragers, hoofddragers, dwarsdragers en dan weer beplating.

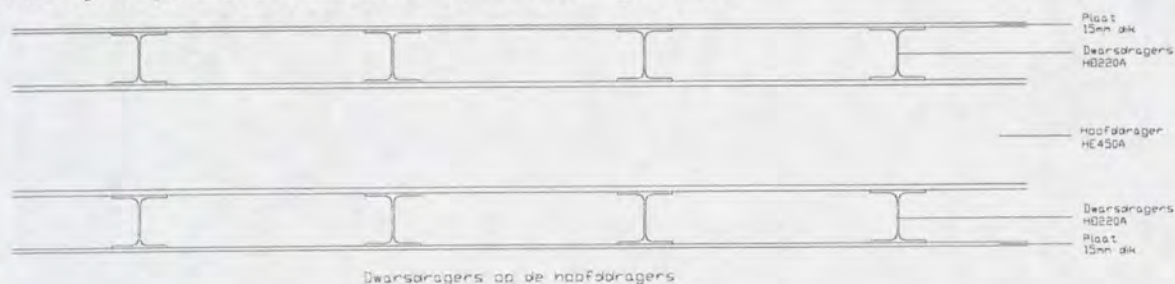
In werkelijkheid zullen de dwarsdragers tussen de hoofddragers liggen en niet er op, zoals in de berekening wordt aangenomen (fig.4). De dwarsdragers zullen qua hoogte waarschijnlijk worden aangepast aan de hoofddrager, zodat de dwarsdragers precies tussen de hoofddragers passen. Het berekende profiel voor de dwarsdragers wordt dus omgezet naar een profiel dat tussen de hoofddragers past (fig.4).

Dus in plaats van dat er 2 profielen HE220A worden toegepast onder en boven de hoofddrager, wordt er één groot profiel genomen met een hoogte van 440mm (de hoofddrager is een HE450A, deze heeft een hoogte van 440mm). De reden voor één groot profiel is de hoge kosten voor het lassen en het past niet als er twee HE220A-profielen tussen de hoofddragers moeten komen (zie fig.4).

Er is geen ander type profiel dat een hoogte heeft van 440mm, daarom moeten de dwarsdragers ook worden uitgevoerd als HE450A. Misschien kan er gewicht bespaard worden door het toepassen van raatliggers, type HEA met een hoogte van 440mm.

Het profiel HE450A is sterk en stijf genoeg als dwarsdrager, aangezien dit profiel voor de hoofddrager ook voldoende is en hier een groter moment optreedt.

De bevestiging van de dwarsdragers met de hoofddragers wordt gemaakt door het lijf van de dwarsdrager door te laten lopen tegen het lijf van de hoofddrager. Door de raakvlakken aan elkaar te lassen zijn de profielen verbonden. Voor een tekening zie fig.4.





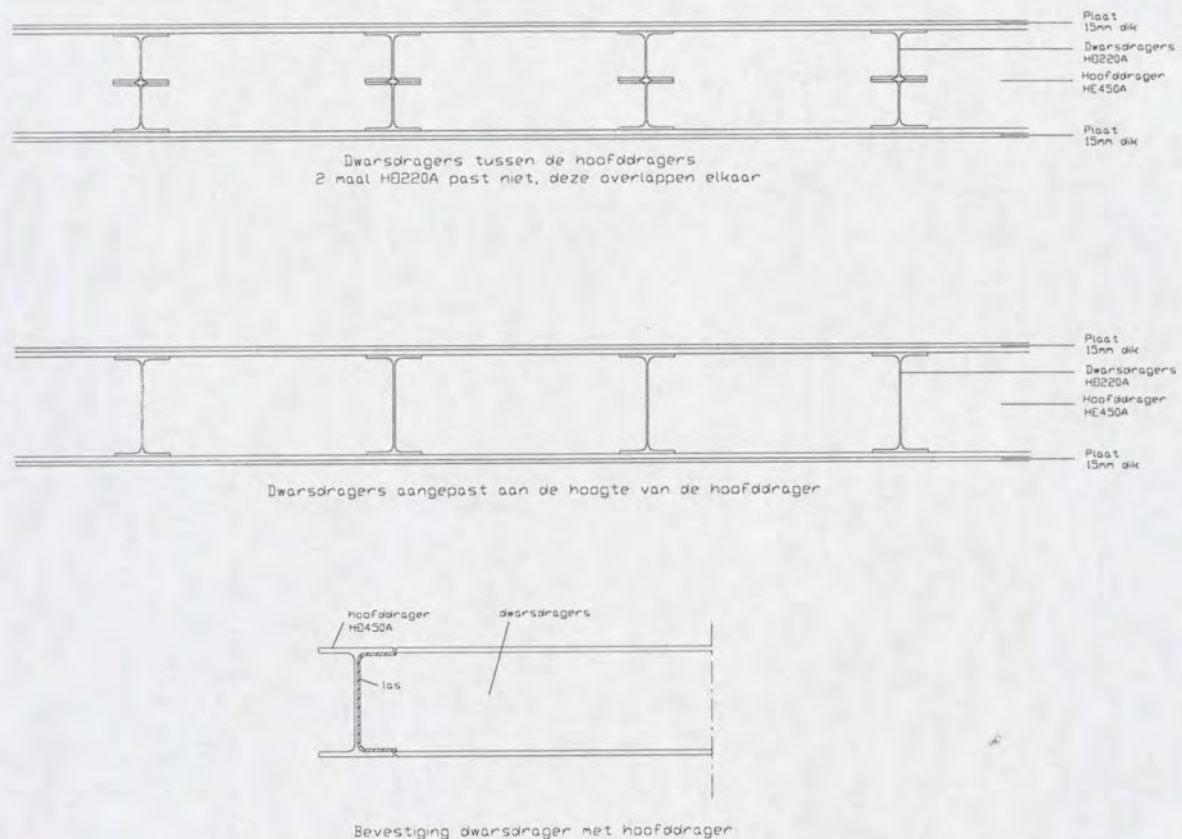


fig.4: Overzicht werkelijke opbouw raamwerk.

De invloed van de aanpassing van de opbouw van het raamwerk op de berekening van de constructie:  
Door de verandering van “dwarsdragers op” naar “dwarsdragers tussen”:

- de plaatdikte zou kleiner kunnen worden uitgevoerd, omdat de plaat nu ook ondersteund wordt door de hoofddrager.
- de dwarsdragers blijven even groot, omdat de belasting hetzelfde blijft op de dwarsdragers.
- de hoofddragers blijven even groot, omdat de belasting overgaat van een puntlast naar een q-last, de momentenlijn zal alleen iets afvlakken.

Door de verandering van “2 dwarsdragers tussen” naar “1 grote dwarsdrager tussen”:

- de plaatdikte zal even groot blijven, de krachtsafdracht blijft gelijk met bovenstaande.
- de dwarsdragers zullen “even groot” blijven, de krachtsafdracht blijft gelijk met bovenstaande. De vorm van de dwarsdragers verandert wel (worden hoger).
- de hoofddragers zullen even groot blijven, de krachtsafdracht blijft gelijk met bovenstaande.

### 3.5 Onderhoud.

Wat betreft de beplating kan er een aluminium deklaag op de stalen beplating worden aangebracht om het onderhoud te beperken. Normaal past men een conserverende verflaag toe. Het blijkt dat met een aluminium deklaag minder vaak onderhoud hoeft te worden gepleegd, maar het is wel duurder. Het aanbrengen van de deklaag brengt ook minder eisen met zich mee wat betreft nauwkeurigheid dan het aanbrengen van een verflaag (zie bijlage 6). De aluminiumdeklaag heeft een levensduur die net zo lang is als de levensduur van het staal, deze is 50 jaar, er is dan wel een laagdikte nodig van 0,3mm. De verflaag heeft een levensduur van 8 tot 20 jaar afhankelijk van het milieu waarin de klepstuw zich bevindt en de mate waarin de verflaag tussentijds wordt onderhouden.



De voorkeur van het type conservering gaat voorlopig uit naar een verflaag omdat de aluminium deklaag nog weinig is toegepast en omdat het zich nog niet heeft bewezen.

De klep zal overigens één keer vervangen moeten worden, aangezien het staal een levensduur heeft van 50 jaar en de stuw een levensduur moet hebben van 100 jaar (volgens het PvE).

De profielen zullen zeker niet behandeld worden met een aluminium deklaag, deze zullen hoogstens behandeld worden met een verflaag. Deze onderdelen hoeven verder niet te worden onderhouden aangezien de profielen zitten opgesloten tussen de beplating (er moet wel rekening worden gehouden met corrosie).

### 3.6 Uitvoering.

De uitvoering van deze variant wordt een probleem aangezien de klep aan twee kanten een beplating heeft. Dit is moeilijk te maken. De vraag is hoe de laatste plaat erop gelast kan worden want daar kunnen geen mensen meer bij komen. Een oplossing is deze plaat bevestigen met bouten, nadelen hiervan zijn dat er dan kostbare voorspanbouten toegepast moeten worden en dat achter de bouten vuil kan blijven hangen.

Vervolgens kan er gedacht worden aan een klep die aan de bovenkant open is. De klep wordt dan opgebouwd met een plaat aan de onderkant waarop worden de hoofddragers gelast, deze hebben alleen een bovenflens. Gezien de benodigde hoogte voor de hoofddrager bij de dichte variant (440mm), dat een halve HE900A in dit geval voldoende sterk en stijf zal zijn. Zo zijn er meteen de goede profielen verkregen, door een HE900A door midden te delen krijgt men twee profielen met aan de bovenkant een flens. Tussen de hoofddragers worden dwarsdragers gelast, ook met aan de bovenkant een flens. De dwarsdragers zullen dezelfde hoogte hebben als de hoofddragers.

Bij dit ontwerp ontstaat het probleem dat men krijgt te maken met open vakken waar vuil in kan blijven hangen op het moment dat de klep op de bodem ligt (zie fig.5). Het vuil blijft voornamelijk hangen achter de dwarsdragers.

De hierop volgende variant is een ontwerp zonder dwarsdragers, een ontwerp bestaande uit een plaat met verstijvingsribben (H4 en H5). De verstijvingsribben hebben dan niet meer de vorm van HEA profielen, maar zijn rechthoekige profielen.

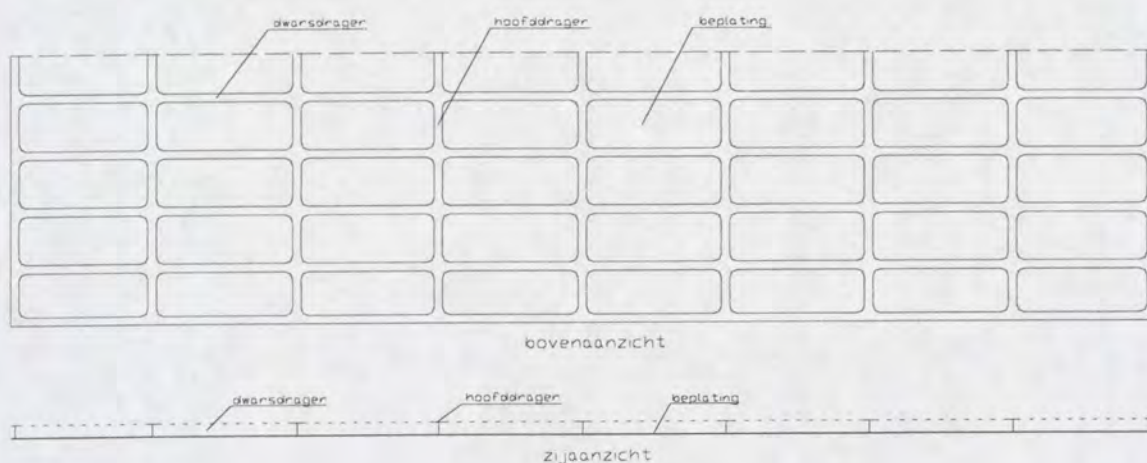


fig.5: Opbouw raamwerk met open bovenkant.

### 3.7 Niet-variantgebonden aspecten.

In deze paragraaf worden onderdelen behandeld die niet-variantgebonden zijn. Dit wil zeggen dat deze onderdelen voor elke variant hetzelfde zijn. Het betreft de verdeling van de klep (voor het vervoer en de balg) en het plegen van onderhoud.



### 3.7.1 Vervoer.

De klep kan over de weg naar de locatie vervoerd worden, de klep moet dan afmetingen hebben die per vrachtwagen vervoerd kan worden. Daarom zou de klep moeten worden opgedeeld in een aantal delen. Ter plaatse worden de delen met een hijskraan in de bouwput gehesen. In de bouwput worden de delen weer aan elkaar gemaakt.

Het is ook mogelijk om de klep met behulp van een ponton naar de locatie te brengen, hierdoor hoeft de klep niet opgedeeld te worden, alleen eventueel voor het hijsen van de klep in de bouwput zal de klep dan moeten worden opgedeeld.

### 3.7.2 Balg.

De klep moet ook worden opgedeeld in een aantal delen voor de overgang tussen twee balgen. Als er onder de klep meerdere balgen naast elkaar moeten komen, vanwege de breedte van de klep, moet de klep ook worden gesplitst ter plaatse van de overgang van de twee balgen. De delen van de klep worden dan verbonden door middel van gewapend rubberen strip. Deze strip zorgt voor flexibiliteit in het bewegen van de klepdelen afzonderlijk. Dit is nodig als de balgen ongelijktijdig worden gevuld, als er ongelijke waterbelasting op de klep komt of bij een verschil in afmetingen en stijfheidseigenschappen van de balgen.

Aangezien over het aantal balgen nog niets bekend is, kan er over de verdeling niets worden gezegd.

### 3.7.3 Plegen onderhoud.

Er zijn twee manieren om onderhoud te plegen;

- de klepstuw droogzetten
- de klep er uithalen

#### **de klepstuw droogzetten.**

Hiervoor zullen er droogzetschermen moeten worden geplaatst. Deze worden tegen de zijkant van de pijlers worden geplaatst. Aangezien de overspanning van één klepstuw groot is (40m) kan het niet met schotbalken worden drooggezet. Er zullen sleuven in de betonvloer worden gemaakt waarin een damwand kan worden gezet m.b.v. bentoniet wordt de damwand vastgezet. Bij de pijlers en de landhoofden kan de damwand met behulp van een groutzak, dit is een nylonzak gevuld met grout, worden gedicht. De groutzak dicht zelf onder invloed van de waterdruk, zo krijgt men een droge bouwput zonder problemen voor scheepvaart.

Een probleem dat nog kan optreden is het opdrijven van de vloer en de pijlers, als er maar een fundering wordt toegepast die sterk genoeg is, kan dit geen probleem vormen. Hier moet wel rekening mee worden gehouden bij de berekening van de fundering.

#### **de klep er uithalen.**

“De klep er uithalen” wil zeggen; tijdelijk verwijderen, herstellen en weer terug plaatsen. Hiervoor is een tijdelijke vervanging nodig, zodat de stuw zijn functie min of meer kan blijven vervullen. Er zal dan in plaats van een klepstuw een vaste schuif, die altijd rechtovereind staat, kunnen worden toegepast, waarmee de grofregeling kan worden geregeld.

Het er uit halen van de klep zal niet makkelijk gaan gezien de stroming bij de stuw. Het plaatsen van de klep na behandeling is lastig onder water.

Als de klep opgebouwd is uit kleinere delen voor transport (wegtransport), zal bij deze methode de klep weer moeten worden gedemonteerd in de kleinere delen om het naar de onderhoudslocatie te vervoeren. Daar worden de delen behandeld en vervolgens weer terug naar locatie vervoerd en opgebouwd tot één klep.

#### **Conclusie.**

De methode om de klep er uit te halen is omslachtig en levert moeilijkheden.

Er wordt voor gekozen om de klepstuw droog te zetten tijdens onderhoud.



#### 4. Een stalen klep met in één richting verstijvingsribben (Variant 1B).

##### 4.1 Opbouw.

De klep bestaat uit een stalen beplating, dit is een plaat van 40m breed, 9,55m hoog. Op deze plaat zitten verstijvingsribben bevestigd. De verstijvingsribben worden gelast op de plaat en de hart op hart-afstand wordt aangenomen op 0,75m (fig.6).

##### 4.1.1 Materiaal.

De plaat en de verstijvingsribben kunnen worden uitgevoerd in roestvast staal of in normaal constructiestaal. Bij deze variant is er dus sprake van twee alternatieven.

In roestvast staal zitten meer stoffen, zoals chroom en nikkel, die het onderhoud beperken.

Voor de maximale spanning (vloeispanning), zowel in de beplating als in de verstijvingsribben, geldt voor alle twee de alternatieven  $235\text{N/mm}^2$ . Hieruit volgt dat de afmetingen en het eigen gewicht van de alternatieven hetzelfde is.

Het enige waar deze in verschillen, is het benodigde onderhoud.

De twee alternatieven worden naast elkaar gezet en vergeleken qua kosten voor het materiaal en onderhoud.

##### 4.1.2 Plaats balgondersteuning.

Er wordt bij de berekening rekening gehouden met de balgdruk als ondersteuning. De balg wordt ook hier gezien als een roloplegging, deze wordt op 5m vanaf het scharnierpunt geplaatst (net als bij variant 1A: Raamwerk).

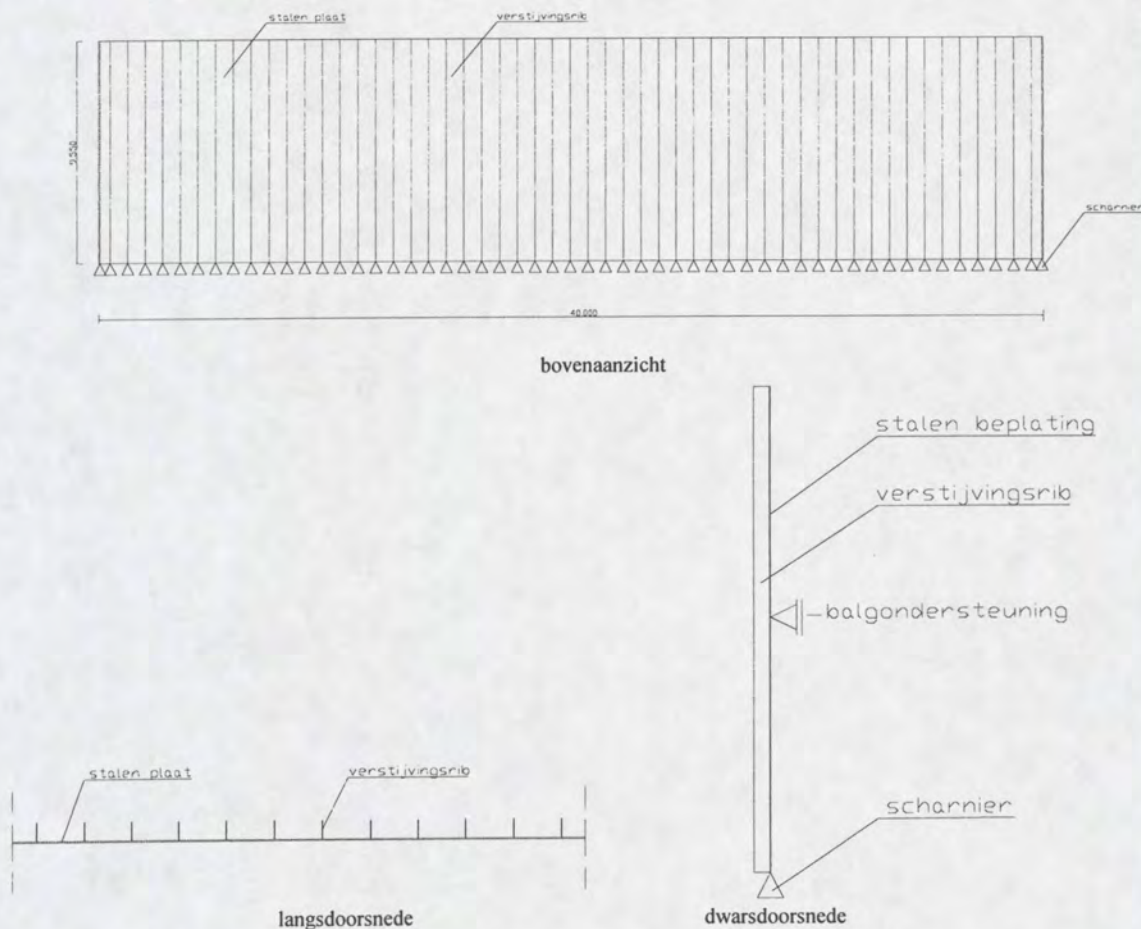


fig.6: schets stalen klep met verstijvingsribben.



## 4.2 Constructieschematisering.

In eerste instantie werd gedacht aan een inklemming onderaan (fig.7, afbeelding 1), uiteindelijk is besloten om een vast scharnier toe te passen (fig.7, afbeelding 2), omdat dat meer de werkelijkheid benaderd. Verder wordt er rekening gehouden met belastingen als oppv.water, golfslag (allebei als lijnlast per 1m breedte) en de ondersteuning van de balg (gezien als een roloplegging). De belastingen komen op de plaat met de verstijvingen, deze dragen de kracht af naar de scharnierpunten.

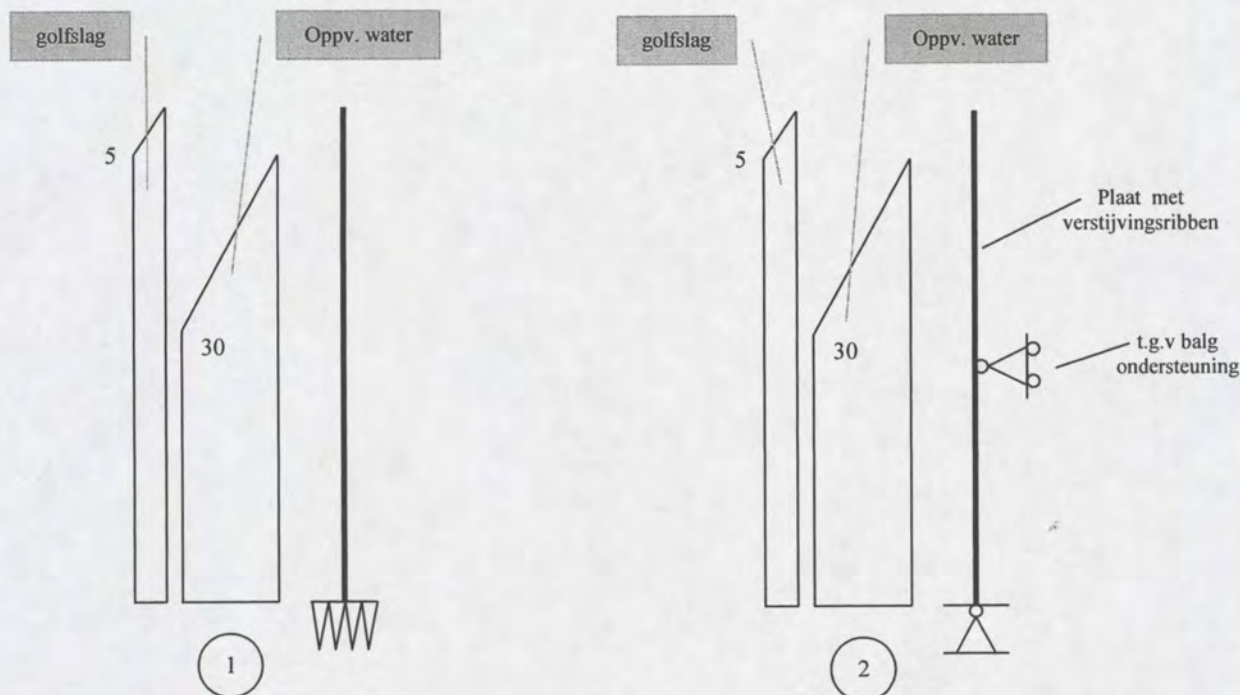


fig.7: schematisering stalen klep met verstijvingsribben.

## 4.3 Berekening klep.

De constructie wordt gedimensioneerd op het moment, gezien de uitkomsten van variant 1A. Bovendien gaat het om een indicatie van de afmetingen.

Onderdeel:	Berekend profiel:	Maatgevende toetsberekening:
Plaat	20mm dik en de meewerkende breedte is 0,75m	Momenttoetsing
Verstijvingsribben	10mm breed, 300mm hoog en de h.o.h. afstand is 0,75m	Momenttoetsing

Zie bijlage 7 voor de berekening.

### 4.3.1 Eigen gewicht.

Plaat: het volume (V) van de plaat bedraagt:  $V=0,02*9,55*40=7,64m^3$ ,  
 de dichtheid ( $\rho$ ) van het staal is:  $\rho=7850kg/m^3$ ,  
 de massa (m) van de plaat is:  $m=7,64*7850=$  59974kg

Verstijvingsrib: het volume (V) van de rib bedraagt:  $V=0,3*9,55*0,01=0,029m^3$ ,  
 de dichtheid ( $\rho$ ) van het staal is:  $\rho=7850kg/m^3$ ,  
 de massa (m) van de plaat is:  $m=0,029*7850=$  228kg+

Totaal voor dit alternatief is: plaat + 55\*verstijvingsrib:

72514kg



#### 4.4 Werkelijke opbouw klep.

In werkelijkheid zal de plaat licht gekromd zijn. De ribben zullen zoals er in de berekening vanuit is gegaan niet over de gehele lengte zitten. Dit is niet nodig, aangezien de belasting aan de bovenkant van de klep steeds minder wordt. Dit alles geldt ook voor de kunststof variant.

#### 4.5 Onderhoud.

Door uitvoering van de klep in roestvast staal is de klep onderhoudsarm. Er wordt vanuit gegaan dat de klep geen onderhoud behoeft gedurende de levensduur van het staal. De levensduur van staal is 50 jaar, dit betekent dat de klep een keer vervangen moet worden, dit geldt ook voor de uitvoering in constructiestaal. Want de levensduur van de stuw is gesteld op 100 jaar (volgens het PvE).

Roestvast staal is veel duurder in aanschaf dan normaal constructiestaal, maar kan als gevolg van geen onderhoudskosten weer worden terugverdiend. Bij constructiestaal kan een aluminium deklaag worden toegepast (zie H3.5), deze deklaag gaat 50jaar mee. Maar aangezien een aluminium deklaag zich nog niet bewezen heeft, wordt er uitgegaan van een verflaag.

De uitvoering van de klep in normaal constructiestaal betekent meer onderhoud en meer kosten voor onderhoud. Het staal wordt geconserveerd met een verflaag, 3 laags conserveringssysteem. 3 laags conserveringssysteem houdt in dat de conservering uit drie lagen bestaat; eerste laag is een primerlaag, tweede laag bestaat uit verf en de derde is een deklaag.

Er wordt gesproken over klein en groot onderhoud. Klein onderhoud houdt in het lokale herstel van de conservering met de hand, dit gebeurt om de 5 jaar. Er wordt uitgegaan van een herstel van 5% van het totale geconserveerde oppervlak.

Bij groot onderhoud wordt de conservering geheel of gedeeltelijk verwijderd en opnieuw aangebracht; kaal halen, schuren en vervolgens weer opnieuw behandelen. Groot onderhoud wordt om de 20 jaar uitgevoerd. Het oppervlakpercentage waar hiervan wordt gesproken, is ongeveer 60% van het totale geconserveerde oppervlak.

De lasnaden tussen de plaat en de verstijvingsribben moeten goed bereikbaar zijn. Het onderhoud van lasnaden heeft een redelijke invloed op de kosten, het vraagt namelijk meer tijd en aandacht, dus hogere kosten.



## 5. Een kunststof klep met in één richting verstijvingselementen (Variant 2).

### 5.1 Opbouw.

De kunststof klep is een klep met verstijvingselementen. Dit ontwerp is afgeleid van de stalen variant (1B). De plaat heeft afmetingen van 40m breed en 9,55m hoog. De verstijvingselementen hebben bij de kunststof variant een rechthoekige vorm en zijn hol van binnen, de hart op hart-afstand wordt aangenomen op 1,0m (fig.8).

#### 5.1.1 Materiaal.

Kunststof wordt opgebouwd uit vezels en kunsthars. De vezels geven de sterkte en de stijfheid aan het materiaal en de kunsthars geeft bescherming tegen vocht en resistentie tegen chemische invloeden. Er zijn verschillende type kunststoffen die toegepast kunnen worden namelijk; glasvezelversterkt, koolstofvezelversterkt en aramidevezelversterkt kunststof. Veelgebruikte kunstharsen zijn polyesterhars, epoxyhars en polyamide.

**Er wordt hier uitgegaan van glasvezelversterkt kunststof (op aanraden van de BD), de kunsthars die hier wordt toegepast is polyester omdat dit veel wordt toegepast bij dit soort constructies.**

De voordelen van kunststof zijn de chemische resistentie, de milieubelasting, het onderhoud, de vrijheid in vormgeving en de hoge sterkte in combinatie met een lage dichtheid. Daarnaast is er nog een voordeel dat de opbouw van de klep qua hoeveelheid vezels en hars precies af te stemmen is op de krachtsverdeling in de constructie, zo is er sprake van een optimaal materiaalgebruik.

De legrichting van de vezels is afhankelijk van de belasting. In dit geval kan het beste gekozen worden voor een verdeling van de vezels als volgt: 55% van de vezels in de nulrichting, 15% loodrecht op de nulrichting en 15% per 45graden richting, totaal maakt dit 100%. De nulrichting is de zwaarst belaste richting (zie bijlage 8).

De mechanische eigenschappen zijn afhankelijk van de legrichting van de vezels.

De maximale spanning die de vezels kunnen verdragen in de hoogst belaste richting (nulrichting) is  $310\text{N/mm}^2$ , dit is de representatieve waarde. De rekenwaarde bedraagt:  $310/(1,62 \cdot 1,21) = 158,15\text{N/mm}^2$ .

De maximale spanning in de richting loodrecht bedraagt:  $191\text{N/mm}^2$  (representatieve waarde).

De rekenwaarde is  $191/(1,62 \cdot 1,21) = 97,44\text{N/mm}^2$ . De waarde 1,62 is de materiaalfactor en 1,21 is een conversiefactor. De conversiefactor volgt uit de invloed van het milieu, de temperatuur en vocht.

De rekenwaarde van de maximale spanning in de hoogst belaste richting is  $158,15\text{N/mm}^2$ .

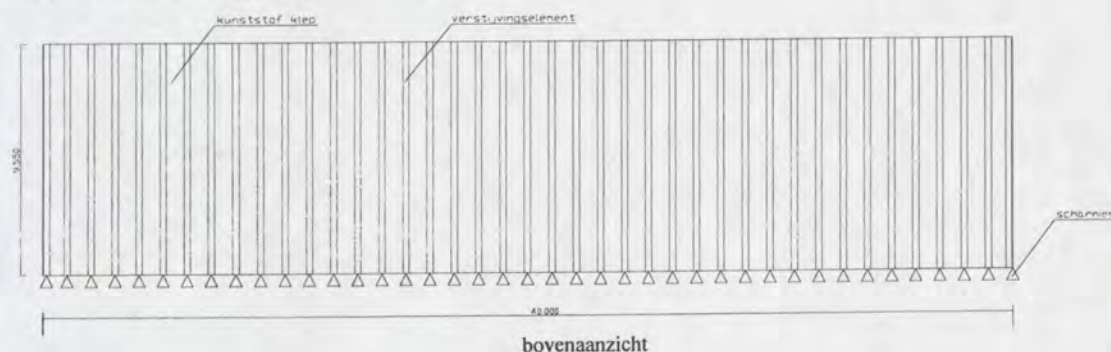
De rekenwaarde van de maximale spanning in de loodrecht richting is  $97,44\text{N/mm}^2$ .

Er volgt een rek criterium ( $\epsilon$ ) van 1,2%.

De E-modulus bedraagt in de nulrichting  $E=25789\text{N/mm}^2$  en in de loodrecht-richting is  $E=15943\text{N/mm}^2$ . Onder invloed van de zon verkleurt het kunststof, maar het beïnvloedt de sterkte weinig tot niets.

#### 5.1.2 Plaats balgondersteuning.

Er wordt bij de berekening rekening gehouden met de balgdruk als ondersteuning. De balg wordt ook hier gezien als een roloplegging, deze wordt op 5m vanaf het scharnierpunt geplaatst (net als bij variant 1A: Raamwerk).





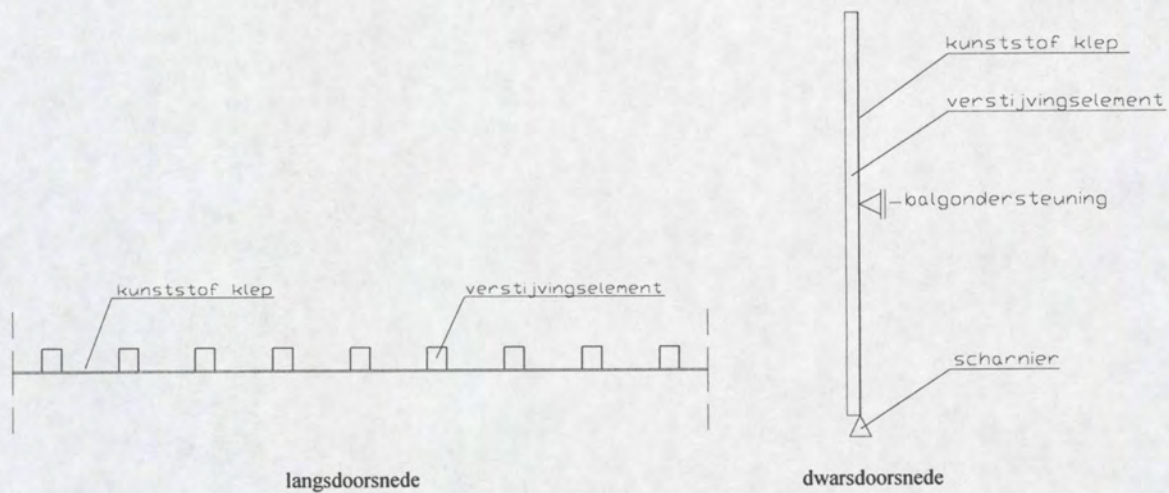


fig.8: schets kunststof klep met verstijvingselementen.

## 5.2 Constructieschematisering.

Voor deze variant wordt van hetzelfde constructieschema uitgegaan als bij variant 1B. Want variant 1B en 2 hebben dezelfde opbouw; een klep met verstijvingselementen. Dus kunnen deze hetzelfde geschematiseerd worden. (fig.9)

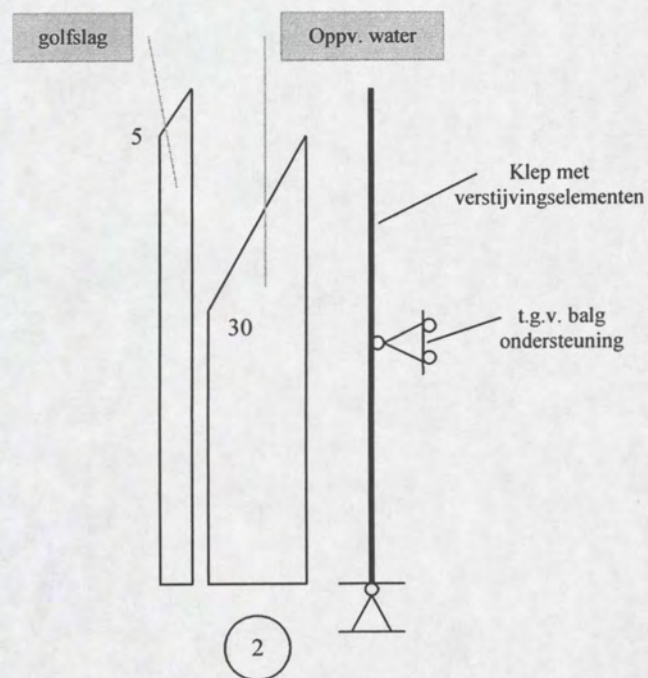


fig.9: schematisering kunststof klep met verstijvingselementen.



### 5.3 Berekening klep.

De constructie wordt gedimensioneerd op het moment, gezien de uitkomsten van variant 1A. Bovendien gaat het om een indicatie van de afmetingen.

Onderdeel:	Berekend profiel:	Maatgevende toetsberekening:
Plaat	20mm dik en de meewerkende breedte is 1,0m	Momenttoetsing
Verstijvingselementen	260mm breed, 300mm hoog en een wanddikte van 5mm, de h.o.h. afstand is 1,0m	Momenttoetsing

Zie bijlage 9 voor de berekening.

#### 5.3.1 Eigen gewicht.

Plaat: het volume (V) van de plaat bedraagt:  $V=0,02*9,55*40=7,64m^3$ ,  
de dichtheid ( $\rho$ ) van het staal is:  $\rho=1800kg/m^3$ ,  
de massa (m) van de plaat is:  $m=7,64*1800=$  13752kg

Verstijvingsrib: het volume (V) van de rib bedraagt (v)\*:  $V=2*0,3*9,55*0,005=0,029m^3$ ,  
het volume (V) van de rib bedraagt (h)\*:  $V=1*0,005*9,55*0,25=0,012m^3$ ,  
het totale volume ( $V_{tot.}$ ) van de rib bedraagt:  $V_{tot.}=0,029+0,012=0,041m^3$ ,  
de dichtheid ( $\rho$ ) van het staal is:  $\rho=1800kg/m^3$ ,  
de massa (m) van de plaat is:  $m=0,041*1800=$  74kg+

Totaal gewicht voor dit alternatief is: plaat + 41\*verstijvingsrib: 16786kg

\* (v) = verticale delen van de rib.  
(h) = horizontale delen van de rib.

### 5.4 Fabricagemethoden.

Dit materiaal kan op verschillende wijze gefabriceerd worden. De fabricageprocessen die hier kunnen worden toegepast zijn: hand lay-up, vezelsputten en harsinjectie. Dit zijn methoden die gebruikt kunnen worden bij kleine aantallen, 1 tot 10 stuks, hier is sprake van drie stuks, er komen drie klepstuwen naast elkaar bij Sambeek, dus dit zijn geschikte methoden.

De kosten voor de methoden hand lay-up en vezelsputten zijn minder in vergelijking met de andere methoden, harsinjectie is iets duurder, maar behoort nog tot één van de goedkoopste methode. Het zijn wel methoden die de meeste tijd in beslag nemen omdat deze arbeidsintensief zijn.

Hand lay-up: Het vezelpakket wordt geïmpregneerd met hars met behulp van rollers (met de hand). Op een tafel wordt een laag vezels geplaatst, dan wordt er hars overheen gerold, vervolgens wordt hierop weer een laag vezels geplaatst en wordt er weer hars overheen gerold, enzovoort. De verstijvingselementen zal men kunnen maken door schuimblokken op de eerste paar lagen vezels met hars te leggen en dan de vezels over de schuimblokken heen te plaatsen en dit vervolgens weer in te rollen met hars.

Vezelsputten: Hier worden de vezels en de hars met de hand of met behulp van een robot op een mal gespoten. De vezels en de hars worden samen in een spuit gestopt.

Harsinjectie: Het vezelpakket en de eventuele schuimblokken worden droog in een malconstructie gelegd, afgedekt met een bovenmal. Het hars wordt m.b.v. een drukverschil in het vezelpakket gebracht, het hars stroomt dan vanuit een voorraadvat de mal in. Aan de



randen van de mal wordt het overtollige hars weer opgevangen. Met deze methode wordt de constructie aan twee kanten glad.

Een variant hierop is vacuüminjectie, dan wordt het aan de bovenkant afgedekt met een folie. De folie wordt door een vacuüm tegen het vezelpakket en de schuimblokken gezogen. Het vacuüm zorgt ook voor de harstransport.

## 5.5 Onderhoud.

Kunststof is zeer onderhoudsarm en licht van gewicht.

Kunststof is een duur materiaal. Hoe simpeler men de vorm van de klep ontwerpt, des te lager zijn de kosten voor zowel fabricage als onderhoud.

De levensduur van de stuw is gesteld op 100 jaar. Voor de levensduur van kunststof wordt 100jaar verwacht (dit is nog niet bewezen). De kunststof klep hoeft dus niet vervangen te worden gedurende de levensduur van de stuw. Kunststofconstructies zijn 50 jaar onderhoudsvrij en dit houdt in dat er dus één keer onderhoud moet worden gepleegd gedurende de levensduur van de stuw. De klep hoeft dan alleen opgeschuurd te worden en ingesmeerd te worden met hars. De oude laag hoeft niet verwijderd te worden zoals bij een verflaag op staal.



## 6. Keuze variant.

In totaal zijn er 3 varianten opgesteld. Het raamwerk wordt niet meegenomen in deze vergelijking omdat het raamwerk niet uitvoerbaar bleek te zijn.

De overgebleven varianten zijn de stalen klep met in één richting verstijvingsribben (Variant 1B) (beide alternatieven) en de kunststof klep met in één richting verstijvingselementen (Variant 2).

De varianten worden beoordeeld op de volgende aspecten: kosten voor materiaal en kosten voor onderhoud, vervolgens worden de life-cycle-kosten (totale kosten gedurende de levensduur van de stuw(100jaar)) opgesteld, op basis hiervan wordt een keuze gemaakt. Hoeveelheid materiaal, hoeveelheid onderhoud en de levensduur hangen met deze kosten samen.

### 6.1 De kwantiteit.

Variant1B: Alternatief roestvast staal:

Hoeveelheid materiaal: 72514kg roestvast staal

Hoe vaak onderhoud: geen.

Levensduur: 50 jaar

Variant1B: Alternatief constructiestaal:

Hoeveelheid materiaal: 72514kg constructiestaal

Hoe vaak onderhoud: klein onderhoud 1 keer per 5 jaar, 5% van het totale geconserveerde oppervlak.

groot onderhoud wordt 1 keer per 20 jaar, 60% van het totale geconserveerde oppervlak. (zie bijlage 10)

Levensduur: 50 jaar

Variant2:

Hoeveelheid materiaal: 16786kg kunststof

Hoe vaak onderhoud: één keer in de 50 jaar.

Levensduur: 100 jaar

### 6.2 De kosten.

De materiaalkosten zijn afhankelijk van het eigen gewicht en de prijs per kg.

De onderhoudskosten zijn afhankelijk van het aantal malen onderhoud en de kosten per onderhoudsbeurt.

De life-cycle-kosten zijn afhankelijk van de levensduur, materiaalkosten en onderhoudskosten.

Bij de materiaalkosten moet er rekening worden gehouden met een marge van +/-25%.

Variant1B: Alternatief roestvast staal:

Materiaalkosten: € 1,58 per kg. Incl. lassen € 3,13 per kg.(zie bijlage 11)

Onderhoudskosten: geen, de klep moet 1 keer vervangen worden gedurende de levensduur van de stuw (100jaar).

Variant1B: Alternatief constructiestaal:

Materiaalkosten: € 1,25 per kg. Incl. lassen € 2,29 per kg. En voor het aanbrengen van de conserveringslaag (3 laags conserveringssysteem) is de prijs E31,75 (zie bijlage 11)

Onderhoudskosten: klein onderhoud: € 34,- per m<sup>2</sup> (marge +/-30%)

Groot onderhoud: € 73,- per m<sup>2</sup> (marge +/-30%)

De klep moet 1 keer vervangen worden gedurende de levensduur van de stuw (100jaar).

Variant2: Materiaalkosten: € 18,2 per kg materiaal (inclusief productie).

Onderhoudskosten: het zal ongeveer net zo duur zijn als bij variant 1B alternatief constructiestaal. De klep zal niet vervangen hoeven worden.



### 6.3 Kostenoverzicht.

Hieronder volgen kostenoverzichten voor materiaal en onderhoud per variant.

#### Materiaalkosten varianten (euro's)

Variant	gewicht [kg]	Prijs/eenheid [€/kg]	bedrag [€]
<b>roestvast staal (1B)</b>	72514	3,13	<b>227000</b>
constructiestaal (1B)	72514	2,29	166100
Conserveringslaag per m2	764m2	31,75/m2	24300
<b>Totaal constructiestaal (1B)</b>			<b>190400</b>
<b>kunststof (2)</b>	16786	18,2	<b>305500</b>

#### Onderhoudskosten varianten (euro's)

Variant	Oppervlak [m <sup>2</sup> ]	Prijs/oppv. [€/m <sup>2</sup> ]	percentage A [m <sup>2</sup> ]	Bedrag/onde rhoudsbeurt [€/keer]	aantal malen per levensduur [-]	totaal bedrag [€]
<b>roestvast staal (1B)</b>	764	-	-	0	0 (per 50 jaar)	<b>0</b>
constructiestaal (1B) klein	764	34	5%*764=38,2	1299	10 (per 50 jaar)	13000
constructiestaal (1B) groot	764	73	60%*764= 458,4	33463	2 (per 50 jaar)	66900
<b>constructiestaal (1B) totaal</b>						<b>79900</b>
<b>Kunststof (2)</b>				34762	1 (per 100 jaar)	<b>34800</b>



## 6.4 Vergelijking varianten.

Hieronder volgt een overzicht van de life-cyclekosten

### Samengevat:

Variant	Levensduur [jaar]	Materiaalkosten/ levensduur [€/levensduur]	Onderhoudskosten/ levensduur [€/levensduur]	Aantal malen onderhoud/ Levensduur	ld* stuw/ ld* materiaal[-]	Life-cycle- kosten
roestvast staal (1B)	50	227000	0	0	2	<b>454000</b>
constructiestaal (1B)	50	190400	79900	12	2	<b>540600</b>
Kunststof (2)	100	305500	34800	1	1	<b>340300</b>

\* = Levensduur

Op basis van bovenstaande tabel kan de volgende conclusie getrokken worden:

**de kunststof variant heeft de voorkeur wat betreft kosten.**

In bijlage 12 staat een tekening van de gekozen variant.

Bij deze kosten is nog geen rekening gehouden met:

- Kosten voor inspectie bij constructiestaal (1 keer per 5 jaar)
- Kosten voor het droogzetten voor het onderhoud bij constructiestaal en kunststof
- Kosten voor het droogzetten van de stuw voor vervanging bij constructiestaal en roestvaststaal en het werkelijk vervangen (dus machines om de oude te verwijderen en de nieuwe te plaatsen)

De invloed van de niet-meegenomen kosten op de keuze van de variant:

Constructiestaal wordt nu nog duurder in verhouding tot roestvast staal en kunststof.

De kosten voor droogzetten voor onderhoud en voor vervanging zal even duur zijn. Bij vervanging (roestvast staal) komt er nog wel meer bij kijken (het werkelijk vervangen), de roestvast stalen variant wordt hierdoor duurder. De kunststof variant komt nu nog beter naar voren.



## 7. Conclusie.

Na dimensionering van de klep en berekening van de kosten voor de drie overgebleven varianten bleek de kunststof variant het goedkoopst te zijn gedurende de levensduur.

De hoofdoorzaak is dat constructie- en roestvaststaal een levensduur hebben van 50 jaar en dat voor kunststof een levensduur van 100 jaar wordt aangenomen. Hierdoor kunnen de hoge materiaalkosten voor kunststof opwegen tegen de materiaalkosten voor constructie- en roestvaststaal.

### 7.1 Terug blik.

Achteraf gezien hadden er eerst betere randvoorwaarden gesteld moeten worden. Men verschaft zo een duidelijk overzicht waardoor men eerder tot de varianten met verstijvingsribben/-elementen komt.

De op te stellen randvoorwaarden voor de berekening van de klep zijn:

- optimaal functioneren in open en gesloten stand: zo min mogelijk vuilaantrekkend
- geringe bodemturbulentie vereist
- corrosieaspecten
- krachtsafdracht van de klep is hoofdzakelijk in één richting
- schematisering balg

Hieruit zou volgen:

- de klep moet aan de bovenkant een glad oppervlak hebben i.v.m. vuil → de klep moet aan de onderkant een glad oppervlak hebben i.v.m. de balg.
- het toepassen van verstijvingsribben/-elementen

De berekening van de klep (met verstijvingsribben/-elementen) had dan uitvoeriger behandeld kunnen worden.



## Literatuurlijst.

- [1] RWS, "OTB: scheepvaart en kunstwerken", Maastricht, april 2001.
- [2] RWS, "Variantenstudie stuw Sambeek, fase 1: quick scan", Utrecht, november 2001.
- [3] F.M. Bockhoudt, "Haalbaarheidsstudie complex Sambeek, project Zandmaas/Maasroute", Utrecht, juni 1999.
- [4] J.P. Pover, "Verslag bezoek Obermeyer Hydro Inc., Fort Collins, Colorado USA, 26 augustus 2000 t/m 4 september 2000", Zoetermeer, november 2000.
- [5] Nederlandse Normalisatie Instituut, "NEN6702, Belastingen en vervormingen TGB1990", Delft, 1<sup>e</sup> dr., december 1991.
- [6] Nederlandse Normalisatie Instituut, "NEN6770, Staalconstructies TGB1990", Delft, 1<sup>e</sup> dr., december 1991.
- [7] Nederlandse Normalisatie Instituut, "NEN6788, Het ontwerp van stalen bruggen VOSB1995", Delft, 1<sup>e</sup> dr., december 1995.
- [8] H.P.M. van Abeelen, "Basis constructieleer", Amsterdam, 1<sup>e</sup> dr., juni 1998.
- [9] Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, "Duurzaam bouwen in de grond-, weg- en waterbouw", Den Haag, g.d.
- [10] B. Drogts e.a., "Vezelversterkte kunststof sluisdeuren", g.pl., g.d.
- [11] Federatie nederlandse rubber- en kunststofindustrie, "Vezelversterkte kunststoffen, in constructieve toepassingen", Leidschendam, november 1999.
- [12] S.L. van der Laken, "Ontwerp van de Oosterscheldekering in vezelversterkte kunststoffen", Zoetermeer, oktober 1999.
- [13] D. Ros, Land + Water "Kunststof kan hout nog beter maken", Zoetermeer, nummer 1/2 1999.
- [14] D. Ros, Land + Water "Meer toepassingen voor vezelversterkte constructies", Zoetermeer, nummer 1/2 1999.
- [15] D. Ros, Land + Water "De kunst van het benutten van goede eigenschappen", Zoetermeer, nummer 1/2 1999.
- [16] Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, "CUR166; Damwandconstructies", Gouda, 3<sup>e</sup> dr., maart 1997.



## Bijlagen.

- 1 Schematische weergave belastingen.
- 2 Onderzoek aanvaring.
- 3 Overzicht belastingcombinaties.

### Variant 1A:

- 4 Opbouw raamwerk alternatieven.
- 5 Berekeningen alternatieven.
- 6 Onderhoud aluminium deklaag.

### Variant 1B:

- 7 Berekening.

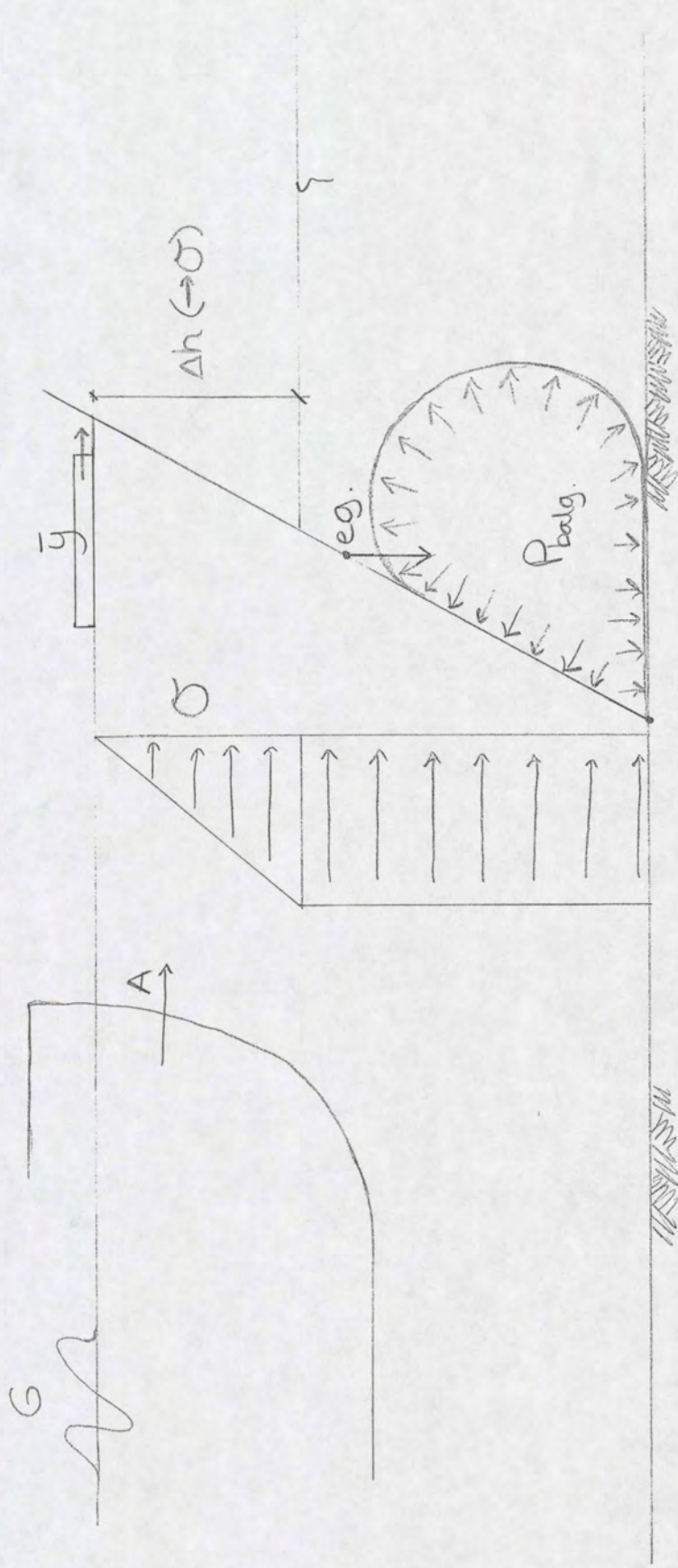
### Variant 2:

- 8 Opbouw vezelrichting.
- 9 Berekening.
  
- 10 Onderhoudskosten constructiestaal.
- 11 Kosten constructiestaal en roestvast staal.
- 12 Tekening definitieve variant.



## Bijlage 1: Schematische weergave belastingen.





$G$  = golfslag  
 $A$  = aanvaring  
 $\bar{y} = \bar{y}_s$   
 $e.g.$  = eigen gewicht  
 $\sigma$  = oppr water  
 $P_{balg}$  = druk i d balg

$P_{balg}$  moet niet gezien worden als belasting, maar  
 $P_{balg}$  moet wel net zo groot zijn als de som van alle  
 tegengestelde belastingen, om in evenwicht te zijn.

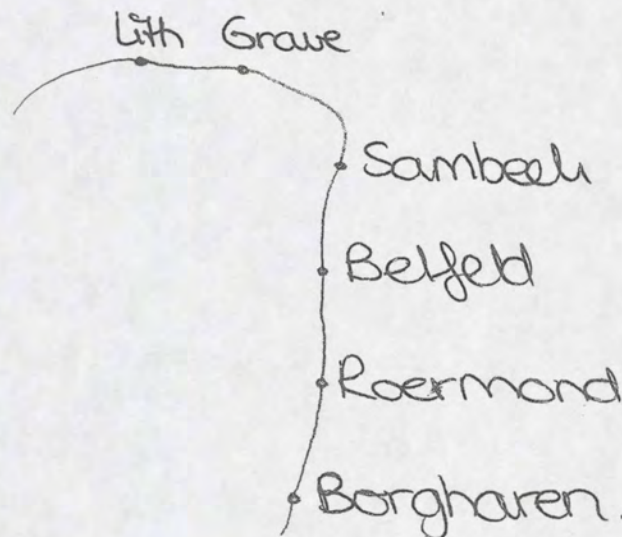


## Onderzoek aanvaring stuw.

### Conclusies gesprek met G.de Boer:

- Schippers weten dat ze geschat moeten worden.
  - Mogelijke situatie: schippers gaan slapen → anker laat los → drijft tegen stuw aan.
  - Statistieken nakijken → Dienstkringen of sluismeesters bellen van Sambeek en omgeving.
  - Te stellen vragen: Is er ooit een schip tegen de stuw gevaren?  
Hoeveel schade had de stuw?
  - Als er weinig schade is of als het weinig is voorgekomen → niet meenemen.
  - Als er grote schade is of als het veel is voorgekomen → wel meenemen, als volgt:  
aanvaarhoek van 0 tot 90 graden met een snelheid van de rivier (omdat het schip drijft)
- snelheid rivier: gem. debiet ( $Q_{\text{gem.}}$ ) in de Maas is  $180 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
watervoerende doorsnede is 110m breed bij 7m hoog →  $A = 110 \cdot 7 = 770 \text{ m}^2$ .  
 $V_{\text{gem.}} = Q_{\text{gem.}} / A = 180 / 770 = 0,23 \text{ m/s}$ .
- De vraag is nog of het een ander botsingstype is omdat het schip drijft in plaats van vaart → dit blijkt niet zo te zijn.

Kaartje stuwen in de Maas in de omgeving van Sambeek:





resultaten onderzoek.

Te stellen vragen: Is er ooit een schip tegen de stuw gevaren?  
Hoeveel schade had de stuw?

- Lith:           Het is 2 maal gebeurd.  
                  Beide keren recreatievaart.  
                  Stuw niet buiten bedrijf, geen schade.
- Grave:          Het is 1 maal gebeurd.  
                  Recreatievaart.  
                  Stuw niet buiten bedrijf, geen schade.  
                  Het schip was afgedreven.
- Sambeek:       Niet voorgekomen.
- Belfeld:        Niet voorgekomen.
- Roermond:      Niet voorgekomen.
- Borgharen:     Het is 1 maal gebeurd.  
                  Beroepsvaart.  
                  De stuw had wel schade, hij was verbogen.

De meeste stuwen hebben ook een ballenlijn, dit is een opvangconstructie voor schepen die richting stuw gaan. Een ballenlijn is een lijn met ballen eraan, die strak wordt getrokken als er een schip aan komt. De ballenlijn is alleen nuttig voor het tegenhouden van recreatievaart, beroepsvaart gaat hier dwars doorheen.

Bij Borgharen is sprake van een andere situatie in vergelijking met de andere stuwen. Borgharen bestaat alleen uit een stuwcomplex, terwijl de andere complexen ook een sluis er naast hebben liggen.



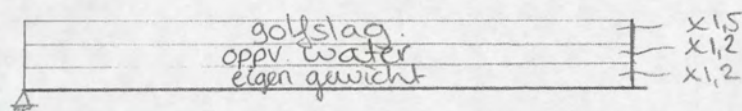
### Bijlage 3: Overzicht belastingcombinaties.



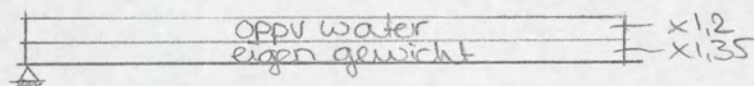
volgens NEN:

UGT:

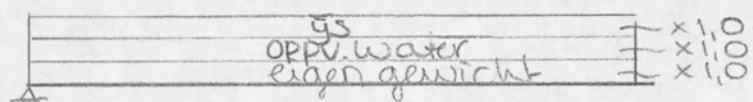
(1) extreem:



(2) alleen permanent:

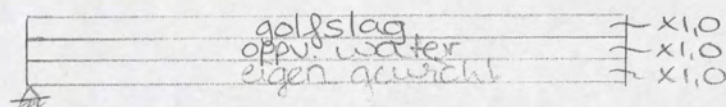


(3) bijzonder:



BGT:

(1) incidenteel en momentaan:



volgens BD:

UGT:

(1) extreem:

$1,2 \text{ eigen gewicht} + 1,2 \text{ oppv water} + 1,5 \cdot \text{golfslag}$

(2) alleen permanent

$1,35 \text{ eigen gewicht} + 1,2 \text{ oppv water}$

(3) bijzonder

$1,0 \cdot \text{eigen gewicht} + 1,0 \cdot \text{oppv water} + 1,0 \cdot \text{gs}$

BGT:

(1) incidenteel en momentaan:

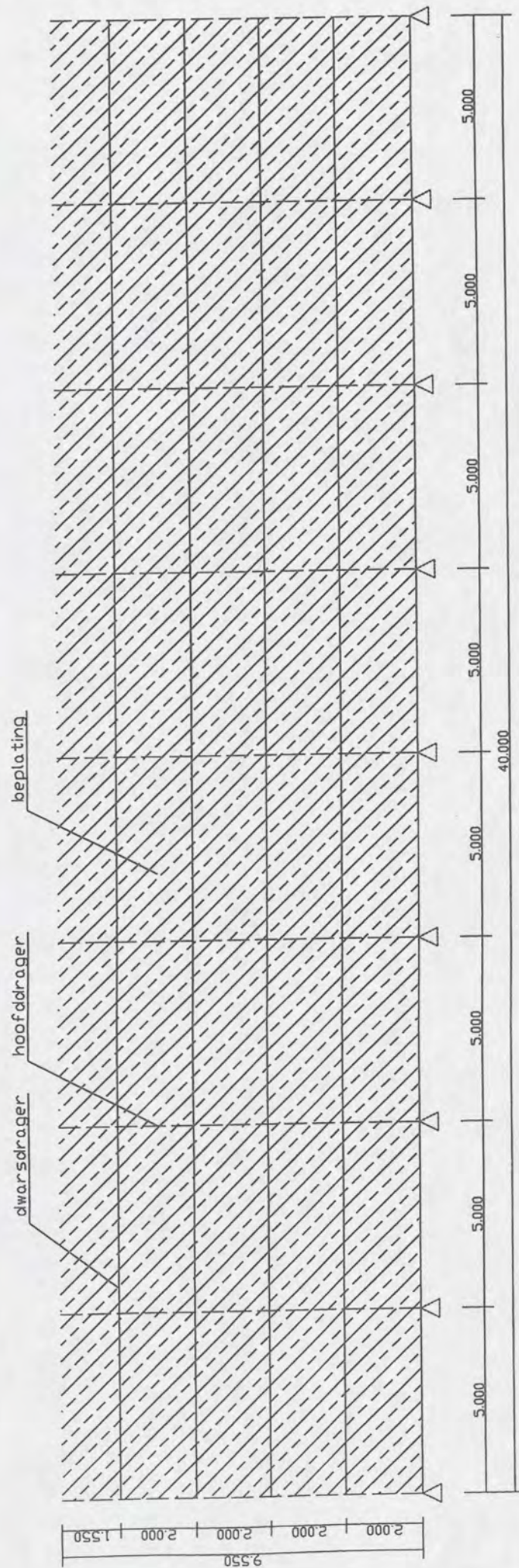
$1,0 \cdot \text{eigen gewicht} + 1,0 \cdot \text{oppv water} + 1,0 \cdot \text{golfslag}$



Variant 1A.

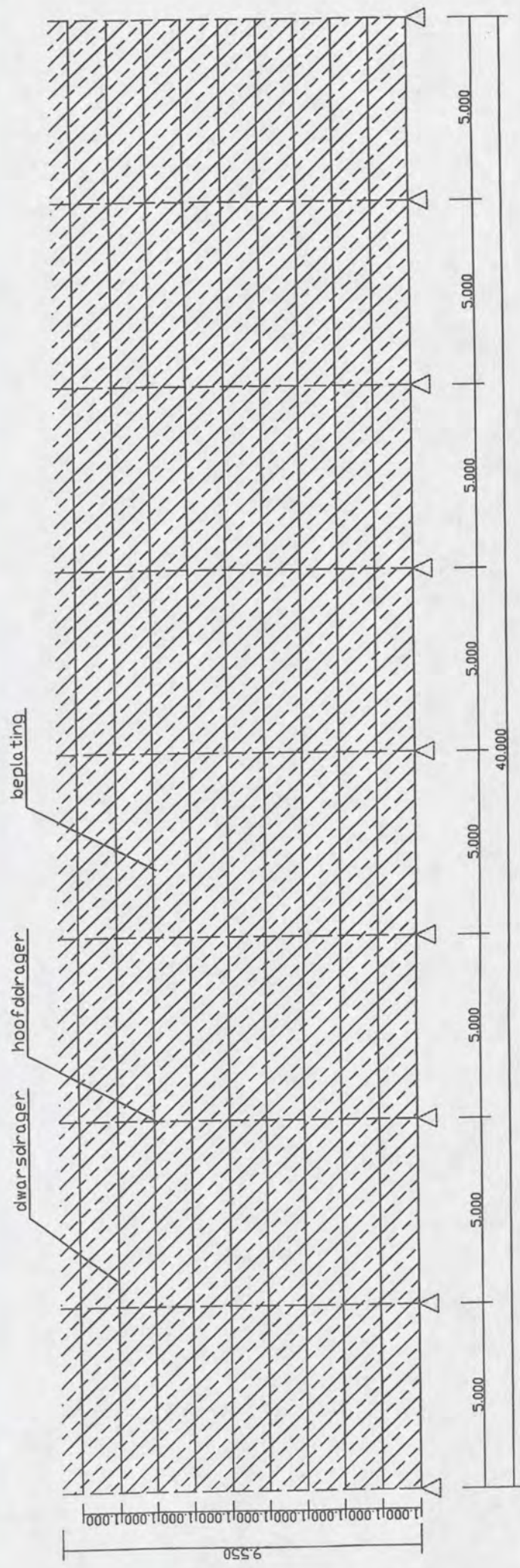
Bijlage 4: Opbouw raamwerk alternatieven.





schematisering constructie  
"dwarsdragers om de 2m"





schematisering constructie  
"dwarsdragers om de 1m"



Variant 1A.

Bijlage 5: Berekeningen alternatieven.



## Raamwerk:

### Alternatief dwarsdragers om de 2m:

#### Plaat.

##### Belasting:

De belasting wordt per 5meter breedte op de plaat gezet vanwege de hart op hart afstand van de hoofdtragers. De waarde van de momenten, dwarskrachten en doorbuigingen volgen uit Matrix.

##### Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met: } W = 1/6 * b * h^2$$

$$M = \text{optredend moment} = 91,58 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma(\text{max}) = \text{vloei spanning} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Hieruit volgt dat } W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 91,58 * 10^6 / 235 = 389702 \text{ mm}^3$$

$$W = 389702 = 1/6 * b * h^2 \text{ hierin is } b = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{De benodigde } h \text{ is dan } \sqrt{((389702 * 6) / 5000)} = +/- 22 \text{ mm}$$

##### Doorbuiging:

De optredende doorbuiging is veel te groot bij een plaatdikte van 22mm. De dikte wordt steeds iets verhoogd en er wordt gekeken of de plaat al aan de doorbuigingseis voldoet. (dit volgt uit de BGT; belastingfactor=1,0)

De maximaal toelaatbare doorbuiging is:  $\delta = 0,004 * L_{\text{overspanning}}$

Bij de ligger betekent dit =  $0,004 * 2000 = 8 \text{ mm}$ . En bij de uitkraging is het =  $0,004 * 1550 = 6 \text{ mm}$

Uiteindelijk blijkt de doorbuiging te voldoen voor een plaatdikte van 29mm.

De optredende doorbuiging bij een plaatdikte van 29mm is:

bij de ligger 8mm en bij de uitkraging 5mm (zie hierachter afbeelding "verplaatsingen").

##### Dwarskrachttoetsing:

$$\tau(d) = \frac{Dd}{A}$$

$\tau_d$  = optredende spanning.

$$D_d = \text{optredende dwarskracht} = 263,29 * 10^3 \text{ N}$$

$$A = \text{het oppervlak} = b * h = 5000 * 29 = 145000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \tau_d = 263,29 * 10^3 / 145000 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{De maximaal toelaatbare spanning is: } f_{y,d} / \sqrt{3} = 235 / \sqrt{3} = 135,7 \text{ N/mm}^2$$

De optredende spanning (1,8) is kleiner als de maximaal toelaatbare (135,7), dus een plaatdikte van 29mm is voldoende.

##### Combinatie:

$$\sigma_d = 91,58 * 10^6 \text{ Nmm} / (1/6 * 5000 * 29^2) = 130,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = 263,29 * 10^3 \text{ N} / 145000 \text{ mm}^2 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c;d} = \text{de optredende spanning ten gevolge van moment en dwarskracht} = \sqrt{(\sigma_d^2 + 3 * \tau_d^2)}$$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \sigma_{c;d} = \sqrt{(130,7^2 + 3 * 1,8^2)} = 130,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \text{de maximaal toelaatbare combinatie spanning} = 1,2 * f_{y,d} = 1,2 * 235 = 282 \text{ N/mm}^2$$

De optredende spanning (130,7) is kleiner als de maximaal toelaatbare (282), dus een plaatdikte van 29mm is voldoende.

##### Profiel:

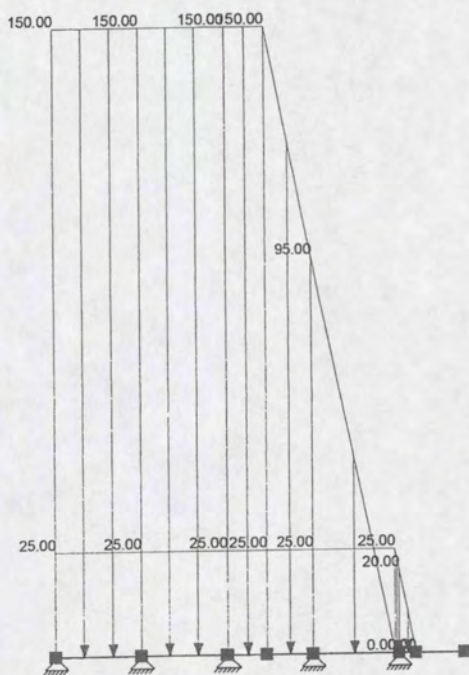
De plaatdikte van 29mm voldoet aan alle eisen wat betreft sterkte en doorbuiging.

##### Invloed balg:

In H3.1.2 wordt vermeld dat "de beplating en de dwarsdragers geen contact hebben met de roloplegging(balg) voor de berekening", indirect hebben ze dat wel. In de bovenstaande berekeningen is de balgdruk niet meegenomen. De invloed van de werkelijke balgondersteuning (lijnlast) op de plaat is dat de vorm en de waarden van de momentenlijn e.d. niet kloppen, het gevolg is dat de plaat waarschijnlijk dunner kan worden uitgevoerd.



Plaat		belastingenschema	dwarsdragers om de 2m.
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten BG1

$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 150 \text{ kN/m'}$$

$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 25 \text{ kN/m'}$$

Er wordt gerekend met.

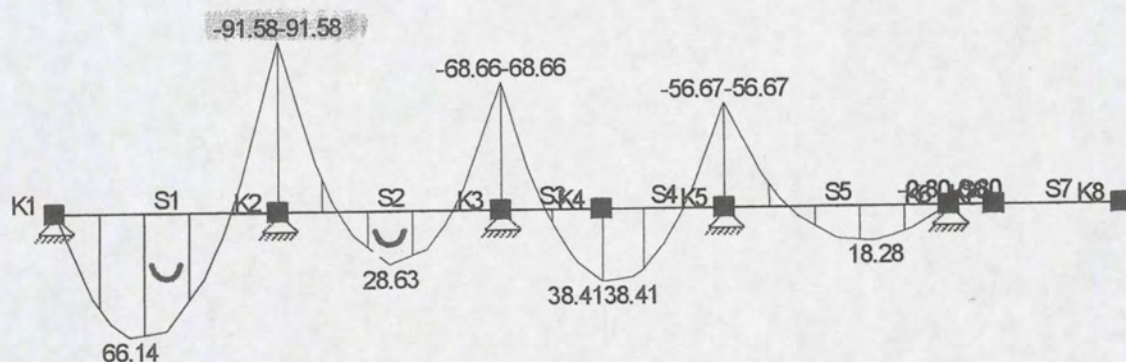
$$\gamma_p = 1.2 \text{ en } \gamma_q = 1.5$$



plaat

dwarsdragers om de 2m.

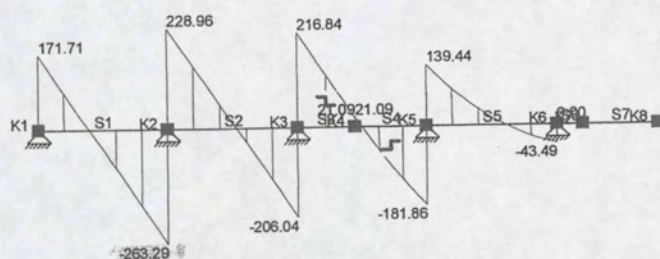
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende

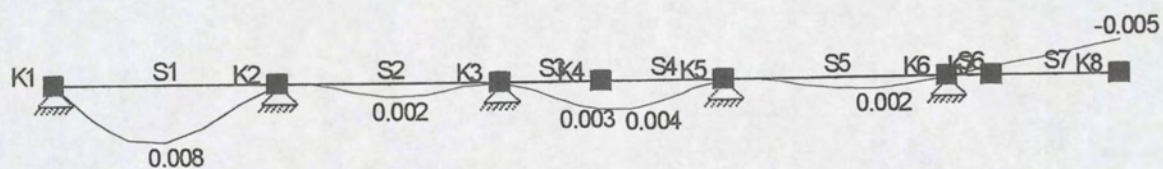


Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Dwarskrachten F.C. Omhullende (1)





Verplaatsingen IC\_mg

$$\gamma_p \text{ en } \gamma_q = 1,0$$



## Dwarsdragers.

### Belasting:

De belasting wordt per 2 meter breedte op de dwarsdrager gezet vanwege de hart op hart afstand van de dwarsdragers.

De waarde van de momenten, dwarskrachten en doorbuigingen volgen uit Matrix.

### Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met:}$$

M = optredend moment =  $229,83 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

$\sigma(\text{max}) = \text{vloeispanning} = 235 \text{ N/mm}^2$

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M/\sigma(\text{max}) = 229,83 \cdot 10^6 / 235 = 978 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ .  
Voor dwarsdragers worden standaard profielen toegepast, dus het weerstandsmoment moet worden opgezocht in de profieltabellen. Hieruit blijkt dat een profiel HE280A voldoet, het weerstandsmoment van dit profiel is namelijk  $1013 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ .

### Doorbuiging:

Met dit profiel voldoet de dwarsdrager ook voor de doorbuiging. (dit volgt uit de BGT; belastingfactor=1,0)

De maximaal toelaatbare doorbuiging is:  $\delta = 0,004 \cdot L_{\text{overspanning}}$

Bij de ligger betekent dit  $= 0,004 \cdot 5000 = 20 \text{ mm}$

De optredende doorbuiging is 10mm

De uiteindelijk optredende doorbuiging is nog kleiner aangezien er voor de toetsing op de combinatie een zwaardere profiel moest worden gekozen.

### Dwarskrachtoetsing:

$$\tau(d) = \frac{Dd \cdot S}{b \cdot I}$$

$\tau_d$  = optredende spanning.

$D_d$  = optredende dwarskracht =  $263,47 \cdot 10^3 \text{ N}$

S = statisch moment =  $556 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

b = breedte flens = 8mm

I = traagheidsmoment =  $13673 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

Hieruit volgt dat:  $\tau_d = 263,47 \cdot 10^3 \cdot 556 \cdot 10^3 / (8 \cdot 13673 \cdot 10^4) = 133,9 \text{ N/mm}^2$

De maximaal toelaatbare spanning is:  $f_{y,d}/\sqrt{3} = 235/\sqrt{3} = 135,7 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (133,9) is kleiner als de maximaal toelaatbare (135,7), dus een HE280A is voldoende.

### Combinatie:

Deze wordt net onder de flens gecontroleerd, omdat dit grootste combinatiespanning ( $\sigma_d + \tau_d$ ) oplevert:

$\sigma_d = 205,1 \text{ N/mm}^2$

$\tau_d = (263,47 \cdot 10^3 \cdot S / (8 \cdot 13673 \cdot 10^4)) \rightarrow S = A \cdot y = 13 \cdot 280 \cdot 128,5 = 467740 \text{ mm}^3 \rightarrow$

$\tau_d = 112,7 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{c,d}$  = de optredende spanning ten gevolge van moment en dwarskracht =  $\sqrt{(\sigma_d)^2 + 3 \cdot (\tau_d)^2}$

Hieruit volgt dat:  $\sigma_{c,d} = \sqrt{(205,1^2 + 3 \cdot 112,7^2)} = 283,1 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_c$  = de maximaal toelaatbare combinatie spanning =  $1,2 \cdot f_{y,d} = 1,2 \cdot 235 = 282 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (283,1) is groter als de maximaal toelaatbare (282), dus er moet een groter profiel worden gekozen. Een HE300A blijkt wel te voldoen.

### Profiel:

Een HE300A voldoet aan alle eisen wat betreft sterkte en doorbuiging.

Alle dwarsdragers krijgen dit profiel.

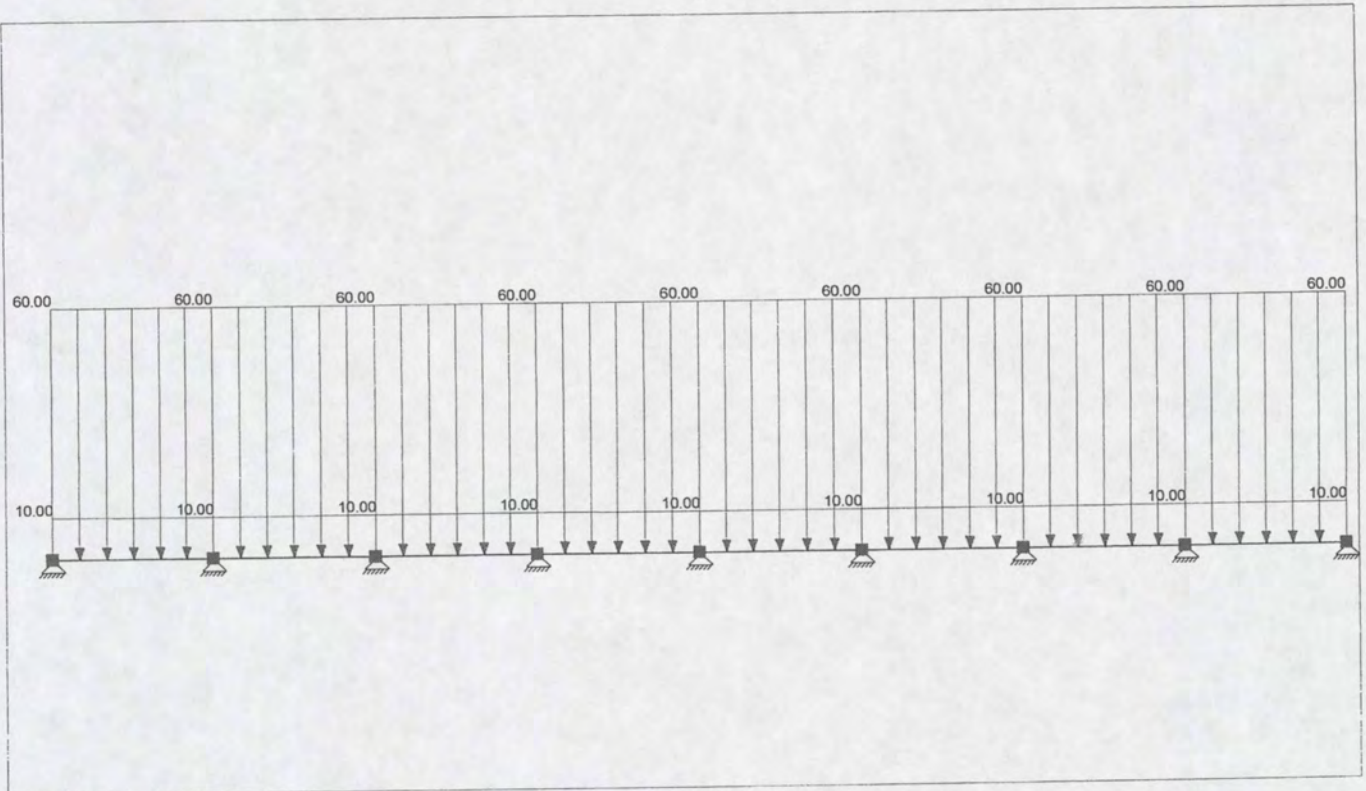
### Invloed balg:

In H3.1.2 wordt vermeld dat "de beplating en de dwarsdragers geen contact hebben met de roloplegging(balg) voor de berekening", indirect hebben ze dat wel. In de bovenstaande berekeningen is de balgdruk niet meegenomen. De invloed van de werkelijke balgondersteuning (lijnlast) op de dwarsdragers is dat de vorm en de waarden van de momentenlijn e.d. niet kloppen, het gevolg is dat voor de dwarsdragers waarschijnlijk een kleiner profiel kan worden gekozen.



# Dwarsdrager A. belastingschema om de 2m

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten

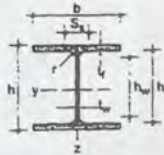
$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 2 \text{ m} = 60 \text{ kN/m}$$
$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 2 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}$$

Er wordt gerekend met.

$$\gamma_p = 1,2 \text{ en } \gamma_q = 1,5.$$



Б. И. Н. 21.07.04



HE	G	G <sub>s</sub>	A	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	r	h <sub>1</sub>	d	S <sub>s</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>v2</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>yz</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>yz</sub>	I <sub>z</sub>	I <sub>T</sub>	I <sub>s</sub>	HE				
	kg/m	kg/m	mm <sup>2</sup> ×10 <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	m <sup>2</sup> /m	mm <sup>2</sup> ×10 <sup>2</sup>	mm <sup>4</sup> ×10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup>	mm <sup>4</sup> ×10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup>	mm <sup>4</sup> ×10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup>	mm <sup>4</sup> ×10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup>				
100A	16.7	17	21.24	96	100	5	8	12	80	56	35.1	0.561	7.56	349.2	72.76	83.01	40.6	133.8	26.76	41.14	25.1	5.24	2.58	100A	
100B	20.4	20.8	26.04	100	100	6	10	12	80	56	40.1	0.567	9.04	449.5	89.91	104.2	41.6	167.3	33.45	51.42	25.3	9.25	3.38	100B	
100M	41.8	42.6	53.24	120	100	106	12	20	12	80	56	66.1	0.619	18.04	1143	190.4	235.8	46.5	399.2	75.31	116.3	27.4	68.21	9.93	100M
120A	19.9	20.3	25.34	114	120	5	8	12	98	74	35.1	0.577	8.46	606.2	106.3	119.5	48.9	230.9	38.48	58.85	30.2	5.99	6.47	120A	
120B	26.7	27.2	34.01	120	120	6.5	11	12	98	74	42.6	0.686	10.96	864.4	144.1	165.2	50.4	317.5	52.92	80.97	30.6	13.84	9.41	120B	
120M	52.1	53.1	66.41	140	126	12.5	21	12	98	74	68.6	0.738	21.15	2018	288.2	350.6	55.1	702.8	111.16	171.6	32.5	91.66	24.79	120M	
140A	24.7	25.1	31.42	133	140	5.5	8.5	12	116	92	36.6	0.794	10.12	1033	155.4	173.5	57.3	389.3	55.62	84.85	35.2	8.13	15.06	140A	
140B	33.7	34.4	42.96	140	140	7	12	12	116	92	45.1	0.805	13.08	1509	215.6	245.4	59.3	549.7	78.52	119.8	35.8	20.06	22.48	140B	
140M	63.2	64.4	80.56	160	146	13	22	12	116	92	71.1	0.857	24.46	3291	411.4	493.8	69.3	1144	156.8	240.5	37.7	120	54.33	140M	
160A	30.4	31	38.77	152	160	6	9	15	134	104	41.6	0.906	13.21	1673	220.1	245.1	65.7	615.6	76.95	117.6	39.8	12.19	31.41	160A	
160B	42.6	43.4	54.25	160	160	8	13	15	134	104	51.6	0.918	17.59	2492	311.5	354	67.8	889.2	111.2	170	40.6	31.24	47.94	160B	
160M	76.2	77.6	97.05	180	166	14	23	15	134	104	77.6	0.97	30.81	5098	566.5	674.6	72.8	1759	211.9	325.5	42.6	162.4	108.1	160M	
180A	35.5	36.2	45.25	171	180	6	9.5	15	152	122	42.6	1.024	14.47	2510	293.6	324.9	74.5	924.6	102.7	156.5	45.2	14.8	60.21	180A	
180B	51.2	52.2	65.25	180	180	8.5	14	15	152	122	54.1	1.037	20.24	3831	425.7	481.4	76.6	1363	151.3	231	45.7	42.16	95.75	180B	
180M	88.9	90.6	113.3	200	186	14.5	24	15	152	122	80.1	1.089	34.65	7483	748.3	883.4	81.3	2580	277.4	425.2	47.7	203.3	139.3	180M	
200A	42.3	43.1	53.83	190	200	6.5	10	18	170	134	47.6	1.136	18.08	3692	380.6	429.5	82.8	1336	133.6	203.8	49.8	20.98	108	200A	
200B	61.3	62.5	78.08	200	200	9	15	18	170	134	60.1	1.151	24.83	5696	569.6	642.5	85.4	2003	200.3	306.8	50.7	59.28	171.1	200B	
200M	103	105	131.3	220	206	15	25	18	170	134	86.1	1.203	41.03	10640	967.4	1135	90	3651	354.5	543.2	52.7	259.4	346.3	200M	
220A	50.5	51.5	64.34	210	220	7	11	18	188	152	50.1	1.255	20.67	5410	575.2	568.5	91.7	1955	177.7	270.6	55.1	28.46	193.3	220A	
220B	71.5	72.8	91.04	220	220	9.5	16	18	188	152	62.6	1.27	27.92	8091	735.5	827	94.3	2843	256.5	393.9	55.9	76.57	295.4	220B	
220M	117	120	149.4	240	226	15.5	26	18	188	152	88.6	1.322	45.31	14600	1217	1419	98.9	5012	438.3	678.6	57.9	315.3	572.7	220M	
240A	60.3	61.5	76.84	230	240	7.5	12	21	206	164	56.1	1.369	25.18	7763	675.1	744.6	100.5	2769	230.7	351.7	60	41.55	328.5	240A	
240B	83.2	84.8	106	240	240	10	17	21	206	164	68.6	1.384	33.23	11260	938.3	1053	103.1	3923	326.9	498.4	60.8	102.7	486.9	240B	
240M	157	160	199.6	270	248	18	32	21	206	164	106.6	1.45	60.07	24290	1799	2117	110.3	8153	657.5	1006	63.9	627.9	1152	240M	
260A	68.2	69.5	86.82	250	260	7.5	12.5	24	225	177	60.6	1.484	28.76	10450	836.4	919.8	109.7	3668	282.1	430.2	65	52.37	516.4	260A	
260B	93	94.7	118.4	260	260	10	17.5	24	225	177	73.1	1.499	37.59	14920	1148	1283	112.2	5135	395	602.2	65.8	123.8	753.7	260B	
260M	172	176	219.6	290	268	18	32.5	24	225	177	111.1	1.575	66.89	31310	2159	2524	119.4	10450	779.7	1192	69	719	1728	260M	
280A	76.4	77.8	97.26	270	280	8	13	24	244	196	62.1	1.603	31.74	13670	1013	1132	118.6	4763	340.2	518.7	70	62.1	785.4	280A	
280B	103	105	131.4	280	280	10.5	18	24	244	196	74.6	1.618	41.09	19270	1376	1534	121.1	6595	471	719	70.9	143.7	1130	280B	
280M	189	192	240.2	310	288	18.5	33	24	244	196	112.6	1.694	72.03	39550	2551	2966	128.3	13160	914.1	1397	74	807.3	2520	280M	
300A	88.3	90	112.5	290	300	8.5	14	27	262	208	68.1	1.717	37.28	18260	1260	1383	127.4	6310	420.6	641.2	74.9	85.17	1200	300A	
300B	117	119	149.1	300	300	11	19	27	262	208	80.6	1.732	47.43	25170	1768	1869	129.9	8563	570.9	870.1	75.8	185	1688	300B	
300M	238	242	303.1	340	310	21	39	27	262	208	130.6	1.832	90.53	59200	3482	4078	139.8	19400	1252	1913	80	1408	4386	300M	
320A	97.6	100	124.4	310	300	9	15.5	27	279	225	71.6	1.756	41.13	22930	1479	1628	135.8	6985	465.7	709.7	74.9	108	1512	320A	
320B	127	129	161.3	320	300	11.5	20.5	27	279	225	84.1	1.771	51.77	30820	1926	2149	138.2	9238	615.5	938.1	75.7	225.1	2069	320B	
320M	245	250	312	359	309	21	40	27	279	225	132.6	1.866	94.85	68130	3796	4435	147.8	19710	1276	1951	79.5	1501	5004	320M	

HE - HL

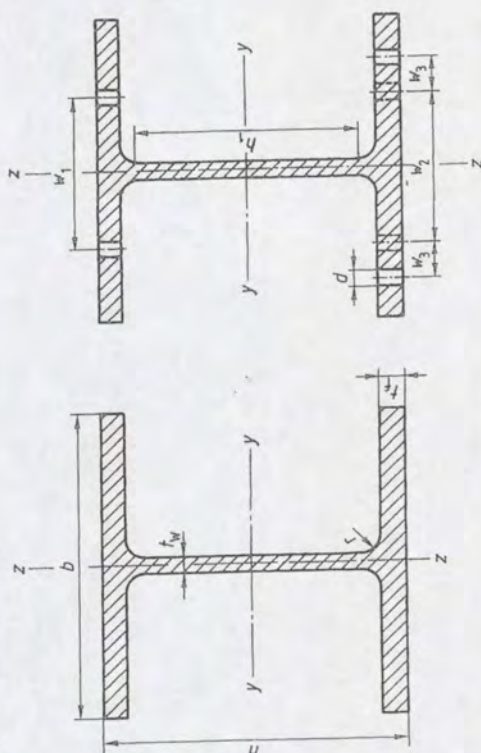
5

HE	G	G <sub>0</sub>	A	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>r</sub>	r	h <sub>1</sub>	d	S <sub>e</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>v2</sub>	L <sub>v</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	i <sub>v</sub>	i <sub>2</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>2</sub>	i <sub>2</sub>	i <sub>t</sub>	i <sub>0</sub>	HE
kg/m	kg/m	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>4</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>4</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup>	mm	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>4</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>4</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup>	mm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup>	
340A	106	107	133.5	330	300	9.5	16.5	27	297	243	74.1	1,795	44.95	27690	1678	1850	144	7436	495.7	755.9	74.6	127.2	1824	340A
340B	134	137	170.9	340	300	12	21.5	27	297	243	86.6	1.81	56.09	36660	2156	2408	146.5	9690	846	895.7	75.3	257.2	2454	340B
340M	248	253	315.8	377	309	21	40	27	297	243	132.6	1.902	98.63	76370	4052	4718	155.5	19710	1276	1953	79	150.6	5584	340M
360A	112	114	142.8	350	300	10	17.5	27	315	261	76.6	1.834	48.96	33090	1891	2088	152.2	7887	525.8	802.3	74.3	148.8	2177	360A
360B	142	144	180.6	360	300	12.5	22.5	27	315	261	89.1	1.849	60.6	43190	2400	2683	154.6	10140	647.1	1032	74.9	292.5	2893	360B
360M	250	255	318.8	395	308	21	40	27	315	261	132.6	1.934	102.4	84870	4297	4989	163.2	19520	1268	1942	78.3	150.7	6137	360M
400A	125	127	159	390	300	11	19	27	352	298	89.6	1.912	57.33	45070	2311	2562	168.4	8564	570.9	872.9	73.4	189	2942	400A
400B	165	158	197.8	400	300	13.5	24	27	352	298	93.1	1.927	69.88	57680	2684	3232	170.8	10820	721.3	1104	74	355.7	3810	400B
400M	256	261	325.8	432	307	21	40	27	352	298	132.6	2.004	110.2	104100	4820	5571	178.8	19340	1260	1934	77	1515	7410	400M
450A	140	142	178	440	300	11.5	21	27	398	344	85.1	2.011	65.78	63720	2898	3218	189.2	9465	631	965.5	72.9	243.8	4148	450A
450B	171	174	218	450	300	14	26	27	398	344	97.6	2.026	79.56	78980	3551	3982	191.4	11720	781.4	1198	73.3	440.5	5259	450B
450M	263	268	335.4	478	307	21	40	27	398	344	132.6	2.096	119.8	131500	5501	6331	198	19340	1260	1939	75.9	1529	9251	450M
500A	165	158	197.5	490	300	12	23	27	444	390	89.6	2.11	74.72	88970	3550	3949	209.8	10370	691.1	1059	72.4	309.3	5643	500A
500B	187	191	238.6	500	300	14.5	28	27	444	390	102.1	2.125	89.82	107200	4287	4815	211.9	12620	814.6	1292	72.7	538.4	7018	500B
500M	270	275	344.3	524	306	21	40	27	444	390	132.6	2.184	129.5	161900	6180	7094	216.9	19150	1252	1932	74.6	1539	11190	500M
550A	166	169	211.8	540	300	12.5	24	27	492	438	92.1	2.209	83.72	111900	4146	4622	229.9	10820	721.3	1107	71.5	355.7	7189	550A
550B	199	203	254.1	550	300	15	29	27	492	438	104.6	2.224	100.1	136700	4971	5591	232	13080	871.8	1341	71.7	600.3	8856	550B
550M	278	284	354.4	572	306	21	40	27	492	438	132.6	2.28	139.6	198000	6923	7933	236.4	19160	1252	1937	73.5	1554	13520	550M
600A	178	181	226.5	590	300	13	25	27	540	486	94.6	2.308	93.21	141200	4787	5350	249.7	11270	751.4	1156	70.5	397.8	8978	600A
600B	212	216	270	600	300	15.5	30	27	540	486	107.1	2.323	110.8	171000	5791	6425	251.7	13530	902	1391	70.8	667.2	10970	600B
600M	285	291	363.7	620	305	21	40	27	540	486	132.6	2.372	149.7	237400	7660	8772	255.5	18980	1244	1930	72.2	1564	15910	600M
650A	190	193	241.6	640	300	13.5	26	27	588	534	97.1	2.407	103.2	175200	5474	6136	269.3	11720	781.5	1205	69.7	448.3	11300	650A
650B	225	229	286.3	650	300	16	31	27	588	534	109.6	2.422	122	210600	6480	7320	271.2	13980	932.3	1441	69.9	739.2	13060	650B
650M	293	299	373.7	668	305	21	40	27	588	534	132.6	2.468	159.7	281700	8433	9657	274.5	18980	1245	1936	71.3	1579	18650	650M
700A	204	208	260.5	690	300	14.5	27	27	636	582	100.1	2.505	117	215300	6241	7032	287.5	12180	811.9	1257	68.4	513.9	13350	700A
700B	241	245	306.4	700	300	17	32	27	636	582	112.6	2.52	137.1	256900	7340	8327	289.6	1440	962.7	1495	66.7	830.9	16060	700B
700M	301	306	383	716	304	21	40	27	636	582	132.6	2.56	169.8	329300	9198	10540	293.2	18800	1237	1929	70.1	1589	21400	700M
800A	224	229	285.8	790	300	15	28	30	734	674	106.1	2.698	138.8	303400	7682	8699	325.8	12600	942.6	1312	66.5	596.9	18290	800A
800B	262	267	334.0	800	300	17.5	33	30	734	674	118.6	2.713	161.8	359100	8977	10230	327.8	14900	993.6	1553	66.8	946	21840	800B
800M	317	323	404.3	814	303	21	40	30	734	674	136.1	2.746	194.3	442800	10870	12490	330.9	18530	1230	1930	67.9	1646	27780	800M
900A	252	256	320.5	890	300	16	30	30	830	770	111.1	2.896	163.3	422100	9485	10810	362.9	13550	903.2	1414	85	736.8	24960	900A
900B	291	297	371.3	900	300	18.5	35	30	830	770	123.6	2.911	188.6	494100	10980	12580	364.8	15820	1054	1658	85.3	1137	29460	900B
900M	333	339	423.6	910	302	21	40	30	830	770	136.1	2.934	214.4	570400	12540	14440	367	18450	1222	1929	66	1671	34750	900M
1000A	272	277	346.8	990	300	16.5	31	30	928	868	113.6	3.095	184.6	553800	11190	12820	399.6	14000	933.6	1470	63.5	822.4	32070	1000A
1000B	314	320	400	1000	300	19	36	30	928	868	126.1	3.11	212.5	644700	12890	14860	401.5	16280	1085	1716	63.8	1254	37640	1000B
1000M	349	355	444.2	1008	302	21	40	30	928	868	136.1	3.13	235	722300	14330	16570	403.2	18460	1222	1940	64.5	1701	43020	1000M

HL																								HL			
1000A	321	327	408.8	990	400	16.5	31	30	928	858	113.6	3.495	184.6	6956400	14070	15800	412.7	33120	1656	2555	90	1021	76030	1000A			
1000B	371	378	472	1000	400	19	36	30	928	858	126.1	3.51	212.5	8121000	16240	18330	414.8	38480	1924	2976	90.3	1565	89210	1000B			
1000M	412	419	524.2	1008	402	21	40	30	928	888	136.1	3.53	235	9098000	18050	20440	416.6	43410	2160	3548	91	2128	101500	1000M			
1100A	343	349	436.5	1090	400	18	31	20	1028	988	103.4	3.71	206.5	8674000	15920	18060	445.8	43120	1656	2568	87.1	1037	82710	1100A			
1100B	390	398	497	1100	400	20	36	20	1028	988	115.4	3.726	230.6	10055000	18280	20780	449.8	38480	1924	2968	88	1564	108700	1100B			
1100M	433	441	551.2	1108	402	22	40	20	1028	988	125.4	3.746	254.4	11266000	20320	23160	451.9	43410	2160	3632	88.7	2130	123500	1100M			
1100R	499	508	635.2	1118	405	26	45	20	1028	988	139.4	3.77	300.4	12944000	23150	26600	451.4	49980	2468	3870	88.7	3135	143400	1100R			



2.43 HE-A-PROFIELEN (vervolg)



## 2.43 HE-A-PROFIELEN

## Breedflensbalken

Gegevens van de staalhandel

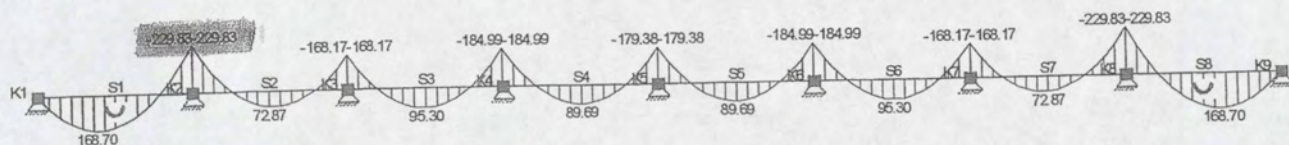
 $A$  = doorsnede in  $\text{mm}^2$  $G$  = gewicht in  $\text{N/m}^1$  $O$  = veroppervlak in  $\text{m}^2/\text{m}^1$  $I$  = traagheidsmoment $W$  = weerstandsmoment $i$  = traagheidsstraal =  $\sqrt{\frac{I}{A}}$  $S_y$  = statisch moment halve doorsnede t.o.v. y-as in  $\text{cm}^3 = 10^{-3} \cdot \text{mm}^3$  $S_y$  = afstand van trek- en drukpunt in  $\text{cm} = 10 \text{ mm}$  $w_1$  = krasmaten flens in  $\text{mm}$  $w_2$  = krasmaten flens in  $\text{mm}$  $w_3$  = krasmaten flens in  $\text{mm}$  $d$  = flensgatdiameter in  $\text{mm}$  $W_p = 2 S_y$  = plastisch weerstandsmoment (globaal  $W_p = 1,15 W_z$ ) $r$  = afrondingsstraal in  $\text{mm}$  $h_1 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_2 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_3 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_4 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_5 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_6 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_7 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_8 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_9 = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{10} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{11} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{12} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{13} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{14} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{15} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{16} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{17} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{18} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{19} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{20} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{21} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{22} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{23} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{24} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{25} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{26} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{27} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{28} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{29} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{30} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{31} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{32} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{33} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{34} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{35} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{36} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{37} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{38} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{39} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{40} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{41} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{42} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{43} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{44} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{45} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{46} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{47} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{48} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{49} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{50} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{51} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{52} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$  $h_{53} = h - 2(t_f + t_r)$  = lijfplaatthoogte in  $\text{mm}$ 

Voorbeeld schrijfwijze no. 200; HE 200 A

Profil no.	Assen					Flens					
	y - y					z - z					
	$I_y$ $10^4$ $\text{mm}^4$	$W_y$ $10^3$ $\text{mm}^3$	$i_y$ $\text{mm}$	$S_y$ $10^3$ $\text{mm}^3$	$s_y$ $\text{mm}$	$I_z$ $10^4$ $\text{mm}^4$	$W_z$ $10^3$ $\text{mm}^3$	$i_z$ $\text{mm}$	$w_1 w_2$ $\text{mm}$	$w_3$ $\text{mm}$	$d$ $\text{mm}$
100	349	73	40	41,5	84	134	27	25	55	-	13
120	606	106	48	49,7	101	231	38	30	65	-	17
140	1033	155	57	86,7	119	389	56	35	75	-	21
160	1673	220	65	123	136	616	77	39	85	-	23
180	2510	294	74	162	155	925	103	45	100	-	25
200	3692	389	82	215	172	1336	134	49	110	-	25
220	5410	515	91	284	190	1955	178	55	120	-	25
240	7763	675	101	372	209	2769	231	60	90	35	25
260	10455	836	110	460	227	3668	282	65	100	40	25
280	13673	1010	119	556	246	4763	340	71	110	45	25
300	18263	1260	127	692	264	6310	421	74	120	50	25
320	22928	1480	136	814	282	6985	466	74	120	50	25
340	27693	1680	144	925	299	7436	496	74	120	50	25
360	33090	1890	152	1040	317	7887	526	74	120	50	25
400	45069	2310	168	1280	352	8564	571	73	120	50	25
450	63722	2900	189	1610	396	9465	631	72	120	50	25
500	86975	3550	210	1970	441	10367	691	72	120	45	28
550	111932	4150	230	2310	484	10819	721	71	120	45	28
600	141208	4790	250	2680	528	11271	751	70	120	45	28
650	175178	5470	269	3070	571	11724	782	69	120	45	28
700	215301	6240	288	3520	612	12179	812	68	120	45	28
800	303442	7680	326	4350	698	12639	843	66	120	45	28
900	422075	9480	363	5410	781	13547	903	65	120	45	28
1000	553846	11190	400	6410	864	14004	934	63	120	45	28



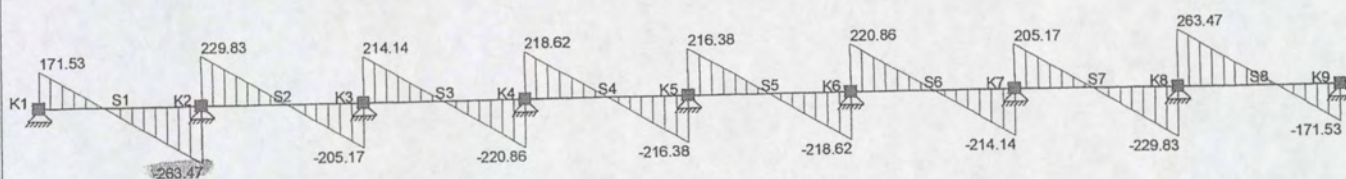
Dwaarsdrager A		om de 2m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende

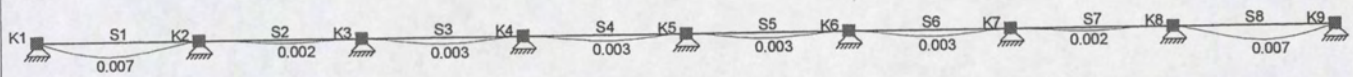


Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Dwarskrachten F.C. Omhullende (1)





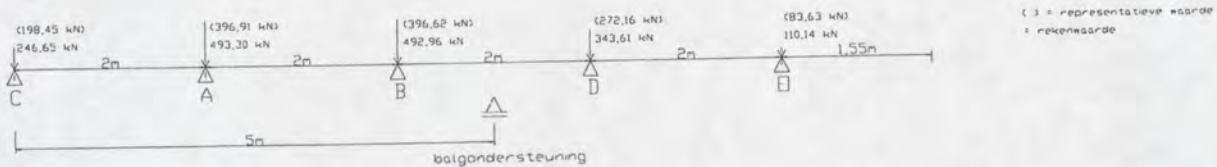
Verplaatsingen IC\_mg

$$\chi_p \text{ en } \chi_q = 1,0$$



## Hoofddrager.

De grootste oplegreacties van alle dwarsdragers op de hoofddrager moeten worden bepaald om de zwaarst belaste hoofddrager te kunnen dimensioneren. Zowel in de fundamentele situatie als in de incidentele situatie van de dwarsdragers, aangezien er anders dubbel wordt gerekend met de belastingfactoren. Dus bij de hoofddrager hoeven geen belastingfactoren te worden ingevuld. Zo komt het constructieschema eruit te zien:



## Belasting:

De belasting wordt bepaald door de oplegreactie van de dwarsdragers. De waarde van de momenten, dwarskrachten en doorbuigingen volgen uit Matrix. Eerst moet bepaald worden op welke afstand van het scharnier de balgondersteuning moet worden geplaatst, zodat dit het kleinste profiel voor de hoofddrager oplevert. Dit bleek op 5m vanaf het scharnier te zijn.

## Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met:}$$

$$M = \text{optredend moment} = 674,05 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$
$$\sigma(\text{max}) = \text{vloeispanning} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 674,05 \cdot 10^6 / 235 = 2868 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ . Voor hoofddrager worden standaard profielen toegepast, dus het weerstandsmoment moet worden opgezocht in de profieltabellen. Hieruit blijkt dat een profiel HE450A voldoet, het weerstandsmoment van dit profiel is namelijk  $2896 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ .

## Doorbuiging:

Met dit profiel voldoet de hoofddrager ook voor de doorbuiging. (dit volgt uit de BGT; belastingfactor=1,0)

De maximaal toelaatbare doorbuiging is:  $\delta = 0,004 \cdot L_{\text{overspanning}}$

Bij de ligger betekent dit =  $0,004 \cdot 5000 = 20 \text{ mm}$

Bij de uitkraging betekent dit =  $0,004 \cdot (9550 - 5000) = 18 \text{ mm}$

De optredende doorbuiging is

bij de ligger 6mm en

bij de uitkraging 9mm.

De uiteindelijk optredende doorbuiging is nog kleiner aangezien er voor de toetsing op de dwarskracht en de combinatie een zwaarder profiel moest worden gekozen.

## Dwarskrachttoetsing:

$$\tau(d) = \frac{Dd \cdot S}{b \cdot I}$$

$\tau_d$  = optredende spanning.

$D_d$  = optredende dwarskracht =  $726,50 \cdot 10^3 \text{ N}$

$S$  = statisch moment =  $1610 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$b$  = breedte flens =  $11,5 \text{ mm}$

$I$  = traagheidsmoment =  $63722 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

Hieruit volgt dat:  $\tau_d = 726,50 \cdot 10^3 \cdot 1610 \cdot 10^3 / (11,5 \cdot 63722 \cdot 10^4) = 159,6 \text{ N/mm}^2$

De maximaal toelaatbare spanning is:  $f_{y,d} / \sqrt{3} = 235 / \sqrt{3} = 135,7 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (159,6) is groter als de maximaal toelaatbare (135,7), dus er moet een groter profiel gekozen worden. Een HE550A blijkt wel te voldoen.

## Combinatie:

Deze wordt net onder de flens gecontroleerd, omdat dit grootste combinatiespanning ( $\sigma_d + \tau_d$ ) oplevert:

$$\sigma_d = 674,05 \cdot 10^6 \text{ Nmm} / 4146 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 162,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (uiterste vezel)}$$

$$\sigma_d = 147,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (onder de flens)}$$

$$\tau_d = (726,50 \cdot 10^3 \cdot S / 12,5 \cdot 111932 \cdot 10^4) \rightarrow S = A \cdot y = 24 \cdot 300 \cdot 258 = 1857600 \text{ mm}^3 \rightarrow$$



$$\tau_d = 96,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c;d} = \text{de optredende spanning ten gevolge van moment en dwarskracht} = \sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)}$$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \sigma_{c;d} = \sqrt{(147,1^2 + 3 \cdot 96,5^2)} = 222,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \text{de maximaal toelaatbare combinatie spanning} = 1,2 \cdot f_{y,d} = 1,2 \cdot 235 = 282 \text{ N/mm}^2$$

De optredende spanning (222,7) is kleiner als de maximaal toelaatbare (282), dus een HE550A is voldoende.

**Profiel:**

Een HE550A voldoet aan alle eisen wat betreft sterkte en doorbuiging.

Alle hoofddraggers krijgen dit profiel.

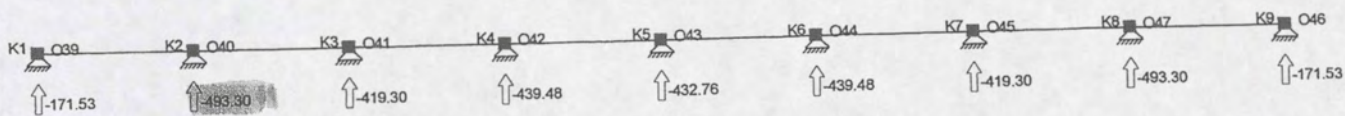
**Invloed balg:**

In H3.1.2 wordt vermeld dat door plaatsing van de roloplegging(balg) op 5m vanaf het scharnier redelijk de werkelijkheid wordt benaderd. Toch zal de werkelijke balgondersteuning (lijnlast) invloed hebben op de berekende profielen voor de hoofddrager. De lijnlast ondersteunt meer, hierdoor kan er waarschijnlijk voor de hoofddraggers een kleiner profiel worden gekozen.

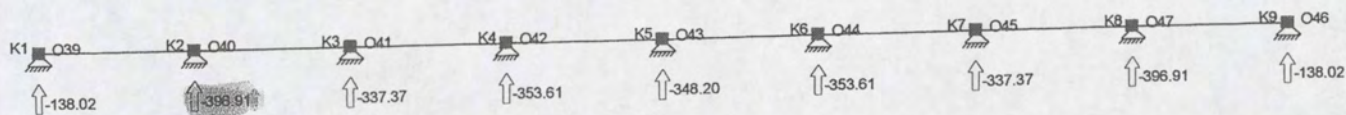


# Dwaarsdrager A

om de 2m.



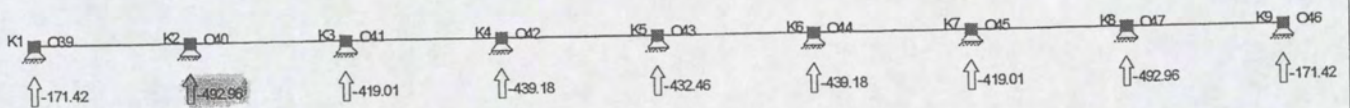
Oplegreacties F.C.1



Oplegreacties IC\_mg

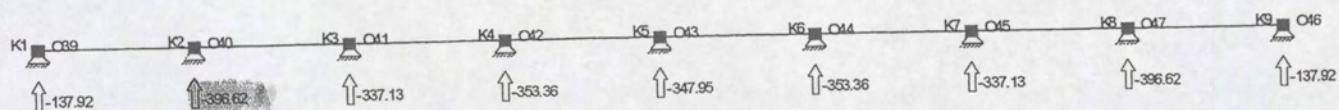


Dwarsdrager B		om de 2m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1





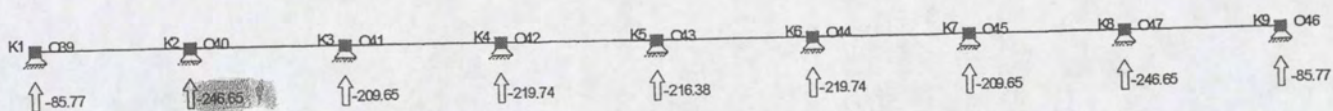
Oplegreacties IC\_mg



# Dwarsdrager C

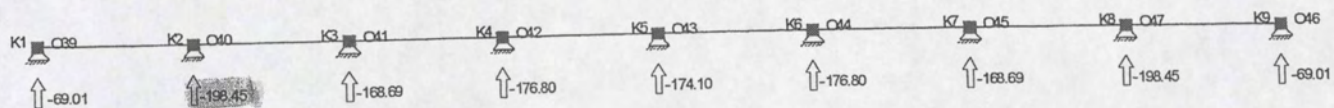
om de 2m

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1





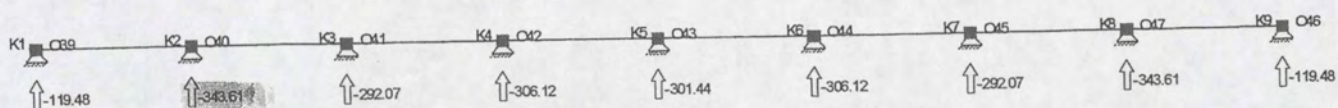
Oplegreacties IC\_mg



Dwarsdrager D

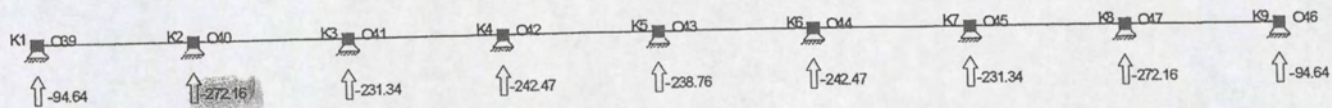
om de 2m

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1





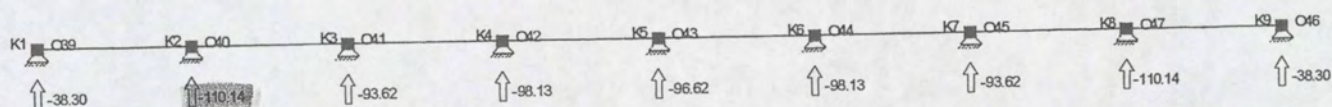
Oplegreacties IC\_mg



Dwarsdrager E

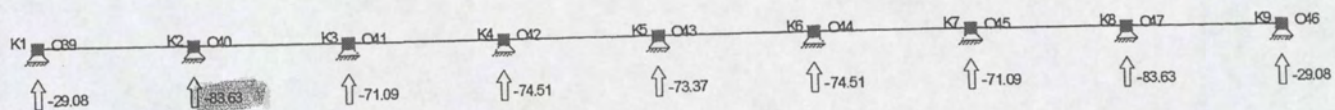
om de z.m

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1

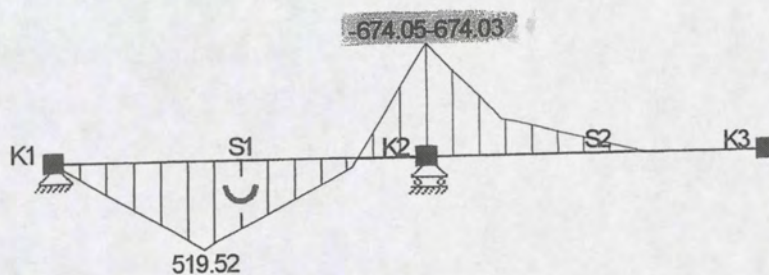




Oplegreacties IC\_mg

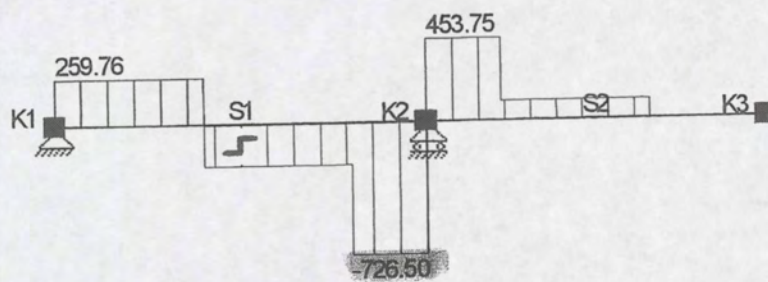


Hoofddrager		om de 2m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende

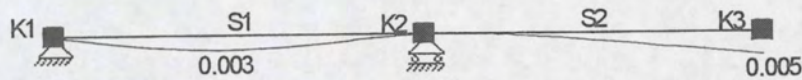




Dwarskrachten F.C. Omhullende



Hoofddrager		om de 2m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Verplaatsingen BG1

$$\gamma_p \text{ en } \gamma_q = 1,0$$



## Alternatief dwarsdragers om de 1m:

### Plaat.

#### Belasting:

De belasting wordt per 5meter breedte op de plaat gezet vanwege de hart op hart afstand van de hoofdtragers. De waarde van de momenten, dwarskrachten en doorbuigingen volgen uit Matrix.

#### Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met: } W = 1/6 * b * h^2$$

M = optredend moment =  $22,98 * 10^6 \text{ Nmm}$

$\sigma(\text{max}) = \text{vloeispanning} = 235 \text{ N/mm}^2$

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 22,98 * 10^6 / 235 = 97787 \text{ mm}^3$ .

$$W = 389702 = 1/6 * b * h^2. \text{ hierin is } b = 5000 \text{ mm}$$

De benodigde h is dan  $\sqrt{(97787 * 6) / 5000} = \pm 11 \text{ mm}$

#### Doorbuiging:

De optredende doorbuiging is veel te groot bij een plaatdikte van 11mm. De dikte wordt steeds iets verhoogd en er wordt gekeken of de plaat al aan de doorbuigingseis voldoet. (dit volgt uit de BGT; belastingfactor=1,0)

De maximaal toelaatbare doorbuiging is:  $\delta = 0,004 * L_{\text{overspanning}}$

Bij de ligger betekent dit  $= 0,004 * 1000 = 4 \text{ mm}$ . En bij de uitkraging is het  $= 0,004 * 550 = 2 \text{ mm}$

Uiteindelijk blijkt de doorbuiging te voldoen voor een plaatdikte van 15mm.

De optredende doorbuiging bij een plaatdikte van 15mm is:

bij de ligger 4mm en bij de uitkraging 0mm (zie hierachter afbeelding "verplaatsingen").

#### Dwarskrachttoetsing:

$$\tau(d) = \frac{Dd}{A}$$

$\tau_d$  = optredende spanning.

$D_d$  = optredende dwarskracht =  $131,73 * 10^3 \text{ N}$

A = het oppervlak =  $b * h = 5000 * 15 = 75000 \text{ mm}^2$

Hieruit volgt dat:  $\tau_d = 131,73 * 10^3 / 75000 = 1,8 \text{ N/mm}^2$

De maximaal toelaatbare spanning is:  $f_{y,d} / \sqrt{3} = 235 / \sqrt{3} = 135,7 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (1,8) is kleiner als de maximaal toelaatbare (135,7), dus een plaatdikte van 15mm is voldoende.

#### Combinatie:

$\sigma_d = 22,98 * 10^6 \text{ Nmm} / (1/6 * 5000 * 15^2) = 122,6 \text{ N/mm}^2$

$\tau_d = 131,73 * 10^3 \text{ N} / 75000 \text{ mm}^2 = 1,8 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{c,d}$  = de optredende spanning ten gevolge van moment en dwarskracht =  $\sqrt{(\sigma_d^2 + 3 * \tau_d^2)}$

Hieruit volgt dat:  $\sigma_{c,d} = \sqrt{(122,6^2 + 3 * 1,8^2)} = 122,6 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_c$  = de maximaal toelaatbare combinatie spanning =  $1,2 * f_{y,d} = 1,2 * 235 = 282 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (122,6) is kleiner als de maximaal toelaatbare (282), dus een plaatdikte van 15mm is voldoende.

#### Profiel:

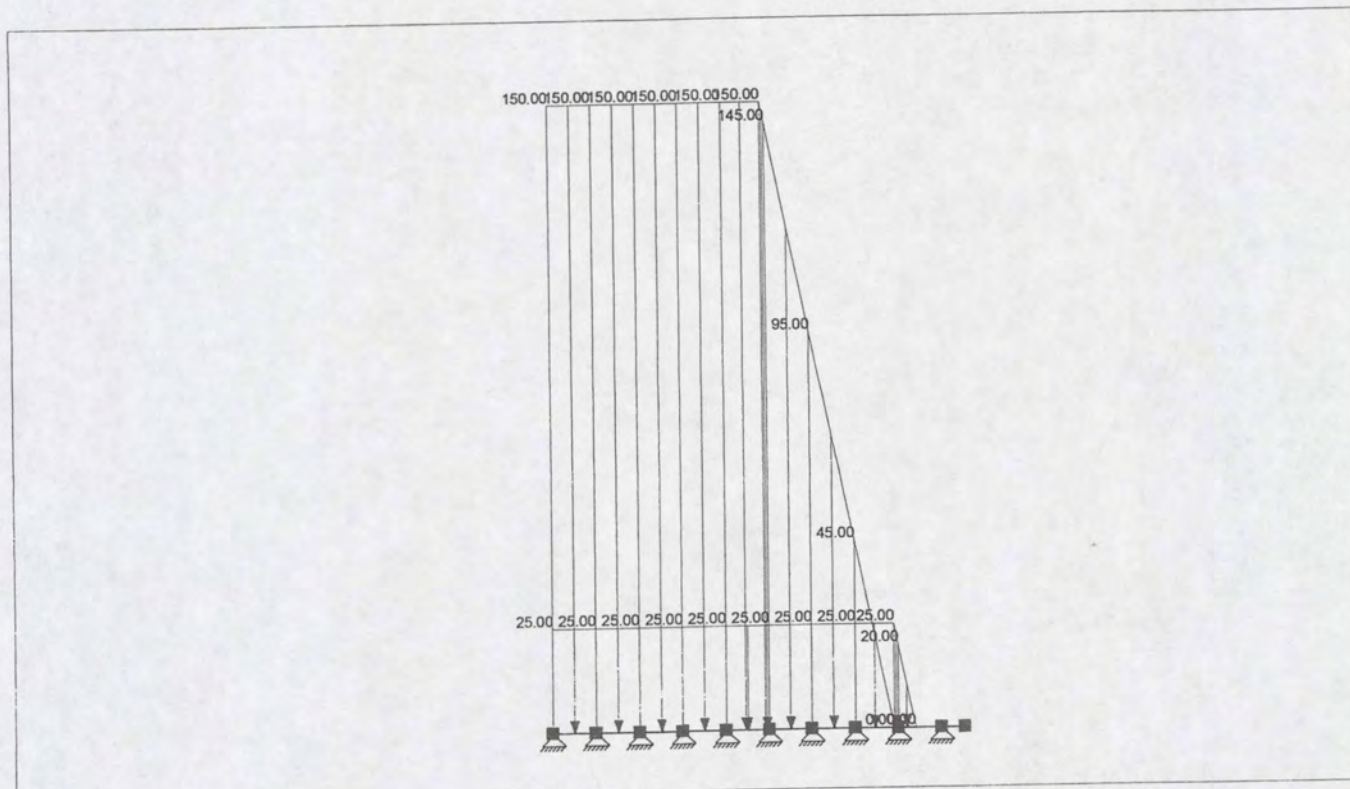
De plaatdikte van 15mm voldoet aan alle eisen wat betreft sterkte en doorbuiging.

#### Invloed balg:

In H3.1.2 wordt vermeld dat "de beplating en de dwarsdragers geen contact hebben met de roloplegging(balg) voor de berekening", indirect hebben ze dat wel. In de bovenstaande berekeningen is de balgdruk niet meegenomen. De invloed van de werkelijke balgondersteuning (lijnlast) op de plaat is dat de vorm en de waarden van de momentenlijn e.d. niet kloppen, het gevolg is dat de plaat waarschijnlijk dunner kan worden uitgevoerd.



plaat		belastingenschema dwarsdragers om de 1m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten BG1

$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 150 \text{ kN/m}$$

$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ m} = 25 \text{ kN/m}$$

Er wordt gerekend met:

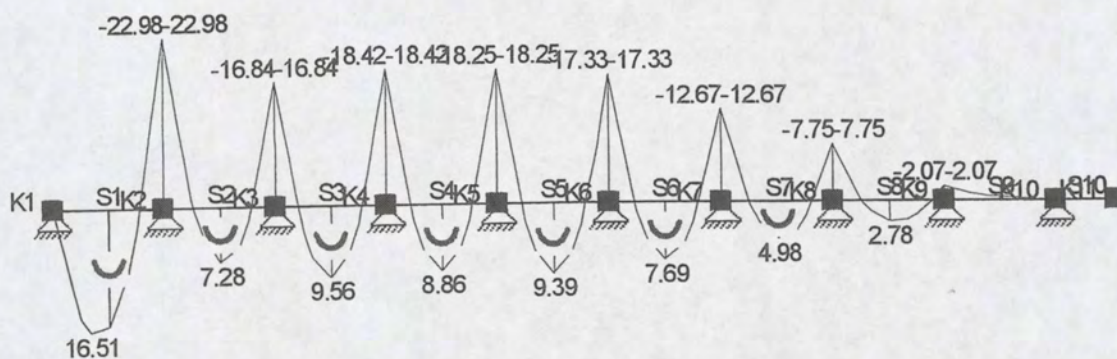
$$\gamma_p = 1.2 \text{ en } \gamma_q = 1.5$$



plaat

dwarsdragers om de 1m.

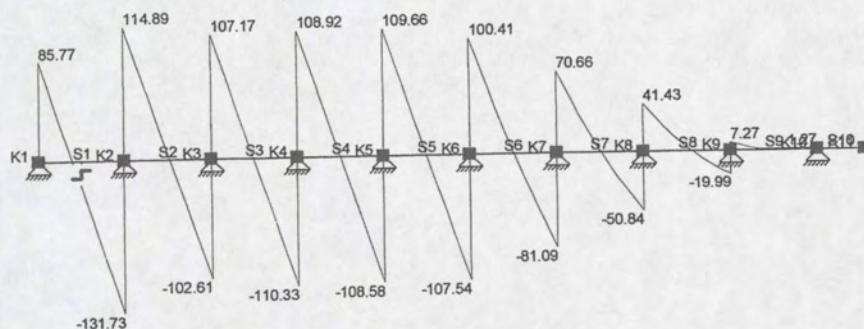
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende

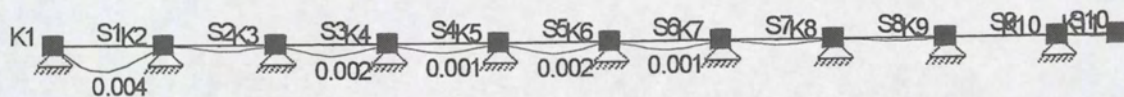


Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Dwarskrachten F.C. Omhullende





Verplaatsingen IC\_mg

$$\gamma_p \text{ en } \gamma_q = 1,0$$



## Dwarsdragers.

### **Belasting:**

De belasting wordt per 1 meter breedte op de dwarsdrager gezet vanwege de hart op hart afstand van de dwarsdragers.

De waarde van de momenten, dwarskrachten en doorbuigingen volgen uit Matrix.

### **Moment toetsing:**

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met:}$$

$$M = \text{optredend moment} = 114,92 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma(\text{max}) = \text{vloeispanning} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Hieruit volgt dat } W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 114,92 \cdot 10^6 / 235 = 489 \cdot 10^3 \text{ mm}^3.$$

Voor dwarsdragers worden standaard profielen toegepast, dus het weerstandsmoment moet worden opgezocht in de profiel tabellen. Hieruit blijkt dat een profiel HE220A voldoet, het weerstandsmoment van dit profiel is namelijk  $515,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ .

### **Doorbuiging:**

Met dit profiel voldoet de dwarsdrager ook voor de doorbuiging. (dit volgt uit de BGT; belastingfactor=1,0)

De maximaal toelaatbare doorbuiging is:  $\delta = 0,004 \cdot L_{\text{overspanning}}$

Bij de ligger betekent dit  $= 0,004 \cdot 5000 = 20 \text{ mm}$

De optredende doorbuiging is 13mm

### **Dwarskrachttoetsing:**

$$\tau(d) = \frac{D_d \cdot S}{b \cdot I}$$

$\tau_d$  = optredende spanning.

$D_d$  = optredende dwarskracht =  $131,73 \cdot 10^3 \text{ N}$

$S$  = statisch moment =  $284 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$b$  = breedte flens =  $7 \text{ mm}$

$I$  = traagheidsmoment =  $5410 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \tau_d = 131,73 \cdot 10^3 \cdot 284 \cdot 10^3 / 7 \cdot 5410 \cdot 10^4 = 98,8 \text{ N/mm}^2$$

De maximaal toelaatbare spanning is:  $f_{y,d} / \sqrt{3} = 235 / \sqrt{3} = 135,7 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (98,8) is kleiner als de maximaal toelaatbare (135,7), dus een HE220A is voldoende.

### **Combinatie:**

Deze wordt net onder de flens gecontroleerd, omdat dit grootste combinatiespanning ( $\sigma_d + \tau_d$ ) oplevert:

$$\sigma_d = 114,92 \cdot 10^6 \text{ Nmm} / 515,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 223,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (uiterste vezel)}$$

$$\sigma_d = 199,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (onder flens)}$$

$$\tau_d = (131,73 \cdot 10^3 \text{ N} / 7 \cdot 5410 \cdot 10^4) \rightarrow S = A \cdot y = 11 \cdot 220 \cdot 99,5 = 240790 \text{ mm}^3 \rightarrow$$

$$\tau_d = 83,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c;d} = \text{de optredende spanning ten gevolge van moment en dwarskracht} = \sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)}$$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \sigma_{c;d} = \sqrt{(199,7^2 + 3 \cdot 83,8^2)} = 246,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \text{de maximaal toelaatbare combinatie spanning} = 1,2 \cdot f_{y,d} = 1,2 \cdot 235 = 282 \text{ N/mm}^2$$

De optredende spanning (246,9) is kleiner als de maximaal toelaatbare (282), dus een HE220A is voldoende.

### **Profiel:**

Een HE220A voldoet aan alle eisen wat betreft sterkte en doorbuiging.

Alle dwarsdragers krijgen dit profiel.

### **Invloed balg:**

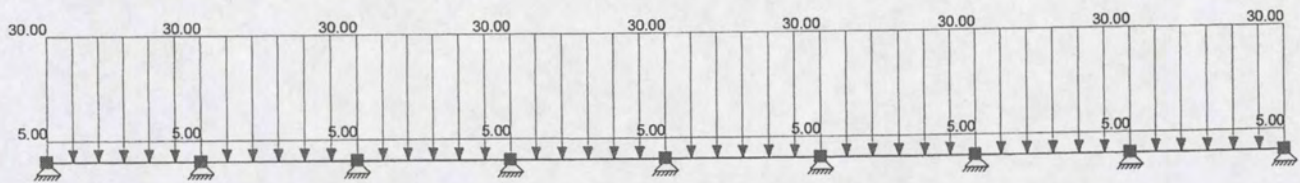
In H3.1.2 wordt vermeld dat "de beplating en de dwarsdragers geen contact hebben met de roloplegging(balg)

voor de berekening", indirect hebben ze dat wel. In de bovenstaande berekeningen is de balgdruk niet meegenomen. De invloed van de werkelijke balgondersteuning (lijnlast) op de dwarsdragers is dat de vorm en de waarden van de momentenlijn e.d. niet kloppen, het gevolg is dat voor de dwarsdragers waarschijnlijk een kleiner profiel kan worden gekozen.



# Dwarsdrager A belastingschema om de 1m.

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten

$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 30 \text{ kN/m}$$

$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}$$

Er wordt gerekend met:

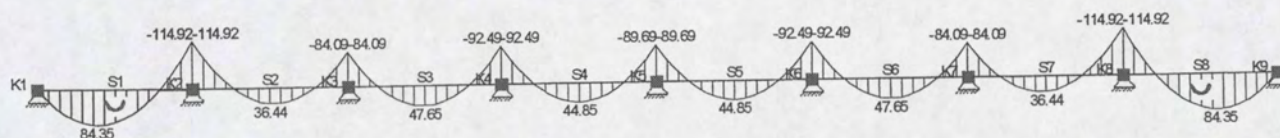
$$\gamma_p = 1,2 \text{ en } \gamma_q = 1,5$$



Dwarsdrager A

om de 1m.

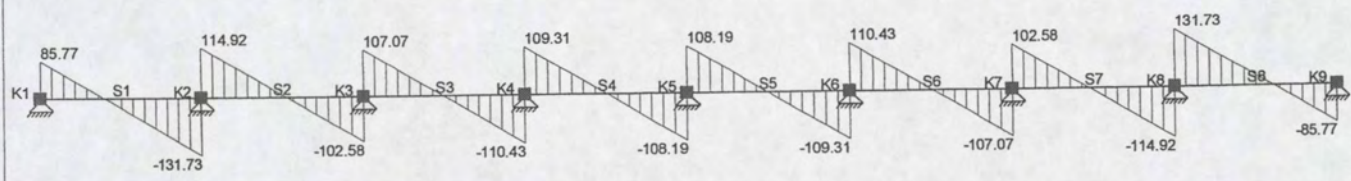
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende



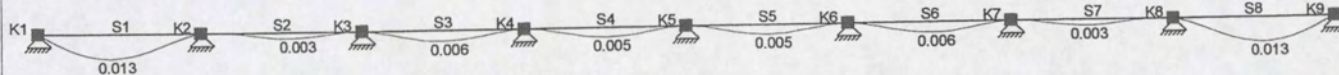
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Dwarskrachten F.C. Omhullende



Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



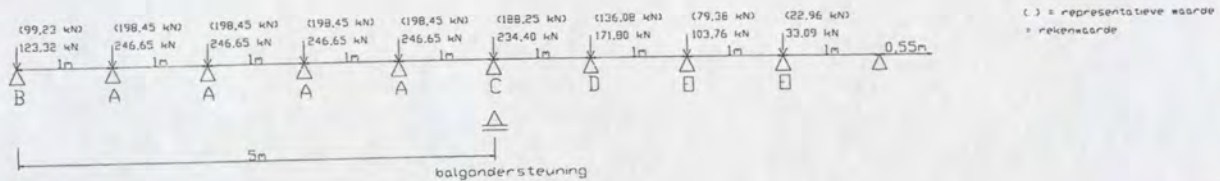
Verplaatsingen IC<sub>mg</sub>

$$\gamma_p \text{ en } \gamma_q = 1,0$$



## Hoofddrager.

De grootste oplegreacties van alle dwarsdragers op de hoofddrager moeten worden bepaald om de zwaarst belaste hoofddrager te kunnen dimensioneren. Zowel in de fundamentele situatie als in de incidentele situatie van de dwarsdragers, aangezien er anders dubbel wordt gerekend met de belastingfactoren. Dus bij de hoofddrager hoeven geen belastingfactoren te worden ingevuld.



## Belasting:

De belasting wordt bepaald door de oplegreactie van de dwarsdragers. De waarde van de momenten, dwarskrachten en doorbuigingen volgen uit Matrix. Eerst moet bepaald worden op welke afstand van het scharnier de balgondersteuning moet worden geplaatst, zodat dit het kleinste profiel voor de hoofddrager oplevert. Dit bleek op 5m vanaf het scharnier te zijn.

## Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met:}$$

$$M = \text{optredend moment} = 548,50 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma(\text{max}) = \text{vloeispanning} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 548,50 \cdot 10^6 / 235 = 2334 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ .  
Voor hoofddrageren worden standaard profielen toegepast, dus het weerstandsmoment moet worden opgezocht in de profiel tabellen. Hieruit blijkt dat een profiel HE450A voldoet, het weerstandsmoment van dit profiel is namelijk  $2896 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ .

## Doorbuiging:

Met dit profiel voldoet de hoofddrager ook voor de doorbuiging. (dit volgt uit de BGT; belastingfactor=1,0)

De maximaal toelaatbare doorbuiging is:  $\delta = 0,004 \cdot L_{\text{overspanning}}$

Bij de ligger betekent dit =  $0,004 \cdot 5000 = 20 \text{ mm}$

Bij de uitkraging betekent dit =  $0,004 \cdot (9550 - 5000) = 18 \text{ mm}$

De optredende doorbuiging is

bij de ligger 7mm en

bij de uitkraging 4mm.

## Dwarskrachttoetsing:

$$\tau(d) = \frac{Dd \cdot S}{b \cdot I}$$

$\tau_d$  = optredende spanning.

$D_d$  = optredende dwarskracht =  $589,03 \cdot 10^3 \text{ N}$

$S$  = statisch moment =  $1610 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$b$  = breedte flens =  $11,5 \text{ mm}$

$I$  = traagheidsmoment =  $63722 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \tau_d = 589,03 \cdot 10^3 \cdot 1610 \cdot 10^3 / 11,5 \cdot 63722 \cdot 10^4 = 129,4 \text{ N/mm}^2$$

De maximaal toelaatbare spanning is:  $f_{y,d} / \sqrt{3} = 235 / \sqrt{3} = 135,7 \text{ N/mm}^2$

De optredende spanning (129,4) is kleiner als de maximaal toelaatbare (135,7), dus een HE450A is voldoende.

## Combinatie:

Deze wordt net onder de flens gecontroleerd, omdat dit grootste combinatiespanning ( $\sigma_d + \tau_d$ ) oplevert:

$$\sigma_d = 548,50 \cdot 10^6 \text{ Nmm} / 2896 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 189,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (uiterste vezel)}$$

$$\sigma_d = 171,3 \text{ N/mm}^2 \text{ (onder de flens)}$$

$$\tau_d = (589,03 \cdot 10^3 \cdot S / 11,5 \cdot 63722 \cdot 10^4) \rightarrow S = A \cdot y = 21 \cdot 300 \cdot 209,5 = 1319850 \text{ mm}^3 \rightarrow$$

$$\tau_d = 106,1 \text{ N/mm}^2 \text{ Hieruit volgt dat:}$$

$$\sigma_{c,d} = \text{de optredende spanning ten gevolge van moment en dwarskracht} = \sqrt{(\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2)}$$

$$\text{Hieruit volgt dat: } \sigma_{c,d} = \sqrt{(171,3^2 + 3 \cdot 106,1^2)} = 251,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \text{de maximaal toelaatbare combinatie spanning} = 1,2 \cdot f_{y,d} = 1,2 \cdot 235 = 282 \text{ N/mm}^2$$



De optredende spanning (251,2) is kleiner als de maximaal toelaatbare (282), dus een HE450A is voldoende.

**Profiel:**

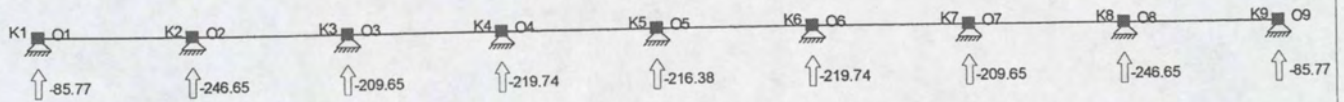
Een HE450A voldoet aan alle eisen wat betreft sterkte en doorbuiging.

Alle hoofddraggers krijgen dit profiel.

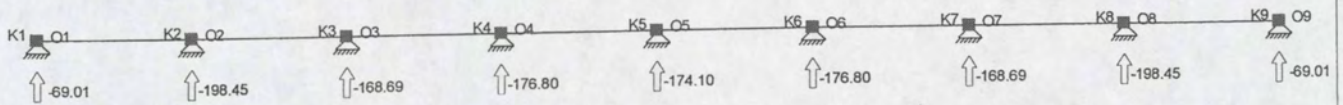
**Invloed balg:**

In H3.1.2 wordt vermeld dat door plaatsing van de roloplegging(balg) op 5m vanaf het scharnier redelijk de werkelijkheid wordt benaderd. Toch zal de werkelijke balgondersteuning (lijnlast) invloed hebben op de berekende profielen voor de hoofddrager. De lijnlast ondersteunt meer, hierdoor kan er waarschijnlijk voor de hoofddraggers een kleiner profiel worden gekozen.





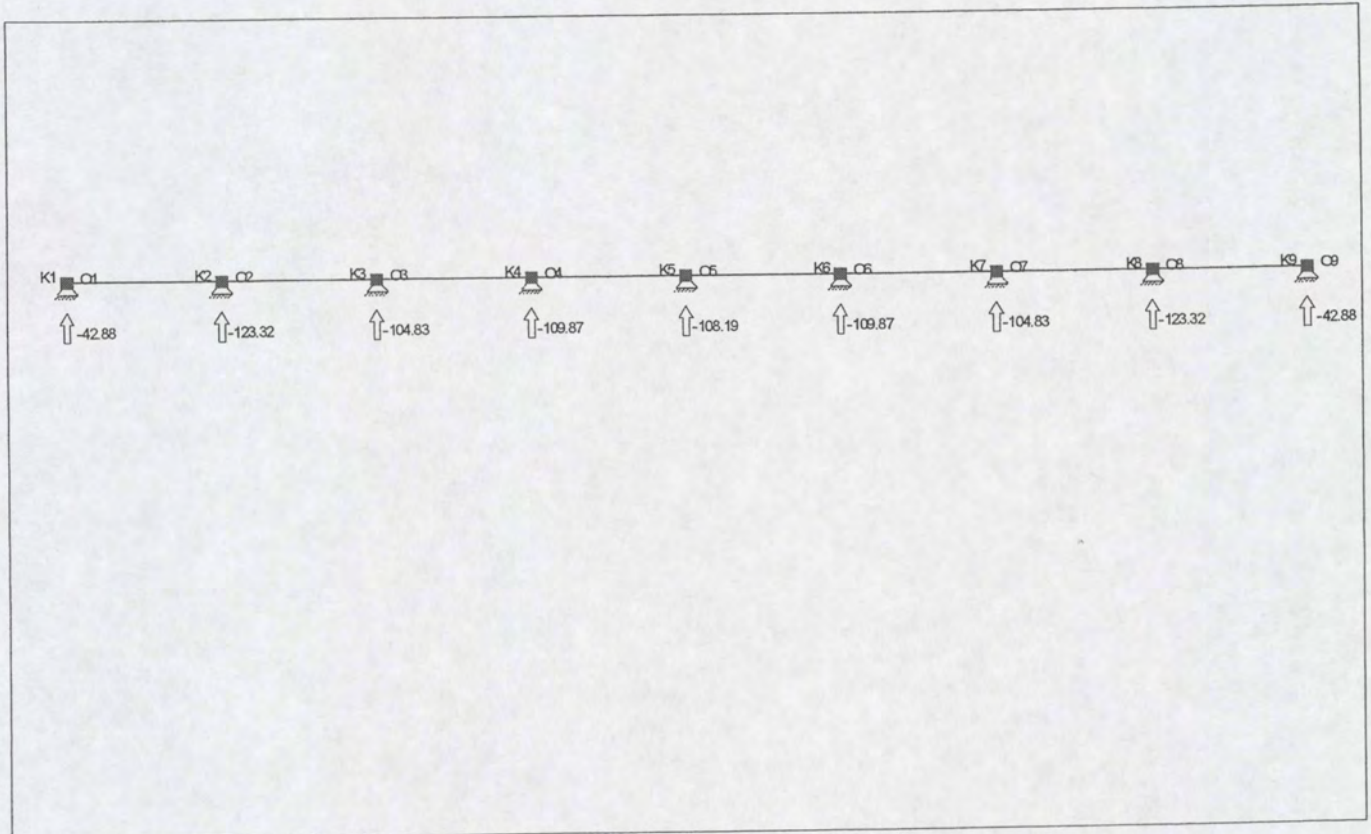
Oplegreacties F.C.1



Oplegreacties IC\_mg

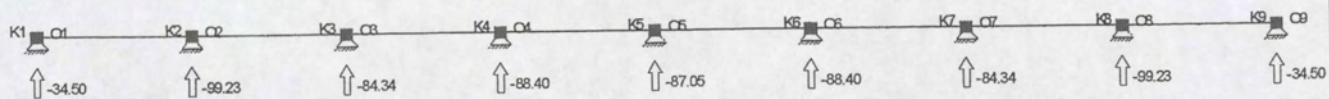


Dwarsdrager B		om de 1m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1

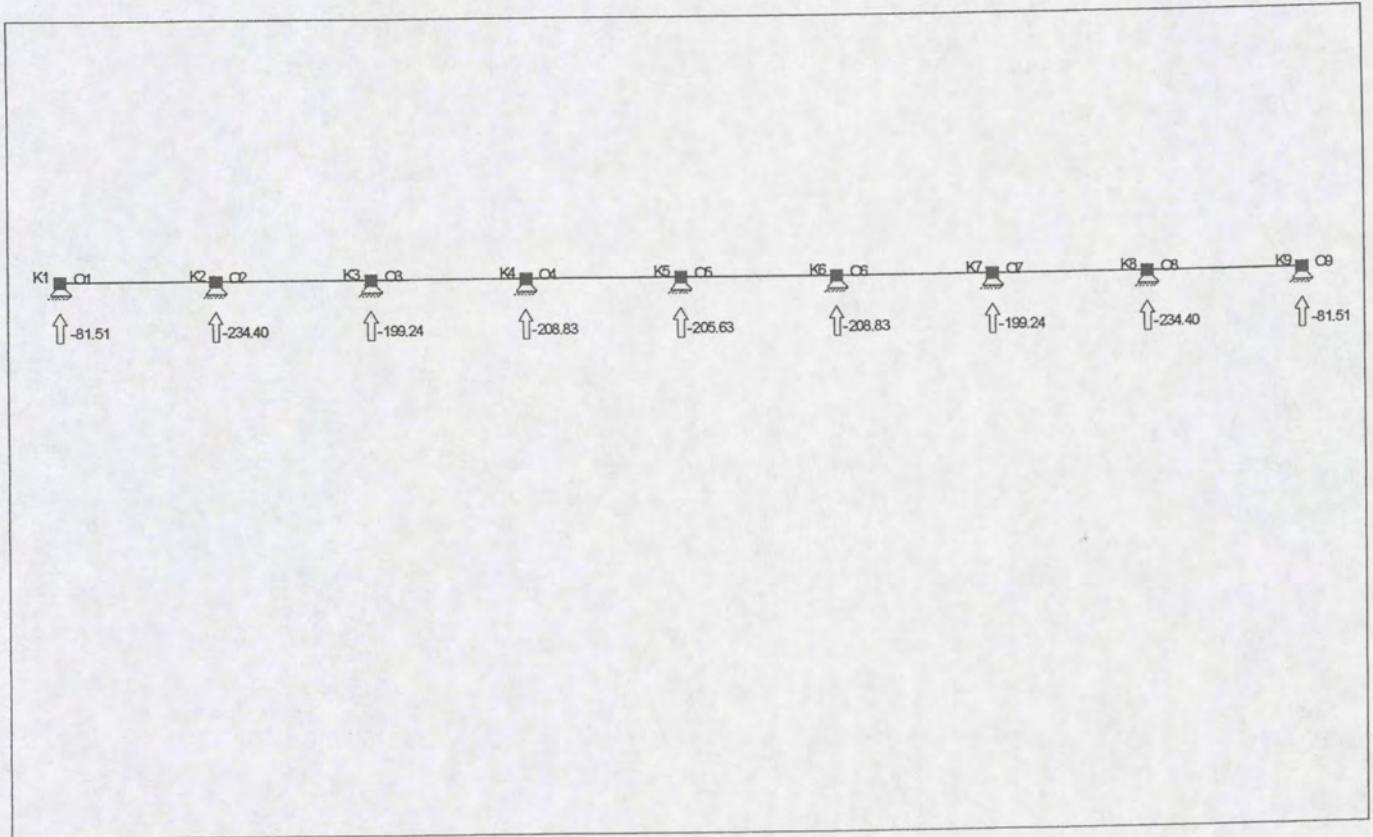




Oplegreacties IC\_mg

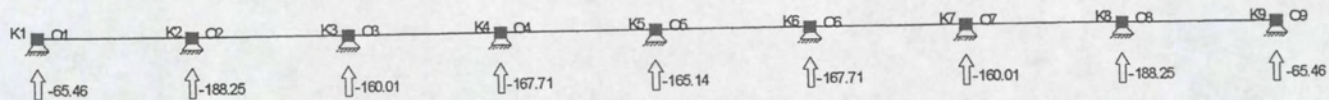


Dwarsdrager C		om de 1m.	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1

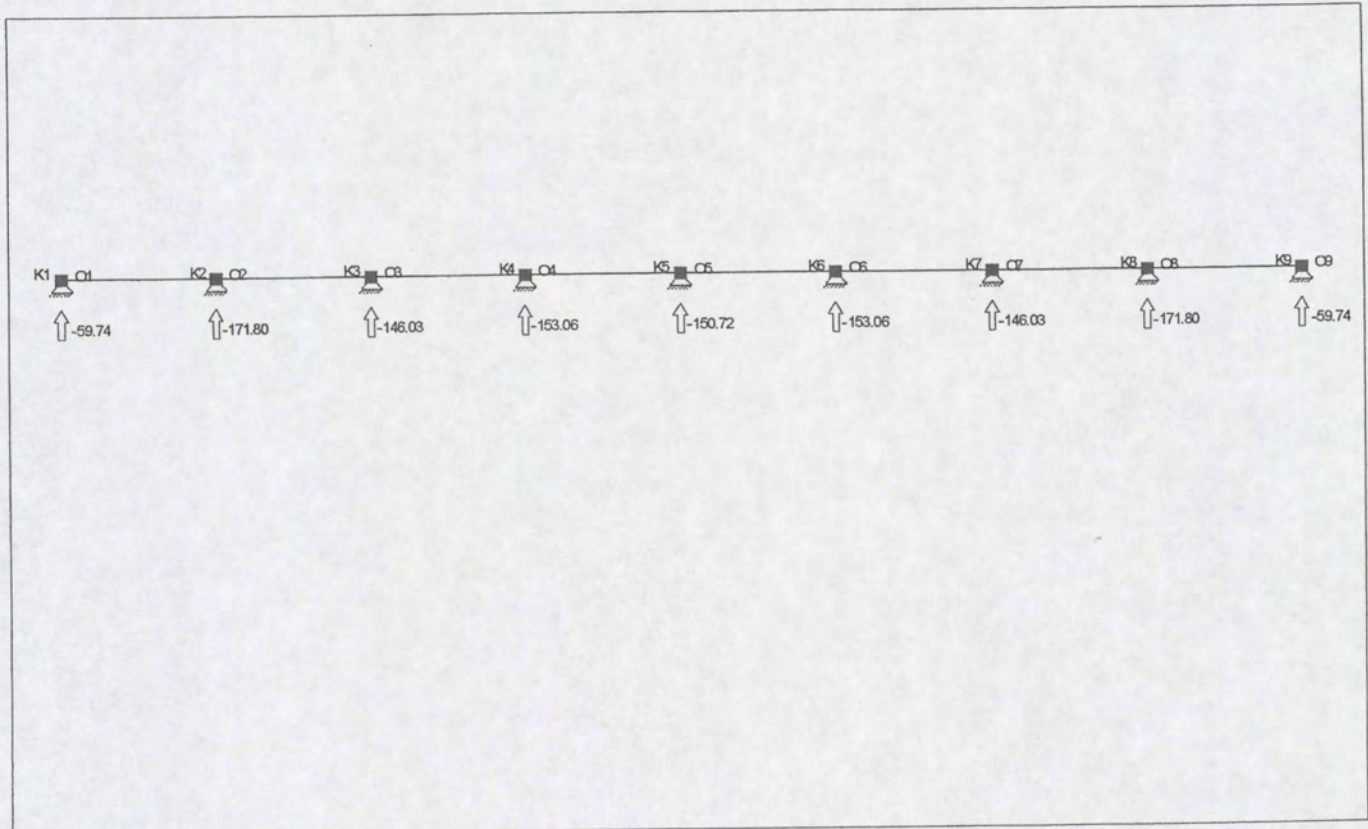




Oplegreacties IC\_mg

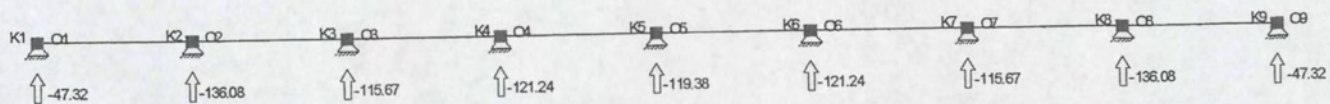


Dwardrager D		om de 1m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1

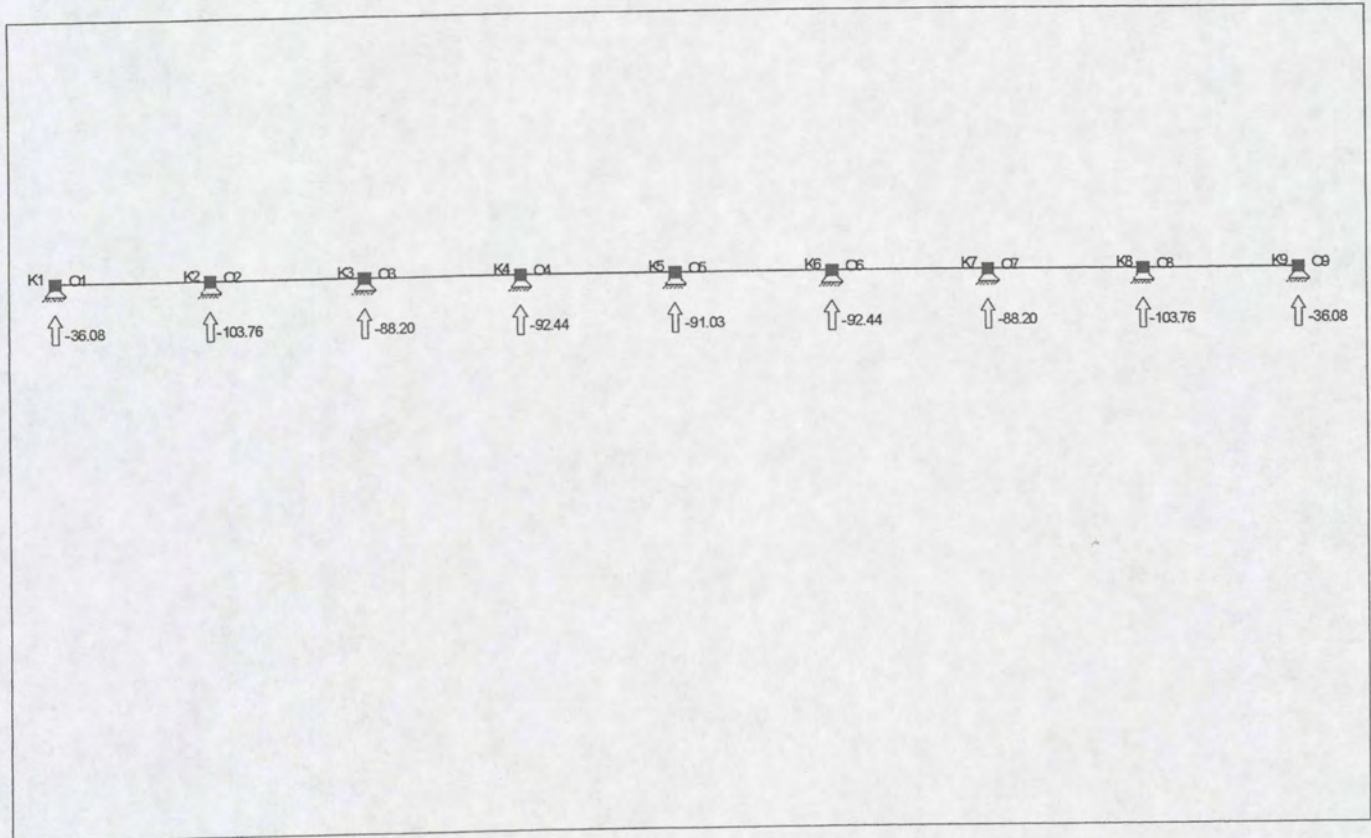




Oplegreacties IC\_mg

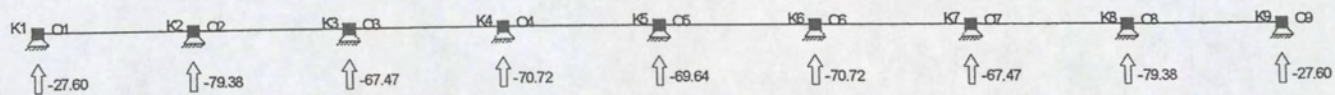


Dwarsdrager E		om de 4m	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1 (1)





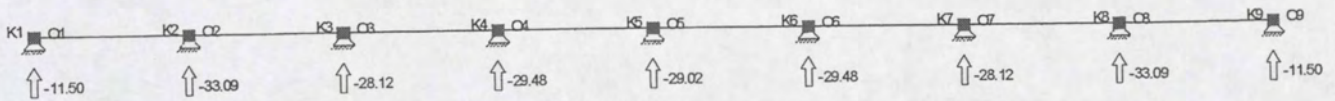
Oplegreacties IC\_mg (1)



Dwarsdrager F

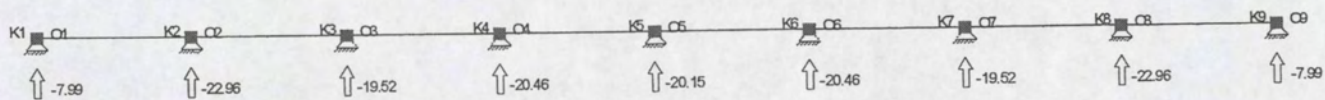
om de 1m

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Oplegreacties F.C.1

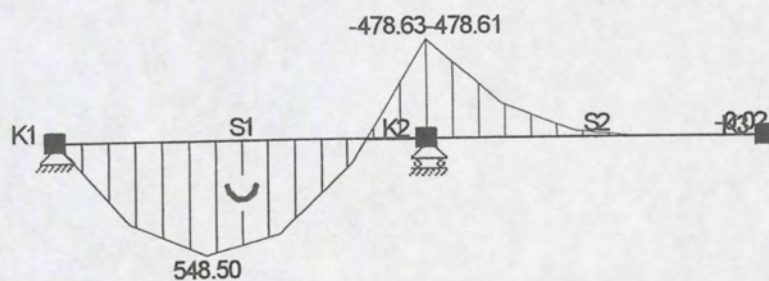




Oplegreacties IC\_mg

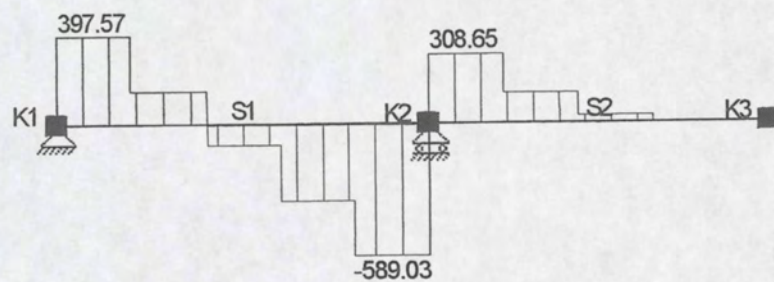


Hoofddrager		om de 1m.	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende

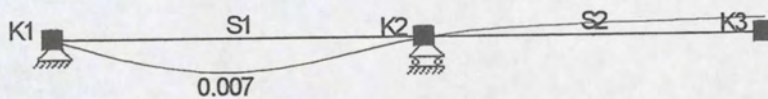




Dwarskrachten F.C. Omhullende



Hoofddrager		om de 1m.	
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Verplaatsingen IC\_mg

$$\gamma_p \text{ en } \gamma_q = 1,0$$



Variant 1A.

Bijlage 6: Onderhoud aluminium deklaag.



# Minder onderhoud met aluminium

Veel staalconstructies, zoals sluisdeuren, stormvloedkeringen en bruggen, worden tegen corrosie beschermd met verf. Afhankelijk van de agressiviteit van het milieu moet de verflaag ongeveer elke 8 tot 20 jaar worden vervangen of onderhouden. Een deklaag met een beschermduur die gelijk is aan de levensduur van de staalconstructie, zoals een aluminium deklaag, lijkt dan ook geen overbodige luxe.

## STAALCONSERVERING

Kenmerken/eigenschappen	Aludeklaag	Verflaag
Beschermprincipe	actief/kathodisch	passief/afsluiten
Beschermmechanisme in lucht, zoetwater en zeewater	zelfreparerend: vult poriën met aluminiumoxiden en bedekt defecten met kalk	hechting van afsluitende laag is voorwaarde voor bescherming
Dichtheid van bescherm laag	nee	ja
verelst	nee	ja
Hechting voorwaarde voor corrosiebescherming	nee	ja
Mechanische eigenschappen en hechting	superieur en constant	tijdsafhankelijk
Deklaag bruikbaar in UHMPE-glijlagers	ja, mits gladbewerkt	nee
Straalreinheid	SA 2,5 ISO 8501-1	SA 2,5 ISO 8501-1
Straalruwheid	Ry5 50 tot 80 µm ISO 8503-4	Ry5 80 tot 120 µm ISO 8503-4
Droogtijd	Nee	Ja
Aanbrengen op locatie	Ja	Ja
Beschermduur	gelijk aan levensduur object >50 jaar	milieu- en onderhoudsafhankelijk 8...20 jaar
Faalmechanisme	opoffering laagdikte: in lucht <0,1 µm/jaar in water <0,1...<0,5 µm/jaar in zeewater <1...<5 µm/jaar	degradatie en ondercorrosie
Stuurparameter levensduur	laagdikte: in lucht: 0,25 mm in zoet water: 0,3 mm in zeewater: 0,35...>0,4 mm	systeemkeuze en tussentijds onderhoud
Prijs applicatie in fabriek inclusief stralen	f 60,- + +[f 40 * laagdikte(mm)/0,1 (mm)]	f 80,-/m <sup>2</sup>
*) Prijs tentconstructie per applicatie op locatie	f 50/m <sup>2</sup>	f 50/m <sup>2</sup>
*) Bedrijfskosten per applicatie op locatie	f 25/m <sup>2</sup>	f 25/m <sup>2</sup>
Prijs verflaag over aludeklaag bij kleurnoodzaak	f 30/m <sup>2</sup>	niet van toepassing
Prijs onderhoud verflaag op locatie	f 20/m <sup>2</sup> Interval >20 jaar	f 80/m <sup>2</sup>
Prijs oude laag verwijderen en afvoeren, milieukosten	niet nodig; overspuitbaar	f 25/m <sup>2</sup>

\*) Ter indicatie. De prijs is sterk afhankelijk van de grootte en de vormgeving van het object.

D. Ros

**P**ublicaties over een zeer lange beschermduur van onder aluminium deklaag liggend staal hebben de Bouwdienst Rijkswaterstaat aanleiding gegeven tot het laten uitvoeren van nader onderzoek. De Dienst heeft daartoe TNO-Industrie opdracht gegeven het praktijkgedrag en het beschermmechanisme van de thermisch gespoten aluminium deklaag (hierna kortweg een aludeklaag genoemd) te onderzoeken.

Een aludeklaag is een conserveringslaag van aluminium voor het beschermen van het stalen substraat tegen corrosie. De laag is poreus en opgebouwd uit gestolde aluminiumdeeltjes. Voor de hechting aan het substraat is voorstralen noodzakelijk, zoals dat ook bij verflagen het geval is. Voor het opspuiten van de deklaag worden de aluminiumdeeltjes gesmolten met een autogene gasvlam of een elektrische vlamboog. Door gelijktijdig meerdere spuitpistolen te gebruiken kan 7,5 tot 50 m<sup>2</sup> per uur worden gespoten. Voor het aanbrengen van de aludeklaag worden spuitmonden gebruikt die ook op moeilijk bereikbare plaatsen kunnen komen, zoals laspoorten. Grote vlakken, buizen, balken en profielen kunnen door een robot worden behandeld.

Door de poreuze opbouw van de deeltjes in de aludeklaag komt het stalen substraat wel in contact met het corrosieve milieu; het wordt echter kathodisch beschermd doordat aluminium onedel is ten opzichte van het stalen substraat. Doordat de poriën verstopt raken met aluminiumoxiden, offert het aluminium zich hierbij slechts aanvankelijk 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 bij defecten zoals krassen wordt kathodisch beschermd. Doordat deze defecten bedekt worden door een kalklaagje, offert de aludeklaag zich ook slechts aanvankelijk op.

Aludeklagen hebben voor het beschermmechanisme geen sealer of verf-

Vergelijking  
\* op techniek en kosten van de thermisch gespoten aluminium deklaag en de verflaag als staalconservering.



# deklagen

laag nodig. De kleur van de aludeklaag is aanvankelijk zilvergrijs. In de loop van de tijd wordt de aludeklaag donkerder. Indien er kleureisen gelden, kan over de aludeklaag een verflaag worden aangebracht. Verflagen op aludeklagen gaan veel langer mee dan verflagen op staal doordat geen ondercorrosie van het staal kan optreden. Overschilderen van de verflaag kan na 20 jaar nodig zijn door verkleuring. Milieuvorzieningen zijn dan niet nodig omdat de laag niet aangestraald behoeft te worden.

## Wanneer?

Afhankelijk van de gewenste laagdikte zijn de directe applicatiekosten bij aludeklagen 1,6 tot 2 maal hoger dan bij verf. Aludeklagen komen dan ook in aanmerking als de integrale kosten lager zijn dan bij gebruikelijke verflagen. Dit is het geval als het verfsysteem zou moeten worden vervangen. Met de integrale kosten wordt hier het totaal van ontwerp-kosten, applicatiekosten, onderhoudskosten, bedrijfskosten en kringloopkosten bedoeld. Ook de milieuaspecten moeten hier worden meegenomen. Afhankelijk van de bereikbaarheid van het object voor de applicatie kunnen de bijkomende bedrijfskosten een veelvoud van de applicatiekosten zelf zijn, bijvoorbeeld door het stilliggen van het sluisbedrijf, montagewerkzaamheden, het huren van bokken, bestekwerkzaamheden, enzovoort. Hieruit volgt dat financieel voordeel kan worden verwacht waar de beschermduur van verflagen relatief kort is door de agressiviteit van het milieu, bij objecten met een langere levensduur dan 15 jaar en bij constructies die door hun ingewikkelde vorm of slechte bereikbaarheid slechts tegen hoge bedrijfskosten te conserveren zijn. In het algemeen kunnen aludeklagen voordeel geven wanneer door hoge bedrijfskosten verlenging van het onderhoudsinterval gewenst is en als vervanging van de verflaag nodig zou zijn. Voorbeelden van objecten waar de integrale kosten met aludeklagen verlaagd kunnen worden, zijn: de onderkant van bruggen, objecten die zich boven en in zeewater bevinden, zoals schuiven, stormvloedkeringen en sluisdeuren, en objecten boven autosnelwegen.

De kosten voor het aanbrengen van een gebruikelijke verflaag in de fabriek worden gesteld op f 100/m<sup>2</sup> inclusief

stralen. De volgende formule kan als een globale kostenindicatie worden gebruikt voor de aludeklaag, inclusief stralen:

$$f/m^2 = f_{60} \cdot + [f_{40} \cdot * \text{de gewenste dikte (mm)} / 0,1 \text{ (mm)}].$$

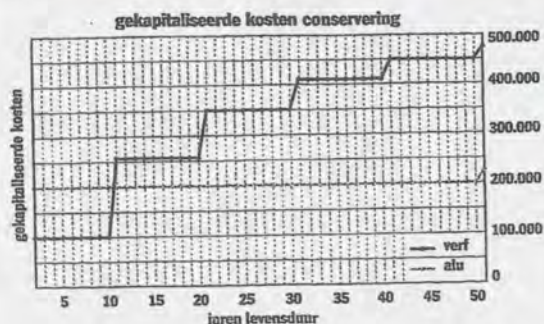
Voor zowel de aludeklaag als de verflaag geldt voor het aanbrengen op locatie een toeslag van f 50/m<sup>2</sup> voor de tentconstructie. Als indicatie voor de bedrijfskosten kan gerekend worden met f 25/m<sup>2</sup>. Een verflaag over de aludeklaag kost f 30/m<sup>2</sup> extra. De kosten voor het verwijderen van de oude verflaag zijn f 20/m<sup>2</sup>.

De kosten - en met name de bedrijfskosten - kunnen variëren met de grootte, de vormgeving en de locatie van het object. De beschermduur van verflagen is voor objecten in en bij zeewater 8 tot 15 jaar, en voor objecten in een minder agressief milieu 15 tot 20 jaar, afhankelijk van de mate waarin de verflaag tussentijds wordt onderhouden. De beschermduur van de aludeklaag kan gelijk zijn aan de levensduur van het object door te sturen op de laagdikte. Conservatieve waarden voor de opoffersnelheid van de aludeklaag zijn: <0,1...0,5 µm per jaar in lucht, 0,1...0,5 µm per jaar in zoetwater en 1...5 µm per jaar in zeewater. In lucht geldt een drempeldikte van <200 µm. Hieruit volgen als indicatie de volgende nominale laagdikten: in lucht: 260 µm, in zoetwater: 300 µm en in zeewater: 350 µm.

## Duursaamheid

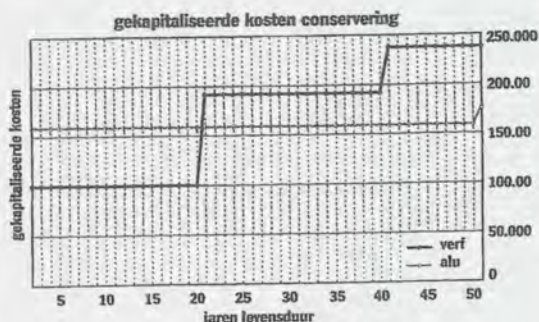
Het mechanismeonderzoek van TNO heeft de positieve praktijkervaringen met aludeklagen in het buitenland verklaard en onderbouwd. De aludeklaag blijft over een zelf-reparerend vermogen te beschikken en kan een object 50 jaar of langer beschermen; een periode die ongeveer overeenkomt met de levensduur van het object. Uit oogpunt van corrosiebescherming maakt het geen verschil of de aludeklaag met de gasvlam of de vlamboog is aangebracht; Mg5 is als toevoeging aan het aluminium niet nodig. Door het meten van de laagdikte van de aludeklaag en deze te delen door de opoffersnelheid kan in principe de resterende beschermduur worden berekend. Eisen met afnamekeuringen en garantie-eisen voor thermisch gespoten deklagen zijn in voorbereiding. Rijkswaterstaat heeft aludeklagen toegepast bij onder meer het

## KOSTEN IN ZEEWATER



**GeKapitaliseerde kosten voor een object in zeewater met een oppervlakte van 1000 m<sup>2</sup>. Uitgangspunten aludeklaag: beschermduur 50 jaar; stralen en applicatie f 200/m<sup>2</sup>; applicatie op locatie na 50 jaar: f 105/m<sup>2</sup>. Uitgangspunten verflaag: beschermduur 10 jaar; stralen en applicatie f 100/m<sup>2</sup>; applicatie op locatie na 10 jaar: f 255/m<sup>2</sup>. Deze kosten zijn mogelijk aan de hoge kant. Voor het verkrijgen van de nauwkeurige applicatiekosten voor een specifiek object zijn kostenopgaven door applicaterus noodzakelijk.**

## KOSTEN IN LUCHT



**GeKapitaliseerde kosten voor een object in lucht met een oppervlakte van 1000 m<sup>2</sup>, zonder kleurlaag. Uitgangspunten aludeklaag: beschermduur 50 jaar; stralen en applicatie f 160/m<sup>2</sup>; applicatie op locatie na 50 jaar: f 105/m<sup>2</sup>. Uitgangspunten verflaag: beschermduur 20 jaar; stralen en applicatie f 100/m<sup>2</sup>; applicatie op locatie na 20 jaar: f 255/m<sup>2</sup>. Deze kosten zijn mogelijk aan de hoge kant. Voor het verkrijgen van de nauwkeurige applicatiekosten voor een specifiek object zijn kostenopgaven door applicaterus noodzakelijk.**

stalen buizenframe van het geluidsscherm langs de A16, de fundatiebuizen in zeewater voor ondersteuning van de kunststofloopbrug in Harlingen, het brugdeel over de A50 als applicatieproef voor orthotrope rijdekken, montagevlakken voor houten brugdekken en de verticale en horizontale aanslagen voor de sluisdeuren te Lith.

Voor het verkrijgen van nauwkeurige applicatiekosten voor een specifiek object zijn kostenopgaven door applicateurs noodzakelijk.

*D. Ros is Technisch Onderzoeker bij de afdeling Ontwikkeling Technieken Natte Infrastructuur (NIO) van de Bouwdienst Rijkswaterstaat.*



Variant 1B.

Bijlage 7: Berekening.



## Stalen klep met verstijvingsribben:

### Verstijvingsribben.

#### Belasting:

De meewerkende breedte moet worden bepaald van de plaat ten opzichte van de verstijvingen.

De meewerkende breedte is gelijk aan de hart op hart afstand van de verstijvingsribben, dit volgt uit NEN 6788 art.14.3.3. en 14.3.4 (volgt hierna).

De hart op hart afstand van de verstijvingen moeten in eerste instantie aangenomen worden, stel 0,75 meter.

Vervolgens wordt de meewerkende breedte bepaald, deze is dan 0,75 meter. Dan wordt de constructie ingevoerd in Matrix, het moment wordt bepaald en vervolgens het weerstandsmoment.

Door het weerstandsmoment te berekenen met behulp van een spreadsheet kan er vergeleken worden of het weerstandsmoment van het aangenomen profiel groter of gelijk is aan het benodigde weerstandsmoment. Zo wordt dit een aantal malen herhaald totdat het profiel voldoet.

De belasting wordt ook per 0,75 meter breedte op de plaat gezet.

De waarde van de momenten volgen uit Matrix.

#### Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W}$$

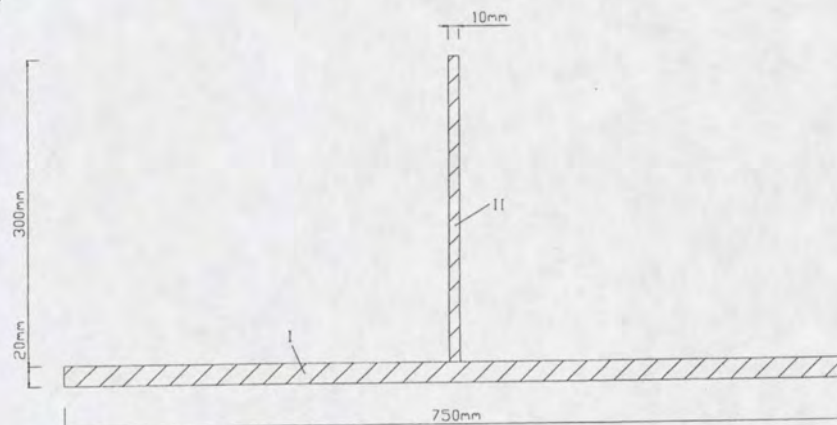
M = optredend moment =  $72,12 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

$\sigma(\text{max}) = \text{vloeispanning} = 235 \text{ N/mm}^2$

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 72,12 \cdot 10^6 / 235 = 306894 \text{ mm}^3$ .  
hierbij is de meewerkende breedte 750mm.

Vervolgens er een profiel aangenomen en met behulp van de spreadsheet het weerstandsmoment bepaald van dit profiel. De afmetingen van het profiel worden zo aangepast dat het een weerstandsmoment krijgt van  $306894 \text{ mm}^3$  of groter.

#### Profielaanname:



#### Weerstandsmoment profiel:

Het profiel wordt voor invoer in de spreadsheet in rechthoeken verdeeld.

De breedte, de hoogte en de afstand van het zwaartepunt van rechthoeken ten opzichte van een gekozen nullijn (a) moeten worden ingevuld. Vervolgens wordt in de onderste tabel de  $I_{\text{totaal}}$  en de  $e_y$  bepaald, aan de hand van deze twee gegevens wordt de  $W$  bepaald. Want  $W = I_{\text{totaal}} / e_y(\text{max})$ .  $e_y(\text{max})$  is de grootste waarde van de in de tabel (ey) genoemde waarde en de hoogte van het profiel minus  $e_y$ .



rechthoek nr.	breedte [mm]	hoogte [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	a [mm]	SAA [mm <sup>3</sup> ]	leigen;y [mm <sup>4</sup> ]	y [mm]	A*y2 [mm <sup>4</sup> ]
I	750	20	15000	10	150000	500000	-26,667	10666667
II	10	300	3000	170	510000	22500000	133,333	53333333

A [mm <sup>2</sup> ]	SAA [mm <sup>3</sup> ]	ey [mm]	leigen;y [mm <sup>4</sup> ]	A*y2 [mm <sup>4</sup> ]	ltotaal;y [mm <sup>4</sup> ]	W [mm <sup>3</sup> ']
18000	660000	36,667	23000000	64000000	87000000	<b>307059</b>

Het weerstandsmoment moet zijn 306894mm<sup>3</sup> en is 307059mm<sup>3</sup>. Dus dit profiel voldoet.

De balgdruk wordt ook hier geschematiseerd als roloplegging, hiermee wordt redelijk de werkelijkheid benaderd (stond al vermeld in H3.1.2.). Door de, eigenlijk aanwezige, lijnlast zal het moment in werkelijkheid iets kleiner worden en dus de afmetingen van het profiel waarschijnlijk ook.

### Plaat.

De dikte van de plaat moet nog wel worden gecontroleerd in de andere richting. Op een plaats waar geen verstijvingsrib zit. Want tussen de verstijvingsribben in moet de plaat natuurlijk ook nog voldoende sterk zijn. Aangezien de balgondersteuning wordt gezien als roloplegging (vanaf de zijkant gezien) en niet meegenomen wordt bij de berekening in deze richting zijn de waarden van de momenten niet helemaal volgens waarheid. De verstijvingen zijn hier geschematiseerd als opleggingen.

De plaat is maar voor de helft ingevoerd aangezien het computerprogramma niet toereikend is voor het aantal knopen/staven. De plaat is aan de rechterkant (matrix) doorgeknipt vandaar dat niet dat moment (het grootste) wordt genomen, want dit moment is alleen nodig voor de aansluiting op de andere helft van de plaat. Maar het moment aan de linkerkant (matrix) (daarna de grootste) wordt genomen.

### Belasting:

De belasting wordt per 1 meter breedte op de plaat gezet.  
De waarde van de momenten volgen uit Matrix.

### Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met: } W = 1/6 * b * h^2$$

M = optredend moment = 1,16 \* 10<sup>6</sup> Nmm

$\sigma(\text{max})$  = vloeispanning = 235 N/mm<sup>2</sup>

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\text{max}) = 1,16 * 10^6 / 235 = 4936 \text{ mm}^3$ .  
 $W = 4936 = 1/6 * b * h^2$ . hierin is b = 1000mm

De benodigde h is dan  $\sqrt{((4936 * 6) / 1000)} = \pm 6 \text{ mm}$ .

De plaat is 20mm dik dus voor de velden tussen de verstijvingsribben voldoet de plaat.

De roloplegging (balg) wordt niet meegenomen in deze richting. Maar de plaat wordt in deze richting goed ondersteunt door de balg, hierdoor zullen de afmetingen van de plaat kleiner kunnen (voor deze richting).

### Kip-effect/plooi.

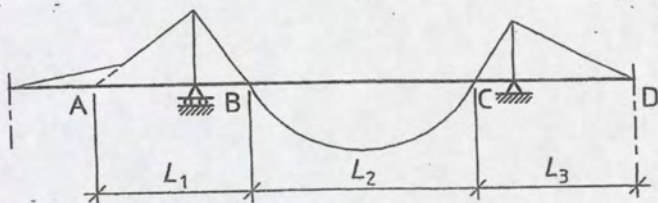
De slanke verstijvingsribben zouden wel eens kunnen bezwijken ten gevolge van het kip-effect. Het kip-effect wil zeggen dat de verstijvingsrib uit knikt naar de zijkant.

Een eerste oplossing is de verstijvingsribben dikker maken, zodat de verstijvingsribben verder geen extra voorzieningen nodig hebben om niet te kippen of plooiën.

Een tweede oplossing is op de verstijvingsrib een flens aanbrengen, om de verstijvingsrib meer stabiliteit te geven.

Een andere oplossing is, net als bij de kunststof variant, kokertjes maken in plaats van losse verstijvingsribben, dat er dus steeds twee verstijvingsribben worden verbonden doormiddel van een staalplaat aan de bovenkant.





Figuur 32: Momentenlijn

#### 14.3.2 Momentennulpunten

De meewerkende breedte is afhankelijk van de afstand tussen twee opeenvolgende momentennulpunten. De momentenlijn wordt verdeeld in intervallen, begrensd door momentennulpunten. Indien nodig wordt de momentenlijn, naar redelijkheid, in bedoelde intervallen onderverdeeld.

##### OPMERKING

Enig gevoel voor de juiste onderverdeling moet altoende ontstaan. In figuur 32 is een voorbeeld gegeven ter verduidelijking van de bedoeling.

Een parabolisch verloop mag zijn aangenomen over het interval BC.

Een driehoekig verloop mag zijn aangenomen over de intervallen AB en CD.

#### 14.3.3 De meewerkende breedte

De meewerkende breedte ( $B_m$ ) wordt berekend door:

$$B_m = \lambda \cdot B$$

waarin:

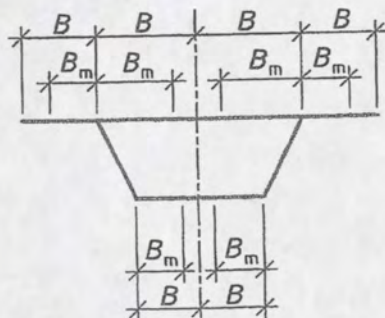
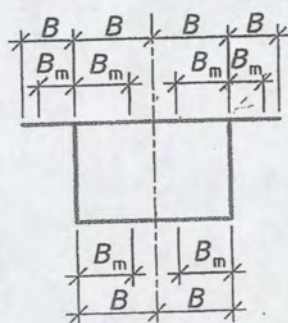
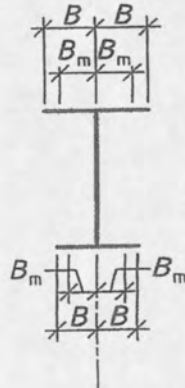
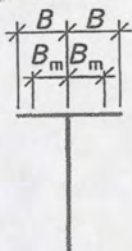
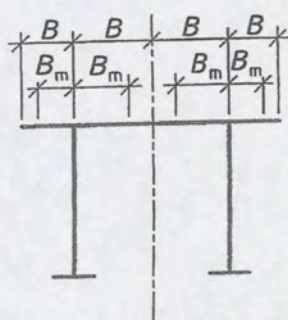
$\lambda$  is een parameter, te ontlelen aan 14.3.4 of 14.3.5;

$B$  is de breedte, zoals in figuur 33 aangegeven.

##### OPMERKING

De meewerkende breedte wordt berekend per zijde van de flens, gerekend vanaf het lijf, en dus niet, zoals elders wel gebruikelijk, als de meewerkende breedte van de flensdelen aan weerskanten van het lijf samen.

Eventuele asymmetrie mag bij de bepaling van de axiaal-kwadratisch oppervlaktemomenten van de ligger zijn verwaarloosd.



Figuur 33: Indicatie van  $B$  en  $B_m$  voor een aantal gevallen



#### 14.3.4 De parabolisch verlopende momentenlijn

Voor een parabolisch verlopende, of een daarmee gelijkgestelde momentenlijn (figuur 34) geldt:

$$\lambda_f = 0,1 + 0,9 \log (L/B) \quad \text{als } 2 \leq L/B \leq 10$$

$$\lambda_f = 0,18 L/B \quad \text{als } L/B < 2$$

$$\lambda_f = 1,00 \quad \text{als } L/B > 10$$

$$\lambda_o = (0,55 + 0,025 \cdot L/B) \cdot \lambda_f \leq \lambda_f$$

$$L_f = 0,25 L \geq B$$

waarin:

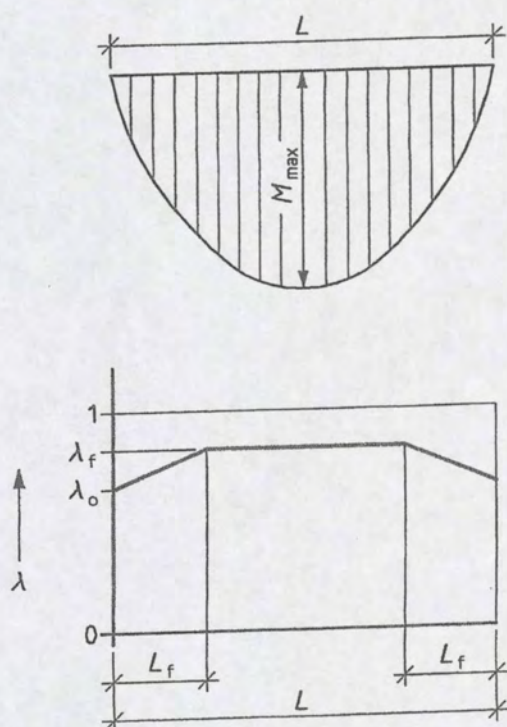
$\lambda_f$  is het verhoudingsgetal bij een parabolische momentenlijn, voor de meewerkende breedte in het veld;

$\lambda_o$  is het verhoudingsgetal bij een parabolische momentenlijn, voor de meewerkende breedte ter plaatse van de oplegging;

$L$  is de overspanning of de afstand tussen twee opeenvolgende momentennulpunten (figuur 32);

$B$  is de breedte, aangegeven in figuur 33;

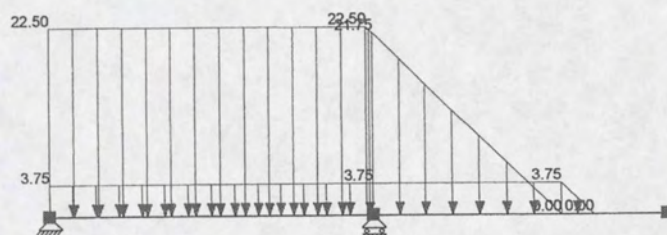
$L_f$  is de lengte, aangegeven in figuur 34.



Figuur 34: Verloop van de meewerkende breedte bij een parabolisch verlopende momentenlijn



Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



## Lasten

$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 0,75 \text{ m} = 22,50 \text{ kN/m}$$

$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 0,75 \text{ m} = 3,75 \text{ kN/m}$$

Er wordt gerekend met.:

$$\gamma_p = 1,2 \text{ en } \gamma_q = 1,5$$



Staal

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm

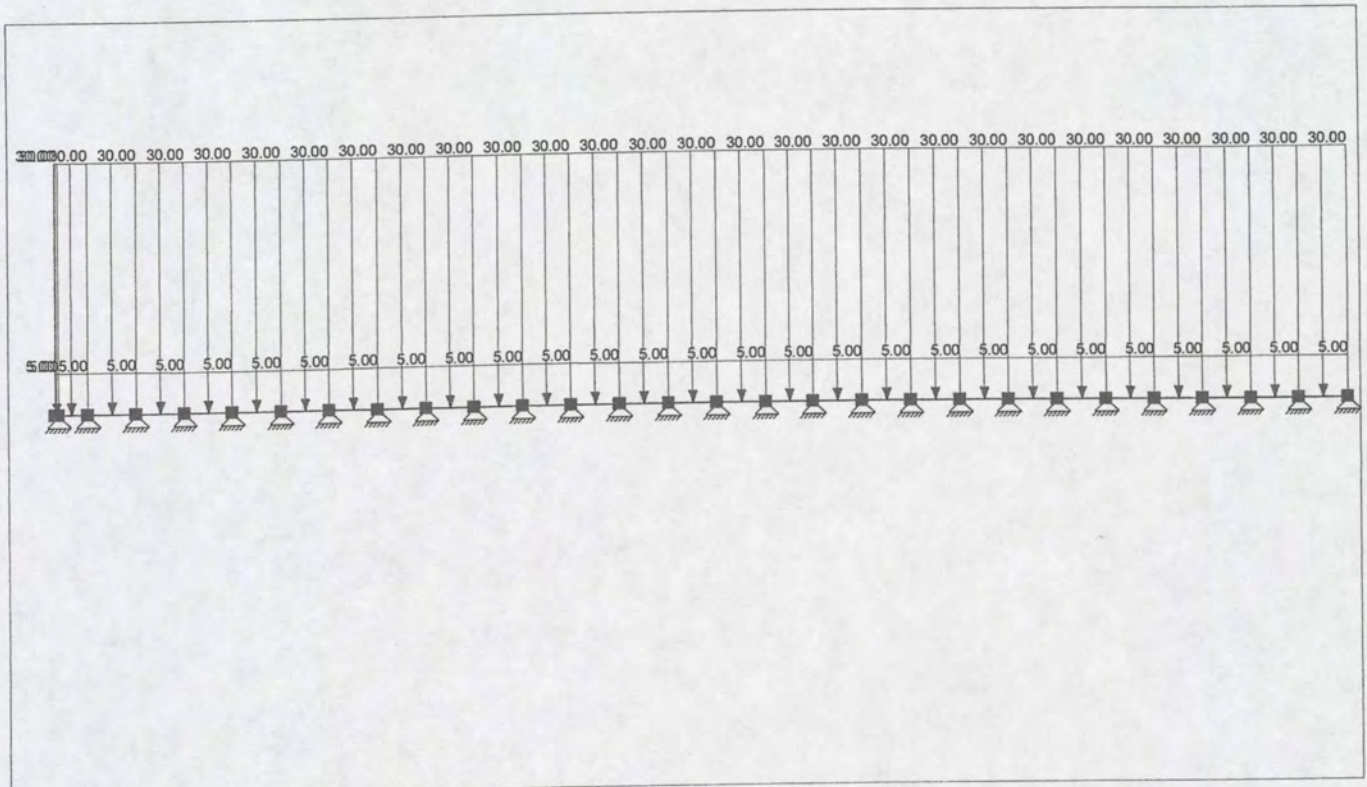


Buigende Momenten F.C. Omhullende



# Staal

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten

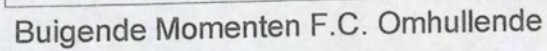
$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ m} = 30 \text{ kN/m}$$
$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}$$

Er wordt gerekend met:

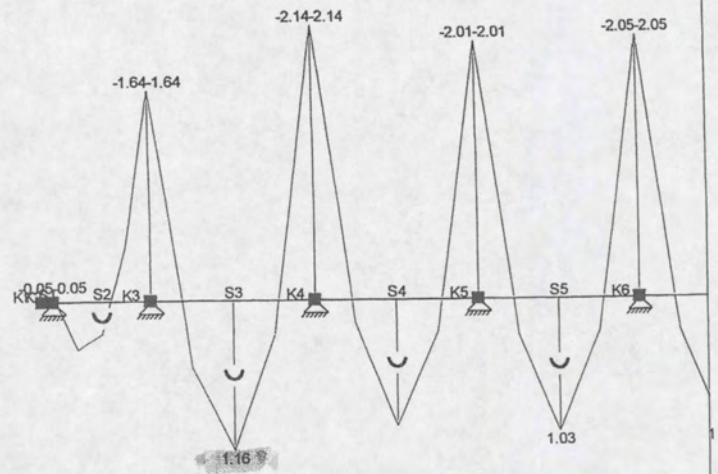
$$\gamma_p = 1,2 \text{ en } \gamma_q = 1,5$$



Staal			
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



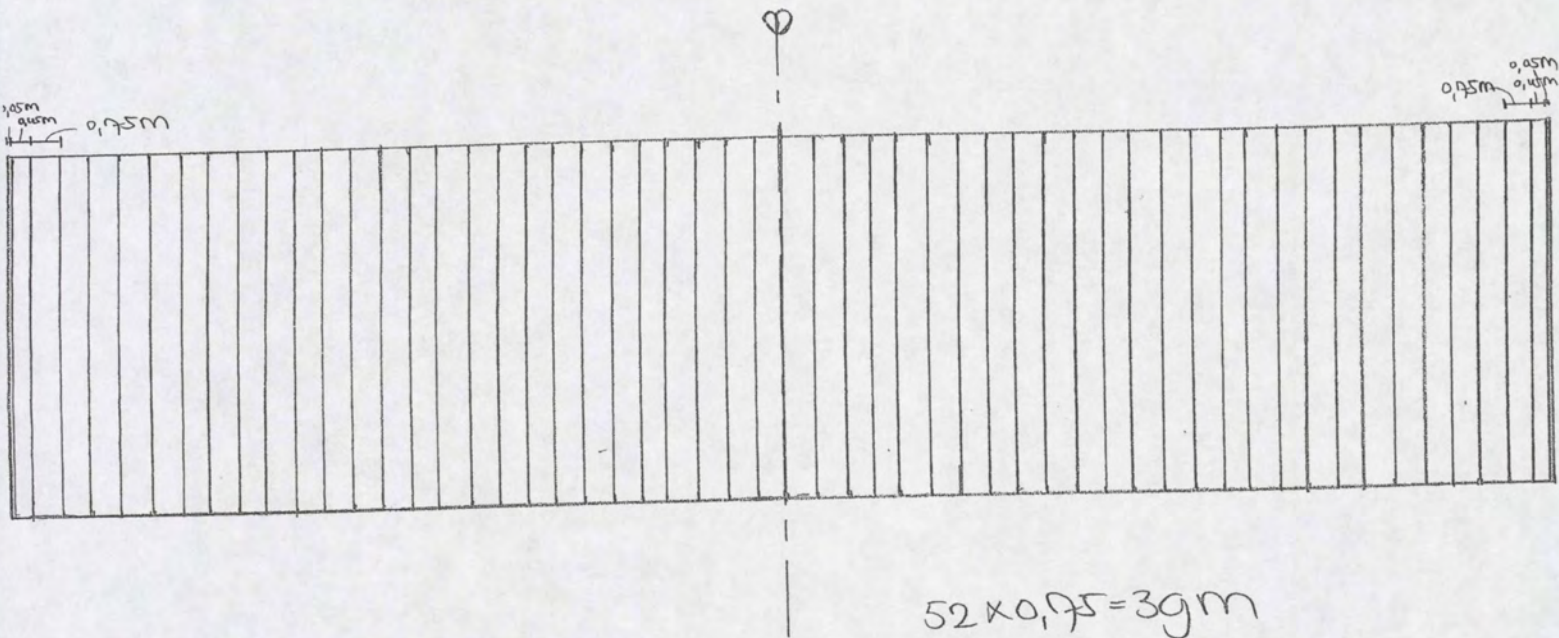
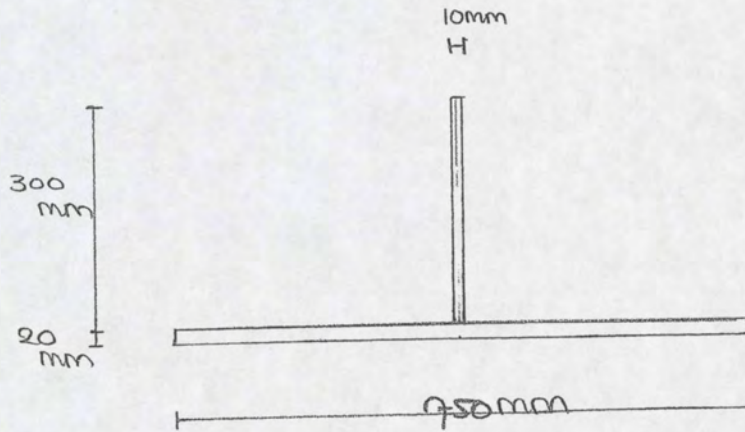




Buigende Momenten F.C. Omhullende (1)



# Staal:



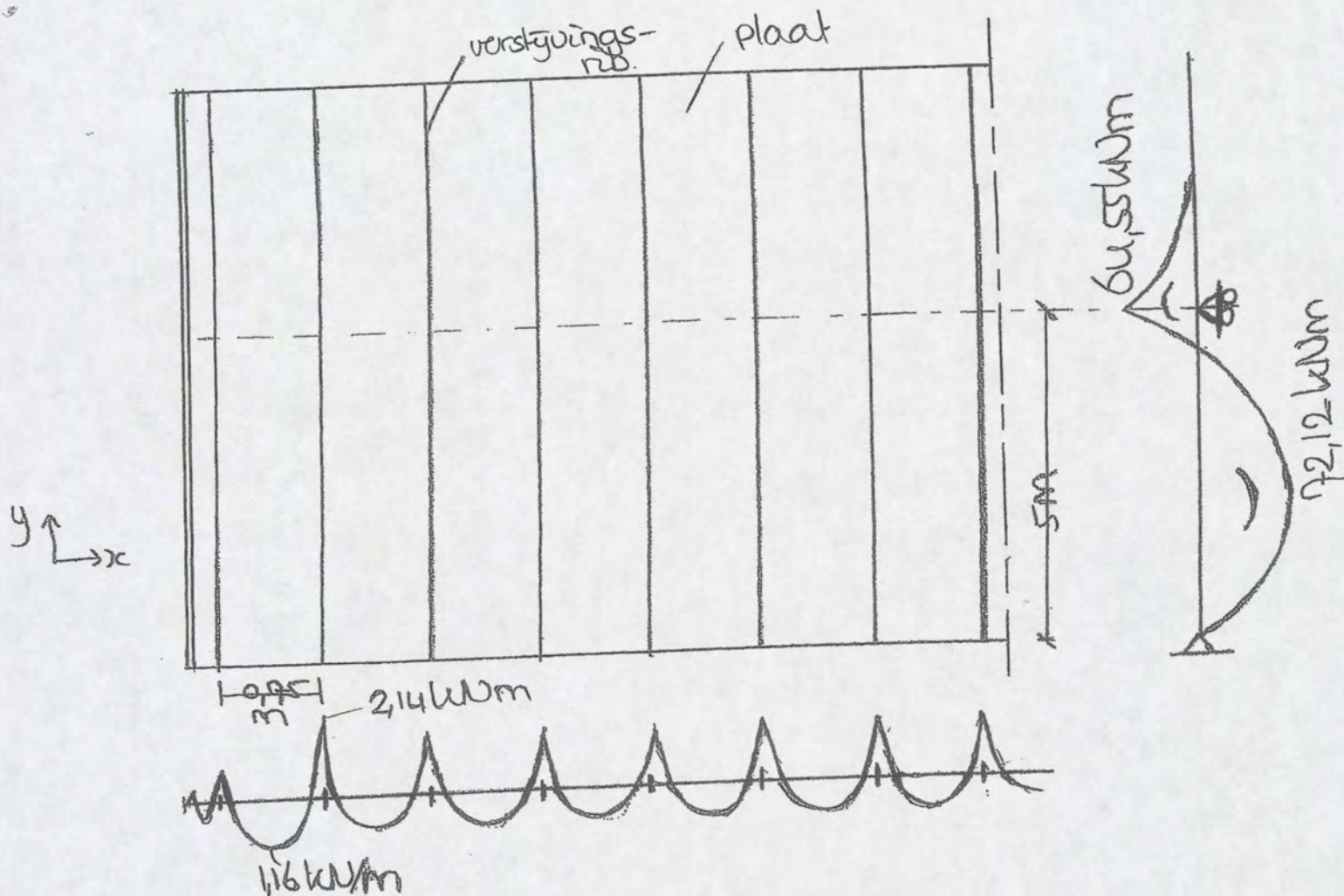
$$52 \times 0,75 = 39 \text{ m}$$

$$40 \text{ m} \Rightarrow 40 - 39 = 1 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 2 \times 0,05 + 2 \times 0,45$$



## Staal:



- Verstijvingsrib:

- y-richting:  $W_{ben.} = \frac{72,12 \cdot 10^6}{235} = 306894 \text{ mm}^3$
- x-richting:  $W_{ben.} = \frac{2,14 \cdot 10^6}{235} = 9106 \text{ mm}^3$

De verstijvingsrib wordt gedimensioneerd op het weerstandsmoment in de y-richting, want deze is het grootste.

Nu volgt een controle van de dikte van de plaat:

- Plaat:

- x-richting:  $W_{ben.} = \frac{1,16 \cdot 10^6}{235} = 4936 \text{ mm}^3$

dit levert een dikte van de plaat van  $h=6 \text{ mm}$ , uit de eerdere berekening (bij de verstijvingsrib) volgde een  $h$  van 20mm.

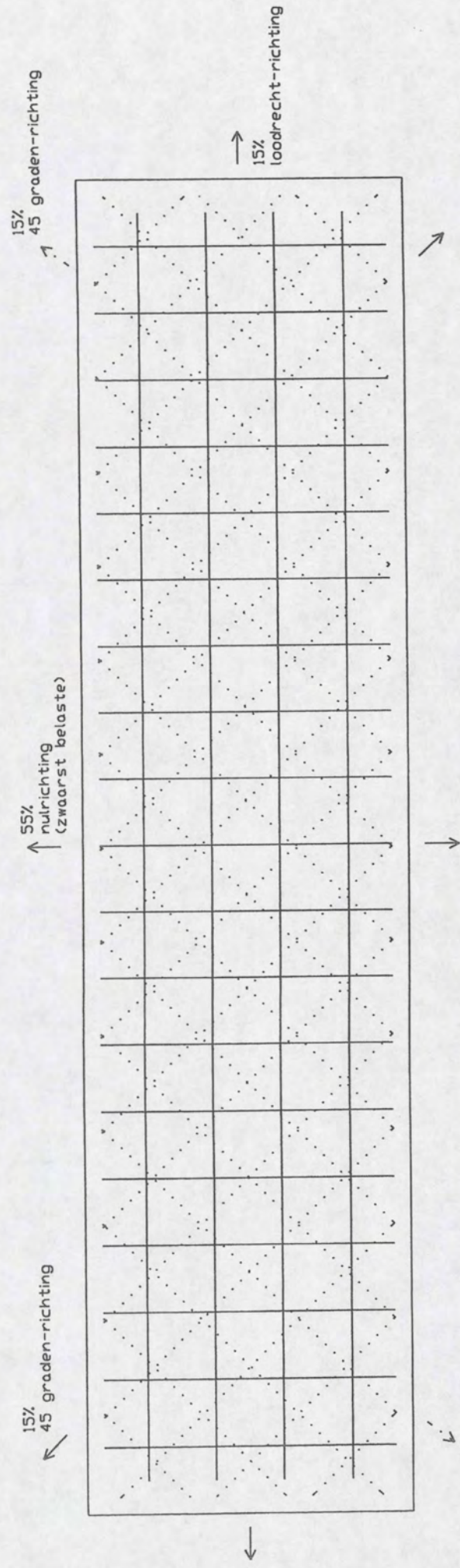
In de y-richting hoeft de plaat niet te worden gecontroleerd, aangezien de plaat de belasting afdraagt naar de verstijvingsribben.



Variant 2.

Bijlage 8: Opbouw vezelrichting.





Vezelrichtingen kunststof



Variant 2.

Bijlage 9: Berekening.



## Kunststof klep met verstijvingselementen:

### Verstijvingselementen.

#### Belasting:

De meewerkende breedte moet worden bepaald van de plaat ten opzichte van de verstijvingen.

De meewerkende breedte is gelijk aan de hart op hart afstand van de verstijvingselementen, dit volgt uit NEN 6788 art.14.3.3. en 14.3.4 (volgt hierna).

De hart op hart afstand van de verstijvingen moeten in eerste instantie aangenomen worden, stel 1,0 meter.

Vervolgens wordt de meewerkende breedte bepaald, deze is dan 1,0 meter.

Dan wordt de constructie ingevoerd in Matrix, het moment wordt bepaald en vervolgens het weerstandsmoment.

Door het weerstandsmoment te berekenen met behulp van een spreadsheet kan er vergeleken worden of het weerstandsmoment van het aangenomen profiel groter of gelijk is aan het benodigde weerstandsmoment. Zo wordt dit een aantal malen herhaald totdat het profiel voldoet.

De belasting wordt ook per 1,0 meter breedte op de plaat gezet.

De waarde van de momenten volgen uit Matrix.

#### Moment toetsing:

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W}$$

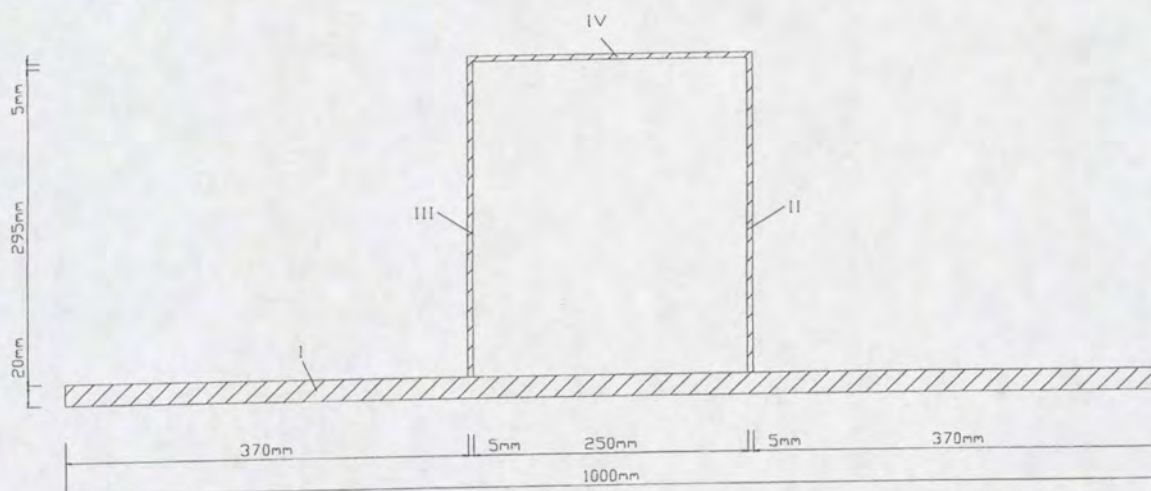
M = optredend moment =  $96,16 \cdot 10^6$  Nmm

$\sigma(\max)$  = vloeispanning =  $158,15 \text{ N/mm}^2$  (bron: dhr. G. Nagtegaal)

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\max) = 96,16 \cdot 10^6 / 158,15 = 608030 \text{ mm}^3$ .  
hierbij is de meewerkende breedte 1000mm.

Vervolgens er een profiel aangenomen en met behulp van de spreadsheet het weerstandsmoment bepaald van dit profiel. De afmetingen van het profiel worden zo aangepast dat het een weerstandsmoment krijgt van  $608030 \text{ mm}^3$  of groter.

#### Profielaanname:



#### Weerstandsmoment profiel:

Het profiel wordt voor invoer in de spreadsheet in rechthoeken verdeeld.

De breedte, de hoogte en de afstand van het zwaartepunt van rechthoeken ten opzichte van een gekozen nullijn (a) moeten worden ingevuld. Vervolgens wordt in de onderste tabel de  $I_{\text{totaal}}$  en de  $e_y$  bepaald, aan de hand van deze twee gegevens wordt de  $W$  bepaald. Want  $W = I_{\text{totaal}} / e_y(\max)$ .  $e_y(\max)$  is de grootste waarde van de in de tabel ( $e_y$ ) genoemde waarde en de hoogte van het profiel minus  $e_y$ .



rechthoek nr.	breedte [mm]	hoogte [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	a [mm]	S <sub>AA</sub> [mm <sup>3</sup> ]	I <sub>eigen;y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	y [mm]	A*y <sup>2</sup> [mm <sup>4</sup> ]
I	1000	20	20000	10	200000	666667	-35,644	25410365
II	5	300	1500	170	255000	11250000	124,356	23196499
III	5	300	1500	170	255000	11250000	124,356	23196499
IV	250	5	1250	318	396875	2604	272	92381882

A [mm <sup>2</sup> ]	SAA [mm <sup>3</sup> ]	ey [mm]	I <sub>eigen;y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	A*y <sup>2</sup> [mm <sup>4</sup> ]	I <sub>totaal;y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	W [mm <sup>3</sup> ]
24250	1106875	46	23169271	164185245	187354516	682889

Het weerstandsmoment moet zijn 608030mm<sup>3</sup> en is 682889mm<sup>3</sup>. Dus dit profiel voldoet.

De balgdruk wordt ook hier geschematiseerd als roloplegging, hiermee wordt redelijk de werkelijkheid benaderd (stond al vermeld in H3.1.2.). Door de, eigenlijk aanwezige, lijnlast zal het moment in werkelijkheid iets kleiner worden en dus de afmetingen van het profiel waarschijnlijk ook.

### Plaat.

De dikte van de plaat moet nog wel worden gecontroleerd in de andere richting. Op een plaats waar geen verstijvingselement zit. Want tussen de verstijvingselementen in moet de plaat natuurlijk ook nog voldoende sterk zijn.

Aangezien de balgondersteuning wordt gezien als roloplegging (vanaf de zijkant gezien) en niet meegenomen wordt bij de berekening in deze richting zijn de waarden van de momenten niet helemaal volgens waarheid. De verstijvingen zijn hier geschematiseerd als opleggingen.

De plaat is maar voor de helft ingevoerd aangezien het computerprogramma niet toereikend is voor zoveel knopen/staven. De plaat is aan de rechterkant (matrix) doorgeknipt vandaar dat niet dat moment (het grootste) wordt genomen, want dit moment is alleen nodig voor de aansluiting op de andere helft van de plaat. Maar het moment aan de linkerkant (matrix) (daarna de grootste) wordt genomen.

### **Belasting:**

De belasting wordt per 1 meter breedte op de plaat gezet.

De waarde van de momenten volgen uit Matrix.

### **Moment toetsing:**

$$\sigma(d) = \frac{Md}{W} \text{ met: } W = 1/6 * b * h^2$$

M = optredend moment = 1,86 \* 10<sup>6</sup> Nmm

$\sigma(\max)$  = vloeispanning = 97,44 N/mm<sup>2</sup> (bron: dhr. G. Nagtegaal)

Hieruit volgt dat  $W = \text{weerstandsmoment} = M / \sigma(\max) = 1,86 * 10^6 / 97,44 = 19089 \text{ mm}^3$ .

$W = 19089 = 1/6 * b * h^2$  hierin is b = 1000mm

De benodigde h is dan  $\sqrt{((19089 * 6) / 1000)} = +/- 11 \text{ mm}$ .

De plaat is 20mm dik dus voor de velden tussen de verstijvingsribben voldoet de plaat.

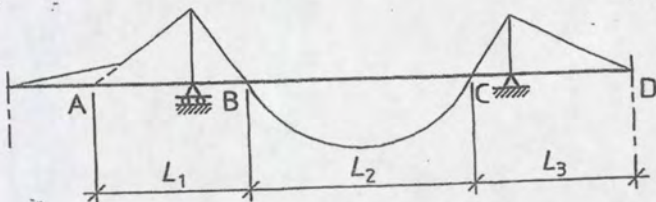
De roloplegging (balg) wordt niet meegenomen in deze richting. Maar de plaat wordt in deze richting goed ondersteunt door de balg, hierdoor zullen de afmetingen van de plaat kleiner kunnen (voor deze richting).

### Kip-effect/plooi.

De dunne wanddikte van het verstijvingselement zou wel eens kunnen bezwijken ten gevolge van het kip-effect. Het kip-effect wil zeggen dat de wanden van het verstijvingselement uit knikken naar de zijkant.

Een oplossing is de wanddikte groter maken, zodat het verstijvingselement verder geen extra voorzieningen nodig heeft om niet te kippen of plooiën.





Figuur 32: Momentenlijn

#### 14.3.2 Momentennulpunten

De meewerkende breedte is afhankelijk van de afstand tussen twee opeenvolgende momentennulpunten. De momentenlijn wordt verdeeld in intervallen, begrensd door momentennulpunten. Indien nodig wordt de momentenlijn, naar redelijkheid, in bedoelde intervallen onderverdeeld.

##### OPMERKING

Enig gevoel voor de juiste onderverdeling moet aldoende ontstaan. In figuur 32 is een voorbeeld gegeven ter verduidelijking van de bedoeling.

Een parabolisch verloop mag zijn aangenomen over het interval BC.

Een driehoekig verloop mag zijn aangenomen over de intervallen AB en CD.

#### 14.3.3 De meewerkende breedte

De meewerkende breedte ( $B_m$ ) wordt berekend door:

$$B_m = \lambda \cdot B$$

waarin:

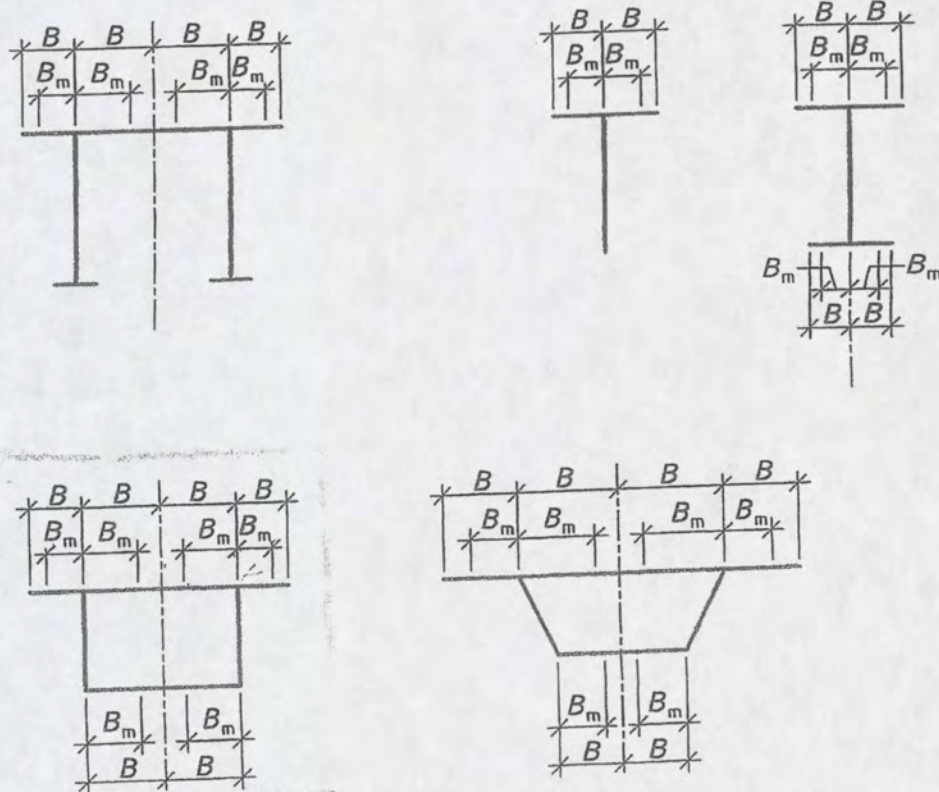
$\lambda$  is een parameter, te ontlelen aan 14.3.4 of 14.3.5;

$B$  is de breedte, zoals in figuur 33 aangegeven.

##### OPMERKING

De meewerkende breedte wordt berekend per zijde van de flens, gerekend vanaf het lijf, en dus niet, zoals elders wel gebruikelijk, als de meewerkende breedte van de flensdelen aan weerskanten van het lijf samen.

Eventuele asymmetrie mag bij de bepaling van de axiaal-kwadratisch oppervlaktmomenten van de ligger zijn verwaarloosd.



Figuur 33: Indicatie van  $B$  en  $B_m$  voor een aantal gevallen



#### 14.3.4 De parabolisch verlopende momentenlijn

Voor een parabolisch verlopende, of een daarmee gelijkgestelde momentenlijn (figuur 34) geldt:

$$\lambda_f = 0,1 + 0,9 \log (L/B) \quad \text{als } 2 \leq L/B \leq 10$$

$$\lambda_f = 0,18 L/B \quad \text{als } L/B < 2$$

$$\lambda_f = 1,00 \quad \text{als } L/B > 10$$

$$\lambda_o = (0,55 + 0,025 \cdot L/B) \cdot \lambda_f \leq \lambda_f$$

$$L_f = 0,25 L \geq B$$

waarin:

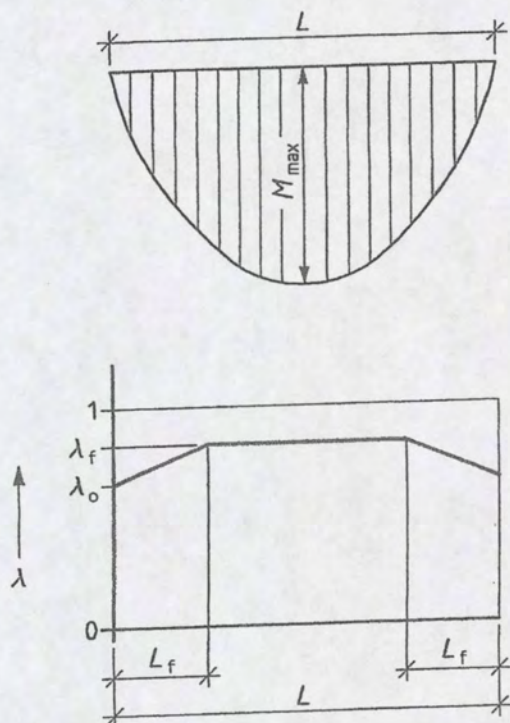
$\lambda_f$  is het verhoudingsgetal bij een parabolische momentenlijn, voor de meewerkende breedte in het veld;

$\lambda_o$  is het verhoudingsgetal bij een parabolische momentenlijn, voor de meewerkende breedte ter plaatse van de oplegging;

$L$  is de overspanning of de afstand tussen twee opeenvolgende momentennulpunten (figuur 32);

$B$  is de breedte, aangegeven in figuur 33;

$L_f$  is de lengte, aangegeven in figuur 34.

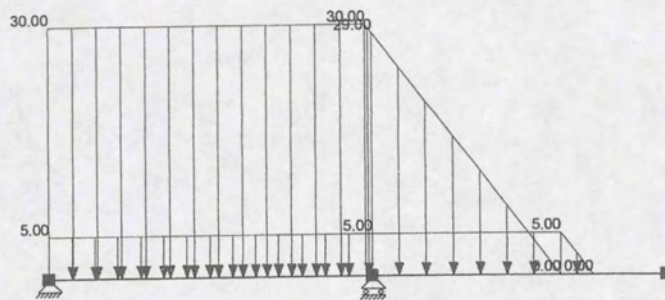


Figuur 34: Verloop van de meewerkende breedte bij een parabolisch verlopende momentenlijn



kunststaf

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	Stalen klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten BG1

$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ m} = 30 \text{ kN/m}$$
$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}$$

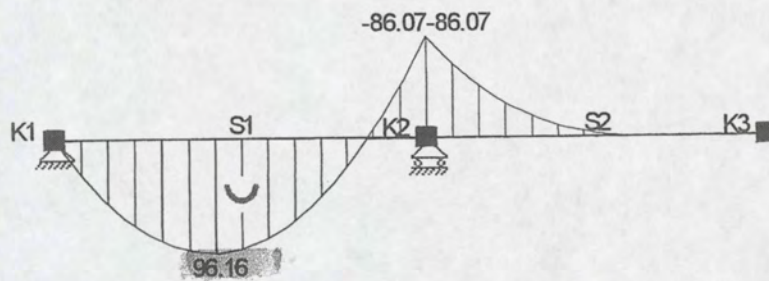
Er wordt gerekend met:

$$\gamma_p = 1,2 \text{ en } \gamma_q = 1,5$$



kunststof

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:	klep	Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm

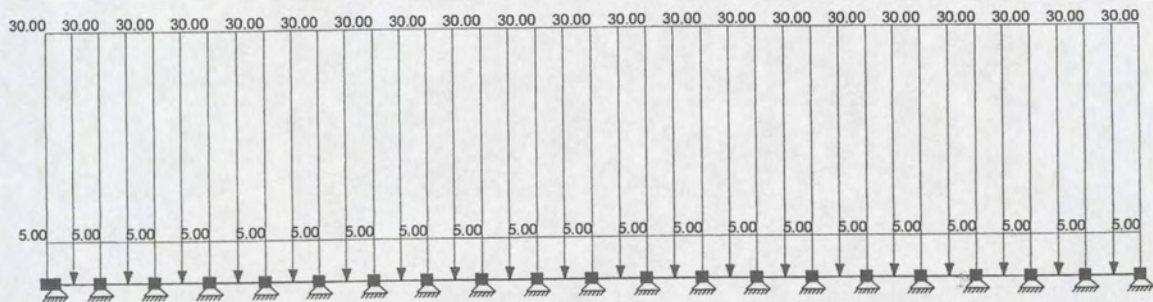


Buigende Momenten F.C. Omhullende



Kunststof

Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Lasten

$$q_p = 30 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 = 30 \text{ kN/m}$$

$$q_q = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 = 5 \text{ kN/m}$$

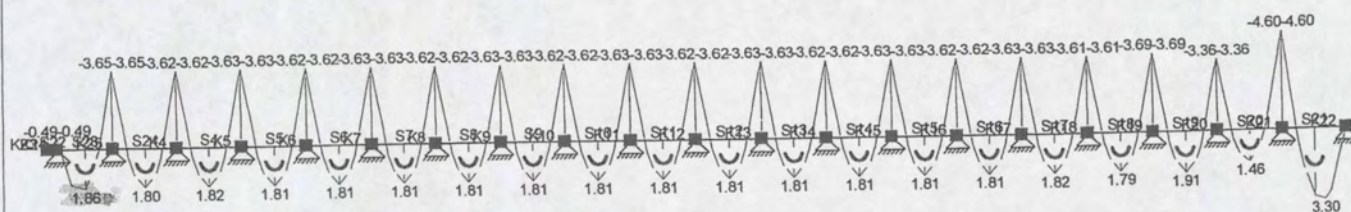
Er wordt gerekend met:

$$\gamma_p = 1,2 \text{ en } \gamma_q = 1,5$$



Lehrstoff		

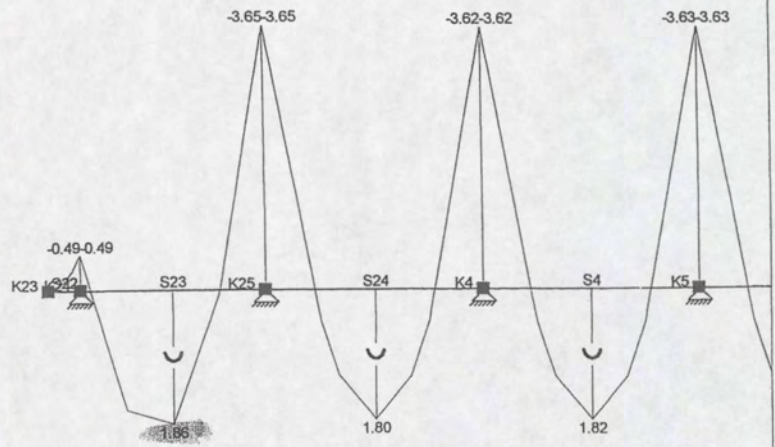
Projectomschr.:	Afstudeeropdracht	Project nr.:	Klepstuw bij Sambeek
Onderdeel:		Student nummer:	Mijke van Helden
Opdrachtgever:	1070676	Eenheden:	m, kN, kNm



Buigende Momenten F.C. Omhullende



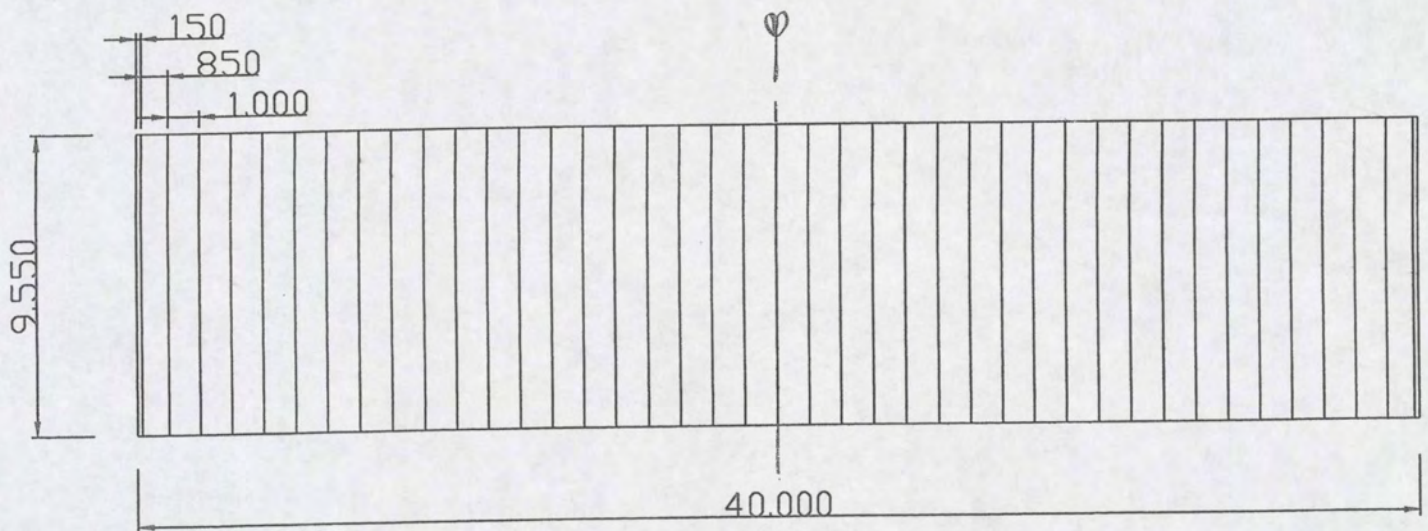
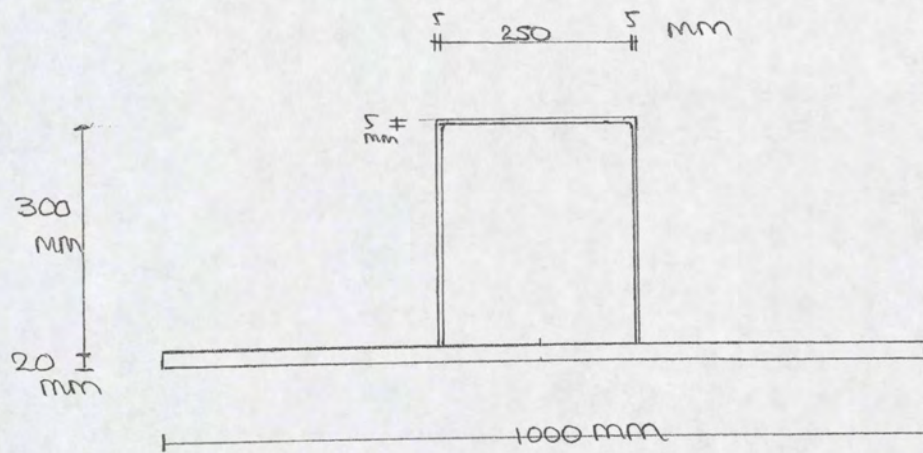
kunststof.



Buigende Momenten F.C. Omhullende (1)



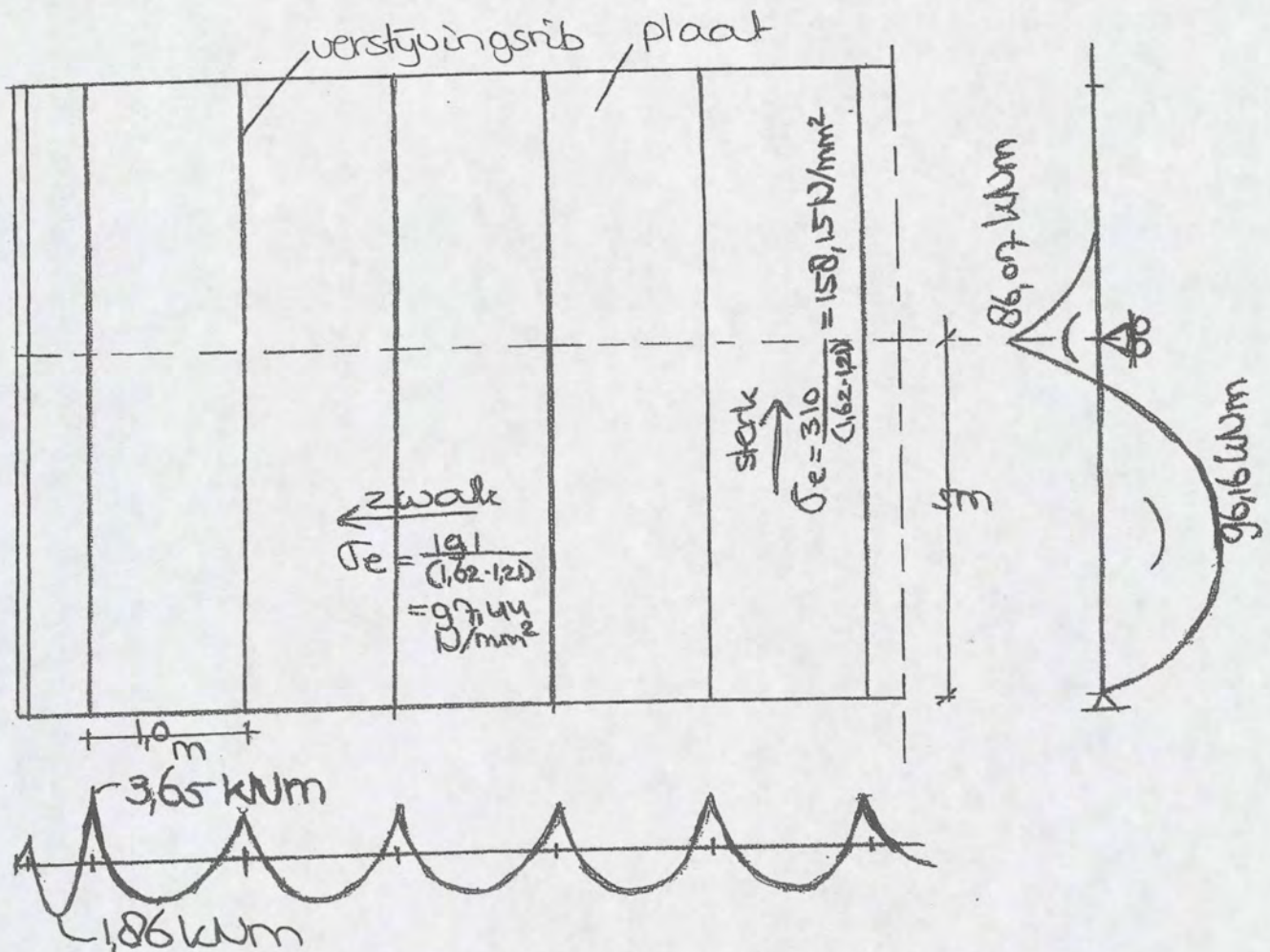
kunststof:



$$\begin{aligned}
 38 \times 1,0\text{m} &= 38\text{m} \\
 40\text{m} &\Rightarrow 40 - 38 = 2\text{m} \\
 2\text{m} &= 2 \times 0,15 + 2 \times 0,85
 \end{aligned}$$



## Kunststof:



- Verstijvingsrib:

- y-richting:  $W_{ben.} = \frac{96,16 \cdot 10^6}{158,15} = 608030 \text{ mm}^3$
- x-richting:  $W_{ben.} = \frac{3,65 \cdot 10^6}{97,44} = 37459 \text{ mm}^3$

De verstijvingsrib wordt gedimensioneerd op het weerstandsmoment in de y-richting, want deze is het grootste.

Nu volgt een controle van de dikte van de plaat:

- Plaat:

- x-richting:  $W_{ben.} = \frac{1,86 \cdot 10^6}{97,44} = 19089 \text{ mm}^3$

dit levert een dikte van de plaat van  $h=11 \text{ mm}$ , uit de eerdere berekening (bij de verstijvingsrib) volgde een  $h$  van  $20 \text{ mm}$ .

In de y-richting hoeft de plaat niet te worden gecontroleerd, aangezien de plaat de belasting afdraagt naar de verstijvingsribben.



## Bijlage 10: Onderhoudskosten constructiestaal.



## Onderhoud staalconstructie

Uitgangspunt is een staalconstructie voorzien van een 3 laags conserveringssysteem.

### *Algemeen:*

Voor de conservering op staal wordt toestandsafhankelijk onderhoud toegepast. Dit betekent dat de gemeten toestand van de conservering maatgevend is voor het moment van onderhoud. De toestand van de conservering wordt via een inspectie vastgelegd en wordt het moment van onderhoud bepaald. Afhankelijk van het inspectieresultaat zal "klein" of "groot" onderhoud worden toegepast. Zowel klein als groot onderhoud zijn een vorm van variabel onderhoud.

Beoordeling/inspectie van (de conservering van) staalconstructies zal in eerste instantie veelal visueel zijn. Doel van de inspectie is het verkrijgen van inzicht in de staat van de conservering en de progressie van de schade in de loop der tijd. Ook wordt de constructie gecontroleerd op de aanwezigheid van (vermoeiings)scheuren. Tijdens de inspectie worden in het bijzonder die onderdelen in de constructie geïnspecteerd die schadegevoelig zijn. Het interval van de inspectie bedraagt 5 jaar.

### *Vast onderhoud:*

Voor wat betreft de conservering van de staalconstructie vindt geen vast jaarlijks onderhoud plaats. Alle onderhoudsmaatregelen vallen onder variabel onderhoud.

### *Variabel onderhoud:*

Er is onderscheid gemaakt tussen zogenaamd "klein" onderhoud (KO) en "groot onderhoud" (GO). KO vindt plaats in de vorm van herstel van de conservering. Herstel bestaat uit het op beperkte schaal, handmatig en lokaal voorbehandelen en bijwerken van een conserveringssysteem zonder dat daarbij de inzet van speciale gereedschappen of uitgebreide voorzieningen (hulpconstructie) noodzakelijk zijn. Het interval van KO uitgaande van het gebruikte conserveringssysteem bedraagt 5 jaar en het bijbehorende kostenkental bedraagt circa fl. 70,- tot fl. 80,- per m<sup>2</sup> (voorbehandeling, conserveringen afscherming). Gerekend is met een gemiddelde van fl. 75,- per m<sup>2</sup>. In geval van KO is het uitgangspunt dat circa 5% van het totale geconserveerde oppervlak dient te worden hersteld.

In geval van GO wordt de conservering geheel of gedeeltelijk verwijderd en overlaagd. Dit gebeurt wanneer het einde van de levensduur van de conservering is bereikt. De staalconstructie wordt weer in optimale staat gebracht door relatief zware onderhoudsmaatregelen zoals stralen en verfspuiten. Het interval van GO uitgaande van een veel gebruikt conserveringssysteem bedraagt circa 20 jaar. Het bijbehorende kostenkental bedraagt fl. 140,- tot fl. 180,- per m<sup>2</sup> (voorbehandeling, conservering en afscherming). Gerekend wordt met een gemiddelde van fl. 160,- per m<sup>2</sup>. Voor wat betreft het te repareren of te vervangen percentage conservering dient te worden uitgegaan van 20% tot 100% van het totaal geconserveerde oppervlak. In het geval van de kering is uitgegaan van een gemiddelde van 60%.

Let op prijzen in guldens!



## Bijlage 11: Kosten constructiestaal en roestvast staal.







### Kosten per gewicht.

Voor het bepalen van de kosten van een stalen object op basis van gewicht moeten alle onderdelen die bijdragen tot de kosten uitgedrukt worden in prijs per gewicht. Dit is echter niet voor alle onderdelen mogelijk. Hieronder staat een tabel waarbij zoveel mogelijk onderdelen zijn uitgedrukt in prijs per gewicht. De onderdelen waarbij dit niet is gebeurd staan apart vermeld. De prijzen in zwart hebben betrekking op constructiestaal. De prijzen in **rood** hebben betrekking op **roestvaststaal**.

De onderdelen die zorgen voor de prijs per gewicht worden samengevat met: leveren, fabriceren en monteren.

Onderdeel	Berekening	Prijs per gewicht (€/kg)	Opmerkingen
Materiaal inkoop		Plaatstaal € 0,50 /kg Profielen € 1,13 /kg Plaatstaal € 0,75 /kg Profielen € 2,40 /kg	Verhouding plaatstaal-profiel bepalen
Handling (zagen, boren, lassen)	30u/Ton x € 34,50 45u/Ton x € 34,50	€ 1,04 /kg € 1,55 /kg	Tarief monteur werkplaats € 34,50 /uur
NDO (non destructief onderzoek)		€ 0,20 /kg	
Conservering	wordt apart berekend	€ 0,00 /kg	zie kopje Conservering
Transport	€ 125,- / ton	€ 0,15 /kg	
Montage	7u/Ton x € 39,50	€ 0,28 /kg	Tarief monteur op locatie € 39,50 /uur
Afwerking	3u/Ton x € 39,50 5u/Ton x € 39,50	€ 0,12 /kg € 0,20 /kg	Tarief monteur op locatie € 39,50 /uur
<b>Totaal leveren, fabriceren en monteren</b>		<b>€ 2,61 /kg € 3,96 /kg</b>	

### Conservering

De kosten van conserveren zijn in prijs per gewicht als ook in prijs per oppervlak aan te geven. Het bepalen van de kosten aangegeven in prijs per gewicht is onnauwkeuriger en wordt voornamelijk gebruikt indien het te conserveren oppervlak onbekend is en indien de kosten van het totale object worden uitgedrukt in prijs per gewicht.

Het bepalen van de kosten aangegeven in prijs per oppervlak is nauwkeuriger en verdiend de voorkeur indien het te conserveren oppervlak bekend is. Echter bij deze methode is eventueel transport van en naar de conserveerder moeilijk aan te geven in prijs per oppervlak. Dit wordt dan weer aangegeven in prijs per gewicht.

In onderstaande tabel is uitgegaan van nieuw constructiewerk zonder transport naar en van een conserveringslocatie.

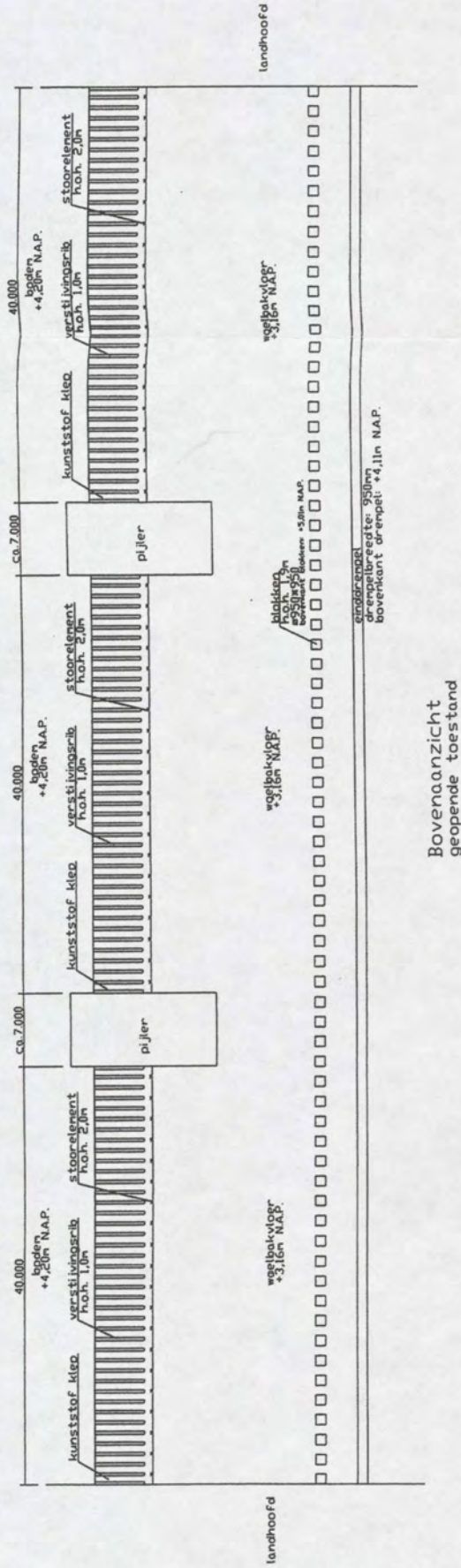
Conserveringsmethode	Prijs per oppervlak (€/m2)
3-lagen verfsysteem (conventioneel)	€ 31,75 /m2
Aluminiseren	€ 105,00 /m2

Alle prijzen in euro's

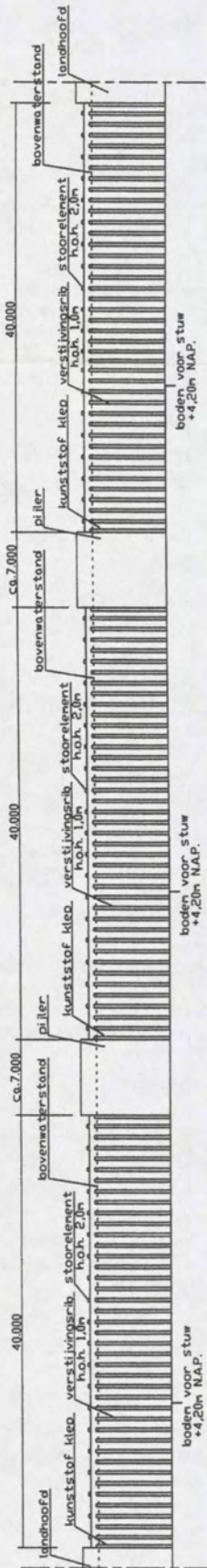


Bijlage 12: Tekening definitieve variant.

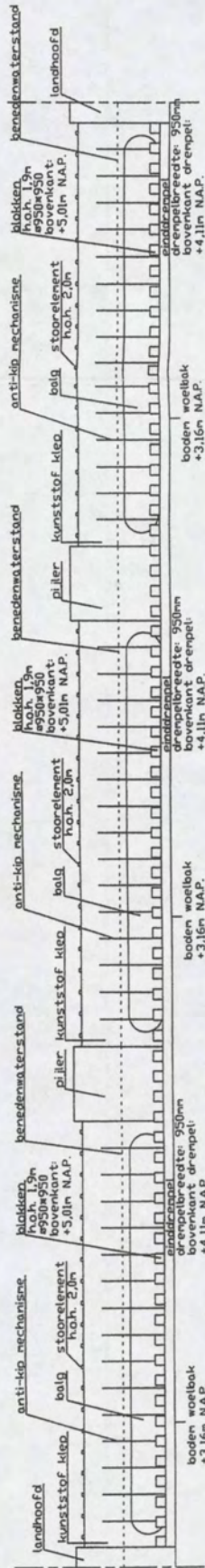




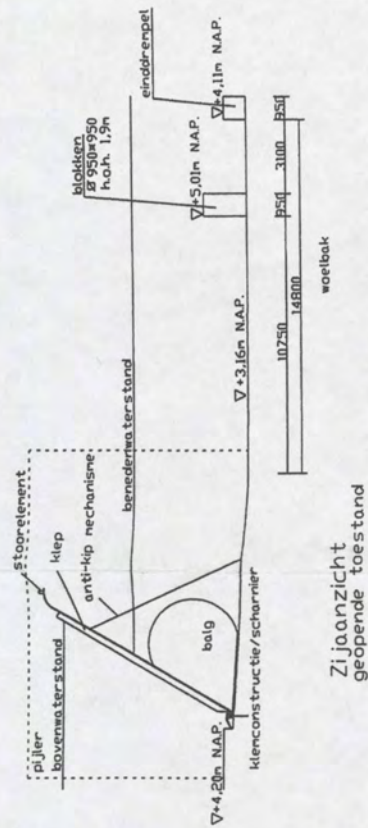
Bovenaanzicht  
geopende toestand



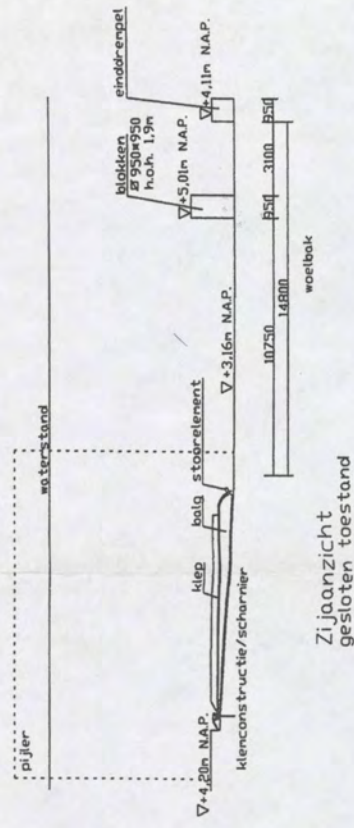
Vooraanzicht  
geopende toestand  
bovenstroomse zijde



Vooraanzicht  
geopende toestand  
benedenstroomse zijde



Zijaanzicht  
geopende toestand



Zijaanzicht  
gesloten toestand



