

RIJKSINSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK

BIBLIOTHEEK
RIJKSINSTITUUT VOOR
VISSERIJONDERZOEK

Haringkade 1 - Postbus 68 - 1970 AB IJmuiden - Tel.: +31 2550 64646

JSN 541 972

Afdeling: Technisch Onderzoek

Rapport: TO 91-05

Studie naar invloed van scheepsbewegingen
op het gedrag van boomkorvistuigen in het
kader van "Kotter 2000" project.

Auteur: C.G.J.M. van der Nat

Project: 70.012
Projectleider: ir B. van Marlen
Datum van verschijnen: augustus 1991

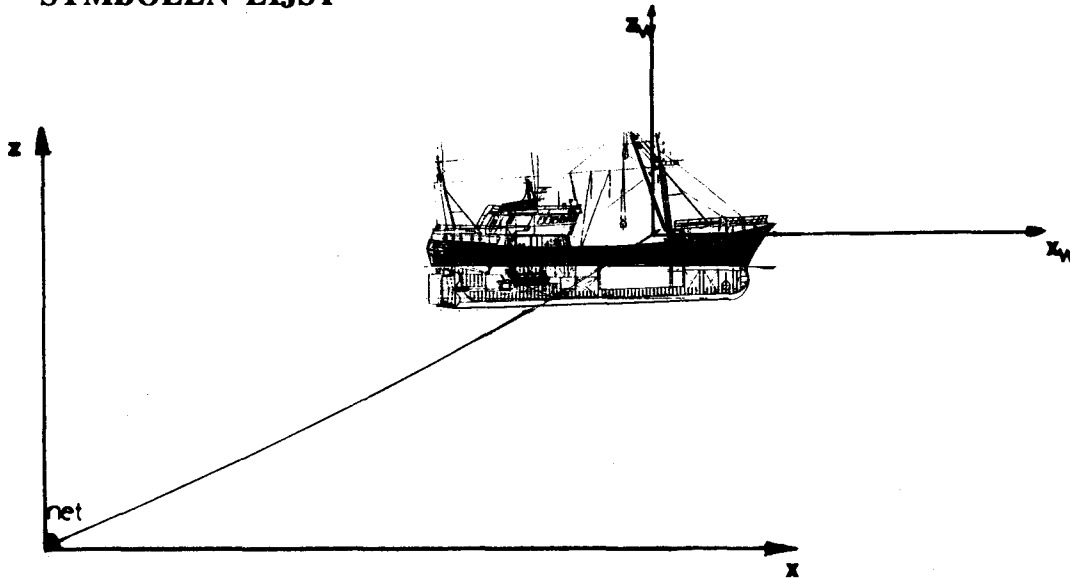
deel 1

Inhoud:

SYMBOLEN LIJST	4
1. INLEIDING	8
1.1 Onderzoeksmethodiek.....	8
2. HET VISPROCES	9
2.1 Beschrijving van het schip en de tuigen.....	9
2.1.1 Schip.....	9
2.1.2 Het vistuig.....	10
2.2 Het operationele bedrijf	10
3. DE DYNAMICA VAN HET SCHIP EN HET VISTUIG	12
3.1 De bewegingen van het schip.....	12
3.2 De bewegingen van de visdraden	12
3.3 De bewegingen van het vistuig.....	13
4. MODELLERING VAN HET SCHIP EN DE VISTUIGEN.....	15
4.1. Modellering van de scheepsbewegingen	16
4.2 Modellering van het vistuig.....	17
4.2.1 Vislijnmodel.....	17
4.2.2 Boomkortuig model.....	27
5. DE NUMERIEKE OPLOSMETHODE.....	31
5.1 Inleiding.....	31
5.2 Implementering van model.....	32
5.3 Resultaten van het model.....	33
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK.....	37
REFERENTIELIJST.....	38
APPENDIX A Gegevens van staalkabels	40
APPENDIX B Hydrodynamische coëfficiënten	41
APPENDIX C Modelproeven met boomkortuig.....	43
APPENDIX D Scheepsbewegingen.....	47

BIJLAGEN zijn opgenomen in deel 2

SYMBOLEN LIJST



assenstelsels:

ruimte-vaste globale assenstelsel,
met oorsprong in het net op tijdstip $t = 0$,
 x in richting van de sloopssnelheid en
 z naar boven gericht.

scheepsgebonden assenstelsel,
met oorsprong in het uiteinde van de giek bij vlak water,
 x_w in de richting van de sloopssnelheid en
 z_w naar boven gericht.

Schip:

x_k	[m]	: plaats vector van zwaartepunt van het sloop in het ruimte-vaste globale assenstelsel.
x_g	[m]	: plaats vector van uiteinde van de giek in het ruimte-vaste globale assenstelsel.
x_w	[m]	: plaats vector van uiteinde van de giek in sloopgebonden assenstelsel.

Vislijn:

x_i	[m]	: plaats vector van i^e knooppunt van lijn in globale assenstelsel.
t_i	[m]	: plaats vector van i^e knooppunt van lijn in lokale assenstelsel.
m	[kg]	: massa van i^e knooppunt
T_i	[N]	: normaalkracht in i^e segment
$F T_i$	[N]	: normaalkracht vector van segment i in knooppunt i in globale richtingen.
T_i	[N]	: normaalkracht vector van segment i in knooppunt i in lokale richting.
D_{t_i}	[N]	: hydrodynamische dempingskracht langs segment i
D_{n_i}	[N]	: hydrodynamische dempingskracht loodrecht op segment i
C_d	[-]	: hydrodynamische weerstand coëfficiënt
K_d	[kg/m ²]	: hydrodynamische dempingscoëfficiënt
C_a	[-]	: hydrodynamische toegevoegde massa coëfficiënt
K_a	[kg/m]	: hydrodynamische traagheid coëfficiënt
D_i	:[N]	: resultante hydrodynamische krachtvector in lokale richting op i^e knooppunt.

FD_i [N] : resultante hydrodynamische krachtvector in globale richting op i^e knooppunt.
i : i^e segment
k : k^e knooppunt

vistuig:

x_t [m] : plaats vector van vistuig in globale assenstelsel.
n : net
b : boom
w : wekker
s : sloffen
Bb [Ns/m] : dempingscoëfficiënt van bodem
Kb [N/m] : veerstijfheid van bodem

$Kc = 2 \cdot \pi \cdot a / D$: Keulegan Carpenter getal, met a: amplitude van harmonische trilling van draad

$Re = v \cdot D / \nu$: Reynolds getal, met ν : kinematische viscositeit van zeewater

$Fr = v / \sqrt{g \cdot l}$: Froude getal

opmerking:
vectoren zijn vet gedrukt

VOORWOORD

Voor u ligt het rapport "Studie naar invloed van scheepsbewegingen op het gedrag van boomkorvistuigen ". Dit project is onderdeel van mijn afstudeerwerk aan de faculteit Werktuigbouwkunde & Maritieme Techniek vakgroep Maritieme Werktuigkunde, in samenwerking met de faculteit Wijsbegeerte en Technische Maatschappijwetenschappen vakgroep Veiligheidskunde van de Technische Universiteit Delft en wordt uitgevoerd bij de afdeling Technisch Onderzoek van het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek waarbij het een onderdeel is van het "Kotter 2000" project. De resultaten kunnen als uitgangspunt dienen voor vervolg onderzoek op het gebied van netweerstand, bodem verstoringen en vastlopen van het tuig.

In dit project is een numeriek model gemaakt van een 7-tons boomkorvistuig. Dit boomkortuig wordt door een 2000 pk kotter over de bodem van het noordelijk gedeelte van de Noordzee gesleept. Vervolgens zijn met dit model parameter-varianties uitgevoerd, waardoor de effecten van de verschillende parameter-waarden zichtbaar gemaakt konden worden. Door de modulaire opbouw van het model is het in een vervolg onderzoek mogelijk het model verder te verfijnen en te gebruiken. Ik hoop dan ook dat dit model kan bijdragen aan een vergroting van de veiligheid en een vermindering van de negatieve milieu-effecten van boomkorkottervaartuigen.

Graag wil ik de medewerkers van de afdeling Technisch Onderzoek van het RIVO en al diegenen die mij geholpen hebben met het verzamelen van informatie, of mij op een andere wijze terzijde hebben gestaan, bedanken voor hun medewerking en gastvrijheid. In het bijzonder gaat mijn dank uit naar de bemanning van de TX 34 "Sola Gratia" die het voor mij mogelijk heeft gemaakt dat ik tijdens een visweek de praktijk van het visserijbedrijf van dichtbij heb kunnen meemaken. Tot slot wil ik mevr. Laagwater bedanken voor het verzorgen van het type-werk.

IJmuiden, augustus 1991
CLEMENS van der NAT

STUDIE NAAR INVLOED VAN SCHEEPSBEWEGINGEN OP HET GEDRAG VAN BOOMKORTVISTUIGEN

1. INLEIDING

Uit de eerste fase van het systematisch onderzoek "MK systemen" in het kader van het Kotter 2000 project (Nat v.d., 1991, 15) kwam naar voren dat het minimaliseren van de totale weerstand van het schip en vistuig de jaarlijkse energiebehoefte en daarmee de jaarlijkse hoeveelheid uitlaatgassen emissies vermindert. Een oplossing voor het verminderen van de vistuigweerstand is het verkleinen van het tuiggewicht. Om echter op een vlakke zeebodem het opspringen van de tuigen ten gevolge van scheepsbewegingen te voorkomen, wordt in de praktijk het gewicht van de tuigen juist vergroot. Dit onderzoek heeft dan ook tot doel (zie opdracht, bijlage 1.1):

- a. Vaststellen van de voorwaarden waaronder het vistuig op een vlakke zeebodem ten gevolge van scheepsbewegingen opspringt.
- b. Aangeven welke passieve of actieve systemen de voorwaarden die aan het vistuiggewicht gesteld worden, kunnen beïnvloeden, zodat het boomkortuiggewicht kleiner kan worden.
- c. Het vaststellen van de meest optimale afstemming tussen schip en vistuig met betrekking tot veiligheid/arbeidsomstandigheden en milieu .

1.1 Onderzoeksmethodiek

In dit onderzoek staat de interactie tussen het vistuig en het kottervaartuig centraal. Het onderzoekprogramma is gesplitst in 3 fasen. Na een beschrijving van het huidige visproces en de effecten daarvan op de veiligheid, arbeidsomstandigheden en milieu, zal het dynamisch gedrag van de systemen: schip, visdraad en vistuig geanalyseerd worden (hoofdstukken 2 en 3). Aan de hand van deze analyse kan in fase 2 een modellering gemaakt worden, waardoor d.m.v. parameter-variaties de gevoeligheid van verschillende parameters met betrekking tot het gedrag van het boomkortuig bepaald kunnen worden. Met behulp van reeds uitgevoerde praktijkmetingen (Blom, 1990, 3) en modelproeven kan het model gevalideerd en geverifieerd worden (hoofdstukken 4 en 5). Door parameter-variaties kunnen de voorwaarden vastgesteld worden, waaronder het vistuig op een vlakke zeebodem ten gevolge van scheepsbewegingen opspringt. Het model wordt modulair opgebouwd, waardoor het mogelijk wordt in een latere fase passieve of actieve systemen ter vermindering van de bewegingen in het model op te nemen, zodat nieuwe voorwaarden vastgesteld kunnen worden. Uiteindelijk zal dan een selectie gemaakt kunnen worden uit mogelijke passieve of actieve systemen. Hierbij is het benodigde tuiggewicht een belangrijk selectie criterium.

fase 1

2. HET VISPROCES

2.1 Beschrijving van het schip en de tuigen

2.1.1 Schip

Het Nederlandse kottervaartuig kan worden gekarakteriseerd als een klein tot middelgroot vissersvaartuig dat bedoeld is voor de aanvoer van verse vis. Om vast te stellen op welk deel van de Nederlandse vissersvloot de aandacht gericht moet worden, worden de volgende selectie-criteria gehanteerd:

1. Omvang en verwachte ontwikkeling in de nabije toekomst
 2. Geschatte milieubelasting
- ad. 1 Meer dan 70 % van de huidige kotters (ca. 600 stuks) is ontworpen en gebouwd voor de boomkorvisserij op de Noordzee, van het Engelse kanaal tot 57° Nbr, met een waterdiepte van 10 tot 200 meter. Bijna 75 % van de huidige kotters vist in het Noordelijk deel van de Noordzee, waar de bodem over het algemeen hard en vlak is. Met de invoering van technische maatregelen om de vangstcapaciteit aan te passen aan de bestaande visbestanden is het motorvermogen van nieuwbouwkotters of gehermotoriseerde kotters met ingang van september 1987 beperkt tot 2000 pk. Tengevolge van deze maatregel zijn de middelgrote kotters aan het verdwijnen. Deze worden vervangen door grotere kotters met een motorvermogen van 2000 pk, of door kleinere kotters met een motorvermogen kleiner dan 300 pk, waarmee ook binnen de 12 mijl-zone gevist mag worden.
- ad. 2 De grootte van de milieubelasting kan uitgedrukt worden in een hoeveelheid gevangen vis per liter verstookte gasolie. Omdat echter alleen gegevens over de bruto besomming bekend zijn, kan voor een eerste indicatie van de milieu belasting de bruto besomming per liter verstookte gasolie gehanteerd worden. Hierbij wordt gesteld dat de kotters - onafhankelijk van het geïnstalleerd vermogen - dezelfde verdeling over de soorten gevangen vis hebben en gemiddeld de vissen per soort voor een gelijke prijs kunnen verkopen.

tabel 2.1 milieubelasting

vermogensgroep	< 300 pk	301 - 1500 pk	> 1500 pk
bruto besomming (gld) per liter gasolie	5	2.3	1.7

bron: LEI 1989

Uit tabel 2.1 blijkt dat de kotters met een geïnstalleerd vermogen > 1500 pk ten opzichte van de andere vermogensgroepen het grootste brandstofverbruik per eenheid vis hebben. Een mogelijke verklaring voor het verschil tussen de vermogensgroep < 300 pk en de vermogensgroepen > 300 pk is dat de eerste aanname, waarbij gesteld is dat de kotters een gelijke verdeling over de soorten gevangen vis hebben, niet juist is. Met name de kleinere kotters vangen nl. relatief veel garnalen. De hoeveelheden uitlaatgassen zijn evenredig met het brandstofverbruik, waardoor de groep kotters met een geïnstalleerd vermogen > 1500 pk relatief voor de grootste milieubelasting zorgen.

Conclusie:

Qua omvang en milieubelasting heeft het met name zin het onderzoek te richten op de boomkorvisserij in het noordelijk deel van de Noordzee en wel specifiek op de kotters met een vermogen van 2000 pk die als gevolg van het visserijbeleid de vissersvloot in aantal zullen gaan overheersen.

Deze keuze betekent niet dat de onderzoeksmethode voor boomkotters met een kleiner geïnstalleerd vermogen niet geschikt is. De gevolgde aanpak zal voor de boomkorvisserij toepasbaar zijn op de gehele vloot, doch de 2000 pk kotter zal in dit onderzoek als uitgangspunt dienen.

De 2000 pk kotter:

Loa	40.1	m
L _{pp}	36.8	m
B	9.0	m
H	5.1	m
DWT (displ.)	654	ton
T	3.93	m
trim	-0.931	m

Een algemeen plan is bijgevoegd in bijlage 2.1

2.1.2 Het vistuig

Een "artist impression" van het vistuig is gegeven in bijlage 2.2. De 2000 pk boomkorkotter vist met een snelheid van 5 - 6 kn., waarbij aan weerszijden van het schip een net over de bodem wordt gesleept. Door een nationaal besluit is vanaf 1986 de boomkorlengte van schepen die buiten de 12-mijl-zone vissen beperkt tot maximaal 12 meter.

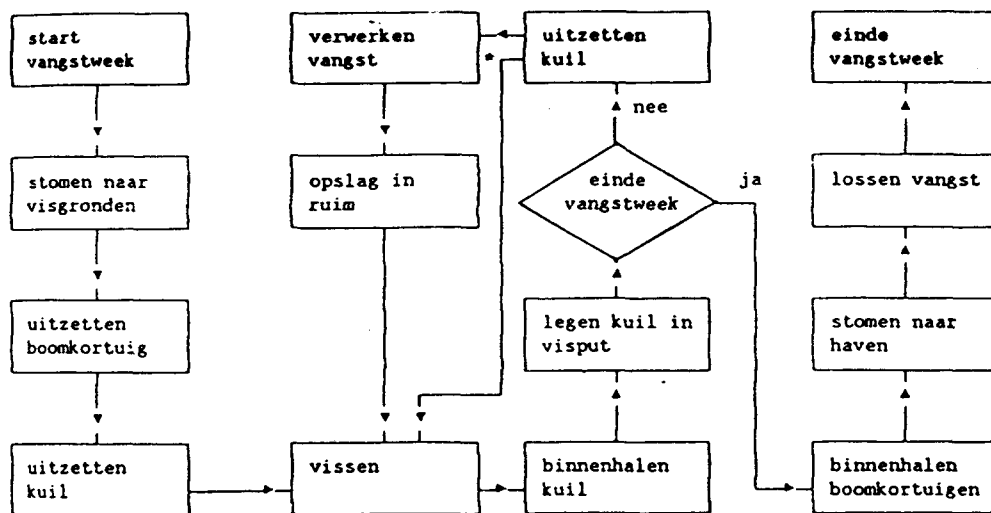
Een schets van een typisch boomkortuig (Blom, 1982, 2) voor het vissen in het noordelijk deel van de Noordzee is opgenomen in bijlage 2.3. In augustus 1989 zijn met dit 12 meter en 7-tons Noordtuig trekkrachtmetingen gedaan (Blom, 1990, 3). Hierdoor is de weerstand van de tuigen voor verschillende verhoudingen van diepte/vislijn lengte bekend. Het vistuig wordt d.m.v. een éénmaal ingeschoren vislijn met de gieken verbonden. De gemiddelde diameter voor deze vislijnen is 30 mm. Voor het aangrijpingspunt van de vislijn aan de slof wordt meestal het laagst gelegen trekpunt gekozen. Hierdoor krijgen de sloffen een vlakke of een enigszins achterover gekantelde positie ten opzichte van de vlakke bodem. Tijdens het vissen is de giek in het horizontale vlak gefixeerd door een voortui en een achtertui, die in de top van de giek en respectievelijk op voor- en achterschip zijn bevestigd. De giek wordt in het verticale vlak opgehangen aan de hangerdraad, die door de hangerblokken van de top van de giek naar de top van de portaal mast loopt.

2.2 Het operationele bedrijf

Het doel van de boomkorvisserij is zo economisch mogelijk vis te vangen en aan te landen. De schepen varen gemiddeld voor een periode van een week uit (ca. 115 uur incl. uit- & thuisstomen). Gedurende deze periode verhouden de vis/stoomtijden zich gemiddeld als 80/20. In figuur 2.1. is een schema van de werkzaamheden op de gemiddelde

Nederlandse kotter weergegeven. Uit een onderzoek naar de veiligheid op het visdek (Hoefnagels ea, 1990, 8) blijkt dat de tuigbehandeling een hoog ongevalsrisico heeft. Een factor die hierbij een belangrijke rol speelt is het grote gewicht van de te hijsen last. Ook zorgt het grote tuiggewicht voor een grotere kans op vastlopen tijdens het vissen op een zachte bodem. De daarbij optredende hoge trekkrachten zorgen voor grote kenterende momenten, waardoor de Scheepvaartinspectie hoge eisen stelt aan de stabiliteit. Als gevolg van de daaruit volgende hoge aanvangsstabiliteit ontstaan aan boord hoge versnellingsniveaus. (Veenstra, 1989, 22.).

In de ideale situatie tijdens het vissen op vlakke bodem volgt het boomkortuig met constante horizontale snelheid de bodem, waarbij de druk van de sloffen op de bodem minimaal is. Een mogelijk belangrijke afwijking van deze situatie is het opspringen van het tuig van de bodem. Als maat voor de kwaliteit van de trek kan het beviste oppervlak ter plaatse van de grondpees genomen worden. Tevens zal bij een trek de horizontale snelheid steeds zo groot moeten zijn dat de vis niet uit het net kan ontsnappen.

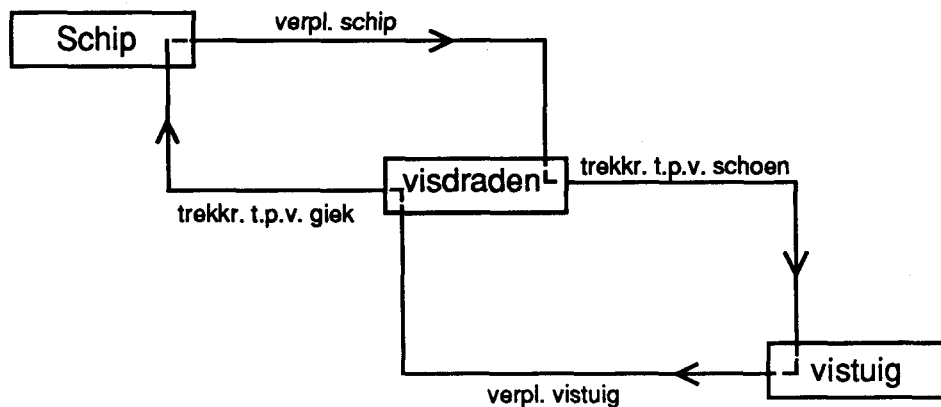


(*) Het is gebruikelijk om 's nachts de vangst niet gelijk te verwerken om zodoende meer rust te kunnen nemen.

figuur 2.1

3. DE DYNAMICA VAN HET SCHIP EN HET VISTUIG

Het bewegende systeem is op te delen in een drietal deelsystemen, namelijk: schip, visdraden en vistuig. De randvoorwaarden van het totale systeem worden gevormd door de zeebodem en het water. Voor elk systeem kunnen bewegingsvergelijkingen en evenwichtsvoorwaarden opgesteld worden, waarmee het dynamische gedrag beschreven wordt. Figuur 3.1 toont hoe ieder deelsysteem gekoppeld is.



figuur 3.1

3.1 De bewegingen van het schip

Het schip beweegt in golven, waarbij de ontmoetingsfrequentie met de golven afhangt van de golfrichting ten opzichte van het schip en de scheepssnelheid. Deze bewegingen worden beïnvloed door de twee over boord hangende netten, die via de vislijnen krachten uitoefenen op de gieken. Uit trekkrachtmetingen (Blom, 1990, 3) blijkt dat ten gevolge van scheepsbewegingen grote variaties in de trekkracht voorkomen. Bij een gemiddelde trekkracht van 10 ton kwamen wisselingen voor met een amplitude van 3.2 ton. Ten gevolge van deze trekkrachtvariaties zal ook de lastkarakteristiek variëren. De machine-installatie van het schip zal door deze wisselende omstandigheden anders belast worden dan in de ontwerpconditie is aangenomen. Het verband tussen de maximale weerstand die door de schroef overwonnen kan worden en de vissnelheid bij een machine-installatie die bij een gegeven toerental een maximaal koppel levert, kan met behulp van de K_t - K_q - J schroefdiagrammen bepaald worden. Het schip wordt in de stationaire toestand symmetrisch belast door de optredende trekkrachten in de vislijn ter plaatse van het uiteinde van de giek. In deze toestand zal het schip dus ten opzichte van de vrijvarende toestand enigszins inzinken en vertrimmen. Verder zullen ten gevolge van de scheepsbewegingen extra fluctuerende krachten ontstaan in de vislijnen, die gesuperponeerd moeten worden op het stationaire deel. Deze fluctuerende krachten beïnvloeden echter weer de scheepsbewegingen, waardoor een directe koppeling ontstaat tussen de vislijnen met de vistuigen en de kotter.

3.2 De bewegingen van de visdraden

De visdraden vormen de verbinding tussen de uiteinden van de gieken, die min of meer star aan het schip vast zitten en het vistuig op de bodem. Hierbij lopen de vislijnen over een aantal blokken waardoor tijdens het lopen van de draad over de schijven spankrachtverlies optreedt ten gevolge van wrijving van draad, schijf en lager. Voor een 2000 pk

kotter zijn de vislijnen meestal éénmaal ingeschoren. De krachten die op de vislijnen werken bestaan uit de gewichtskrachten, veer- en dempingskrachten van de lijn, hydrodynamische krachten van het water en de reactiekrachten ter plaatse van de gieken en de vistuigen. De hydrodynamische belastingen bestaan uit een toegevoegde massa en dempingskrachten ten gevolge van wrijving, golfvorming en loslatingen. Omdat delen van de hydrodynamische belastingen evenredig zijn aan het kwadraat van de relatieve snelheid, is het systeem dat de bewegingen van de vislijn beschrijft niet lineair. Een gevolg van deze beschouwing is dat het superpositiebeginsel van enkelvoudige excitatiecomponenten niet meer van toepassing is om onregelmatige excitaties te berekenen.

3.3 De bewegingen van het vistuig

Het vistuig is te verdelen in vier delen: het net, de wekkerkettingen, de boom en de sloffen. De resulterende kracht is opgebouwd uit een aantal geïdealiseerde krachten die lineair gesommeerd kunnen worden. Op het vistuig werken drie soorten krachten: gewichtskrachten, hydrodynamische krachten en wrijvingskrachten. Voor de stationaire toestand is de verdeling van de krachten in tabel 3.1 weergegeven.

tabel 3.1 Krachten als percentage van trekkracht t.p.v. giek bij vissnelheid van 6 knopen

	hydrodynamisch	wrijving langs bodem
net	44%	10%
wekkers	4%	17%
sloffen	2%	4%
boom/spruit/spruitblok	13%	-
lijnen	6%	-

(Blom, 1990, 3)

Net/wekkers:

Uit recentelijk onderzoek naar de hydrodynamische weerstand van netten (L.CHI, 1989, 6) blijkt dat de weerstandskarakteristiek van een net beschreven kan worden met:

$$R = B \cdot \dot{x}^2 + F$$

waarin R = weerstand van vistuig
 B = hydrodynamische weerstandscoefficiënt
 \dot{x} = relatieve snelheid van vistuig ten opzichte van water
 F = grondwrijving van vistuig

De hydrodynamische weerstandscoefficiënt is in deze beschrijving afhankelijk van een karakteristiek netoppervlak, de dikte en materiaalsoort van de netgarens, de geometrie van de netmazen, aanstroomhoek van netpaneel en aanstroomsnelheid.

Door parameters te variëren bleek dat de hydrodynamische weerstandscoefficiënt met name beïnvloed wordt door: de aanstroomhoek van het netpaneel, het karakteristiek netoppervlak, de garendikte en de hoek die de garens maken in een maas. Omdat van een bepaald net uitgegaan wordt, ligt het karakteristieke netoppervlak, de garendikte, de hoek die de garens maken in een maas, vast. De hydrodynamische weerstandscoefficiënt zal dus voor een gegeven net voornamelijk variëren door de veranderingen in de aanstroomhoek van een netpaneel. Uit proeven met netpanelen (L.CHI, 1989,6) blijkt voor kleine aanstroomhoeken de weerstand een lineaire functie te zijn van de aanstroomhoek. De fysische achtergrond van deze afhankelijkheid bestaat niet alleen uit de verandering in het geprojecteerde garenooppervlak loodrecht op de stroming, ook grenslaagverschijnselen spelen een rol, omdat bij een aanstroomhoek van 0° de garens achter elkaar liggen in de

stroming. Het netoppervlak bevindt zich hierdoor in een turbulente stroming. Door deze turbulente stroming is de horizontale snelheidscomponent in de grenslaag veel kleiner dan buiten de grenslaag, zodat de weerstand vermindert. Bij toename van de aanstroomhoek wordt de invloed van turbulentie op de weerstand kleiner, omdat de grenslaag zich loslaat van het netoppervlak. Dit effect speelt met name een rol als het vistuig opspringt, omdat dan de aanstroomhoek sterk verandert. De grondwrijving van het vistuig in de beschrijving volgens L.CHI wordt voorgesteld als een Coulombse wrijving. Hierin is de grondwrijving een lineaire functie van de normaalkracht die het vistuig op de bodem uitoefent.

$$F = f \cdot N$$

met f = wrijvingscoëfficiënt tussen vistuig en bodem
 N = normaalkracht die het vistuig uitoefent op de bodem

Het vistuiggewicht in water bestaat bij een boomkornet uit het gewicht van boom, sloffen, net en wekkers. De wrijvingscoëfficiënt hangt af van de materiaalsoorten van het net en de soort en de conditie van de grond. Als het net opspringt zal een deel van de kettingen los komen van de grond, waardoor de wrijvingsweerstand vermindert.

Boom met sloffen

De boom heeft alleen hydrodynamische weerstand die bestaat uit een snelheids- en een toegevoegde massa-afhankelijk deel. De sloffen hebben naast een hydrodynamische weerstand ook een wrijvingsweerstand. De wrijving van de sloffen is afhankelijk van de reactiekracht van de sloffen op de zeebodem (Coulombse wrijving). Bij grote penetratiediepte kan echter aangenomen worden dat de wrijvingsweerstand lineair afhankelijk is van de penetratiediepte. De aangenomen Coulombse wrijving is dan dus niet meer geldig. In de visserij-wereld wordt deze situatie ook wel kleven genoemd. De overgang van kleven naar Coulombse wrijving is arbitrair. In een numeriek model van een boomkornet dat in 1988 door SHELL (KSEPL) is gemaakt (Weijland, 1991, 24), is deze grens gesteld op 5 cm penetratie.

4 MODELLERING VAN HET SCHIP EN DE VISTUIGEN

Een hoofddoel van deze studie is het ontwikkelen van een dynamisch model dat het gedrag van een vislijn met vistuig beschrijft. Twee fundamenteel verschillende analyses zijn mogelijk voor het beschrijven van het gedrag:

- 1) frequentiedomein analyse
- 2) tijdsdomein analyse

De frequentiedomein analyse vergt minder computertijd en wordt daarom in de ingenieurspraktijk veel toegepast. Een belangrijk bezwaar van deze analysevorm is dat alle niet lineaire effecten gelineariseerd moeten worden. Deze linearisatie is alleen toegestaan wanneer er slechts kleine afwijkingen van een evenwichtstoestand optreden. De nauwkeurigheid van deze methode zal voor het beschrijven van het gedrag van vislijn en vistuig discutabel zijn, omdat een aantal niet lineaire effecten optreden:

- geometrie:
vislijnconfiguraties veranderingen zijn niet proportioneel met belasting veranderingen, doordat de stijfheid afhankelijk is van de geometrie.
- belasting:
dempingskrachten zijn afhankelijk van de kwadratische snelheid van de stroming ter plaatse van de vislijn.
- niet lineaire materiaaleigenschappen:
de vislijn kan geen drukkrachten opnemen.
- bodem:
niet lineaire wrijvingskrachten tussen bodem en vistuig; deze zijn tevens afhankelijk van de hoogte van het vistuig boven de bodem.

Om deze niet lineaire effecten te kunnen beschrijven moet dus gekozen worden voor een tijdsdomein-oplossingsprocedure.

Om het systeemgedrag te onderzoeken zal een numeriek model gemaakt moeten worden. Bij het modelleren wordt er in eerste instantie naar gestreefd om de verschillende deelsystemen en de verschillende bewegingscomponenten zoveel mogelijk te ontkoppelen. Hierdoor blijven de relaties en daarmee de vergelijkingen eenvoudig, zodat een direct inzicht op de invloed van de verschillende grootheden die het systeem kenmerken, mogelijk is. Vele coëfficiënten kunnen slechts geschat worden. Met behulp van een model kan door variatie van de parameters de invloed van de verschillende coëfficiënten onderzocht worden. Als op deze wijze een beter begrip van het systeem verkregen is, kunnen de van belang zijnde deelsystemen verder onderzocht worden.

Het bewegende systeem wordt voor het modelleren opgedeeld in een tweetal deelsystemen: het schip en het vistuig.

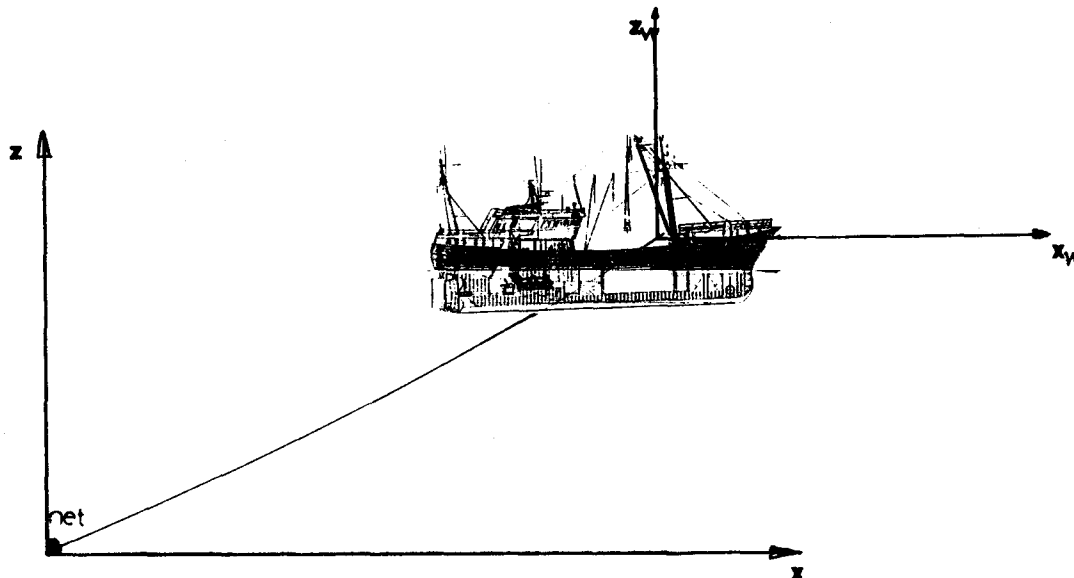
Alvorens de bewegingen verder te analyseren worden eerst een aantal voorwaarden aan de omgeving van het systeem gesteld die de werkelijkheid vereenvoudigen:

- geen stroming in het water
- een vlakke zeebodem
- enkelvoudige golven (regelmatige golven uit één richting)

Omdat het in eerste instantie gaat om het bestuderen van het effect van scheepsbewegingen op het gedrag van een boomkortuig kan het toepassen van een relatief simpele omgeving gemakkelijk leiden tot inzicht in het bewegingsgedrag. Indien verondersteld wordt dat de bewegingen van de visdraad ter plaatse van de giek loodrecht

op de scheeps-as geen invloed hebben op het gedrag van het boomkortuig in de richting van de scheeps-as en in de richting loodrecht op de zeebodem, dan is een tweedimensionaal model voldoende om het gedrag te beschrijven. Omdat het schip alleen met een gestrekte koers gesimuleerd wordt en de belastingen van de visdraden symmetrisch zijn, is deze aanname redelijk.

Voor het globale (ruimtegebonden) assenstelsel wordt de oorsprong gekozen op de zeebodem, ter plaatse van het net op $t = 0$ seconde (zie figuur 4.1). De positieve x -richting is in de vaarrichting en de positieve z -richting is van de zeebodem naar het zeeoppervlak.



Hierin zijn x, z de coördinaten van het ruimtegebonden assenstelsel.

4.1. Modellering van de scheepsbewegingen

Bij de modelleringen van de scheepsbewegingen worden de verplaatsingen van het uiteinde van de giek opgedeeld in een gedeelte ten gevolge van golfkrachten en een gedeelte ten gevolge van de trekkrachten in de vislijnen.

Ten aanzien van de verplaatsingen ten gevolge van golfkrachten kunnen de volgende aannamen gedaan worden:

1. De ontmoetingsfrequentie van het schip met de golven wordt constant gehouden en is afhankelijk van de gemiddelde vissende snelheid.
2. De scheepsbewegingen ten gevolge van golfkrachten worden niet beïnvloed door de over boord hangende netten. Met andere woorden de scheepsbewegingen ten gevolge van golfkrachten zijn volledig ontkoppeld van het gedrag van de vislijnen.

De geldigheid van aanname 1 kan gecontroleerd worden door na afloop de horizontale snelheidscomponent van het schip te vergelijken met de aangenomen gemiddelde vissende snelheid en vervolgens na te gaan of er significante verschillen zijn opgetreden.

De geldigheid van aanname 2 kan gecontroleerd worden door na afloop de reactiekrachten van de vislijn aan het schip op te leggen en vervolgens na te gaan of er significante verschillen zijn opgetreden met de eerder aangenomen scheepsbewegingen.

Ten aanzien van de bewegingen ten gevolge van de trekkrachten in de vislijn wordt aangenomen dat deze alleen invloed hebben op de horizontale bewegingscomponent.

Deze component is afhankelijk van de scheepssnelheid die volgt uit het dynamische gedrag van het schip in de globale x-richting. Voor het dynamische gedrag van het schip kan men stellen (Klein Woud, 1988, 13):

$$M_k \cdot \ddot{x}_k = T \cdot (1-t) - R + 2 \cdot FT_{x_{1,0}}$$

- met M_k = massa + toegevoegde massa van de kotter (ca. 8%)
 \ddot{x}_k = versnelling van schip (kotter)
 T = stuwkracht
 t = zoggetal
 R = totale weerstand van schip in golven
 $FT_{x_{1,0}}$ = horizontale component van trekkraft in de vislijn ter plaatse van de giek, in positieve globale x-richting

Gezien de tijdsduur waarin de bewegingen beschouwd worden, kan de als puntmassa voorgestelde massa plus toegevoegde massa van de kotter (M_k) constant verondersteld worden. Omdat in dit onderzoek niet de machine-installatie of de voortstuwcr centraal staan, zal een verband opgesteld worden tussen de effectieve stuwkracht $T \cdot (1-t)$ en de scheepssnelheid. In de stationaire toestand is de toelaatbare weerstand (zie paragraaf 3.1) gelijk aan de effectieve stuwkracht. Het verband tussen toelaatbare weerstand en scheepssnelheid zoals in paragraaf 3.1 wordt behandeld, is voor elk schip verschillend. In (Blom, 1990, 3) wordt zo'n verband gegeven voor kotters met een geïnstalleerd vermogen van 220 kW (300 pk) tot 1760 kW (2400 pk) (zie bijlage 4.1). Bij nadere beschouwing blijkt hieruit voor een vissnelheid van 0 tot 7 kn een lineair verband te bestaan tussen het geïnstalleerde vermogen van 880 kW (1200 pk) tot 1470 kW (2000 pk) en de maximaal geleverde effectieve stuwkracht.

Alhoewel de scheepsbewegingen ten gevolge van de golfkrachten niet beïnvloed worden door de trekkraft van de netten zal de variërende weerstand van het vistuig wel invloed hebben op de scheepssnelheid. Na elke tijdstap zijn de vislijnkrachten bekend waardoor met de bovenstaande vergelijking de versnelling van het schip bekend wordt. Deze versnelling geïntegreerd over een tijdstap levert een snelheid op, die teruggekoppeld als input kan dienen voor de weerstand van het schip. De plaats, snelheid en versnelling die aan de vislijnen worden opgelegd, worden bepaald ter plaatse van de giek.

Dus:

$$\begin{aligned} x_g &= x_k + x_w \\ \dot{x}_g &= \dot{x}_k + \dot{x}_w \\ \ddot{x}_g &= \ddot{x}_k + \ddot{x}_w \end{aligned}$$

- met x_g = plaats vector van uiteinde van de giek in het ruimte-vaste globale assenstelsel
 x_k = plaats vector van de kotter in het ruimte-vaste globale assenstelsel
 x_w = plaats vector van uiteinde van de giek in scheepsgebonden assenstelsel

4.2 Modelling van het vistuig

Voor de modellering van het vistuig wordt het systeem onderverdeeld in een tweetal deelsystemen die gekoppeld zijn. Het eerste systeem beschrijft het gedrag van de vislijn en het tweede systeem het gedrag van het boomkortuig.

4.2.1 Vislijnmodel

De vislijn vormt de verbinding tussen het schip en het vistuig en bestaat voor een 2000 pk Kotter uit een éénmaal ingeschoren kabel met een diameter van 30 mm. Voor een

kabel geldt in het algemeen dat de buigstijfheid, torsiestijfheid en afschuifkrachten verwaarloosbaar zijn. Omdat het gedrag van de kabel niet lineair is, zal de analyse plaats moeten vinden door middel van een "time step-by-step" integratie van gekoppelde bewegingsvergelijkingen. Om deze integratiemethode te gebruiken moet de lijn in een discreet aantal delen verdeeld worden. In de off-shore industrie zijn diverse methoden ontwikkeld om het gedrag van ankerlijnen te beschrijven (P. Markoulidis, 1989, 17). De hoofdgroepen die onderscheiden kunnen worden, zijn:

1. discrete massa methode
2. eindige elementen methode

Discrete massa methode

Deze procedure impliceert dat een continue lijn wordt verdeeld in een aantal segmenten, die variabele lengtes mogen hebben. De massa van een segment wordt verdeeld over beide segmenteinden, waardoor "discrete massa's" ontstaan. De interne en externe reactiekrachten die op de segmenten werken, worden geconcentreerd in de massapunten door ze te integreren over de segmentlengtes. De helling van de lijn wordt ook geconcentreerd in de segmenteinden, waardoor tussen de massapunten een rechte lijn kan worden gedacht. De totale som van deze krachten resulteert in een versnelling van de "discrete massa's" waardoor deze in beweging komen. De beweging van de hele lijn wordt verkregen door de bewegingsvergelijking van elk massapunt voor elke tijdstap te evalueren. Het gedrag van de lijn wordt beschreven door deze bewegingsvergelijkingen te koppelen tot tweede orde gekoppelde differentiaalvergelijkingen, die numeriek in het tijdsdomein opgelost kunnen worden.

Eindige elementen methode

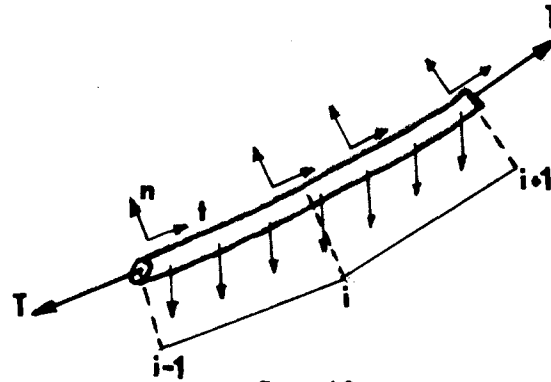
Het uitgangspunt van de EEM is dat de lijn wordt gemodelleerd door deze te verdelen in een eindig aantal elementen. De elementen worden in knooppunten aan elkaar bevestigd gedacht. De lijn wordt hierbij opgebouwd uit staafelementen. In dit element treedt alleen vervorming op door normaalkracht. Het gedrag van het element wordt bepaald door het verband tussen de spanningen en rekken, ofwel de krachten en verplaatsingen. Dit verband wordt beschreven door de stijfheidsmatrix. Door middel van het principe van de virtuele arbeid worden de werkelijke uitwendige belastingen op de staaf vertaald in arbeidsequivalente knooppuntskrachten. Deze techniek houdt in dat lengteverandering van het staafelement ten gevolge van de verdeelde uitwendige belasting gelijk is aan de lengteverandering ten gevolge van de vervangende knooppuntskrachten. Op deze manier worden de traagheidskrachten en dempingskrachten in rekening gebracht. Het verband tussen deze arbeidsequivalente knooppuntskrachten en knooppuntsverplaatsingen wordt gegeven door respectievelijk de consistente massa-matrix en de dempingsmatrix. Voor ieder knooppunt kan nu een evenwichtsvergelijking geformuleerd worden hetgeen het samenvoegen van de evenwichtsvergelijkingen van de elementen inhoudt.

Conclusie:

Bij de analyse volgens de EEM wordt gebruik gemaakt van de consistente massa- en dempingsmatrix. Hierbij wordt uitgegaan van een bepaald verplaatsingsverloop voor de knooppunten en aldus wordt rekening gehouden met het snelheids- en versnellingsverloop over het element. In de praktijk wordt dit wat betreft de massa-matrix echter zelden gedaan. (Hommel, 1986, 10), omdat deze matrices numeriek onaantrekkelijk zijn door het voorkomen van getallen buiten de hoofddiagonaal. Het is daarom gebruikelijk om de werkelijke massaverdeling te vervangen door een aantal discrete massa's in de knooppunten; ofwel het toepassen van de "discrete massa methode". De massa-matrix zal hierdoor alleen getallen bevatten op de hoofddiagonaal. Vanwege de eenvoud zal dan ook in eerste instantie gekozen worden voor de toepassing van de "discrete massa methode".

Uitwerking van de discrete massa methode

De éénmaal ingeschoren vislijn wordt beschreven door de lijn te discretiseren in een eindig aantal segmenten. In figuur 4.2. zijn twee elementen weergegeven, waarbij in het algemeen de lengte van de segmenten variabel kan zijn, doch het is praktischer deze constant te houden.



figuur 4.2

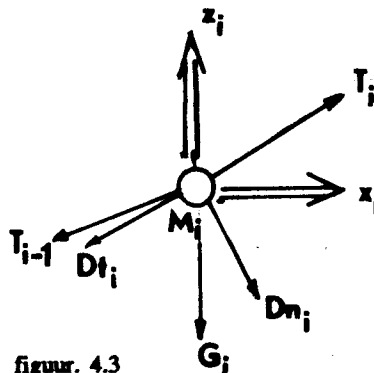
De massa van een segment wordt vervolgens verdeeld over beide segmenteinden. De krachten die op de zo ontstane massapunten werken, zijn:

- eigen gewicht in water
- normaalkrachten in de aangrenzende elementen
- hydrodynamische dempingskrachten ten gevolge van golfvorming
- hydrodynamische dempingskrachten ten gevolge van stroming
- liftkracht loodrecht op x-z-vlak ten gevolge van veranderingen in grenslaag en de vorming van wervelingen in de stroom.

Voor de vislijn kunnen een aantal krachten die op de massapunten werken, verwaarloosd worden.

De materiaaldemping is voor een kabel gering (dempingsfactor 0,015; bron dr. ir. Wiek, TUD), waardoor de dempingskrachten in de draad ten opzichte van de andere optredende krachten te verwaarlozen zijn. De buigstijfheid en torsiestijfheid van lijnen worden meestal nul gesteld. De effecten van golfvorming op het gedrag van de lijn is verwaarloosbaar. Liftkrachten ten gevolge van grenslaag veranderingen kunnen meestal verwaarloosd worden omdat deze krachten alleen voor een kleine interval van de Keulegan Carpenter-nummers significant zijn. Tevens zijn deze krachten te verwaarlozen omdat de som van de liftkracht over de kabellengte vaak ongeveer nul is, doordat het verschijnsel qua sterkte en richting random is. Indien de bovengenoemde verwaarlozingen worden toegepast dan blijft over voor het dynamische krachtenevenwicht in de knooppunten (zie figuur 4.3):

- eigen gewicht in water (G)
- normaalkrachten in aangrenzende en onder verschillende hoeken staande elementen (T_{i-1} , T_i)
- hydrodynamische dempingskrachten ten gevolge van stroming



figuur. 4.3

De representatie van de krachten die werken op de "discrete massa":

$$M_i = m \cdot (l_{i-1} + l_i) / 2 = m \cdot l$$

$$G_i = w \cdot (l_{i-1} + l_i) / 2 = w \cdot l$$

$$D_{n_i} = \int_{\frac{1}{2}l_{i-1}}^{\frac{1}{2}l_i} \delta_n \cdot dl$$

$$D_{t_i} = \int_{\frac{1}{2}l_{i-1}}^{\frac{1}{2}l_i} \delta_t \cdot dl$$

- waarin
- m = massa per lengte eenheid
 - w = gewicht in water per lengte eenheid ($= m \cdot g - \rho_{\text{water}} \cdot A_{\text{draad}} \cdot g$)
 - δ_n = hydrodynamische dempingskracht loodrecht op segment per lengte eenheid
 - δ_t = hydrodynamische dempingskracht langs segment per lengte eenheid

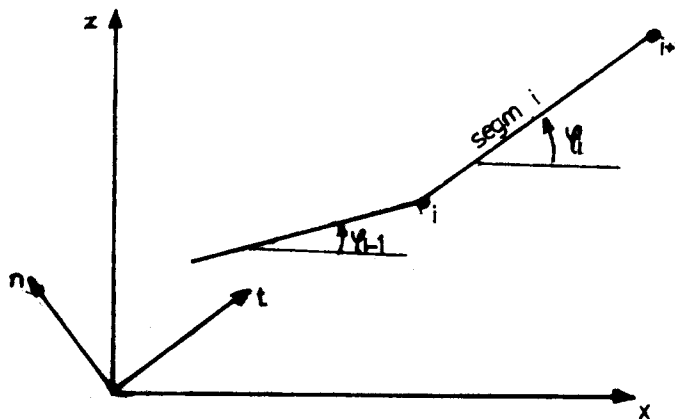
De totale som van deze krachten resulteert in een versnelling van de "discrete massa". De bewegingsvergelijking van een enkel massapunt wordt:

$$M_i \cdot \ddot{x}_i = FT_i + FD_i + G_i + R_i$$

- met
- M_i = massa - en toegevoegde massa
 - \ddot{x}_i = versnellingsvector van discrete massa
 - FT_i = resultante van de trekkrachtvector
 - FD_i = resultante van de hydrodynamische dempingskrachtvector
 - R_i = extra externe krachten vector die op de "discrete massa" kunnen werken. (b.v. krachten van het net)
 - G_i = eigen gewichtsvector in water

Om de bewegingsvergelijkingen overzichtelijk te houden, wordt gekozen voor de matrix notatie.

Gekozen is voor een analyse die is gebaseerd op een twee-dimensionaal coördinaten-systeem. Dit coördinatensysteem spant het verticale vlak op, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen een globaal systeem en een lokaal systeem. Het globale coördinaten-systeem (x, z) is geldig voor het gehele systeem (schip, vislijn, vistuig) en de oorsprong bevindt zich op de bodem (zie figuur). Het lokale coördinatensysteem (t, n) is geldig voor een individueel lijnsegment (zie figuur) en zal alleen gebruikt worden om de relaties tussen de elementen vast te stellen. Het gehele model zal dus geanalyseerd worden in het globale coördinatenstelsel (zie ook figuur 4.1).



figuur 4.4

De positie van een segment wordt bepaald door de globale coördinaten van de segmentknooppunten (discrete massa's).
Er geldt:

$$\varphi_i = \arctan [(z_{i+1} - z_i) / (x_{i+1} - x_i)]$$

De transformatie van lokaal naar globaal wordt gegeven door de volgende transformatie matrix:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i & -\sin\varphi_i \\ \sin\varphi_i & \cos\varphi_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_i \\ n_i \end{bmatrix} = [\text{trans}] \begin{bmatrix} t_i \\ n_i \end{bmatrix}$$

De determinant van de transformatie matrix is 1, zodat de inverse matrix gelijk wordt aan de getransponeerde matrix. Dus de transformatie matrix van globaal naar lokaal wordt dan:

$$\begin{bmatrix} t_i \\ n_i \end{bmatrix} = [\text{trans}]^{-1} \begin{bmatrix} x_i \\ z_i \end{bmatrix} = [\text{trans}]^T \begin{bmatrix} x_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i & \sin\varphi_i \\ -\sin\varphi_i & \cos\varphi_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

Massa term in de bewegingsvergelijking

De elementen van de massa-matrix representeren de "discrete massa" en de toegevoegde massa. Omdat verondersteld wordt dat er geen stroming aanwezig is in het water, zijn de massatraagheidskrachten ten gevolge van de versnelling van waterdeeltjes bij veranderlijke stroomsnelheden nul. Verder wordt de orbitaal snelheid en dus ook de versnelling, van de waterdeeltjes ten gevolge van golven verwaarloosd. Het gevolg van deze beschouwing is dat alleen de lijn in staat is de waterdeeltjes rond de lijn te versnellen. Deze waterdeeltjes kunnen gezien worden als een toegevoegde massa. De Morison vergelijking berekent de hydrodynamische kracht (dA) ten gevolge van de toegevoegde massa voor cilinders:

$$\begin{aligned} dA &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot \rho_{\text{water}} \cdot C_a \cdot \dot{x} \cdot dl \\ &= K_a \cdot \dot{x} \cdot dl \end{aligned}$$

met: C_a = hydrodynamische massacoëfficiënt die afhankelijk is van de aanstroomrichting (zie appendix B)
 K_a = hydrodynamische traagheidscoëfficiënt
 D = diameter van lijn
 dl = lengte van betreffende lijnstuk

Als aangenomen wordt dat beide helften van de éénmaal ingeschoren vislijn elkaar niet beïnvloeden dan kan de C_a waarde eenvoudig verdubbeld worden. Deze aanname is redelijk omdat de afstand (s) tussen de beide lijnen ten opzichte van de diameter (D) groot is ($s/D = 23$)

In de modellering wordt de hydrodynamische kracht ten gevolge van de toegevoegde massa in rekening gebracht door bij de massa van de draad de toegevoegde massa van de meerversnelde waterdeeltjes op te tellen. Om de discrete massa-matrix te handhaven wordt de toegevoegde massa verdeeld over de segment einden. Als de discrete massa-matrix niet gehandhaafd wordt komen er termen ongelijk aan nul buiten de hoofddiagonaal voor, waardoor een stelsel gekoppelde vergelijkingen ontstaat voor de versnellingen in de globale x- en z-richting. Om het model eenvoudig te houden, moet dit voorkomen

worden. Omdat de toegevoegde massa coëfficiënt (C_a) voor de normaal en de tangentiaal richting verschilt, wordt voor de globale richting van de toegevoegde massa per knooppunt het gemiddelde van alle lijnsegmenten aangenomen.

De totale massa wordt dus in matrix notitie:

$$[M_i] = \left(\frac{m \cdot l_{i-1}}{2} + \frac{m \cdot l_i}{2} \right) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \frac{l_{i-1}}{2} \begin{bmatrix} K d t_i & 0 \\ 0 & K d n_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \bar{\varphi} & -\sin \bar{\varphi} \\ \sin \bar{\varphi} & \cos \bar{\varphi} \end{bmatrix} + \frac{l_i}{2} \begin{bmatrix} K d t_i & 0 \\ 0 & K d n_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \bar{\varphi} & -\sin \bar{\varphi} \\ \sin \bar{\varphi} & \cos \bar{\varphi} \end{bmatrix}$$

waarin m = massa per lengte eenheid

$\bar{\varphi}$ = gemiddelde hoek van alle segmenten tijdens de simulatie

Hydrodynamische dempingsterm in de bewegingsvergelijking

De dempingsterm geeft de invloed van de hydrodynamische wrijvingskracht aan. Deze kracht ontstaat doordat er een relatieve snelheid tussen de lijn en het water bestaat. Aangenomen kan worden dat deze hydrodynamische kracht opgebouwd is uit een lineair en een kwadratisch gedeelte. In fig. 4.2. werden deze krachten gerepresenteerd als resultante krachten die werken op de discrete massa:

$$D_{n_i} = \int_{\frac{1}{2}l_{i-1}}^{\frac{1}{2}l_i} \delta n \cdot dl \qquad D_{t_i} = \int_{\frac{1}{2}l_{i-1}}^{\frac{1}{2}l_i} \delta t \cdot dl$$

Het kwadratisch gedeelte van de hydrodynamische kracht (dD) kan door de Morison vergelijking berekend worden.

$$\begin{aligned} dD &= \frac{1}{2} \cdot D \cdot \rho_{\text{water}} \cdot C_d \cdot \dot{x} \cdot |x| \cdot dl \\ &= K_d \cdot \dot{x} \cdot |x| \cdot dl \end{aligned}$$

met $\dot{x} \cdot |x| = \begin{bmatrix} \dot{x} \cdot |x| \\ \dot{z} \cdot |z| \end{bmatrix}$

C_d = hydrodynamische weerstandcoëfficiënt die afhankelijk is van de aanstroomrichting (zie appendix B).

K_d = hydrodynamische dempingscoëfficiënt

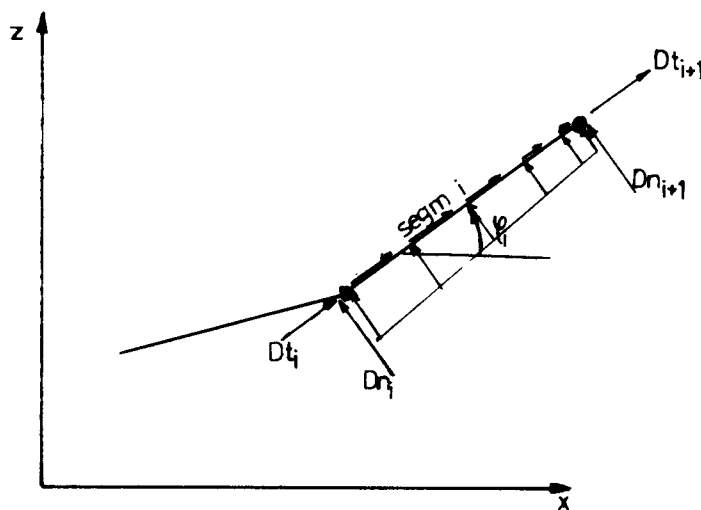
Als aangenomen wordt dat beide helften van de éénmaal ingeschoren vislijn elkaar niet beïnvloeden dan kan de C_d waarde eenvoudig verdubbeld worden.

De hydrodynamische belastingen van de elementen kunnen op drie manieren omgezet worden in "equivalente" knooppuntkrachten.

- 1) De verdeelde belasting wordt constant verondersteld over de helft van het element links en rechts van het knooppunt. De grootte wordt bepaald door de snelheid van het knooppunt en de richting wordt bepaald door de gemiddelde hoek van de twee aangrenzende elementen.

- 2) De verdeelde belasting wordt niet constant verondersteld. Aangenomen wordt dat de verdeelde belasting lineair tussen de knooppunten verloopt (zie figuur 4.5). De grootte en richting van de verdeelde belasting in elk knooppunt wordt bepaald door de grootte en richting van de snelheid in elk knooppunt.
- 3) De snelheid wordt lineair tussen de knooppunten verondersteld. Als verondersteld wordt dat de Cd waarden constant zijn, verloopt hiermee de hydrodynamische belasting kwadratisch tussen de knooppunten. Problemen kunnen ontstaan doordat de snelheden van twee naast elkaar liggende knooppunten van teken verschillen. Uitzwerking van deze methode voor het kwadratische gedeelte van de hydrodynamische belasting is in bijlage 4.2 bijgevoegd.

Het werkelijke snelheidsverloop langs de lijn is onbekend. Indien de vorm van de lijn tijdens de simulatie niet te veel afwijkt van de lineaire vorm, dan blijkt uit de literatuur (v.d. Boom, 1985, 4) dat de lineaire methode (2) met redelijke nauwkeurigheid toegepast kan worden. Deze benadering leidt er toe dat de trapezium regel voor de integratie van de verdeelde belasting over het lijnsegment toegepast kan worden.



figuur 4.5

Aanname: de verdeelde belasting ten gevolge van de hydrodynamische belasting wordt lineair verondersteld tussen de knooppunten.

$$q(x) = q_{i-1} + (q_i - q_{i-1}) \cdot \frac{x}{l_{i-1}}$$

met $q_{i-1} = -Kd_{i-1} \cdot \dot{u}_{i-1} \cdot |\dot{u}_{i-1}| - B_{i-1} \cdot \dot{u}_{i-1}$

waarin Kd_{i-1} = hydrodynamische kwadratische dempingscoëfficiënt
 B_{i-1} = hydrodynamische lineaire dempingscoëfficiënt

Het momenten-evenwicht om $i-1$ levert $D_{i-1,i}$:

$$\begin{aligned} D_{i-1,i} &= \frac{1}{l_{i-1}} \cdot \int_0^{l_{i-1}} q(x) \cdot x \cdot dx \\ &= (1 \cdot q_{i-1} + 2 \cdot q_i) \cdot \frac{1}{6} \cdot l_{i-1} \end{aligned}$$

Voor de lokale normaal richting wordt dan de hydrodynamische kracht bijdrage van segment i-1 op knooppunt i :

$$D_{n_{i-1},i} = \{Kdn_{i-1} \cdot (-\dot{n}_{i-1} \cdot \dot{n}_{i-1}| - 2 \cdot \dot{n}_i \cdot \dot{n}_i) - B_{i-1} \cdot (-\dot{n}_{i-1} - 2 \cdot \dot{n}_i)\} \cdot \frac{1}{6} l_{i-1}$$

Voor de lokale tangenciaal richting geldt hetzelfde , doch hiervoor moet n vervangen worden door t. Voor de lokale richtingen wordt de hydrodynamische krachtbijdrage van segment i op knooppunt i op dezelfde manier bepaald, echter nu moet \dot{t}_{i-1} door \dot{t}_{i+1} vervangen worden:

$$D_{t_{i-1},i} = \{[C_i] \cdot (-2 \cdot \dot{t}_i \cdot |\dot{t}_i| - \dot{t}_{i+1} \cdot |\dot{t}_{i+1}|) - [B_i] \cdot (-2 \cdot \dot{t}_i - \dot{t}_{i+1})\} \cdot \frac{1}{6} l_i$$

met $[C_i] = \begin{bmatrix} Kdt_i & 0 \\ 0 & Kdn_i \end{bmatrix}$

$$[B_i] = \begin{bmatrix} B_i & 0 \\ 0 & B_i \end{bmatrix}$$

Op tijdstip t zijn de globale posities en de globale snelheden van alle knooppunten bekend. Het is dan ook mogelijk de equivalente hydrodynamische kracht voor elk tijdstip t te berekenen. Omdat de hydrodynamische krachten in de lokale richtingen uitgedrukt zijn, betekent dit dat de volgende transformaties uitgevoerd moeten worden. De relatie tussen globale en lokale snelheid wordt gegeven door:

$$\begin{bmatrix} \dot{t}_i \\ \dot{n}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i & \sin\varphi_i \\ -\sin\varphi_i & \cos\varphi_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{z}_i \end{bmatrix}$$

Ofwel:

$$\dot{t}_i = [\text{trans}]^{-1} \cdot \dot{x}_i$$

De relatie globale en lokale kracht wordt gegeven door:

$$\begin{bmatrix} D_{t_i} \\ D_{n_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i & \sin\varphi_i \\ -\sin\varphi_i & \cos\varphi_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FD_{x_i} \\ FD_{z_i} \end{bmatrix}$$

waarin FD_{x_i} de hydrodynamische kracht in knooppunt i in de x-richting voorstelt.

Ofwel:

$$D_i = [\text{trans}]^{-1} \cdot FD_i$$

Dit leidt tot de volgende matrix notatie voor de relatie tussen de hydrodynamische krachten bijdrage van segment i-1 en snelheden in de globale richting van knooppunt i :

$$D_{t_{i-1},i} = \{[C_{i-1}] \cdot (-2 \cdot \dot{t}_{i-1} \cdot |\dot{t}_{i-1}| - \dot{t}_i \cdot |\dot{t}_i|) - [B_{i-1}] \cdot (-2 \cdot \dot{t}_{i-1} - \dot{t}_i)\} \cdot \frac{1}{6} l_{i-1}$$

$$[\text{trans}]^{-1} \cdot \mathbf{FD}_{i-1,i} = \{ [2[C_{i-1}] \quad [C_{i-1}]] \cdot \begin{bmatrix} -[\text{trans}]^{-1} \dot{\mathbf{x}}_{i-1} \cdot |\dot{\mathbf{x}}_{i-1}| \\ -[\text{trans}]^{-1} \dot{\mathbf{x}}_1 \cdot |\dot{\mathbf{x}}_1| \end{bmatrix} + \\ + [2[B_{i-1}] \quad [B_{i-1}]] \cdot \begin{bmatrix} -[\text{trans}]^{-1} \dot{\mathbf{x}}_{i-1} \\ -[\text{trans}]^{-1} \dot{\mathbf{x}}_1 \end{bmatrix} \} \cdot \frac{1}{6} l_{i-1}$$

Ofwel:

$$\mathbf{FD}_{i-1,i} = \{ [2[C_{k_{i-1}}] \quad [C_{k_{i-1}}]] \cdot \begin{bmatrix} -\dot{\mathbf{x}}_{i-1} \cdot |\dot{\mathbf{x}}_{i-1}| \\ -\dot{\mathbf{x}}_1 \cdot |\dot{\mathbf{x}}_1| \end{bmatrix} + [2[B_{k_{i-1}}] \quad [B_{k_{i-1}}]] \cdot \begin{bmatrix} -\dot{\mathbf{x}}_{i-1} \\ -\dot{\mathbf{x}}_1 \end{bmatrix} \} \cdot \frac{1}{6} l_{i-1}$$

met:

$$[\text{Trans}] [C_{i-1}] [\text{Trans}]^{-1} = [C_{k_{i-1}}] \\ [\text{Trans}] [B_{i-1}] [\text{Trans}]^{-1} = [B_{k_{i-1}}]$$

$$\text{dus } [C_{k_{i-1}}] = \begin{bmatrix} \cos\varphi_{i-1} & \sin\varphi_{i-1} \\ -\sin\varphi_{i-1} & \cos\varphi_{i-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kdt_{i-1} & 0 \\ 0 & Kdn_{i-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi_{i-1} & -\sin\varphi_{i-1} \\ \sin\varphi_{i-1} & \cos\varphi_{i-1} \end{bmatrix} \\ [B_{k_{i-1}}] = \begin{bmatrix} \cos\varphi_{i-1} & \sin\varphi_{i-1} \\ -\sin\varphi_{i-1} & \cos\varphi_{i-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{i-1} & 0 \\ 0 & B_{i-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi_{i-1} & -\sin\varphi_{i-1} \\ \sin\varphi_{i-1} & \cos\varphi_{i-1} \end{bmatrix}$$

opmerking: $[C_{k_{i-1}}]$ en $[B_{k_{i-1}}]$ zijn symmetrische twee bij twee matrices

Voor de equivalente hydrodynamische kracht van segment i op knooppunt i geldt hetzelfde, echter $\dot{\mathbf{x}}_{i-1}$ moet vervangen worden door $\dot{\mathbf{x}}_{i+1}$. De matrix notatie voor de equivalente hydrodynamische krachten van segment i op knooppunt i en de snelheden in de globale richting van knooppunt i kan dus als volgt geschreven worden:

$$\mathbf{FD}_{i,i} = \{ [2[C_{k_i}] \quad [C_{k_i}]] \cdot \begin{bmatrix} -\dot{\mathbf{x}}_i \cdot |\dot{\mathbf{x}}_i| \\ -\dot{\mathbf{x}}_{i+1} \cdot |\dot{\mathbf{x}}_{i+1}| \end{bmatrix} + [2[B_{k_i}] \quad [B_{k_i}]] \cdot \begin{bmatrix} -\dot{\mathbf{x}}_i \\ -\dot{\mathbf{x}}_{i+1} \end{bmatrix} \} \cdot \frac{1}{6} l_i$$

Voor de equivalente hydrodynamische kracht van segment i op knooppunt i geldt hetzelfde, echter $\dot{\mathbf{x}}_{i-1}$ moet vervangen worden door $\dot{\mathbf{x}}_{i+1}$. De totale equivalente hydrodynamische kracht op knooppunt i betrokken op de globale snelheden is opgebouwd uit de bijdrage van de hydrodynamische kracht van segment i ($\mathbf{FD}_{i,i}$) en de bijdrage van de hydrodynamische kracht van segment $i-1$ ($\mathbf{FD}_{i-1,i}$):

$$\mathbf{FD}_i = \mathbf{FD}_{i-1,i} + \mathbf{FD}_{i,i}$$

Veerstijfheidsterm in de bewegingsvergelijking

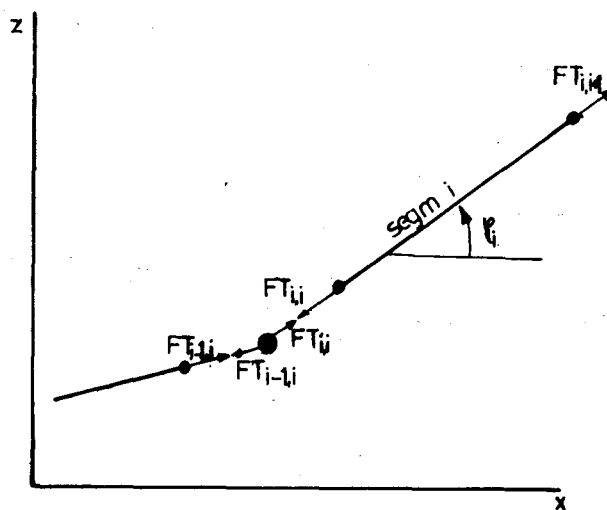
Voor vislijn wordt aangenomen dat deze alleen tangentiale stijfheid kent. De meest eenvoudige relatie die hiervoor opgesteld kan worden is de wet van Hooke. Deze wet houdt in dat de trekkracht in de lijn recht evenredig is met de verlenging volgens:

$$T = \frac{EA}{l} \cdot \Delta l \quad T > 0, \text{ anders } T = 0$$

met T = trekkracht
 l = onbelaste lengte
 EA = tangentiale stijfheid
 E = elasticiteits modulus
 A = oppervlak van totale doorsnede
 Δl = verlenging

De tangentiale stijfheid is afhankelijk van het type en soort kabel (zie appendix B). Verder wordt aangenomen dat de segmenten waarin de lijn verdeeld is onder alle omstandigheden recht blijven. Omdat de segmenten verplaatsingen als star lichaam ondergaan, kan een matrix die de relatie tussen de knooppuntsverplaatsingen en de krachten beschrijft niet opgesteld worden. Deze zogenoemde stijfheidsmatrix is in dit geval singulier en kan dus niet numeriek opgelost worden. Als de trekkrachten eerst lokaal bepaald worden en vervolgens omgeschreven worden naar de globale richtingen, dan blijkt er wel een relatie tussen de knooppunts verplaatsingen en trekkrachten in de segmenten opgesteld te kunnen worden.

Er geldt:
$$T_i = \left(\frac{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} - l_{i\text{-actueel}}}{l_i} \right) \cdot EA$$



figuur 4.6

De trekkracht in segment i-1 op knooppunt i kan door de volgende matrixberekening omgeschreven worden naar de globale richtingen:

$$FT_{i-1,i} = [\text{trans}] \cdot T_{i-1,i}$$

met $FT_{i-1,i}$ = trekkrachtvector van segment i-1 in knooppunt i in globale richtingen

$$T_{i-1,i} = \begin{bmatrix} -T_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} = \text{trekkrachtvector van segment i-1 in knooppunt i in lokale richtingen}$$

Voor de trekkracht in segment i op knooppunt i geldt hetzelfde, alleen het teken moet omgekeerd worden.

Voor knooppunt i geldt dus:

$$\begin{aligned} \mathbf{FT}_i &= \mathbf{FT}_{i-1,i} + \mathbf{FT}_{i,i} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_{i-1} & -\sin\varphi_{i-1} \\ \sin\varphi_{i-1} & \cos\varphi_{i-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -T_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\varphi_i & -\sin\varphi_i \\ \sin\varphi_i & \cos\varphi_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -\cos\varphi_{i-1} \cdot T_{i-1} + \cos\varphi_i \cdot T_i \\ -\sin\varphi_{i-1} \cdot T_{i-1} + \sin\varphi_i \cdot T_i \end{bmatrix} \end{aligned}$$

opmerking:

Een bijzonder deel van de lijn is de verbinding tussen het spuitblok en de boom. Deze verbinding, ook wel spuit genoemd, bestaat over het algemeen uit 5 kettingen, waarvan alleen de buitenste 2 kettingen met ieder een doorsnede van 30 mm trekkracht opnemen. De overige 3 kettingen hangen slap en vormen enige redundantie bij breuk. Voor de spuit geldt dus een andere stijfheid en demping. Omdat de lengte van de spuit onafhankelijk van de lijnlengte is, moet dit gedeelte apart gemodelleerd worden.

4.2.2 Boomkortuig model

Het model van het boomkortuig wordt onderverdeeld in een model voor het net, wekkers, boom en sloffen. Het model van het vistuig wordt gemodelleerd als een massa waarop krachten worden uitgeoefend. Deze krachten zullen eerst per onderdeel van het net besproken worden, waarna de bewegingsvergelijkingen opgesteld kunnen worden.

Net- en wekkermodel:

Het net wordt gemodelleerd als krachten die aangrijpen op de sloffen. De massa traagheid van het net wordt in de globale z-richting verwaarloosd. Deze aanname is redelijk als verondersteld wordt dat het grootste gedeelte van de massa van het net tijdens het opspringen van de boom op gelijke hoogte boven de bodem blijft. In de globale x-richting is de massatraagheid van het net niet verwaarloosbaar. Het net is dus in deze richting gekoppeld met de boom en sloffen. In het algemeen geldt voor het net dat de wrijvingsweerstand ten gevolge van het water een orde kleiner is dan de drukweerstand (L. Chi, 1989), waardoor de hydrodynamische weerstandskracht evenredig met het kwadraat van de horizontale netsnelheid zal zijn. Omdat ook de verticale snelheid van het net tijdens het opspringen klein is, kan de verticale hydrodynamische weerstand verwaarloosd worden. Deze veronderstelling houdt tevens in dat het net geen verticale demping heeft. De krachten die in de x-richting op het vistuig werken hebben dan de vorm:

$$\begin{aligned} -B_{x_n} \cdot \dot{x}_t \cdot |\dot{x}_t| &= \text{dempingskracht van vistuig in x-richting} \\ -f_r \cdot N_r &= \text{wrijvingskracht van de rollerpees over de bodem} \\ -f_w \cdot N_w &= \text{wrijvingskracht van de wekkers over de bodem} \end{aligned}$$

met N_r = normaal reactiekracht van rollerpees op de bodem
 f_w = kinetische wrijvingscoëfficiënt tussen wekkers en bodem
 N_w = normaal reactiekracht van wekkers, grondpees en kietelaars op de bodem
 B_{x_n} = hydrodynamische weerstandcoëfficiënt van net in de globale x-richting.
 f_r = kinetische wrijvingscoëfficiënt tussen rollerpees en bodem

Door het opspringen van de boom zal N_w afnemen. Omdat verondersteld is dat de massa van het net tijdens het opspringen van de boom op gelijke hoogte blijft, zal N_r constant zijn. Uit modelproeven blijkt dat de normaal reactiekracht van het net op de bodem voornamelijk wordt bepaald door de rollerpees. Ten gevolge van het opspringen zal ook de hydrodynamische weerstandscoefficiënt van het net veranderen. Indien verondersteld wordt dat de kuil op de grond blijft en de netpanelen aan de bovenzijde van het net tussen de netmond en de kuil in een rechte lijn blijven, dan geldt bij benadering, als Cd_n lineair afhankelijk is van de aanstroomhoek, dat B_{x_n} lineair afhankelijk is van de afstand tussen de sloffen en de bodem. Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat N_w en B_{x_n} alle functies van de hoogte van de boom boven de bodem zijn. Deze functies zijn d.m.v. modelproeven voor verschillende vissnelheden bepaald (zie appendix C).

In de literatuur worden waarden gevonden voor de verschillende coëfficiënten:

toegevoegde massa	=	$0.5 \cdot M_n$	(Pinkster, 1970, 19)
f_r	=	0.91	(L.Chi, 1989, 6)
f_w	=	0.56	(Oude Groen, ea., 1987, 16)
B_{x_n}	=	$0.5 \cdot \rho \cdot O_n \cdot Cd_n$	(Pinkster, 1970, 19)

waarin: O_n = karakteristieke oppervlak van het net
 Cd_n = hydrodynamische weerstandscoefficiënt in de x-richting

voor O_n kan genomen worden:

O_n	=	(lengte van boom) ²	(Pinkster, 1970, 19)
O_n	=	garenoppervlak	(L.Chi, 1989, 6)

In de z-richting wordt aangenomen dat het deel van de wekkers dat opspringt (M_w) massa draagbaarheid heeft. Als het vistuig opspringt, zal een deel van de kettingen niet meer door de grond ondersteund worden en daarom een verticale kracht uitoefenen op de sloffen ter grootte van WK. WK en M_w zijn beide een functie van de hoogte van de boom boven de bodem. Deze functies zijn door middel van modelproeven bepaald (zie appendix C).

De kracht van de wekkers in de z-richting wordt:

WK = gewichtskracht van niet ondersteunde deel van net en wekkers in water.

Boom en sloffen model:

Op de sloffen en de boom werken hydrodynamische krachten, die afhankelijk zijn van het kwadraat van de snelheid. Tevens werken op de sloffen wrijvingskrachten en netkrachten en op de boom een trekkracht. De boom en sloffen worden gemodelleerd als een puntmassa waarop krachten aangrijpen. Rotatie-effecten van de boom en sloffen kunnen dus niet gemodelleerd worden. De wrijvingskracht op de sloffen heeft de vorm van de Coulombse wrijving met een kinetische wrijvingscoëfficiënt f_s .

Omdat de bodem wordt voorgesteld als een gedempt massa-veersysteem kan de normaal reactiekracht van de sloffen op de bodem (N_s) berekend worden aan de hand van de penetratiediepte en de verticale snelheid (\dot{z}) van de sloffen.

$$N_s = \begin{cases} E_{\text{bodem}} \cdot z_t + B_{\text{bodem}} \cdot \dot{z}_t & \text{als } 0.05 < z_t < 0 \text{ en } \dot{z}_t < 0 \\ E_{\text{bodem}} \cdot z_t & \text{als } 0.05 < z_t < 0 \text{ en } \dot{z}_t > 0 \\ 0 & \text{als } z_t > 0 \end{cases}$$

met E_{bodem} = veerstijfheid van de bodem
 B_{bodem} = dempingsconstante van de bodem
 N_s = normaal kracht van de sloffen op de bodem

De krachten van de boom en sloffen die op het vistuig werken in de globale x-richting hebben de volgende vorm:

$-B_{x_{\text{bs}}} \cdot \dot{x}_t \cdot |\dot{x}_t|$ = dempingskracht van de boom en de sloffen in globale x-richting
 $-f_s \cdot N_s$ = wrijvingskracht van de sloffen
 $FT_{x_{\text{spruit}}}$ = trekkraft van vislijn ter plaatse van de boom in globale x-richting

met \dot{x}_t = snelheid van tuig
 f_s = kinetische wrijvingscoëfficiënt tussen sloffen en bodem
 $B_{x_{\text{bs}}}$ = hydrodynamische weerstandcoëfficiënt van boom en sloffen in globale x-richting

De krachten van de boom en sloffen die op het vistuig werken in de globale z-richting hebben de volgende vorm:

$-B_{z_{\text{bs}}} \cdot \dot{z}_t \cdot |\dot{z}_t|$ = dempingskracht van de boom en de sloffen in globale z-richting
 $-G_{\text{bs}}$ = gewicht van boom en sloffen in water
 $FT_{z_{\text{spruit}}}$ = trekkraft van vislijn ter plaatse van de boom in globale z-richting

met \dot{z}_t = snelheid tuig
 $B_{z_{\text{bs}}}$ = hydrodynamische weerstandcoëfficiënt van boom en sloffen in globale z-richting

In de literatuur worden waarden gevonden voor de verschillende coëfficiënten:

$$f_s = 0.5 \quad (\text{NWcross model van SHELL (KSEPL), Weijland, 1991, 24})$$

De waarde van deze wrijvingscoëfficiënt komt overeen met de wrijvingscoëfficiënt tussen ijzer en gravelzand/fijn zand die Fridman door middel van proeven bepaald heeft voor vistuigen:

$$f_s = 0.47 + 0.61 \quad (\text{A. Fridman, 1973, 7})$$

De veerstijfheid van de bodem (K_b) en de dempingsconstante van de bodem (B_b) zijn rekengrootheden om de effecten van de bodem in rekening te kunnen brengen. In het NWcross model van SHELL (Weijland, 1991, 24) wordt aangehouden: $K_b = 100 \cdot 10^4$ N/m, $B_b = 25000$ Ns/m. In de stationaire situatie bij een vislijn-waterdiepte verhouding van 1:4 blijkt echter dat de sloffen zich ca. 2 - 4 cm ingraven (ing. W.C. Blom, RIVO). Om deze situatie te bereiken moet $K_b = 400 \cdot 10^4$ N/m aangehouden worden.

$$B_{x_{bs}} = 0.5 \cdot \rho \cdot A_b \cdot C_{d_b} + 0.5 \cdot \rho \cdot A_s \cdot C_{d_s}$$

waarin A_b = lengte boom • gemiddelde diameter boom
 C_{d_b} = 1.21 (ESDU paper nr. 80025)
 A_s = oppervlak van vooraanzicht van sloffen
 C_{d_s} = 1.5 (Blom, 1990, 3)

De bewegingsvergelijkingen voor het vistuig kunnen nu opgesteld worden. In de globale x-richting heeft de bewegingsvergelijking de volgende vorm:

$$(M_{nw} + M_{bs}) \cdot \ddot{x}_t + (B_{x_n} + B_{x_{bs}}) \cdot \dot{x}_t \cdot |\dot{x}_t| = -f_r \cdot N_r - f_w \cdot N_w - f_s \cdot N_{bs} + FT_{x_{spruit}}$$

met M_{nw} = massa en toegevoegde massa van net en wekkers
 M_{bs} = massa en toegevoegde massa van boom en sloffen

In de globale z-richting heeft de bewegingsvergelijking de volgende vorm:

$$(M_w + M_{bs}) \cdot \ddot{z}_w + B_{x_{bs}} \cdot \dot{z}_t \cdot |\dot{z}_t| = -WK - G_{bs} + FT_{z_{spruit}}$$

met M_w = massa van niet ondersteunde deel van net en wekkers.
 M_{bs} = massa en toegevoegde massa van boom en sloffen

- opmerkingen:
- boom en sloffen worden niet beschermd tegen corrosie.
 - de toegevoegde massa van de boom is o.a. afhankelijk van de Keulegan Carpenter waarde en dus van de "oscillatie-periode" van de boom. Omdat niet bekend is of de boom enig oscillatie-gedrag vertoont, wordt als eerste benadering voor de toegevoegde massa de waterinhoud van de boom genomen.
 - bodem fluctuaties zouden in een latere fase gemodelleerd kunnen worden door f_s orden te variëren.



5. DE NUMERIEKE OPLOSMETHODE

5.1 Inleiding

De numerieke benadering verschilt van de exacte oplossing. Dit verschil wordt de discretisatie fout genoemd (Vorst, ea., 1989, 23). De introductie van het numeriek oplossen van stelsels op discrete tijdstippen geeft aanleiding tot een tweede bron van fouten, de zogenaamde integratiefouten. Het is natuurlijk aantrekkelijk als de integratie fout kleiner is dan de discretisatie fout. De nauwkeurigheid van het model zal dan qua ordegraote bepaald worden door de nauwkeurigheid van de aangenomen discretisatie. De discretisatie fouten worden veroorzaakt door 2 belangrijke aannamen:

- 1) de versnelling wordt constant verondersteld over lengte $[\frac{1}{2}l_{i-1}, \frac{1}{2}l_i]$
- 2) de snelheid varieert lineair over lengte l_i

Voor het oplossen van gekoppelde differentiaal vergelijkingen kan gekozen worden uit impliciete methoden en expliciete methoden. Bij de impliciete methode is de numerieke benadering van de oplossing op tijdstip $t_n + \Delta t$ (U_{n+1}) nodig om vanuit de numerieke oplossing op tijdstip t_n (U_n) te komen tot de oplossing van de numerieke benadering op het tijdstip $t_n + \Delta t$.

Ofwel in een algemeen schema:

$$U_{n+1} = U_n + \Delta t \cdot \psi(U_{n+1}, U_n, t_n, \Delta t)$$

waarin ψ afhankelijk is van de gekozen integratie-methode. Dit houdt in dat bij het toepassen van een impliciete methode altijd een iteratieproces moet zijn om tot een oplossing te kunnen convergeren. Bij de expliciete methode hangt ψ niet af van U_{n+1} en is er dus ook geen iteratieproces nodig. Ofwel in een algemeen schema:

$$U_{n+1} = U_n + \Delta t \cdot \psi(U_n, t_n, \Delta t)$$

De vislijn wordt beschreven door de discrete massa methode, waardoor er afhankelijk van het aantal vrijheidsgraden waaraan massa is gekoppeld, eigenwaarden in het systeem aanwezig zijn. De grootte van het negatieve reële deel van deze eigenwaarde is bepalend voor de snelheid waarmee de desbetreffende oplossing uitdempt. Dit is dus een maat voor de stabiliteit van de numerieke oplosmethode. Voor het gedrag van de vislijn is echter de eigenwaarde die in absolute waarde het kleinste negatieve deel heeft, bepalend. Voor de nauwkeurigheid van de oplossing zullen dus deze componenten goed weergegeven moeten worden.

In het algemeen geldt dat een systeem met een toestandsmatrix A een responsie vertoont, die is opgebouwd uit tijdfuncties met de vorm $e^{\lambda_i t}$, met λ_i , $i = 1, 2, \dots, m$ (de eigenwaarden van A).

Stel de eigenwaarden van de toestandsmatrix worden genoteerd met:

$$\lambda_m < \lambda_{m-1} < \dots < \lambda_1 < 0$$

Het stelsel differentiaal vergelijkingen wordt stijf genoemd als geldt:

$$\frac{|\lambda_m|}{|\lambda_1|} \gg 1$$

Aangezien de massa van het vistuig veel groter is dan de massa's die de vislijn beschrijven is het stelsel gekoppelde differentiaal-vergelijkingen die voor het modelleren van het vistuiggedrag nodig zijn dus stijf.

De expliciete methoden zijn voorwaardelijk stabiel, wat inhoudt dat de stabiliteit afhankelijk is van de grootte van Δt (Bosgra, 1988, 5):

$$\Delta t < - \frac{2 \cdot \text{Re}(\lambda_m(A))}{|\lambda_m|^2}$$

met $\text{Re}(\lambda_m(A))$: reële deel van $\lambda_m(A)$

Met andere woorden, de grootste $\lambda_m(A)$ is maatgevend voor de grootste Δt , die nog numerieke stabiliteit oplevert.

De conclusie is dat de snelle componenten niet om een nauwkeuriger behandeling vragen, maar dat de expliciete numerieke integratie wel stabiel dient te zijn ten opzichte van deze componenten.

De impliciete methoden zijn onvoorwaardelijk stabiel wat inhoudt dat de stabiliteit onafhankelijk is van de grootte van Δt . De waarde van Δt kan dus afgestemd worden op de gewenste nauwkeurigheid van de langzame componenten. Bij toepassing van de impliciete methode dient men echter wel bij elke stap een stelsel vergelijkingen in de onbekende U_{n+1} op te lossen. Hetgeen bij niet-lineaire stelsels betekent dat er een iteratieproces toegepast moet worden.

5.2 Implementering van model

Het model van schip en vistuig wordt geïmplementeerd in het dynamisch simulatiepakket "Matrix-x". Dit software pakket werkt in het tijdsdomein en kan gekoppelde differentiaal-vergelijkingen met verschillende numerieke oplossmethoden oplossen.

Het totale tuigmodel is modulair opgebouwd, waardoor het mogelijk wordt elk deel afzonderlijk te testen. Deze opzet is mogelijk doordat binnen Matrix-x het model met een hiërarchie opgebouwd kan worden. Op het hoogste niveau zijn modules gedefinieerd voor het vistuig, de spruit, de lijn en de kotter. Deze modules bevatten vervolgens de deelmodellen zoals in hoofdstuk 4 reeds zijn beschreven. De verschillende hiërarchie-lagen zijn in bijlage 5.1 steeds van links naar rechts en van onder naar boven uitgewerkt.

De invoer van de waarden van de verschillende parameters die in het model gebruikt worden, vindt plaats door middel van een externe command file, "tuigeg.cmd" (zie bijlage 5.2). Voor deze opzet is gekozen omdat zodoende gemakkelijk een parameterstudie uitgevoerd kan worden. Na het testen van de basisopstelling (zie parametergegevens in bijlage 5.2) met verschillende numerieke oplossmethoden, bleek dat de expliciete "variable step Kutta-Merson" methode de meest efficiënte oplossmethode is. Deze expliciete oplossmethode werkt met tijdstappen waarvan de grootte afhankelijk van de vereiste nauwkeurigheid tijdens het proces steeds opnieuw bepaald wordt. Het gebruik van de mogelijkheid binnen "Matrix-x" om de blokstructuur om te zetten in standaard Fortran code (zgn. hypercode) blijkt de rekentijd aanzienlijk te verkorten. Uiteindelijk is voor een gesimuleerde procestijd van circa 160 seconden, afhankelijk van de gebruikte machine (VAX station 3100-M76), een CPU tijd van ca. 5 minuten nodig.

Speciale aandacht bij het simuleren moet besteed worden aan het opstarten, omdat voorkomen moet worden dat de snelle componenten die corresponderen met $\lambda_m, \lambda_{m-1}, \dots$ door een stapfunctie op het ingangssignaal, aangestoten worden. Er zal dus met andere

woorden voor gezorgd moeten worden dat de inschakelverschijnselen zoveel mogelijk beperkt blijven. Gekozen is daarom voor het sinusvormig laten toenemen van krachten. Echter de beginstap naar de amplitude van de verstoringen op \dot{x}_w kan niet vermeden worden, omdat dit signaal geïntegreerd over de tijd een sinusvormige variatie van x_w om de stationaire waarde moet opleveren.

5.3 Resultaten van het model

Het model is gevalideerd met waarden zoals die uit de literatuur naar voren komen (zie hoofdstuk 4). Deze waarden zijn vermeld in een externe command file (zie bijlage 5.2). Uitgangspunt hierbij is vistuig waarmee in augustus 1989 metingen zijn verricht op de Noordzee (Blom, 1990, 3). Tijdens de metingen met een vislijn-waterdiepte verhouding van 1:5 was de windsterkte ca. 5 Bft. en de golfrichting ca. 90° ten opzichte van de boeg. Alhoewel de omstandigheden waaronder in augustus 1989 gemeten is, niet volledig gesimuleerd kunnen worden, zullen de resultaten van het model qua ordegrootte overeen moeten komen met de metingen. Deze vergelijking is momenteel de enige manier om het model te verifiëren. Uitgevoerd is een sessie zonder scheepsbewegingen ten gevolge van golfkrachten en een sessie met scheepsbewegingen ten gevolge van significante golven op de Noordzee bij 5 Bft.

Uit de sessie zonder scheepsbewegingen blijkt dat de weerstand van het vistuig ($F_{x_{spruit}}$) circa 77 000 N is (zie bijlage 5.3). Deze weerstand komt goed overeen met de gemiddelde weerstand die in augustus 1989 (Blom, 1990, 3) is gemeten, circa 75 000 N (bijlage 5.5). Tevens blijkt het vistuig zich circa 2.5 à 3 cm te hebben ingegraven. De vislijn staat hierbij vrijwel geheel recht gespannen.

Ook de sessie met scheepsbewegingen ten gevolge van significante golven op de Noordzee bij Beaufort 5, met de golfrichting loodrecht op de scheepsas en een vissnelheid van 5.5 kn blijkt qua ordegrootte goed overeen te komen met de gegevens die in augustus 1989 (Blom, 1990, 3) zijn gemeten. De trekkrachtwisselingen (FT_{99}) komen zowel voor de gemiddelde waarde circa 96 000 N, de gemiddelde periode circa 6.6 sec. als de gemiddelde amplitude circa 25 000 N overeen (zie bijlage 5.3 en 5.5).

Om het model verder te onderzoeken zullen de aannamen die in het model gedaan zijn gecontroleerd moeten worden. Uitgegaan wordt van een "standaard situatie", waarin vervolgens parameters gevarieerd worden om de effecten van de verschillende parameter waarden op het gedrag van het vistuig te kunnen onderzoeken. Gekozen is voor een "standaard situatie" waarbij de vislijn-waterdiepte verhouding 1:4 is en het schip in golven vaart met een significante hoogte van 3.60 m (Bft 7, op Noordzee) en met een golfrichting van 135° ten opzichte van de boeg. In tabel 5.1 zijn de aannamen gecontroleerd voor de "standaard situatie".

tabel 5.1 Overzicht van aannamen in het numerieke model

aanname	geconstateerd ter controle
ontmoetingsfrequentie v. schip met golven is constant	de snelheid van het schip varieert ca. 2%
scheepsbewegingen t.g.v. golfkrachten worden niet beïnvloed door de trekkrachten in de vislijnen	de scheepsbewegingen t.g.v. golfkrachten worden met ca. 20% verminderd (zie App D)
de toegevoegde massa van de vislijnen blijft in de globale richting hetzelfde	de hoek tussen 2 segmenten verandert ca 1 gr.
hydrodyn. belasting op vislijn verloopt lineair tussen de knooppunten	de hoek tussen 2 segmenten verandert ca 1 gr.
de dempings coëfficiënten van de vislijn blijven constant	t.o.v. de vissnelheid zijn de snelheid variaties van de vislijn gering
lijn-segmenten blijven recht i.v.m wet van Hooke	de hoek tussen 2 segmenten verandert ca 1 gr.
Coulombse wrijving is geldig voor vistuig	het vistuig zakt nooit verder dan 5 cm in de grond

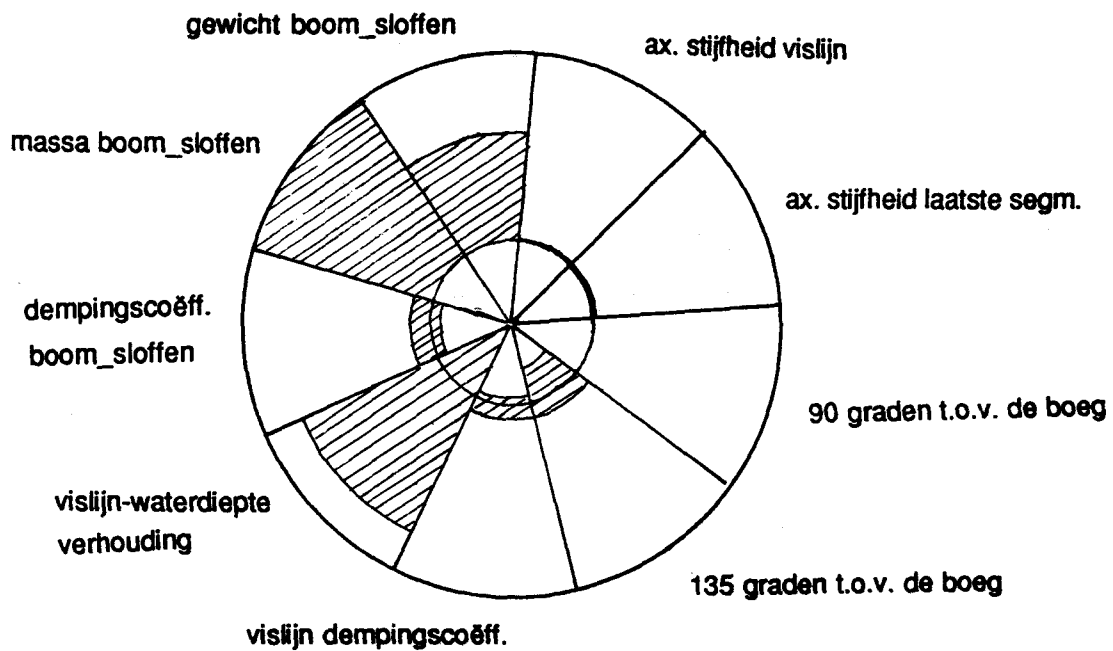
In tabel 5.2 is van de parameter-variatie een overzicht gegeven, waarbij de "standaard situatie" steeds vet is gedrukt. In het eerste gedeelte van de tabel wordt een overzicht gegeven van de parameters ter validatie van het model en in het tweede gedeelte wordt een overzicht gegeven van de parameters die mogelijk de richting aangeven waarmee de doelstellingen, zoals in hoofdstuk 1 zijn aangegeven, gerealiseerd kunnen worden. In bijlage 5.4 zijn de resultaten van de verschillende sessies vermeld. Hierin wordt per sessie de snelheid van de kotter (v_{x_kotter}), de trekkracht in de vislijn ter plaatse van de giek (FT99), de plaats in de x-richting van de giek in een met het schip in vlak water meevarend assenstelsel waarvan de oorsprong in het net is (x_{rel_giek}), de plaats van de giek ten opzichte van de bodem (z_{giek}), de horizontale trekkracht op het vistuig (F_{x_spruit}), de verticale trekkracht op het vistuig (F_{z_spruit}), de plaats in de x-richting van het vistuig in een met het schip in vlak water meevarend assenstelsel waarvan de oorsprong in het net is ($x_{rel_vistuig}$), de plaats van het vistuig ten opzichte van de bodem. De tijdas loopt voor alle sessies van 60 tot 160 seconden. De eerste 60 seconden worden gebruikt om de stationaire situatie te bereiken en de inschakelverschijnselen te laten uitdempen. Als gekeken wordt naar deze gegevens dan blijkt er een zeer lage frequentie in het systeem voor te komen. Deze wordt veroorzaakt door de lage eigen frequentie van de vislijn in de normaalrichting. Tevens is een overzicht gegeven van de stand van de vislijn voor vijf tijdstippen. In deze plot is de stand van de lijn voor de stationaire toestand vet afgedrukt.

Ter vergelijking van de resultaten zijn drie grootheden bepaald: het percentage van de tijd dat het tuig opspringt (perc. opspringen (%)), het gemiddelde van het hoogste één derde gedeelte van de opspring hoogte van het tuig boven de zeebodem (significante opspring hoogte (m)) en het gemiddelde van de trekkracht in de vislijn ter plaatse van de giek (FT99 (N)). De eerste twee waarden geven een indruk van het gedrag van het vistuig, de laatste waarde geeft een indruk van het energieverbruik.

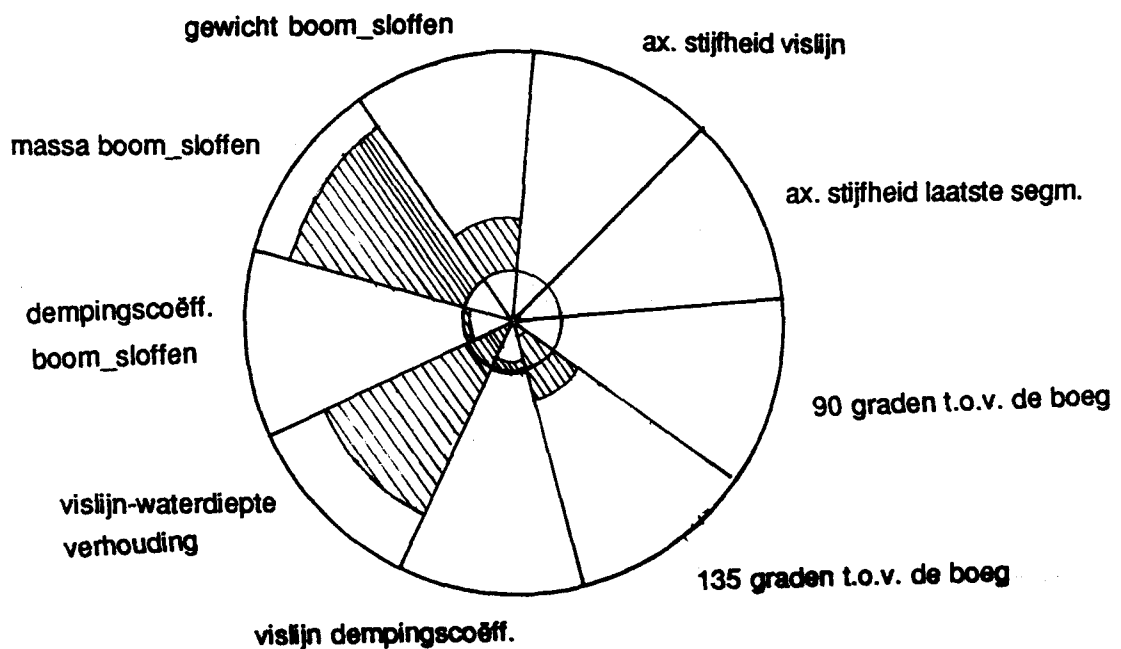
tabel 5.2 Parameter-variatie

variatie	% opspringen	sign. opspring hoogte (m)	FT99_gem. * E4 (N)
"standaard situatie"	29.13	0.51	9.84
seastate 2.50 m (Bft 6) - 90° t.o.v. van de boeg	0.00	0.00	9.77
seastate 3.60 m (Bft 7) - 90° t.o.v. van de boeg	0.34	0.02	9.84
seastate 4.85 m (Bft 8) - 90° t.o.v. van de boeg	0.35	0.01	9.77
seastate 6.10 m (Bft 9) - 90° t.o.v. van de boeg	0.52	0.02	9.81
seastate 2.50 m (Bft 6) - 135° t.o.v. van de boeg	16.03	0.15	9.81
seastate 4.85 m (Bft 7) - 135° t.o.v. van de boeg	29.13	0.51	9.84
seastate 4.85 m (Bft 8) - 135° t.o.v. van de boeg	34.13	0.60	9.93
seastate 6.10 m (Bft 9) - 135° t.o.v. van de boeg	34.65	0.88	9.93
vislijn dempingscoëfficiënt Kdn=30.7, Kdt=6.2	33.77	0.55	9.84
vislijn dempingscoëff. Kdn=36.9, Kdt=12.3	29.13	0.51	9.84
vislijn dempingscoëfficiënt Kdn=43.0, Kdt=12.3	25.66	0.42	9.97
vislijn-waterdiepte verhouding = 1:3	85.47	2.29	10.37
vislijn-waterdiepte verhouding = 1:4	29.13	0.51	9.84
vislijn-waterdiepte verhouding = 1:5	0.00	0.00	9.79
boom_sloffen dempingscoëff. in z-richting = 2000 kg/m	36.60	0.54	9.94
B_boom_sloffen in z-richting = 4000 kg/m	29.13	0.51	9.84
boom_sloffen dempingscoëff. in z-richting = 6000 kg/m	26.79	0.48	9.94
massa boom_sloffen = 1200 kg (gewicht is evenredig)	100.00	2.61	9.97
massa boom_sloffen = 2400 kg (verminderd)	87.55	1.45	9.89
massa boom_sloffen = 3600 kg	29.13	0.51	9.84
Gewicht boom_sloffen = 28280 N	29.13	0.51	9.84
Gewicht boom_sloffen = 22280 N	69.62	1.10	9.90
axiale stijfheid van de vislijn = 40 000 000 N/m	31.51	0.52	9.94
axiale stijfheid van de vislijn = 45 000 000 N/m	30.57	0.52	9.94
axiale stijfheid van de vislijn = 50 000 000 N/m	30.57	0.51	9.94
ax. stijfheid vislijn = 55 840 000 N/m	29.13	0.51	9.84
axiale stijfheid van laatste segment = 5 000 000 N/m	31.32	0.53	9.95
ax. stijfheid laatste segm. = 55 840 000 N/m	29.13	0.51	9.84

Om de resultaten makkelijker te kunnen vergelijken en interpreteren, worden deze voor het percentage opspringen en voor de significante opspring hoogte in figuur 5.1 nogmaals uitgezet.



% opspringen t.o.v. "standaard situatie"
met middelpunt 0%, buitenste rand 100%



sign. opspring hoogte (m) t.o.v. "standaard situatie"
met middelpunt 0 m, buitenste rand 3 m

figuur 5.1

Uit figuur 5.1 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 1) De golfrichting ten opzichte van het schip heeft grote invloed op het opspring-gedrag van het vistuig. Terwijl bij dwars inkomende golven het tuig amper opspringt, zal het tuig bij een golfrichting van 135° ten opzichte van de boeg het tuig reeds bij lage significante golfhoogten opspringen.
- 2) De vislijn dempingscoëfficiënten hebben enige invloed op het opspring-gedrag. Nader onderzoek naar de waarden van deze coëfficiënten is gewenst.
- 3) De vislijn-waterdiepte verhouding heeft grote invloed op het opspring-gedrag. Het vissen met grotere vislijn-waterdiepte verhoudingen, zoals momenteel de trend is binnen de visserij, heeft dus zin. Opvallend is dat alleen de vislijn-waterdiepte verhouding enige invloed heeft op de trekkracht die optreedt in de vislijnen. Hoe groter de verhouding genomen wordt hoe lager de trekkracht. Tevens blijkt dat bij de gegeven bodemstijfheid het vistuig minder dan 5 cm in de bodem zakt.
- 4) De dempingscoëfficiënt van de boom en sloffen heeft enige invloed op het opspring gedrag. Het toepassen van depressors kan dus wellicht een mogelijkheid zijn om het gedrag positief te beïnvloeden.
- 5) De massa van het tuig heeft zeer grote invloed op het gedrag van het tuig. Als de visvangst effectiviteit niet mag verminderen dan kan zonder effectieve maatregelen het tuiggewicht niet verminderd worden.
- 6) Het gewicht van de boom en sloffen heeft grote invloed op het gedrag van het vistuig. Toepassing van drijflichamen in de boom beïnvloeden het gedrag negatief.
- 7) De axiale stijfheid van de lijn heeft geringe invloed op het gedrag van het vistuig. Opmerkelijk is dat een slappe lijn een slechter gedrag veroorzaakt dan een stijve lijn. Ook als een lijnsegment tien keer zo slap gemaakt wordt, springt het tuig vaker en significant hoger op dan bij een normale vislijn. Het toepassen van deïningscompensatoren moet dus nader onderzocht worden.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

Een model beschrijft altijd een deel van de werkelijkheid. Met het besproken model is aangetoond dat het vistuig onder bepaalde condities van de bodem opspringt. De belangrijkste parameters die het gedrag in het numerieke model bepalen zijn: het gewicht van de boom en de stoffen, de lijnlengte-waterdiepte verhouding en de golfrichting ten opzichte van het schip.

Men is tot op heden nog nooit in staat geweest dit gedrag in de werkelijkheid te observeren. De resultaten van dit onderzoek kunnen dan ook een stimulans vormen voor het uitvoeren van bijvoorbeeld volle schaalmetingen (versnellings- en trekkrachtmetingen) en onderwater observaties. Met deze gegevens kan het model gedetailleerder gevalideerd worden. Naast het verfijnen van het huidige model door middel van betere invoer parameterwaarden kan het model zelf ook verbeterd worden. Mogelijke verbeteringen aan het huidige model kunnen zijn: verfijnen van de elementverdeling van de vislijn, implementeren van bodemonregelmatigheden, bepaling van scheepsbewegingen in onregelmatige golven, koppeling aanbrengen tussen scheepsbewegingen ten gevolge van golfkrachten en de dempende invloed van de visdraden door middel van een iteratieproces.

Ook is onderzoek mogelijk waarbij het model als onderzoeksmiddel gebruikt wordt.

Mogelijke onderzoeksterreinen zijn:

- vastloop berekeningen
- economische effecten die optreden door het vissen in slecht weer
- bodemverstoring ten gevolge van slepen van tuig over bodem
- optimalisatie van lijnlengte-waterdiepte verhouding
- toepassing van deiningscompensator en/of depressor
- toepassing lijnlengte variatie door geregelde c.q. gestuurde lier
- toepassing ketting i.p.v. viskabel

REFERENTIELIJST

1. Berentemfel, R. "Mooring system, their states, dynamics and damping", afstudeerverslag TUD, okt. 1987.
2. Blom, ing. W.C. "Weerstand van boomkortuigen", TO 84-03, dec. 1982.
3. Blom, ing. W.C. "Weerstandcomponenten van een boomkortuig voor 1500 kW", TO 90-01, mei 1990.
4. Boom, H.J.J. van de "Dynamic behaviour of Mooring lines", MARIN z50543, BOSS 92, jan. 1985.
5. Bosgra, O.H. "Modelvorming van dynamische systemen", diktaat TUD, 1988.
6. Chi, L. "The hydrodynamic drag and shape characteristics of two panel demersal trawl nets", University Aberdeen, okt. 1989.
7. Fridman, A.L. "Theory and design of commercial fishing gear designs", Israel program for scientific translation, Jerusalem, 1973. (uit ref. 7)
8. Hoefnagels, dr. ir W.A.M.; Stoop, ir J.; Veenstra, ir F.A.; Bouwman, ing. K. "Veiligheid in de zeevisserij", Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid S96, dec.1990.
9. Hoerner, dr. ing. S.F. "Fluid dynamic drag; theoretical, experimental and statistical information", 1965.
10. Hommel, ir G. "Eindige-elementen methode", diktaat TUD, 1986.
11. Journée, ir J.M.J. "Ship theory algorithms", report no. 815, dec. 1988.
12. Journée, ir J.M.J. "Seaway-Delft" user manual and theoretical background of release 3.00, report no. 849, jan. 1990
13. Klein Woud, prof. ir J.M.J. "Maritieme werktuigkunde 1", diktaat TUD, sept. 1988.
14. Mc Lennan, D.N. "Hydrodynamic characteristics of trawl warps", Marine Laboratory Aberdeen, 1981.
15. Nat, C.G.J.M. van der "Systematisch onderzoek MK-systemen in kader van Kotter 2000 project OEMO 91/51, afstudeerverslag TUD, februari 1991.
16. Oude Groen, J.F.; IJssel, H.J.G. van de "Dynamic simulation of marine pipelines", afstudeerwerk TUD, Smith International Marine Service BV., juni 1987.
17. Panagiotis Markoulidis, "Nichtlineare statische und dynamische Analyse von Seilen, Kabeln und flexibelen Leitungen im Seegang unter Anwendung des Finite-Elemente Verfahrens", Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, maart 1989.
18. Peach, R.W. "The radii of gyration of merchant ships", North East Coast Institute of Engineers and Shipbuilding Transactions, juni 1987.

19. Pinkster, J.A. "De veiligheid van Boomkotters deel IIc invloed vismethoden op vistuig", okt. 1970.
20. Pode, L. "An experimental investigation of the hydrodynamic forces on stranded cables", Taylor Model Basin, report 713, mei 1959. (uit ref. 14)
21. Stekebee, prof. dr. J. "Aerodynamica 1", diktaat TUD, okt. 1987.
22. Veenstra, ir F.A. "Safety-aspects in redesigning medium sized beamtrawlers", Fish Capture Committee 1989/B:39, 1989.
23. Vorst, prof. dr. H.A. van der; Wesseling, prof. dr. P.; Wilders, dr. P. "Numerieke methoden voor differentiaal vergelijkingen", diktaat TUD, aug. 1989.
24. Weyland, C. "NWCROSS, A new version of CROSSIM, the beam-trawl/pipeline crossing simulator", RKER.91.052, 500.20.530 KSEPL, maart 1991.
25. Zeegers, J.N. "Demping van scheepsbeweging door verankeringsdraden", afstudeerverslag TUD, okt. 1988.

APPENDIX A GEGEVENS VAN STAALKABELS

In deze appendix zijn de constructieve gegevens vermeld van staalkabels die de visserij gebruikt. De gegevens zijn verkregen van de fabrikant Verto/UR (na een gesprek met dr. ir. Wiek (TUD))

In de visserij wordt met voorkeur gebruik gemaakt van een 6*26 vuldraad met touwkern. Het eerste getal geeft het aantal strengen weer, het tweede getal het aantal draden per streng.

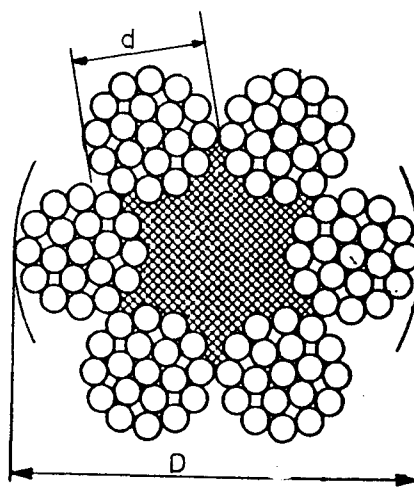
De waarden, die naar voren komen, zijn:

tabel A.1

kabel	nom diam.	opp.	min breukbelas. bij breuksterkte 1770 N/mm ²	massa per 100 m	E	G in water
6 * 26	30 mm	349 mm ²	538 kN	342 kg	0.8 E5 N/mm ²	30.05 N/m
	32 mm	396 mm ²	612 kN	389 kg	0.8 E5 N/mm ²	38.08 N/m

Geometrie:

D/d verhouding = 3.18



Diameter van een
staalkabel

APPENDIX B HYDRODYNAMISCHE COEFFICIENTEN

Over de hydrodynamische coëfficiënten van staalkabels wordt in de literatuur nogal verschillend gedacht. Een zo volledig mogelijke opsomming van de in de literatuur gevonden waarden zal in deze appendix gegeven worden.

Om de hydrodynamische weerstandscoëfficiënt (C_d) en de hydrodynamische toegevoegde massacoëfficiënt (C_a) waarden van kabels te bepalen, wordt eerst aangenomen dat de "crossflow theorie" geldt. Deze theorie houdt in dat de C_d en de C_a coëfficiënten voor de normaal en tangentiaal richting gelijk blijven, onafhankelijk van de hoek met de stroming. De geldigheid hiervan is bepaald door Pode (Pode, 1950, 20). Het meest eenvoudige geval is de situatie waarbij een gladde cilinder in een wrijvingsloze vloeistof wordt geplaatst. De hydrodynamische kracht is in het algemeen sterk lineair afhankelijk van de dynamische druk. Deze dynamische druk ontstaat doordat waterdeeltjes vertragen en versnellen tijdens de omstroming van een kabel. Voor de hydrodynamische kracht per lengte eenheid ten gevolge van drukverschillen geldt dan:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D \cdot C_{dn}$$

met F = hydrodynamische kracht ten gevolge van drukverschillen
 V = snelheid van medium
 D = diameter van cilinder
 C_{dn} = weerstandscoëfficiënt in normaal richting

Voor de vislijn met een diameter van 0,030 m geldt bij een vissnelheid van 3 m/s :

$$Re_D = \frac{V \cdot D}{\nu} = 7.4 \cdot 10^4$$

waarin: Re_D = Reynolds getal
 ν = kinematische viscositeit; zeewater van 15° C en 10⁵ bar : 1.21 · 10⁻⁶ m²/s
(bron: Hoerner, 1965, 9)

Voor Reynoldswaarden van $10^4 < Re_D < 10^5$ is dicht achter de oneindig lange gladde cilinder de Von Karman wervelstraat nog te herkennen. Over het voorste gedeelte van de cilinder kan de grenslaag nog laminair zijn, doch laat al snel los tot een turbulente zog. De C_{dn} waarde voor deze Reynoldswaarde is vrij constant : $C_{dn} = 1.2$

Voor de toegevoegde massa kan met de potentiaal theorie aangetoond worden dat de schijnbare massa van de versnelde cilinder in een stilstaande vloeistof gelijk is aan de massa van de verplaatste vloeistof. De C_{an} waarde wordt in de Morison vergelijking dus één. Omdat de vloeistof wrijvingsloos verondersteld is, wordt de C_{at} waarde nul.

De kabel bevindt zich echter niet in een wrijvingsloos medium en tevens zal de kabel ten gevolge van trekkrachtvariaties en loslatingen gaan trillen. Beide aspecten zullen invloed hebben op de C_d en C_a waarden. In tabel B.1 volgt een overzicht van de C_d en C_a waarden voor cilinders (met 30 mm diameter) zoals in de literatuur vermeld wordt.

tabel B.1

C _{dn}	C _{dt}	C _{an}	C _{at}	bron	opmerkingen
1.2	0	1	0	Stekebee, 1987, 21	gladde cilinder in wrijvingsloos medium
1.2 + 2	0.4	1.5	0.2	vd Boom, 1985, 4	kabels
1.18	0.04			ESDU paper 80025	kabel met $d/D=0.31$, $Re_D=7 E4$
1.8		1.31		Zaegers, 1988, 25	proeven met oscillerende kabels, maart '89
1.2	0.02	0.5	0	Berentemfel, 1987, 1	literatuur studie
1.0 + 1.2				Hoerner, 1965, 9	$Re_D=1 E4 + 6 E4$

Omdat deze waarden een spreiding vertonen, zullen in het numerieke model de hydrodynamische coëfficiënten gevarieerd moeten worden. Gekozen is voor $C_{dn} = 1.0; 1.2; 1.4$ en voor $C_{dt} = 0.2; 0.4$

APPENDIX C MODELPROEVEN MET BOOMKORTUIG

In deze appendix wordt een beschrijving gegeven van de modelproeven die op 25 en 26 juni 1991 in de "Seafish Flume Tank" (Hull) zijn uitgevoerd met een schaalmodel van een 12 meter boomkorvistuig (zie bijlage 2.3). Het doel van deze proeven was het bepalen van de hydrodynamische weerstandscoefficiënt van het net in de x-richting (B_{x_n}), het gewicht van de wekkers (G_w), het gewicht van het niet ondersteunde deel van wekkers (WK) en de massa van het niet ondersteunde deel van de wekkers (M_w) als functie van de hoogte van de boom boven de bodem (z_t) en de snelheid van vistuig (\dot{x}_t).

Proef opstelling

Bij hydrodynamische proeven kunnen het Froude getal en het Reynolds getal niet tegelijkertijd constant gehouden worden. Modelproeven met netten worden meestal uitgevoerd met een constant gehouden Froude getal, omdat de zwaartekracht een belangrijke rol speelt. Tevens zou bij toepassing van een constant gehouden Reynolds getal de watersnelheid bij de modelproeven hoog worden, hetgeen praktische problemen bij de uitwerking zou opleveren.

tabel C.1 Overzicht van werkelijkheid en model van boomkortuig

item		werkelijkheid	model 1:6	model RIVO
boom/sloffen	lengte boom	12 m	2 m	2 m
	diam. boom	178 - 244 mm	29 - 41 mm	34 mm
	gewicht onderwater boom/sloffen	2800 kgf	13 kgf	13 kgf
net/kietelaars/ grondpees/roller wekker nr. 10	gewicht onderwater net/roller/pees			5.7 kgf
	massa net	500 kg	2.3 kg	1.9 kg
	massa grondpees	260 kg	1.2 kg	2.75 kg
	massa roller	550 kg	2.55 kg	4.5 kg
	massa kietelaars	470 kg	2.18 kg	-
	massa wekker nr.10	240 kg	1.1 kg	-
wekker nr. 1 t/m 9	lengte wekker nr. 1	16 m	2.67 m	2.67 m
	massa wekker nr. 1	215 kg	0.99 kg	0.862 kg
	gem. lengte wekker nr. 2 + 3	17.5 m	2.9 m	2.96 m
	tot. massa wekker nr. 2 + 3	390 kg	1.8 kg	1.593 kg
	gem. lengte wekker nr. 4 + 5 + 6	20 m	3.3 m	3.32 m
	tot. massa wekker nr. 4 + 5 + 6	525 kg	2.4 kg	2.6 kg
	gem. lengte wekker nr. 7 + 8 + 9	23.6 m	3.9 m	3.91 m
tot. massa wekker nr. 7 + 8 + 9	435 kg	2.0 kg	2.12 kg	
	gewicht wekker nr. 1 t/m 9 onder water			6.4 kgf

opmerking: In het RIVO model is de massa van de kietelaars ondergebracht in de roller en de massa van wekker nr. 10 in de grondpees.

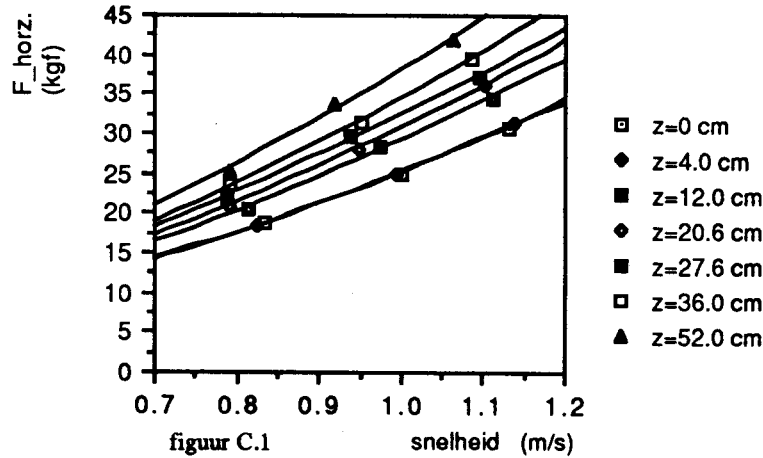
Meetresultaten

Voor het uitvoeren van de metingen was een RIVO-model van een 12 meter boomkortuig beschikbaar. Uit tabel C.1 blijkt dat het RIVO-model redelijk goed overeenkomt met een theoretisch omgeschaald model van de werkelijkheid.

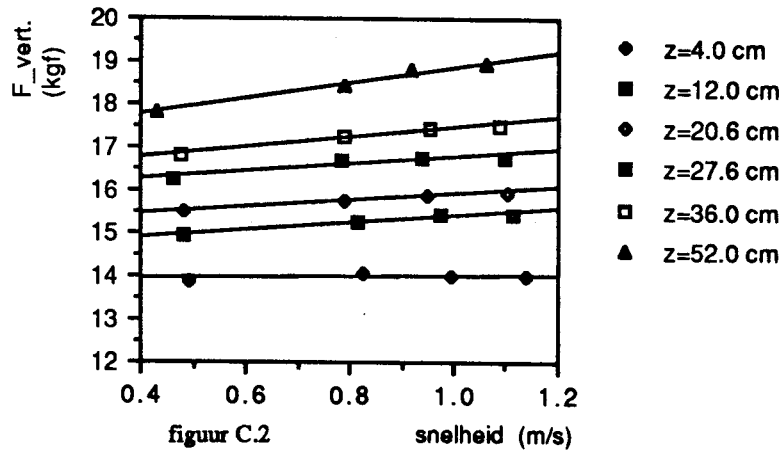
In figuren C.1 en C.2 zijn de meetresultaten van de modelproeven weergegeven. Voor elke z_t blijkt tussen de gemeten horizontale kracht op het vistuig en de watersnelheid een kwadratisch verband te bestaan. Tussen de gemeten verticale kracht op het vistuig en de watersnelheid blijkt een lineair verband te bestaan. Deze krachten zijn gemeten met "load-cells", met een opgegeven meet-onnauwkeurigheid van ± 0.1 kgf. De afstanden zijn optisch gemeten, met een speciaal daarvoor ingerichte camera. De opgegeven meet-

onnauwkeurigheid van deze camera is ± 5 mm. De snelheden zijn met een log gemeten, met een opgegeven meet-onnauwkeurigheid van $\pm 0,01$ m/s.

meet resultaten

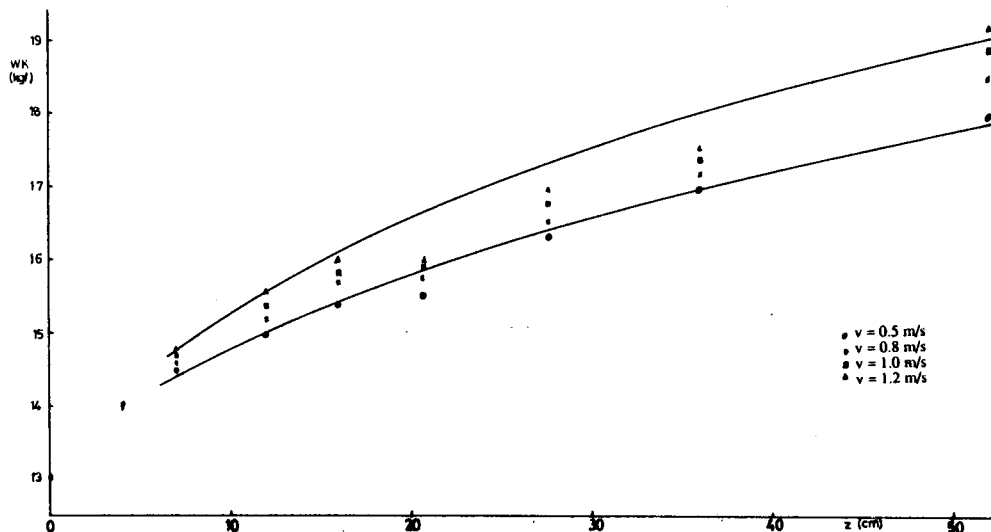


figuur C.1



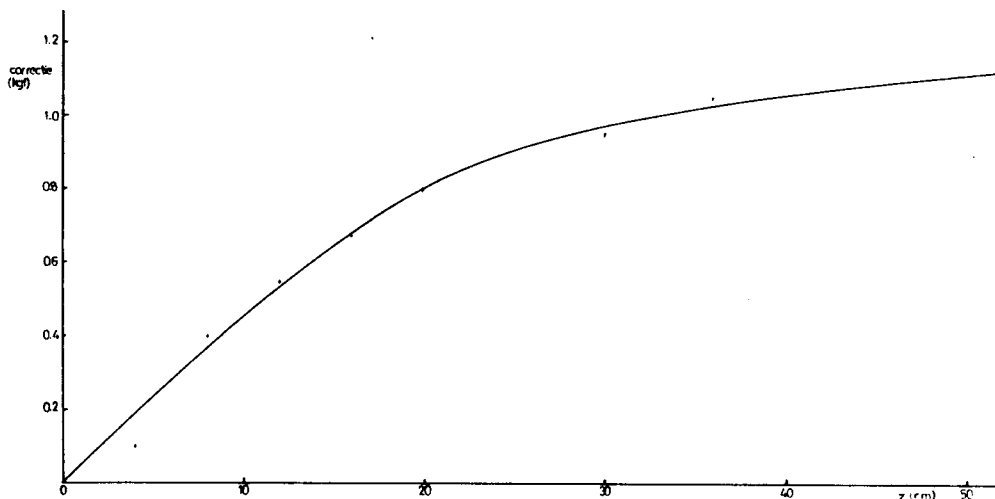
figuur C.2

Bij nadere uitwerking van de resultaten bleek een kleine sprong in de metingen voor te komen. Deze sprong is mogelijk veroorzaakt door een calibratiefout op de 2^e meetdag. In figuur C.3 is hiervoor gecorrigeerd en is het verband tussen F_{vert} en z_b bepaald. De steilheid van deze lijnen zal moeten afnemen omdat bij toenemende z_t steeds minder wekkerkettingen van de bodem worden gelicht.



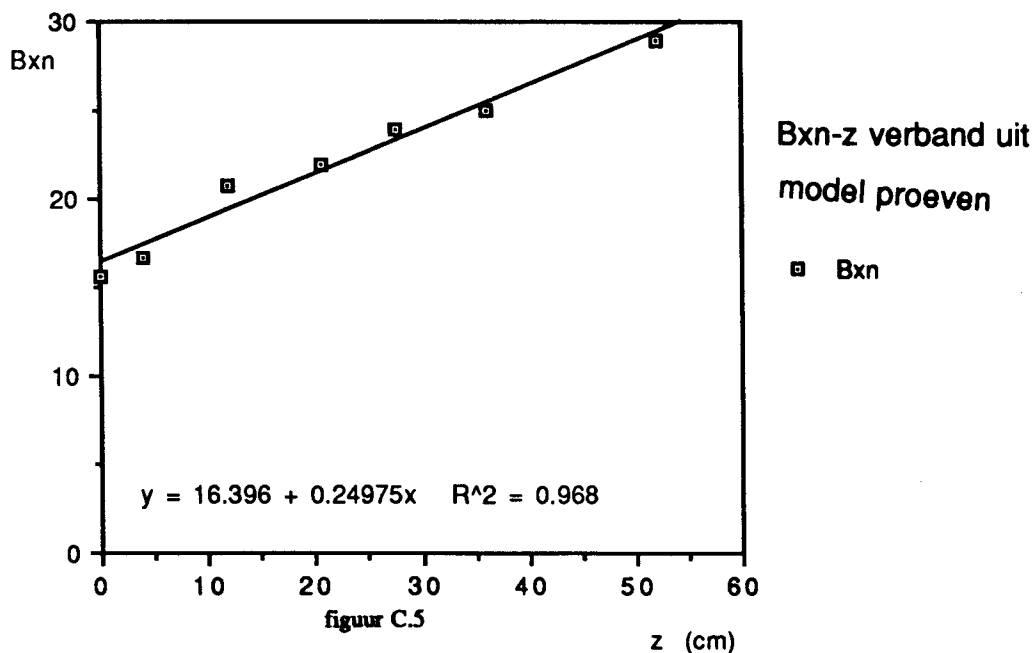
figuur C.3

Als aangenomen wordt dat de verticale kracht alleen toeneemt ten gevolge van het lichten van de kettingen, dan kan WK als functie van z_t bepaald worden. Uit figuur C.3 kan voor de minimale snelheid (0.5 m/s.) dit verband direct afgelezen worden. Zoals eerder opgemerkt blijkt per hoogte z_t een lineair verband te bestaan tussen de snelheid en de verticale kracht. Echter per hoogte z_t is de steilheid van deze lineaire lijnen verschillend. Het verschil tussen de gemeten verticale kracht bij de minimale snelheid (0.5 m/s.) en de maximale snelheid (1.2 m/s.) is uitgezet in figuur C.4. Dit snelheidseffect op de verticale kracht wordt door middel van een correctie verdisconteerd in de functie WK. De waarde van M_w volgt direct uit WK, er moet echter wel gecorrigeerd worden voor de opwaartse kracht ten gevolge van het verplaatste water en de zwaartekracht.



figuur C.4

Uit de meetresultaten van de horizontale kracht kan de dempingsconstante voor het net (B_{x_n}) bepaald worden, door de totale gemeten horizontale kracht (bij een snelheid van ca. 1 m/s.) te verminderen met de gemeten horizontale kracht in de situatie zonder net. Hierbij wordt aangenomen dat de wrijving tussen de gladde band (bodem) en rollerpees verwaarloosbaar klein is. Als vervolgens B_{x_n} uitgezet wordt tegen z_t (figuur C.5), dan blijkt een lineair verband te bestaan. Dit lineaire verband wordt ook beschreven in de literatuur, zoals vermeld in paragraaf 4.2.2.



De besproken verbanden, die uit de modelproeven naar voren komen, zijn direct te implementeren in het numerieke model. Uiteraard zal wel de Froude wet toegepast moeten worden om van schaalmodelgegevens te komen tot gegevens die in de werkelijkheid zijn te verwachten.

APPENDIX D SCHEEPSBEWEGINGEN

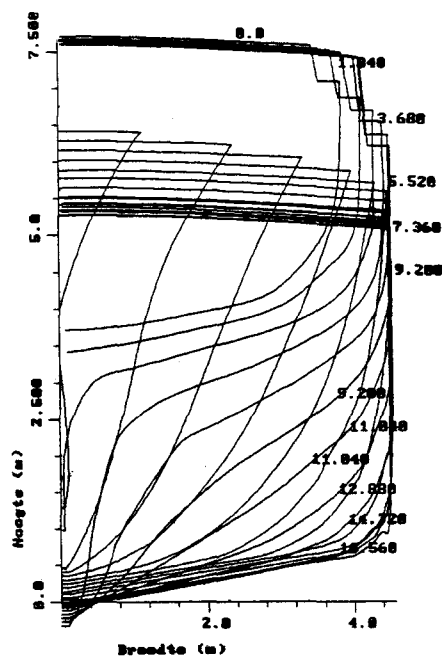
Voor het bepalen van de bewegingen van het schip is gebruik gemaakt van het door ir J.M.W. Journée (TUD) ontwikkelde programma "Seaway-4.00" (Journée, 1990, 12). Dit programma is gebaseerd op de lineaire theorie voor scheepsbewegingen. (Journée, 1988, 11). Door middel van de striptheorie worden de responsies van het schip op golfkrachten en -momenten berekend. Hierdoor kunnen de overdrachtsfuncties in een willekeurig punt van het schip bepaald worden. Hierbij wordt aangenomen dat de overboord hangende netten de scheepsbewegingen niet beïnvloeden (zie paragraaf 4.1). Deze aanname kan na het uitvoeren van de numerieke simulaties gecontroleerd worden, door de scheepsbewegingen te bepalen waarbij de reactiekrachten van de vislijn aan het schip opgelegd worden. Deze controle wordt aan het einde van deze appendix uitgevoerd.

Voor de beschrijving van de rompvorm is een 2000 pk kotter genomen zoals die op Nederlandse werven wordt gebouwd (zie onderstaande figuur D.1). De bedrijfstoestand van een kottervaartuij is voortdurend aan veranderingen onderhevig. Gekozen is voor de toestand waarbij circa 48 ton vis gevangen is en 50 % van de voorraden verbruikt zijn. Deze beladingstoestand treedt over het algemeen op aan het einde van de vistijd. Als deze beladingstoestand wordt vergeleken met de beladingstoestand bij vertrek uit de haven (100 % voorraden) dan blijkt er weinig verschil te zijn opgetreden. (zie tabel D.1)

tabel D.1 samenvatting beladingstoelanden 2000 pk kotter

	vertrek haven	vertrek visgrond
belading	100% voorraden	48 t vis + 50% voorr
diepgang	4.02 m	3.903 m
trim	-1.41 m	-0.93 m
GM'	0.975 m	0.910 m

(bron: Hoefnagels ea., 1990, 8)



KOTTER 2000

L_{ll} = 36.8 m
 Loa = 40.1 m
 B = 9.0 m
 H = 5.1 m
 T = 3.93 m
 trim = -0.93 m
 K_{xx}/B = 0.4
 K_{yy}/B = 0.25
 K_{zz}/B = 0.25

(bron K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} waarden: Peach, 1989, 18)

figuur D.1

(zie voor numerieke waarden bijlage D.1)

De GM' waarde is echter ook afhankelijk van de uitrusting van het schip waardoor deze ligt tussen 0.8 en 1.0 m (bron: Werf Visser, Den Helder). De ligging van het visblok ten opzichte van het schip (x_g) is behalve van de uitrusting tevens afhankelijk van de wensen

van de eigenaar van het schip. Gemiddelde waarden die door Nederlandse visserij werven genoemd worden, zijn:

x-richting (t.o.v. ord. 0)	: 24 m (± 2 m)
y-richting (t.o.v. hart schip)	: 14.8 m
z-richting (t.o.v. basis)	: 8 m (± 1 m)

De rol-dempingscoëfficiënt is voornamelijk afhankelijk van de grootte van de stafkiel en is in overleg met ir Journée (TUD) gesteld op 0.08. Omdat de GM' en x_g waarden niet eenduidig vastliggen, zullen deze waarden vanuit een aangenomen "basistoestand" gevarieerd worden om de invloed ervan te bepalen. In de "basistoestand" is de GM' waarde 0.910 m en x_g is (24 m, 14.8 m, 8 m). Ook de vissnelheid en de zeetoestand liggen niet vast en zullen dus gevarieerd moeten worden. Deze vissnelheid varieert tussen 5 en 6 kn., waarbij de golven uit alle richtingen het schip kunnen ontmoeten. De koers van het schip wordt immers bepaald door de visgronden. Als "basistoestand" is een vissnelheid van 5.25 kn en een golfrichting van 90° ten opzichte van de boeg gekozen. Uit gesprekken met schippers bleek dat tot windkracht 8 à 9 Bft doorgevist wordt. Een eerste indicatie van de significante golfhoogte ($H_{1/3}$) en de gemiddelde golfperiode betrokken op de nuldoorgangen (T_2) wordt in tabel D.2 gegeven.

tabel D.2 indicatie van golfspectra parameters

Bft-schaal	Noordzee		% voorkomen op Noordzee
	$H_{1/3}$ (m)	T_2	
2	0.65	3.50	11.7
3	0.80	3.87	19.0
4	1.10	4.24	21.1
5	1.65	4.70	17.1
6	2.50	5.25	11.3
7	3.60	6.17	7.0
8	4.85	7.30	3.6
9	6.10	8.10	1.2

(bronnen: Journée, 1990, 12
US Navel Weather Service Command)

met $H_{1/3} = 4 \cdot (M_{0\xi})^{1/2}$

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{M_{0\xi}}{M_{2\xi}} \right)^{1/2}$$

waarin: $M_{0\xi}$: oppervlak van golfspectrum
 $M_{2\xi}$: 2^e ordemoment van oppervlak van golfspectrum

Gezien de vele onzekerheden kunnen de overdrachtsfuncties slechts als voorbeeld dienen voor de te verwachten scheepsbewegingen. Zoals in hoofdstuk 4 reeds is aangegeven, zullen alleen responsies op enkelvoudige golven bepaald worden. Om de omstandigheden op de Noordzee te benaderen is gekozen voor "regelmatige golven" met een amplitude die gelijk is aan de significante golfhoogte ($H_{1/3}$) en een golfradiaalfrequentie die gelijk is aan de gemiddelde golfradiaalfrequentie ($2 \cdot \pi / T_2$). Voor deze toestand zijn de significante bewegingen uitgerekend. In bijlage D.2 zijn voor de verschillende variaties de gemiddelde periode van de bewegingen en de verhouding tussen de significante amplitude van de snelheden van het uiteinde van de giek en de significante golfhoogte uitgezet tegen de gemiddelde golfperiode (T_2). Uit deze figuren blijkt dat alleen de golfrichting en in mindere mate de GM' waarde invloed heeft op de significante bewegingen. In het numerieke model moet dus met name de golfrichting gevarieerd worden.

Controle van de aanname dat de scheepsbewegingen niet beïnvloed worden door de overboord hangende netten:

Gecontroleerd is de invloed van de reactiekrachten in de z-richting van de vislijn ter plaatse van het uiteinde van de giek op de rolbewegingen van het schip. Om deze controle mogelijk te maken moeten in de gekoppelde bewegingsvergelijkingen voor de rolbeweging extra momenten worden opgegeven. Uit de simulaties met het numerieke model blijkt dat het faseverschil tussen de bewegingen van de giek en de krachten in de vislijn nul is. Voor het faseverschil tussen de uitwendige momenten op het schip (ten gevolge van de vislijnkrachten) en de golven mag dus de fase van de bewegingen van de giek genomen worden. Indien de "standaard situatie" van de simulaties bekeken wordt, dan blijkt dat de rolbeweging voor een regelmatige golf (met $\omega_e = 1.02$ 1/s) vermindert van 2.06 deg. per meter golfhoogte tot 1.43 deg/m. Gekozen is voor een regelmatige golf met $\omega_e = 1.02$ 1/s, omdat deze ontmoetingsfrequentie gelijk is aan de gemiddelde periode van de nuldoorgangen van het golfspectrum bij seastate 3.60 m (Bft 7 op Noordzee). De rolbewegingen verminderen dus maximaal met ca. 30%. Omdat in werkelijkheid het schip en het vistuig gekoppeld zijn zullen de krachten ten gevolge van de minder grote opgelegde bewegingen verminderen. Dit iteratieproces zal ertoe leiden dat de rolbewegingen met ca. 20% zullen afnemen ten opzichte van de rolbewegingen van het schip zonder overboord hangende netten.

deel 2

Inhoud:

Bijlage 1.1	Opdracht.....	2
Bijlage 2.1	Algemeenplan van kottervaarttuig.....	3
Bijlage 2.2	Boomkorvisserij.....	4
Bijlage 2.3	Boomkortuig.....	5
Bijlage 4.1	Stuwkracht - snelheidsverband.....	6
Bijlage 4.2	Eq. hydrodyn. kracht bij lin. verlopende snelheid.....	7
Bijlage 5.1	Tuigmodel in Matrix-x.....	11
Bijlage 5.2	Invoer waarden voor tuigmodel.....	40
Bijlage 5.3	Resultaten ter vergelijking met meetreizen.....	43
Bijlage 5.4	Resultaten van parameter variatie.....	47
Bijlage 5.5	Resultaten van meetreizen (Blom, 1990, 3).....	89
Bijlage D.1	Numerieke waarden van rompvorm.....	91
Bijlage D.2	Resultaten van berekeningen van bewegingen giek.....	93

1992



Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek
Technische Universiteit Delft

Mekelweg 2
2628 CD Delft
Telefoon (015) 78 91 11
Telefax 38151 butud
Telefax (015) 78 56 02

De heer C.G.J. v.d. Nat
van Adrichemstraat 207
2614 BN DELFT

Uw kenmerk en datum	Ons kenmerk	Doorkiesnummer	Datum
-	KW/MM/2054	(015) 78	25 februari 1991
Onderwerp		Onderdeel	
ir-opdracht			

Geachte heer v.d. Nat,

In aansluiting op de door u uitgevoerde 4e jaars scriptie houdt uw ingenieurs opdracht het volgende in:

In de boomkorvisserij kunnen ten gevolge van scheepsbewegingen en een variabel bodemprofiel de sloffen van het vistuig van de grond loskomen, hetgeen in verband met de viseffectiviteit ongewenst is. Om dit loskomen te voorkomen wordt momenteel met een verzaard vistuig gewerkt.

De gevolgen van dit zware tuig zijn onder andere:

- ♦ moeilijke tuigbehandeling door bemanning
- ♦ grote kans op vastlopen van het tuig in een zachte bodem
- ♦ hoge tuigweerstand en daarmee een hoog brandstofverbruik van de voortstuwingsinstallatie

Uw opdracht omvat het onderzoeken van de mogelijkheden om een relatief licht tuig goed het bodemprofiel te laten volgen terwijl het vaartuig scheepsbewegingen ondergaat.

Hiertoe zult u de volgende onderwerpen onderzoeken:

- onder welke omstandigheden is er sprake van opspringen van het tuig en hoe groot is de weerstandstoename ten gevolge hiervan. U dient hiertoe de zeegangs bewegingen van een kotter te onderzoeken en deze als input te gebruiken voor het gedrag van het vistuig. Voor het vistuig zult u gebruik maken van een bestaand model en waar nodig dit model aanpassen/verbeteren. De invloed van het gewicht van de netten zal hierbij onderzocht worden.
- inventariseren welke mogelijkheden er zijn om het opspringen van een licht vistuig te voorkomen. Hierbij kunt u denken aan gestuurde vislieren, deiningscompensatoren of andere oplossingen.
- de technische en economische haalbaarheid van de beschreven oplossingen onderzoeken. Hierbij ook aandacht te besteden aan eventuele verbetering van de arbeidsomstandigheden t.g.v. het lichter uitvoeren van het vistuig.

De opdracht wordt uitgevoerd in het kader van het project Kotter 2000 in samenwerking met het RIVO te IJmuiden. Uw begeleiders aldaar zijn: Ir. F. Veenstra en Ir. B. van Marlen.

Voor hydrodynamische aspecten is Ir. J. Journée van de vakgroep Scheepshydronechanica bereid u te begeleiden.

Deze opdracht is aangevangen 15 februari 1991. U wordt verzocht het eindrapport, in zesvoud, ingebonden in TUD-band onder nummer 91/56 voor 15 juli 1991 in te leveren.

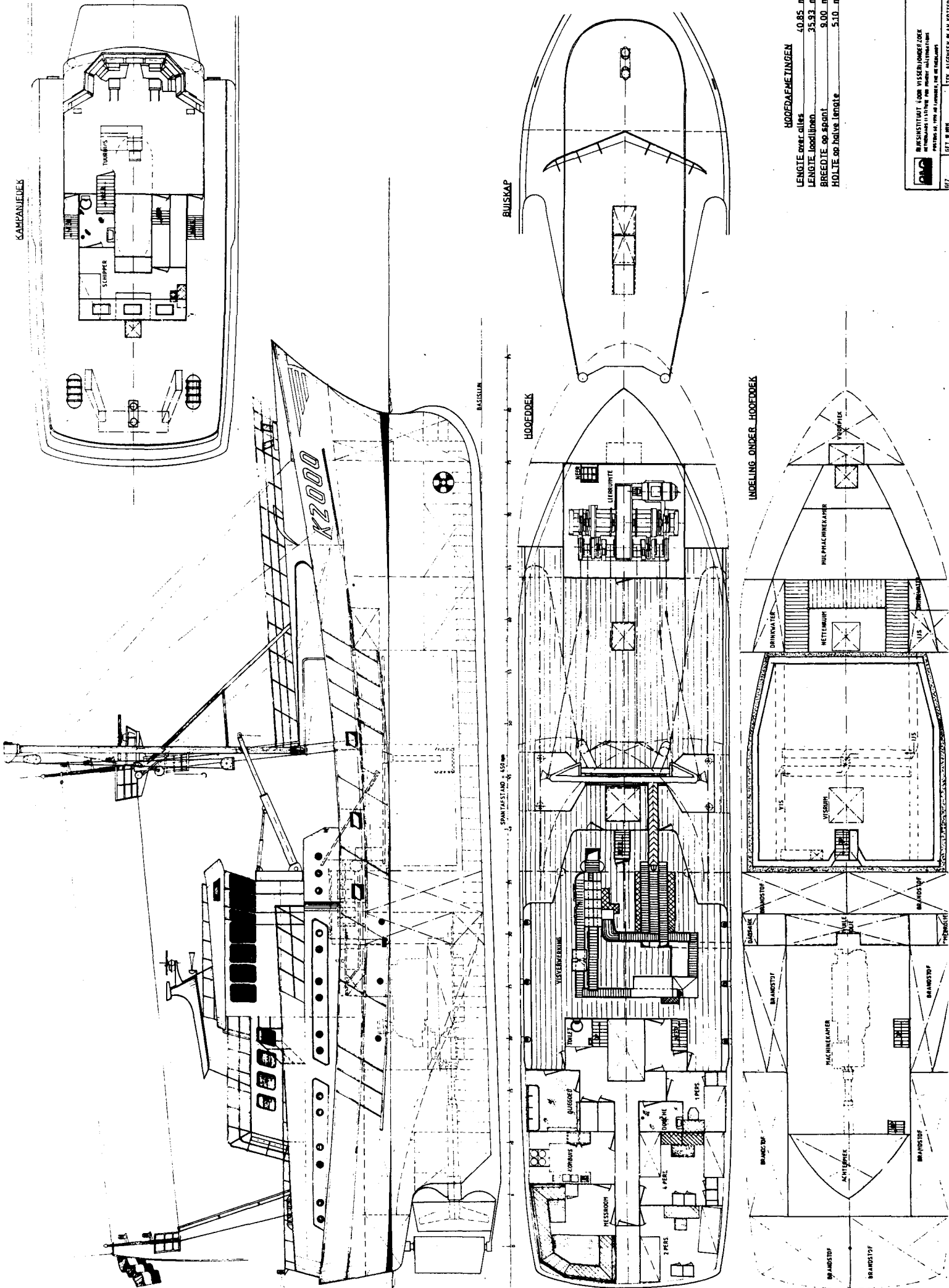
Met de uitvoering van uw opdracht wens ik u veel succes.

Met vriendelijke groet,


Prof. ir. J. Klein Woud


kopie: RIVO Ir. F. Veenstra
Ir. B. van Marlen
Scheepshydronechanica
OEMO

BIJLAGE 2.1 ALGEMEENPLAN VAN KOTTERVAARTUIG

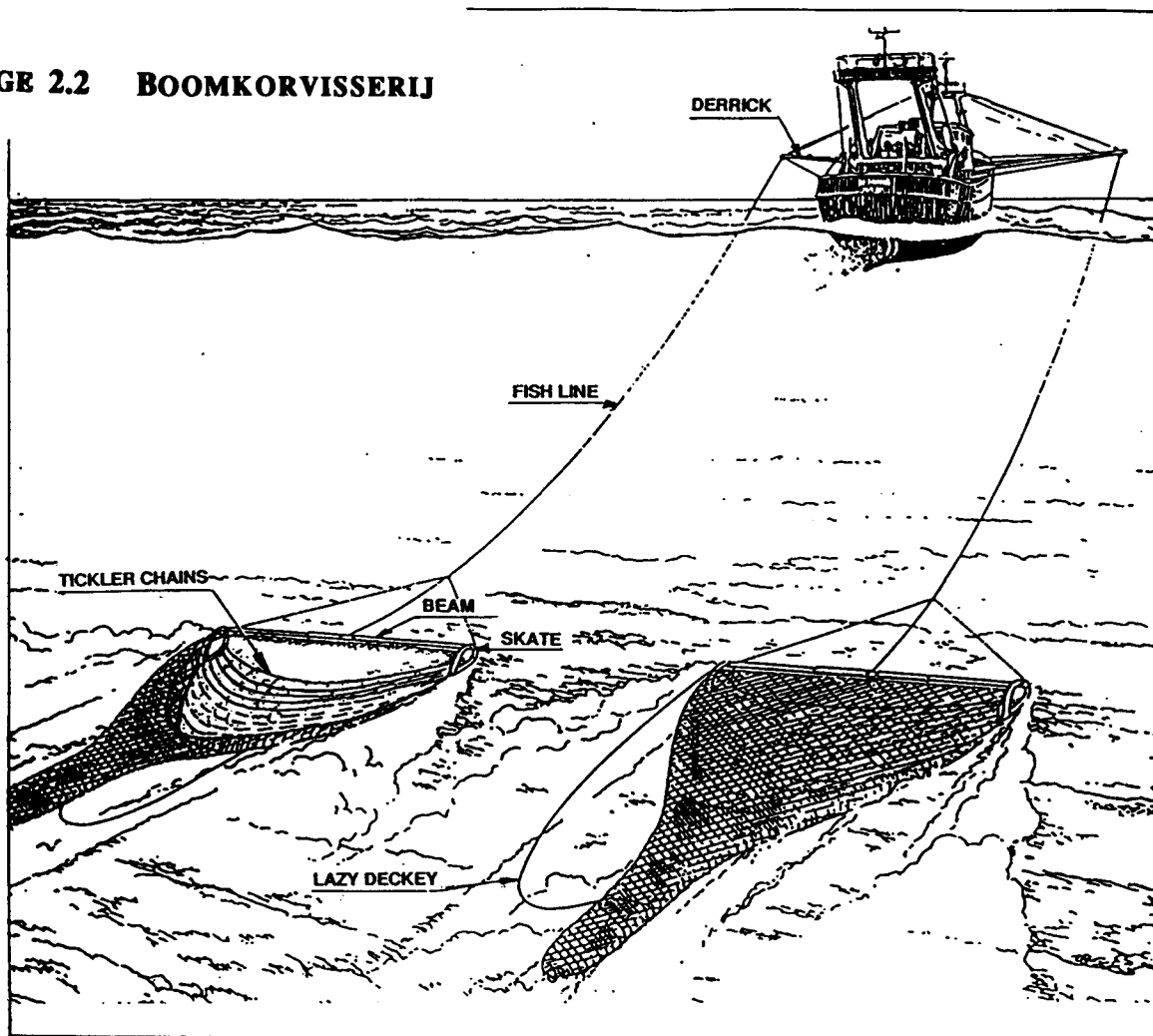


HOEDAFMETINGEN

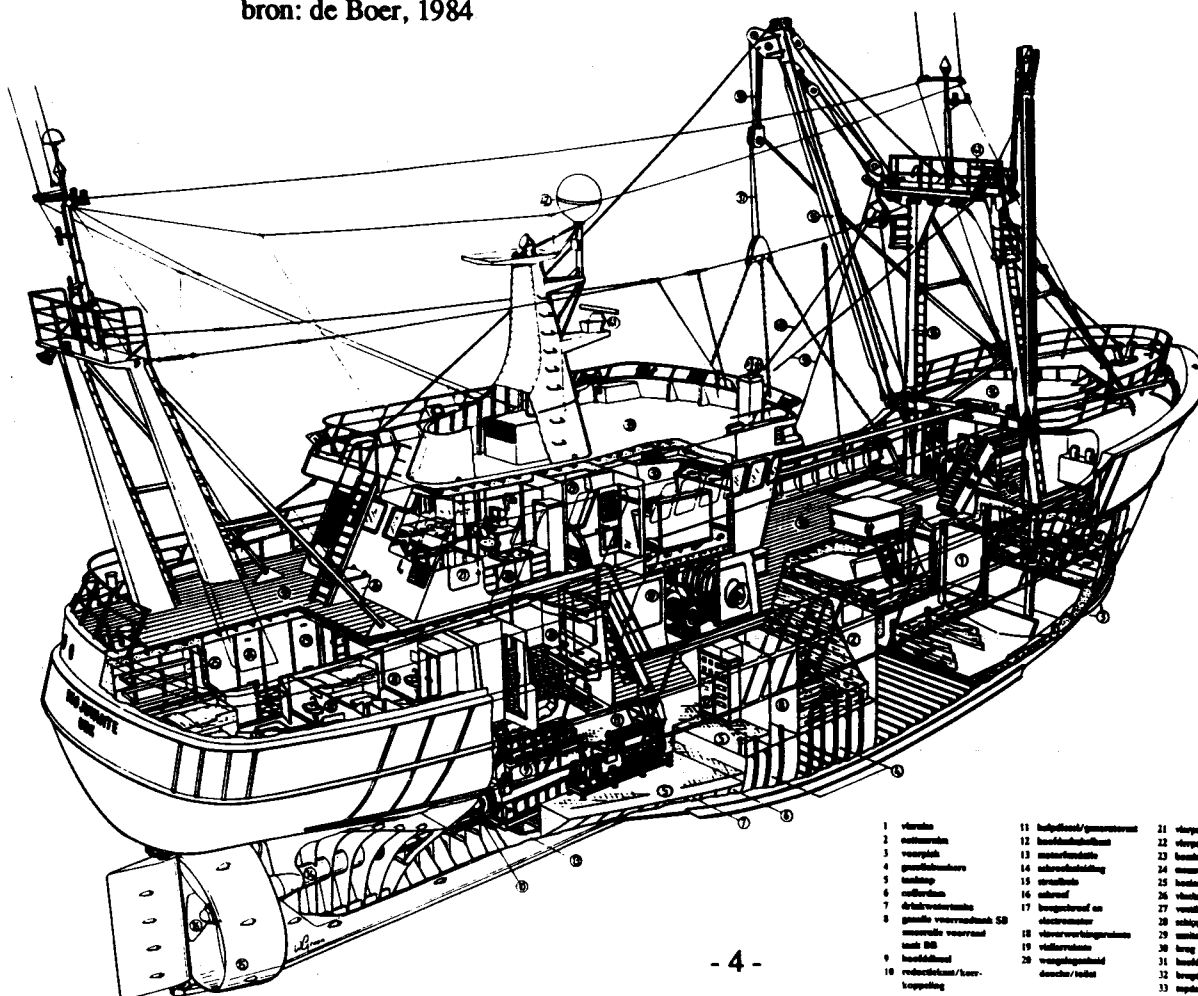
LENGTE over alles	40,85 m
LENGTE loodlijnen	35,93 m
BREEDTE op spoor	9,00 m
HOLTE op halve lengte	5,10 m


RIJSCHEIDENSCHE INSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK
 VERBODEN IS SCHRIJVEN VAN HET ALGEMEENPLAN VAN HET KOTTERVAARTUIG
 VERBODEN IS SCHRIJVEN VAN HET ALGEMEENPLAN VAN HET KOTTERVAARTUIG
 1977 GET. W. 1977

BIJLAGE 2.2 BOOMKORVISSERIJ



bron: de Boer, 1984



- | | | | |
|------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|
| 1. vork | 11. helpdekk/gewestruut | 21. vloggersmaat | 34. beheld met gaffel |
| 2. netterrol | 12. boordhoefde | 22. vloggersmaat | 35. perron |
| 3. voorspiet | 13. motorhoefde | 23. boordhoefde | 36. giek |
| 4. grommelmotor | 14. schroefhoefde | 24. motorhoefde | 37. vlog |
| 5. anker | 15. motorhoefde | 25. boord | 38. schroef |
| 6. vork | 16. schroef | 26. vork | 39. vlog |
| 7. drijfwatermotor | 17. boordhoefde en | 27. vorkhoefde | 40. vlog |
| 8. gaffel voorwaart 50 | 18. vloggersmaat | 28. schroef | 41. vork |
| 9. motorhoefde | 19. vork | 29. vork | 42. vork |
| 10. vork | 20. vork | 30. vork | |
| 18. vork | 28. vork | 31. vork | |
| 19. vork | 29. vork | 32. vork | |
| 20. vork | 30. vork | 33. vork | |

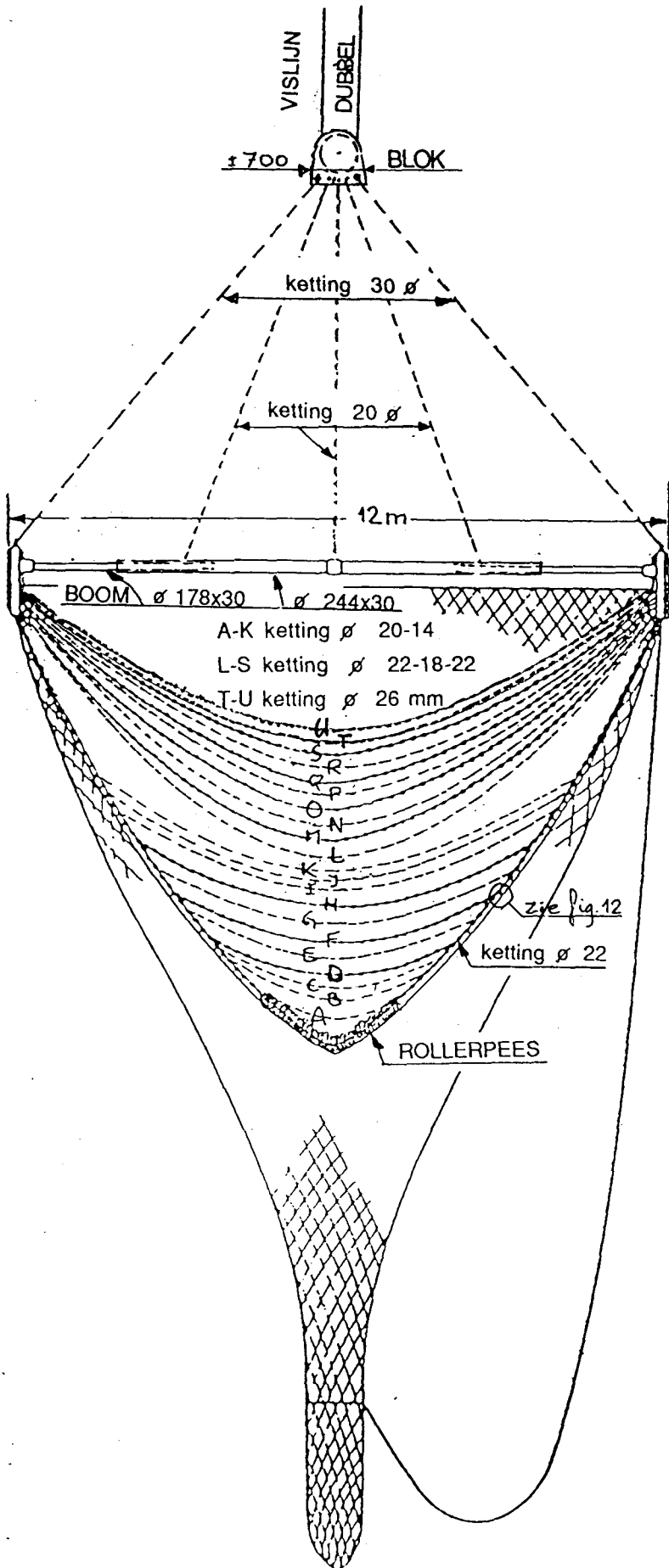
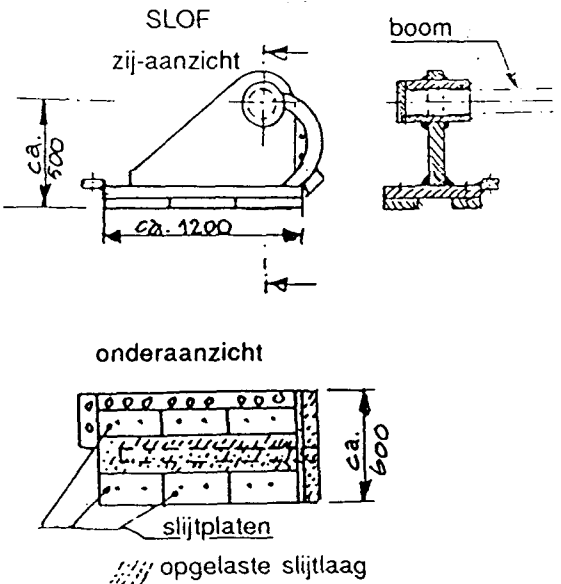
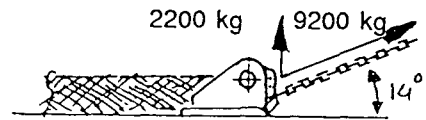
BIJLAGE 2.3 BOOMKORTUIG

1500 kW (2000 pk) boomkorvaartuig
7- tons Noordtuig.

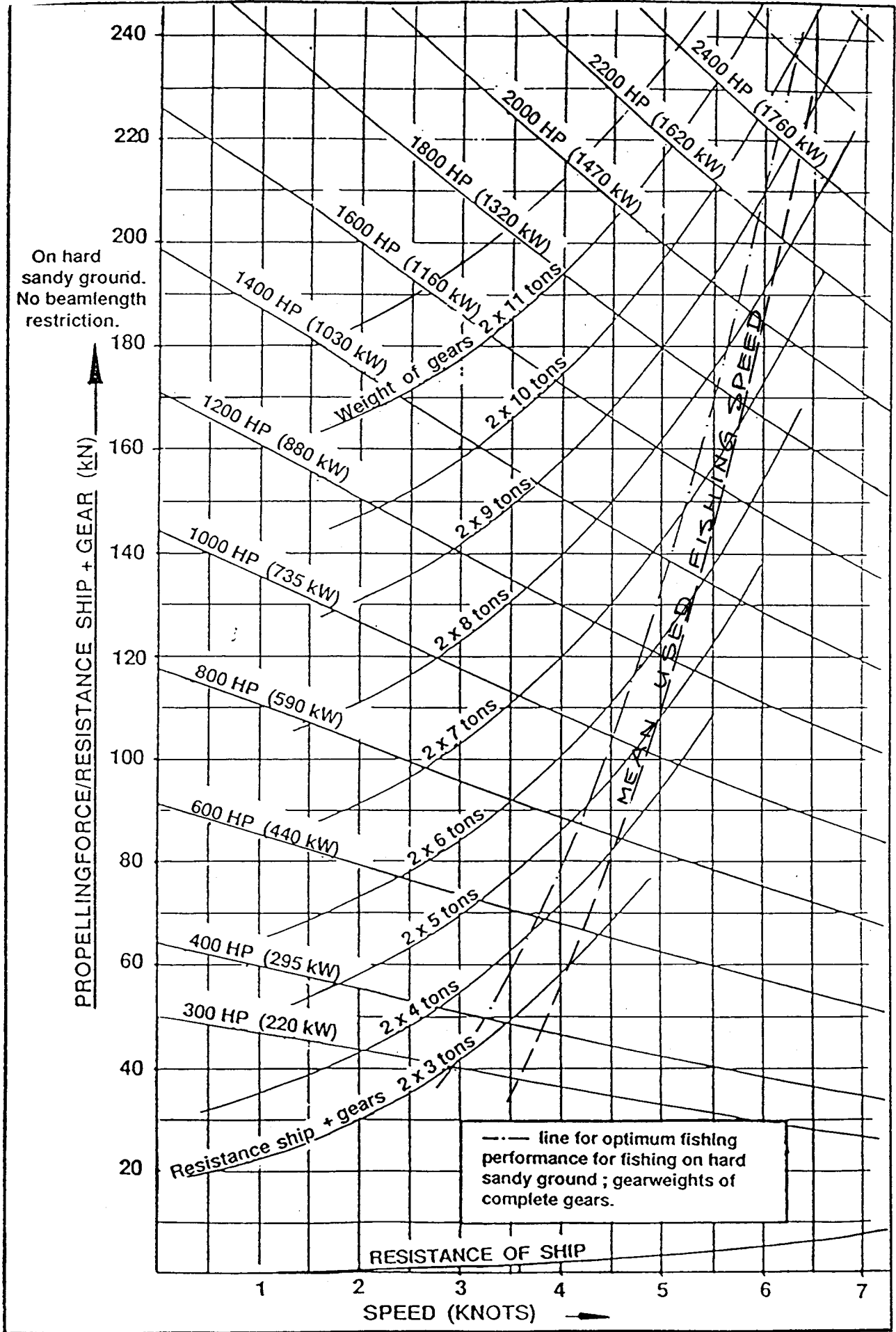
Elk tuig	Gewicht	
	nieuw (boven water)	gebruikt (onder water)
net	500 kg	--
grondpees		
ketting 22 ø	260	200 kg
roller ± 250 ø	550	200
kietelaars		
A-C=3x20 ø	470	350
D-K=4x22 ø		
Wekkers		
L = 1x22 ø	240	
M-O=3x18 ø	435	1340
P-S= 4x22 ø	700	
T-U= 2x26 ø	430	
Slof en boom	±3200	2800
spruit en blok	±550	480
vert. trekkracht :		-2200
		+ 3170 kg!

(kettingen 15% gesleten in 6 weken.)

De hoek vislijn is 12-16°; in de zuidelijke Noordzee, met duinen en stenen, tot meer dan 20°.



BIJLAGE 4.1 STUWKRACHT - SNELHEIDSVERBAND



RESISTANCE AND PROPELLING FORCES

BIJLAGE 4.2 EQ. HYDRODYN. KRACHT BIJ LIN. VERLOPENDE SNELHEID

In deze bijlage wordt de derde methode uit paragraaf 4.2 besproken. In deze derde methode wordt, om de equivalente hydrodynamische knooppuntskrachten te bepalen, aangenomen dat de snelheid lineair verloopt tussen de knooppunten.

$$\dot{t}(x) = \dot{t}_{i-1} + (\dot{t}_i - \dot{t}_{i-1}) \cdot \frac{x}{l_{i-1}}$$

Zowel \dot{t}_{i-1} als \dot{t}_i kunnen positief en negatief zijn, waardoor een splitsing gemaakt moet worden voor de situaties:

- 1) $\dot{t}_{i-1} \geq 0$ en $\dot{t}_i \geq 0$
- 2) $\dot{t}_{i-1} < 0$ en $\dot{t}_i < 0$
- 3) $\dot{t}_{i-1} \geq 0$ en $\dot{t}_i < 0$
- 4) $\dot{t}_{i-1} < 0$ en $\dot{t}_i \geq 0$

situatie 1 $\dot{t}_{i-1} \geq 0$ en $\dot{t}_i \geq 0$:

Uit het momenten evenwicht om punt i-1 volgt voor de hydrodynamische kracht bijdrage in de tangenciaal richting van segment i-1 op knooppunt i:

$$\begin{aligned} D_{t_{i-1},i} &= \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot \int_0^{l_{i-1}} K dt_{i-1} \cdot \dot{t}^2(x) \cdot x \cdot dx \\ &= \frac{-K dt_{i-1}}{l_{i-1}} \cdot [C1 \cdot \dot{t}_{i-1}^2 + C2 \cdot \dot{t}_{i-1} \cdot \dot{t}_i + C3 \cdot \dot{t}_i^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{met } C1 &= \frac{1}{12} l_{i-1}^2 \\ C2 &= \frac{1}{6} l_{i-1}^3 \\ C3 &= \frac{1}{4} l_{i-1}^4 \end{aligned}$$

Voor de normaal richting geldt hetzelfde, echter t wordt n:

$$D_{n_{i-1},i} = \frac{-K dn_{i-1}}{l_{i-1}} \cdot [C4 \cdot \dot{n}_{i-1}^2 + C5 \cdot \dot{n}_{i-1} \cdot \dot{n}_i + C6 \cdot \dot{n}_i^2]$$

$$\begin{aligned} \text{met } C4 &= \frac{1}{12} l_{i-1}^2 \\ C5 &= \frac{1}{6} l_{i-1}^3 \\ C6 &= \frac{1}{4} l_{i-1}^4 \end{aligned}$$

Ofwel in matrix notitie:

$$D_{i-1,i} = \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot [C_{i-1}] \cdot \left[\begin{bmatrix} C1 & 0 \\ 0 & C4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C2 & 0 \\ 0 & C5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C3 & 0 \\ 0 & C6 \end{bmatrix} \right] \cdot \begin{bmatrix} t_{i-1}^2 \\ t_{i-1} \cdot t_i \\ t_i^2 \end{bmatrix}$$

$$\text{met } [C_{i-1}] = \begin{bmatrix} Kdt_{i-1} & 0 \\ 0 & Kdn_{i-1} \end{bmatrix}$$

Voor $D_{i,i}$ geldt hetzelfde, doch hiervoor moeten vervangen worden t_{i-1} door t_{i+1} , l_{i-1} door l_i en Kd_{i-1} door Kd_i .

$$D_{i,i} = \frac{-1}{l_i} \cdot [C_i] \cdot \left[\begin{bmatrix} C7 & 0 \\ 0 & C10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C8 & 0 \\ 0 & C11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C9 & 0 \\ 0 & C12 \end{bmatrix} \right] \cdot \begin{bmatrix} t_i^2 \\ t_i \cdot t_{i+1} \\ t_{i+1}^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{met } C7 &= \frac{1}{4} \cdot l_i^2 \\ C8 &= \frac{1}{6} \cdot l_i^3 \\ C9 &= \frac{1}{12} \cdot l_i^4 \\ C10 &= \frac{1}{4} \cdot l_i^2 \\ C11 &= \frac{1}{6} \cdot l_i^3 \\ C12 &= \frac{1}{12} \cdot l_i^4 \end{aligned}$$

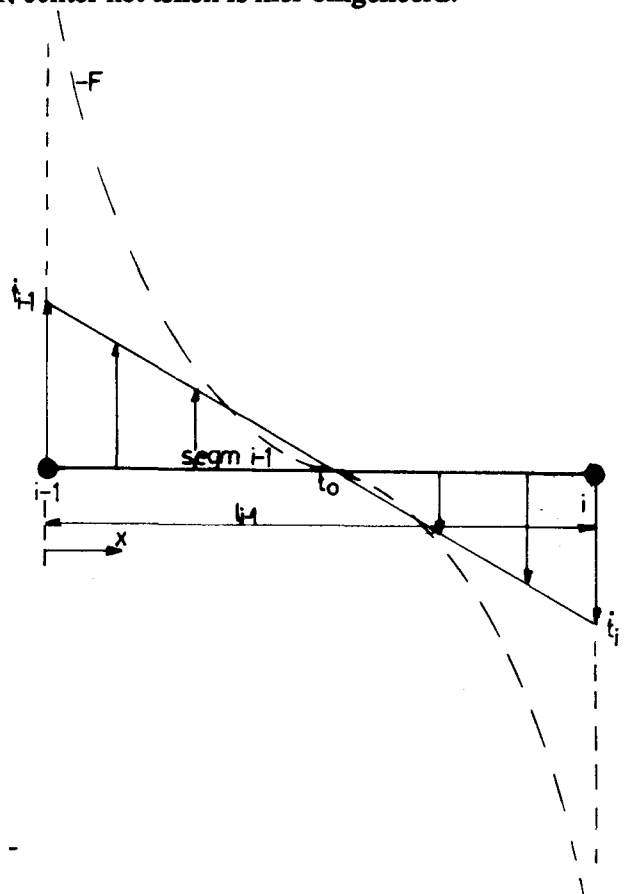
situatie 2 $t_{i-1} < 0$ en $t_i < 0$:

In deze situatie geldt hetzelfde als in situatie 1, echter het teken is hier omgekeerd:

$$D_{i-1,i} = \frac{+1}{l_{i-1}} \cdot \int_0^{l_{i-1}} t^2(x) \cdot x \cdot dx$$

situatie 3 $t_{i-1} \geq 0$ en $t_i < 0$:

Deze situatie is weergegeven in de neven staande figuur.



Voor $t_{i,0}$ geldt : $t_{i,0} = \frac{-\dot{t}_{i-1}}{\dot{t}_i - \dot{t}_{i-1}} \cdot l_i$

Uit het momenten evenwicht om punt i-1 volgt voor de hydrodynamische kracht bijdrage in de tangentiaal richting van segment i-1 op knooppunt i:

$$D_{t_{i-1},i} = \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot \left[+ \int_0^{t_{i-1,0}} K dt_{i-1} \cdot \dot{t}^2(x) \cdot x \cdot dx - \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot \int_{t_{i-1,0}}^{l_{i-1}} K dt_{i-1} \cdot \dot{t}^2(x) \cdot x \cdot dx \right]$$

$$= \frac{-K dt_{i-1}}{l_{i-1}} \cdot [C1 \cdot \dot{t}_{i-1}^2 + C2 \cdot \dot{t}_{i-1} \cdot \dot{t}_i + C3 \cdot \dot{t}_i^2]$$

met

$$C1 = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot \dot{t}_{i-1,0}^2 - l_{i-1}^2) - \frac{2}{3} \cdot \frac{(2 \cdot \dot{t}_{i-1,0}^3 - l_{i-1}^3)}{l_{i-1}} + \frac{1}{4} \cdot \frac{(2 \cdot \dot{t}_{i-1,0}^4 - l_{i-1}^4)}{l_{i-1}^2}$$

$$C2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{(2 \cdot \dot{t}_{i-1,0}^3 - l_{i-1}^3)}{l_{i-1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(2 \cdot \dot{t}_{i-1,0}^4 - l_{i-1}^4)}{l_{i-1}^2}$$

$$C3 = \frac{1}{4} \cdot \frac{(2 \cdot \dot{t}_{i-1,0}^4 - l_{i-1}^4)}{l_{i-1}^2}$$

Voor $D_{n_{i-1},i}$ geldt hetzelfde als voor $D_{t_{i-1},i}$, echter hiervoor moet t vervangen worden door n. Zodoende ontstaan uitdrukkingen voor C4, C5 en C6.

Voor $D_{i,j}$ geldt hetzelfde als voor $D_{i-1,j}$, doch hiervoor moeten vervangen worden \dot{t}_{i-1} door \dot{t}_{i+1} , l_{i-1} door l_i en K_{i-1} door K_i . Zodoende ontstaan uitdrukkingen voor C7, C8, C9, C10, C11 en C12.

situatie 4 $\dot{t}_{i-1} < 0$ en $\dot{t}_i \geq 0$:

In deze situatie geldt hetzelfde als in situatie 3, echter het teken is hier omgekeerd.

$$D_{t_{i-1},i} = \frac{+1}{l_{i-1}} \cdot \left[+ \int_0^{t_{i-1,0}} K dt_{i-1} \cdot \dot{t}^2(x) \cdot x \cdot dx - \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot \int_{t_{i-1,0}}^{l_{i-1}} K dt_{i-1} \cdot \dot{t}^2(x) \cdot x \cdot dx \right]$$

Voor alle vier beschreven situaties geldt:

$$D_{i-1,i} = \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot [C_i] \cdot \begin{bmatrix} C1 & 0 \\ 0 & C4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C2 & 0 \\ 0 & C5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C3 & 0 \\ 0 & C6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{t}_{i-1}^2 \\ \dot{t}_{i-1} \cdot \dot{t}_i \\ \dot{t}_i^2 \end{bmatrix}$$

$$[\text{trans}]^{-1} \cdot \mathbf{FD}_{i-1,i} = \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot [C_i] \cdot \begin{bmatrix} [C1 \ 0] & [C2 \ 0] & [C3 \ 0] \\ [0 \ C4] & [0 \ C5] & [0 \ C6] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\text{trans}]^{-1} \cdot \dot{l}_{i-1}^2 \\ [\text{trans}]^{-1} \cdot \dot{l}_{i-1} \cdot \dot{l}_i \\ [\text{trans}]^{-1} \cdot \dot{l}_i^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{FD}_{i-1,i} = \frac{-1}{l_{i-1}} \cdot [[Ck1.4_{i-1}] \ [Ck2.5_{i-1}] \ [Ck3.6_{i-1}]] \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_{i-1}^2 \\ \dot{x}_{i-1} \cdot \dot{x}_i \\ \dot{x}_i^2 \end{bmatrix}$$

met

$$[Ck1.4_{i-1}] = [\text{trans}] [C_{i-1}] \begin{bmatrix} C1 & 0 \\ 0 & C4 \end{bmatrix} [\text{Trans}]^{-1}$$

Voor $\mathbf{FD}_{i,i}$ geldt hetzelfde als voor $\mathbf{FD}_{i-1,i}$, waardoor de volgende matrix ontstaat:

$$\mathbf{FD}_{i,i} = \frac{-1}{l_i} \cdot [[Ck7.10_i] \ [Ck8.11_i] \ [Ck9.12_i]] \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_i^2 \\ \dot{x}_i \cdot \dot{x}_{i+1} \\ \dot{x}_{i+1}^2 \end{bmatrix}$$

De totale equivalente hydrodynamische kracht op knooppunt i betrokken op de globale snelheden is opgebouwd uit de bijdrage van de hydrodynamische kracht van segment i ($\mathbf{FD}_{i,i}$), en de bijdrage van de hydrodynamische kracht van segment $i-1$ ($\mathbf{FD}_{i-1,i}$):

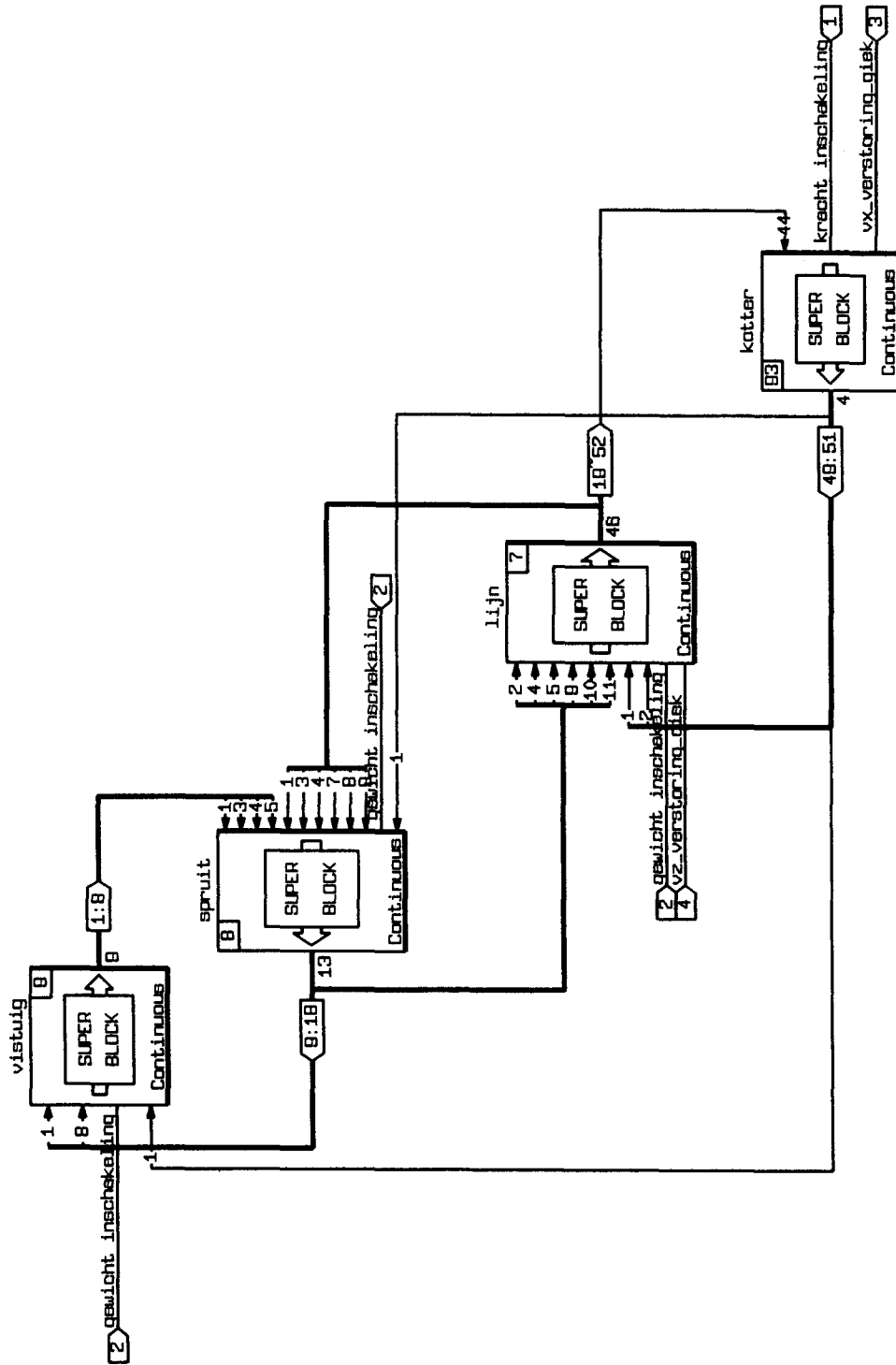
$$\mathbf{FD}_i = \mathbf{FD}_{i-1,i} + \mathbf{FD}_{i,i}$$

BIJLAGE 5.1 TUIGMODEL IN MATRIX-X

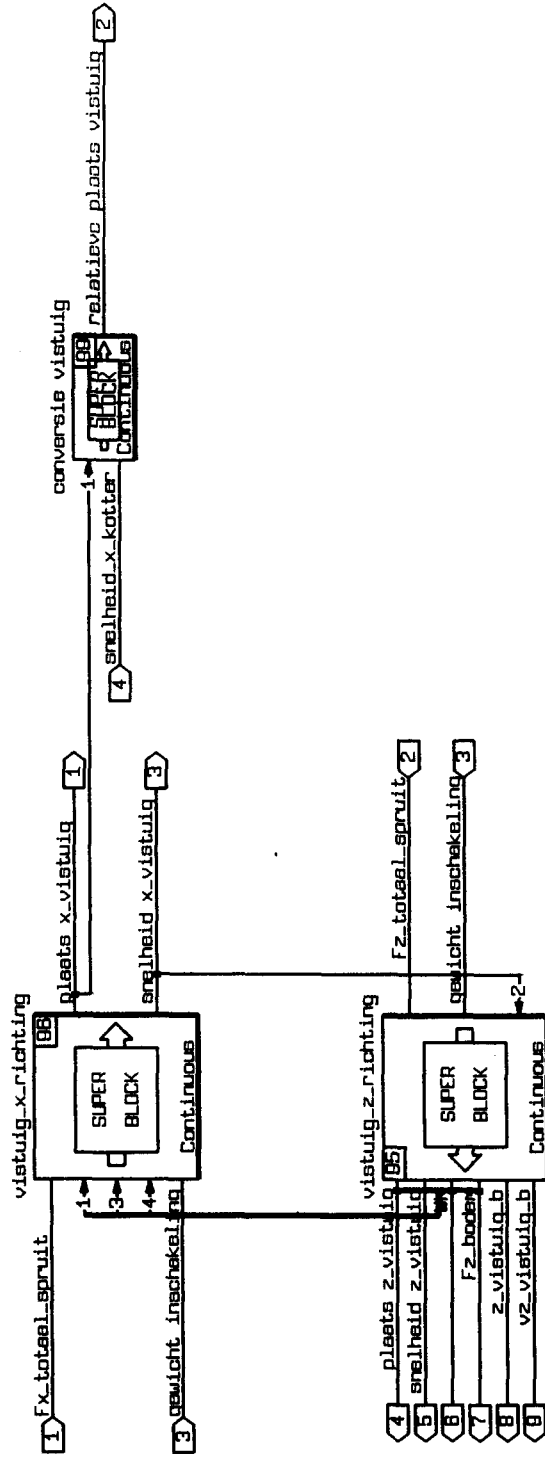
In deze bijlage is het model opgenomen van het tuig zoals is geïmplementeerd in het simulatie pakket "Matrix-x". Het model wordt opgebouwd met blokken die signalen kunnen bewerken. Elk blok heeft daarom in- en uitgangen. Om al deze blokken logisch en overzichtelijk te rangschikken, is het mogelijk een hiërarchie in de blokken aan te brengen. De bovenste laag van deze hiërarchie bevat in mijn model de blokken "vistuig", "spruit", "lijn" en "kotter". De verschillende hiërarchie lagen zijn steeds van links naar rechts en van onder naar boven uitgewerkt. De één na hoogste laag bevat altijd de globale richtingen van de componenten. Vervolgens worden deze in de onderliggende lagen uitgewerkt. Maximaal komen er vier boven elkaar liggende lagen in het model voor. De lagen zijn onderling verbonden door externe in- en uitgangen, die per laag genummerd worden. De externe ingangen wijzen naar een blok toe, de externe uitgangen wijzen van een blok af. Door deze signalen zinnige namen te geven kan het overzicht bewaard worden, tevens is hierdoor controle op de juistheid van de verbindingen mogelijk. Omdat bij een toenemend aantal segmenten het aantal verbindingen in het model zeer snel groeit, is het uitvoeren van deze controle een belangrijk hulpmiddel bij het opsporen van fouten.

Op het hoogste niveau worden de in- en uitgangen van het model gedefinieerd. Zodoende kunnen de verstoringen van de snelheden in de globale x- en z-richting van buitenaf aan het model opgelegd worden. De uitgangen van het model bestaan uit de signalen waarin de gebruiker geïnteresseerd is. In bijlagen 5.3 en 5.4 zijn hiervan voorbeelden gegeven.

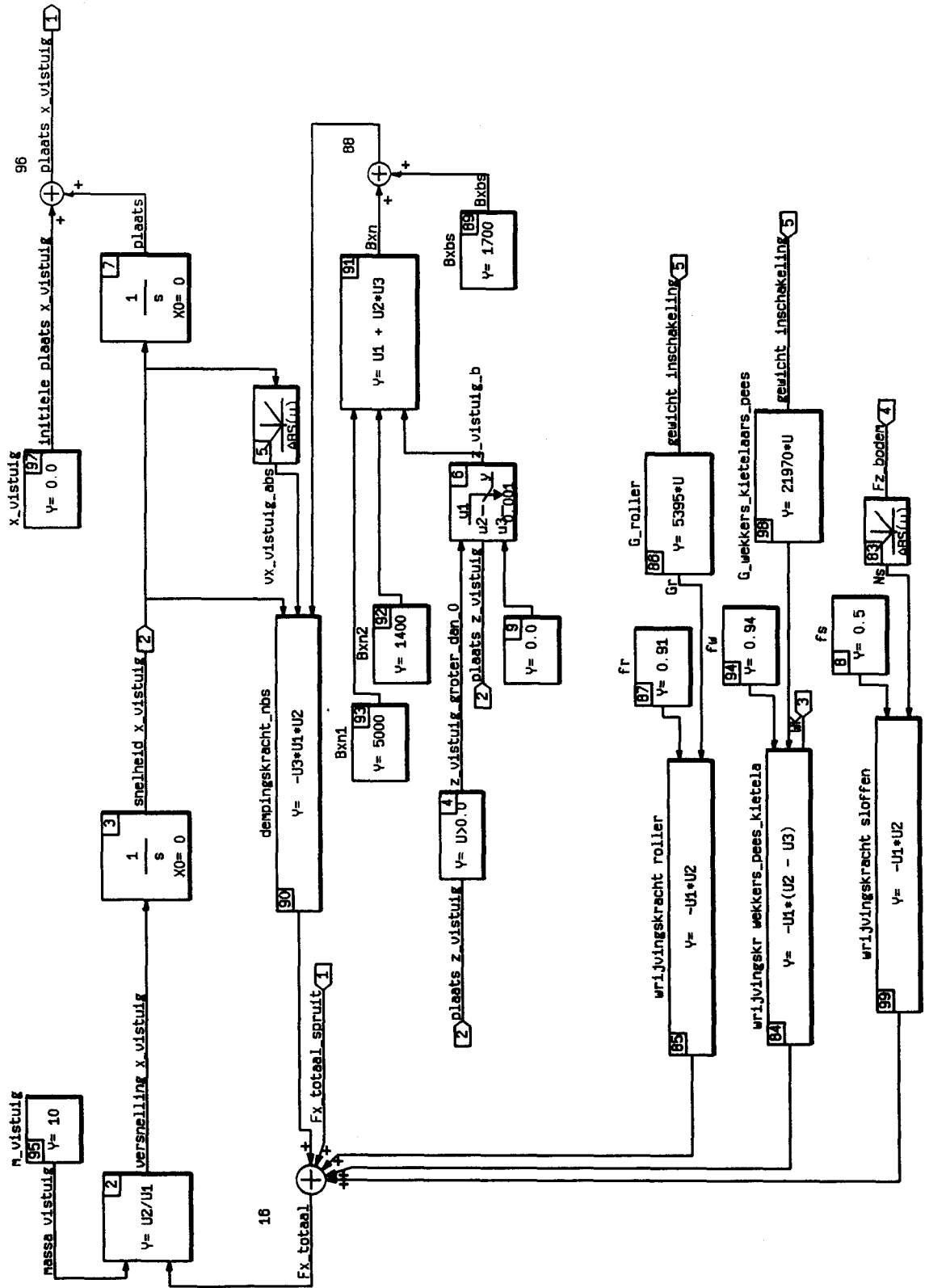
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 tuig 4 52



Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 vstuig 4 9

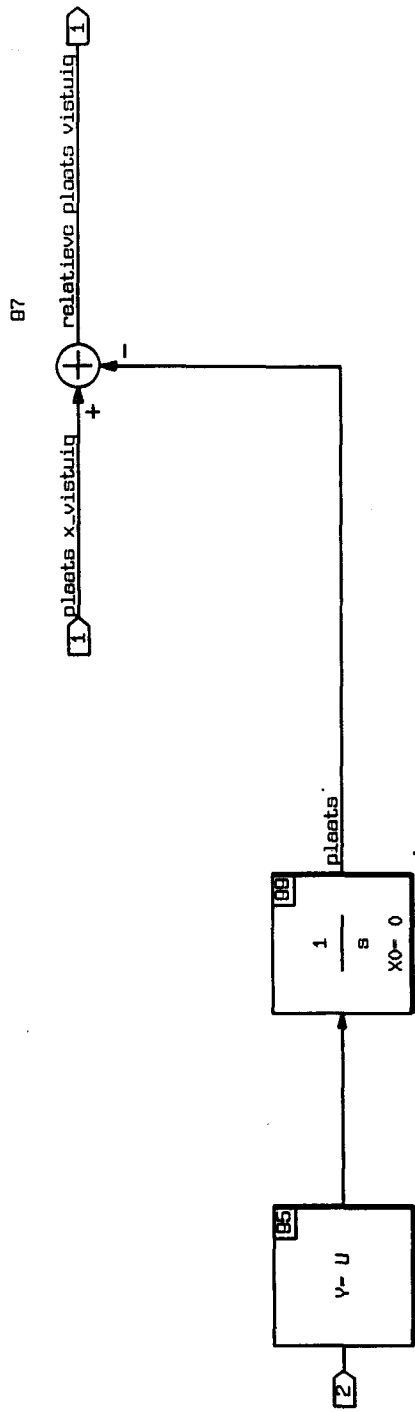


Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 vstuig_x_richting 5 2

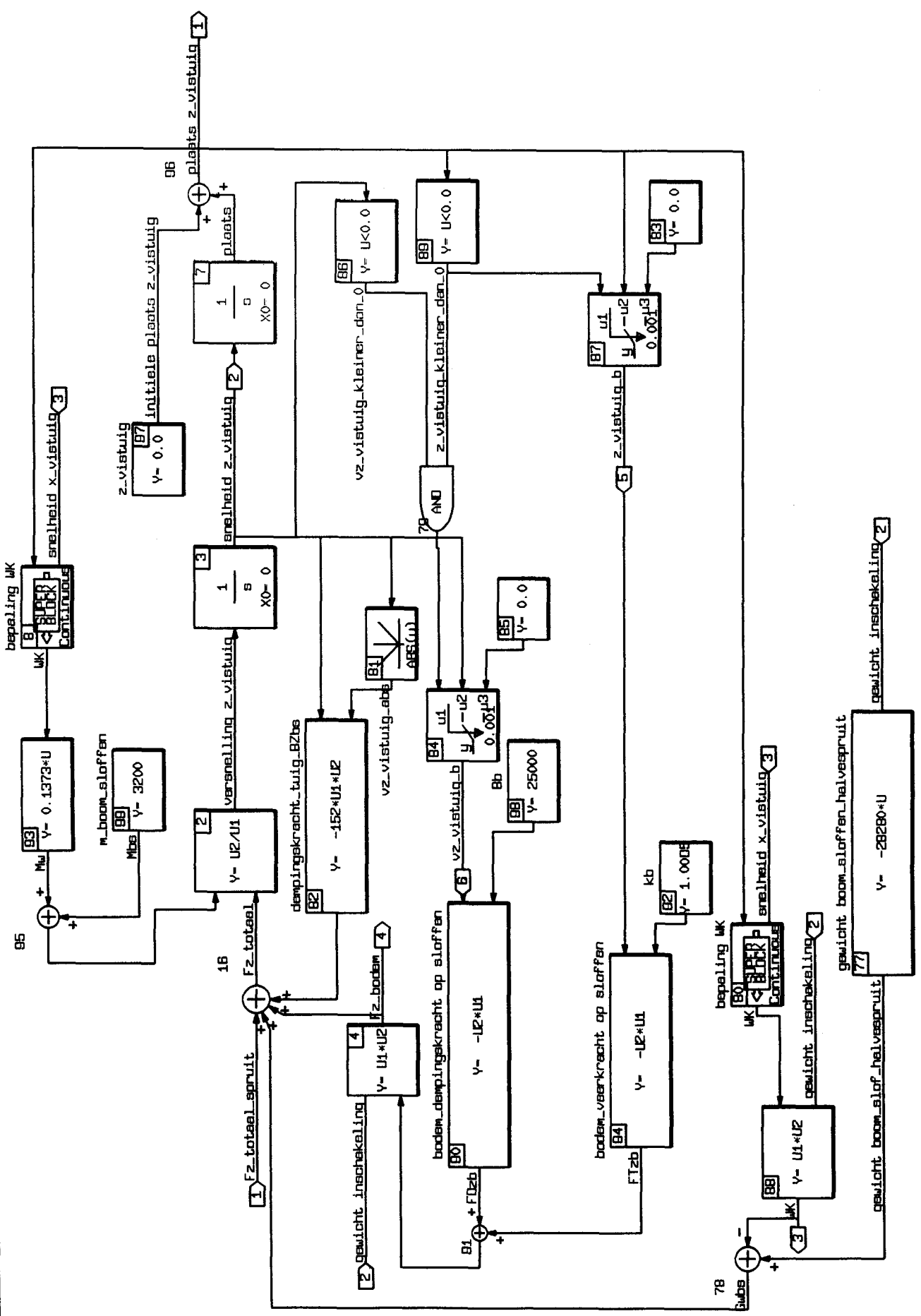


20-AUG-91

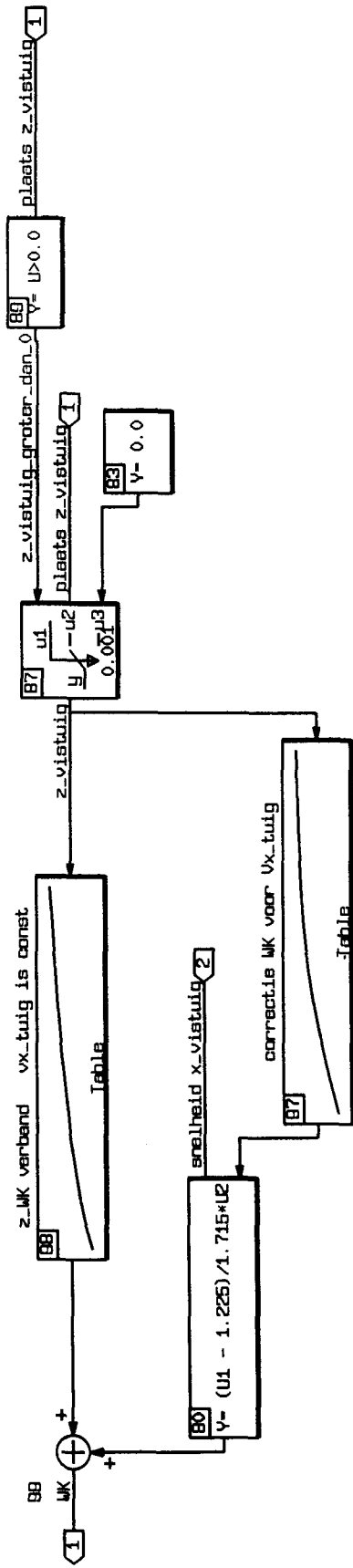
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
conversie vinstuig 2 1



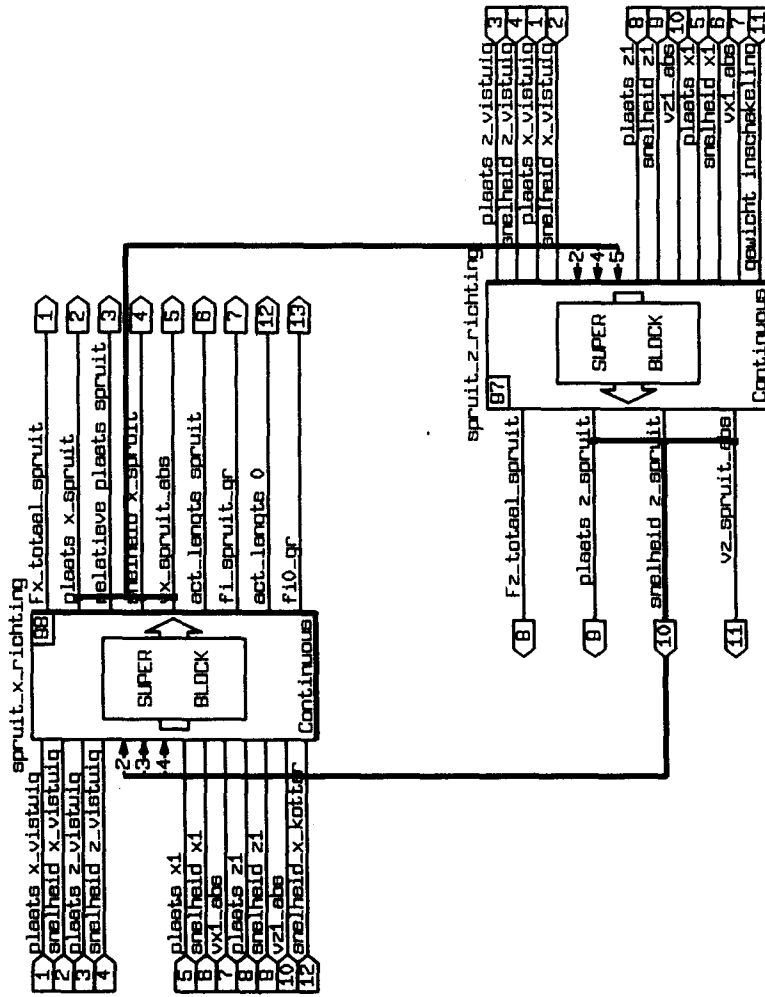
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 vistuig_z_richting 6



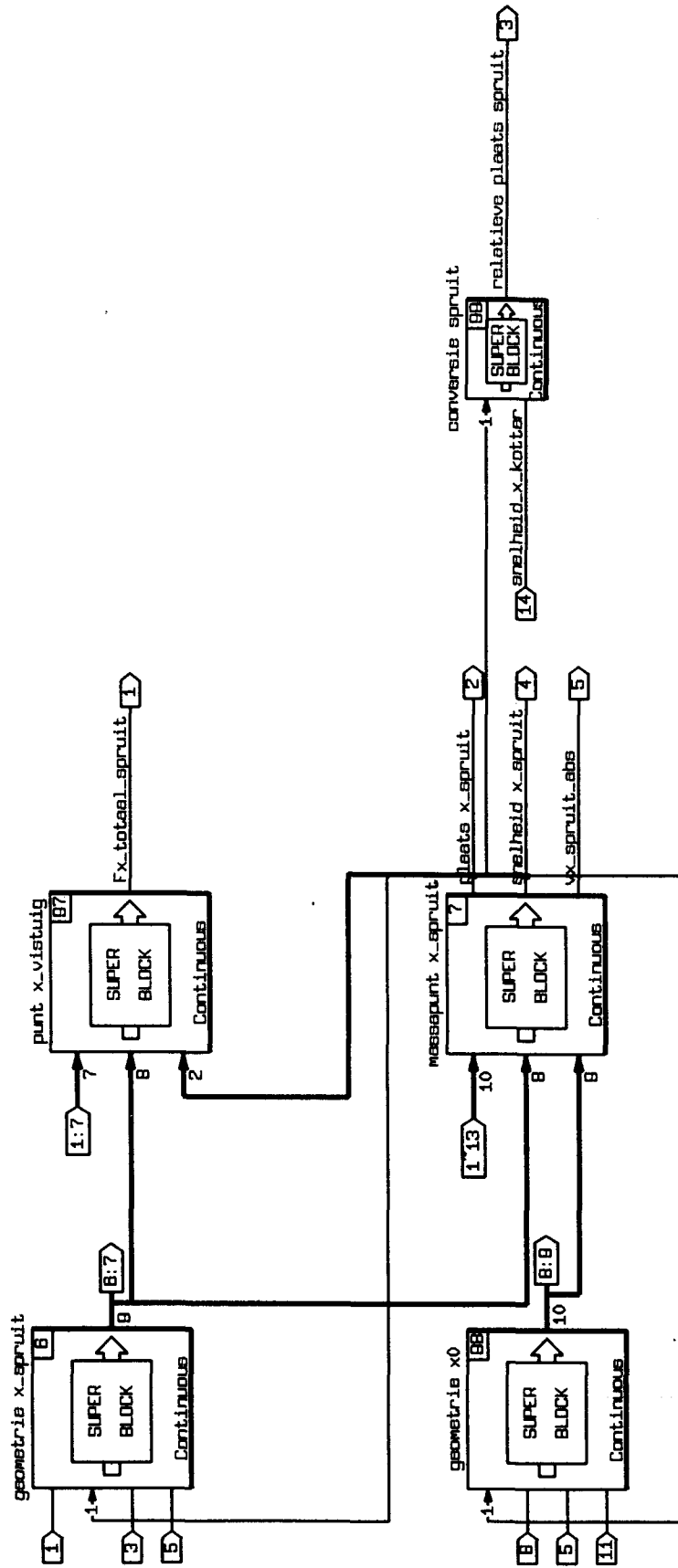
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 bepaling WK 2 1



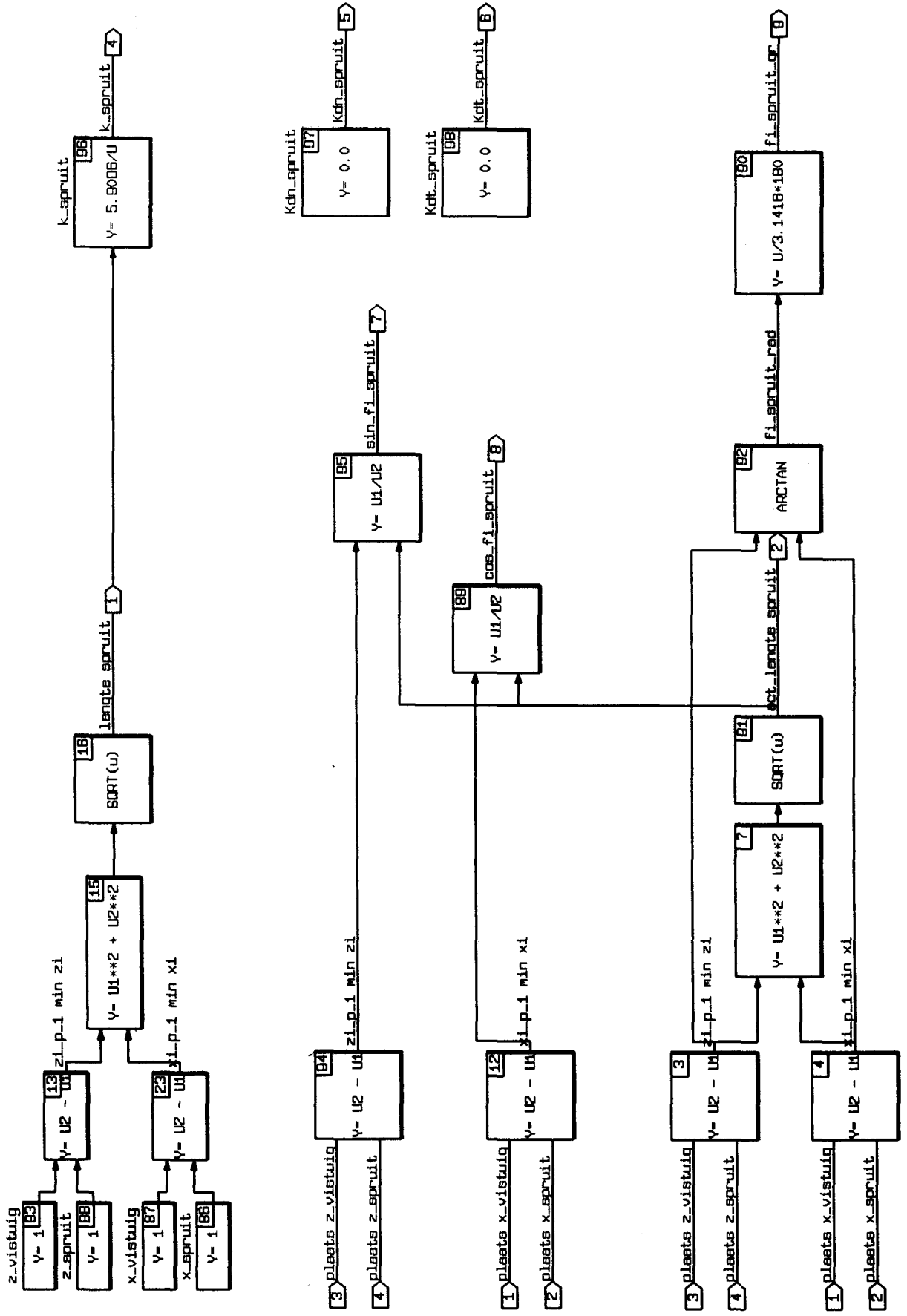
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
spruit 12 13



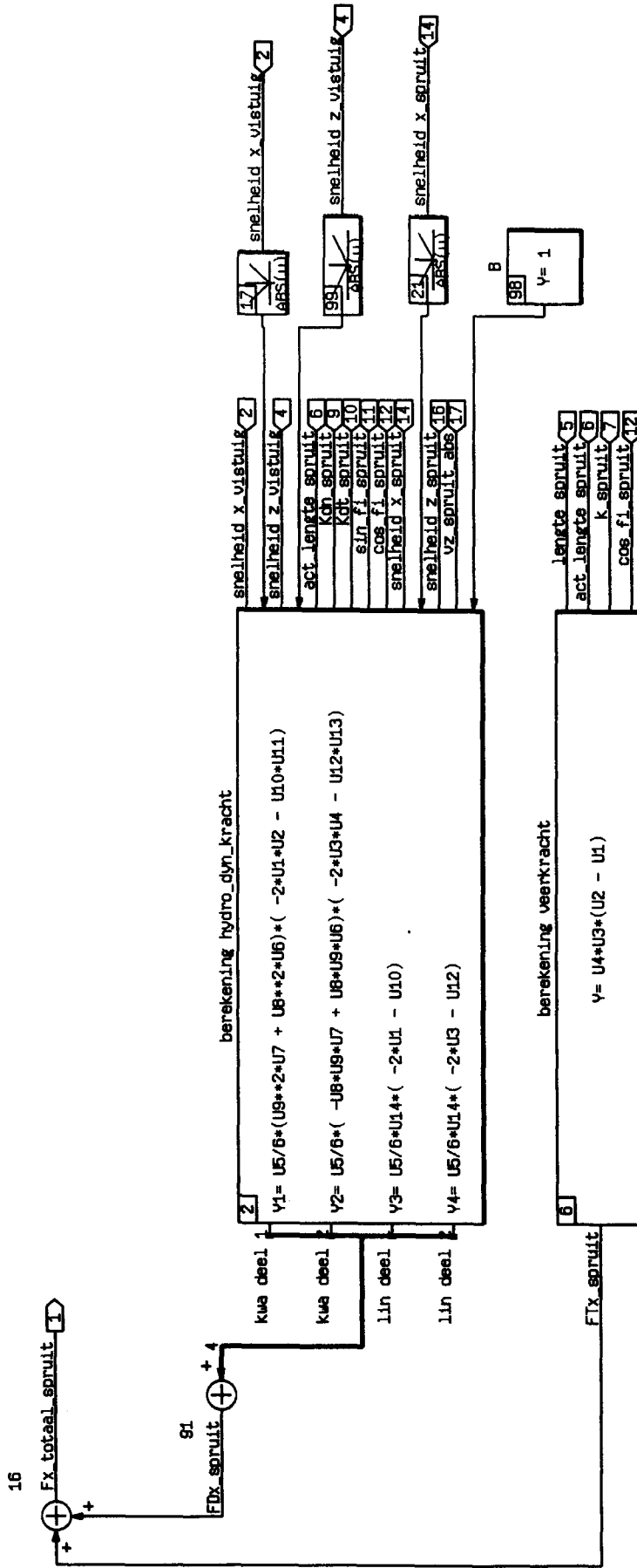
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 spruit_x_richting 14 9



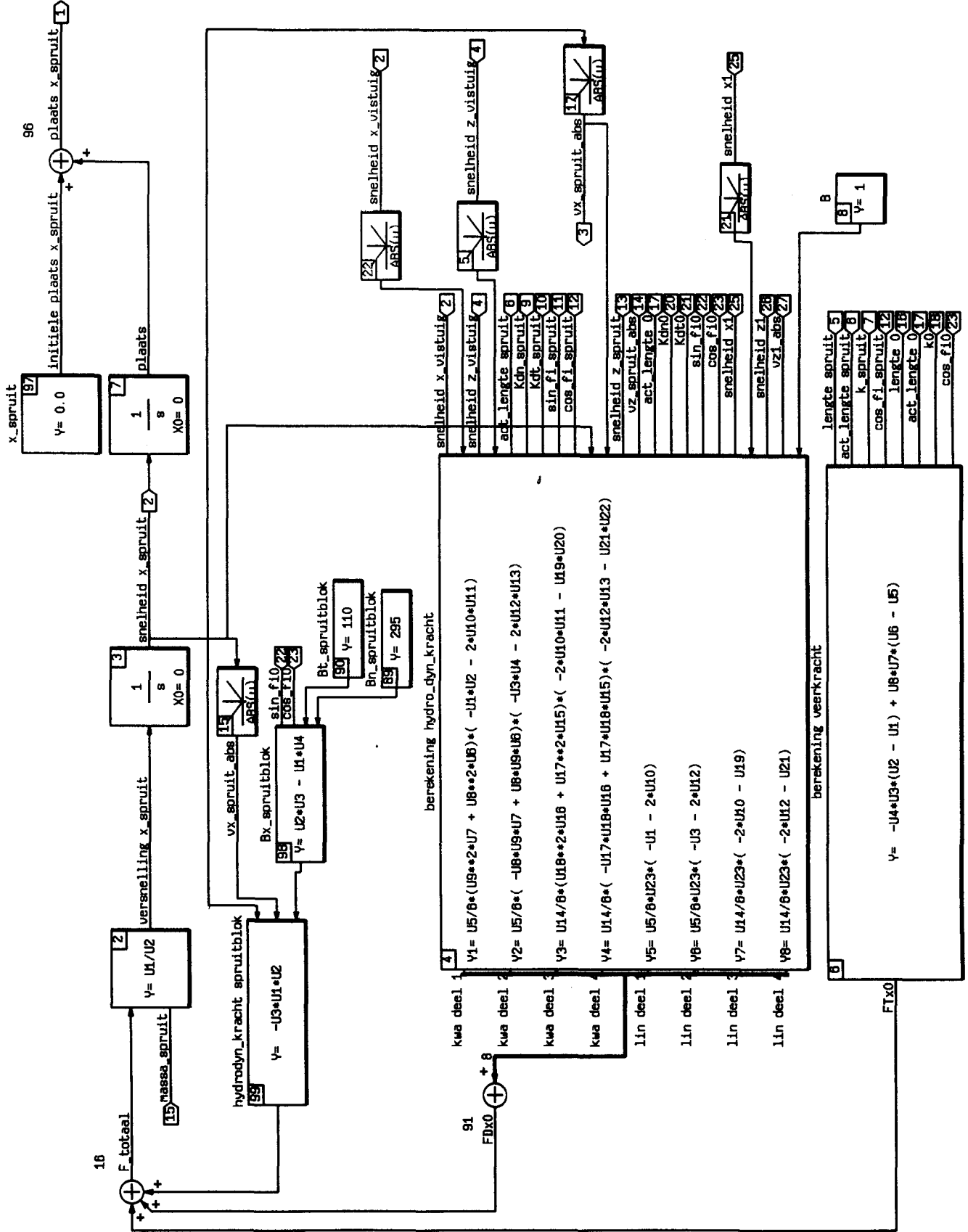
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 geometrie x_spruit 4 9



Continuous Super-Block
 punt x_vistuing
 Ext. Inputs Ext. Outputs
 17 1



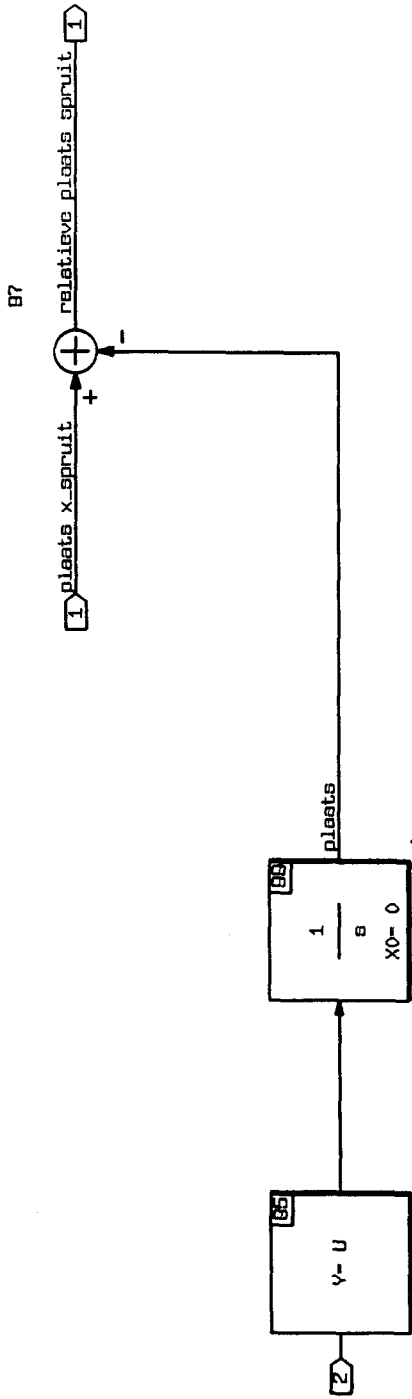
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
massapunt x_spruit 3



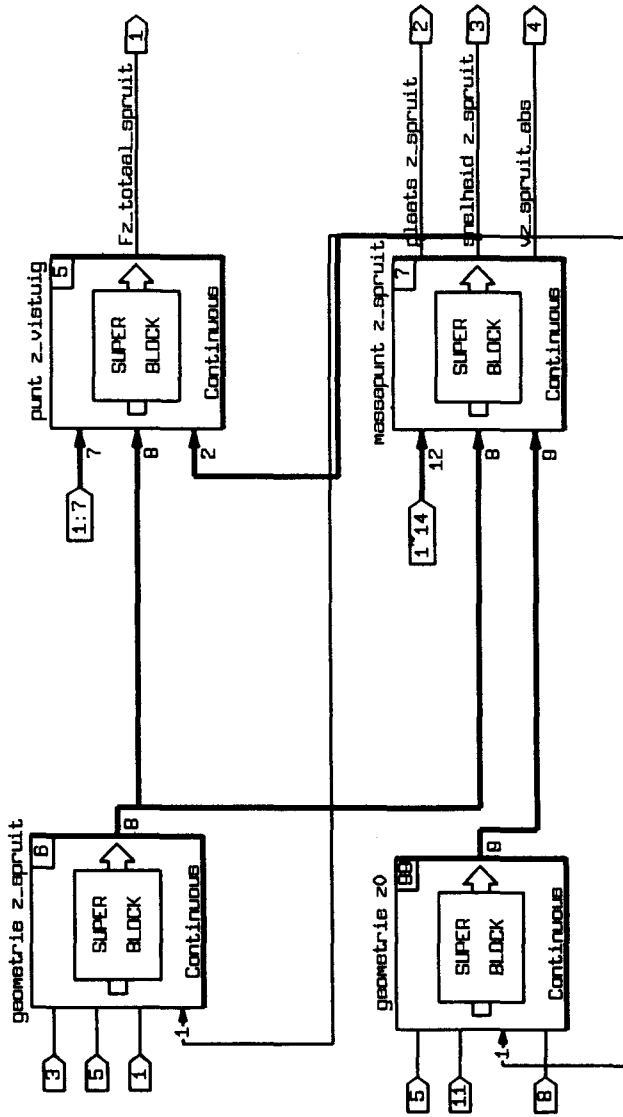
20-AUG-91

Continuous Super-Block
conversie spruit

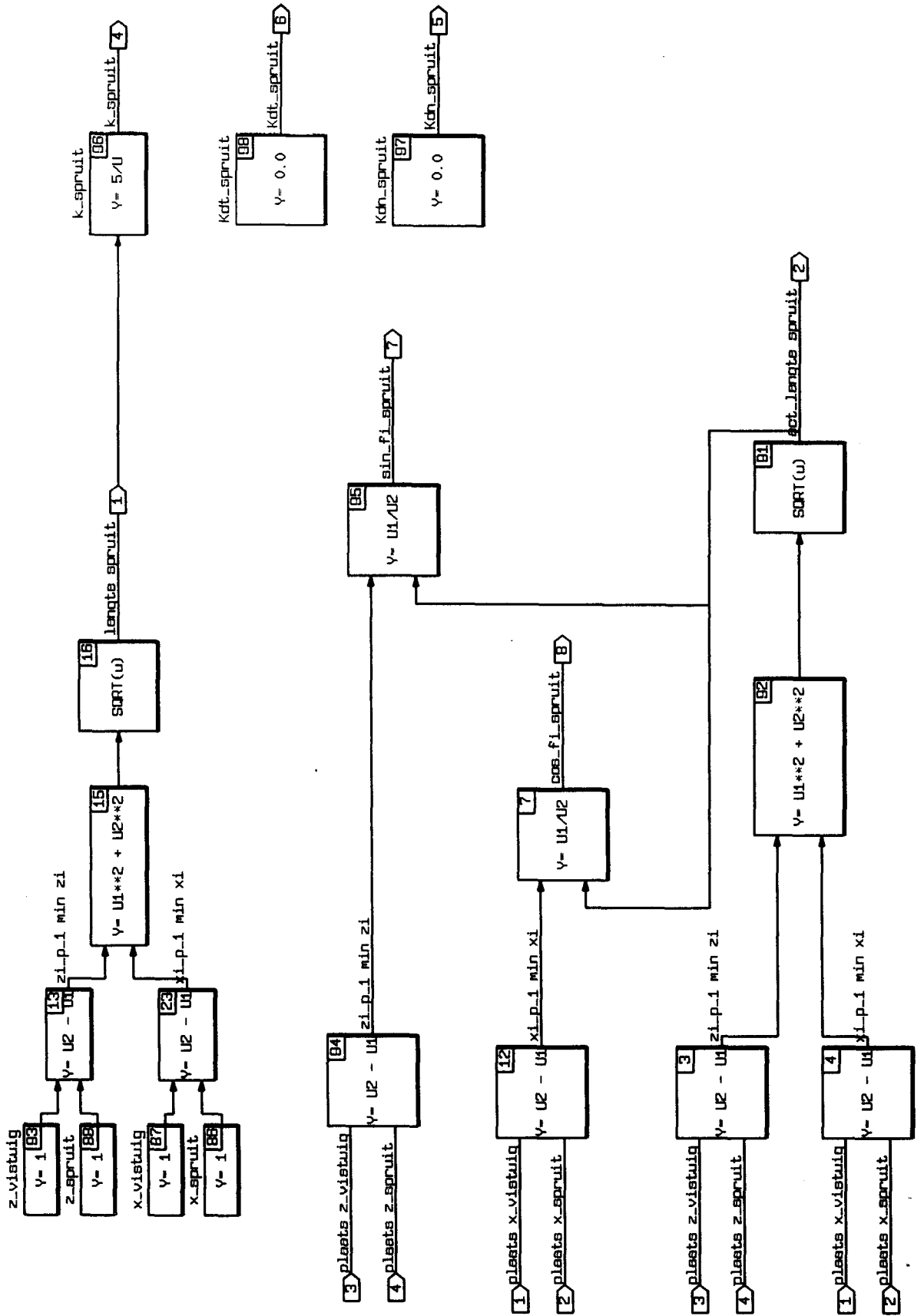
Ext. Inputs	Ext. Outputs
2	1



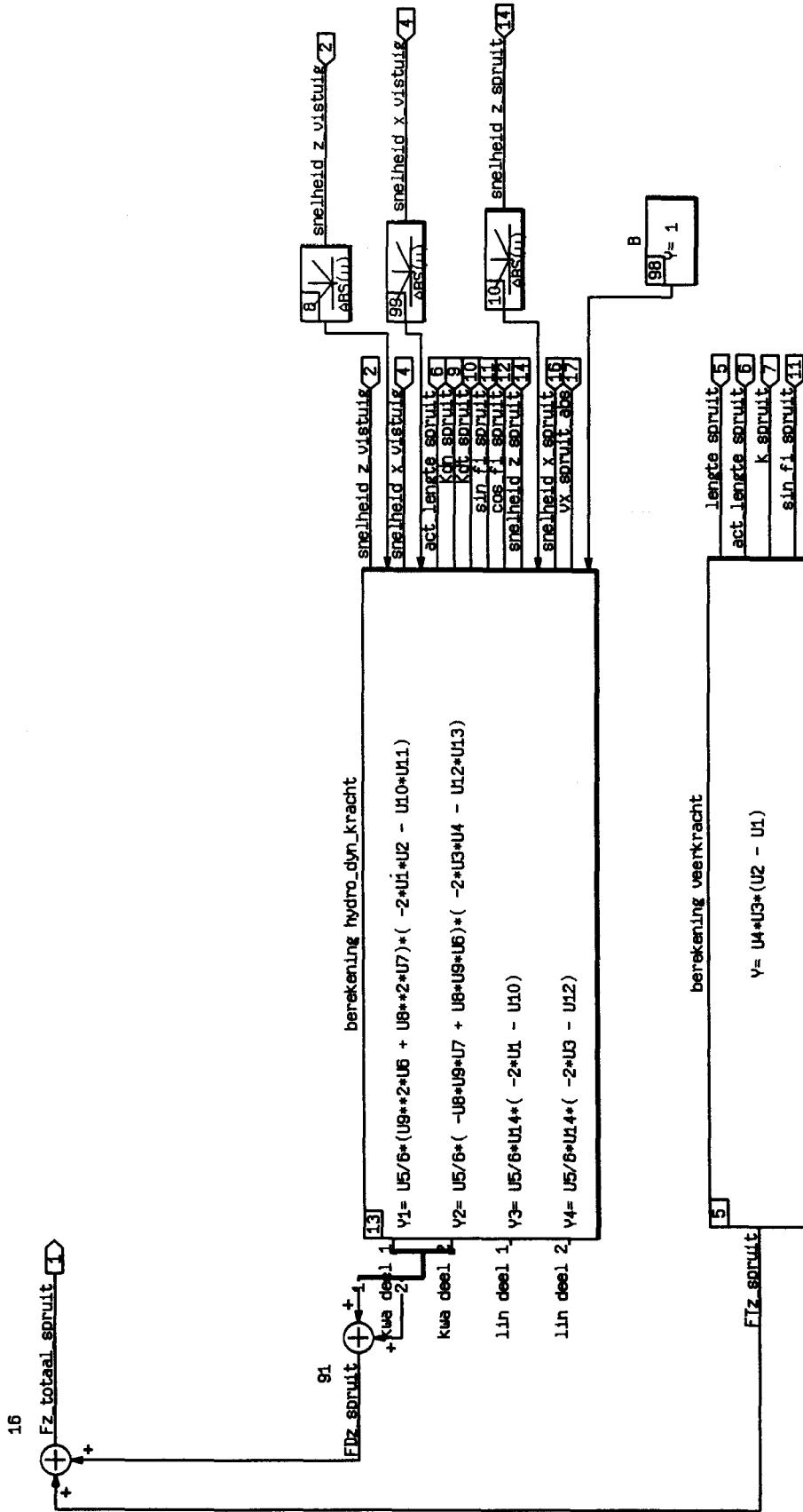
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
spruit_z_richting 14 4



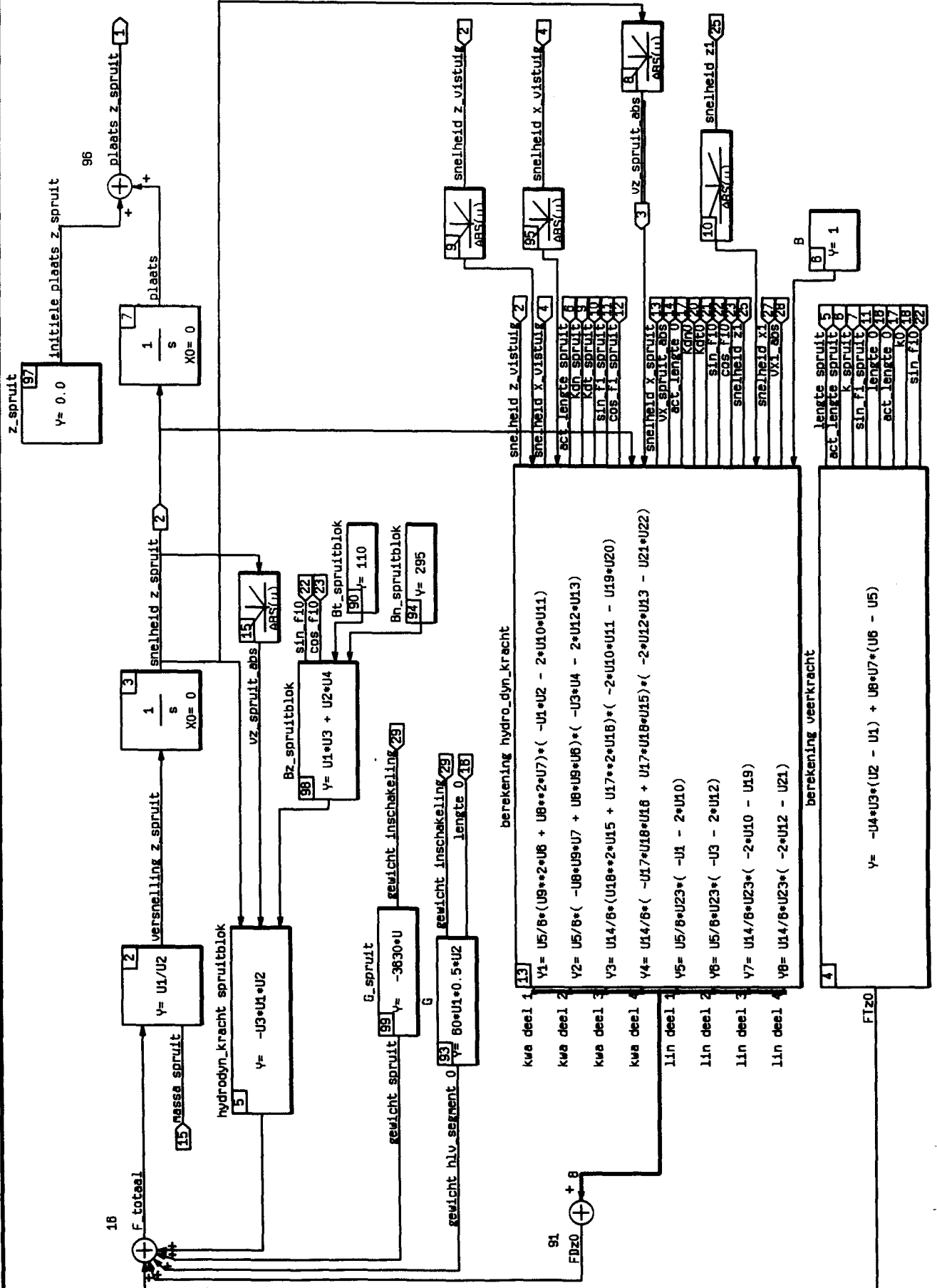
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 geometrie z_spruit 4 8



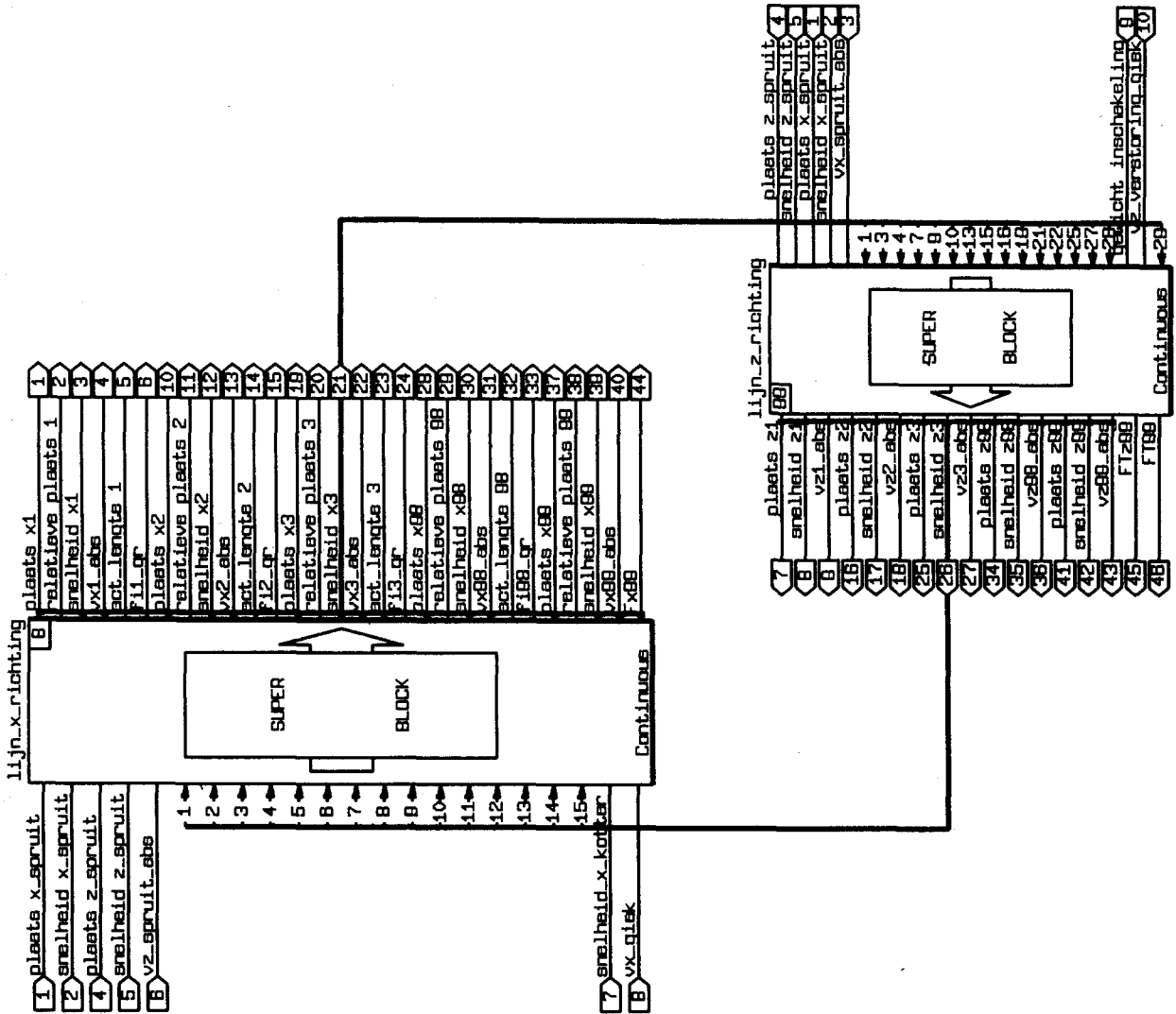
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 punt z_vistuing 17 1



Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 massapunt z_spruit 29 3

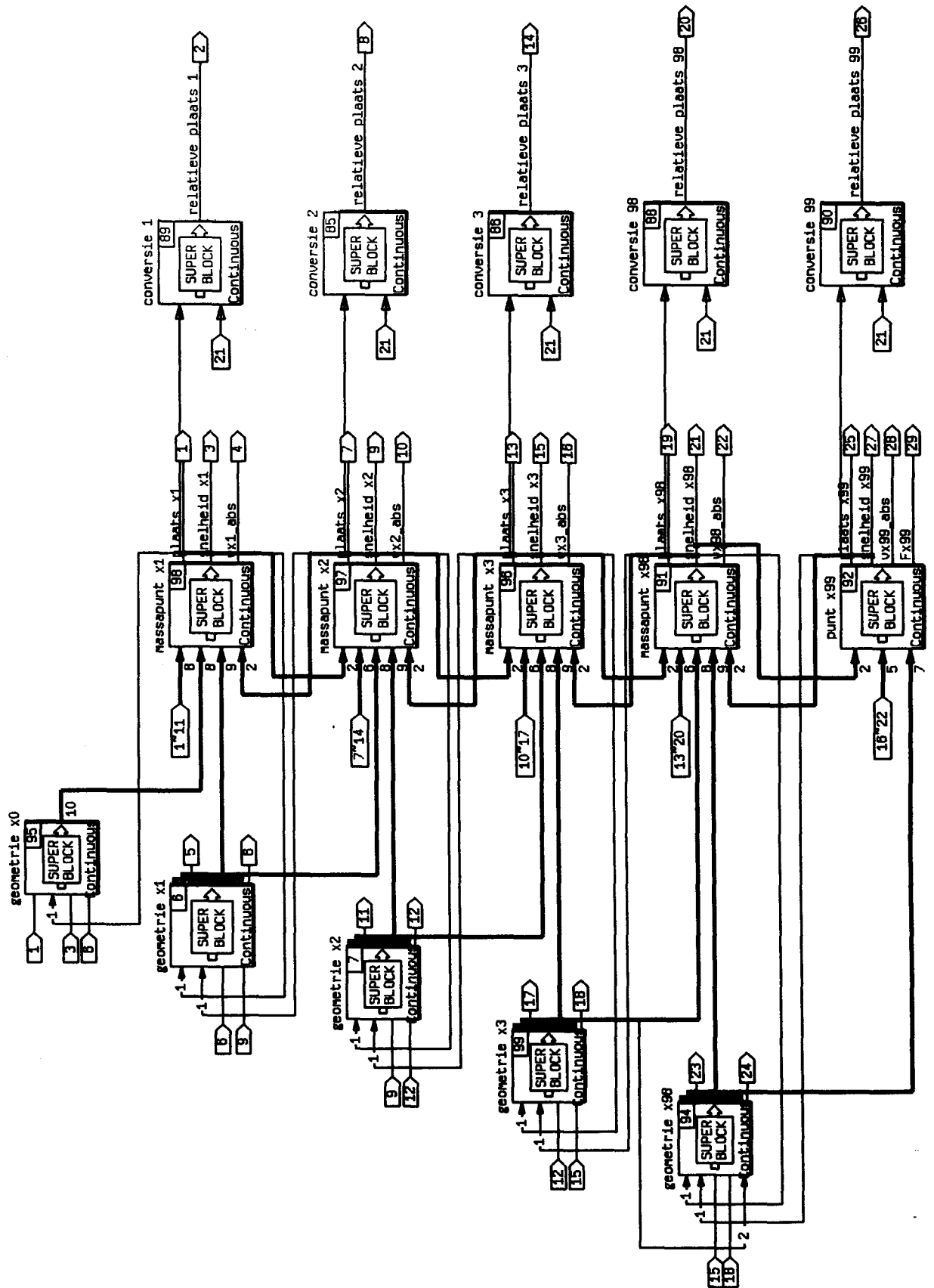


Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
lijn 10 46

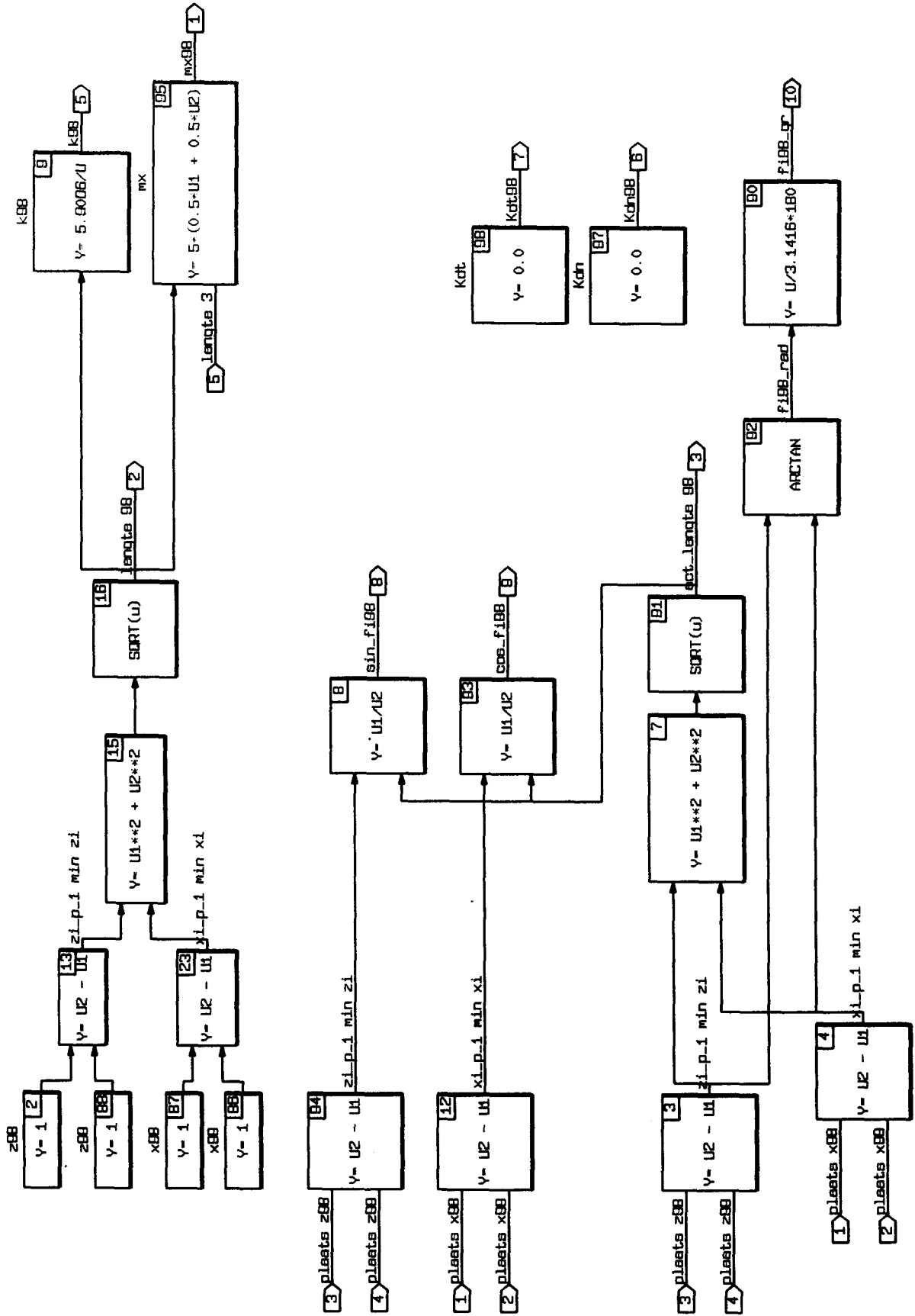


Continuous Super-Block
lijn_x_richting

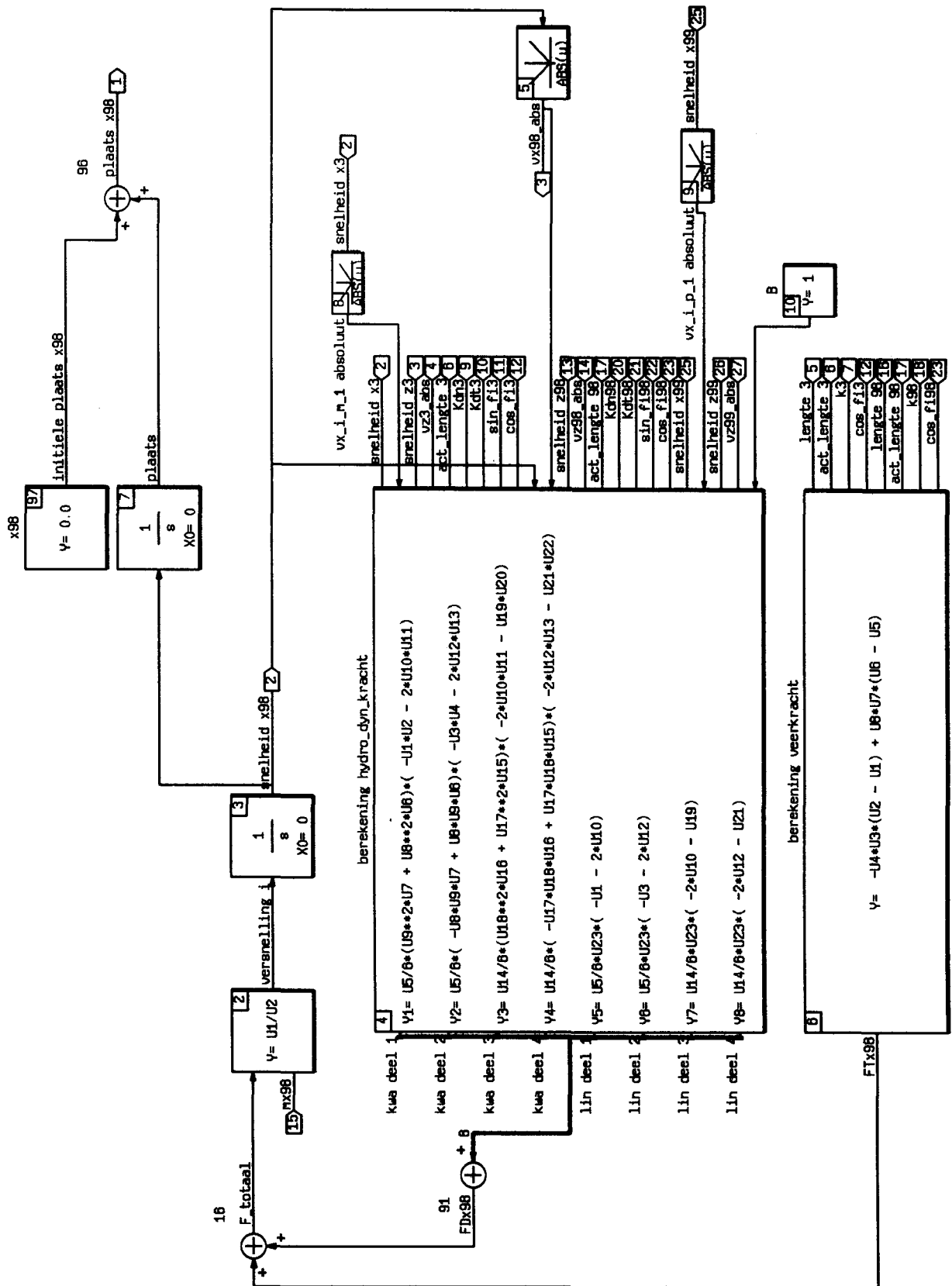
Ext. Inputs Ext. Outputs
22 29



Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 geometrie x98 5 10

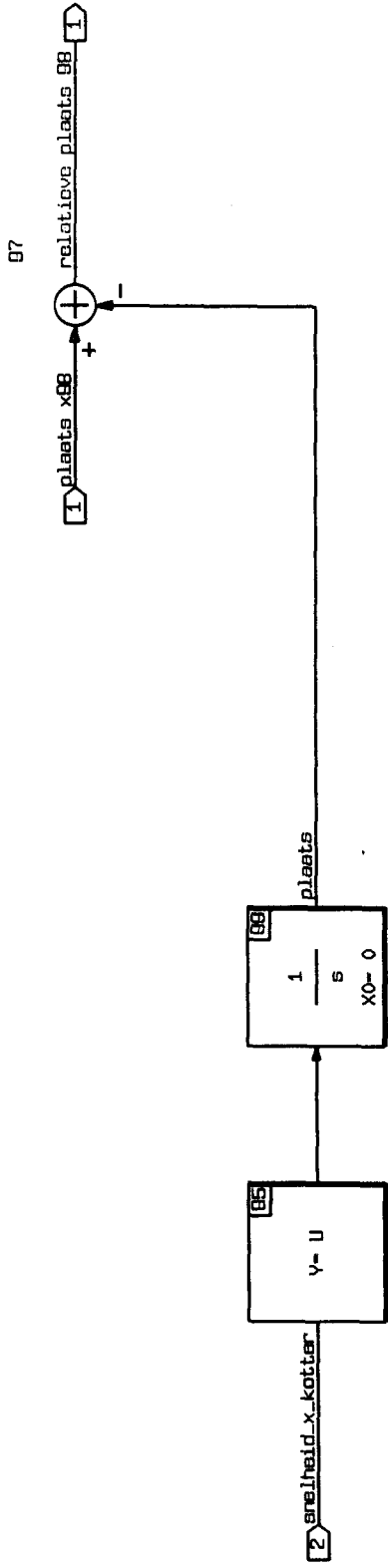


Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
massapunt x98 3

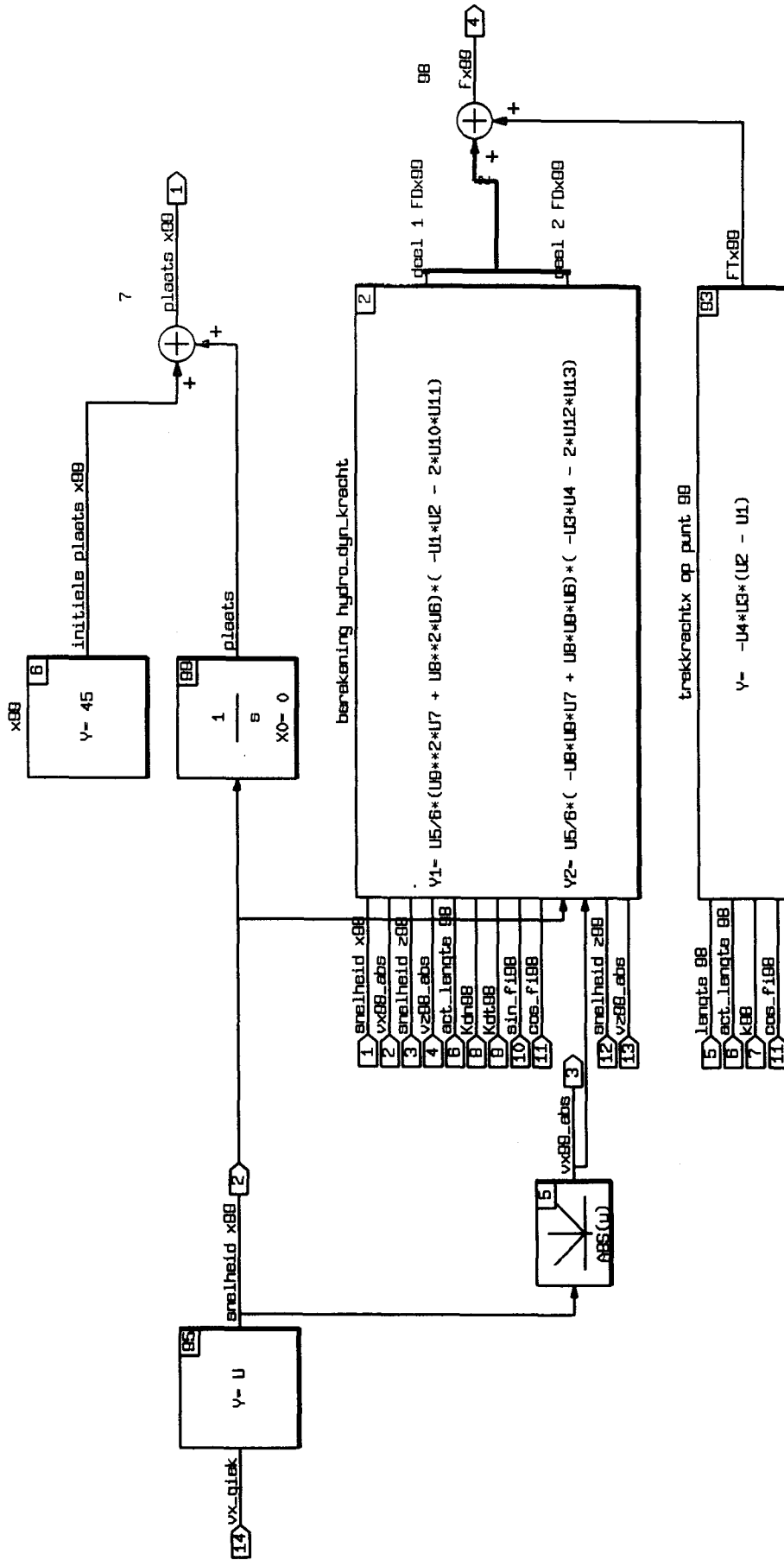


20-AUG-91

Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
conversie 98 2 1

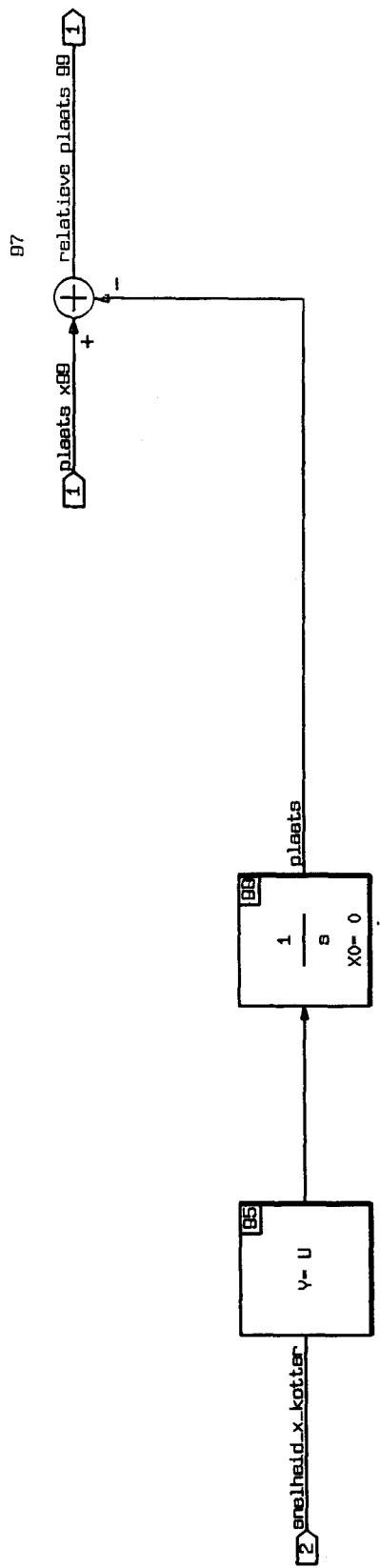


Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
punt x99 14 4

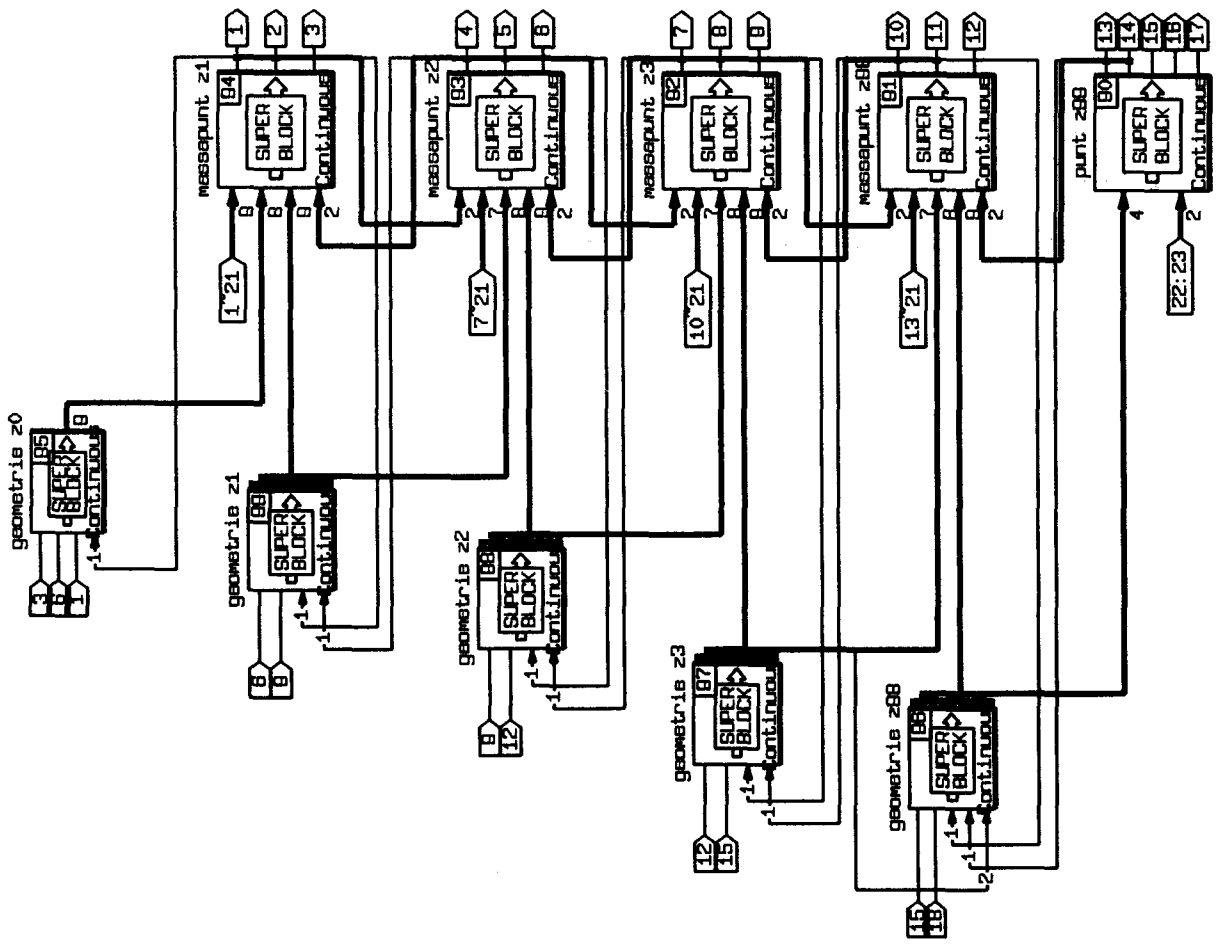


20-AUG-91

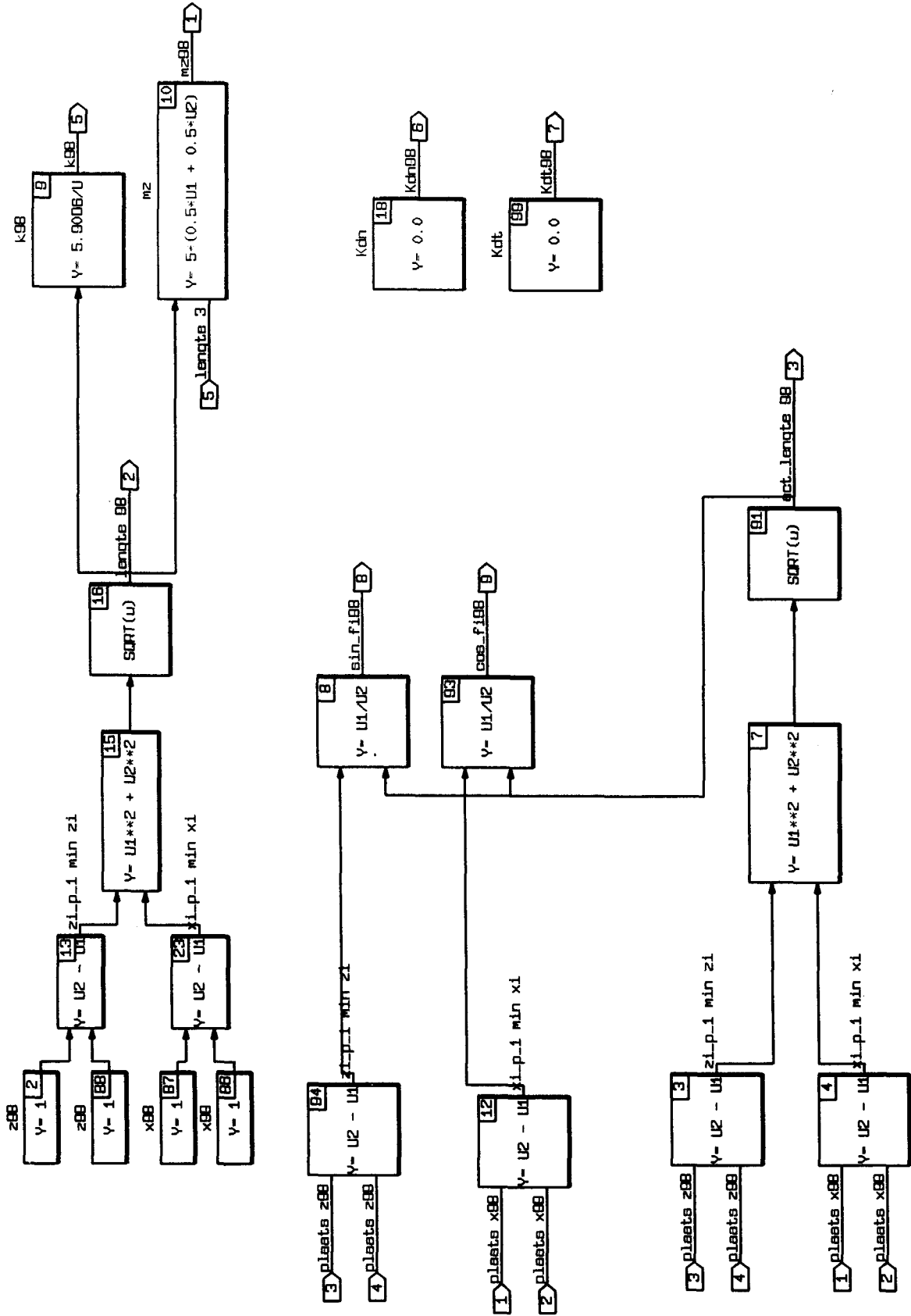
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
conversie 99 2 1



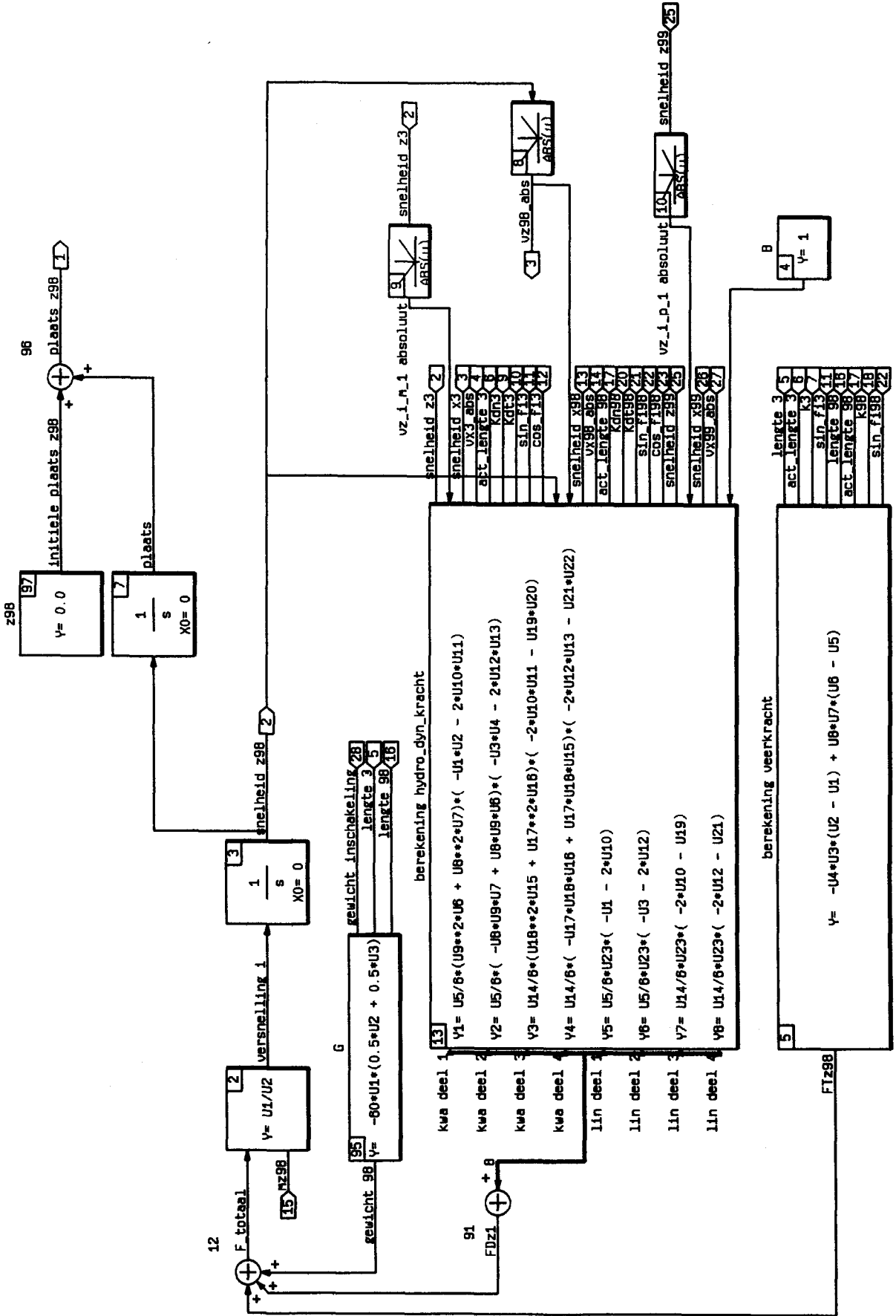
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
lijn_z_richting 17



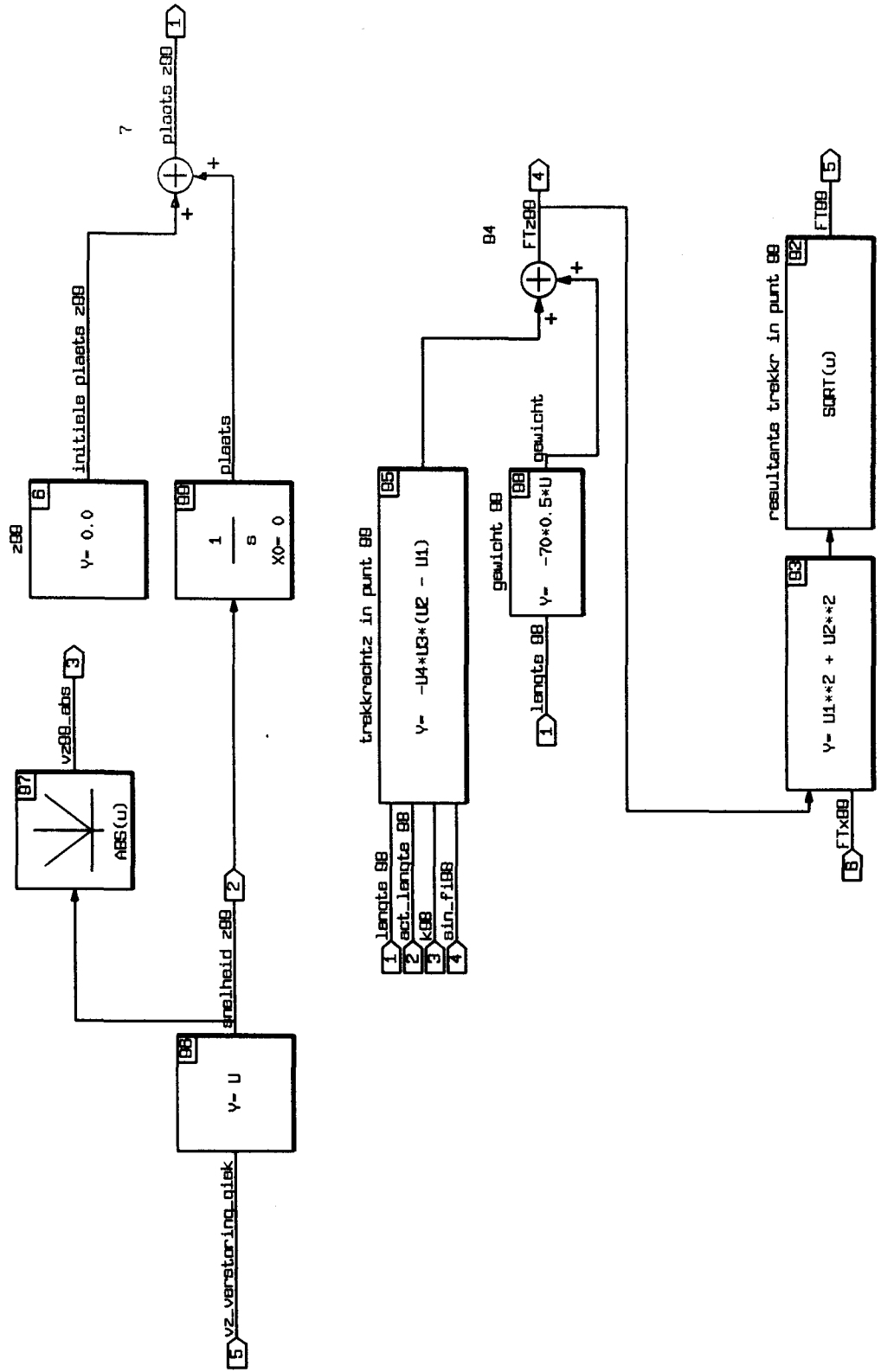
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 geometrie z98 5 9



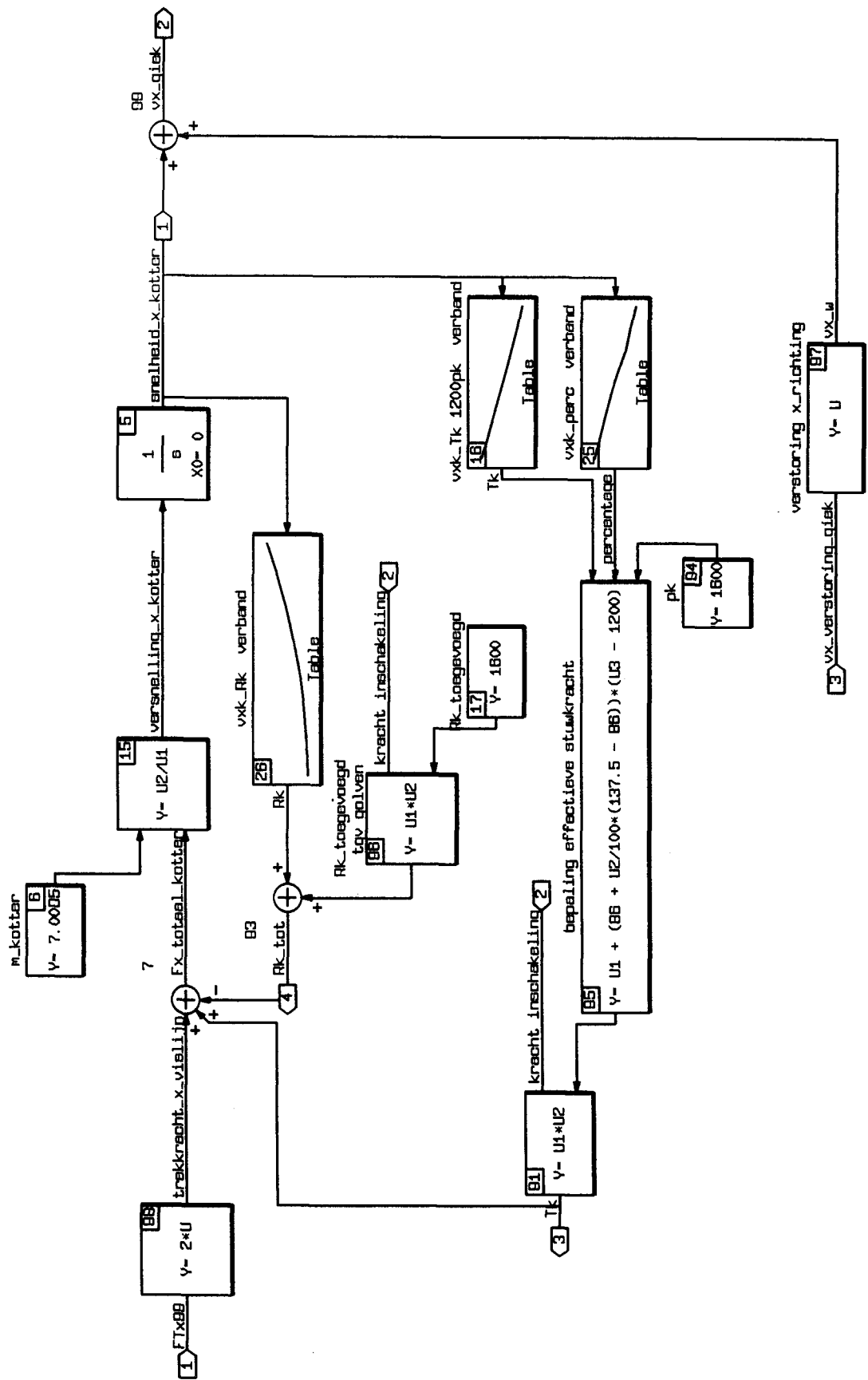
Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
massapunt z98 3



Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
 punt z99 6 5



Continuous Super-Block Ext. Inputs Ext. Outputs
kotter 3 4



BIJLAGE 5.2 INVOER WAARDEN VOOR TUIGMODEL

```
//tuiggeg
// !! opmerking !!

// vectoren moeten bij verandering opnieuw opgegeven
// worden binnen build

//          omgeving
vl_wd_verh=4;          // vislijn-lengte-waterdiepte verhouding

//          segment initialisatie
// (plaats van knooppunten in geval van ongespannen segmenten bij
// vislijn-waterdiepte verhouding)

l_spruit=6.8;          // lengte spruit
l=20.0;               // segment lengte
l_98=20.0;           // lengte laatste segment

verh_factor=sqrt(1-(1/vl_wd_verh)); // verhouding tussen grootte z en x
x_vistuig=0;          //          z_vistuig=0;
x_spruit=l_spruit*verh_factor;   z_spruit=l_spruit/vl_wd_verh;
x1=(l_spruit+1)*verh_factor;     z1=(l_spruit+1)/vl_wd_verh;
x2=(l_spruit+2*1)*verh_factor;   z2=(l_spruit+2*1)/vl_wd_verh;
x3=(l_spruit+3*1)*verh_factor;   z3=(l_spruit+3*1)/vl_wd_verh;
x98=(l_spruit+4*1)*verh_factor;  z98=(l_spruit+4*1)/vl_wd_verh;
x99=(l_spruit+4*1+l_98)*verh_factor; z99=(l_spruit+4*1+l_98)/vl_wd_verh;

//          kotter gegevens
m_kotter=700000;      // massa van kotter
vxk=[0 0.51 1.03 1.54 2.06 ... // vissnelheid.
      2.57 3.09 3.60]';
Rk=[0 150 600 1350 2450 3800 ... // kotterweestand
     5450 7400]';
Rk_toegevoegd=2000;  // weerstand tgv golven
// geldig voor 4 tot 6 kn
pk=2000;             // beschikbaar vermogen
Tk_1200pk=[171000 160800 150500 ...
140100 129800 120500 111000 102800]'; // eff. stuwkr. {Tk=f(vxk)}
perc=[100 88 74 60 43 24 13 0]'; //

//          segment gegevens
//opm. geldig voor eenmaal ingeschoren
mx=6.50;             // segment massa per lengte eenheid {incl.toegevoegde massa
mz=9.00;             // bij fi_gemiddeld=16.5 graden (Can=1.5, Cat=0.2)}
G_99=67;             // gewicht halve laatste segment in lucht (air-gap)
G=60.1;             // segment gewicht
k=55840000;         // axiale stijfheid (E*A)
k98=55840000;       // axiale stijfheid laatste segment (nr.98)
Kdn=36.9;           // norm. hydrodyn.dempingscoeff. (met Cd=1.2)
Kdt=12.3;           // tang. hydrodyn.dempingscoeff. (met Cn=0.4)
B=3.5;              // lin. dempingscoeff

//          spruit gegevens
m_spruit=450;        // massa 1/2(spruit)+blok
Bt_spruitblok=110;   // tang.-hydrodyn.dempingscoeff.spruitblok
Bn_spruitblok=295;   // norm.-hydrodyn.dempingscoeff.spruitblok
G_spruit=3630;       // gewicht spruitblok+1/2(spruit)
k_spruit=212000000;  // axiale stijfheid spruit
Kdn_spruit=100;      // norm. hydrodyn.dempingscoeff.
Kdt_spruit=40;       // tang. hydrodyn.dempingscoeff.

//          tuig gegevens
m_vistuig=7440;      // (tot.+toegevoegde)massa vistuig+1/2 spruit
m_boom_sloffen=3600; // (tot.+toegevoegde)massa boom plus sloffen
Bxbs=1700;           // x-hydro.dyn.dempingscoeff.boom plus sloffen
Bzbs=4000;           // //2070 // z-hydro.dyn.dempingscoeff.boom plus sloffen
Bxn1=5000;           // const.term in dempingscoeff.functie net
Bxn2=1400;           // lin.term in dempingscoeff.functie net
G_boom_sloff=28280; // gewicht boom+sloffen+halve spruit
G_wekkers_kie=21970; // gewicht wekkers+kietelaars+grondpees
```

```

G_roller=5395;    // gewicht roller
fr=0.91;         // wrijvingscoeff.roller
fw=0.56;        // wrijvingscoeff.wekkers_kietelaars_grondpees
fs=0.5;         // wrijvingscoeff.sloffen

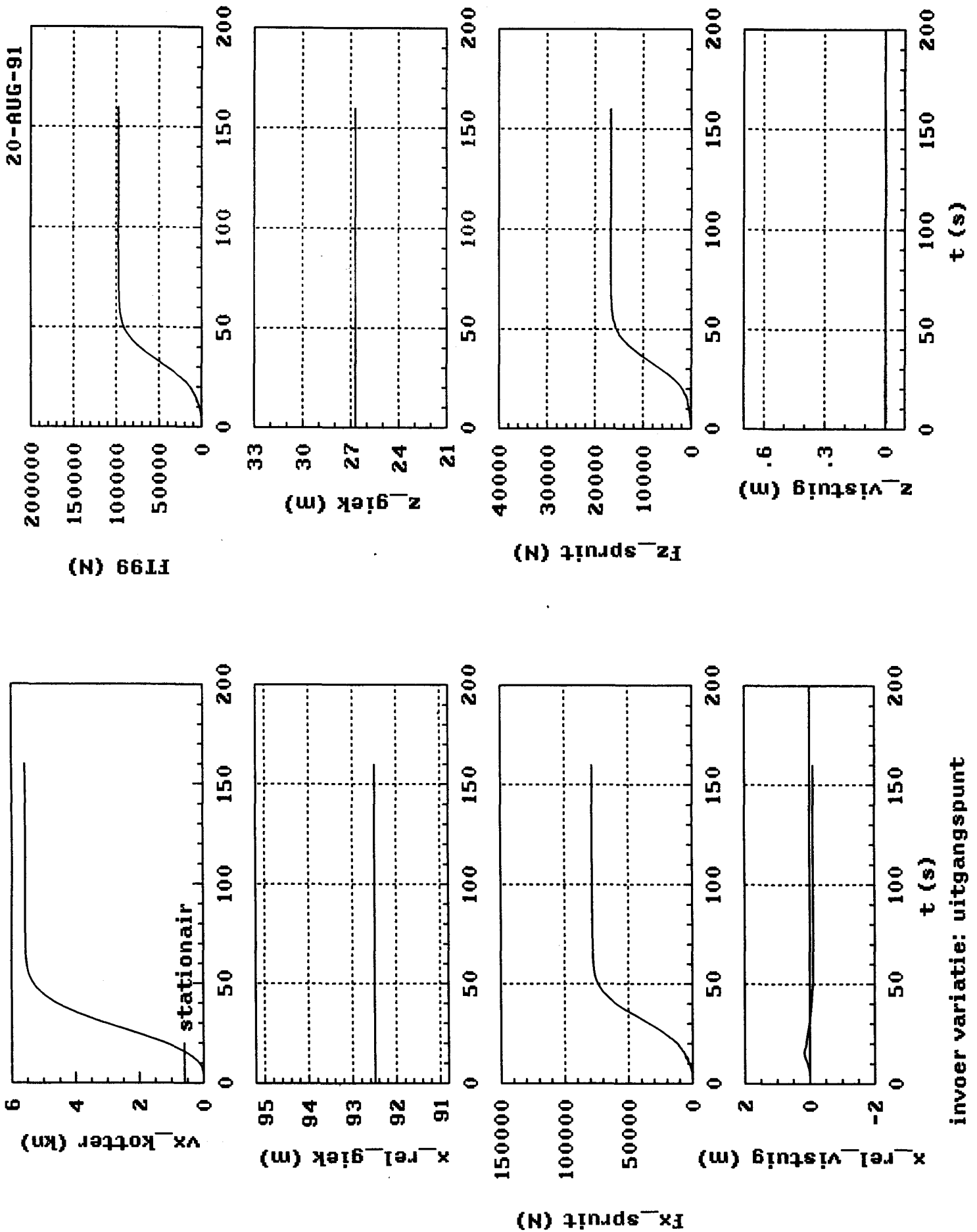
z=[0 0.24 0.44 0.72 0.96 1.23 1.66 2.16 3.12]';
WK=[0 1950 3010 4220 5130 5970 ...
    7160 8420 10100]';    // gewicht niet-ondersteunde deel wekkers
                          // plus grondpees bij vx_tuig = 1.225 m/s
                          // {WK=f(z)}

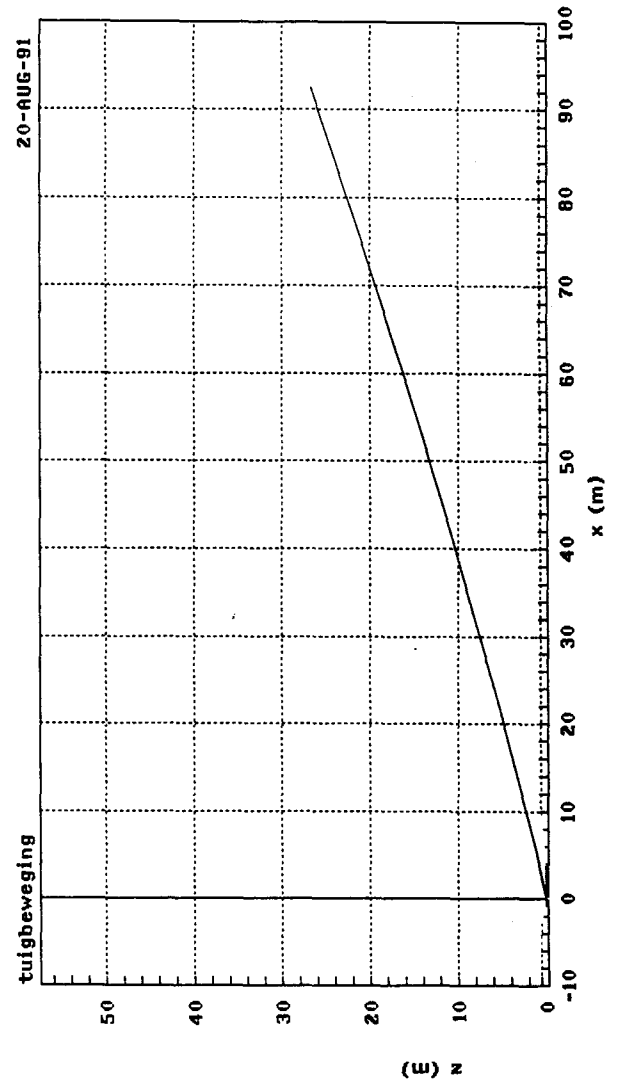
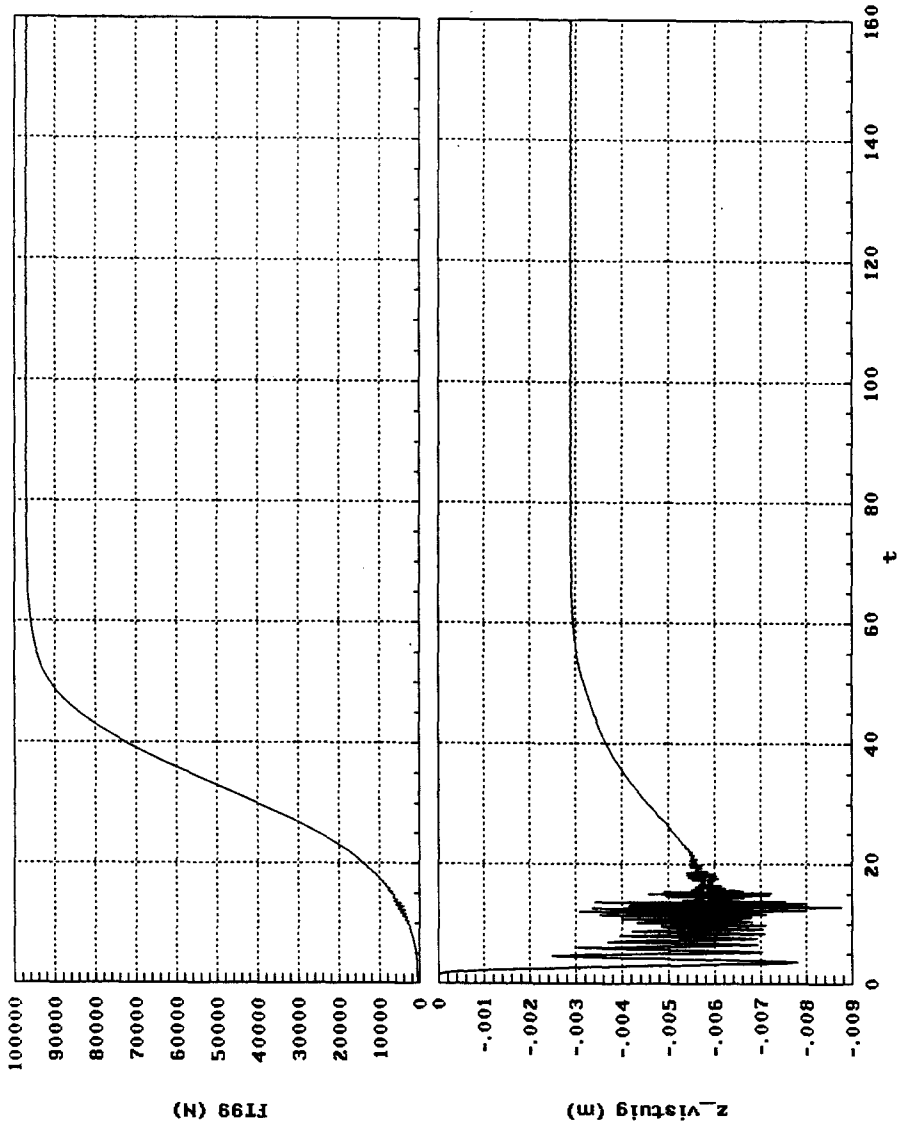
corr=[0 400 730 1140 1440 1695 ...
    2000 2180 2380]';    // correctie WK voor snelheid {corr=f(z)}

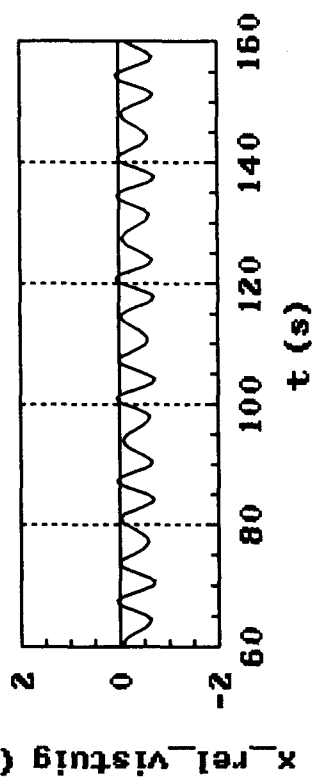
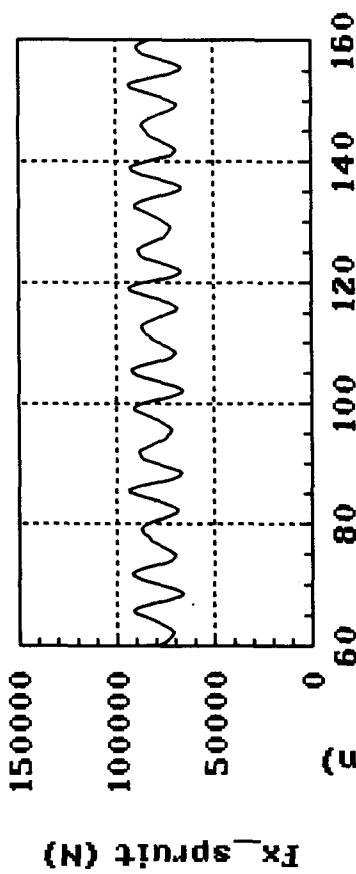
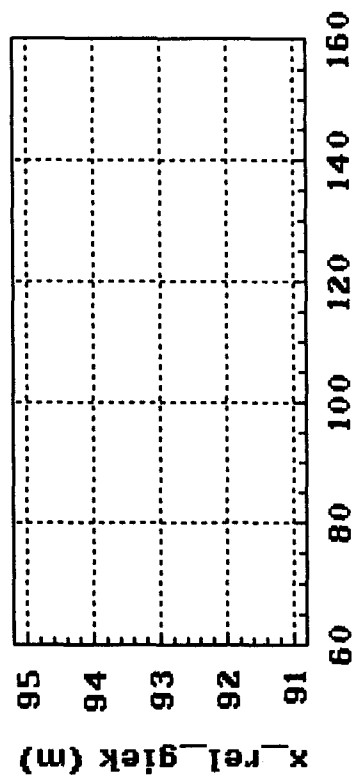
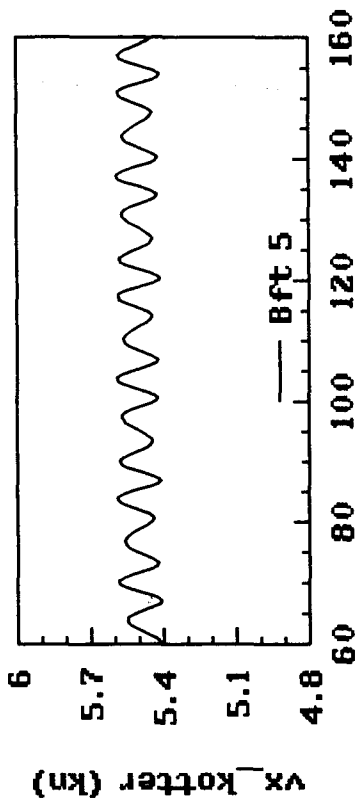
//      bodem gegevens
kb=4000000;     // stijfheid van bodem (1000000)
Bb=25000;      // bodem dempingscoeff.

```

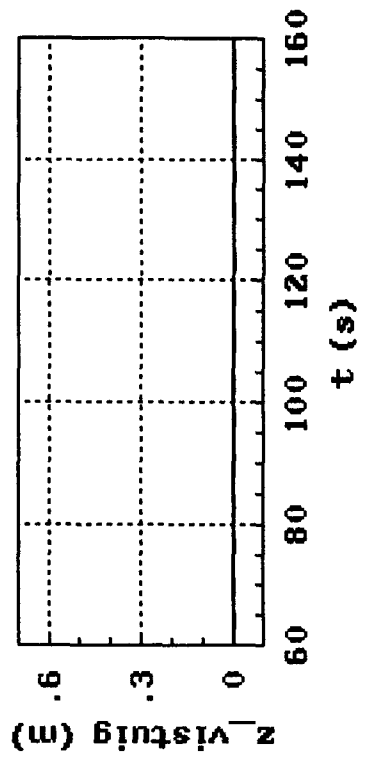
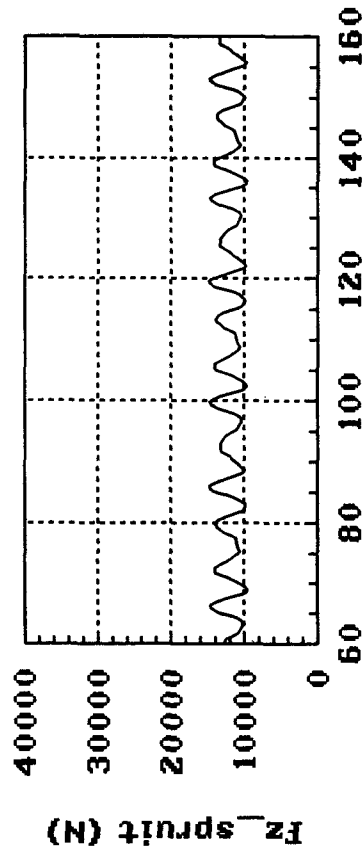
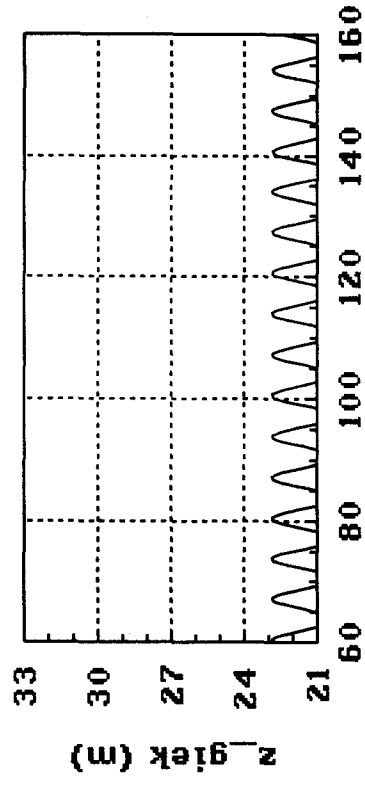
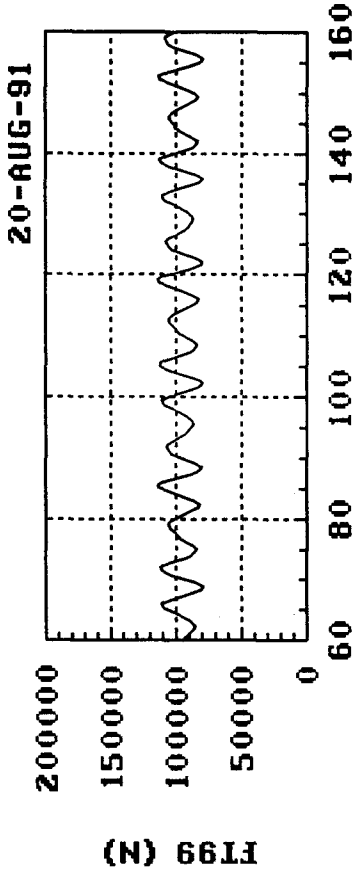

BIJLAGE 5.3 RESULTATEN TER VERGELIJKING MET MEETREIZEN

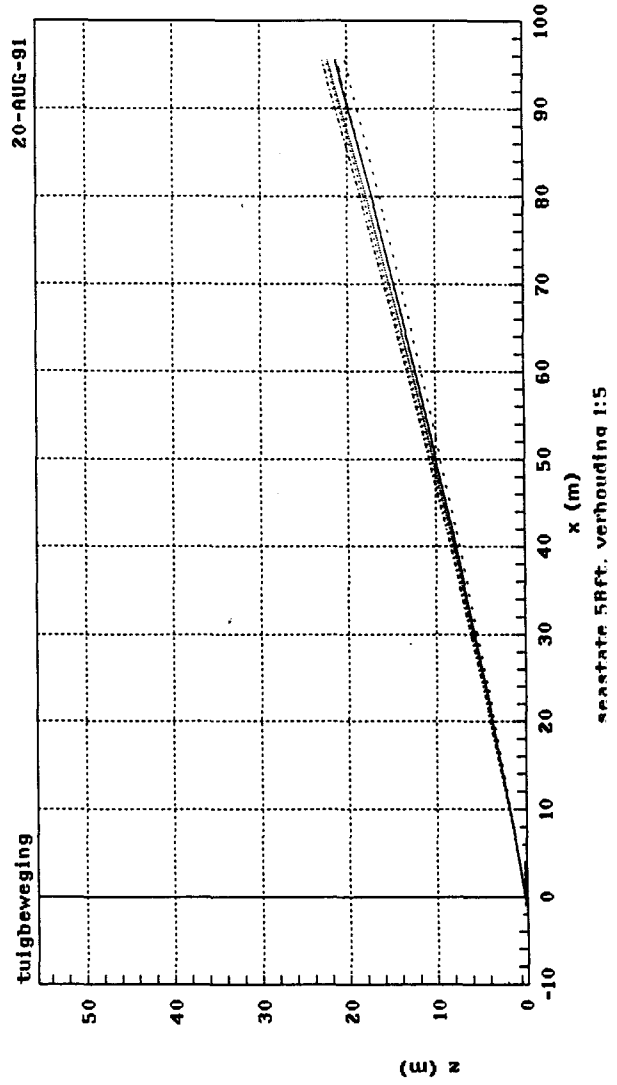
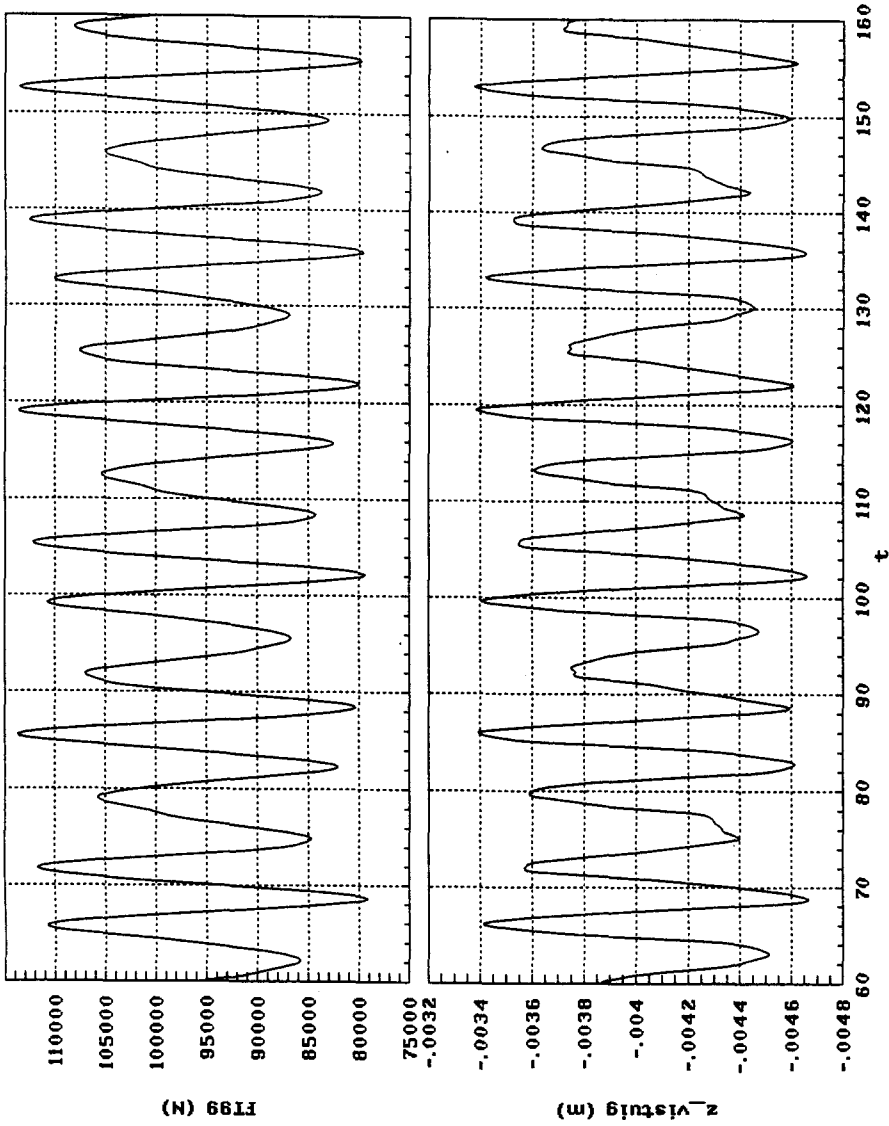




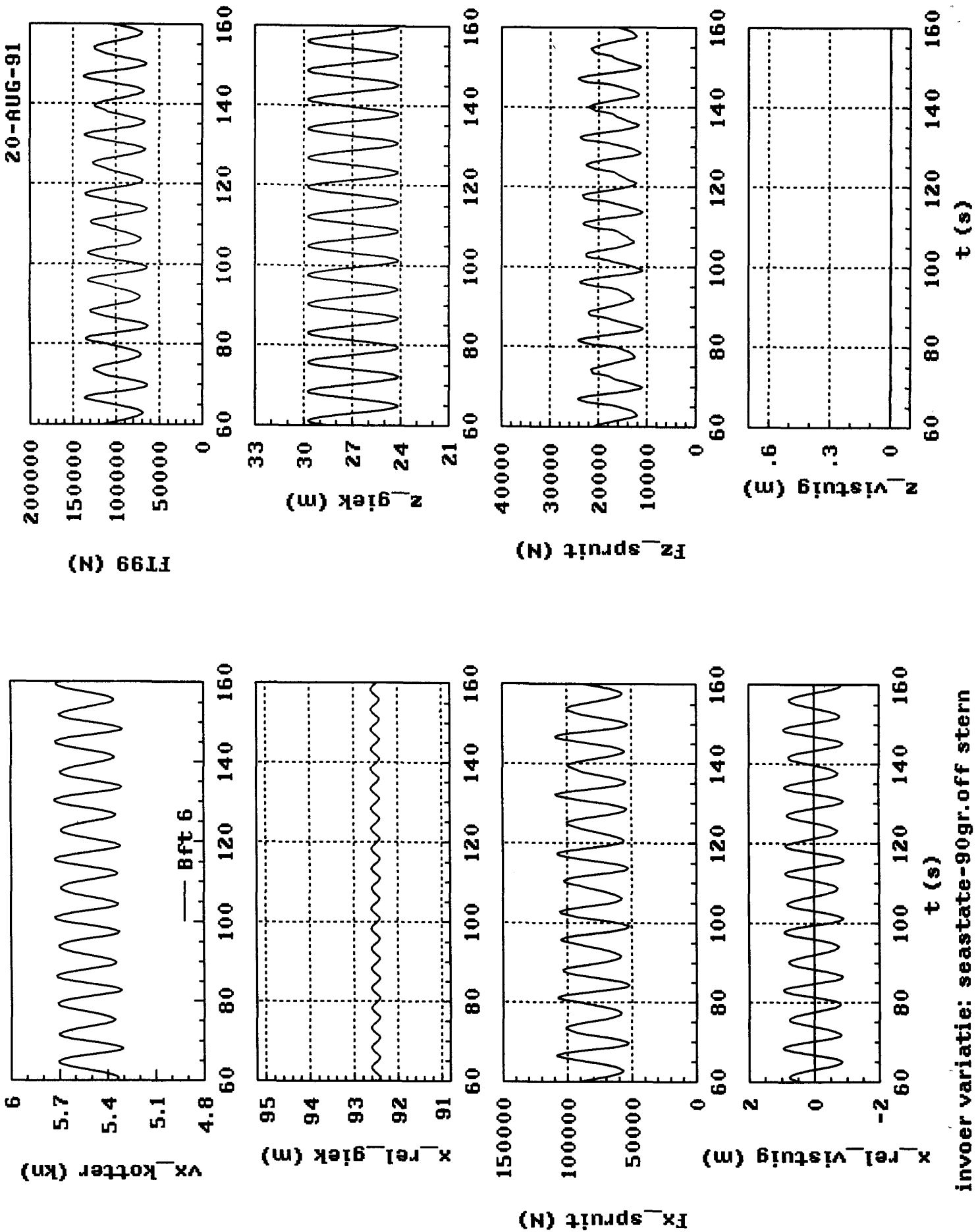


invoer variatie: verhouding 1:5

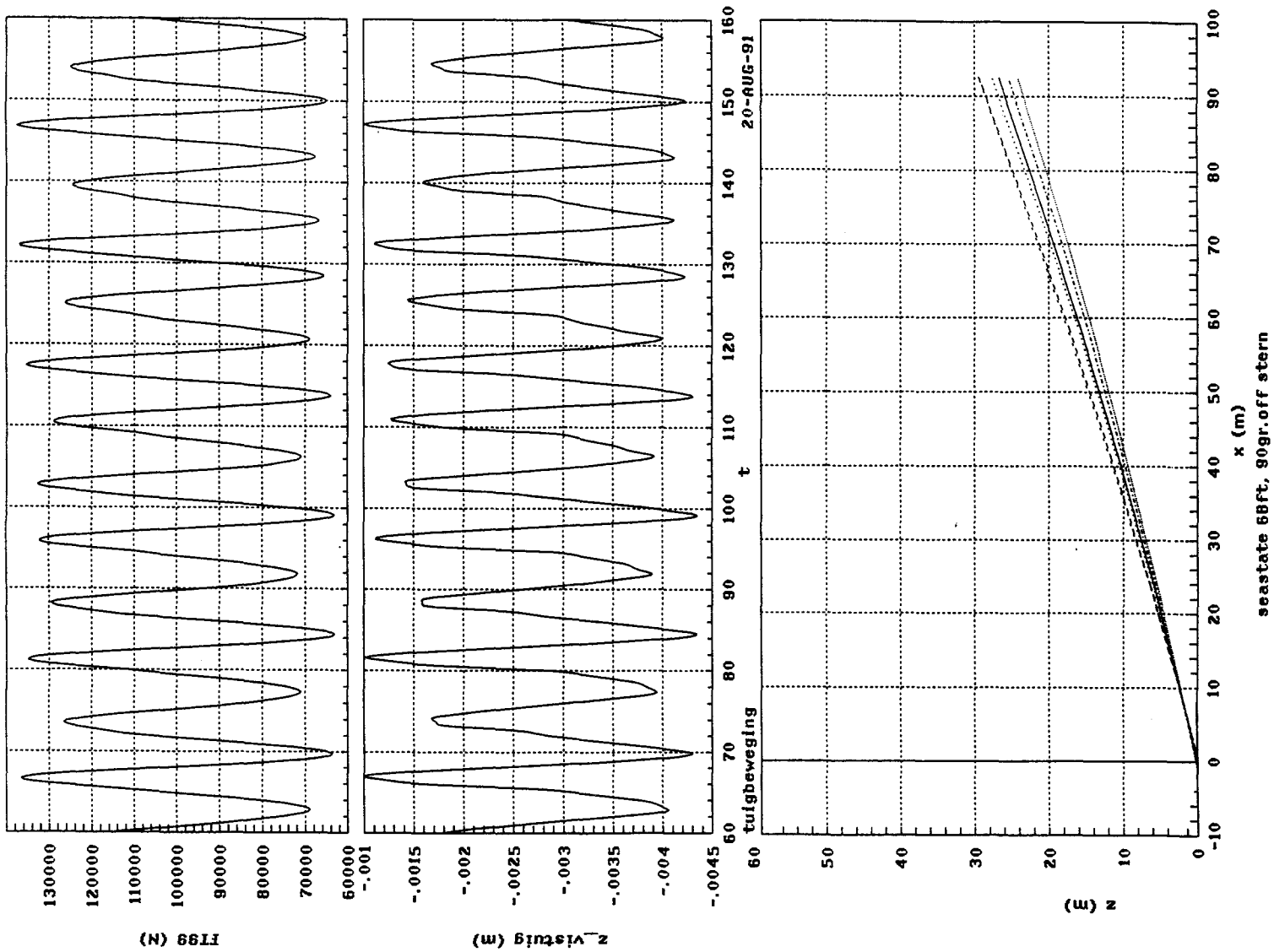


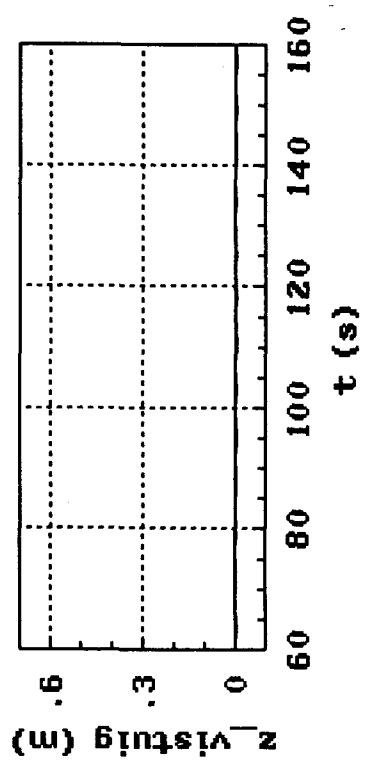
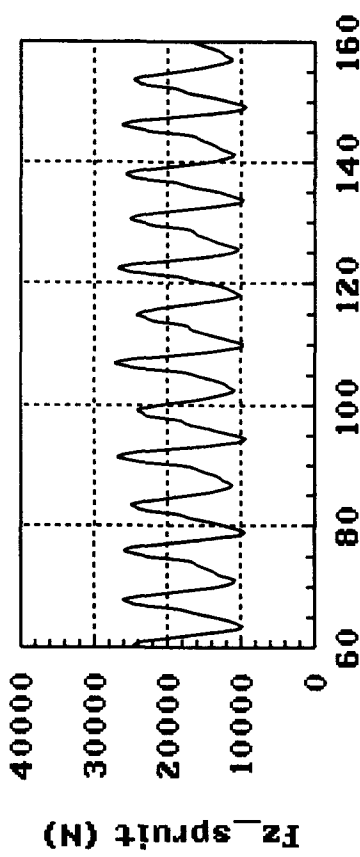
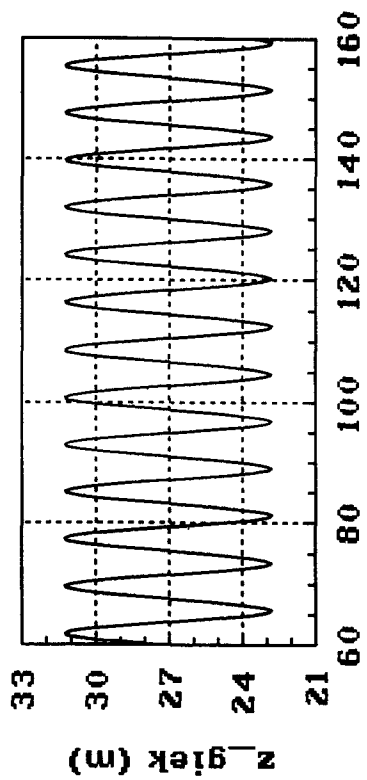
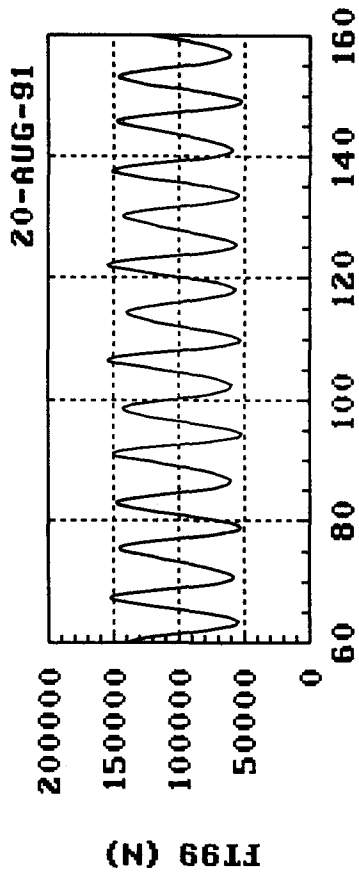
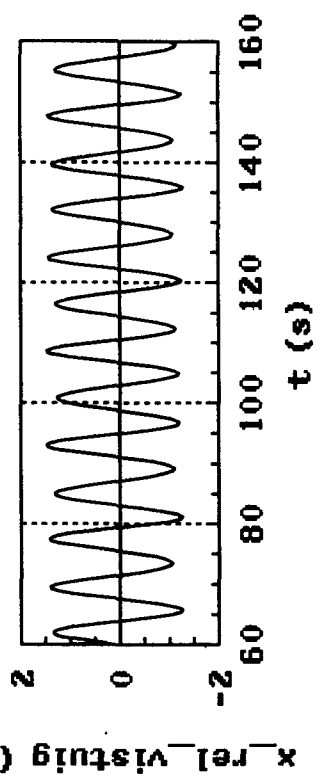
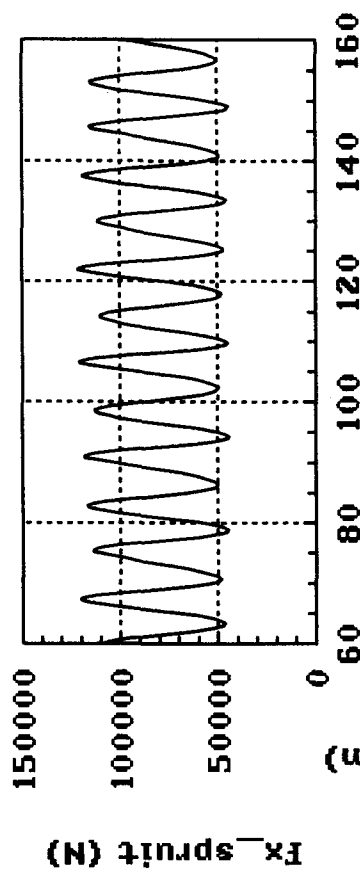
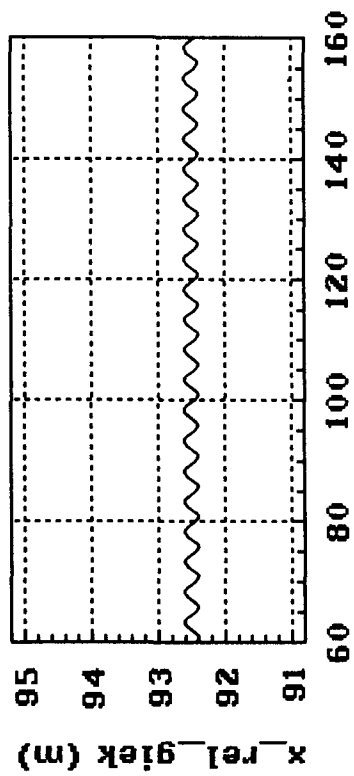
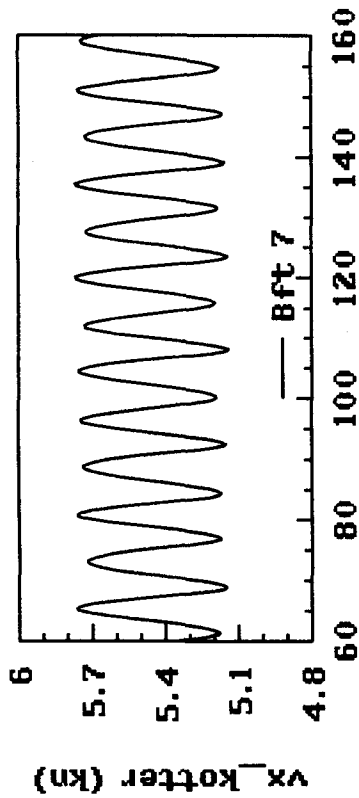


BIJLAGE 5.4 RESULTATEN VAN PARAMETER VARIATIE

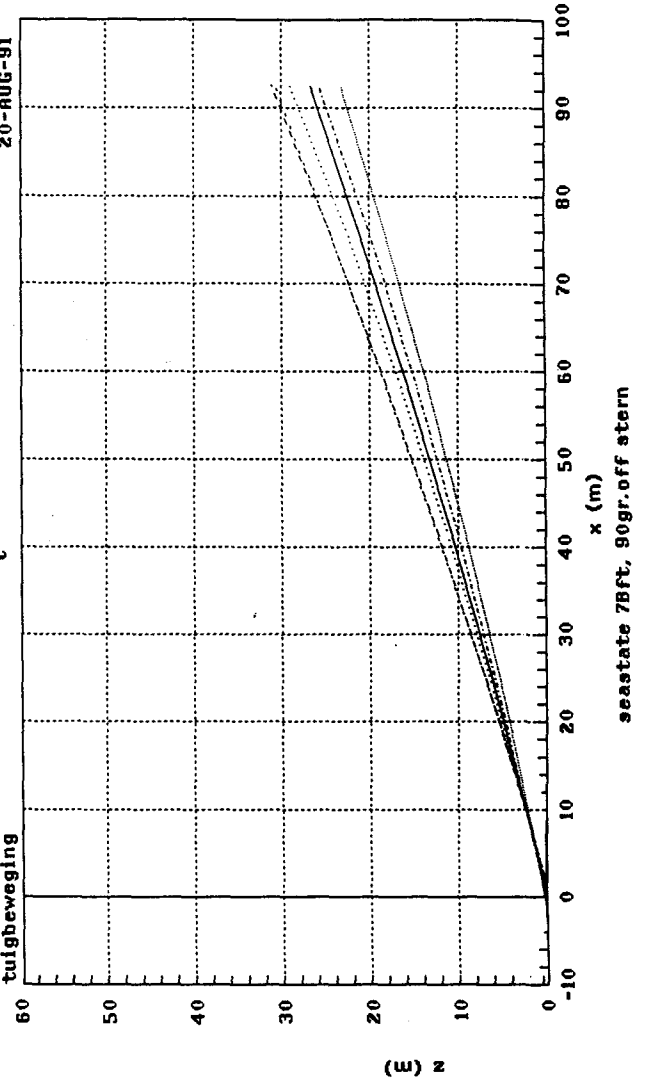
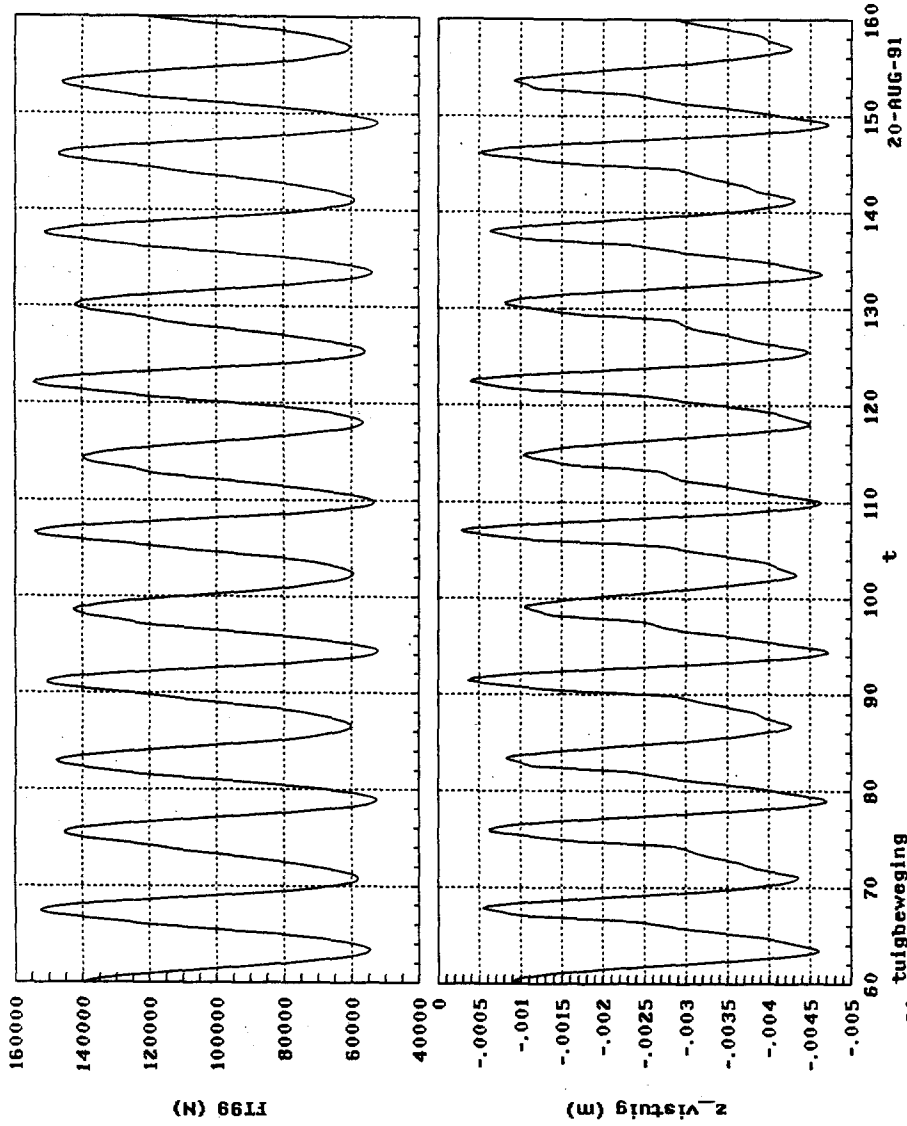


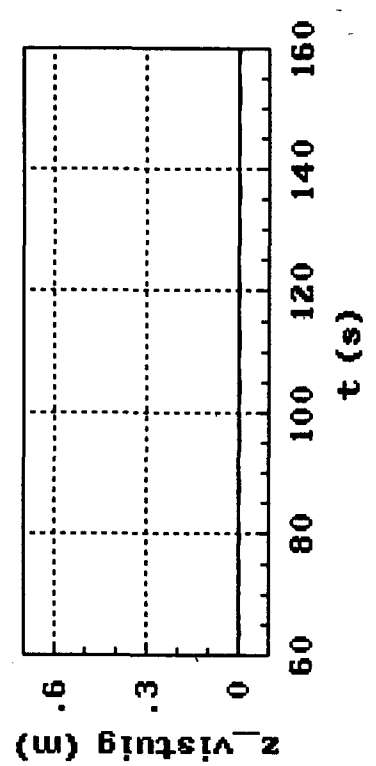
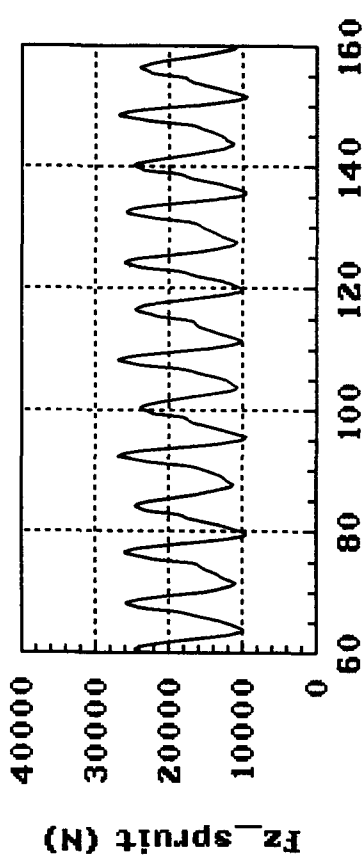
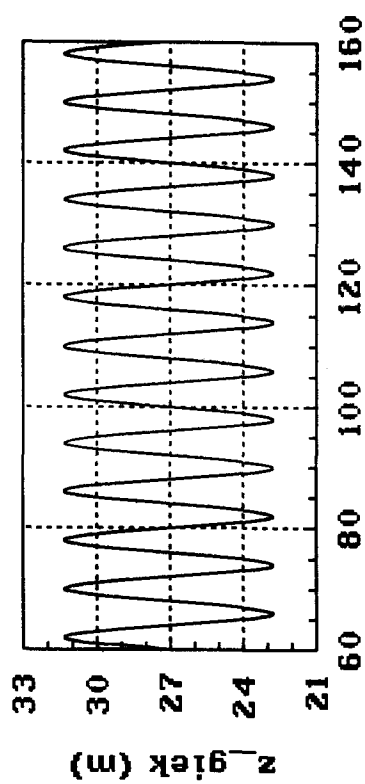
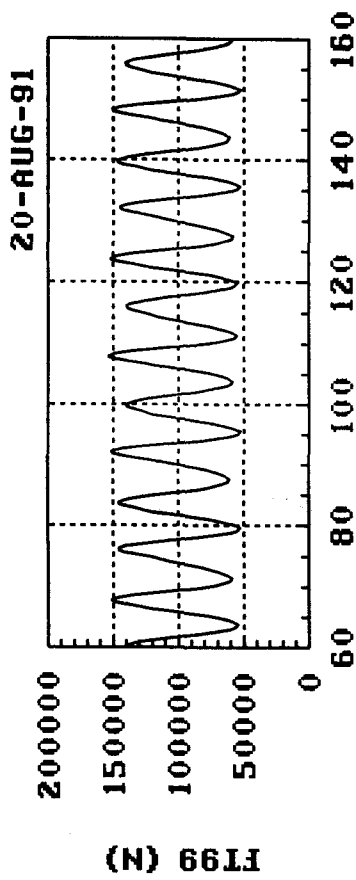
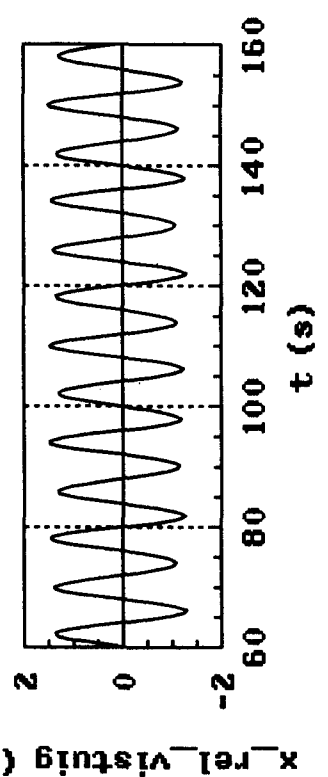
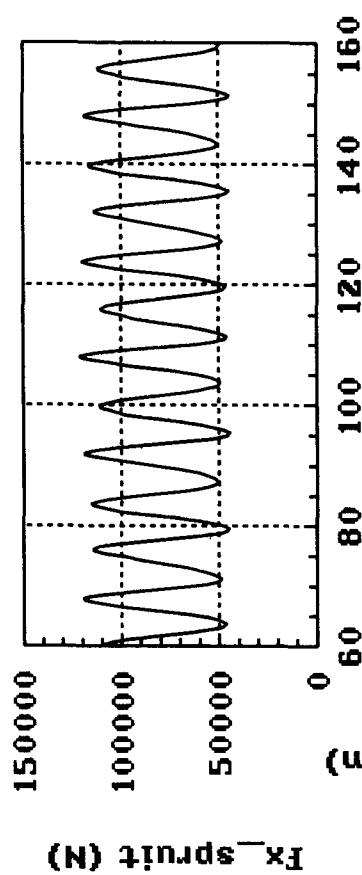
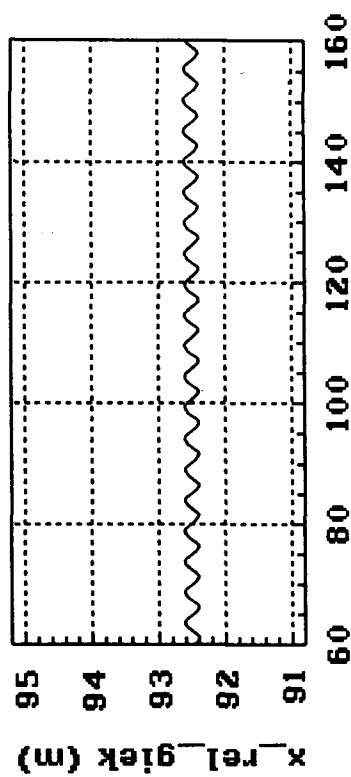
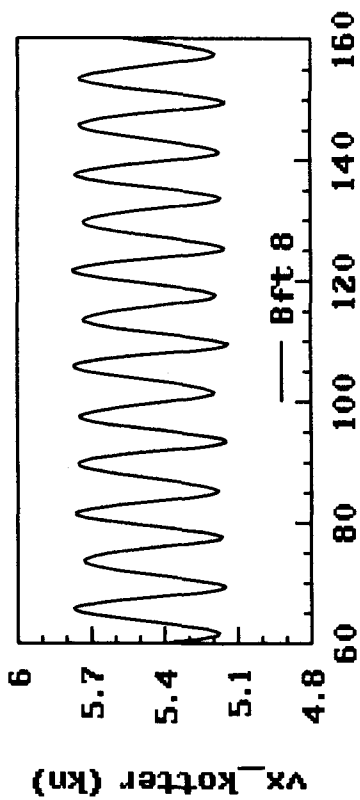
invoer variatie: seastate-90gr.off stern



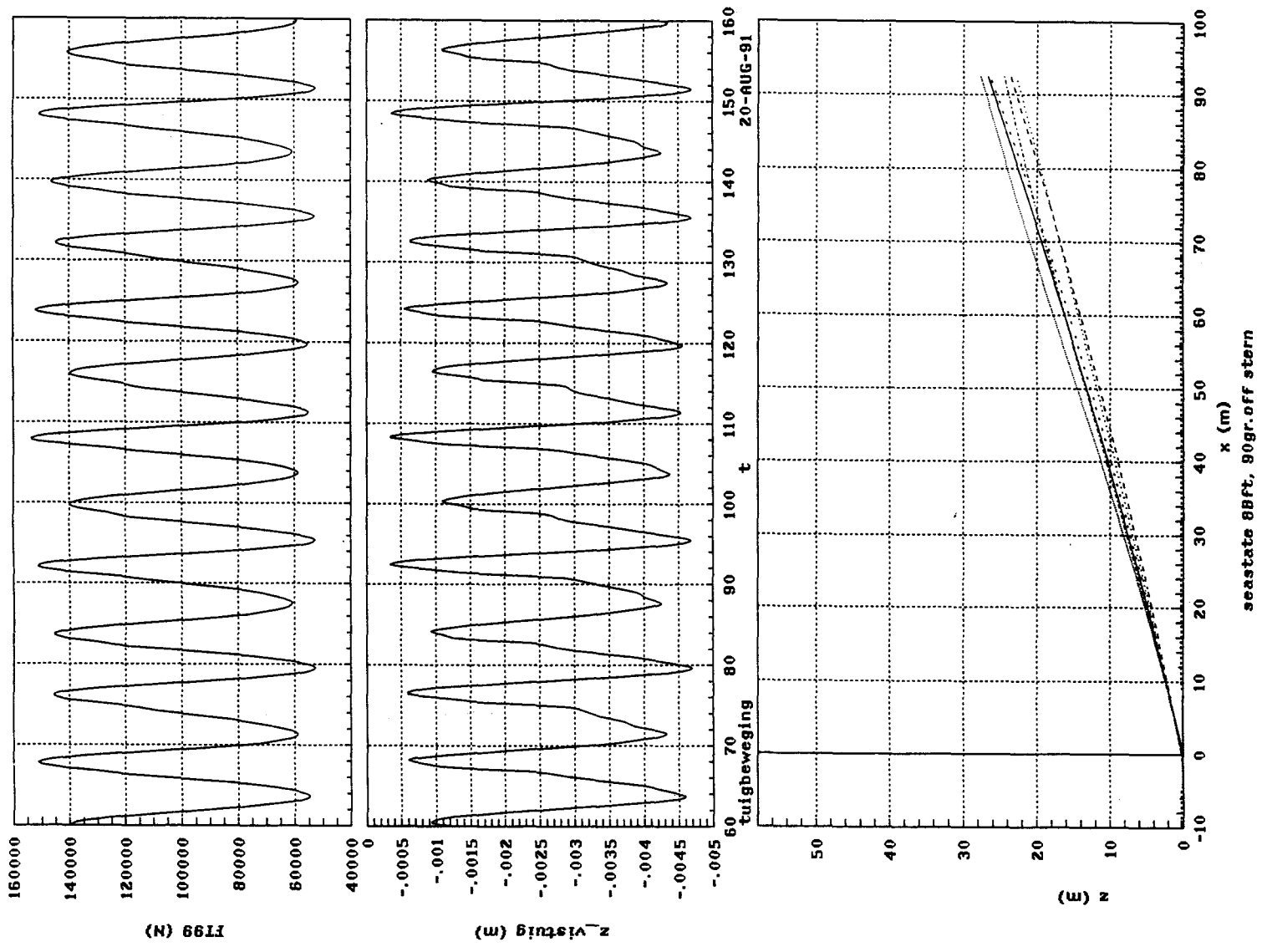


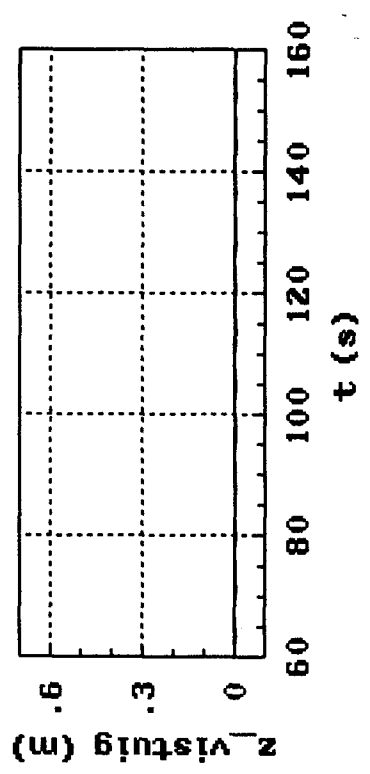
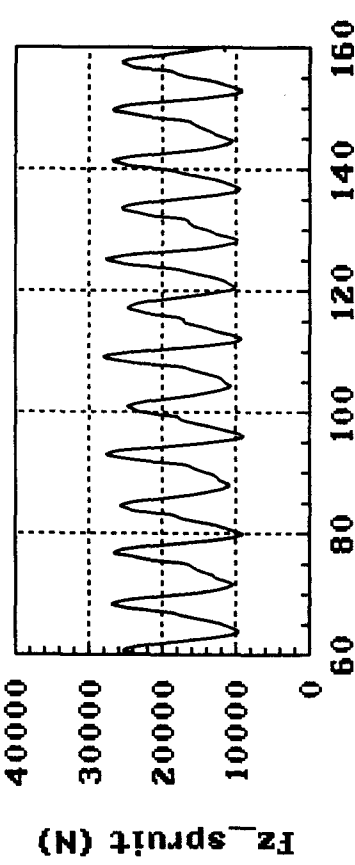
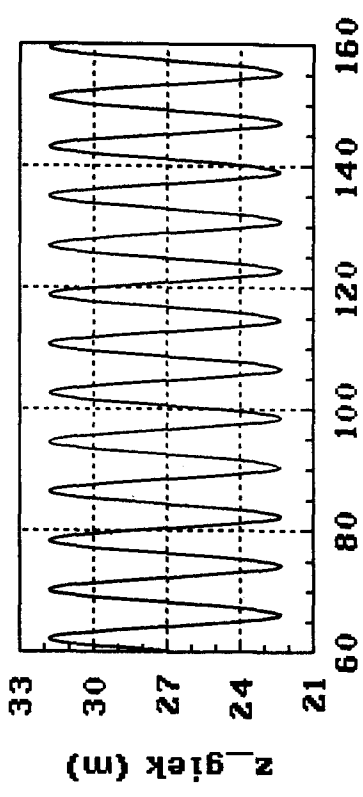
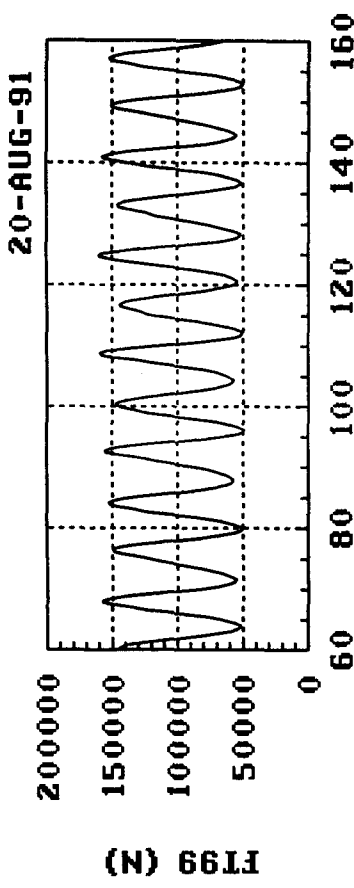
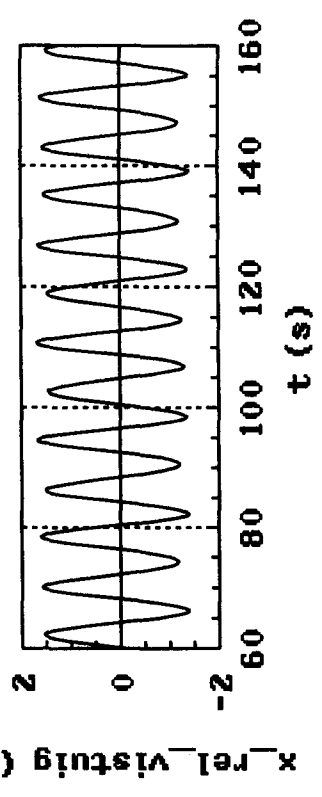
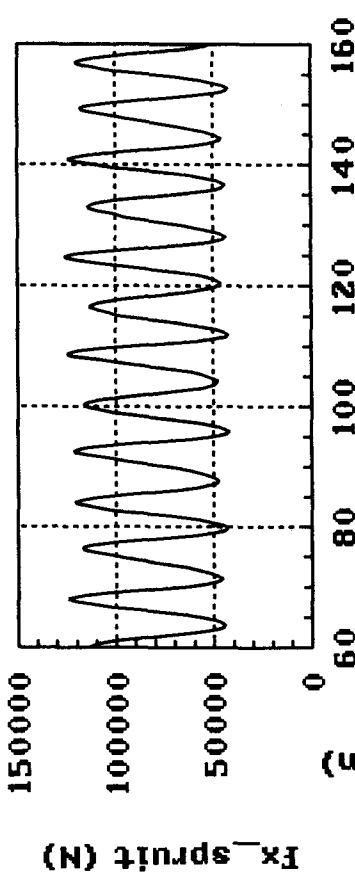
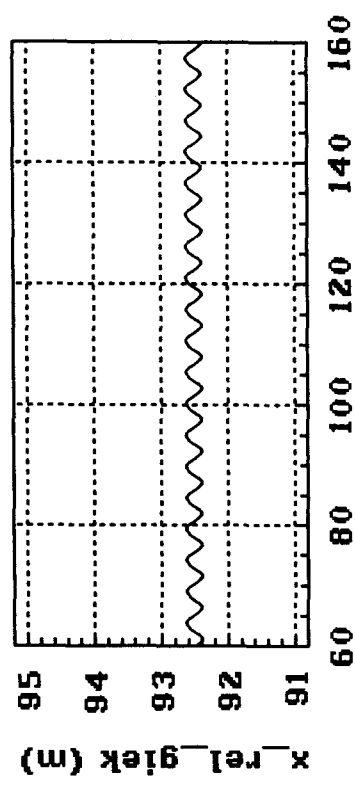
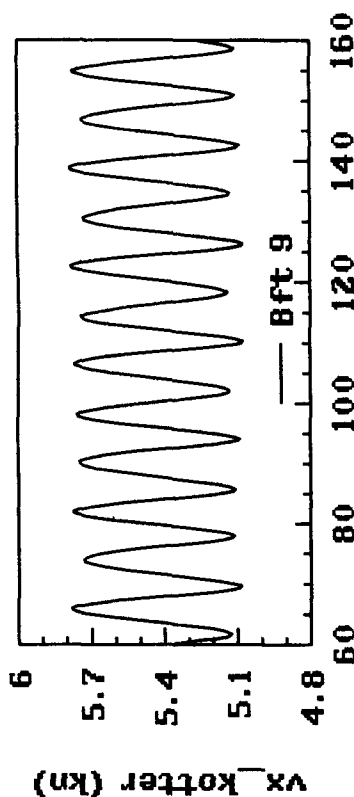
invoer variatie: seastate-90gr.off stern



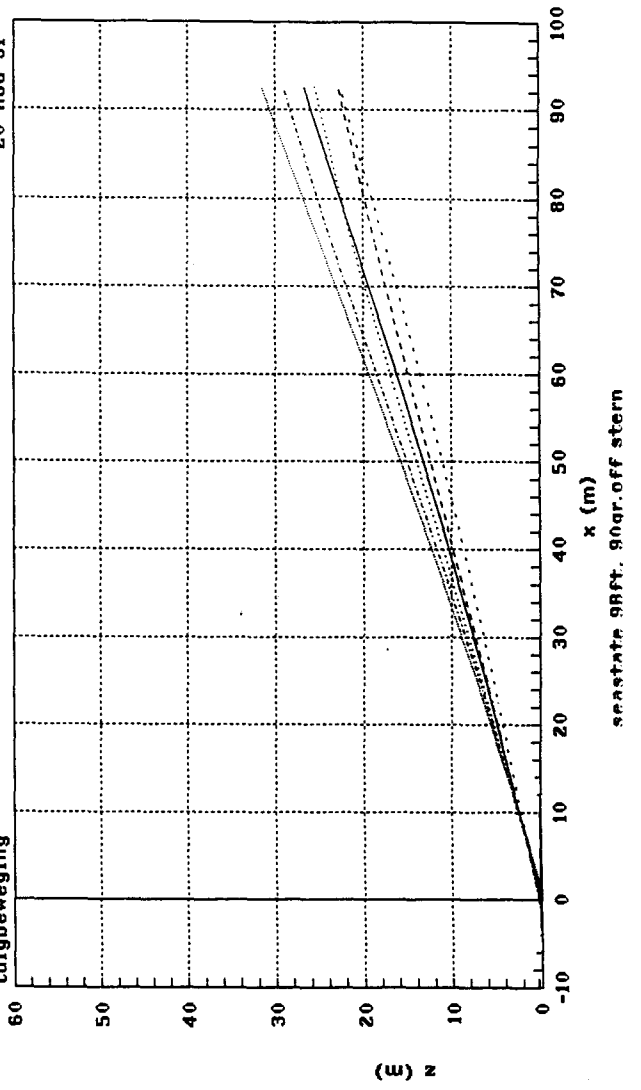
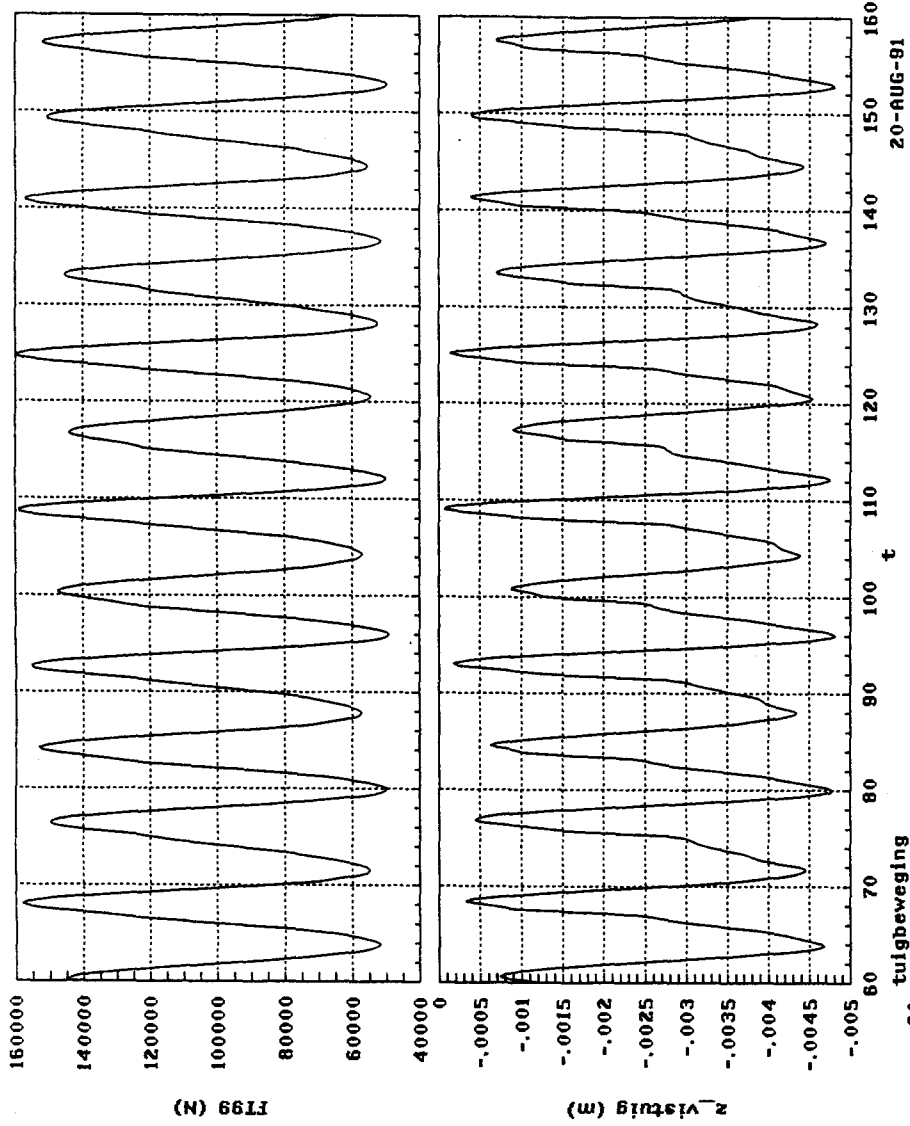


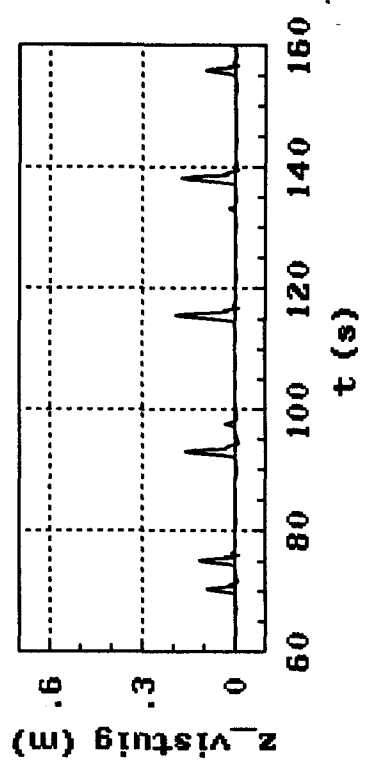
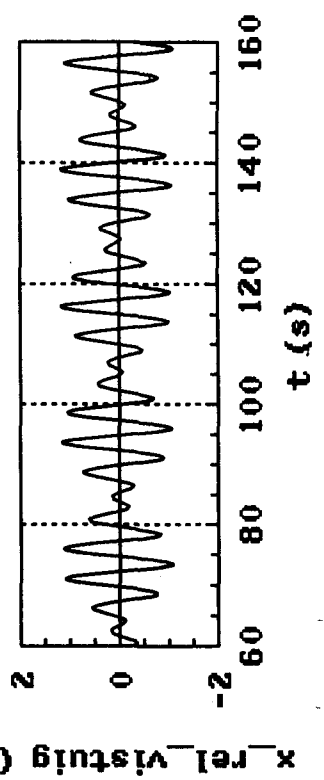
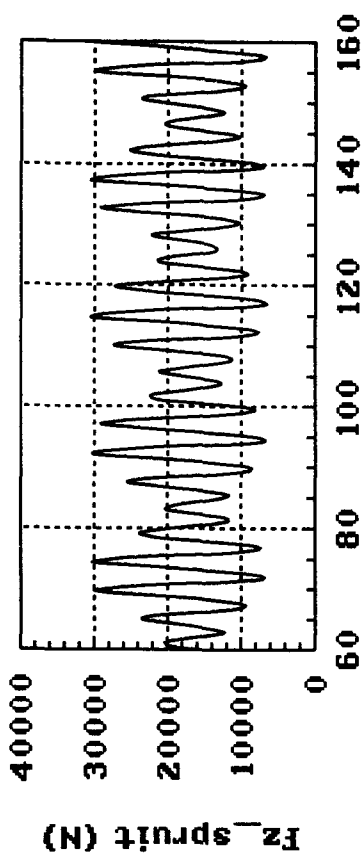
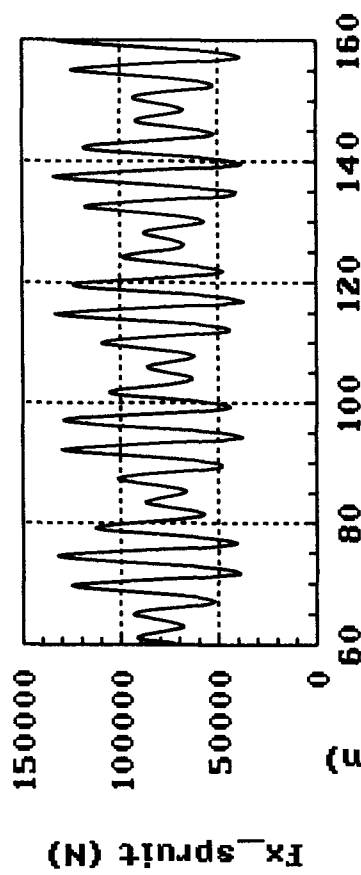
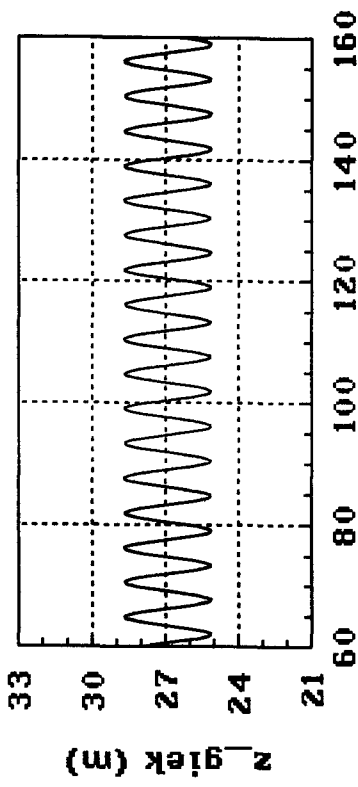
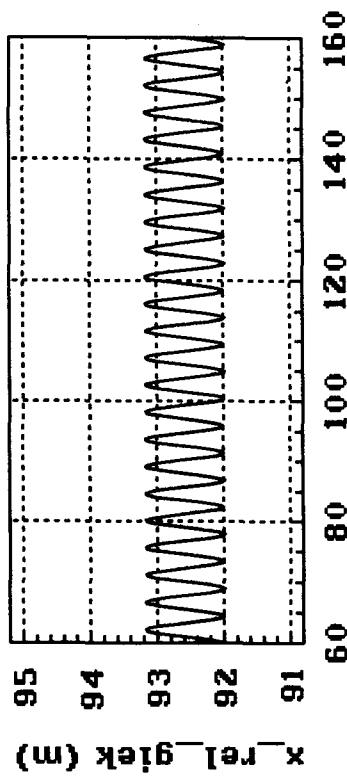
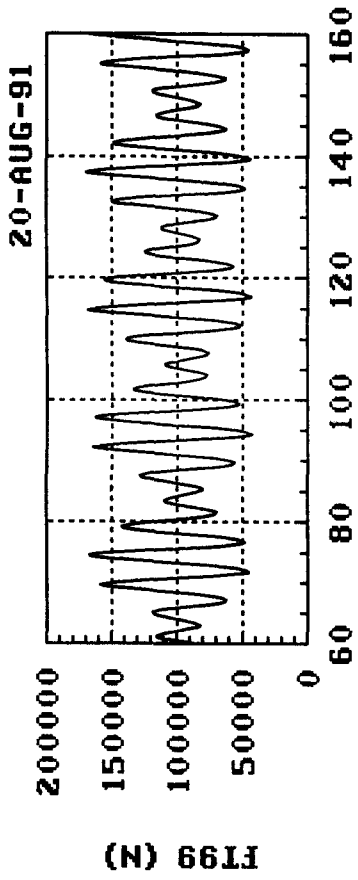
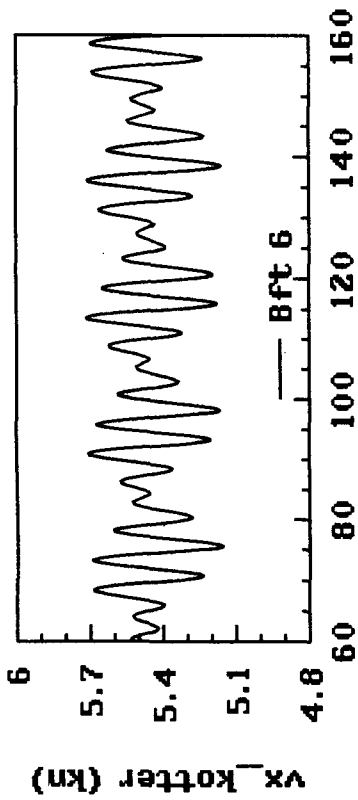
invoer variatie: seastate-90gr.off stern



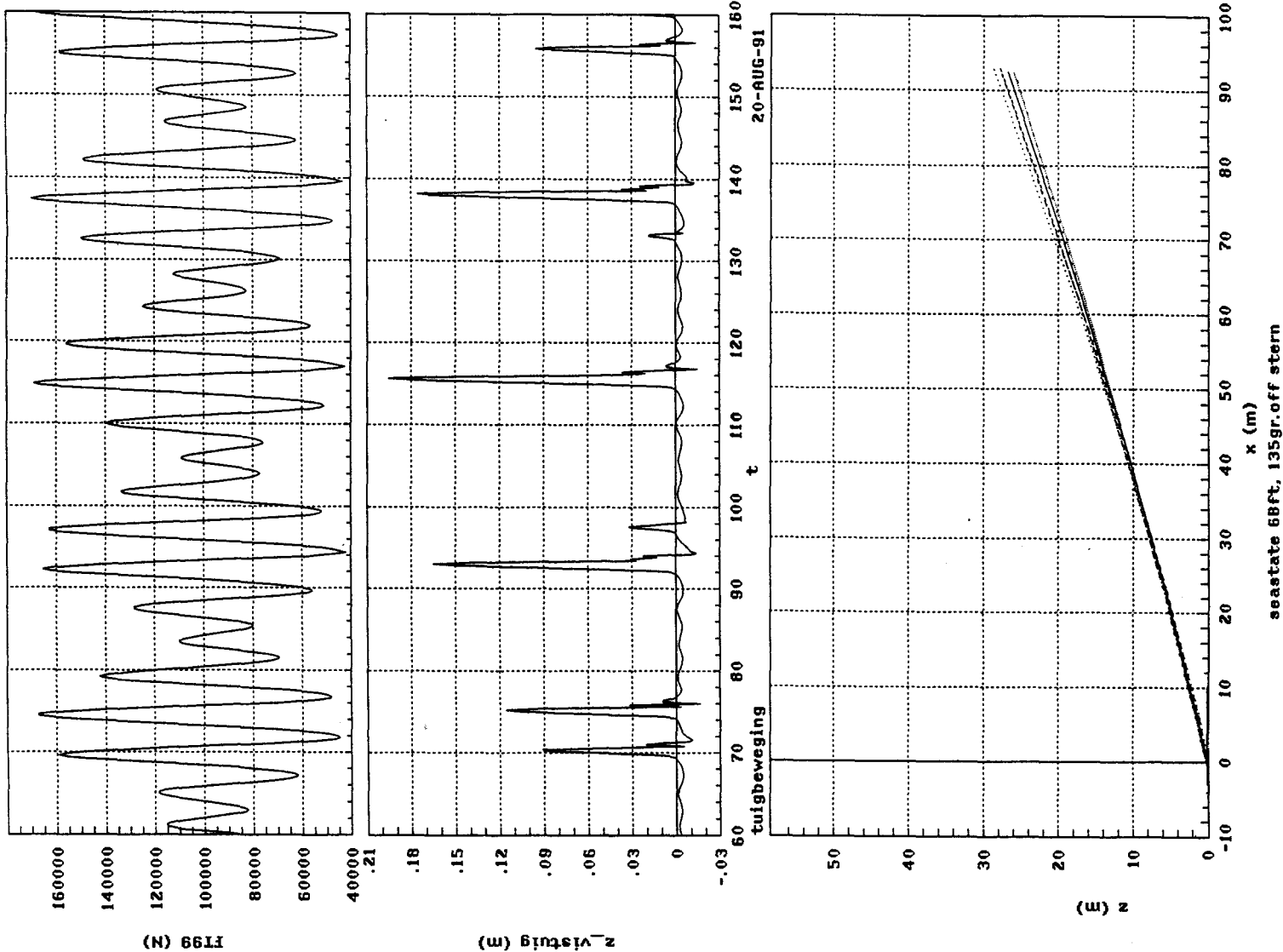


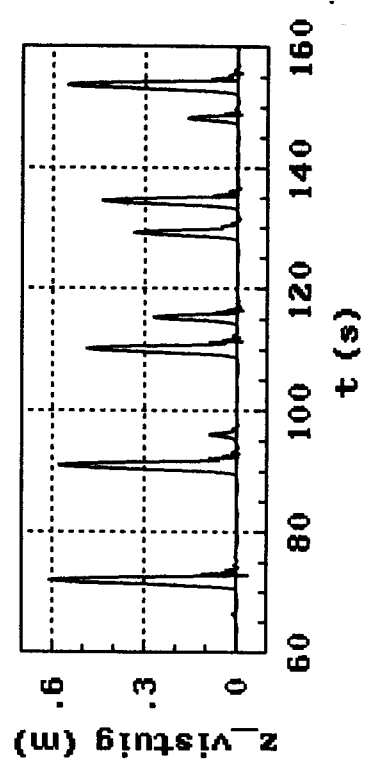
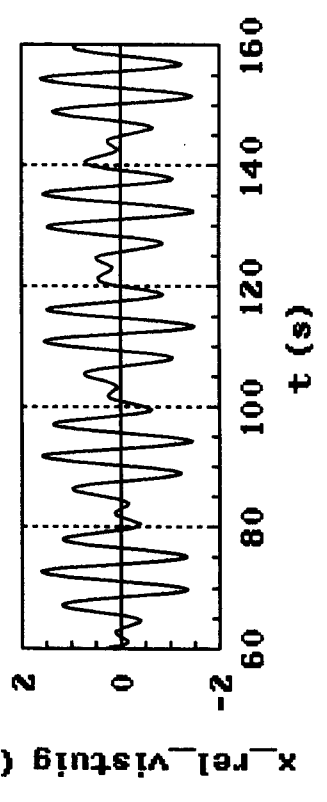
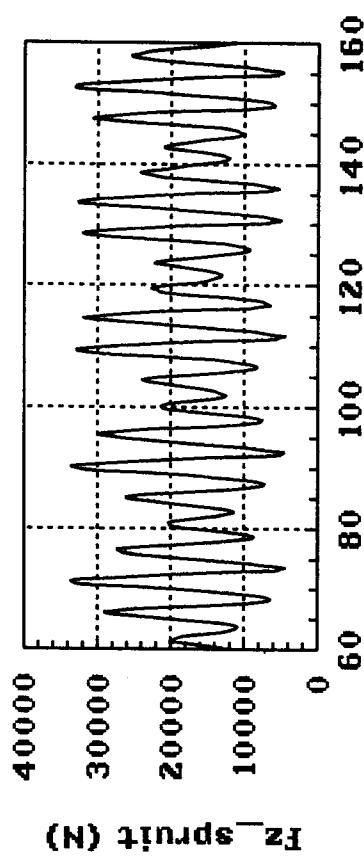
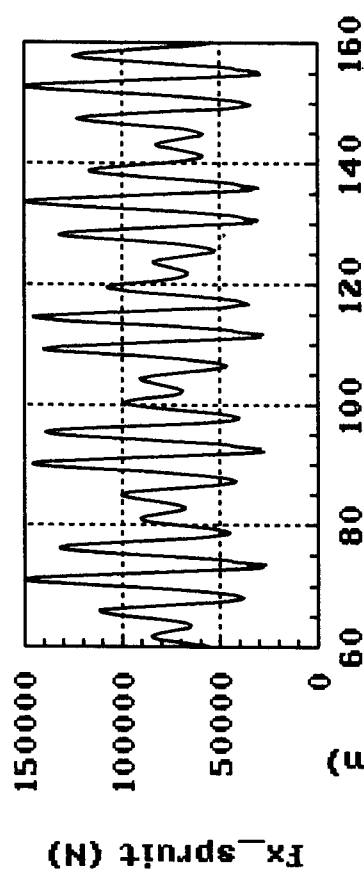
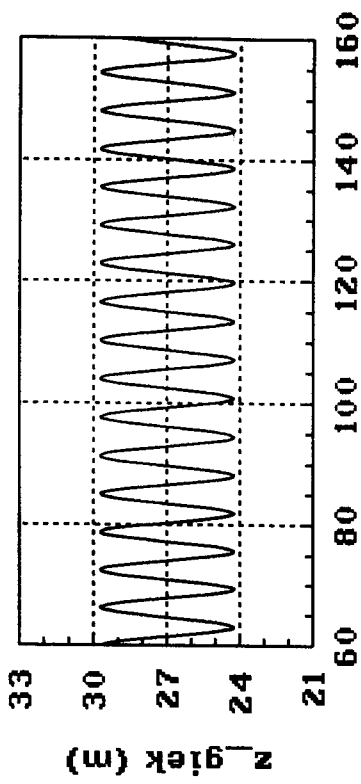
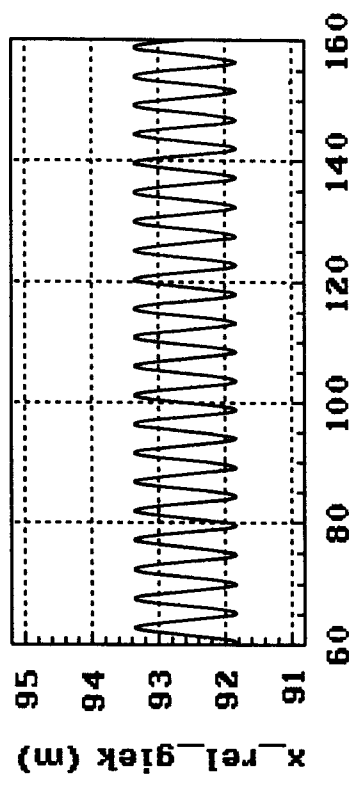
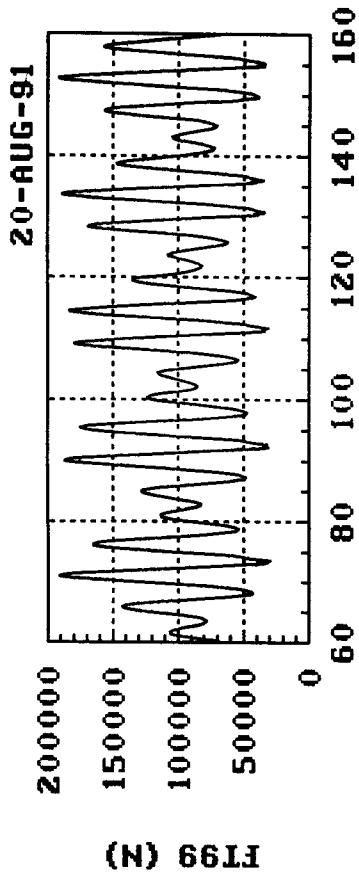
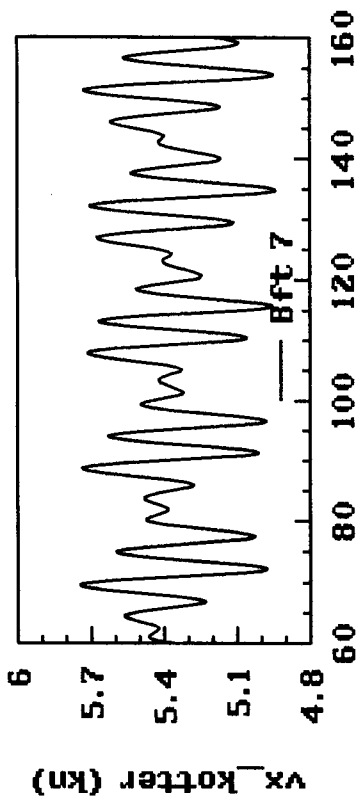
invoer variatie: seastate-90gr.off stern



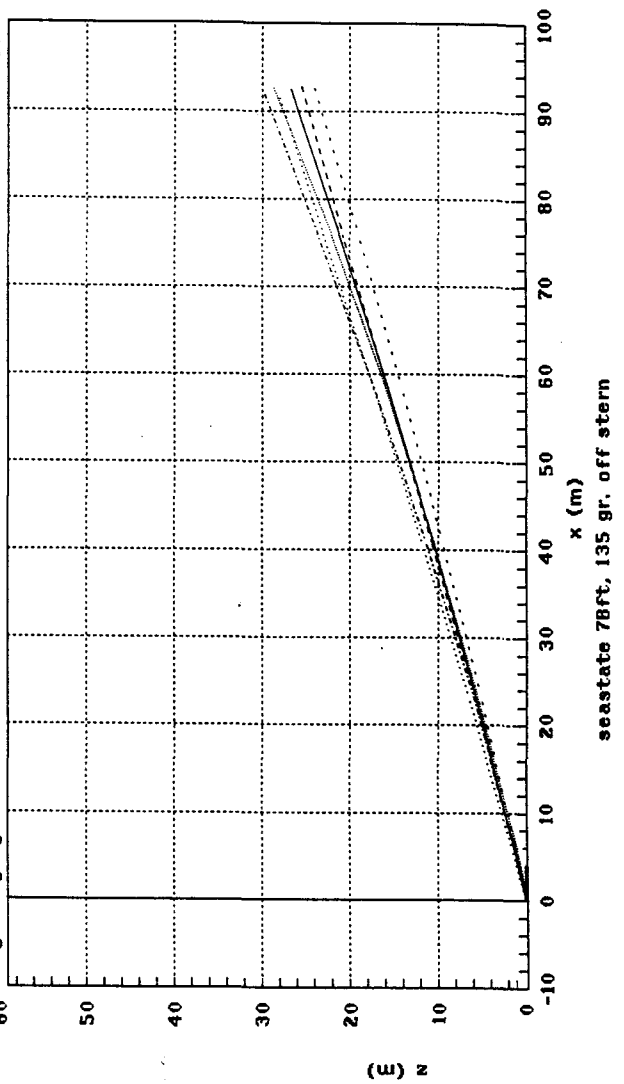
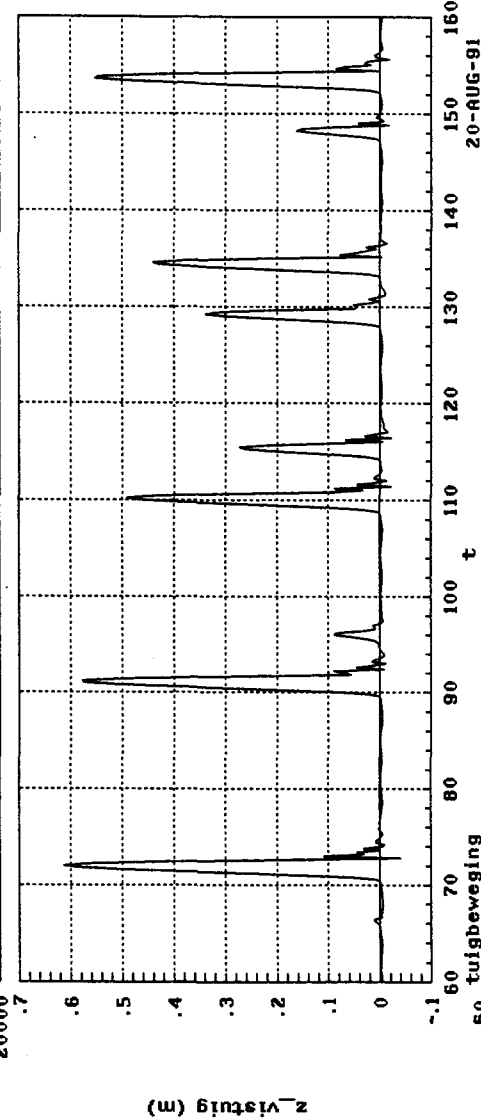
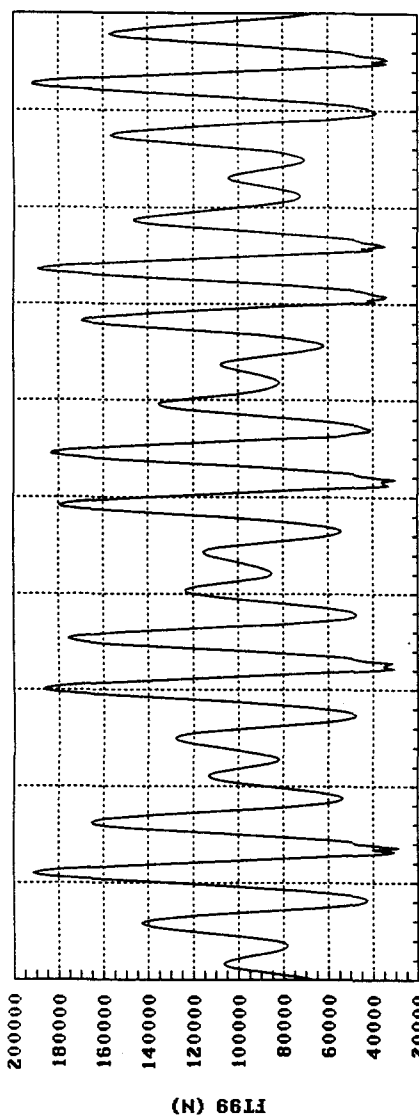


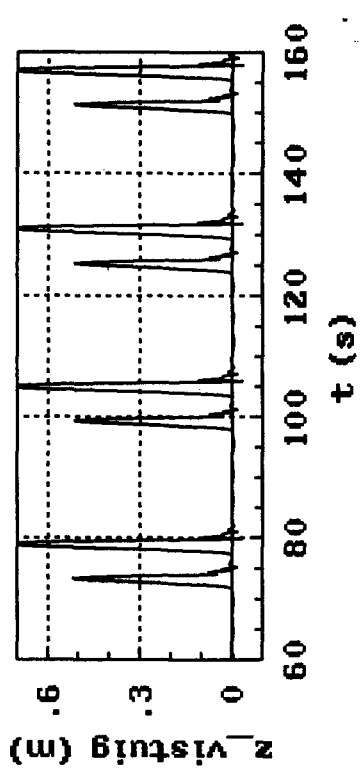
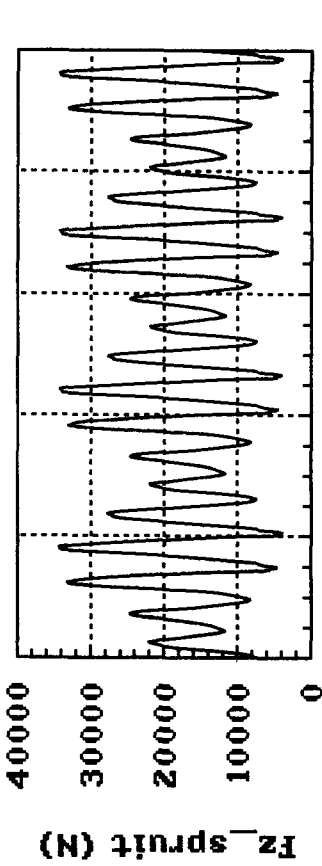
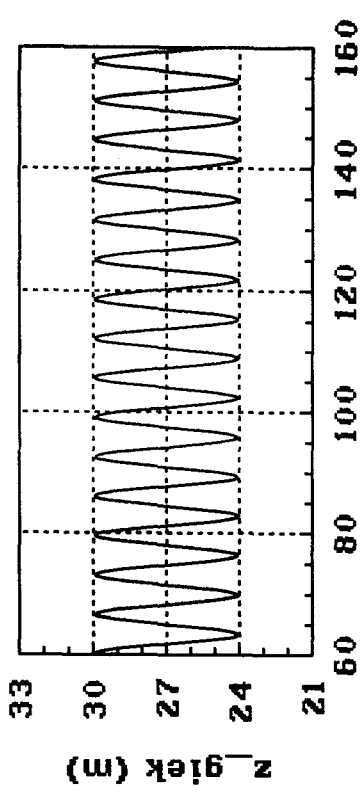
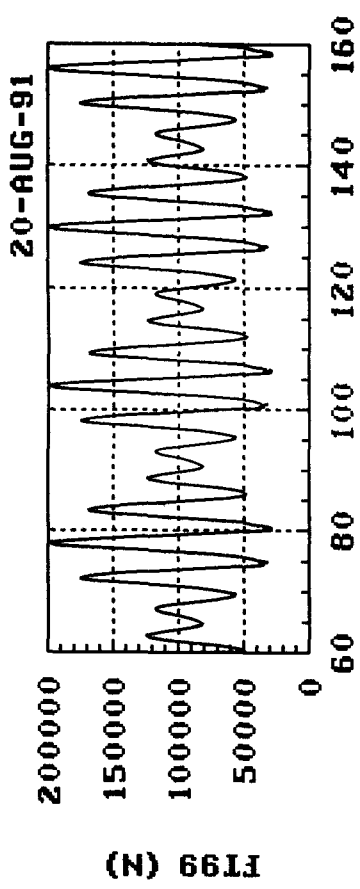
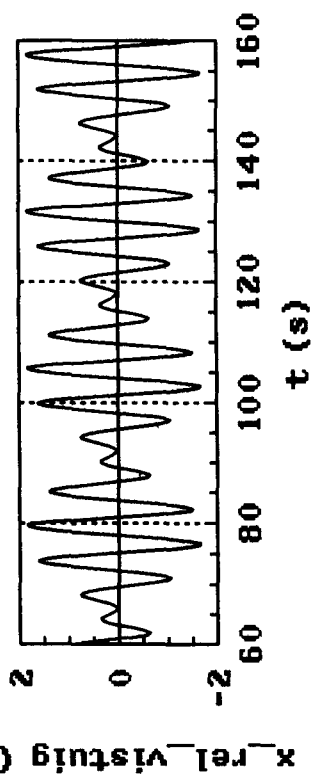
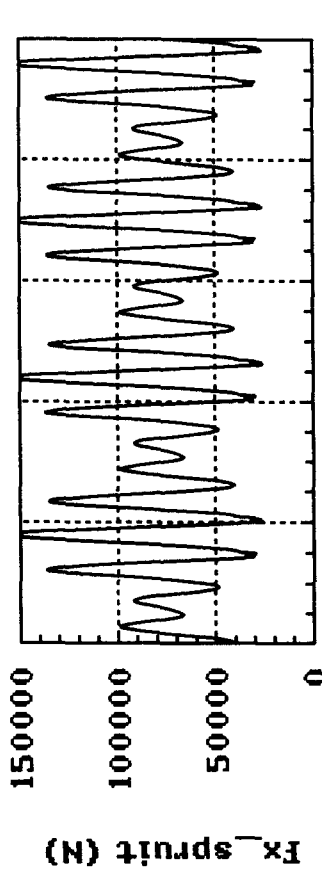
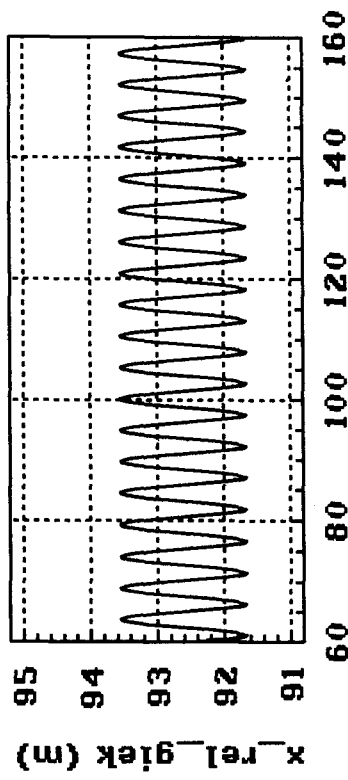
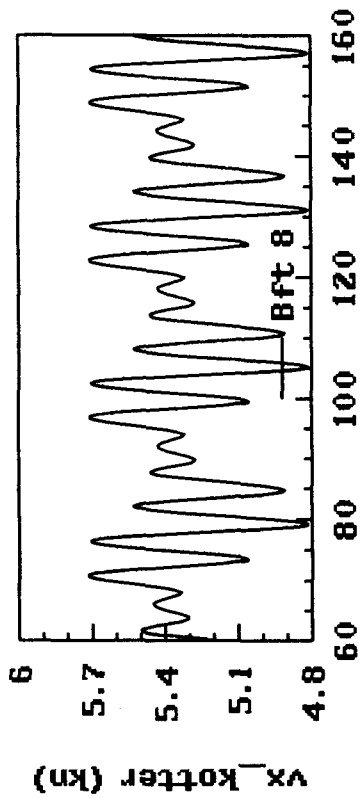
invoer variatie: seastate-135gr.off stern

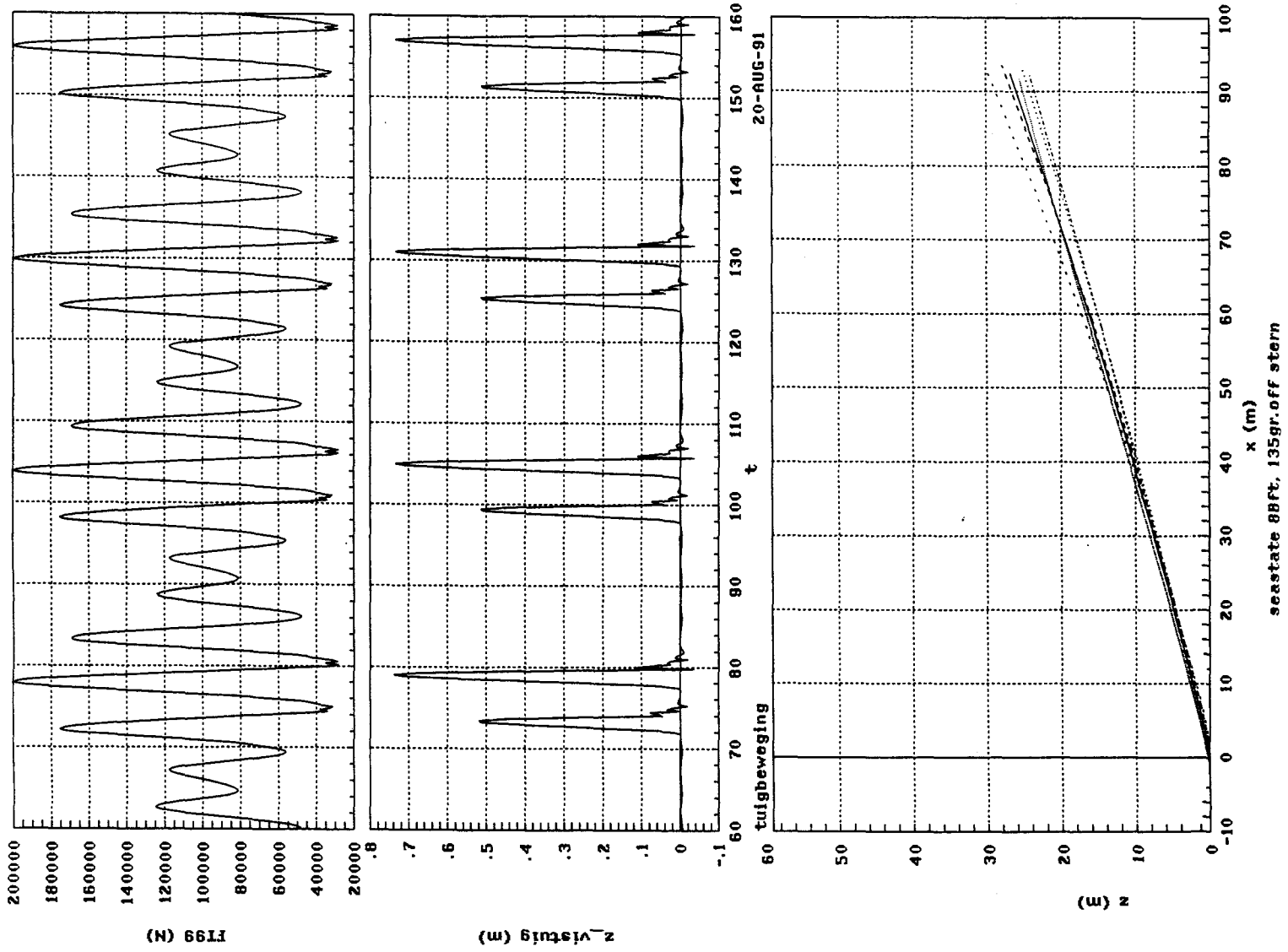


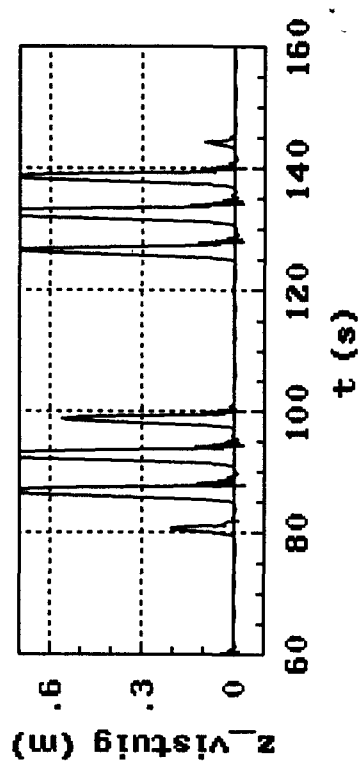
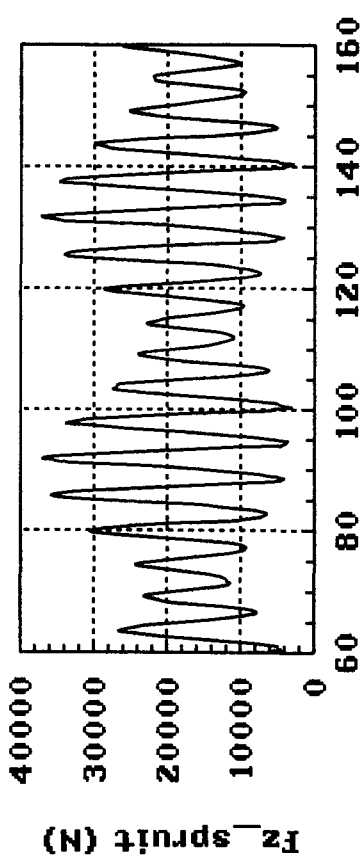
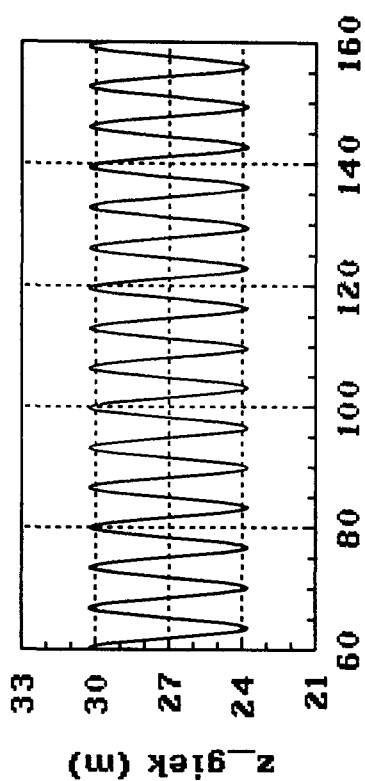
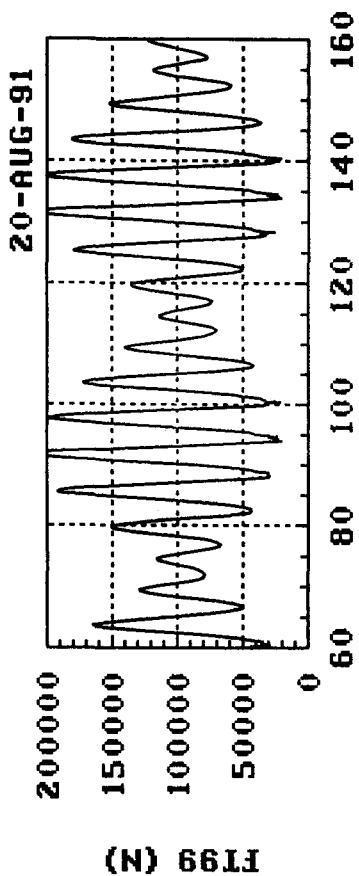
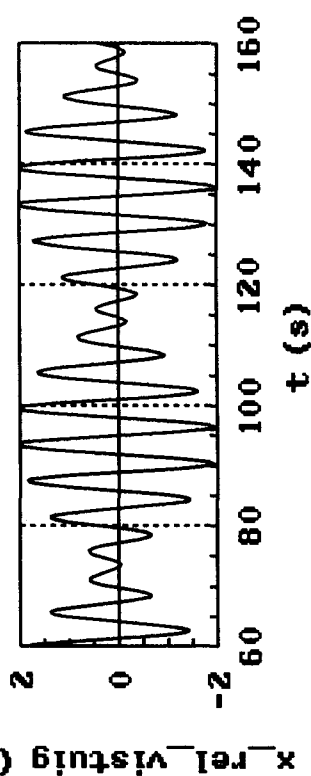
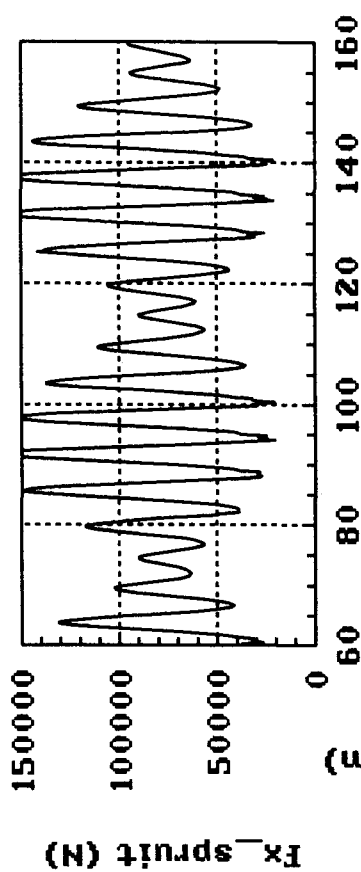
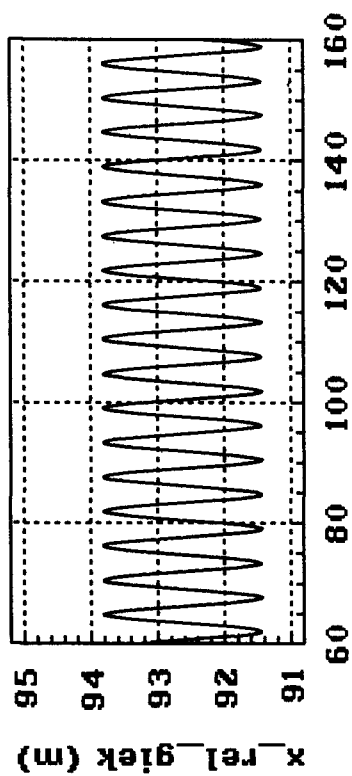
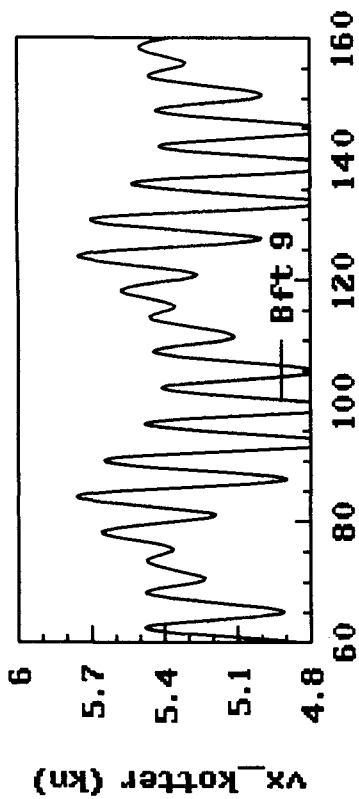


invoer variatie: seastate-135gr.off stern

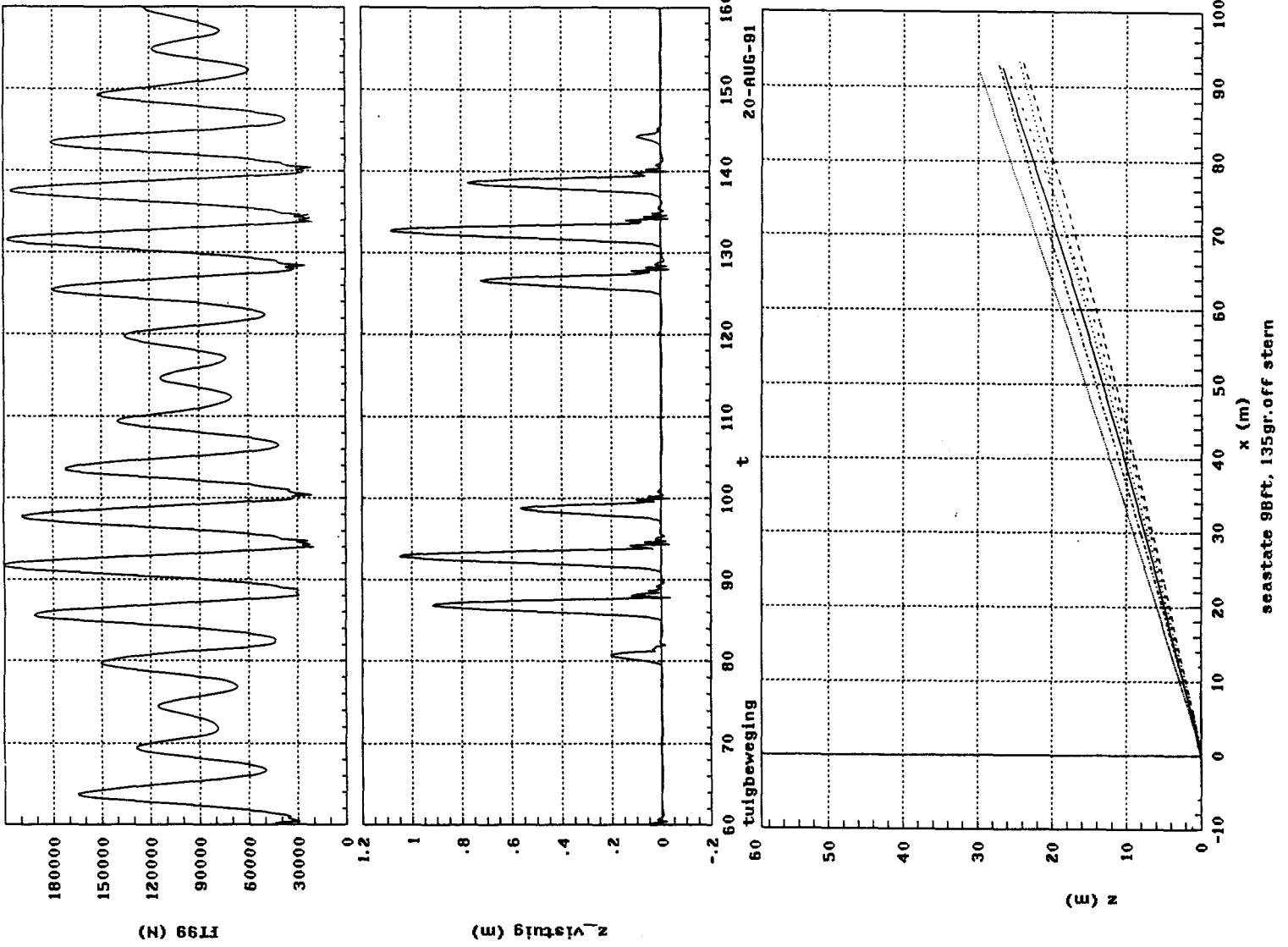


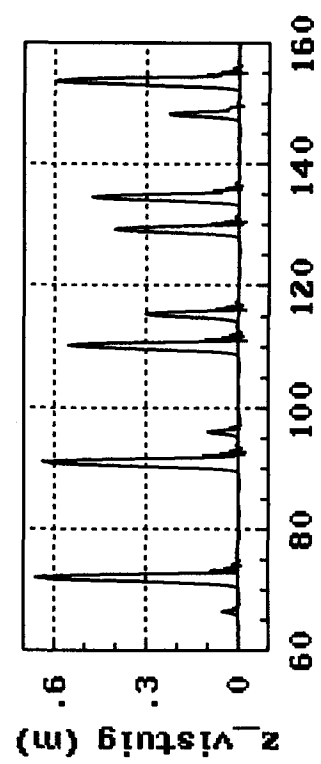
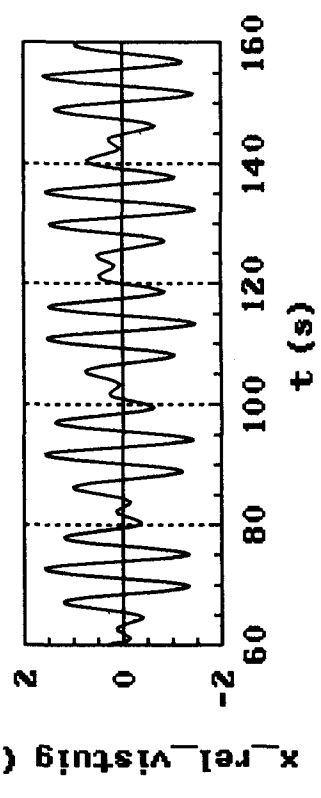
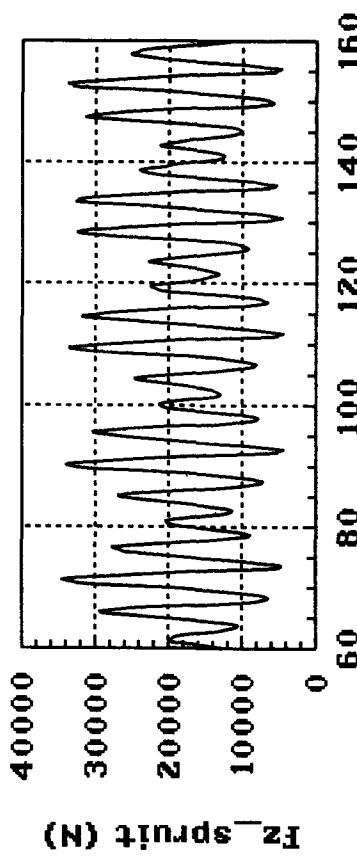
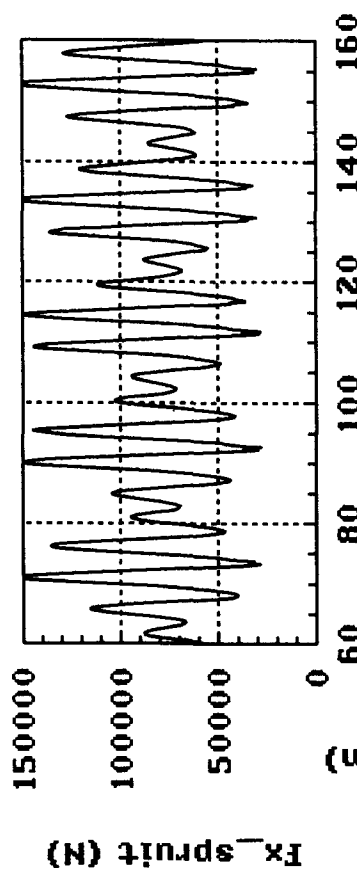
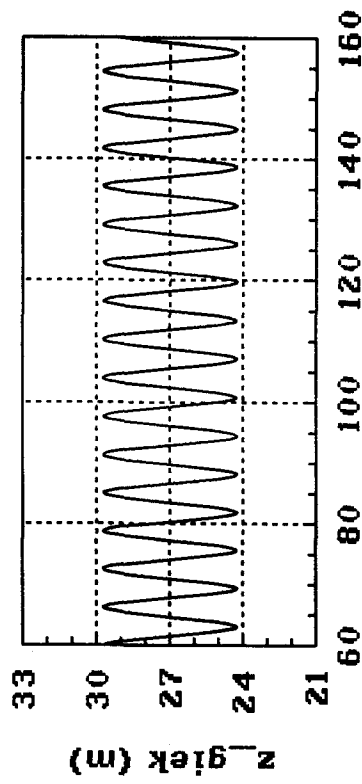
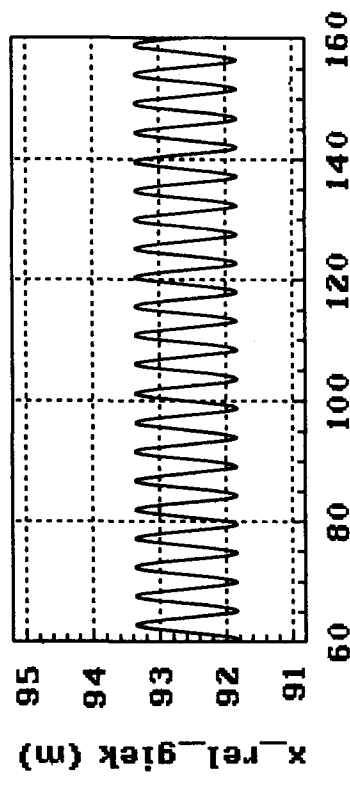
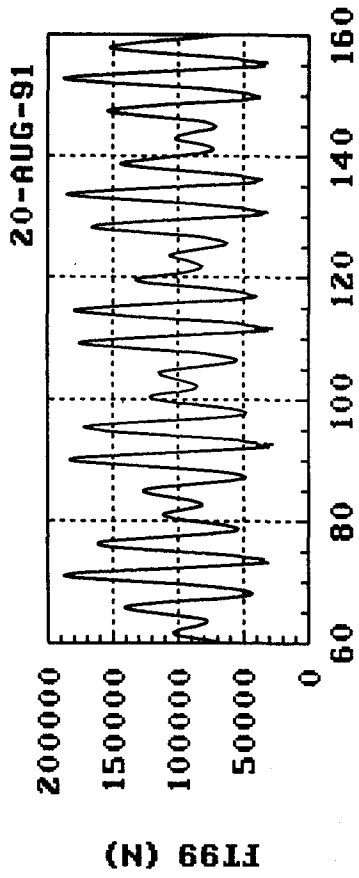
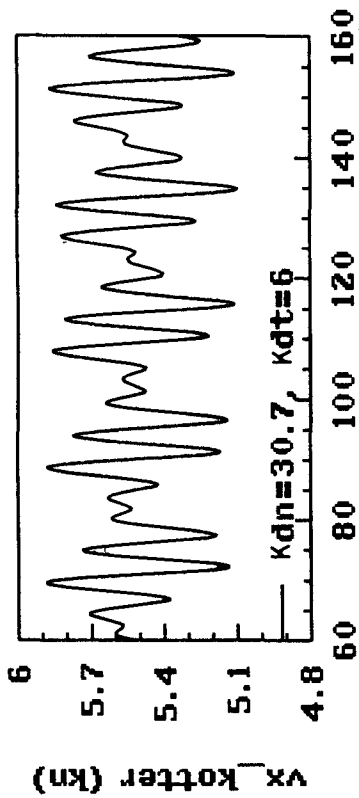




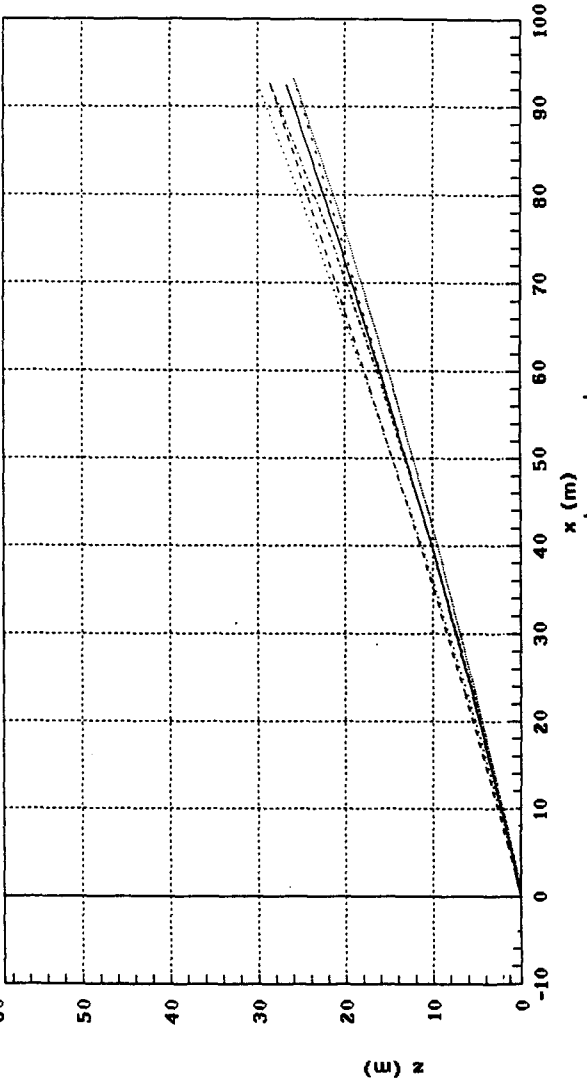
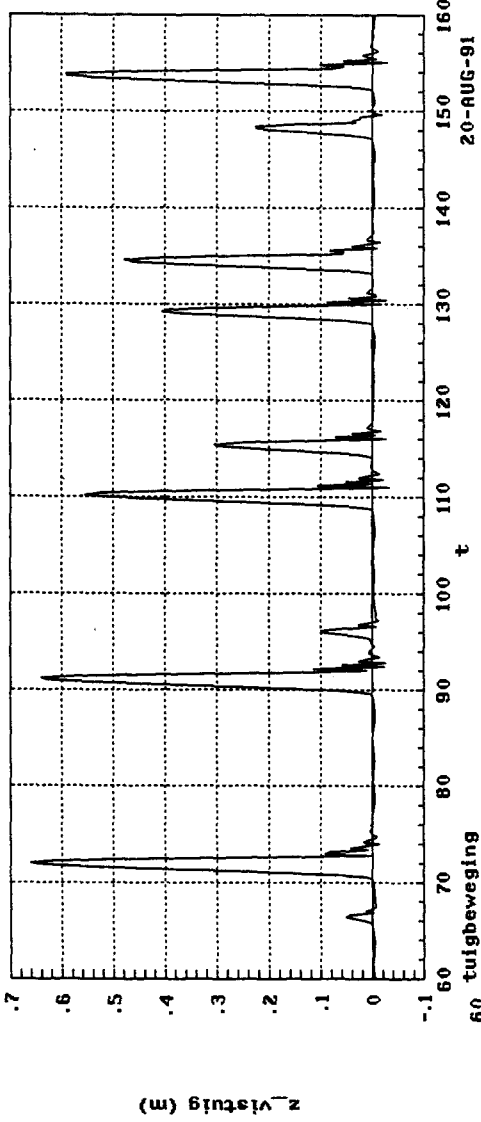
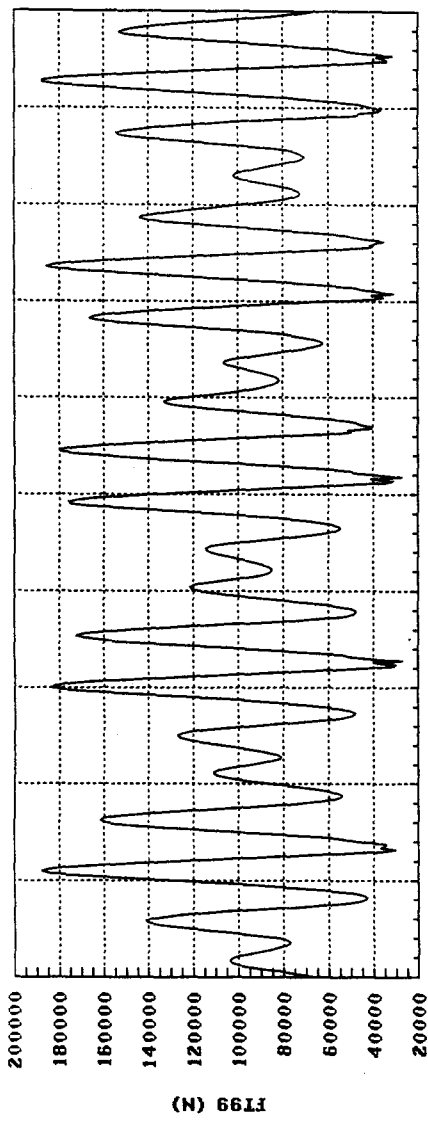


invoer variatie: seastate-135gr.off stern

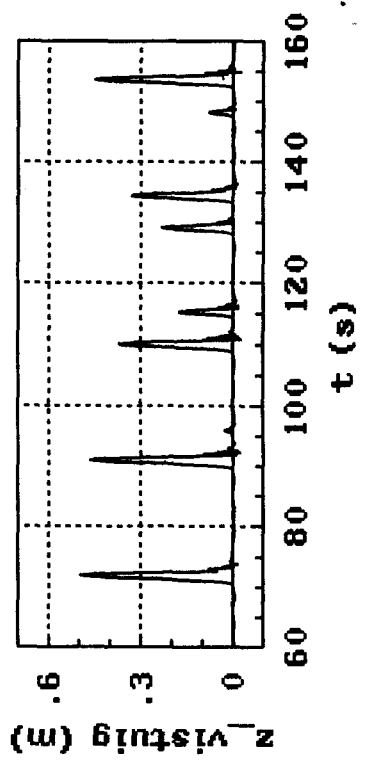
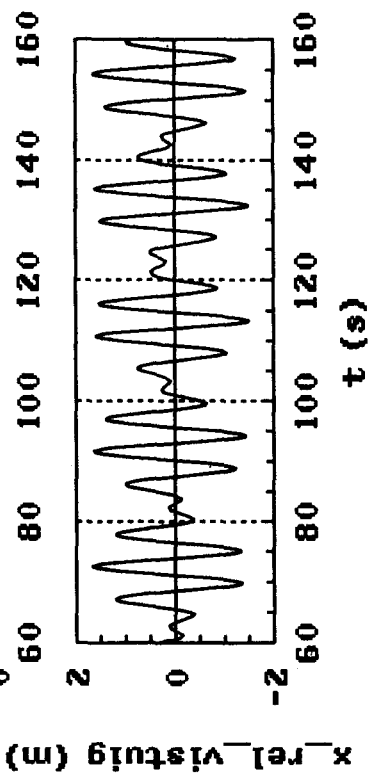
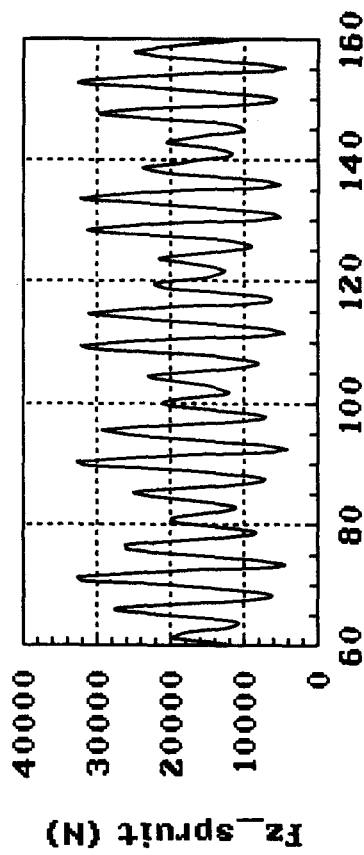
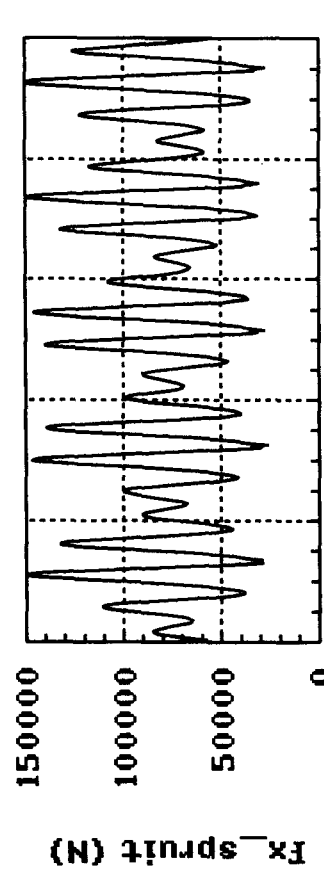
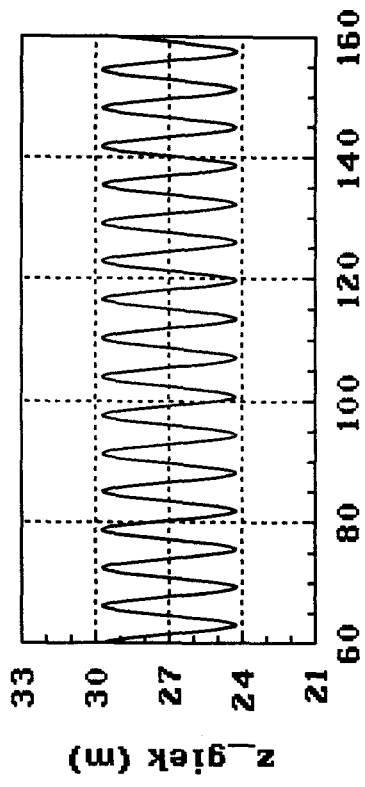
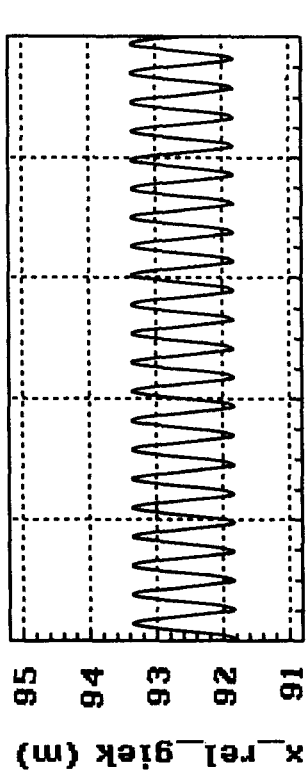
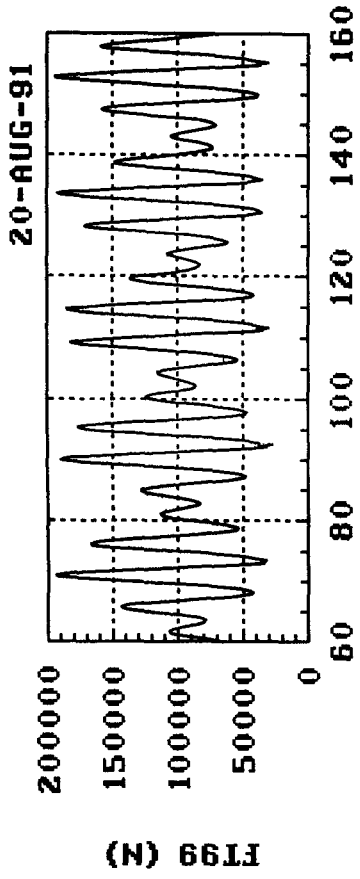
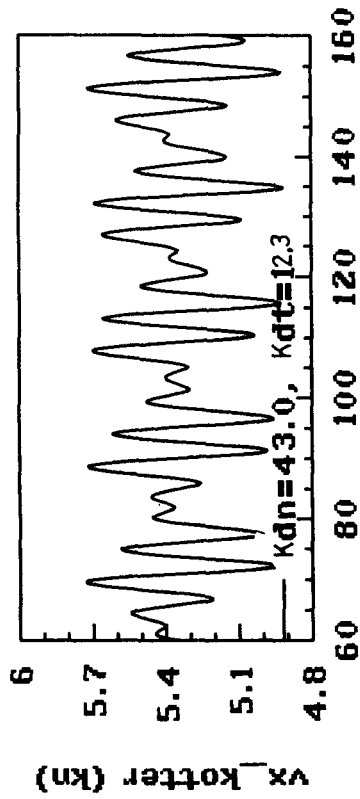




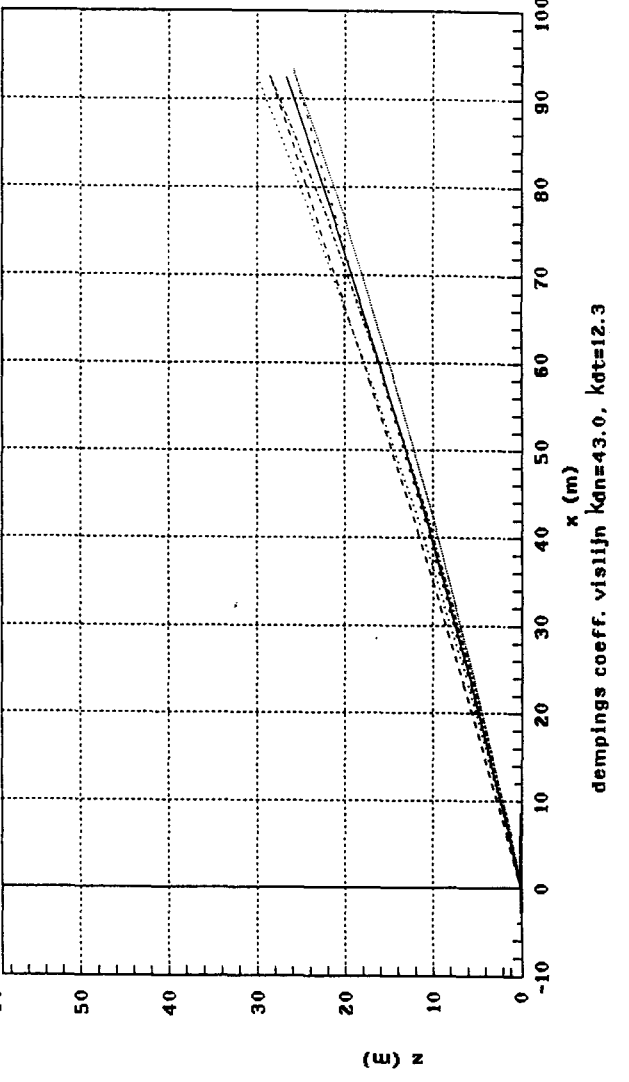
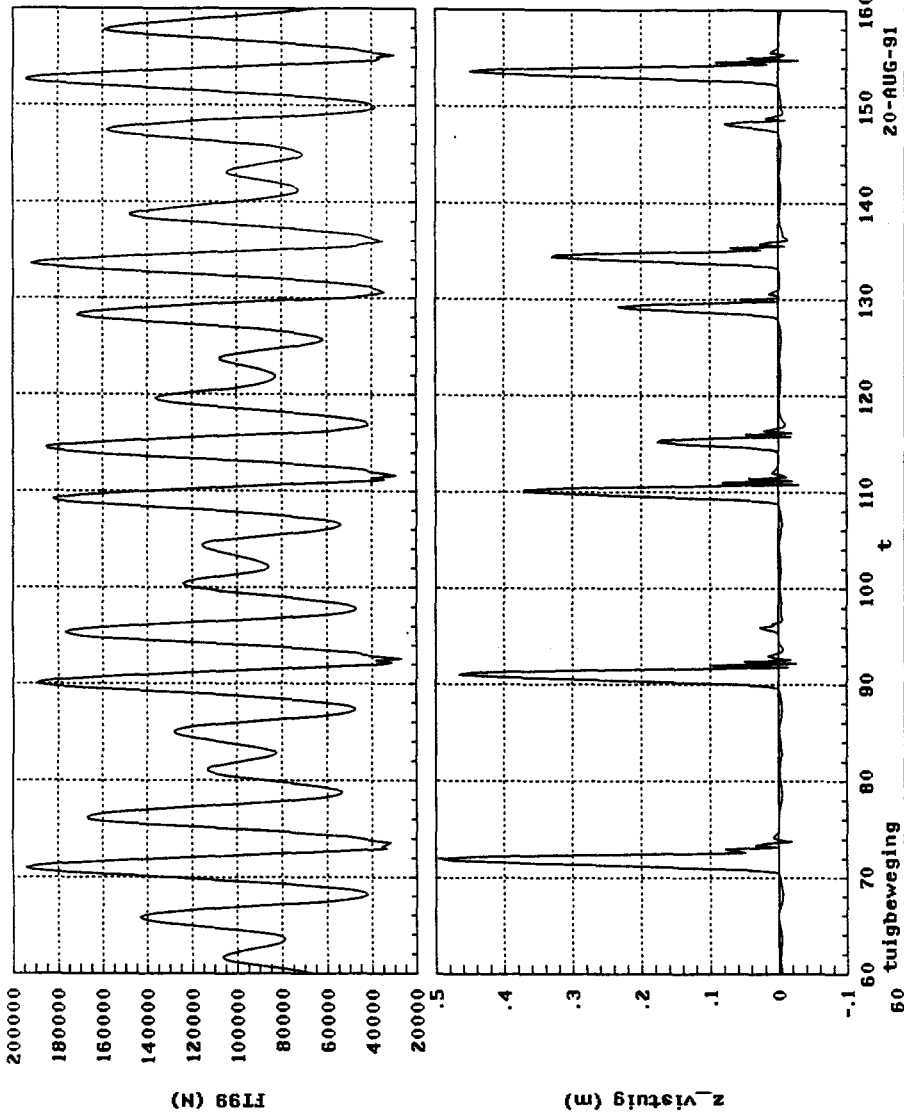
invoer variatie: dempingscoeff. vislijn

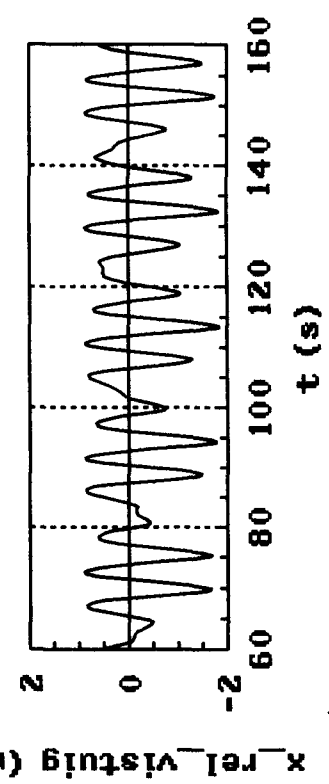
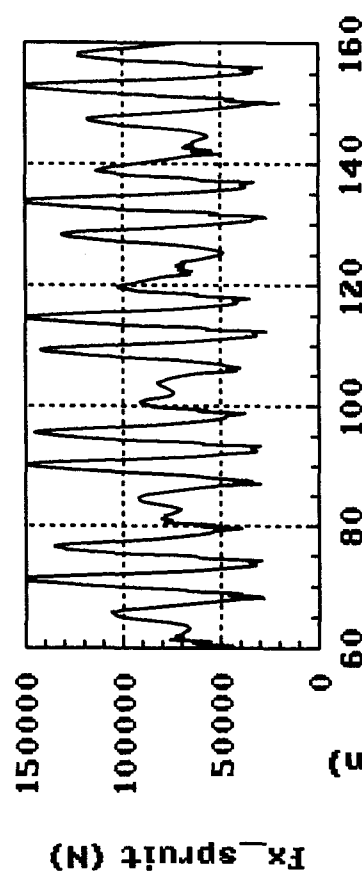
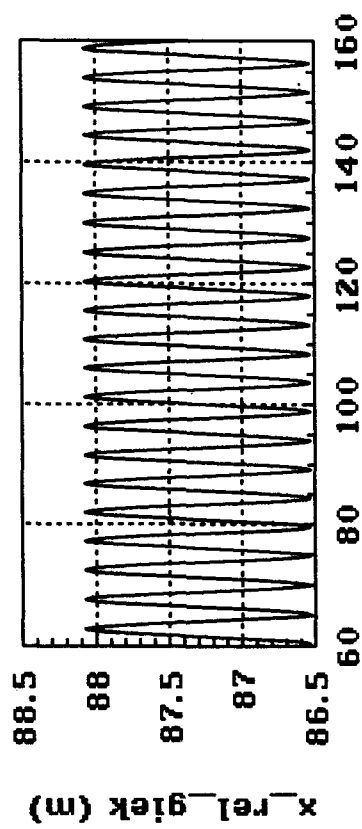
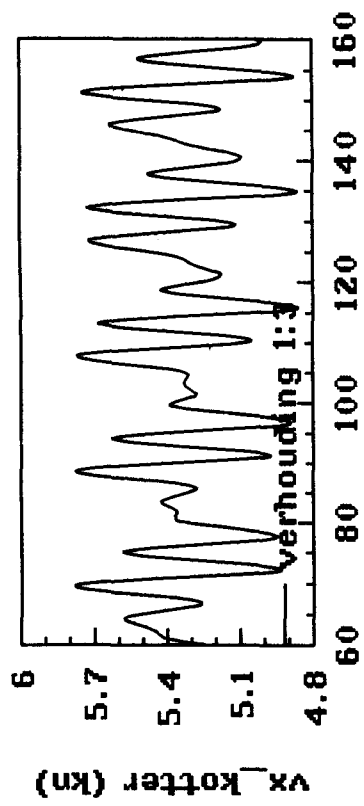


dempings coeff. vislijn kans=30.7, kat=6.2

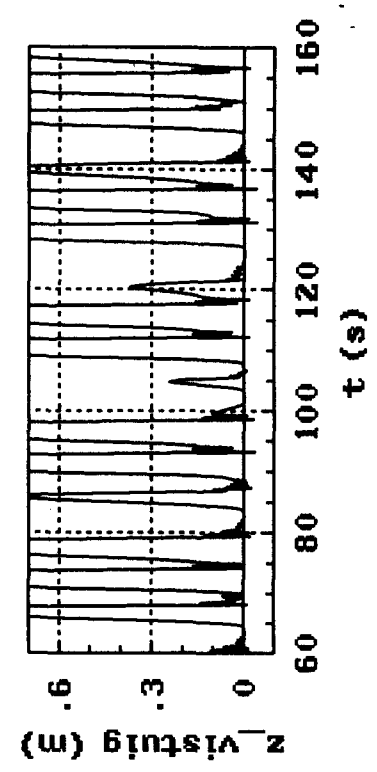
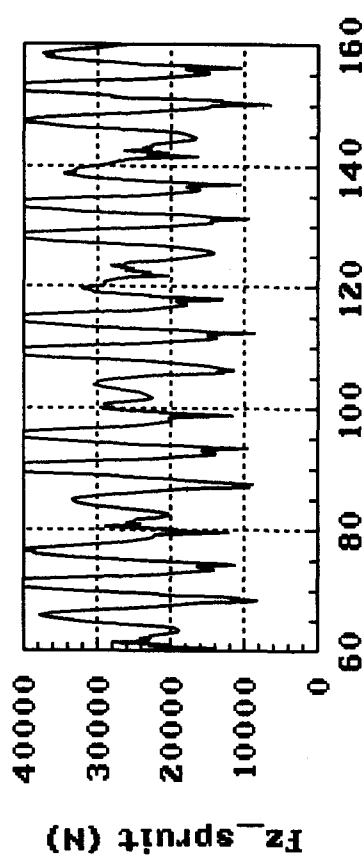
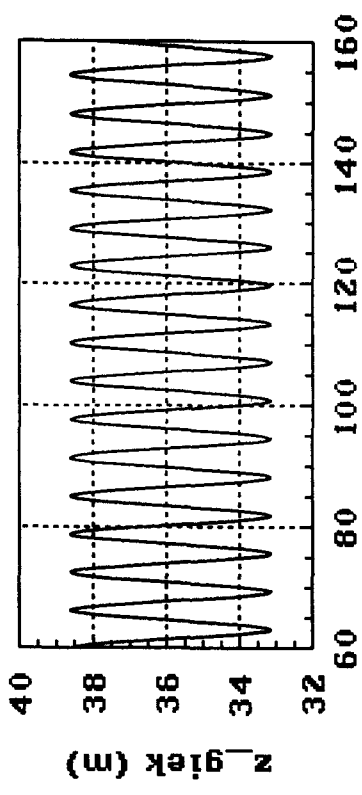
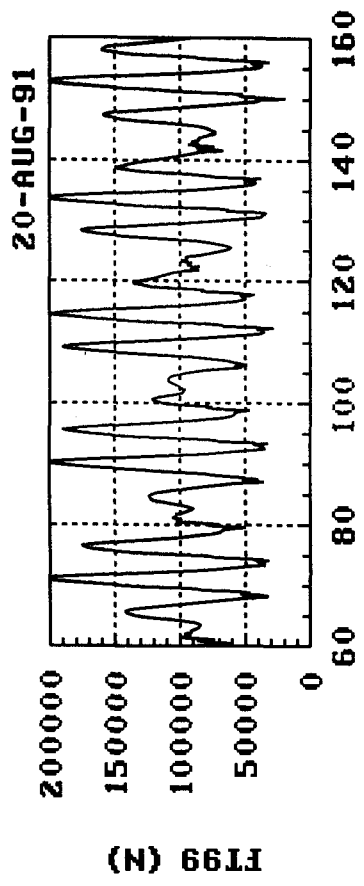


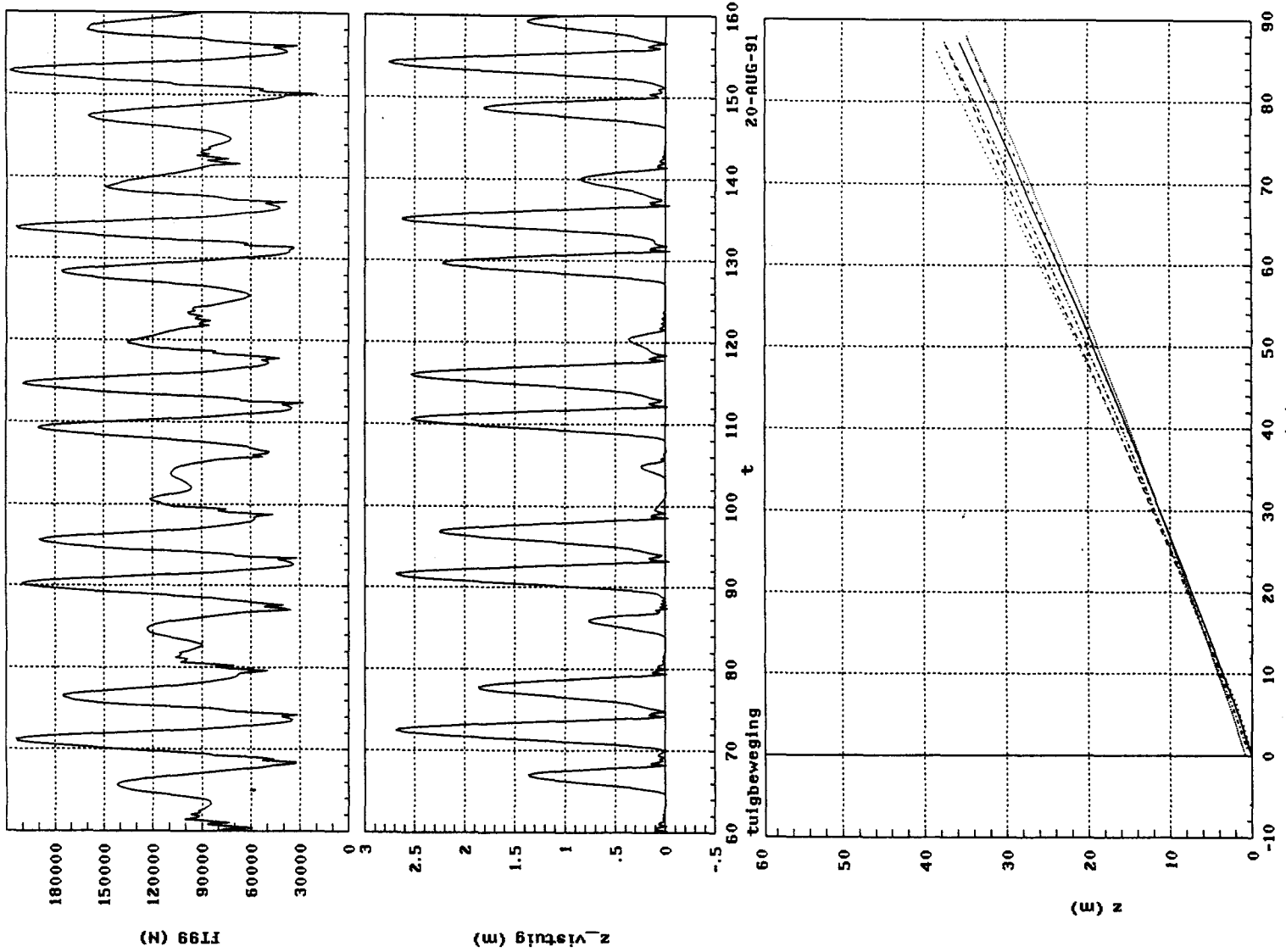
invoer variatie: dempingscoeff. vislijn

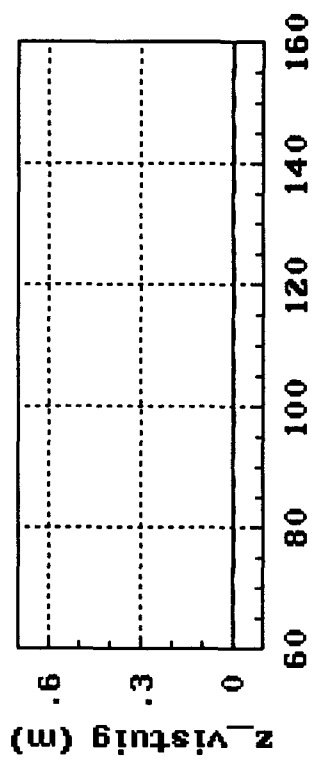
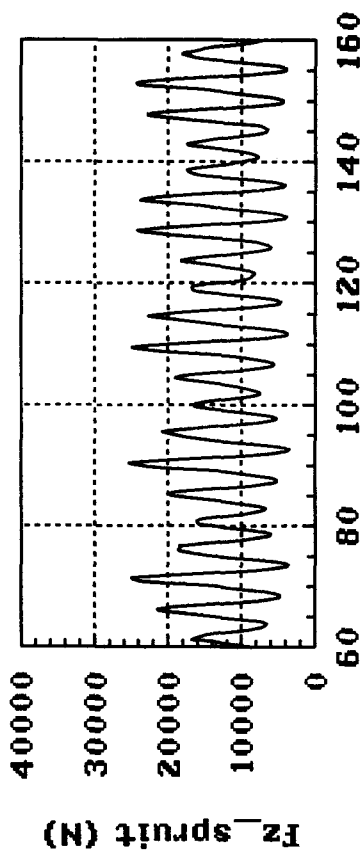
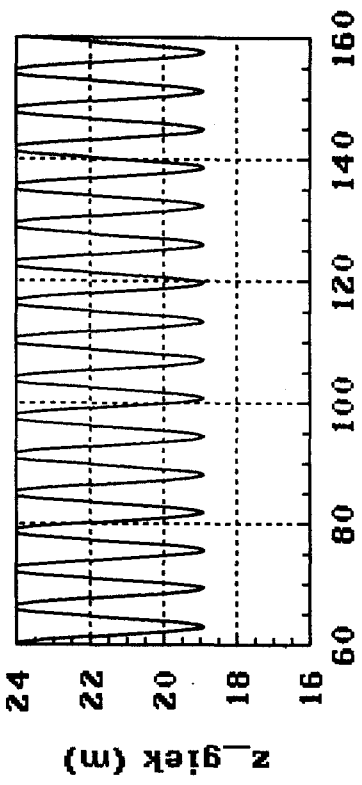
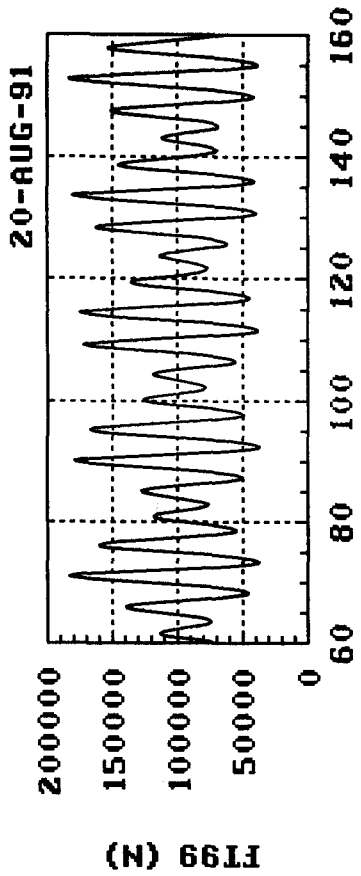
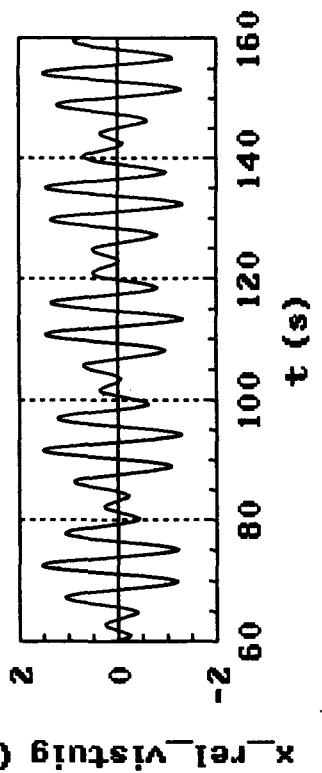
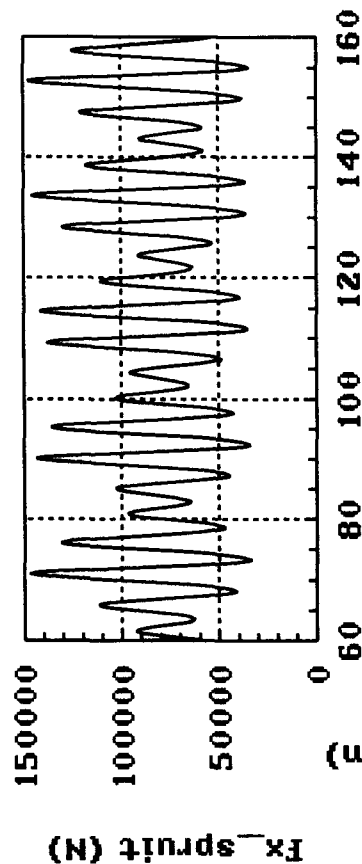
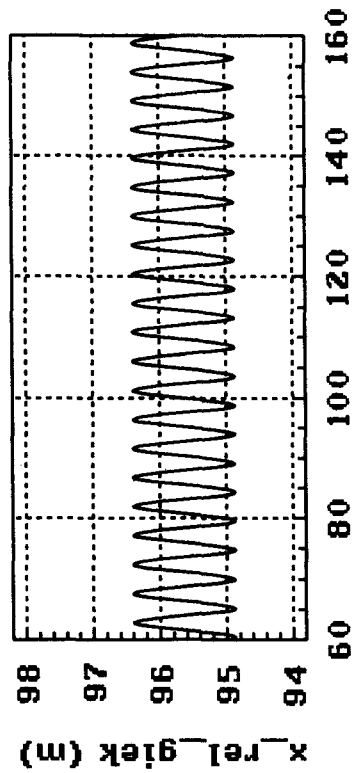
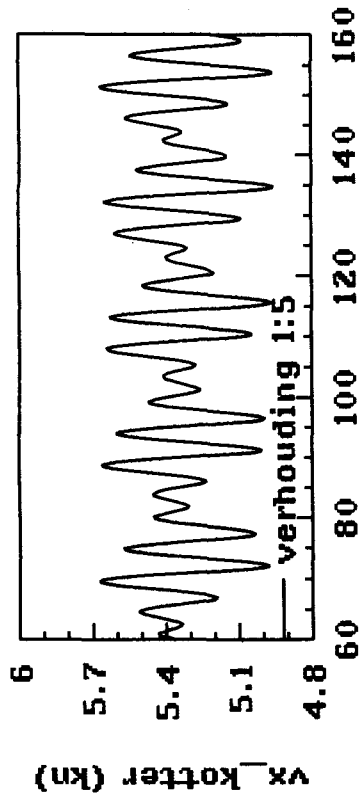




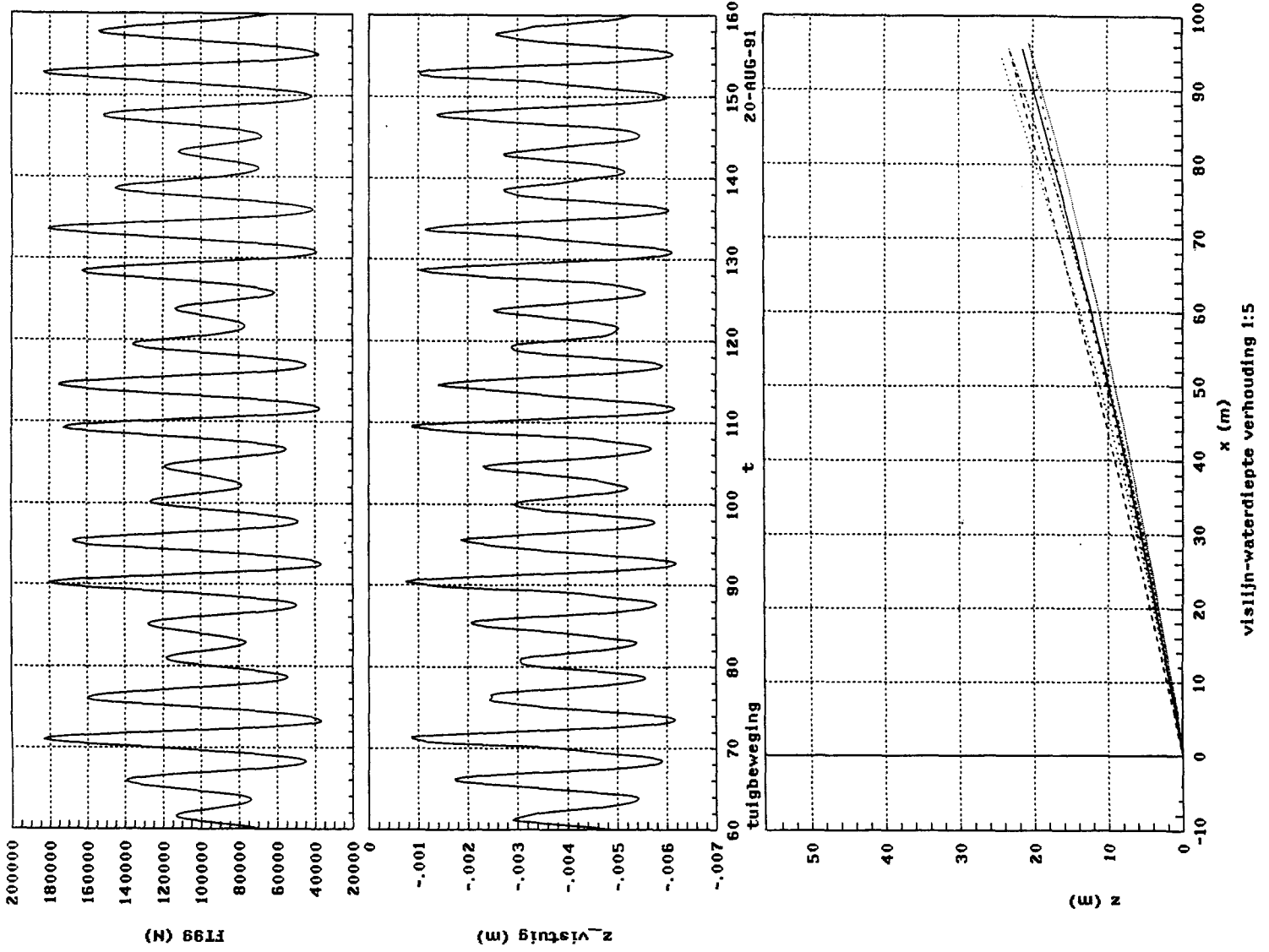
invoer variatie: vislijn-waterdiepte

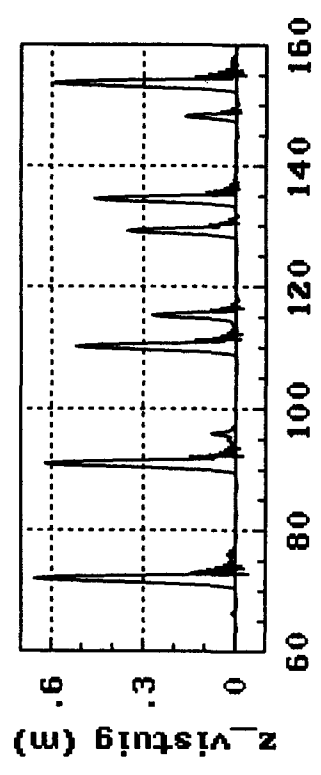
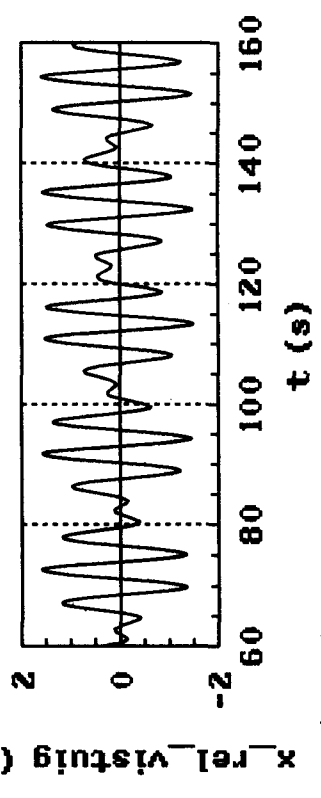
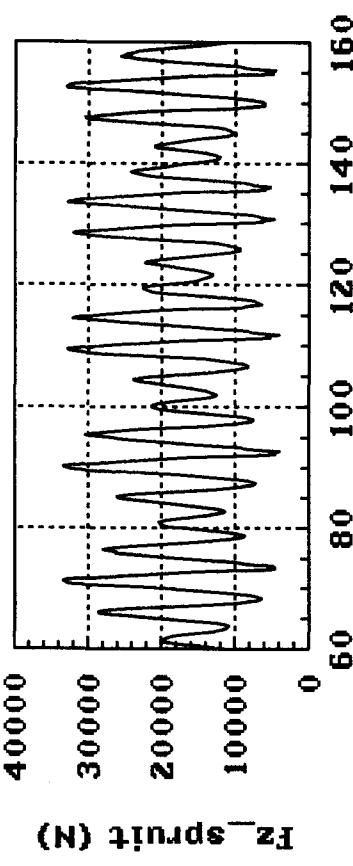
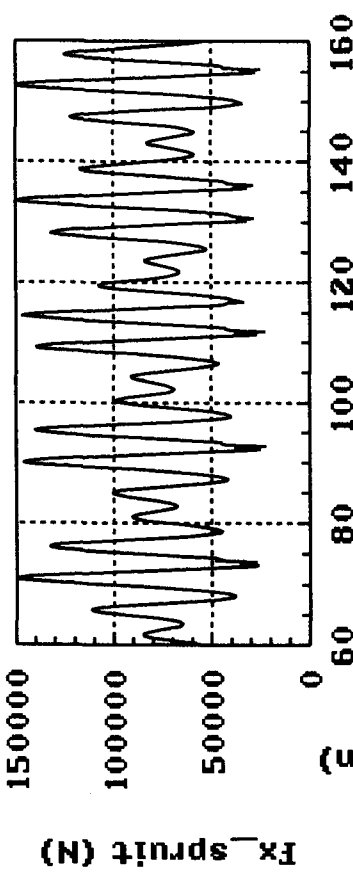
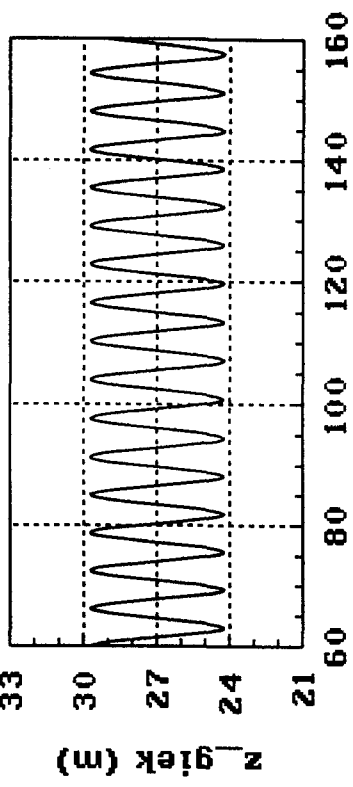
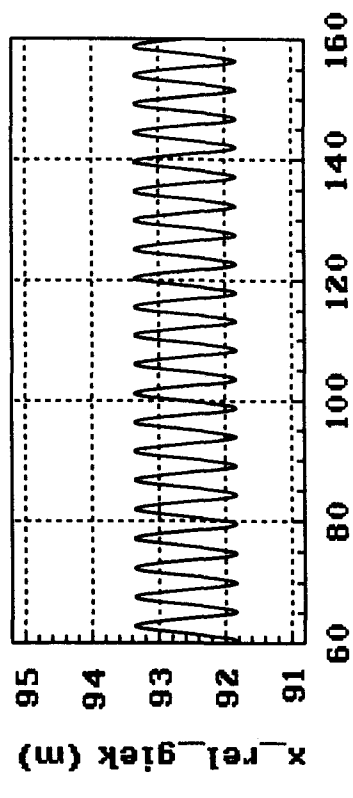
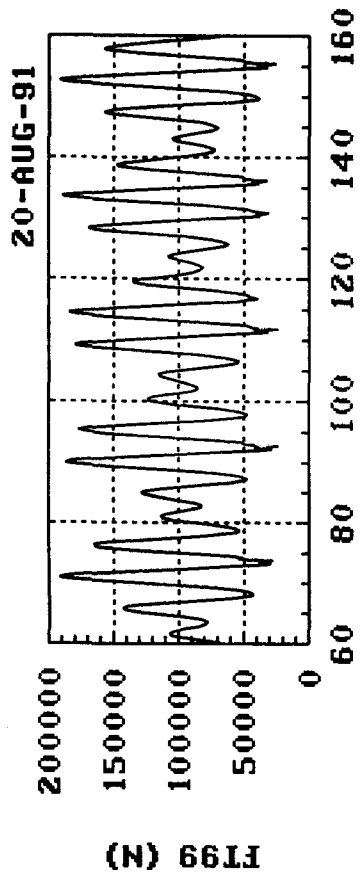
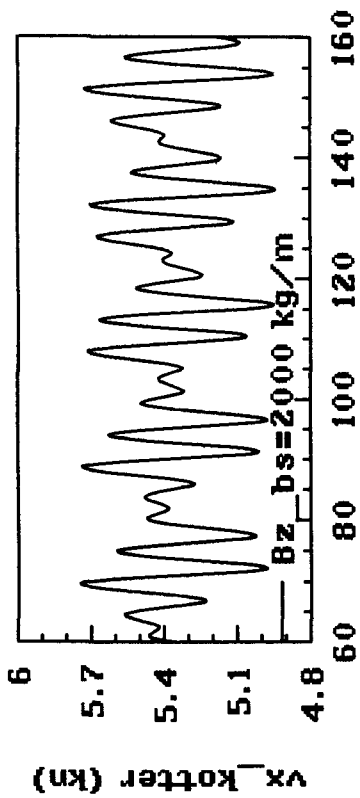




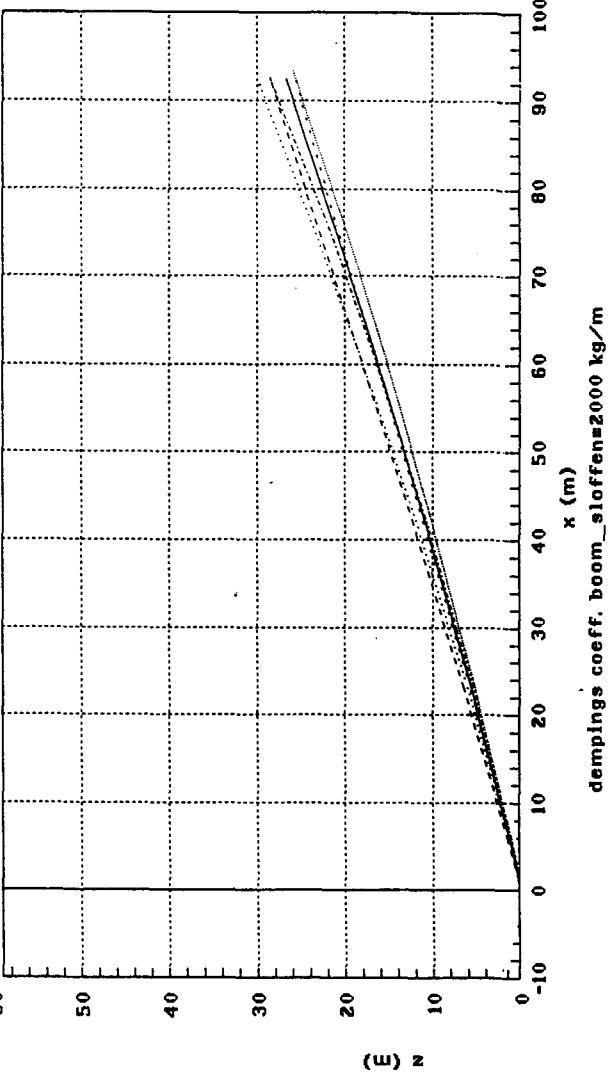
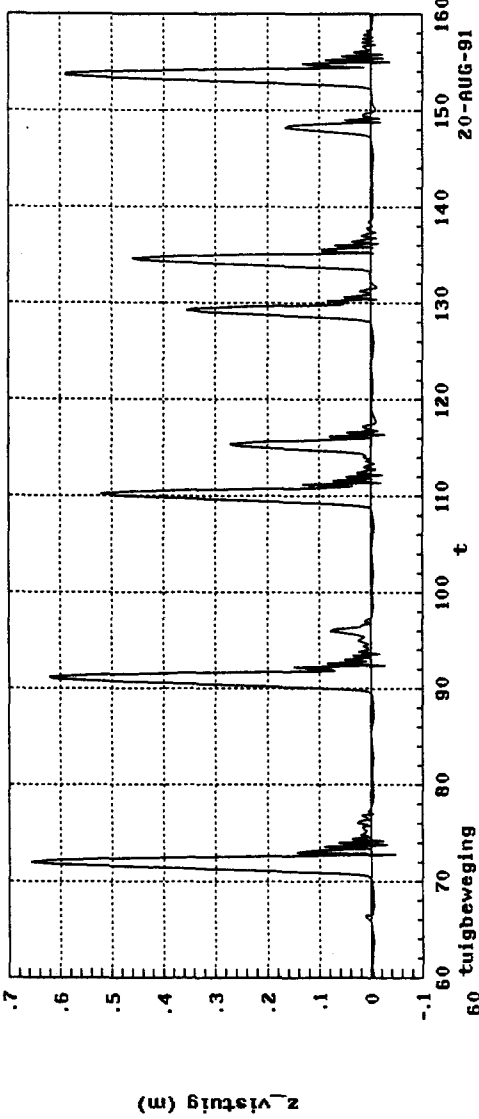
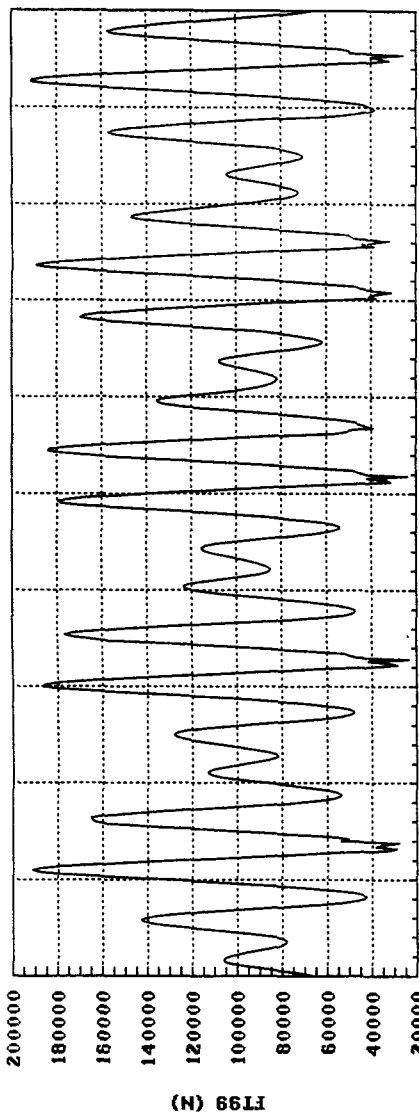


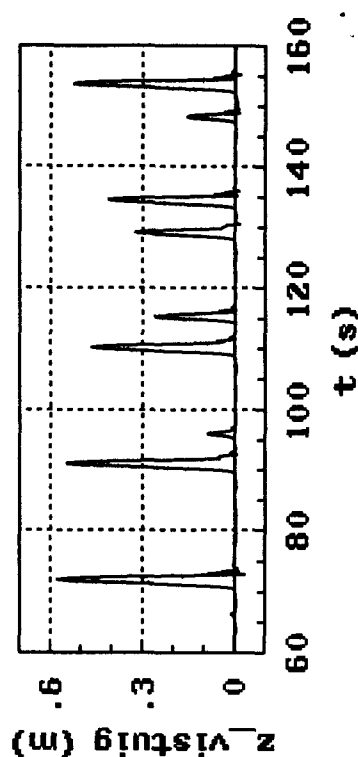
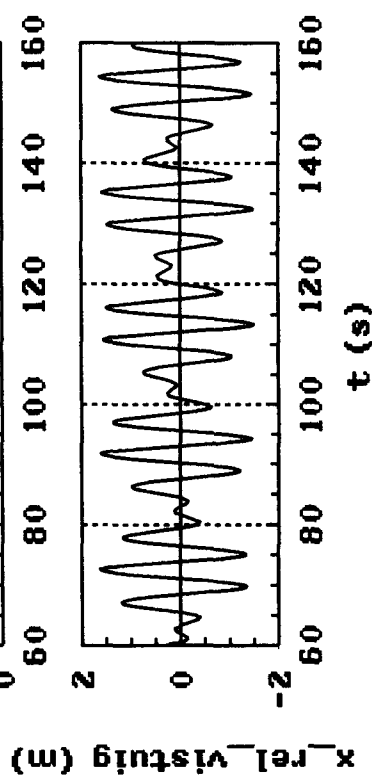
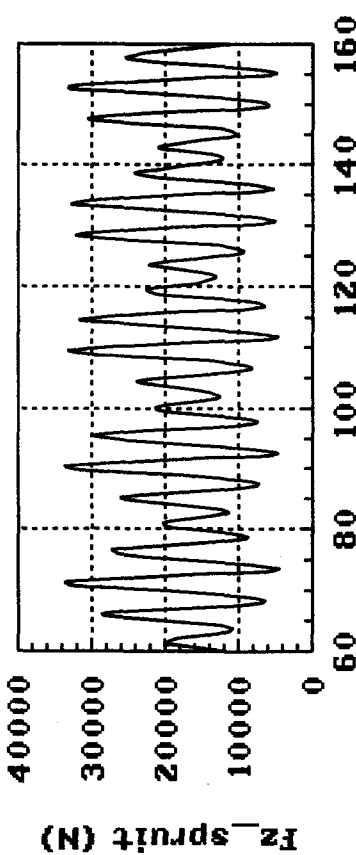
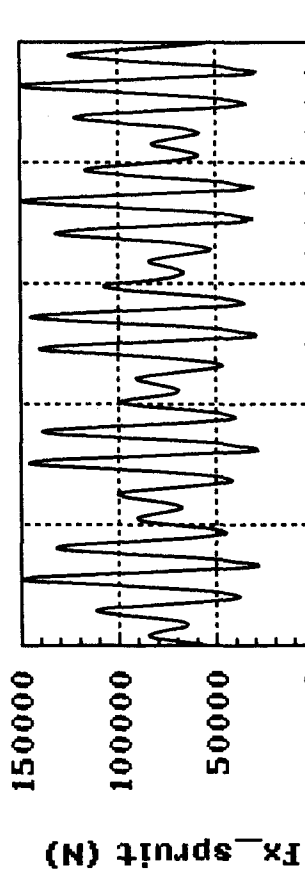
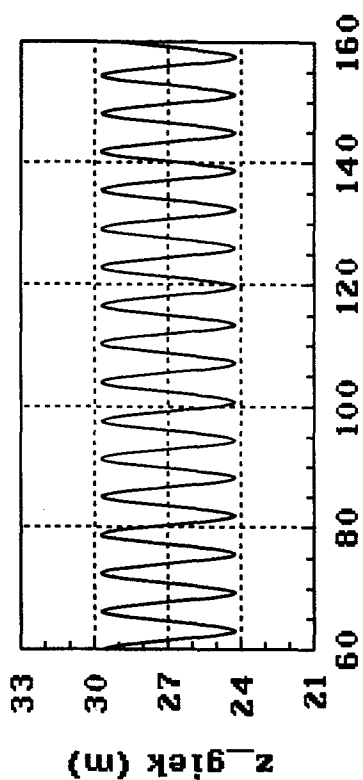
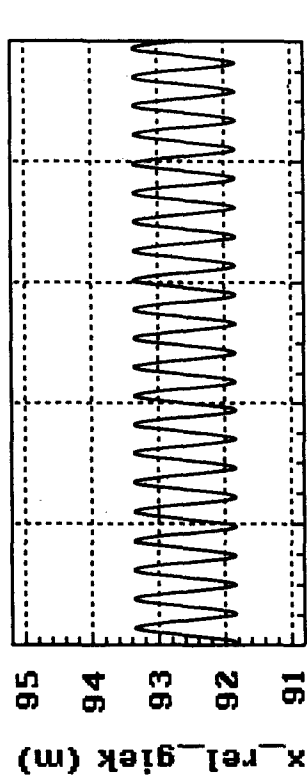
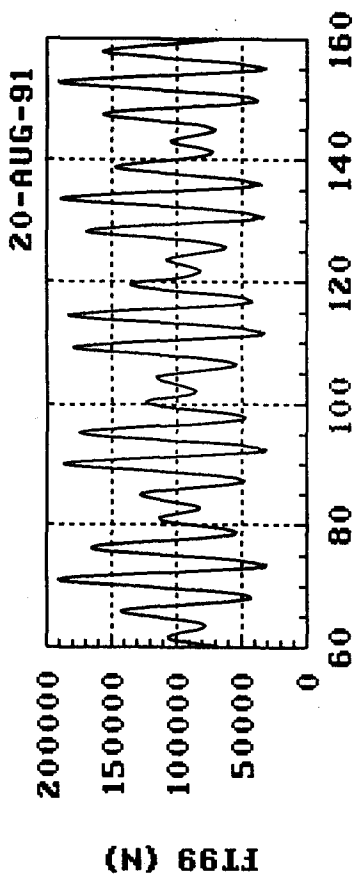
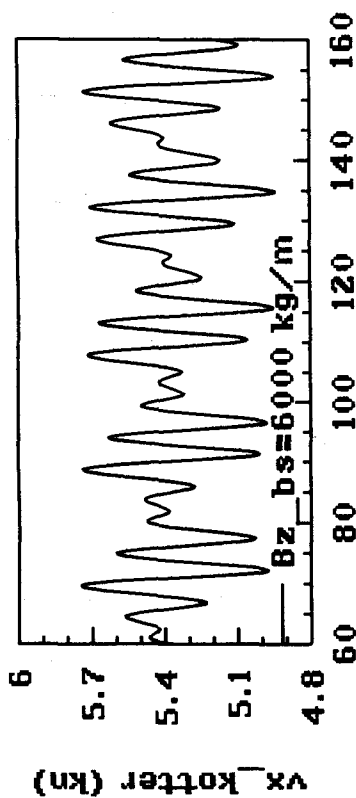
invoer variatie: vislijn-waterdiepte



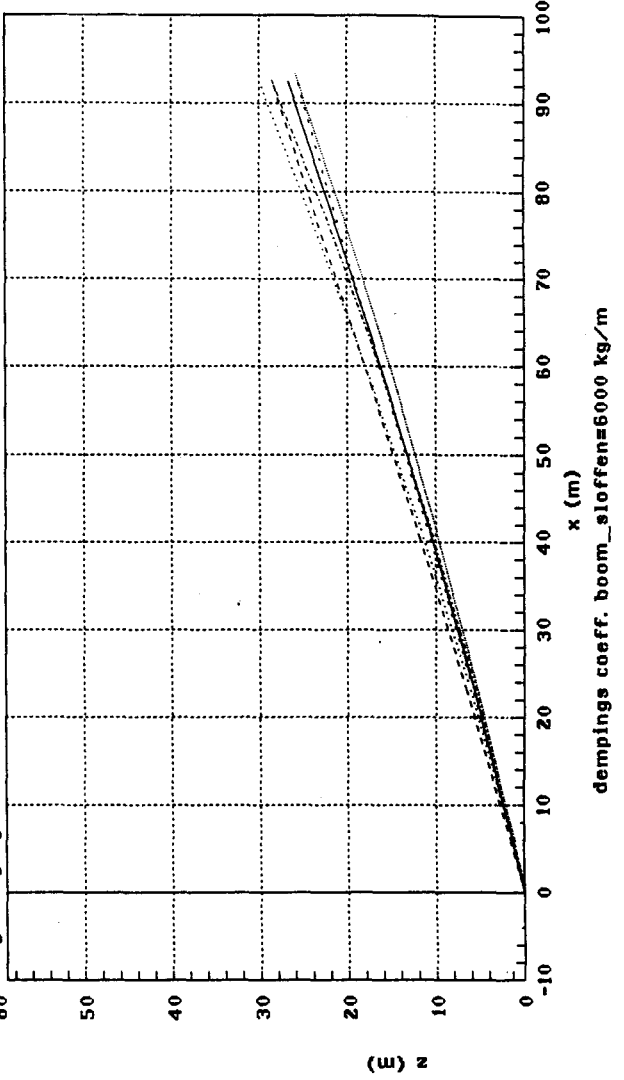
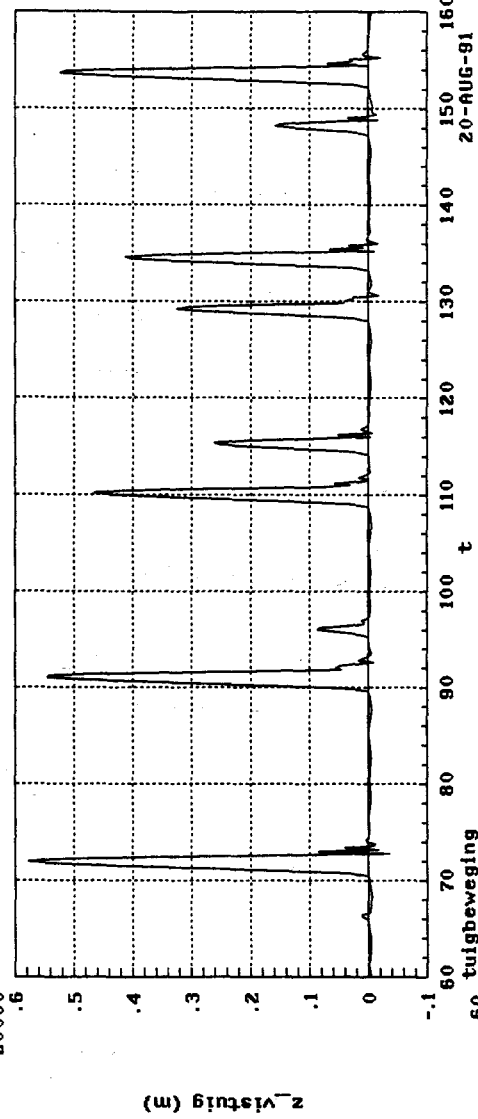
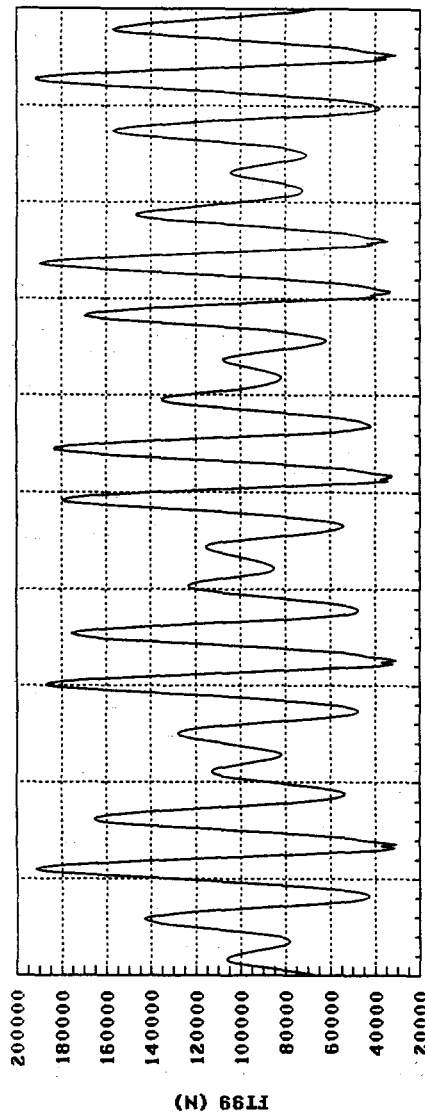


invoer variatie: dempingscoeff. boom/sloffen

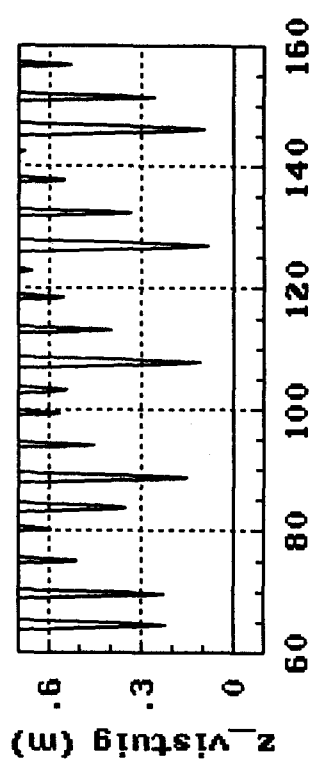
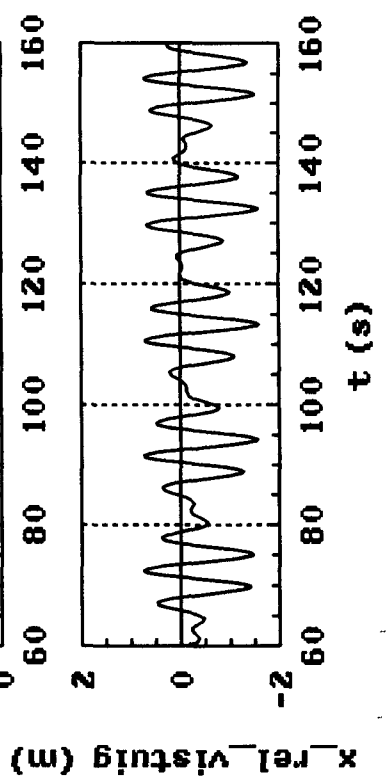
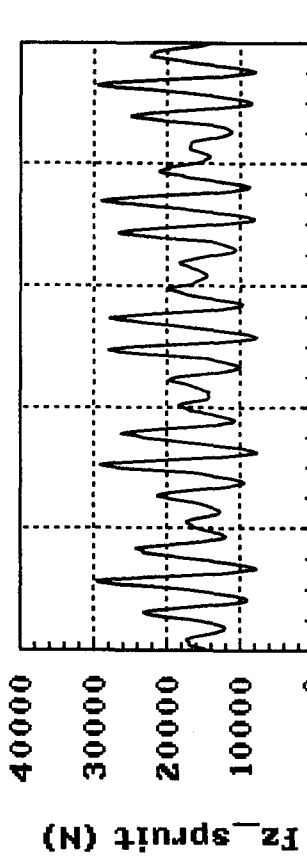
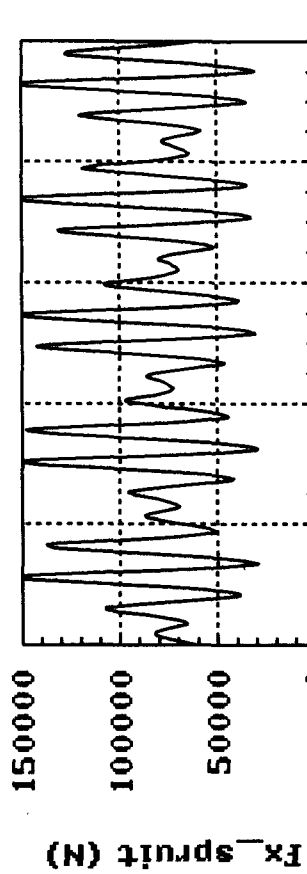
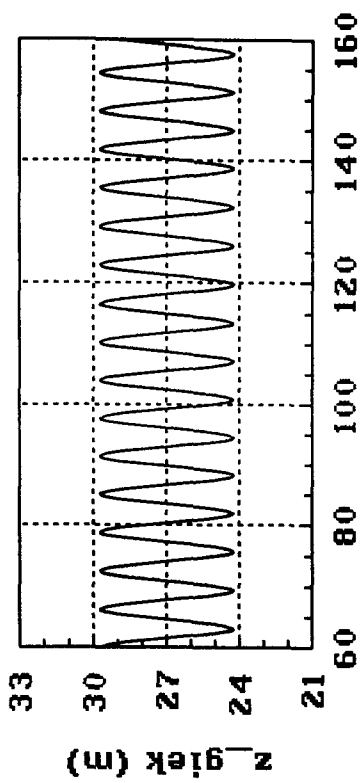
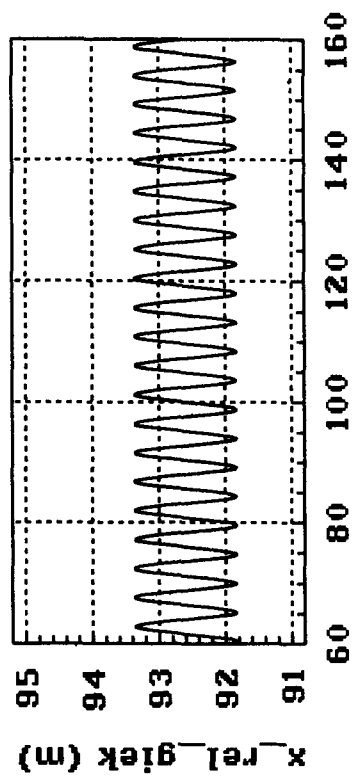
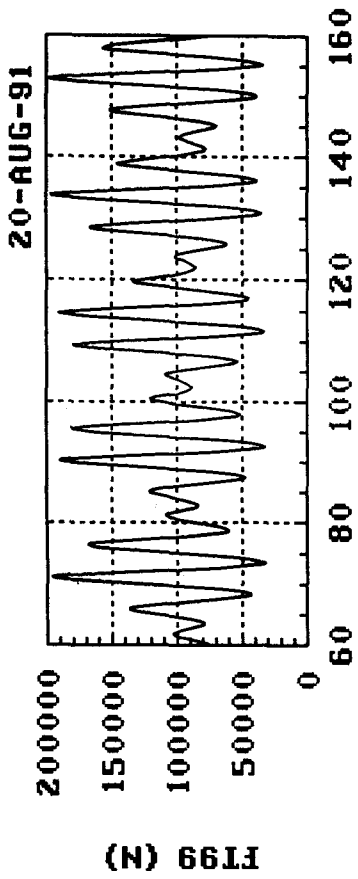
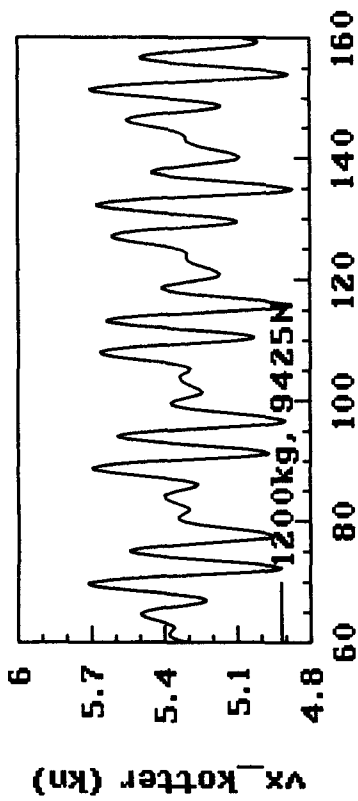




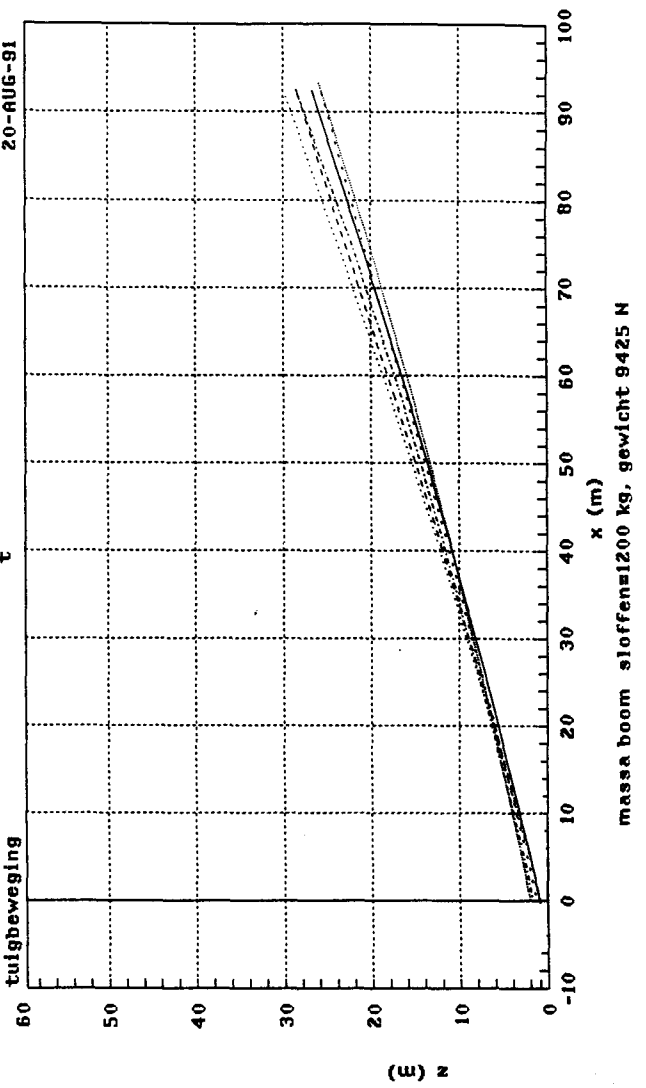
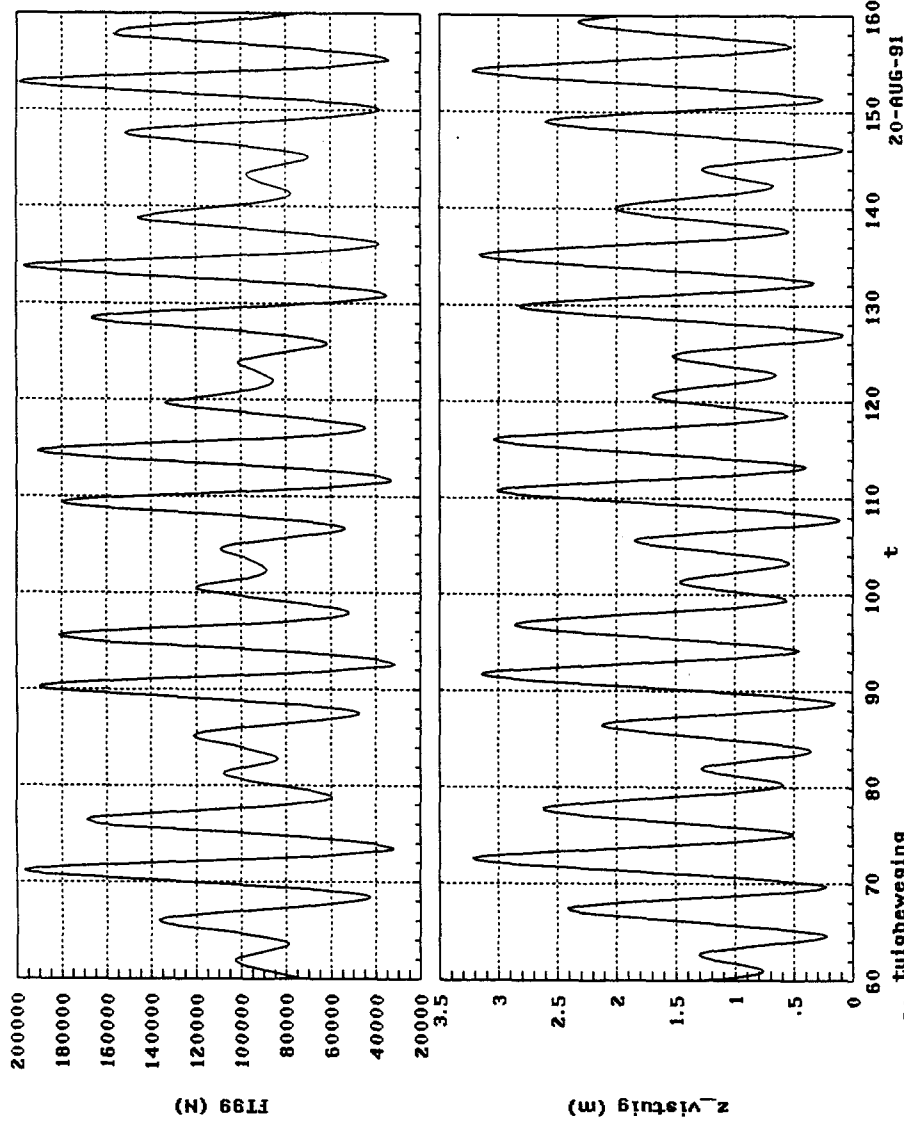
invoer variatie: dempingscoeff. boom/sloffen

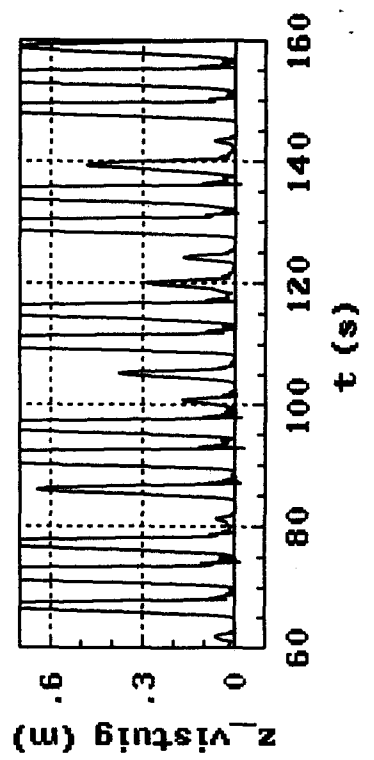
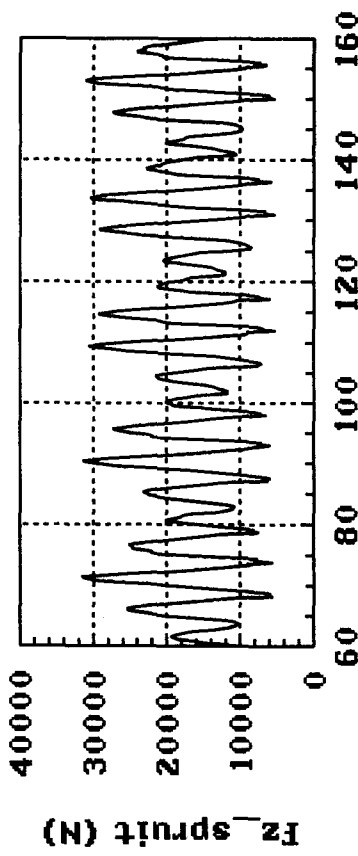
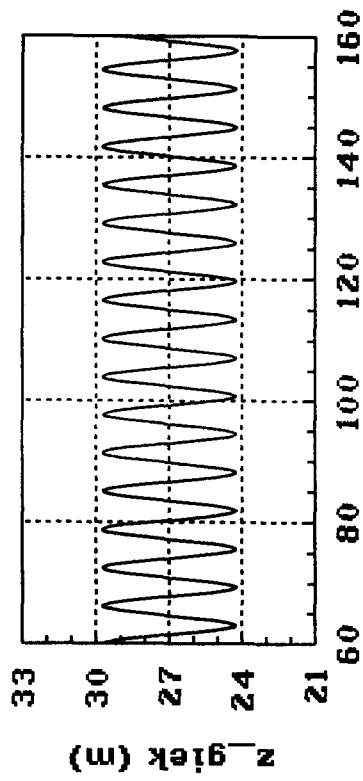
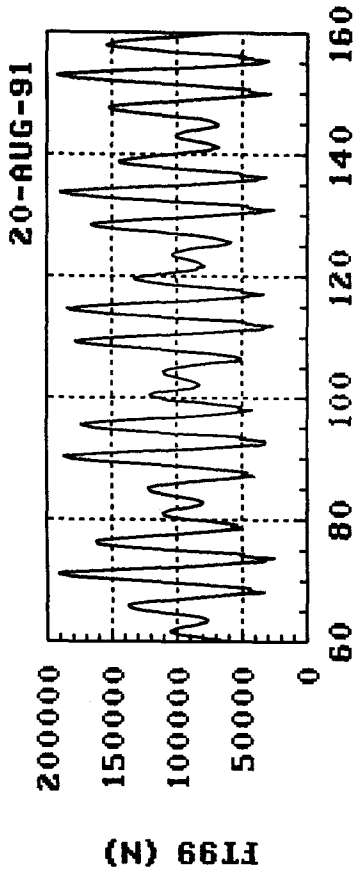
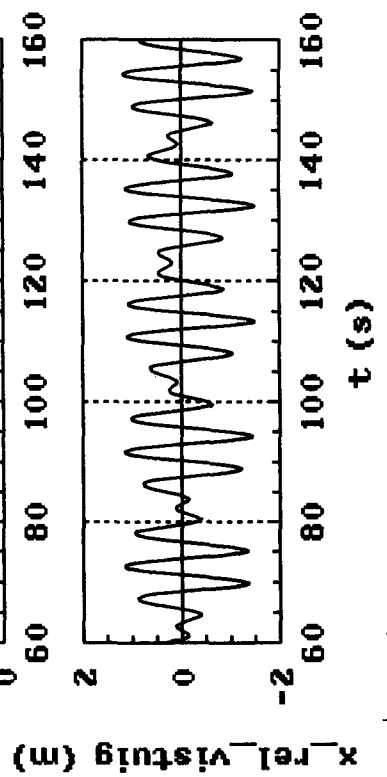
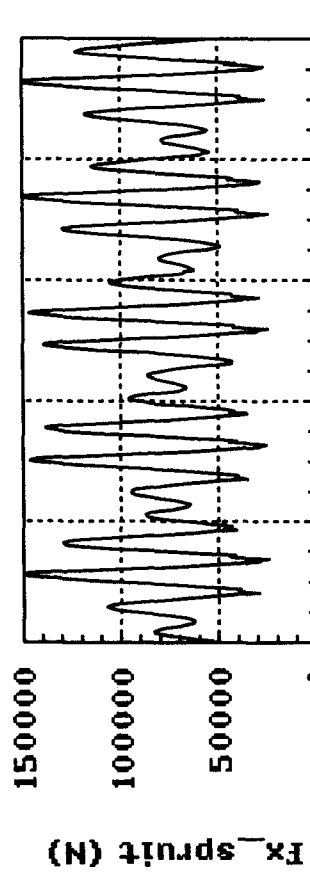
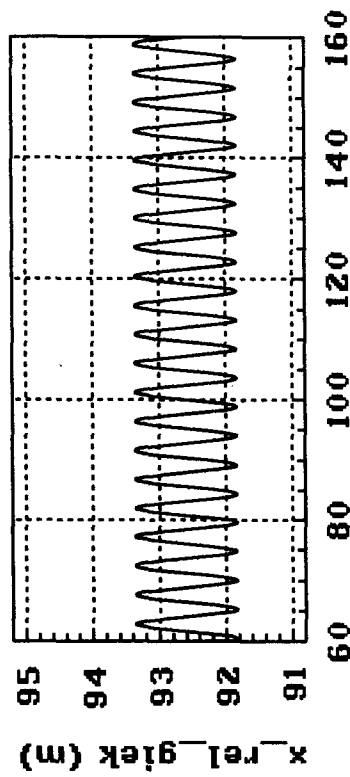
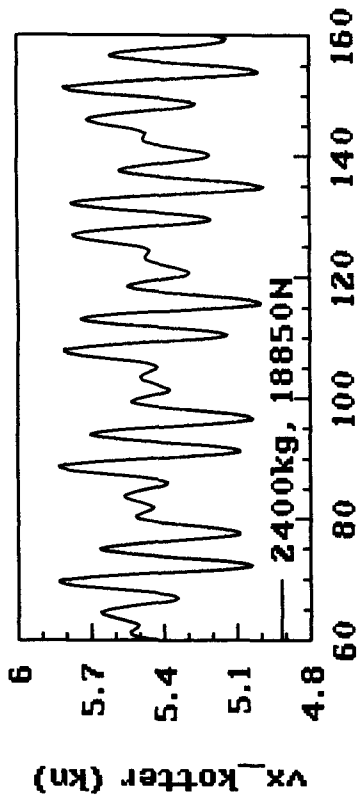


dempings coeff. boom_sloffens=6000 kg/m

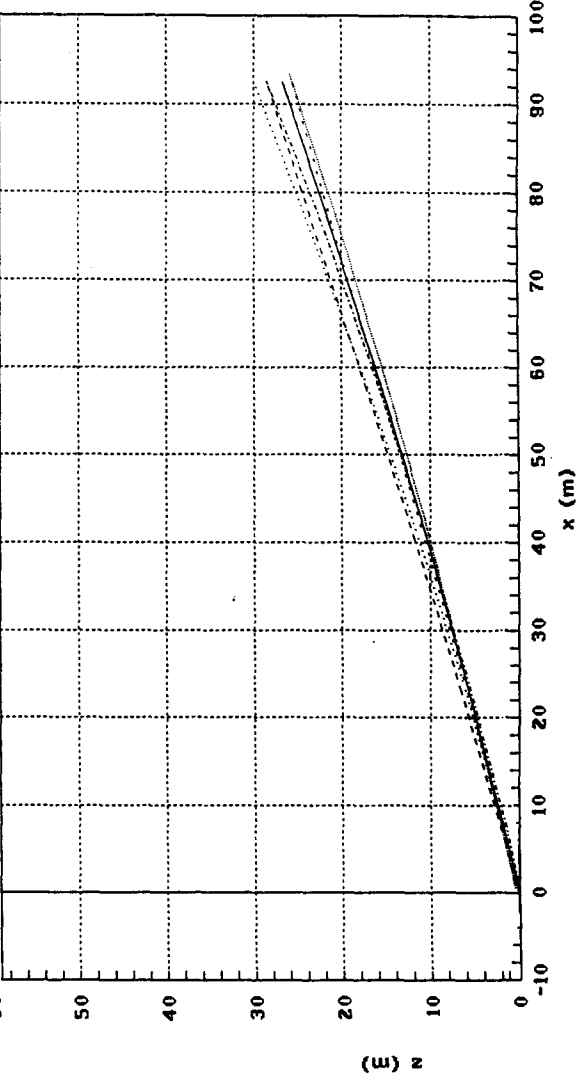
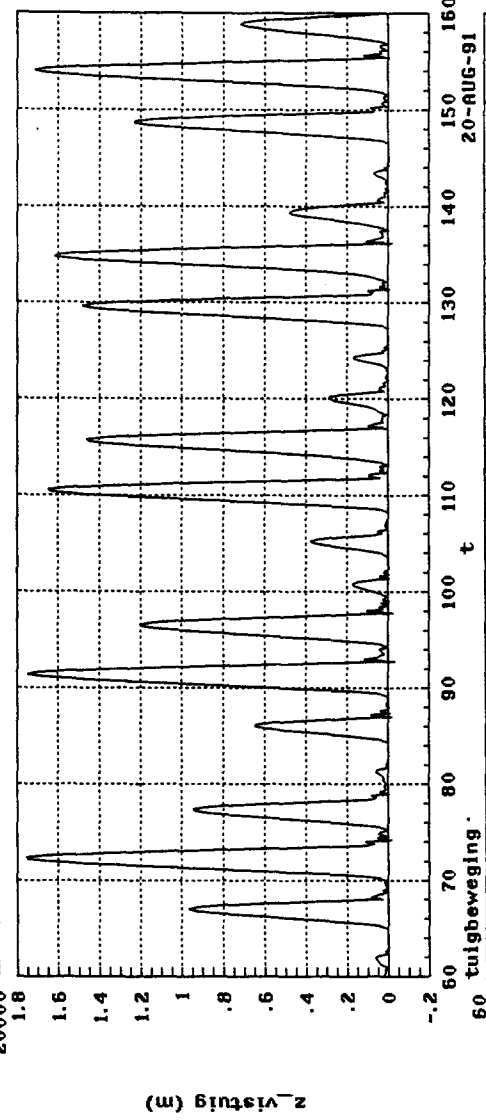
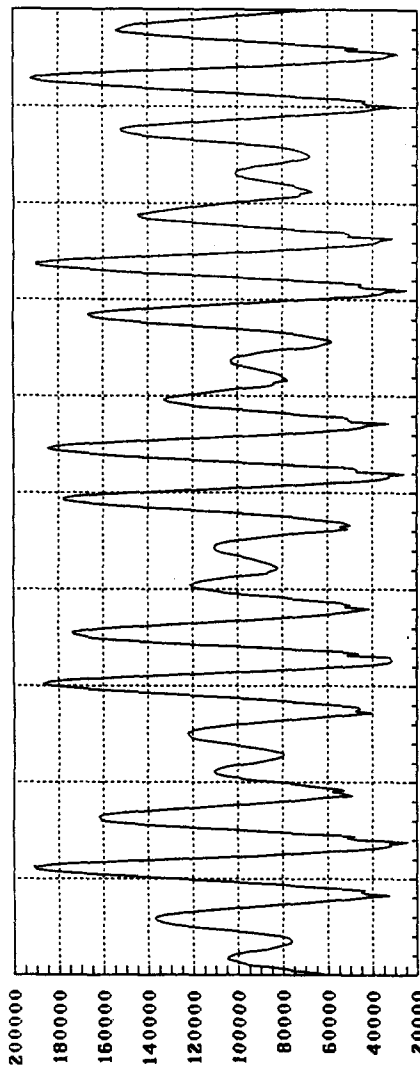


invoer variatie: massa en gewicht boom/sloffen

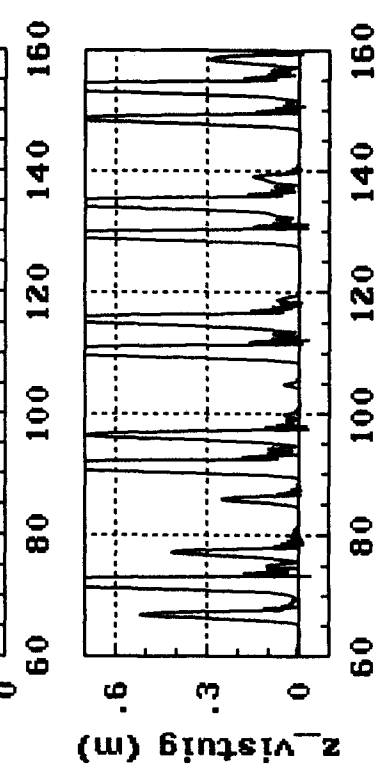
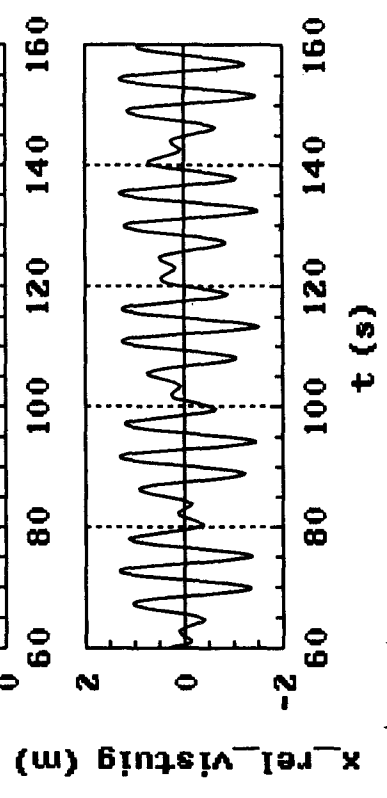
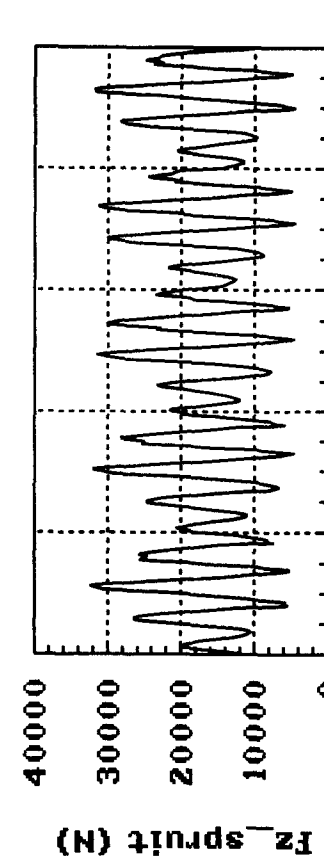
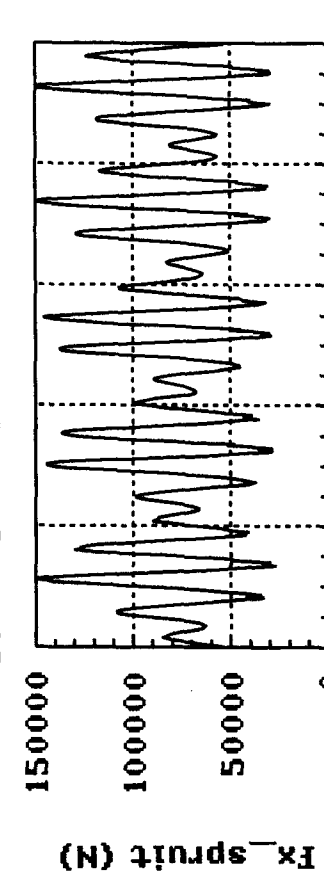
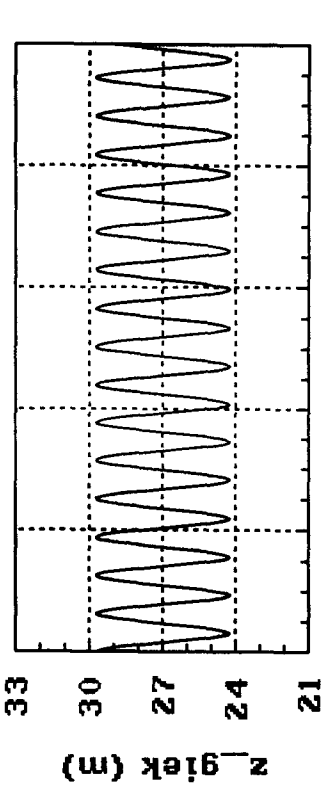
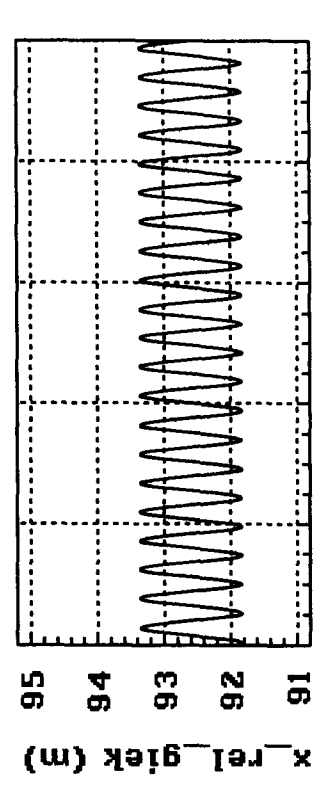
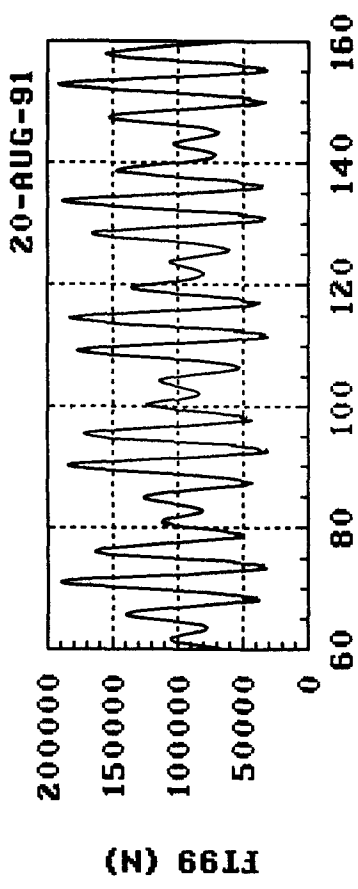
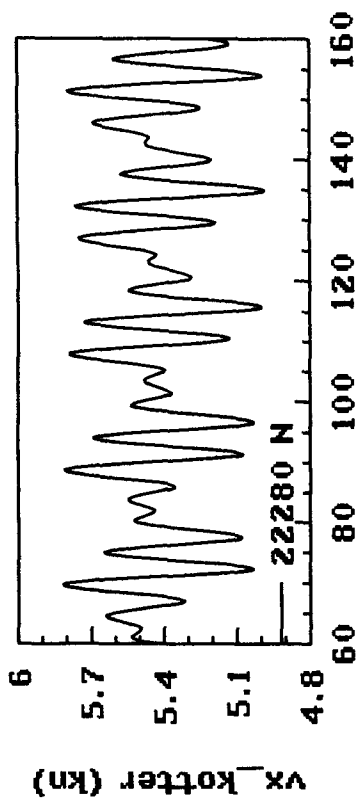




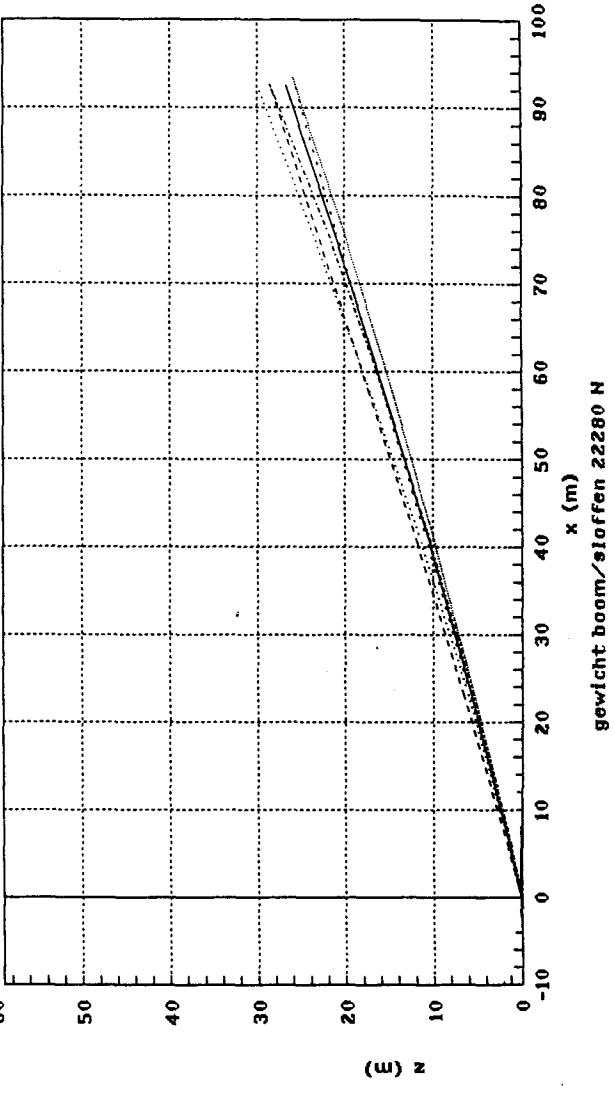
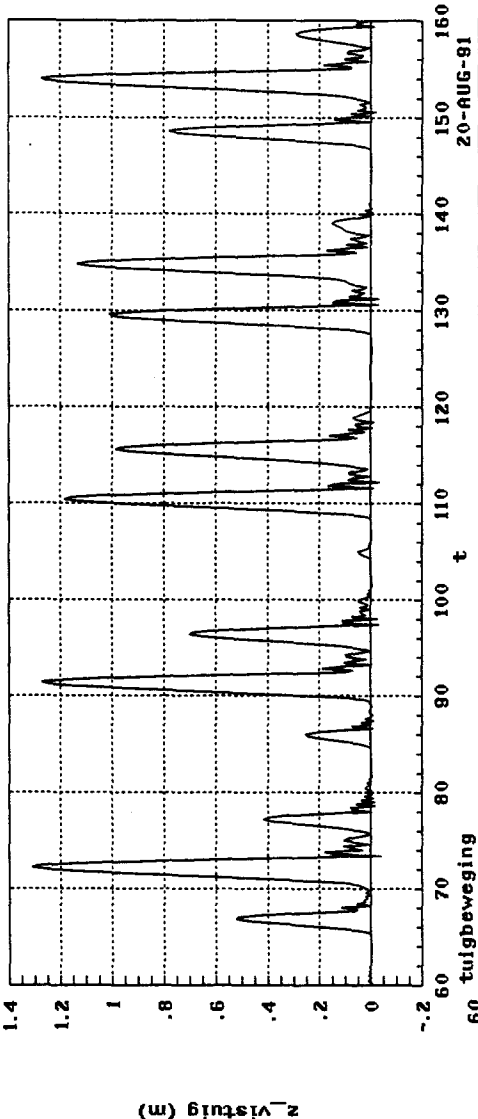
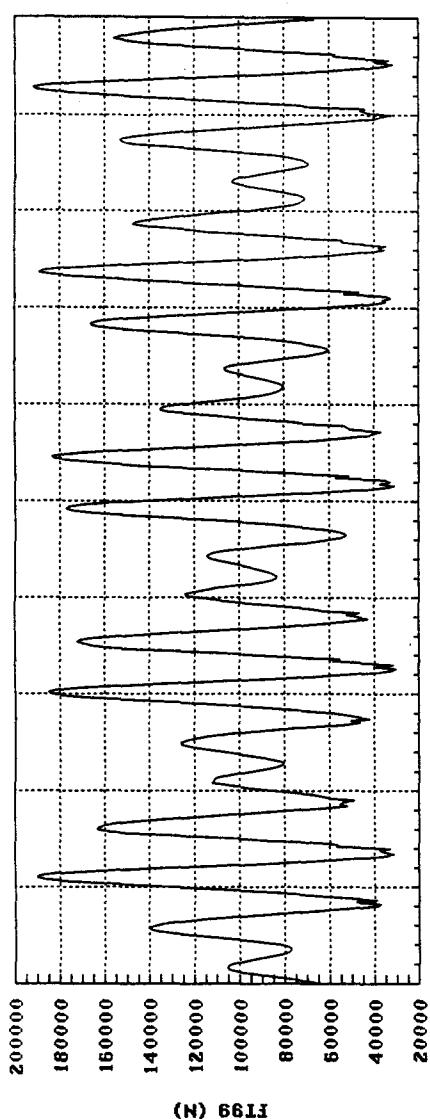
invoer variatie: massa en gewicht boom/sloffen

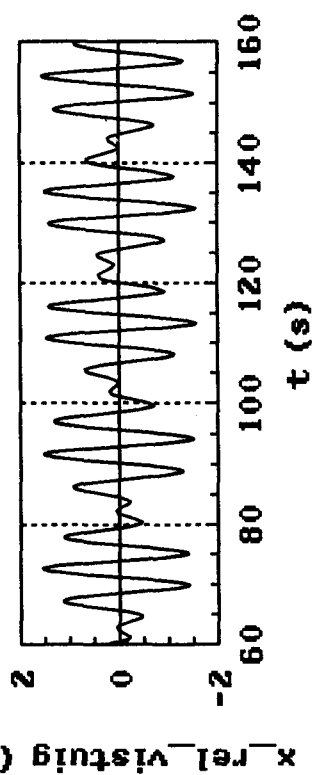
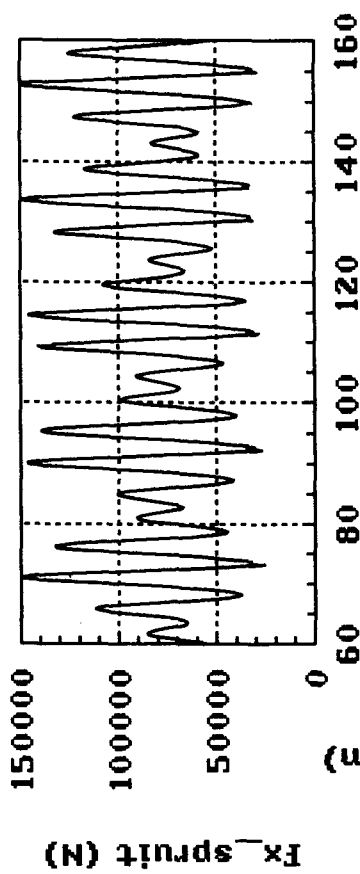
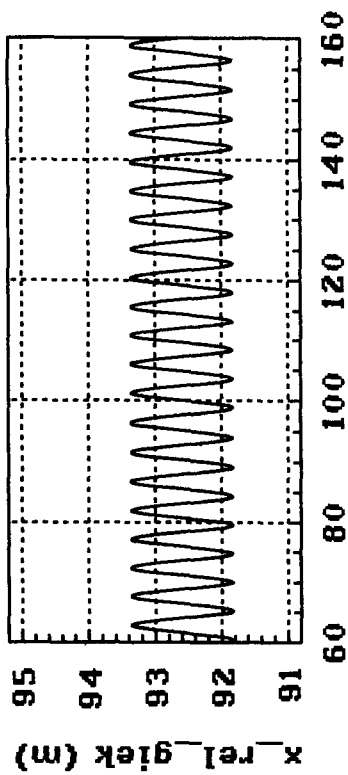
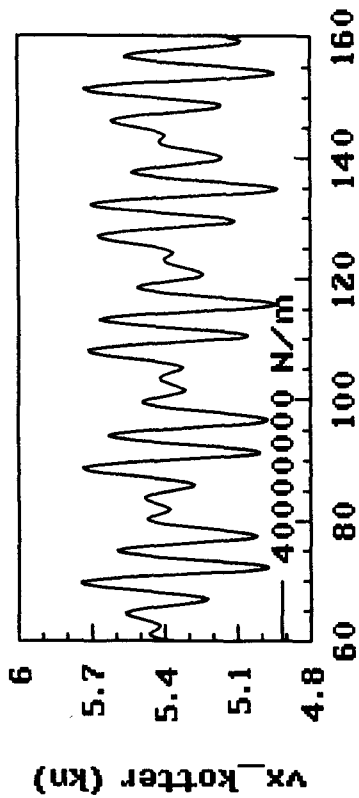


massa boom_stoffen=2400 kg, gewicht 18850 N

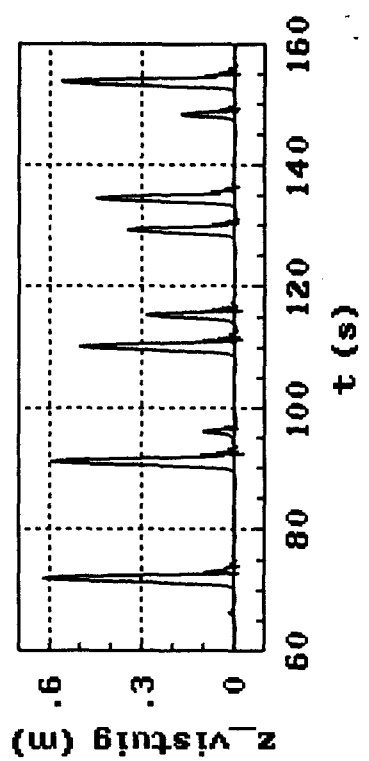
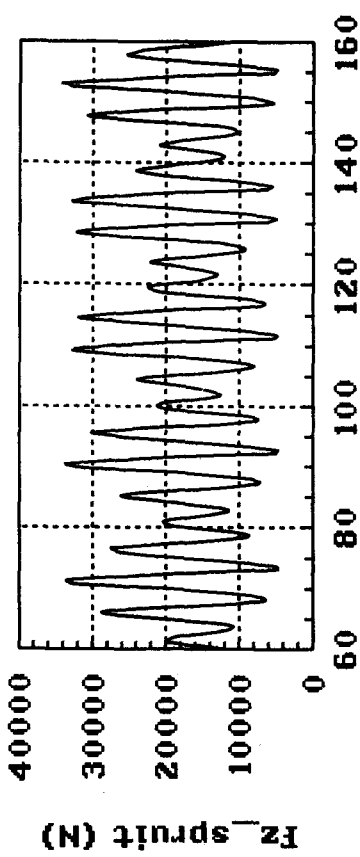
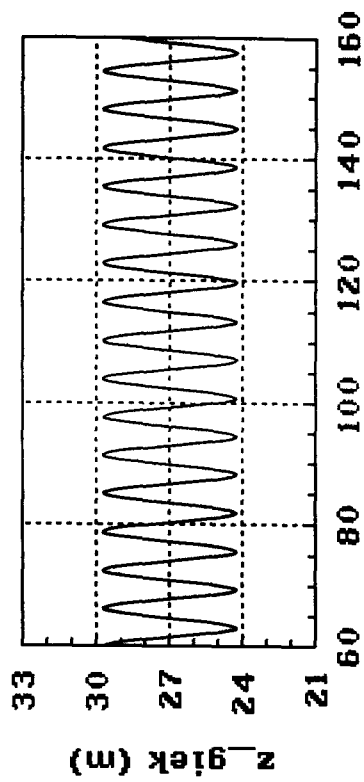
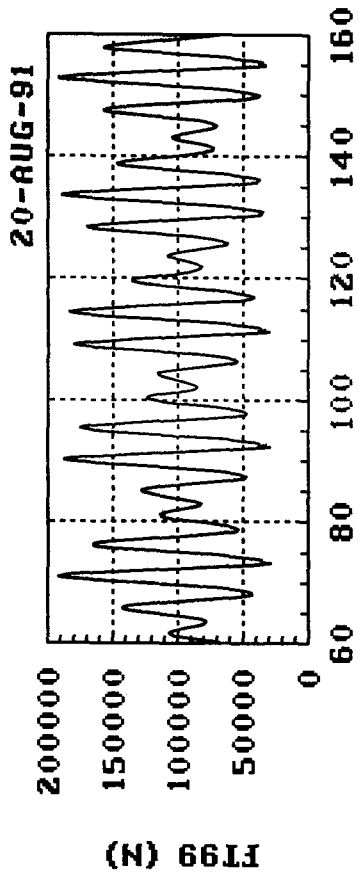


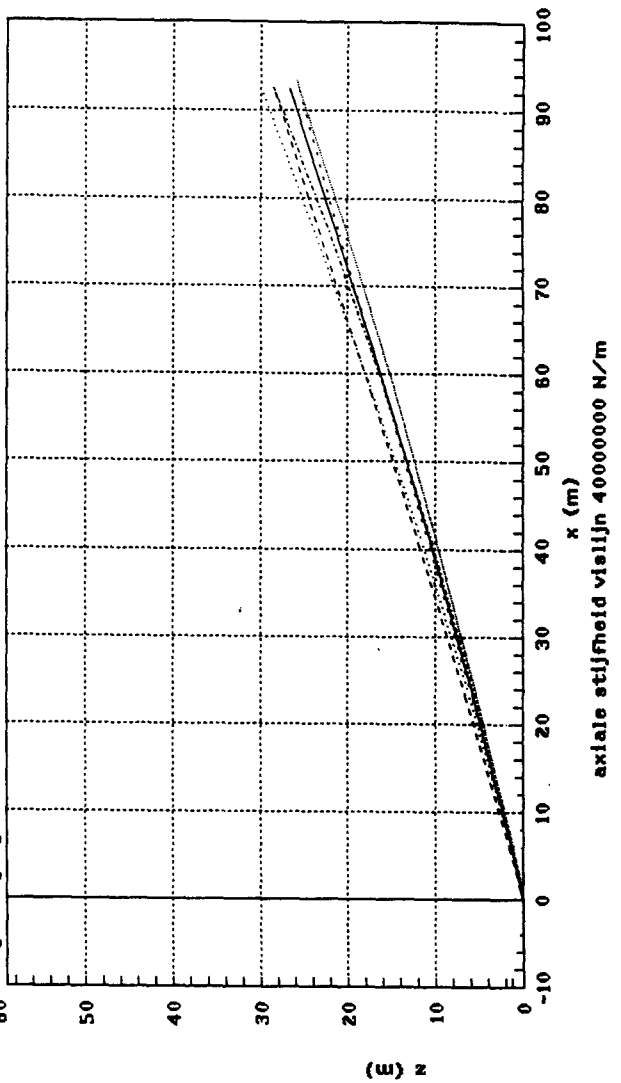
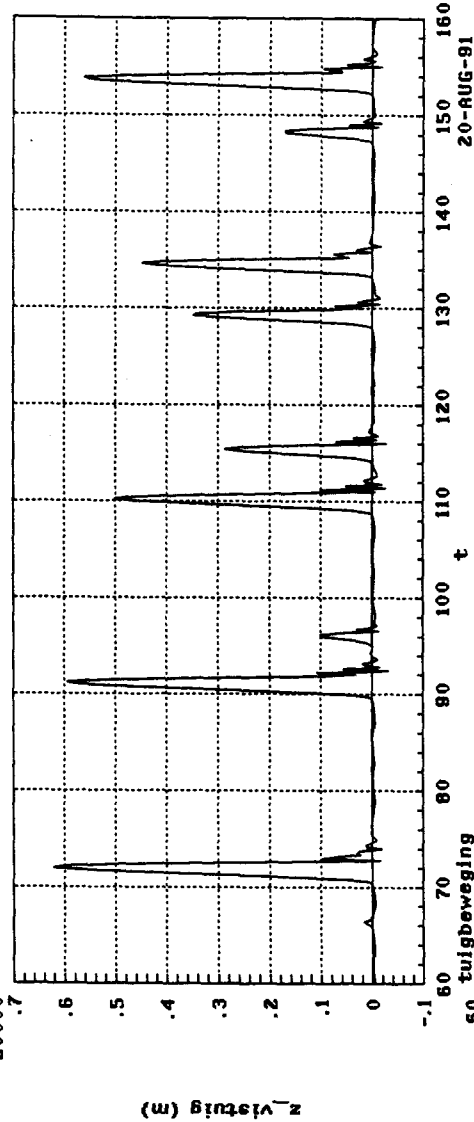
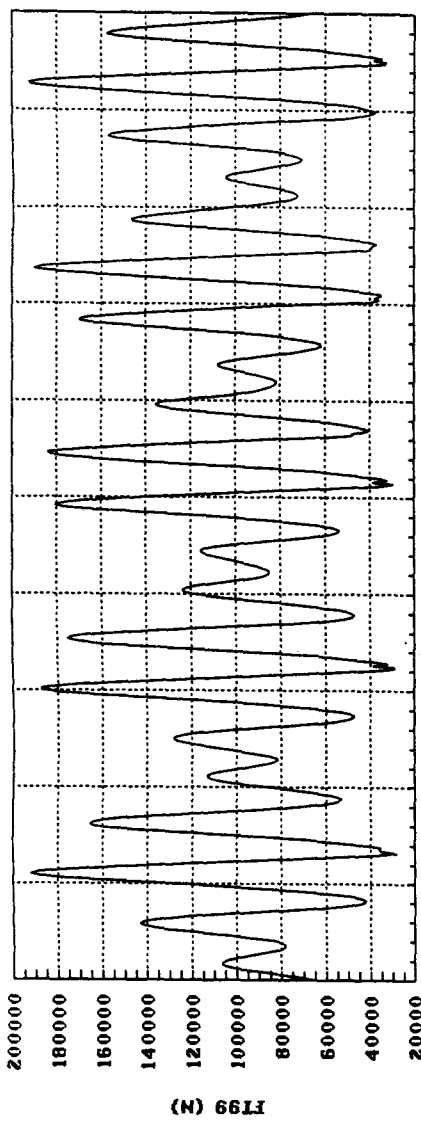
invoer variatie: gewicht boom/sloffen

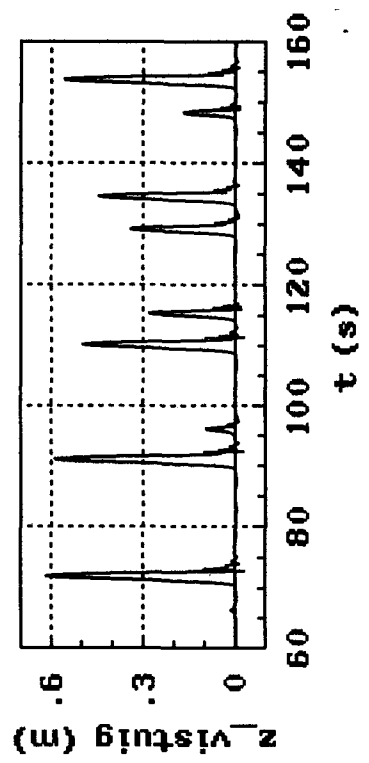
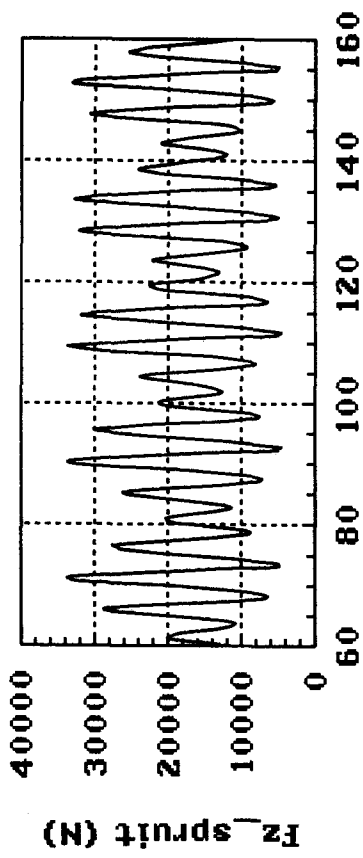
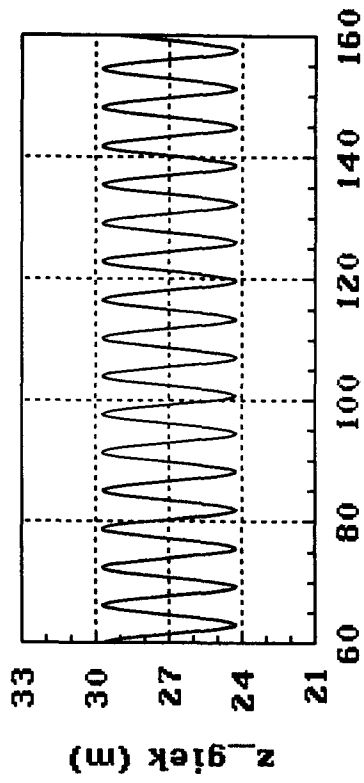
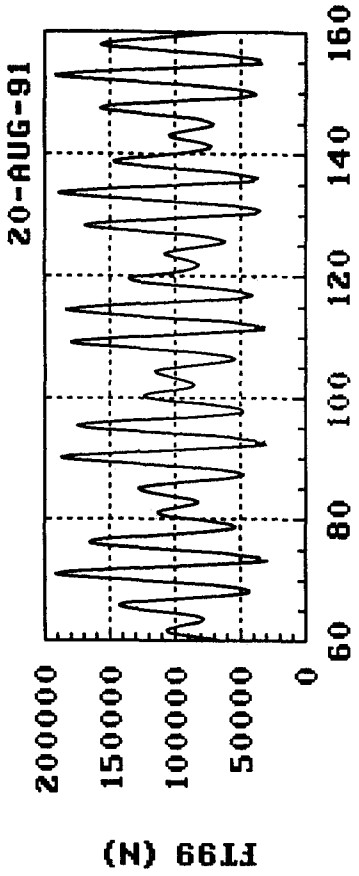
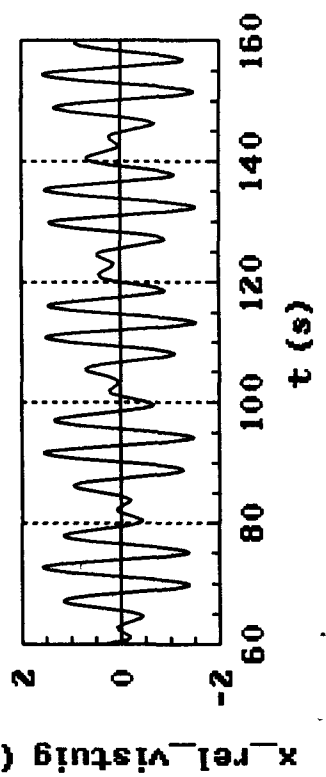
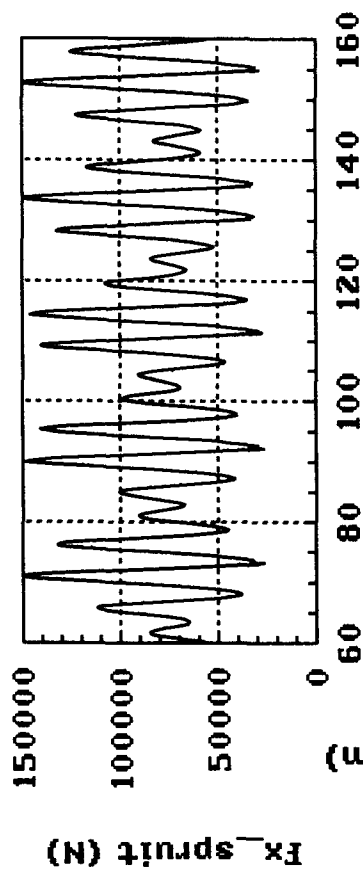
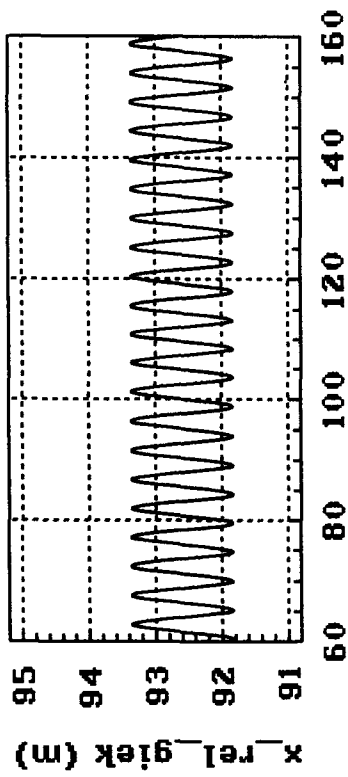
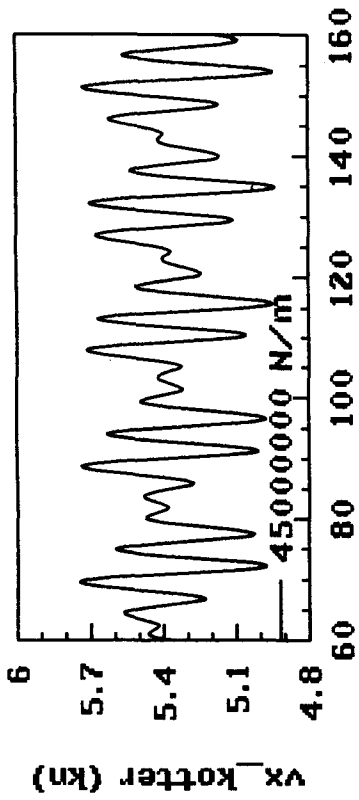




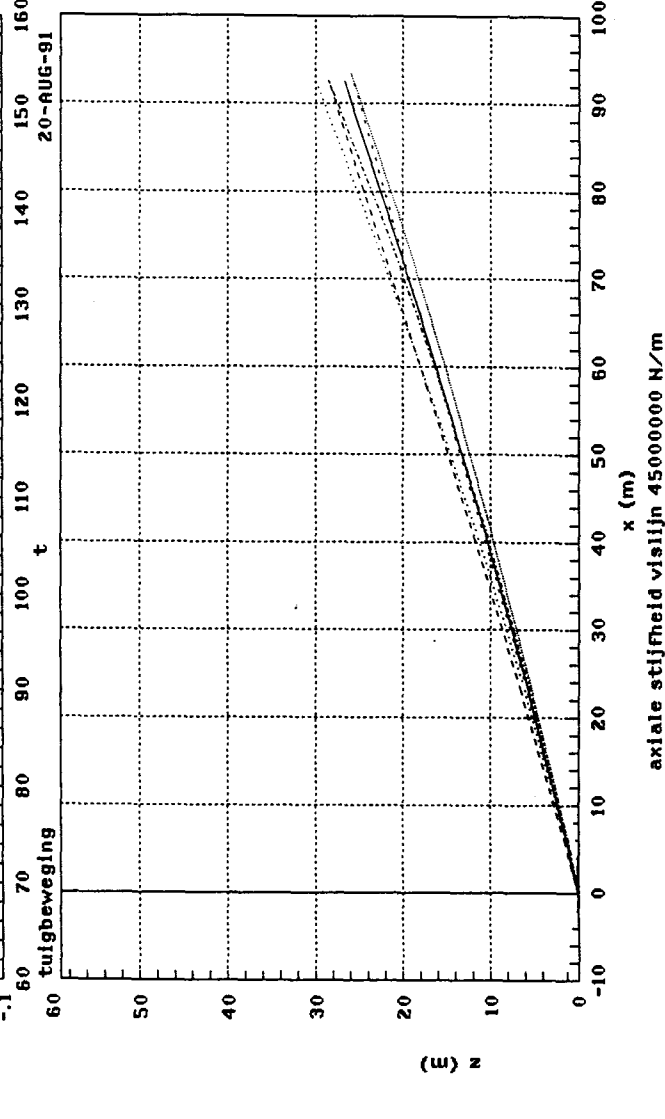
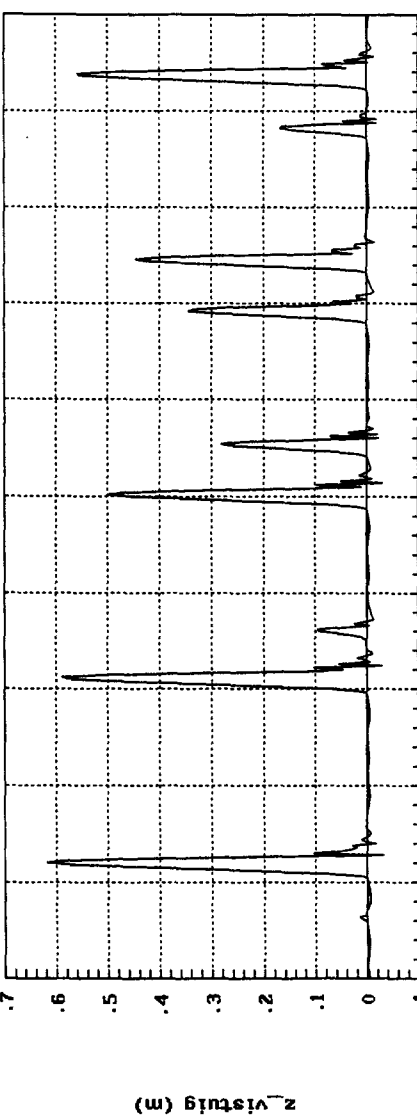
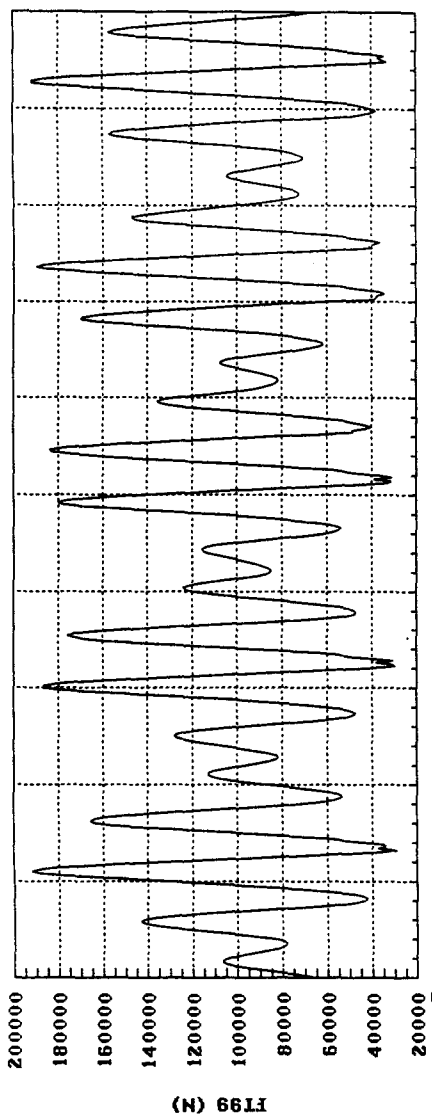
invoer variatie: axiale stijfheid vislijn

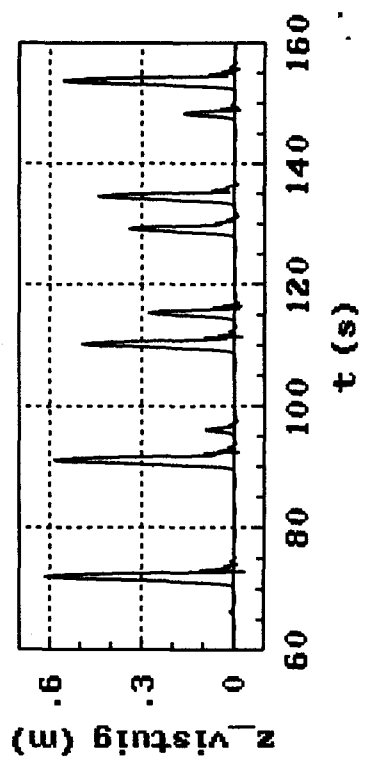
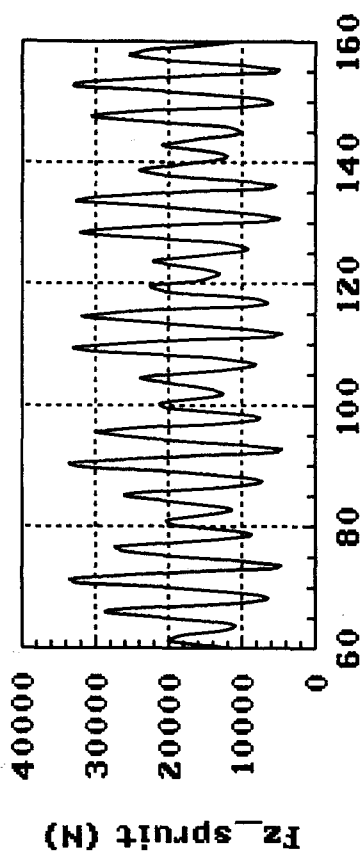
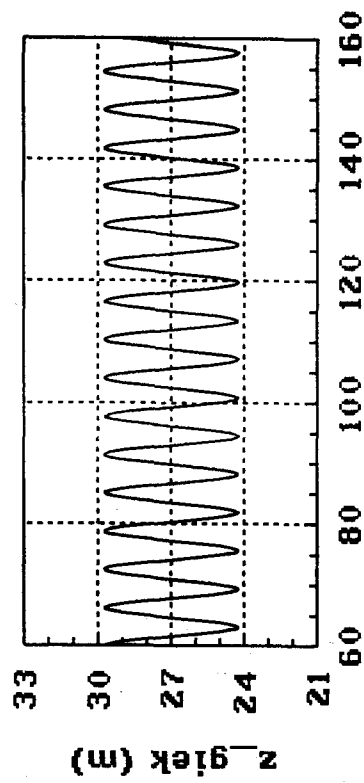
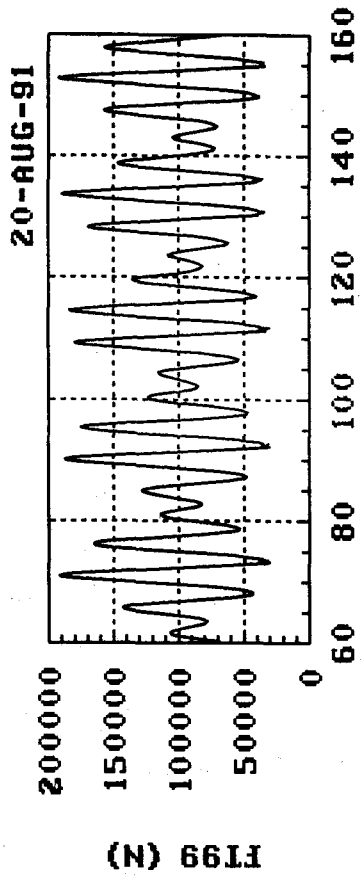
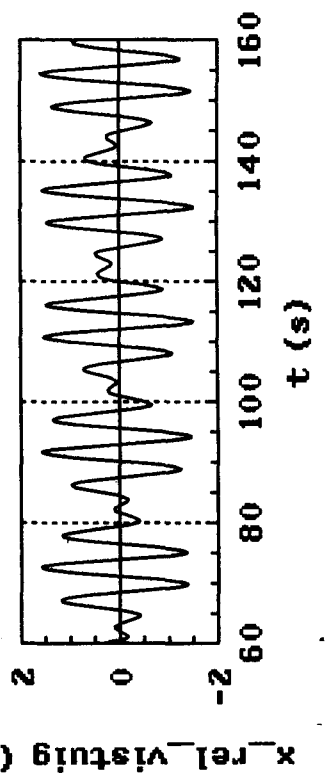
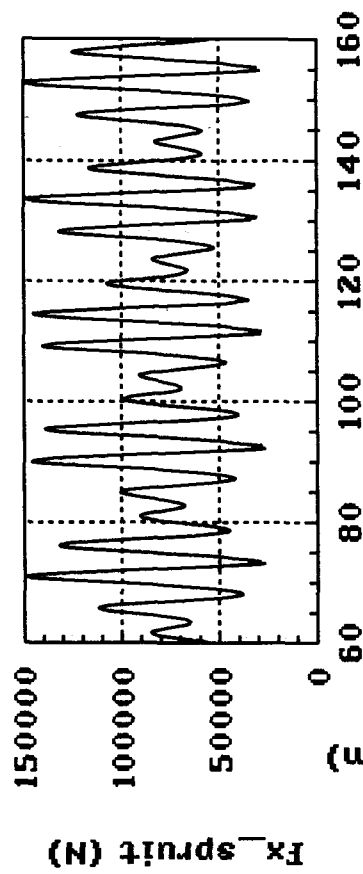
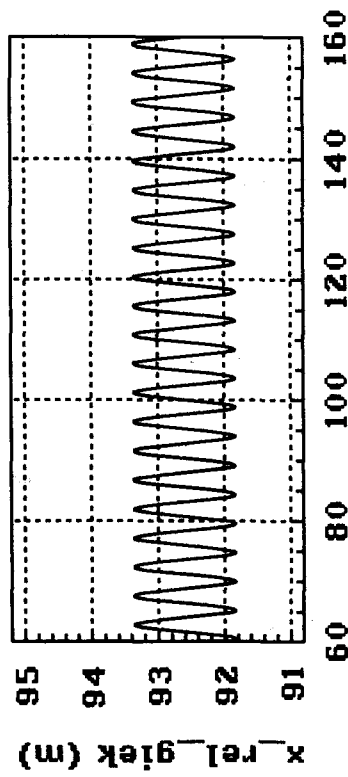
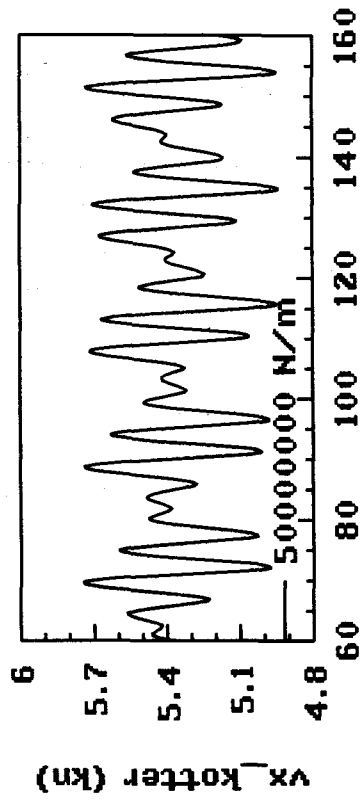




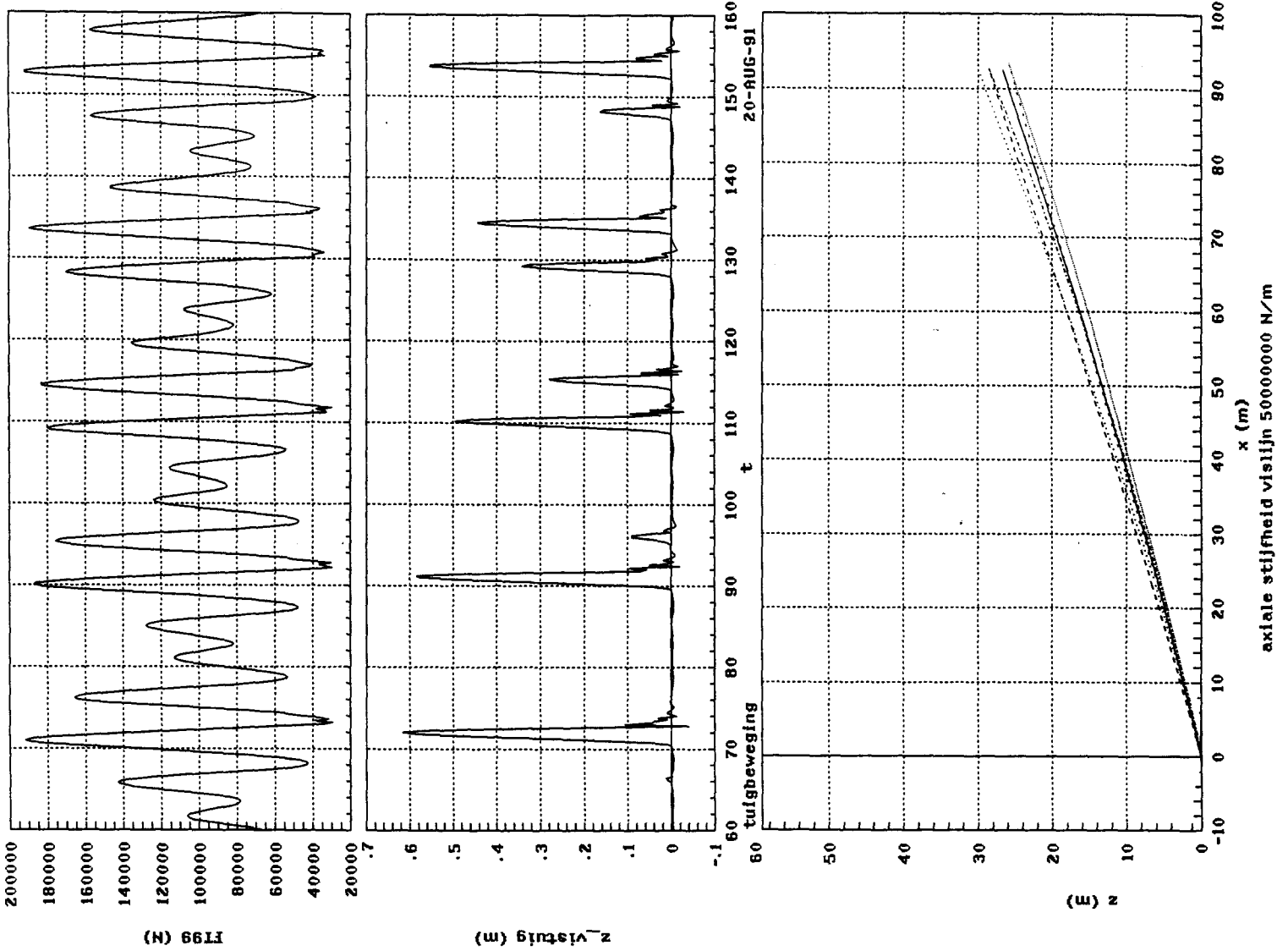


invoer variatie: axiale stijfheid vislijn





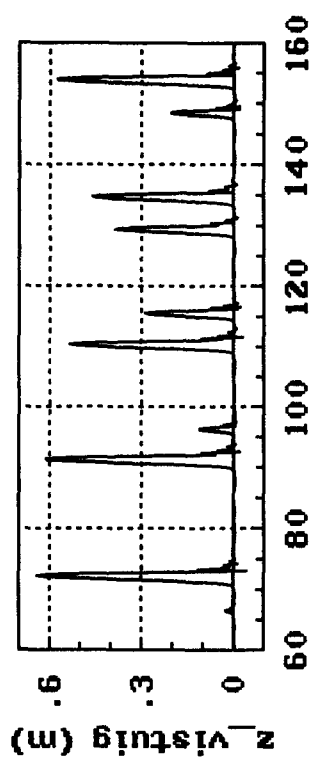
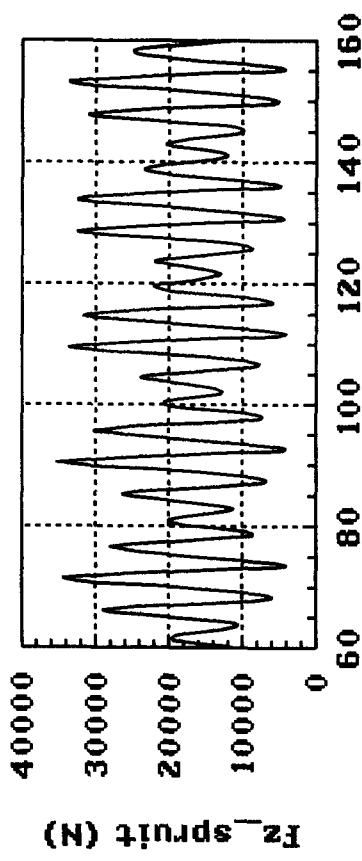
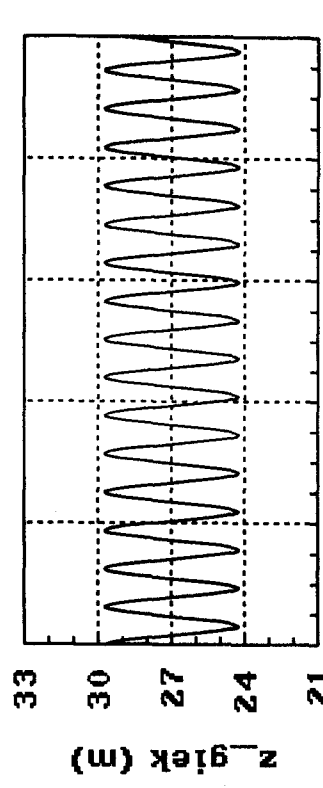
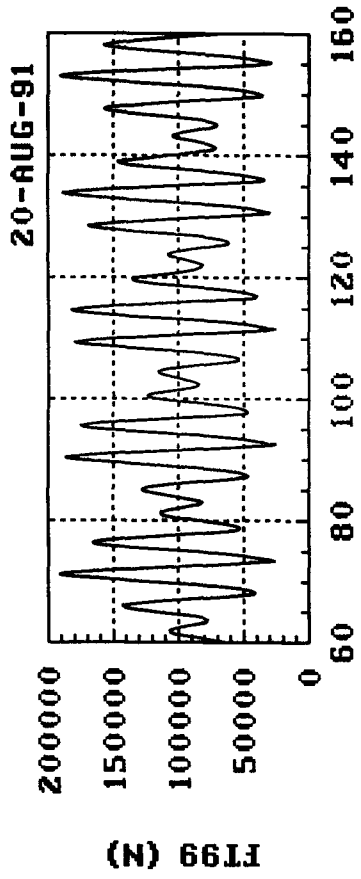
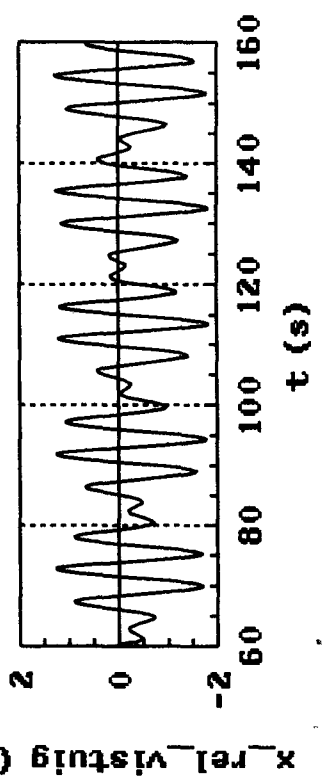
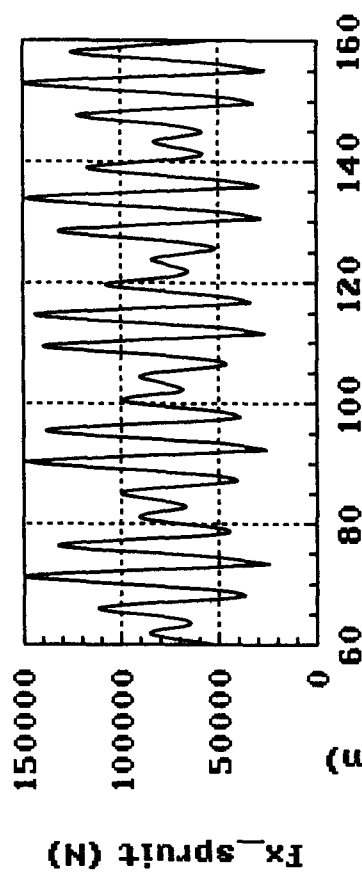
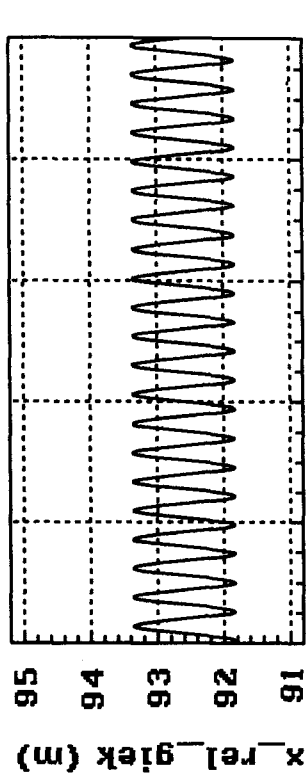
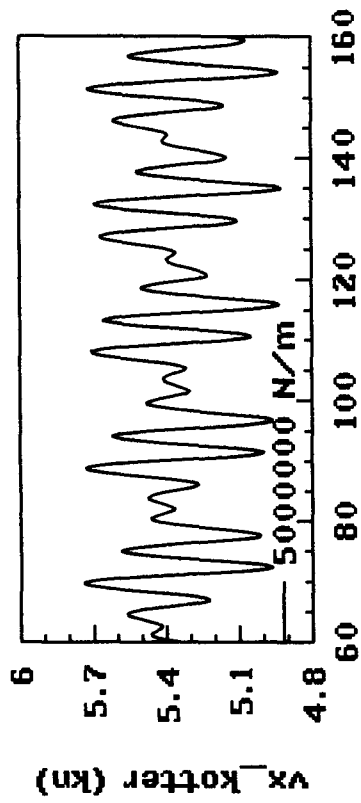
invoer variatie: axiale stijfheid vislijn



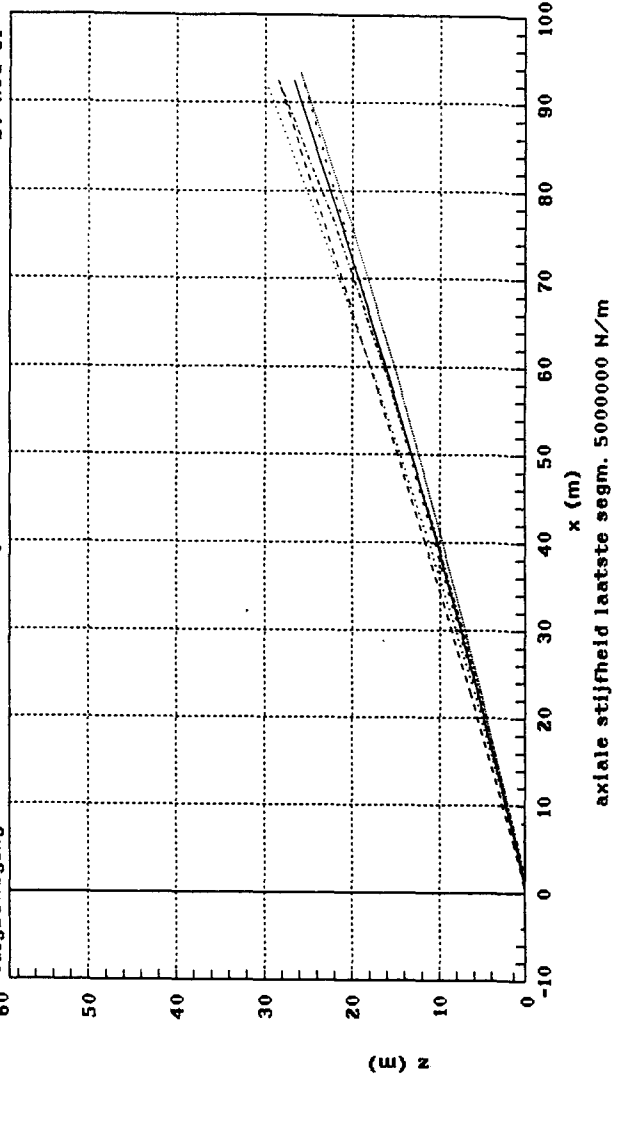
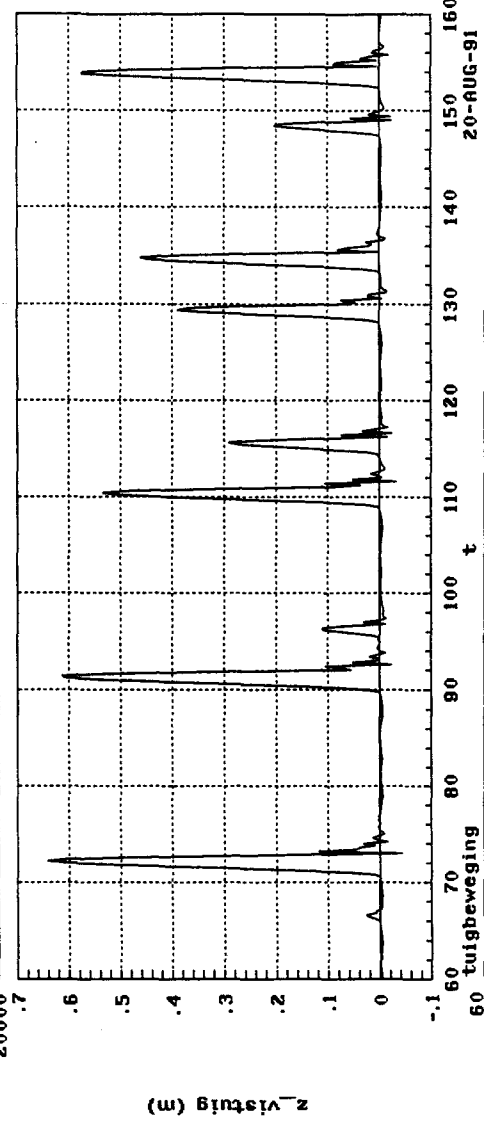
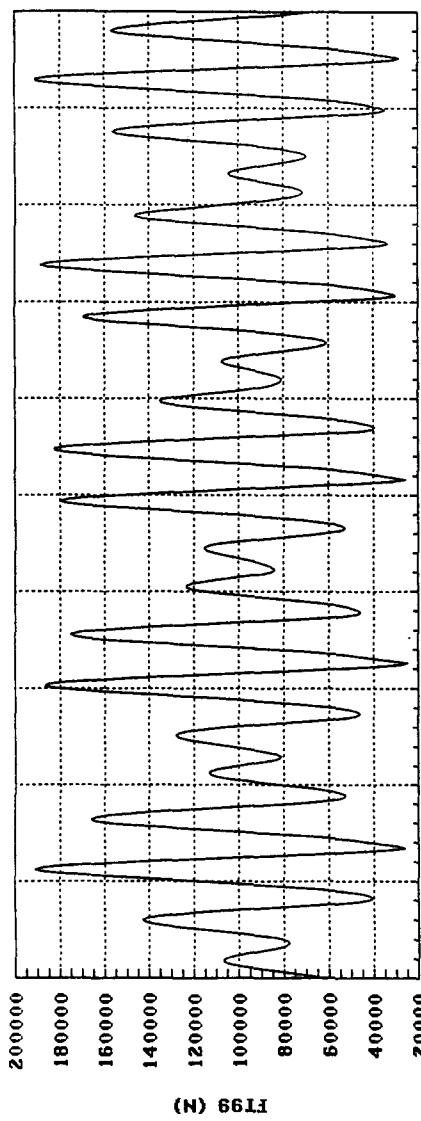
FT99 (N)

z_{vstuitg} (m)

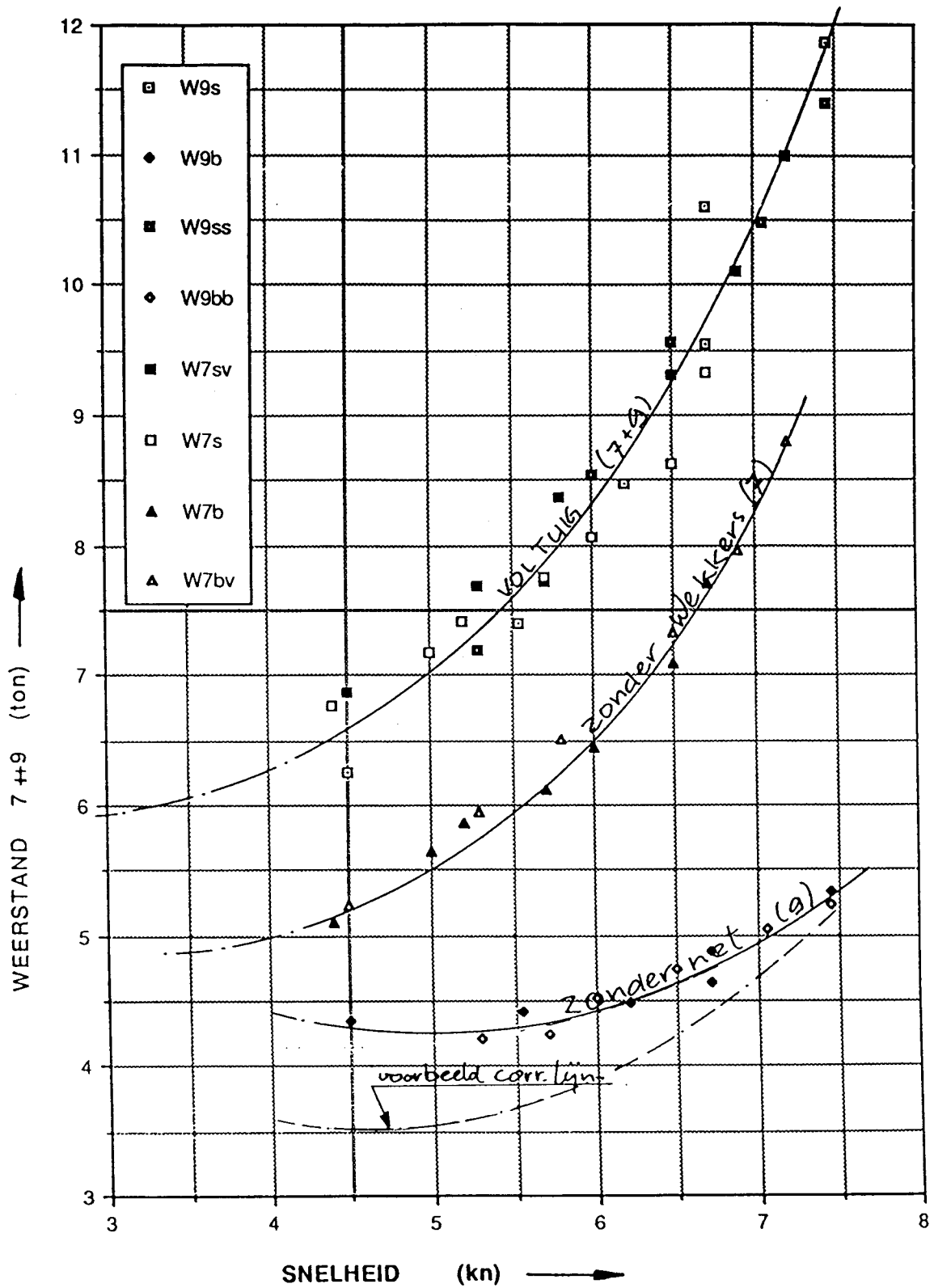
axiale stijfheid vislijn 5000000 N/m



invoer variatie: axiale stijfheid laatste segm.

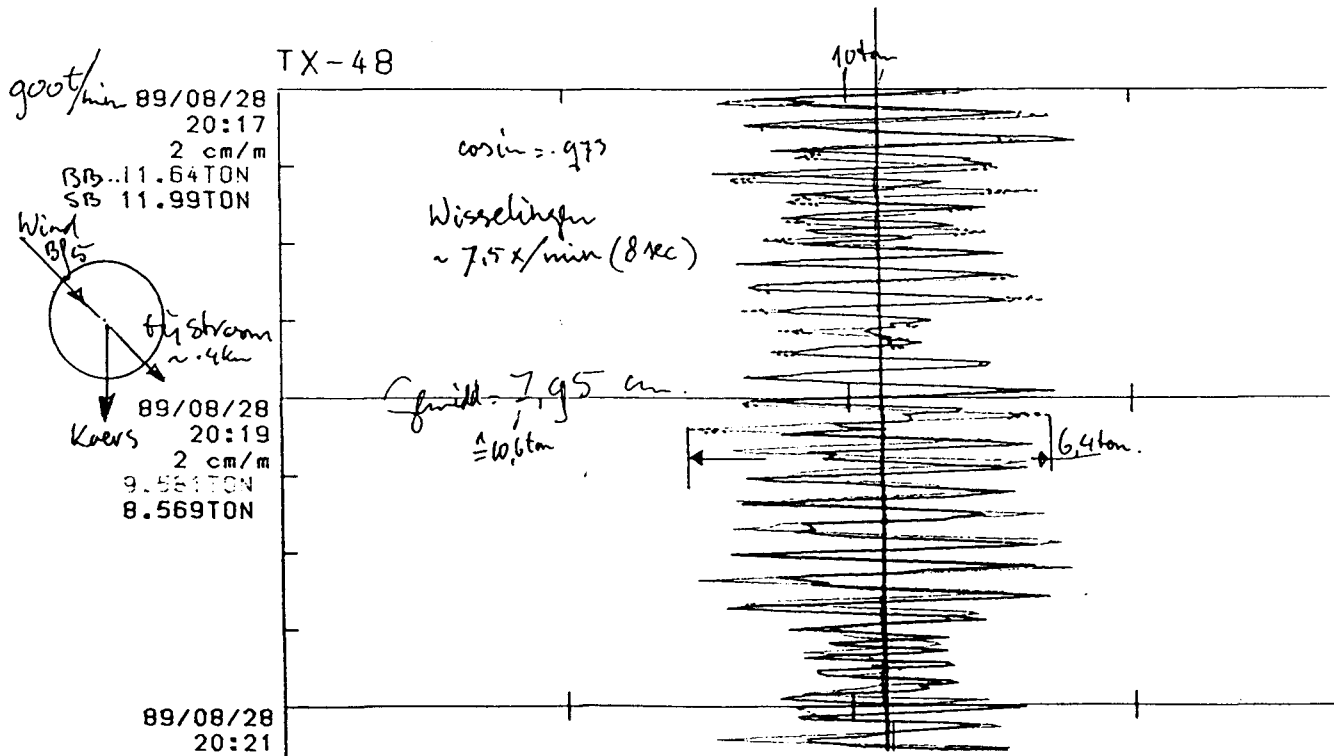
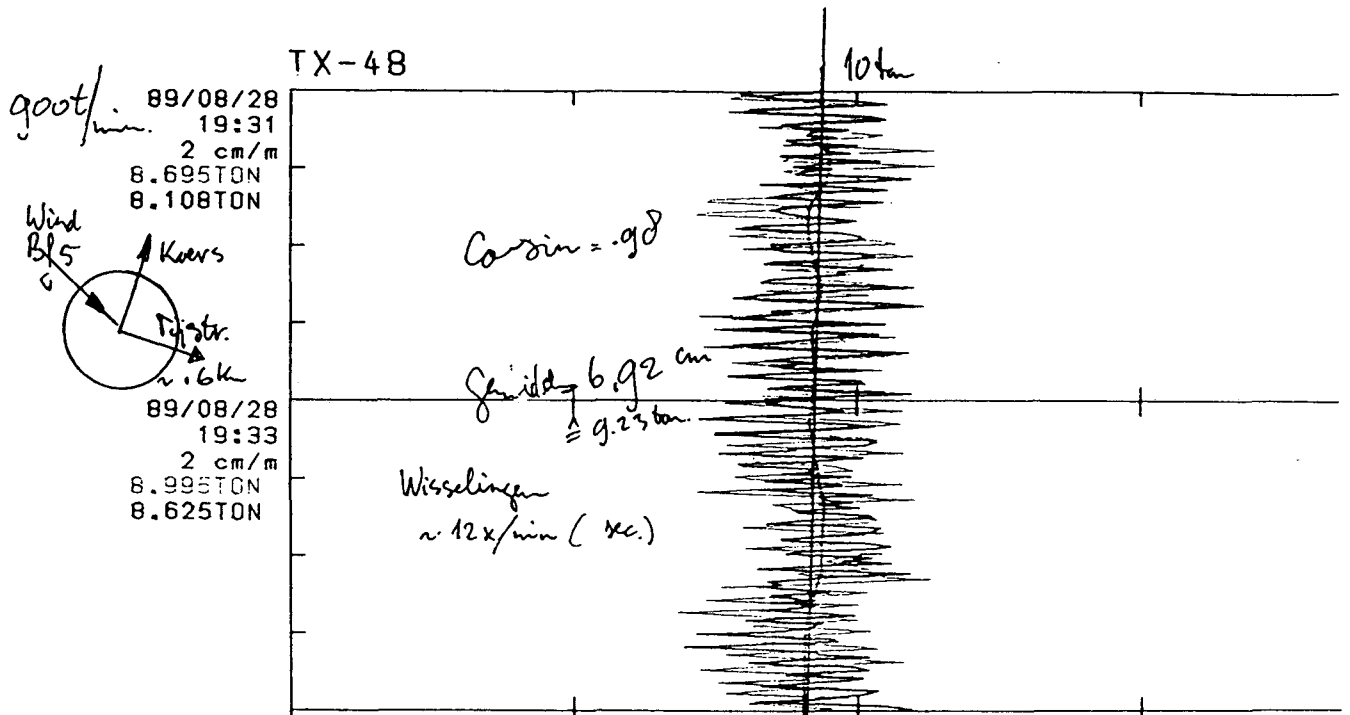


Weerstand met -/ zonder wekkers / zonder net



TREKKRACHTWISSELINGEN

28 aug trek 2, vol tuig. wind NW, kracht 5, deining NW 2m, vissend vol vermogen, 7knoop.



BIJLAGE D.1 NUMERIEKE WAARDEN VAN ROMPVORM

KOTTER 2000 Stuurlast = 1.000 meter

// lengte gegevens:

5.000 0.000 36.800 0.000

20

// Ordinaat afstanden:

1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840

1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840 1.840

1.840 1.840

1

// Ordinaat gegevens:

0 8

0.000 3.660 0.044 3.660 0.050 3.660 0.127 3.662

0.631 3.693 1.697 3.864 2.623 4.071 3.100 4.356

3.600 5.000

1 8

0.000 3.360 0.044 3.360 0.050 3.360 0.207 3.380

1.000 3.500 2.000 3.710 3.000 4.000 3.630 4.510

4.000 5.000

2 12

0.000 0.940 0.044 0.940 0.050 0.940 0.050 1.132

0.050 2.000 0.240 2.650 0.500 3.000 1.000 3.160

2.000 3.430 3.000 3.710 3.600 4.000 4.000 4.400

4.250 5.000

3 14

0.000 -0.360 0.087 -0.360 0.100 -0.360 0.122 -0.320

0.236 -0.072 0.342 0.383 0.400 0.782 0.570 1.591

0.841 2.293 1.146 2.566 1.611 2.820 2.302 3.071

3.182 3.436 4.089 4.067 4.390 5.000

4 14

0.000 -0.300 0.087 -0.300 0.100 -0.300 0.145 -0.268

0.380 -0.053 0.628 0.409 0.766 0.817 1.303 1.706

1.762 2.239 2.576 2.646 3.141 2.939 3.517 3.183

4.173 3.716 4.369 4.137 4.482 5.000

5 12

0.000 -0.250 0.087 -0.250 0.100 -0.250 0.152 -0.224

0.454 -0.036 0.931 0.421 1.326 0.898 1.864 1.411

2.365 1.827 3.548 2.595 4.394 3.710 4.500 4.075

4.5000 5.000

6 12

0.000 -0.200 0.087 -0.200 0.100 -0.200 0.156 -0.180

0.554 0.008 1.418 0.517 2.235 1.022 3.035 1.567

3.571 2.025 4.029 2.448 4.341 3.049 4.506 3.828

4.506 5.000

7 12

0.000 -0.150 0.087 -0.150 0.100 -0.150 0.125 -0.150

0.599 0.020 2.108 0.537 3.087 0.952 3.772 1.476

4.029 1.756 4.214 2.081 4.398 2.576 4.511 3.545

4.511 5.000

8 10

0.000 -0.110 0.091 -0.110 0.709 0.035 2.851 0.531

3.046 0.592 3.640 0.843 3.923 1.076 4.324 1.631

4.483 2.043 4.492 3.182 4.499 5.000

9 12

0.000 -0.080 0.255 -0.080 0.000 -0.080 0.000 -0.080

0.000 -0.080 1.546 0.186 3.677 0.603 4.017 0.756

4.132 0.852 4.267 0.990 4.461 1.281 4.521 3.404

4.500 5.000

10 10

0.000 0.000 0.087 0.000 0.100 0.000 0.839 0.118

3.443 0.534 4.026 0.641 4.167 0.736 4.332 0.894

4.450 0.929 4.500 2.657 4.500 5.000

11 14

0.000 0.060 0.087 0.060 0.100 0.060 0.497 0.122

2.480 0.432 3.655 0.630 3.914 0.670 4.129 0.779

4.284 0.896 4.349 1.003 4.449 1.227 4.493 1.399

4.500 1.430 4.500 2.445 4.500 5.000

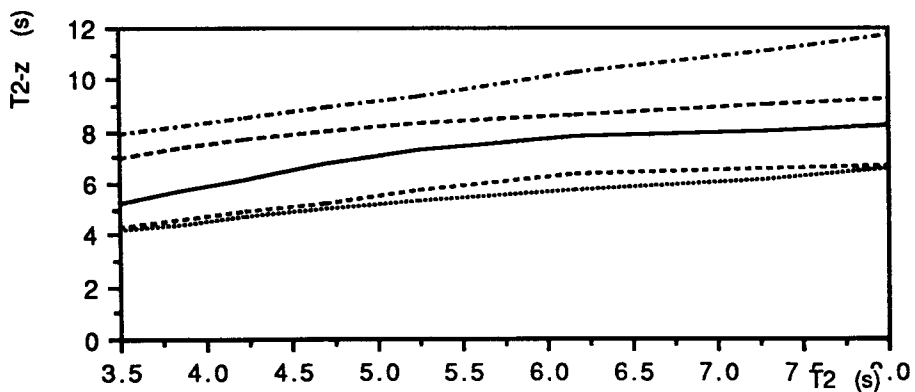
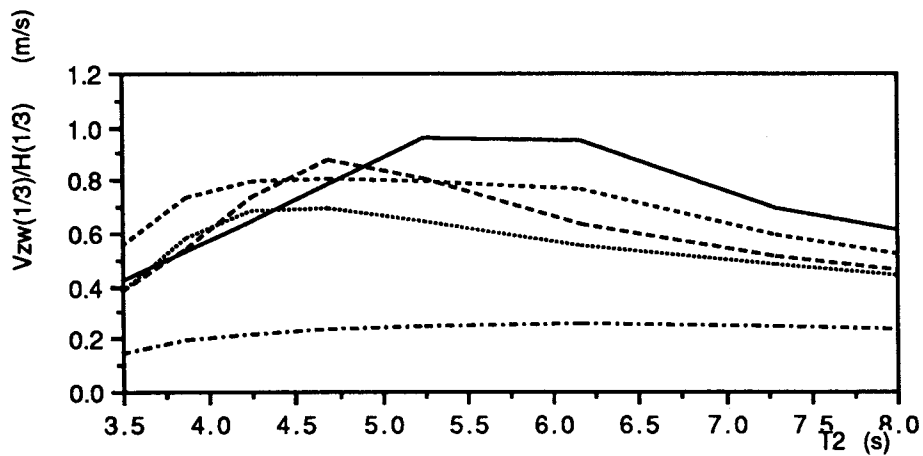
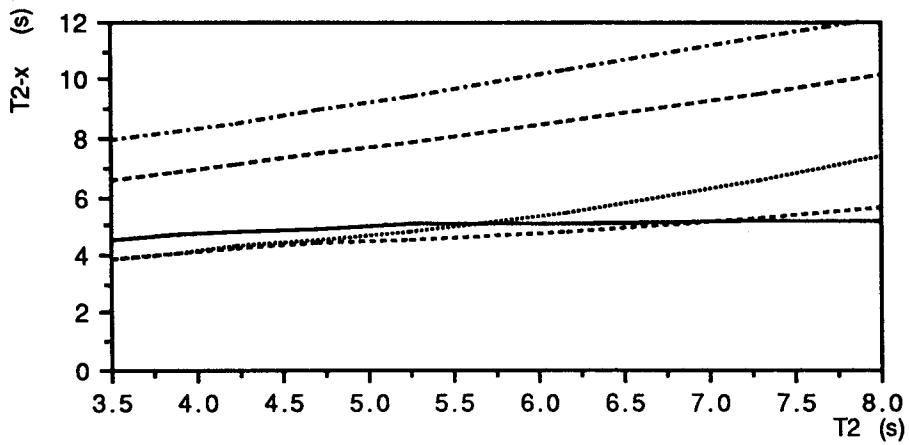
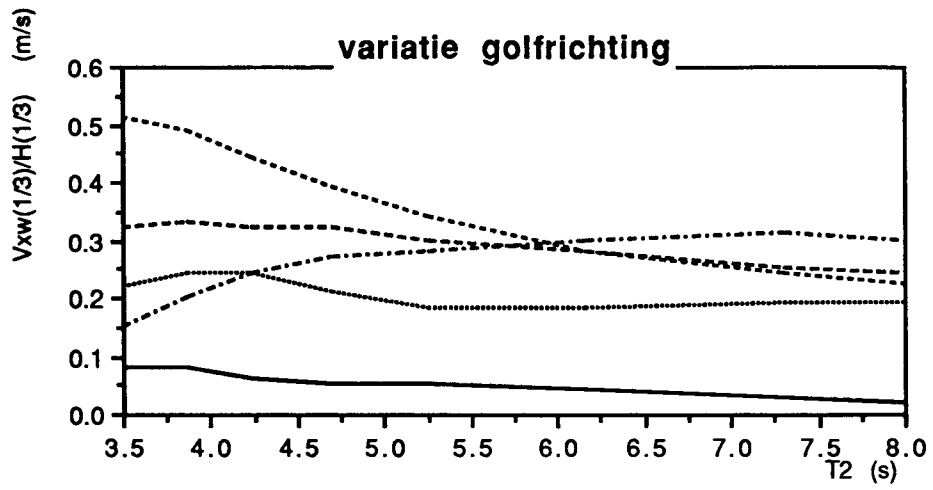
12 14

0.000 0.110 0.087 0.110 0.100 0.110 0.431 0.164

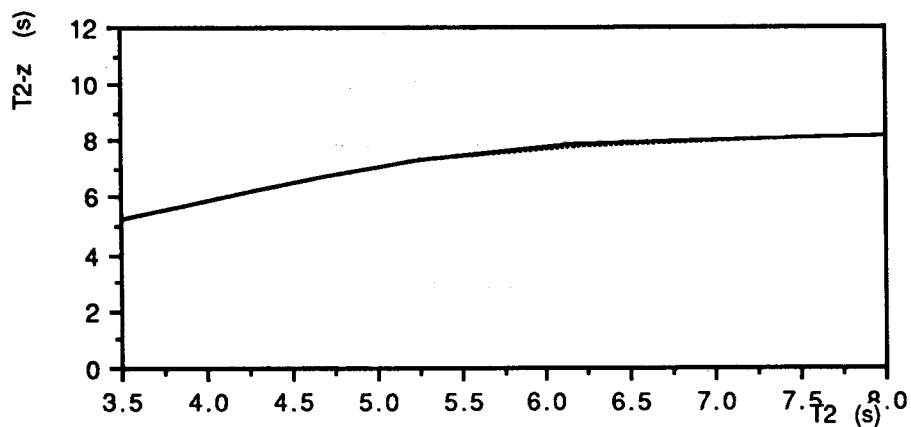
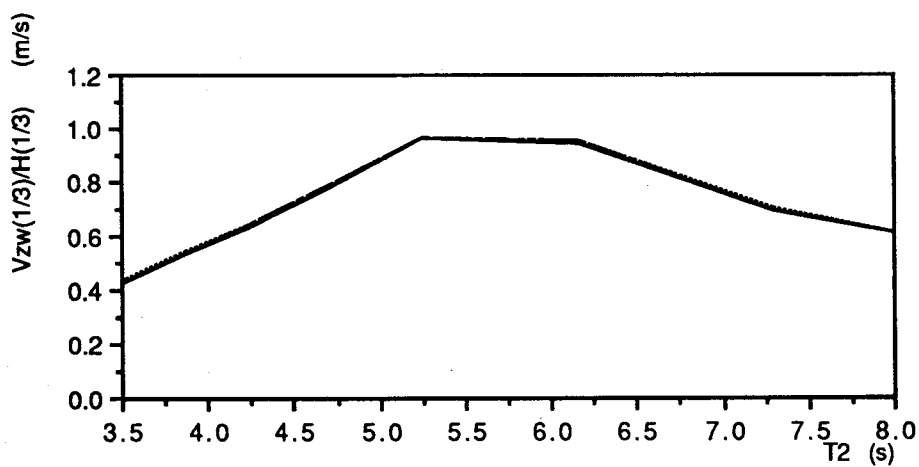
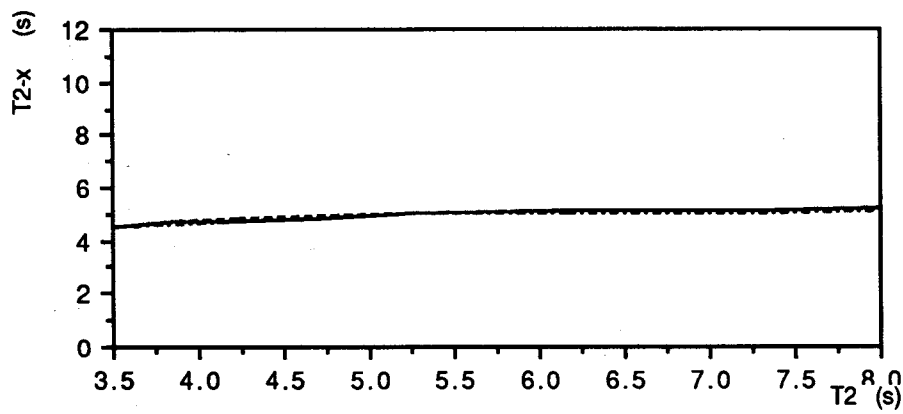
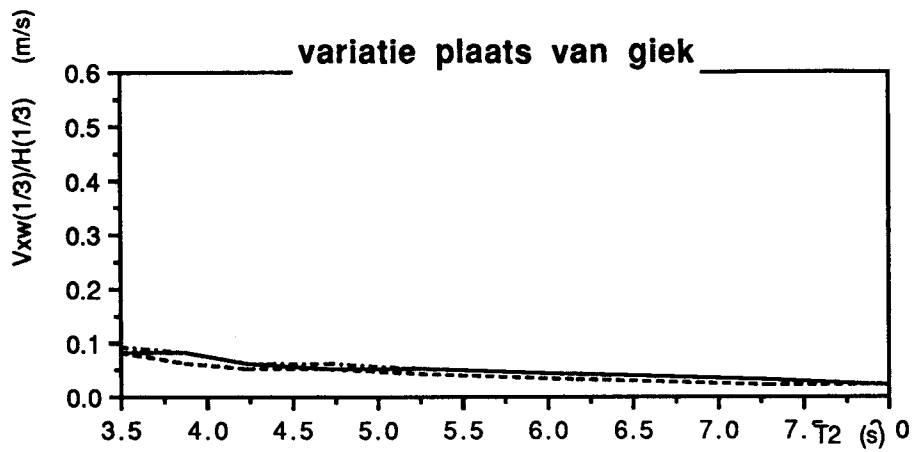
2.128	0.437	3.408	0.642	3.891	0.744	4.098	0.822
4.218	0.920	4.309	1.036	4.402	1.227	4.485	1.513
4.500	1.570	4.500	2.458	4.500	5.000		
13	10						
0.000	0.150	0.000	0.150	0.000	0.153	2.177	0.493
3.000	0.620	3.694	0.805	4.014	1.015	4.310	1.472
4.459	2.023	4.500	2.745	4.500	5.000		
14	14						
0.000	0.200	0.087	0.200	0.100	0.200	0.358	0.241
1.671	0.451	2.572	0.596	2.864	0.664	3.224	0.831
3.640	1.138	3.876	1.434	4.026	1.638	4.192	2.042
4.381	2.947	4.491	3.918	4.506	5.000		
15	16						
0.000	0.250	0.087	0.250	0.100	0.250	0.371	0.294
1.659	0.514	2.361	0.707	2.738	0.926	3.042	1.151
3.225	1.353	3.395	1.538	3.564	1.800	3.725	2.109
3.884	2.375	4.008	2.651	4.158	3.110	4.342	4.080
4.440	5.000						
16	10						
0.000	0.300	0.087	0.300	0.100	0.300	0.214	0.317
0.862	0.436	1.731	0.752	2.622	1.466	3.322	2.386
3.717	3.245	3.994	4.131	4.180	5.000		
17	10						
0.000	0.360	0.087	0.360	0.100	0.360	0.195	0.380
0.630	0.500	1.000	0.690	1.440	1.000	2.280	2.000
2.850	3.000	3.300	4.000	3.690	5.000		
18	10						
0.000	0.410	0.087	0.410	0.100	0.410	0.108	0.412
0.194	0.453	0.598	0.745	1.190	1.469	1.669	2.384
2.020	3.249	2.382	4.124	2.770	5.000		
19	8						
0.000	0.450	0.051	0.456	0.062	0.459	0.236	0.743
0.540	1.470	0.818	2.383	1.028	3.250	1.257	4.122
1.620	5.000						
20	16						
0.000	1.290	0.044	1.290	0.050	1.290	0.067	1.385
0.110	2.000	0.025	3.035	0.000	3.270	0.000	3.270
0.000	3.270	0.000	3.346	0.000	3.673	0.000	3.955
0.000	4.000	0.000	4.000	0.000	4.001	0.065	4.213
0.349	5.000						

// schaal factoren:
1.000 1.000 1.000
*** End of file ***

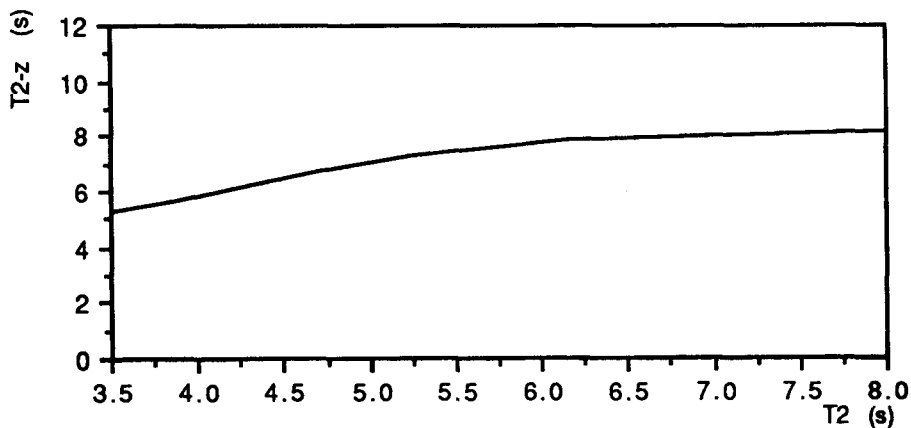
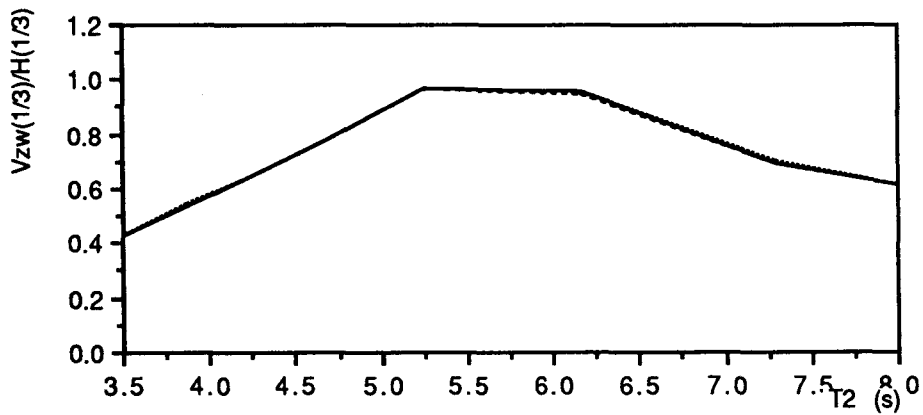
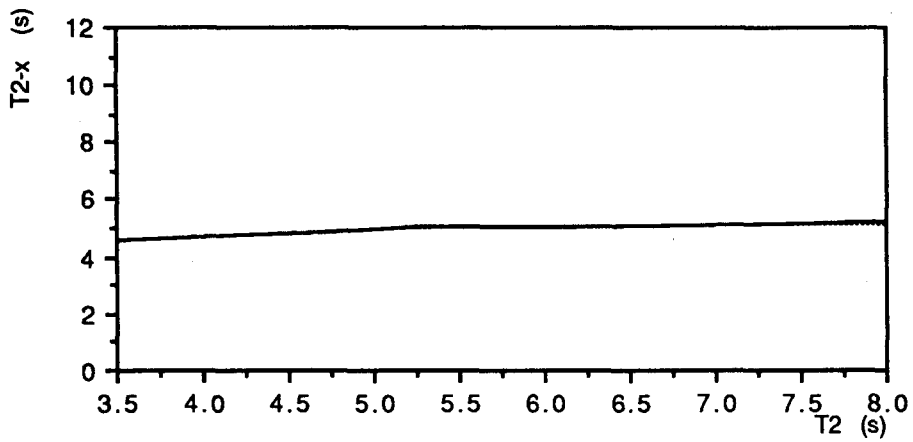
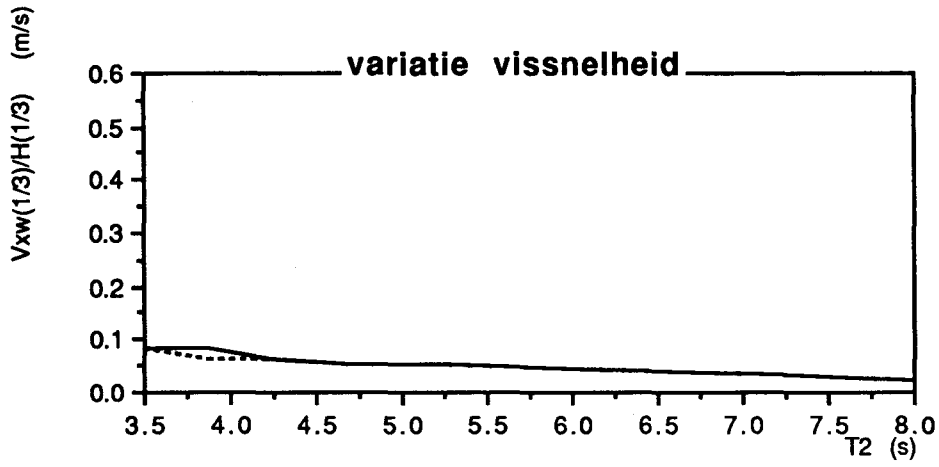
BIJLAGE D.2 RESULTATEN VAN BEREKENINGEN VAN BEWEGINGEN GIEK



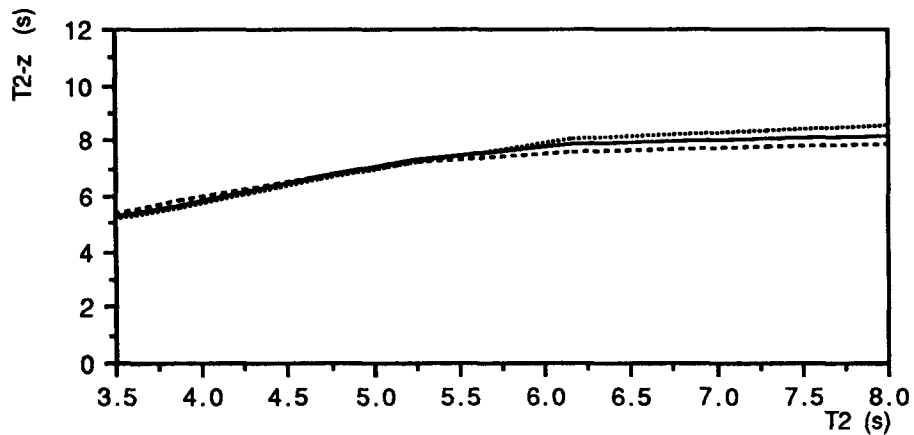
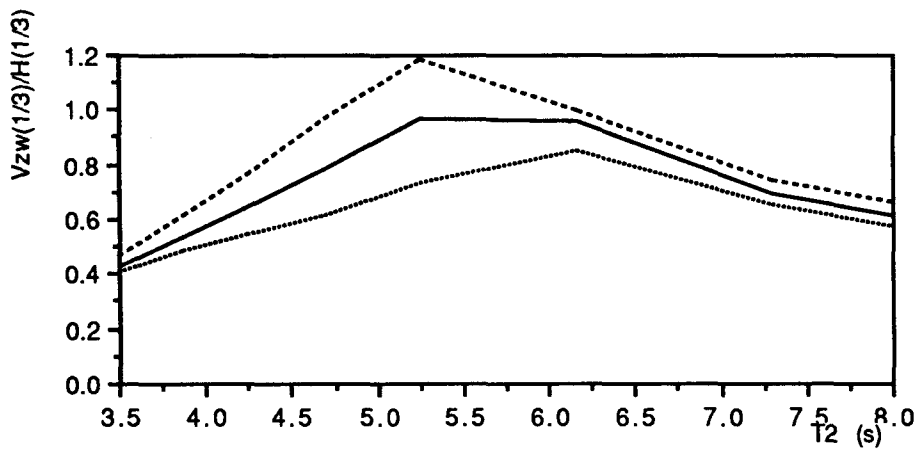
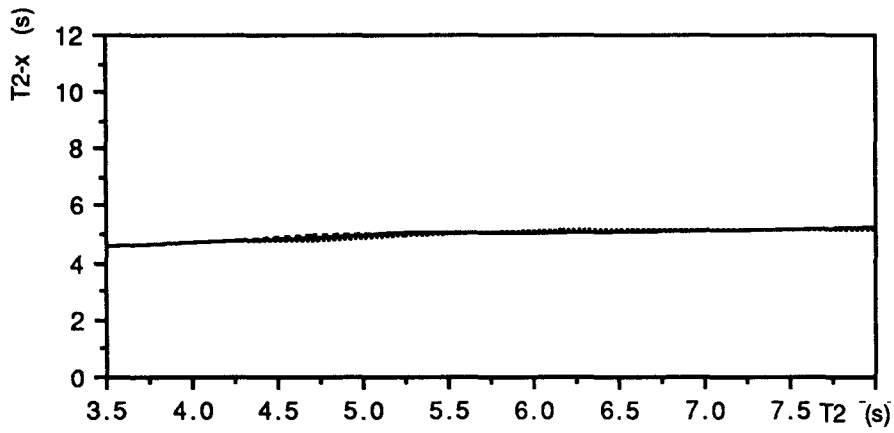
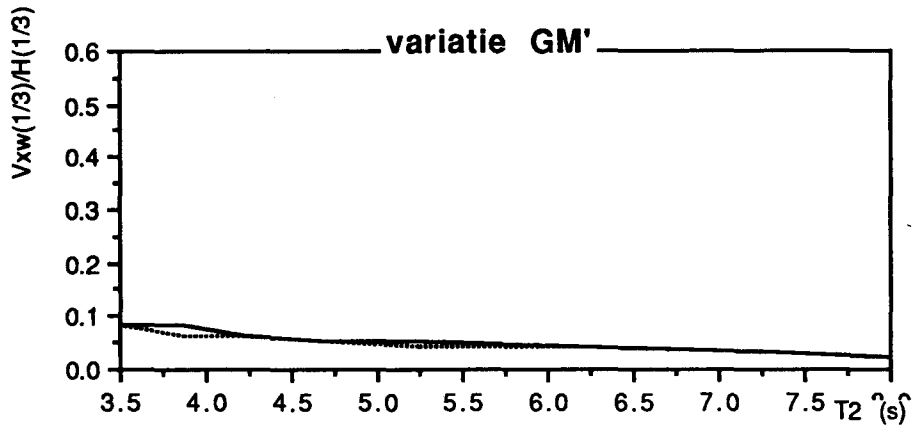
- 180
- 135
- 90
- 45
- 0



- 22 m va. AII
- 24 m va. AII
- ===== 26 m va. AII
- 7 m va. basis
- 9 m va. basis



..... 4.65 kn
 _____ 5.25 kn
 6 kn



- - - - - 0.8 m
 ———— 0.91 m
 1.0 m

