# Statische analyse van vaste scheepsschroeven met behulp van de elementenmethode

# STATISCHE ANALYSE VAN VASTE SCHEEPSSCHROEVEN
# MET BEHULP VAN DE ELEMENTENMETHODE

J. Klingen
augustus 1976
vakgroep Technische Mechanika
Technische Hogeschool Eindhoven

WE 76.17

INHOUDSOPGAVE

## Literatuurverwijzing

[1] ASKA Users Reference Manuel, ISD, 1971 Stuttgart

[2] Inleiding in het gebruik van ASKA, THE-Mechanica, 1971

[3] van Manen, Fundamentals of ship resistance and propulsion, publikatie NSMB no. 132a, Wageningen.

[4] ASKA report UM 205, Application of distributed loads

[5] ASKA report UM 214, Thick Shell elements

[6] Stresses in marine propellers, James H. Ma, Journal of ship research, vol. 18, dec 74.

[7] A practical stress analysis procedure for marine propellers using curved finite elements, P. Atkinson, S.N.A.M.E, New York, 1975

## Appendices

A. Een bijzondere spline funktie.

B. Details uit het ASKA-programmasysteem.

C. Rekursieve substrukturering.

D. Koppelen HEXEC 27 aan QUABC 9.

E. Verdeelde belasting in ASKA.

F. Overwegingen bij de keuze van drie-dimensionale elementen in ASKA.

G. Verslag assemblage test.

H. Listing van blad-, naaf- en asprogramma.

I. Overzicht toegepaste knooppuntsnummering in de volledige versie.

VOORWOORD

Als doel voor het hier beschreven onderzoek kan worden opgegeven: het inzicht krijgen in de mogelijkheden en de moeilijkheden bij het statisch analyseren van vaste scheepsschroeven met behulp van de elementenmethode. Dit afstudeerwerk kwam tot stand in overleg met Lips Drunen B.V.
Er zijn analytische en numerieke methoden beschikbaar voor het analyseren van een, ter plaatse van de naaf ingeklemd schroefblad. Hieruit resulteren de volgende vragen:

- hoe kan de eindige stijfheid van de naaf in een analyse betrokken worden en wat is daarvan de invloed op de spanningsverdeling in de schroefbladen?
- wat is de spanningsverdeling in de naaf?

Deze problemen overdenkend komen wij tot de volgende konklusies:

- wegens de komplekse geometrie en belasting lijkt een analyse via de elementenmethode de aangewezen weg
- teneinde niet opnieuw op grote problemen m.b.t. randvoorwaarden te stuiten dient ook een deel van de schroefas in de analyse betrokken te worden.

De lezer zal ontdekken dat het toepassen van de elementenmethode in echte drie-dimensionale konstrukties een aantal typerende problemen van inzichtelijke, organisatorische en ekonomische aard oplevert. Om deze redenen is grote voorzichtigheid geboden.
In principe is het mogelijk om, in één berekeningsslag, op de gestelde vragen alleszins bevredigende antwoorden te verkrijgen; praktisch zal dat echter leiden tot onakseptabele investeringen in mankracht en rekenkosten. Het uitgevoerde onderzoek wil dan ook niet méér zijn dan een eerste berekeningsslag. De resultaten daarvan zullen verdergaande analyses dienen te sturen.
De elementenmethode vraagt een grote hoeveelheid invoergegevens. De konstruktie wordt (denkbeeldig) verdeeld in een groot aantal stukken van betrekkelijk eenvoudige geometrie: de elementen. De geometrie van elk element wordt vastgelegd met een aantal diskrete punten in de konstruktie: de knooppunten. Van elk element dienen de relevante knooppunten te worden opgegeven; van de knooppunten moeten de koördinaten in een geschikt assenstelsel worden opgegeven. De belasting van de konstruktie dient gegeven te worden door middel van belastingsgrootheden in de knooppunten.
Het direkt samenstellen van deze invoergegevens, uitgaande van de schroeftekening en het hydrodynamisch belastingsmodel, is ondoenlijk. Het hoofdbestanddeel van het afstudeerwerk was dan ook het ontwikkelen van een "inputgenerator" voor in principe alle vormen van vaste scheepsschroeven. Dit is een komputerprogramma met als invoer: (een honderdtal) parameters die de geometrie en de belasting van een bepaalde schroef vastleggen. De inputgenerator bestaat uit twee stukken:

- een meshgenerator, welke als uitvoer een verdeling van de schroef in drie-dimensionale elementen levert.
- een belastingsgenerator, welke als uitvoer de belastingsgrootheden in de knooppunten van de elementverdeling levert.

De uitvoer van de inputgenerator is geschikt als invoer voor het programmasysteem op basis van de elementenmethode ASKA (Automatic System for Kinematics Analysis).

Om snel een indruk te krijgen van de opbouw van het afstudeerverslag verwijzen wij naar de inhoudsopgave.

Van een afstudeerverslag mag men verwachten, dat niet alleen de ter zake kundige specialist, maar vooral ook de vanuit een raakgebied geïnteresseerde lezer de tekst bevredigend kan volgen.
Dit verslag poogt derhalve minstens twee heren te dienen, te weten de mechanika-mensen enig inzicht te geven in de opbouw van scheepsschroeven en een mogelijke aanpak van het drie-dimensionale probleem, en de hydrodynamici enigszins vertrouwd te doen raken met de eindige elementenmethode, toegepast op "hun" schroef.

## 1. Inleiding

Het woord vast in de titel van dit verslag slaat op het feit, dat de bladen van de schroef niet verstelbaar zijn, ze vormen één (gegoten) geheel met de naaf. Vaste scheepsschroeven worden in tal van variaties gemaakt. Het zijn voornamelijk de diameter, het aantal bladen, het spoed-, dikte-, welving-, skew- en rake- verloop in het blad, en de naafafmetingen die de geometrie van de schroef bepalen.

Bij het ontwerpen van een schip zijn de eisen die aan de schroef gesteld worden een gevolg van de primaire wensen: de transportkapaciteit en de snelheid van het schip. Een schroevenfabrikant kan uitgaan van de volgende gegevens:

- snelheid van het schip
- daarvoor benodigde vermogen
- informatie over het zgn. volgstroomveld: het stromingspatroon bij het achterschip.

Na de nodige globale eerste berekeningen is er vaak terugkoppeling: de vorm van het achterschip bijvoorbeeld kan worden aangepast aan de vorm en de gewenste bedrijfsomstandigheden van de schroef.

### 1.1 De schroeftekening

Figuur 1 en 2 tonen afdrukken van 2 schroeftekeningen, de eerste die van een min of meer klassiek ontwerp van Lips, maar voor een zeer groot vermogen, ~~klassiek ontwerp (uit de B-serie, ontwikkeld in het Nederlands Scheepsbouw Proefstation, Wageningen)~~, de tweede die van een ontwerp met geavanceerde bladvorm ~~geavanceerd ontwerp van Lips~~.

De belangrijkste informatie krijgen we uit de basis van het ontwerp, de zgn. gestrekte doorsnede van het blad. Hierin zijn enkele proefielen getekend, die de plaatselijke dikte aangeven. De werkelijke vorm van het blad ontstaat nu door een aantal suksessieve transformaties uit te voeren op de vorm van de gestrekte doorsnede.

Verder laat de tekening o.a. de afmetingen van de naaf zien, het spoedverloop en het dikteverloop (een fiktieve dwarsdoorsnede van het blad, inklusief (fiktieve) afgeronde aanhechting aan de naaf).

### 1.2 Belasting

De bevestiging van de as aan de naaf bestaat uit een krimpverbinding op een conusvlak (≈1:20), aan de achterzijde geborgd door een moer. De bevestiging is tegenwoordig meestal spieloos; de krimpverbinding wordt met behulp van een oliefilm op het kontaktvlak tot stand gebracht.

De hydrodynamische belasting levert de stuwkracht: aan de voorzijde van het blad ontstaat een onderdruk (de bolle zijde van het profiel), aan de achterzijde overdruk (de holle of minder bolle zijde).

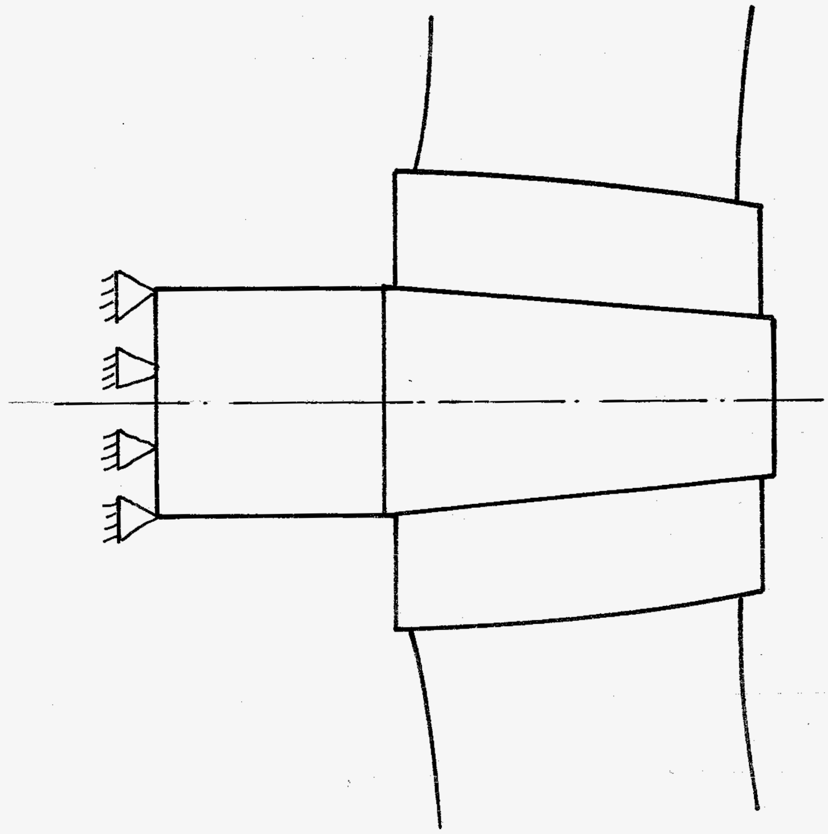


fig. 4

Het blijkt dat in een gebied aan de voorzijde van het conus vlak inderdaad slipverschijnselen optreden, zelfs onder niet extreme omstandigheden.

- In het geavanceerde ontwerp van figuur 2 is er sprake van een "highly skewed" schroef; de bladen zijn a.h.w. in het vlak van rotatie naar achteren gebogen. Een konsekwentie hiervan is een sterke toename van het torsiemoment aan de voet van het ~~vlak~~ blad, waardoor dat gebied meer dan ooit belangrijk wordt voor spanningsanalyse, en waarbij de naaf ongetwijfeld een rol speelt.

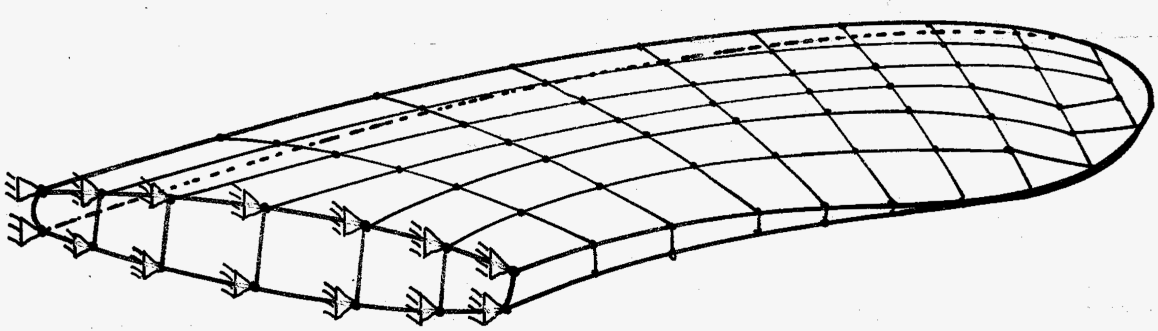
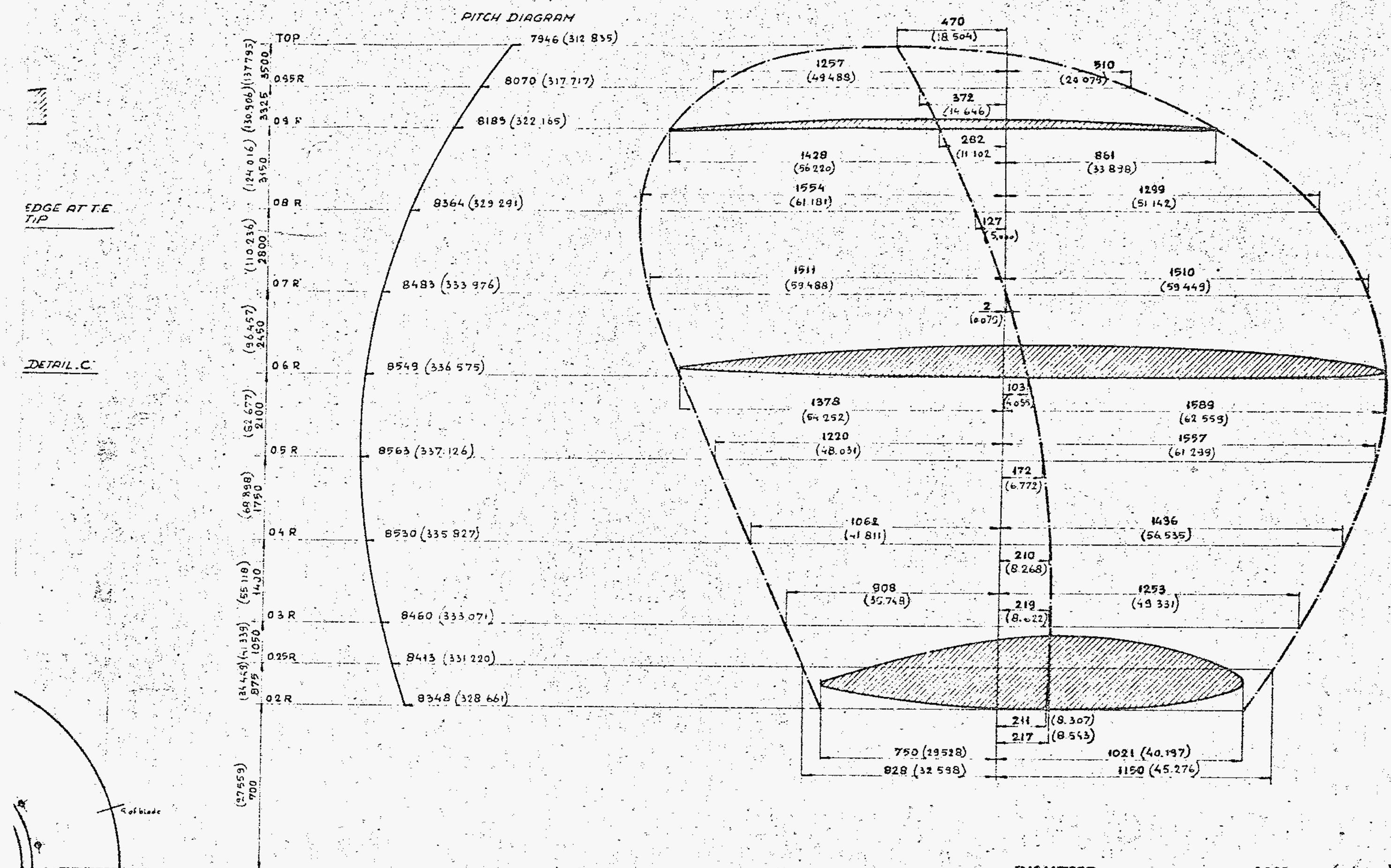
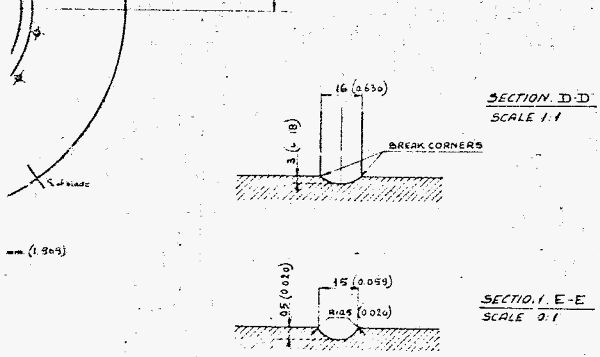


fig. 3




| | | |
|---|---|---|
| DIAMETER | : | 7000 mm (275 591) |
| PITCH mean | : | 8373 mm (329 646) |
| NUMBER OF BLADES | : | 5 |
| DIRECTION OF TURNING | : | RIGHT and LEFT-HANDE. |
| BLADE AREA RATIO | : | 0.89 |
| MATERIAL | : | CUNIAL-BRONZE |
| MIN. TENSILE STRENGTH | : | 66 kg/mm2 |
| MIN. ELONGATION | : | 20 % |
| WEIGHT approx. | : | 47000 kg |
| WD2 in air | : | 402000 kgm2 |
| CLASSIFICATION | : | A.B.S. |
| TURBINE OUTPUT 2 x | : | 60000 S.H.P. at 135 R.P.M. |

PROPELLER HAS BEEN DRAWN RIGHT-HANDED

MEASURES IN PARENTHESIS IN INCHES

CUNIAL-BRONZE PROPELLERS
SL 7 TYPE-CONTAINER SHIPS
FOR SEA-LAND SERVICE INC.

LIPS N.V. - DRUNEN - HOLLAND

DESIGN DEPT

1970

115.941-012 A

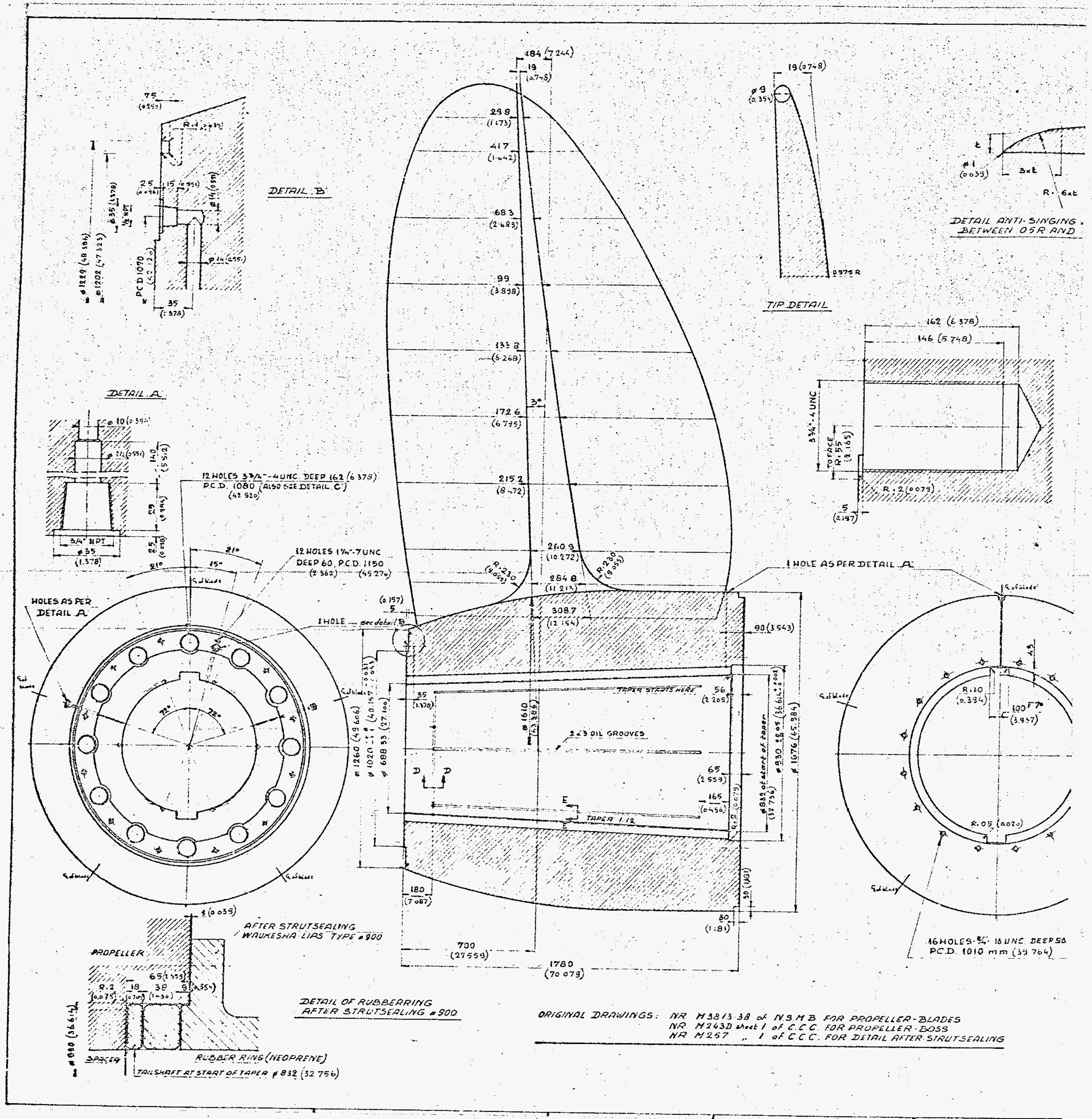

DETAIL B
DETAIL A
TIP DETAIL
DETAIL ANTI-SINGING
BETWEEN 05R AND
12 HOLES 3 3/4"-4UNC. DEEP 162 (6.378) P.C.D. 1080 (ALSO SEE DETAIL C)
12 HOLES 1 1/4"-7UNC DEEP 60, P.C.D. 1150
HOLES AS PER DETAIL A
1 HOLE AS PER DETAIL A
TAPER STARTS HERE
2x3 OIL GROOVES
TAPER 1:12
16 HOLES 3/4"-10UNC DEEP 50 P.C.D. 1010 mm (39.764)
AFTER STRUTSEALING
WAUKESHA LIPS TYPE #900
PROPELLER
SPACER
RUBBER RING (NEOPRENE)
TAILSHAFT AT START OF TAPER ø 832 (32.756)
DETAIL OF RUBBERRING
AFTER STRUTSEALING #900
ORIGINAL DRAWINGS: NR M3813.38 of N.S.M.B FOR PROPELLER-BLADES
NR M2430 sheet 1 of C.C.C. FOR PROPELLER-BOSS
NR M257 " 1 of C.C.C. FOR DETAIL AFTER STRUTSEALING

fig 1

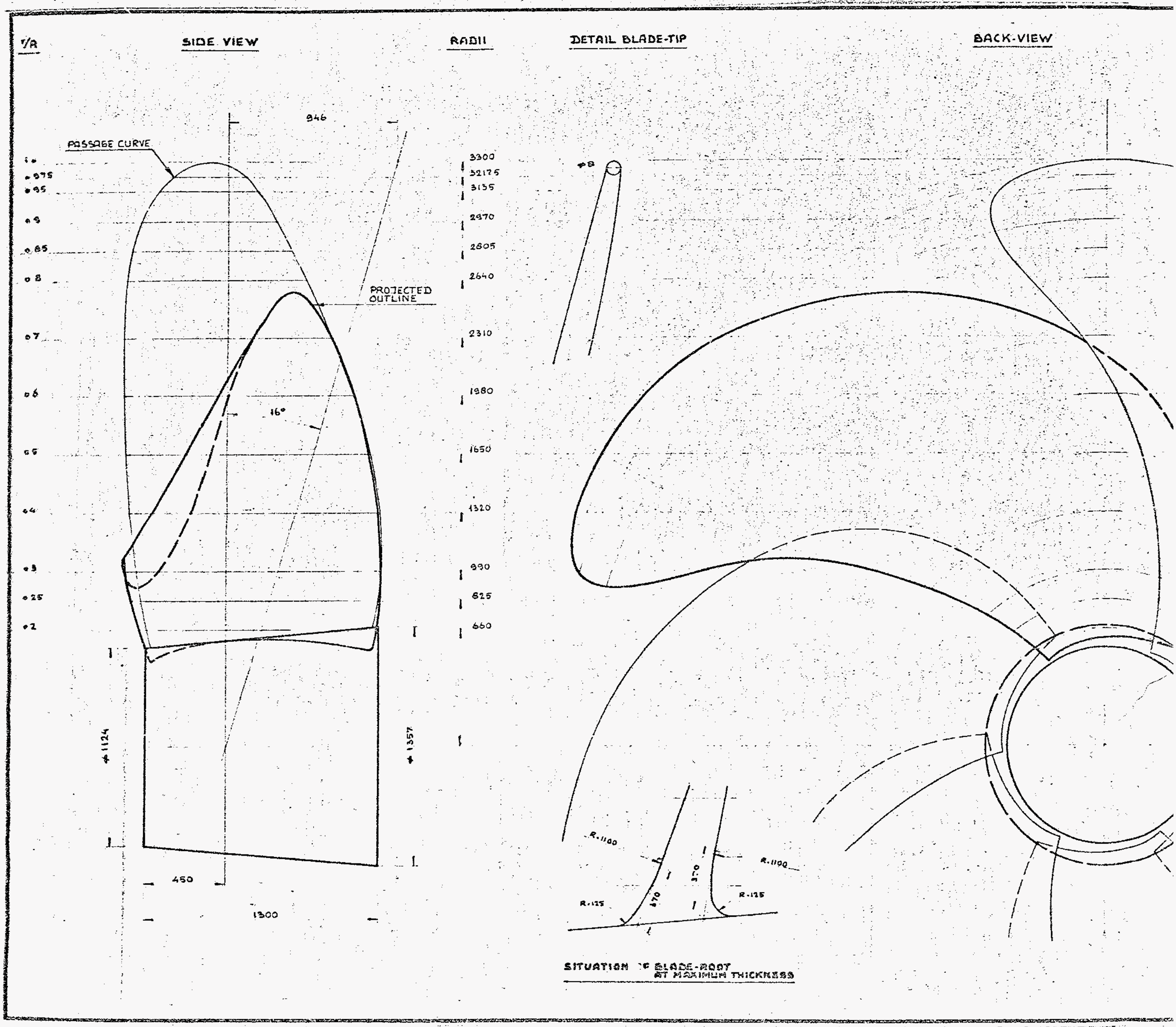
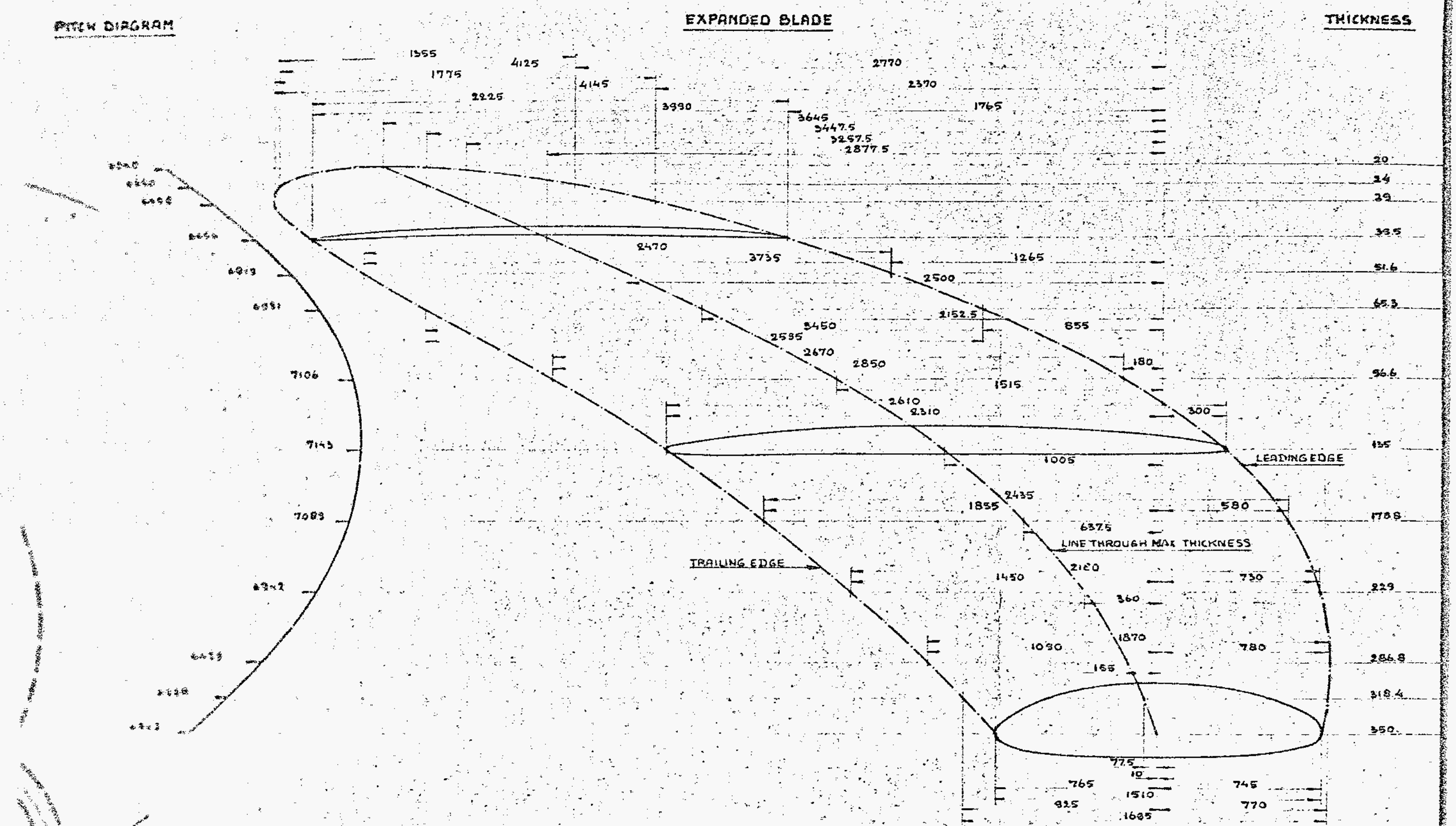

r/R
SIDE VIEW
RADII
DETAIL BLADE-TIP
BACK-VIEW
946
PASSAGE CURVE
1.0
.975
.95
.9
.85
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.25
.2
3300
32175
3135
2970
2805
2640
2310
1980
1650
1320
990
825
660
PROJECTED OUTLINE
16°
ø 1124
ø 1357
450
1300
ø8
R.1100
R.125
SITUATION OF BLADE-ROOT AT MAXIMUM THICKNESS

fig 2




**PROPELLER CHARACTERISTICS**

| | | |
|---|---|---|
| DIAMETER | : | 6600 mm |
| PITCH mean | : | 6864 mm |
| NUMBER OF BLADES | : | 6 |
| DIRECTION OF TURNING | : | RIGHT-HANDED |
| BLADE AREA RATIO | : | 1.046 |
| MATERIAL | : | CUNIAL-BRONZE |
| MIN. TENSILE STRENGTH | : | 68 kg/mm2 |
| MIN. ELONGATION | : | 20 % |
| WEIGHT | : | 41000 Kg |
| W.D2 | : | 370500 kgm2 |
| CLASSIFICATION | : | A.B.S & B.V. |
| TURBINE OUTPUT | : | 38000 S.H.P. (metric) at 120 R.P.M. |

$C_s$ = 0.7862
$C_n$ = 0.0983

LIPS B.V.
DRUNEN - HOLLAND

PROPELLER FOR CONTAINER-SHIP EN 1408/1413
MESSRS C.N.I.M. - LA SEYNE SUR MER

11-593-01

De derde komponent van de belasting wordt gevormd door de massakrachten t.g.v. de rotatie. In ons model van de belasting verwaarlozen we zodoende de volgende facetten:

- eigengewicht van de schroef
- versnellingskrachten t.g.v. oneenparigheid in de rotatie en translatie van de schroef
- vloeistof wrijving
- inhomogeniteit van het volgstroomveld, en de daaruit voortvloeiende belastingsfluktuaties.

## 1.3 De meshgenerator

Bij de opzet van de meshgenerator is optimaal gebruik gemaakt van de periodiciteit in de geometrie: bij een vijfbladschroef, bijvoorbeeld, zijn vijf identieke delen aan te wijzen. Elk deel nu, wordt op dezelfde wijze in elementen verdeeld. De snedes door de naaf zijn zo gemaakt, dat elk deel ook precies één heel blad omvat.

## 1.4 Andere onderzoeken

In tegenstelling tot het meest gebruikelijke eindige elementenonderzoek aan scheepsschroeven, te weten de analyse van alleen het blad, is bij deze modelvorming de gehele schroef en een deel van de bijbehorende as meegenomen, en wel om de volgende redenen:

- De randvoorwaarden bij de analyse van alleen het blad zijn uiterst vaag: het lijkt niet realistisch om de naaf oneindig stijf te beschouwen (zie fig. 3). Ter oriëntatie: de grootste dikte van het (niet afgeronde) blad ter plaatse van de naaf, de zgn. bladwortel is van dezelfde orde van grootte als de radiale dikte van de naaf. Om het randvoorwaardenprobleem echt te elimineren, is het derhalve nodig om de inklemming van de konstruktie voldoende ver buiten de invloedsfeer van de schroef te brengen. De ervaring doet vermoeden dat de bladwortel en mogelijk ook de naaf overgedimensioneerd zijn. Optimalisatie van de geometrie daar ter plaatse is slechts mogelijk na een verantwoorde analyse van de bladwortel en de naaf. Zie fig. 4
- De gebezigde opzet biedt de mogelijkheid om de krimpverbinding as-naaf te onderzoeken. Konstruktief gezien is de perspassing voor het doorleiden van een koppel een onding: de torsieslappe as "ontmoet" de torsiestijve bus, het koppel wordt overgedragen via het kontaktvlak; het koppel in de as is aan de voorzijde maximaal (evt. tot slippen toe), min of meer geleidelijk naar nul lopend tot aan de achterzijde.

# 2. De opbouw van de geometrie

## 2.1 Het profiel

De eerste keuze die de ontwerper maakt is die van het type profiel. Een profiel wordt opgebracht langs de neus-staartlijn (de koorde) en wel m.b.v. de skeletlijn (camberline), die de middellijn vormt tussen boven- en onderkontour. Zie figuur 6.

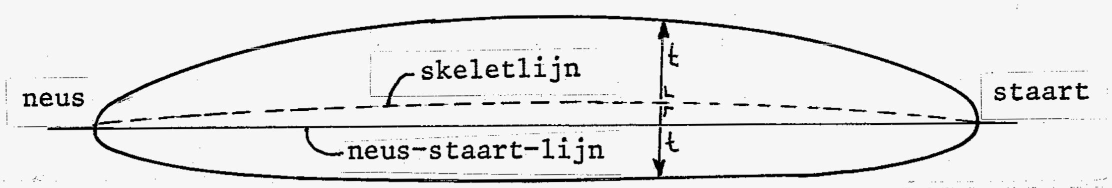



fig. 6 Opbouw van het profiel

Bij een zogenaamde stootvrije aanstroming is de liftkracht slechts afhankelijk van de welving, dat is de (maximale) afwijking van de skeletlijn t.o.v. de koorde. Is de welving nul, dan wordt de liftkracht bepaald door de aanstroomhoek.

Boven een bepaalde positieve invalshoek (of onder een bepaalde negatieve invalshoek) wordt het profiel overtrokken, waardoor de quasi-laminaire stroming wordt verstoord en de liftkracht sterk afneemt.

De normale dikte van het profiel wordt voornamelijk bepaald door sterkte overwegingen van het blad, terwijl uit hydrodynamisch oogpunt de dikte theoretisch nul zou mogen zijn.

Lips Drunen maakt bij de profielkeuze gebruik van de zgn. Arnoldus-standaardprofielen: een aantal in eigen huis ontwikkelde vormen, afgeleid van de NACA profielvormen. Een AR-profiel wordt volledig bepaald door de lengte, de maximale dikte en de welving zoals boven omschreven. Deze drie grootheden worden op de tekening aangegeven als funktie van de zgn. tekeningstralen, ongeveer op elk tiende deel van de grootste straal van de schroef.

Er is keuze uit de serie 1 en de serie 2 profielen:

serie 2: een symmetrisch profiel met de grootste dikte op 50% van de koorde

serie 1: een profiel, waarbij de plaats van de maximale dikte een funktie is van de maximale dikte zelf.

We komen hierop terug bij de bespreking van de rekenprocedure "profiel".

## 2.2 De gestrekte doorsnede

De informatie over de profielen per tekeningstraal wordt op de tekening verwerkt in de zgn. gestrekte doorsnede, te beschouwen als een platgeslagen en langs horizontale lijnen afgewikkelde versie van de werkelijke bladvorm. Deze laatste transformaties worden in de ontwerpfase echter in tegenovergestelde richting doorlopen: eerst ontstaat de gestrekte doorsnede, dan wordt o.a. de spoed (= de mate van verdraaiing rond een vertikale as, de zgn. trekker) geïntroduceerd en vervolgens wordt elke horizontale doorsnede gekromd t.o.v. de as van rotatie. Zie figuur 7.

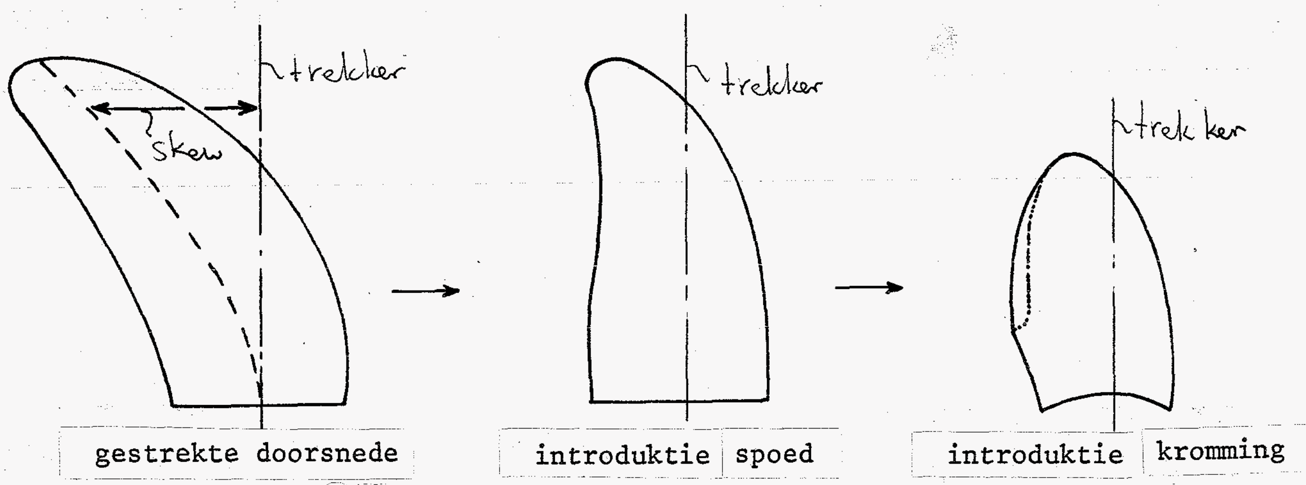
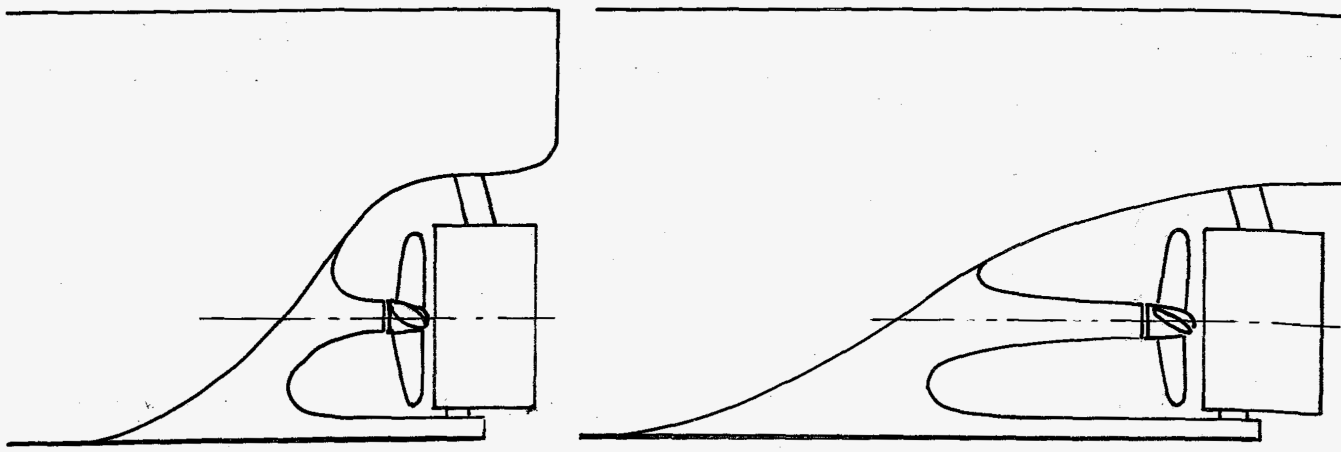



fig. 7 Zij-aanzicht blad

In de gestrekte doorsnede moet de ontwerper een dusdanig oppervlak kreëren dat, gegeven een per blad vereiste stuwkracht, de lokale druknivo's onder bedrijfsomstandigheden niet tot ontoelaatbare vormen van cavitatie leiden. Duidelijk is in figuur 1 en 2 te zien, dat de voorzijde zodanig is ontworpen dat een geleidelijker kontakt met het niet homogene stromingsveld is bereikt, vooral bij de high-skew schroef. We lichten dit als volgt toe:

De schroef roteert achter het schip in een vertikaal vlak. Om praktische redenen (aan de grond lopen, dokken) zitten de schroef en het roer altijd "boven het vlak" d.w.z. het laagste punt van de schroef ligt hoger dan de scheepsbodem (of beter: de basislijn). Zie figuur 8.



a. b, sterker geveegd dan a

fig. 8.

Dit impliceert dat de aanstroming van de schroef bij vooruit varen verre van homogeen is: een schroefblad "ontmoet" gedurende een omwenteling het water met een snelheid die in grootte en richting varieert. In figuur 9 zien we dat de aanstroomvektor van een profieldoorsnede (bij benadering) is opgebouwd uit twee vektoren, te weten die t.g.v. de konstante rotatie en die t.g.v. de aanstroming van het water.

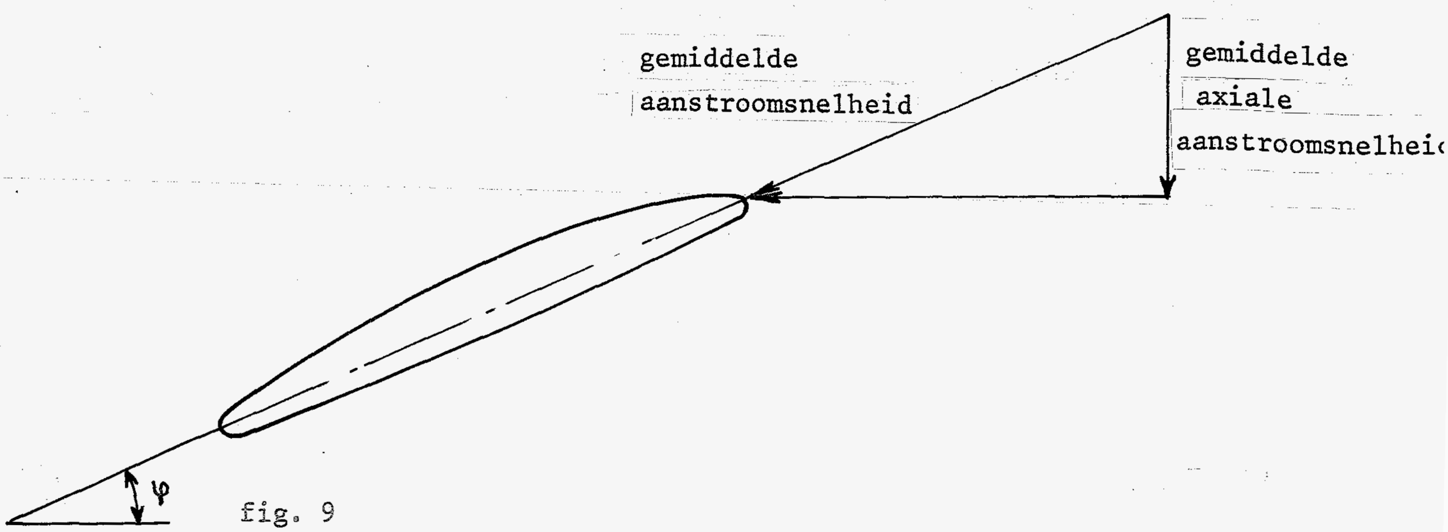



fig. 9

(Deze laatste komponent is gemiddeld gelijk aan de scheepssnelheid maal de gemiddelde lokale volgstroomfaktor).
De resultante varieert derhalve rond de zgn. gemiddelde aanstroomrichting.
Deze fluktuaties in de hydrodynamische kondities resulteren in een verandering in de mechanische belasting van het blad, een trillingsbron met een frekwentie gelijk aan het toerental maal het aantal bladen. voor het schip
Het is gebleken dat in sommige gevallen de inhomogeniteit van het stromingsveld van dien aard is, dat (radiaal gezien) een wat geleidelijkere konfrontatie van het blad met het aanstromende water de fluktuaties in de mechanische belasting wat afvlakt en het trillen vermindert.

Bij de ontwikkeling van snellere enkelschroefs vrachtschepen (met name in het containervervoer) is het probleem van het inhomogene volgstroomveld steeds nijpender geworden.
Om een nettere aanstroming te krijgen kan men het onderwaterschip aanpassen (meer "vegen") maar dit stuit al snel op financiële bezwaren (minder laadruimte, dure bouw). Zie figuur 8.
Blijft over: het schroefontwerp aanpassen en met name door vergroting van de skew, dit is de afstand (in de gestrekte doorsnede) van het midden van het blad tot aan de trekker, de vertikale referentie as. Zie figuur 7.
Deze werkwijze wordt de laatste jaren frekwenter toegepast en de resultaten blijken vaak bevredigend. Maar zoals gezegd, treden bij toename van de skew belangrijke veranderingen op in de spanningsverdeling aan de bladwortel.

## 2.3 Spoed, rake en afronding aan de naaf

De spoed van een schroef kan opgevat worden als de axiale verplaatsing van de schroef over 1 omwenteling, slipvrij draaiend in een stilstaand medium.
De spoed heeft een grootte orde van die van de diameter.
Om een aantal hydrodynamische redenen is de spoed echter eveneens een funktie van de straal. Figuur 10 laat het verband zien tussen de spoed H en de bijbehorende spoedhoek $\phi$ op een gegeven straal.

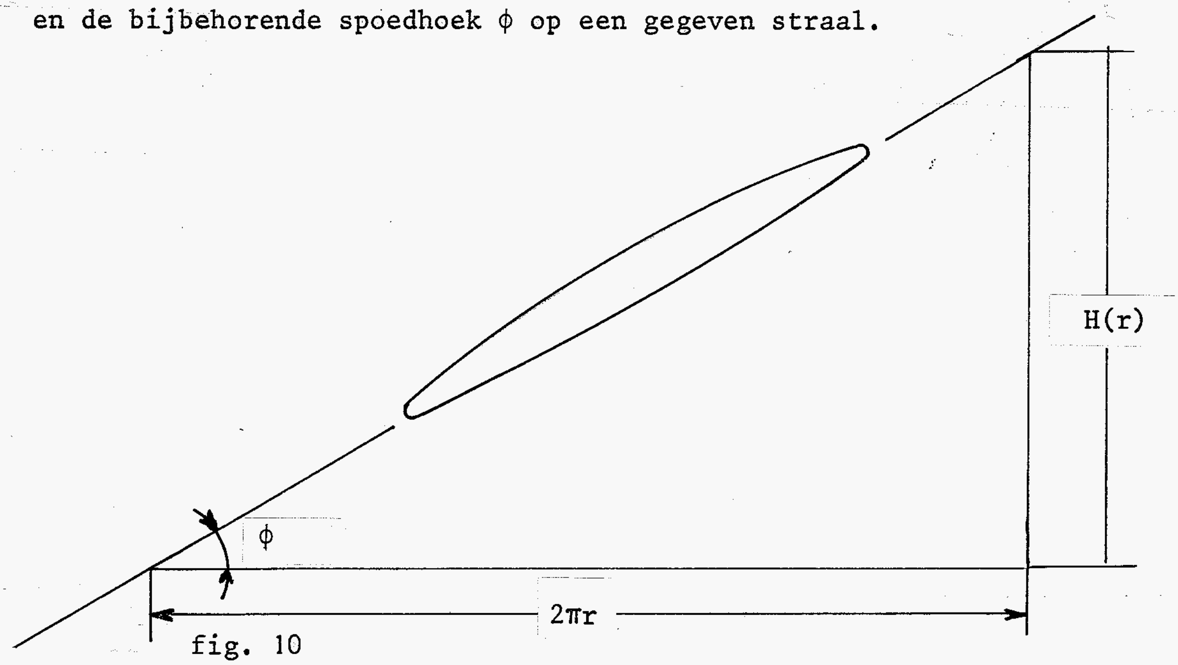



fig. 10

Het spoedverloop is op de tekening terug te vinden, evenals de rake, dit is de maat die aangeeft hoever de trekker afwijkt van het vertikale vlak van rotatie.

De rake is meestal een lineaire funktie van de straal, en wordt opgegeven in booggraden. Bij high-skew schroeven zien we een negatieve rake, d.w.z. dat de trekker naar voren wijst. Dit is nodig ter kompensatie van de sterk achterlijke positie van de bladtop t.g.v. de grote skew. Bovenaanzicht figuur 11 probeert dit te verduidelijken.

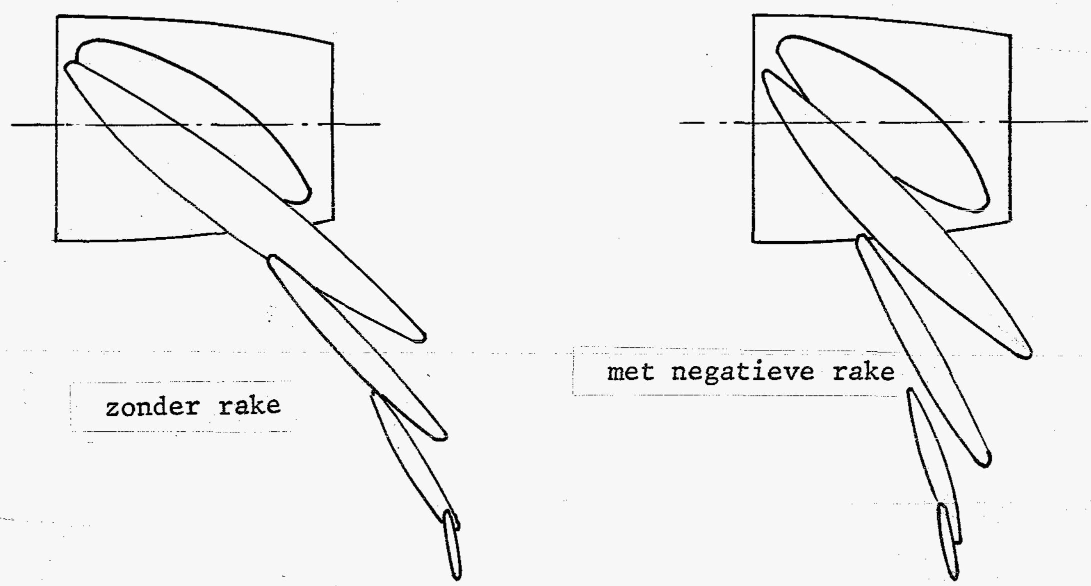



fig. 11 Bovenaanzicht van high-skew blad op diverse doorsnedes

In de schroeftekening tenslotte wordt de afronding naar de bladwortel aangegeven. Het is een fiktieve doorsnede van het blad, ter plaatse van de grootste dikte, getekend aan de naaf met spoed nul: het blad staat in het vlak van rotatie. De getekende afrondingen zijn de maximum afrondingsmaten aan de bladwortel, ter plaatse van de grootste profieldikte. Langs de wortel loopt de afronding naar neus en staart geleidelijk naar nul.

## 2.4 Samenvatting

Een punt p, bv aan het rugvlak van het blad, aan te wijzen op de gestrekte doorsnede, is als volgt te vinden in de werkelijke geometrie:

- gegeven: straal $r_p$, afstand tot de trekker $y_p$, p op rugzijde
- bepaal profielvorm op $r = r_p$ (d.m.v. lengte, dikte, welving)
- bepaald hierop p: ($y_p$ bekend, rugzijde) $\rightarrow$ $r_p$, $y_p$, $x_p$
- introduceer de spoed: rotatie ter grootte $\phi$ rond trekker (x=0,y=0)
  $\rightarrow$ $y_p'$, $x_p'$, $r_p$ ($y_p'$ nieuwe positie van $y_p$, etc.)
- introduceer de rake: translatie in x-richting: $x_p' \rightarrow x_p''$: $= x_p' + a.r_p$
  geeft: $y_p'$, $x_p''$, $r_p$.
- krom de doorsnede en wel op de volgende manier: booglengte ($r_p$ $\beta$) = $y_p'''$.
  waarbij het vlak door de x-as en de trekker als referentie dient.
  Figuur 12 wil dit verduidelijken.

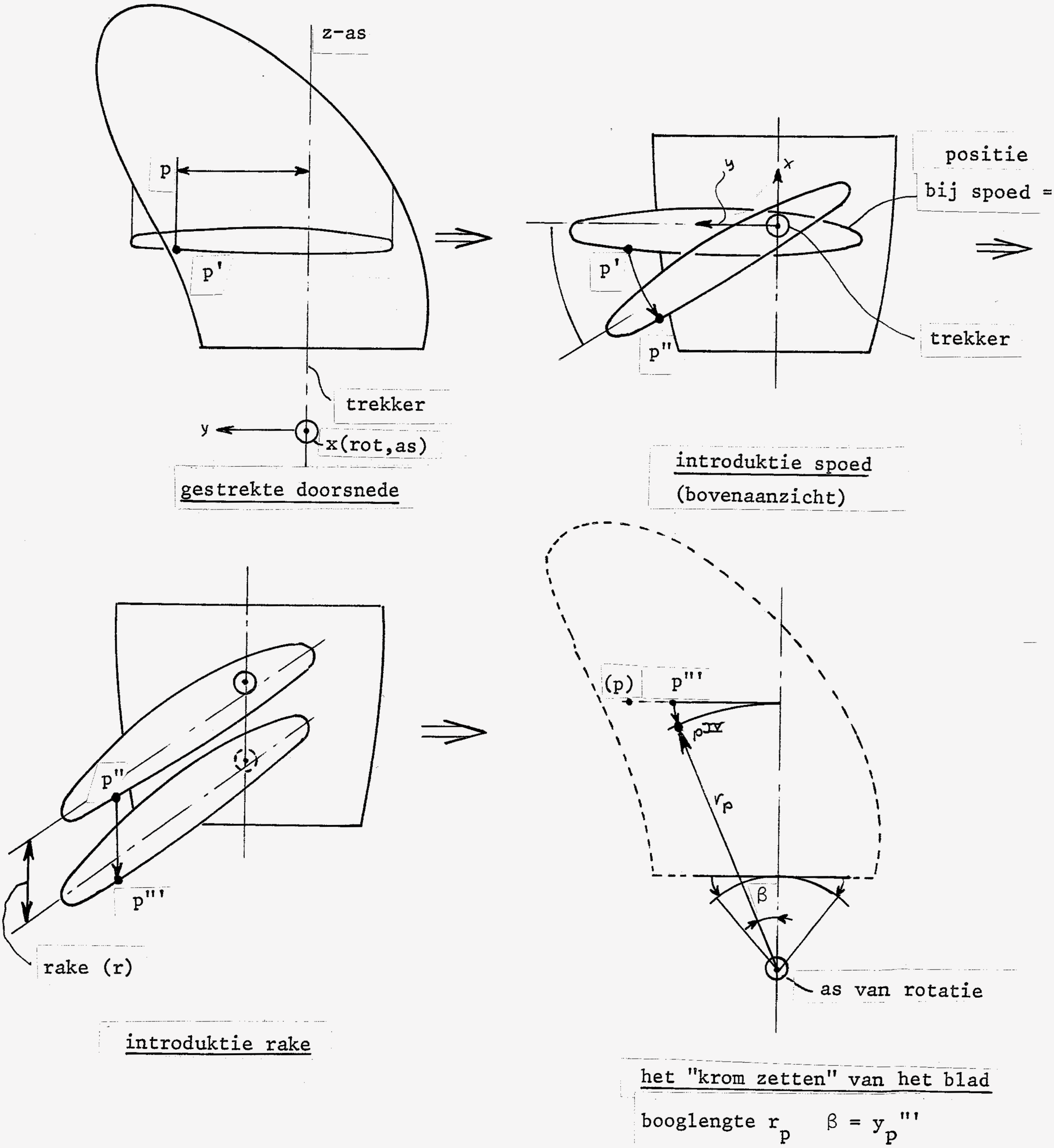



fig. 12 Transformaties bij de totstandkoming van de werkelijke bladgeometrie

# 3. De elementenverdeling

## 3.1 Inleiding

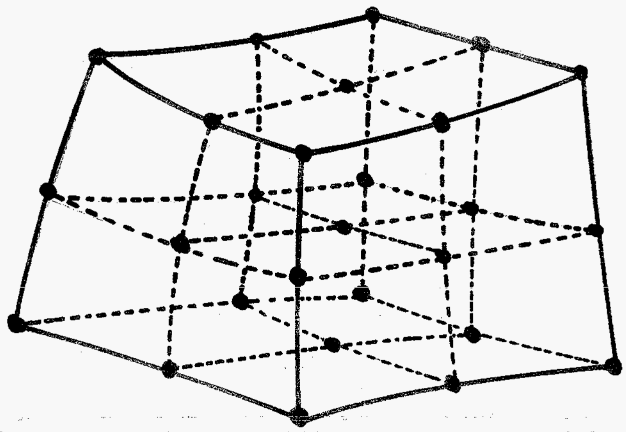
De keuze van het te gebruiken programmasysteem hangt vaak af van faktoren van organisatorische aard. Ook in dit geval waarbij

- de THE beschikt over de mogelijkheid tot gebruik van ASKA, met rekenfaciliteit op de TH-Delft en op het Philips Rekencentrum,
- de vakgroep mechanika van de THE beschikt over enige ervaring in het gebruik van ASKA voor middelgrote 3-D-problemen.

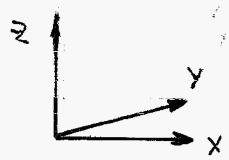
Daarnaast blijkt ASKA steeds meer geschikt te raken voor min of meer uitzonderlijke probleemgegevens, zoals verderop zal blijken.
Op basis van overwegingen, die te vinden zijn in Appendix F, hebben we voor ons probleem gekozen voor toepassing van elementen uit de HEXE familie, zuivere volume-elementen, met per knooppunt drie verplaatsingsvrijheden, u, v en w. De hier gebruikte versies zijn de typen HEXEC 27 en PENTAC 18, met respektievelijk 81 en 54 graden van vrijheid. (zie figuur 13).
De ribben van beide elementen mogen 2e graads krommen zijn, het verplaatsingsveld wordt beschreven door een onvolledig vierdegraads polynoom.
Men is bij het "opvullen" van de konstruktie om rekentechnische redenen beperkt in de vorm van de te gebruiken elementen: de afwijkingen van de ideale vorm (bij de HEXEC's een zuivere kubus) mogen niet te extreem zijn.
In dat licht bezien, is gebleken dat de bladtop te dun is voor het zinnig gebruik van HEXEC en/of PENTAC elementen. Daarom is daar een zgn. dikwandig schaal-elementtype gebruikt, in ASKA genaamd QUABC 9. Zie figuur 13.
Dit element bevat 9 knooppunten, in het middenvlak van de schaal, elk met 5 vrijheden, te weten 3 translaties u, v en w en twee rotaties, $\alpha$ en $\beta$.
Deze vrijheden zijn gerelateerd aan een voor elk knooppunt afzonderlijk gedefinieerd lokaal assenstelsel.
Howel de sets vrijheidsgraden van de HEXE 27 respektievelijk QUABC 9 elementen niet overeenkomen, is er toch een mogelijkheid gevonden om beide typen te koppelen en dus samen in een konstruktie te gebruiken. Zie hiervoor Appendix D.

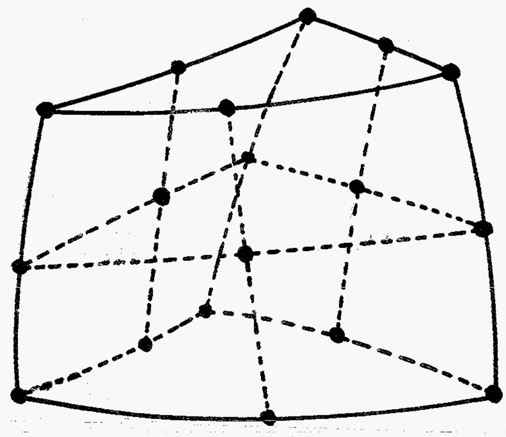
## 3.2 Symmetrie, substrukturering

In ASKA is het mogelijk om de globale struktuur te splitsen in substrukturen. Zie hiervoor Appendix C. Door het periodieke karakter van de geometrie leek het in ieder geval zinvol om een substruktuur te maken van een aantal malen terugkerend gedeelte.
We beschouwen een vierbladsschroef. Door de naaf zijn nu vier doorsnijdingen te maken, die vier identieke kwarten van de hele schroef opleveren, en wel zo

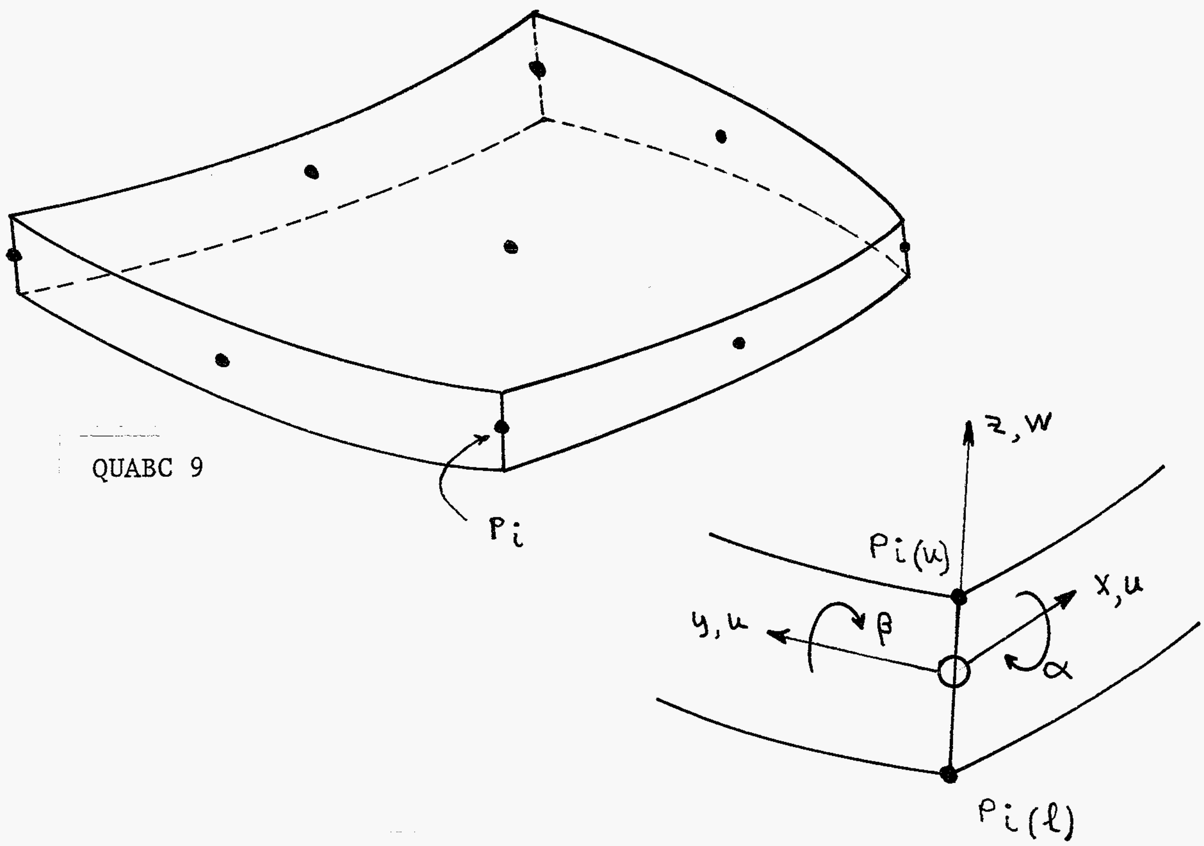


HEXEC 27



PENTAC 18




QUABC 9

fig. 13

dat elk kwart van de naaf nog vastzit aan één geheel blad. Dit gebeurt door het snedevlak te kiezen tussen twee bladwortels. Zie figuur 14.

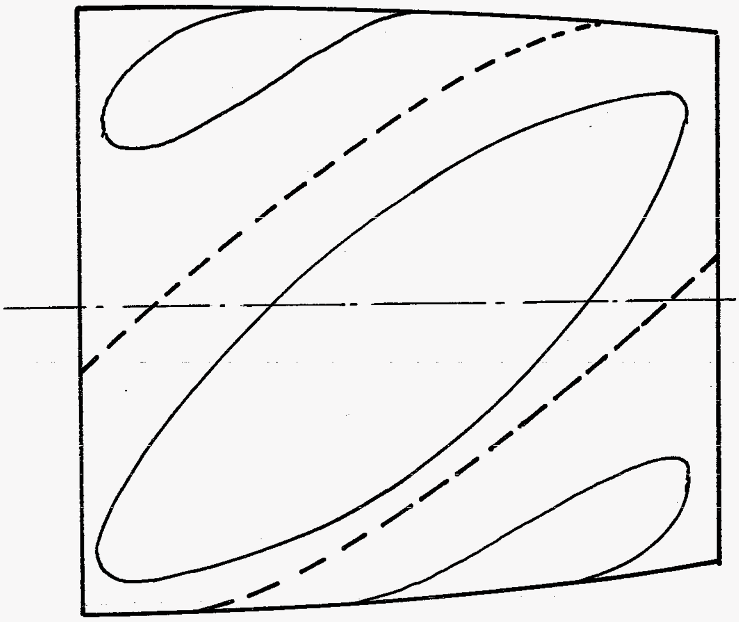


fig. 14 Aanzicht naaf zonder bladen, met snedevlakken tussen de bladwortels.

Zo ook met de bijbehorende as: de schroefvlak-vormige doorsnijding van de naaf trekken we door tot aan het hart van de as. Zie figuur 15.

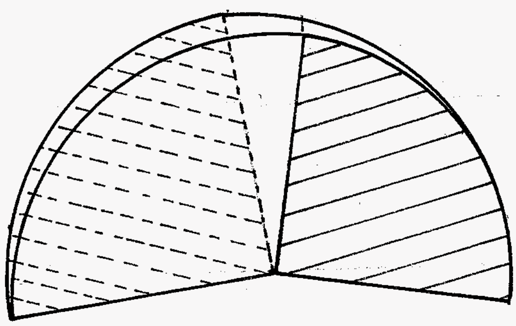


fig. 15 Achteraanzicht kwart van de as

Een verdere onderverdeling van het kwartgedeelte in substrukturen ligt voor de hand:

- de assektor (11)
- de naafsektor (12)
- het bladgedeelte gevormd door hexe-elementen (13)
- het bladgedeelte, de top, gevormd door QUABC 9-elementen. (14)

We hebben hiermee substrukturering op verschillende nivo's geïntroduceerd. ASKA beschouwt de elementen zelf als substrukturen van het laagste nivo (1). We krijgen het schema van fig.16a, waarbij 101 bestaat uit de substrukturen 11 , 12 , 13 , en 14 , en waarbij 102 t/m 104 ontstaan uit het kopiëren van 101 . Net 1001 bevat dan de gehele schroef en het in de analyse meegenomen gedeelte van de schroefas.

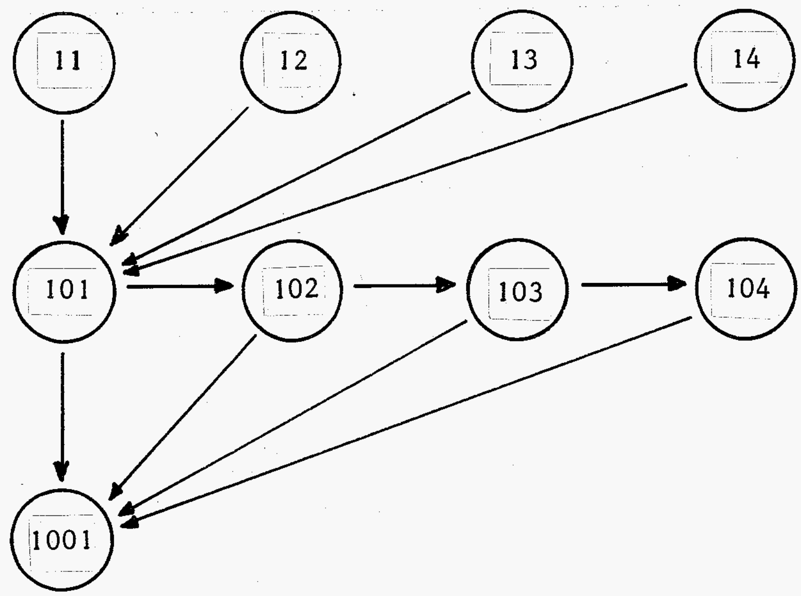



fig. 16a Schema substrukturering

3.3 Grensvlakken

De elementenmethode is gebaseerd op de diskretisering van de konstruktie in knooppunten, de elementen kunnen alleen via de knooppunten krachtgrootheden op elkaar uitoefenen. Dit houdt in, dat bij korrekte koppeling van elementen op het grensvlak elk knooppunt wordt gekoppeld. Zie figuur 17.

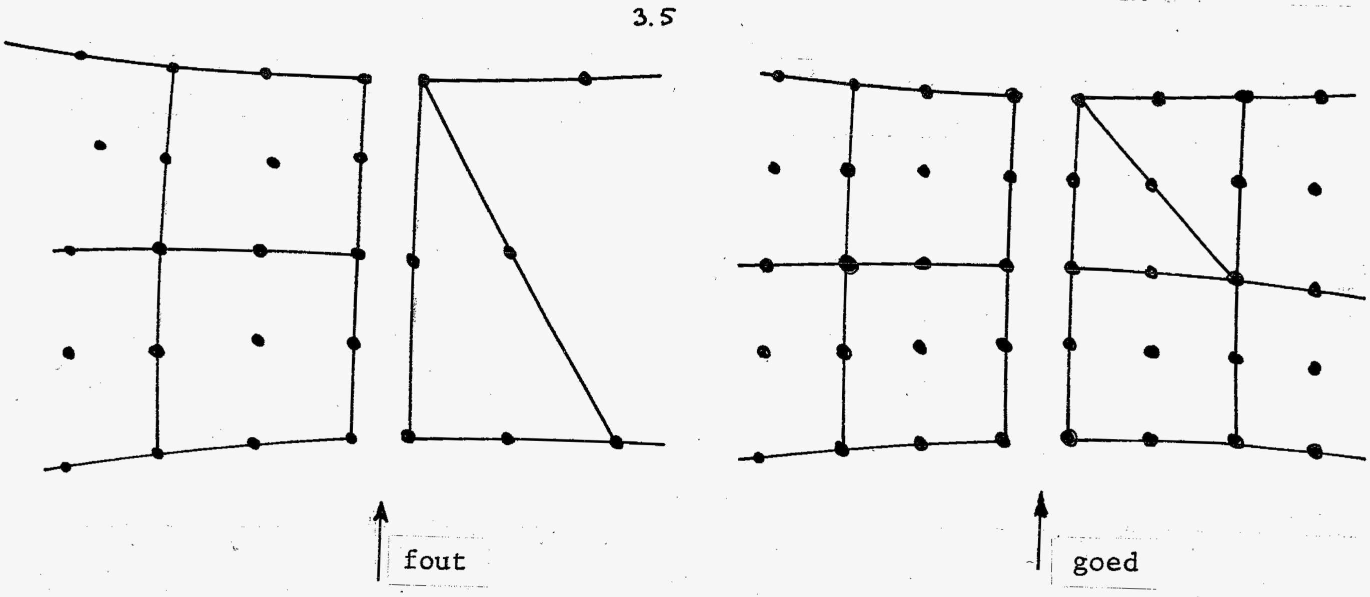



fig. 17 Koppelingsvoorbeeld

Bij de toegepaste substrukturering levert dit voor de grensvlakken de volgende kondities (zie ook figuur 18).

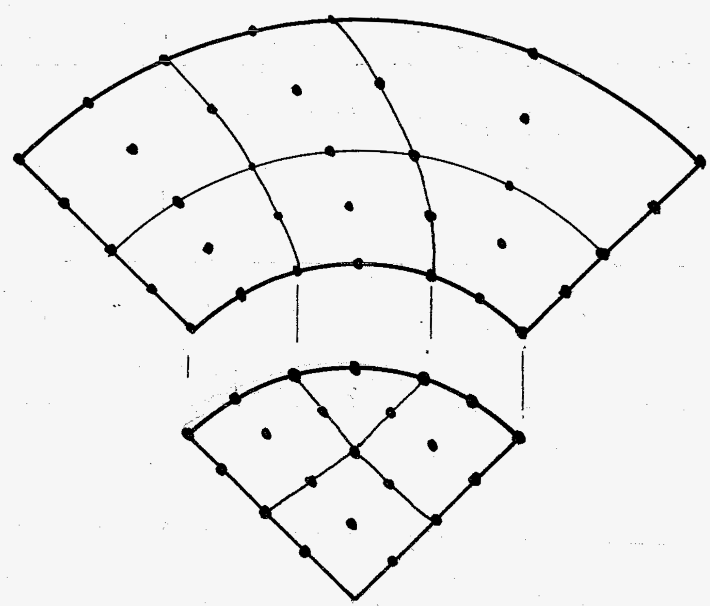


fig. 18

- op de twee zijvlakken van het kwart van de naaf moeten de knooppunten-konfiguraties identiek zijn.
- idem voor de twee zijvlakken van het asgedeelte.
- op het conusvlakgedeelte van de naaf moet de verdeling analoog zijn aan die van het bijbehorende asgedeelte.
- idem voor het grensvlak tussen naafdeel en blad
- voor het grensvlak in het blad, waar de hexe-achtigen gepaard worden aan de QUABC 9-schaalelementen gelden speciale koppelvoorschriften. Zie hiervoor Appendix D.

Bij het gebruik van HEXEC 27 en PENTAC 18 bestaan de grensvlakken uit (kromlijnige) driehoeken, vierhoeken, of een kombinatie van beiden.

NB.
De werkelijk toegepaste rekursieve substrukturering verschilt van de in figuur 16a getekende in zoverre, dat niet net 102 t/m 104 wordt gedeklareerd, maar net 1001 wordt gevormd door slechts de zijvlakken van net 101 te koppelen. Zie figuur 16b.

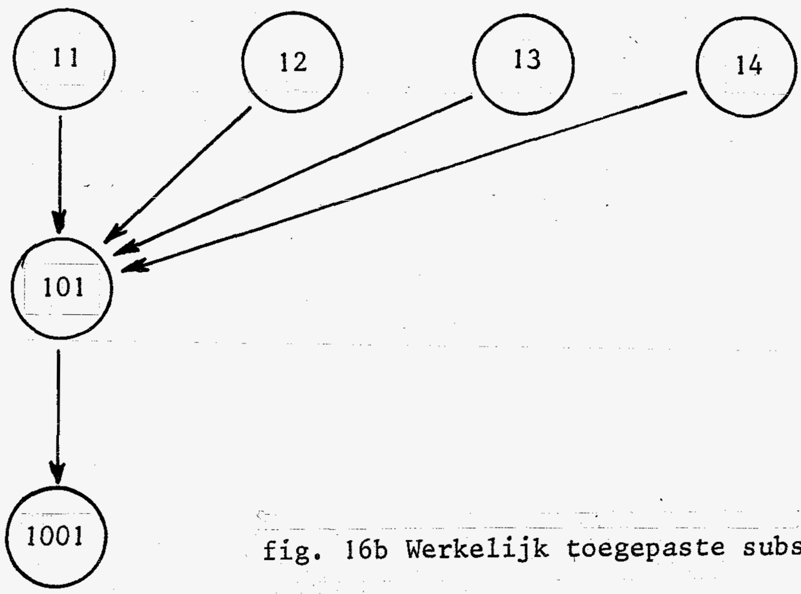



fig. 16b Werkelijk toegepaste substrukturering

De achtergrond hiervan is de volgende:
De te verdelen konstruktie bezit geometrische periodiciteit en tevens kiezen we ons belastingmodel periodiek, d.w.z. elk blad wordt hetzelfde belast (zie hiervoor par. 4). Deze twee gegevens samen impliceren periodiciteit in de verplaatsingen (en dus spanningen) op de snedevlakken.
Het deklareren van hoofdnet 1001 bestaat derhalve slechts uit het koppelen van het rechterzijvlak van een kwart van de schroef met het linkerzijvlak. Dit kan in ASKA o.a. dankzij het ROTATED BASIS koncept, waarin lokale assenstelsels gedeklareerd kunnen worden. Dit optimaal gebruik van de periodiciteit en de toepassing ervan in ASKA wordt uitvoerig beschreven in Appendix C.

## 3.4 De gekozen verdeling

Om het volume van de diverse substrukturen zo goed mogelijk op te vullen met niet teveel elementen, lijken veel verdelingen mogelijk. Wij vonden echter, dat i.h.a. lokaal geldt, dat de kombinatie van PENTAC en HEXEC slechts in één (zelf te kiezen) richting mogelijk is. Een doorsnede loodrecht op die richting levert een 2-D verdeling in driehoeken en vierhoeken. In de gerealiseerde verdeling is deze beperking in te zien, figuur 18 e.v. De keuze van het aantal elementen in een elementverdeling t.b.v. het analyseren van een konstruktie leidt in het algemeen tot een kompromis. Argumenten voor een fijne elementverdeling (veel relatief kleine elementen) zijn:

- met kleine elementen kunnen gekompliceerde geometrieën nauwkeurig beschreven worden
- bij het fijner worden van de verdeling konvergeert de gevonden oplossing naar de (binnen het analysemodel) exakte oplossing van het probleem.

De argumenten voor een grove verdeling (weinig relatief grote elementen) zijn van ekonomische aard:

- een grove verdeling vergt i.h.a. minder manuren en rekentijd voor het samenstellen van de invoergegevens van het elementenmethodeprogramma.
- de rekentijd voor het oplossen van het probleem is direkt en indirekt afhankelijk van het aantal elementen.

  Direkt: voor elk element moet de stijfheidsmatrix opgesteld worden. Voor de hier gekozen elementen vergt dat een niet te verwaarlozen rekentijd, daar er over het volume van het element een numeriek integratieproces uitgevoerd wordt. Uit de stijfheidsmatrices van de afzonderlijke elementen wordt de stijfheidsmatrix van de konstruktie gevormd, welke laatste bij een verstandig gekozen nummering van de knooppunten i.h.a. een bandmatrix is.

  Indirekt: de rekentijd voor het oplossingsproces wordt hoofdzakelijk bepaald door de rekentijd nodig voor het dekomponeren van de grote stijfheidsmatrix, en is evenredig met $av * b^2$, waarin

  av = aantal vrijheidsgraden van de konstruktie

  b = de bandbreedte van de stijfheidsmatrix van de konstruktie.

  Het aantal vrijheidsgraden av wordt in het algemeen in hoofdzaak bepaald door het aantal knooppunten np van de konstruktie, waarbij $av < np *$ aantal vrijheidsgraden per knooppunt (Een aantal vrijheden zal onderdrukt zijn, waardoor de beweging als star lichaam wordt verhinderd).

  ~~De bandbreedte b ≈ 2 * het maximale verschil in knooppuntnummers van de tot één element behorende knooppunten~~.

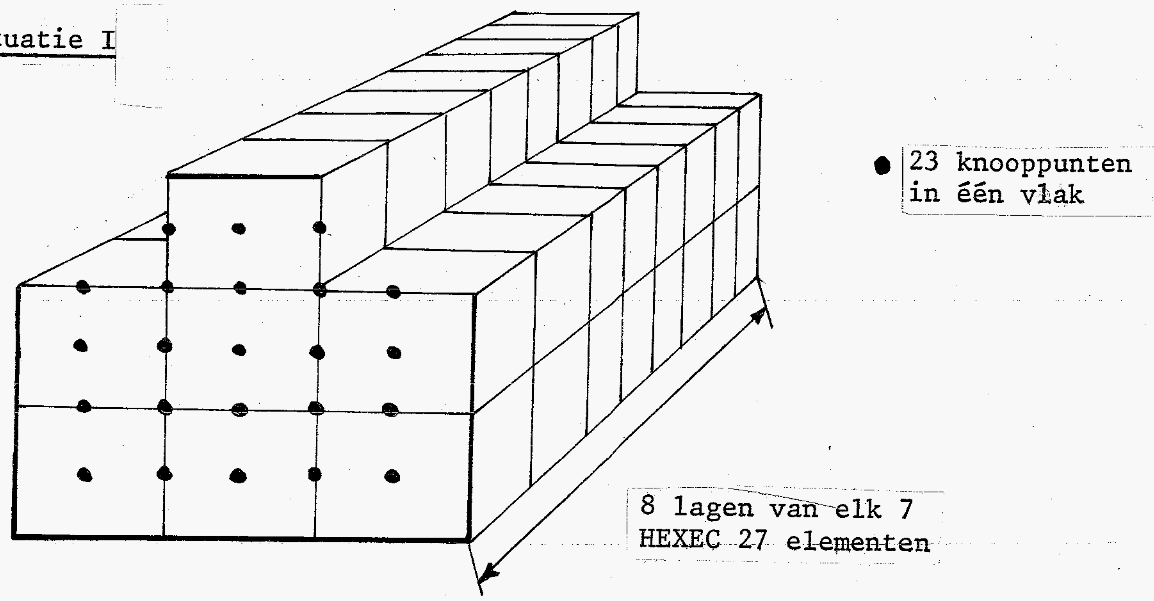
Indien de konstruktie uit ne-elementen is samengesteld en het maximale verschil in de knooppuntnummers van element e bedraagt $v_e$, dan is (een bovengrens voor) de bandbreedte:

$b = \max (v_1, v_2, \ldots v_{ne}) \times$ aantal vrijheden per knooppunt.

Een voorbeeld ter verduidelijking:

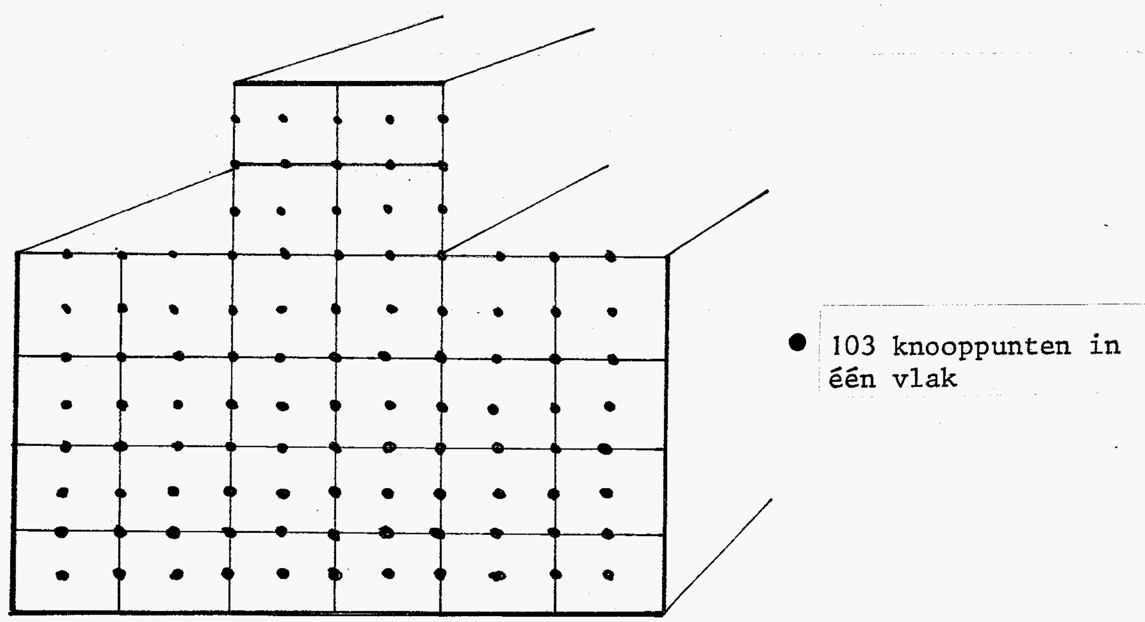
De gekozen elementverdeling voor het naafgedeelt ziet er topologisch ongeveer als volgt uit:

Situatie I




De knooppunten op de (dik getekende) grensvlakken doen niet mee (op dit nivo van berekenen) voor de bepaling van de bandbreedte.

Situatie II



$$av_I = (2 * 8 + 1) * 23 = 391 \qquad b_I = 3 * 2 * 23$$

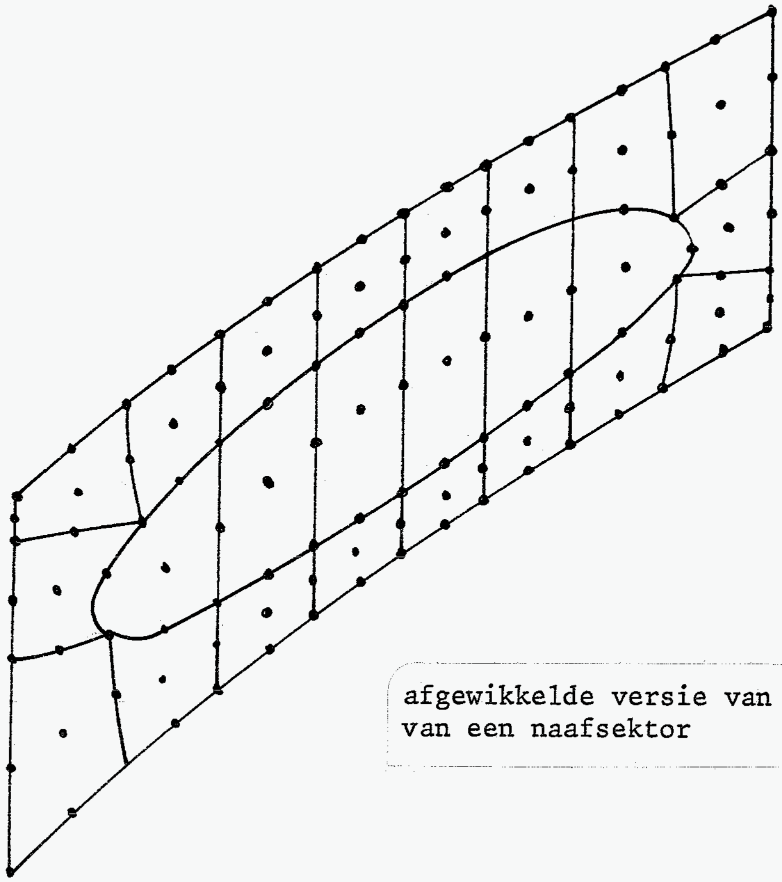
$$av_{II} = (2 * 16 + 1) * 103 = 3399 \qquad b_{II} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{vrijheden } u,v,w}}{3} * 2 * 103$$

$$\frac{av_{II} * b_{II}^2}{av_I * b_I^2} = \frac{3399}{391} * \left(\frac{103}{23}\right)^2 = 175$$

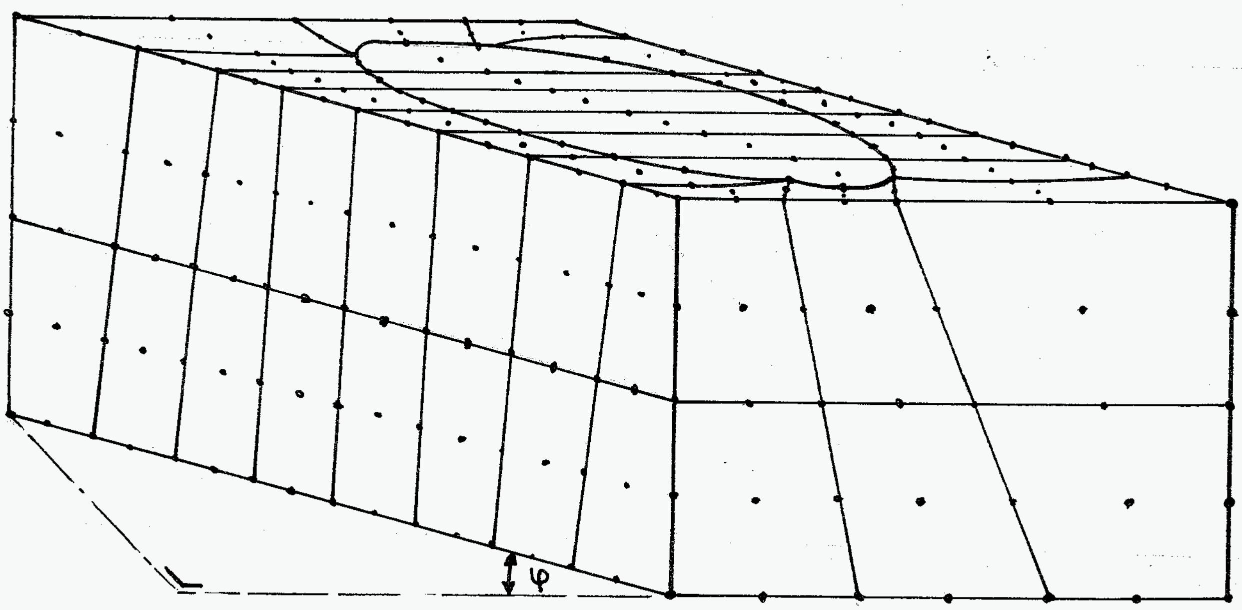
De rekentijd nodig voor het opstellen van de stijfheidsmatrix is in geval II een faktor 8 groter (evenredig met het aantal elementen). De rekentijd voor het dekomponeren van de stijfheidsmatrix neemt met een faktor 175 toe!

Uit het voorgaande mag blijken, dat bij elementverdelingen bestaande uit 3-D-elementen met relatief veel knooppunten (zoals HEXEC 27 en PENTAC 18) bij een toenemend aantal elementen het aantal vrijheidsgraden en de bandbreedte, en derhalve de rekentijd zeer snel toenemen. De strategie bij de keuze van het aantal elementen voor de verdeling van de schroef is dan ook gebaseerd op zo klein mogelijk aantal elementen, maar wel zo dat de geometrie op verantwoorde wijze kan worden beschreven.

In de assektor is het gebruik van de hexec en de pentac-elementen op de getekende wijze voor de hand liggend, met links en rechts dezelfde knooppuntenkonfiguratie. Hiermee ligt de verdeling op het conusvlak vast (dus ook die voor de naafsektor), en bestaat deze uit vierhoeken.
Als we bovendien aksepteren dat we een bladprofiel beschrijven met behulp van (6) vierhoeken (met gekromde randen), met weglating van de (scherpe) neus en staart, dan zal ook het naafoppervlak bestaan uit vierhoeken.
Bij een dergelijke wijze van verdeling lijken 2 lagen van hexec's in radiale richting in de naaf nodig en voldoende. Het geheel wordt dan zoals figuur 18 en 19 schetsen.
De grens van de substrukturen blad en naafsektor is gekozen op die hoogte van het blad waar de afronding van de wortel eindigt. Zie fig. 20.



afgewikkelde versie van bovenzijde
van een naafsektor




zij-aanzicht gestrekte versie van de
naafsektor

fig. 19

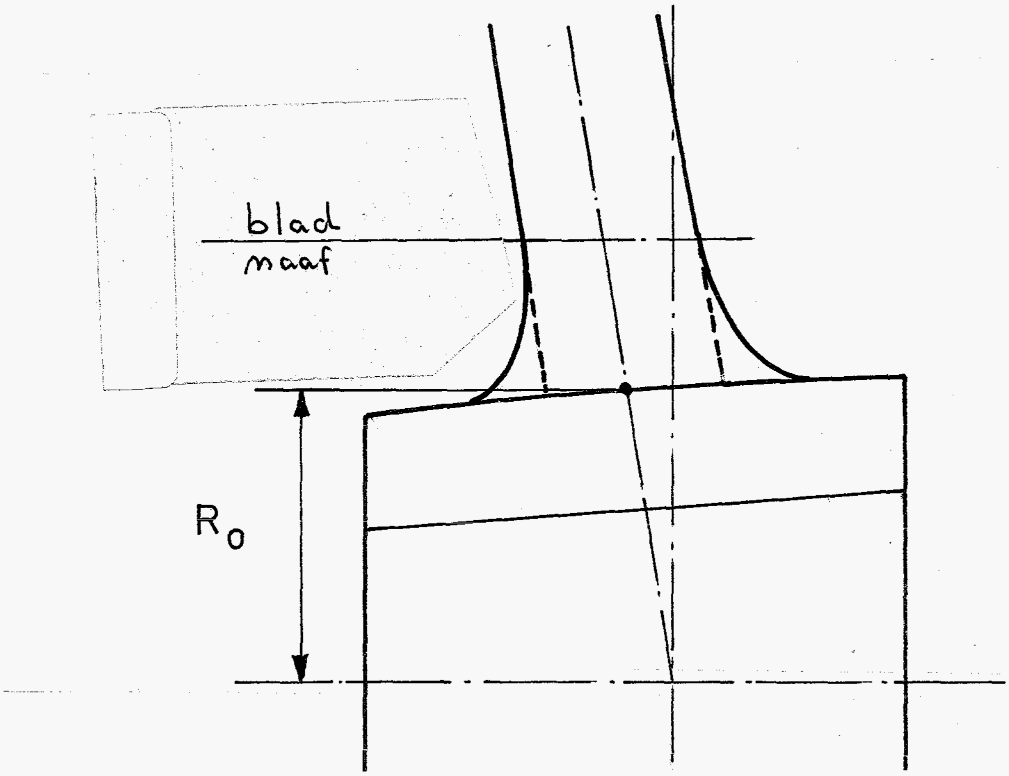



fig. 20 Grensvlak tussen blad en naaf:
net boven de afronding

De zes elementen die de bladwortel beschrijven worden aan de onderzijde aangepast om de te scherpe hoeken op het raakvlak met de naaf te vermijden. Zie fig. 21.

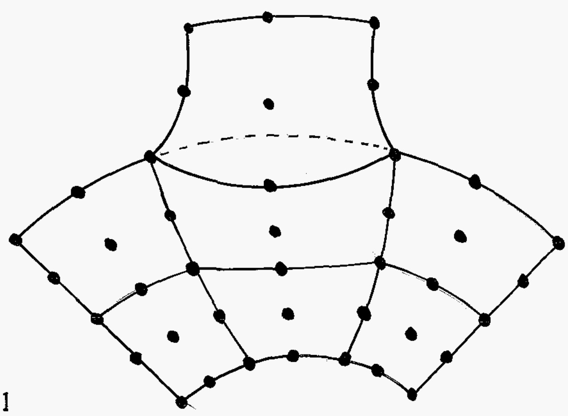


fig. 21

Hiermee ligt de topologie van de assektor en naafsektor vast, en is derhalve onafhankelijk van bijvoorbeeld het aantal bladen. De assektor bevat voorlijk van de naaf een viertal lagen elementen met een totale axiale lengte gelijk aan de helft van de naaflengte. De naafsektor bevat in deze konfiguratie 6+2 $\times$ 3 $\times$ 8 Hexec-elementen met 673 knooppunten. De assektor bestaat uit 8+4 PENTAC's en 3 $\times$ 12 HEXEC's, met 550 knooppunten.

De grootste variatie in schroefontwerpen is gelegen in de bladvorm. In een meshgenerator die zowel de klassieke als de high-skew schroef akseptabel kan verdelen, is de topologie van het blad dan ook onvermijdelijk een funktie van de bladvorm. Een eerste poging tot het verdelen van het gehele blad in hexec en pentac-elementen, zoals in figuur 22, strandde op twee facetten:

- bij high-skew schroeven werd de verdeling in de top hoogst ongelukkig
- de bladtop is werkelijk te dun om met volume-elementen te beschrijven: door de te respekteren lengte-breedte-dikte-verhoudingen zou het aantal elementen ter plaatse onaantrekkelijk groot worden (voor het spanningsonderzoek is die plaats niet van primaire interesse).

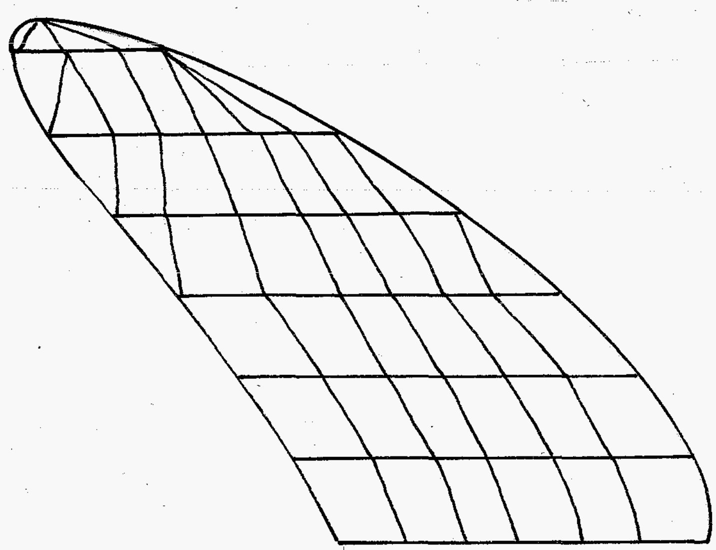


fig. 22

Gedurende het onderzoek is aan de ASKA-elementtype-verzameling het dikwandige schaalelement QUABC9 toegevoegd. Het koppelen van HEXEC aan QUABC 9 levert in principe problemen door het ongelijk zijn van de respektievelijke sets vrijheidsgraden. Door enige (geteste) kunstgrepen is dit probleem echter redelijk opgelost. Zie hiervoor Appendix D.

De daardoor mogelijke uitgangspunten bij de bladverdeling werden als volgt:

- Vanaf het grensvlak met de naaf komen rijen van zes hexec-elementen
- Op een per schroef te kiezen plaats in het blad wordt overgegaan op QUABC 9-elementen, vol te houden t/m de top
- Het aantal rijen HEXEC en QUABC 9 moet instelbaar zijn
- De lagen komen ongeveer loodrecht op de lijn van de grootste dikte.

In figuur 23 zijn enkele voorbeelden getekend. Tot zover de globale opzet van de meshgenerator.

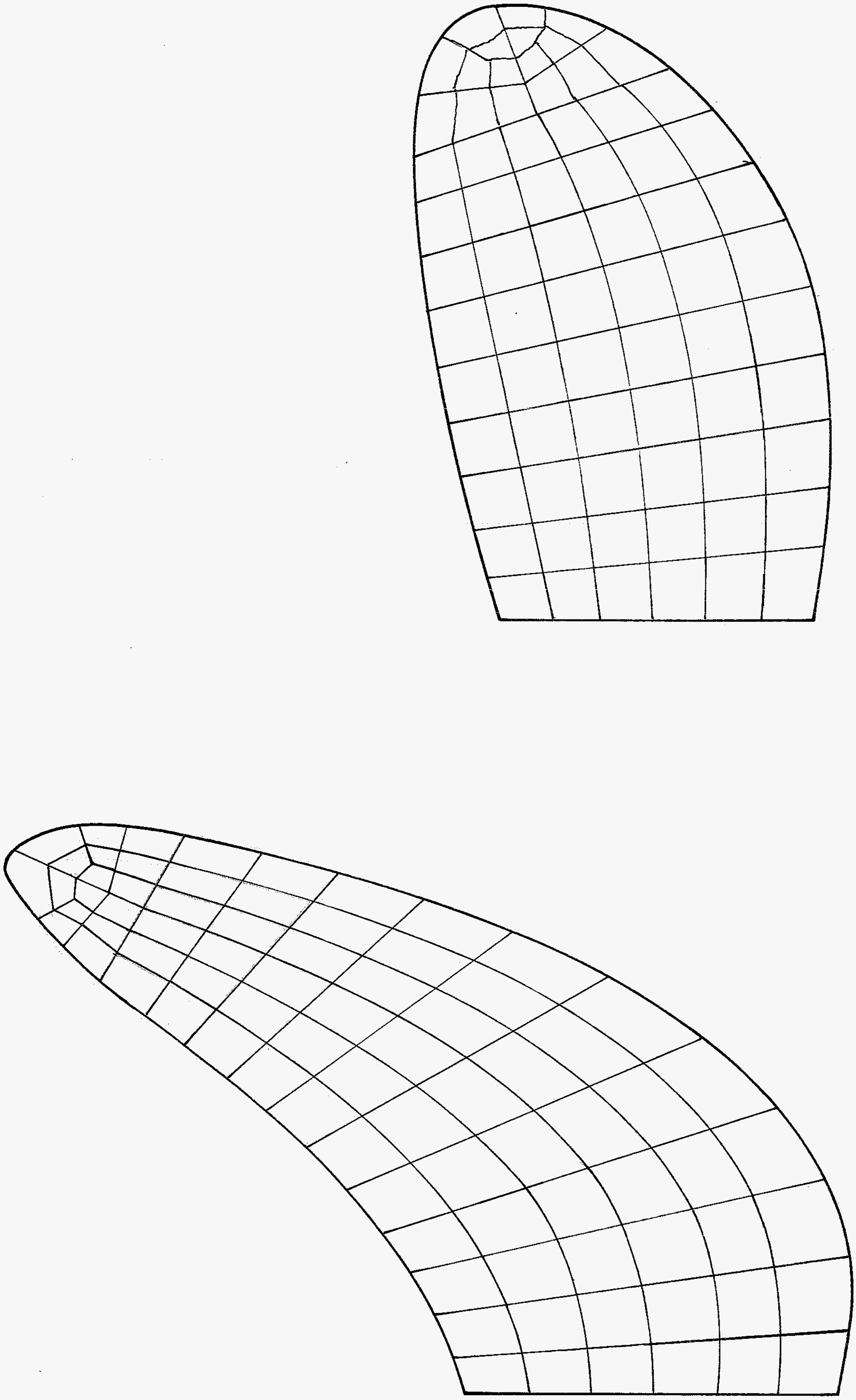


fig. 23

# 4. De belasting

## 4.1 Inleiding

De totale belasting van de schroef valt uiteen in drie komponenten:

1. initiële spanningen t.g.v. de krimpverbinding
2. hydrodynamische belasting
3. massakrachten t.g.v. rotatie

Zoals reeds gezegd in de inleiding (1.2) verwaarlozen we in dit kader andere bijdragen, zoals eigengewicht, trillingen, vloeistofwrijving etc. Om inzicht te krijgen in de respektievelijke bijdrage van elk van deze drie facetten tot het totale spanningsbeeld worden ze tot ver in het rekenproces gescheiden gehouden.

## 4.2 De krimpverbinding

De krimpverbinding komt als volgt tot stand: Op het conusvlak van de naaf is in het brons een ondiepe, spiraalvormige groef gedraaid, beginnend een stuk van de voorzijde en eindigend vóór de achterzijde van de naaf. Radiaal in de naaf zijn 2 of 3 dunne gaten geboord, in verbinding met de groef. Bij de montage wordt olie onder hoge druk (tegen de montagekracht in) in de blinde groef geperst, de naaf wordt opgeblazen, en "drijft op de oliefilm " de as op. Zie fig. 24.

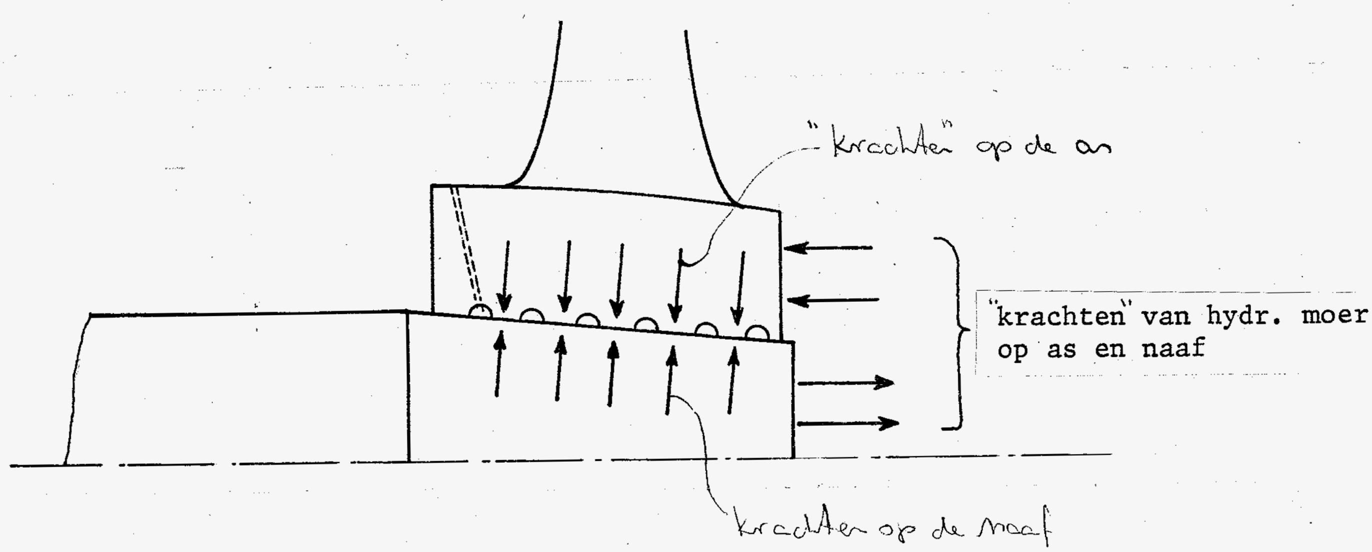



fig. 24

De axiale stuwkracht wordt geleverd door een zgn. hydraulische moer, welke zodanig is gedimensioneerd, dat bij gelijke oliedruk in moer en naaf de stuwkracht van de moer en de axiale reaktiekracht van de oliefilm min of meer evenwicht maken (Achtergrond hiervan is, dat men dan min of meer zeker is van een komplete oliefilm op het grensvlak).
De beginpositie en de door de klassifikatieburo's geëiste opdrijfweg worden als volgt bereikt. Bij de assenblage test wordt de bijbehorende as in vertikale stand in de schroef neergelaten, en wordt de opdrijfkracht geleverd door het eigengewicht van de as plus een lichte initiële oliedruk in de hydraulische moer, zonder gebruik van olie op het conusvlak. Aan de hand van deze positie wordt de uiteindelijke positie van bijvoorbeeld het voorvlak van de naaf vastgesteld. Appendix E bevat de rapportage van een assemblagetest.

Hoe kunnen we nu de spanningen in de as en de schroef, die optreden ten gevolge van de krimpverbinding zo goed mogelijk bepalen?
Er zijn minstens twee deelproblemen te onderscheiden:

1. De geometrie van de schroef is niet rotatie-symmetrisch. Dit houdt in, dat de stijfheid tegen radiale expansie een funktie is van de drie poolkoördinaten r, x en $\phi$. Zie figuur 25. Anders gezegd: ter plaatse van de bladwortels is de naaf stijver, het na montage aanwezige verplaatsingsveld (en dus spanningsveld) zal minstens daardoor, niet homogeen zijn over de omtrek.

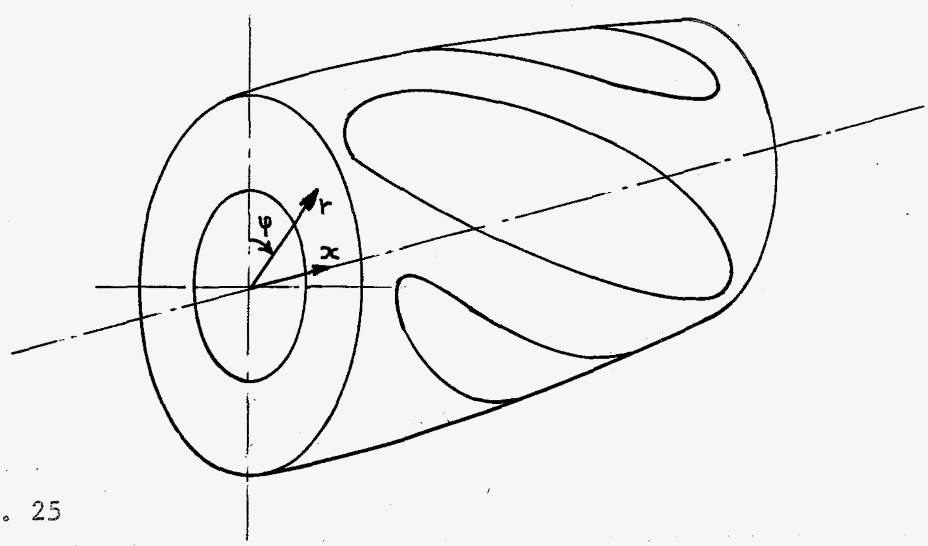



fig. 25

2. Het krachtenspel op het grensvlak tussen as en naaf is vaag, met name is niet duidelijk hoe de schuifspanningen zijn verdeeld over het oppervlak. Het enige dat we weten is, dat (zonder sluitmoer) de schroef op de as blijft zitten, en dat er derhalve dan axiaal evenwicht is.

Deelprobleem 1. vraagt om een elementenmethode-aanpak, en wel een driedimensionale. Net zo min als de analytische benadering met de "dikke-buizen-formules" toereikend is, kunnen we hier niet volstaan met een verdeling in ringelementen.
Om de initiële spanningen te kunnen berekenen, gaan we nu een theoretische weg volgen, die we aan de hand van een voorbeeld duidelijk maken.
Essentieel is, dat de uiteindelijke situatie tot stand komt door het superponeren van twee geforceerde situaties. Stel we hebben een bus en een overmaatse pen met een maatverschil $\delta$, zie figuur 26.

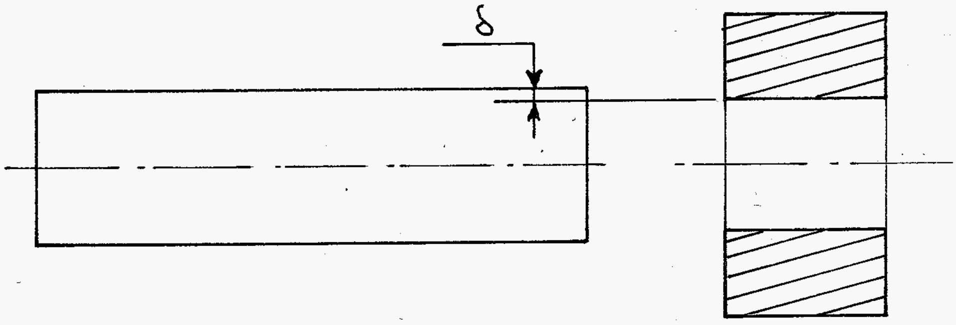



fig. 26

We zoeken nu de spanningen in de pen en de bus na de montage. (We beschouwen daarbij alleen de spanningen die ontstaan t.g.v. het maatverschil, en niet tevens de eventuele extra spanningen t.g.v. de gevolgde montagemethode, resulterende in extra axiale wrijvingskrachten. *)
In de elementenmethode (althans die welke gebaseerd is op de verplaatsingsmethode) is het zoeken naar spanningen terug te brengen op het zoeken naar het verplaatsingsveld.

beter gezegd:
aangenomen dat de wrijvingscoefficient nul is

We kreëren nu:

Situatie I: Schrijf dusdanige verplaatsingen voor aan de betrokken knooppunten van het asoppervlak, dat de nieuwe asmaat gelijk wordt aan de binnenmaat van de bus. Zie figuur 27. Hiervoor is nodig per knooppunt i: de kracht $F_i$, te berekenen met bijvoorbeeld ASKA (tevens berekenen we de daardoor in de as ontstane spanningen, te noemen $\sigma_{as,I}$; die hebben we later nodig).

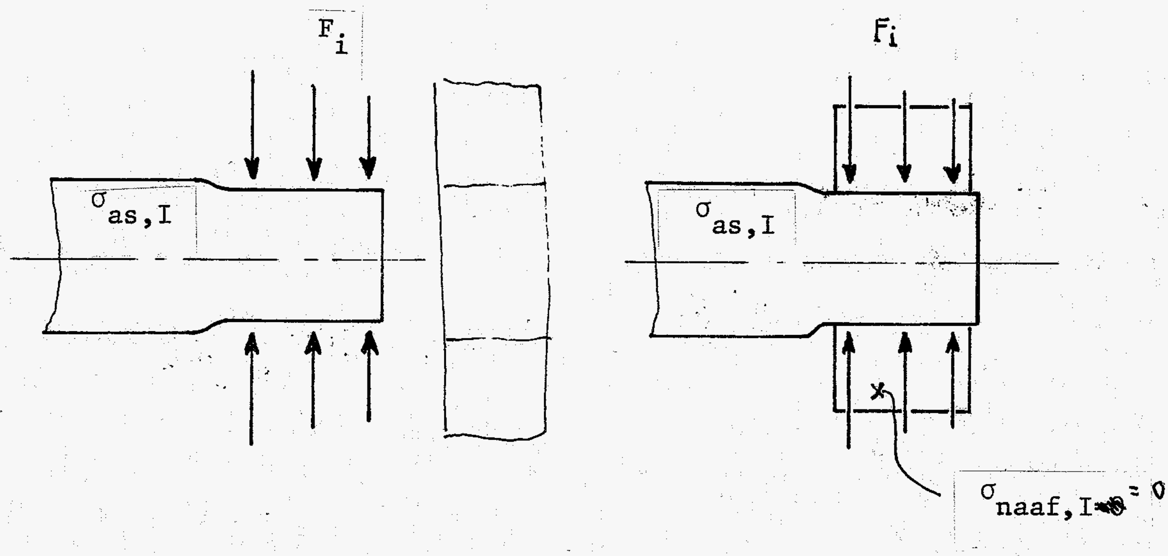



fig. 27 Situatie I

We monteren de bus op de nu passende as en "lijmen" de bus op de as. In elementenmethode-termen is dit het koppelen van de respektievelijke knooppunten van bus en as.
In werkelijkheid zijn de krachten $F_i$ niet aanwezig op het grensvlak. Daarom zetten we nu op de gekoppelde knooppunten krachten, evengroot maar tegengesteld aan $F_i$, te noemen $- F_i$. Dit noemen we situatie II. Hierdoor treden spanningen op in de naaf. Zie fig. 27a. De in werkelijkheid optredende spanningen in naaf en as zijn nu te vinden uit het superponeren van de respektievelijke spanningen in situatie I en II.

en de as

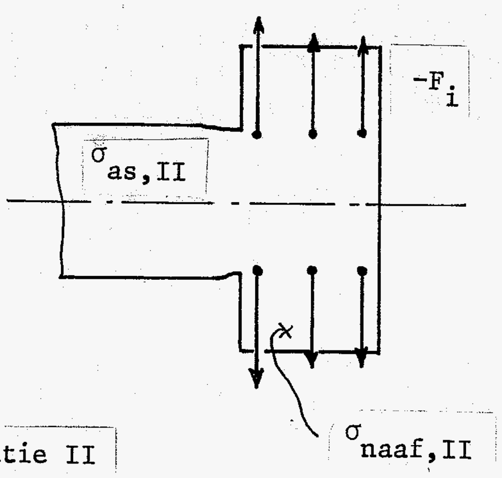



fig. 27.a Situatie II

Derhalve: $\sigma_{as} = \sigma_{as,I} + \sigma_{as,II}$

en $\sigma_{naaf} = \sigma_{naaf,I} + \sigma_{naaf,II} = \sigma_{naaf,II}$

De gevolgde weg is in ASKA op de volgende manier te doorlopen:

ASKA-run I net 1 , de as :
- in: voorgeschreven verplaatsing, $\delta$
- uit: knoop.p.krachten grensvlak, $F_i$
- uit: spanningen gehele as, $\sigma_{as,I}$

ASKA-run II net 1 , de as / net 2 , de bus $\}$ net 12 , de gekombineerde konstruktie

net 12 :
- in: uitw.belasting $- F_i$ op koppelpunten
- uit: spanningen net 1 , $\sigma_{as,II}$
- uit: spanningen net 2 , $\sigma_{naaf,II}$

Daarna $\sigma_{as} = \sigma_{as,I} + \sigma_{as,II}$

*

Voor onze conische krimpverbinding is de situatie enigszins gekompliceerder, tengevolge van de onvermijdelijke (en onmisbare) wrijving op het grensvlak. De toegepaste modelvorming en de daarbij gehanteerde overwegingen zijn als volgt:

1. We nemen de op de klok gemeten axiale verplaatsing $\Delta_{ax}$ van de schroef t.o.v. de as (van de initiële dry-fit positie naar de definitieve positie) als ingangsgrootheid voor de situatie I. En wel als volgt:

$$\Delta_{rad,sit\ I} = \Delta_{ax} * \tan\alpha$$

waarbij $\alpha$ de hellingshoek van de conus is. Zie figuur 28.

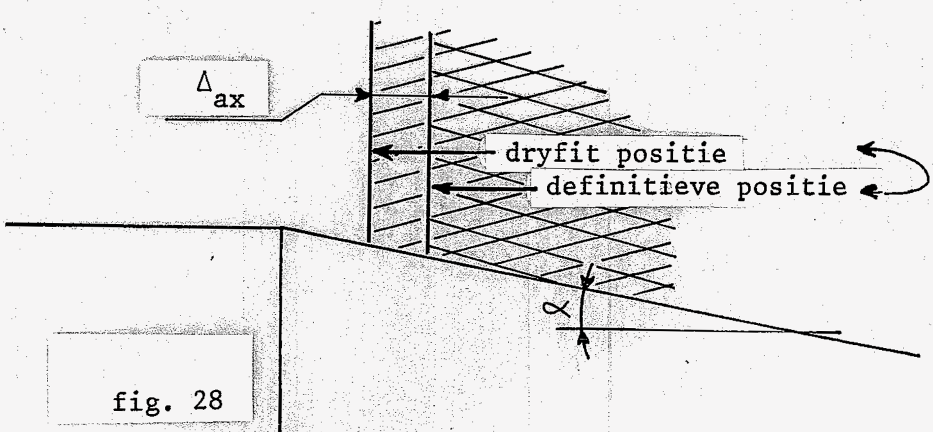



fig. 28

* Essentieel is, dat in beide runs de ondersteuning van de as gelijk is.

We schrijven derhalve in situatie I een <u>radiale</u> verplaatsing voor.

2. Het koppelen van knooppunten in ASKA bestaat in feite uit het koppelen van de respektievelijke vrijheidsgraden per knooppunt. Niet alle vrijheidsgraden hoeven gekoppeld te worden. Bij het koppelen op het grensveld as-naaf hebben we bijvoorbeeld de keuze uit (zie figuur 29):
   a. koppelen van de verplaatsingen in y-richting, normaal op het conusvlak
   b. koppelen in y'-richting, loodrecht op het hart van de as
   c. koppelen van alle verplaatsingen

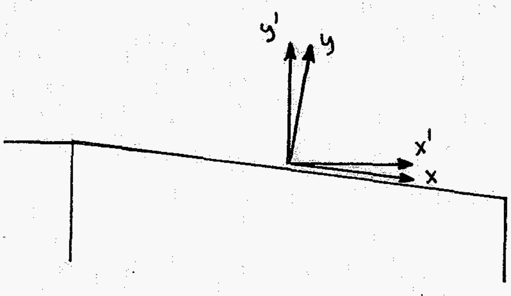



fig. 29

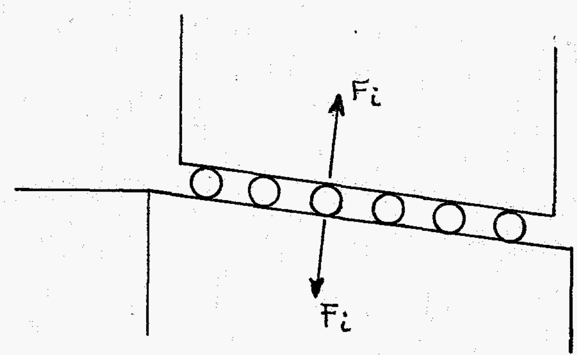



fig. 30

(NB het definiëren van een nieuw, gedraaid assenstelsel is in ASKA mogelijk in het zgn. ROTATED BASIS-concept)

<u>Ad a</u>

Het koppelen in normale richting. Zie figuur 30, waarbij zij opgemerkt, dat de krachten $F_i$, van de kogel op de twee delen ook negatief kan zijn. Dit lijkt geen realistisch model en wel om de volgende redenen: bij bijvoorbeeld expansie van de as moet er axiaal evenwicht blijven, en dit kan alleen als er krachten $F_i < 0$ zijn. In werkelijkheid kan $F_i$ in de hier beschreven richting natuurlijk nooit negatief worden.

<u>ad b</u>

Koppelen in radiale richting. Zie fig. 31. Hier is één argument voor te bedenken: in alle mogelijke verdelingen van de krachten $F_i$ is er altijd axiaal evenwicht, de bijdrage van elke $F_i$ is nul. Sterk argument tegen dit model is echter: in axiale richting zijn de verplaatsingen van de respektievelijke knooppunten onafhankelijk. De twee series verplaatsingskomponenten in axiale richting die uit de berekening rollen, zullen derhalve zeer waarschijnlijk verschillen, hetgeen evenmin realistisch is.

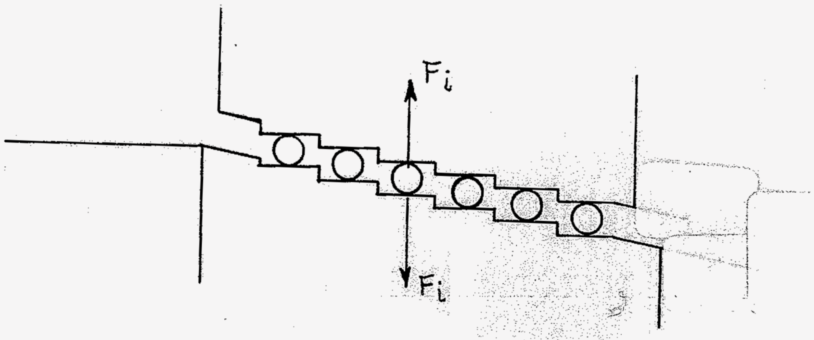



fig. 31

<u>Ad c</u>

Het koppelen van de verplaatsingen in alle drie de richtingen. Deze aanpak veronderstelt dat er bij de overgang van situatie I naar situatie II geen enkele slip optreedt. We hebben dit model toegepast en wel om de volgende redenen:

- we weten niet echt wat er gebeurt op het grensvlak. Zelfs het gegeven van het axiale evenwicht brengt ons niet verder. We hebben te doen met een kontaktprobleem in kombinatie met wrijving. Model <u>c</u> lijkt echter niet bezwaard te zijn met een tegenargument zoals <u>a</u> en <u>b</u>.
- voor elke belasting kan model <u>c</u> wel dienen als startwaarde voor een iteratief rekenproces, dat leidt tot een spanningsverdeling op het grensvlak, overeenkomend met voorgeschreven wrijvingskondities.

Stel namelijk dat bij een bepaald belastingsgeval er bij gebruik van model <u>c</u>, we een verzameling knooppuntskrachten vinden op het grensvlak, waarvan een deel een kleinere hoek maakt met het normaalvlak ter plaatse, dan de wrijvingshoek $\varphi$. Zie fig. 32. Dan kunnen we voor al die punten nieuwe krachten voorschrijven met een richting, gebaseerd op de maximale wrijvingskracht.

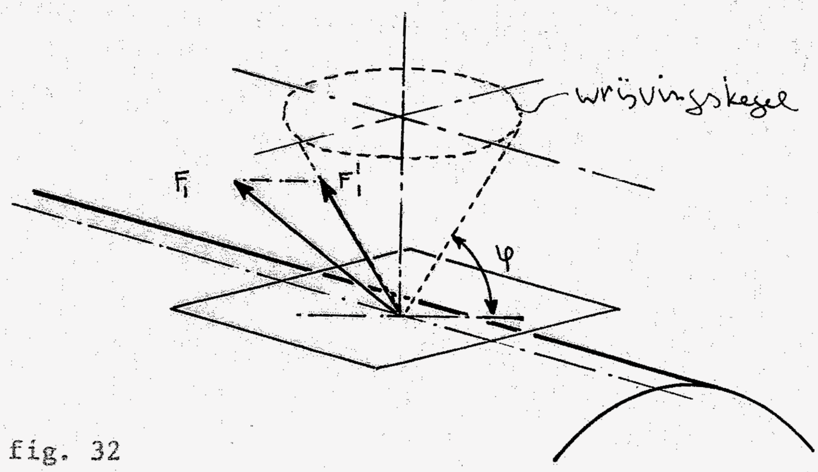



fig. 32

Het meest interessante belastingsgeval, waarbij deze methode gebruikt kan worden is die waarbij onder bedrijfsomstandigheden slip optreedt aan de voorzijde van de naaf. Deze slip ontstaat vooral door de overgang as-naaf waar duidelijk een sprong in stijfheid tegen rotatie zit.

De manier van berekenen is dan dus als volgt:

- 1e berekening, gebaseerd op "perfekte lijm"-situatie, resulterend in krachten $F_i$ aan de voorzijde van het conusvlak, die te veel wrijving suggereren. Deze $F_i$ omzetten in $F_i$'s zoals in figuur 32.
- 2e berekening met op de betreffende knooppunten voorgeschreven knooppuntskrachten $F_i'$, en ontkoppeling van verplaatsingen in het vlak.

Hieruit rolt een nieuwe verzameling die weer moet worden gekorrigeerd etc.

In berekeningen met realistische invoergegevens, gebaseerd op of vergeleken met bestaande as-schroefkombinaties, zal dit proces konvergeren.

Derhalve: Voor de krimpverbinding passen we de truck toe met de twee fasen, en tellen de resultaten van die twee fasen op. We schrijven in de eerste fase verplaatsingen voor, gebaseerd op de opdrijfstand en gebruiken de knooppuntskrachten van het grensvlak in de tweede run als invoer. Ook in de tweede run kunnen tevens de spanningskomponenten $\sigma_{as\ I}$, $\sigma_{as\ II}$ worden opgeteld. En verder koppelen we alle vrijheden van de grensvlakknooppunten van de as en de naaf. We passen ROTATED BASIS toe op de grensvlakknooppunten op de volgende manier en om de volgende reden:
per punt: de x-as in de richting van de top van de kegel, de z-as normaal op het oppervlak ter plaatse en de y-as tangentiaal (gekozen: rechtsom, d.w.z. naar voren gezien). Zie figuur 33. Dit vergemakkelijkt de invoer van de voorgeschreven verplaatsingen en maakt de uitvoer makkelijker leesbaar: we zijn geïnteresseerd in de komponenten in het vlak en loodrecht er op.

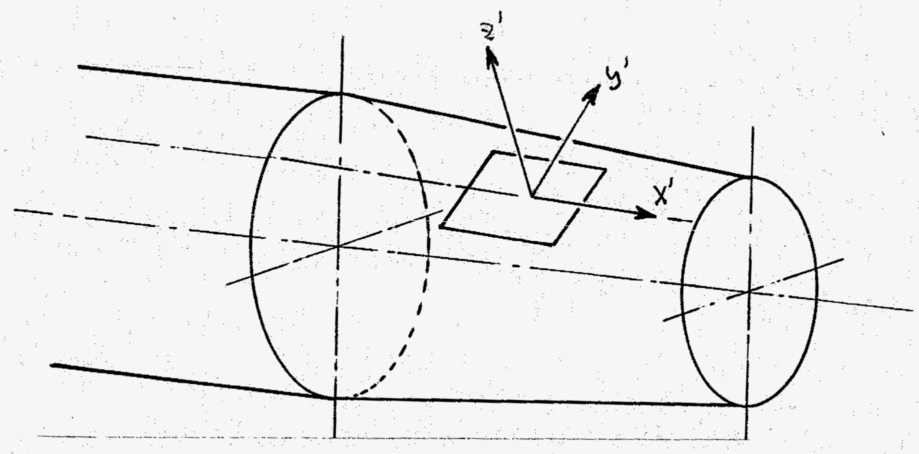



fig. 33. ROTATED BASIS voor de conus-punten

We komen hierop terug bij de bespreking van het ASKA-programma.

4.3 De hydrodynamische belasting

Het paradoxale van dit onderzoek schuilt voornamelijk in de restrikties die we hebben gemaakt t.a.v. het hydrodynamische belastingmodel. Immers er is interesse in het spanningsveld van met name high-skew schroeven, die hun ontstaan te danken (te wijten?) hebben aan het dynamisch karakter van de hydrodynamische belasting. Wij beperken ons hier echter tot het effekt van een statische drukverdeling over het blad, als mogelijk eerste aanzet tot een dynamische analyse, ook m.b.v. de elementenmethode, waarbij de gemaakte elementverdeling ook zeker bruikbaar zal blijken. De simplifikaties van deze belastingkomponent leiden tot het volgende model:

a. er wordt alleen hydrodynamische belasting beschouwd in net 13 en 14 dus het gebied boven de afronding van de bladwortel.

b. de plaatselijke druk kan opgebouwd worden uit minstens 4 komponenten:
   - druk t.g.v. de dikte van het profiel
   - druk t.g.v. de welving
   - druk t.g.v. niet stootvrije aanstroming
   - statische druk t.g.v. diepte onder de zeespiegel

Voor de werkelijke stuwkracht (en de daaruit voortvloeiende spanningen) zijn slechts van belang:
- het drukverschil t.g.v. de welving
- het eventuele drukverschil t.g.v. de niet-stootvrije aanstroming

In de hydrodynamische wereld wordt het in figuur 34 geschetste drukverloop t.g.v. deze twee komponenten voorlopig akseptabel geacht voor onderzoeken als deze. We zien een gelijkmatige druk tot 80% van de koorde-lengte, daarna een lineaire afname naar nul. De hoogte van het gelijkmatige deel wordt dan bepaald door de welving en de relatieve aanstroomhoek, terwijl de plaats van overgang naar het afnemende gebied een funktie is van het gekozen profieltype. Bij de beide Arnoldus 1 en 2 profielen bedraagt dit 80%.

c. Het onder b. gevonden drukverschilverloop wordt geprojekteerd op de drukzijde van het blad.

ASKA biedt bij de elementen HEXEC 27 en QUABC 9 de mogelijkheid tot het invoeren van verdeelde belasting. Per betrokken knooppunt (in fig. 35 dus de 13 knooppunten op de drukzijde) moet de lokale druk worden opgegeven. We nemen hiervoor de bij de x-koördinaat van het knooppunt horende druk. Mede gegeven de verdeling in elementen zoals getekend in figuur 35 (voor het argument daarvoor zie 3.4) maken we bij deze opzet minstens de volgende fouten:

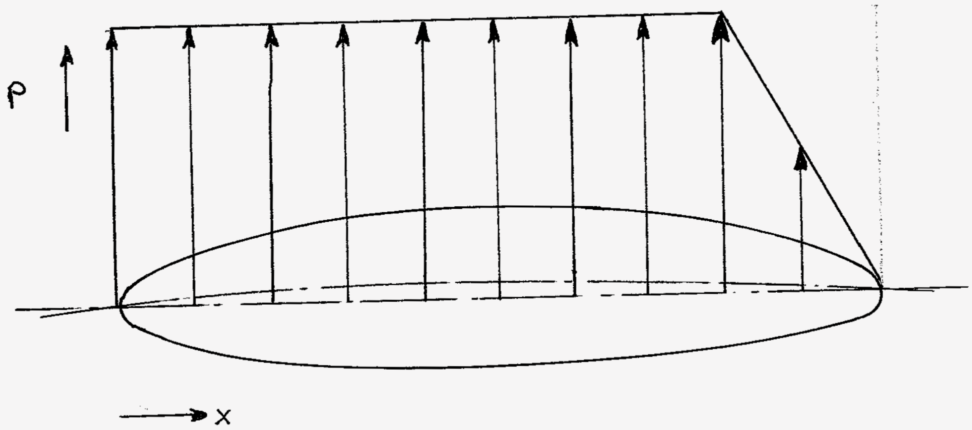



fig. 34

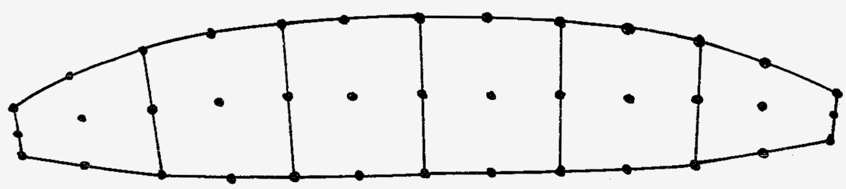


fig. 35

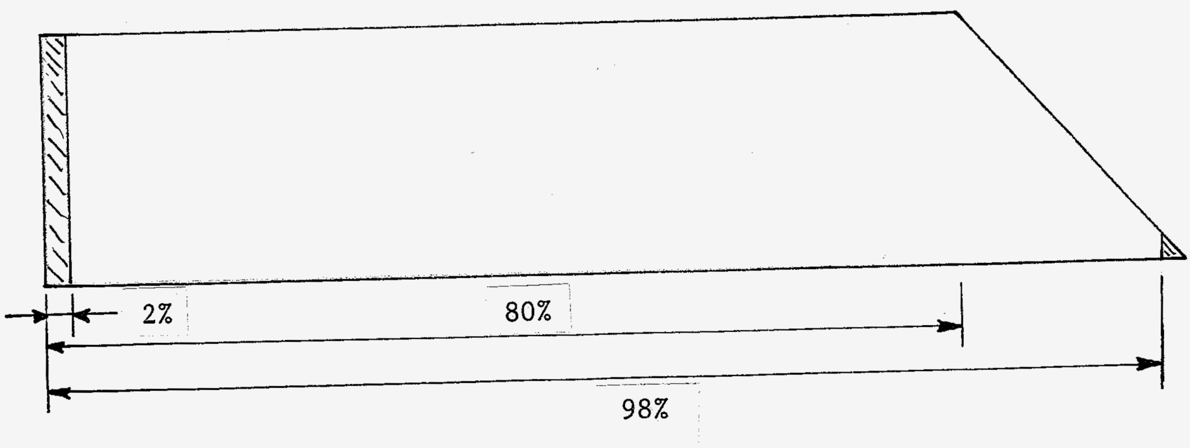



fig. 36

- We snijden ongeveer 2 * 2% af van de werkelijke lengte van het profiel, daardoor negeren we met name aan de voorzijde een deel van de drukbelasting. Zie fig. 36, waarin de juiste verhoudingen (80% , 2%) zijn uitgezet.
- De bij elk knooppunt opgegeven druk wordt geacht loodrecht op het raakvlak te staan, maar wordt in werkelijkheid bepaald uit het drukverschilverloop, geprojekteerd op de neus-staartlijn.

Deze fout lijkt, gezien de profielvormen in de gestrekte doorsnede zeer bescheiden en beide fouten lijken gezien het globale karakter van het drukverdelingsmodel, akseptabel.

Konklusie

We bepalen de druk ter plaatse van knooppunt p op de rugzijde van het blad als volgt:

- gegeven in de gestrekte doorsnede $x_p$, $y_p$ en $z_p$;
- op hoogte $y_p$ is bekend: welving, relatieve aanstroomhoek (en daarmee de grootte van het drukverloop) alsmede de x-positie van punt p in het oorspronkelijke profiel
- bij een "80%-profiel" is de druk dan bekend.

## 4.4 De massakrachten

Ook t.a.v. de massakrachten t.g.v. de rotatie worden alleen de bladen beschouwd. De toegestane maximum rotatiesnelheid wordt voornamelijk beperkt door de kans op cavitatieverschijnselen, die o.a. een funktie is van de aanstroomsnelheid, welke laatste voor een deel bepaald wordt door de rotatie.

Een globale waarde voor de maximale bladtip-snelheid is 30 [m/s].

Ter afschatting van het effekt van bladen op de naaf kunnen de twee volgende modellen dienen:

1. Een zuiver radiaal op de naaf bevestigde strip. Zie figuur 29.
   Een redelijke waarde voor de verhouding naafdiameter - schroefdiameter is 1:5. De spanning in oppervlakje A is:

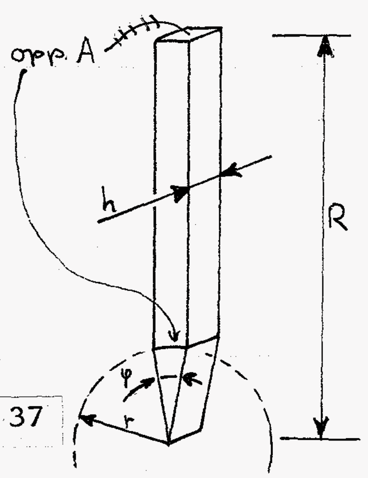



fig. 37

$$\left.\begin{aligned} F_{centr,strip} &= \tfrac{1}{2}\,\rho\,\phi\,h\,\omega^2\,r(R^2-r^2) \\ \text{opp A} &= h\,\phi\,r \end{aligned}\right\} \therefore$$

$$\left.\begin{aligned} \therefore\ \sigma &= \tfrac{1}{2}\,\rho\,\omega^2(R^2-r^2) \\ R &= 5.r \\ \omega.R &= 30\ [m.s^{-1}] \\ \rho &= 8000\ [kg.m^{-3}] \end{aligned}\right\} \therefore$$

$$\therefore\ \sigma = 3.5\ [N.mm^{-2}]$$

2. Is de strip gebogen, bijvoorbeeld in het vlak van rotatie, dan treedt de volgende situatie op. Figuur 38. We nemen daarbij een naar buiten dunner wordende strip.

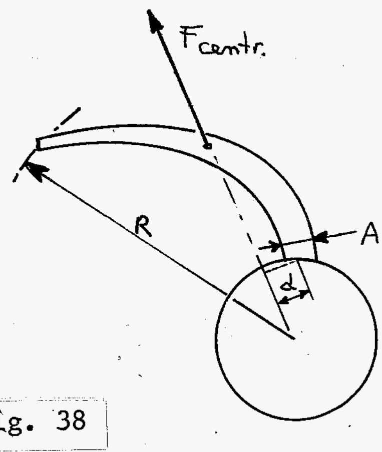



fig. 38

Per eenheid van lengte in axiale richting is nu:

volume van de strip $\frac{1}{2}$ R.A

zwaartepunt t.o.v. as van rotatie $\frac{1}{3}$ R

$F_{centr,strip} = \frac{1}{6}\,\rho\, A\, R^2\, \omega^2$

Op de doorsnede op de voet werkt derhalve een moment $M = \frac{1}{6}\,\rho.A.R^2.\omega^2 d$

en een trekkracht $F = \frac{1}{6}\,\rho.A.R^2.\omega^2$

Nemen we voor $A = 0.1 \quad R$

$\omega.R = 30\,[m.s^{-1}]$

$d = 0.2 \quad R$

$\rho = 8000\,[kg.m^{-3}]$, dan worden

$$\begin{cases} M = R^2 \quad 2.4 \quad 10^4\ [Nm/m] \\ F = R \quad 1.2 \quad 10^5\ [N/m] \end{cases}$$

Op de doorsnede op de voet geeft dit een $\sigma_{max} = 15.6\ [N.mm^{-2}.]$

Beide modellen suggereren dat de spanningen die optreden t.g.v. de rotatie zeer bescheiden zijn. Echter vooral model 2 kan een te gunstige voorstelling van zaken zijn bij high-skew schroeven, de offset uit de zuivere radiale richting (en met name de verdraaiing in het blad ten behoeve van de spoed) hebben een moeilijk voorspelbaar effekt op het spanningsverloop.

Zoals gezegd worden de spanningen van elk belastinggeval in ASKA in principe afzonderlijk uitgevoerd. Massakrachten zoals in dit model voorkomen kunnen voor een (zich uitbreidend) aantal elementtypen op zeer eenvoudige wijze in ASKA worden geïntroduceerd.

Er wordt (wel bij HEXEC, maar nog niet bij QUABC 9) per element een zgn. volumematrix aangemaakt, die met een per knooppunt in te lezen verdeelde belasting ~~krachtvektor~~, knooppuntskrachten oplevert die ~~een maat zijn~~ vervangend zijn voor de massakracht op het element.

De in te lezen vektor heeft een grootte evenredig met de afstand knooppunt - as van rotatie ($\rho\omega^2 r$), en een richting loodrecht op en weg van de as van rotatie.

Knooppunten die behoren tot meer dan één element "krijgen" van elk van die elementen een bijdrage.

Voor de massakrachten van de QUABC 9-elementen hebben we zelf een procedure geschreven, gebaseerd op een zeer eenvoudige numerieke integratie ter bepaling van het volume van delen van het element. Zie bijlage E.

# 5. Het ASKA programma

## 5.1 Uit te voeren analyses

Als een van de argumenten om de gehele schroef inklusief een deel van de as door te rekenen, is de veronderstelling aangevoerd dat de eindige stijfheid van de naaf (en de as) de spanningsverdeling in het blad beïnvloeden.
De onderverdeling in de substrukturen is zodanig gedaan, dat wij in staat zijn, om die veronderstelling te verifiëren. Immers we kunnen een berekening uitvoeren waarin alleen het blad (net 13 en 14) is opgenomen en het blad aan de wortel is ingeklemd en de resultaten vergelijken met die van de berekening van de gehele schroef met het asgedeelte.
Deze twee berekeningen zijn uitgevoerd, wij nemen als naam voor de programma's: de ingeklemde versie respektievelijk de volledige versie.

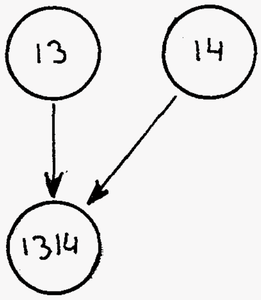
De opbouw van het ASKA-programma voor de ingeklemde versie is betrekkelijk eenvoudig, en kan dienen als inleiding op de beschrijving van de volledige versie.
Zoals uit [1] en [2] blijkt, is de voor het ASKA-programma in ~~te~~ voeren informatie te scheiden in vier blokken, waarvan alleen de eerste voor ons van minder belang is, n.l. de Job-Control. Blijven over:
1. de ASKA Processor Control, verder te noemen APC
2. de topologische beschrijving, te noemen TOPOLOGY
3. de numerieke probleemgegevens, het DATA-blok.

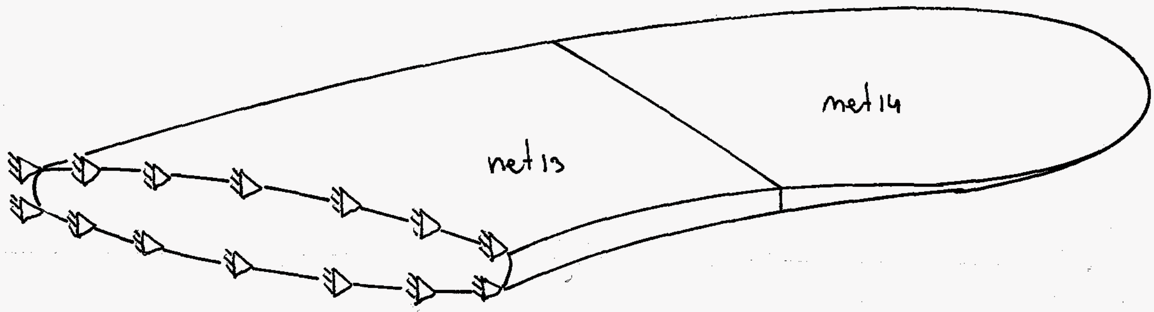
Wij zullen deze blokken, zoals ze zijn gevuld in de twee problemen afzonderlijk behandelen.
Voor de beschrijving van enkele min of meer buitensporige bewerkingen toegepast in een of beide versies, wordt verwezen naar Appendix B.

## 5.2 De ingeklemde versie

### 5.2.1 Inleiding

We nemen de netten 13 en 14, zoals beschreven in Hoofdstuk 3, koppelen de bovenlaag HEXEC aan de onderlaag QUAB-elementen en onderdrukken alle verplaatsingen op het ondervlak van net 13. Het daaruit te vormen hoofdnet noemen we net 1314.




de ingeklemde versie

De belasting wordt opgebouwd uit twee komponenten
- belasting-geval 1: de hydrodynamische belasting
- belasting-geval 2: de massakrachten

Een deel van het ASKA proces wordt voor elk belastingsgeval afzonderlijk uitgevoerd. Het is in principe mogelijk om de per belastinggeval ontstane spanningen (per komponent) achteraf te superponeren. Veel aantrekkelijker (en niet erg tijdrovend) is het om een derde belastinggeval te introduceren waarin beide komponenten tegelijk worden toegepast:
- belasting-geval 3: de hydrodynamische belasting en de massakrachten samen.

### 5.2.2 De APC

In de APC zijn vier delen te onderscheiden: (zie ook de listing op blz 5.3 e.v.)

1. Opbouw substruktuur net 13, waaronder: (globaal)
   - inlezen topologie, opbouw assemblagematrix (SA),
   - inlezen data (DATIN)
   - opbouwen elementmatrices (SK) en de grote matrix (BK),
   - triangulariseren (TRIA),
   - verwerken van de belasting (BQ: t.b.v. verdeelde belasting; BR: totaal)
   - enkele bewerkingen specifiek voor substrukturen (REDUC), o.a. opstellen gereduceerde stijfheidsmatrix
2. Opbouw net 14, analoog aan 13.
3. Genereren net 1314.
   - inlezen koppelgegevens, opbouw nieuwe assemblagematrix (SA),
   - opstellen ~~gereduceerde~~ stijfheidsmatrix (BK),

- verwerken van belasting,
- triangulariseren en oplossen van de vergelijkingen (TRIA, SOLV ~~REDUC~~)

4. "de terugweg":
   - terug naar nivo 13 (en 14), de processoren SPM en SRLC
   - berekenen van de uiteindelijke verplaatsingen voor elk knooppunt op basis van de verplaatsingen van de koppelpunten
   - We kunnen de verplaatsingen per knooppunt uitvoeren (DATEX, USR)
   - Voor de berekening van spanningen per knooppunt gebruiken wij SP en ST.
   - Ze zijn uit te voeren met CALL SIGEX.
   - Bekend feit van de gevolgde (verplaatsings-)methode is, dat de spanningen die in één knooppunt, waar verschillende elementen samenkomen, berekend zijn, per element verschillen.
   - De processor NPST berekent de gemiddelde spanningen per knooppunt, alsmede de vergelijkingsspanningen op basis van het kriterium van Huber-Hencky.

In de APC wordt dus het gehele programma gedirigeerd. In diverse stadia zijn kontroles uit te voeren (of worden automatisch verricht), zodat naast een (uitgebreid) waarschuwingssysteem binnen ASKA ook de gebruiker de ingelezen informatie kan kontroleren.
Voorbeeld: INFCOP geeft na deklaratie van het hoofdnet een overzicht van de gekoppelde punten.

### 5.2.3 Topology

In de topologie wordt de samenstelling van de netten opgegeven. Op het laagste nivo behelst dit de deklaratie van de elementen en de bij elk element behorende knooppunten.
Verder wordt opgave gedaan van de knooppunten die
- op een hoger nivo worden gekoppeld (EXTERNAL),
- voorgeschreven verplaatsingen hebben in (opgegeven) richting (PRESCRIBED),
- gedefinieerd worden t.o.v. een nieuw assenstelsel (ROTATED BASIS), of
- waarvan de verplaatsingen in (opgegeven) richting onderdrukt wordt (SUPPRESS), of
- (enkele toegestane) kombinaties van de vier mogelijkheden.

Op hoger dan elementnivo worden eventuele EXTERNALS gekoppeld m.b.v. het INSERT NET statement.

### 5.2.4 Het DATA blok

Hier worden gedeklareerd (per net, per element of per knooppunt):

1. de knooppuntskoördinaten (NPCO)
2. de materiaalkonstanten (EMOD)
3. eventuele uitwendige belasting per knooppunt (NPBR)
4. eventuele verdeelde belasting per element (BQIN)
5. eventuele beschrijving nieuw assenstelsel (ROTB)
6. eventuele voorgeschreven verplaatsingen (USRP).

In de ingeklemde versie hebben wij:

- twee blokken NPCO (net 13, net 14)
- twee blokken EMOD
- twee blokken ROTB (i.v.m. koppelen HEXEC aan QUAB)
- twee blokken NPBR (massakrachten QUAB, belastinggeval 2 en 3)
- zes blokken BQIN, en wel:
  - ./ belastinggeval 1: hydrodynamische belasting net 13 en 14
  - ./ belastinggeval 2: massakrachten net 13
  - ./ belastinggeval 3: die van 1 en 2 samen.

### 5.2.5 Listing invoergegevens ingeklemde versie

```
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C CCCCCCCCC INKLEM-JOB VAN BLAD CCCCCCCCC
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                      aantal bel. gevallen
      CALL START(3,1)
      CALL SETSHL(4HIFRD,1)          } details
      CALL SET(4HDIAS,15)
      CALL SET(4HTEST,.TRUE.)
C ← comment-regel
C NET 13 EN 14
C
      DO 10 I=13,14
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK  } informatie over de topology
      CALL INFNOD
      CALL PATA
      CALL DATIN(0,4HEOF )
      CALL ELCO
      CALL TS
      CALL SK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BQ
      CALL BR
      CALL TRIA
      CALL REDUC
   10 CONTINUE
C
```

```
C
C   NET 1314
C
      CALL SA        ←(door SA te "doen" leest de machine de volgende set
      CALL INFUNK         Topology in, en weet daardoor het net nummer)
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BR
      CALL SR    ← verplaatsingen worden berekend
      CALL USR
      CALL DATEX(0,4HUSR )  ← uitvoer op regeldrukker
C                   user's format
C
      DO 20 I=13,14
      CALL USENET(I)
      CALL SPM
      CALL SRLC
      CALL USR
      CALL DATEX(0,4HUSR )
      CALL SP    ← begin spanningsberekening
      CALL ST
      CALL SIGEX(0,0)
      CALL NPST
      CALL DATEX(0,4HNPST)
   20 CONTINUE
      CALL EXITT(0)
      STOP
      END
£
TOPOLOGY        hoogste knooppuntnummer in net 13
NET(13)(507)(ONDERSTE_DEEL_BLAD)
HEXEC27(1)(6)( 1,6)( 2,6)( 3,6)( 4,6)( 5,6)( 6,6)( 7,6)( 8,6)( 9,6)
(40,6)(41,6)(42,6)(43,6)(44,6)(45,6)(46,6)(47,6)(48,6)
(79,6)(80,6)(81,6)(82,6)(83,6)(84,6)(85,6)(86,6)(87,6)
      R( 6)(0)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)
              (78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)
              (78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)  suppress (1,2,3)(39)
EXTERNAL(1,2,3)(39)(393,3)   }                                 (1,1)
ROTATED BASIS(39)(393,3)     } koppelpunten van het HEXEC-deel
END NET
END TOPOLOGY     netnummer   aantal kolommen
£DATA                                   comment
£NPCO    N=13   C=3     *_BLAD_NET_13
          1     -547.8      -455.0       688.2
          2     -582.0      -428.7       704.9
          3     -616.3      -401.7       720.6
        etc., t/m:
        505     1125.9      1607.8      1094.7
        506     1109.1      1614.2      1085.2
        507     1092.4      1620.6      1075.7
£ROTB   N=13   C=9      *  T.B.V._KOPPELEN
         393     0.   0.   0.    0.   1.   4.44     0.40   0.    -0.23
         396     0.   0.   0.    0.   1.   3.60     0.45   0.    -0.28
         399     0.   0.   0.    0.   1.   3.00     0.48   0.    -0.33
        etc., t/m:
         501     0.   0.   0.    0.   1.   0.87     0.97   0.    -1.15
         504     0.   0.   0.    0.   1.   0.77     1.10   0.    -1.30
         507     0.   0.   0.    0.   1.   0.67     1.23   0.    -1.49
£EOF
   data file delimiter        $BQIN  * hydr. dyn. bel.
                              $BQIN  * massa krachten
```

knoop. koord.!

rotated basis data

```
TOPOLOGY
NET(14)(363)(BOVENDEEL_BLAD)
QUABC9(1)(6)(1,26)(2,26)(3,26)(14,26)(15,26)(16,26)(27,26)(28,26)(29,26)
      R( 13)(0)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)
QUABC9(1)(1)(339)(340)(341)(352)(353)(354)(363)(362)(361)
QUABC9(1)(1)(341)(342)(343)(354)(355)(344)(361)(356)(345)
QUABC9(1)(1)(345)(346)(347)(356)(357)(348)(361)(358)(349)
QUABC9(1)(1)(349)(350)(351)(358)(359)(360)(361)(362)(363)
EXTERNAL(1,2,3,4,5)(39)(1,1)  } koppelpunten QUAD deel
ROTATED BASIS (39)(1,1)       }
END NET
END TOPOLOGY
£DATA
£NPCO    N=14   C=3    *_BLAD,_NET_14***
        1         231.5      552.2      2432.7          253.9      543.7      2434.7
        2         263.2      662.7      2345.2          312.0      642.4      2350.8
        3         305.3      767.2      2252.2          370.4      739.2      2261.6
     etc, t/m:
     360         1281.9     2956.6       987.7         1289.6     2955.7       990.5
     361         1243.3     2980.6      1066.6         1254.8     2979.1      1070.7
     362         1249.2     2995.2      1051.7         1259.0     2994.0      1055.2
     363         1255.5     3009.7      1036.8         1262.9     3008.8      1039.5
£ROTB   N=14   C=9     * T.B.V._KOPPELEN
        1      0.   0.   0.    0.   1.    4.44     0.40   0.    -0.23
        2      0.   0.   0.    0.   1.    3.60     0.45   0.    -0.28
        3      0.   0.   0.    0.   1.    3.00     0.48   0.    -0.33
     etc., t/m:
       37      0.   0.   0.    0.   1.    0.87     0.97   0.    -1.15
       38      0.   0.   0.    0.   1.    0.77     1.10   0.    -1.30
       39      0.   0.   0.    0.   1.    0.67     1.23   0.    -1.49
£EOF
MAIN NET (1314)(39)(GEHELE BLAD; INGEKL. VERSIE)
INSERT NET(13)(39)(393,3)(453,1) } koppel-statements
INSERT NET(14)(39)(1,1)(453,1)   }
/*
```

$BQIN (hydr.)
$NPBR (massakr.)

## 5.3 De volledige versie, inleiding

De opbouw van het substruktureren-patroon is zoals geschetst in fig. 16.b van par. 3.3, waarbij uit de netten 11, 12, 13 en 14 een net 101 wordt gevormd, bestaande uit een blad met bijbehorende naaf- en assektor.
Net 1001 wordt gevormd door de snedevlakken van 101 te koppelen en representeert daarmee de gehele schroef.
De belasting valt ~~intern~~ uiteen in drie komponenten, de krimp-, de hydrodynamische en de "massa"-belasting.
De krimpbelasting maakt het nodig om twee berekeningen te maken, zoals in par. 4.2 uitvoerig is ingeleid. Run I betreft alleen de as. Analoog aan de benadering van de ingeklemde versie willen wij een vierde belastinggeval introduceren, waarbij de drie eerder genoemde worden gekombineerd.
Om organisatorische redenen, die zullen blijken, is het nodig om zowel run I als run II met alle vier belastingsgevallen te draaien. We krijgen het volgende overzicht:

| belastinggeval | run I input | input run II |
|---|---|---|
| 1 | USRP (11) | NPBR (11), gemaakt uit run I, krimpbelasting |
| 2 | - | BQIN (13) + BQIN (14), beide hydrod.belasting |
| 3 | - | BQIN (13) + NPBR (14), beide massabelasting |
| 4 | USRP (11) | NPBR (11) + BQIN (13) + BQIN (14) + BQIN (13) + NPBR (14) |

waarin: USRP(11) voorgeschreven verplaatsingen zijn die de basis vormen van de berekening van de spanningen t.g.v. de krimpverbinding.

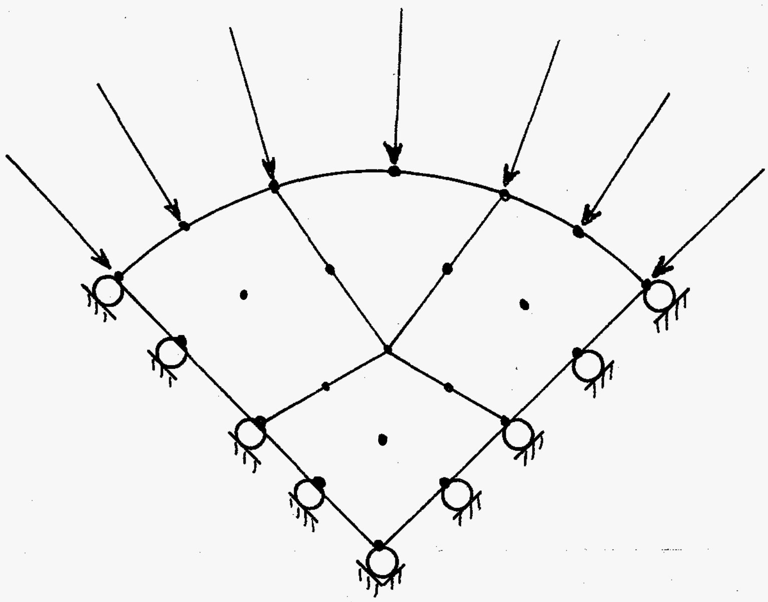
Een overzicht van de in de volledige versie gebruikte knooppuntsnummering toegepast op de diverse nivo's van substrukturering vindt de lezer in Appendix I.

## 5.4 Run I : de krimpverbinding

### 5.4.1 Inleiding

In run I worden aan de hand van ingevoerde verplaatsingen op het conusvlak van de assektor, de knooppuntskrachten $-F_i$, alsmede de in de naaf optredende spanningen berekend en weggeschreven op tape ten behoeve van run II. Dankzij de rotatorisch symmetrische belasting kunnen wij volstaan met berekeningen in net 11, dus zonder 101 en 1001.

We kunnen n.l. de randvoorwaarden op de snedevlakken zo kiezen, dat wij een volledige as representeren, en wel door alleen verplaatsingen te onderdrukken in tangentiale richting.



randvoorwaarden as in run I

Om deze randvoorwaarden te kunnen beschrijven is als eis te stellen aan de definitie van het nieuwe assenstelsel voor alle betrokken punten dat de y'-as zuiver tangentiaal loopt. Dit is - zoals zal blijken - het geval voor zowel de voor de conuspunten gehanteerde ROTATED BASIS als die van de zijvlakken (zie hiervoor par. 6.3.6).
Voor de knooppunten in het hart van de as laten we alleen de x-richting vrij in het oorspronkelijke assenstelsel; dit komt dankzij de symmetrie overeen met de in bovenstaande figuur geschetste randkonditie.

5.4.2 <u>De APC</u> voor de belasting zie 5.4.4

De eerste processor die niet voorkomt in de listing van de ingeklemde versie is SR. Dit een zgn. multistep processor, die twee bewerkingen kombineert t.w. TRIA (triangulariseren van de stijfheidsmatrix)
en SOLV (het oplossen van de vergelijkingen voor alle belastinggevallen).
De daaruit gevonden verplaatsingen voeren wij uit op de regeldrukker: DATEX (0, 4 HUSR ), waarin de 0 betekent: de regeldrukker) en USR voor verplaatsingen (small R) in Users formaat.
Het vervolg van de APC betreft het omzetten van de uit de voorgeschreven verplaatsingen voortvloeiende knooppuntskrachten ($F_i$) te voorzien van een - teken, in invoerformaat als uitwendige belasting voor run II (NPBR).

Daarna worden de spanningen berekend en weggeschreven op tape. Voor details zij verwezen naar het kommentaar bij de listing en naar bijlage B.

### 5.4.3 De Topology en het DATA blok

De beschrijving van de elementen en hun respektievelijke knooppuntnummers is eenvoudig dankzij de regelmatige struktuur van net 11.
De eerste groep bevat de HEXEC-elementen, groep twee de 12 PENTAC's.
Het voorvlak (knooppunt 1 t/m 22) is ingeklemd, de zijvlakpunten en de conuspunten hebben ROTATED BASIS en de zijvlakpunten hebben in tangentiale richting (y-richting) onderdrukking van vrijheid.
In het datablok is ondergebracht:

| | |
|---|---|
| NPCO | knooppuntskoordinaat net 11 |
| USRP | voorgeschreven verplaatsingen, twee belastinggevallen |
| EMOD | materiaaleigenschappen |
| ROTB | de omschrijving van de nieuwe assenstelsels. |

### 5.4.4 Listing van run I

```
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C CCCCCCCCCC RUN I CCCCCCCCCC
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C VOLLEDIGE VERSIE ** VOLLEDIGE VERSIE ** VOLLEDIGE VERSIE ****
C
C BELASTINGSGEVALLEN WAARIN DE AS MEEDOET:
C   BEL. GEV. 1. DE KRIMPVERBINDING
C   BEL. GEV. 4. DE KOMBINATIE VAN 1,2, EN 3
C
      CALL START(4,1)
      CALL SET (4HDIAS,15)
      CALL SET (4HTEST,.TRUE.)
C
C
C BEREKENING VAN KNOOPPUNTSKRACHTEN EN SPANNINGEN IN DE AS (NET11), ALS GEVOLG
C VAN VOORGESCHREVEN VERPLAATSINGEN VAN DE CONUS-KNOOPPUNTEN.
C ALLEEN NET11 IS VOLDOENDE, ZIE DE ONDERDRUKTE VERPLAATSINGEN VAN DE ZIJVLAKKI
C DE RESULTATEN WORDEN WEGGESCHREVEN OP TAPE, TE GEBRUIKEN IN RUN II.
C
C    NET 11:
C
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK
      CALL INFNOD
      CALL PATA
      CALL DATIN (0,4HEOF )  <-- plaats waar de data-file van het 11 wordt gelezen
      CALL ELCO
      CALL TS
```

```
C
      CALL SK   — opstellen stijfheidsmatrix per element
      CALL BK   — opstellen grote stijfheidsmatrix
      CALL INFBK — geeft overzicht, o.a. over de bandstruktuur
      CALL BR
      CALL SR   — met 11 is hier hoofdnet nivo; uit de belasting volgt meteen de verplaatsingen
                                                            voor alle knooppunten
      CALL USR
      CALL DATEX(0,4HUSR )
      CALL SP
      CALL BP
      CALL BRR —(uitvoer) knooppuntskrachten          { call addh(4HBRRL,4HBRRL,4HBRRL,-1)
      CALL COPYH(4HBRRL,4HWIM ,-1)                    { call addh(4HBRRS,4HBRRS,4HBRRS,-1)
      CALL COPYH(4HBRRP,4HHANS,-1)
      CALL COPYH(4HBRRS,4HJAN ,-1)
      CALL REFBUK (4HBRRL)
      CALL REFBUK (4HBRRS)
      CALL REFBUK (4HBRRP)                      omzetten van knoopp. krachten-uitvoer van
      CALL ALTLAB(4HWIM ,4HBRRL)                deze run in invoer voor run II, alle kompo-
      CALL ALTLAB(4HHANS,4HBRRP)                nenten voorzien van een – teken.
      CALL ALTLAB(4HJAN ,4HBRRS)
      CALL UBRR                                 zie appendix B
      CALL ALTLAB(4HUBRR,4HNPBR)
      CALL DATEX(0,4HNPBR)
      CALL WRTDEL(20,4HDATA)
      CALL DATEX(20,4HNPBR)
      CALL WRTDEL(20,4HEOSF)
      CALL ST
      CALL SAVBUK(20,4HSIG )  } wegschrijven book SIG op tape no. 20
      CALL WRTDEL(20,4HEOF )  }
      CALL GPRINT(4HSIG ,1) — uitvoer van SIG op printer (ter kontrole)
      CALL SIGEX(0,0)
      CALL NPST
      CALL DATEX (0,4HNPST) — uitvoer gemiddelde spanning per knooppunt
      CALL EXITT(0)
      STOP
      END
£
TOPOLOGY             groep 1
NET(11)(550)(KWART VAN AS)
HEXEC 27(1)(12)(1,44)(2,44)(3,44)(6,44)(7,44)(8,44)(11,44)(12,44)(13,44)
     (23,44)(24,44)(25,44)(28,44)(29,44)(30,44)(33,44)(34,44)(35,44)
     (45,44)(46,44)(47,44)(50,44)(51,44)(52,44)(55,44)(56,44)(57,44)
R repeat van
     (2)(0)  (2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)   beschrijving
             (2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)                                    van de
HEXEC 27(1)(12)(11,44)(12,44)(13,44)(16,44)(17,44)(18,44)(20,44)(21,44)  elementen
     (22,44)(33,44)(34,44)(35,44)(38,44)(39,44)(40,44)(42,44)(43,44)
 (44,44)(55,44)(56,44)(57,44)(60,44)(61,44)(62,44)(64,44)(65,44)(66,44)
PENTAC18(2)(12)(13,44)(14,44)(15,44)(19,44)(22,44)(18,44)
  groep 2      (35,44)(36,44)(37,44)(41,44)(44,44)(40,44)
               (57,44)(58,44)(59,44)(63,44)(66,44)(62,44)
         x y z
SUPPRESS(1,2,3)(22)(1,1)                * HET HELE VOORVLAK
SUPPRESS(1,2)(24)(23,22)                * HART VAN DE AS
SUPPRESS(2)(24)(24,22)                  * ZIJVLAK SB
     R(4)(0)(1)               (2,3)
SUPPRESS(2)(24)(28,22)                  * ZIJVLAK BB      prescribe (3)(17)(186,22)
     R(3)(0)(5)                                             R(4)(0)(5,-1)
SUPPRESS(2)(24)(42,22)                  * ZIJVLAK BB      prescribe (3)(17)(181,22)
ROTATED BASIS(24)(24,22)                * ZIJVLAK SB      prescribe (3)(17)(196,22)
         R(4)(0)(1)
ROTATED BASIS(24)(28,22)                * ZIJVLAK BB
         R(3)(0)(5)
ROTATED BASIS(24)(42,22)                * ZIJVLAK BB
END NET
END TOPOLOGY          = de knooppunten 42,64,86 etc, 24 stuks
```

```
£DATA
£NPCO N=11 C=3
... knoopp koord.
£USRP N=11 C=1 S=3 L=1      belastinggeval
voorgeschr. verplaatsingen
£USRP N=11 C=1 S=3 L=4
't zelfde als bij L=1
£EMOD N=11 C=2 G=A          wil zeggen: geldt voor alle elementgroepen
        1    2.1E5   0.3
                         ν
£ROTB N=11 C=9
x rotated basis-data net 11
£EOF
/*  } einde IBM-programma
//
```

## 5.5 Run II, de gehele schroef

### 5.5.1 Inleiding

~~De gehele schroef~~ Van tape wordt gedurende het programma gelezen: de knooppuntskrachten (NPBR) behorende bij de krimpverbinding, alsmede de spanningen behorende bij die (overdreven) asbelasting. Dit gebeurt vier keer (i.v.m. de vier belastinggevallen) waarbij in de tweede en derde ronde slechts nullen worden gelezen. (Het maken van die stelsels met nullen is o.a. nodig i.v.m. de sommatiehandelingen, die voor elk belastinggeval uitgevoerd worden).
Voor verdere explikatie zie het kommentaar bij de listing, waarin opvalt dat in de topologie van de ~~assen~~ naaf sektor (net 12) de onvermijdelijke onregelmaat in de nummering een vermoeiende beschrijving tot gevolg heeft. Voor de gebruikte nummering, zie Appendix I.

### 5.5.2 Listing run II

```
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C CCCCCCCCCCCCCCC RUN II CCCCCCCCCC
C CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C VOLLEDIGE VERSIE ** VOLLEDIGE VERSIE ** VOLLEDIGE VERSIE ***
C DE GEHELE SCHROEF, BEL. GEVALLEN:
C  1: KRIMP (NPBR VAN TAPE, VAN RUN I);
C  2: HYDRODYNAMISCHE BELASTING
C  3: MASSAKRACHTEN
C  4:  KOMBINATIE VAN DE BELASTINGEN 1, 2, EN 3
C
C SPANNINGEN IN DE AS ZIJN SOMMATIE VAN  SPANN. UIT RUN I EN II
C ( DEZE TRUUK WORDT ONVERMIJDELIJK UITGEVOERD VOOR ALLE BEL. GEV.).
C                              4 bel. gevallen
      CALL START (4,1)
      CALL SET (4HDIAS,15)         } instelbare hoeveelheid fouten melding
      CALL SET (4HTEST,.TRUE.)
      CALL SETSHL(4HIFRD,1) —— zie appendix, D.4
C
C
CCC GENEREREN VAN SUBSTRUCT. 11,12,13 EN 14:
C
C    NET 11:
C
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK
      CALL INFNOD
      CALL PATA
      CALL DATIN (0,4HEOF )
      CALL DATIN(20,4HEOSF) ← van tape te lezen: NPBR
      CALL DATEX(0,4HNPBR)  ← kontrole
      CALL ELCO
      CALL TS
C
      CALL SK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BR
      CALL TRIA
      CALL REDUC
C
C
C    NET 12:
C
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK
      CALL INFNOD
      CALL PATA
      CALL DATIN (0,4HEOF )
      CALL ELCO
      CALL TS
      CALL SK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BR
      CALL TRIA
      CALL REDUC
```

```
C     NET 13 EN 14:
C
        DO 10 I=13,14
        CALL SA
        CALL INFEL
        CALL INFUNK
        CALL INFNOD
        CALL PATA
        CALL DATIN (0,4HEOF )
        CALL ELCO
        CALL TS
        CALL SK
        CALL BK
        CALL INFBK
        CALL BQ    — t.b.v. verdeelde belasting
        CALL BR
        CALL TRIA
        CALL REDUC
     10 CONTINUE
C
C
C
CCC GENEREREN VAN SUBSTR. 101 UIT 11,12, EN 13
C
        CALL SA
        DO 20 NET=11,14
        CALL USENET (NET)  } na koppeling (d.m.v. SA) koppelparen kontroleren
        CALL INFCOP
     20 CONTINUE
        CALL USENET (101)
        CALL INFUNK
        CALL BK
        CALL INFBK
        CALL BR
        CALL DNMAIN – reduceren hoofdnetnivo (zie app. C)
        CALL TRIA
        CALL REDUC
C
C
CCC GENEREREN VAN HET HOOFDNET 1001:
C    (SLECHTS DOOR LINKER EN RECHTER ZIJVLAK VAN 101 TE KOPPELEN)
C
C
        CALL SA
        CALL USENET(101) } koppeling kontroleren
        CALL INFCOP
        CALL USENET(1001)
        CALL INFUNK
        CALL BK
        CALL INFBK
        CALL BR
        CALL TRIA  } te kombineren tot SR (sneek)
        CALL SOLV
        CALL USR
        CALL DATEX (0,4HUSR )
de      CALL USENET (101)
terugweg CALL SPM
        CALL SRLC
        CALL USR
        CALL DATEX (0,4HUSR )
        CALL UPMAIN (101)— zie app. C
        CALL USENET(11)
        CALL SPM  } vinden van verplaatsingen voor alle punten
        CALL SRLC
        CALL USR
        CALL DATEX(0,4HUSR )
```

```
      CALL SP
      CALL ST
      CALL GPRINT(4HSIG ,1)
      CALL ALTLAB(4HSIG ,4HBERT)
      CALL REFBUK(4HSIG )
      CALL RENBUK(20,4HSIG )
      CALL GPRINT(4HSIG ,1)
      CALL ADDH(4HSIG ,4HBERT,4HTOTS,1)
      CALL REFBUK(4HSIG )
      CALL GPRINT(4HTOTS,1)
      CALL ALTLAB(4HTOTS,4HSIG )
      CALL NPST
      CALL DATEX(0,4HNPST)
      DO 30 NET1=12,14
      CALL USENET (NET1)
      CALL SPM
      CALL SRLC
      CALL USR
      CALL DATEX (0,4HUSR )
      CALL SP
      CALL ST
      CALL SIGEX(0,0)
      CALL NPST
      CALL DATEX (0,4HNPST)
   30 CONTINUE
C
      CALL EXITT(0)
      STOP
      END
£
TOPOLOGY
NET(11)(550)(KWART VAN AS)
HEXEC 27(1)(12)(1,44)(2,44)(3,44)(6,44)(7,44)(8,44)(11,44)(12,44)(13,44)
        (23,44)(24,44)(25,44)(28,44)(29,44)(30,44)(33,44)(34,44)(35,44)
        (45,44)(46,44)(47,44)(50,44)(51,44)(52,44)(55,44)(56,44)(57,44)
R       (2)(0)  (2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)
                (2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)
HEXEC 27(1)(12)(11,44)(12,44)(13,44)(16,44)(17,44)(18,44)(20,44)(21,44)
        (22,44)(33,44)(34,44)(35,44)(38,44)(39,44)(40,44)(42,44)(43,44)
 (44,44)(55,44)(56,44)(57,44)(60,44)(61,44)(62,44)(64,44)(65,44)(66,44)
PENTAC18(2)(12)(13,44)(14,44)(15,44)(19,44)(22,44)(18,44)
               (35,44)(36,44)(37,44)(41,44)(44,44)(40,44)
               (57,44)(58,44)(59,44)(63,44)(66,44)(62,44)
SUPPRESS(1,2,3)(22)(1,1)             * HET HELE VOORVLAK
EXTERNAL(1,2,3)(24)(24,22)           * ZIJVLAKKEN
R(4)(0)(1)
EXTERNAL(1,2,3)(24)(28,22)
R(3)(0)(5)
EXTERNAL(1,2,3)(24)(42,22)           * END
EXTERNAL(1,2,3)(17)(186,22)          * ~~RESTANT~~ CONUSVLAK
R(4)(0)(5,-1)
EXTERNAL(1,2,3)(17)(197,22)          * END
ROTATED BASIS (24)(24,22)            * ZIJVLAKKEN
R(4)(0)(1)
ROTATED BASIS (24)(28,22)
R(3)(0)(5)
ROTATED BASIS (24)(42,22)            * END
ROTATED BASIS (17)(186,22)           * ~~RESTANT~~ CONUSVLAK
R(4)(0)(5,1)
ROTATED BASIS (17)(197,22)           * END
END NET
END TOPOLOGY

£DATA
* data met 11: NPCØ, RØTB, EMØD
£EOF
```

$:= \sigma_{as,II}$

$\sigma_{as,I}$

$:= \sigma_{as}$

vinden en optellen van spanningen in as, uit run I (van tape) en run II. Zie app. B.

alle externals hebben rotated basis

```
TOPOLOGY
NET(12)(673)(NAAFSECTOR,      54  HEXEC-ELEMENTEN)
HEXEC27 (1)(6)(81,82)(82,82)(83,82)(88,82)(89,82)(90,82)(95,82)(96 ,82)(97 ,82)
   (122,82)(123,82)(124,82)(129,82)(130,82)(131,82)(136,82)(137,82)(138,82)
   (163,82)(164,82)(165,82)(170,82)(171,82)(172,82)(177,82)(178,82)(179,82)
HEXEC27 (1)(6)(83,82)(84,82)(85,82)(90,82)(91,82)(92,82)(97,82)(98 ,82)(99 ,82)
   (124,82)(125,82)(126,82)(131,82)(132,82)(133,82)(138,82)(139,82)(140,82)
   (165,82)(166,82)(167,82)(172,82)(173,82)(174,82)(179,82)(180,82)(181,82)
HEXEC27 (1)(6)(85,82)(86,82)(87,82)(92,82)(93,82)(94,82)(99,82)(100,82)(101,82)
   (126,82)(127,82)(128,82)(133,82)(134,82)(135,82)(140,82)(141,82)(142,82)
   (167,82)(168,82)(169,82)(174,82)(175,82)(176,82)(181,82)(182,82)(183,82)
HEXEC27 (1)(6)(71,82)(72,82)(73,82)(76,82)(77,82)(78,82)(83,82)(84 ,82)(85 ,82)
   (112,82)(113,82)(114,82)(119,82)(120,82)(121,82)(126,82)(127,82)(128,82)
   (153,82)(154,82)(155,82)(158,82)(159,82)(160,82)(165,82)(166,82)(167,82)
HEXEC27 (1)(6)(73,82)(74,82)(75,82)(78,82)(79,82)(80,82)(85,82)(86 ,82)(87 ,82)
   (114,82)(115,82)(116,82)(121,82)(122,82)(123,82)(128,82)(129,82)(130,82)
   (155,82)(156,82)(157,82)(160,82)(161,82)(162,82)(167,82)(168,82)(169,82)
HEXEC27 (1)(6)( 97,82)( 98,82)( 99,82)(102,82)(103,82)(104,82)(107,82)(108,82)
(109,82)(138,82)(139,82)(140,82)(143,82)(144,82)(145,82)(148,82)(149,82)(150,82
          (179,82)(180,82)(181,82)(184,82)(185,82)(186,82)(189,82)(190,82)(191,82
HEXEC27 (1)(6)( 99,82)(100,82)(101,82)(104,82)(105,82)(106,82)(109,82)(110,82)
(111,82)(140,82)(141,82)(142,82)(145,82)(146,82)(147,82)(150,82)(151,82)(152,82
          (181,82)(182,82)(183,82)(186,82)(187,82)(188,82)(191,82)(192,82)(193,82
HEXEC27 (1)(2)( 1, 2)( 2, 2)( 3, 2)( 6, 2)( 7, 2)( 8, 2)(11, 2)(12 , 2)(13 , 2)
   ( 36, 2)( 37, 2)( 38, 2)( 41, 2)( 42, 2)( 43, 2)( 46, 2)( 47, 2)( 48, 2)
   ( 71, 2)( 72, 2)( 73, 2)( 76, 2)( 77, 2)( 78, 2)( 83, 2)( 84, 2)( 85, 2)
HEXEC27 (1)(2)(11, 2)(12, 2)(13, 2)(16, 2)(17, 2)(18, 2)(21, 2)(22 , 2)(23 , 2)
   ( 46, 2)( 47, 2)( 48, 2)( 51, 2)( 52, 2)( 53, 2)( 56, 2)( 57, 2)( 58, 2)
   ( 83, 2)( 84, 2)( 85, 2)( 90, 2)( 91, 2)( 92, 2)( 97, 2)( 98, 2)( 99, 2)
HEXEC27 (1)(2)(21, 2)(22, 2)(23, 2)(26, 2)(27, 2)(28, 2)(31, 2)(32 , 2)(33 , 2)
   ( 56, 2)( 57, 2)( 58, 2)( 61, 2)( 62, 2)( 63, 2)( 66, 2)( 67, 2)( 68, 2)
   ( 97, 2)( 98, 2)( 99, 2)(102, 2)(103, 2)(104, 2)(107, 2)(108, 2)(109, 2)
HEXEC27(1)(2)(563, 2)(564, 2)(565, 2)(568, 2)(569, 2)(570, 2)(575, 2)(576, 2)
(577, 2)(604, 2)(605, 2)(606, 2)(609, 2)(610, 2)(611, 2)(614, 2)(615, 2)(616, 2
          (639, 2)(640, 2)(641, 2)(644, 2)(645, 2)(646, 2)(649, 2)(650, 2)(651, 2
HEXEC27(1)(2)(575, 2)(576, 2)(577, 2)(582, 2)(583, 2)(584, 2)(589, 2)(590, 2)
(591, 2)(614, 2)(615, 2)(616, 2)(619, 2)(620, 2)(621, 2)(624, 2)(625, 2)(626, 2
          (649, 2)(650, 2)(651, 2)(654, 2)(655, 2)(656, 2)(659, 2)(660, 2)(661, 2
HEXEC27(1)(2)(589, 2)(590, 2)(591, 2)(594, 2)(595, 2)(596, 2)(599, 2)(600, 2)
(601,41)(624, 2)(625, 2)(626, 2)(629, 2)(630, 2)(631, 2)(634, 2)(635, 2)(636, 2
          (659, 2)(660, 2)(661, 2)(664, 2)(665, 2)(666, 2)(669, 2)(670, 2)(671, 2
EXTERNAL(1,2,3)(14)(5,5)              * CONUSVL., INCL. RANDEN
R(2)(0)(603)
EXTERNAL(1,2,3)(13)(75,41)
R(2)(0)(5)
EXTERNAL(1,2,3)(13)(106,41)
R(2)(0)(5)
EXTERNAL(1,2,3)(13)(87,41)
R(3)(0)(7)
EXTERNAL(1,2,3)(13)(81,41)            * GRENSVLAK MET BLAD
R(3)(0)(7)
EXTERNAL(1,2,3)( 4)(1,1)              * SB-VLAK ZONDER LANGE RANDEN
R(2)(0)(35)
EXTERNAL(1,2,3)( 4)(604,1)
R(2)(0)(35)
EXTERNAL(1,2,3)(13)(71,41)
R(4)(0)(1)
EXTERNAL(1,2,3)( 4)(31,1)             * BB-VLAK ZONDER LANGE RANDEN
R(2)(0)(35)
EXTERNAL(1,2,3)( 4)(634,1)
R(2)(0)(35)
EXTERNAL(1,2,3)(13)(107,41)
R(4)(0)(1)
ROTATED BASIS(14)(5,5)                * ALS ALLE EXTERNALS, BEHALVE GRENSVLAK
R(2)(0)(603)
```

```
ROTATED BASIS(13)(75,41)
R(2)(0)(5)
ROTATED BASIS(13)(106,41)
R(2)(0)(5)
ROTATED BASIS(13)(87,41)
R(3)(0)(7)
ROTATED BASIS(4)(1,1)
R(2)(0)(35)
ROTATED BASIS(4)(604,1)
R(2)(0)(35)
ROTATED BASIS(13)(17,41)
R(4)(0)(1)
ROTATED BASIS( 4)(31,1)
R(2)(0)(35)
ROTATED BASIS(4)(634,1)
R(2)(0)(35)
ROTATED BASIS(13)(107,41)
R(4)(0)(1)

£DATA
* data net 12:  NPCØ, EMØD, RØTB
£EOF

NET(13)(507)(ONDERSTE_DEEL_BLAD)
HEXEC27(1)(6)( 1,6)( 2,6)( 3,6)( 4,6)( 5,6)( 6,6)( 7,6)( 8,6)( 9,6)
(40,6)(41,6)(42,6)(43,6)(44,6)(45,6)(46,6)(47,6)(48,6)
(79,6)(80,6)(81,6)(82,6)(83,6)(84,6)(85,6)(86,6)(87,6)
      R( 6)(0)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)
              (78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)
              (78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)(78)
EXTERNAL(1,2,3)(39)(393,3)
ROTATED BASIS(39)(393,3)        external (1,2,3) (39) (1,1) ← koppelvlak
END NET                  ← koppelvlak net (14)            net met (12)
END TOPOLOGY

£DATA
* data net 13:  NPCØ, EMØD, RØTB, BQIN (hydrod. bel.), BQIN (massabel.)
£EOF

NET(14)(363)(BOVENDEEL_BLAD)
QUABC9(1)(6)(1,26)(2,26)(3,26)(14,26)(15,26)(16,26)(27,26)(28,26)(29,26)
      R( 13)(0)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)
QUABC9(1)(1)(339)(340)(341)(352)(353)(354)(363)(362)(361)
QUABC9(1)(1)(341)(342)(343)(354)(355)(344)(361)(356)(345)
QUABC9(1)(1)(345)(346)(347)(356)(357)(348)(361)(358)(349)
QUABC9(1)(1)(349)(350)(351)(358)(359)(360)(361)(362)(363)
EXTERNAL(1,2,3,4,5)(39)(1,1)
ROTATED BASIS (39)(1,1)
END NET
END TOPOLOGY
£DATA
* data net 14: NPCØ, EMØD, RØTB, BQIN (hydr. bel.), NPBR (massabel.)
£EOF

TOPOLOGY
MAIN NET(101)(491)(KWART VAN DE SCHROEF)
INSERT NET(11)(17)(181,22)(  1, 7)  * CONUSVLAK NET11
         R(3)(0)(5)(1)
INSERT NET(11)(17)(195,22)(  4, 7)
INSERT NET(11)(17)(198,22)(  5, 7)
         R(3)(0)(-1)(1)              * END
INSERT NET(12)(14)(  5, 5)(  1, 1)  * CONUSVLAK NET12
         R(2)(0)(603)(105)
INSERT NET(12)(13)( 75,41)( 15, 7)
         R(2)(0)(5)(1)
```

```
INSERT NET(12)(13)( 87,41)( 17, 7)
        R(3)(0)(7)(1)
INSERT NET(12)(13)(106,41)( 20, 7)
        R(2)(0)(5)(1)                    * END
INSERT NET(11)( 7)( 27,22)(120, 1)  * SB-ZIJVLAK NET11
INSERT NET(11)(24)( 26,22)(127, 1)
        R(3)(0)(-1)(24)                  * END
INSERT NET(11)( 7)( 42,22)(199, 1)  * BB-ZIJVLAK NET11
INSERT NET(11)(24)( 38,22)(206, 1)
        R(3)(0)(-5)(24)                  * END
INSERT NET(12)( 4)(  1, 1)(278, 1)  * SB-ZIJVLAK NET12
        R(3)(0)(35,568)(4,56)
INSERT NET(12)( 4)( 71, 1)(286, 1)
        R(14)(0)(41)(4)                  * END
INSERT NET(12)( 4)( 31, 1)(346, 1)  * BB-ZIJVLAK NET12
        R(3)(0)(603,-568)(60,-56)
INSERT NET(12)( 4)( 66,41)(350, 1)
        R(14)(0)(41)(4)                  * END
INSERT NET(12)(13)(81,41)(414,3)    * GRENSVLAK NET 12
R(3)(0)(7)(1)                        * END
INSERT NET(13)(39)(1,1)(414,1)       * GRENSVLAK NET 13 * END
insert net (13) (39) (393,3) (453,1)
          (14) (39) (1,1) (453,1)
EXTERNAL(1,2,3)(17)(1,7)             * SB-RAND CONUSVLAK
R(2)(0)(6)                           * BB-RAND CONUSVLAK
EXTERNAL(1,2,3)(294)(120,1)          * RESTANT BEIDE ZIJVLAKKEN
END NET
END TOPOLOGY
      ← opm. : net 101 vraagt geen data
TOPOLOGY
MAIN NET(1001)(164)(DE GEHELE SCHROEF)
INSERT NET(101)(17)(  1,7)(76,1)    * SB-RAND CONUSVLAK
INSERT NET(101)(17)(  7,7)(76,1)    * BB-RAND CONUSVLAK
INSERT NET(101)(17)(278,4)( 1,1)    * SB-NAAFDEEL
R(4)(0)(1)(17)
INSERT NET(101)(17)(346,4)( 1,1)    * BB-NAAFDEEL
R(4)(0)(1)(17)
INSERT NET(101)( 7)(120,1)(69,1)    * KORTE BOVENRAND VRIJE ASDEEL
INSERT NET(101)( 7)(199,1)(69,1)    * IDEM, BAKBOORD
INSERT NET(101)(72)(127,1)(93,1)    * RESTANT AS, SB
INSERT NET(101)(72)(206,1)(93,1)    * IDEM BAKBOORD
END NET
END TOPOLOGY
/*
//
```

# 6. Programmabeschrijving inputgenerator

## 6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 wordt beschreven welke invoergegevens nodig zijn voor het ASKA-programmasysteem. Er is onderscheid te maken in drie groepen; te weten de invoergegevens voor:
- de as, net 11
- de naaf, net 12
- het blad, net 13 en 14.

Net 13 en 14 zijn op te vatten als een geheel, omdat de opbouw van de inputgenerator voor deze netten grotendeels dezelfde is. Voor de drie onderscheidde delen zijn aparte programma's geschreven omwille van de overzichtelijkheid. Ze worden nu achtereenvolgens beschreven, onder de respektievelijke namen bladprogramma, naafprogramma en asprogramma.

NB. Er is een poging gedaan om de duidelijkheid in de programmatuur te laten prevaleren boven rekentechnische optimalisering.

## 6.2 Het bladprogramma

### 6.2.1 Inleiding

Uitgaande van invoerdata, die bij de gebruikelijke ontwerp- en produktiemethoden bekend zijn, alsmede van enkele gekozen parameters (die o.a. de fijnheid van de verdeling vastleggen), genereert het bladprogramma de volgende data:

1. De knooppuntskoördinaten (NPCØ) van de HEXEC 27 en de QUABC 9 elementen.
2. Een plotfiguur van de verdeling in de gestrekte doorsnede.
3. De drukverdeling (per betrokken knooppunt) t.g.v. de hydrodynamische belasting, voor net 13 en 14 (BQIN).
4. De massakrachtenverdeling (rotatiebelasting); voor net 13 in de vorm van BQIN (krachtvektor voor elk hoekpunt van elke HEXEC) en voor net 14 in de vorm van NPBR (krachtvektor per knooppunt, zelf zo goed mogelijk verdeeld, zie Appendix E).
5. De topologie, die ook een funktie is van de gekozen fijnheid.

Het programma bevat een aantal procedures, een read-statement en vervolgens de aanroep van de diverse procedures. De uitvoer geschiedt op de printer of op ponskaarten. De data-invoer geschiedt op een tiental ponskaarten, toe te voegen aan het bladprogramma card-deck. Het read-statement in de tekst bevat per parameter een summiere gebruiksaanwijzing. We bespreken de procedures afzonderlijk.

### 6.2.2 Procedure PROFIEL

#### 6.2.2.1 Inleiding

PROFIEL levert voor een waarde x (met $0 < x < 1$) bij een gegeven maximale dikte en welving, en bij gekozen type Arnoldus-profiel, twee punten (een op het bovenvlak en een onder) met ongeveer dezelfde x-koördinaat als de ingelezen x-waarde.

6.2.2.2 <u>Gebruiksaanwijzing</u>

6.2.2.2.1 Procedure Heading

<u>Procedure</u> profiel (X, XØ, YØ, XB, YB, AR, TT, FF);

<u>value</u> X, TT, FF

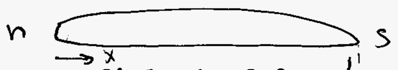
<u>real</u> X, XØ, YØ, XB, YB, TT, FF

<u>integer</u> AR

6.2.2.2.2 Globale parameters: geen

6.2.2.2.3 Formele parameters: (i = invoergrootheid, u = uitvoergrootheid)

(i) X : plaats op neus-staartlijn waar (ongeveer) knooppunten worden gezocht




(i) AR : type Arnoldus-profiel, 1 of 2.

(i) TT : maximale dikte (geschaald tegen de lengte)

(i) FF : maximale welving (geschaald tegen de lengte)

(u) XB,YB: x- en y-koördinaat van punt op bovenzijde van het profiel

(u) XØ,YØ: idem, onderzijde.

beide geschaald tegen de lengte

6.2.2.3 <u>Achtergrond van de opbouw</u>

De procedure is gebaseerd op de volgende formules. De <u>skeletlijn</u> (camberline) wordt beschreven door:

$$Y_C = \frac{FF}{166.48}\left\{2.5\left(p - q + 0.18 - \frac{x}{5}\right) - r - 0.09297 + 0.3039\ x\right\},$$

waarin:

$$p = (0.8-x)^2 \ \ln |0.8-x|$$
$$q = (1-x)^2 \ \ln (1-x)$$
$$r = x \ \ln x$$

De loodrecht op de skeletlijn naar boven en naar beneden af te zetten halve <u>dikte</u> is als volgt een funktie van x:

$$t = TT\{A_1(x-\sqrt{x})+A_2(\sqrt{x}^3- x)+A_3(1-x-\sqrt{1-x})+A_4(\sqrt{(1-x)}^3-\sqrt{1-x})\}$$

Een punt op het profiel wordt dan: ($x_1$ is ingelezen x)

$$x_p := x_1 \pm \frac{t.y'_c}{1-(y'_c)^2}$$

$$y_p := y_c \pm \frac{t}{1-(y'_c)^2}$$

waarin de afgeleide van $y_c$:

$$y'_c = \frac{FF}{166.48} \left\{5\left[-\ pa+qa\right] -ra - 1.3039\right\},$$

met

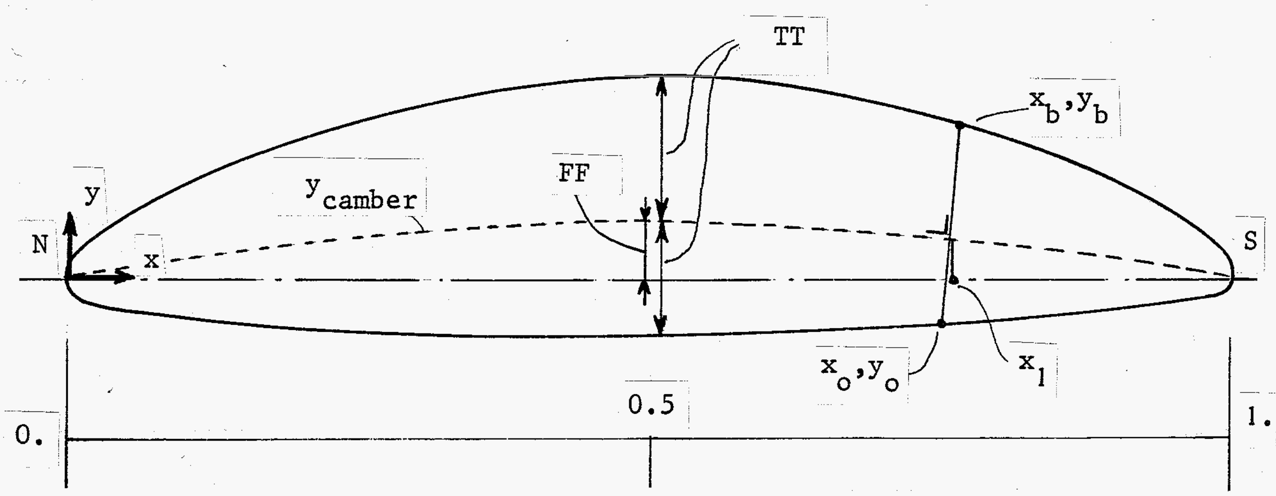
$$pa = (0.8-x)\ \ln\ |0.8-x|$$
$$qa = (1-x)\ \ln\ (1-x)$$
$$ra = \ln\ (x)$$

De faktoren $A_1$ t/m $A_4$ zijn afhankelijk van het type profiel; x wordt in de procedure bepaald.
Bij AR-1 profielen ligt de grootste dikte niet op x=0.5, maar is die een funktie van de grootste dikte zelf. In de procedure is dit verband terug te vinden in de variabele FAK.

$$FAK = 1 + \frac{TT-0.075}{(TT-0.075)^2 + \frac{TT}{100}}$$

De gevonden twee punten liggen niet precies op dezelfde x-koördinaat als het startpunt $x_1$. Dit is geen bezwaar.

Voorbeeld AR-2 profiel.




6.2.2.4 Opbouw

De opbouw van de procedure volgt direkt uit de achtergrond. De procedure bevat beveiligingen tegen ontaarden van de log-termen in de buurt van x=0

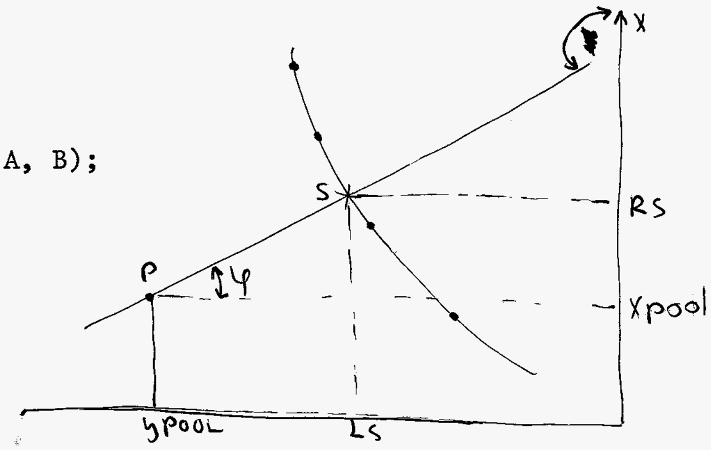
0.8 en 1.0, op een voor de hand liggende manier.

### 6.2.3 Procedure SPLINE

#### 6.2.3.1 Inleiding

SPLINE levert op basis van een in te lezen rij koördinaten van diskrete punten de koëfficiënten voor een vijfdegraads polynoom aanpassing en wel op een manier die wordt beschreven in Appendix A. De funktie die bepaald wordt met de door SPLINE te leveren koëfficiënten heeft de eigenschap tweemaal kontinu differentieerbaar te zijn en door de diskrete punten (de zgn. steunpunten) te gaan. SPLINE is met FUNKTIE de basis voor procedure SNYPUNT.
De opbouw en achtergrond van SPLINE volgt uit, respektievelijk staat beschreven in de appendix A.

#### 6.2.3.2 Gebruiksaanwijzing




##### 6.2.3.2.1 Procedure heading

**Procedure** SPLINE ($I$, $I_1$, $I_2$, xI, yI, A, B);
  **value** $I_1$, $I_2$
  **integer** $I$, $I_1$, $I_2$
  **real** XI, YI
  **array** A, B [*,*]

##### 6.2.3.2.2 Globale parameters: geen

##### 6.2.3.2.3 Formele parameters: (i = invoergrootheid, u = uitvoer)

| | | |
|---|---|---|
| (i) | I | naam van de teller van de gebiedjes tussen de diskrete punten |
| (i) | $I_1$ | ondergrens van de te beschouwen rij punten |
| (i) | $I_2$ | bovengrens " " " |
| (i) | xI | de x-waarden van de te beschouwen punten |
| (i) | yI | de y-waarden " " " |
| (u) | A | de zesmaal I koëfficiënten $a_o^i$ t/m $a_5^i$ |
| (u) | B | de zesmaal I koëfficiënten $b_o^i$ t/m $b_5^i$ |

Voorbeeld:

SPLINE (I, 1, AP-1, RR[I], GD[I], coeff RGD, coeff GD); bepaalt de koëfficiënten voor de diskrete punten die de grootste dikte beschrijven. Het gebied loopt van RR[1] (het grensvlak) tot RR[AP] (de grootste bladstraal).

### 6.2.4 Procedure FUNKTIE

#### 6.2.4.1 Inleiding

De real procedure FUNKTIE levert bij gegeven s en I de waarde van het 5e graads polynoom:

FUNKTIE: = CIO + s(cI1 + s(CI2 + s(CI3 + s(CI4 + s(CI5))))).

### 6.2.5 Procedure SNYPUNT

#### 6.2.5.1 Inleiding

Deze Boolean procedure probeert in elk interval van de aangeboden diskrete punten een snijpunt te vinden met een rechte lijn, die gedefinieerd wordt door een punt (RPOOL, YPOOL) en een hoek (PHI). Deze laatste aanpak maakte het noodzakelijk om vooraf (afhankelijk van PHI) een keuze te maken voor de beschrijving van de lijn (R = A*L + B of L = A*R + B) om het ontaarden van de gebruikte tangens te voorkomen.

#### 6.2.5.2 Gebruiksaanwijzing

#### 6.2.5.2.1 Procedure heading

```
Boolean procedure SNYPUNT (I, I BEGIN, I EIND, COEFFR, COEFFL, RPØØL,
                          YPØØL, PHI, RS, LS);
        value I BEGIN, I EIND, RPØØL, YPØØL, PHI;
        integer I, I BEGIN, I EIND
        array COEFFR, COEFFL [*,*];
        real RPOOL, YPOOL. PHI, RS, LS ;
```

#### 6.2.5.2.2 Globale parameters

zero in AB: Regula Falsi (THE bibliotheek-procedure)
FUNKTIE : zie boven.

#### 6.2.5.2.3 Formele parameters: (i: in, u: uitvoergrootheid)

| | |
|---|---|
| (i) I | : teller, die loopt van I BEGIN tot I waarbij snijpunt wordt gevonden |
| (i) I BEGIN | : startpunt van het te doorlopen trajekt |
| (i) I EIND | : eindpunt |
| (i) COEFFR | : de x-koëfficiënten, gevuld door SPLINE |
| (i) COEFFL | : de y-koëfficiënten, gevuld door SPLINE |
| (i) RPOOL | : de R-waarde van het punt waarmee de rechte wordt gedefinieerd |
| (i) YPOOL | : de bijbehorende y-waarde |
| (i) PHI | : de hoek van de rechte met de positieve R-as |
| (u) RS | : de x-waarde van het te vinden snijpunt |
| (u) LS | : de y-waarde |

6.2.6 Procedure knooppuntenblad

6.2.6.1 Inleiding

Knooppuntenblad levert in de arrays BL, QF en QB de knooppuntskoördinaten af behorende bij de elementverdeling in de gestrekte versie van het blad. Deze koördinaten komen tot stand door procedure profiel toe te passen op punten die gevonden zijn door een verdeling te maken in het vlak van tekening.

6.2.6.2 Gebruiksaanwijzing

6.2.6.2.1 Procedure heading

```
Procedure knooppuntenblad (BL, QF, QB, RR, LLV, LLA, TT, FF, LAGEN,
                           SNY, AP, RPOOL, RTOP, STR);
      value LAGEN, SNY, AP, RPOOL, RTOP, STR;
      array BL, QF, QB [*,*],
            RR, LLV, LLA, TT, FF [*,*];
      integer SNY, LAGEN, AP;
      real  RPOOL, RTOP, STR ;
```

6.2.6.2.2 Globale parameters

Procedure profiel, zie 6.2.2

Procedure snijpunt, zie 6.2.5

Procedure spline, zie 6.2.3

6.2.6.2.3 Formele parameters (i: invoergrootheid, u: uitvoergrootheid)

| | |
|---|---|
| (i) RR [1:AP] | : de gebruikte "tekeningsstralen", met RR[1] : de straal vlak boven de afronding aan de bladwortel en RR[AP] = 1. |
| (i) LLV [1:AP] | : ongeschaalde afstand trekker tot de neuslijn [mm] |
| (i) LLA [1:AP] | : idem, staartlijn |
| (i) TT [1:AP] | : verloop van de maximale dikte [mm] } beide ongeschaald |
| (i) FF [1:AP] | : idem,welving |
| (i) LAGEN | : gewenst aantal regelmatige lagen van 6 elementen |
| (i) SNIJ | : dat deel van lagen wat HEXEC 27-elementen moet worden |
| (i) AP | : aantal "tekeningstralen" |
| (i) ~~RPOOL~~ RTOP (<1) | : straal van punt op staartlijn, die (gedeeltelijk) de positie aangeeft van de scheidingslijn tussen de regelmatige en de onregelmatige verdeling. Zie de achtergrondbeschrijving. |
| (i) STR | : (grootste) straal van de schroef [mm] |
| (u)BL [1:nbl,1:3] | : bevat de knooppuntskoördinaten van de HEXEC 27 elementen |
| (u)QF [1:NQ, 1:3] | : bevat de lower-geometrie punten van de QUABC-9 elementen |
| (u)QB [1:NQ, 1:3] | : bevat de upper-geometrie punten |
| NBL | : aantal HEXEC-knooppunten |
| NQ | : aantal QUABC 9 knooppunten |

6.2.6.3 Achtergrond van de opbouw

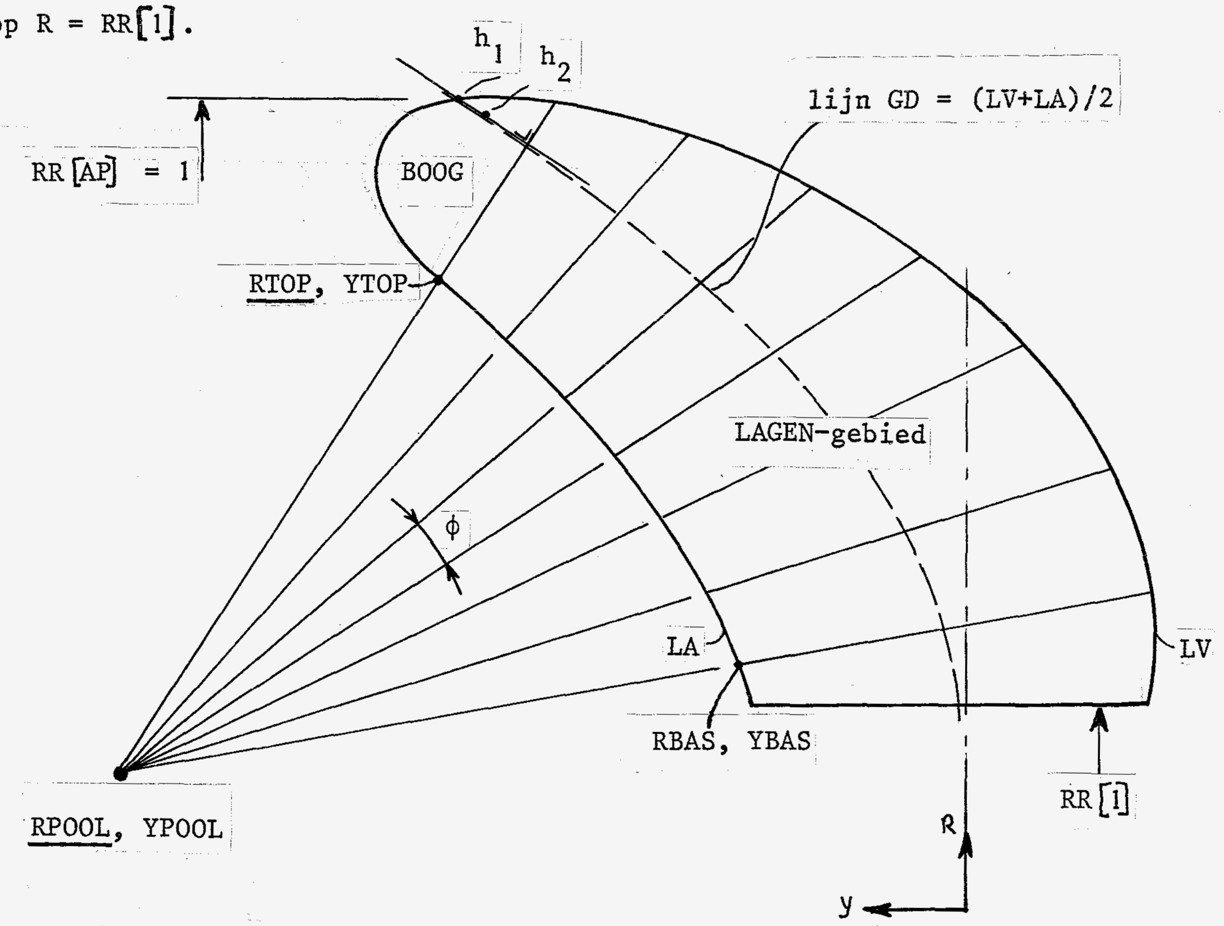
De aansluitkonditie met de naaf brengt ons (na de keuze van de kubus-achtige elementen in het blad) op (minstens) een laag van zes HEXEC's onder in het blad.

We kozen voor een overgang "ergens" in het blad naar de dikwandige schaalelementen QUABC-9, waarbij de koppelplaats te variëren moet zijn. Een ons inziens elegante verdeling komt dan tot stand door de regelmatige lagen vol te houden tot de top van het blad, en daar een topologisch on-veranderlijke verdeling te maken, die de boog redelijk kan beschrijven. Rest te variëren: aantal regelmatige lagen en de plaats van de overgang (LAGEN, resp. SNIJ).

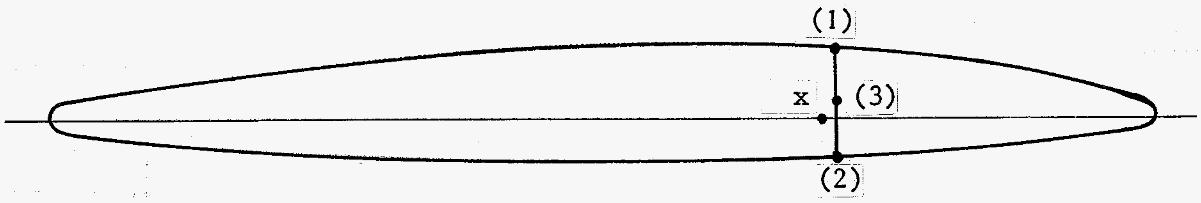
Met de ingelezen RTOP en RPOOL leggen we het gebied van de regelmatige verdeling (verder te noemen het LAGEN-gebied) vast. Zie figuur

De hoogte RBAS-RR[1]:= 1/LAGEN genomen.

De lijn TOP-POOL wordt getrokken loodrecht op de raaklijn van GD (de kromme die het gemiddelde is van LV en LA) in het punt R=1. De hoek phi ligt dan vast door het aantal lagen. Op de rand van de boog hebben we (zoals zal blijken) elf punten nodig. Deze vinden we ook met behulp van een lijnenwaaier. Als alle punten op de krommen LV en LA zijn bepaald, brengen we al deze punten een bedrag LSS naar binnen, aldus de scherpe rand van het blad eliminerend voor de verdeling.(De gebruikte elementen laten die scherpe vorm niet toe.) LSS is genomen 2% van de profiellengte op R = RR[1].



Het vastleggen van de elementverdeling in het platte vlak is dan eenvoudig. Daarna wordt voor elk punt uit het platte vlak door middel van <u>procedure profiel</u> een boven- en onderpunt gevonden, en de middenpunten (van de HEXEC elementen) weer uit de middeling van boven- en onderpunt. Zie figuur.




x geeft (1) en (2) door middel van <u>profiel</u>,
daarna (3) midden tussen (1) en (2).

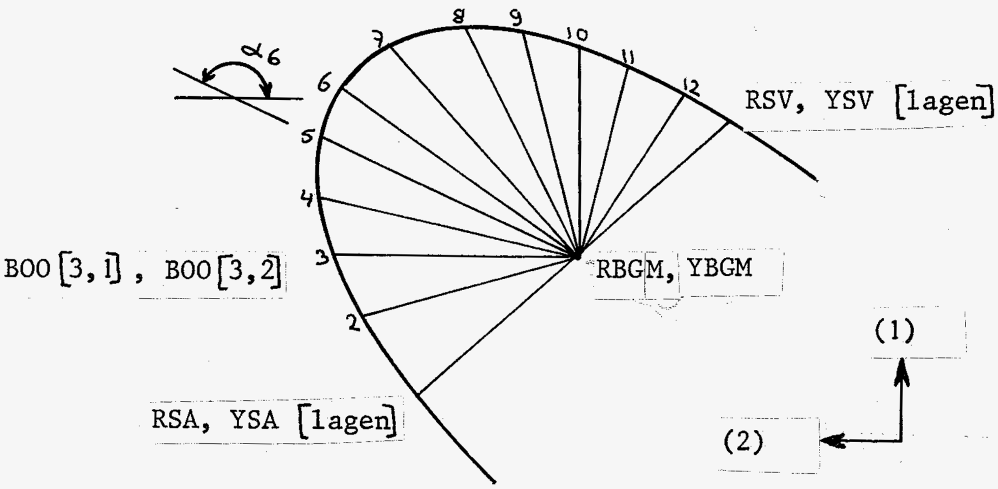
6.2.6.4 <u>Opbouw</u>

In knooppunten blad zijn vier fasen te onderscheiden.

<u>Eerste fase</u>: - dimensieloos meten van LLV, LLA, FF, TT
- maken van de arrays: GD [1:AP] : = (LV+LA)/2 (grootste dikte)
  LL [1:AP] : = LA-LV (profiellengte)
- LSS: = LL [1] /50 t.b.v. 2% vermindering aan de rand
- AP 2:= 2 * AP, nodig bij vinden van snijpunten op de rand, LV, LA
- LAGEN en SNIJ worden verdubbeld en zijn ~~door~~ dan het aantal lagen met knooppunten (-1; grensvlak telt niet mee).
- Bepalen van koëfficiënten van de 5e graads polynomen door de punten rijen van LV en LA, TT, GD en FF, t.b.v. SNIJPUNT.

Tweede fase: • Maken van grote lijnenwaaier:
- SNIJPUNT (RTOP, LL, I, AP, horizontaal) geeft YTOP
- SNIJPUNT (1, GD, 1, AP, horizontaal) geeft punt $h_1$
- SNIJPUNT (0,95, GD, 1, AP, horizontaal) geeft punt $h_2$
- lijnstukje $h_1$-$h_2$ geeft richtingskoëfficiëntenlijn door TOP naar POOL (zie figuur
- phi: = (phitop-phibas)/(LAGEN-1)
- SNIJPUNT (RPOOL, YPOOL, LL, 1,AP, phibas + n * phi) geeft snijpunten op LA, te noemen RSA, YSA [1: LAGEN]
- SNIJPUNT (RPOOL, YPOOL, LL, AP, AP2-1, phibas + h * phi), h=1, .... geeft snijpunten op LV, te noemen RSV, YSV [1:LAGEN]
- verminderen met LSS in de richting van de snijlijn.

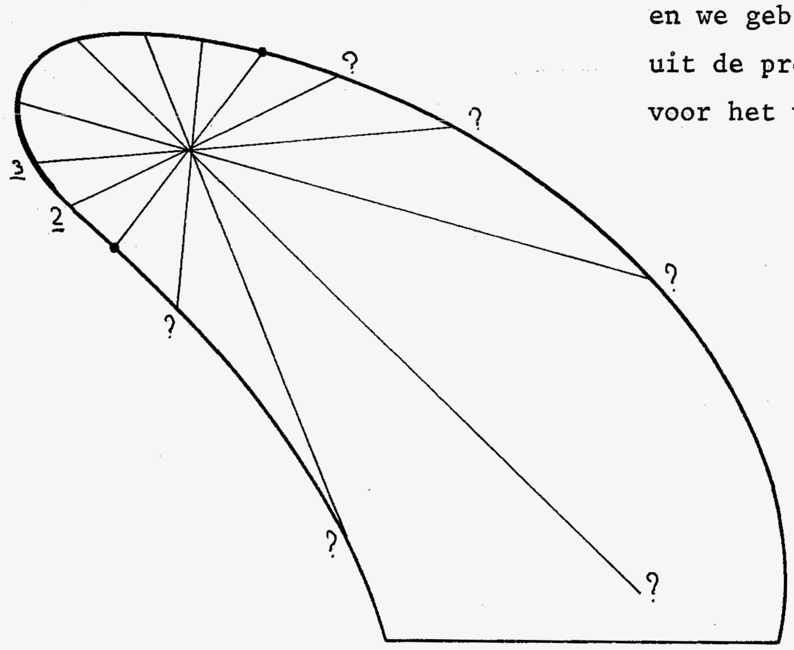
- Maken van lijnen waaier in de boog :
  - vinden van "boogmidden", RBGM, YBGM




- vinden van 11 ekstra punten op de boog:
  SNIJPUNT (RBGM,YBGM,LL,$\alpha_i$) geeft BØØ[i,1] , BØØ[i,2]

NB. Hoe wordt nu voorkomen, dat verkeerd snijpunt wordt gekozen? Zoals bij 6.2.5 is gezegd worden de (AP-2) stukjes op het blad kontour doorlopen vanaf de onderkant van de staartlijn, dus rechtsom.

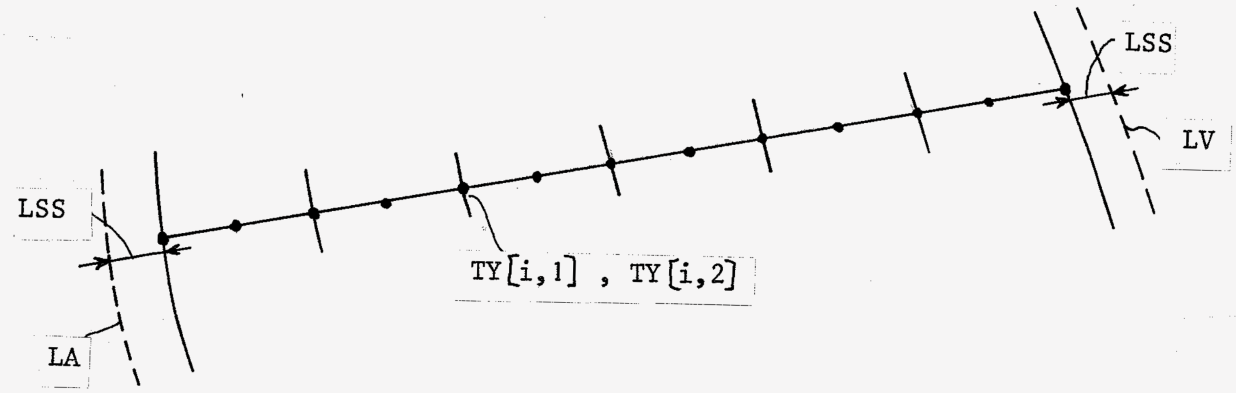
Snijpunt 2 wordt zonder gevaar gevonden en we gebruiken de daarbij gebruikte I uit de procedure snijpunt als startwaarde voor het vinden van 3 etc.



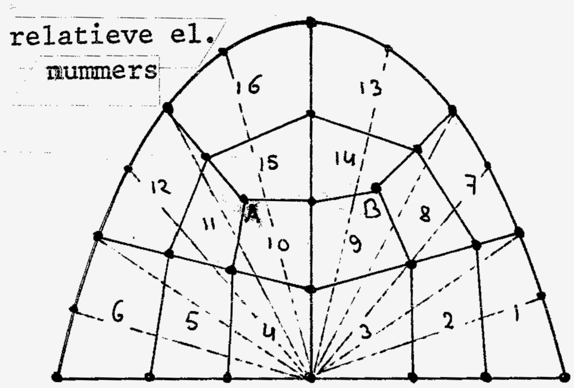
- verminderen van de boogpunten met LSS

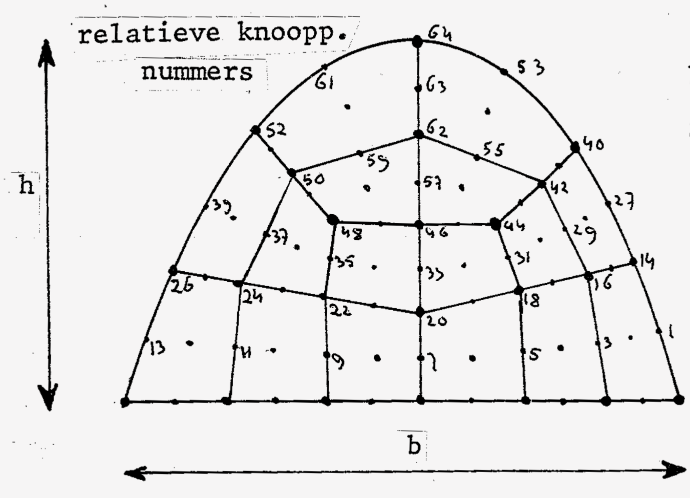
<u>Derde fase</u> Maken van verdere verdeling in het platte vlak

- in het LAGEN-gebied: de gevonden lijnstukken worden in twaalf stukken verdeeld. Gevuld wordt de rij ~~[illegible] (LAGEN+1)~~] TY [1: (LAGEN+1) $\ast$ 13, 1:2]




- in het booggebied: de topologie ligt vast. De plaats van de TOP (door middel van in te lezen RTOP) moet zo zijn gekozen, dat het booggedeelte ongeveer even hoog als breed is (zie figuur ), dan wordt de verdeling mooi.

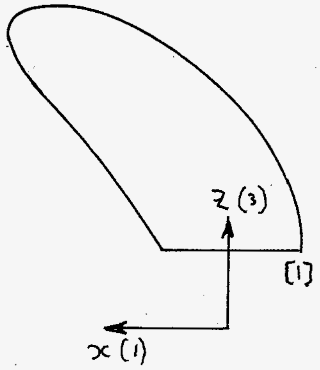


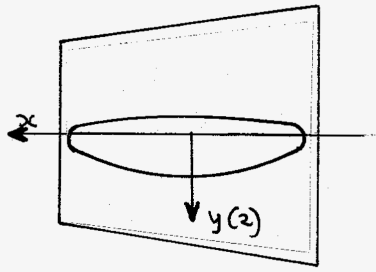



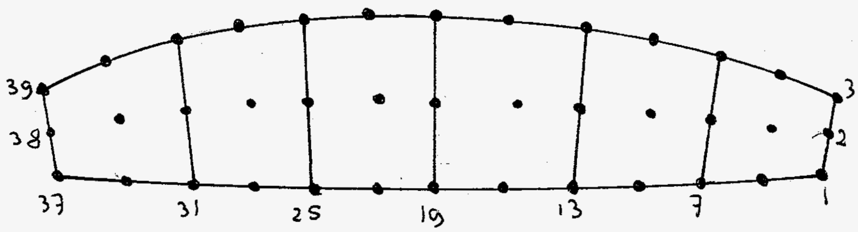

De twee punten A en B zijn de enige 2 plaatsen in het blad waar drie elementen bij elkaar komen. De daar ontstane hoeken hebben, bij een akseptabele b:h verhouding een redelijke grootte (een hoek van $\simeq 180^\circ$ zou een element doen ontaarden in een driehoekig element).
Gevuld wordt de rij TB [1:64, 1:2] volgens bijgaande nummering. Daarna wordt TB toegevoegd aan de rij TY [1:(LAGEN+1) $\ast$ 13+64, 1:2]

BL bevat hier dus tijdelijk alle knooppunten, dus ook die van de QUAB

<u>Vierde fase</u>: - vinden van de werkelijke knooppunten in de gestrekte versie
Gevuld wordt de rij BL[1:(LAGEN+2) × 39 + 64 × 3, 1:3] met de ~~z~~ x-as horizontaal en in het vlak van tekening, z-as langs de trekker, ~~x~~ y-as volgens rechterhand regel. Zie figuur
Knooppunt no. 1 ligt aan de voet en aan de neuszijde van het blad, aan de onderzijde van het profiel.
- Eerst PROFIEL voor het grensvlak




- Daarna voor het gehele blad. Voor elk punt uit de rij TY hebben we geïnterpoleerde waarden van LV,LA,TT en FF nodig. We gebruiken hiervoor <u>SNIJPUNT</u> met horizontale lijnen op hoogte TY[n,1].
- Voor het HEXEC-gedeelte worden "tussenpunten", zoals bijvoorbeeld op het grensvlak de punten, 2,5,8 etc. gevonden door middelen tussen boven- en onderpunt.
  BL bevat dan alle HEXEC knooppunten.
  in het QUABC 9-gedeelte (dus in het "gebied" LAGEN-SNIJ plus de boog) worden de arrays QF en QB gevuld, uit BL waarmee de lower resp. upper-geometriepunten van de QUABC 9 vastliggen.
  Let wel: QF beschrijft de bolle zijde van het profiel en dáár liggen de upper-geometriepunten van de QUABC 9.

QF

QB

## 6.2.7 Procedure bladtek

### 6.2.7.1 Inleiding

Bladtek vult de plotterfile "blad" zodanig, dat op een der beschikbare plotmachines een tekening gemaakt kan worden van de elementverdeling zoals die in de gestrekte versie tot stand is gekomen. Zie figuur op volgende bladzijde
Hiertoe is gebruik gemaakt van de op de TH beschikbare plotprocedures. In verband hiermee lijkt het niet erg zinnig om een uitgebreide explikatie te geven over de opbouw van de procedure bladtek. Het belang van de procedure is, dat aan de hand van de bladtek-figuur (eventueel na een aantal trials, waarbij de vrije parameters LAGEN, SNIJ, RTOP en RPOOL worden gevarieerd) de verdeling naar de wens van de gebruiker kan worden geoptimaliseerd.

### 6.2.7.2 Gebruiksaanwijzing

<u>Procedure</u> bladtek (BL, QF, QB, blad);
<u>array</u> BL, QF, QB [*,*] ; <u>file</u> blad;

#### 6.2.7.2.2 Globale parameters

<u>procedure</u> map (blad, X1, Y1, X2, Y2) legt de ruimte (in inches) op het papier vast X1, Y1: rechtsonder, X2, Y2 linksboven.

<u>procedure</u> definespace (blad, X3, Y3, X4, Y4) vertelt waar de punten (1) en (2) uit de "map" liggen in termen van het af te beelden plaatje.

<u>procedure</u> scalingfactors (blad, A1, A2) geeft de mogelijkheid om de punten (1) en (2) "op te blazen" of te verkleinen (zinnig bij gebruik plotter met andere papierbreedte).

<u>procedure</u> drawstraightlinepiece (blad, X5, Y5, X6, Y6, A3). Duidelijk. A3 geeft het lijntype.

<u>procedure</u> drawcurve 1 (blad, I, I1, I2, ARRAY I,1 , ARRAY I,2 , A3). Er wordt een (mooie) kromme getrokken door de punten van ARRAY[i,j] tussen $I_1$ en $I_2$.

<u>procedure</u> drawolygon. Analoog aan drawcurve, maar rechte lijnstukjes tussen de punten.

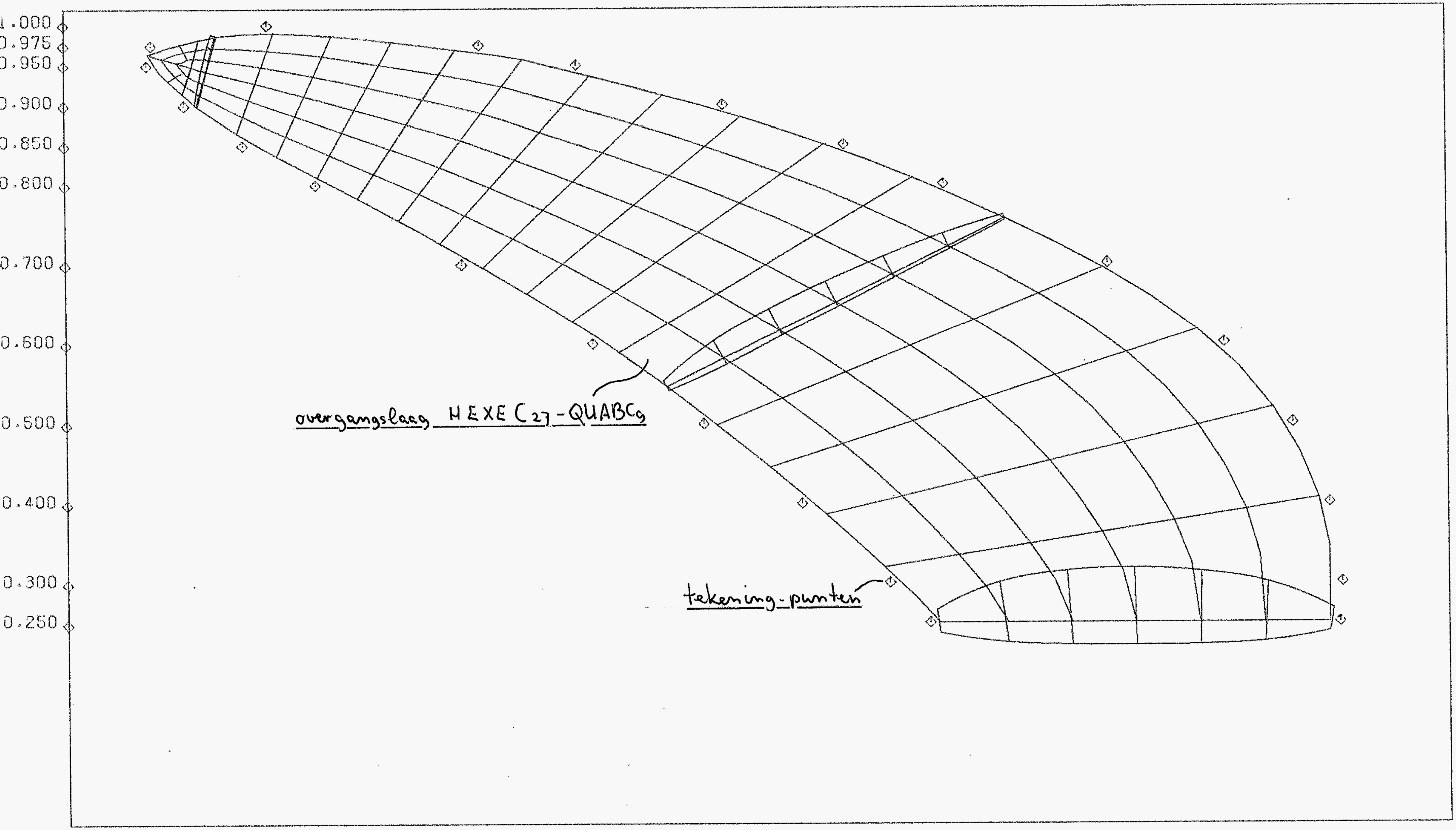
<u>procedures</u> drawpoint, realvalue en pencolor: duidelijk.

<u>procedure</u> closepicture (blad): afsluiting van het bij "map" geopende plaatje.

<u>procedure</u> lock(blad): de gevulde file wordt afgesloten en is voor bewerking gereed.

#### 6.2.7.2.3 Formele parameters: i = invoer, u = uitvoer variabele

(i) BL : array met HEXEC knooppunten
(i) QF : upper-geometriepunten QUABC 9
(i) QB : lower geometriepunten
(u) BLAD: tekenfile




elementverdeling gestrekte blad

#### 6.2.7.3 Achtergrond van de opbouw

Om de keuze van het aantal elementen in het LAGEN gebied en de plaats van overgang naar QUAB te kunnen overzien, zijn naast de "platte" versie ook een drietal dwarsdoorsnedes gegeven. De middelste ligt onder de koppellaag, de bovenste op de grens van het LAGEN-gebied en de BOOG.

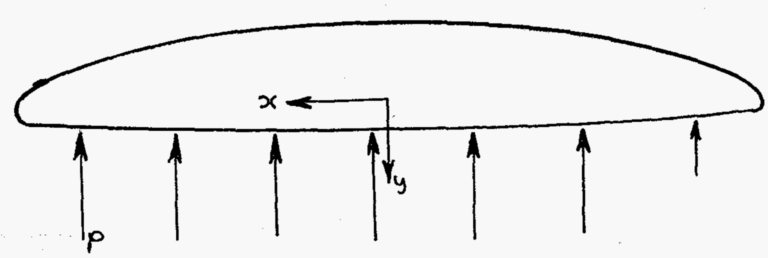
#### 6.2.7.4 De opbouw

Eerst wordt een procedure curve (n1, n2, n3, RY) gedeklareerd, welke in staat is om door de punten n1, n2 en n3 een (2e graads) kromme te tekenen. Daarna wordt het papierformaat en het af te beelden deel van het x-y-vlak gedeklareerd (NB Bij een realistische afbeelding zit in de definities van map en definespace eenzelfde lengte-breedte verhouding).
Vervolgens wordt de gestrekte versie getekend, gebruikmakend van de punten BL [1+k * 3,i] en QB [1,i]. Daarna de dwarsdoorsnedes en een aantal punten: de ingelezen waarden voor de neuslijn en de staartlijn (LV, LA).

### 6.2.8 Procedure BQHYDRO

#### 6.2.8.1 Inleiding

Een tweede procedure die de koördinaten van de knooppunten in de gestrekte versie nodig heeft, is BQHYDRO, die de hydrodynamische belastingsgrootheden produceert in ASKA-formaat, voor zowel de HEXEC's als de QUABC 9's.
Het gebruikte model is zeer eenvoudig: op een bepaalde hoogte in het blad heerst een drukverschil tussen voor- en achterzijde van het blad, welke konstant is voor het gebied neus - 80% (NS-lijn), en daarna lineair naar nul gaat op de plaats van de staart. Zie 4.3.
Voor beide elementtypen beschikt ASKA middels de processor BQ over de mogelijkheid voor het introduceren van drukbelasting aan (minstens) een der oppervlakken. De processor BQ vertaalt de per knooppunt opgegeven ter plaatse heersende druk, zo goed mogelijk in knooppuntskrachten. Zie ook bijlage E.
De procedure BQHYDRO moet derhalve voor elk knooppunt de ter plaatse heersende hydrostatische druk berekenen. We nemen hiervoor de knooppunten van de onderzijde, en noemen drukken in de richting van het profiel positief (De fout die we maken, doordat we de druk normaal op de NS-lijn berekenen, maar normaal op de onderkontour "afzetten" is in 4.3 besproken).



6.2.8.2 Gebruiksaanwijzing

6.2.8.2.1 procedure heading

```
procedure BQHYDRO (BL, QF, QB, TOER, VSCHIP, PSI, PR, BET, BETI, CIRC, VSV);
          value TOER, VSCHIP, PSI, PR;
          array BL, QF, QB [*,*],
                BET, BETI, CIRC, VSV [*] ;
          real PSI, PR;
          integer TOER, VSCHIP.
```

6.2.8.2.2 Globale parameters

procedure spline, zie 6.2.3

procedure snijpunt, zie 6.2.5

6.2.8.2.3 Formele parameters (i= invoer)

| | |
|---|---|
| (i) BL, QF, QB | : de arrays die de knooppunten van HEXEC en QUAB bevatten. |
| (i) TOER | : toerental van de schroefas, om/min |
| (i) VSCHIP | : scheepssnelheid in knopen |
| (i) PSI | : gemiddeld volgstroomgetal (dimensieloos) |
| (i) PR | : drukkoëfficiënt volgend uit keuze NACA-profiel (bij 0.8:1.111) |
| (i) BET, BETI [1:AP] | : aanstroomhoeken $\beta$ en $\beta_i$ in te lezen in booggraden |
| (i) CIRC [1:AP] | : cirkulatie |
| (i) VSV [1:AP] | : volgstroomverdeling |

6.2.8.3 Achtergronden van de opbouw

De drukverdeling wordt beschreven met behulp van een drukkoëfficiënt te noemen CPR, die een funktie is van de straal, de cirkulatie, het toerental, het volgstroomveld, de profiellengte en het verschil van $\beta_i$ en $\beta$. De gebruikte formule luidt: (met CPR gerelateerd aan de diskrete tekeningsstralen, dus $1 \leqslant j \leqslant AP$).

$$CPR[j] = \frac{CIRC[j].n.d^2.(104.5)\sqrt{V_a{}^2 + (\pi.n.d.RR[j]\ )^2}}{\cos\ (\beta_i[j] - \beta[j]\ ).(3.6).(0.278)(LL[j].str).}$$

waarin:

n : toerental/sec, in het programma: toers

d : diameter schroef, in het programma STR * 2

LL[j] : profiellengte, LLA[j] - LLV[j]

$V_a$ : hulpfaktor, $V_a$ = VSV[j] * (1-psi) * VSCHIP [m/s]

6.2.9.2.2 Globale parameters

**procedure** spline, zie 6.2.3

**procedure** snijpunt, zie 6.2.5

6.2.9.2.3 Formele parameters i = invoergrootheid, u = uitvoer

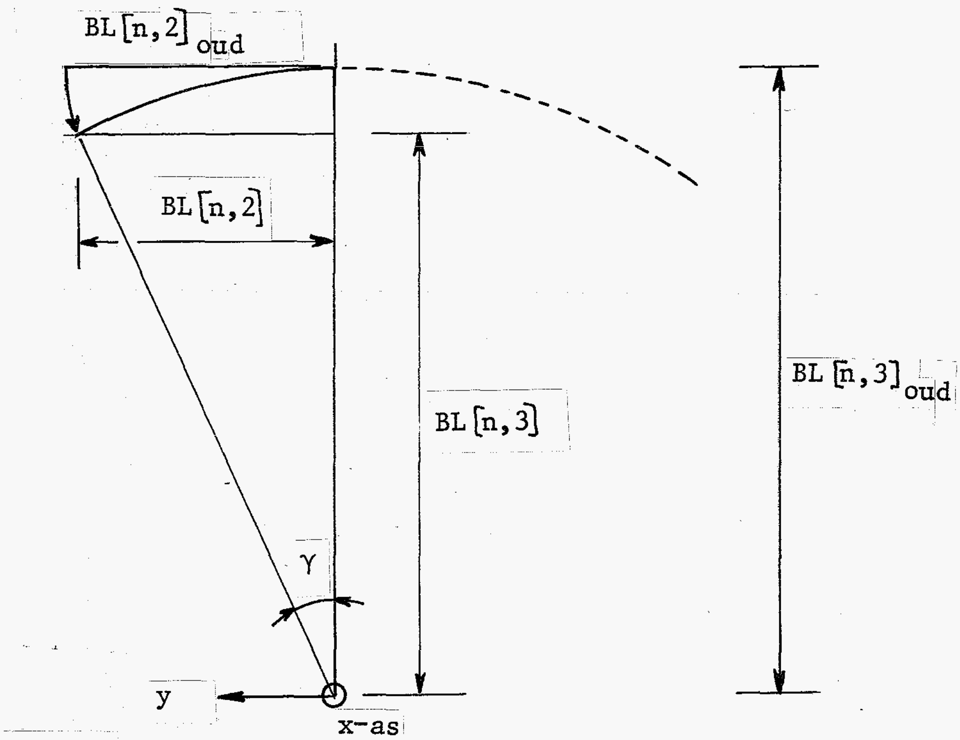
| | |
|---|---|
| (i)(u) BL, QF, QB | : de te transformeren knooppuntskoördinaten-arrays |
| (i)PRI[1:AP] | : de opgegeven diskrete spoed-waarden |
| (i) RR[1:AP] | : de tekeningstralen |
| (i) RAKE | : de rake in booggraden (naar achteren is positief) |

6.2.9.3 Achtergrond van de opbouw

De transformaties geschieden in de bekende voorgeschreven volgorde, eerst de spoed, dan de rake, en vervolgens het kromzetten.

6.2.9.4 De opbouw

Na spline (PPI) wordt het aantal booggraden rake vertaald in een tangens, genaamd RAK. Dan wordt voor de rijen BL, QF en QB afzonderlijk per knooppunt de spoedhoek $\phi$ bepaald, de rotatie ($\phi$) en translatie BL[n,3] $*$ RAK uitgevoerd en daarna met behulp van hoek $\gamma$ op afstand BL $[n,3]_{oud}$ van de as van rotatie (x) gebracht. Zie figuur




Het "krom"zetten van knooppunten in het blad.

6.2.10 Procedure NPCOOTOPPUNCH

Deze procedure genereert de topologie van het blad en de knooppuntskoördinaten in ASKA-formaat naar wens op ponskaart en/of de regeldrukker. (Als deze procedure gebruikt wordt na procedure knooppuntenblad, ontstaat eveneens een listing, welke bruikbaar is (geweest) ter kontrole in de ontwikkelingsfase). Gebruik, opbouw en achtergrond zijn te voor de handliggend om in detail te worden behandeld. Voor de eisen die aan een korrekte TOPOLOGIE-deklaratie worden gesteld zie de ASKA-manual.

6.2.11 Procedure KOPPELGEG

6.2.11.1 Inleiding en achtergrond

Deze procedure genereert de gegevens die nodig zijn voor het koppelen van net 13 aan net 14, de HEXEC-elementen aan de QUAB-elementen. Deze gegevens bestaan uit:

1. topologische informatie:
   a. welk HEXEC-knooppunt zit aan welk (upper-) geometriepunt van de QUABC 9-verdeling,
   b. welke punten een ROTATED BASIS krijgen.

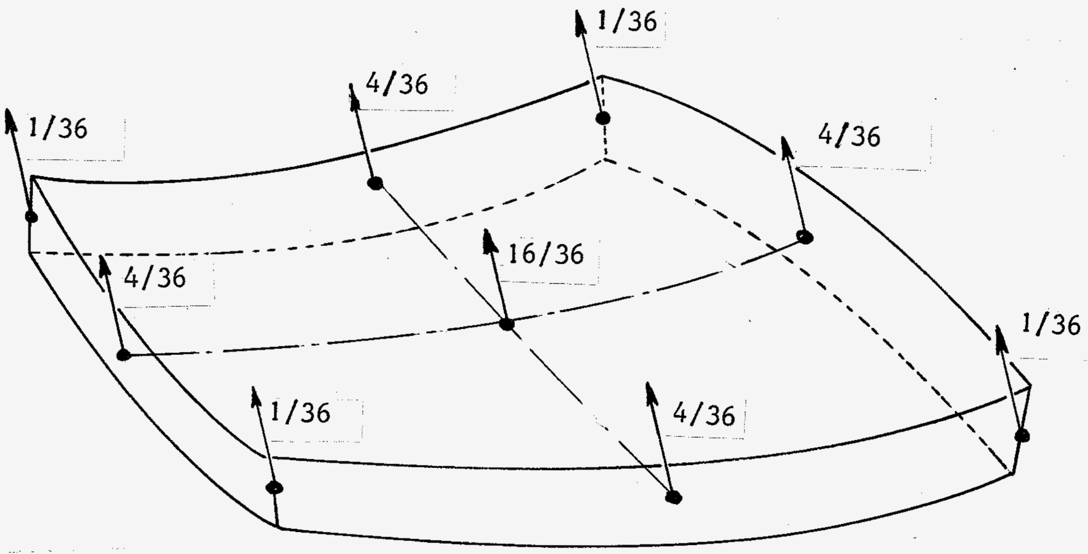
   Dit zijn dezelfde punten als die onder a. dus zowel de HEXEC-koppelpunten als de QUABC 9-koppelpunten krijgen een nieuw assenstelsel.
2. de data behorende bij de ROTATED BASIS deklaratie. Hiervoor wordt zowel voor de QUABC 9 als de HEXEC-knooppunten de rijen QF en QB gebruikt. Zie verder Appendix D.

De opbouw en gebruiksaanwijzing van ook deze procedure is eenvoudig.

6.2.12 Procedure BQMASSA

6.2.12.1 Inleiding

Bij gebrek aan de mogelijkheid om met behulp van ASKA-processor BQ volumekrachten in rekening te brengen bij het elementtype QUABC 9, is door van Beukering (Appendix E) een procedure ELMAKRA geschreven, die voor het QUABC 9-element massakrachten (per knooppunt) ten gevolge van rotatie in rekening brengt. Slordig gezegd komt dit neer op het volgende:
De verdeling van de totale kracht op een element over de 9 knooppunten geschiedt volgens onderstaand patroon; d.w.z. elk knooppunt "krijgt" de aangegeven fraktie van het totaal.




Het slordige van de uitspraak schuilt in 2 aspekten:

1. De gesuggereerde verhouding 1:4:16 geldt slechts voor een blokvormig schaalelement van konstante dikte met vierkant boven- en ondervlak. De genoemde procedure kompenseert de bijdragen aan de hand van (een benaderende) berekening van het volume van elk kwart van het element.
2. De getekende vektoren zijn alle negen evenwijdig. Dit geldt uiteraard slechts voor parallelle krachtvelden, zoals b.v. de zwaartekracht. In ons geval van centrifugaalkrachten wordt de grootte en de richting mede bepaald door de afstand van het knooppunt tot de as van rotatie de x-as.

Voor de achtergrond en de opbouw van ELMAKRA zij verder verwezen naar Appendix E.

6.2.12.2 ELMAKRA, <u>gebruiksaanwijzing</u>

6.2.12.2.1 <u>procedure heading</u>

<u>procedure</u> ELMAKRA, (QB, QF, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7, n8, n9, KR);
    <u>value</u> n1 t/m n9
    <u>integer</u> n1 t/m n9
    <u>array</u> QB, QF, KR[*,*]

6.2.12.2.2 <u>Globale parameters:</u> zie Appendix E

6.2.12.2.3 <u>Formele parameters:</u> (i: invoer , u: uitvoer)

(i) QB, QF : de QUABC 9 knooppuntskoördinaten arrays

(i) n1 t/m n9 : de 9 knooppunten (in "ASKA-volgorde"!) van het te behandelen element

(u) KR[*,*] : knooppuntskrachtenvektor array, waarbij:
KR[n,2] : komponent van knooppunt n in y-richting
KR[n,3] : idem, z-richting (x-as: as van rotatie)

6.2.12.3 BQMASSA, gebruiksaanwijzing

6.2.12.3.1 procedure heading

procedure BQMASSA (BL, QF, QB, out);
    array BL, QF, QB [*,*];
    file out

6.2.12.3.2 Globale parameters: ELMAKRA, zie Appendix E.

6.2.12.3.3 Formele parameters:

(i) BL, QF, QB [*,*] : de HEXEC en QUAB knooppuntenkoördinaten arrays

(u) out : de uitvoer file

6.2.12.4 BQMASSA, opbouw

Naast het berekenen van knooppuntskrachten voor de QUABC 9-elementen, genereert BQMASSA eveneens:

1. de data voor de processor BQ, ten behoeve van net 13 (de HEXEC-elementen) betreffende de massakrachten (filenaam: BQIN)
2. de data, die gevonden zijn in ELMAKRA, omgezet in ASKA-formaat (filenaam: NPBR, dus "gewone" knooppuntskrachten invoer).

Ad 1

Per element wordt ELMAKRA aangeroepen; het array KR wordt suksessievelijk gevuld, de meeste knooppunten op de randen van de elementen krijgen een aantal malen een bijdrage. Daarna wordt KR uitgevoerd in ASKA-formaat.

Ad 2

Om massakrachten bij de HEXEC-elementen te introduceren verlangt de processor BQ voor elk van de 8 hoekpunten van elk element drie (in ons geval 2) komponenten van een vektor die een maat is voor de kracht per volume-eenheid. Net als bij ELMAKRA kiezen we hiervoor de afstand tot de x-as.

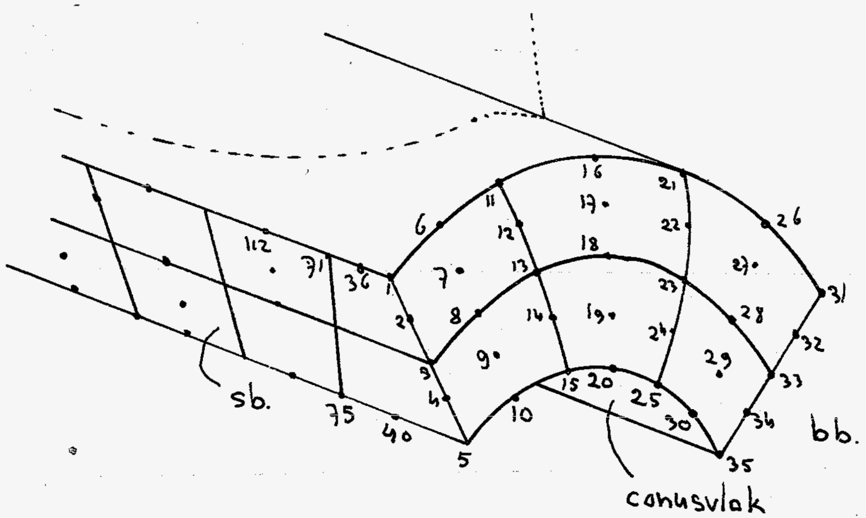
## 6.3 Het naafprogramma

### 6.3.1 Inleiding

In tegenstelling tot het blad ligt de topologie van de naaf (en de as) volledig vast. Het naafprogramma is hierdoor, en door het ontbreken van te genereren belastinggrootheden, eenvoudiger. Het levert de volgende data:

1. de koördinaten van de 673 knooppunten (NPCO) van de 52 HEXEC-elementen
2. ROTATED BASIS-informatie over de te koppelen punten op zijvlakken en conus-vlak.

(De onveranderlijke topology is uiteraard buiten het programma bepaald).
Ook dit programma bestaat uit de deklaratie van een aantal procedures, een read statement en de aanroep van de procedures. De data-invoer beslaat een 25-tal getallen.
De voor het blok gekozen nummering komt voort uit de rekentechnische wens om de grootste verschillen in knooppuntnnummers per element zo klein mogelijk te houden. Nummeren "over de kleinste dwarsdoorsneden" is derhalve aan te bevelen. De nummering wordt gedeeltelijk zichtbaar in onderstaande figuur.



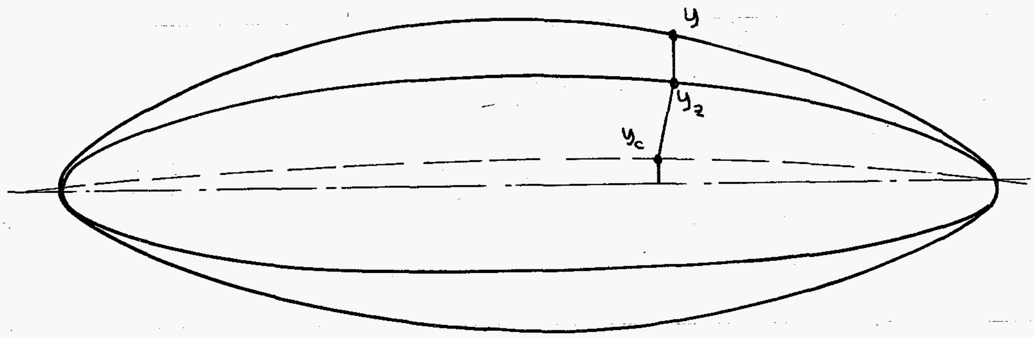

In de heading van het naafprogramma worden de groepen van knooppuntnummers die vaak in het programma gebruikt worden, even apart gedefinieerd: voetp, en grensp.

## 6.3.2 Procedure Profiel

### 6.3.2.1 Inleiding

(deze is nl. ⊥ skeletlijn)

Deze procedure is analoog aan die van het bladprogramma, maar bevat een uitbreiding daarop om de afronding aan de bladwortel te kunnen beschrijven. Deze afronding is, in tegenstelling tot de dikteverdeling, gedefinieerd loodrecht op de neus-staartlijn. Zie bijgaande figuur. Die extra bijdrage aan de waarden yB en yO is verschillend voor boven- en onderkontour en tevens een funktie van x volgens onderstaande formule:




$$y = y_{zonder} \pm AA.\ \sqrt{\{1-(2x-1)^2\}^3}$$

waarin AA de voor boven- c.q. onderrand geldende maximale waarde.
In het programma is eerst sprake van xZB, yZB, xZO, yZO, later worden deze met behulp van AB resp. AO veranderd in xB, yB, xO, yO.

## 6.3.3 Procedure Knooppunten naaf

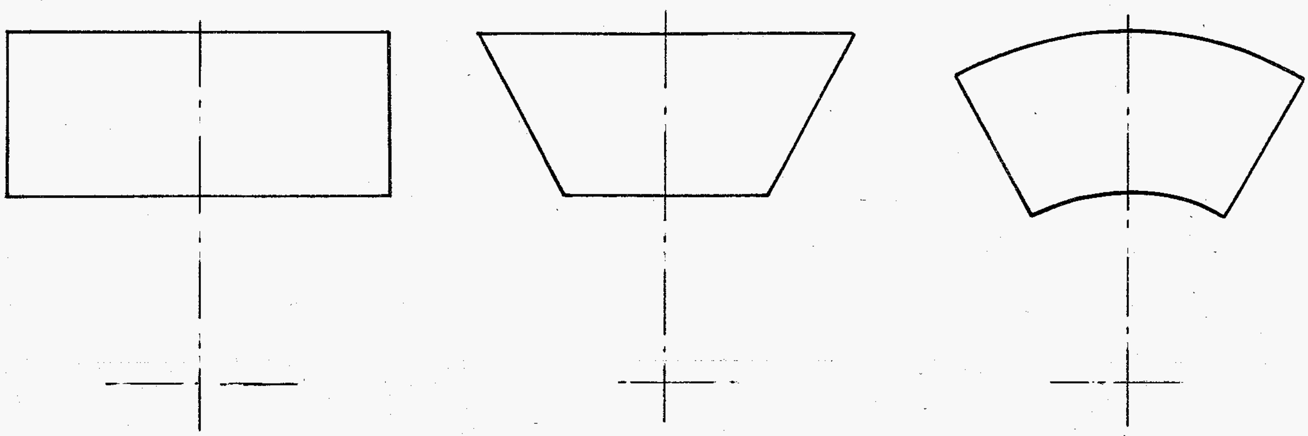
### 6.3.3.1 Inleiding

Deze procedure is de hoofdmoot van het naafprogramma. Het vult suksesievelijk het knooppuntenarray NA[1:673, 1:3].
Er is dankbaar gebruik gemaakt van een fiktieve tussenfase: een (scheef) blokvormig lichaam, waarin aan de bovenzijde de bladwortel wordt geformeerd. Als referentiemaat voor het blok wordt de straal RNT gebruikt (straal-naaftrekker) en de daarbij behorende spoed PIV (pitch voetvlak)
Het transformeren naar de werkelijke vorm wordt gedaan in de procedure echte naaf, en bestaat uit twee fasen:

1. het brengen in trapeziumvorm. De y-waarde van elk knooppunt wordt geschaald tegen de verhouding van de bij dat punt behorende x-waarde en de x-waarde van het referentievlak, t.w. RNT.

2. Het kromzetten van de trapeziumvorm, analoog aan de bewerking in het blad.

De beide transformaties zijn geïllustreerd in onderstaande figuur.



dus inclusief bijdrage t.g.v. afronding v. bladcontour

Door de gekompliceerde opbouw van de in het voetvlak gelegen bladkontour is het noodzakelijk om iteratief snijpunten te vinden met de rechten, zoals die in de verdeling zijn getekend.
Dankzij de blokvorm wordt het regelmatige patroon van het conusvlak en de door middel van middelen te vullen tussenvlakken eenvoudig gegenereerd.

### 6.3.3.2 Gebruiksaanwijzing

- *Formele parameter*: de rij NA [1:673, 1:3] , te vullen door de procedure zelf.
- *Globale parameters*:

  *procedure* profiel: zie 6.3.2

  *procedure* mid (n1, n2, nm, I); (mid is opgenomen in *knooppuntennaaf*)

  *value* n1, n2, nm, I

  *integer* n1, n2, nm, I

  *mid* middelt koördinaten van de punten n1 en n2 van de rij NA.
  Met I op 1, 2 of 3 wordt dit gedaan voor resp. de x-koördinaat de x- en y-koördinaat, of voor alle drie.
  Dus: mid(16, 20, 17,2) doet:
  'for'i = 1,2 do NA[17,i] : = (NA[16,I] + NA[20,I])/2.

<u>procedure</u> zes (n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7); (opgenomen in <u>knooppuntennaaf</u>)

<u>value</u> n1, n7

<u>integer</u> n1 t/m n7

<u>zes</u> geeft aan NA[n2 : n6, 1:2] waarden, zodat de knooppunten n1 t/m n7 op gelijke afstand (op een rechte) komen te liggen.

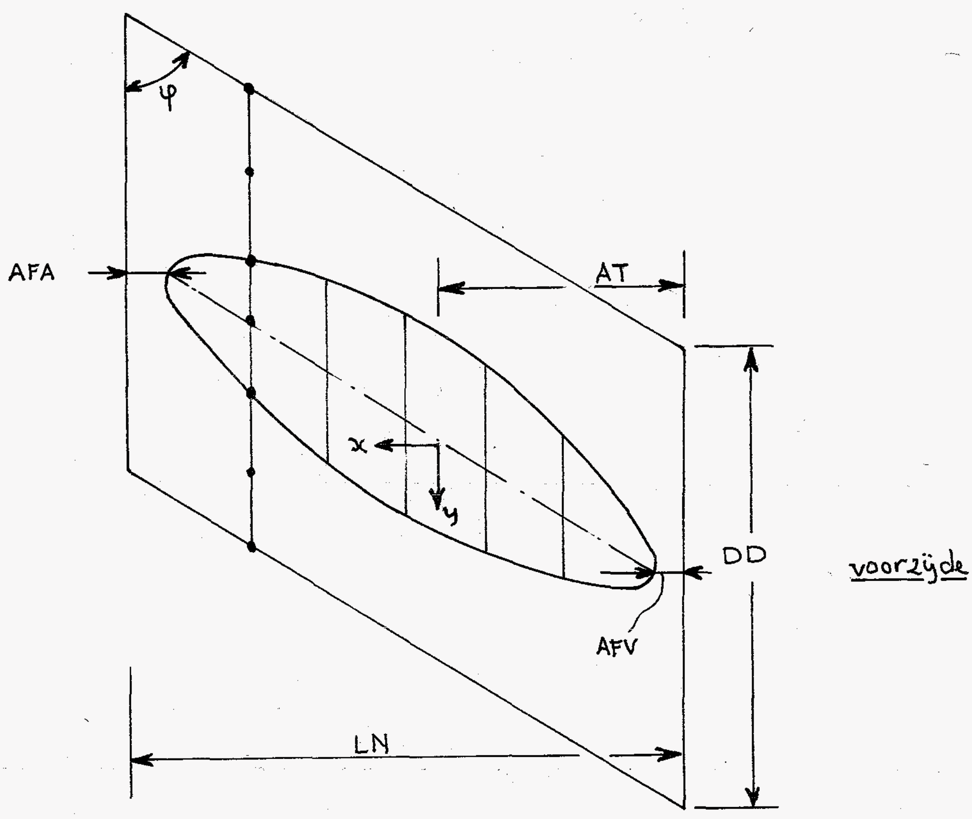
6.3.3.3 <u>De opbouw</u>

Na de deklaratie van de variabelen en de procedures <u>mid</u> en <u>zes</u>, volgt de procedure, opgedeeld in vijf fasen, welke achtereenvolgens worden beschreven.

<u>Fase 1</u>:

Voorbereidend werk. RAK is de tangens van de opgegeven RAKE hoek. PHI is de scherpe hoek van het blok, de spoedhoek op straal RNT. Zie onderstaande figuur, waar ook diverse andere parameters staan aangegeven.

Zoals bekend is een eis aan de verdeling in het voetvlak (en daaronder) te stellen: elk punt aan de bovenrand moet zijn overeenkomstige hebben aan de onderrand.

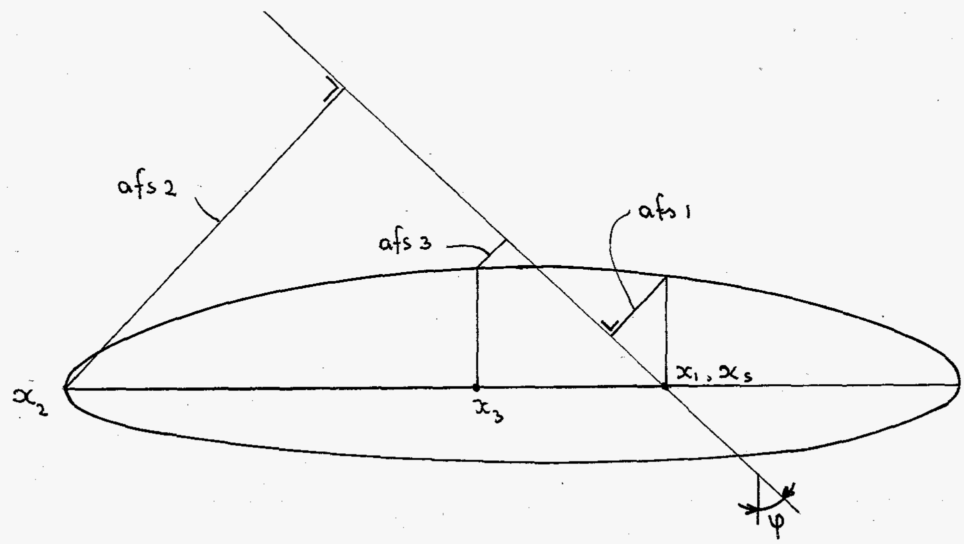



De parameters PERCV en PERCA zijn een maat voor het percentage wat aan de neus resp, staart van het profiel niet wordt meegenomen in de verdeling, analoog aan de aanpak in het bladprogramma

De in PROFIEL benodigde parameters worden geschaald.

Fase 2:

De knooppunten op en in het voetprofiel worden gevonden met behulp van een Regula Falsi-achtige iteratieproces. We zoeken 2×13 snijpunten met de dertien evenwijdige lijnen. In onderstaande figuur is een lijn getekend, alsmede de attributen van de eerste iteratieslagen. Per slag berekenen we de afstand van het (door een x-waarde) gevonden punt op de kontour, tot de rechte. Deze vergelijken we met een stapkriterium EPS, en daarna met het teken van de afstand van de vorige slag. Is dit verschillend dan wordt een nieuwe x genomen, die het (met de bijbehorende afstanden gewogen) gemiddelde is van de twee voorlaatste x-waarden.



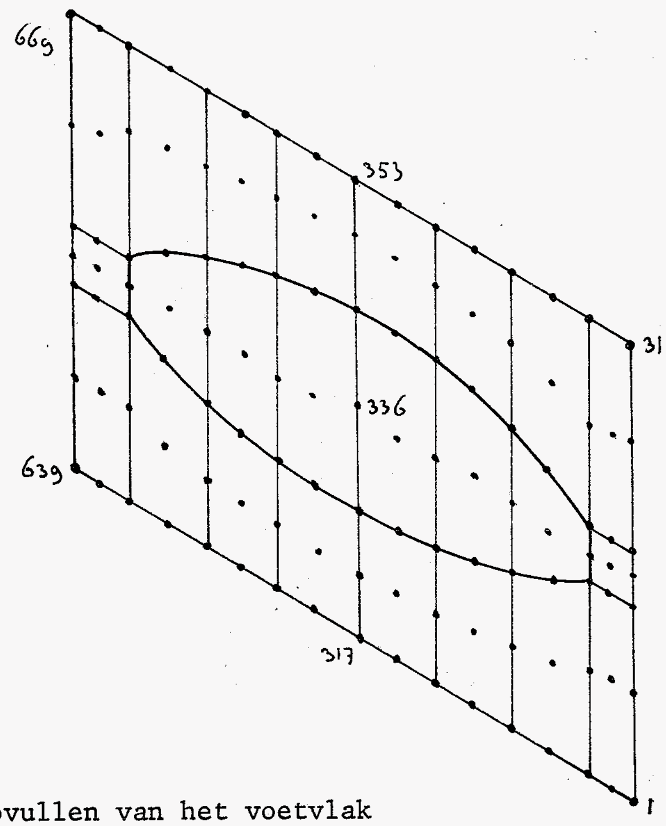

Het vinden van snijpunten met het profielkontour.

De konvergentie is bescheiden, maar het proces is stabiel. Als startwaarden worden gekozen het snijpunt van de rechte met de x-as en het punt x=1 (voor de bovenkontour), resp. x=0 (voor onder).
De eerste punten van het voetvlak zijn hiermee gevuld. De punten 90, 131 etc. 2e bijlage I worden gevonden met behulp van MID.
Vervolgens gaan we over op het definitieve assenstelsel: de oorsprong in het snijpunt van de trekker met de as van rotatie, de x-as naar achteren wijzend en de z-as vertikaal omhoog, gelijk aan dat van het blad.

Fase 3:

Op basis van de positie van punt 336 wordt de ruit rondom de profielkontour dusdanig geplaatst, dat de elementen boven en onder het profiel ongeveer even groot worden: 353 en 317 komen op gelijke afstand (DD/2) van 336.
De positionering in lengterichting (=langs de x-as) ligt vast door de ingelezen positie van het voetprofiel t.o.v. de z-as (de parameters LVV, LAV:

lengte-voor-voetvlak, lengte-achter-voetvlak).
Voor de betekenis van AFA en AFV zie de figuur op blz. 6.27

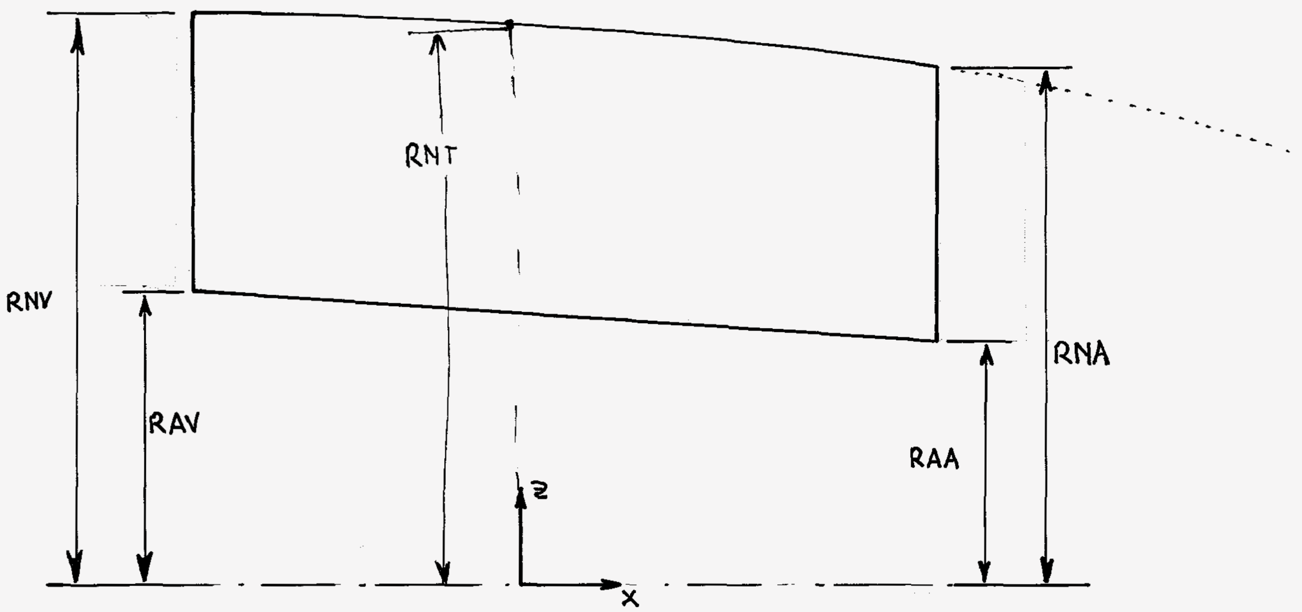



Opvullen van het voetvlak

Fase 4:
Het conusvlak wordt gevuld. Steunpunten: de vier hoekpunten, die dezelfde x- en y-koördinaten hebben als de hoekpunten van het voetvlak. Het patroon is regelmatig, het opvullen is eenvoudig: na het vullen van de lange zijden worden met ZES de tussenliggende punten gevonden.

Fase 5:
De knooppunten van voet- en conusvlak krijgen een z-waarde. Het voetvlak is bij benadering een paraboloïde of een kegel. In de gestrekte versie, zoals de beschouwde blokvorm, wordt de parabool die de doorsnede vastlegt, bepaald door de punten RNV, RNT en RNA. Zie de figuur.* Elk punt van het voetvlak van het blok krijgt derhalve de bij de parabool horende z-waarde. Zie de figuur.

blz 6.30




z-waarden voor de punten van het blok

Is het voetvlak een deel van een kegel dan ontaardt de parabool in een rechte; dit levert geen probleem. De middenpunten uit het profiel komen wat lager te liggen in verband met de anders te verwachten te scherpe hoeken, zoals getekend in figuur 21 in paragraaf 3.4.
Het conusvlak is een deel van een kegel, de per knooppunt van het conusvlak toe te schrijven z-waarde is lineair afhankelijk van x.
De drie koördinaten van de punten van de drie tussenvlakken worden gevonden met behulp van MID (n, n+4, n+2, 3) etc.
Alle knooppunten van het blok hebben nu een x, y en z-koördinaat.

### 6.3.4 Procedure echte naaf

#### 6.3.4.1 Inleiding

Het motief om de transformaties van de blokvorm naar de werkelijke vorm van de naafsektor te doen in een aparte procedure is, dat tussentijds de koördinaten kunnen worden gekontroleerd: uit te voeren door middel van de procedure NPCOPUNCH of te tekenen door middel van procedure PLOTVOETVLAK. Naast de genoemde transformaties wordt in ECHTE NAAF ook het grensvlak (de aansluiting met het blad) en het vlak tussen grensvlak en voetvlak gevuld.

#### 6.3.4.2 Gebruiksaanwijzing

- Formele parameter: de rij NA[*,*] , het knooppuntenarray.

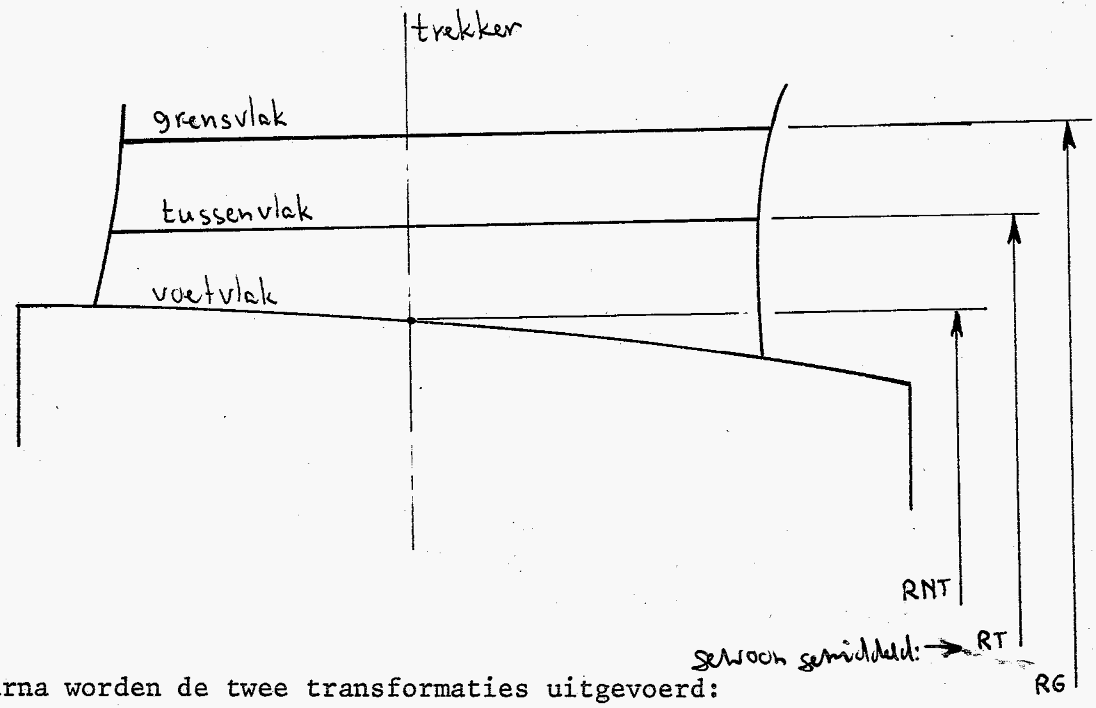
#### 6.3.4.2 Opbouw

Eerst wordt het grensvlak gevuld op dezelfde wijze als in de procedure knooppuntenblad. Spoed en rake worden geïntroduceerd en de tussenpunten worden gevonden met MID.

Het tussenvlak wordt eveneens gevuld door de koördinaten van het grensvlakprofiel en voetvlakprofiel te middelen.
De koördinaten van het tussenvlak worden "gewogen gemiddeld" en wel op de volgende manier:

$$x_{tussenvl.} = (2\, x_{grensvl.} + x_{voetvl.})/3, \text{ en}$$

$$y_{tussenvl.} = (2\, y_{grensvl.} + y_{voetvl.})/3.$$




Daarna worden de twee transformaties uitgevoerd:
introduktie van trapeziumvorm en kromzetten van het blok.

### 6.3.5 Procedure NPCOPUNCH

Deze procedure genereert de 673 knooppunten en hun bijbehorende koördinaten in ASKA-formaat op ponskaart, of op de printer. Zoals gezegd is NPCOPUNCH ook te gebruiken ter kontrole van de procedure KNOOPPUNTEN NAAF, en wordt in dat geval dus aangeroepen vóór ECHTE BLAD.

### 6.3.6 Procedure ROTATED BASIS

#### 6.3.6.1 Inleiding

De punten die een geroteerd assenstelsel moeten krijgen zijn:

1. de punten op het conusvlak
2. de punten op de zijvlakken

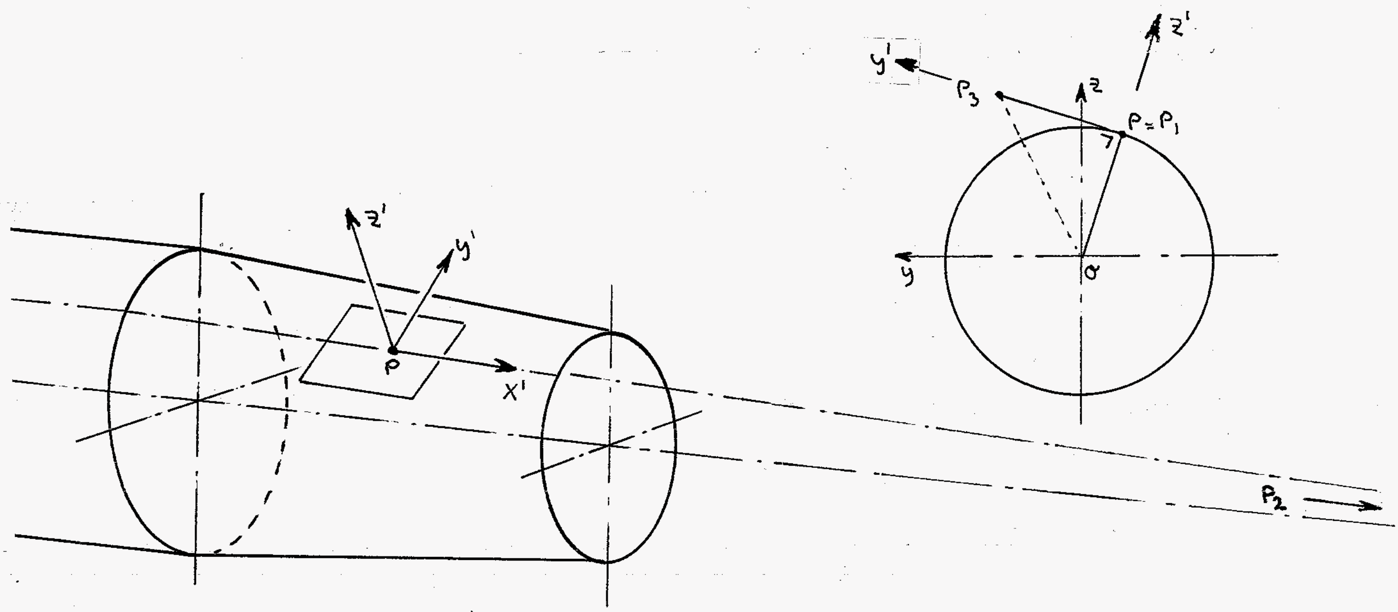
Ad 1: het conusvlak

Doel van het nieuwe assenstelsel is tweeledig:

a. we zijn, zoals in paragraaf 4.2 duidelijk wordt gemaakt, geïnteresseerd in knooppuntskrachten en verplaatsingen in het raakvlak van elk conusknooppunt aan de conus en loodrecht daarop.

b. de bij de conuspunten van de assektor in te lezen voorgeschreven verplaatsingen worden doorzichtiger, als het assenstelsel per punt zo gekozen wordt, dat één as loodrecht op het oppervlak staat.

We leggen de oorsprong van het nieuwe stelsel in het betroffen punt, de x-as wijst naar de conustop, de y-as daar loodrecht op en rakend aan de cirkelvormige doorsnijding van de as ter hoogte van de x-waarde van het knooppunt. Zie onderstaande figuur.




De z-as staat dan normaal op het oppervlak.

In ASKA moeten ter bepaling van het nieuwe assenstelsel drie punten worden opgegeven $P_1$, $P_2$, $P_3$ en wel zo dat:

de lijn $P_1 \rightarrow P_2$: nieuwe x-as

de lijn $P_1 \rightarrow P_3$: nieuwe y-as

en de z-as loodrecht op het x-y-vlak, volgens de rechterhand regel.

(eigenlijk is de definitie iets ruimer, we gaan hier niet op in).

$P_1$ ligt in het betroffen knooppunt i, dan nemen we $P_2$ in de conustop (waarvan de x-waarde vooraf berekend wordt) en $P_3$ op een afstand van $P_1$ gelijk

aan de straal van $P_1$. (Dit levert een makkelijk te berekenen positie van $P_2$; het punt mag natuurlijk elders op die lijn worden gekozen). Zie de figuur.
Dit doen we voor alle punten op het conusvlak. We krijgen:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| knooppunt i: | $P_1$ | NA[i,1] | NA[i,2] | NA[i,3] |
| | $P_2$ | [CONUSTOP] | 0. | 0. |
| | $P_3$ | NA[i,1] | NA[i,3]+NA[i,2] | NA[i,3]- NA[i,2] |

Ad 2: de zijvlakken

Doel van ROTATED BASIS voor de zijvlakpunten is: het introduceren van dezelfde assenstelsels voor elk paar knooppunten die in het net 1001 worden gekoppeld. Zie Appendix C, laatste paragraaf. De voorwaarde die hieruit voortvloeit is: verdraaien van assenstelsel, zodat de z-as loopt door het knooppunt en de x-as onveranderd blijft. De y-as ligt dan weer vast. We krijgen:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| knooppunt i: | $P_1$: | 0. | 0. | 0. |
| | $P_2$: | 100. | 0. | 0. |
| | $P_3$: | 0. | NA\|i,3\| | -NA[i,2] |

## 6.4 Het as-programma

### 6.4.1 Inleiding

Dit programma is eenvoudig, dankzij het zeer regelmatige patroon in de elementverdeling. De topologie ligt vast en is "met de hand" gemaakt.
Door het programma wordt gegenereerd:

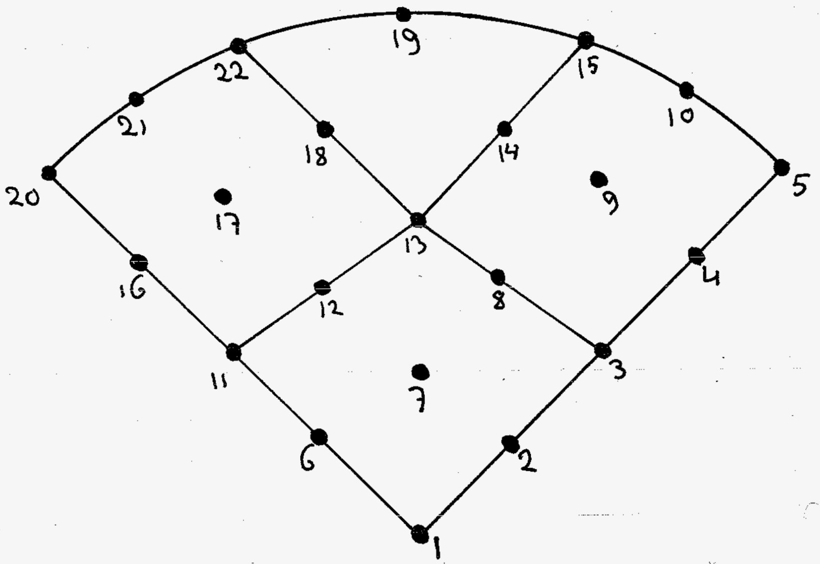
1. NPCO van net 11, de as
2. ROTB data voor de komponenten en de zijvlak-punten
3. USRP, voorgeschreven verplaatsingen voor de conuspunten (dankzij handige ROTATED BASES-keuze voor alle punten dezelfde waarde)

Het programma is opgebouwd uit vier procedures, een read statement en de aanroep van de vier procedures.

### 6.4.2 Procedure NODALPOINTSSHAFT

#### 6.4.2.1 Opbouw

Eerst wordt een dwarsdoorsnede gemaakt op een straal van 1, waarin 22 punten worden gepositioneerd volgens onderstaand patroon.




Er zijn in de te maken verdeling (8+4 lagen elementen in lengte-richting) 25 van dergelijke dwarsdoorsnedes te vullen: tesamen 22*25 = 550 knooppunten.
De werkelijke grootte van elke dwarsdoorsnede hangt af van de x-positie.

Voor de lengte van het zuiver cilindrische gedeelte (4 lagen elementen) is NL/2, de halve naaflengte genomen.
De eerste 9 dwarsdoorsnedes krijgen derhalve de straal RAV (straal-as-voor), de andere 16 een straal: RAV - (RAV-RAA) * N/16, waarbij
RAA = straal - as - achter en
N = de teller van de te doorlopen asdoorsnede.

De hoekverdraaiing per dwarsdoorsnede en het korrekt positioneren t.o.v. de conuspunten van de naaf gebeurt met behulp van REFX, REFY, REFZ en PIV, waarbij de eerste drie de koördinaten zijn van hoekpunt NA [35,I]
Uit het naafprogramma en PIV de in hetzelfde programma gebruikte spoedwaarde op het voetvlak.
Elke dwarsdoorsnede wordt over hoek ALP gedraaid.

6.4.3 <u>Procedure</u> ROTATED BASIS

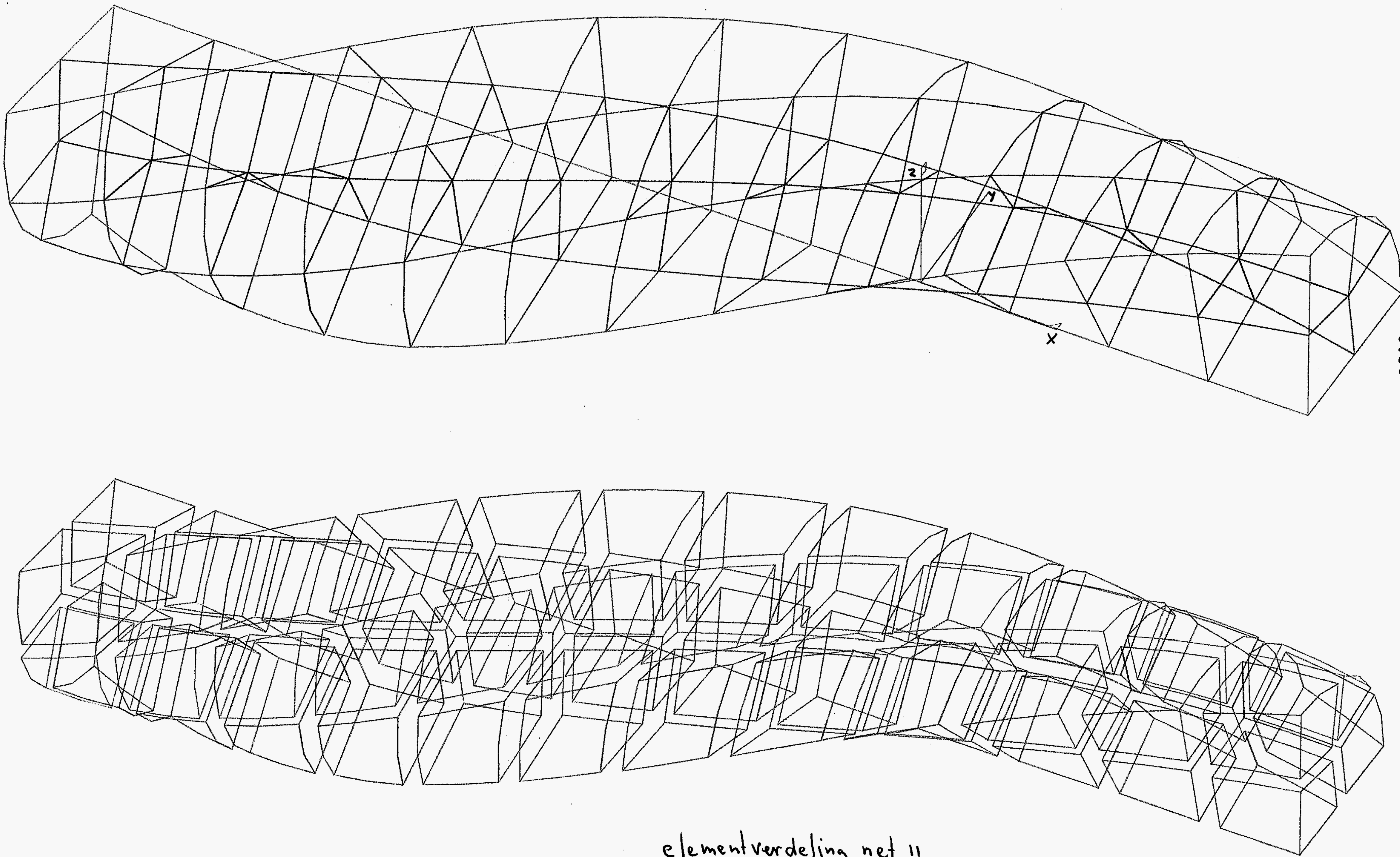
Analoog aan de in het naafprogramma ontwikkelde verdraaing van het assenstelsel t.b.v. het koppelen (bij de zijvlakken) en vereenvoudigen van de voorgeschreven verplaatsingen (op het conusvlak), is hier de ROTATED BASIS procedure opgebouwd.
Het voorvlak (AS[1:22, I]) doet niet mee, want voor die knooppunten worden de drie vrijheidsgraden onderdrukt.
Evenmin de punten in het hart van de as (i, 23, etc.) deze laten wij vrij (dus geen ROTB, en geen EXTERNAL).

6.4.4 <u>Procedure</u> USRP

Deze genereert de ASKA-invoer voor de beschrijving van de voorgeschreven verplaatsing. De opgegeven grootheid OPDRYFLENGTE is de bij de montage voorgeschreven en toegepaste axiale verplaatsing van de schroef t.o.v. de as, zijnde het verschil in dry-fit positie en definitieve positie van de schroef.
Aan de hand wordt de daarbij behorende verplaatsing loodrecht op het oppervlak berekend (NORMVERPL). Deze laatste is de waarde (met min-teken) die aan het ASKA-USRP datablok kan worden gegeven en wel in kolom 3 (de z-richting). Dankzij de toegepaste ROTATED BASIS is dit derhalve zeer eenvoudig.

6.4.5 <u>Procedure</u> NCOPUNCH

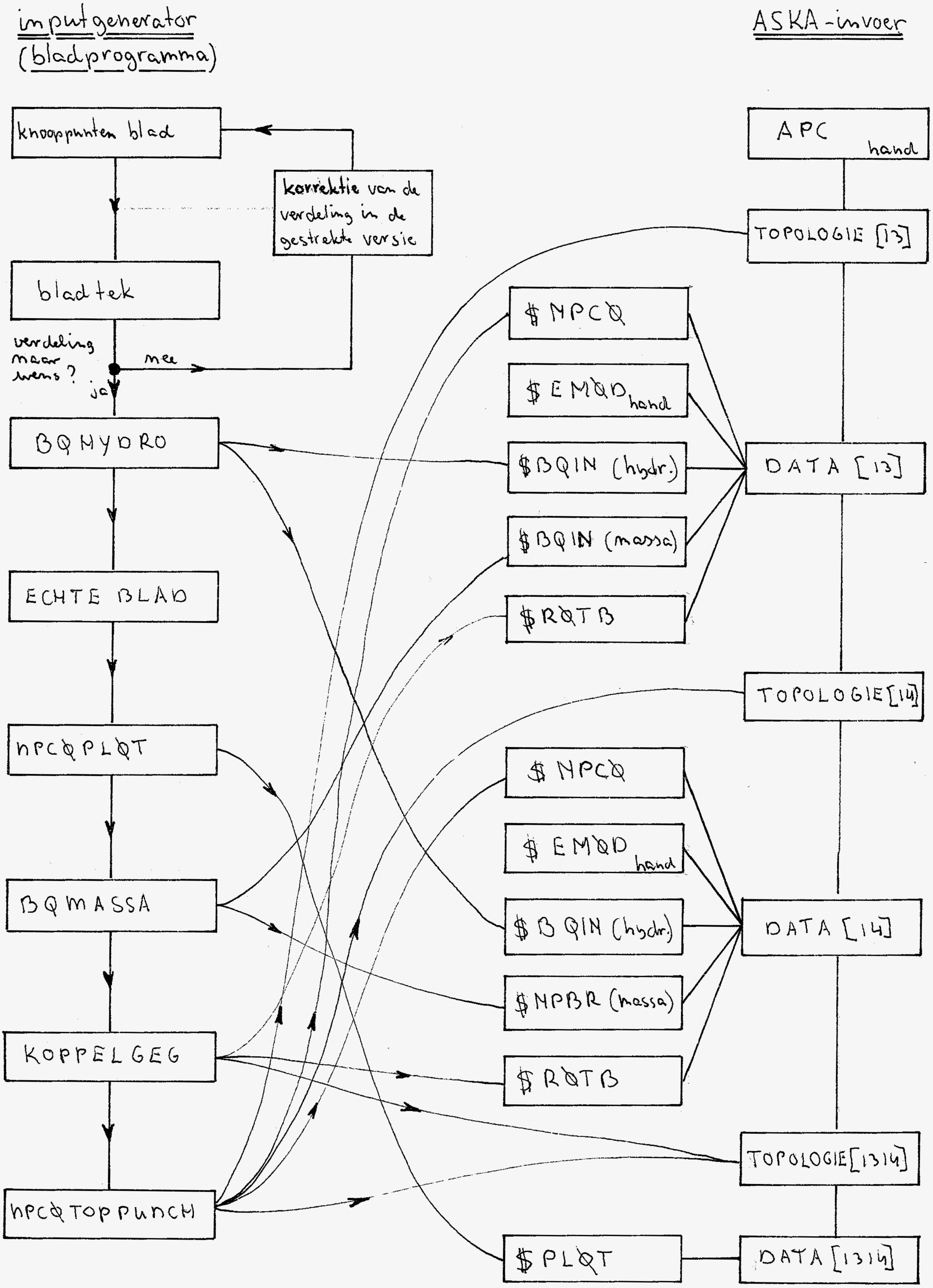
Deze voert de 550 knooppunten uit in het bekende formaat.



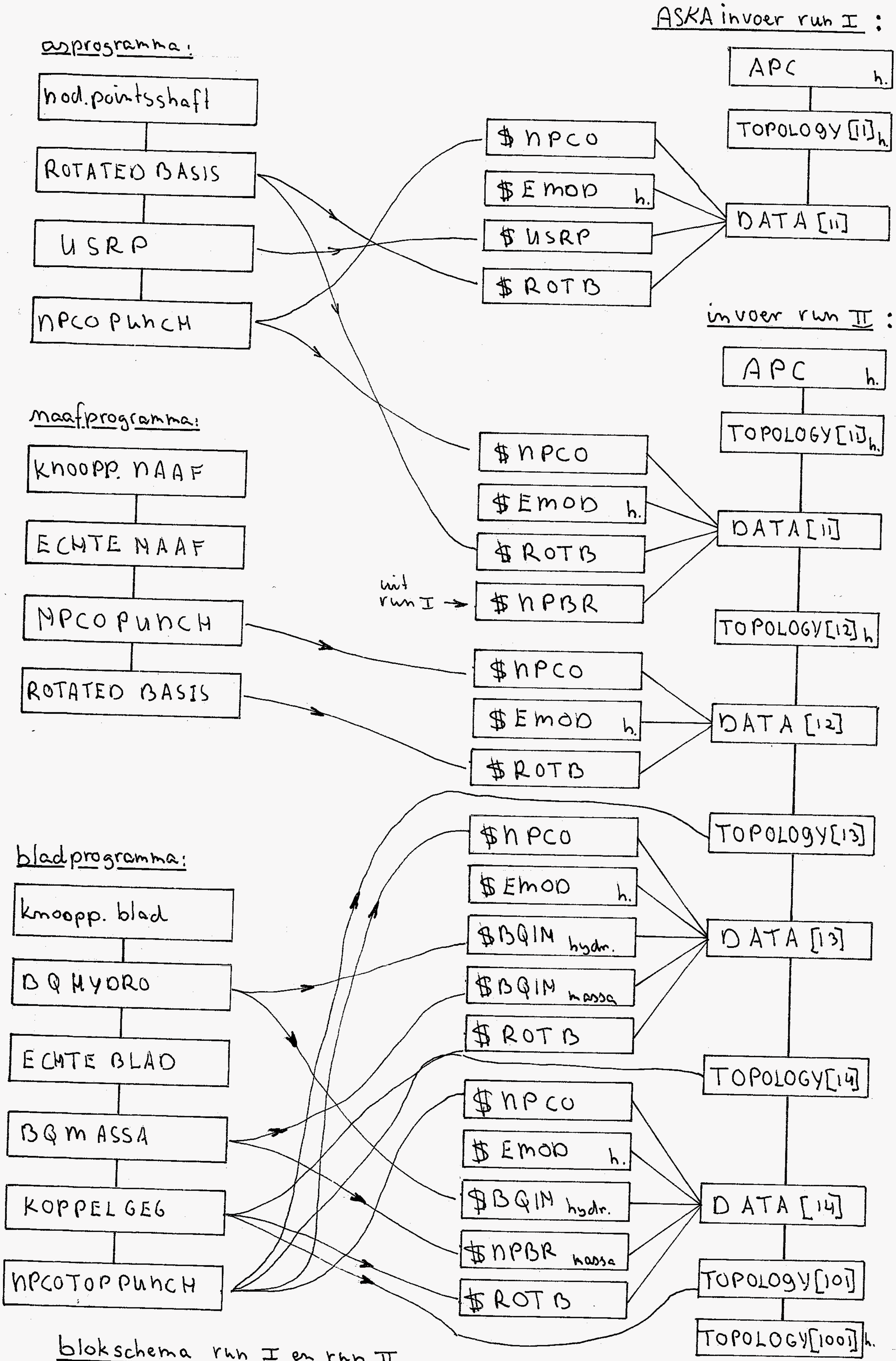

elementverdeling net 11

## 6.5 Samenvatting

Op de volgende bladzijden vindt u blokschema's, die de relaties aangeven van de voor elke berekening (ingeklemd blad, gehele schroef, run I, run II) benodigde ASKA-invoer en de door de inputgenerator uitgevoerde gegevens. De niet door de inputgenerator ingevoerde delen van de TOPOLOGY of het DATA blok zijn "met de hand" gemaakt.




blokschema ingeklemde versie




blokschema run I en run II

## Bijlage A

Een bijzondere spline funktie

<u>Bijlage A</u>

## Een bijzondere spline funktie

Een algorithme om door een rij punten een tweemaal differentieerbare kromme te leggen.

### A.1 Inleiding

Bij de ontwikkeling van het bladprogramma ontstond een behoefte om uit de diverse series diskrete punten (bladkontour, dikteverloop, spoed, welving) funkties te ontwikkelen, om daarmee tussenliggende funktiewaarden te kunnen berekenen.

De aan de funktie te stellen eisen:

- de kromme moet gaan door de diskrete punten (Deze eis komt voort uit aansluitkondities aan de naafsektor)
- het moeten "gladde" funkties zijn, overeenkomend met de gestrookte lijnen die ontstaan bij het gebruik van strooklatten. Wiskundige vertaling: de funktie moet tweemaal kontinu differentieerbaar zijn.
- extra eis bij de bladkontour: deze moet in één funktie te beschrijven zijn, vooral om de dertien boogpunten zó te kunnen vinden, dat een vloeiend verloop aan de top ontstaat.

Aan deze laatste eis kan slechts worden voldaan als we overgaan op een parametervoorstelling.

Met medewerking van Herman Willems (afd. Wiskunde, TH) is hiervoor het hier beschreven algorithme gevonden.

### A.2 Het algorithme

Gegeven is een rij van n punten $P_1$, $P_2$,.....$P_n$, waarvan de koördinaten bekend zijn: $(x_1,y_1)$, $(x_2,y_2)$,.....$(x_n,y_n)$.

Gevraagd wordt een parametervoorstelling van x en y zodanig dat de geparametriseerde kromme

- door de gegeven punten loopt,
- tweemaal kontinu differentieerbaar is in de onafhankelijke parameter.

Een oplossing:

Tussen de punten $P_i$ en $P_{i+1}$ ligt het i-de interval. We zoeken voor ieder interval een parametervoorstelling voor x en y in een onafhankelijke parameter s. Laat deze parametervoorstellingen polynomen zijn, $P_x$ en $P_y$, in een gemeenschappelijke parameter s. We noemen $P_x^i$ en $P_y^i$ de interpolatiepolynomen in het interval i.

$$P_x^i = a_o^i + a_1^i\, s + a_2^i\, s^2 + \ldots\ldots\ a_m^i\, s^m$$

$$P_y^i = b_o^i + b_1^i\, s + b_2^i\, s^2 + \ldots\ldots\ b_m^i\, s^m \qquad (1)$$

De parameter s wordt zodanig genormeerd, dat voor s = -1 en s = 1 de randpunten van het interval worden verkregen.

$$P_x^i(-1) = x_i \quad ; \quad P_x^i(+1) = x_{i+1} \quad ;$$

$$P_y^i(-1) = y_i \quad ; \quad P_y^i(+1) = y_{i+1} \quad ; \quad \text{voor } i=1,2.\ldots.,n-1$$

$$(2)$$

Kontinuïteit in de eerste en tweede afgeleiden van de kromme in de randpunten leiden tot:

$$\left.\frac{dP_x^i}{ds}\right|_{s=1} = \left.\frac{dP_x^{i+1}}{ds}\right|_{s=-1} ; \quad \left.\frac{d^2P_x^i}{ds^2}\right|_{s=1} = \left.\frac{d^2P_x^{i+1}}{ds^2}\right|_{s=-1}$$

$$(3)$$

$$\left.\frac{dP_y^i}{ds}\right|_{s=1} = \left.\frac{dP_y^{i+1}}{ds}\right|_{s=-1} ; \quad \left.\frac{d^2P_y^i}{ds^2}\right|_{s=1} = \left.\frac{d^2P_y^{i+1}}{ds^2}\right|_{s=-1}$$

Ofwel in de ste(un)punten moeten de afgeleiden $\dot{x}$, $\ddot{x}$, $\dot{y}$ en $\ddot{y}$ gedefinieerd zijn.

We noteren de randvoorwaarden als volgt:

$$P_x^i(-1) = x_i \qquad \frac{dP_x^i}{ds}/_{s=-1} = \dot{x}_i \qquad \frac{d^2P_x^i}{ds^2}/_{s=-1} = \ddot{x}_i$$

$$P_x^i(1) = x_{i+1} \qquad \frac{dP_x^i}{ds}/_{s=1} = \dot{x}_{i+1} \qquad \frac{d^2P_x^i}{ds^2}/_{s=1} = \ddot{x}_{i+1}$$

$$P_y^i(-1) = y_i \qquad \frac{dP_y^i}{ds}/_{s=-1} = \dot{y}_i \qquad \frac{d^2P_y^i}{ds^2}/_{s=-1} = \ddot{y}_i$$

$$P_y^i(1) = y_{i+1} \qquad \frac{dP_y^i}{ds}/_{s=1} = \dot{y}_{i+1} \qquad \frac{d^2P_y^i}{ds^2}/_{s=1} = \ddot{y}_{i+1}$$

$$(4)$$

Vullen we $P_x$ en $P_y$ uit (1) hier in, dan krijgen wij voor $P_x$ en $P_y$ 6 lineaire vergelijkingen met 6 onbekenden, zodat twee polynomen van de 5-de graad op eenduidige wijze kunnen worden bepaald.

$$P_x^i = a_o^i + a_1^i s + a_2^i s^2 + a_3^i s^3 + a_4^i s^4 + a_5^i s^5$$

$$P_y^i = b_o^i + b_1^i s + b_2^i s^2 + b_3^i s^3 + b_4^i s^4 + b_5^i s^5 \qquad (5)$$

(5) invullen in (4) geeft voor het i-de interval:

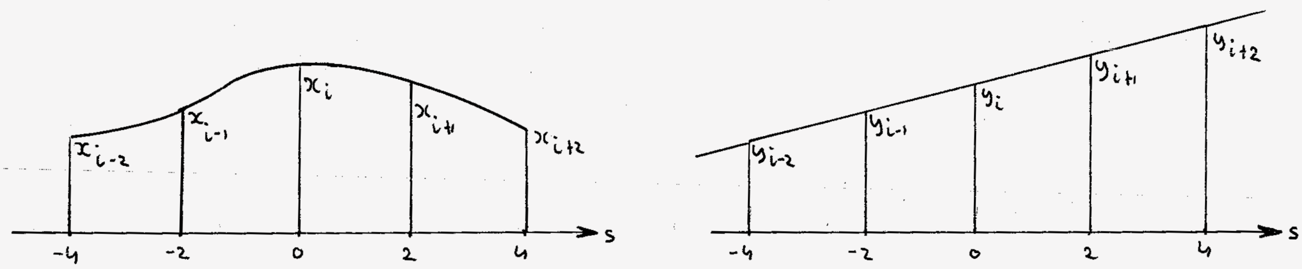
$$\begin{aligned}
a_o - a_1 + a_2 - a_3 + a_4 - a_5 &= x_i \\
a_1 + 2a_2 + 3a_3 - 4a_4 + 5a_5 &= \dot{x}_i \\
2a_2 - 6a_3 + 12a_4 - 20a_5 &= \ddot{x}_i \\
a_o + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 &= x_{i+1} \\
a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 &= \dot{x}_{i+1} \\
2a_2 + 6a_3 + 12a_4 + 20a_5 &= \ddot{x}_{i+1} \qquad (6)
\end{aligned}$$

De polynoomkoëfficiënten zijn hieruit op te lossen. Worden links de koëfficiënten $a_k^i$ door $b_k^i$ vervangen voor k = 0, 1, .....,5 en rechts x door y, dan krijgen we de vergelijkingen voor de koëfficiënten van $P_y^i$.
De oplossing is:

$$16 \begin{pmatrix} a_o^i & b_o^i \\ a_1^i & b_1^i \\ a_2^i & b_2^i \\ a_3^i & b_3^i \\ a_4^i & b_4^i \\ a_5^i & b_5^i \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} 8 & 5 & 1 & 8 & -5 & 1 \\ -15 & -7 & -1 & 15 & -7 & 1 \\ 0 & -6 & -2 & 0 & 6 & -2 \\ 10 & 10 & 2 & -10 & 10 & -2 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ -3 & -3 & -1 & 3 & -3 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} x_i & y_i \\ \dot{x}_i & \dot{y}_i \\ \ddot{x}_i & \ddot{y}_i \\ x_{i+1} & y_{i+1} \\ \dot{x}_{i+1} & \dot{y}_{i+1} \\ \ddot{x}_{i+1} & \ddot{y}_{i+1} \end{pmatrix} \qquad (7)$$

Met behulp van (7) kunnen de polynoomkoëfficiënten eenvoudig uit de randwaarden worden berekend.
Hoe vinden wij echter in de praktijk die randvoorwaarden? De steunpunten zelf zullen in het algemeen gegeven zijn, maar de eerste en tweede afgeleiden moeten op de een of andere manier worden berekend en daarvoor zijn

vele manieren te bedenken. Voor ~~deze~~ dit algorithme is gekozen voor een berekening van de afgeleiden in de steunpunten op grond van vijf punten.
De parameter s was zodanig genormeerd dat s met 2 verhoogd werd van punt $P_i$ naar $P_{i+1}$ (en met 2 verlaagd werd van $P_i$ naar $P_{i-1}$). We transformeren s nu zodanig dat s = -4 voor $P_{i-2}$, s = -2 voor $P_{i-1}$, s = 0 voor $P_i$, s = 2 voor $P_{i+1}$ en s = 4 voor $P_{i+2}$.
Door die vijf opeenvolgende punten wordt een 4-de graads polynoom gelegd.




Definieer:

$$\Delta x_1 = x_{i-2} - x_i \qquad \Delta y_i = y_{i-2} - y_i$$
$$\Delta x_2 = x_{i-1} - x_i \qquad \Delta y_2 = y_{i-1} - y_i$$
$$\Delta x_3 = x_{i+1} - x_i \qquad \Delta y_3 = y_{i+1} - y_i$$
$$\Delta x_4 = x_{i+2} - x_i \qquad \Delta y_4 = y_{i+2} - y_i \qquad (9)$$

Dan vinden wij na berekening van de polynoomkoëfficiënten voor de afgeleiden in s=0:

$$\dot{x}_i = \frac{1}{3}(\Delta x_3 - \Delta x_2) - \frac{1}{24}(\Delta x_4 - \Delta x_1)$$
$$\ddot{x}_i = \frac{1}{3}(\Delta x_3 + \Delta x_2) - \frac{1}{48}(\Delta x_4 + \Delta x_i)$$
$$\dot{y}_i = \frac{1}{3}(\Delta y_3 - \Delta y_2) - \frac{1}{24}(\Delta y_4 - \Delta y_1)$$
$$\ddot{y}_i = \frac{1}{3}(\Delta y_3 + \Delta y_2) - \frac{1}{48}(\Delta y_4 + \Delta y_1) \qquad (10)$$

Invullen van (9) in (10) leveren de volgende betrekkingen:

$$48 * \begin{pmatrix} x_i & y_i \\ \dot{x}_i & \dot{y}_i \\ \ddot{x}_i & \ddot{y}_i \\ x_{i+1} & y_{i+1} \\ \dot{x}_{i+1} & \dot{y}_{i+1} \\ \ddot{x}_{i+1} & \ddot{y}_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 48 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -16 & 0 & 16 & -2 & 0 \\ -1 & 16 & -30 & 16 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 48 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & -16 & 0 & 16 & -2 \\ 0 & -1 & 16 & -30 & 16 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{i-2} & y_{i-2} \\ x_{i-1} & y_{i-1} \\ x_i & y_i \\ x_{i+1} & y_{i+1} \\ x_{i+2} & y_{i+2} \\ x_{i+3} & y_{i+3} \end{pmatrix} \tag{11}$$

We kunnen nu direkt de polynoomkoëfficiënten uit (7) in de steunpunten uitdrukken door de matrices uit (7) en (11) met elkaar te vermenigvuldigen. Het resultaat is dan:

$$768 * \begin{pmatrix} a_o^i & b_o^i \\ a_1^i & b_1^i \\ a_2^i & b_2^i \\ a_3^i & b_3^i \\ a_4^i & b_4^i \\ a_5^i & b_5^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9 & -75 & 450 & 450 & -75 & 9 \\ -13 & 81 & -562 & 562 & -81 & 13 \\ -10 & 78 & -68 & -68 & 78 & -10 \\ 18 & -106 & 228 & -228 & 106 & -18 \\ 1 & -3 & 2 & 2 & -3 & 1 \\ -5 & 25 & -50 & 50 & -25 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{i-2} & y_{i-2} \\ x_{i-1} & y_{i-1} \\ x_i & y_i \\ x_{i+1} & y_{i+1} \\ x_{i+2} & y_{i+2} \\ x_{i+3} & y_{i+3} \end{pmatrix} \tag{12}$$

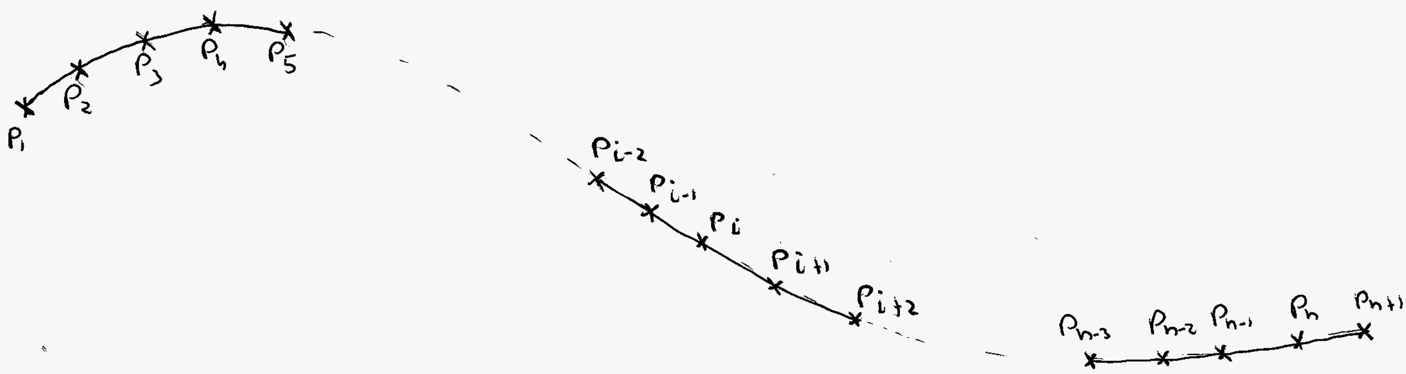
Wil men met deze methode polynoomkoëfficiënten berekenen voor de intervallen 1,2,3,.....,$n-2$, $n+1$ dan zal men moeten beschikken over punten $P_{-1}$, $P_o$, $P_{n+1}$ en $P_{n+2}$.

Een geschikte keuze van deze punten wordt in de volgende tabel getoond. Daarin staan aangegeven de punten die per interval voor de berekeningen nodig zijn:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_3$ | $P_2$ | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | - | 1-ste interval |
| $P_2$ | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | - | 2-de interval |
| $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ | - | 3-de interval |
| | $\vdots$ | | | | | | |
| $P_{i-2}$ | $P_{i-1}$ | $P_i$ | $P_{i+1}$ | $P_{i+2}$ | $P_{i+3}$ | - | i-de interval |
| | $\vdots$ | | | | | | |
| $P_{n-5}$ | $P_{n-4}$ | $P_{n-3}$ | $P_{n-2}$ | $P_{n-1}$ | $P_n$ | - | (n-3)-de interval |
| $P_{n-4}$ | $P_{n-3}$ | $P_{n-2}$ | $P_{n-1}$ | $P_n$ | $P_{n-1}$ | - | (n-2)-de interval |
| $P_{n-3}$ | $P_{n-2}$ | $P_{n-1}$ | $P_n$ | $P_{n-1}$ | $P_{n-2}$ | | (n-1)-de interval |

(13)

In de listing van het bladprogramma is de procedure SPLINE afgedrukt. Zie Appendix H.



Bijlage B

Details uit het ASKA-programmasysteem

APPENDIX B

## Details uit het ASKA-programmasysteem

### B.1 Inleiding

Het toepassen van het programmasysteem ASKA op een schaal en onder omstandigheden zoals die gedurende het afstudeerwerk van Klingen, leidt tot "ontdekkinkjes" die belangrijk kunnen zijn voor andere gebruikers. Deze bijlage doet verslag van enkele van deze ervaringen. Achtereenvolgens wordt beschreven:

- het omzetten van berekende knooppuntskrachten in uitwendige belasting
- het optellen van spanningen
- het gebruik van tapes.

### B.2 Het omzetten van berekende knooppuntskrachten in uitwendige belasting

Deze aktiviteit was nodig bij de introduktie van de krimpbelasting zoals beschreven in par. 4.2.

Uit in de eerste berekening voorgeschreven verplaatsingen ontstaan knooppuntskrachten, te berekenen met behulp van CALL BRR.

Deze processor vult de books BRRL, BRRP, BRRS en BRRC. Het laatste hiervan is in ons geval leeg, wij hebben op het nivo van net 11 geen gekoppelde punten.

Books kunnen voorkomen in twee gedaantes, te weten in het zgn. internal formaat of in user's formaat. Dit laatste is vaak te herkennen aan de u als eerste letter van het label.

Verder moeten wij ons realiseren dat geen book gekreëerd mag worden als dat reeds bestaat. De aanpak is dan ook als volgt:

1. CALL BRR
2. Kopieer de books BRRL, BRRS, BRRP, door ze een nieuw label te geven (en in ons geval tevens te vermenigvuldigen met -1). Dit gebeurt met CALL COPYH
3. Vernietig de oorspronkelijke books BRRL, BRRS, BRRP, door middel van CALL REFBUK
4. Geef daarna de in 2. gemaakte nieuwe books de vrijgekomen labels door middel van CALL ALTLAB
5. Ga over op user's formaat (UBRR) en verander het label in NPBR.
6. Schrijf voorafgaand aan de uitvoer van NPBR een zgn. delimiter, ten behoeve van het wegschrijven op tape.
7. Voer het book NPBR uit op tape.
8. Sluit af met een delimiter, bij voorkeur met label EOSF, als er nog meer op de tape moet komen.

De hierbij horende listing ziet er als volgt uit:

```
CALL BP
CALL BRR
CALL COPYH(4HBRRL,4HWIM ,-1)
CALL COPYH(4HBRRP,4HHANS,-1)
CALL COPYH(4HBRRS,4HJAN ,-1)
CALL REFBUK (4HBRRL)
CALL REFBUK (4HBRRS)
CALL REFBUK (4HBRRP)
CALL ALTLAB(4HWIM ,4HBRRL)
CALL ALTLAB(4HHANS,4HBRRP)
CALL ALTLAB(4HJAN ,4HBRRS)
CALL UBRR
CALL ALTLAB(4HUBRR,4HNPBR)
CALL DATEX(0,4HNPBR)
CALL WRTDEL(20,4HDATA)
CALL DATEX(20,4HNPBR)
CALL WRTDEL(20,4HEOSF)
```

Bij het lezen van de tape wordt dan gebruik gemaakt van het statement:
CALL DATIN (20,4HEOSF)
waarbij 20 de tape identifier is, en EOSF de op de tape geschreven delimiter. Kontroles zijn uit te voeren door tussentijds een book te laten printen, en wel met behulp van
CALL DATEX (0,4H....) , bij een book van user's format, en
CALL GPRINT (4H....,1), bij een book van internal format.

De 1 bij GPRINT duidt op een nivo van de inwendige organisatie, bij gebruik van 1 krijgt de gebruiker overzicht van alle aanwezige data.

## B.3 Het optellen van spanningen

Bij het analyseren van een konstruktie waarbij sprake is van diverse belastingkomponenten is het vaak aantrekkelijk om naast de bijdrage die elk der komponenten levert aan het totale spanningsbeeld, ook het totale spanningsveld te berekenen.

Dit kan op 2 manieren:

1. Optellen van de spanningen die elke komponent heeft veroorzaakt.
2. Introduktie van een nieuw belastinggeval, waar alle belastingskomponenten tesamen worden ingevoerd.

Ad 1

Dit optellen bestaat uit het sommeren van de 6 spanningskomponenten voor elk element en voor elk belastinggeval, te vinden in book SIG, waarbij elke kolom een belastinggeval representeert (Overzichtelijker is misschien de uitvoering die ontstaat met behulp van CALL SIGEX).
Dit optellen kan niet binnen ASKA, en moet derhalve "met de hand" of met behulp van een eigen programma worden gedaan, gebruik makend van de mogelijkheid van ASKA uitvoer op tape of ponskaarten.

Ad 2

Deze mogelijkheid is veel eenvoudiger te verwezenlijken en levert direkt de gewenste uitvoer. Als nadeel kan gelden dat deze manier een extra set (te dupliceren) belastingsgrootheden vraagt, en enige rekentijd.

Binnen ASKA zijn wel spanningen op te tellen uit twee berekeningsgevallen zoals dit is voorgekomen bij de krimpbelasting. Voorwaarde daarvoor is, dat in beide gevallen het book SIG een even groot formaat heeft.
Daartoe is het nodig om in beide gevallen evenveel belastinggevallen te hebben, waardoor aan het book SIG kolommen met nullen worden toegevoegd.
Zie het schema in par. 5.3 waaruit blijkt dat in run I een belasting nul heerst in belastinggevallen 2 en 3.
Het overzetten van de spanningen van run I naar run II en het optellen aldaar is gebeurd op de volgende wijze:

run I:

```
CALL ST
CALL SAVBUK(20,4HSIG )
CALL WRTOEL(20,4HEOF )
CALL GPRINT(4HSIG ,1)
CALL SIGEX(0,0)
CALL NPST
CALL DATEX (0,4HNPST)
CALL EXITT(0)
STOP
END
```

run II:

```
CALL SP
CALL ST
CALL GPRINT(4HSIG ,1)
CALL ALTLAB(4HSIG ,4HBERT)
CALL REFBUK(4HSIG )
CALL RENBUK(20,4HSIG )
CALL GPRINT(4HSIG ,1)
CALL ADDH(4HSIG ,4HBERT,4HTOTS,1)
CALL REFBUK(4HSIG )
CALL GPRINT(4HTOTS,1)
CALL ALTLAB(4HTOTS,4HSIG )
CALL NPST
CALL DATEX(0,4HNPST)
```

B. 4 Het gebruik van tapes

In de Job Control moet het gebruik van tape worden opgegeven, zowel bij het beschrijven als bij het lezen van de tape. Bij grote berekeningen lijkt het zinvol om tussentijdse berekende data weg te schrijven op tape om in geval van voortijdig afbreken van het programma de eerstvolgende run niet alles opnieuw te laten berekenen. Dit wegschrijven van books (in internal format) kan met behulp van CALL SAVBUK (tapenummer, 4 H label). Het kan in de volgende run van die tapes worden gelezen met behulp van CALL RENBUK (tapenummer, 4 H label).

De resultaten van de aanroep

CALL SA

worden in ASKA controllists genoemd. Ook deze controllists zijn weg te schrijven en te lezen, respektievelijk met

CALL SAVCON (tapenummer) en

CALL RENCON (tapenummer, netnummer).

Bij het lezen in een andere volgorde als waarin de verschillende books zijn weggeschreven is voorzichtigheid geboden. De tape wordt bij een aanroep SAVBUK afgezocht, startend vanaf de tot dan bereikte positie, die helemaal vooraan, of ter plaatse van een delimiter kan zijn. Er wordt dan naar het book gezocht, op basis van het label en het nummer van het in bewerking zijnde net. Wordt echter een delimiter gevonden, dan wordt het zoeken gestaakt, en het programma afgebroken

Het verdient aanbeveling om in gekompliceerde gevallen gebruik te maken van verschillende tapes, b.v. voor verschillende netten, om daarmee het lezen in een andere volgorde dan is weggeschreven te voorkomen.

## Bijlage C

Rekursieve substrukturering

# Recursieve substrukturering op basis van symmetriebeschouwingen.

## Inleiding

In dit verhaal komen enkele ASKA gebruikerservaringen ter sprake, opgedaan bij een redelijk groot elementenmethode projekt: de statische analyse van scheepsschroeven.
Er is bij de oplossing dankbaar gebruik gemaakt van vier niveau's van substrukturering, op basis van de symmetrie in zowel de geometrie als de belasting.
We refereren aan de ASKA-manual.

## Recursieve substrukturering

Een substruktuur in een elementenverdeling is een verzameling elementen die om een of meer redenen in een bepaalde fase van het oplossen van het probleem, als een geheel opgevat worden.
Redenen voor het werken met substrukturen kunnen zijn:

- de substrukturen bestaan uit verschillende typen elementen (niet behorend tot één familie en dus i.h.a. niet zonder meer te koppelen).
- voor het uitvoeren van detailberekeningen (b.v. bij spanningskonsentraties of bij het plaatselijk optimaliseren van de geometrie) kan het nuttig zijn om een deel van de konstruktie in een afzonderlijke substrukture onder te brengen.
- de geometrie van het geheel is te onoverzichtelijk om alle elementen in één net onder te brengen.
- door handige keuze van de substrukturering kan worden voorkomen dat met (door de geometrie gedwongen) onvoordelige knooppuntnummering en dus grote bandbreedte moet worden gerekend.
  (de indruk bestaat dat de winst hierbij alleen in zeer exceptionele gevallen aantrekkelijk groot is).
- bij symmetrie in de geometrie is de hoeveelheid invoer sterk te beperken terwijl tevens winst te halen is in de rekentijd.

ASKA beschouwt de elementen zelf al als substruktuur, nl. van niveau 1. Een aantal elementen vormen tesamen een substruktuur van niveau 2. Als er meer dan 1 substr. is op niveau 2, dan

is er tevens (minstens) sprake van een derde niveau, etc.
Het hoogste niveau betreft de gehele konstruktie.
Is er sprake van alleen niveau 1 en 2, dan bestaat het definiëren van niveau 2 slechts uit de topologische beschrijving, waarin de verzameling elementen worden gedeklareerd.
Is er sprake van meer niveau's, dan is rekenorganisatorisch de essentie als volgt.
Ten behoeve van een hoger niveau worden de vrijheidsgraden van de te koppelen punten z.g. EXTERNAL verklaard, en hiermee wordt verder gerekend. Op dat niveau bestaan de elementen niet meer, maar nog slechts een set vrijheidsgraden, n.l. van die van alle te koppelen punten.
Het deklareren van het volgende niveau bestaat dan uit het koppelen van de te paren knooppunten, met behulp van het z.g. INSERT statement. Het nieuwe niveau heet het hoofdnet.
Het <u>recursieve</u> van de bewerking doelt op het opschuiven van de niveau's: eerst worden op niveau 2 de EXTERMALS gedeklareerd, en op niveau 3 wordt gekoppeld (INSERT); zijn er een of meer hogere niveau's, dan wordt niveau 3 verlaagd tot 2, met behulp van het UPMAIN statement, en op niveau 3 gekoppeld, etcetera.
Zie figuur 1, waar ook uit blijkt, dat een substruktuur een niveau kan "overslaan", en dan later deel uit maakt van een van de substrukturen van hoger niveau. Is men geïnteresseerd in verplaatsingen, knooppuntskrachten en/of spanningen van nog andere punten dan de koppelpunten van het hoogste niveau (en dat zal bijna altijd het geval zijn), dan zal men terug moeten naar (bv) niveau 1. Dit gebeurt trapsgewijs m.b.v. het statement UPMAIN.

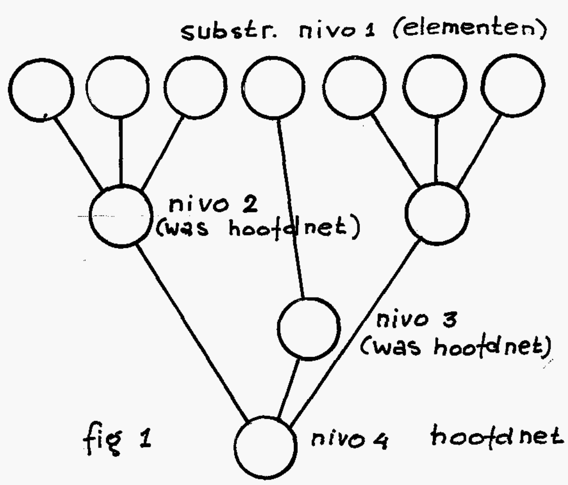


fig 1

De hieronder afgedrukte listing behoort bij een testprobleem ten behoeve van het eerder genoemde scheepsschroeven onderzoek. Het betreft de representatie van een vierbladsschroef, met vier identieke moten, elk opgebouwd uit een kwart van het (in de berekening meegenomen) asgedeelte, een kwart van de naaf, en een blad. Het genereren van de drie netten 102 tot en met 104 (zie fig. 2), welke identiek zijn (in vorm en belasting) aan 101, gebeurt via de statements SAMCON en SAMBUK.

In het testprogramma bestaat net 11 (het asgedeelte), uit 2 PENTA-elementen, net 12 ( kwart van de naaf) uit 1 HEXE, en ook net 13 (het blad) uit 1 HEXE. Zie figuur 3.

Naast de nummering op element-niveau is het nodig om de te koppelen knooppunten (die elk een eigen nummer "meebrengen") te nummeren op niveau.

Bijvoorbeeld:

```
topology
main net (101) (60) (hoofdnet: kwart van de schroef)
.
.
insert net (12)(3)(16,1)(15,1)
.
.
```

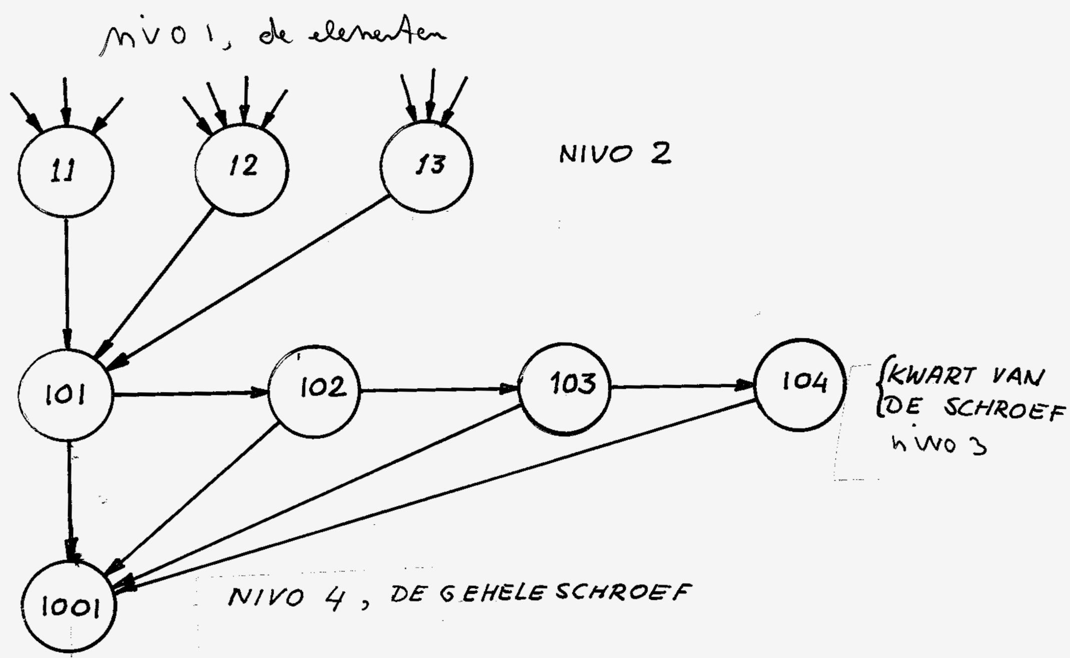


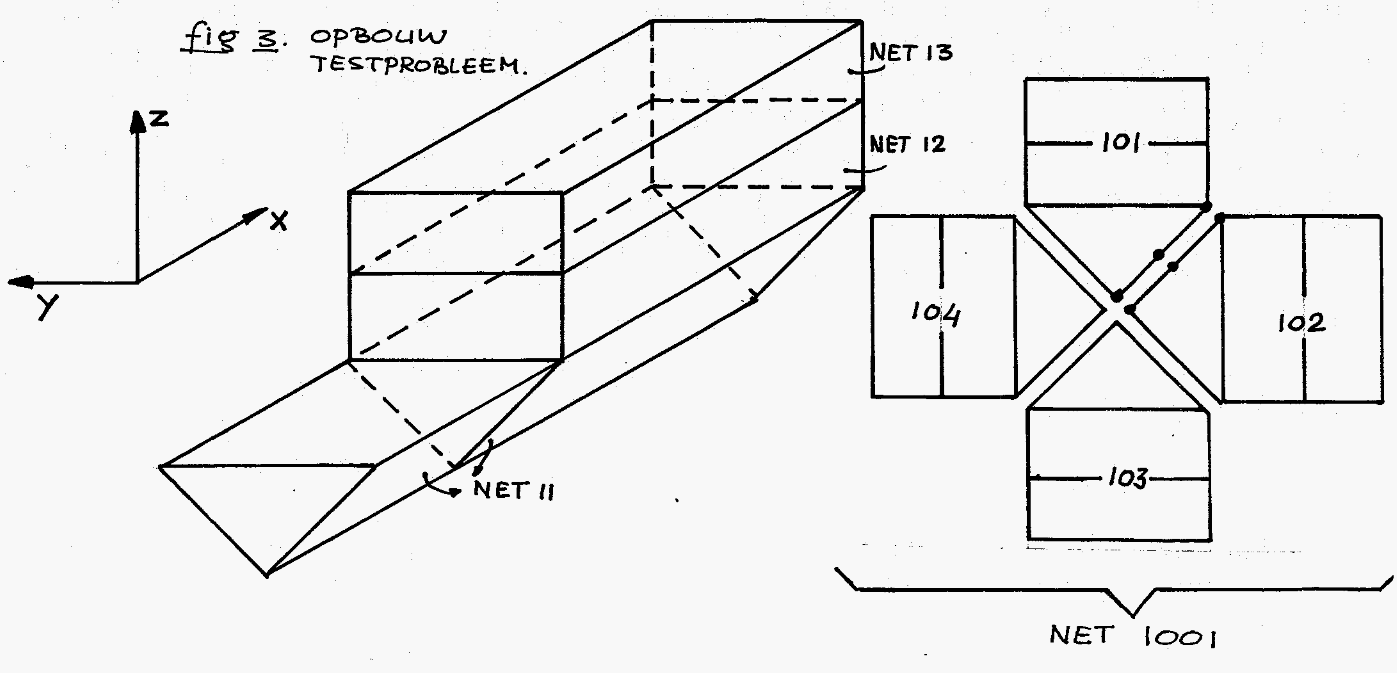

fig 2

of eigenlijk: de vrijheidsgraden van...

Dit betekent: punten 16, 17 en 18 van net 12 worden gekoppeld aan resp. de punten 15, 16, 17 van net 101, welke laatste kennelijk bestaat uit 60 knooppunten.
In dit verband is ook het ROTATED BASIS concept van belang. Om punten van verschillende netten te kunnen koppelen zullen ze namelijk gedefinieerd moeten zijn t.o.v. vergelijkbare assenstelsels, dat wil zeggen niet de oorsprongen hoeven samen te vullen, maar wel de richtingen van de 3 paren assen. (we rekenen met verplaatsingen).
Bij het koppelen van 11, 12 en 13 is dit geen probleem, alle drie zijn ze gedeklareerd t.o.v. het in fig. 3 getekende assenstelsel.

Om bijvoorbeeld 101 net 102 te koppelen moeten we wel ROTATED BASIS toepassen.
Om symmetrie-redenen draait voor de rechterpunten van 101 dat assenstelsel over $45^{\circ}$ naar rechts, en voor de linkerpunten het stelsel $45^{\circ}$ naar links t.o.v. de oorspronkelijke positie.
(De punten in het hart van de as kunnen de zaak in de war brengen, maar dankzij de symmetrie in geometrie en belasting is hier alleen verplaatsing in x-richting relevant, en die punten zijn dan ook bij net 11 en 101 slechts in x-richting, external verklaard). nog simpeler: deze zijn in de topologie van net 11 suppressed, respectievelijk local.
Zo ook voor 102 etc., zodat beide punten van elk koppelpaar gedeklareerd zijn t.o.v. vergelijkbare assenstelsels.

fig 3. OPBOUW TESTPROBLEEM.



```
      CALL START (2,1)
      CALL SET (4HDIAS,15)
      CALL SET (4HTEST,.TRUE.)
C
C
CCC GENEREREN VAN SUBSTRUCT. 11,12,13
C
C     NET 11:
C
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK
      CALL INFNOD
      CALL PATA
      CALL DATIN (0,4HEOF )
      CALL ELCO
      CALL TS
      CALL SK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BJ  ← t.b.v. initiële rekken, altijd vóór BR
      CALL BR
      CALL UBR
      CALL DATEX  (0,4HUBR )
      CALL TRIA
      CALL REDUC
C
C
C     NET 12:
C
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK
      CALL INFNOD
      CALL PATA
      CALL DATIN (0,4HEOF )
      CALL ELCO
      CALL TS
      CALL SK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BR
      CALL UBR
      CALL DATEX  (0,4HUBR )
      CALL TRIA
      CALL REDUC
C
C
C     NET 13:
C
      CALL SA
      CALL INFEL
      CALL INFUNK
      CALL INFNOD
      CALL PATA
```

```
      CALL DATIN (0,4HEOF )
      CALL ELCO
      CALL TS
      CALL SK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BQ  ← t.b.v. verdeelde belasting, altijd vóór BR
      CALL BR
      CALL UBR
      CALL DATEX  (0,4HUBR )
      CALL TRIA
      CALL REDUC
C
C
C
CCC GENEREREN VAN SUBSTR. 101 UIT 11,12, EN 13
C
      CALL SA  ← hier wordt o.a. de topology van 101, = de koppeling, verwerkt
      DO 25 NET=11,13
      CALL USENET (NET)      kontrole van koppeling 11, 12, 13 aan 101
      CALL INFCOP
   25 CONTINUE
      CALL USENET (101)
      CALL INFUNK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BR
      CALL UBR
      CALL DATEX(0,4HUBR )
      CALL DNMAIN  ← hier wordt 101 een nivo verlaagd (moet na BK en na BR)
      CALL TRIA
      CALL REDUC
C
CCC GENEREREN VAN SUBSTR. 102,103,104 GELIJK AAN 101:
C
      DO 35 NET2= 102,104
      CALL SAMCON(NET2,101)  ← maakt (o.a.) topology van (net2) gelijk aan 101
      CALL SAMBUK (4HSKM  ,101)  ← kopieert stijfheidsmatrix
      CALL SAMBUK (4HBQM  ,101)  ← kopieert belastingsmatrix
   35 CONTINUE
C
CCC GENEREREN VAN HET HOOFDNET 1001:
C
      CALL SA
      DO 45 NET2=101,104
      CALL USENET(NET2)      als bij 101
      CALL INFCOP
   45 CONTINUE
      CALL USENET(1001)
      CALL INFUNK
      CALL BK
      CALL INFBK
      CALL BR
```

```
                CALL TRIA   } samen te voegen tot multiprocessor SR
                CALL SOLV   }
                CALL USR ← verplaatsing van de koppelpunten van 1001
                CALL DATEX (0,4HUSR ) ← eigenlijk overbodig, later komen alle verplaatsingen
                CALL USENET (101)
                CALL SPM    } vinden de verplaatsingen van de koppelpunten van 101
de              CALL SRLC   }
terugweg        CALL USR
                CALL DATEX (0,4HUSR )
                CALL UPMAIN (101) ← hier wordt 101 hoofdnet verklaard.
        X       DO 55 NET1=11,13
        X       CALL USENET (NET1) ← dit wordt: call usenet (11) bij de symmetrie-truuk
                CALL SPM    } vinden van de verplaatsingen van alle knooppunten van 11, 12, 13
                CALL SRLC   }
                CALL USR
                CALL DATEX (0,4HUSR )  }
                CALL SP                }
                CALL ST                }
                CALL SIGEX(0,0)        } normale manier om spanningen te vinden en
                CALL NPST              }                uit te voeren.
                CALL DATEX (0,4HNPST)  }
             55 CONTINUE
                END

TOPOLOGY
NET(11)(54)(ASSECTOR, 2 PENTAAS)
PENTA18(1)(1)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)(12)(13)(14)(15)(16)(17)(18)
PENTA18(1)(1)(13)(14)(15)(16)(17)(18)(31)(32)(33)(34)(35)(36)(49)(50)(51)
                 (52)(53)(54)
SUPPRESS(  2,3)(2)(7,6)     }
SUPPRESS(  2,3)(2)(31,18)   } fixeren van voorvlak
SUPPRESS(1,2,3)(6)(1,1)     }
EXTERNAL(1,2,3)(2)(8,6)     }
      R(5)(0)(1)            }
EXTERNAL(1,2,3)(2)(32,18)   } extern: zijvlakken, en grensvlak met 12
      R(5)(0)(1)            }
EXTERNAL(1)(2)(31,18)       }
EXTERNAL(1)(2)(7,6)         }
ROTATED BASIS(3)(2,6)       }
      R(2)(0)(1)            }
ROTATED BASIS(3)(5,6)       }
      R(2)(0)(1)            }
ROTATED BASIS(2)(32,18)     } zijvlakken
      R(2)(0)(1)            }
ROTATED BASIS(2)(35,18)     }
      R(2)(0)(1)            }
END NET
END TOPOLOGY
£DATA
£NPCO N=11 C=3
       1   0.   0.   0.
       3   0.   2.   2.
       5   0.  -2.   2.
      13   4.   0.   0.
      15   4.   2.   2.
      17   4.  -2.   2.
      49   8.   0.   0.
```

```
        51   8.   2.   2.
        53   8.  -2.   2.
 £EMOD  N=11  C=2  G=A
        1    1.   0.3
 £ROTB  N=11  C=9
        2    0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        3    0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        8    0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        9    0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        14   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        15   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        32   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        33   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        50   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        51   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.   -1.
        6    0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        5    0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        12   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        11   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        18   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        17   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        36   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        35   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        54   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
        53   0.   0.   0.     1.   0.   0.     0.   1.    1.
 £ETAG  C=36  G=A  L=1  N=11
        1 -.1 -.1 -.1 .0 .0 .0 -.1 -.1 -.1 0. 0. 0. -.1 -.1 -.1 0. 0. 0.
        <  -.1 -.1 -.1 .0 .0 .0 -.1 -.1 -.1 0. 0. 0. -.1 -.1 -.1 0. 0. 0.
 £EOF
 TOPOLOGY
 NET(12)(60)(NAAFSECTOR,1 HEXE)
 HEXE27(1)(1)(16)(17)(18)(19)(20)(21)(22)(23)(24)(34)(35)(36)(37)(38)(39)
           (40)(41)(42)(52)(53)(54)(55)(56)(57)(58)(59)(60)
 EXTERNAL(1,2,3)(3)(16,1)
      R(3)(0)(18)
 EXTERNAL(1,2,3)(3)(22,1)
      R(3)(0)(18)
 END NET
 END TOPOLOGY
 £DATA
 £NPCO  N=12  C=3
        16   4.   2.   2.
        18   4.  -2.   2.
        52   8.   2.   2.
        54   8.  -2.   2.
        22   4.   2.   4.
        24   4.  -2.   4.
        58   8.   2.   4.
        60   8.  -2.   4.
 £EMOD  N=12  C=2  G=A
        1    0.6   0.3
 £EOF
```

punt $P_1$ — punt $P_2$ — punt $P_3$

Met $P_1$ in oorsprong:
$P_1 \rightarrow P_2$ : nieuwe x-as
$P_1 \rightarrow P_3$ : nieuwe y-as
nieuwe z-as: loodrecht op x-y vlak, rechterhand-systeem.

45° draaiing naar rechts

45° draaiing naar links

initiëele rekken

koppelvlak met as

koppelvlak met blad

```
TOPOLOGY
NET(13)(66)(BLAD. 1 HEXE)
HEXE27(1)(1)(22)(23)(24)(25)(26)(27)(28)(29)(30)(40)(41)(42)(43)(44)(45)
          (46)(47)(48)(58)(59)(60)(61)(62)(63)(64)(65)(66)
EXTERNAL(1,2,3)(3)(22,1)
      R(3)(0)(18)
```

} koppelvlak met naaf

```
END NET
END TOPOLOGY
£DATA
£NPCO N=13 C=3
      22   4.   2.   4.
      24   4.  -2.   4.
      58   8.   2.   4.
      60   8.  -2.   4.
      28   4.   2.   6.
      30   4.  -2.   6.
      64   8.   2.   6.
      66   8.  -2.   6.
£EMOD N=13 C=2 G=A
      1   0.6   0.3
£NPBR  C=3  N=13 L=1
      28   0.   1.   0.
      29   0.   1.   0.
      30   0.   1.   0.
      46   0.   1.   0.
      48   0.   1.   0.
      64   0.   1.   0.
      65   0.   1.   0.
      66   0.   1.   0.
      47   0.   4.   0.
```

knooppuntskrachten op bovenvlak van blad

```
£BOIN C=24 N=13 L=2 G=A
      1  0. 2. 4.  0. -2. 4.  0. 2. 6.  0. -2. 6.  0. 2. 4. 0. -2. 4.
     < 0. 2. 6.  0. -2. 6.
£EOF

TOPOLOGY
MAIN NET (101)(60)(HOOFDNET: KWART VAN DE SCHROEF)
INSERT NET (11)(5)( 8,1)( 8,1)
INSERT NET (11)(3)(14,18)(14,18)
      R(5)(0)( 1)( 1)
INSERT NET(11)(2)(31,18)(31,18)
INSERT NET(11)(2)(7,6)(7,6)
INSERT NET (12)(3)(16,1)(15,1)
      R(3)(0)(18)(18)
INSERT NET (12)(3)(22,1)(22,1)
      R(3)(0)(18)(18)
INSERT NET (13)(3)(22,1)(22,1)
      R(3)(0)(18)(18)
```

} koppelen 11, 12, 13 aan 101

```
EXTERNAL(1,2,3)(2)(8,1)
EXTERNAL(1,2,3)(2)(11,1)
EXTERNAL(1,2,3)(2)(14,1)
      R(3)(0)(18)
```

} nieuwe externals, te koppelen in 1001

```
  EXTERNAL(1,2,3)(2)(17,1)
         R(3)(0)(18)
  EXTERNAL(1)(2)(7,6)
  EXTERNAL(1)(2)(31,18)
  END NET
  END TOPOLOGY

  TOPOLOGY
  MAIN NET(1001)(45)(HOOFDNET: DE GEHELE SCHROEF)
  INSERT NET(101)(2)(8,6)(7,1)
         R(2)(0)(1)(20)
X INSERT NET(102)(2)(8,6)(12,1)
X        R(2)(0)(1)(20)
X INSERT NET(103)(2)(8,6)(17,1)
X        R(2)(0)(1)(20)
X INSERT NET(104)(2)(8,6)(22,1)
X        R(2)(0)(1)(20)
  INSERT NET(101)(2)(32,18)(9,1)
         R(2)(0)(1)(20)
X INSERT NET(102)(2)(32,18)(14,1)
X        R(2)(0)(1)(20)
X INSERT NET(103)(2)(32,18)(19,1)
X        R(2)(0)(1)(20)
X INSERT NET(104)(2)(32,18)(24,1)
X        R(2)(0)(1)(20)
  INSERT NET(101)(2)(11,6)(42,1)
         R(2)(0)(1)(-20)
X INSERT NET(102)(2)(11,6)(27,1)
X        R(2)(0)(1)(-20)
X INSERT NET(103)(2)(11,6)(32,1)
X        R(2)(0)(1)(-20)
X INSERT NET(104)(2)(11,6)(37,1)
X        R(2)(0)(1)(-20)
  INSERT NET(101)(2)(35,18)(44,1)
         R(2)(0)(1)(-20)
X INSERT NET(102)(2)(35,18)(29,1)
X        R(2)(0)(1)(-20)
X INSERT NET(103)(2)(35,18)(34,1)
X        R(2)(0)(1)(-20)
X INSERT NET(104)(2)(35,18)(39,1)
X        R(2)(0)(1)(-20)
  INSERT NET(101)(2)(7,6)(2,1)
X INSERT NET(102)(2)(7,6)(2,1)
X INSERT NET(103)(2)(7,6)(2,1)
X INSERT NET(104)(2)(7,6)(2,1)
  INSERT NET(101)(2)(31,18)(4,1)
X INSERT NET(102)(2)(31,18)(4,1)
X INSERT NET(103)(2)(31,18)(4,1)
X INSERT NET(104)(2)(31,18)(4,1)
  END NET
  END TOPOLOGY
  /*
  //
```

extra bij toepassen symmetrie truuk:

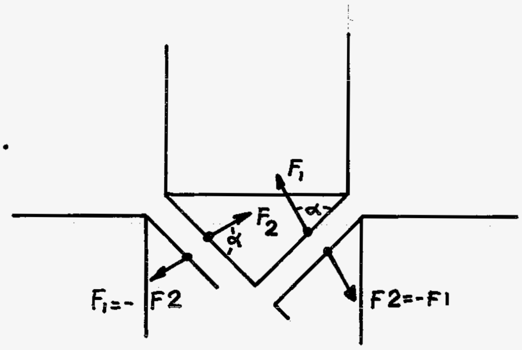
{ insert net (101) (2) (12, 6) (7, 1)
  R (2) (0) (1) (20)

komen te vervallen bij toepassen symmetrie-truuk

Symmetrie beschouwingen

De overeenkomst tussen 101 en 102 t/m 104 is duidelijk: deze substrukturen zijn identiek zowel qua geometrie als belasting. Dit impliceert, dat op de vier snedevlakken de vervormingen en knooppuntskrachten eveneens identiek zijn. Zie fig. 5. Knooppuntskracht $F_1=F_2$, beiden aangrijpend onder dezelfde hoek $\alpha$.

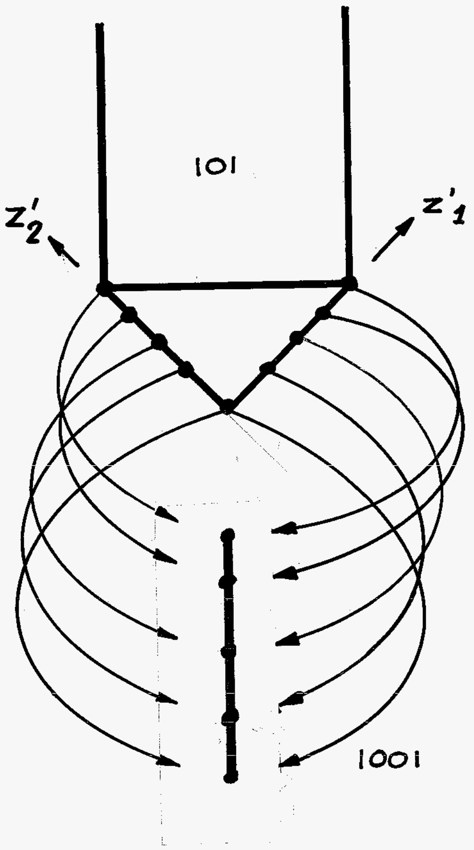
In deze situatie is het in ASKA mogelijk, om een net 1001 te kreëren, met alleen de informatie van net 101. Dit gaat als volgt. Deklareer de knooppunten van de beide zijvlakken van 101: EXTERNAL, en pas ROTATED BASIS toe, op dezelfde manier als hierboven beschreven:
eerst z' naar rechts voor de rechterpunten, etc.
Kreër nu het net 1001 door de linker en de rechterpunten te INSERTen in 1001.




figuur 5

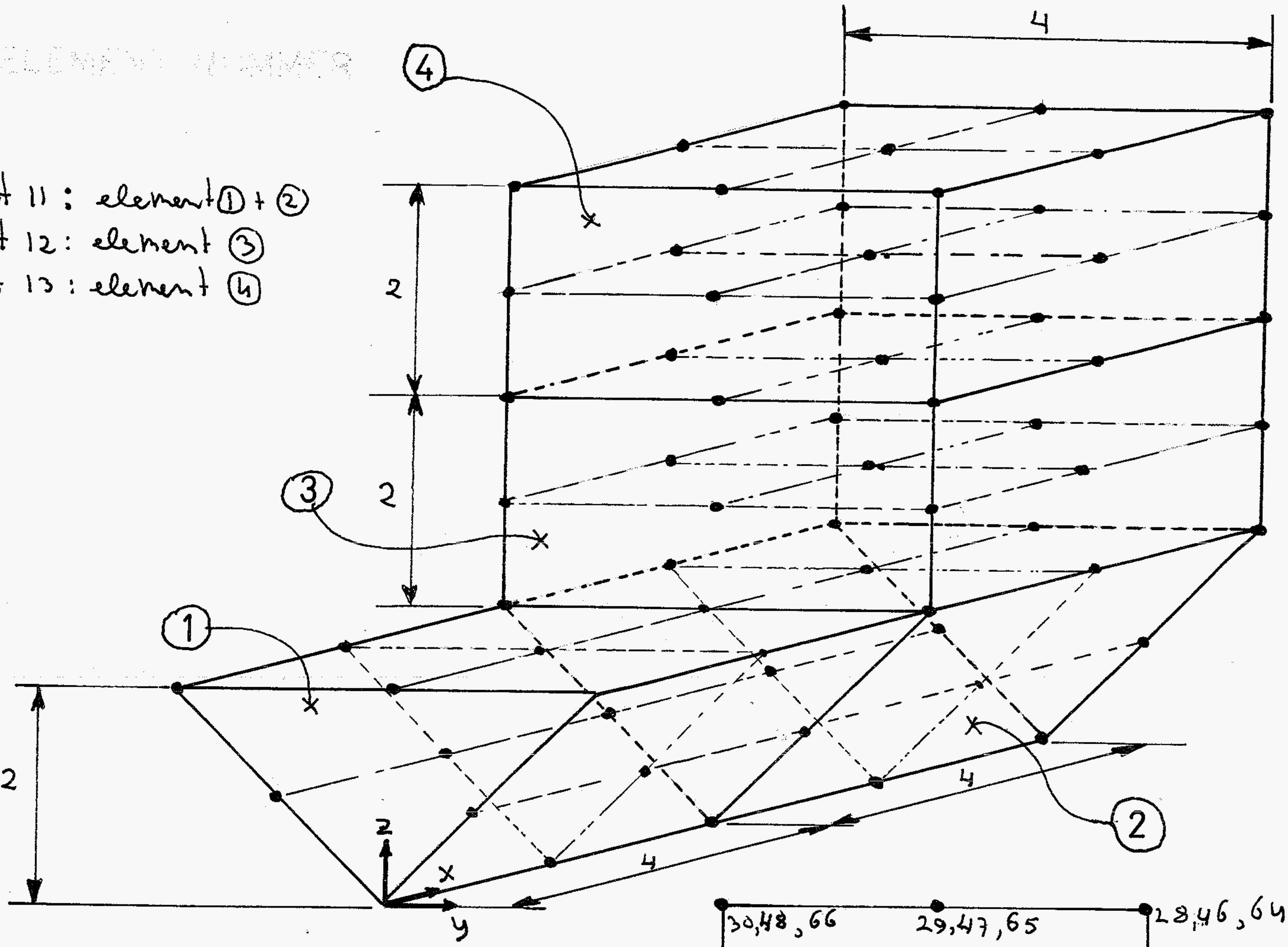
Hier wordt wellicht zeer duidelijk wat er gebeurt bij het koppelen: de respektievelijke vrijheidsgrootheden worden aan elkaar gelijk gesteld. Zie fig. 6.
De winst is duidelijk: het is niet meer nodig om 102 t/m 104 te kreëren, en het hoofdnet bevat (ongeveer) een kwart van het oorspronkelijk aantal vrijheidsgraden.
(De rekentijd winst is bij een testprobleem van deze omvang moeilijk te achterhalen).
De bij toepassing van deze truc behorende listing is terug te vinden in de afgedrukte listing, met weglating van de met een kruisje gemerkte regels.

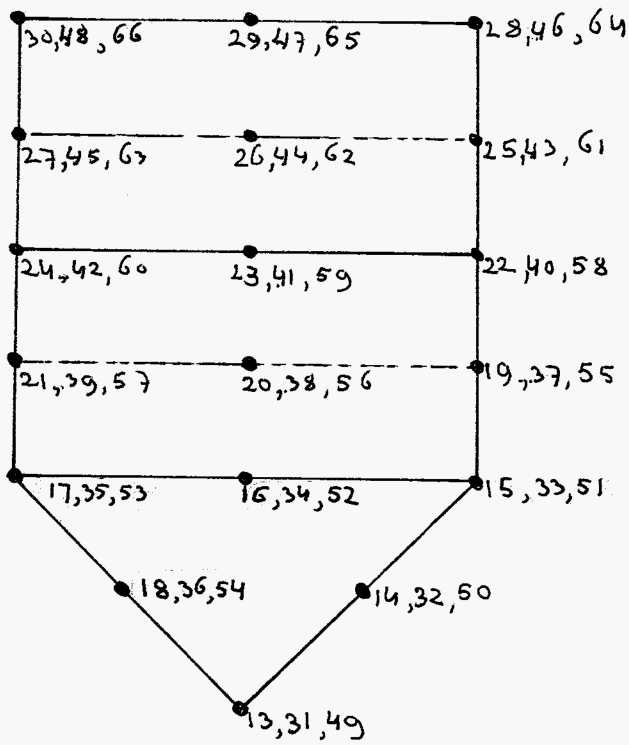
de prijs: per blad verschillende belastingen niet meer mogelijk.

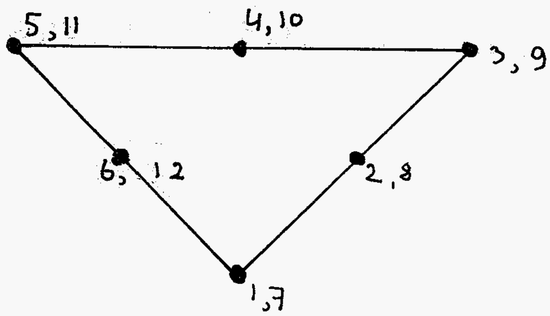



figuur 6

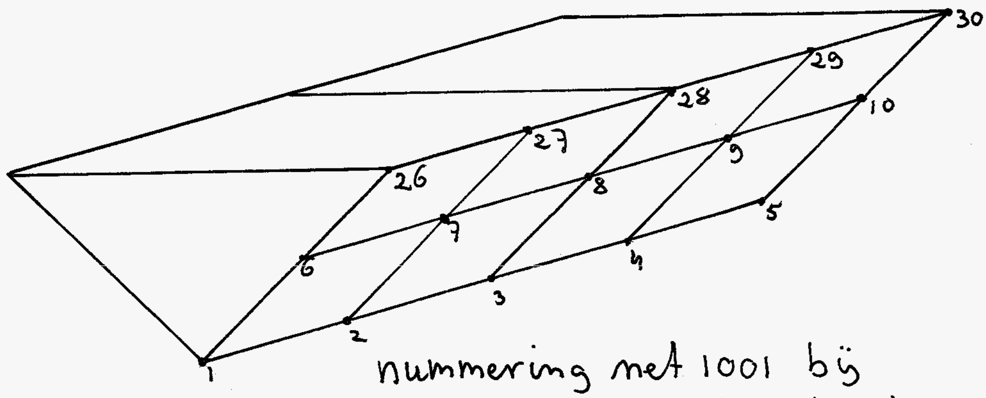
net 11 : element 1 + 2
net 12 : element 3
net 13 : element 4



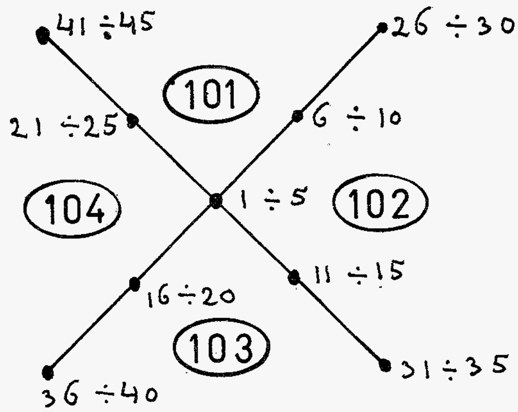



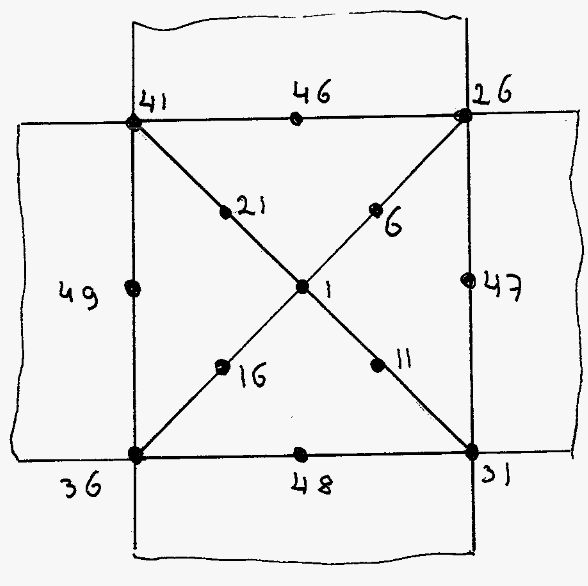
## NUMBERING EXTERNALS ON LEVEL 2




nummering met 1001 bij toepassen symmetrie-truuk




idem, zonder truuk



Bijlage D

Koppelen HEXEC 27 aan QUABC 9

JK776 <u>ASKA gebruikerservaringen</u>

## Het kombineren van dikwandige schaalelementen met volume-elementen in ASKA.

### Inleiding

Het kombineren van elementen van verschillende families leidt in het algemeen tot koppelproblemen, omdat de sets verplaatsingsgrootheden niet overeenstemmen.
Zonder moeite zijn er echter voorbeelden te vinden, waarbij een konstruktie vraagt om een verdeling, gedeeltelijk in volume-elementen, en elders in plattere elementen, zoals het in ASKA ontwikkelde dikwandig schaalelement QUABC9.
Op dit moment (zomer 1976) zijn de door het ISD beschreven koppelingsmogelijkheden beperkt. In dit verslag wordt een redelijk ~~schijnbaar~~ suksesvolle uitbreiding hierop beschreven.
We refereren met name aan de ASKA UM 212 dokumentatie.

### De volume-elementen

In principe bieden volume-elementen, zoals PENTAC en HEXEC de gelegenheid om dikwandige schaalkonstrukties te beschrijven.
Door de te respekteren lengte-breedte-dikte verhouding leidt dit echter bij dunne vormen snel tot zeer veel elementen en dus tot een groot aantal onbekenden.
Bij het beschreven koppelingsvoorbeeld wordt gebruik gemaakt van HEXEC27, een kubus-achtig element met 3 x 27 vrijheidsgraden u, v, w gerelateerd aan het globale koördinatensysteem. Zie figuur 1.

### Het schaalelement

In het UM 214 verhaal worden twee typen schaalelementen geïntroduceerd, te weten QUABC9 en QUABX3, welke laatste ontwikkeld is voor axi-symmetrische problemen.
In de hier beschreven koppeling wordt gebruik gemaakt van QUABC9, een dikwandig schaal- ~~rechthoek-achtig~~ element met 9 knooppunten, gelegen in het middenvlak. Zie fig. 2. De plaat-

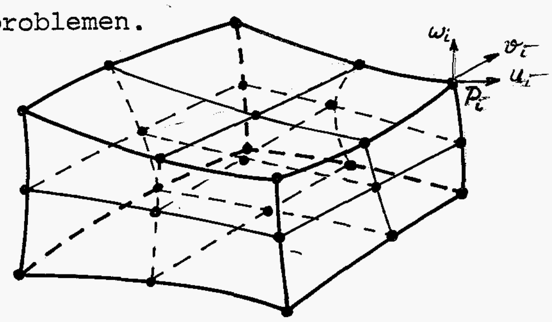



fig 1 HEXEC 27

selijke dikte van het element wordt bepaald door de positie van bij elk knooppunt behorende paar z.g. geometriepunten $P_{i(u)}$, $P_{i(1)}$ (u=upper, l=lower).
In feite worden de afmetingen en de positie van het element dus geheel bepaald door de koördinaten van de 9 boven- en 9 onderpunten.
(In tegenstelling tot de dunwandige schaalelementen, zoals QUAC9 hoeft de lijn $p_{i(1)} - p_{i(u)}$ niet normaal op het middenvlak te staan).
De vrijheden van de negen echte knooppunten zijn: 3 verplaatsingen (u,v,w) en 2 hoekverdraaiingen ($\alpha$,$\beta$), gerelateerd aan een lokaal ortogonaal assenstelsel,

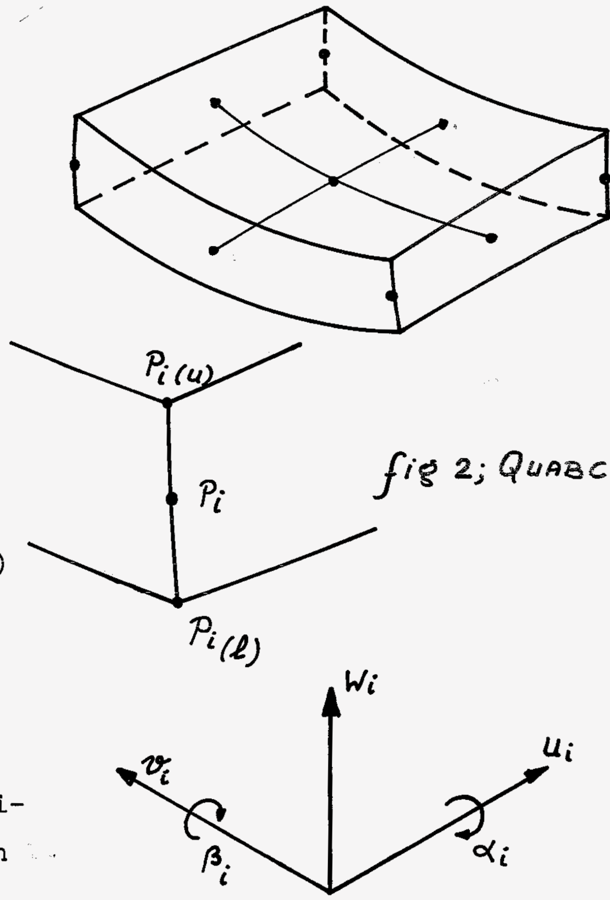


fig 2; QUABC9

waarbij de w-richting loopt van het onder- naar het bovenpunt, en de beide hoekverdraaiingen rond de u-resp. v-richting.*
Een mogelijke andere set van vrijheden is de volgende:

$$\rho^* = (u_{(u)} \quad v_{(u)} \quad w \quad u_{(1)} \quad v_{(1)})$$

waarbij dus de hoekverdraaiingen vervangen zijn door verplaatsingen van $p_{i(u)}$ en $p_{i(1)}$, loodrecht op de as door die twee punten.
Uit deze verplaatsings-grootheden blijkt duidelijk het schaalkarakter van het element: de rek in w-richting wordt verwaarloosd.

Het werken in ASKA met lokale assenstelsels is mogelijk dankzij het ROTATED BASIS-concept. Daardoor is het mogelijk om verplaatsingen of belastingen voor te schrijven t.o.v. een lokaal stelsel.
Ook bij het koppelen is ROTATED BASIS onmisbaar, zoals zal blijken.

* de richting van u en v zijn willekeurig te kiezen, binnen de conditie van het ortogonale rechterhand-assenkruis.

## Het koppelen

Van de twee meest voor de hand liggende mogelijkheden van koppelen (figuur 3) is op dit moment er slechts een in ASKA toepasbaar.

Geval a: koppeling langs een zijkant van de QUABC9.

Zelfs bij het gebruik van de $\rho^*$ -verplaatsingsgrootheden, is dit koppelen pas korrekt mogelijk bij gebruik van een "overgangselement", dat aan de onderzijde aansluit op de HEXEC-verplaatsingen, en boven aan de QUABC9. Dit element is op dit moment in ASKA niet beschikbaar.

Geval b: koppeling langs een oppervlak van de QUABC9, is wel mogelijk, en wel als volgt.

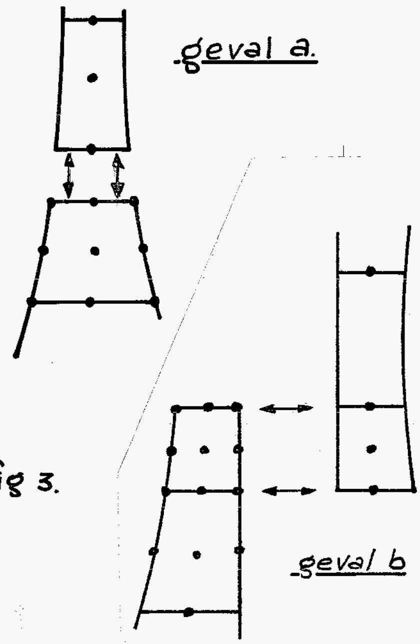


fig 3.

* ga over op de verplaatsingsgrootheden $\rho^*$ (d.m.v. een parametersturing in de APC, zie blz. D4.)
* bedenk, dat (volgens afspraak) alleen het bovenvlak van de QUABC9 kan worden gekoppeld, en positioneer de elementen dan ook op die manier.
* pas ROTATED BASIS toe op de 9 betreffende HEXEC knooppunten èn op de 9 (midden) knooppunten van de QUABC9: deklareer assenstelsels, waarbij de respektievelijk x, y en z-assen evenwijdig zijn, en de beide z-assen wijzen in de $p_{i_{(l)}} - p_{i_{(u)}}$ richting.

## Toch geval a

Het is duidelijk, dat de aansluitmogelijkheid a in veel gevallen gewenst is om de geometrie korrekt te kunnen beschrijven.

Hiertoe is de volgende truuk bedacht: (zie figuur 4) pas geval b toe, maar "verstop" het te koppelen QUABC9 element in het HEXEC element (beide van dezelfde afmetingen). De koppeling vindt plaats op de upper geometrie punten van de QUABC9.

Het is duidelijk dat dit overgangselement te stijf is.

wijst in de richting van $p_{i_{(1)}} - p_{i_{(u)}}$?

Noem de verschillen in koördinaten van $p_{i_{(1)}}$ en $p_{i_{(u)}}$

resp. $X_p$, $Y_p$, $Z_p$, gedefinieerd als

$X_p = X_u - X_1$

$Y_p = Y_u - Y_1$

$Z_p = Z_u - Z_1$, en noem het fiktieve punt

met koördinaten $X_p$, $Y_p$, $Z_p$: P.

We nemen $p_1$ in de oorsprong. Dan worden de eisen:

z'as: de lijn OP, x'-as: de lijn $OP_2$, y'as-: de lijn $OP_3$.

We noemen de bijbehorende vektoren resp. $\underline{p}$, $\underline{p}_2$, $\underline{p}_3$.

Nu moeten $(\underline{p},\underline{p}_2) = 0$

$(\underline{p},\underline{p}_3) = 0$

$(\underline{p}_2,\underline{p}_3) = 0$

ofwel

$$X_p \,.\, X_2 + Y_p \,.\, Y_2 + Z_p \,.\, Z_2 = 0 \qquad (1)$$

$$X_p \,.\, X_3 + Y_p \,.\, Y_3 + Z_p \,.\, Z_3 = 0 \qquad (2)$$

$$X_2 \,.\, X_3 + Y_2 \,.\, Y_3 + Z_2 \,.\, Z_3 = 0 \qquad (3)$$

waarbij bekend $X_p$, $Y_p$, $Z_p$.

We kunnen voor $P_2$ twee onbekenden kiezen, eerst bijvoorbeeld de richting van de x-as, die alleen aan vgl. (1) hoeft te voldoen, en daarnaast de afstand van punt 2 tot de oorsprong.

Neem b.v. $X_2 = 0$ en $Y_2 = 1$. Dan wordt (1):

$$Z_2 = - \frac{Y_p}{Z_p} \text{ en dus}$$

$$\underline{p}_2 = (0,1, - \frac{Y_p}{Z_p})$$

Vergelijking (3) wordt dan

$$Y_3 = \frac{Y_p}{Z_p} \,.\, Z_3 \qquad (4)$$

Nu kunnen we ook voor $P_3$ de afstand $OP_1$ kiezen, bijvoorbeeld impliciet daar $Y_3 = 1$ te nemen.

Met (4) wordt (2) dan

$$X_p \cdot X_3 + Y_p + Z_p \cdot \frac{Z_p}{Y_p} = 0, \text{ en dus}$$

$$\underline{p}_3 = \left(-\frac{Y_p}{X_p} - \frac{Z_p^2}{X_p Y_p}, 1, \frac{Z_p}{Y_p}\right)$$

Uitgewerkt geeft dit voor knooppunt n van de QUABC9-verzameling:

$RØTB N = 1   C = 9

.

.

n 0.0.0.   0. 1. $\left(-\frac{Y_p}{Z_p}\right)$   $\left(-\frac{Y_p}{X_p} - \frac{Z_p^2}{X_p Y_p}\right)$ 1. $\left(\frac{Z_p}{Y_p}\right)$

.

.

Voor het aan dit knooppunt te koppelen HEXEC punt gelden uiteraard dezelfde data.

3. Ter herinnering zij vermeld dat in het in te lezen data block de mogelijkheid bestaat tot het overschrijven van data. Dit komt te pas bij het inlezen van de halve stijfheid voor de te koppelen elementen. Zij b.v. slechts element 54 en 55 betrokken bij de koppeling, dan kan men inlezen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $EMOD | N=1 | C=2 | G=A |
| | 1 | 21000. | .3 |
| $EMDO | N=1 | C=2 | G=1 |
| | 54 | 11500. | .3 |
| | 55 | 11500. | .3 |

<u>Testprobleem</u>

Het doel van het testen was tweeledig:

1. Onderzoeken of het halveren van de resp. stijfheden van de koppelelementen, reeële eigenschappen aan die elementen toekende, met name de kontinuïteit in het verplaatsingsveld.
2. Bij ~~verrichte~~ veranderlijke dikte een "gemengde" konstruktie vergelijken met 2 andere, te weten een bestaande uit alleen HEXEC's en een andere bestaande uit alleen QUABC9 elementen.

Daartoe zijn drie kongruente, balkachtige vormen getest. Zie figuur 5.

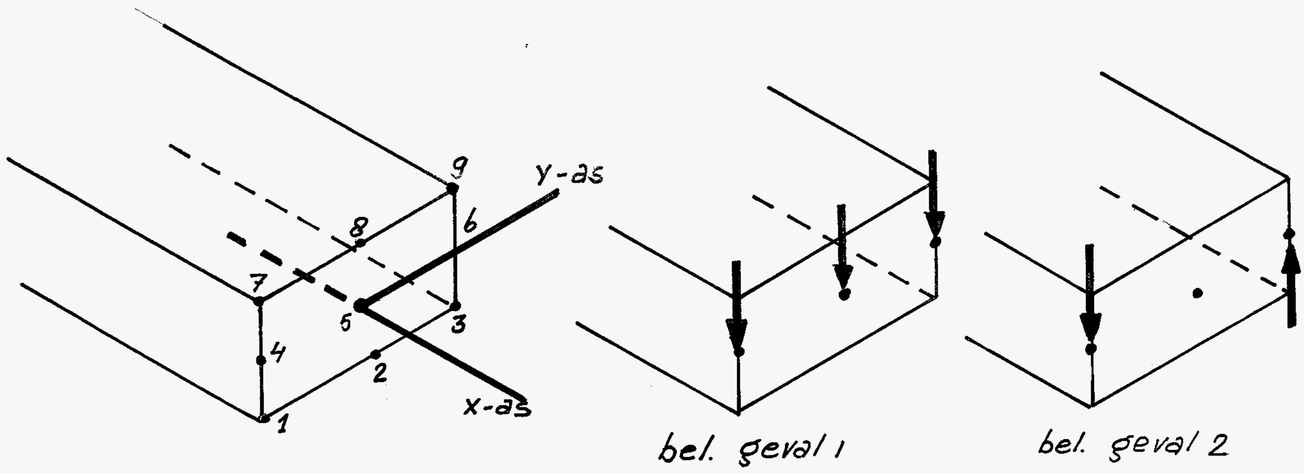
Twee belastingsgevallen: zuivere torsie en zuivere buiging.

Drie diktes: hoogte 2., 1., en 0.2, bij elementlengte 4 en breedte 4.

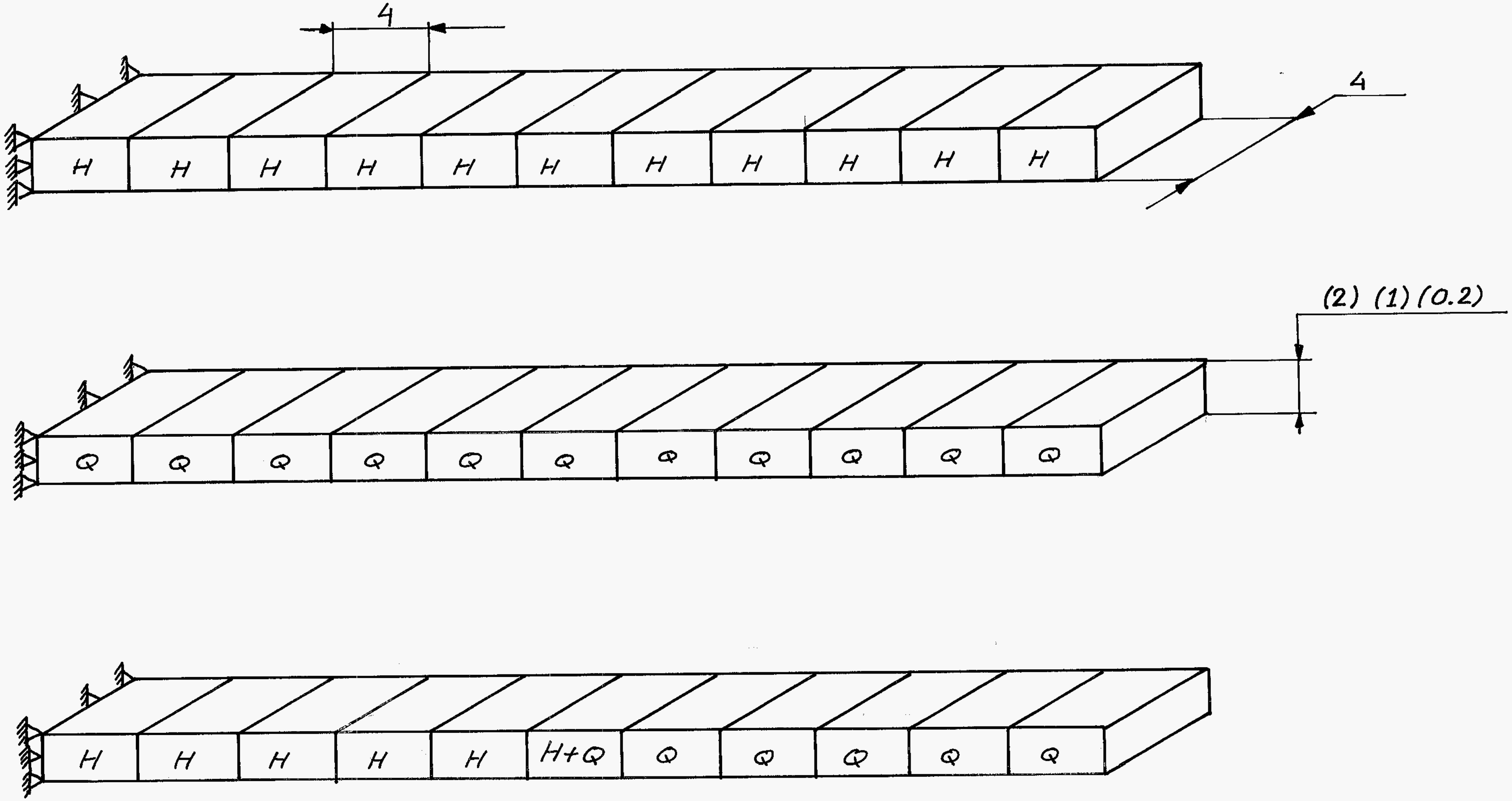
Voor het koppelelement in de gemengde balk is de halve stijfheid ingevoerd.

De bedragen dienen slechts per rij te worden vergeleken.

| . <u>Belastingsgeval 1: buiging</u> | HEXE | QUAB | Komb. | Exakt |
|---|---|---|---|---|
| - balken, hoogte 2: (Zie fig. 6) | | | | |
| zakking punten 4,5,6 eindvlak | 315.7 | 317.9 | 323.7 | 319.4 |
| hoekverdraaiing eindvlak | | | | |
| (rond y-as) | | 108.4 | 111.6 | 108.9 |
| zakking midden van balk | | | | |
| (x=22) | 98.0 | 99.1 | 98.3 | 99.8 |
| - balken, hoogte 1: | | | | |
| zakking punten 4,5,6 | 251.6 | 253.4 | 253.9 | 255.6 |
| hoekverdraaiing | | 86.7 | 87.3 | 87.1 |
| zakking midden | 78.0 | 78.9 | 78.1 | 79.9 |
| - balken, hoogte 0.2: | | | | |
| zakking punten 4,5,6 | 311.9 | 314.1 | 312.2 | 319.4 |
| hoekverdraaiing | | 107.9 | 107.4 | 108.9 |
| zakking midden | 96.2 | 97.4 | 96.3 | 99.8 |




*figuur 6*




FIGUUR 6

. Belastingsgeval 2: torsie

| | HEXE | QUAB | Komb. | Exakt |
|---|---|---|---|---|
| - balken, hoogte 2: | | | | |
| hoogteverschilpunt 4 en 6 (eindvl.) ...... | 107.2 | 112.1 | 111.5 | 125.2 |
| hoekverdraaiing eindvlak (punt 5) ....... | | 54.6 | 54.3 | 62.6 |
| verplaatsing eindvlak in y-richting ........ | 0. | 0. | 4.5 | 0. |
| - balken, hoogte 1: | | | | |
| hoogteverschil punt 4 en 6 ............ | 71.6 | 72.6 | 72.4 | 81.4 |
| hoekverdraaiing ...... | | 36.0 | 36.0 | 40.7 |
| verpl. y richting ...... | 0. | 0. | 0.5 | 0. |
| - balken, hoogte 0.2: | | | | |
| hoogteverschil punt 4 en 6 ............ | 83.2 | 83.2 | 83.1 | 85.8 |
| hoekverdraaiing ...... | | 41.6 | 41.5 | 42.9 |
| verpl. y-richting ...... | 0. | 0. | $6*10^{-3}$ | 0. |

N.B. De verplaatsingen in y-richting zijn per blok vergelijkbaar met het afgedrukt hoogteverschil tussen punt 4 en 6.

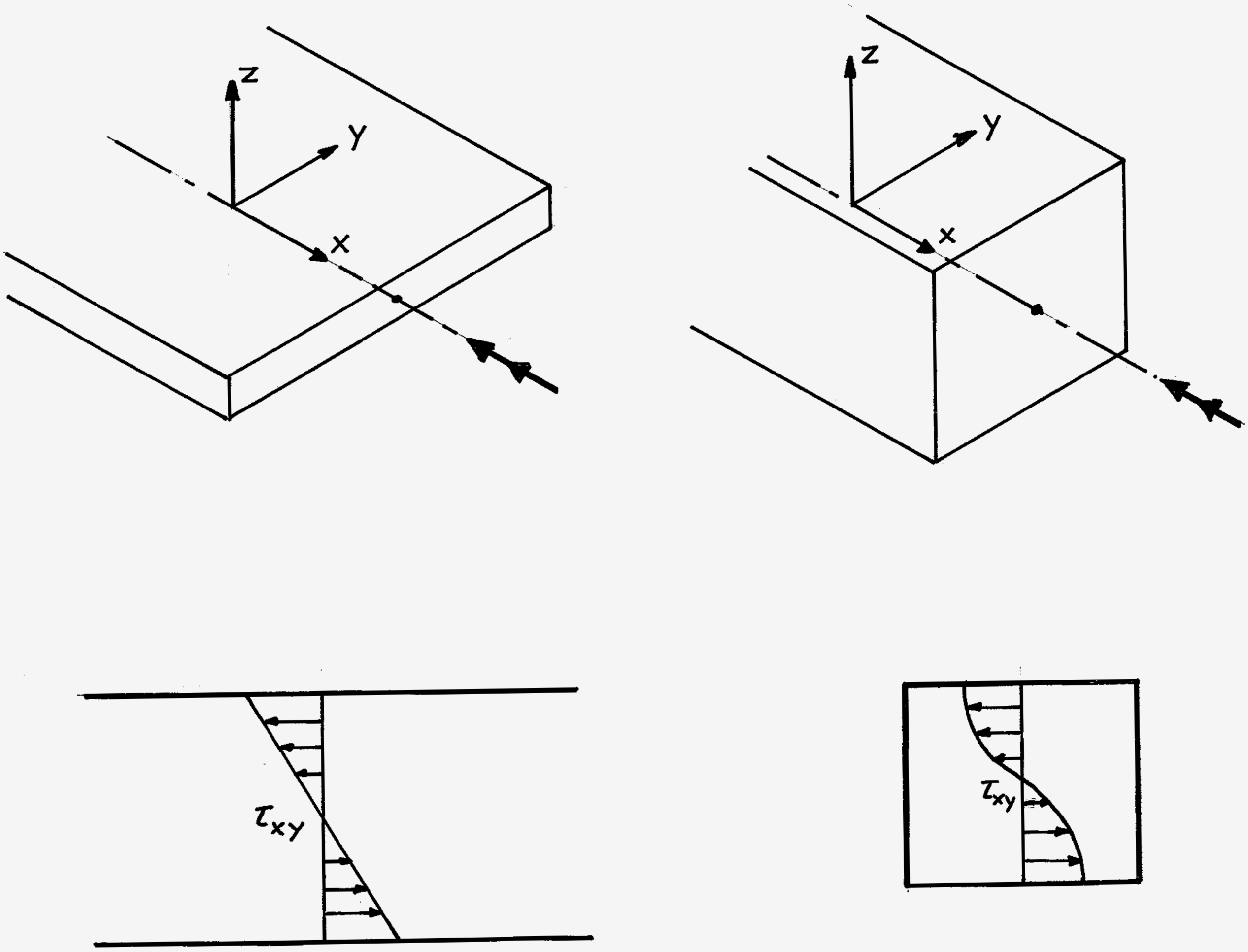
Slotopmerkingen

1. De overeenkomsten in het optredende vervormingspatroon zijn fraai te noemen. Er is geen aanleiding te vinden om andere dan de gebruikte waarden voor de stijfheden van de koppelelementen te kiezen, hoewel de korrektheid van de werkwijze niet bewezen is.

2. Over de verschillen tussen de resultaten van de HEXEC-balk, de QUABC9-balk, en de exakte oplossing kunnen we het volgende zeggen.
De beide elementtypen zijn zeer waarschijnlijk niet kompatibel op de grensvlakken. Dit feit maakt vergelijking van de resultaten moeilijker, en wel om de volgende reden.
Bij kompatibele verplaatsingsvelden leidt de gevolgde methodiek ( de verplaatsingsmethode ) steeds tot overschatting van de stijfheid, waarbij de overschatting naar nul konvergeert bij toename van het in de verdeling gebruikte aantal elementen
Bij niet-kompatibele velden geldt dit niet meer, en bestaat de mogelijkheid, dat bij een bepaalde verdeling de gevonden stijfheid <u>lager</u> is dan de exakte.

In ons testprobleem zou dit gedeeltelijk of zelfs geheel gekompenseerd kunnen zijn door de te grote stijfheid, die optreedt bij de verhindering van welving en dwarskontraktie ter plaatse van de inklemming.

3. Los van punt 2. kunnen we iets zeggen over de verschillen in de berekende hoekverdraaiingen ten gevolge van de torsiebelasing, afhankelijk van de hoogte van de balk.
Het in de elementenmethode veronderstelde verplaatsingsveld zal beter overeenkomen met de werkelijkheid naarmate de hoogte-breedte verhouding meer verschilt van 1.
Dan immers is het gebied van de spanningsloze hoeken relatief veel kleiner, en verloopt de schuifspannings-komponent $\tau_{xy}$ buiten die hoeken slechts weinig in y-richting.
In dat gebied is $\tau_{xy}$ slechts lineair afhankelijk van de hoogte, terwijl bij de balk met vierkante doorsnede die spanningskomponent sterk verloopt in y-richting, en niet-lineair verloopt in x-richting.
Onderstaande figuur laat dit zien.
Alleen de $\tau_{xy}$-komponent op y=0 is getekend.



Bijlage E

Verdeelde belasting in ASKA

Appendix E

## Verdeelde belasting in ASKA

### E.1 Inleiding

Met behulp van de aanroep CALL BQ in de APC (te plaatsen vóór BR) worden verdeelde belastingen, ingelezen in het data-blok BQIN, omgezet in kinematisch gelijkwaardige knooppuntskrachten.
Drie verschillende soorten verdeelde belasting kunnen worden bewerkt, te weten lijn-, druk- en volumebelasting, hoewel niet alle drie voor alle elementtypen. De voor ons van belang zijnde elementtypen zijn QUABC 9 en HEXEC 27. Op beide elementen kunnen wij BQ toepassen bij oppervlaktebelasting en alleen bij HEXEC 27 kunnen we volumebelasting om laten zetten in knooppuntskrachten.
Zoals in par. 6.2.12 is gemeld is dit probleem opgelost door zelf een procedure te schrijven (ELMAKRA), die de (tijdelijke) tekortkoming in ASKA opvult.
Een overzicht wordt gegeven van de handelswijze bij gebruik van de BQ-processor, en wel voor de in de schroef-analyse gebruikte gevallen.
Daarnaast wordt de opbouw en achtergrond van ELMAKRA beschreven. We refereren aan het ASKA UM 205 rapport.

### E.2 Drukbelasting

De op te geven druk wordt verondersteld normaal op het oppervlak te werken, waarbij de positieve richting wordt gedefinieerd van het oppervlak af.

Voor de HEXEC familie geldt:

Er wordt gebruik gemaakt van een zgn. drukbeschrijvings-string, die de data bevat die op de diverse oppervlakken de druk beschrijven. Er zijn twee mogelijke methoden te volgen, de zgn. oppervlakte-methode en de punt-methode.
Bij de oppervlakte-methode krijgt elk van de zes HEXEC oppervlakken een naam $S_1$ t/m $S_6$, definieerbaar dankzij de voorgeschreven volgorde van beschrijven van de 27 knooppunten in de topologie.
Op blz. 21 van het UM 205 rapport is de kubus getekend met de namen van de zijvlakken.
Voorbeeld van de oppervlakte-methode:

```
$ BQIN      C = 5   S = 25
        3   -5.   18.    12.    14.    16.
```

element.no. vlak 5 drukken

De -5 staat voor oppervlak S5, de S = 25 dient als herkenning van het element behorende tot de HEXE familie.

Het betreft element no. 3, waarbij op de knooppunten, die in de topologie als 1e, 7e, 19e en 25e zijn ingelezen een druk staat normaal op oppervlak 5, ter grootte van resp. 18, 12,14 en 16 drukeenheden.
De getallen 1,7,19 en 25 volgen uit de nummering van de uitgeklapte kubus.

Bij de puntmethode wordt geen oppervlak opgegeven, maar direkt de eigen knooppuntnummers en de bijbehorende druk, en wel in getallen-groepjes van vier. Hetzelfde voorbeeld in de punt-methode:

```
$ BQIN   C = 8   S = 25
   3    1.   7.   19.   25.     18.   12.   14.   16.
```

De volgorde van inlezen van de knooppunten is niet belangrijk, maar moet uiteraard overeenstemmen met de volgorde van de opgegeven drukken.

Voor het QUABC 9 element geldt:
De druk kan worden opgegeven op de 9 upper-geometriepunten èn de 9 lower-geometriepunten, waarbij voor beide series geldt, dat de positieve richting (ongeveer) samenvalt met de positieve z-richting, dat is van $P_{i,1}$ naar $P_{i,u}$. (Ongeveer want de druk is gedefinieerd loodrecht op het oppervlak ter plaatse, terwijl de z-as (de verbinding van lower- en upperpunt) niet loodrecht op het oppervlak hoeft te staan).
Voorbeeld:

```
$ BQIN      N = 13     C = 9     S = 10
7.   8.1   8.0   7.9   8.4   8.3   8.1   8.6   8.0   7.6
```

Het betreft element 7, de eerste 9 kolommen bevat nullen (S=10) en de 9 gevulde kolommen betreffen de lowerpunten.
De waarden zijn positief, dus de druk is hier positief, het oppervlak in.
Zie blz. 27 van het ASKA-rapport.

E.3 Volumebelasting HEXEC

Deze wordt opgegeven door de komponenten van de kracht per eenheid van volume $\rho\omega^2 r$ in te lezen voor alle acht hoekpunten. We krijgen derhalve 24 reals:

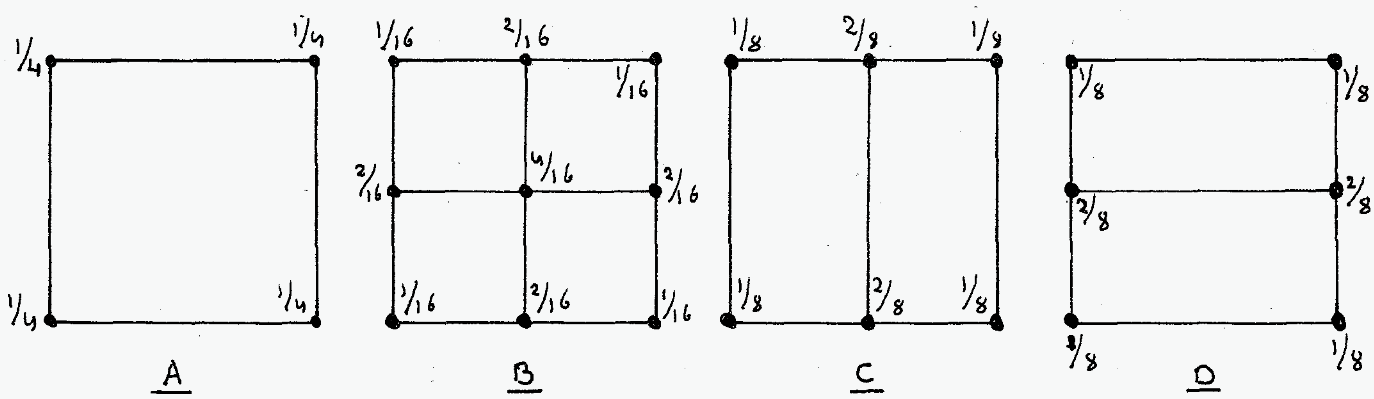
$ BQIN     C = 24
        17        $(F_{1x}, F_{1y}, F_{1z}, F_{1x}, \ldots\ldots F_{7z}, F_{8x}, F_{8y}, F_{8z})$

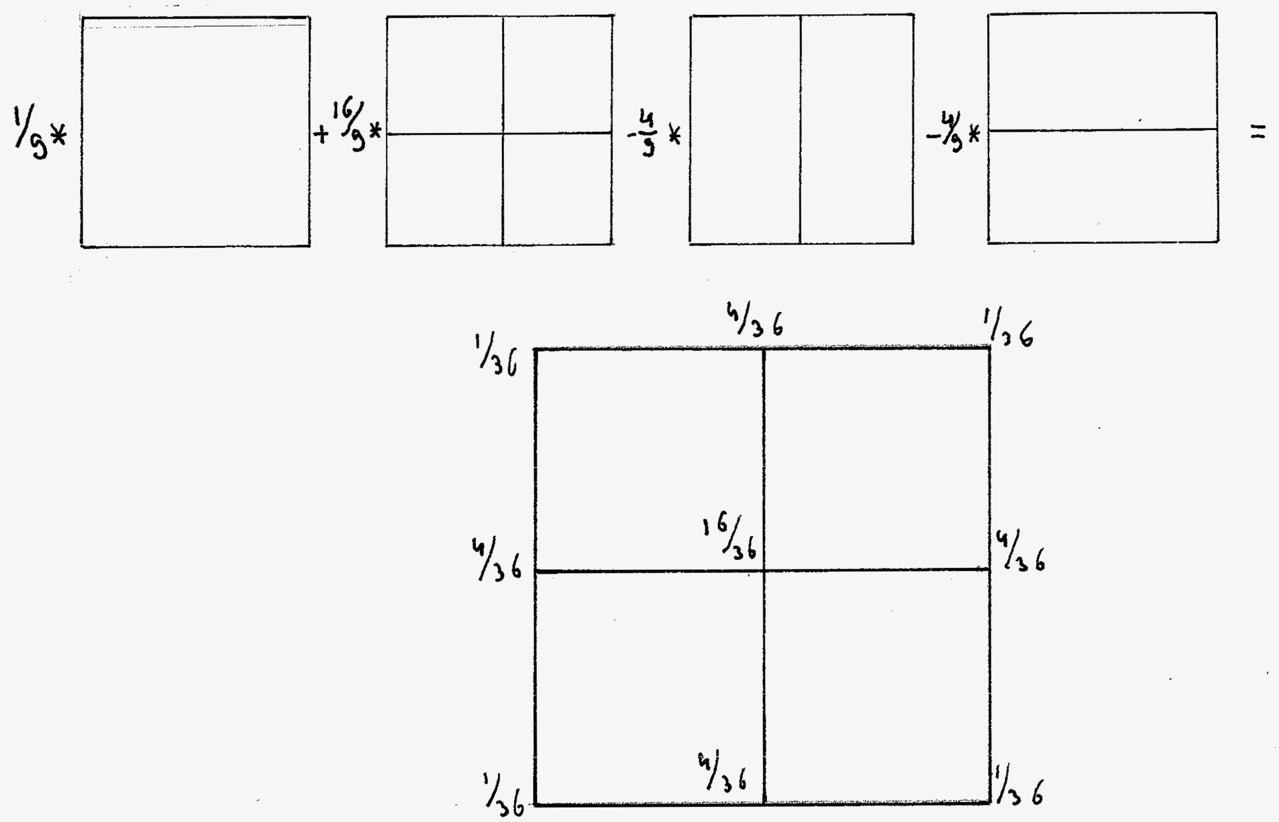
In ons geval van rotatie rond de x-as zijn de komponenten $F_{1x}$, $F_{2x}$ etc. nul.

E.4 Volumebelasting QUABC 9

Om zelf knooppuntskrachten te genereren op basis van volumekrachten is het in ieder geval nodig om te weten hoe bij de ideale elementvorm de knooppuntskrachten zich verhouden bij de representatie van een (homogeen) volumekrachten-veld.
Uit een eenvoudige test met een QUABC 9 element, voorzien van een homogene drukbelasting is gebleken dat de verhouding van de bijbehorende knooppuntskrachten 1:4:16 is. Zie figuur en tekst par. 6.2.12.1. Op basis hiervan is ELMAKRA ontworpen. Deze procedure vult een array KR[*,*] , behorende bij een knooppuntenarray. KR bevat na afloop de krachtvektoren in y- en z-richting van de knooppunten van alle elementen die massakrachten ondervinden t.g.v. rotatie rond de x-as.

De verhouding 1:4:16 trachten we te bewerkstelligen door superpositie van een aantal "elementaire" verdelingen. Zie onderstaand schema, waarin de vier te gebruiken komponenten staan afgebeeld.






De werkwijze is als volgt:
Gegeven een te bewerken element. We zoeken vermenigvuldigingsfaktoren behorende bij elk der vier verdelingen zodanig dat in de gesommeerde versie de verhouding 1:4:16 terug te vinden is.
(Als versie C en D dezelfde faktor hebben, krijgen alle vier de knooppunten halverwege de ribben een evengrote bijdrage).
De op te lossen vergelijkingen zijn:

$$\frac{1}{4} \cdot f_A + \frac{1}{16} \cdot f_B + \frac{1}{8} \cdot f_C + \frac{1}{8} \cdot f_D = 1/36$$

$$\frac{2}{12} \cdot f_B + \frac{2}{8} \cdot f_C = 4/36$$

$$\frac{4}{16} \cdot f_B = 16/36$$

en ook:
$$\frac{2}{16} \cdot f_B + \frac{2}{8} \cdot f_D = 4/36$$

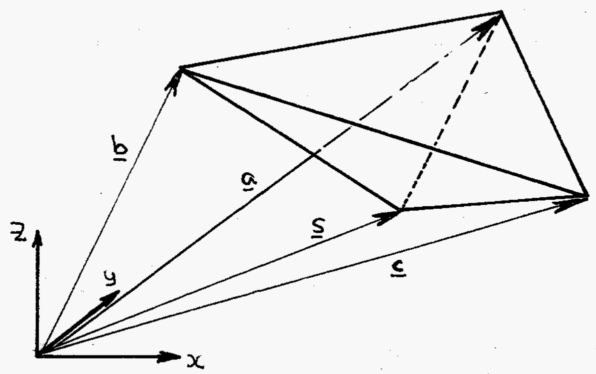
Hieruit volgt:

$$f_A = 1/9$$

$$f_B = 16/9$$

$$f_C = f_D = -\ 4/9$$

Hoe bepalen wij nu zo goed mogelijk het volume van een blokachtig element (deeltje)?
Wij moeten onze toevlucht zoeken in de sommatie van viervlakken, omdat de zijvlakken van het kubusachtige deeltje zadelvlakken (kunnen zijn: de vier knooppunten liggen dan niet in één vlak.
Centraal in ELMAKRA werkt de procedure "bijdrage viervlak", waarin voor een viervlak opgespannen door de vektoren, $\underline{s}$, $\underline{a}$, $\underline{b}$, en $\underline{c}$ het produkt IV $\underline{r}$ wordt bepaald.
(IV = volume viervlak, $\underline{r}$ = afstand x-as tot zwaartepunt).




$$IV = \frac{1}{6}\,\mathrm{Det}\,(\underline{s}-\underline{a}\,,\ \underline{s}-\underline{b}\,,\ \underline{s}-\underline{c})$$

$$R_i = \frac{\underline{s}_i + \underline{a}_i + \underline{b}_i + \underline{c}_i}{4}\ ; \quad i = 2,3$$

Een prisma met een vierhoek als basis is opgebouwd gedacht uit 5 viervlakken. Zodoende ontstaat, door binnen de procedure "bijdrage prisma" 5 maal "bijdrage viervlak" aan te roepen de bijdrage van dit prisma. Door nu "bijdrage prisma" aan te roepen voor de elementbrokjes zoals in de eerste figuur is getekend en te sommeren zoals beschreven, ontstaan de 2  9 krachtvektor-komponenten, die een benaderende maat zijn voor de volumekrachten t.g.v. rotatie rond de x-as.

ELMAKRA is opgenomen in de blad-programma procedure BQMASSA die de uitvoer verzorgt in ASKA-formaat. Zie pag. 6.2.12.

## Bijlage F

Overwegingen bij de keuze van drie-dimensionale elementen in ASKA

## Overwegingen bij de keuze van volume-elementen in ASKA

### 1. Inleiding

Uit de binnen ASKA, zie [1] , beschikbare elementen dient een verantwoorde keuze te worden gemaakt t.b.v. het analyseren van de schroef. De volgende aspekten zijn daarbij van belang:

1. de aard van de spanningstoestand in de schroef en het beschouwde gedeelte van de schroefas
2. een goede beschrijving van de geometrie van de konstruktie
3. de kwaliteit van het element m.b.t. de nauwkeurigheid van de resultaten.
4. de mogelijkheden voor het koppelen van elementen van verschillende type
5. de benodigde rekentijd
6. voor het blad: de mogelijkheid binnen ASKA voor het in rekening brengen van verdeelde oppervlakte- en volumebelasting
7. de "hanteerbaarheid" van het element m.b.t. het verschaffen van invoergegevens.

De spanningstoestand in de as, de naaf, de bladwortel en het aangrenzende bladgedeelte zijn duidelijk drie-dimensionaal, zodat we hier 3-D-elementen zullen moeten toepassen. Voor het blad kunnen wellicht schaalelementen een toepassing vinden.

### 2. Mogelijke keuze van de 3-D-elementen

De in ASKA-beschikbare 3-D-elementen zijn: (zie [1] )

- de TET 4-familie (TET 4, PERTET 4, PELTET 4, HETET 4)
- de TET 10-familie (TET 10, PERTET 10, PELTET 10, HETET 10)
- PENTA 6
- PENTA 18 en PENTAC 18
- HEXE 8
- HEXE 27 en HEXEC 27.

De TET-4 familie valt af wegens de beperkte eigenschappen van deze elementen (per element zijn slechts konstante spanningen mogelijk).
Gebaseerd op de konklusies van het testrapport PRGL-TEST-R71-1 (zie hiervoor de twee laatste bladzijden van deze appendix) kunnen we het volgende schrijven:
De elementen PENTA 6 en HEXE 8 vervallen wegens de in het rapport genoemde tekortkomingen.
De keuze tussen de resterende elementen laten we voorlopig open; bij een gelijk aantal vrijheidsgraden blijken HEXE 27 en HEXEC 27 wat nauwkeuriger te zijn dan PENTA 18, PENTAC 18 en de TET 10 familie; HEXE 27, HEXEC 27 en PENTAC 18 vereisen een ca. tweemaal zo grote rekentijd als PENTA 18 en de TET 10 familie, zie het testrapport.

Voor het nauwkeurig beschrijven van de geometrie kan, wegens de plaatselijk sterk gekromde oppervlakken met duidelijk minder elementen worden volstaan, indien elementen met gekromde zijvlakken (PENTAC 18, HEXEC 27) worden toegepast.
Wegens de nauwkeurigheid in de resultaten van het testprobleem valt de keuze dan op de HEXEC 27.
(De enige plaats waar een rij PENTAC 18 is gebruikt is in de as en wel om redenen die in 3.4 zijn beschreven).
De overige in 1. genoemde gezichtspunten leveren voor deze keuze geen problemen:

- HEXEC 27 en PENTAC 18 zijn goed koppelbaar, de sets vrijheidsgraden op de grensvlakken komen overeen. De afwijking t.g.v. het niet kompatibel zijn van de respektievelijke zijvlakken is van dezelfde orde als de afwijking die optreedt bij de koppeling van HEXEC's onderling.
- oppervlaktebelasting en volumebelasting kunnen in rekening worden gebracht (m.b.v. de processor BQ)
- de geometrie van de elementen kan eenvoudig gedefinieerd worden door het opgeven van de koördinaten der knooppunten.

## 3. Keuze van de elementen voor het blad

Voor het blad is aanvankelijk ook gekozen voor HEXEC 27 elementen. Vooral bij high-skew schroeven blijkt de bladtip echter dermate dun te worden, dat bij een beperkt aantal elementen, de elementen te dun worden.
Bovendien kan wegens de spanningstoestand in het blad, wellicht met minder rekentijd vergende schaalelementen worden volstaan.
De mogelijkheden binnen ASKA daarvoor zijn de dunwandige schaalelementen SHEBA 3 en SHEBA 6 en het dikwandige schaalelement QUABC 9. Indien wij - teneinde de rekenkosten te beperken - in een zo groot mogelijk deel van het blad schaalelementen kiezen, worden die elementen vrij dik. Onze keuze valt derhalve op QUABC 9.
Bovendien zijn de SHEBA elementen voor de gebruiker moeilijk te hanteren, daar de geometrie van de elementen op nogal vermoeiende wijze (eerste en tweede afgeleiden) moet worden beschreven.
Met betrekking tot de nauwkeurigheid en de rekentijd zijn nog nauwelijks testrapporten beschikbaar. De rekentijd voor QUABC 9 zal echter waarschijnlijk beduidend kleiner zijn dan voor HEXEC 27 (45 vrijheidsgraden versus 81), terwijl de nauwkeurigheid voldoende lijkt voor de bladtip.
(Enige indruk van QUABC 9 in vergelijking met HEXE 27 krijgt men uit de resultaten, beschreven in Appendix D).

Voor de overige onder 1. genoemde gezichtspunten merken wij op:

- QUABC 9 is een gekromd element en kan derhalve de bladgeometrie goed beschrijven
- de koppeling van QUABC 9 aan HEXEC 27 levert problemen (van voorbijgaande aard) op, in Appendix D is aangegeven hoe we deze moeilijkheden hebben omzeild
- met processor BQ kunnen we wel een drukbelasting beschrijven maar (nog) geen volumebelasting. In Appendix E is een voorlopige oplossing voor dit probleem beschreven.
- de geometrie van de elementen kan eenvoudig beschreven worden door de deklaratie van de geometriepunten.

Conclusies en opmerkingen.

Uit tabel 1 en 2 volgt dat het PENTA 6 element hier slechte resultaten oplevert terwijl de rekentijd voor de gekozen constructie net zo hoog is als bij gebruik van PENTA 18 en PERTET 10 elementen. Dit is niet zo verwonderlijk omdat de verplaatsingsfuncties onvolledige tweede graads polynomen zijn. Een lineair verloop van de spanningen binnen het element kan dus niet exact worden weergegeven. Het gebruik van dit element is dus af te raden.

Ook het element HEXE 8 is niet aan te bevelen, de resultaten zijn vrij onnauwkeurig en de rekentijden zijn voor ons voorbeeld meer dan 50 procent hoger dan voor PERTET 10 en PENTA 18. Ze zijn zelfs hoger dan voor HEXE 27.

Het element PENTA 18 komt wat rekentijd en nauwkeurigheid betreft praktisch overeen met PERTET 10. Dit element lijkt zeer bruikbaar maar een duidelijke voorkeur voor dit element boven de uit tretaëders opgebouwde elementen PERTET 10 en PELTET 10 is niet aangetoond.

De resultaten van de PENTAC 18 elementen zijn niet beter dan van de PENTA 18 elementen; de rekentijd is echter ongeveer twee maal zo hoog. Het tijdsverschil ontstaat voornamelijk doordat de processor SK in het geval van tabel 5 een circa 7 maal langere tijd opeist. De reden hiervan is waarschijnlijk dat voor PENTAC 18 numerieke integratie over het element wordt toegepast en voor PENTA 18 niet. Dit element kunnen we dus voor het gebruik niet aanbevelen.

De HEXE 27 en de HEXEC 27 geven wat nauwkeuriger resultaten dan de PENTA 18 en de PERTET 10 elementen. De rekentijden zijn echter circa ~~50~~ 100 procent hoger en voor HEXE 27 en HEXEC 27 praktisch gelijk. Het HEXEC 27 element is niet nauwkeuriger dan het HEXE 27 element. Voor eenzelfde aantal vrijheidsgraden zijn de HEXE 27 elementen dus nauwkeuriger dan de PENTA 18 of de PERTET 10 elementen; voor eenzelfde rekentijd is het nog de vraag welke nauwkeuriger zijn.

Voor PENTA 18 en HEXE 27 zijn de coëfficiënten $\alpha_{MV}$ en $\alpha_{MM}$ in tabel 1 hoger dan de analytische oplossing; dit komt doordat de benaderde constructie verzwakt is t.o.v. de werkelijke constructie door het benaderen van de gekromde oppervlakken door platte vlakken.

Literatuur.

[1] TIMOSHENKO, S. Strength of Materials I Hfdst. 12
v. Nostrand Company, Princeton, New Jersey (1955).

Bijlage G

Verslag assemblagetest

| Vercime | Report of keyless propeller assembly test.<br>Date of test : August 28, 1975. | Nr. |
|---|---|---|
| | | afdeling: Calculations |
| | | opgeg. door: R. Bos / par. |
| | | aant. bl.: 6 / datum: 3-9-1975 |
| bedrijf: V. M. IJ. / | Bouw Nr./~~Order Nr./Project Nr.~~ 884 | |

1. Situation

Propeller horizontally positioned. Sternshaft vertically lowered into propeller boss.
S. K. F. nut turned on.
Clock sensor for travel measurement on top of propeller.
S. K. F. piston area = 2200 sq. cm.
Required initial dry fit load 114,4 tonnes, required by Lloyd's.
Dead weight of shaft and nut = 37 + 0,8 = 37,8 tonnes.
Ambient temperature = 20,8 °C
Required pull-up = 12,9 mm, according to approved push-up diagram.

2. First Mounting

a) Initial axial hydraulic pressure = $\frac{(114,4 - 37,8) \cdot 10^3}{2200}$
34.8 kgf/sq. cm.
This gives the correct position of surface contact and is considered as the starting point for the oil shrink.

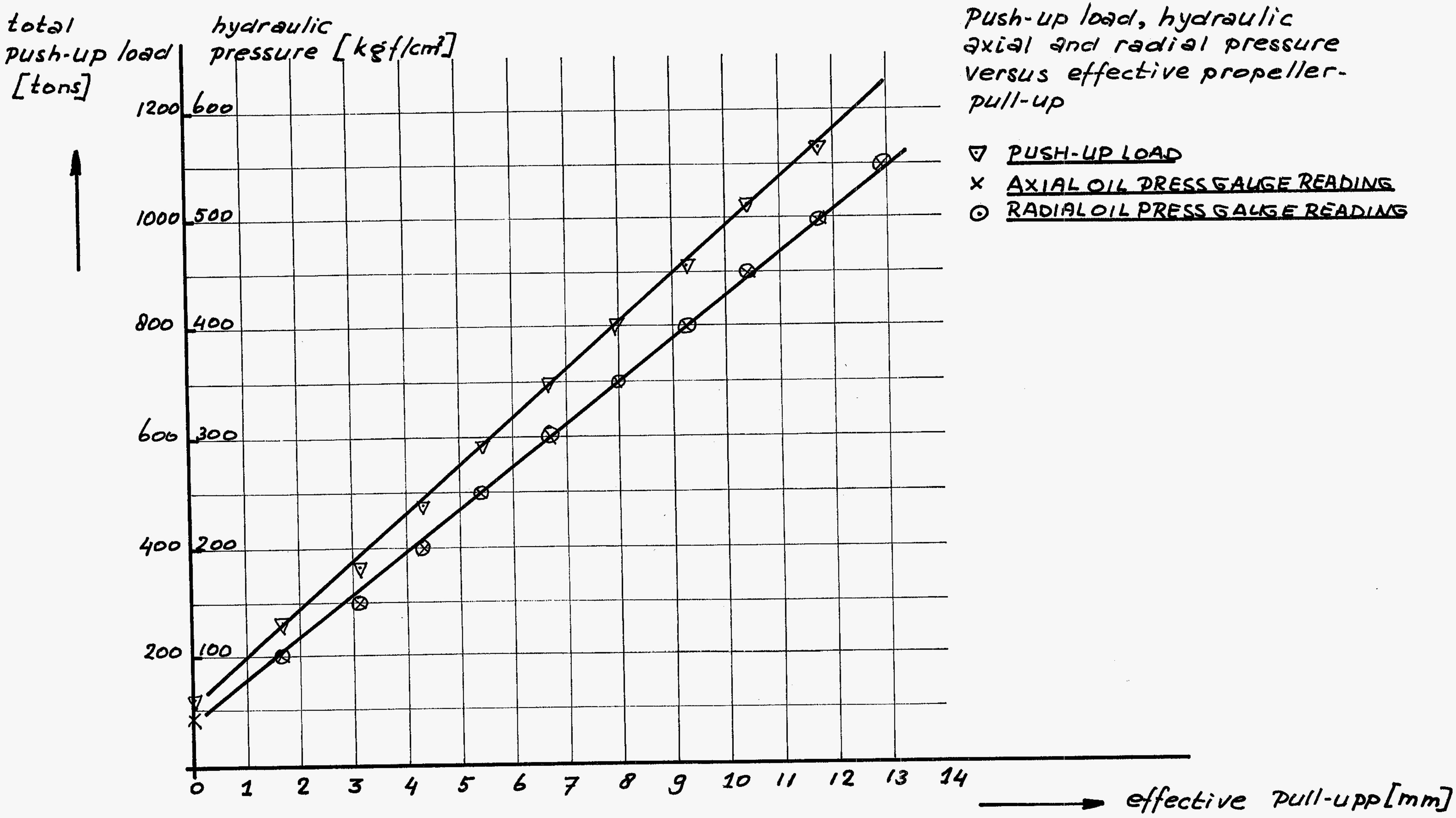
b) Oil Pressure Shrink

Readings see next sheet.

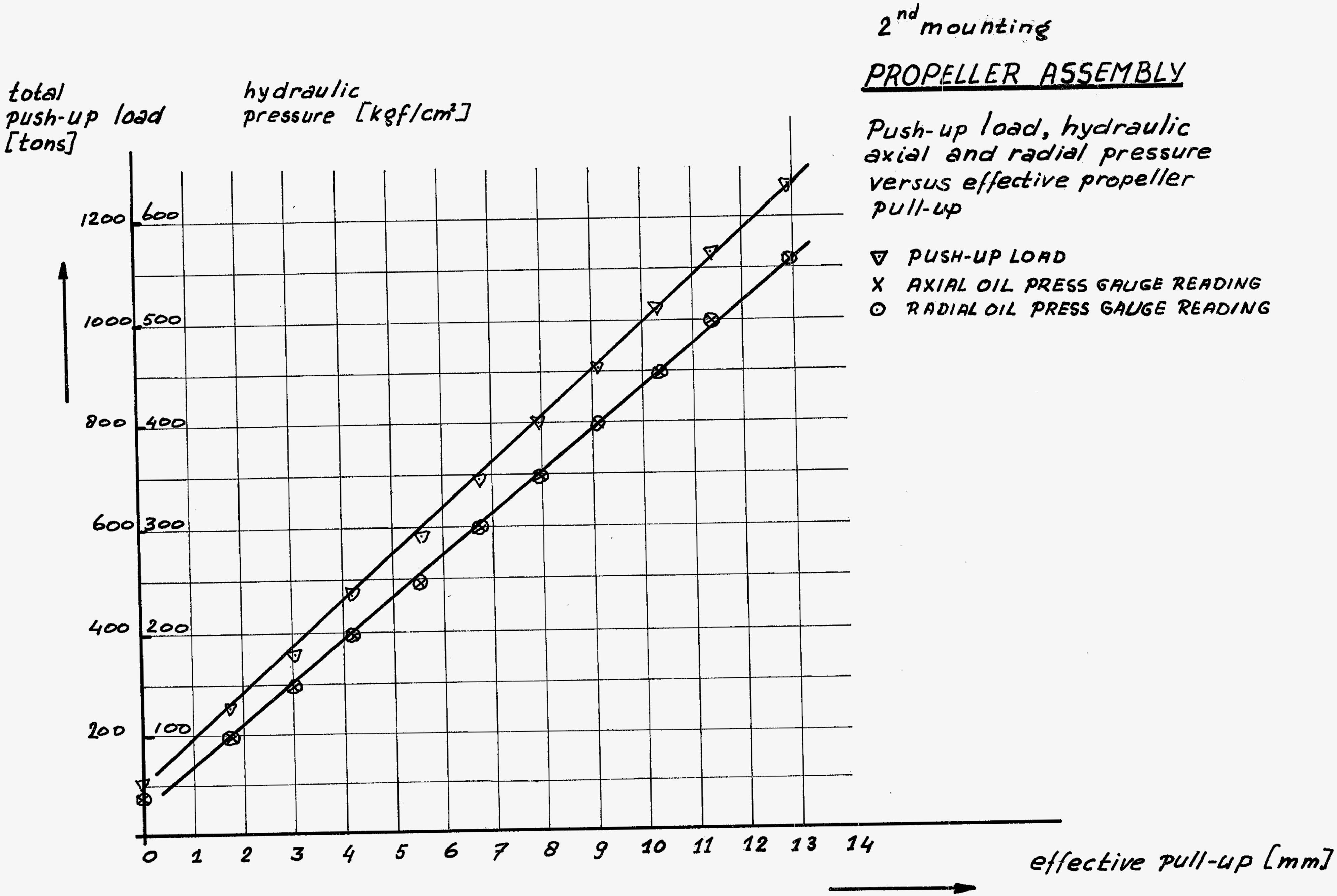
1st mounting

## PROPELLER ASSEMBLY

Push-up load, hydraulic axial and radial pressure versus effective propeller-pull-up




G.2


2nd mounting
PROPELLER ASSEMBLY
Push-up load, hydraulic axial and radial pressure versus effective propeller pull-up
PUSH-UP LOAD
AXIAL OIL PRESS GAUGE READING
RADIAL OIL PRESS GAUGE READING
total push-up load [tons]
hydraulic pressure [kgf/cm²]
1200
1000
800
600
400
200
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
effective pull-up [mm]

G.3

Readings

| Axial oil press. kgf/sq. cm. | Total push-up tonnes | Radial oil press. kgf/sq. cm. | Pull-up mm | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| 34.8 | 114,4 | - | 0 | start |
| 100 | 257,8 | 100 | 1,65 | |
| 150 | 367,8 | 150 | 3,10 | |
| 200 | 477,8 | 200 | 4,30 | |
| 250 | 587,8 | 250 | 5,40 | |
| 300 | 697,8 | 300 | 6,65 | |
| 350 | 807,8 | 350 | 7,95 | |
| 400 | 917,8 | 400 | 9,25 | |
| 450 | 1027,8 | 450 | 10,40 | |
| 500 | 1137,8 | 500 | 11,70 | |
| 550 | 1247,8 | 550 | 12,90 | end |

See sheet 4.

Radial and then axial hydraulic pressure released.
Clock reset at 0 mm.

3. Second Mounting

a) Dry Cone Force Fit

Axial hydraulic pressure =34,8kgf/sq. cm.

b) Oil pressure shrink.

Readings

| Axial oil press. kgf/sq. cm | Total push-up tonnes | Radial oil press kgf/sq. cm | Pull-up mm | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| 34,8 | 114,4 | - | 0 | start |
| 100 | 257,8 | 100 | 1,75 | |
| 150 | 367,8 | 150 | 3,05 | |
| 200 | 477,8 | 200 | 4,10 | |
| 250 | 587,8 | 250 | 5,55 | |
| 300 | 697,8 | 300 | 6,75 | |
| 350 | 807,8 | 350 | 7,95 | |
| 400 | 917,8 | 400 | 9,10 | |
| 450 | 1027,8 | 450 | 10,35 | |
| 500 | 1137,8 | 500 | 11,40 | |
| 560 | 1269,8 | 560 | 12,90 | end |

See sheet 5.

Radial and then axial hydraulic pressure released.
Clock pointer remains at 12,90mm.

## Bijlage H

Listing van blad-, naaf- en asprogramma

BL1

```
? JOB JANKLINGEN  ;QUEJE=3; USER=02165241/BERT;PROCESSTIME=300;BEGIN
?COMPILE W/WE/JAN/KLINGEN/BERGE/TASTA WITH BEATHE
? COMPILER FILE NEWTAPE(KIND=PUNCH,BLOCKSIZE=0)
? FILE IN (KIND =READER)
? FILE OUT (KIND=PRINTER)
? FILE UIT (KIND=PRINTER)
? FILE BLAD(KIND=PLOTTER30)
$'SET'LIST
? DATA
$'RESET' LIST
$'SET'  THELIBRARY
'BEGIN'
$'INCLUDE'"DRAWPROCEDURES"
'FILE' IN,UIT,BLAD,OUT;
  'ARRAY'       PPI, FF, GD, BET, BETI, CIRC, VSV, CPR [0:15],
        D, RR[0:25],
           COEFFRLL, COEFFLL [1:30,0:5],
           COEFFRPPI , COEFFPPI , COEFFRFF , COEFFFF,
           COEFFRTT  , COEFFTT  , COEFFRBET, COEFFBET,
           COEFFRBETI, COEFFBETI, COEFFRCIRC,COEFFCIRC,
           COEFFRCPR , COEFFCPR,
           COEFFRVSV , COEFFVSV , COEFFRGD  ,COEFFGD [1:15,0:5],
           BL[1:1500,1:3]  ,QF,QB[1:400,1:3],
              PHEX, PFACE, PBACK[1:800],
            RRV, RRA, LAN, LVN [1:20],
           TT, LLV, LLA, LL,     YY, TWA, TWB, TWC, TWD,
           ALPHA[0:25]  ,STATUS[0:5],  RC[0:40];
'INTEGER' AP,LAGEN, SNY, RAKE, AR, NG, NT, NBL, NQ, AP2,
           J, N, M, TOER, VSCHIP, I;
'REAL'     X,XB,XO,YB,YO, L, T, F, LV, LA, GGD, PI,
           STR, RG,RB,RD, AT, LS,  RTOP, RPOOL, YPOOLCOR,
           EPS, PR, PSI, DUM;


'PROCEDURE' PROFIEL(X,XO,YO,XB,YB,AR,TT,FF);
    'VALUE' X,TT,FF;  'REAL' X,XO,XB,YO,YB,TT,FF;
    'INTEGER'  AR;

%%% PROFIEL LEVERT (BIJ EEN GEGEVEN KEUZE VAN HET ARNOLDUS-PROFIEL, DE
%%% DIKTE TT EN DE WELVING FF), BIJ EEN GEGEVEN X TUSSEN 0 EN 1 TWEE
%%% PUNTEN: XO, YO (X- EN Y-COORDINAAT VAN PUNT OP ONDERZIJDE VAN HET
%%% PROFIEL) EN XB, YB (IDEM, AAN BOVENZIJDE = RUGZIJDE).
%%% DE TWEE PUNTEN HEBBEN ONGEVEER DEZELFDE X-COORDINAAT ALS DE INGE-
%%% LEZEN X. FF EN TT WORDEN OP SCHAAL LL (=LENGTE VAN HET PROFIEL) IN-
%%% GELEZEN.

'BEGIN''REAL' P,PA,Q,QA,R,RA,  T,YC,YAC,     FAK,A1,A2,A3,A4;
      'IF' AR=1 'THEN' FAK:=1+(TT-0.075)/SQRT((TT-0.075)**2+0.01*TT)
                'ELSE' FAK:=0;
      A1:=-0.76304+0.5*( 2.7170+0.76304)*FAK;
      A2:=-0.26012+0.5*(-3.2705+0.26012)*FAK;
      A3:=-0.76304+0.5*(-1.6005+0.76304)*FAK;
      A4:=-0.26012+0.5*( 1.2557+0.26012)*FAK;
'IF' X>0.8-EPS 'AND' X<0.8+EPS 'THEN' P:=PA:=0
                              'ELSE'
                              'BEGIN'   P:=((0.8-X)**2)*LN(ABS(0.8-X));
                                        PA:=(0.8-X)*LN(ABS(0.8-X));
                              'END';
'IF' X> 1-EPS   'THEN' Q:=QA:=0
                'ELSE''BEGIN'  Q:=((1-X)**2)*LN(1-X);
                               QA:=(1-X)*LN(1-X);
                        'END';
'IF' X< EPS     'THEN' R:=RA:=0
                'ELSE''BEGIN'  R:= X*LN(X);
```

BL2

```
                                    RA:= LN(X);
                                    RA:= LN(X);
                         'END';
YC:=(FF*1.302 )*(2.5*(P-Q+0.18-X/5)-R-0.09297+0.3039*X);
YAC:=(FF*1.302 )*(5*(QA-PA)-RA-1.3039);
'IF'X>EPS 'AND' X<1-EPS 'THEN'
   'BEGIN' T:=TT*(A1*(X-SQRT(X))+A2*(SQRT(X**3)-SQRT(X))+
           A3*(1-X-SQRT(1-X))+A4*(SQRT((1-X)**3)-SQRT(1-X)));
           YB:=YC+T/SQRT(1-YAC**2);
           XO:= X+T*YAC/SQRT(1+YAC**2);
           XB:= X-T*YAC/SQRT(1+YAC**2);
           YO:=YC-T/SQRT(1-YAC**2)
   'END'
'ELSE' T:=XO:=YO:=XB:=YB:=0;
'END' PROFIEL;




%
'PROCEDURE'SPLINE(I, I1, I2, XI, YI, A, B);
'VALUE'I1, I2;
'INTEGER'I, I1, I2;
'REAL'XI, YI;
'REAL''ARRAY'A, B[1,0];
'BEGIN'
    'INTEGER'J, NUMBOFINT;
    'REAL'       X1, X2, X3, X4, X5, X6, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6;
    'REAL''ARRAY'X, Y[1:I2-I1+1];
    'DEFINE'A0=A[I,0]#, A1=A[I,1]#, A2=A[I,2]#,
            A3=A[I,3]#, A4=A[I,4]#, A5=A[I,5]#,
            B0=B[I,0]#, B1=B[I,1]#, B2=B[I,2]#,
            B3=B[I,3]#, B4=B[I,4]#, B5=B[I,5]#;
    NUMBOFINT:=I2-I1;
    'FOR'I:=I1'STEP'1'UNTIL'I2
    'DO''BEGIN'X[I-I1+1]:=XI; Y[I-I1+1]:=YI'END';
    'FOR'I:=1'STEP'1'UNTIL'NUMBOFINT
    'DO''BEGIN'
            'IF'I=1'THEN'
            'BEGIN'X1:= X5:=X[3]; X2:=X4:=X[2]; X3:=X[1]; X6:=X[4];
                   Y1:= Y5:=Y[3]; Y2:=Y4:=Y[2]; Y3:=Y[1]; Y6:=Y[4];
            'END'  % FIRST INTERVAL, 4 BASIC POINTS
            'ELSE''IF'I=2'THEN'
            'BEGIN'X2:= X3; X1:=X3:=X4; X4:=X5; X5:=X6; X6:=X[5];
                   Y2:= Y3; Y1:=Y3:=Y4; Y4:=Y5; Y5:=Y6; Y6:=Y[5];
            'END'  % SECOND INTERVAL, 5 BASIC POINTS
            'ELSE''IF'I=NUMBOFINT-1'THEN'
            'BEGIN'X1:= X2; X2:=X3; X3:=X4; X4:=X5; X5:=X6; X6:=X4;
                   Y1:= Y2; Y2:=Y3; Y3:=Y4; Y4:=Y5; Y5:=Y6; Y6:=Y4;
            'END'  % LAST-BUT-ONE INTERVAL, 5 BASIC POINTS
            'ELSE''IF'I=NUMBOFINT'THEN'
            'BEGIN'X1:= X2; X2:=X3; X3:=X4; X4:=X5; X5:=X6; X6:=X2;
                   Y1:= Y2; Y2:=Y3; Y3:=Y4; Y4:=Y5; Y5:=Y6; Y6:=Y2;
            'END'  % LAST INTERVAL, 4 BASIC POINTS
            'ELSE'
            'BEGIN'X1:= X2; X2:=X3; X3:=X4; X4:=X5; X5:=X6; X6:=X[I+3];
                   Y1:= Y2; Y2:=Y3; Y3:=Y4; Y4:=Y5; Y5:=Y6; Y6:=Y[I+3];
            'END'; % ALL OTHER INTERVALS, 6 BASIC POINTS
            A0:=(  9*X1  -75*X2+450*X3+450*X4  -75*X5  +9*X6)/768;
            B0:=(  9*Y1  -75*Y2+450*Y3+450*Y4  -75*Y5  +9*Y6)/768;
            A1:=(-13*X1  +81*X2-562*X3+562*X4  -81*X5+13*X6)/768;
            B1:=(-13*Y1  +81*Y2-562*Y3+562*Y4  -81*Y5+13*Y6)/768;
            A2:=(-10*X1  +78*X2  -68*X3  -68*X4  +78*X5-10*X6)/768;
            B2:=(-10*Y1  +78*Y2  -68*Y3  -68*Y4  +78*Y5-10*Y6)/768;
```

```
            A3:=( 18*X1 -106*X2+228*X3-228*X4+106*X5-18*X6)/768;
            B3:=( 18*Y1 -106*Y2+228*Y3-228*Y4+106*Y5-18*Y6)/768;
            A4:=(     X1   -3*X2   +2*X3   +2*X4   -3*X5     +X6)/768;
            B4:=(     Y1   -3*Y2   +2*Y3   +2*Y4   -3*Y5     +Y6)/768;
            A5:=( -5*X1  +25*X2  -50*X3  +50*X4  -25*X5   +5*X6)/768;
            B5:=( -5*Y1  +25*Y2  -50*Y3  +50*Y4  -25*Y5   +5*Y6)/768;
        'END';
    'END' OF SPLINE;

    'REAL''PROCEDURE'FUNKTIE(S, I, J, CIJ);

    %%% FUNKTIE BEPAALT BIJ GEGEVEN S EN I DE WAARDE VAN HET VIJFDE-GRAADS
    %%% POLYNOOM:  FUNKTIE= CI0+S*(CI1+S*(CI2+S*(CI3+S*(CI4+S*(CI5)))));

    'VALUE'S, I;
    'REAL'S, CIJ;
    'INTEGER'I, J;
    'BEGIN''REAL'F;
       F:=0;
       'FOR'J:=5'STEP'-1'UNTIL'0'DO'F:=CIJ+S*F;
       FUNKTIE:=F
    'END' FUNKTIE;

    'BOOLEAN''PROCEDURE'SNIJPUNT(I, IBEGIN, IEIND, COEFFR, COEFFL, RPOOL,
                                YPOOL, PHI, RS, LS);
    %%% SNIJPUNT ZOEKT HET INTERVAL I VANAF I=IBEGIN TOT MAXIMAAL
    %%% I=IEIND      , WAARVOOR EEN SNIJPUNT (RS,LS) VAN DE LIJN (RPOOL,YPOOL,
    %%% PHI) EN DE KROMME MET COEFFICIENTEN COEFFR[I,J],COEFFL[I,J] BESTAAT
    %%% VOOR EEN S MET -1<= S<=1.
    %%% PHI[RAD] IS DE HOEK VANAF DE NEGATIEVE L-AS TOT DE RECHTE.
    %%% IS SNIJPUNT=TRUE, DAN LEVERT DE PROCEDURE ZINVOLLE WAARDEN AF VOOR
    %%% I, RS, EN LS.
    'VALUE'IBEGIN, IEIND, RPOOL, YPOOL, PHI;
    'INTEGER'I, IBEGIN, IEIND;
    'REAL''ARRAY'COEFFR, COEFFL[1, 0];
    'REAL'RPOOL, YPOOL, PHI, RS, LS;
    'BEGIN'
       'INTEGER'J; 'REAL'S, A, B;
       I:=IBEGIN;
       'IF'ABS(PHI)<3.14159/4
       'THEN''BEGIN'    %% R=A*L+B
              A:=-TAN(PHI); B:=-YPOOL*A+RPOOL;
              'WHILE''NOT'(SNIJPUNT:=ZERO IN AB(FUNKTIE(S, I, J,
                             A*COEFFL[I,J]-COEFFR[I,J])+B,S,-1-@-6,1+@-6
                           ,@-8, @-8)) 'AND'I<IEIND
              'DO'I:=I+1;
           'END'
       'ELSE''BEGIN'    %% L=A*R+B
              A:=-COTAN(PHI); B:=YPOOL-A*RPOOL;
              'WHILE''NOT'(SNIJPUNT:=ZERO IN AB(FUNKTIE(S, I, J,
                             A*COEFFR[I,J]-COEFFL[I,J])+B,S,-1-@-6,1+@-6
                           ,@-8, @-8)) 'AND'I<IEIND
              'DO'I:=I+1;
           'END';
       RS:=FUNKTIE(S, I, J, COEFFR[I, J]);
       LS:=FUNKTIE(S, I, J, COEFFL[I, J]);
    'END' SNIJPUNT;

'PROCEDURE'KNOOPPUNTEN BLAD (BL,QF,QB,RR,LLV,LLA,TT,FF,LAGEN,
                             SNY,AP,RPOOL,RTOP,STR);
'VALUE'LAGEN,SNY,AP,RPOOL,RTOP,STR;
```

BL4

```
'ARRAY'BL,QF,QB[*,*],
       RR,LLV,LLA,TT,FF[*];
'INTEGER'SNY, LAGEN, AP;
'REAL' RPOOL, RTOP, STR;
%%% KNOOPPUNTEN BLAD LEVERT DE KNOOPPUNTSCOORDINATEN VAN DE HEXEC-ELE-
%%% MENTEN AF IN BL[1:NBL,1:3], EN DE UPPER- RESP. LOWERPUNTEN VAN DE
%%% QUABC9-ELEMENTEN AF IN RESP. QF[1:NQ+77,1:3], EN QB[IDEM], ALLEMAAL
%%% OVEREENKOMEND MET DE GESTREKTE DOORSNEDE.
'BEGIN'
    'REAL'LVT,LAT,FFT,TTT,          % TIJDELIJKE BLADPARAMETERS
          PHI,SPHI,CPHI,TPHI,TRUUK,GAM, FAK,
                YPOOL, RBAS,YBAS, YTOP,
                YH1,YH2,RH1,RH2, PHIBAS, PHITOP, RBGM, YBGM,
                ALPHA,
             YG, RCG,RCTOP ,RCBAS, LSS;
     'ARRAY' RSV,RSA,YSV,YSA [0:40],
           BOO [1:13,1:2],
           TY[1:LAGEN*26+77,1:2],  TB[1:64,1:2],
           BETA, GAMMA, DELTA[0:8];
    'INTEGER'  I,K,T, P, PP , Q;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
WRITE(OUT,<"AANTAL_HEXEC-LAGEN_IS_",I2,/>,SNY);
WRITE(OUT,<"AANTAL_QUABC-LAGEN_IS_",I2,/>,LAGEN-SNY);
WRITE(OUT,<"INGELEZEN_YPOOLCORRECTIE_IS_",F  5.3,/>,YPOOLCOR);
   'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'AP  'DO''BEGIN'
             TT [K]:= TT [K]/STR;
             FF [K]:= FF [K]/STR;
             LLV[K]:=-LLV[K]/STR;
             LLA[K]:= LLA[K]/STR;  LL[K]:=LLA[K]-LLV[K];
             GD[K]:=(LLV[K]+LLA[K])/2;
                                  'END';
LSS:= LL[1]/50;
LAGEN:= LAGEN*2;
SNY:= SNY*2;
AP2:= 2*AP;
SPLINE(I,  1,AP2-1,'IF' I<=AP 'THEN'RR[I]'ELSE' RR[AP2-I],
       'IF'I<=AP'THEN'LLA[I] 'ELSE'LLV[AP2-I], COEFFRLL,COEFFLL);
SPLINE(I,1,AP,RR[I],  GD[I],COEFFRGD  ,COEFFGD );
SPLINE(I,1,AP,RR[I],  TT[I],COEFFRTT  ,COEFFTT );
SPLINE(I,1,AP,RR[I],  FF[I],COEFFRFF  ,COEFFFF );

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% VINDEN VAN DE POOL:      (RPOOL IS INGELEZEN)
SNIJPUNT(I,1 ,AP -1,COEFFRLL,COEFFLL,RTOP,0,0,RTOP,YTOP);
RG:=RR[1];
SNIJPUNT(I,1,AP-1,COEFFRGD,COEFFGD, 1,0,0,RH1,YH1);
SNIJPUNT(I,1,AP-1,COEFFRGD,COEFFGD, 0.95,0,0,RH2,YH2);
YPOOL:=(RPOOL-RTOP)*(RH1-RH2)/(YH2-YH1)+YTOP-YPOOLCOR;
WRITE(OUT,<"RPOOL=",          F8.4,X4,"YPOOL=_",F8.4,/>,RPOOL,YPOOL);
WRITE(OUT,<"RTOP =",          F8.4,X4,"YTOP =_",F8.4,/>,RTOP,YTOP);
% MAKEN VAN LIJNENWAAIER DOOR POOL:
% ( MET BAS OP LLA);
RBAS:= RG+1.00/LAGEN;
SNIJPUNT(I,1,3,COEFFRLL,COEFFLL,RBAS,0,0,RBAS,YBAS);
   RCTOP:=(YTOP-YPOOL)/(RTOP-RPOOL);  PHITOP:=ARCTAN(RCTOP);
   RCBAS:=(YBAS-YPOOL)/(RBAS-RPOOL);  PHIBAS:=ARCTAN(RCBAS);
WRITE(OUT,<"RBAS =",          F8.4,X4,"YBAS =_",F8.4,/>,RBAS ,YBAS );
WRITE(OUT,<"RCTOP =",F8.4,X4,"RCBAS=",F8.4,/>,RCTOP ,RCBAS);
PHI:= (PHITOP-PHIBAS)/(LAGEN-1);
'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL' LAGEN'DO'
'BEGIN'
   RC[N]:=TAN(PHIBAS+(N-1)*PHI);
   ALPHA:= 3.14159/2+(PHIBAS+(N-1)*PHI);
```

```
    SNIJPUNT(I,1 ,AP    ,COEFFRLL,COEFFLL,RPOOL,YPOOL, ALPHA,
            RSA[N],YSA[N] );
 SNIJPUNT( I,AP-1,AP2-2, COEFFRLL,COEFFLL,RPOOL,YPOOL, ALPHA,
            RSV[N],YSV[N] );
    RSV[N]:= *-LSS/SQRT( 1+RC[N]**2 );
    RSA[N]:= *+LSS/SQRT( 1+RC[N]**2);
    YSA[N]:= *+LSS*RC[N] /SQRT(RC[N]**2+1 );
    YSV[N]:= *-LSS*RC[N] /SQRT(RC[N]**2+1 );
'END';
RBGM:=(RSV[LAGEN]+RSA[LAGEN])/2;
YBGM:=(YSV[LAGEN]+YSA[LAGEN])/2;
P:=1;
'FOR'K:=2'STEP'1'UNTIL' 12'DO'
'BEGIN'
   PHI:=ARCTAN(RC[LAGEN])-(K-1)*3.14159/12+ 3.14159/2;
SNIJPUNT(I,P,AP2-2,COEFFRLL,COEFFLL,RBGM,YBGM,PHI,BOO[K,1],BOO[K,2]);
BOO[K,1]:=* +LSS*SIN(PHI);
BOO[K,2]:=* -LSS*COS(PHI);
P:=I;
'END';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%   SNY  BEPAALT DE PLAATS VAN DE OVERGANG VAN HEXEC NAAR QUABC9
'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL'LAGEN'DO'   'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'13'DO'
  'BEGIN'   TY[(N   )*13+K,1]:=RSV[N] + (RSA[N]-RSV[N])*(K-1)/12;
            TY[(N   )*13+K,2]:=YSV[N] + (YSA[N]-YSV[N])*(K-1)/12;
  'END';


T:=LAGEN*13;
NBL:= (SNY+3)*39;
NQ :=(LAGEN-SNY   )*13;
%  PLAATSBEPALING PUNTEN BINNEN DE BOOG:
'FOR'I:=1,2'DO''BEGIN'
  TB[13,I]:=BOO[2,I];   TB[39,I]:=BOO[4,I];   TB[52,I]:=BOO[5,I];
  TB[61,I]:=BOO[6,I];   TB[64,I]:=BOO[7,I];   TB[53,I]:=BOO[8,I];
  TB[40,I]:=BOO[9,I];   TB[27,I]:=BOO[10,I];  TB[ 1,I]:=BOO[12,I];
  TB[26,I]:=BOO[3,I];   TB[14,I]:=BOO[11,I];
  TB[46,I]:=(TB[64,I]+TY[T+ 7,I])/2;
  TB[20,I]:=(TB[46,I]+TY[T+ 7,I])/2;
  TB[62,I]:=(TB[64,I]+TB[46,I] )/2;
   'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'5'DO''BEGIN'
     TB[14+K,I]:=(K*TB[ 20,I]+(6-K)*TB[14,I])/ 6;
     TB[20+K,I]:=(K*TB[ 26,I]+(6-K)*TB[20,I])/ 6;
                                     'END';
   'FOR'K:=2'STEP'1'UNTIL'12'DO'
     TB[K,I]:=(TB[K+13, I]+TY[T    +K,I]) /2;
   TB[48,I]:=(TB[20,I]* 2+TB[52,I])/3;
   TB[44,I]:=(TB[20,I]* 2+TB[40,I])/3;
   TB[33,I]:=(TB[20,I]+ TB[46,I])/2;   TB[57,I]:=(TB[46,I]+TB[62,I])/2;
   TB[63,I]:=(TB[62,I]+ TB[64,I])/2;   TB[45,I]:=(TB[46,I]+TB[44,I])/2;
   TB[31,I]:=(TB[44,I]+ TB[13,I])/2;   TB[47,I]:=(TB[46,I]+TB[48,I])/2;
   TB[35,I]:=(TB[48,I]+ TB[22,I])/2;   TB[34,I]:=(TB[35,I]+TB[33,I])/2;
   TB[32,I]:=(TB[31,I]+ TB[33,I])/2;   TB[42,I]:=(TB[44,I]+TB[40,I])/2;
   TB[50,I]:=(TB[48,I]+ TB[52,I])/2;   TB[37,I]:=(TB[35,I]+TB[39,I])/2;
   TB[38,I]:=(TB[37,I]+ TB[39,I])/2;   TB[36,I]:=(TB[35,I]+TB[37,I])/2;
   TB[29,I]:=(TB[31,I]+ TB[27,I])/2;   TB[30,I]:=(TB[29,I]+TB[31,I])/2;
   TB[28,I]:=(TB[27,I]+ TB[29,I])/2;   TB[43,I]:=(TB[42,I]+TB[44,I])/2;
   TB[41,I]:=(TB[40,I]+ TB[42,I])/2;   TB[55,I]:=(TB[45,I]+TB[53,I])/2;
   TB[59,I]:=(TB[47,I]+ TB[61,I])/2;   TB[49,I]:=(TB[48,I]+TB[50,I])/2;
   TB[51,I]:=(TB[50,I]+ TB[52,I])/2;   TB[60,I]:=(TB[59,I]+TB[61,I])/2;
   TB[58,I]:=(TB[47,I]+ TB[59,I])/2;   TB[56,I]:=(TB[45,I]+TB[55,I])/2;
   TB[54,I]:=(TB[53,I]+ TB[55,I])/2;
'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL' 64'DO'
```

```
                TY[13+T+K ,I]:=TB[K,I];
 'END'ALLE PUNTEN;
 %  NU BEVAT DE RIJ TY[1 :T+64 ,1:2] DE COORDINATEN VAN MIDDENPUNTEN;

 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 4 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
 %  PUNTEN OP HET GRENSVLAK:
  'FOR'K:=1'STEP'3'UNTIL'37'DO''BEGIN'
      PROFIEL((4*(K-1)/ 3+1)/50,BL[K,1],BL[K,2],BL[K+2,1],BL[K+2,2],AR,
         TT[1]/ LL[1]       , FF[1]/ LL[1]   );
      'FOR'I:=1,2'DO' BL[K+1,I]:=(BL[K,I]+BL[K+2,I])/2;
                                   'END';
  'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'39'DO''BEGIN'
     BL[K,1]:=  *  *LL[1]* STR +LLV[1]*STR;
     BL[K,2]:=  *  *( STR* LL[1]);
     BL[K,3]:=  RG*STR;             'END';

 %  MAKEN VAN BACK_ EN FACE_ PUNTEN VOOR DHET HELE BLAD:


 'FOR'N:=T+77  'STEP'-1'UNTIL' 14 'DO''BEGIN'
 SNIJPUNT(I,1,AP-1,COEFF RLL,COEFFLL, TY[N,1],0,0,TY[N,1],LAT);
 SNIJPUNT(I,AP,AP2-2,COEFFRLL,COEFFLL,TY[N,1],0,0,TY[N,1],LVT);
 SNIJPUNT(I,1,AP,COEFFRFF ,COEFFFF  ,TY[N,1],0,0,TY[N,1],FFT);
 SNIJPUNT(I,1,AP,COEFFRTT ,COEFFTT  ,TY[N,1],0,0,TY[N,1],TTT);
 PROFIEL((TY[N,2]-LVT)/(LAT-LVT),BL[3*N-2,1],BL[3*N-2,2],
     BL[3*N,1],BL[3*N,2],AR, TTT/ (LAT-LVT),
                              FFT/ (LAT-LVT));

 'FOR'L:=-2,0'DO''BEGIN'
    BL[3*N+L,1]:=*  *(LAT -LVT)*STR+LVT*STR;
    BL[3*N+L,2]:=*  *(LAT -LVT)*STR;
    BL[3*N+L,3]:=TY[N,1] *STR;
               'END';
                                     'END';
 %  COMPLETEREN TOT SNIJVLAK;
   'FOR'N:=NBL/3      'STEP'-1'UNTIL'14'DO'
         'FOR'I:=1,2,3'DO' BL[3*N-1,I]:=(BL[3*N,I]+BL[3*N-2,I])/2;
 %  DE PUNTEN VOOR DE QUABC WORDEN OPGESLAGEN IN DE RIJEN QF EN QB;
 'FOR' N:=1'STEP'1'UNTIL'NQ+77'DO''FOR'I:=1,2,3'DO''BEGIN'
     QB[N,I]:=BL[SNY*39 +3*N-2,I];
     QF[N,I]:=BL[SNY*39 +3*N   ,I];
                                                       'END';
 'END'KNOOPPUNTEN BLAD;


 'PROCEDURE'BLADTEK(BL,QF,QB,BLAD);
           'ARRAY' BL,QF,QB[*,*];
             'FILE' BLAD;
 'BEGIN'  'INTEGER' N1,N2,N3,K,L,M,I, P, Q;
          'ARRAY' HU[1:39,1:3], CUR[1:39,1:3];
          'REAL'    SI,CO;

   'PROCEDURE' CURVE(N1,N2,N3,RY);
          'INTEGER' N1,N2,N3;  'ARRAY'  RY[*,*];
          'BEGIN' 'INTEGER'  C,I;    C:=C+1;
    'FOR'N:=N1,N2,N3 'DO''BEGIN'
                'FOR'I :=1,3'DO' CUR[C,I] :=RY[N,I]/STR;
                C:=C+1 ;      'END';
       DRAWPOLYGON(BLAD,C,1,3,CUR[C,1],CUR[C,3],1);
   'END' PROCEDURE CURVE;

 'FOR' Q:=1,2,3'DO'
 'FOR' P:=1,2,3,4'DO'
 'BEGIN'
```

B

```
MAP(BLAD,(P-1)*4.25,(Q-1)*2.95,P*4.25, Q*2.95);
DEFINESPACE(BLAD,1.47,-0.15,-0.48,1.207);
PENCOLOR(BLAD,1);
%  DE LIJNSTUKKEN IN HET BLAD:
'FOR'K:=0'STEP'2'UNTIL'LAGEN*2'DO'
  DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,BL[1+K*39,1]/STR,BL[1+K*39,3]/STR,
                             BL[37+K*39,1]/STR,BL[37+K*39,3]/STR,1);
'FOR'K:=0'STEP'2'UNTIL'LAGEN*2+2'DO'
          'FOR'L:=1'STEP'6'UNTIL'37 'DO'
             CURVE(L+K*39,L+(K+1)*39,L+(K+2)*39,BL);
   M:= NQ+26;
  'FOR'K :=1'STEP'2'UNTIL'11,
                     27'STEP'2'UNTIL'37, 49 'DO'
             CURVE(K+M, K+M+1,K+M+2,QB);
  CURVE(M+37,M+46,M+49,QB);  CURVE(M+49,M+42,M+29,QB);
  CURVE(M+49,M+44,M+33,QB);  CURVE(M+51,M+40,M+27,QB);
  CURVE(M+39,M+48,M+51,QB);
%  EINDE ELEMENTVERDELING GESTREKT BLAD;
% TEKENEN VAN DE DWARSDOORSNEDES :
%        HULPARRAY  HU;  RCSN  ENRCLA  ZIJN DE RESP. RICHT. COEFF.;
%  GRENSVLAK:
PENCOLOR(BLAD,2);
DRAWCURVE 1(BLAD,I,0,6,BL[6*I+1,1]/STR,  BL[6*I+1,2]/STR+RG,1);
DRAWCURVE 1(BLAD,I,0,6,BL[6*I+3,1]/STR,  BL[6*I+3,2]/STR+RG,1);
'FOR'L:=0'STEP'2'UNTIL'12'DO'
   DRAWPOLYGON(BLAD ,I,1,3,BL[L*3+I,1]/STR,    BL[L*3+I,2]/STR+RG,1);
%  SNIJVLAK HEXECS _ QJABC:
'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'39'DO''BEGIN'
     HU[K,3]:=BL[SNY*78+K,3]/STR;
     HU[K,2]:=BL[SNY*78+K,2]/STR;
     HU[K,1]:=BL[SNY*78+K,1]/STR;
                                 'END';
  SI:=SIN(ARCTAN(RC[SNY*2]));
  CO:=COS(ARCTAN(RC[SNY*2]));
'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'39'DO''BEGIN'
  HU[K,1]:=* + HU[K,2]*CO;
  HU[K,3]:=* - HU[K,2]*SI;
                                 'END';
DRAWCURVE 1(BLAD,I,0,6,HU[6*I+3,1],HU[6*I+3,3],1);
DRAWCURVE 1(BLAD,I,0,6,HU[6*I+1,1],HU[6*I+1,3],1);
'FOR'L:=0'STEP'2'UNTIL'12'DO'
  DRAWPOLYGON(BLAD,I,1,3,HU[3*L+I,1],HU[3*L+I,3],1);
%  DOORSNIJDING OP HOOGTE 'LAGEN':
 'FOR'K:=1'STEP'2'UNTIL'25'DO'
'BEGIN'
         'FOR'I:=1,2,3 'DO''BEGIN'
    HU[K,I]:=QF[26*(LAGEN-SNY  )+(K+1)/2,I]/STR;
  HU[K+1,I]:=QB[26*(LAGEN-SNY  )+(K+1)/2,I]/STR;
                                                'END';
'END';
SI:=SIN(ARCTAN(RC[LAGEN*2]));
CO:=COS(ARCTAN(RC[LAGEN*2]));
   'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL'26'DO''BEGIN'
  HU[K,1]:=* + HU[K,2]*CO;
  HU[K,3]:=* - HU[K,2]*SI;
                                'END';
DRAWCURVE 1(BLAD,I,0,6,HU[4*I+2,1],HU[4*I+2,3],1);
DRAWCURVE 1(BLAD,I,0,6,HU[4*I+1,1],HU[4*I+1,3],1);
'FOR'L:=0'STEP'4'UNTIL'24'DO'
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,HU[L+1,1],HU[L+1,3],HU[L+2,1],HU[L+2,3],1);
%  EINDE DRIE DOORSNEDES;
%  DIVERSEN:
PENCOLOR(BLAD,1);
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO''BEGIN'
```

```
    DRAWPOINT(BLAD,LLV[J]      ,RR[J],5);
    DRAWPOINT(BLAD,LLA[J]      ,RR[J],5);
    DRAWPOINT(BLAD,1.36,RR[J],5);
    DRAWREALVALUE(BLAD,1.44,RR[J] ,1.37,RR[J],0,"F",5,3,RR[J]);
                              'END';
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,-0.37,0,-0.37,1.02,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,1.36 ,1.02,1.36,0,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,1.36 ,1.02,-0.37,1.02,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,1.36 ,0    ,-0.37,0,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,1.47,-0.15,-0.48,-0.15,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,-0.48,-0.15,-0.48,1.207,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,1.47,1.207,1.47,-0.15 ,1);
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(BLAD,1.47,1.207,-0.48,1.207,1);
CLOSEPICTURE(BLAD);
'END';
LOCK(BLAD);
'END' BLADTEK;



'PROCEDURE' BQHYDRO(BL,QF,QB,TOER,VSCHIP,PSI,PR,BET,BETI,CIRC,VSV);
'VALUE' TOER,VSCHIP,PSI,PR;
'ARRAY' BL, QF, QB [*,*],
        BET, BETI, CIRC , VSV [*];
'REAL' PSI, PR;
'INTEGER' TOER, VSCHIP;

%%% BQHYDRO LEVERT VOOR ELK OPPERVLAKKIG KNOOPPUNT VAN DE HEXECS IN HET
%%% BLAD EN ELK KNOOPPUNT VAN DE QUABC9-ELEMENTEN DE GROOTTE VAN HET
%%% DRUKVERSCHIL, BEREKEND OP DE NEUS-STAARTLIJN TER PLAATSE.
%%% BQHYDRO MOET DAN OOK KOMEN DIREKT NA KNOOPPUNTEN BLAD.

'BEGIN' 'ARRAY' DRUK[1:600] ;
        'REAL'  VA, VSCHIPMET, TOERS, DUM, LV, LA ;
        'INTEGER' K,L,J,M,A,B,C,EL,AL,I;
  VSCHIPMET:= 0.5144*VSCHIP;        % OMZETTING KNOPEN IN METER/SEC.
  TOERS:= TOER/60          ;        % TOERS IS PER SEKONDE
'FOR' J:=1'STEP'1'UNTIL'AP-1'DO'
   'BEGIN'  VA:= VSV[J]*(1-PSI)*VSCHIPMET;
            CPR[J]:=CIRC[J]*TOERS*4*STR**2*104.5*SQRT(VA**2+(3.14159*
                    TOERS*2*STR*RR[J])**2)/ (COS((BETI[J]-BET[J])/57.29)
                    *3.6*0.278*(LLA[J]-LLV[J])*STR);
            CPR[J]:=* * PR;        % BIJ NACA 0.8 IS PR=1.111
WRITE(OUT,<"CPR[",I2,"]=",E9.2,/>,J,CPR[J]);
'END'; SPLINE(I,1,AP  ,RR[I],CPR[I],COEFFRCPR,COEFFCPR);

%%% DE HEXEC'S:  (DE KOPPELLAAG WORDT BY QUAB IN REKENING GEBRACHT)

M:=0;
WRITE(OUT,<"$BQIN",X3," N=13",X2,"S=25",X2,"C=5",X2,"G=1",X2,"L=2",
              X2,"*_HYDRODYN._BELASTING_HEXEC",/>);
'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL' SNY  'DO'
'FOR'L:=1'STEP'6'UNTIL' 37'DO'
     'BEGIN'  M:=M+1;
              A:=(K-1)*78+L; % A IS HET NUMMER UIT DE RIJ BL;
          SNIJPUNT(I,1,AP-1,COEFFRCPR,COEFFCPR,BL[A,3],0,0,DUM,DRUK[M]);
          SNIJPUNT(I, 1,AP   ,COEFFRLL,COEFFLL,BL[A,3],0,0,DUM,LA);
          SNIJPUNT(I,A?,AP2-1,COEFFRLL,COEFFLL,BL[A,3],0,0,DUM,LV);
         'IF' BL[A,1] > (LA-(LA-LV)/5)
          'THEN'  DRUK[M]:= * *(LA-BL[A,1]/STR)/(LA-(LA-LV)/5);
     'END';
'FOR'K:=1'STEP'1'UNTIL' SNY  'DO'
'FOR'L:=1'STEP'1'UNTIL' 6'DO'
       'BEGIN' B:=(K-1)*6+L;
```

```
        WRITE(OUT,<X7,I3,X2,"-5",X3,E9.2,X2,E9.2,X2,E9.2,X2,E9.2,/>,
               B,DRUK[B+K],DRUK[B+K-1],DRUK[B+K+7],DRUK[B+K+6]);
     'END';                                                                  BL

%%% DE QUABC9'S: (INCLUSIEF DE KOPPELLAAG)

WRITE(OUT,<"$BQIN",X3," N=14",X2,"S=10",X2,"C=9",X2 ,"G=1",X2,"L=2",
           X2,"*_HYDRODYN._BELASTING_QUABC9"/>);
'FOR' N:=  NQ+77 'STEP' -1'UNTIL'1'DO'
   'BEGIN'
    SNIJPUNT(I,1 ,AP-1 ,COEFFRCPR,COEFFCPR,QF[N,3],0,0,DUM,DRUK[N]);
    SNIJPUNT(I,1 ,AP   ,COEFFRLL ,COEFFLL ,QF[N,3],0,0,DUM,LA);
    SNIJPUNT(I,AP,AP2-2,COEFFRLL ,COEFFLL ,QF[N,3],0,0,DUM,LV);
    'IF'QF[N,1] > (LA-(LA-LV)/5)
    'THEN' DRUK[N]:= * *(LA-QF[N,1])/(LA-(LA-LV)/5);
   'END';
'FOR'K:=0'STEP'1'UNTIL' LAGEN-SNY+1 'DO'
'FOR'L:=1'STEP'1'UNTIL' 6'DO'
   'BEGIN' EL:= K*6+L;
           A  := K*26+2*L-1; B:=A+13; C:=A+26;
           WRITE(OUT,<X7,I3,X3,5(E9.2,X2),/,X6,"1",X7,4(E9.2,X2)/>,EL,
                 DRUK[A   ],DRUK[A+1],DRUK[A+2],DRUK[B   ],DRUK[B+1],
                 DRUK[B+2],DRUK[C   ],DRUK[C+1],DRUK[C+2]);
   'END';
AL:=C-11;
WRITE(OUT,<X7,I3,X3,5(E9.2,X2),/,X6,"1",X7,4(E9.2,X2)/>,EL+1,
      DRUK[AL+ 1],DRUK[AL+ 2],DRUK[AL+ 3],DRUK[AL+14],DRUK[AL+15],
      DRUK[AL+16],DRUK[AL+25],DRUK[AL+24],DRUK[AL+23]);
WRITE(OUT,<X7,I3,X3,5(E9.2,X2),/,X6,"1",X7,4(E9.2,X2)/>,EL+2,
      DRUK[AL+ 3],DRUK[AL+ 4],DRUK[AL+ 5],DRUK[AL+16],DRUK[AL+17],
      DRUK[AL+ 6],DRUK[AL+23],DRUK[AL+18],DRUK[AL+7 ]);
WRITE(OUT,<X7,I3,X3,5(E9.2,X2),/,X6,"1",X7,4(E9.2,X2)/>,EL+3,
      DRUK[AL+ 7],DRUK[AL+ 8],DRUK[AL+ 9],DRUK[AL+18],DRUK[AL+19],
      DRUK[AL+10],DRUK[AL+23],DRUK[AL+20],DRUK[AL+11]);
WRITE(OUT,<X7,I3,X3,5(E9.2,X2),/,X6,"1",X7,4(E9.2,X2)/>,EL+4,
      DRUK[AL+11],DRUK[AL+12],DRUK[AL+13],DRUK[AL+20],DRUK[AL+21],
      DRUK[AL+22],DRUK[AL+23],DRUK[AL+24],DRUK[AL+25]);
'END' BQHYDRO;

'PROCEDURE' NPCOOTOPPUNCH (OUT,BL,QF,QB,LAGEN,SNY);
'VALUE' LAGEN, SNY;
'ARRAY' BL, QF, QB[*,*];
'FILE'  OUT;
'INTEGER' LAGEN, SNY;
'BEGIN'
'INTEGER' A, B;
        WRITE(OUT,<"NET(13)(",I3,")(ONDERSTE_DEEL_BLAD)"/>,NBL);
WRITE(OUT,<"HEXEC27(1)(6)", 3(9("(",I2,",6)"),)/>,'FOR' A:=0,39,78'DO'
                'FOR'B:= 1'STEP'1'UNTIL'9'DO'[A+B]);
WRITE(OUT,<X6,"R(",I2," )(0)",9("(78)"),/,2(X14,9("(78)")/)>,SNY+1);
          WRITE(OUT,<"$NPCO",X3,"N=13",X2,"C=3", X3,"*_BLAD_NET_13"/>);
WRITE(OUT,<*(X6,I3,3(X4,F8.1),/)>,NBL,'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL'NBL'DO'
         [N, BL[N,1],BL[N,2],BL[N,3]]);
        WRITE(OUT,<"NET(14)(",I3,")(BOVENDEEL_BLAD)"/>,NQ+77);
  WRITE(OUT,<"QUABC9(1)(6)(1,26)(2,26)(3,26)(14,26)(15,26)(16,26)
             (27,26)(23,26)(29,26)"/>);
      WRITE(OUT,<X6,"R(",I3")(0)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)(26)"/>,
             LAGEN-SNY+2);
A:=(LAGEN-SNY+2)*26;
  WRITE(OUT,<"QUABC9(1)(1)",9("(",I3,")")/>,
              A+1 ,A+2 ,A+3 ,A+14,A+15,A+16,A+25,A+24,A+23);
  WRITE(OUT,<"QUABC9(1)(1)",9("(",I3,")")/>,
              A+3 ,A+4 ,A+5 ,A+16,A+17,A+ 6,A+23,A+18,A+ 7);
  WRITE(OUT,<"QUABC9(1)(1)",9("(",I3,")")/>,
```

```
              A+7 ,A+8 ,A+9 ,A+18,A+19,A+10,A+23,A+20,A+11);
   WRITE(OUT,<"QUABC9(1)(1)",9("(",I3,")")/>,
              A+11,A+12,A+13,A+20,A+21,A+22,A+23,A+24,A+25);
         WRITE(OUT,<"$NPCO",X3,"N=14",X2,"C=3",X3,"*_BLAD,_NET_14***"/>);
WRITE(OUT,< *(X6,I3,X4,F10.1,F10.1,F10.1,F15.1,F10.1,F10.1,/)>,
   NQ+77,'FOR'N:=1'STEP' 1'UNTIL'NQ+77'DO'[N,QF[N,1],QF[N,2],QF[N,3],
                                   QB[N,1],QB[N,2],QB[N,3]]);
'END' NPCOOTOPPUNCH;


'PROCEDURE' ECHTE BLAD(BL,QB,QF);
         'ARRAY'  BL,QB,QF[*,*];
'BEGIN'   'REAL' PHI, SPHI, CPHI, TRUUK, RAK, GAMMA, PI;
          'INTEGER' I;
SPLINE(I,1,AP,RR[I], PPI[I]/STR,COEFFRPPI,COEFFPPI);
RAK:= TAN(RAKE*3.14159/180);
%  EERST DE RIJ BL:
  'FOR' N:=   NBL    'STEP'-1'UNTIL'1'DO''BEGIN'
SNIJPUNT(I,1,AP-1,COEFFRPPI,COEFFPPI,BL[N,3]/STR ,0,0,DUM,PI);
 PHI:=ARCTAN(PI*STR/(6.28318*BL[N,3]));
  SPHI:=SIN(PHI);  CPHI:=COS(PHI); TRUUK:=BL[N,1];
  BL[N,1]:= * *SPHI-BL[N,2]*CPHI+ BL[N,3]*RAK;
  BL[N,2]:= * *SPHI+TRUUK*CPHI;
  GAMMA:=BL[N,2]/BL[N,3];
  BL[N,2]:=BL[N,3]*SIN(GAMMA);
  BL[N,3]:= * *COS(GAMMA);
                                             'END';
%  DE RIJEN QF EN QB:
'FOR' N:= NQ+77 'STEP'-1'UNTIL'1'DO''BEGIN'
SNIJPUNT(I,1,AP-1,COEFFRPPI,COEFFPPI,QF[N,3]/STR ,0,0,DUM,PI);
 PHI:=ARCTAN(PI*STR/(6.28318*QF[N,3]));
  SPHI:=SIN(PHI);  CPHI:=COS(PHI);
TRUUK:=QF[N,1];
  QF[N,1]:= * *SPHI-QF[N,2]*CPHI+ QF[N,3]*RAK;
  QF[N,2]:= * *SPHI+TRUUK*CPHI;
  GAMMA:=QF[N,2]/QF[N,3];
  QF[N,2]:=QF[N,3]*SIN(GAMMA);
  QF[N,3]:= * *COS(GAMMA);
TRUUK:=QB[N,1];
  QB[N,1]:= * *SPHI-QB[N,2]*CPHI+ QB[N,3]*RAK;
  QB[N,2]:= * *SPHI+TRUUK*CPHI;
  GAMMA:=QB[N,2]/QB[N,3];
  QB[N,2]:=QB[N,3]*SIN(GAMMA);
  QB[N,3]:= * *COS(GAMMA);
                                                     'END';
'END' ECHTE BLAD;


'PROCEDURE' BQMASSA (BL,QB,QF);
    'ARRAY' BL,QB,QF [*,*];
%%% ANALOOG AAN DE BQ-PROCESSOR IN ASKA, VINDT BQMASSA KNOOPPUNTSKRACHT-
%%% TEN VOOR DE QUAB-ELEMENTEN,(OP BASIS VAN EVENWICHTSBESCHOUWINGEN
%%% VERDEELD OVER DE KNOOPPUNTEN) ONTSTAAN T.G.V. ROTATIE.
%%% DIT BLOK WORDT INGELEZEN BIJ: $NPBR  L=3  N=14 .
%%% TEVENS LEVERT BQMASSA DE INVOER VOOR DE MASSAKRACHTEN VAN NET 13, DE
%%% HEXEC'S ONDER DE KOP: $BQIN  L=3  N=13 .
%%% TE PLAATSEN NA ECHTE BLAD..
'BEGIN'  'INTEGER' K,L,A,B,C, EL, AL;
         'ARRAY' KR [1:1000,2:3];

'PROCEDURE'ELMAKRA(QB,QF,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,KR);
'VALUE'N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9;'INTEGER'N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9;
'REAL''ARRAY'QB,QF,KR[*,*];
% GEEFT EEN BYDRAGE VOLUME MAAL STRAAL ZWAARTEPUNT AAN EEN MASSAKRACHTEN
```

```
% MATRIX PER ELEMENT IN DE VERHOUDING N1:N2:N5=1:4:16 .
% AS VAN DRAAIING IS DE X-AS.
'BEGIN''INTEGER'I,J;
'REAL''PROCEDURE'ABSDET(AI,BI,CI,I);'REAL'AI,BI,CI;'INTEGER'I;
'BEGIN''REAL''ARRAY'A,B,C[1:3];
      'FOR'I:=1,2,3'DO''BEGIN'A[I]:=AI;B[I]:=BI;C[I]:=CI'END';
      ABSDET:=ABS(A[1]*B[2]*C[3]+A[2]*B[3]*C[1]+A[3]*B[1]*C[2]-
                  A[3]*B[2]*C[1]-A[1]*B[3]*C[2]-A[2]*B[1]*C[3])
'END' ABS DET;
'PROCEDURE'BYDRAGEVIERVLAK(S,A,B,C,KY,KZ);'ARRAY'S,A,B,C[*];'REAL'KY,KZ;
% BEPAALT HET PRODUKT VOLUME MAAL ZWAARTEPUNTSAFSTAND T.O.V. DE X-AS
% VAN HET VIERVLAK OPGESPANNEN DOOR DE VEKTOREN S-A,S-B EN S-C
'BEGIN''REAL'IV;'INTEGER'I;'REAL''ARRAY'R[2:3];
      IV:=ABSDET(A[I]-S[I],B[I]-S[I],C[I]-S[I],I)/6;
      'FOR'I:=2,3'DO'R[I]:=(A[I]+B[I]+C[I]+S[I])/4;
      KY:=IV*R[2]/4;KZ:=IV*R[3]/4;
'END'BYDRAGE VIERVLAK;
'PROCEDURE'BYDRAGE PRISMA(QB,QF,K1,K2,K3,K4,KR,FACTOR);
'VALUE'K1,K2,K3,K4,FACTOR;'INTEGER'K1,K2,K3,K4;'REAL'FACTOR;
'REAL''ARRAY'QB,QF,KR[*,*];
% GEEFT DE BYDRAGE VAN EEN PRISMA GEVORMD DOOR BOVENVLAK QB[K1,K2,K3,K4]
% EN ONDERVLAK QF[K1,K2,K3,K4] AAN EEN MASSAKRACHTENMATRIX KR BY ROTATIE
% OM DE X-AS VERMENIGVULDIGD MET EEN FACTOR
'BEGIN''REAL'KY,KZ;
'PROCEDURE'GEEF BYDRAGE(KR,K1,K2,K3,K4,KY,KZ,FACTOR);
'VALUE'K1,K2,K3,K4,KY,KZ,FACTOR;'INTEGER'K1,K2,K3,K4;'REAL'KY,KZ,FACTOR;
'REAL''ARRAY'KR[*,*];
'BEGIN'KY:=KY*FACTOR;KZ:=KZ*FACTOR;
      KR[K1,2]:=*+KY;KR[K1,3]:=*+KZ;KR[K2,2]:=*+KY;KR[K2,3]:=*+KZ;
      KR[K3,2]:=*+KY;KR[K3,3]:=*+KZ;KR[K4,2]:=*+KY;KR[K4,3]:=*+KZ
'END' GEEF BYDRAGE;
      BYDRAGE VIERVLAK(QB[K1,*],QB[K4,*],QB[K2,*],QF[K1,*],KY,KZ);
      GEEF BYDRAGE(KR,K1,K4,K2,K1,KY,KZ,FACTOR);
      BYDRAGE VIERVLAK(QB[K2,*],QB[K4,*],QB[K3,*],QF[K3,*],KY,KZ);
      GEEF BYDRAGE(KR,K2,K4,K3,K3,KY,KZ,FACTOR);
      BYDRAGE VIERVLAK(QF[K1,*],QF[K2,*],QF[K3,*],QB[K2,*],KY,KZ);
      GEEF BYDRAGE(KR,K1,K2,K3,K2,KY,KZ,FACTOR);
      BYDRAGE VIERVLAK(QF[K1,*],QF[K4,*],QF[K3,*],QB[K4,*],KY,KZ);
      GEEF BYDRAGE(KR,K1,K4,K3,K4,KY,KZ,FACTOR);
      BYDRAGE VIERVLAK(QF[K1,*],QB[K2,*],QF[K3,*],QB[K4,*],KY,KZ);
      GEEF BYDRAGE(KR,K1,K2,K3,K4,KY,KZ,FACTOR);
'END' BYDRAGE PRISMA;
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N1,N2,N5,N4,KR,16/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N3,N6,N5,N2,KR,16/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N9,N8,N5,N6,KR,16/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N7,N4,N5,N8,KR,16/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N1,N3,N9,N7,KR,1/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N1,N3,N6,N4,KR,-4/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N4,N6,N9,N7,KR,-4/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N1,N2,N8,N7,KR,-4/9);
      BYDRAGE PRISMA(QB,QF,N2,N3,N9,N8,KR,-4/9);
'END' ELMAKR;

%%% EERST DE QUAB (INCLUSIEF DE KOPPELLAAG) :
WRITE(OUT,<"$NPBR",X3," N=14",X2,"L=3",X2,"S=2",X2,"C=2",X3,"*_MASSAKRACH
     TEN_QUABC9"/>);
'FOR'K:=0'STEP'1'UNTIL'(LAGEN-SNY)  +1 'DO'
'FOR'L:=1'STEP'1'UNTIL' 6 'DO'
     'BEGIN' A:=K*26+2*L-1;
             B:=A+13 ;
             C:=A+26;
             ELMAKRA (QB,QF,A,A+1,A+2,B,B+1,B+2,C,C+1,C+2,KR);
     'END';
AL:=C-11;
```

BL 11

BL1

```
ELMAKRA(QB,QF,AL+1,AL+ 2,AL+ 3,AL+ 14,AL+15,AL+16,AL+25,AL+24,AL+23,KR);
'FOR' N:=1'STEP'1'UNTIL' (LAGEN-SNY)*13+77 'DO'
   WRITE(OUT,<X7,I3,X5,E10.3,X3,E10.3,/>,N,KR[N,2]*a+0,KR[N,3]*a+0);

%%% NU DE HEXEC'S:  (ZONDER DE KOPPELLAAG)
WRITE(OUT,<"$BQIN",X3,"N=13",X2,"L=3",X2,"S=2",X2,"C=2",X2,"G=1",X3,"*_
            MASSAKRACHTEN_HEXEC27"/>);
'FOR'K:=0'STEP'1'UNTIL' SNY  'DO'
'FOR'L:=1'STEP'1'UNTIL' 6'DO'
'BEGIN'  A:=6*(L-1)+K*78 +1;
         B:= A+78;
         EL:=L+K*6;
         WRITE(OUT,<X7,I3,X2,2(X3,"0.",X2,E10.3,X2,E10.3),/,
               2(X6,"1",X3,3(X3,"0.",X2,E10.3,X2,E10.3),/)>,EL,BL[A,2],
               BL[A,3],
         BL[A+2,2],BL[A+2,3],BL[A+6,2],BL[A+6,3],BL[A+8,2],BL[A+8,3],
         BL[B,2],BL[B,3],BL[B+2,2],BL[B+2,3],BL[B+6,2],BL[B+6,3],
         BL[B+8,2],BL[B+8,3]);
'END';
'END' BQMASSA;


'PROCEDURE' NPCOPLOTHEX8;
%%% THE BEHOEVE VAN PLOTTEN BIJ PHILIPS VAN HET BLAD WORDT EEN NET 414
%%% GEMAAKT, BESTAANDE UIT NEXE-8 ELEMENTEN DIE OVEREENKOMEN MET DE VORM
%%% VAN DE QUABC9, PLUS HET ORGINELE NET 13;
'BEGIN'  'ARRAY' HE8[NBL: NBL+400,1:3];
         'INTEGER' AA,BB,A,B,I,N,T,AL;
WRITE(OUT,<"NET(414)(",I3,")(TOTALE_BLAD_T.B.V._PLOTTEN_BIJ_PHILIPS)"/>
           ,BB:=((LAGEN-SNY)+3)*14+4+NBL);
WRITE(OUT,<"HEXEC27(1)(6)", 3(9("(",I2,",6)"),)/)>,'FOR'A:=0,39,78'DO'
               'FOR'B:= 1'STEP'1'UNTIL'9'DO'[A+B]);
WRITE(OUT,<X6,"R(",I2,")(0)",13("(78)"),/,X9,14("(78)"),/>,SNY+1);
N:=NBL;
WRITE(OUT,<"HEXE8(2)(6)",8("(",I3,",2)"),/>,N+1,N+2,N+4,N+3,N+15,
                               N+16,N+18,N+17);
WRITE(OUT,<X6,"R(",I2,")(0)",8("(14)")/>,LAGEN-SNY+2);
B:=BB-18;
WRITE(OUT,<"HEXE8(2)(1)",8("(",I3,")"),/>,
B+1 ,B+2 ,B+4 ,B+3 ,B+17,B+18,B+16,B+15);
WRITE(OUT,<"HEXE8(2)(1)",8("(",I3,")"),/>,
B+3 ,B+4 ,B+6 ,B+5 ,B+15,B+16,B+8 ,B+7 );
WRITE(OUT,<"HEXE8(2)(1)",8("(",I3,")"),/>,
B+9 ,B+7 ,B+8 ,B+10,B+11,B+15,B+16,B+12);
WRITE(OUT,<"HEXE8(2)(1)",8("(",I3,")"),/>,
B+11,B+15,B+16,B+12,B+13,B+17,B+18,B+14);
'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL' (LAGEN-SNY)   +3 'DO'
     'FOR'L:=1'STEP'2'UNTIL'13'DO'
          'FOR'I:=1,2,3'DO'
               'BEGIN'  T:=L+(N-1)*14;
                HE8[T+NBL   ,I]:=QB[T+(N-1)*12,I];
                HE8[T+NBL+1,I]:=QF[T+(N-1)*12,I];
               'END';
AL:=((LAGEN-SNY)+3)*14 +NBL;
'FOR'I:=1,2,3'DO'
     'BEGIN' HE8[AL+1,I]:=QB[(LAGEN-SNY)*26+75,I];
             HE8[AL+2,I]:=QF[(LAGEN-SNY)*26+75,I];
             HE8[AL+3,I]:=QB[(LAGEN-SNY)*26+77,I];
             HE8[AL+4,I]:=QF[(LAGEN-SNY)*26+77,I];
     'END';
WRITE(OUT,<"$NPCO",X3,"N=414",X2,"C=3"/>);
WRITE(OUT,<*(X6,I3,3(X4,F8.1),/)>,NBL,'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL'NBL'DO'
          [N, BL[N,1],BL[N,2],BL[N,3]]);
'FOR'N:=NBL+1'STEP'1'UNTIL' AL+4'DO'
```

BL13

```
WRITE(OUT,<X7,I3,X4,F8.1,X2,F8.1,X2,F8.1/>,N,HE8[N,1],HE8[N,2],HE8[N,3])
 ;
'END' NPCOPLOTHEX8 ;
'PROCEDURE' KOPPELGEG;
%%% KOPPELGEG LEVERT TOPOLOGY- EN DATA INVOER VOOR ASKA, MET NAME T.B.V.
%%% DE KOPPELING VAN NET 13 AAN NET 14, INCLUSIEF DE NODIGE ROTATED BA-
%%% SIS DATA. DE GETALLEN ZIJN AFN. VAN DE GEOMETRIE EN HET AANTAL HEXEC
%%% -KNOOPPUNTEN. DE NUMMERING IN HET 101 BEGINT HIERBIJ BIJ 358; DE
%%% EERSTE 357 EXTERNALS ZITTEN IN DE AS EN DE NAAF EN OP HET GRENSVLAK
%%% NAAF-BLAD.
'BEGIN' 'INTEGER' I,N;
        'REAL'    DX, DY, DZ, ZP2, XP3, ZP3;
WRITE(OUT,<"***NET13***"/>);
WRITE(OUT,<"EXTERNAL(1, 2, 3)(39)(",I3,", 3)",/>,NBL-114);
WRITE(OUT,<"ROTATED",X1,"BASIS(39)(",I3,",3)",/>,NBL-114);
WRITE(OUT,<"$ROTB",X2," N=13",X2,"C=9",X4,"*",X1,"T.B.V._KOPPELEN"/>);
WRITE(UIT,<"***NET14***"/>);
WRITE(UIT,<"EXTERNAL(1, 2,3,4,5)(39)(1,1)"/>);
WRITE(UIT,<"ROTATED",X1,"BASIS",X1,"(39)(1,1)"/>);
WRITE(UIT,<"$ROTB",X2," N=14",X2,"C=9",X4,"*",X1,"T.B.V._KOPPELEN"/>);
'FOR'N:=3 'STEP'3'UNTIL '117'DO'
 'BEGIN'
  I:= N/3;
        DX:=QF[I,1]-Q3 [I,1];
        DY:=QF[I,2]-Q3 [I,2];
        DZ:=QF[I,3]-Q3 [I,3];
        ZP2:= -DY/DZ;
        XP3:= -DZ**2/(DX*DY)-DY/DX;
        ZP3:=  DZ/DY;
 WRITE(OUT,<X7,I3,X5,"0.",X2,"0.",X2,"0.",X4,"0.",X2,"1.",X2,F6.2,X4,
          F6.2,X2,"0." ,X2,F6.2,/>,NBL-117+N,ZP2,XP3,ZP3);
 WRITE(UIT,<X7,I2,X5,"0.",X2,"0.",X2,"0.",X4,"0.",X2,"1.",X2,F6.2,X4,
          F6.2,X2,"0." ,X2,F6.2,/>,I, ZP2,XP3,ZP3);
 'END';
WRITE(OUT,<"***NET101***"/>);
WRITE(OUT,<"INSERT",X1, "NET(13)(39)(",I3,",3)(453,1)"/>,NBL-114);
WRITE(OUT,<"INSERT",X1, "NET(14)(39)(1,1)(453,1)"/>);
'END' KOPPELGEG;


READ(IN,/,  AP,       % AANTAL TEKENINGSTRALEN, VANAF AFRONDING, INCL. R=1
            STR,      % STRAAL VAN DE SCHROEF. [MM]
            RB,RD,    % STRAAL NAAF  VOORZYDE, RESP. ACHTERZYDE. [MM]
            AT,       % AFSTAND VOORZYDE NAAF TOT TREKKEROORSPRONG. [MM]
            LS,       % LENGTE VAN DE NAAF. [MM]
            TOER,     % TOERENTAL. [OMW/MIN]
            VSCHIP,   % SCHEEPSSNELHEID IN KNOPEN (GEHEEL GETAL).
            PSI,      % GEMIDDELD VOLGSTROOMGETAL [  ].
            PR,       % DRUKCOEFFICIENT UIT NACA - VERHAAL [  ].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'RR[J], % TEKENINGSTRALEN, GESCHAALD NAAR 1.
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'PPI[J],% SPOEDVERLOOP, ABSOLUUT [MM].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO' TT[J],% DIKTEVERLOOP, ABSOLUUT [MM].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'LLV[J],% LENGTE VOOR, T.O.V. RECHTE TREKKER
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'LLA[J],% LENGTE ACHTER, IDEM
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO' FF[J],% WELVING, OOK ABSOLUUT [MM].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'BET[J],% AANSTROOMHOEK BETA [RAD].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'BETI[J],%EXTRA AANSTROOMHOEK BETA-I [RAD].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'CIRC[J],%CIRCULATIE
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'VSV[J],% VOLGSTROOMVERDELING.
            EPS,      % KLEIN GETAL, NEEM 0-8.
            RAKE,     % RAKE IN GEHELE GRADEN; NAAR ACHTER IS POSITIEF
            AR,       % ARNOLDUS-PROFIEL: SYMETRISCH=1, ANDERS =2.
            LAGEN,    % AANTAL REGELM. ELEMENTLAGEN; BEGIN B.V. BIJ 15.
            SNY,      % AANTAL HEXEC-LAGEN; BEGIN BV. BIJ 6;
```

BL11

```
           RTOP,     % HOOGSTE PUNT LAGEN-GEBIED OP LA; NEEM BV. 0.9
           RPOOL,    % HOOGTE POOL VAN DE WAAIER T.B.V. GLOBALE VERDELING
                     % BEGIN B.V. MET RPOOL=0.25
           YPOOLCOR);% GESCHAALDE RPOOLCORRECTIE; POS=RICHTING TREKKER;

KNOOPPUNTENBLAD(BL,QF,QB,RR,LLV,LLA,TT,FF,LAGEN,SNY,AP,RPOOL,RTOP,STR);
SCALINGFACTORS(BLAD,7.2,7.2); BLADTEK(BL,QF,QB,BLAD);
BQHYDRO (BL,QF,QB,TOER,VSCHIP,PSI,PR,BET,BETI,CIRC,VSV);
ECHTE BLAD(BL,QB,QF);
NPCOPLOTHEX8;
BQMASSA(BL,QB,QF);
KOPPELGEG;
NPCOOTOPPUNCH (OUT,BL,QF,QB,LAGEN,SNY);

'END'.
? DATA IN
12,3300, 562, 680,850,1300, 120,25,0.266,1.111,
0.25,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.85,0.9,0.95,0.975,1.0,
6538,6699,6942, 7089,7143,7136,6951,6819,6656,6458,6350,6240,
318.4,286.8,229,178.8,135,96.6,65.3,51.6,39.5,29,24, 20,
770,780,730,580,300,-180,-855,-1265,-1765,-2370,-2770, -3645,
925,1090,1450,1855,2310,2850,3450,3750,3990,4145,4125, 3645,
63.2 ,63.6 ,59.9 ,52.6 ,43.3 ,34.2 ,27.9 ,22.5 ,25   ,20.8 ,20.3 , 20,
27.878,27.702,25.760,23.256,20.946,18.885,17.097,16.286,15.520,14.791,
14.440,14.100,
50.748,46.397,39.361,33.907,29.469,25.714,22.391,20.782,19.271,17.853,
17.199,16.400,
0.0399,0.0439,0.0508,0.0568,0.0607,0.0620,0.0596,0.0568,0.0522,0.0452,
0.0395,0.032,
0.581,0.692,0.848,0.944,1.009,1.052,1.081,1.091,1.098,1.102,1.103,1.104,
0.001,  0,2,16, 5,0.89 ,0.15,  0.1,
?END JOB
```

BL13

```
WRITE(OUT,<X7,I3,X4,F8.1,X2,F8.1,X2,F8.1/>,N,HE8[N,1],HE8[N,2],HE8[N,3])
 ;
'END' NPCOPLOTHEX8 ;
'PROCEDURE' KOPPELGEG;
%%% KOPPELGEG LEVERT TOPOLOGY- EN DATA INVOER VOOR ASKA, MET NAME T.B.V.
%%% DE KOPPELING VAN NET 13 AAN NET 14, INCLUSIEF DE NODIGE ROTATED BA-
%%% SIS DATA. DE GETALLEN ZIJN AFN. VAN DE GEOMETRIE EN HET AANTAL HEXEC
%%% -KNOOPPUNTEN. DE NUMMERING IN HET 101 BEGINT HIERBIJ BIJ 358; DE
%%% EERSTE 357 EXTERNALS ZITTEN IN DE AS EN DE NAAF EN OP HET GRENSVLAK
%%% NAAF-BLAD.
'BEGIN' 'INTEGER' I,N;
        'REAL'    DX, DY, DZ, ZP2, XP3, ZP3;
WRITE(OUT,<"***NET13***"/>);
WRITE(OUT,<"EXTERNAL(1, 2, 3)(39)(",I3,", 3)",/>,NBL-114);
WRITE(OUT,<"ROTATED",X1,"BASIS(39)(",I3,",3)",/>,NBL-114);
WRITE(OUT,<"$ROTB",X2," N=13",X2,"C=9",X4,"*",X1,"T.B.V._KOPPELEN"/>);
WRITE(UIT,<"***NET14***"/>);
WRITE(UIT,<"EXTERNAL(1, 2,3,4,5)(39)(1,1)"/>);
WRITE(UIT,<"ROTATED",X1,"BASIS",X1,"(39)(1,1)"/>);
WRITE(UIT,<"$ROTB",X2," N=14",X2,"C=9",X4,"*",X1,"T.B.V._KOPPELEN"/>);
'FOR'N:=3 'STEP'3'UNTIL '117'DO'
 'BEGIN'
  I:= N/3;
        DX:=QF[I,1]-QB [I,1];
        DY:=QF[I,2]-QB [I,2];
        DZ:=QF[I,3]-QB [I,3];
        ZP2:= -DY/DZ;
        XP3:= -DZ**2/(DX*DY)-DY/DX;
        ZP3:=  DZ/DY;
 WRITE(OUT,<X7,I3,X5,"0.",X2,"0.",X2,"0.",X4,"0.",X2,"1.",X2,F6.2,X4,
          F6.2,X2,"0." ,X2,F6.2,/>,NBL-117+N,ZP2,XP3,ZP3);
 WRITE(UIT,<X7,I2,X5,"0.",X2,"0.",X2,"0.",X4,"0.",X2,"1.",X2,F6.2,X4,
          F6.2,X2,"0." ,X2,F6.2,/>,I, ZP2,XP3,ZP3);
 'END';
WRITE(OUT,<"***NET101***"/>);
WRITE(OUT,<"INSERT",X1, "NET(13)(39)(",I3,",3)(453,1)"/>,NBL-114);
WRITE(OUT,<"INSERT",X1, "NET(14)(39)(1,1)(453,1)"/>);
'END' KOPPELGEG;


READ(IN,/,  AP,      % AANTAL TEKENINGSTRALEN, VANAF AFRONDING, INCL. R=1
            STR,     % STRAAL VAN DE SCHROEF. [MM]
            RB,RD,   % STRAAL NAAF  VOORZYDE, RESP. ACHTERZYDE. [MM]
            AT,      % AFSTAND VOORZYDE NAAF TOT TREKKEROORSPRONG. [MM]
            LS,      % LENGTE VAN DE NAAF. [MM]
            TOER,    % TOERENTAL. [OMW/MIN]
            VSCHIP,  % SCHEEPSSNELHEID IN KNOPEN (GEHEEL GETAL).
            PSI,     % GEMIDDELD VOLGSTROOMGETAL [  ].
            PR,      % DRUKCOEFFICIENT UIT NACA - VERHAAL [  ].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'RR[J], % TEKENINGSTRALEN, GESCHAALD NAAR 1.
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'PPI[J],% SPOEDVERLOOP, ABSOLUUT [MM].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO' TT[J],% DIKTEVERLOOP, ABSOLUUT [MM].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'LLV[J],% LENGTE VOOR, T.O.V. RECHTE TREKKER
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'LLA[J],% LENGTE ACHTER, IDEM
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO' FF[J],% WELVING, OOK ABSOLUUT [MM].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'BET[J],% AANSTROOMHOEK BETA [RAD].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'BETI[J],%EXTRA AANSTROOMHOEK BETA-I [RAD].
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'CIRC[J],%CIRCULATIE
'FOR'J:=1'STEP'1'UNTIL'AP'DO'VSV[J],% VOLGSTROOMVERDELING.
            EPS,     % KLEIN GETAL, NEEM 0-8.
            RAKE,    % RAKE IN GEHELE GRADEN; NAAR ACHTER IS POSITIEF
            AR,      % ARNOLDUS-PROFIEL: SYMETRISCH=1, ANDERS =2.
            LAGEN,   % AANTAL REGELM. ELEMENTLAGEN; BEGIN B.V. BIJ 15.
            SNY,     % AANTAL HEXEC-LAGEN; BEGIN BV. BIJ 6;
```

BL1L

```
                RTOP,    % HOOGSTE PUNT LAGEN-GEBIED OP LA; NEEM BV. 0.9
                RPOOL,   % HOOGTE POOL VAN DE WAAIER T.B.V. GLOBALE VERDELING
                         % BEGIN B.V. MET RPOOL=0.25
                YPOOLCOR);% GESCHAALDE RPOOLCORRECTIE; POS=RICHTING TREKKER;

KNOOPPUNTENBLAD(BL,QF,QB,RR,LLV,LLA,TT,FF,LAGEN,SNY,AP,RPOOL,RTOP,STR);
SCALINGFACTORS(BLAD,7.2,7.2); BLADTEK(BL,QF,QB,BLAD);
BQHYDRO (BL,QF,QB,TOER,VSCHIP,PSI,PR,BET,BETI,CIRC,VSV);
ECHTE BLAD(BL,QB,QF);
NPCOPLOTHEX8;
BQMASSA(BL,QB,QF);
KOPPELGEG;
NPCOOTOPPUNCH (OUT,BL,QF,QB,LAGEN,SNY);

'END'.
? DATA IN
12,3300, 562, 680,850,1300, 120,25,0.266,1.111,
0.25,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.85,0.9,0.95,0.975,1.0,
6538,6699,6942, 7089,7143,7136,6951,6819,6656,6458,6350,6240,
318.4,286.8,229,178.8,135,96.6,65.3,51.6,39.5,29,24, 20,
770,780,730,580,300,-180,-855,-1265,-1765,-2370,-2770, -3645,
925,1090,1450,1855,2310,2850,3450,3750,3990,4145,4125, 3645,
63.2 ,63.6 ,59.9 ,52.6 ,43.3 ,34.2 ,27.9 ,22.5 ,25   ,20.8 ,20.3 , 20,
27.878,27.702,25.760,23.256,20.946,18.885,17.097,16.286,15.520,14.791,
14.440,14.100,
50.748,46.397,39.361,33.907,29.469,25.714,22.391,20.782,19.271,17.853,
17.199,16.400,
0.0399,0.0439,0.0508,0.0568,0.0607,0.0620,0.0596,0.0568,0.0522,0.0452,
0.0395,0.032,
0.581,0.692,0.848,0.944,1.009,1.052,1.081,1.091,1.098,1.102,1.103,1.104,
0.001,  0,2,16, 5,0.89 ,0.15,  0.1,
?END JOB
```

MA1

```
? JOB JANKLINGEN ;QUEUE=3; USER=U216S241/BERT;BEGIN
?COMPILE W/WE/JAN/KLINGEN/BERGE/TASTA WITH BEATHE
? FILE IN (KIND =READER)
? FILE FIGUUR(KIND=PLOTTER11)
? FILE BLOK(KIND=PLOTTER11)
? FILE OUT (KIND = PRINTER)
? DATA
$'RESET' LIST
'BEGIN'
$'INCLUDE'"DRAWPROCEDURES"
'FILE' IN, OUT, FIGUUR;
'ARRAY' NA[1:675,1:3],                          % KNOOPPUNTEN ARRAY
        STATUS[0:5];                            % HULPARRAY T.B.V. TEKENEN
'INTEGER' Z, AR, N;
'REAL' NL, AT, RNV, RNT , RNA, RAV, RAA, PIV, PIG, LAV, LVV, LAG, LVG,
        XO, XB, YO, YB, EPS,
       TV, TG, ABV, AOV , ABT, AOT, STR, RG, FV, FG, RAKE;
'DEFINE'VOETP  = N:=1'STEP'5'UNTIL'66,604'STEP'5'UNTIL'669,
                 71'STEP'41'UNTIL'563, 76'STEP'41'UNTIL'568,
                 83'STEP'41'UNTIL'575, 90'STEP'41'UNTIL'582,
                 97'STEP'41'UNTIL'589,102'STEP'41'UNTIL'594,
                107'STEP'41'UNTIL'599 #;
'DEFINE' GRENSP = N:=95 'STEP'41'UNTIL'587,88'STEP'41'UNTIL'580,
                  81 'STEP'41'UNTIL'573 #;



'PROCEDURE' PROFIEL (X, XO,YO,XB,YB,AR,TT,FF,AAO,AAB);
'VALUE' X, AR,TT,FF,AAO,AAB;
'REAL'  X,XO,YO,XB,YB,TT,FF,AAO,AAB;
'INTEGER' AR;
'BEGIN''REAL' P,PA,Q,QA,R,RA, FAK, T,YC,YAC, XZO,YZO,XZB,YZB,AB,AO,
              A1, A2, A3, A4;
                 'IF'AR'EQL'1'THEN'
                   FAK:=1+(TT    -0.075)/SQRT((TT    -0.075)**2+0.01*TT)
                              'ELSE'    FAK:=0;
                 A1:= -0.76304 +0.5*( 2.7170+0.76304)*FAK;
                 A2:= -0.26012 +0.5*(-3.2705+0.26012)*FAK;
                 A3:= -0.76304 +0.5*(-1.6005+0.76304)*FAK;
                 A4:= -0.26012 +0.5*( 1.2557+0.26012)*FAK;
         'IF'X'GTR'0.8-EPS'AND'X'LSS'0.8+EPS'THEN'P:=PA:=0
           'ELSE''BEGIN'P:=((0.8-X)**2)*LN(ABS(0.8-X));
                       PA:=(0.8-X)*LN(ABS(0.8-X));      'END';
         'IF'X'LSS'EPS'THEN'Q:=QA:=0'ELSE''BEGIN'Q:=X*LN(X);QA:=LN(X);
                                                                 'END';
         'IF'X'GTR'1-EPS'THEN'R:=RA:=0'ELSE''BEGIN'R:=((1-X)**2)*LN(1
                                  -X);RA:=(1-X)*LN(1-X);'END';
     YC:=(FF*1.302 )*(2.5*(P-R+0.18-X/5)-Q-0.09297+0.3039*X);
     YAC:=(FF*1.302 )*(5*(RA-PA)-QA-1.3039);
   'IF'X'GTR'EPS'AND'X'LSS'1-EPS'THEN''BEGIN'
    T:=TT*(A1*(X-SQRT(X))+A2*(SQRT(X**3)-SQRT(X))+A3*(1-X-SQRT(1-X))+
                        A4*(SQRT((1-X)**3)-SQRT(1-X)));
     YZB:=YC+T/SQRT(1-YAC**2);
     XZO:=X-T*YAC/SQRT(1+YAC**2);
     XZB:=X+T*YAC/SQRT(1+YAC**2);
     YZO:=YC-T/SQRT(1-YAC**2)'END'
   'ELSE'     T:=YZO:=YZB:=XZO:=XZB:=0;'IF'X=1 'THEN' XO:=XB:=1
           'ELSE''BEGIN'  XO:=XZO ;XB:=XZB; 'END';
     AO:=     AAO*SQRT(ABS(1-(2*XZO-1)**2)**3);
     AB:=     AAB*SQRT(ABS(1-(2*XZB-1)**2)**3);
     YO:=(YZO-AO);
     YB:=(YZB+AB);
   'END'PROFIEL MET ALLES DIMENSIELOOS;
```

MA 2

```
'PROCEDURE'NPCOPUNCH(NA );'REAL''ARRAY'NA[1,1];       'BEGIN'
WRITE(OUT,<673(X6,I3,3(X2,F8.1)/)>,'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL'673'DO'
                 [N,NA[N,1],NA[N,2],NA[N,3]]);
'END';


'PROCEDURE'PLOTVOETVLAK(FIGUUR,NA)   ;
   'REAL''ARRAY'NA[1,1];      'FILE'FIGUUR;
   'BEGIN''REAL'X01,XB1,Y01,YB1,XORIGIN;'INTEGER'AANTAL,K,M,N1,N2,N3,
                 H,I;
'ARRAY' CUR[1:15,1:3];

'PROCEDURE' CURVF(N1,N2,N3,M);
            'INTEGER' N1,N2,N3,M;
'BEGIN'     'INTEGER'  I,C,H;                          C:=1;
     'FOR' H:= N1+M,N2+ M,N3+M 'DO'
        'BEGIN'  'FOR' I:=1,2 'DO'    CUR[C,I]:= NA[H,I];
                C:=C+1;        'END';
            DRAWCURVE1(FIGUUR,C,1,3,CUR[C,2],CUR[C,1],1);
'END' CURVF;

'FOR'M:=0'STEP'1'UNTIL'4'DO' 'BEGIN'
   MAP(FIGUUR,XORIGIN,0,XORIGIN+20*(NA[31,2]-NA[1,2])/(NA[669,1]-NA[1,1]
                                                 ),20);
        XORIGIN:=XORIGIN+20*(NA[669,2]-NA[1,2])/(NA[669,1]-NA[1,1]);
   DEFINESPACE(FIGUUR,NA[31,2]+200,NA[1,1]-400,NA[1,2]-200,NA[669,1]+
                                 400);
  'FOR'N:=1,639'DO'
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(FIGUUR,NA[N,2],NA[N,1],NA[N+30 ,2],NA[N+30 ,1],1);
  'FOR'N:=1,31'DO'
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(FIGUUR,NA[N,2],NA[N,1],NA[N+638,2],NA[N+638,1],1);
 'FOR'N:=1,11,21,31,639,649,659,669,71'STEP'82'UNTIL'563,83'STEP'82
     'UNTIL'575,97'STEP'82'UNTIL'589,107'STEP'82'UNTIL'599'DO'
              'BEGIN'  H:=N+M;
     DRAWPOINT(FIGUUR,NA[H,2],NA[H,1],14);
              'END' ;
 'FOR'N:=6,16,26,36'STEP'5'UNTIL'66,604'STEP'5'UNTIL'634,644,654,664,
     148'STEP'82'UNTIL'588, 102'STEP'41'UNTIL'594,
     112'STEP'82'UNTIL'522,
     138'STEP'82'UNTIL'548,  76'STEP'41'UNTIL'609,
     124'STEP'82'UNTIL'534,  90'STEP'41'UNTIL'582 'DO'
              'BEGIN'  H:=M+N;
     DRAWPOINT(FIGUUR,NA[H,2],NA[H,1], 1);
              'END' ;
%    HET PLOTTEN VAN  DE PROFIEL-CONTOUR:
     'FOR'N:=83,97   'DO'    'BEGIN'   H:=M+N;
INITCURVEPOINTS(NA[H,2],NA[H,1],NA[H+41,2],NA[H+41,1],STATUS);
       'FOR'I:=82'STEP'41'UNTIL'492'DO'
NEXTPOINTONCURVE(FIGUUR,NA[H+I,2],NA[H+I,1],1,STATUS);
FINISHCURVE(FIGUUR,1,STATUS);         'END';
'FOR'N:=153'STEP'82'UNTIL'481'DO''BEGIN'  H:= M+N;
DRAWSTRAIGHTLINEPIECE(FIGUUR,NA[H,2],NA[H,1],NA[H+36,2],NA[H+36,1],1);
                                    'END';
CURVF(575,614,649,M); CURVF(589,624,659,M); CURVF(575,582,589,M);
CURVF( 71, 76, 83,M); CURVF( 97,102,107,M); CURVF( 83, 90, 97,M);
CURVF( 11, 46, 83,M); CURVF( 21, 56, 97,M);
CURVF(563,568,575,M);  CURVF(589,594,599,M);
      CLOSEPICTURE(FIGUUR);
                         'END';
                                  LOCK(FIGUUR);
'END'PROCEDURE PLOTVOETVLAK;
'PROCEDURE'KNOOPPUNTEN NAAF(NA);      'ARRAY' NA[*,*];
'BEGIN'
```

NA3

```
'REAL' LV, LG, AN, AS, NV, SV, STEEK, STDD, STLL,
       PHI, SPHI, CPHI, TPHI,
       AFV, AFA, A, B, PERCV, PERCA,
       PHIG,SPHIG,CPHIG,TPHIG,
       XS, X1, X2, X3, AFS1, AFS2, AFS3,
       DD, LL,  RAK, TRUUK,
       HULP;
'INTEGER' N,K,I, T  ;
'LABEL' LAO, LAB;

'PROCEDURE' MID(N1,N2,NM,I);
'VALUE' N1,N2,NM,I;
'INTEGER' N1,N2,NM,I;
'BEGIN' 'INTEGER' K;
        'FOR' K:=1'STEP'1'UNTIL'I'DO' NA[NM,K]:=(NA[N1,K]+NA[N2,K])/2;
'END' MID;

'PROCEDURE' ZES(N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7);
'VALUE'N1,N7;
'INTEGER' N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7;
'BEGIN' 'INTEGER' K;
        'FOR'K:=1,2'DO' 'BEGIN'
                         NA[N3,K]:=(2*NA[N1,K]+NA[N7,K])/3;
                         NA[N5,K]:=(2*NA[N7,K]+NA[N1,K])/3;
                        'END';
        MID(N1,N3,N2,2); MID(N3,N5,N4,2); MID(N5,N7,N6,2);
'END' ZES;

%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
RAK:= TAN(RAKE*3.14159/180);
LV:= LAV+LVV;   LG:= LAG+LVG;
PHI:= ARCTAN(PIV/(2*3.14159*RNT)); SPHI:=SIN(PHI); CPHI:=COS(PHI);
PHIG:=ARCTAN(PIG/(2*3.14159*RG));  SPHIG:=SIN(PHIG);CPHIG:=COS(PHIG);
LL:=NL/SPHI;                       TPHI:=TAN(PHI);  TPHIG:=TAN(PHIG);
PERCV:=0.02;
PERCA:=0.02;
DD:=2*3.14159*RNT/Z;
FV:=*/LV;  TV:=*/LV;  ABV:=*/LV; AOV:=*/LV;    % SCHALEN VAN PROFIEL-
FG:=*/LG;  TG:=*/LG;  ABT:=*/LV; AOT:=*/LV;    %            -PARAMETERS
%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% DE LIJNEN DOOR HET VOETPROFIEL: (ALLE PNT. VOORLOPIG OP R= RNM)
STEEK:=(LV/STR-PERCV-PERCA)/12;
'FOR' N:=0'STEP'1'UNTIL'12'DO'
'BEGIN' XS:= PERCV +N*STEEK;
        X1:= XS;
        PROFIEL(X1,XO,YO,XB,YB,AR,TV,FV,AOV,ABV);
        AFS1:=YB*CPHI-(XB-XS)*SPHI;
        X2:=1;
        AFS2:=(X1-1)*SPHI;
        AFS3:= 2*EPS;
LAB:    X3:=X1+(X2-X1)*ABS(AFS1/(ABS(AFS1)+ABS(AFS2)));
        'WHILE' ABS(AFS3) > EPS 'DO'
        'BEGIN' PROFIEL(X3,XO,YO,XB,YB,AR,TV,FV,AOV,ABV);
                AFS3:=YB*CPHI-(XB-XS)*SPHI;
                'IF' AFS3 > 0 'THEN' X1:=X3
                              'ELSE' X2:=X3;   'GOTO' LAB;
        'END';
NA[97+N*41,1]:= XB*LV -LVV;
NA[97+N*41,2]:=-YB*LV;
        X1:=XS;
        PROFIEL(X1,XO,YO,XB,YB,AR,TV,FV,AOV,ABV);
        AFS1:=YO*CPHI-(XO-XS)*SPHI;
        X2:=0;
        AFS2:=X1*SPHI;
```

```
          AFS3:= 2*EPS;
LAD:      X3:=X1+ (X2-X1)*ABS(AFS1/(ABS(AFS1)+ABS(AFS2)));
          'WHILE' ABS(AFS3) > EPS 'DO'
          'BEGIN' PROFIEL(X3,X0,Y0,X8,YB,AR,TV,FV,ADV,ABV);
                  AFS3:=Y0*CPHI-(X0-XS)*SPHI;
                  'IF' AFS3 > 0 'THEN' X2:=X3
                                'ELSE' X1:=X3;   'GOTO' LAD;
          'END';
NA[83+N*41,1]:= X0*LV -LVV;
NA[83+N*41,2]:=-Y0*LV;
MID(83+N*41, 97+N*41,90+N*41,2);
'END';
%%% ROTATIE EN INTRODUKTIE VAN DE RAKE:
'FOR' GRENSP 'DO'
'BEGIN' TRUUK:= NA[N+2,1];
        NA[N+2,1]:= * *SPHI-NA[N+2,2]*CPHI+ RAK*RNT;
        NA[N+2,2]:= * *CPHI+ TRUUK   *SPHI;
'END';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
NA[353,2]:=NA[336,2]-DD/2;
NA[317,2]:=NA[336,2]+DD/2;
NA[ 31,2]:=NA[353,2]-(NA[353,1]+AT)*TPHI;
NA[669,2]:=NA[ 31,2]+NL *TPHI;
NA[  1,2]:=NA[ 31,2]-DD;
NA[639,2]:=NA[669,2]-DD;
AFV:=AT+NA[90,1];
AFA:=NL-AT-NA[582,1];
'FOR'N:=1'STEP'5'UNTIL' 31'DO'
        'BEGIN' NA[N,1]: = -AT;
                NA[N+633,1]:= NL-AT; 'END';
'FOR'N:=71'STEP'41'UNTIL'563'DO'
        'BEGIN' NA[N,1]: =NA[N+36,1]:=NA[1,1]+AFV+STEEK*((N-71)/41);
                NA[N,2]: =NA[N+1,2]+(NA[N,1]-NA[1,2])/TPHI;
                NA[N+36,2]:= * +DD;
                MID(N,N+12,N+5,2);
                MID(N+25,N+36,N+31,2);
        'END';
NA[  6,2]:=NA[ 76,2]-AFV/TPHI; NA[ 11,2]:=NA[ 83,2]-AFV/TPHI;
NA[ 16,2]:=NA[ 90,2]-AFV/TPHI; NA[ 21,2]:=NA[ 97,2]-AFV/TPHI;
NA[ 26,2]:=NA[102,2]-AFV/TPHI;
NA[644,2]:=NA[568,2]+AFA/TPHI; NA[649,2]:=NA[575,2]+AFA/TPHI;
NA[654,2]:=NA[582,2]+AFA/TPHI; NA[659,2]:=NA[589,2]+AFA/TPHI;
NA[664,2]:=NA[594,2]+AFA/TPHI;
'FOR'N:=36,41,624,629,634'DO' MID(N-35,N+35,N,2);
'FOR'N:=56,61,66          'DO' MID(N-35,N+41,N,2);
'FOR'N:= 604,609          'DO' MID(N-41,N+35,N,2);
MID(11,83,46,2); MID(16,90,51,2); MID(582,654,619,2);
MID(575,649,614,2);
%%% EINDE OPVULLEN VOETVLAK:
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 4 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
'FOR' N:= 1,31,639,669 'DO'  'FOR'I:=1,2'DO' NA[N+4,I]:=NA[N,I] ;
%%% VULLEN VAN LANGE RANDEN VAN CONUSVLAK:
K:=1;
'FOR' N:= 40,75'STEP'41'UNTIL'608 'DO'
'BEGIN''FOR'I:=1,2'DO'NA[N,I]:=(16-K)/16*NA[5,I]+K/16*NA[643,I];
      K:=K+1;
'END';
K:=1;
'FOR'N:=70'STEP'41'UNTIL'603,638'DO'
'BEGIN''FOR'I:=1,2'DO'NA[N,I]:=(16-K)/16*NA[35,I]+K/16*NA[673,I];
      K:=K+1;
'END';
'FOR'N:=5,40,608,643'DO' ZES(N,N+5,N+10,N+15,N+20,N+25,N+30);
'FOR'N:=116'STEP'41'UNTIL'526'DO'ZES(N,N+5,N+12,N+19,N+26,N+31,N+36);
```

```
ZES(75,80,87,94,101,106,111);
ZES(567,572,579,586,593,598,603);
%%% EINDE OPVULLEN CONJSVLAK
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 5 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Z-WAARDEN VOOR HET VOET VLAK: (PARABOOL DOOR RNV,RNT,RNA)
A:=LL/(RNV**2-RNA**2);
B:= RNT**2 *A;
'FOR' VOETP 'DO' NA[N,3]:= SQRT((NA[N,1]+B)/A);
%%% EXTRA DOORZAKKING MIDDEN PUNTEN VAN VOETPROFIEL:
'FOR'N:=131'STEP'41'UNTIL'541'DO' NA[N,3]:=* -(NA[N+7,2]-NA[N,2]);
%%% CONUSVLAK:
'FOR'VOETP'DO'
'BEGIN' NA[N+4,3]:= RAV -(NA[N+4,1]+AT)/LL*(RNV-RNA);
%%% TUSSENVLAKKEN:
        MID(N,N+4,N+2,2 );
        MID(N,N+2,N+1,2 );
        MID(N+2,N+4,N+3,2);
        NA[N+2,3]:=(NA[N,3]+NA[N+4,3])/2;
        NA[N+3,3]:=(NA[N+4,3]+NA[N+2,3])/2;
        NA[N+1,3]:=(NA[N,3]+NA[N+2,3])/2;
'END';

NPCOPUNCH(NA);

%%% INTRODUKTIE TRAPEZIUMVORM:
'FOR'VOETP 'DO''FOR'K:= 0,1,2,3,4'DO' NA[N+K,2]:=* *NA[N+K,3]/RNT;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 6 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% GRENSVLAK:
N:=81   ;
'FOR'K:=1'STEP'3'UNTIL' 37'DO'
'BEGIN' PROFIEL((4*(K-1 )/3+1)/50,NA[N,1],NA[N,2],NA[N+14,1],NA[N+14,2],
        AR,TG,FG,0,0);
        NA[N,1]:=**LG-_VG;
        NA[N,2]:=**(-LG );
        TRUUK:= NA[N,1];
        NA[N,1]:=**SPHIG-NA[N,2]*CPHIG+RAK*RG;
        NA[N,2]:=**CPHIG+TRUUK*SPHIG;
        NA[N,3]:=RG;
        NA[N+14,1]:=**LG-LVG;
        NA[N+14,2]:=**(-LG);
        TRUUK:=NA[N+14,1];
        NA[N+14,1]:=**SPHIG-NA[N+14,2]*CPHIG+RAK*RG;
        NA[N+14,2]:=**CPHIG+TRUUK*SPHIG;
        NA[N+14,3]:=RG;
        MID(N,N+14,N+7,3);
        N:=N+41;
'END';
%%% TUSSENVLAK:
'FOR'GRENSP'DO' MID(N,N+2,N+1,3);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FASE 7 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL'673'DO'
'BEGIN' HULP:= NA[N,2]/NA[N,3];
        NA[N,2]:=NA[N,3]*SIN(HULP);
        NA[N,3]:=        **COS(HULP);
'END';
'END' KNOOPPUNTEN NAAF;


'PROCEDURE' ROTATED BASIS(NA,OUT);
'ARRAY' NA[*,*];  'FILE' OUT;
'BEGIN'  'REAL' CONUSTOP;
         'INTEGER' K,N;
CONUSTOP:= NL/(RAV-RAA)*RAV-AT;
WRITE(OUT,<"&ROTB",X3," N=12",X3,"C=9",/>);
```

NAS

nA6

```
'FOR' VOETP'DO'
WRITE(OUT,<X6,I3,X4,3(F7.1,X2),X4,F7.1,X2,2("0.",X2),X3,3(F7.1,X2),X5,
      "***",X1,"CONUSPUNTEN"/>,N,NA[N,1],NA[N,2],NA[N,3],CONUSTOP,NA[N,1]
      ,NA[N,2]-NA[N,3],NA[N,2]+NA[N,3]);
'FOR'N:=1,36,71'STEP'41'UNTIL'604,639'DO''FOR'K:=0,1,2,3'DO'
  WRITE(OUT,<X6,I3,X4,3("0.",X3),X2,"1.",X3,"0.",X3,"0.",X5,"0.",F8.5,
        X3,F8.5,X5,"***",X1,"STUURBOORD-ZYVLAKPUNT ",/>,N+K,NA[N+K,3]/RNV
       ,-NA[N+K,2]/RNV);
'FOR'N:=  31,66'STEP'41'UNTIL'599,634,669'DO''FOR'K:=0,1,2,3'DO'
  WRITE(OUT,<X6,I3,X4,3("0.",X3),X2,"1.",X3,"0.",X3,"0.",X5,"0.",F8.5,
        X3,F8.5,X5,"***",X1,"BAKBOORD-ZYVLAKPUNT   ",/>,N+K,NA[N+K,3]/RNV
       ,-NA[N+K,2]/RNV);
'END'ROTATED BASIS;


READ(IN,/,  Z    ,    % AANTAL BLADEN
            AR   ,    % TYPE ARNOLDUS PROFIEL; SYMMETRISCH=1, ANDERS=2
            LAG,      % LENGTE ACHTER, GRENSVLAK
            LVG,      % LENGTE VOOR  , GRENSVLAK
            LAV,      % LENGTE ACHTER, VOETVLAK
            LVV,      % LENGTE VOOR  , VOETVLAK
            NL   ,    % LENGTE VAN NAAF  [MM] (ALLE LENGTEMATEN: MM)
            AT   ,    % AFST. VOORZIJDE TOT TREKKER ZONDER RAKE
            RNV,      % STRAAL NAAF VOORZIJDE
            RNT,      % IDEM, T.P.V. (RECHTE) TREKKER
            RNA,      % IDEM, ACHTER
            RAV,      % STRAAL AS VOOR
            RAA,      % IDEM, ACHTER
            PIV,      % SPOED OP VOETVLAK, NEEM HIERVOOR R= RNM
            PIG,      % SPOED OP GRENSVLAK
            TV   ,    % MAX. DIKTE VOETVLAK
            TG   ,    % IDEM, GRENSVLAK
            ABV,      % AFRONDING BOVENZIJDE VOETVLAK
            AOV,      % IDEM, ONDERZIJDE (=DRUKZIJDE)
            STR,      % STRAAL VAN DE SCHROEF [MM]
            RG,       % STRAAL GRENSVLAK, LET OP: ONGESCHAALD INLEZEN [MM]
            RAKE,     %
            FV,       % WELVING VOETVLAK
            FG,       % WELVING GRENSVLAK
            EPS);     % KLEIN GETAL; NEEM BV. @-4;

KNOOPPUNTEN NAAF(NA);
ROTATED BASIS(NA,OUT);
'END'.
?DATA IN
6,2,925.0,770.0,700.0,700.0,1300,450,678.5,600,562, 759,696,6310,
6538,380 ,318.4, 50, 70,      ,3300,825,-16 ,63  , 66  ,  @-3,
?END JOB
```

AS I

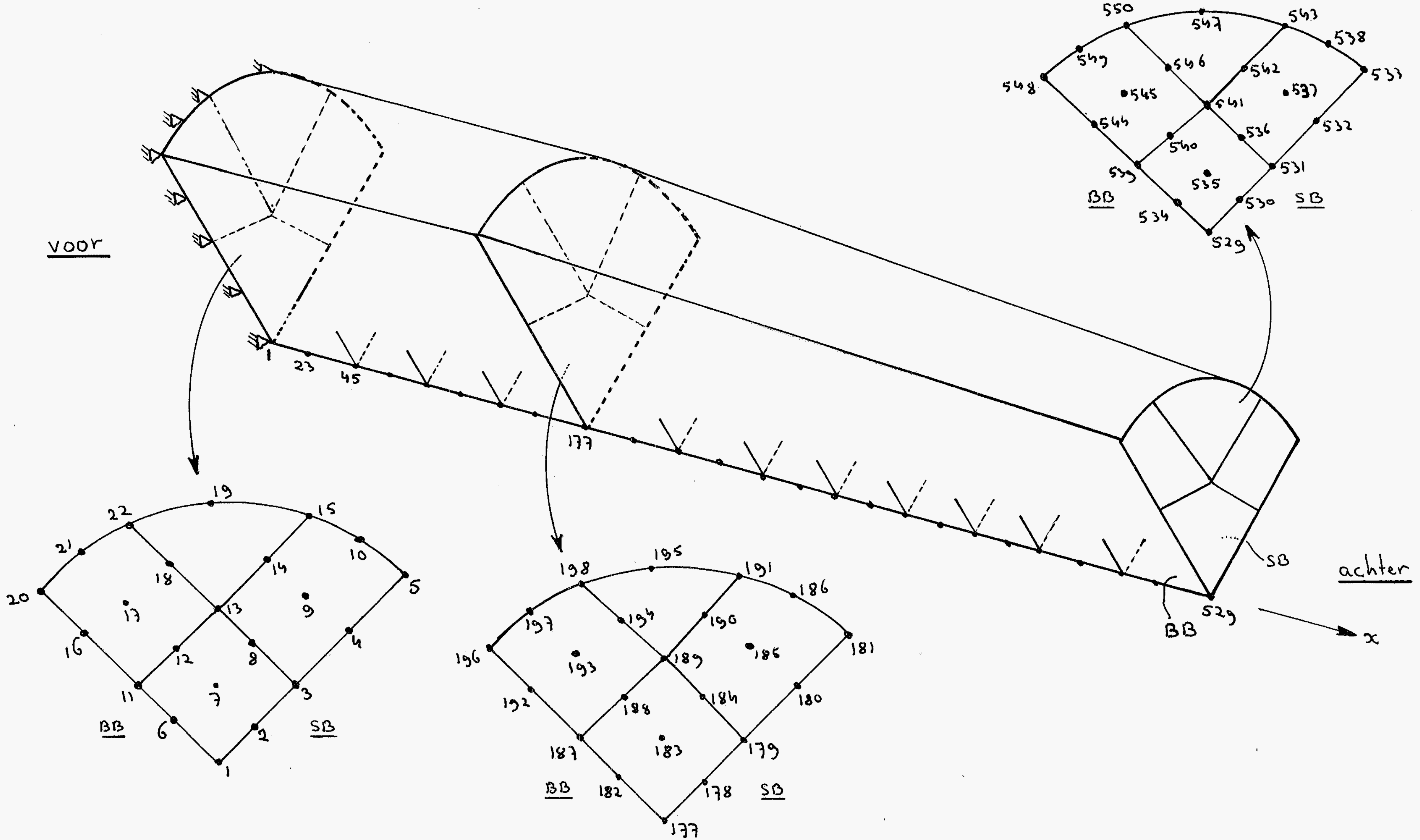
```
? JOB JANKLINGEN  ;QUEJE=2; USER=U216S241/BERT;PRINTLIMIT=600;BEGIN
?COMPILE W/WE/JAN/KLINGEN/BERGE/TASTA WITH BEATHE
? FILE IN (KIND =READER )
? FILE OUT(KIND=PRINTER )
$'RESET' LIST
? DATA
'BEGIN' 'FILE' IN,OUT;
$'INCLUDE'"DRAWPROCEDURES"
       'ARRAY' AS [0:550,1:3];
       'INTEGER' Z, N;
       'REAL'  REFX, REFY, REFZ, PIV, NL, RAV, RAA,AT, OPDRYFLENGTE;



'PROCEDURE' NODALPOINTSSHAFT(AS);'ARRAY'AS[*,*];  'BEGIN'
   'REAL' ZETA,ALP,SI,CO,HELP;              'INTEGER' I,M,N ;
 % FIRST CREATE NOMINAL CROSS SECTION; RADIUS 1
   ZETA:=6.2832/Z;
   AS[19,2]:=AS[1,2]:=AS[1,3]:=AS[13,2]:=AS[7,2]:=0 ;
   AS[13,3]:=0.6; AS[7,3]:=0.3; AS[19,3]:=1  ;
   AS[ 5,2]:=SIN(ZETA/2 ); AS[ 5,3]:=COS(ZETA/2);
   AS[15,2]:=SIN(ZETA/6 ); AS[15,3]:=COS(ZETA/6);
   AS[10,2]:=SIN(ZETA/3 ); AS[10,3]:=COS(ZETA/3);
  'FOR' I:=2,3'DO''BEGIN'
    AS[3,I]:= AS[5,I]/2; AS[ 2,I]:= AS[ 5,I]/4;
    AS[ 4,I]:=3*AS[5,I] /4;
    AS[ 8,I]:=(AS[ 3,I] +AS[13,I])/2;
    AS[ 9,I]:=(AS[10,I] +AS[ 8,I])/2;
    AS[14,I]:=(AS[15,I] +AS[13,I])/2;
    AS[22,I]:=(2*I-5)*AS[15,I];
    AS[21,I]:=(2*I-5)*AS[10,I];
    AS[20,I]:=(2*I-5)*AS[ 5,I];
    AS[18,I]:=(2*I-5)*AS[14,I];
    AS[17,I]:=(2*I-5)*AS[ 9,I];
    AS[16,I]:=(2*I-5)*AS[ 4,I];
    AS[12,I]:=(2*I-5)*AS[ 8,I];
    AS[11,I]:=(2*I-5)*AS[ 3,I];
    AS[ 6,I]:=(2*I-5)*AS[ 2,I];     'END';
 % FILL UP ARRAY AS ; PROPER RADIUS AND AX. POSITION;
  'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL' 8 'DO''FOR'M:=1'STEP'1'UNTIL'22'DO'
  'FOR'I:=2,3'DO'
     AS[N*22+M,I]:=AS[M,I]*RAV;
  'FOR'N:=9'STEP'1'UNTIL'24'DO''FOR'M:=1'STEP'1'UNTIL'22'DO'
  'FOR'I:=2,3'DO'
     AS[N*22+M,I]:=AS[M,I]*(RAV-(RAV-RAA)*(N-8)/16);
'FOR' M:=1'STEP'1'UNTIL'22'DO''FOR'I:=2,3'DO'
AS[M,I]:= * *RAV;
  'FOR'N:=0'STEP'1'UNTIL'24'DO''FOR'M:=1'STEP'1'UNTIL'22'DO'
     AS[N*22+M,1]:=3/2* NL/24*N-(NL/2-REFX);
 % ROTATE EACH CROSS SECTION, USING HUBPITCH    AND REF.POINT 35 OF HUB:
  'FOR'N:=0'STEP'1'UNTIL'24'DO'
   'BEGIN' ALP:=ZETA/2+3.1416/2 +ARCTAN(REFZ/REFY) -((N-8)*3.1416*NL)/
                         (8 *PIV);
           SI:=SIN(ALP); CO:=COS(ALP);
           'FOR'M:=1'STEP'1'UNTIL'22'DO''BEGIN' HELP:=AS[N*22+M,2];
                       AS[N*22+M,2]:=      *      *CO-AS[N*22+M,3]*SI;
                       AS[N*22+M,3]:=     *       *CO+HELP*SI; 'END';
   'END';
'END'NODALPOINTSSHAFT;

'PROCEDURE' NPCOPUNCH(AS);  'ARRAY' AS[*,*];
'BEGIN'
WRITE(OUT,<"SNPCO",X4," N=11",X4,"C=3","***",X1,"ASSEKTOR"/>);
   'FOR'N:=1'STEP'1'UNTIL'550'DO'
```

```
      WRITE(OUT  ,<X7, I3,X3,F7.1,X3,F7.1,X3,F7.1/>>,N,AS[N,1],AS[N,2],
                       AS[N,3]);
 'END' NPCOPUNCHAS;


 'PROCEDURE' ROTATED BASIS (AS);
 'ARRAY' AS[*,*];
 'BEGIN'  'REAL' CONUSTOP; 'INTEGER' I, K, N;
 CONUSTOP:=RAV/(RAV-RAA)*NL +AT;
 %%% CONUSPUNTEN;
 WRITE(OUT,<"$ROTB",X3," N=11",X3,"C=9",X4,"***",X1,"ASSEKTOR,"X1,"EERST"
             X1,"DE",K 1,"CONUSPUNTEN"/>);
 'FOR'I:=8'STEP'1'UNTIL' 24'DO'
 'FOR' K:=5,10,15,19,22, 21,20'DO'
 'BEGIN' N:=K+22*I;
         WRITE(OUT,<X6,I 3,    3(X2,F6.1),X3,F6.0,2(X2,"0.") ,X2,3(F7.1,X2)
                                      />,N, AS[N,1],AS[N,2],AS[N,3],CONUSTOP
         ,AS[N,1],AS[N,3]+AS[N,2],AS[N,3]-AS[N,2]);
 'END';

 'FOR' K:=2,3,4,5 'DO'
 'FOR' I:=1'STEP'1'UNTIL '7'DO'
 'BEGIN' N:=K+22*I;
         WRITE(OUT,<X6,I 3,3(X2,"0."),X4,"100.",2(X2,"0."),X4,"0.",2(F8.1
         ),X2,"***",X1," SB-PUNT   "/>,N,-AS[N,3], AS[N,2]);
 'END';
 'FOR' K:=2,3,4 'DO'
 'FOR'I:=8'STEP'1'UNTIL' 24'DO'
 'BEGIN' N:=K+22*I;
         WRITE(OUT,<X6,I 3,3(X2,"0."),X4,"100.",2(X2,"0."),X4,"0.",2(F8.1
         ),X2,"***",X1," SB-PUNT   "/>,N,-AS[N,3], AS[N,2]);
 'END';

 'FOR' K:=6,11,16,20 'DO'
 'FOR' I:=1'STEP'1'UNTIL '7'DO'
 'BEGIN' N:=K+22*I;
         WRITE(OUT,<X6,I 3,3(X2,"0."),X4,"100.",2(X2,"0."),X4,"0.",2(F8.1
         ),X2,"***",X1," BB-PUNT   "/>,N,-AS[N,3], AS[N,2]);
 'END';
 'FOR' K:= 6,11,16 'DO'
 'FOR'I:=8'STEP'1'UNTIL' 24'DO'
 'BEGIN' N:=K+22*I;
         WRITE(OUT,<X6,I 3,3(X2,"0."),X4,"100.",2(X2,"0."),X4,"0.",2(F8.1
         ),X2,"***",X1," BB-PUNT   "/>,N,-AS[N,3], AS[N,2]);
 'END';
 'END' ROTATED BASIS;


 'PROCEDURE' USRP;
 'BEGIN'  'REAL' NORMVERPL;
          'INTEGER'  N, K, I;
 NORMVERPL:= OPDRYFLENGTE*SIN(ARCTAN((RAV-RAA)/NL));
 WRITE(OUT,<"$USRP",X3," N=11",X3,"L=1",X3,"C=1",X3,"S=3"/>);
  'FOR' I:=8'STEP'1'UNTIL'24'DO'
 'FOR' K:=5,10,15,19,22, 21,20 'DO'
 'BEGIN'  N:=K+22*I;
          WRITE(OUT,<X6, I3,X4,F8.5/>,N,-NORMVERPL);
 'END';
 'END' USRP;



 READ(IN,/,Z, RAV, RAA, NL, PIV, AT, REFX, REFY, REFZ, OPDRYFLENGTE);
```

```
 NODALPOINTSSHAFT(AS);
ROTATED BASIS (AS);
USRP;
NPCOPUNCH(AS);
'END'.
? DATA IN
6, 379.5, 348, 1300, 6310, 450,-450, -200.0, 300.0,  18.4,
? END JOB
```

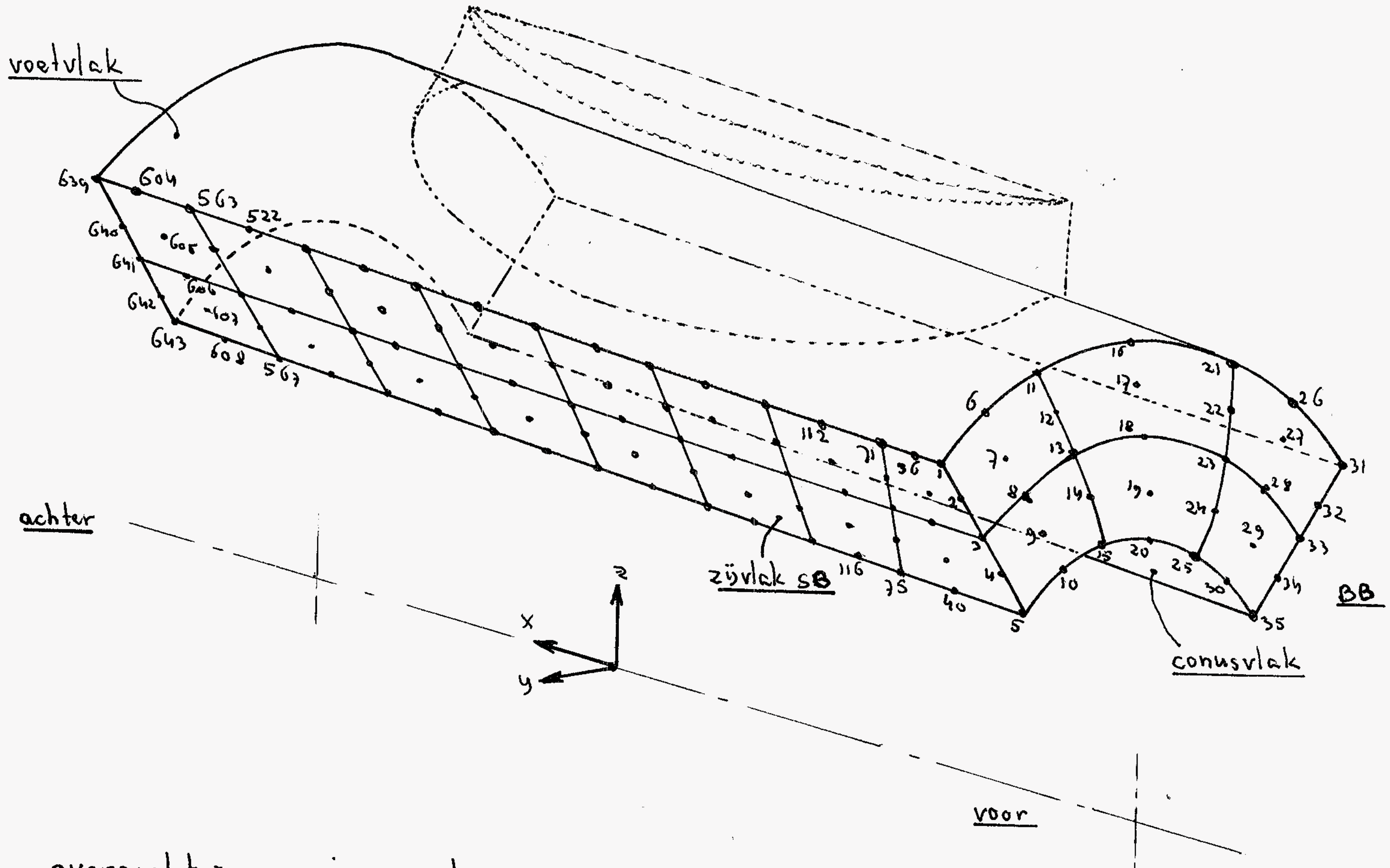
Bijlage I

Overzicht toegepaste knooppuntennummering
in de volledige versie

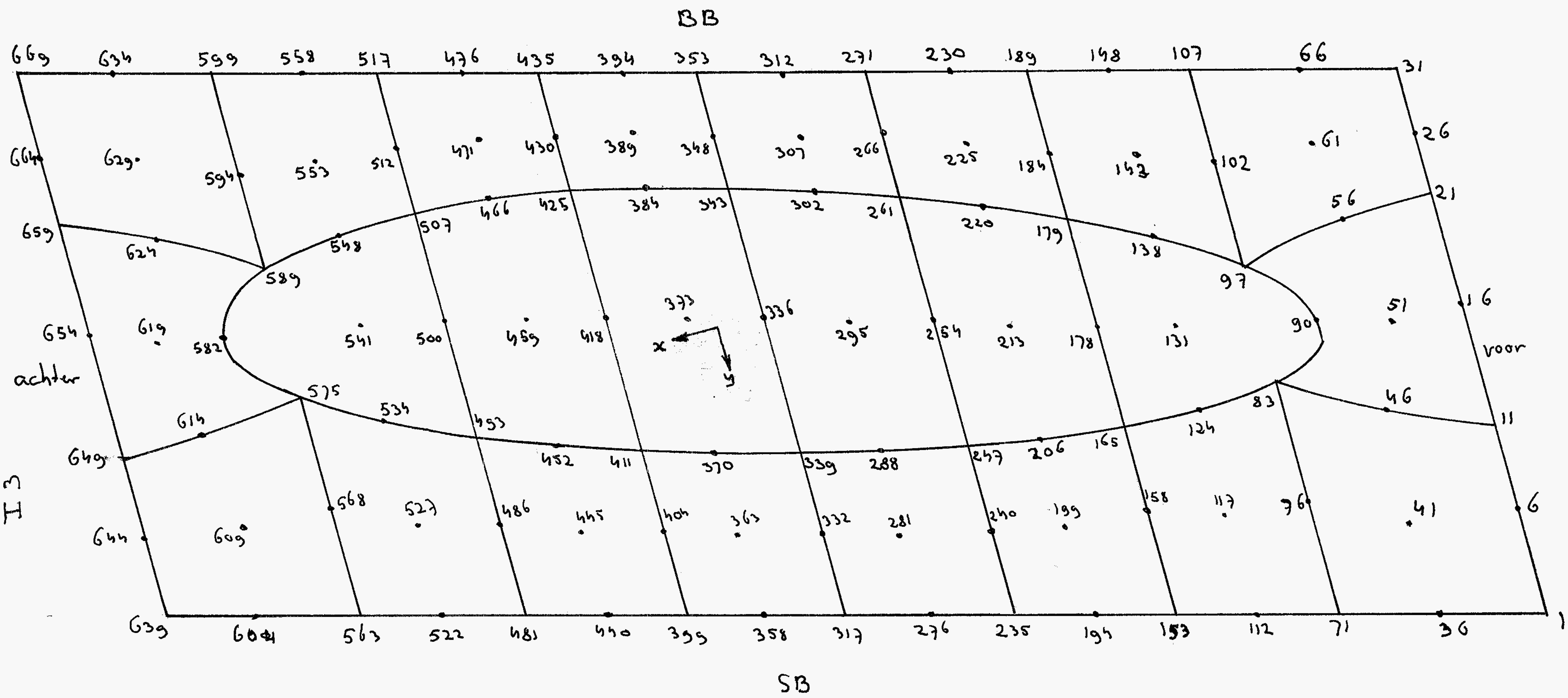



knooppuntennummering net II

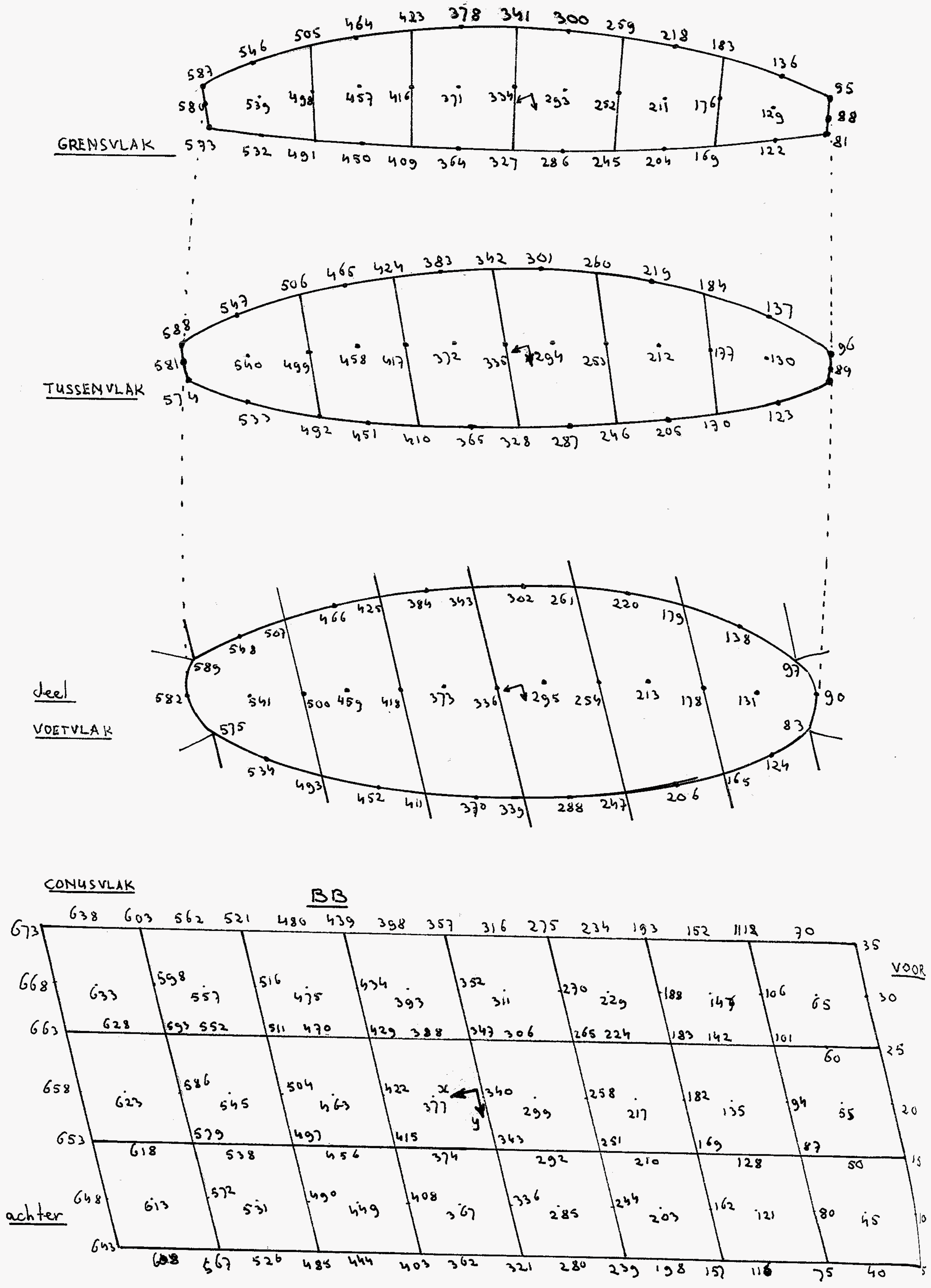
I 2



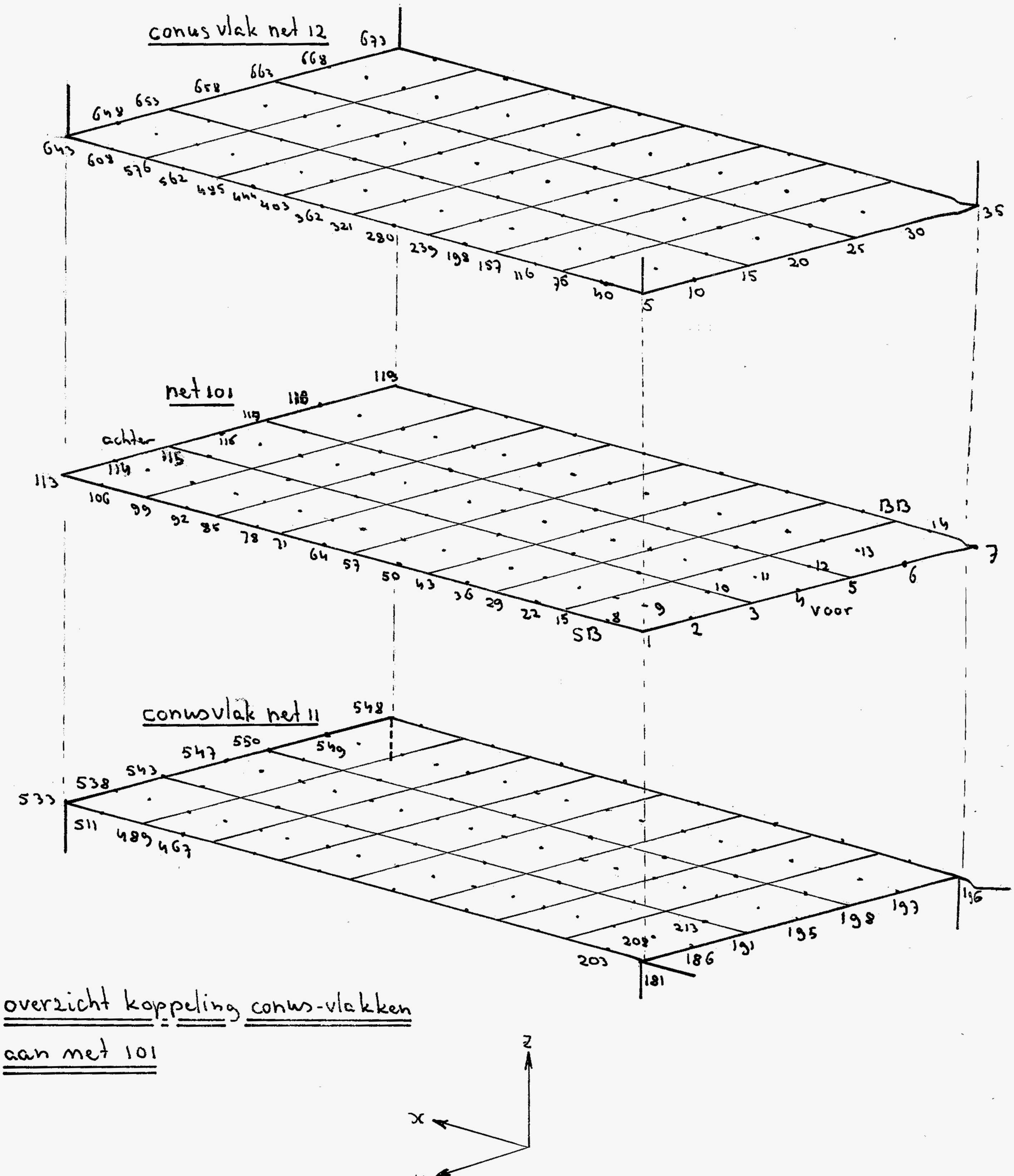

overzicht nummering net 12



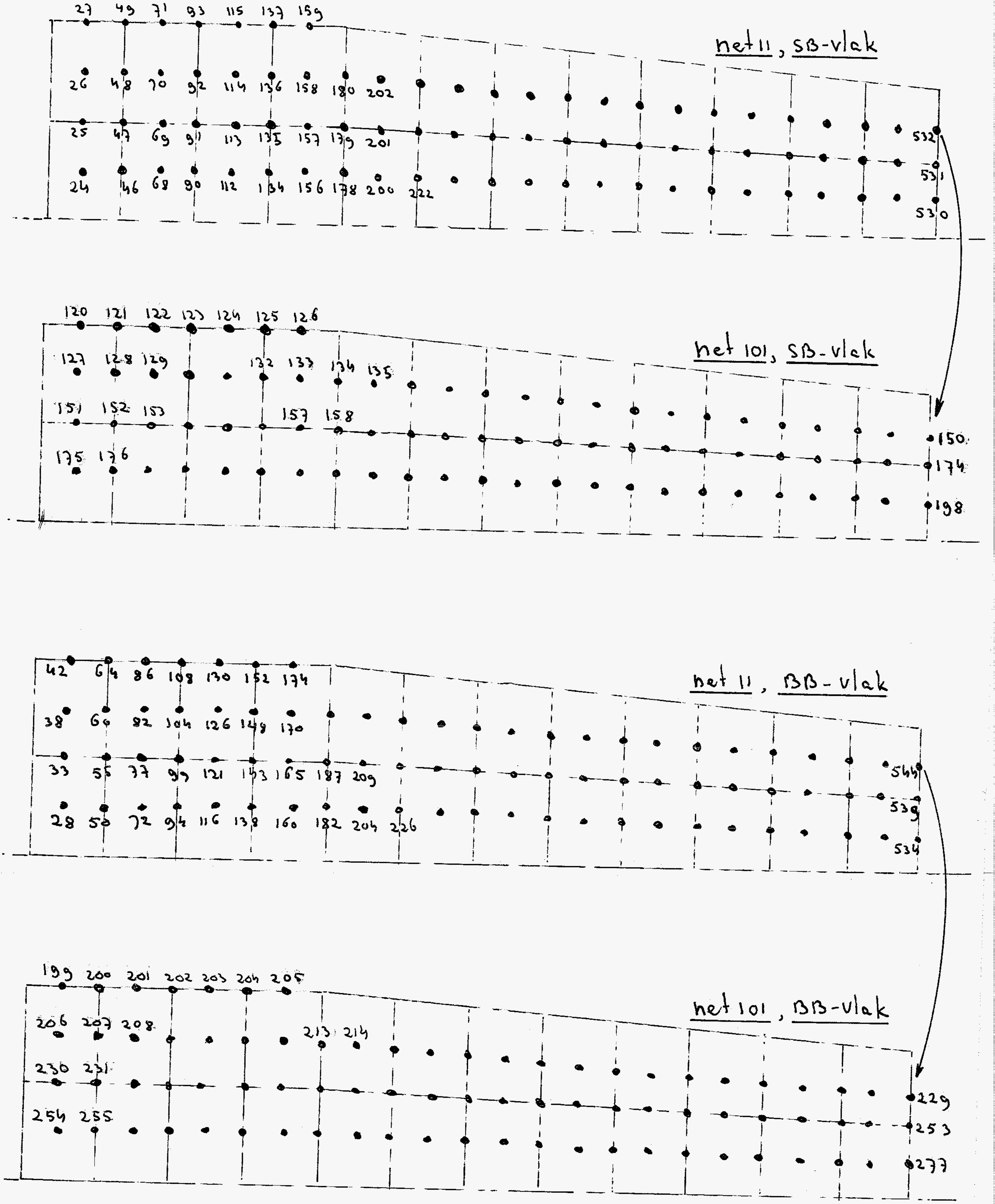

knooppuntennummering voetvlak naafsektor



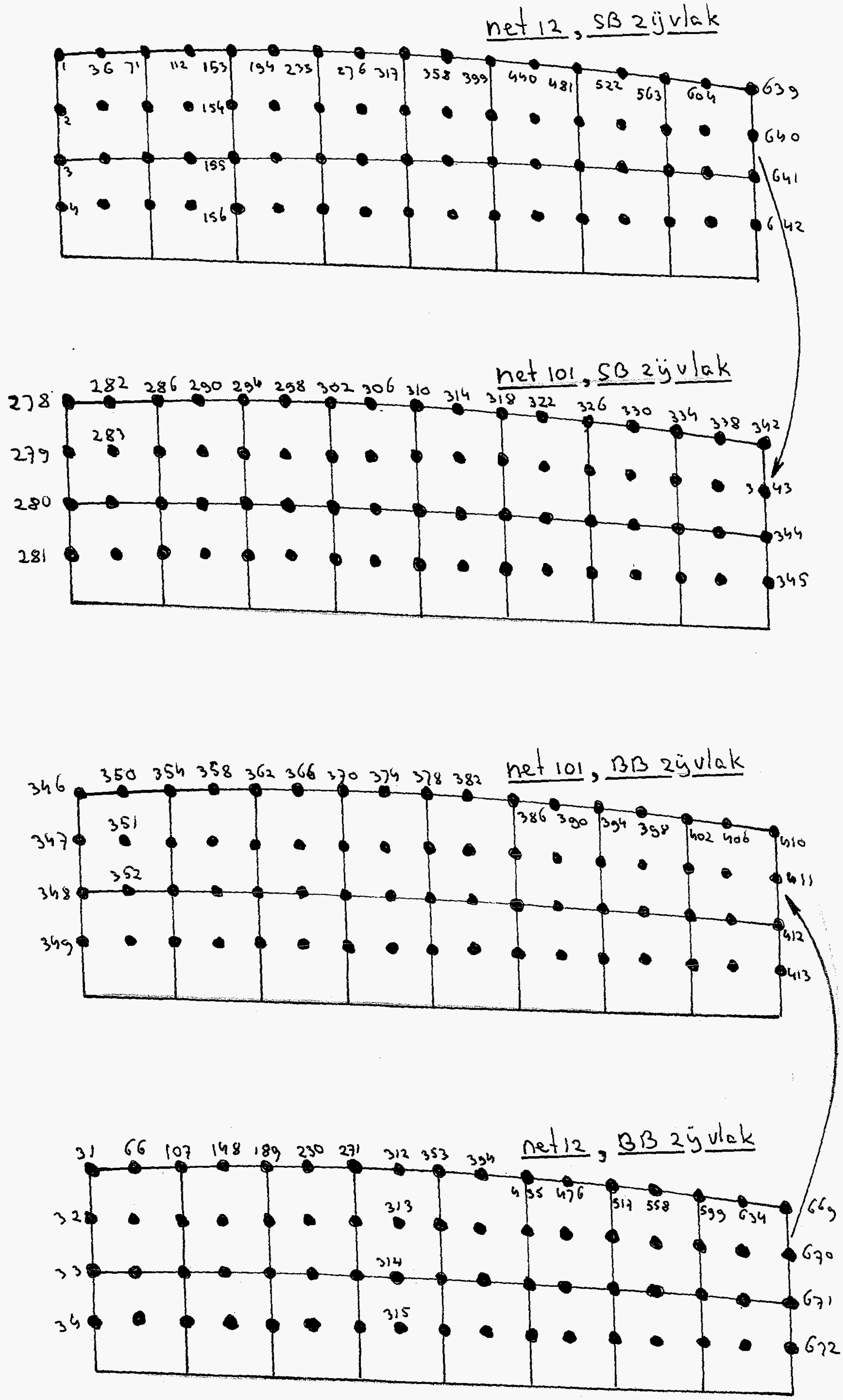

Knooppuntennummering mastsektor



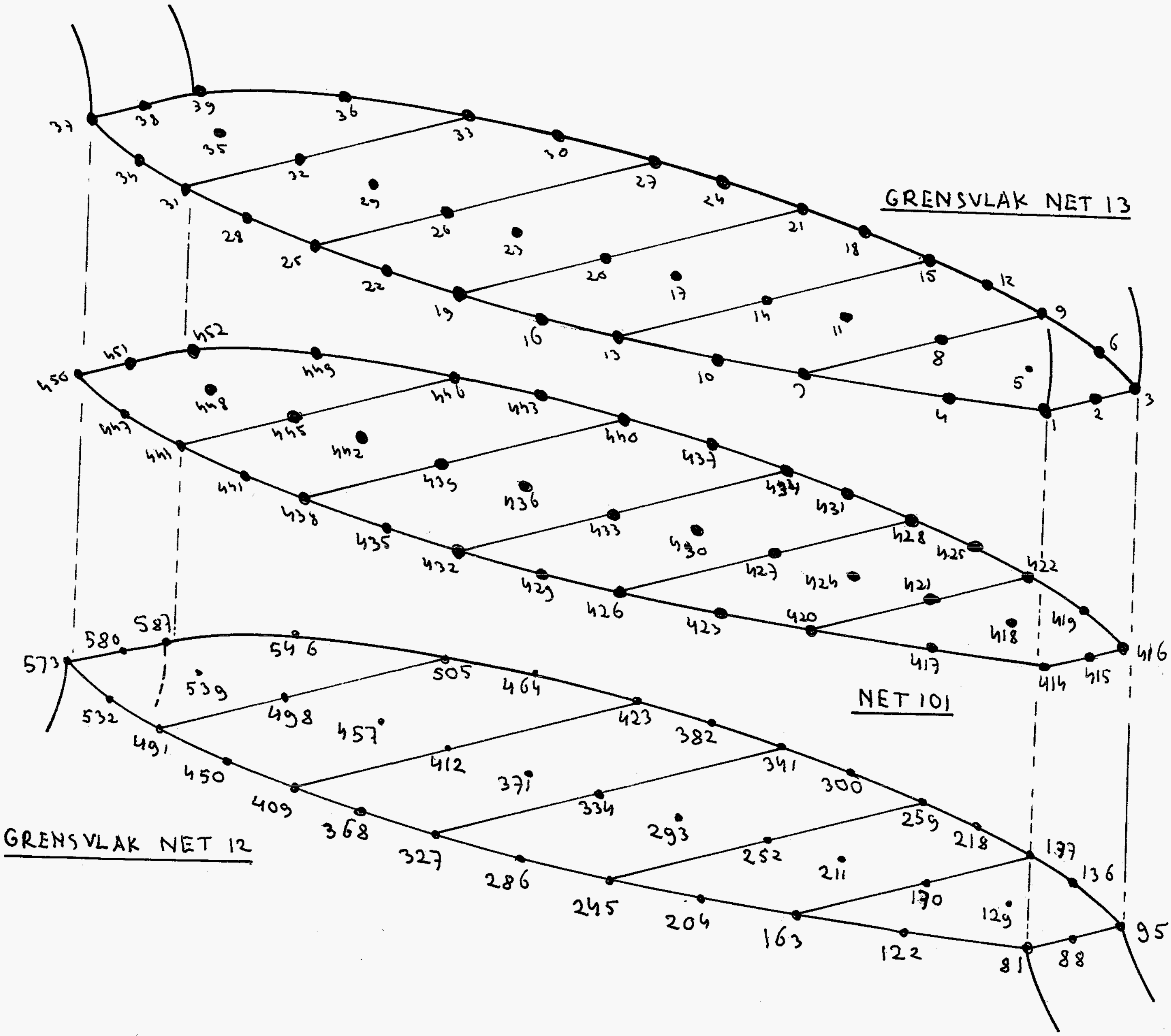

overzicht koppeling conus-vlakken aan net 101



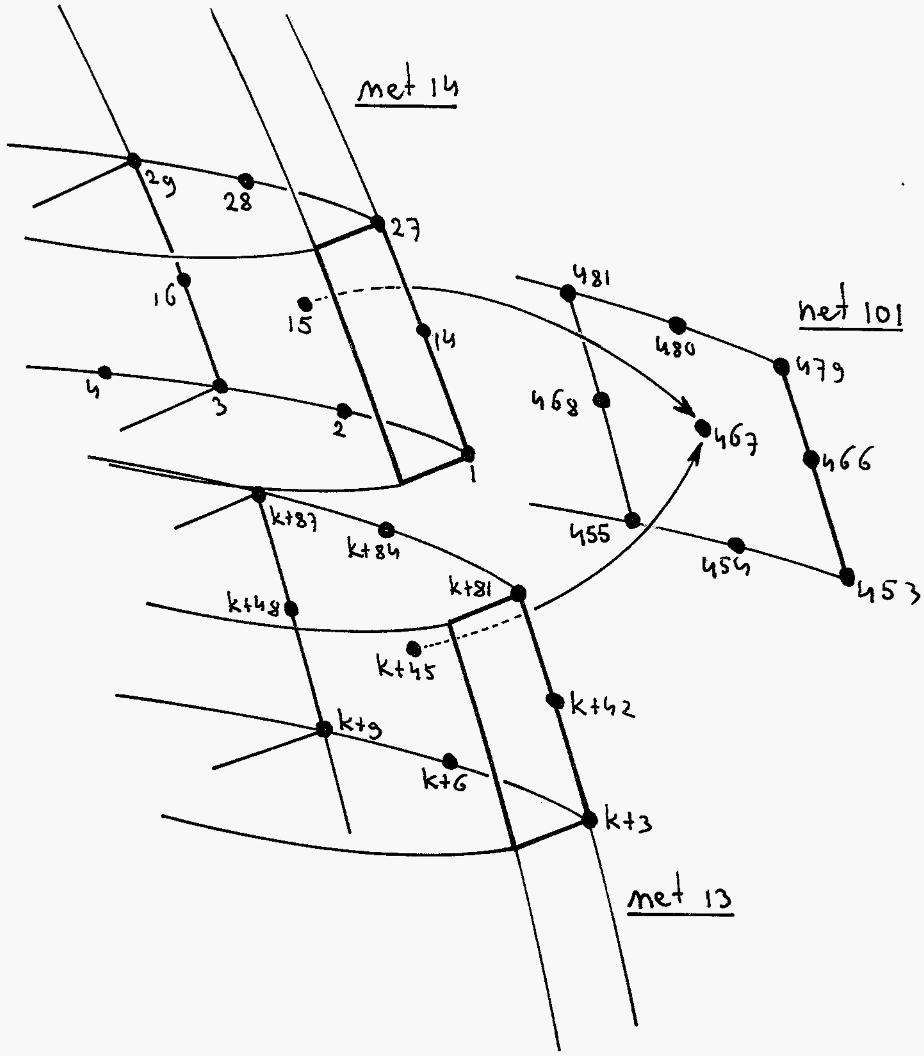

overzicht koppeling assektor-zijvlakken aan net 101

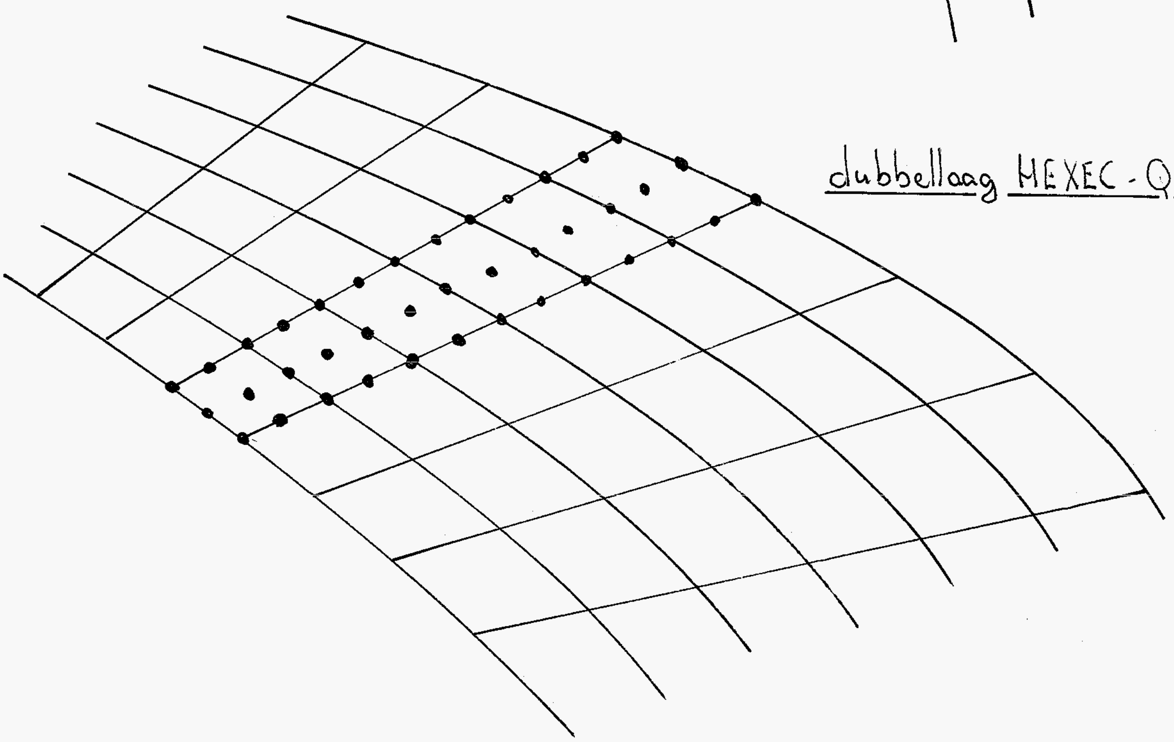



overzicht koppeling zijvlakken net12 aan net101



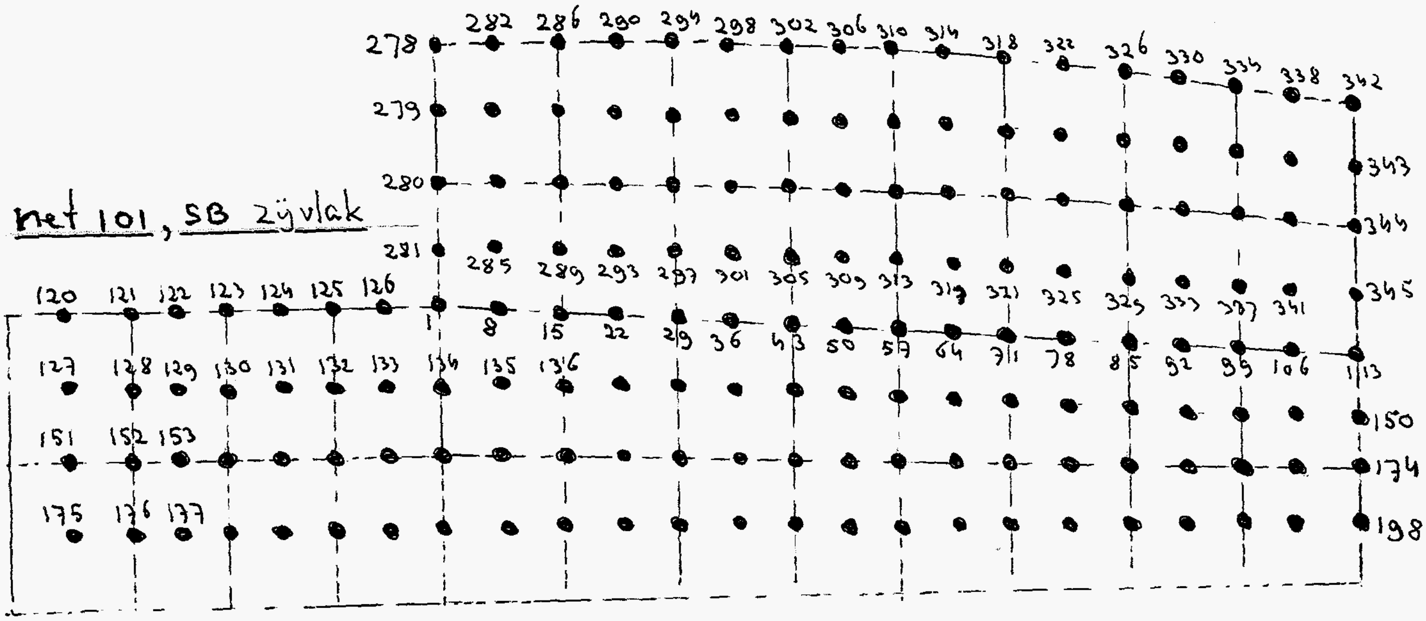

koppeling grensvlakken



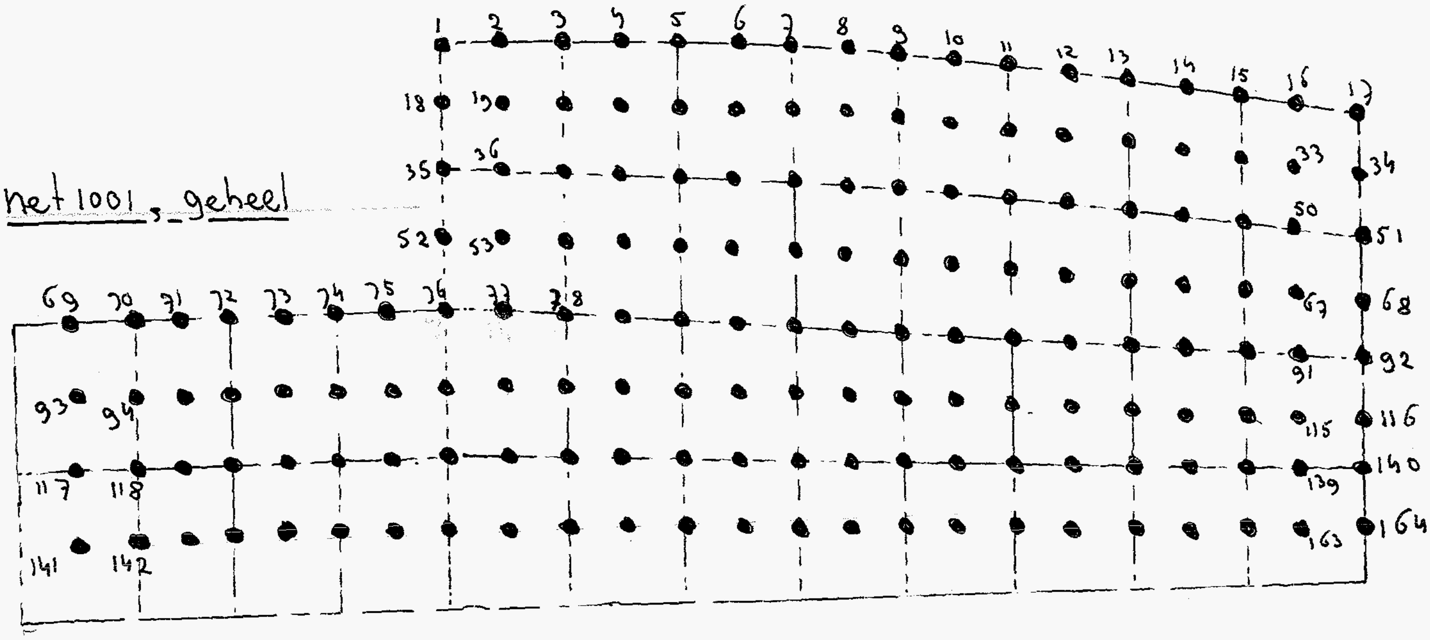



dubbellaag HEXEC-QUAB

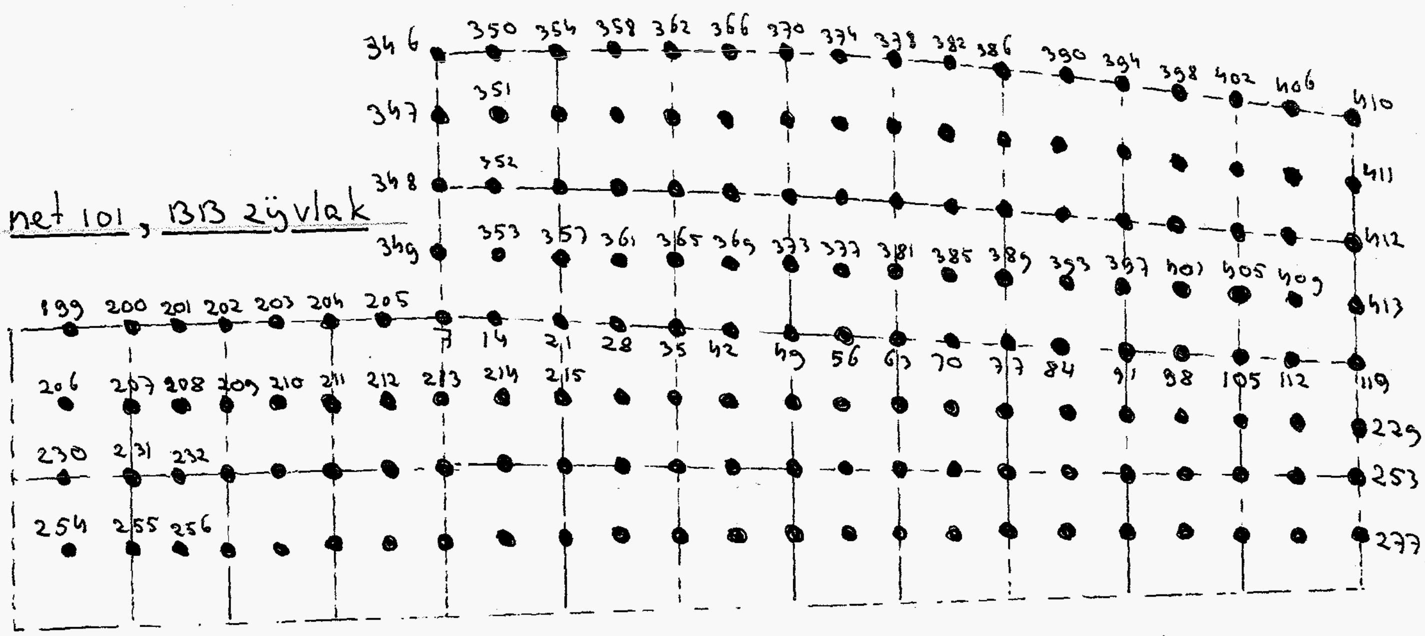
net 101, SB zijvlak




net 1001, geheel




net 101, BB zijvlak




koppeling zijvlakken net 101 → net 1001