

Construeren en analyseren van sferische mechanismen : de mechanisms-module an het Unigraphics II ontwerppakket toegepast op complexe mechanismen

Citation for published version (APA):

Zimmerman, J. (1991). *Construeren en analyseren van sferische mechanismen : de mechanisms-module an het Unigraphics II ontwerppakket toegepast op complexe mechanismen*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1015). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1991

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

**CONSTRUEREN EN ANALYSEREN
VAN SFERISCHE MECHANISMEN**

De Mechanisms-module van het
Unigraphics II ontwerp pakket
toegepast op complexe mechanismen.

W.P.A. rapportnr.: 1015

J. Zimmerman januari 1991

Een onderzoek naar de grenzen van de Mechanisms-module van het
Unigraphics II ontwerp pakket ontwikkeld door McDonnell Douglas

Verslag van een onderzoekopdracht aan de Technische
Universiteit Eindhoven, faculteit der Werktuigbouwkunde

In opdracht van: Prof. ir. J. van Bragt
Onder begeleiding van: Dr. E.A. Dijksman

Eindhoven, januari 1991

Samenvatting

Het Unigraphics II ontwerp pakket van McDonnell Douglas heeft een Mechanisms-module. Onderzocht is of deze module complexe sferische mechanismen kan analyseren. Daarbij was het de bedoeling meer te weten te komen over wat de grenzen zijn van de module. Onderzocht is een **Puntsymmetrische 28-Stangen-priem-mechanisme met een minimale ketenlengte van zeven.**

Eerst is een methode uitgedacht om sferische mechanismen in het Unigraphics II ontwerp pakket te construeren. Hierna is het 28-stangenmechanisme in sferische vorm geconstrueerd en geanalyseerd. Noodzakelijk voor een goedlopende analyse was het veranderen van de standaard tolerantiewaarden. Deze moesten verhoogd worden.

Het analyseren kost behoorlijk wat tijd, voor 36 stappen is 1 uur nodig. De analysefile neemt veel geheugenruimte in beslag, voor 360 stappen 33000 blocks.

Als de analyse voltooid is kan het mechanisme geanimeerd worden. De animatie geeft een goed overzicht in wat het bewegingstraject is van het mechanisme. Dit is een mooi resultaat omdat het onmogelijk is om met pen en papier voor een dergelijk complex mechanisme de bewegingsloop te bepalen. De getoonde beweging is echter niet 100 procent nauwkeurig. Door de verhoogde tolerantiewaarden zal de gesimuleerde beweging lichtjes afwijken van de werkelijke beweging.

Het optimaliseren van een mechanisme met behulp van de animatiegegevens is een moeilijke zaak. De knelpunten worden wel aangegeven maar een animatiefiguur is niet overzichtelijk. De software voor de analyse zou op dit punt verbeterd moeten worden. Wordt die niet aangepast dan blijft het optimaliseren van complexe mechanismen een intuïtieve zaak.

In bijlage 1 is een sferisch mechanisme van 12 stangen geanalyseerd. Met de bedoeling hiervan een werkend model te maken. Er is een keuzemogelijkheid uit twee bewegingsopties. Beschreven staat hoe het mechanisme geconstrueerd zou kunnen worden.

INHOUDSOPGAVE	bladzijde
SAMENVATTING	2
1. INLEIDING	4
2. PUNTSYMMETRISCHE 28-STANGEN-PRIEM-MECHANISME MET EEN MINIMALE KETENLENGTE VAN ZEVEN	5
3. CONSTRUEREN VAN SFERISCHE MECHANISMEN	8
3.1 Wat is een sferisch mechanisme?	8
3.2 Construeren van sferische mechanismen in het Unigraphics II ontwerp pakket	10
3.3 28-Stangenmechanisme in sferische vorm	13
4. ANALYSEREN VAN MECHANISMEN	18
4.1 Werking van de analyse	18
4.2 Analyse van het 28-stangenmechanisme	19
4.2.1 Tolerantiewaarden	19
4.2.2 Filegrootte	21
4.2.3 Rekentijden	23
4.2.4 Animatie	24
4.2.5 Acties ter verbetering van de analyse	25
5. DISCUSSIE	27
6. CONCLUSIE	28
LITERATUUR	30
BIJLAGEN	
Bijlage 1. Puntsymmetrische 12-Stangen-priem-mechanisme met een minimale ketenlengte van zes in sferische vorm. Beschrijving voor het construeren van een model	31
Bijlage 2. Bolcoördinaten	41
Bijlage 3. Tolerantiewaarden. Betekenis en beschrijving hoe deze te veranderen	43
Bijlage 4. Projectstrategie	45

1. INLEIDING

Het Unigraphics II ontwerppakket, ontwikkeld door McDonnell Douglas, heeft in zich een mechanismen module. Met de mechanismen-module is het mogelijk mechanismen te ontwerpen en te analyseren. Uit de analyse volgt wat de bewegingsmogelijkheden van het mechanisme zijn. Tot nu toe zijn met de module alleen eenvoudige mechanismen onderzocht.

De opdracht luidde een onderzoek te doen naar de mogelijkheden van de mechanismen-module om die toe te passen op complexe mechanismen. Het onderzoek moet meer inzicht geven in wat de grenzen zijn van de mechanismen-module.

Het complexe mechanisme dat in het onderzoek is gebruikt is een **Puntsymmetrisch 28-Stangen-priem-mechanisme met een minimale ketenlengte van zeven**. Dit mechanisme is in sferische vorm in de computer ingebracht. Later is ook een 12-stangen uitvoering van dit mechanisme onderzocht met de bedoeling hiervan een werkend model te maken. Dit laatste mechanisme wordt uitsluitend in de bijlagen behandeld.

2. PUNTSYMMETRISCHE 28-STANGEN-PRIEM-MECHANISME MET EEN MET EEN MINIMALE KETENLENGTE VAN ZEVEN

Een Priemmechanisme is een mechanisme met een minimale stangenketengrootte. Alle aanwezige stangenketens in het mechanisme hebben de minimale grootte of zijn groter. Het in dit onderzoek gebruikte mechanisme heeft een minimale keten grootte van zeven.

Een ander kenmerk van dit mechanisme is dat alle draaipunten enkelvoudig zijn. Dit wil zeggen dat in een scharnierpunt van het mechanisme alleen twee stangen met elkaar worden gekoppeld. Het beschouwde mechanisme bestaat uit veertig enkelvoudige draaipunten.

In het mechanisme zijn drie soorten stangen aanwezig. Dit zijn de binaire stang, de tertiaire stang en de quataire stang. Dit zijn stangen met respectievelijk twee, drie of vier scharnierpunten.

Het mechanisme heeft een vrijheidsgraad van 1. Dit wil zeggen dat als een stang een beweging maakt, alle andere zevenentwintig stangen gedwongen meebewegen. Dezelfde situatie treft men aan bij een vier-stangenmechanisme.

De graad van vrijheid wordt bepaald met de formule van Grübler.

De formule van Grübler luidt: $f = 3*(n-1) - 2*d$

f = vrijheidsgraad

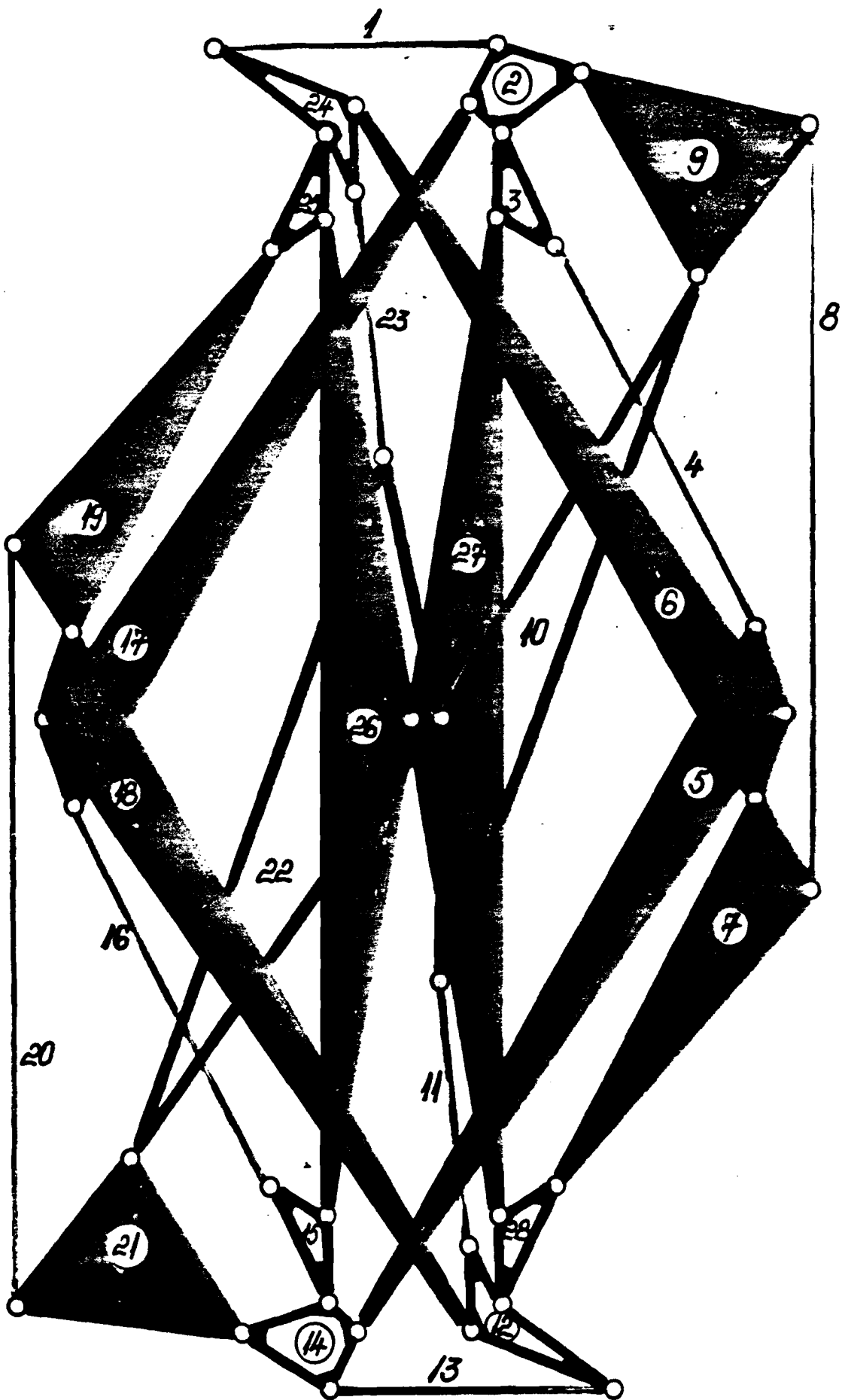
n = aantal stangen

d = aantal draaipunten

Vult men de formule voor het beschouwde mechanisme in dan volgt:

$$f = 3*(28-1) - 2*40 = 81 - 80 = 1$$

Het mechanisme heeft dus één graad van vrijheid. In het vervolg van dit rapport zal het in dit hoofdstuk beschreven mechanisme worden aangeduid als "het 28-stangenmechanisme". Op de volgende bladzijde wordt het 28-stangenmechanisme afgebeeld.



Figuur 1 **Puntsymmetrisch 28-Stagen-priem-mechanisme met een minimale ketenlengte van zeven.**

3. CONSTRUEREN VAN SFERISCHE MECHANISMEN

3.1 Wat is een sferisch mechanisme ?

Een sferisch mechanisme is een mechanisme dat ruimtelijk is. De stangen en scharnierpunten bewegen niet in een vlak (twee dimensies) maar in een ruimte (drie dimensies). Hierbij heeft het sferisch mechanisme de speciale eigenschap dat alle stangen en scharnierpunten draaien om een punt. Dit wil zeggen dat de scharnierpunten van het mechanisme zich bevinden in het oppervlak van een denkbeeldige bol.

De scharnierpunten bewegen ook in dit oppervlak. De gebruikte scharnieren in het mechanisme zijn scharnieren die roteren om één as. Vergelijkbaar met een normale deurscharnier. De scharnieren zijn zo uitgelijnd dat de draai-as gericht staat naar het middelpunt van de bol. Dit is belangrijk, anders beweegt het mechanisme niet.

Het is niet noodzakelijk dat alle scharnierpunten zich bevinden op dezelfde denkbeeldige bol. De mogelijkheid bestaat om de scharnierpunten van een mechanisme te verdelen op bollen met een verschillende straal. Wel is belangrijk dat de bollen allemaal hetzelfde middelpunt hebben anders zal het mechanisme niet bewegen. Verder is het geen probleem als de stangen die een verbinding vormen tussen de scharnieren de denkbeeldige bollen doorkruisen. Stangen mogen willekeurig georiënteerd zijn. Dit geeft geen problemen met betrekking tot de beweging van het mechanisme.

Het in dit onderzoek bestudeerde mechanisme is zo eenvoudig mogelijk uitgevoerd. Dit wil zeggen dat alle scharnierpunten op één bol liggen. De bol heeft een straal van honderd millimeter. Verder liggen de stangen niet in het vlak van de bol. De stangen zijn zo uitgevoerd dat ze de kortst mogelijke verbinding vormen tussen de onderlinge scharnierpunten (zie figuur 5 en 6).

Een sferisch mechanisme hoeft niet persé met eenvoudige scharnieren uitgevoerd te worden. De module biedt ook de mogelijkheid om andere koppelingen te gebruiken zoals cardankoppelingen (2 vrijheidsgraden) of kogelkoppelingen (3 vrijheidsgraden). Wel is het zo dat de formule van Grübler dan niet meer geldig is omdat de koppelingen nu een hogere graad van vrijheid hebben. Bij toepassing van dit soort koppelingen zou het in dit onderzoek gebruikte mechanisme een hogere graad van vrijheid hebben. Dit is vervelend want gewenst is een mechanisme met één graad van vrijheid. Dit zou betekenen dat het mechanisme herontworpen moet worden. Ook is het programmeren van cardan- of kogelkoppelingen moeilijker en arbeidsintensiever. Vandaar dat voor de koppelingen eenvoudige scharnierpunten zijn gebruikt.

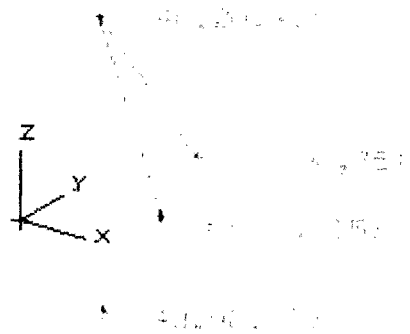
3.2 - Construeren van sferische mechanismen in het Unigraphics II ontwerppakket

Het construeren van een sferisch mechanisme in de Mechanisms-module van het Unigraphics II ontwerppakket gaat als volgt. Eerst wordt in de Design-module een drie dimensionale geometrie gemaakt bestaand uit lijnen. De geometrie geeft het mechanisme weer in de nul stand. Deze geometrie wordt daarna gebruikt om de stangen en scharnierpunten te definiëren. Dit proces wordt verduidelijkt in figuur 2.

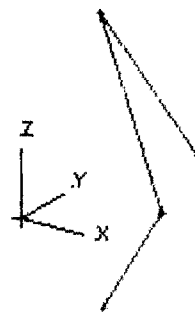
De geometrie wordt gemaakt door eerst punten te genereren met het point-menu. Deze punten zullen later in het mechanisme de scharnierpunten vormen. Aangezien we hier met een sferisch mechanisme te maken hebben liggen alle scharnierpunten op het oppervlak van een bol. Het is dus handig om punten met behulp van bolcoördinaten te genereren. Bolcoördinaten zijn gehuisvest in het point-menu onder nummer 10 **modify offset-mode** bij de keuzemogelijkheid 5 **spherical**. Hierbij is het gemakkelijk om het centrum van de bol in het nulpunt van het werkend coördinatensysteem te leggen. In bijlage 2 wordt de werking van bolcoördinaten uitvoeriger beschreven.

Nadat de punten zijn gegenereerd kunnen de punten onderling worden verbonden met lijnen. Dit gaat met behulp van het line-menu. In dit menu kan met de keuzemogelijkheid 1 **two-points** en vervolgens de functie 4 **existing point** de gewenste punten onderling met elkaar worden verbonden. Er ontstaat een raamwerk.

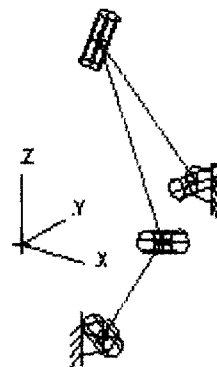
IN DE DESIGN MODULE WORDT EEN GEOMETRIE
GEMAAKT DIE BESTAAT UIT PUNTEN EN
LIJNEN. DE PUNTEN ZIJN AANGEGEVEN IN
BOLCOORDINATEN.



IN DE MECHANISM MODULE WORDEN DE LIJNEN
OMGEZET IN STANGEN (=LINKS).



VERVOLGENS WORDEN ER SCHARNIERPUNTEN,
(=JOINTS) TUSSEN DE VERSCHILLENDE
STANGEN AANGEBRACHT. IN DIT GEVAL
REVOLUTES. NU IS HET MOGELIJK OM
HET MECHANISME TE ANALYSEREN.



Als het raamwerk van het mechanisme is voltooid, wordt er overgeschakeld naar de mechanismen-module. In de mechanismen-module worden eerst de in de geometrie aangegeven lijnen omgezet in stangen (=Links). Dit gebeurt door in het hoofd-menu **2 create** te kiezen en vervolgens **1 link**. Hierna wordt gekozen voor de mogelijkheid **1 existing geometrie**. Nu kunnen de links worden samengesteld door met de muis de verschillende lijnen aan te pikken behorende bij een link.

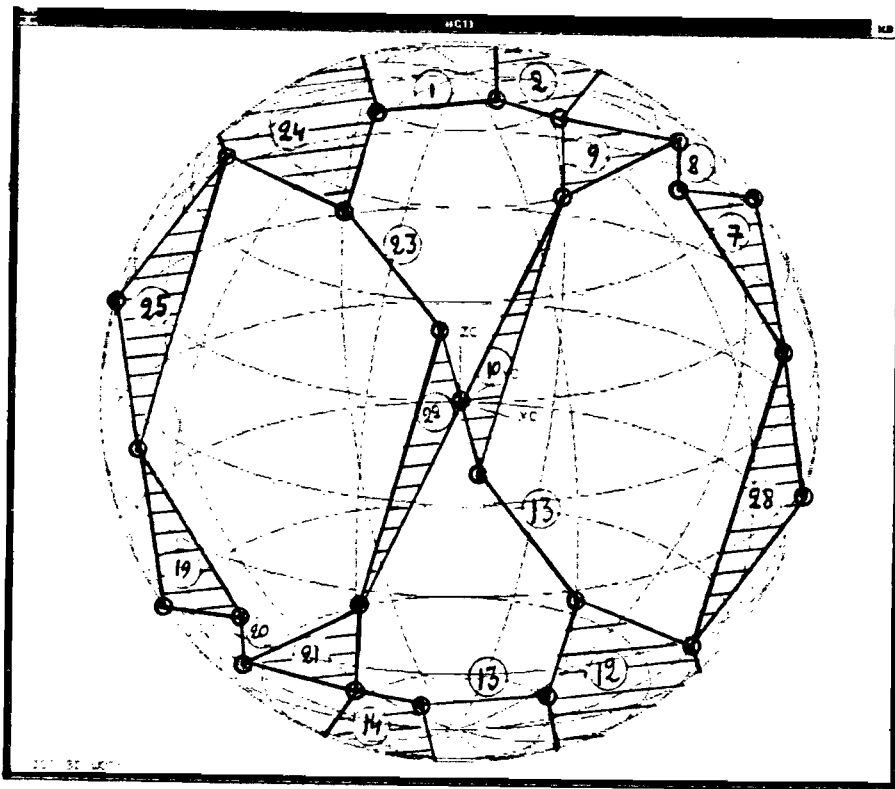
Als alle links zijn samengesteld wordt over gegaan op de menu-functie **2 joint**. Dit menu geeft acht mogelijke koppelingen. De eerste mogelijkheid **1 revolute** wordt gekozen. De koppeling wordt aangebracht tussen alle stangen. Een beperkt aantal revolutes vormt de verbinding met het gestel. De rest vormt een verbinding tussen de stangen.

De laatste opdracht die moet worden voltooid is het inbrengen van de begincondities voor de aandrijvende schakel. Dit wordt gedaan met functie **8 initiaal conditions**. Met behulp van deze functie kan aan een gewenste schakel of scharnierpunt een gewenste snelheid, versnelling of verplaatsing worden gegeven.

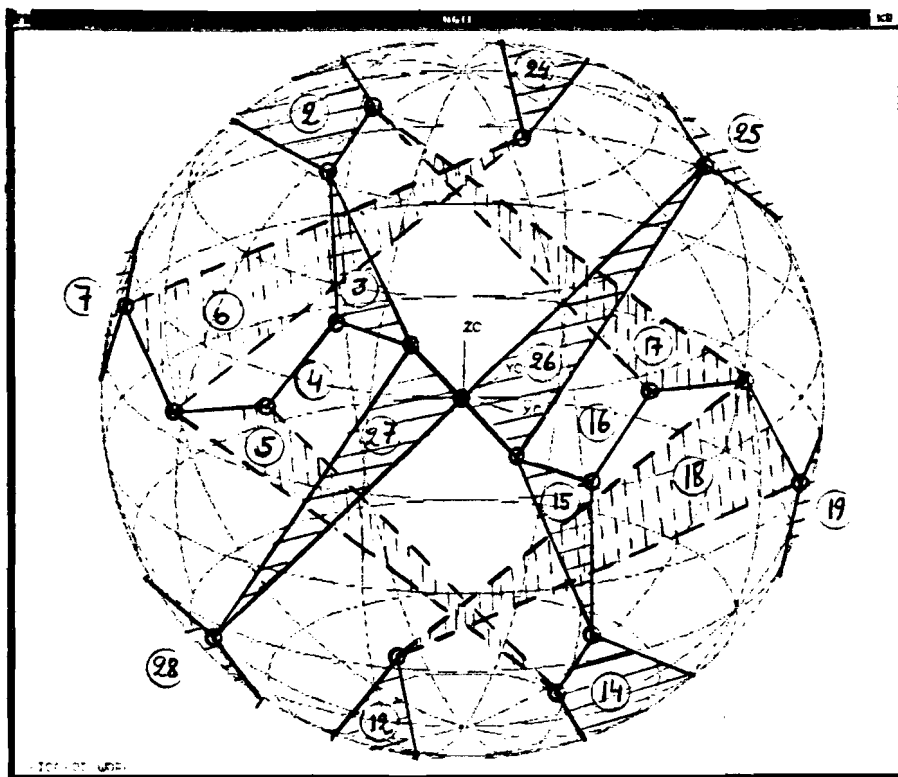
Na het beëindigen van de constructie wordt overgegaan naar het hoofd-menu **4 analysis**. Met **1 UG analysis** worden de verschillende standen van het mechanisme bepaald.

3.3 28-Stangenmechanisme in sferische vorm

Het in paragraaf 3.1 beschreven 28-stangenmechanisme is met de methode beschreven in paragraaf 3.2 omgezet in een sferisch mechanisme. Het mechanisme is wel eerst opgetekend op een hulpbol zodat het makkelijk was om de bolcoördinaten van de scharnierpunten te schatten. De hulpbol heeft een straal van 100 millimeter.



Figuur 3 **Voorkant van het 28-stangenmechanisme op de hulpbol.**



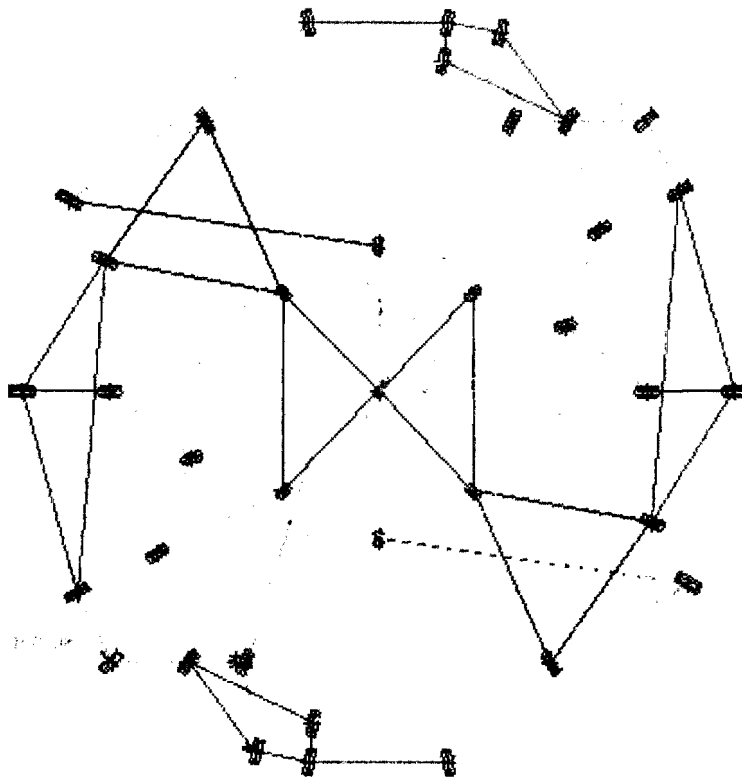
Figuur 4 Achterkant van het 28-stangenmechanisme op de hulpbol.

Als gestel voor het mechanisme is gekozen voor stang 21. De kruk in het mechanisme is stang 20. In figuur 5 en 6 is het uiteindelijk resultaat van de constructie van het 28-stangenmechanisme in sferische vorm te zien. De figuren geven het mechanisme weer vanuit verschillende zichthoeken. Stang 20 is de licht blauwe binaire stang. Stang 21 is de rode aan stang 20 gekoppelde tertiaire stang.

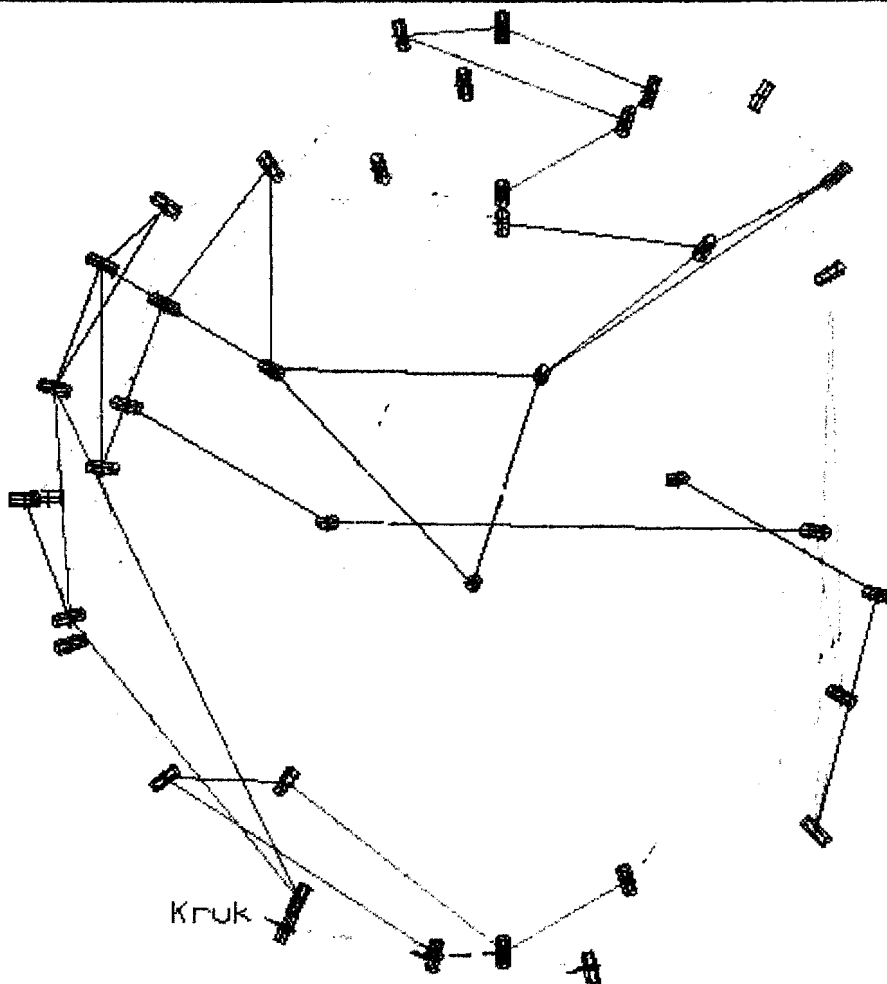
In principe kan elk willekeurig stangenpaar een combinatie van gestel plus kruk vormen. Voor de kruk gaat de voorkeur uit naar een binaire stang. Een tertiaire of quataire stang als kruk zal complicaties geven in de beweging van het mechanisme. Stangen zullen sneller een blokkeerstand innemen. Het mechanisme raakt als het ware in de knoop. De kruk zal nooit helemaal rond kunnen komen. Wordt voor de kruk een korte binaire stang genomen, dan maakt het mechanisme bij rondgang

van de kruk een lichte heen en weer beweging. Het mechanisme loopt zo de minste kans om vast te lopen.

De afmetingen van de stangen zijn willekeurig genomen. Net als voor een 4-stangenmechanisme waarbij de afmetingen ook willekeurig genomen kunnen worden. Bij een 4-stangenmechanisme geldt de regel van Grashof. Deze regel zegt iets over het type beweging dat het mechanisme uitvoert. Een dergelijke regel zou ook voor een 28-stangenmechanisme kunnen bestaan. De regel is echter nog niet bepaald, en is waarschijnlijk niet te bepalen want daar is het mechanisme te complex voor. Wel kan gevoelsmatig worden ingezien dat een kleine kruk geheel rondkomt en een grote kruk een heen en weer gaande beweging maakt.



Figuur 5
 PUNT SYMMETRISCHE 28 STANGEN PRIEM
 MECHANISME IN SFERISCHE VORM MET
 EEN MINIMALE KETEN LENGTE VAN ZEVEN
 weergegeven in een RIGHT VIEW



Figuur 6
 PUNT SYMMETRISCH 28 STANGEN PRIEM
 MECHANISME IN SFERISCHE VORM MET
 EEN MINIMALE KETEN LENGTE VAN ZEVEN
 weergegeven in een TFR-ISO VIEW.

4 ANALYSEREN VAN MECHANISMEN

4.1 Werking van de Analyse

Als het mechanisme is geconstrueerd dan kan het worden geanalyseerd in de Mechanisms-module. De werkstations in de WPA Cad-ruimte hebben alleen de analysemogelijkheid **1 UG analysis**. Deze bevindt zich in het hoofd-menu **4 analysis**.

Voor het opstarten van de UG analyse moet eerst de stapgrootte (=increment) en het aantal stappen (=steps) van de kruk worden ingevoerd. Na deze gegevens te hebben ingevoerd begint het programma te rekenen. Voor elke stap van de kruk worden de posities van andere scharnierpunten en stangen bepaald. Alle berekende standen kunnen worden opgeslagen in een file. Deze file die men een bepaalde naam geeft kan later weer worden opgeroepen met de functie **5 retrieving results**. Nadat de analyse is uitgevoerd kan het mechanisme met behulp van de gegevens van de file worden geanimeerd.

Er bestaat ook een mogelijkheid om allerlei grafieken te genereren. In de grafieken kunnen gegevens zoals versnelling of snelheid van specifieke punten van het mechanisme uitgezet worden tegen de tijd of positie. Van deze laatste mogelijkheid is in dit onderzoek geen gebruik gemaakt. Het was alleen de bedoeling de beweging te bestuderen die het mechanisme maakt.

4.2 Analyse van het 28-stangenmechanisme

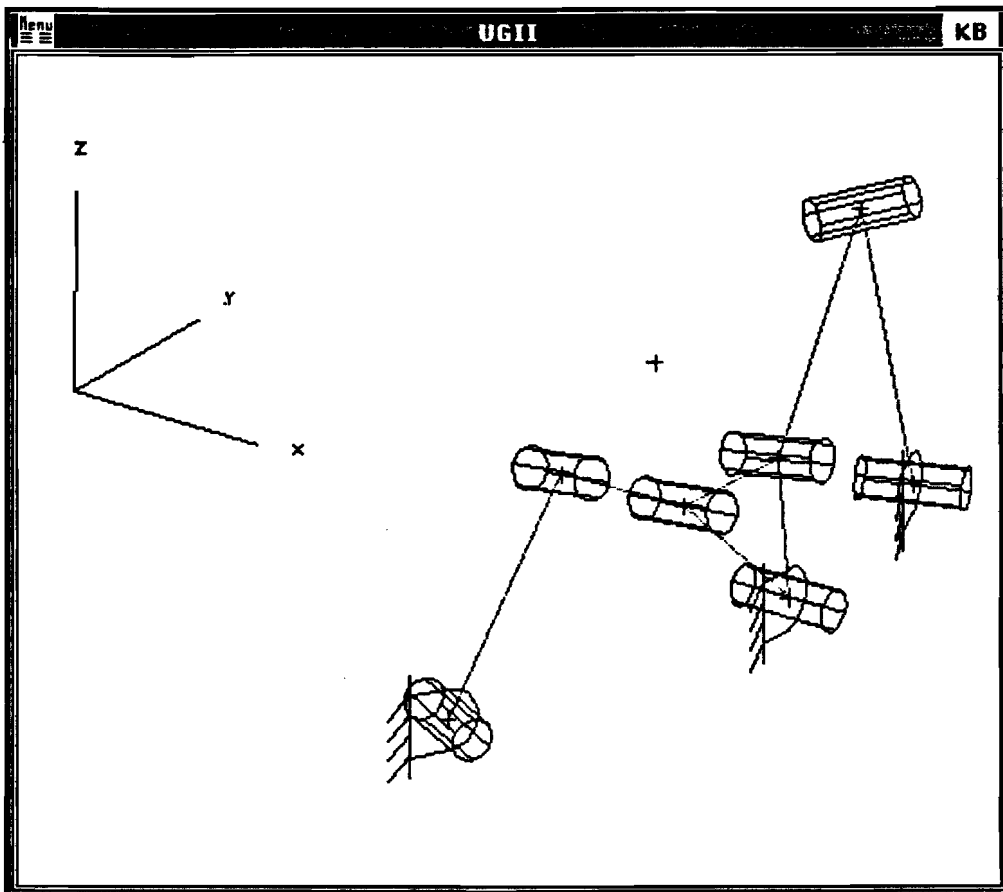
4.2.1 Tolerantiewaarden

Het ontwerp pakket heeft standaard ingebouwde tolerantiewaarden. Deze staan opgeslagen in het UGMDM.Tol file. De vier waarden hebben betrekking op de invoerdata, de positie, de vrijheidsgraad en andere randvoorwaarden. Voor een uitgebreide beschrijving zie bijlage 3.

De vier standaard waarden zijn: 0.0001
0.000001
0.00001
0.0001

Deze waarden worden gebruikt tijdens het uitvoeren van de analyse. Zij bepalen of een mechanisme een bepaalde stand kan innemen. Deze standaardwaarden zijn bij sferische mechanismen alleen bruikbaar bij eenvoudige en kleine sferische mechanismen. De analyse verliep goed bij een sferische 4-stangenmechanisme waarbij de scharnieren zich op een denkbeeldige bol bevonden met een straal van 20 millimeter. Werd het mechanisme uitgebreid met een tweeslag dan mislukte de analyse (zie figuur 7).

Al in het begin van de analyse komt er een foutmelding en stopt het programma met rekenen. Het mechanisme wordt als het ware gezien als een star vakwerk. Dit trad ook op bij het complexe 28-stangenmechanisme. Nadat alle vier de waarden waren veranderd in 0,1, traden er geen problemen meer op tijdens de analyse.



Figuur 7 **4-stangenmechanisme in sferische vorm met een gekoppelde tweeslag.**

Hoe de tolerantiewaarden kunnen worden veranderd staat beschreven in bijlage 3. Praktisch gezien betekent het verhogen van de tolerantiewaarden meer speling aanbrengen in de scharnierpunten. Dit heeft tot gevolg dat bij de animatie de aangegeven beweging niet honderd procent nauwkeurig is. Wordt een complex sferisch mechanisme in het echt gemaakt dan zal de beweging een klein beetje afwijken van wat in de computer is gesimuleerd. Dit inzicht wordt duidelijk als men het 28-stangenmechanisme animeert. Daarbij is te zien dat het mechanisme niet exact de beginstand inneemt na een volledige omwenteling van de kruk. Begin en eindstand vallen niet exact met elkaar samen. Bij een bestaand sferisch stangenmechanisme

zal dit wel gebeuren.

De ontstane afwijking in de animatie is te verklaren door sommatie van de tolerantiewaarden. Elke stap die de analyse iteratief heeft bepaald komt tot stand met behulp van de voorafgaande stap. Een stap, en dus een stand van het mechanisme, heeft een tolerantie-ruimte waarin het mechanisme zich kan bevinden. Na 360 stappen zijn 360 tolerantie-ruimtes gesommeerd. De afwijking van het mechanisme wordt na elke stap groter. In de eindstand na 360 stappen is de afwijking het grootst.

4.2.2 Filegrootte

Zoals aangegeven in 3.1 worden uitslagen van de analyse weggeschreven in een file. Uit dit onderzoek bleek dat de maximale filegrootte 40.000 blocks bedroeg. Dit is aanzienlijk als men bedenkt dat het totale geheugen van de μ -Vax Q5 800.000 blocks bedraagt.

Veertigduizend blocks lijkt veel maar voor een complex mechanisme is dit al snel onvoldoende. Laat men de kruk van een sferische 28-stangenmechanisme 360 stappen van 1° doorlopen dan wordt de filegrootte 33.000 blocks. Als een analyse wordt gemaakt met stappen van 0.5° dan treden er problemen op. De analyse wordt helemaal netjes afgewerkt maar de terminal verslikt zich in de grootte van de file als de file wordt

aangeroeven voor de animatie. Het geheugen van een VWS 2000 station is de beperkende factor bij manipulatie van de file.

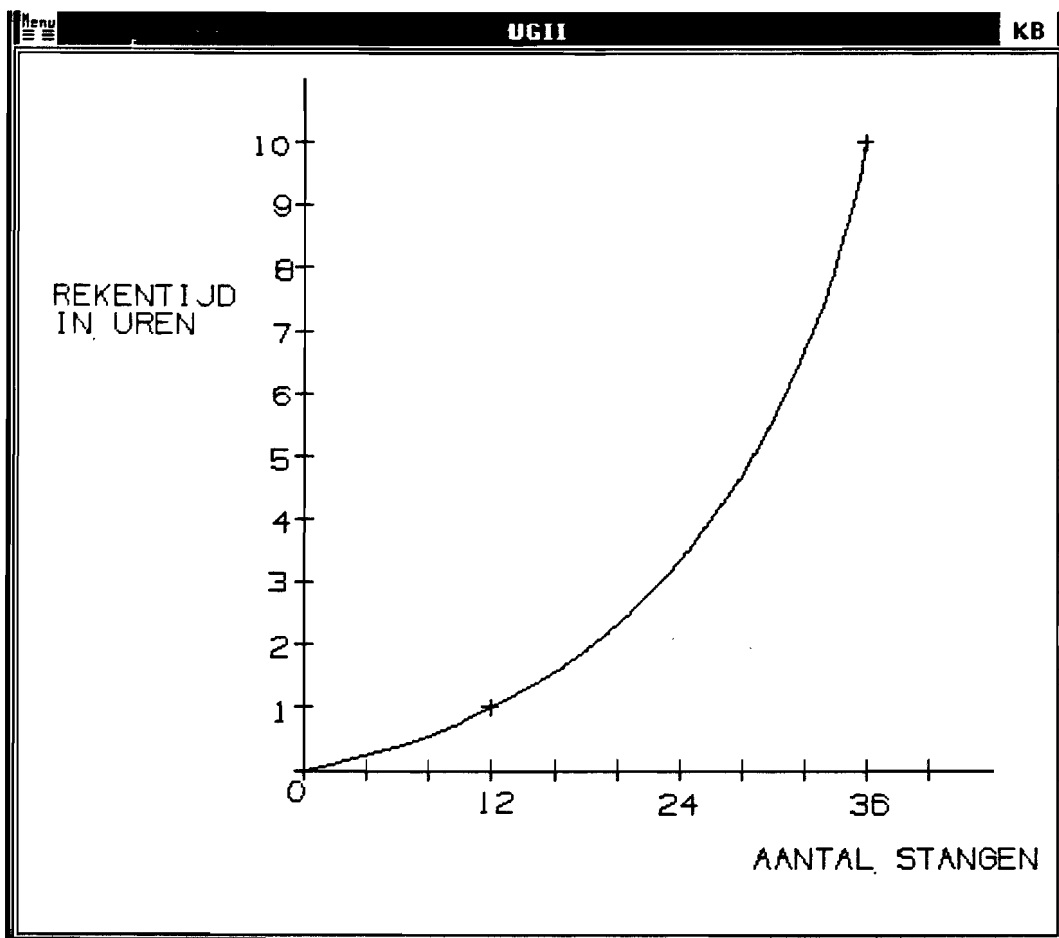
Het analyseren van sferische mechanismen met meer dan 28 stangen zal moeilijker worden. Want hoe meer stangen des te meer geheugenruimte één stap inneemt. Dat betekent dus dat er minder stappen in een analyse gemaakt kunnen worden.

De geheugenruimte nodig voor een stap, neemt exponentieel toe met toename van het aantal stangen.

Een grote hoeveelheid kostbaar geheugen wordt bezet door nulwaarden, dit blijkt als het animatie-file van het 28-stangen-mechanisme wordt ingezien via **98 non menu activities (DCL)**. Het is mogelijk om massa en massatraagheid aan stangen te geven. Ook is het mogelijk aan te geven waar de zwaartepunten van de stangen zich bevinden. Met deze waarden is het mogelijk te analyseren wat voor krachten en momenten er optreden in het mechanisme. In dit onderzoek zijn de waarden voor krachten en momenten niet van belang omdat alleen een indruk van het bewegingsverloop belangrijk is. Waarden voor massa, massatraagheid en zwaartepuntcoördinaten zijn niet gewenst en krijgen de waarde nul. Toch slaat de file alle nulwaarden op. Dit heeft invloed op het aantal stappen dat geanimeerd kan worden.

4.2.3 Rekentijden

Rekentijden zijn erg afhankelijk van het aantal stangen waaruit een mechanisme bestaat. Voor het 28-stangenmechanisme was voor de berekening van 360 stappen tien uur nodig. Het in de bijlagen behandelde 12-stangenmechanisme had voor dezelfde 360 standen één uur nodig. Als deze waarden worden uitgezet in een grafiek dan blijkt dat de rekentijd exponentieel toeneemt bij toename van het aantal stangen. In de figuur 8 is dit duidelijk te zien. Rekentijd en geheugenruimte zijn evenredig aan elkaar.



Figuur 8 Aantal stangen van een sferisch mechanisme uitgezet tegen de rekentijd die een analyse nodig heeft om 360 stappen te bepalen.

4.2.4 Animatie

Nadat de analyse is gemaakt kunnen de resultaten worden opgeroepen voor animatie van het mechanisme. Bij animeren zijn er twee keuzemogelijkheden, dit zijn **sweep** of **dynamic**.

Sweep geeft alle stappen weer waarbij de stap niet meer wordt gewist na weergave. Nadat heel de animatie is doorlopen worden dus alle berekende stappen weergegeven. Dit is duidelijk zichtbaar in figuur 12 van de bijlagen. **Sweep** geeft het meeste overzicht in de bewegingsloop van het mechanisme. Na het doorlopen van de animatie ontstaat er een goed overzicht in het bewegingstraject van de verschillende stangen. Bij **dynamic** wordt tijdens de animatie steeds 1 stap weergegeven. Het mechanisme springt van stap naar stap. Als de stapgrootte voldoende klein wordt gekozen dan is het net of het mechanisme continu beweegt.

Het is mogelijk dat het mechanisme een aantal tussen standen niet kan bereiken. Dit wordt altijd aangegeven met een foutmelding. Uit de animatie zou gedestilleerd kunnen worden wat nu precies de reden is dat het mechanisme een bepaalde stand niet kan bereiken. Nadeel van **sweep** is dat bij een kleine stapgrootte een eindfiguur wordt verkregen die bestaat uit een onoverzichtelijke brei lijnen. Hieruit de fout te halen is erg moeilijk. In de eerste plaats omdat alle **sweep**-standen dezelfde kleur hebben en in de tweede plaats omdat het niet meer duidelijk is welke krukstap hoort bij een bepaalde mechanisme-stand. Als bijvoorbeeld de analyse een foutmelding geeft in stap 140 dan zou het handig zijn om stap 136, 137, 138 en 139 apart uit de analyse te lichten en deze standen

afzonderlijk te animeren. Op die manier zou gemakkelijk te analyseren zijn waarom stand 140 niet bereikt wordt. Deze mogelijkheid is nog niet ingebouwd in het ontwerppakket.

4.2.5 Acties ter verbetering van de analyse

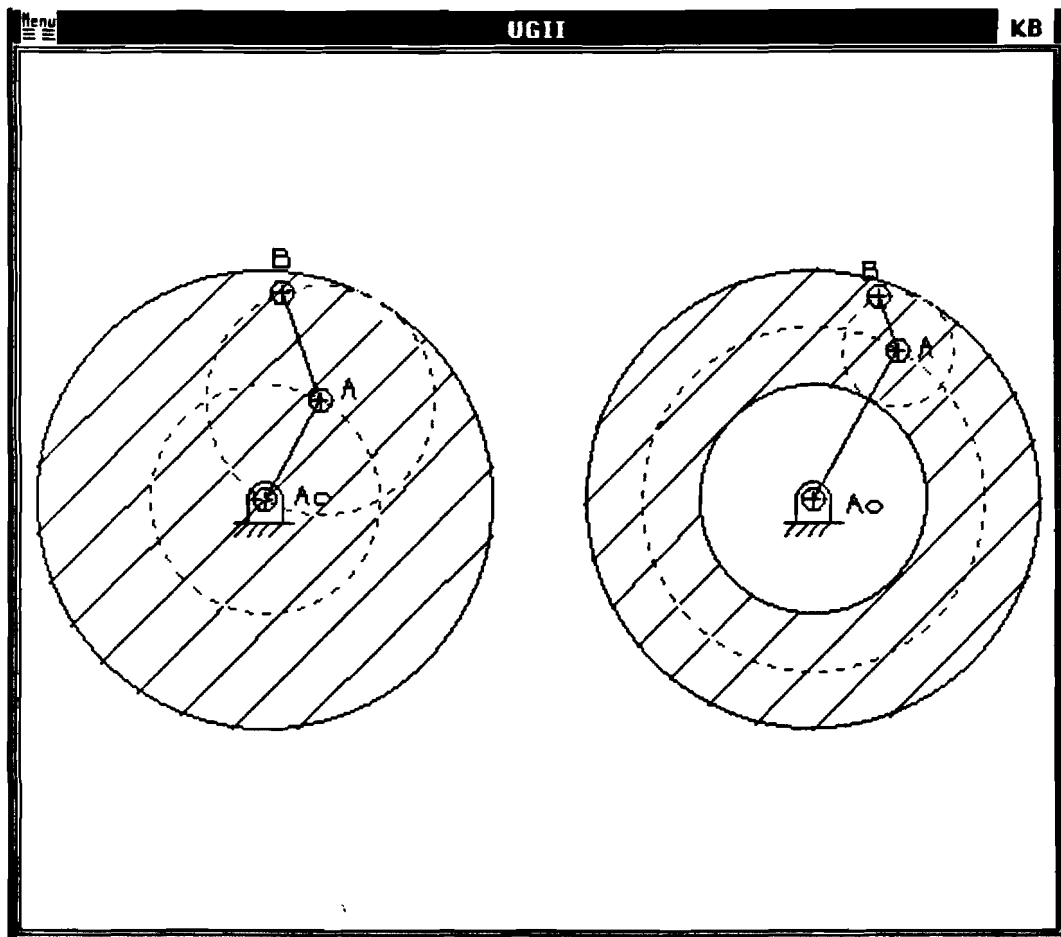
Het onderzochte 28-stangenmechanisme vertoonde een aantal tussenstanden die niet bereikt konden worden. De wens was om het mechanisme zodanig te optimaliseren dat de kruk zonder problemen rond zou kunnen komen. Er zijn een aantal mogelijkheden ontdekt om het aantal niet te bereiken tussenstanden te beperken.

Verbeteringen traden op als de lengte van de kruk korter werd, waardoor de slag van het mechanisme kleiner werd. De kans dat het mechanisme dan een blokkeerstand inneemt is kleiner. Een ander gunstig verschijnsel van een korte kruk is dat er minder grote sprongen in het bewegingstraject optreden. Het iteratieproces van de analyse verloopt beter bij kleine verplaatsingen.

Dat het iteratie-proces minder moeite heeft met kleine verplaatsingen bleek uit het verschijnsel dat hoe kleiner de krukstap genomen werd des te kleiner het foutmeldingsgebied was. Een kleinere krukstap heeft dus een gunstige invloed op de analyse. Ook had verhoging van de tolerantiewaarden gunstige invloed op het aantal foutmeldingen. Hoe meer aanwezige

speling in het mechanisme des te gemakkelijker een stand ingenomen kan worden.

Verder zijn intuïtief de afmetingen van de stangen aangepast. Hierbij werden afmetingen zo aangepast dat alle stangen, behalve de kruk, ongeveer van gelijke grootte waren. Een scharnierpunt dat gekoppeld is aan twee stangen met gelijke lengte heeft een grotere bewegingsvrijheid dan een scharnierpunt gekoppeld aan twee stangen met ongelijke lengte. Dit wordt duidelijk gemaakt in de onderstaande figuur.



Figuur 9 Het gearceerde gebied geeft aan wat het bereik is van scharnierpunt B bij twee verschillende stangverhoudingen.

5. DISCUSSIE

De mechanismen-module is in staat om een complex sferisch 28-stangenmechanisme te verwerken. Dit gaat echter alleen als de tolerantiewaarden worden aangepast. De hoge tolerantiewaarden hebben effect op de plaatsnauwkeurigheid. De afwijking kan oplopen tot 5 procent. Dit wil zeggen dat deze afwijking voor het 28-stangenmechanisme 5 millimeter kan bedragen.

Men kan zich afvragen of een animatie met een dergelijke afwijking wel zinnig is. Als het de bedoeling is om krachten, versnellingen of snelheden uit de analyse te destilleren dan is enige achterdocht wel op zijn plaats. Om deze uitslagen goed te kunnen interpreteren zou inzicht nodig zijn in het rekenalgoritme van de analyse. Informatie hierover is niet aanwezig.

Is het alleen de bedoeling om een indruk te krijgen in het bewegingstraject, dan is de analyse zeker zinnig. Met een dergelijke plaatsnauwkeurigheid zal de werkelijke beweging maar in lichte mate afwijken van de gesimuleerde beweging. Verder is het zo dat er geen andere mogelijkheden zijn om het bewegingstraject van een dergelijk complex mechanisme te bepalen. Handmatig met pen en papier een dergelijk complex mechanisme analyseren is onmogelijk. Het is alleen werk dat een computer aankan.

6 CONCLUSIE

De mechanismen-module is in staat om een sferisch 28-stangen-mechanisme te analyseren. Voor een goedlopende analyse moeten de tolerantiewaarden echter wel worden aangepast. Gebleken is dat de analyse behoorlijk wat tijd vergt (10 uur voor 360 stappen) en dat een analyse-file een aanzienlijke hoeveelheid geheugenruimte op de harde schijf bezet (33000 blocks voor 360 stappen). De analyse geeft door animatie goed aan hoe het bewegingstraject is van het mechanisme. Ook geeft de analyse aan waar fouten optreden. Door het verwijderen van deze fouten wordt het mechanisme geoptimaliseerd.

Het optimaliseren van mechanismen is een moeilijke zaak. Nagaan waar de knelpunten zitten in de bewegingsloop is lastig vanwege het slechte overzicht dat een sweep-animatiefiguur geeft (zie figuur 12). Een groter overzicht zou verkregen kunnen worden als afzonderlijke stappen oproepbaar zouden zijn. Ook werkt het handiger als stappen in verschillende kleuren weergegeven zouden worden. Deze mogelijkheden zouden door een lichte aanpassing van de software verkregen kunnen worden. In een analyse-file staan namelijk de gegevens van één stap groepsgewijs bij elkaar. Het zou mogelijk moeten zijn om zo'n losse groep aan te roepen. Wat gewenst is, zijn dus meer mogelijkheden om files te manipuleren.

Aan de files kan ook wat verbeterd worden. In het bestand van een file bevinden zich veel gegevens met nulwaarden. In dit onderzoek waren dat waarden voor massa, massatraagheid en zwaartepunten. Er zou een aanpassing van de software moeten

komen zodat deze gegevens niet worden opgenomen in het bestand als ze verder niet van belang zijn in de analyse.

De filegrootte werd beperkt door de grootte van het geheugen van het werkstation. Indien in de toekomst sferische mechanismen met meer dan 28 stangen worden onderzocht dan is het raadzaam om dit te doen op de Hewlett Packart 9000 die ook in de Cad-ruimte staat. Deze computer rekent een vier maal sneller en heeft een groter geheugen.

Literatuur

- [1] Dijksman E.A.,
"Motion geometrie of mechanisms",
Cambridge, Cambridge University Press, 1976.

- [2] Ruzinov L.A.,
"Design of mechanisms by geometric transformations",
Ilfiffe Books Ltd, London, 1968.

- [3] Grinsven van J.H.A.,
"Construeren van mechanismen",
W.P.A. rapport nr. 0909, mei 1990.

- [4] "Mechanisms operational description",
McDonnell Douglas manufacturing information systems
company, januari 1985.

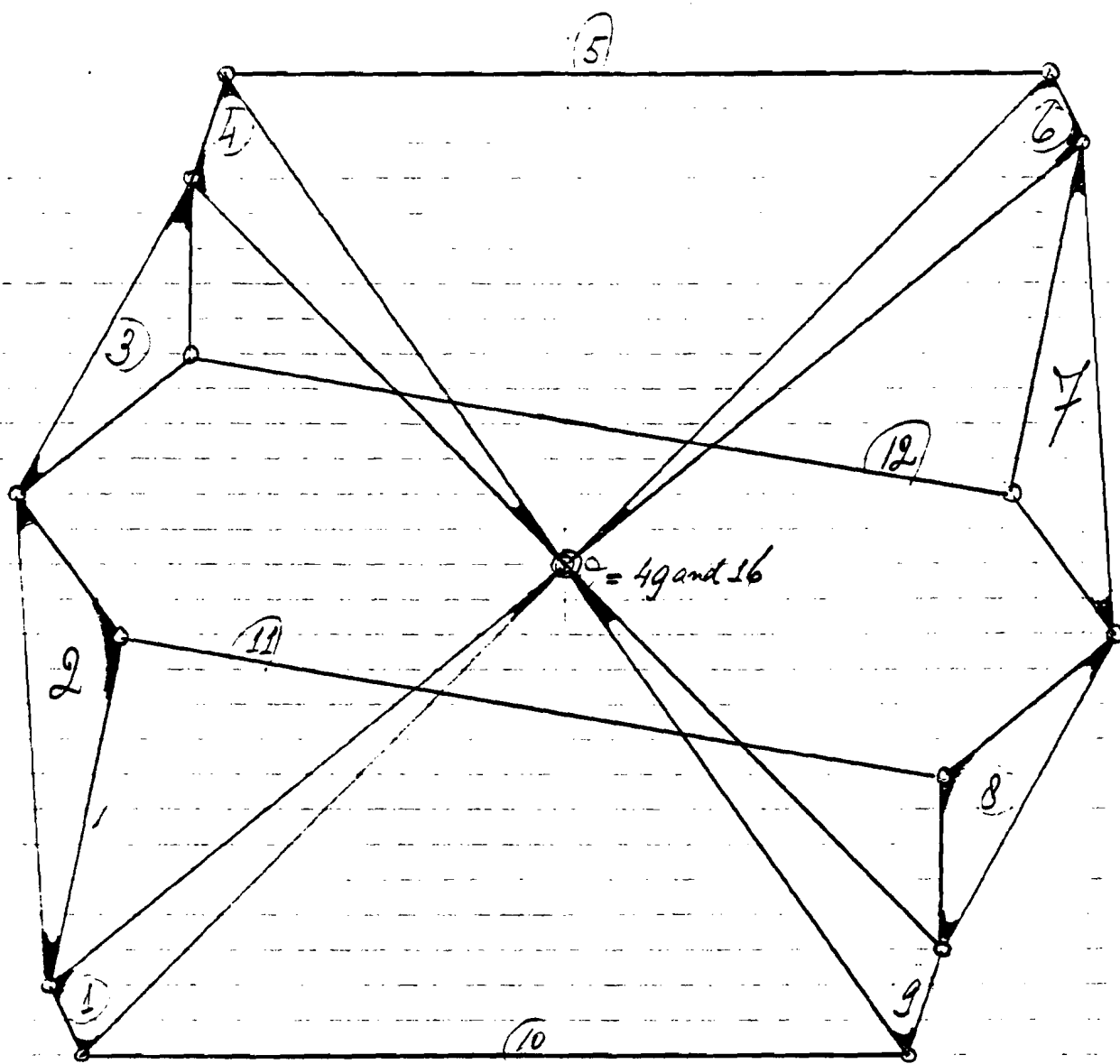
Bijlage 1

Puntsymmetrische 12-Stangen-priem-mechanisme met minimale ketenlengte van 6 in sferische vorm.

Beschrijving voor het construeren van een model

Onderzoek is ook gedaan naar een 12-stangenmechanisme met de bedoeling hiervan een werkend model te maken. Het mechanisme is minder complex dan de 28-stangen versie en dus gemakkelijker te maken. Er is een beter overzicht zodat gemakkelijker is in te zien waar aanpassingen nodig zijn. Een ander voordeel is dat het analyseren van dit mechanisme 10 maal sneller verloopt. Dit werkt fijner omdat er snel analyse-resultaten zijn.

Tijdens het construeren van het mechanisme in het Unigraphics II ontwerppakket is aandacht besteed aan twee dingen. In de eerste plaats zijn de afmetingen van de stangen zo gekozen dat ze allemaal ongeveer even groot zijn. Dit levert een grote bewegingsvrijheid op (zie paragraaf 4.2.5). Op de tweede plaats is als kruk weer voor een binaire stang gekozen. Dit is stang 11 en voor het gestel is stang 2 genomen (zie figuur 10).



Figuur 10

Puntsymmetrisch 12-Stangen-priem-mechanisme met een minimale ketenlengte van zes.

Er zijn twee bewegingsmogelijkheden voor het mechanisme.

Eerste mogelijkheid:

Een korte kruk die helemaal rond kan draaien (zie figuur 11 en figuur 12). Het hele mechanisme maakt een korte heen en weer gaande slag. Een apart verschijnsel dat bij de beweging optreedt is dat de stang, die puntsymmetrisch ligt ten opzichte van de kruk, een horizontale translerende beweging maakt.

Tweede mogelijkheid:

Een lange kruk die een op en neer gaande beweging maakt omdat het niet mogelijk is om rond te komen (zie figuur 13 en figuur 14). Het mechanisme maakt nu echter een grote heen en weer gaande slag. Het aparte van deze beweging is dat het een puntsymmetrische beweging is.

Voor een praktische uitvoering van het mechanisme gaat de voorkeur uit naar de tweede bewegingsmogelijkheid. Een mechanisme dat een grote slag maakt spreekt meer tot de verbeelding.

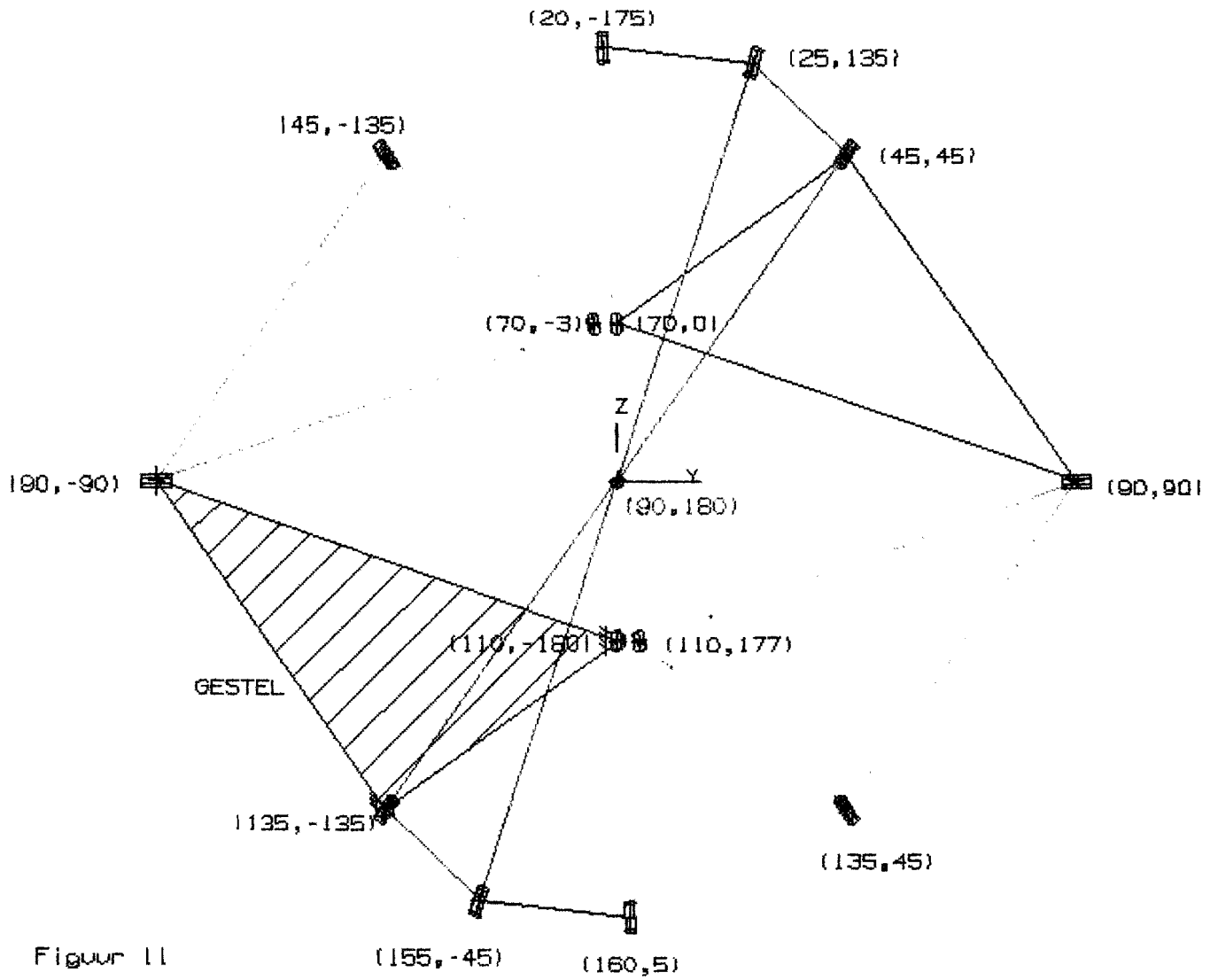
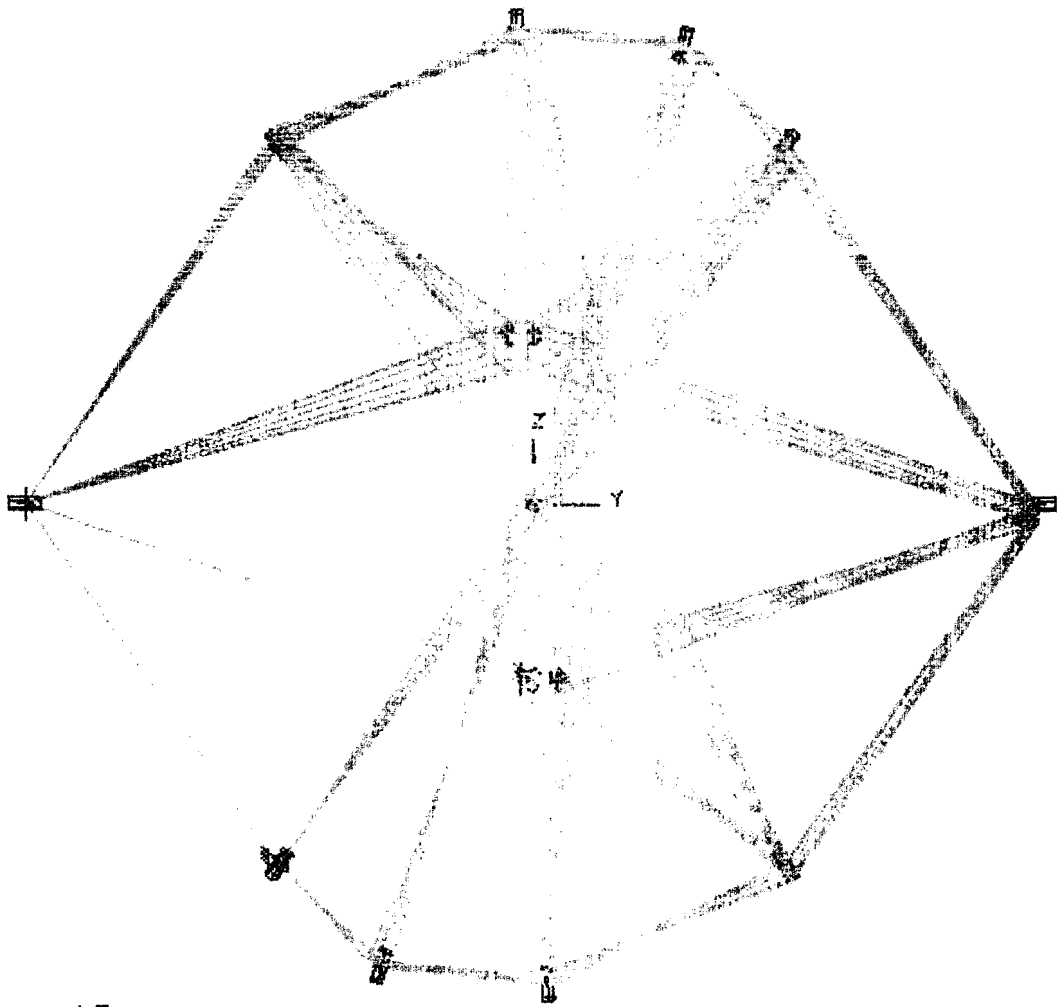


Figure 11



Figuur 12

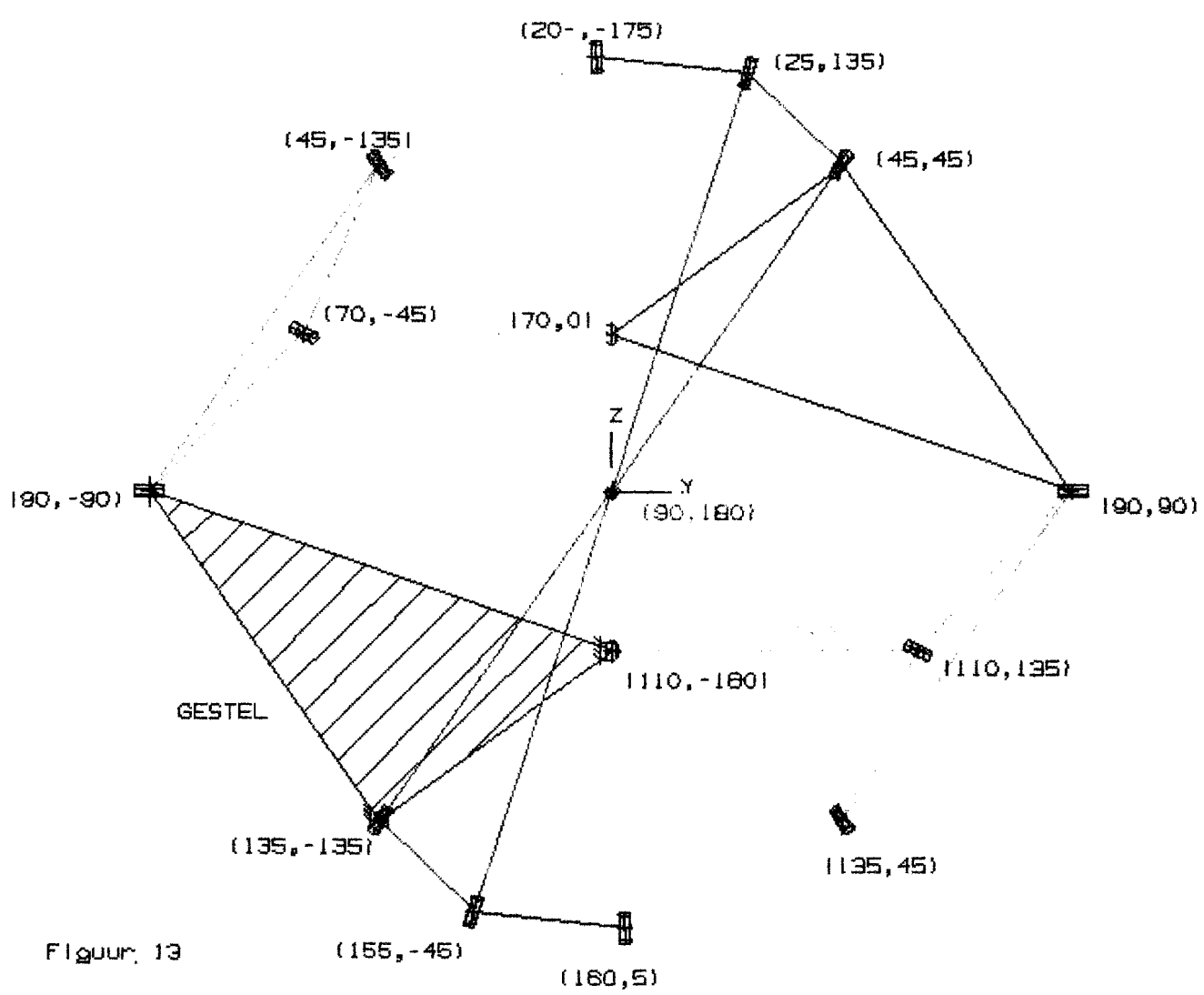
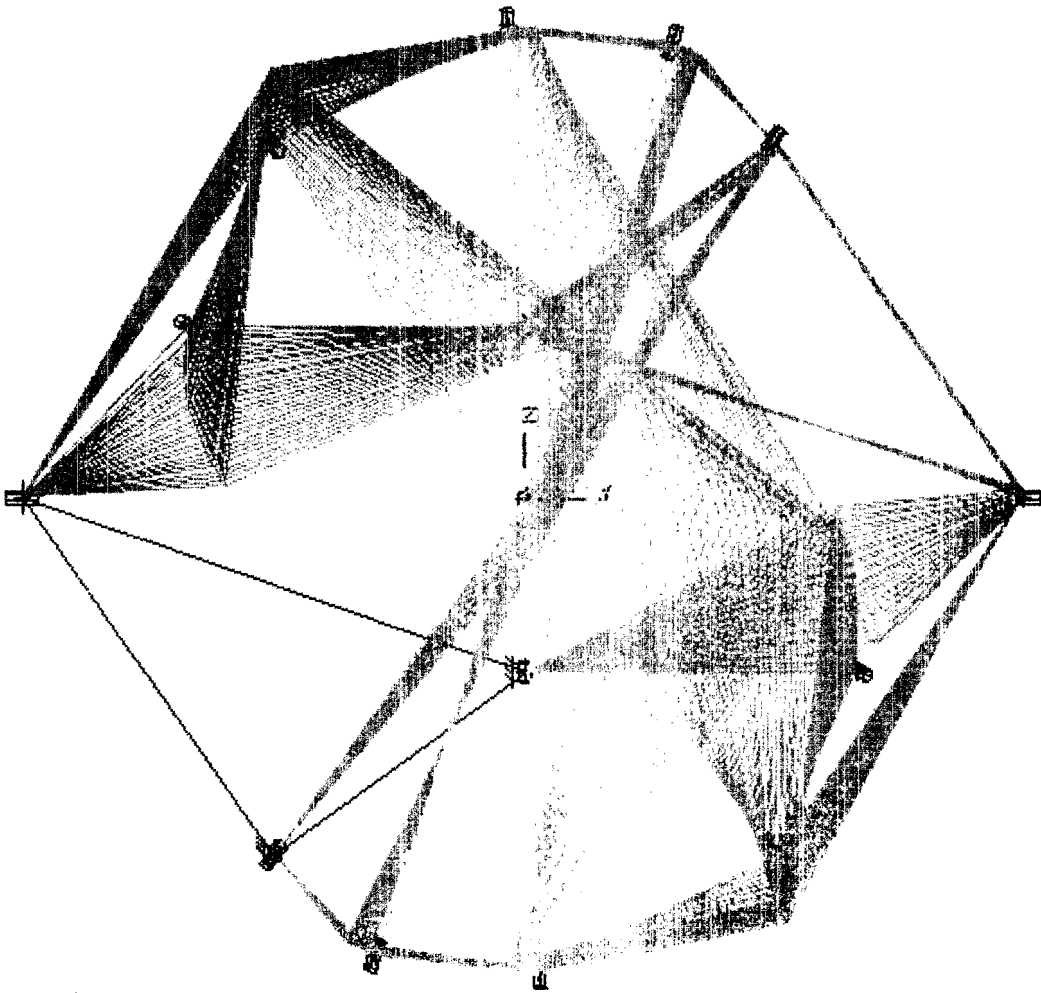


Figure 13



Figuur 14

Construeren van het model

In figuur 13 staan de bolcoördinaten aangegeven van de verschillende scharnierpunten. Het eerste coördinaat " R " is weggelaten omdat dit toch hetzelfde is voor heel het mechanisme. Dit coördinaat is vrij te kiezen, het is afhankelijk van hoe groot het model moet worden. Uit de figuur kan met behulp van de coördinaten en de gekozen " R " worden afgeleid wat de afmetingen zijn van de verschillende schakels.

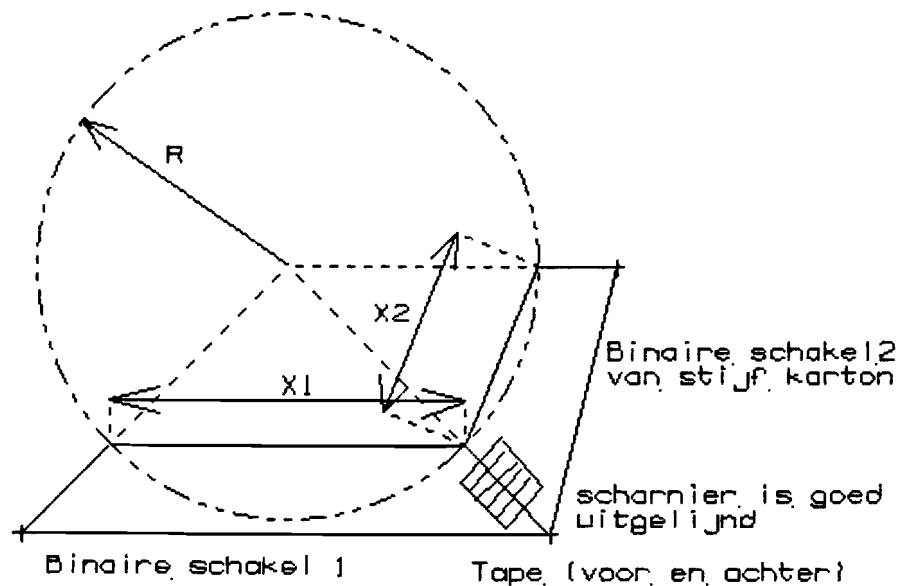
Het model is te maken met simpele materialen. Met karton en tape kan een model worden gemaakt met een diameter van 1 meter. Voor de stangen wordt karton gebruikt. Scharnieren worden gevormd door een tape-verbinding tussen twee stangen.

Belangrijk voor de constructie zijn de volgende punten:

- * Het gewicht moet laag blijven zodat de beweging soepel verloopt.
- * De stangen moeten stijf worden geconstrueerd zodat ze vormvast zijn. Het verbuigen van een stang zal leiden tot een stagnerende beweging.
- * **Uiterst belangrijk is dat scharnieren goed uitgelijnd staan. Draaiassen moeten gericht staan naar het centrum van de bol, anders zal het mechanisme niet bewegen.**
- * Stangen mogen elkaar niet overlappen tijdens de beweging indien tape wordt gebruikt als scharnier. Gebeurt dit wel dan zal een constructieve oplossing moeten worden bedacht. In bewegingsmogelijkheid twee treden geen overlapping op.

De volgende tekening verduidelijkt hoe het construeren in zijn werk gaat. Twee binaire schakels krijgen een scharnierpunt van tape.

Opmerking: schakel 1 en schakel 2
..... liggen in een vlak



X_1 = Afmeting schakel 1, bepaalt men uit
..... figuur met bolcoördinaten.

X_2 = Afmeting schakel 2.

R = Gekozen straal van het mechanisme.

Figuur 15 **Uitlijnen van twee binaire schakels en verbinden met tape**

In het mechanisme komen ook tertiaire schakels voor. Deze kunnen worden gemaakt door op bovenstaande beschreven manier drie binaire stangen met elkaar te verbinden.

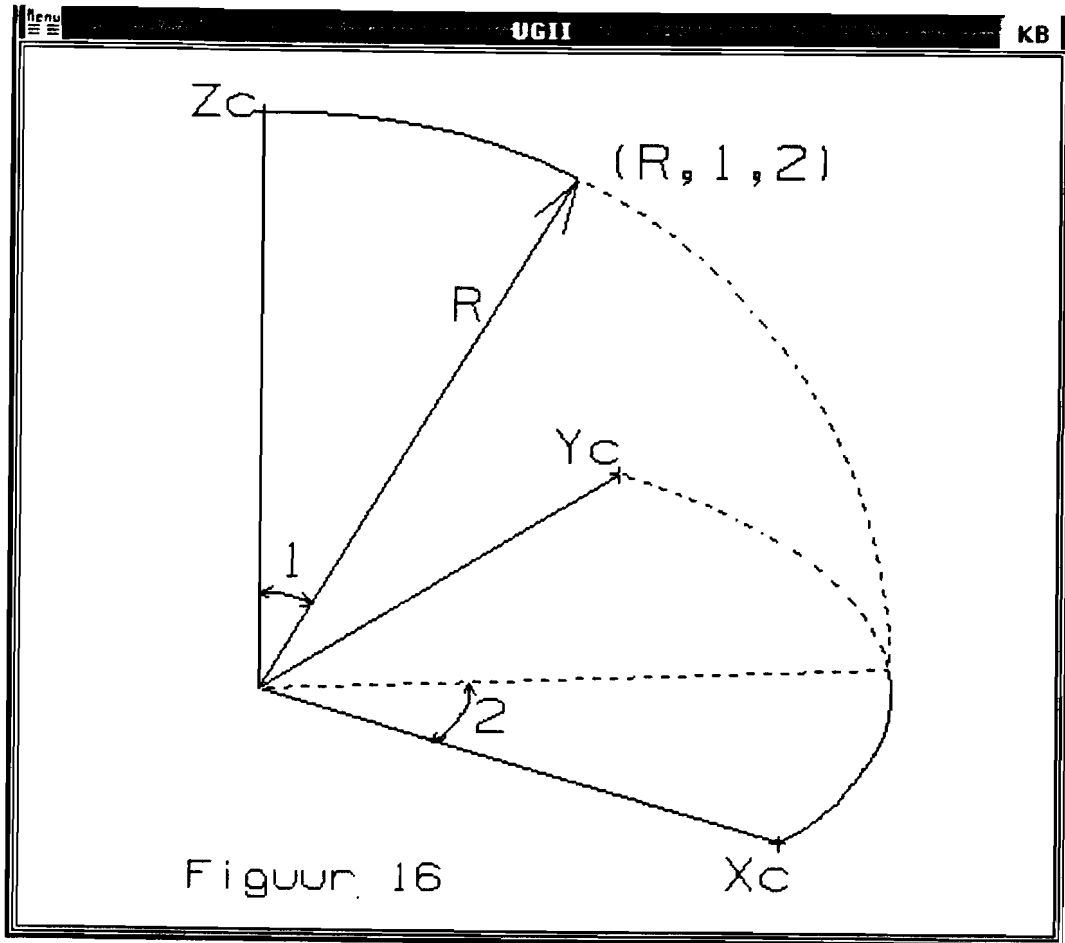
Voor het model kunnen natuurlijk ook andere materialen gebruikt worden. Zo zijn bijvoorbeeld lichte aluminium strips ook uiterst geschikt. Voor de scharnieren kunnen kleine kast

scharniertjes worden gebruikt.

Tot slot wordt opgemerkt, dat nauwkeurig werken uiterst belangrijk. Onregelmatigheden zullen de bewegingsloop beperken.

Bijlage 2

Bolcoördinaten



Figuur 16 Willekeurig punt weergegeven in bolcoördinaten.

Bolcoördinaten van een willekeurig punt zijn: $(R , 1 , 2)$

R = straal, afstand tot de oorsprong van het gebruikte assenstelsel.

1 = Hoek tussen z -as en lijn die door de oorsprong gaat en het punt $(R , 1 , 2)$.

2 = Hoek tussen x -as en geprojecteerde van bij "1" genoemde lijn in het x - y vlak.

Menu-keuze volgorde om met bolcoördinaten te werken in de design-module:

- 1 Design/drafting
- 1 Point/curve creation
- 1 Point
- 10 Modify offset mode
- 5 Spherical
- 3 Work coordinates (middelpunt bol definiëren)

Define point

Enter spherical offset: 1 radius
 2 angle 1
 3 angle 2

Bijlage 3

Tolerantiewaarden

Standaard tolerantie file UGMDM.Tol ziet er als volgt uit:

0.0001

0.000001

0.00001

0.0001

Betekenis:

Eerste getal: Data tolerantie.

Controleert op afwijkingen in de input data

Tweede getal: Positie tolerantie.

Bepaalt of het iteratie-proces, waarmee in de analyse een positie wordt bepaald, beëindigd is. Als het iteratie-proces stopt, dan is er een nieuwe positie gecreëerd.

Derde getal: Systeem tolerantie.

Wordt gebruikt om de rang van de matrix te bepalen. Deze matrix wordt gebruikt tijdens het iteratie-proces om een nieuwe positie te bepalen. De rang geeft aan wat het aantal vrijheidsgraden is.

Vierde getal: Zero tolerantie.

Wordt gebruikt als geen andere specifieke tolerantiewaarde wordt aangeroepen.

Veranderen van tolerantiewaarden

Opdrachten die achter elkaar moeten worden gedaan om de waarden te veranderen:

- * Inloggen
 - * **98 Non menu activities (DCL)**
 - * ed
- file: UGMDM.Tol

Nu volgen er vier blanco regels. Als een standaard waarde verandert moet worden dan toetst men in de betreffende regel een nieuw getal in. Wordt de standaard waarde gehandhaafd dan toetst men op de betreffende regel één * in. De nieuwe file kan er bijvoorbeeld als volgt uitzien:

```
0.005
*
0.0005
*
```

Daarna gaat men verder met:

- * Control Z (=escape, cursor springt naar de onderste regel)
- * ex (nieuwe tolerantie file wordt in werking gesteld)
- * menu (men keert terug naar het hoofd-menu)

Bijlage 4

Projectstrategie

Op deze onderzoekopdracht is projectstrategie toegepast. Voor de totale opdracht is 500 uur beschikbaar. De onderzoekopdracht bestaat uit twee gedeeltes. Dit zijn een onderzoek van 400 uur en een literatuur onderzoek van 100 uur. Dit rapport heeft betrekking op het eerste gedeelte van de onderzoekopdracht. O.P.U. is op dit gedeelte toegepast.

O.P.U.

ORIENTATIE

Stellen van vragen:

Wat is de opdracht?

Onderzoek of de mechanismen-module een sferische 28-stangenmechanisme kan analyseren. Het is daarbij de bedoeling om meer te weten te komen over wat de grenzen van de module zijn.

Hoeveel tijd is beschikbaar?

400 uur.

PLANNING

* Wegwijs worden in het Unigraphics II ontwerppakket met behulp van de CAD-cursus	20 uur
* Oefeningen CAD-cursus	20 uur
* Verkennen van de mechanismen-module met behulp van WPA rapport 909 van J.H.A. van Grinsven, oefenopgaven maken	40 uur
* Onderzoek naar sferische mechanismen	
- Computer werk	160 uur
- Bureau werk	60 uur
* Verslag maken	<u>100 uur</u>
Totaal	400 uur

UITVOERING

Het beschreven plan is in gegeven volgorde uitgevoerd. Natuurlijk was het zo dat computerwerk en bureauwerk afwisselend plaats vonden tijdens het onderzoek. Het uiteindelijke resultaat van de planning is het rapport wat u nu voor u ziet.